

Г.Д.Мусапирова, А.Н.Барманбетова,
К.Т.Калиев

Электронные приборы и устройства.

Техник

Учебное пособие



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Г.Д.Мусапирова, А.Н.Барманбетова, К.Т.Калиев

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА. ТЕХНИК



Учебное пособие

*для системы технического и профессионального, послесреднего
образования по специальности «Электронные приборы и
устройства».*

Нур-Султан
Некоммерческое акционерное общество «Talar»
2020

УДК 621.38(075.32)
ББК 32.851.1я722
М91

Рецензенты:
Алматинский колледж связи при
Казахско-Американском Университете
УМО по профилю «Связь, телекоммуникации и информационные
технологии. Электронная техника»,
ТОО «Energy complex»

Рекомендовано
Республиканским научно-практическим центром «Учебник»

М91 Специальность «Электронные приборы и устройства», квалификация «Техник»/ Г.Д. Мусапирова, А.Н. Барманбетова, К.Т. Калиев/ Нур-Султан: Некоммерческое акционерное общество «Talap», 2020 г. – 313 с.

ISBN 978-601-333-945-0

Данное учебное пособие разработано в соответствии с актуализированным типовым учебным планом и программой по специальности 1301000 «Электронные приборы и устройства» для квалификации «1301013 Техник».

Учебное пособие предназначено для обучающихся организаций технического и профессионального образования, а также преподавателей специальных дисциплин и мастеров производственного обучения для организации теоретических и практических занятий.

УДК 621.38(075.32)
ББК 32.851.1я722

ISBN 978-601-333-945-0

© НАО «Talap», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
РАЗДЕЛ 1. ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРАВИЛ ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ И СХЕМ С СОБЛЮДЕНИЕМ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ И С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	8
1.1. Основы стандартизации, сертификации и метрологии	8
1.2. Инженерная графика	13
1.3. Информационные технологии в профессиональной деятельности	21
РАЗДЕЛ 2. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	30
2.1. Электротехника	30
2.1.1 Электростатика	30
2.1.2 Цепи постоянного тока	42
2.1.3 Электромагнетизм и электромагнитная индукция	55
2.2. Электрорадиоизмерение	60
2.2.1 Основные сведения о метрологии, измерениях и средствах измерений	60
2.2.2 Погрешности и обработка результатов измерений	64
2.2.3 Измерение напряжения и силы тока	67
2.2.4 Измерительные генераторы	74
2.2.5 Генераторы гармонических колебаний	76
РАЗДЕЛ 3. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ СВОЙСТВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ И УСТРОЙСТВАХ	82
3.1. Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты	82
3.1.1 Физико-химические основы материаловедения	82
3.1.2 Полупроводниковые материалы	87
3.1.3 Свойства проводниковых материалов	88
3.1.4 Диэлектрические материалы	90
3.2. Электрорадиоизмерение	93
3.2.1 Измерение частоты и интервалов времени	93
3.2.2 Измерение фазового сдвига и мощности	96
3.3. Электротехнические материалы	104
3.3.1 Неметаллические проводники	104
3.3.2 Материалы для электрических контактов	107
3.3.3 Магнитные материалы	109

РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	114
4.1. Элементы и устройства вычислительной техники	114
4.1.1 Арифметические основы цифровых устройств	114
4.1.2 Основные логические элементы	116
4.1.3 Общие принципы построения компьютеров	123
4.1.4 Запоминающие устройства	129
4.2 Назначение и группы периферийных устройств	132
РАЗДЕЛ 5. ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ МЕНЕДЖМЕНТА И МАРКЕТИНГА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ	142
5.1 Экономика отрасли	142
5.2 Основы менеджмента	145
5.3.Маркетинг	149
РАЗДЕЛ 6. ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОХРАНЫ ТРУДА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	153
6.1. Охрана труда	153
6.1.1 Основные законодательно-правовые акты по охране труда	153
6.1.2 Организация условий труда на рабочем месте	156
6.1.3 Основные мероприятия по предупреждению несчастных случаев на производстве	159
6.2. Электротехника	166
6.2.1 Цепи переменного тока	166
6.2.2 Трехфазные цепи	171
6.3. Электрические машины	173
6.3.1 Трансформаторы	176
6.3.2 Асинхронные машины	180
6.3.3 Синхронные машины	184
РАЗДЕЛ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ	189
7.1. Основные параметры полупроводниковых приборов	189
7.1.1 Полупроводниковые диоды	197
7.1.2 Принцип работы биполярного транзистора, классификация и эксплуатация	209
7.1.3 Параметры и характеристики полевых транзисторов	215
7.2. Оптоэлектронные приборы	222
7.2.1 Световоды	223
7.2.2 Источники света (ИС)	223
7.3. Основы схемотехники	224
7.3.1 Оптроны	224
7.3.2 Аналоговые электронные устройства	224
7.3.3 Назначение и основные параметры операционных усилителей	226

РАЗДЕЛ 8. ВЫПОЛНЕНИЕ СБОРКИ, МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ	230
8.1. Ведение технологических процессов сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств	230
8.1.1 Организация технологического процесса сборки и монтажа, демонтажа электронных приборов и устройств	236
8.1.2 Общие сведения о монтаже ЭПиУ	238
8.2. Технология изготовления печатных плат	241
8.2.1 Методы и способы изготовления многослойных печатных плат	243
8.2.2 Оборудование производства печатных плат	249
8.3. Технология монтажа и сборки электронных устройств	249
РАЗДЕЛ 9. ВЫПОЛНЕНИЕ НАСТРОЙКИ, РЕГУЛИРОВКИ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ	259
9.1. Технология настройки и регулировки и проведение испытаний электронных приборов и устройств	259
9.1.1 Ведение эксплуатации контрольно-измерительного оборудования и технологического оснащения сборки и монтажа	261
9.1.2 Осуществление настройки и регулировки устройств и блоков радиоэлектронных приборов	264
9.1.3 Методы выбора средств измерений и способы их подключения	266
9.2. Методы проведения стандартных и сертификационных испытаний	266
9.2.1 Ведение стандартных и сертифицированных испытаний	266
9.2.2 Технология ремонта и регулировки устройств, блоков и приборов радиоэлектронной техники	268
РАЗДЕЛ 10. ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ	275
10.1. Основы диагностики обнаружения отказов и дефектов электронных приборов и устройств	275
10.1.1 Методы диагностики отказов и обнаружения дефектов	277
10.1.2 Диагностика обнаружения отказов и дефектов радиоприемного устройства	279
10.2. Методы оценки качества и управления качеством продукции	281
10.2.1 Общие функции управления качеством продукции	282
10.2.2 Методы контроля качества, анализа дефектов и их причин	283
10.3. Техническое обслуживание электронных приборов и устройств	285
10.3.1 Сборка и монтаж полупроводниковых приборов и интегральных схем	285
10.3.2 Анализ электрических схем электронных приборов и устройств	288
10.3.3 Настройки и регулировки электронных приборов и устройств	292
ГЛОССАРИЙ	305

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель курса – содействовать успешному освоению курса «Электронные приборы и устройства».

Задачи изучения дисциплины. В результате изучения курса студент должен освоить принципы и физические основы работы полупроводниковых приборов, их характеристики и параметры, а также основные принципы построения аналоговых электронных схем, генераторов сигналов, принципы работы интегральных микросхем, кроме того студент должен изучить принципы построения и функционирования интегральных логических элементов, методы синтеза логических устройств комбинационного и последовательных типов.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать: устройство полупроводниковых приборов, особенности и основные параметры дифференциальных и операционных усилителей, основные цифровые устройства;
- уметь: строить многокаскадные усилители, решающие усилители, генераторы электрических колебаний, синтезировать различные узлы цифровых устройств;
- иметь опыт: снятия основных характеристик полупроводниковых приборов, усилителей и определения параметров различных электронных схем, выбора элементной базы;
- иметь представление: о принципе действия современных аналоговых и цифровых интегральных схем.

Структура курса

На данной схеме показаны все модули курса «Электронные приборы и устройства». Рекомендуемая последовательность освоения курса – снизу вверх. Уровень мастерства повышается по мере перемещения по схеме курса. В разных учебных заведениях порядок прохождения модулей может меняться.



Рисунок 1. Структура курса

РАЗДЕЛ 1. ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРАВИЛ ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ И СХЕМ С СОБЛЮДЕНИЕМ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ И С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Цели обучения:

По результатам обучения данного модуля студенты смогут:

1. Понимать, знать и применять основные принципы и положения метрологии стандартизации и сертификации
2. Выполнять технические схемы, чертежи и эскизы деталей, узлов и агрегатов машин, сборочных чертежей и оформлять чертежи общего вида по эскизам и копиям
3. Использовать пакеты прикладных программ для разработки конструкторской и технологической документации с применением информационных технологий

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Карандаш и бумага
2. ПК с необходимым программным обеспечением

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль даёт возможность получить знания и навыки, необходимые для выполнения разработки чертежей, оформления и чтения конструкторской и технологической документации, даёт возможность получить знания и навыки, необходимые, для освоения основных положений в области стандартизации.

1.1 ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ, СЕРТИФИКАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ

1.1.1 Основные понятия и определения метрологии

Метрология (от греч. «metron» – мера, «logos» – учение) – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства измерений и методах и средствах обеспечения их требуемой точности.

Любая наука является состоявшейся, если она имеет свой объект, предмет и методы исследования.

Предметом метрологии является измерение свойств объектов (длины, массы, плотности, тока, напряжения и т.д.) и процессов (скорость протекания, интенсивность протекания электронов и дырок и др.) с заданной точностью и достоверностью.

Физическая величина – это одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого физического объекта.

Мера – это средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера.

Физические величины делятся на измеряемые и оцениваемые.

Измеряемые физические величины могут быть выражены количественно в установленных единицах измерения (единицах физической величины).

Оцениваемые физические величины это величины, для которых единицы измерений не могут быть введены. Их определяют при помощи установленных шкал.

Физические величины классифицируются по следующим видам явлений:

а) вещественные – они описывают физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них;

б) энергетические – описывают энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и поглощение (использование) энергии;

в) физические величины, характеризующие протекание процессов во времени. Единицей физической величины – называют физическую величину фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение равное единице, и которое применяется для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Различают основные и производные единицы физических величин. Для некоторых физических величин единицы устанавливаются произвольно, такие единицы физических величин называют основными. Производные единицы физических величин получают по формулам из основных единиц физических величин.

Система единиц физических величин – это совокупность основных и производных единиц физических величин, относящихся к некоторой системе величин.

Так, в международной системе единиц СИ (Система Интернациональная) принято семь основных единиц физических величин: единица времени – секунда (с), единица длины – метр (м), массы – килограмм (кг), единица силы электрического тока – ампер (А), термодинамической температуры – кельвин (К), силы света – кандела (кд) и единица количества вещества – моль (моль).

Эталон единицы физической величины – это средство измерения, предназначенное для хранения и воспроизведения единицы физической величины с целью её передачи другим средствам измерений данной величины.

Понятие единство измерений характеризует состояние измерений, когда их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны и не выходят за установленные пределы с заданной вероятностью.

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Метрологические характеристики средств измерений и контроля

Эта характеристика одного из средств измерения влияющая на результат и его погрешность.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся метрологические характеристики средств измерений и контроля:

Цена деления шкалы прибора – это разность величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Она всегда указывается на шкале прибора.

Длина деления шкалы прибора – это фактическое расстояние между осями (центрами) соседних отметок шкалы прибора.

Начальное и конечное значение шкалы – наименьшее и наибольшее значение измеряемой величины, которые могут быть отсчитаны по шкале данного средства измерения.

Диапазон показаний средства измерений – это область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы. Существуют средства измерения, начальное значение которых не равно нулю (например, микрометрический нутромер).

Измерительное усилие – это усилие, возникающее в зоне контакта измерительного наконечника прибора с измеряемой поверхностью.

Перепад измерительного усилия – разность измерительного усилия при двух положениях указателя в пределах диапазона показаний.

Чувствительность – это способность средства измерения реагировать на изменения измеряемой величины. Определяется как отношение изменения выходного сигнала средств измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Порог чувствительности средств измерения – то наименьшее значение изменения физической величины, с которого возможно начать измерение этой величины данным средством измерения.

Вариация показаний измерительного прибора – это разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона показаний при плавном подходе к этой точке показывающего элемента (стрелки) со стороны больших и меньших значений измеряемой величины.

Основные понятия и функции сертификации

Сертификация – процедура подтверждения соответствия результатов производственной деятельности, товаров, услуг нормативным требованиям на основании которой третья сторона удостоверяет документально, что данная продукция соответствует заданным требованиям.

Под первой стороной понимается производитель или продавец.

В качестве второй стороны выступает покупатель или потребитель.

Под третьей стороной в процедуре сертификации подразумевается независимо компетентная организация, осуществляющая оценку качества продукции.

Для подтверждения своей компетентности третья сторона проходит процедуру аккредитации, то есть официальное подтверждение ее возможностей осуществлять соответствующие виды контроля.

Сертификация базируется на стандартах и в ее основе лежат испытания по нормам сертификации.

Базовым понятием сертификации является сертификация соответствия (определение дано выше).

Система сертификации – система, имеющая свои правила, процедуры проведения сертификации и соответствия, то есть сертификация в пределах одной системы должна проводиться по единым правилам.

Схема сертификации – система сертификации, применяемая к конкретной продукции (конкретному технологическому процессу, товару, услуге).

Сертификат соответствия – документ, выданный согласно правилам системы сертификации указывающий, что данная продукция соответствует определенным стандартам или каким-либо другим требованиям, предъявляемым к данной продукции.

Знак соответствия – охраняемый законом знак (сочетание букв, цифр, графических символов) подтверждающих, что данная продукция находится в соответствии с определенными стандартами или другими требованиями, предъявляемыми к ней.

Декларация о соответствии – документ, в котором изготовитель удостоверяет, что поставляемая им продукция соответствует заданным требованиям.

Основной функцией сертификации является социальная функция. Она заключается в защите человека (его жизни и здоровья), его имущества, окружающей среды от отрицательных воздействий научно-технического прогресса, а также от недобросовестных производителей и продавцов.

Эта функция реализуется за счет добровольной и обязательной сертификации. Обязательная сертификация распространяется на те виды деятельности, товары и услуги которых связаны со здоровьем и жизнью людей.

Добровольная сертификация распространяется на остальные виды продукции, что обеспечивает развитие здоровой конкуренции на рынке, которая в свою очередь благотворно влияет на социальную среду.

Экономическая функция заключается в защите национального рынка от недобросовестных зарубежных конкурентов. Также сертификация оказывает влияние на расширение международного экономического сотрудничества. А также обеспечивает полное удовлетворение потребителей (рядового покупателя), снижает издержки на производство продукции, увеличивает прибыль производителя, снижает расходы покупателя.

На уровне общества экономическая функция сертификации проявляется как рост поступлений в государственный бюджет, за счет налоговых сборов, таможенных сборов, а также уменьшение расходов на здравоохранение.

Правовые основы сертификации

Сертификация в Казахстане организуется и производится в соответствии со следующими законами:

- 1 «О защите прав потребителей»
- 2 «О сертификации продукции и услуг»
- 3 «Об обеспечении единства измерения»
- 4 «О стандартизации»

А также законами, относящимися к конкретным отраслям, по пожарной безопасности, о ветеринарии и так далее. Кроме законов деятельность по сертификации регулируется указами президента и актами правительства.

Закон «О защите прав потребителей» регулирует отношения, возникающие между потребителями и изготовителями при продаже товара. Устанавливает права потребителя на приобретение товара надлежащего качества и безопасного для жизни и здоровья. Гарантирует получение информации о товаре и о его изготовителе. Обязательной сертификации подлежат:

- 1 Товары (работа, услуги) на которые законодательные акты в государственных стандартах установлены требования направленные на обеспечение безопасности жизни, здоровья людей, на охрану окружающей среды и защиту имущества потребителей;

- 2 Средства, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья людей.

Закон РК «О сертификации продукции и услуг» определяет следующие цели сертификации:

1. Создание условий для деятельности организации всех форм собственности на едином товарном рынке Казахстана для участия в международной торговле и научно-техническом сотрудничестве.

2. Содействие потребителям в компетентном выборе товара и их защита от не добросовестных изготовителей и продавцов.

3. Контроль безопасности продукции для жизни и здоровья людей их имущества и окружающей среды.

4. Подтверждение показателей качества продукции заявленных изготовителем. При проведении сертификации должны быть реализованы следующие принципы:

- 1) Правовая обоснованность сертификации.

- 2) Открытость системы сертификации (доступность предприятий всех форм собственности выполняющих правила данной системы).

- 3) Гармонизация правил сертификации с международными.

- 4) Открытость не конфиденциальной и закрытость конфиденциальной информации по сертификации.

Существуют системы сертификации трех уровней:

1. Международный;
2. Национальный;
3. Региональный

Система сертификация создается государственными органами управления предприятия и организации, и представляет собой совокупность

участников сертификации осуществляющих сертификацию по правилам установленным в данной системе.

Одна система сертификации может включать в себя несколько маленьких систем и за счет этого охватывать разную номенклатуру товара. При этом каждая система сертифицирует однородную продукцию. Такие под системы создаются в том случае, когда необходимо конкретизировать более общие требования, заданные в большой системе применительно к конкретной продукции.

Каждая система сертификации устанавливает свой знак соответствия. Эти знаки регистрируются государственным стандартом Казахстана. В настоящее время существует более 15 систем обязательной сертификации.

1.2. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Главным элементом в решении графических задач в инженерной графике является чертеж.

Под чертежом подразумевают графическое изображение предметов или их частей. Чертежи выполняются в строгом соответствии с правилами проецирования с соблюдением установленных требований и условностей. Причем правила изображения предметов или их составных элементов на чертежах остаются одинаковыми во всех отраслях промышленности и строительства.

Изображение предмета на чертеже должно быть таким, чтобы по нему можно было установить форму его в целом, форму отдельных его поверхностей, сочетание и взаимное расположение отдельных его поверхностей. Иными словами, изображение предмета должно давать полное представление о его форме, устройстве, размерах, а также о материале, из которого изготовлен предмет, а в ряде случаев включать сведения о способах изготовления предмета. Характеристикой величины предмета на чертеже и его частей являются их размеры, которые наносятся на чертеже. Изображение предметов на чертежах выполняют, как правило, в заданном масштабе.

Номенклатура схем, входящих в комплект конструкторской документации, определяется разработчиком в зависимости от состава и особенностей изделия. Количество типов схем должно быть минимальным, но их совокупность должна содержать полный объем сведений, необходимых для проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации и ремонта изделия.

Схемы выполняются без соблюдения масштаба на форматах, установленных ГОСТ 2.301-68 (СТ СЭВ 1181-78) с предпочтительным применением основных форматов и ГОСТ 2.004-79 (СТ СЭВ 4405-83), если схема выполняется автоматизированным методом. Схемы могут выполняться на нескольких листах, при этом формат листов должен быть по возможности одинаковым.

При выполнении схемы на нескольких листах или в виде совокупности схем одного типа рекомендуется:

1) для схем, предназначенных для пояснения принципов работы изделия (функциональная, принципиальная), изображать на каждой схеме определенную функциональную группу, функциональную цепь (линию, тракт и т. п.);

2) для схем, предназначенных для определения соединений (схема соединений), изображать на каждом листе или на каждой схеме часть изделия (установки), расположенную в определенном месте пространства или определенной функциональной цепи.

Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схемы, не нарушающее ее наглядности и удобства пользования ею. При выборе форматов схем необходимо учитывать: объем и сложность данной схемы; условия хранения и обращения схем; особенности и возможности техники выполнения, репродуцирования и (или) микрофильмирования схем; возможность обработки схем средствами вычислительной техники; необходимую степень детализации данных, обусловленную назначением схемы.

Построение схемы. Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия (установки) не учитывают или учитывают приближенно. Допускается располагать условные графические изображения элементов в том же порядке, в каком они расположены в изделии, если это не затрудняет чтение схемы. Графические обозначения элементов (устройств, функциональных групп) и соединяющие их и линии связи располагают на схеме таким образом, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

Схему одного вида можно дополнять отдельными элементами схем другого вида, элементами и устройствами, не входящими в состав изделия, но необходимыми для разъяснения принципов работы основной схемы. Графические обозначения таких элементов и устройств отделяют на схеме штрихпунктирными линиями, указывая надписями местонахождение этих элементов и другие необходимые данные.

При наличии в изделии нескольких одинаковых элементов (устройств, функциональных групп), соединенных параллельно, разрешается вместо изображения всех ветвей изображать одну ветвь с указанием количества ветвей "цифровым индексом или графическим обозначением ответвления (рисунок 1.1).

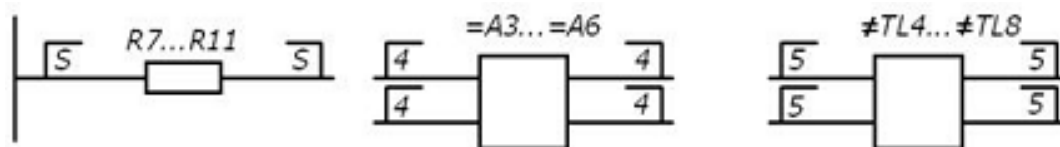


Рис. 1.1 Допускаемое изображение параллельного соединения с одинаковыми элементами

При последовательном соединении трех (и более) одинаковых элементов (устройств, функциональных групп), рекомендуется изображать только первый и последний элементы, показывая связи между ними штриховой

линиями. При этом над штриховой линией указывают общее количество одинаковых элементов. Элементы в этом случае записывают в перечень элементов в одну строку. При присвоении элементам (устройствам, функциональным группам) обозначений необходимо учитывать элементы (устройства, функциональные группы), не изображенные на схеме (рисунок 1.2).

Схемы допускается выполнять в пределах условного контура, упрощенно изображающего конструкцию изделия. В этих случаях условные контуры выполняют линиями, равными по толщине линиям связи.

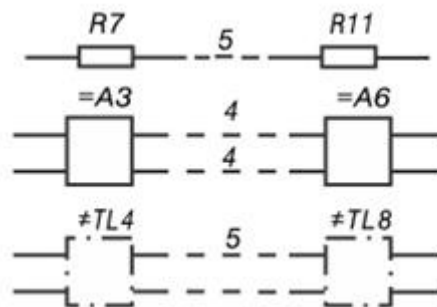


Рис. 1.2 Допускаемое изображение последовательного соединения с одинаковыми элементами

Обрывы линий электрической связи применяют, если графические обозначения соединяемых элементов значительно удалены друг от друга или схема выполняется на нескольких листах. Обрывы линий заканчивают стрелками с указанием мест подключения (рисунок 1.3).

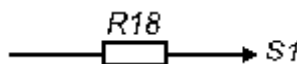


Рис.1.3 Изображение обрывов линий электрической связи

Условные графические обозначения общего применения в схемах

Элементы, входящие в состав изделия, изображаются на схемах, как правило, в виде условных графических обозначений, устанавливаемых стандартами ЕСКД. Связи между элементами схемы показывают линиями взаимосвязи, которые условно представляют собой трубопроводы, провода, кабели, валы и др.

Для построения условных графических обозначений используют сравнительно небольшое количество простейших геометрических образов (точка, отрезок прямой линии, окружность и ее части, прямоугольник, треугольник и др.), каждый из которых применяют отдельно или в сочетании с другими. При этом смысл каждого геометрического образа в условном обозначении во многих случаях зависит от того, в сочетании с каким другим геометрическим образом он применен.

ГОСТ 2.721-74 «Обозначения общего применения» устанавливает следующие условные графические обозначения общего применения:

- направлений распространения тока, сигнала, информации и потока;
- энергии, жидкости, газа (рисунок 1.4);

- направлений движения (рисунок 1.5);
- линий механической связи элементов (рисунок 1.6);
- передачи движения (рисунок 1.7);
- регулирования, саморегулирования и преобразования (рисунок 1.8)
- элементов привода (рисунки 1.9, 1.10)
- управляющих устройств (рисунок 1.11)

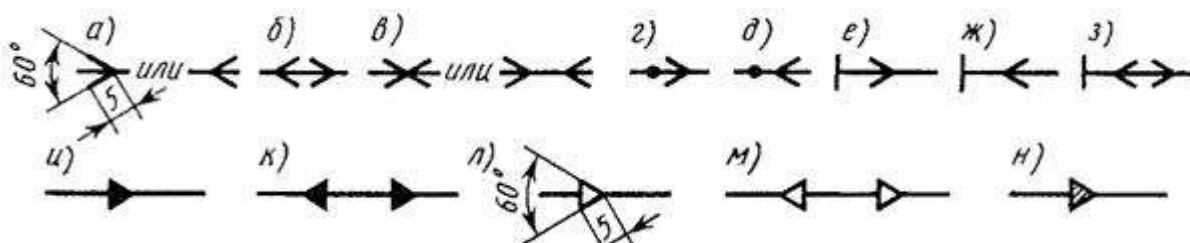


Рис.1.4 Условные графические обозначения направлений распространения:

а - в - тока, сигнала, информации и потока энергии (г - передача, д - прием); е - з - энергии (е - от токоведущей шины, ж - к токоведущей шине); и, к, н - потока жидкости; л, м - потока газа (воздуха); а, и, л, н - в одном направлении; з, к, м - в обоих направлениях; б - не одновременно; в - одновременно

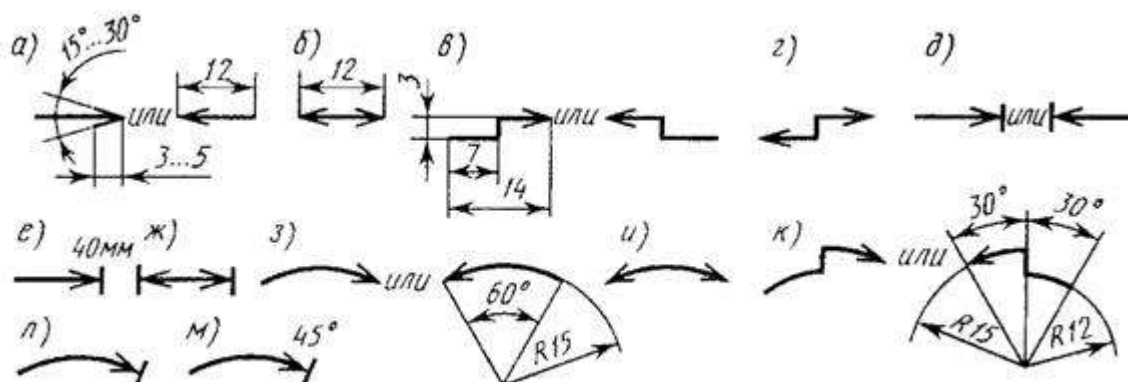


Рис.1.5 Условные графические обозначения направлений движения:

а - ж - прямолинейное; з, м - вращательное; а, з - одностороннее; б, и - возвратное; в, к - одностороннее, одностороннее с выстоем; г - возвратное с выстоем; д, л - с ограничением в направлении движения; е, м - с ограничением движения на заданную величину (е - на 40 мм, м - на 45°)

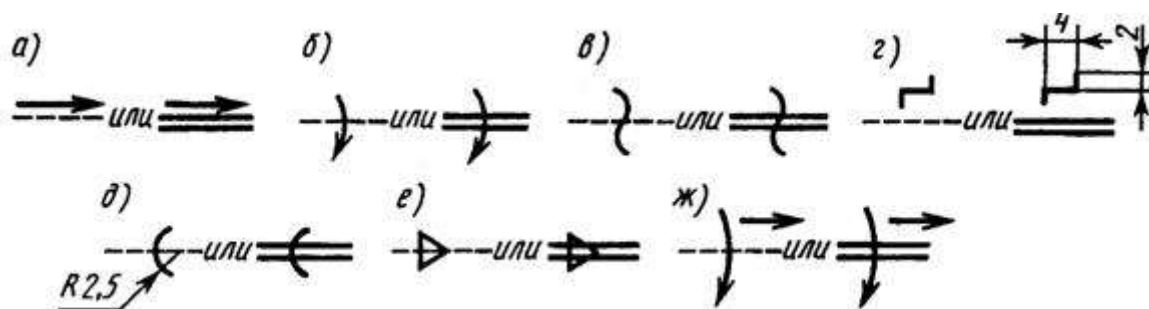


Рис.1.6 Линии механической связи в схемах:

гидравлических и пневматических (а), в электрических (б - ж), с эластичным элементом (в); разветвления под углом 90° (г), 45° (д), пересечения под углом 90° (е), 45° (ж)

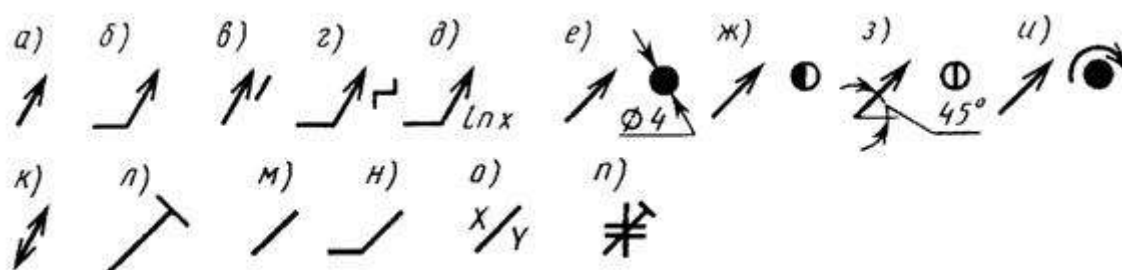


Рис.1.7 Линии механической связи:

а, б, ж - передающие движение в направлении, указанном стрелками; прямолинейное (а), вращательное (б), винтовое (ж); в -срабатывающей периодически; г - со ступенчатым движением; е - имеющей выдержку во времени; ж - с автоматическим возвратом до состояния покоя после исчезновения приводящей силы (возврат в направлении стрелки)

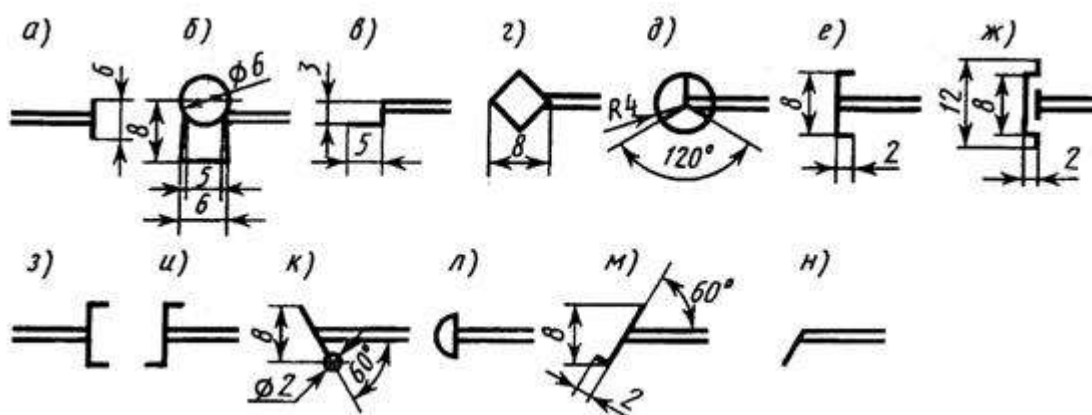


Рис.1.8 Регулирование задействованием органов управления (а-и)

автоматическое (к), подстроечное (л); саморегулирование, вызванное физическими процессами или величинами (м, н); функция преобразования, например аналого-цифрового (о); пример конденсатора с подстроечным регулированием (п); линейное (а, м), нелинейное (б, н), плавное (в),

ступенчатое (г); функциональная зависимость регулирования, например логарифмическая (д); способы: е - ручкой, выведенной наружу; ж, з инструментом (ж - элемент регулирования снаружи, з - внутри устройства); и - ручкой с указанием стрелкой направления движения, при котором регулируемая величина увеличивается

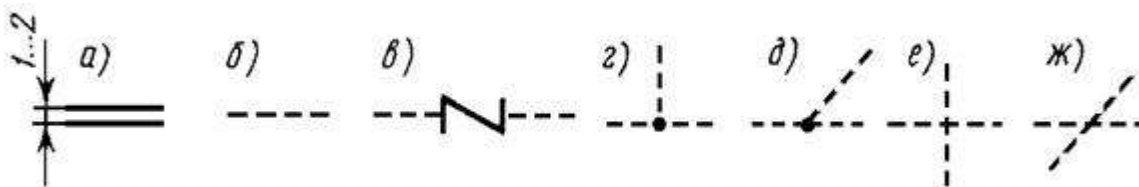


Рис.1.9 Привод ручной:

а - общее обозначение; приводимый в движение: б - ключом; в, г - рукояткой несъемной (в), съемной (г); д - маховичком; е-и - кнопкой: нажатием (е), нажатием кнопки с ограниченным доступом (ж), вытягиванием (з), поворотом (и); к - рычагом; л - аварийного срабатывания; м - привод ножной, н - привод другими частями тела

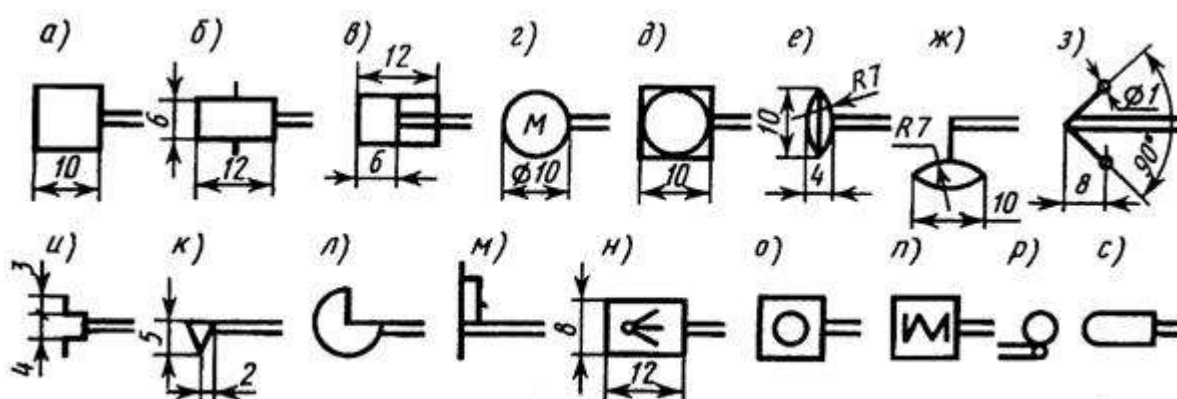


Рис.1.10 Приводы:

а - аккумулятор механической энергии (общее обозначение); б - электромагнитный; в - пневматический или гидравлический; г - электромашинный; д - тепловой; е - мембранный; ж - поплавковый; з - центробежный; и - с помощью биметалла; к - струйный; л - кулачковый; м - линейкой (рейкой); н - пиропатрон; о, н - механической пружиной; р - шестеренчатый, с - щупом или прижимной планкой

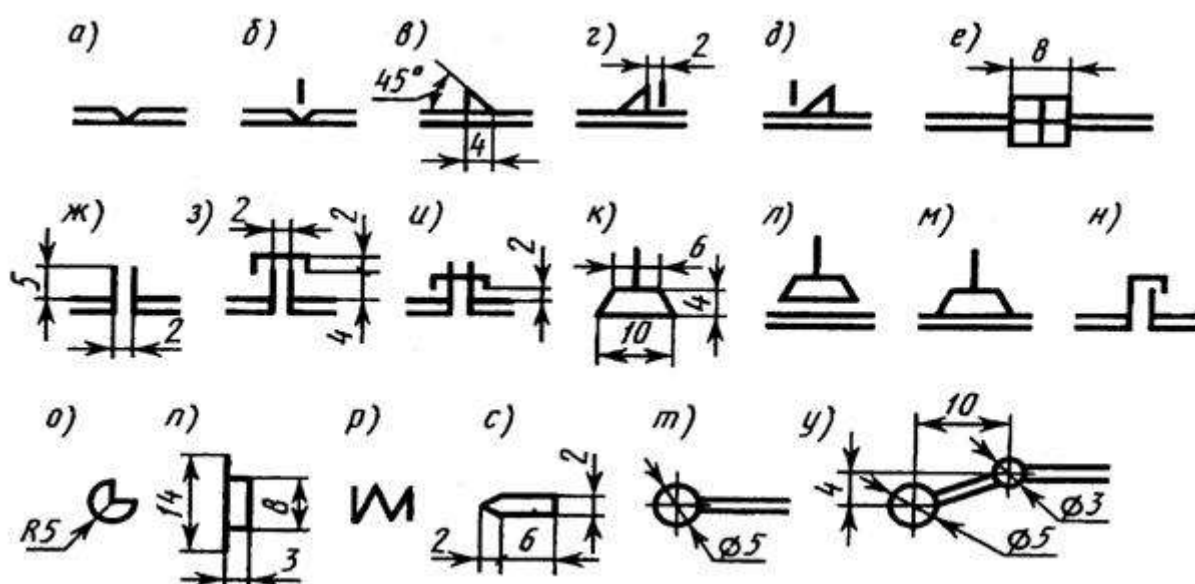


Рис.1.11 - Управляющие устройства:

а, б - фиксирующий механизм (б - в положении фиксации); в-д - механизм с защелкой (г - препятствующей движению вправо, д - в нефиксированном положении); е - механизм свободного расцепления; ж-и - муфта (з - выключенная, и - включенная); к-м - тормоз (л - в отпущенном состоянии, м - в состоянии торможения); н - поводок; о - кулак; п - линейка (рейка); р - пружина; с - толкатель; т - ролик; у - ролик, срабатывающий в одном направлении; а, в, ж, к - общее обозначение

Общие элементы условных графических обозначений, линии для выделения или разделения частей схемы и экранирования показаны на рисунке 1.12. Установленные стандартом размеры обозначений нанесены на соответствующих рисунках. Применение обозначений элементов регулирования по рисунку 1.8 предусматривает пересечение с условным графическим обозначением самого элемента (рисунок 1.8, п).

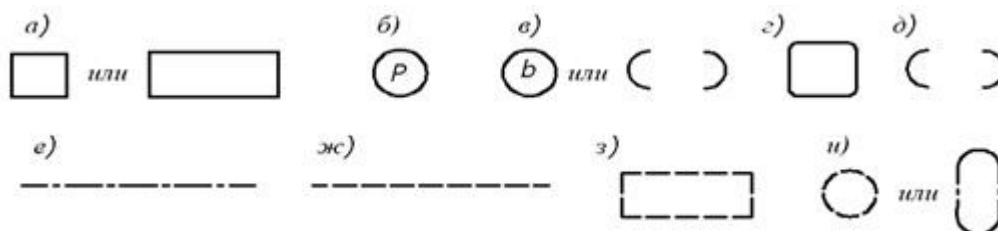


Рис.1.12 - Прибор или устройство (а, б);

баллон электровакуумного полупроводникового прибора (в, г); комбинированные электровакуумные приборы при раздельном изображении систем электродов (д); линия для выделения устройств, функциональных групп, частей схемы (е); экранирование (ж); экранирование группы элементов (з); линии электрической связи (и)

Кроме перечисленных, стандарт 2.721-74 содержит также следующие обозначения: заземления и возможных повреждений изоляции;

электрических связей, проводов, кабелей, шин; рода тока и напряжения; видов обмоток в электротехнических изделиях; форм импульсов, сигналов; видов модуляции; появления реакций при достижении определенных величин; веществ (сред); воздействий, эффектов, зависимостей; прочих квалифицирующих символов, выполняемых на алфавитно-цифровых печатающих устройствах.

При выполнении схем применяют следующие обозначения:

а) условные графические обозначения, установленные в стандартах ЕСКД, а также построенные на их основе;

б) прямоугольники;

в) упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические).

При необходимости применяют нестандартизованные условные графические обозначения. При применении нестандартизованных условных графических обозначений и упрощенных очертаний на схеме приводят соответствующие пояснения.

Условные графические обозначения, для которых установлено несколько допустимых (альтернативных) вариантов выполнения, различающихся геометрической формой или степенью детализации, следует применять, исходя из вида и типа разрабатываемой схемы в зависимости от информации, которую необходимо передать на схеме графическими средствами. При этом на всех схемах одного типа, входящих в комплект документации, должен быть применен один выбранный вариант обозначения.

Условные графические обозначения элементов, размеры которых в указанных стандартах не установлены, должны изображать на схеме в размерах, в которых они выполнены в соответствующих стандартах на условные графические обозначения. Допускается:

- пропорционально уменьшать все обозначения, сохраняя четкость схемы;
- увеличивать условные графические обозначения при вписывании в них поясняющих знаков;
- уменьшать условные графические обозначения, если они используются как составные части обозначений других элементов, например, резистор в ромбической антенне;
- поворачивать условное графическое обозначение на угол, кратный 45° , по сравнению с изображением, приведенным в стандарте, или изображать зеркально повернутым (с буквенно-цифровыми обозначениями допускается разворачивать УГО против часовой стрелки только на 45° или 90°).

Расстояние между отдельными графическими обозначениями не должно быть менее 2мм.

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. В общем случае толщина линий связи и графических обозначений одинакова (рекомендуется от 0,3 до 0,4мм). Линии связи должны состоять из горизонтальных и

вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений. Расстояние между линиями связи должно быть не менее 3 мм. Если линии связи затрудняют чтение схемы, их можно оборвать, закончив стрелкой, и указать обозначение или наименование, присвоенное этой линии (например, номер провода, наименование сигнала, номер трубопровода, условное обозначение буквой, цифрой).

1.3 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Использование компьютеров коренным образом изменило технологию письма, издательского дела. Стремление упростить работу с разными текстами привело к созданию прикладного программного обеспечения, ориентированного на решение этих задач. Различают две основные группы программ подготовки текстовых документов: текстовые редакторы и текстовые процессоры. *Текстовыми редакторами* называют программы, создающие текстовые файлы без элементов форматирования. Редакторы такого рода незаменимы при создании текстов компьютерных программ, они понятны и просты в использовании. Примером редактора неформатированных текстов является редактор Блокнот (NotePad) операционной системы Windows [8].

Текстовые процессоры позволяют форматировать текст, вставлять в документ графику и другие объекты. Примером текстового процессора является MS Word (OC Windows). Большинство современных текстовых редакторов основаны на технологии WYSIWYG (What You See Is What You Get – то, что ты видишь на экране, есть то, что ты получишь), т.е. гарантируют соответствие внешнего вида документа на экране и его бумажной копии [8].

К основным возможностям текстовых процессоров можно отнести следующие операции, составляющие основу технологии работы с текстами:

- создание документа;
- редактирование документа (перемещение по тексту; вставка и замена символов; удаление, перемещение, копирование, поиск и замена фрагментов текста; отмена команд; обмен фрагментами между различными документами);
- сохранение документов во внешней памяти (на дисках) и чтение из внешней памяти в оперативную;
- форматирование документов, т.е. выполнение преобразований, изменяющих внешний вид документа (оформление отдельных символов, абзацев, страниц документа в целом – изменение длины строки, междустрочного расстояния, выравнивания текста, изменение типа и размера шрифта и т.д.);
- печать документов;
- автоматическое составление оглавлений и указателей в документе;
- создание и форматирование таблиц;

- внедрение в документ рисунков, формул и др.;
- проверка пунктуации и орфографии.

Современный объектно-ориентированный подход позволяет реализовать механизмы встраивания и внедрения объектов – OLE-технологии (Object Linking and Embedding). Эта технология позволяет копировать и вставлять объекты из одного приложения в другое. Например, в текстовый документ, созданный в приложении MS Word можно встроить изображения, анимацию, звук и даже видеофрагменты и таким образом из обычного документа получить мультимедийный документ[8].

Мультимедиа-технологии

Мультимедиа-технология позволяет одновременно использовать различные способы представления информации: числа, текст, графику, анимацию, видео и звук.

Важной особенностью мультимедиа-технологии является возможность создания интерактивных документов. Графический интерфейс мультимедийных проектов обычно содержит различные управляющие элементы (кнопки перехода, текстовые окна, полосы прокрутки, списки выбора и др.) [8].

Одним из типов мультимедийных приложений являются компьютерные презентации. Презентация представляет собой последовательность слайдов, содержащих мультимедийные объекты: числа, текст, графику, анимацию, видео и звук.

Публикации во Всемирной паутине реализуются в форме мультимедийных Web-сайтов, которые, кроме текста, могут включать в себя иллюстрации, анимацию, звуковую и видеоинформацию.

AutoCAD

Программный пакет AutoCAD был и остается основным продуктом компании Autodesk. В момент своего появления AutoCAD представлял собой прикладную систему автоматизации чертежно-графических работ, позволяющую разрабатывать двумерные плоские чертежи, моделировать сложные объемные и каркасные конструкции, используемые в самых различных областях науки, техники, искусства и многих других сферах человеческой деятельности. Название системы образовано от английского словосочетания “Automated Computer Aided Drafting and Design”, что в переводе с английского означает “Автоматизированное черчение и проектирование с помощью ЭВМ” и является эквивалентом понятия “программная система автоматизированного проектирования”[9].

Кроме автоматизации собственно чертежно-графических работ, AutoCAD с его расширениями (AutoSolid, AutoFlix, 3D-STUDIO и др.) представляет следующие возможности:

1. Создание и ведение архива чертежей.
2. Создание и ведение библиотек стандартных элементов чертежей.
3. Графическое моделирование.

AutoCAD обладает еще одним и большим достоинством – наличием встроенного языка программирования – Автолисп. Будучи частью AutoCADa

(в дальнейшем – ACAD), Автолисп позволяет оперировать с переменными различных типов и предавать их значения командам ACADa при вводе данных, выполнять различные арифметические и условные операции над числовыми значениями и значениями определенных переменных [9].

Применение системы позволяет автоматизировать самую трудоемкую часть работы – на разработку и оформление чертежей приходится около 70% от общих трудозатрат проектной работы, 15% - на организацию и ведение архива, и 15% - собственно на проектирование, включающее в себя разработку конструкции, расчеты [9].

AutoCad является в настоящее время лидером среди графических программных продуктов. AutoCad использует универсальность и гибкость операционной системы Windows. По умолчанию AutoCad предлагает при сохранении файла расширение .dwg. Последующие сохранения этого же чертежа в процессе работы постоянно обновляют на жестком диске этот файл, а предыдущей версии чертежа присваивается расширение .bak.

Окно AutoCad содержит: меню, панели инструментов, графическую область, командную и статусную строки

Рабочее окно графического редактора

- Заголовок окна
- Падающее меню
- Панели инструментов – набор кнопок с пиктограммами (можно перемещать по усмотрению)
- Графическое поле – часть экрана для графических построений.
- Командная строка – ввод команд и ведение диалога AutoCad
- Строка состояния – координаты курсора и кнопки вкл.-выкл. режимов черчения.

Падающее меню:

- Файл - работа с файлами,
- Правка - редактирование частей графического поля.
- Вид - работа с изображениями, масштабирование, панорамирование, точки зрения, и т.п.
- Вставка [Слияние] – работа с блоками и т.п.
- Формат – работа со слоями, цветом, типом линий, стилями текста и т.п.
- Сервис [Инструменты] - настройки рабочей среды AutoCad
- Рисование [Черчение] – собственно черчение.
- Размеры - простановка размеров, параметры управления размерами.
- Редактирование [Изменить] – редактирование элементов чертежа.
- Окно – Фиксация панелей инструментов и т.п.
- Справка [Помощь] – справочник по AutoCad 14 [2000...]

Управление командами осуществляется при помощи одного из трех средств: команд меню, кнопок на панелях инструментов или команд с клавиатуры. Для управления командами служат также контекстные меню. Они отображают наиболее часто используемые команды, относящиеся к

выделенным объектам. Чтобы вызвать контекстное меню, следует сделать щелчок правой клавишей мыши [9].

Способы задания команд. - Пад. меню, панель инструм. Подсказка Command. Ответ на запросы.

Способы завершения команд. - Завершение - Enter. Аварийное – Esq.

Отмена выполнения операции. - Падающ. Меню, Правка. Отменить

Изменение режимов.

F2 – Переключение режима: текстовый- графический

F6 – Перекл. реж. отображения в строке состояния текущ. координат

F7 – Видимость сетки, F8 – ОРТО, F9 – Шаговая привязка

Esc – Выход из экранного меню или отказ от выбора точки.

Настройка рабочего поля - из диал. окна Установки[Опции] в меню Сервис[Инструменты]

Подменю: Общие[Файл]- Автосохранение, создавать резервные копии и т.п.

Экран - Цвета (фона графического редактора, текста и т.п.), Шрифты

После выбора установок Применить и ОК.

Настройка панелей на экране - нужные на данный момент панели могут быть вызваны на экран при помощи диалогового окна Панели [Панели инструментов] в меню Вид или через контекстное меню, вызываемого щелчком правой клавиши мыши при подведении курсора мыши к любой из представленных на экране панелей [9].

Как минимум должны быть панели: Свойства объектов, Стандартная, Объектная привязка,

Рисование, Редактирование[Изменить], Справка.

Желательны Всплывающие подсказки

Запуск системы. Стартовое окно. Мастер[Волшебник] шаблонов.

Вызвать мастера(волшебника), По шаблону Без шаблона, Старый созданный. (Acad.dwt) (Быстрая и расширенная настройка)

а. Создание, загрузка нового чертежа.

После запуска AutoCad вызывается диалоговое окно «создание нового рисунка», оказывающее помощь в выполнении начальных установок. Чтобы быстро приступить к созданию нового чертежа, используя заданные по умолчанию автоматические установки необходимо выбрать кнопку «без шаблона» [9].

При необходимости создания нового файла необходимо использовать:

- команду клавиатуры New;
- команду Новый из меню Файл;
- соответствующую кнопку на панели инструментов «Стандартная». [9]

б. Загрузка существующего чертежа.

- с помощью команд Open с клавиатуры;
- командой Открыть из меню Файл;
- соответствующей кнопкой на панели инструментов «Стандартная».

[9]

с. Сохранение чертежа.

- командой с клавиатуры Save;
- соответствующей кнопкой на панели инструментов «Стандартная

Если необходимо сохранить рисунок, который не имел имени или создать копию чертежа с новым именем необходимо активизировать:

- команду с клавиатуры Save As;
- команду Сохранить как... из меню Файл;

AutoCad сам автоматически сохраняет чертеж через заданные командой с клавиатуры Save Time интервалы времени(мин). [9]

д. Завершение работы.

- командой *QUIT* с клавиатуры;
- командой *Выход* из меню Файл;
- соответствующей кнопкой на панели инструментов «Стандартная

P.S.

При запуске AutoCad 2007-2011 нас встречает стартовое окно, предлагающее выбрать рабочее пространство более подходящее для наших задач: Классический вариант AutoCa.

3D моделирование и др. Предпочтение отдается 3-хмерному моделированию, которое по умолчанию загружается первым. Однако начинающим следует начать с Классического AutoCad. [9]

Общие сведения о программе Компас

Компас – это название продукта семейства, *САПР* которые служат для построения и оформления проектной и конструкторской документации в соответствии с требованиями *ЕСКД* и *СПДС*.

Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трехмерных моделей, в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом. *Программа* может предоставлять возможность ассоциированной связи модели с *чертежами*, то есть при изменении модели автоматически происходят изменения и на чертеже. *Программа* очень полезна и получила широкое применение при составлении руководств по эксплуатации к тем или иным видам продукции, при составлении проектной документации на те или иные виды *работ* [7].

Программа "Компас" является продуктом компании "Аскон", а само название "*Компас*" является акронимом от фразы "комплекс автоматизированных систем", в торговых марках получило написание заглавными буквами "КОМПАС".

Данная *программа* очень уверенно "чувствует себя" на рынке *САПР* постсоветского пространства, это объясняется рядом причин:

- интерфейс полностью русифицирован;
- построение всех *чертежей* и оформление документации ведется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкторской документации;
- интерфейс интуитивен и прост для начинающего пользователя;

- те возможности, которые предлагаются ничем не уступают заграничным аналогам типа AutoCAD, Solid Works и др., при этом в отличие от перечисленных продуктов она имеется в свободном доступе;
- возможность участвовать в развитие данного программного обеспечения, что также интересно;

Отправной точкой в своем развитие и *представление* как уже готовый *программный продукт* можно считать 1989 год, когда появилась первая версия программы "Компас 1.0", но для нас обычных пользователей интерес представляет другая дата 1997 год именно в этом году вышла первая версия под *Windows* – "Компас 5.0". Уже в 2000 году был выпущен "Компас 5.10", а в 2003 – "Компас 6.0", 2004 – "Компас 7.0", 2007 – "Компас 8.0". Далее обновления стали следовать с периодичностью раз в год. Мы с вами будем пользоваться последней версией программы состоянием на 2014 год – "Компас 15" которая вышла 17 марта 2014 года [7].

Основные продукты семейства КОМПАС служат для предоставления и работы с графическими объектами – *чертежами*, а также с твердотельными моделями. Основные продукты семейства можно разделить условно на те, которые служат для создания *чертежей* и на те, которые служат как для создания *чертежей*, так и для создания моделей, так же можно классифицировать на платные и бесплатные версии [7].

К графическим продуктам следует отнести: "Компас График", "Компас СПДС", "Компас 3D", "Компас 3D Home", "Компас 3D LT". Все они служат для создания *чертежей*, спецификаций и прочей документации. "Компас График" выпускается двух конфигураций, может служить и как только *программа* для создания *чертежей*, так и *программа* для создания *чертежей* и 3D моделей.

К продуктам служащим для создания твердотельных моделей можно отнести "Компас 3D", "Компас 3D Home", "Компас 3D LT".

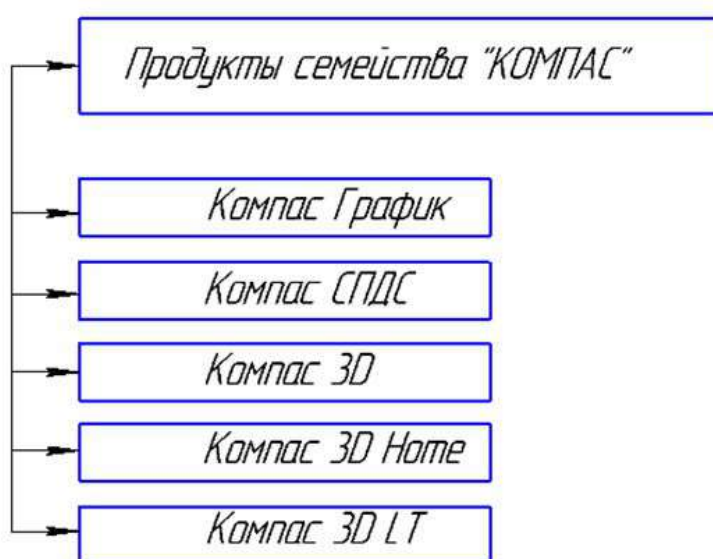


Рис.1.13 Основные продукты семейства КОМПАС

На рис.1.13 показаны основные продукты семейства КОМПАС. Ниже дадим их классификацию.

Компас *График* – универсальная система автоматизированного проектирования. Предлагает широкие возможности автоматизированного проектирования *работ* различного профиля. Система решает задачи 2D проектирования и выполнения документации. Все средства программы направлены на создание высококачественных *чертежей*, схем, спецификаций, пояснительных, расчетных записок, технических условий и инструкций [9].

Преимущество данного продукта состоит в том, что имеется более 50 стилей оформления документации, возможность оформлять документацию на *основание* потребностей организации, имеется возможность последующей конвертации *чертежей* в форматы, читаемые и другими программными средствами, то есть проектировщику не следует ориентироваться на заказчика и думать о том какой у него установлен *графический редактор*.

Возможности программы Компас – *График*:

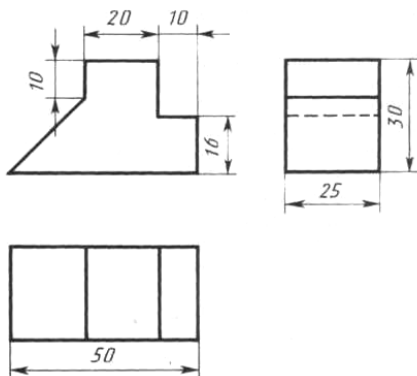
- много документальный режим работы с графической информацией;
- поддержка много листового *чертежа*;
- возможность коллективной работы над *чертежом*;
- различные и удобные способы создания *чертежей*;
- интеллектуальные режимы привязок;
- любые стили линий, штриховок, оформления текста;
- средства создания параметрических элементов;
- возможность создания каталогов типовых элементов;
- встроенный табличный редактор;
- имеется возможность расчета валов и передач;

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. Привести примеры нормативных документов (стандартов, правил, рекомендаций и т.д.) Указать характер их требований: обязательный, рекомендательный.

2. Приведите несколько названий основополагающих стандартов из числа стандартов СТ РК, укажите область их применения.

3. Выполнить построение детали, три вида которой приведены на рисунке



4. Построить аксонометрическую проекцию усечённых конуса и пирамиды.
5. Создайте деловой документ в редакторе MS Word

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Назовите методы стандартизации и объясните суть каждого метода.
2. Дайте определение сертификации и подтверждения соответствия.
3. Какие органы составляют организационную основу сертификации, и каковы их функции?
4. Какими линиями выполняют вспомогательные построения?
5. С чего начинается геометрическое построение?
6. Что называется графическим построением?
7. При помощи, каких инструментов находится центр окружности или дуги?
8. Дайте определение СУБД.
9. Охарактеризуйте основные информационно-логические модели баз данных.
10. Перечислите возможности, достоинства и недостатки MS Access

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Данный модуль даёт возможность получить навыки и знания, необходимые для выполнения разработки, оформления и чтения конструкторской и технологической документации, даёт возможность получить навыки и знания, необходимые, для понимания её роли и основных положений в области стандартизации.

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают: роль и значение стандартизации, основные вопросы взаимозаменяемости и технических измерений, стандарты, регламентирующие допуски и посадки для различных соединений, устройство универсальных средств измерений, их эксплуатацию, методику и порядок выбора, организацию и порядок поверки средств измерений.

При изучении модуля обучающиеся учатся выполнять чертежи деталей, чертежи общего вида по эскизам и копиям, использовать пакеты прикладных программ для разработки конструкторской и технологической документации с применением информационных технологии, выполненных на основе требований Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системы технологической документации (ЕСТД), пользоваться стандартами, регламентирующими правила оформления конструкторской и технической документации, выбирать средства измерения и контроля и пользоваться ими.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы стандартизации, метрологии, сертификации и менеджмента качества. Учебное пособие. – Алматы: Казахстанская ассоциация маркетинга, 2003.
2. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации. метрологии: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999
3. Лифиц И.М. Основы стандартизации, сертификации. метрологии: Учебник. - 2-е изд., испр. и доп. – М. Юрайт-М, 2001
4. Бродский А.М., Фазлулин З.М., Халдинов В.А. Инженерная графика. – М.: ОИЦ Академия, 2012
5. Березина, Н.А. Инженерная графика (для спо) / Н.А. Березина. - М.: КноРус, 2015
6. Елкин, В.В. Инженерная графика: Учебник / В.В. Елкин, В.Т. Тозик. - М.: Academia, 2018
7. Корнеев В., Жарков Н., Минеев М., Финков М. «Компас-3D на примерах. Для студентов, инженеров и не только...» Наука и Техника (НиТ), 2017 год
8. Киселев Г.М., Бочкова Р.В. Информационные технологии в педагогическом образовании. – М., 2012
9. А.Орлов. Видеосамоучитель AutoCAD 2008. СПб. Питер. 2007.

РАЗДЕЛ 2. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

- Знать, уметь и иметь практические навыки в расчетах электрических цепей и электронных устройств.
- Классифицировать средства измерений электрических величин, электронных устройств по назначению, по режимам работы, по свойствам проводимости, по способам соединения, по критериям эффективности, по их назначению, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическим признакам, роду рабочей среды и т.д.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер с необходимым стандартным программным обеспечением и установленными программными обеспечениями ElectronicWorkBench, multisim, matcad, matlab.
2. Измерительные приборы: вольтметр, амперметр, мультиметр и т.д.

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки для выполнения измерений параметров электрической цепи, определения потери напряжения и мощности, расчет параметров и элементов электрических и электронных устройств.

2.1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

2.1.1 Электростатика

Электрический заряд и его свойства

Электрический заряд – это физическая величина, характеризующая способность частиц или тел вступать в электромагнитные взаимодействия. Электрический заряд обычно обозначается буквами q или Q . В системе СИ электрический заряд измеряется в Кулонах (Кл). Свободный заряд в 1 Кл – это гигантская величина заряда, практически не встречающаяся в природе. Как правило, Вам придется иметь дело с микрокулонами ($1\text{мкКл}=10^{-6}\text{Кл}$), нанокулонами ($1\text{нКл}=10^{-9}\text{Кл}$) и пикокулонами ($1\text{пКл}=10^{-12}\text{Кл}$). Электрический заряд обладает следующими свойствами [1]:

1. Электрический заряд является видом материи.
2. Электрический заряд не зависит от движения частицы и от ее скорости.

3. Заряды могут передаваться (например, при непосредственном контакте) от одного тела к другому. В отличие от массы тела электрический заряд не является неотъемлемой характеристикой данного тела. Одно и то же тело в разных условиях может иметь разный заряд.

4. Существует два рода электрических зарядов, условно названных положительными и отрицательными.

5. Все заряды взаимодействуют друг с другом. При этом одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются. Силы взаимодействия зарядов являются центральными, то есть лежат на прямой, соединяющей центры зарядов.

6. Существует минимально возможный (по модулю) электрический заряд, называемый элементарным зарядом. Его значение:

$$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \quad (2.1)$$

Электрический заряд любого тела всегда кратен элементарному заряду:

$$q = Ne \quad (2.2)$$

где: N – целое число. Обратите внимание, невозможно существование заряда, равного $0,5e$; $1,7e$; $22,7e$ и так далее. Физические величины, которые могут принимать только дискретный (непрерывный), ряд значений, называются квантованными. Элементарный заряд e является квантом (наименьшей порцией) электрического заряда.

7. Закон сохранения электрического заряда. В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const} \quad (2.3)$$

Закон сохранения электрического заряда утверждает, что в замкнутой системе тел не могут наблюдаться процессы рождения или исчезновения зарядов только одного знака. Из закона сохранения заряда так же следует, если два тела одного размера и формы, обладающие зарядами q_1 и q_2 (совершенно не важно какого знака заряды), привести в соприкосновение, а затем обратно развести, то заряд каждого из тел станет равным:

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} \quad (2.4)$$

С современной точки зрения, носителями зарядов являются элементарные частицы. Все обычные тела состоят из атомов, в состав которых входят положительно заряженные протоны, отрицательно заряженные электроны и нейтральные частицы – нейтроны. Протоны и нейтроны входят в состав атомных ядер, электроны образуют электронную оболочку атомов. Электрические заряды протона и электрона по модулю в точности одинаковы и равны элементарному (то есть минимально возможному) заряду e [1].

В нейтральном атоме число протонов в ядре равно числу электронов в оболочке. Это число называется атомным номером. Атом данного вещества может потерять один или несколько электронов, или приобрести лишний электрон. В этих случаях нейтральный атом превращается в положительно или отрицательно заряженный ион. Обратите внимание, что положительные протоны входят в состав ядра атома, поэтому их число может изменяться

только при ядерных реакциях. Очевидно, что при электризации тел ядерных реакций не происходит. Поэтому в любых электрических явлениях число протонов не меняется, изменяется только число электронов. Так, сообщение телу отрицательного заряда означает передачу ему лишних электронов. А сообщение положительного заряда, вопреки частой ошибке, означает не добавление протонов, а отнимание электронов. Заряд может передаваться от одного тела к другому только порциями, содержащими целое число электронов.[1]

Иногда в задачах электрический заряд распределен по некоторому телу. Для описания этого распределения вводятся следующие величины:

1. Линейная плотность заряда. Используется для описания распределения заряда по нити:

$$\lambda = \frac{q}{L} \quad (2.5)$$

где: L – длина нити. Измеряется в Кл/м.

2. Поверхностная плотность заряда. Используется для описания распределения заряда по поверхности тела:

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad (2.6)$$

где: S – площадь поверхности тела. Измеряется в Кл/м².

3. Объемная плотность заряда. Используется для описания распределения заряда по объему тела:

$$\rho = \frac{q}{V} \quad (2.7)$$

где: V – объем тела. Измеряется в Кл/м³.

Обратите внимание на то, что масса электрона равна:

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг.} \quad (2.8)$$

Закон Кулона

Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь. На основании многочисленных опытов Кулон установил следующий закон [3]:

Силы взаимодействия неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2} \quad (2.9)$$

где: ε – диэлектрическая проницаемость среды – безразмерная физическая величина, показывающая, во сколько раз сила электростатического взаимодействия в данной среде будет меньше, чем в вакууме (то есть во сколько раз среда ослабляет взаимодействие). Здесь k – коэффициент в законе Кулона, величина, определяющая численное значение силы взаимодействия зарядов. В системе СИ его значение принимается равным:

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф} \quad (2.10)$$

Силы взаимодействия точечных неподвижных зарядов подчиняются третьему закону Ньютона, и являются силами отталкивания друг от друга

при одинаковых знаках зарядов и силами притяжения друг к другу при разных знаках. Взаимодействие неподвижных электрических зарядов называют электростатическим или кулоновским взаимодействием. Раздел электродинамики, изучающий кулоновское взаимодействие, называют электростатикой.

Закон Кулона справедлив для точечных заряженных тел, равномерно заряженных сфер и шаров. В этом случае за расстояния r берут расстояние между центрами сфер или шаров. На практике закон Кулона хорошо выполняется, если размеры заряженных тел много меньше расстояния между ними. Коэффициент k в системе СИ иногда записывают в виде:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{Ф}} \quad (2.11)$$

где: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Опыт показывает, что силы кулоновского взаимодействия подчиняются принципу суперпозиции: если заряженное тело взаимодействует одновременно с несколькими заряженными телами, то результирующая сила, действующая на данное тело, равна векторной сумме сил, действующих на это тело со стороны всех других заряженных тел.[3]

Запомните также два важных определения:

Проводники – вещества, содержащие свободные носители электрического заряда. Внутри проводника возможно свободное движение электронов – носителей заряда (по проводникам может протекать электрический ток). К проводникам относятся металлы, растворы и расплавы электролитов, ионизированные газы, плазма.

Диэлектрики (изоляторы) – вещества, в которых нет свободных носителей заряда. Свободное движение электронов внутри диэлектриков невозможно (по ним не может протекать электрический ток). Именно диэлектрики обладают некоторой не равной единице диэлектрической проницаемостью ϵ .

Для диэлектрической проницаемости вещества верно следующее (о том, что такое электрическое поле чуть ниже):

$$\epsilon = \frac{E_{\text{в вакууме}}}{E_{\text{в веществе}}} \quad (2.12)$$

Электрическое поле и его напряженность

По современным представлениям, электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно. Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве электрическое поле. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела.[2]

Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью, так называемого пробного заряда – небольшого по величине точечного заряда, который не вносит заметного перераспределения

исследуемых зарядов. Для количественного определения электрического поля вводится силовая характеристика - напряженность электрического поля E .

Напряженностью электрического поля называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на пробный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2.13)$$

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.14)$$

Напряженность электрического поля – векторная физическая величина. Направление вектора напряженности совпадает в каждой точке пространства с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд. Электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем зарядов называется электростатическим.

Для наглядного представления электрического поля используют силовые линии. Эти линии проводятся так, чтобы направление вектора напряженности в каждой точке совпадало с направлением касательной к силовой линии. Силовые линии обладают следующими свойствами.

- Силовые линии электростатического поля никогда не пересекаются.
- Силовые линии электростатического поля всегда направлены от положительных зарядов к отрицательным.
- При изображении электрического поля с помощью силовых линий их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля.
- Силовые линии начинаются на положительном заряде или бесконечности, а заканчиваются на отрицательном или бесконечности. Густота линий тем больше, чем больше напряжённость.
- В данной точке пространства может проходить только одна силовая линия, т.к. напряжённость электрического поля в данной точке пространства задаётся однозначно.

Электрическое поле называют однородным, если вектор напряжённости одинаков во всех точках поля. Например, однородное поле создаёт плоский конденсатор – две пластины, заряженные равным по величине и противоположным по знаку зарядом, разделённые слоем диэлектрика, причём расстояние между пластинами много меньше размеров пластин.[2]

Во всех точках однородного поля на заряд q , внесённый в однородное поле с напряжённостью E , действует одинаковая по величине и направлению сила, равная $F = Eq$. Причём, если заряд q положительный, то направление силы совпадает с направлением вектора напряжённости, а если заряд отрицательный, то вектора силы и напряжённости противоположно направлены [4].

Силовые линии кулоновских полей положительных и отрицательных точечных зарядов изображены на рисунке:

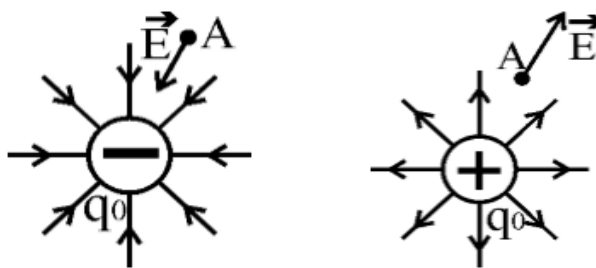


Рисунок 2.1. Силовые линии кулоновских полей

Принцип суперпозиции

Если с помощью пробного заряда исследуется электрическое поле, создаваемое несколькими заряженными телами, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих на пробный заряд со стороны каждого заряженного тела в отдельности. Следовательно, напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряжённостей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности [4]:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (2.15)$$

Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется принципу суперпозиции. В соответствии с законом Кулона, напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом Q на расстоянии r от него, равна по модулю:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{|Q|}{r^2} = \frac{k}{\epsilon} \frac{|Q|}{r^2} \quad (2.16)$$

Это поле называется кулоновским. В кулоновском поле направление вектора напряженности зависит от знака заряда Q : если $Q > 0$, то вектор напряженности направлен от заряда, если $Q < 0$, то вектор напряженности направлен к заряду. Величина напряжённости зависит от величины заряда, среды, в которой находится заряд, и уменьшается с увеличением расстояния [4].

Напряженность электрического поля, которую создает заряженная плоскость вблизи своей поверхности:

$$E = \frac{|\delta|}{2\epsilon\epsilon_0} \quad (2.17)$$

Потенциальная энергия взаимодействия зарядов

Электрические заряды взаимодействуют друг с другом и с электрическим полем. Любое взаимодействие описывает потенциальной энергией. Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных электрических зарядов рассчитывается по формуле:

$$W = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon R} \quad (2.18)$$

Обратите внимание на отсутствие модулей у зарядов. Для разноименных зарядов энергия взаимодействия имеет отрицательное значение. Такая же формула справедлива и для энергии взаимодействия равномерно заряженных сфер и шаров. Как обычно, в этом случае расстояние

г измеряется между центрами шаров или сфер. Если же зарядов не два, а больше, то энергию их взаимодействия следует считать так: разбить систему зарядов на все возможные пары, рассчитать энергию взаимодействия каждой пары и просуммировать все энергии для всех пар [4].

Задачи по данной теме решаются, как и задачи на закон сохранения механической энергии: сначала находится начальная энергия взаимодействия, потом конечная. Если в задаче просят найти работу по перемещению зарядов, то она будет равна разнице между начальной и конечной суммарной энергией взаимодействия зарядов. Энергия взаимодействия так же может переходить в кинетическую энергию или в другие виды энергии. Если тела находятся на очень большом расстоянии, то энергия их взаимодействия полагается равной 0 [4].

Обратите внимание: если в задаче требуется найти минимальное или максимальное расстояние между телами (частицами) при движении, то это условие выполнится в тот момент времени, когда частицы движутся в одну сторону с одинаковой скоростью. Поэтому решение надо начинать с записи закона сохранения импульса, из которого и находится эта одинаковая скорость. А далее следует писать закон сохранения энергии с учетом кинетической энергии частиц во втором случае.

Потенциал. Разность потенциалов. Напряжение

Электростатическое поле обладает важным свойством: работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую не зависит от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда [4].

Следствием независимости работы от формы траектории является следующее утверждение: работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой замкнутой траектории равна нулю.

Свойство потенциальности (независимости работы от формы траектории) электростатического поля позволяет ввести понятие потенциальной энергии заряда в электрическом поле. А физическую величину, равную отношению потенциальной энергии электрического заряда в электростатическом поле к величине этого заряда, называют потенциалом φ электрического поля:

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (2.19)$$

Потенциал φ является энергетической характеристикой электростатического поля. В Международной системе единиц (СИ) единицей потенциала (а значит и разности потенциалов, т.е. напряжения) является вольт [В] [5]. Потенциал – скалярная величина.

Во многих задачах электростатики при вычислении потенциалов за опорную точку, где значения потенциальной энергии и потенциала обращаются в ноль, удобно принять бесконечно удаленную точку. В этом случае понятие потенциала может быть определено следующим образом: потенциал поля в данной точке пространства равен работе, которую

совершают электрические силы при удалении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность.

Вспомнив формулу для потенциальной энергии взаимодействия двух точечных зарядов и разделив ее на величину одного из зарядов в соответствии с определением потенциала получим, что потенциал φ поля точечного заряда Q на расстоянии r от него относительно бесконечно удаленной точки вычисляется следующим образом:

$$\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon r} \quad (2.20)$$

Потенциал рассчитанный по этой формуле может быть положительным и отрицательным в зависимости от знака заряда создавшего его. Эта же формула выражает потенциал поля однородно заряженного шара (или сферы) при $r \geq R$ (снаружи от шара или сферы), где R – радиус шара, а расстояние r отсчитывается от центра шара [4].

Для наглядного представления электрического поля наряду с силовыми линиями используют эквипотенциальные поверхности. Поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения, называется эквипотенциальной поверхностью или поверхностью равного потенциала. Силовые линии электрического поля всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям. Эквипотенциальные поверхности кулоновского поля точечного заряда – концентрические сферы.

Электрическое напряжение это просто разность потенциалов, т.е. определение электрического напряжения может быть задано формулой [5]:

$$U = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.20)$$

В однородном электрическом поле существует связь между напряженностью поля и напряжением:

$$U = Ed \quad (2.21)$$

$$\Delta\varphi = E \cdot \Delta l \quad (2.22)$$

Работа электрического поля может быть вычислена как разность начальной и конечной потенциальной энергии системы зарядов:

$$A = W_1 - W_2 \quad (2.23)$$

Работа электрического поля в общем случае может быть вычислена также и по одной из формул:

$$A = qU = q \cdot \Delta\varphi = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (2.24)$$

В однородном поле при перемещении заряда вдоль его силовых линий работа поля может быть также рассчитана по следующей формуле:

$$A = qEd \quad (2.25)$$

В этих формулах:

- φ – потенциал электрического поля;
- $\Delta\varphi$ – разность потенциалов;
- W – потенциальная энергия заряда во внешнем электрическом поле;
- A – работа электрического поля по перемещению заряда (зарядов);
- q – заряд, который перемещают во внешнем электрическом поле;
- U – напряжение;
- E – напряженность электрического поля;

- d или Δl – расстояние, на которое перемещают заряд вдоль силовых линий.

Во всех предыдущих формулах речь шла именно о работе электростатического поля, но если в задаче говорится, что «работу надо совершить», или идет речь о «работе внешних сил», то эту работу следует считать так же, как и работу поля, но с противоположным знаком.

Принцип суперпозиции потенциала

Из принципа суперпозиции напряженностей полей, создаваемых электрическими зарядами, следует принцип суперпозиции для потенциалов (при этом знак потенциала поля зависит от знака заряда, создавшего поле) [5]:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n \quad (2.26)$$

Обратите внимание, насколько легче применять принцип суперпозиции потенциала, чем напряженности. Потенциал – скалярная величина, не имеющая направления. Складывать потенциалы – это просто суммировать численные значения.

Электрическая емкость. Плоский конденсатор

При сообщении проводнику заряда всегда существует некоторый предел, более которого зарядить тело не удастся. Для характеристики способности тела накапливать электрический заряд вводят понятие электрической емкости. Емкостью уединенного проводника называют отношение его заряда к потенциалу:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (2.27)$$

В системе СИ емкость измеряется в Фарадах [Ф]. 1 Фарад – чрезвычайно большая емкость. Для сравнения, емкость всего земного шара значительно меньше одного фарада. Емкость проводника не зависит ни от его заряда, ни от потенциала тела. Аналогично, плотность не зависит ни от массы, ни от объема тела. Емкость зависит лишь от формы тела, его размеров и свойств окружающей его среды.

Емкостью системы из двух проводников называется физическая величина, определяемая как отношение заряда q одного из проводников к разности потенциалов $\Delta\varphi$ между ними:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U} \quad (2.28)$$

Величина емкости проводников зависит от формы и размеров проводников и от свойств диэлектрика, разделяющего проводники. Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства. Такие системы называются конденсаторами, а проводники, составляющие конденсатор, называются обкладками.

Простейший конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется плоским. Электрическое поле плоского конденсатора в основном локализовано между пластинами.

Каждая из заряженных пластин плоского конденсатора создает вблизи своей поверхности электрическое поле, модуль напряженности которого выражается соотношением уже приводившимся выше. Тогда модуль напряженности итогового поля внутри конденсатора, создаваемого двумя пластинами, равен:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0} \quad (2.29)$$

За пределами конденсатора, электрические поля двух пластин направлены в разные стороны, и поэтому результирующее электростатическое поле $E = 0$. Емкость плоского конденсатора может быть рассчитана по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} \quad (2.30)$$

Таким образом, емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Если пространство между обкладками заполнено диэлектриком, емкость конденсатора увеличивается в ε раз. Обратите внимание, что S в этой формуле есть площадь только одной обкладки конденсатора. Когда в задаче говорят о «площади обкладок», то имеют в виду именно эту величину. На 2 умножать или делить её не надо никогда.

Еще раз приведем формулу для заряда конденсатора. Под зарядом конденсатора понимают только заряд его положительной обкладки:

$$q = CU \quad (2.31)$$

Сила притяжения пластин конденсатора. Сила, действующая на каждую обкладку, определяется не полным полем конденсатора, а полем, созданным противоположной обкладкой (сама на себя обкладка не действует). Напряженность этого поля равна половине напряженности полного поля, и сила взаимодействия пластин [5]:

$$F = \frac{qE}{2} \quad (2.32)$$

Энергия конденсатора. Ее же называют энергией электрического поля внутри конденсатора. Опыт показывает, что заряженный конденсатор содержит запас энергии. Энергия заряженного конденсатора равна работе внешних сил, которую необходимо затратить, чтобы зарядить конденсатор. Существует три эквивалентные формы записи формулы для энергии конденсатора (они следуют одна из другой если воспользоваться соотношением $q = CU$):

$$W_c = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} \quad (2.33)$$

Особое внимание обращайте на фразу: «Конденсатор подключён к источнику». Это означает, что напряжение на конденсаторе не изменяется. А фраза «Конденсатор зарядили и отключили от источника» означает, что заряд конденсатора не изменится [4].

Энергия электрического поля

Электрическую энергию следует рассматривать как потенциальную энергию, запасенную в заряженном конденсаторе. По современным представлениям, электрическая энергия конденсатора локализована в

пространстве между обкладками конденсатора, то есть в электрическом поле. Поэтому ее называют энергией электрического поля. Энергия заряженных тел сосредоточена в пространстве, в котором есть электрическое поле, т.е. можно говорить об энергии электрического поля. Например, у конденсатора энергия сосредоточена в пространстве между его обкладками. Таким образом, имеет смысл ввести новую физическую характеристику – объёмную плотность энергии электрического поля. На примере плоского конденсатора, можно получить такую формулу для объёмной плотности энергии (или энергии единицы объёма электрического поля):

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} \quad (2.34)$$

Соединения конденсаторов

Параллельное соединение конденсаторов – для увеличения ёмкости. Конденсаторы соединены одноименно заряженными обкладками, как бы увеличивая площадь одинаково заряженных пластин. Напряжение на всех конденсаторах одинаковое, общий заряд равен сумме зарядов каждого из конденсаторов, и общая ёмкость также равна сумме емкостей всех конденсаторов соединенных параллельно [5]. Выпишем формулы для параллельного соединения конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \quad (2.35)$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (2.36)$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2.37)$$

При последовательном соединении конденсаторов общая ёмкость батареи конденсаторов всегда меньше, чем ёмкость наименьшего конденсатора, входящего в батарею. Применяется последовательное соединение для увеличения напряжения пробоя конденсаторов. Выпишем формулы для последовательного соединения конденсаторов. Общая емкость последовательно соединенных конденсаторов находится из соотношения:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.38)$$

Из закона сохранения заряда следует, что заряды на соседних обкладках равны:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n \quad (2.39)$$

Напряжение равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах.

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (2.40)$$

Для двух последовательно соединённых конденсаторов формула выше даст нам следующее выражение для общей емкости:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2.41)$$

Для N одинаковых последовательно соединённых конденсаторов:

$$C = \frac{C_1}{N} \quad (2.42)$$

Проводящая сфера

Напряженность поля внутри заряженного проводника равна нулю. В противном случае на свободные заряды внутри проводника действовала бы электрическая сила, которая вынуждала бы эти заряды двигаться внутри

проводника. Это движение, в свою очередь, приводило бы к разогреванию заряженного проводника, чего на самом деле не происходит.

Факт того, что внутри проводника нет электрического поля можно понять и по-другому: если бы оно было то заряженные частицы опять таки двигались бы, причем они бы двигались именно так, чтобы свести это поле к нулю своим собственным полем, т.к. вообще-то двигаться им не хотелось бы, ведь всякая система стремится к равновесию. Рано или поздно все двигавшиеся заряды остановились бы именно в том месте, чтобы поле внутри проводника стало равно нулю [4].

На поверхности проводника напряжённость электрического поля максимальна. Величина напряжённости электрического поля заряженного шара за его пределами убывает по мере удаления от проводника и рассчитывается по формуле, аналогичной формулам для напряженности поля точечного заряда, в которой расстояния отсчитываются от центра шара [5].

Так как напряженность поля внутри заряженного проводника равна нулю, то потенциал во всех точках внутри и на поверхности проводника одинаков (только в этом случае разность потенциалов, а значит и напряжённость равна нулю). Потенциал внутри заряженного шара равен потенциалу на поверхности. Потенциал за пределами шара вычисляется по формуле, аналогичной формулам для потенциала точечного заряда, в которой расстояния отсчитываются от центра шара.

Электрическая емкость шара радиуса R :

$$\varphi = \frac{kq}{R} = \frac{q}{C} \rightarrow C = \frac{R}{k} = 4\pi\epsilon_0 R \quad (2.43)$$

Если шар окружен диэлектриком, то:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R \quad (2.44)$$

Свойства проводника в электрическом поле

1. Внутри проводника напряженность поля всегда равна нулю.
2. Потенциал внутри проводника во всех точках одинаков и равен потенциалу поверхности проводника. Когда в задаче говорят, что «проводник заряжен до потенциала ... В», то имеют в виду именно потенциал поверхности.
3. Снаружи от проводника вблизи от его поверхности напряженность поля всегда перпендикулярна поверхности.
4. Если проводнику сообщить заряд, то он весь распределится по очень тонкому слою вблизи поверхности проводника (обычно говорят, что весь заряд проводника распределяется на его поверхности). Это легко объясняется: дело в том, что сообщая заряд телу, мы передаем ему носители заряда одного знака, т.е. одноименные заряды, которые отталкиваются. А значит они будут стремиться разбежаться друг от друга на максимальное расстояние из всех возможных, т.е. скопятся у самых краев проводника. Как следствие, если из проводника удалить сердцевину, то его электростатические свойства никак не изменятся.

5. Снаружи проводника напряженность поля тем больше, чем кривее поверхность проводника. Максимальное значение напряженности достигается вблизи остриев и резких изломов поверхности проводника.

2.1.2 Цепи постоянного и переменного тока

Электрической цепью называется искусственно созданный путь для электрического тока. Пример электрической цепи дан на рисунке 2.2.

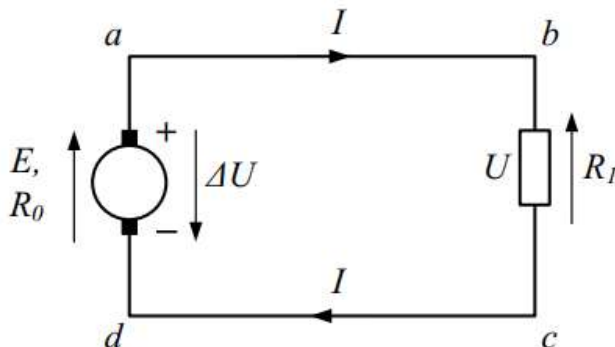


Рисунок 2.2. Принципиальная электрическая схема

Основное назначение электрической цепи – распределение и взаимное преобразование электрической и других видов энергии.

Электрическая цепь состоит из трех основных элементов:

- источника электрической энергии;
- приемника электрической энергии;
- соединительных проводов.

Рассмотрим каждый из этих элементов цепи подробнее.

Источники электрической энергии разнообразны: гальванические элементы, аккумуляторы, генераторы, термоэлектрические и солнечные батареи и т.д.

Они превращают химическую, механическую, тепловую, световую или энергию других видов в электрическую энергию.

На схемах источники энергии обозначаются так, как показано на рисунке 2.3.

Везде R_0 - внутреннее сопротивление источника энергии.

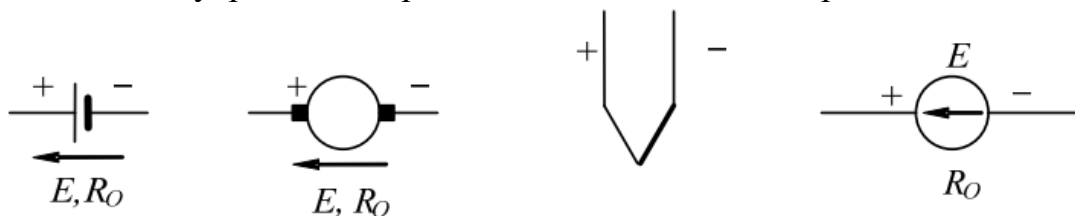


Рисунок 2.3. Условные обозначения источников

В элементах и аккумуляторах, внутреннее сопротивление – это сопротивление электролита и граничных слоев между электролитом и электродами, в генераторах – это сопротивление меди обмоток.

Основное назначение источника энергии - создать и постоянно поддерживать в цепи разность потенциалов, разность электрических

уровней; создать как бы электрический напор, под воздействием которого и образуется упорядоченное движение электрических зарядов, то есть ток. Принято зажим высшего потенциала источника обозначать знаком «+», а зажим низшего потенциала знаком «-».

Разность электрических потенциалов количественно определяется величиной, которая называется – электродвижущей силой или коротко ЭДС и обозначается на схемах буквой « E »

$$E = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.45)$$

где φ_1 - высший потенциал или уровень источника; φ_2 - низший потенциал источника.

Направление действия ЭДС обозначается стрелкой, направленной от низшего потенциала к высшему, то есть от «-» к «+».

Работа источника хорошо оценивается с помощью, так называемой внешней характеристики.

Внешней характеристикой называется функциональная зависимость напряжения на клеммах источника от величины тока, протекающего через источник.

Примерный вид внешних характеристик источников электрической энергии показан на рисунках 2.4 и 2.5.

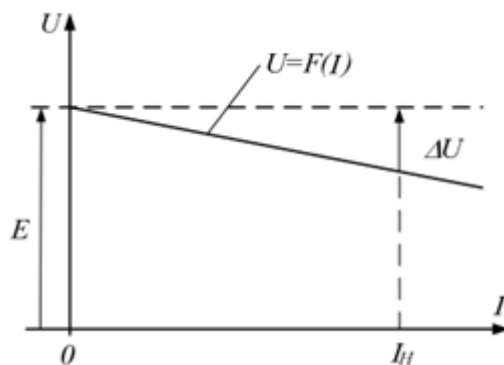


Рисунок 2.4. Внешняя характеристика источника напряжения

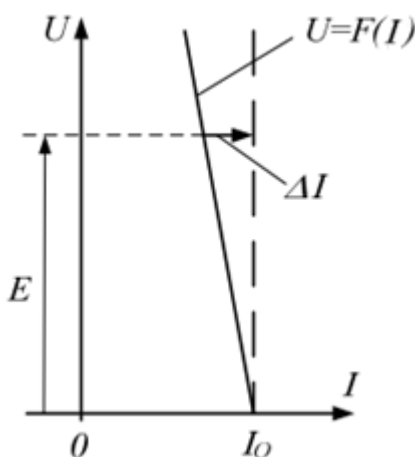


Рисунок 2.5. Внешняя характеристика источника тока

Из характеристики видно, что с увеличением тока напряжение на клеммах источника несколько уменьшается за счет потери напряжения на

внутреннем сопротивлении R_0 . В целом, же с ростом тока, напряжение на источнике остается более или менее постоянным.

Подобные характеристики имеют гальванические элементы, аккумуляторы, электромашинные генераторы постоянного тока, выпрямители.

На рисунке 2.5 приведена внешняя характеристика источника электрической энергии другого вида.

Здесь, ток вырабатываемый источником остается более или менее постоянным, при значительном изменении напряжения на клеммах источника.

Отличительная особенность таких источников – очень большая величина внутреннего сопротивления, значительно превышающая сопротивление приемника электрической энергии. Данные источники строят по специальным схемам и широко применяют в современной электронике.

Основные определения теории цепей постоянного тока

Цепью постоянного тока называется такая цепь, в которой ЭДС, токи и напряжения остаются постоянными по величине и не зависят от времени.

Цепи делятся на два больших класса:

- линейные;
- нелинейные.

Электрические цепи, содержащие только элементы с линейными вольтамперными характеристиками, называются линейными цепями. Электрические цепи, содержащие элементы с нелинейными характеристиками называются нелинейными цепями.

Строго говоря, любые цепи нелинейные, однако, если степень нелинейности мала, то ею пренебрегают и считают такую цепь линейной.

В дальнейшем мы будем рассматривать пока только линейные цепи, так как лишь они подчиняются закону Ома и могут рассчитываться аналитическими методами.

Режимы работы электрической цепи

Любая электрическая цепь состоит из двух участков:

1. внешний участок цепи, с сопротивлением R ;
2. внутренний участок цепи, имеющий сопротивление R_0 .

Внешним участком цепи или внешней цепью называют часть цепи, которая присоединяется извне к зажимам источника.

Внутренним участком цепи или внутренней цепью называют часть цепи, которая проходит внутри источника энергии между его зажимами через электролит или обмотки генератора.

Электрические цепи делятся на замкнутые и разомкнутые.

Замкнутая цепью – такая, в которой имеется непрерывный путь для тока, а общее сопротивление цепи меньше бесконечности,

$$R + R_0 < \infty \quad (2.46)$$

Разомкнутой цепью называют такую цепь, в которой путь для тока прерывается, а общее сопротивление равно бесконечности

$$R + R_0 = \infty \quad (2.47)$$

По закону Ома для полной цепи имеем

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (2.48)$$

Если $R + R_0 < \infty$, то $I > 0$, если $R + R_0 = \infty$, то $I = 0$

Отсюда следуют выводы:

9. только в замкнутой цепи может протекать ток;

10. в разомкнутой цепи ток не существует, но может существовать напряжение или ЭДС.

Ток протекает по проводнику цепи, поэтому стрелку тока принято размечать на самом проводнике.

За положительное направление тока во внешней цепи, принято направление от высшего потенциала к низкому, то есть от «+» к «-».

За положительное направление тока во внутренней цепи принято направление от низшего потенциала к высшему, то есть от «-» к «+».

Напряжение на любом участке цепи есть реакция на ток, поэтому стрелку напряжения принято размечать параллельно элементу и всегда против ранее размеченной стрелки тока.

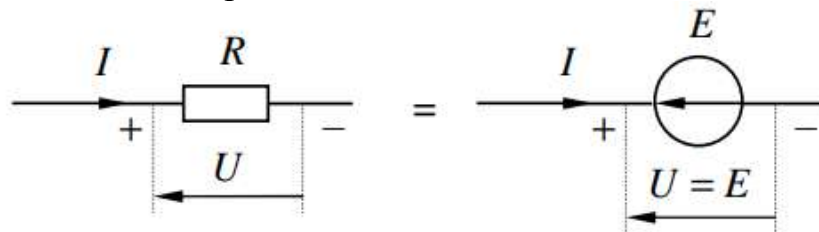


Рисунок 2.6. Стрелки тока и напряжения

Электрическая цепь может работать в различных режимах, однако все эти режимы, сколько бы их ни было, находятся между двумя крайними режимами - холостым ходом и коротким замыканием.

Режимом холостого хода цепи называют такой режим, при котором сопротивление нагрузки $R = \infty$, то есть внешняя цепь разомкнута (см. рисунок 2.7). Следовательно,

$$I_{XX} = \frac{E}{R + R_0} = \frac{E}{\infty + R_0} = 0 \quad (2.49)$$

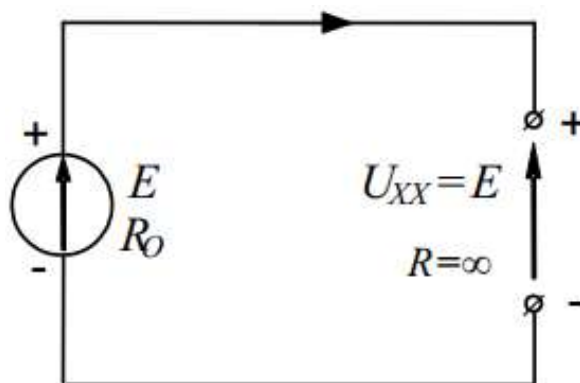


Рисунок 2.7. Режим холостого хода

При режиме холостого хода ток холостого хода равен нулю.

Режимом короткого замыкания цепи называется такой режим, при котором сопротивление нагрузки $R = 0$, то есть внешняя цепь замкнута накоротко (см. рисунок 2.8).

Следовательно,

$$I_{кз} = \frac{E}{R+R_0} = \frac{E}{0+R_0} = \frac{E}{R_0} = \max \quad (2.50)$$

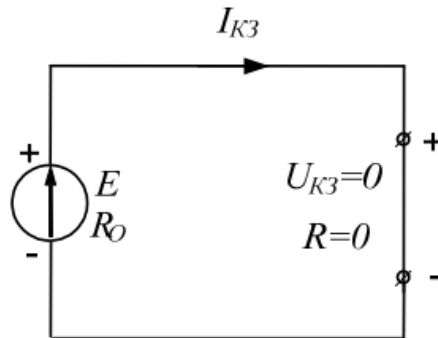


Рисунок 2.8. Режим короткого замыкания

Таким образом, при коротком замыкании ток в цепи максимален и ограничивается только величиной внутреннего сопротивления R_0 источника энергии.

Чтобы ток короткого замыкания не разрушал источника его внутреннее сопротивление не должно быть слишком малым.

Если записать уравнения электрического состояния цепи, показанной на рисунке 1, по второму закону Кирхгофа, то получим

$$E - \Delta U - U = 0, \text{ отсюда } U = E - \Delta U = E - R_0 I \quad (2.51)$$

Из выражения (2.51) следует, что

$$U = E \text{ при } I_{xx} = 0$$

ЭДС источника численно равна напряжению на его клеммах при холостом ходе.

ЭДС источника отличается от напряжения источника на величину потери напряжения внутри источника.

ЭДС - самое большое напряжение, которое может развивать источник при холостом режиме.

Из выражения (2.51) следует, что внутреннее сопротивление должно быть минимальным, чтобы внутри источника не было больших потерь напряжения.

Из условий (2.50) и (2.51) выбирается оптимальное значение величины внутреннего сопротивления R_0 источника.

Законы Кирхгофа

До сих пор мы рассматривали простые или неразветвленные цепи. Эти цепи решаются с помощью закона Ома. Сложные или разветвленные цепи рассчитываются при помощи законов Кирхгофа.

Законы Кирхгофа являются основными расчетными законами электротехники. Закон Ома частный случай законов Кирхгофа.

Сложной или разветвленной цепью называют такую, в которой имеется несколько путей для растекания.

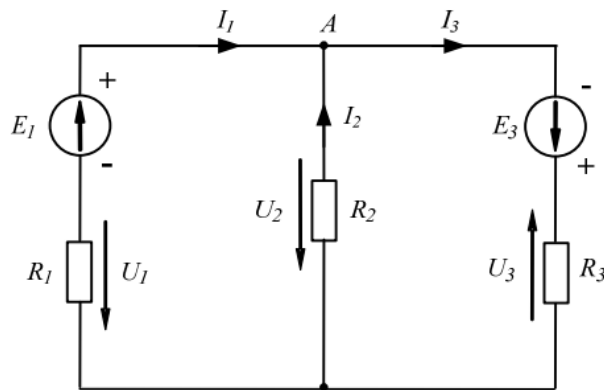


Рисунок 2.9. Сложная цепь постоянного тока

Точки разветвления цепи А и Б – узлы цепи.

Узлами называются точки цепи, в которых соединяются между собой три или более проводников.

Проводники, соединяющие между собой узлы, называются ветвями.

Ветви бывают двух видов: активные и пассивные.

Активной ветвью называется такая ветвь, которая содержит не только сопротивления, но и источники энергии.

Пассивной ветвью называется такая ветвь, которая содержит только сопротивления, но не содержит источников энергии.

Таким образом, сложная цепь состоит из узлов и ветвей, то есть из 2-х элементов, поэтому и законов Кирхгофа два. Первый закон Кирхгофа управляет узлами, а второй – ветвями (контурами).

Первый закон Кирхгофа гласит:

В любом узле сложной цепи алгебраическая сумма токов равна нулю.

$$(\sum_{i=1}^n I_i)_A = 0 \quad (2.52)$$

где i - количество токов связанных с рассматриваемым узлом; А-обозначение рассматриваемого узла.

Первый закон основан на принципе невозможности накопления электрического заряда в одной точке цепи.

Принято токи, притекающие к узлам цепи, считать положительными и брать со знаком плюс, а токи, оттекающие от узлов, считать отрицательными и брать со знаком минус.

Запишем первый закон Кирхгофа для узлов А и Б нашей цепи (рис.2.9)

$$(\sum_{i=1}^3 I_i)_A = I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (2.53)$$

$$(\sum_{i=1}^3 I_i)_B = -I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (2.54)$$

Сравнивая уравнения между собой, видим, что одно из них является следствием другого. Поэтому в цепи выделяют узлы, которые называют независимыми.

Независимыми узлами называют такие, которые отличаются друг от друга, хотя бы одним током.

Число независимых уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, равно числу независимых узлов в сложной цепи и равно общему числу узлов в цепи без одного.

Число независимых узлов $= n - 1$

где n - общее число узлов сложной цепи. Ветви сложной цепи, образуют контура.

Второй закон Кирхгофа гласит:

В любом контуре сложной цепи алгебраическая сумма ЭДС и напряжений действующих в этом контуре равна нулю.

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_i + \sum_{k=1}^{k=m} U_k = 0 \quad (2.55)$$

где i – количество источников ЭДС в рассматриваемом контуре; k – количество напряжений входящих в данный контур.

Данная формулировка справедлива, если стрелки напряжений на схеме цепи расставлены против стрелок токов.

Примечание:

В некоторых литературных источниках, стрелки напряжений направляются согласно стрелкам тока. Это допустимо, если использовать следующую формулировку второго закона Кирхгофа:

В любом контуре сложной цепи, алгебраическая сумма ЭДС всегда равна алгебраической сумме напряжений действующих в этом контуре.

$$\sum_{i=1}^{i=n} E_i = \sum_{k=1}^{k=m} U_k \quad (2.56)$$

Второй закон Кирхгофа записывается только для независимых контуров.

Независимыми контурами сложной цепи называются такие, которые отличаются друг от друга хотя бы одним элементом цепи не использованным в ранее намеченных контурах.

Число независимых уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров в цепи.

Число уравнений по 2-му закону Кирхгофа $= q - n + 1$, где q - общее число ветвей всей цепи.

При обходе по контуру стрелки ЭДС и напряжений, совпадающие с направлением обхода, берутся со знаком плюс, встречно направленные - со знаком минус.

Запишем уравнения электрического состояния контура (рис.2.9) по второму закону Кирхгофа:

а) при обходе слева направо $E_1 + U_2 - U_1 = 0$;

б) при обходе справа налево $-E_1 + U_1 - U_2 = 0$

Следовательно, направление обхода контуров можно выбирать произвольно.

Законы Кирхгофа позволяют рассчитывать самые сложные цепи.

Баланс мощности в электрической цепи

Рассмотрим энергетический баланс в электрической цепи. Пусть задана цепь вида

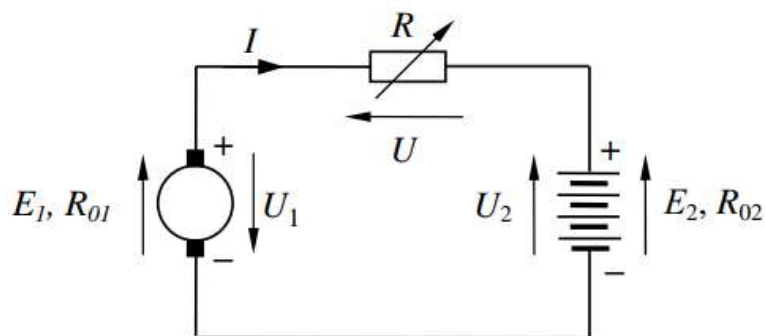


Рисунок 2.10. К балансу мощности

Дано: $E_1, E_2, R_{01}, R_{02}, R, E_1 > E_2$

Найти: составить баланс

После расстановки стрелок тока и напряжения по второму закону Кирхгофа электрическое состояние цепи запишется

$$E_1 - U_1 - U - U_2 - E_2 = 0$$

Отсюда, $E_1 = R_{01}I + RI + R_{02}I + E_2$

Умножим обе части равенства на ток I , получим

$$E_1 I = R_{01} I^2 + R I^2 + R_{02} I^2 + E_2 I$$

Следовательно,

$P_{\Gamma} = P_1 = E_1 I$ – мощность, генерируемая в цепи.

$P_{\text{н}} = R_{01} I^2 + R I^2 + R_{02} I^2 + E_2 I$ – потребляемая энергия.

Таким образом, $P_{\Gamma} - P_{\text{н}} = 0$

По закону сохранения энергии количество вырабатываемой в цепи энергии всегда равно количеству энергии потребляемой цепью. Следует всегда помнить, при составлении баланса энергии в цепи, что не всякий источник энергии, действующий в цепи, является генератором, а именно:

Когда действительный ток через источник совпадает по направлению с ЭДС источника, то этот источник вырабатывает энергию, то есть является генератором.

Когда действительный ток через источник протекает навстречу ЭДС источника, то этот источник потребляет энергию, то есть является нагрузкой (пример: зарядка аккумулятора).

Методы расчета на базе законов Кирхгофа

Это старейший из расчетных методов. Он основан на составлении уравнений по первому и второму законам Кирхгофа и решении их относительно токов текущих в ветвях. Порядок системы уравнений здесь равен количеству неизвестных токов

Непосредственное применение законов Кирхгофа к расчету сложной цепи приводит к весьма громоздким вычислениям, так как приходится решать систему с большим числом уравнений. Поэтому, этот метод на практике применяется крайне редко в виду его неэкономичности.

Метод контурных токов

Метод контурных токов был предложен известным английским физиком и электротехником Джеймсом К. Максвеллом. По этому методу цепь разбивается на ряд контуров, соприкасающихся друг с другом.

Предполагается, на время расчета, что каждый контур обтекается только присущим ему током, который называется контурным током. Контурных токов столько, сколько имеется в цепи независимых контуров. Поскольку, контуров в цепи всегда меньше числа ветвей, то контурных токов в цепи всегда меньше числа реальных токов.

Таким образом, основное преимущество метода контурных токов перед методом законов Кирхгофа состоит в сокращении числа расчетных уравнений.

По известным контурным токам, действительные токи определяются простым алгебраическим сложением.

Метод контурных токов получил широкое распространение в инженерной практике, благодаря экономным затратам времени на расчет.

Метод узловых потенциалов

Метод узловых потенциалов основан на первом законе Кирхгофа и на законе Ома. Преимущество метода состоит в том, что он позволяет сократить число расчетных уравнений и тем самым уменьшить вычислительную работу.

Согласно методу, один из узлов цепи мысленно заземляется, что не влияет на работу цепи. Потенциалы остальных узлов определяются из решения специальной системы уравнений.

Токи в ветвях находят по разности потенциалов между узлами, с учетом межузлового сопротивления.

Поскольку узлов в цепи всегда меньше, чем ветвей, метод весьма экономичен.

Метод узлового напряжения

Это частный случай метода узловых потенциалов для цепи с двумя узлами.

Чтобы токи в ветвях были рассчитаны правильно, необходимо с большой точностью находить величину узлового напряжения. В этом один из крупных недостатков метода узлового напряжения.

Указанный метод получил весьма широкое применение в расчетной практике благодаря своей экономичности в вычислительной работе.

Метод линейных преобразований

Данный метод основан на использовании закона Ома и формул последовательного, параллельного, смешанного соединения сопротивлений, а также перехода от соединения сопротивлений в треугольник к звезде. Сначала сложная цепь свертывается до предельно простой и решается по

закону Ома – прямой путь. Затем, полученное решение разворачивается до заданной конфигурации цепи – обратный путь.

Основное условие применимости метода – в цепи должен быть только один источник питания.

Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора позволяет определить ток в одной отдельно взятой ветви сложной цепи с сопротивлением R_i , без расчета всех остальных токов.

Суть метода в том, что всю внешнюю по отношению к искомой ветви цепь представляют, как некий эквивалентный генератор с напряжением на зажимах U_{iXX} и некоторым внутренним сопротивлением $R_{кз}$.

Эквивалентная схема цепи, полученная в результате преобразований исходной схемы, изображена на рис.2.11. В результате, искомый ток определяют по закону Ома.

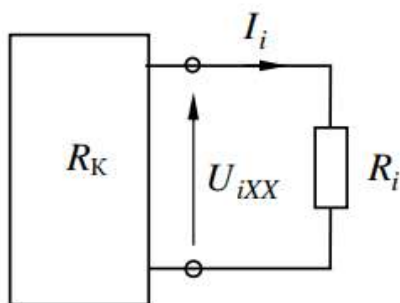


Рисунок 2.11. Эквивалентный генератор

Закон Ома для полной цепи переменного тока, треугольник напряжений

Полной цепью переменного тока называется такая цепь, в которой активный, индуктивный и емкостной элементы соединены друг с другом последовательно.

Часто такие цепи называются – цепями RLC . Полная цепь изображена на рис.2.12.

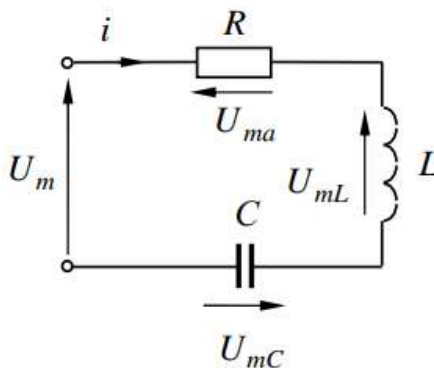


Рисунок 2.12. Полная цепь переменного тока

Пусть на входе цепи действует синусоидальное напряжение

$u = U_m \sin \omega t$, параметры цепи R , L и C известны. Найдём амплитудное I_m , действующее I и мгновенное i значения тока и сдвиг фаз φ , между входным током и напряжением.

Для решения поставленной задачи построим векторную диаграмму для амплитуд, рисунок 2.13.

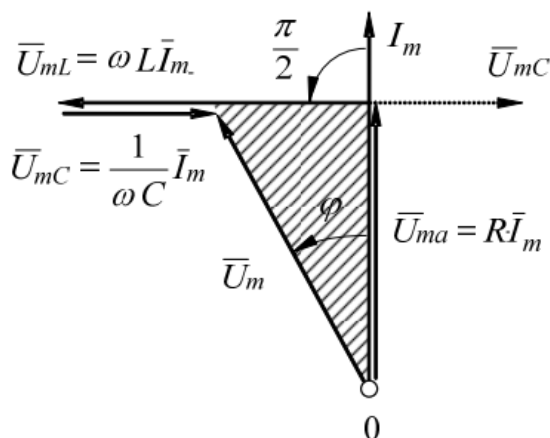


Рисунок 2.13. Векторная диаграмма

Основное уравнение физического состояния цепи можно записать, используя второй закон Кирхгофа

$$\bar{U}_m = \bar{U}_{ma} + (\bar{U}_{mL} - \bar{U}_{mC}) = R\bar{I}_m + \left(\omega L \bar{I}_m - \frac{1}{\omega C} \bar{I}_m \right); \quad (2.57)$$

$$\bar{U}_m = R\bar{I}_m + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \bar{I}_m \quad (2.58)$$

Выражение (2.57) иллюстрируется заштрихованным треугольником на рисунке 2.13, который называют – треугольником напряжений.

Чтобы определить величину амплитуды тока, воспользуемся теоремой Пифагора для треугольника напряжения

$$U_m^2 = R^2 I_m^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 I_m^2 \quad (2.59)$$

откуда получим закон Ома для цепи переменного тока в амплитудных значениях

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad (2.60)$$

Разделив обе части выражения (2) на $\sqrt{2}$, получим закон Ома в действующих значениях

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad (2.61)$$

Размерность выражения $\omega L - [\omega L] = \left[\frac{1}{сек} \cdot сек \cdot Ом \right] = [Ом]$, видим, что данное выражение имеет размерность сопротивления, поэтому и называется – индуктивным реактивным сопротивлением. Оно обозначается:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad (2.62)$$

Индуктивное сопротивление учитывает противодействующий характер ЭДС самоиндукции катушки, рисунок 2.14.

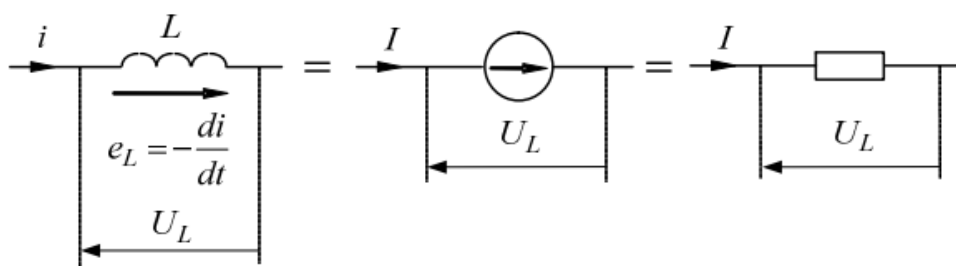


Рисунок 2.14. Индуктивное сопротивление катушки

Индуктивное сопротивление катушки в действительности не существует. Реально, в цепи существует противодействующая току ЭДС катушки индуктивности. Ее влияние можно учесть, если ввести в расчеты сопротивление X_L реально существующей ЭДС самоиндукции катушки. На преодоление сопротивления X_L затрачивается столько же напряжения источника, сколько идет его на преодоление ЭДС самоиндукции. Поскольку ЭДС самоиндукции есть реакция на ток, то индуктивное сопротивление называют реактивным сопротивлением катушки. Величина X_L линейно зависит от частоты. Для постоянного тока $f = 0$, поэтому $X_L = 0$. Реактивное сопротивление индуктивности на постоянном токе не существует. Чем больше частота переменного тока, тем выше реактивное сопротивление катушки, при $f \rightarrow \infty$, $X_L \rightarrow \infty$.

Размерность выражения $\frac{1}{\omega C} \cdot \left[\frac{1}{\omega C} \right] = \left[\frac{1}{1/\text{сек} \cdot \text{сек}/\text{Ом}} \right] = [\text{Ом}]$, видим, что и данное выражение имеет размерность сопротивления, поэтому оно называется - емкостным реактивным сопротивлением. Оно обозначается:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.63)$$

Емкостное сопротивление учитывает противодействующий характер ЭДС емкости, см. рисунок 2.15.

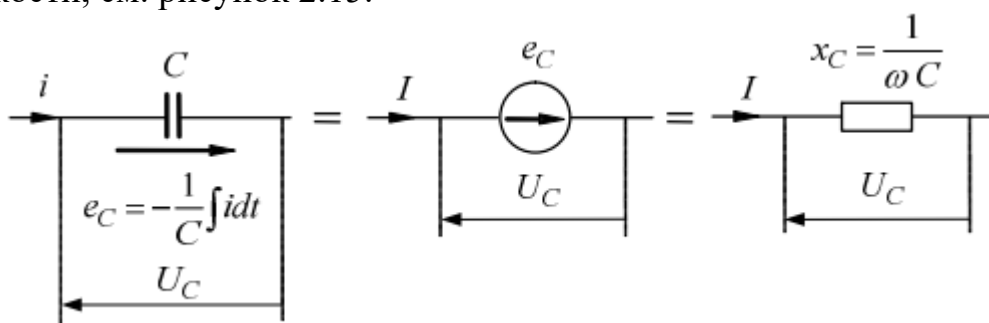


Рисунок 2.15. Емкостное сопротивление

Емкостное сопротивление в действительности не существует. Реально существует противодействующая напряжению ЭДС поляризации диэлектрика конденсатора. Ее влияние можно учесть, если ввести в расчеты сопротивление X_c вместо реально существующей ЭДС поляризации диэлектрика конденсатора. Величина X_c – обратно пропорциональна частоте. Для постоянного тока $f = 0$, поэтому $X_c = \infty$. Конденсатор постоянный ток не пропускает. Чем выше частота переменного тока, тем ниже величина

реактивного емкостного сопротивления, при $f \rightarrow \infty$, $X_c \rightarrow 0$. Общее реактивное сопротивление X , полученное для случая последовательного соединения катушки и конденсатора, будет

$$X = X_L - X_c = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.64)$$

Реактивное сопротивление учитывает противодействующий характер ЭДС индуктивности и емкости. Знак «минус» перед емкостным сопротивлением учитывает противоположное действие ЭДС индуктивности и емкости. Индуктивность и емкость, катушка и конденсатор - два «врага», две противоположности, стремящиеся побороть друг друга. Эта особенность катушек и конденсаторов широко используется на практике, например при построении схем, работающих в резонансных режимах.

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.65)$$

Величина Z – называется полным сопротивлением цепи переменного тока. В общем случае, Z больше чем R . Причина этого лежит в том, в цепи переменного тока сопротивление определяется противодействием не только материала проводников, но и противодействием ЭДС индуктивности и емкости. Подставим (2.65) в (2.61), получим

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{Z} \quad (2.66)$$

При использовании (2.66) корень всегда берется со знаком «плюс», так как амплитуды U_m и I_m всегда считаются положительными.

Мощность в цепи переменного тока

Под активной мощностью P понимают среднее за значение мгновенной мощности p за период T .

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (2.67)$$

где u и i - мгновенные значения напряжения и тока на входе цепи, соответственно. Если ток $i = I_m \sin \omega t$, то напряжение на участке цепи, в общем случае, сдвинуто по фазе на некоторый угол φ и может быть представлено в виде: $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$. Тогда

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_m U_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) dt = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi = UI \cos \varphi \quad (2.68)$$

где U и I - действующие значения напряжения и тока.

Активная мощность физически представляет собой энергию, которая выделяется в единицу времени в виде теплоты на участке цепи в сопротивлении R . Действительно, произведение $U \cos \varphi = IR$; следовательно,

$$P = I^2 R \quad (2.69)$$

Активная мощность измеряется в ваттах (Вт). Под реактивной мощностью Q понимают величину:

$$Q = UI \sin \varphi \quad (2.70)$$

Реактивную мощность принято измерять в вольт-амперах реактивных (Var). Если $\sin \varphi > 0$, то $Q > 0$, если $\sin \varphi < 0$, то и $Q < 0$. Физически реактивная мощность Q характеризует собой ту энергию, которой

обмениваются генератор и приемник и которая идет на создание в цепи магнитного и электрического полей.

Полная (кажущаяся) мощность потребляемая цепью составляет

$$S = UI \quad (2.71)$$

Она измеряется в вольт-амперах (ВА). Между S , Q и P существует соотношение

$$P^2 + Q^2 = S^2 \quad (2.72)$$

Графически эту связь можно представить в виде прямоугольного треугольника (рисунок 2.16). Он называется – треугольником мощности.

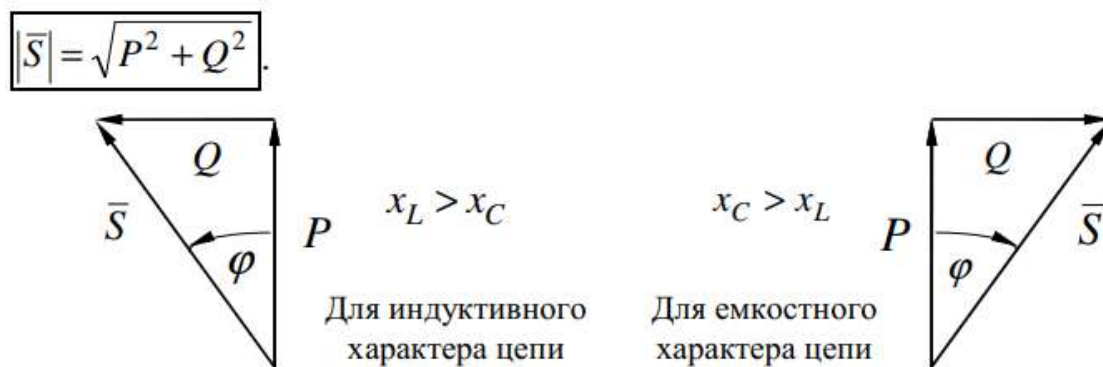


Рисунок 2.16. Треугольник мощности

2.1.3 Электромагнетизм и электромагнитная индукция

Явление электромагнитной индукции

Явление электромагнитной индукции было открыто Фарадеем в 1831 году. Схема его опытов представлена на рис.2.17 в виде двух электрических цепей. Первая цепь состоит из проводящего контура 1, источника тока с ЭДС \mathcal{E}_0 , реостата R , при помощи которого можно изменять силу тока, создающего магнитное поле.

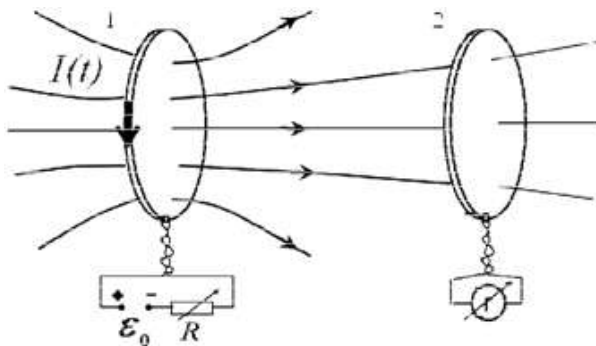


Рисунок 2.17. Явление электромагнитной индукции

Вторая цепь состоит из проводящего контура 2 в виде кольца и гальванометра G , служащего для наблюдения явления электромагнитной индукции. Линии магнитной индукции поля, создаваемого контуром 1, пронизывают поверхность, ограниченную проводящим контуром 2. Если в контуре 1 течет постоянный ток, то гальванометр G не регистрирует ток во второй цепи.

Магнитное поле в месте расположения контура 2 можно менять различными способами: включать и выключать ток в контуре 1, изменять силу этого тока, приближать или удалять контуры относительно друг друга, менять их взаимную ориентацию. Во всех этих случаях гальванометр G регистрирует ток во второй цепи, причем ток во втором контуре имеет одно и то же направление при включении тока или его увеличении в первом контуре или при взаимном сближении контуров. Ток во втором контуре имеет противоположное направление при выключении тока или его уменьшении в первом контуре или при взаимном удалении контуров.

Контур, создающий магнитное поле, можно заменить постоянным магнитом. При этом при взаимном сближении или удалении магнита и проводящего контура или изменении их взаимной ориентации гальванометр G по-прежнему регистрирует ток.

Если взять проводящий контур 2 плоским и расположить его так, чтобы при проведении опыта линии магнитной индукции скользили вдоль плоскости контура, не пронизывая ее, гальванометр не зарегистрирует наличие тока.

Общим для всех рассмотренных опытов, в которых обнаруживается появление тока во второй цепи, является изменение магнитного потока через поверхность, ограниченную вторым проводящим контуром.

$$\Phi = \int_S B_n dS \quad (2.73)$$

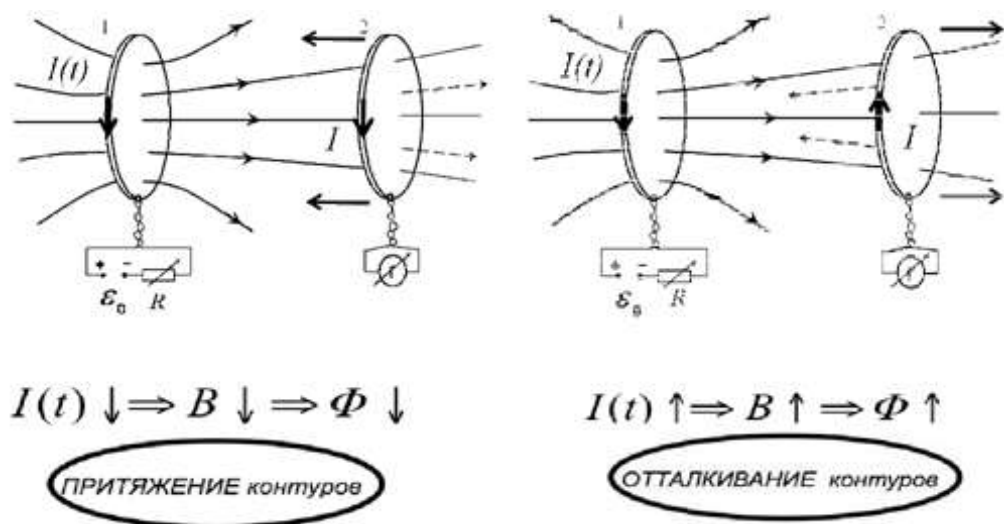
Явление возникновения тока в проводящем контуре, вызванное изменением магнитного потока, через поверхность, ограниченную контуром, называется явлением электромагнитной индукции. Возникающий при этом ток называется индукционным током.

Направление индукционного тока определяется по правилу Ленца: ***индукционный ток в контуре имеет такое направление, что созданное им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока через контур, вызвавшему этот ток.***

На рис. 2.18 и 2.19 даны примеры определения направления индукционного тока по правилу Ленца.

Когда ток в первом контуре уменьшается (рис.2.18), магнитная индукция и поток магнитной индукции, создаваемые им, также уменьшаются. По правилу Ленца направление индукционного тока во втором контуре должно быть таким, чтобы препятствовать этому уменьшению. Это означает, что линии магнитной индукции поля, создаваемого индукционным током (пунктирные линии на рис. 2), должны быть направлены так же, как линии магнитной индукции тока первого контура (сплошные линии на рис. 2).

Следовательно, во втором контуре направление индукционного тока такое же, как направление тока в первом контуре.



Рисунки 2.18 и 2.19. Направления индукционного тока по правилу Ленца

Когда ток в первом контуре увеличивается (рис.2.19), магнитная индукция и поток магнитной индукции, создаваемые им, также увеличиваются. По правилу Ленца направление индукционного тока во втором контуре должно быть таким, чтобы препятствовать этому увеличению. Это означает, что линии магнитной индукции поля, создаваемого индукционным током (пунктирные линии на рис.2.19), имеют направление противоположное линиям магнитной индукции тока первого контура (сплошные линии на рис.2.19). Следовательно, во втором контуре направление индукционного тока противоположно направлению тока в первом контуре.

Явление электромагнитной индукции сопровождается механическим взаимодействием контуров: токи одинакового направления притягиваются (рис.2.18), а противоположного отталкиваются (рис.2.19). Это также согласуется с правилом Ленца. В первом случае (рис.2.18) притяжение контуров соответствует такому перемещению 2-го контура, где его поток препятствует уменьшению магнитного потока, создаваемого первым контуром. Во втором случае (рис.2.19) отталкивание контуров соответствует такому перемещению 2-го контура, где его поток препятствует увеличению магнитного потока, создаваемого первым контуром.

Закон Фарадея

Рассмотрим систему, состоящую из подвижного проводника, перемещаемого под действием внешней силы в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции \vec{B} со скоростью \vec{u} (рис.2.20). Проводник находится в хорошем электрическом контакте с проводниками, по которым происходит его перемещение. Носители заряда, находящиеся внутри проводника, также перемещаются вместе с ним в магнитном поле.

Следовательно, на них действует сила Лоренца:

$$\vec{F} = q[\vec{u} \cdot \vec{B}] \quad (2.74)$$

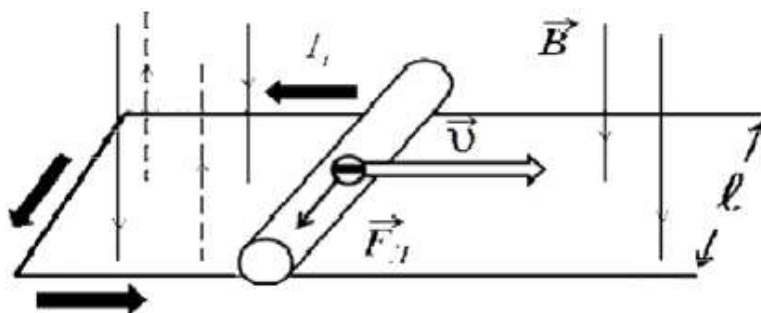


Рисунок 2.20. Действие внешней силы в однородном магнитном поле

Под действием силы Лоренца происходит перемещение свободных электронов в подвижном проводнике. В замкнутой цепи проводников возникает ток – индукционный ток. Направление индукционного тока силой I_i .

В рассматриваемом случае (жирные стрелки на рис.2.20) согласуется с правилом Ленца: перемещение проводника сопровождается увеличением потока магнитной индукции из-за увеличения площади, ограниченной проводящим контуром. Линии магнитного поля индукционного тока (пунктирные линии на рис.2.20) направлены в сторону, противоположную линиям магнитной индукции внешнего поля (сплошные линии на рис.2.20).

Из рассмотренного следует, что сила Лоренца играет роль сторонней силы, действующей на «подвижном» участке цепи.

Вычислим электродвижущую силу (ЭДС индукции), характеризующую явление электромагнитной индукции, исходя из закона сохранения энергии.

Рассмотрим прямоугольный проводящий контур, содержащий источник постоянного напряжения с ЭДС ε_0 и подвижный проводник длиной l .

Поместим контур в магнитное поле так, чтобы линии магнитной индукции B были перпендикулярны плоскости контура (рис.2.21). Подвижный проводник под действием силы Ампера \vec{F}_A будет двигаться и за время dt переместится на расстояние dx . Площадь поверхности, охватываемой проводящим контуром, увеличится на величину $dS = L dx$.

При этом будет совершена механическая работа $dA = Id\Phi$, где I – величина тока в контуре, $d\Phi$ – изменение потока магнитной индукции через поверхность, охватываемую контуром. Прохождение тока I по контуру, полное сопротивление которого равно R , сопровождается выделением тепла.

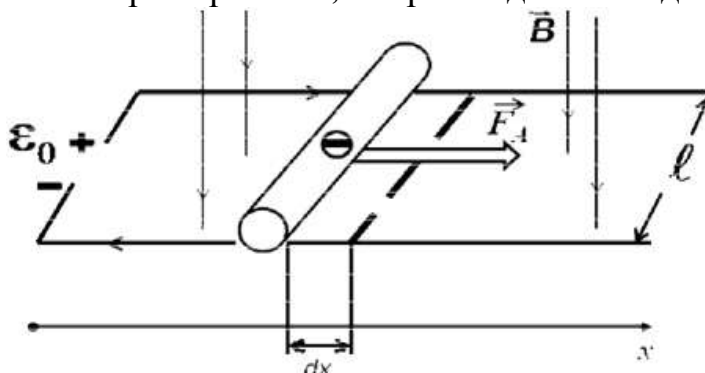


Рисунок 2.21. Линии магнитной индукции B

По закону Джоуля-Ленца за время dt количество выделившегося тепла равно $dQ = I^2 R dt$. Механическая энергия и тепло, которое выделяется в проводнике, возникают за счет работы dW источника тока по перемещению заряда $dq = Idt$ по замкнутой цепи:

$$dW = \varepsilon_0 dq = \varepsilon_0 Idt \quad (2.75)$$

По закону сохранения энергии

$$dW = dQ + dA \text{ или } \varepsilon_0 Idt = RI^2 dt + Id\Phi \quad (2.76)$$

Разделим левую и правую части уравнения (2.76) на Idt , в результате получим выражение для силы тока в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon_0 - \frac{d\Phi}{dt}}{R} \quad (2.77)$$

Сравнение формулы (5) с выражением закона Ома [2] для замкнутой цепи приводит к выводу о том, что помимо ЭДС источника ε_0 :

$$I = \frac{1}{R} \sum_k \varepsilon_k \quad (2.78)$$

В проводящем контуре появляется также ЭДС индукции противоположного знака, численно равная скорости изменения потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.79)$$

Полученная формула (2.79) выражает фундаментальный закон электромагнитной индукции – закон Фарадея.

В случае проводящего контура, состоящего из N последовательно соединенных одинаковых витков, формулу (2.79) следует переписать в виде:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Psi}{dt} \quad (2.80)$$

где $\Psi = N\Phi$ и называется потокоцеплением (полным магнитным потоком).

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): при всяком изменении потокоцепления магнитной индукции через поверхность, ограниченную проводящим замкнутым контуром, в этом контуре возникает ЭДС электромагнитной индукции, равная взятой со знаком «минус» скорости изменения потокоцепления.

Из множества примеров электромагнитной индукции выделяют явления самоиндукции и взаимной индукции.

Явление самоиндукции. Индуктивность соленоида

Явление самоиндукции заключается в возникновении ЭДС индукции в цепи при изменении силы тока в ней.

ЭДС индукции в этом случае называется ЭДС самоиндукции и согласно закону Фарадея:

$$\varepsilon_s = - \frac{d\Psi}{dt} \quad (2.81)$$

При выключении тока в цепи ЭДС самоиндукции может достигать больших значений, достаточных для пробоя воздушного промежутка и появления искры между контактами выключателя.

Поток магнитной индукции через поверхность, ограниченную проводящим контуром пропорционален величине магнитной индукции. Согласно закону Био-Савара-Лапласа и принципу суперпозиции индукция магнитного поля прямо пропорциональна силе тока.

Следовательно, поток и потокосцепление прямо пропорциональны силе тока в проводящем контуре:

$$\Psi = LI \quad (2.82)$$

где коэффициент пропорциональности L называется индуктивностью контура (цепи).

Индуктивность – характеристика контура (цепи), которая зависит от его конструктивных особенностей и магнитных свойств среды. Покажем это на примере вычисления индуктивности длинного соленоида.

Считая, что магнитное поле соленоида однородно, а также применяя формулу для индукции этого поля, в результате последовательных преобразований получаем:

$$\Psi = N\Phi = NBS = \mu_0 \mu N_n SI = \mu_0 \mu n^2 l SI \quad (2.83)$$

где Ψ – потокосцепление; N – число витков соленоида; Φ – поток через один виток; B – магнитная индукция поля, создаваемого током I внутри соленоида; S – площадь поперечного сечения соленоида; l – его длина; $n = N/l$ – плотность намотки (число витков на единицу длины соленоида); μ_0 – магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость среды (материала сердечника соленоида).

2.2 ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

2.2.1 Основные сведения о метрологии, измерениях и средствах измерений

Измерение – процесс получения опытным путем числового соотношения между измеряемой величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения.

Число, выражающее отношение измеряемой величины к единице измерения, называется числовым значением измеряемой величины. Причем оно может быть целым или дробным, но является отвлеченным числом.

Значение величины, принятое за единицу измерения, называется размером этой единицы.

Тогда основное уравнение измерений можно записать в следующем виде:

$$X = A \cdot u \quad (2.84)$$

где X – измеряемая величина;

A – числовое значение измеряемой величины;

u – единица измерения.

Значение A зависит от размера выбранной единицы измерения u . Например, $X=1\text{м}=100\text{см}=10\text{дм}$.

Результат всякого измерения является *именованным* числом.

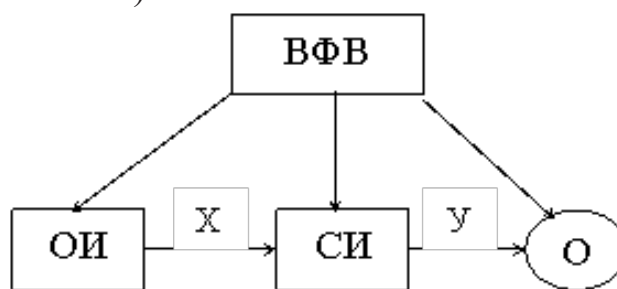
Измерения обычно осуществляются на объектах измерения. **Объект измерения (ОИ)** – это физическая величина. **Физическая величина (ФВ)** –

одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов и индивидуальным в количественном отношении для каждого. Примеры физических величин: температура, удельный вес, плотность, длина и другие.

Размер физической величины – количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

Размер единицы физической величины, вообще говоря, может быть любым. Однако измерения должны выполняться в общепринятых единицах.

Физическую величину, выбранную для измерения, называют **измеряемой величиной**. **Средство измерения (СИ)** – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики (рисунок 2.2.1).



X – измеряемая величина;

Y – сигнал измерительной информации;

O – оператор

Рисунок 2.2.1. Схема процесса измерения

Влияющая физическая величина (ВФВ) – физическая величина, не являющаяся измеряемой данным СИ, но оказывающая влияние на результат измерения этим средством (температура окружающей среды, влажность воздуха, электромагнитное поле, вибрации и т. д.)

Результат измерения – это значение физической величины, найденное путем ее измерения.

Различают: а) **истинное значение физической величины** – значение физической величины, которое реальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. В философском аспекте истинное значение всегда неизвестно. Совершенствование измерений позволяет приближаться к истинному значению физической величины;

б) **действительное значение физической величины** – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него, определяется опытным путем с помощью образцового средства измерений.

Чтобы составить представление о выполненном или предполагаемом измерении, необходимо знать его основные характеристики (принцип измерения, метод измерения и погрешность (иногда точность) измерения).

Принцип измерения – совокупность физических явлений, на которых основано измерение.

Метод измерения – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Несовершенство изготовления СИ, неточность их градуировки, действие ВФВ, субъективной ошибки человека и ряд других факторов являются причинами, обуславливающими неизбежное появление погрешности измерения.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения $X_{\text{изм}}$ от действительного (истинного) значения $X_{\text{действ}}$ измеряемой величины

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{действ}} \quad (2.85)$$

Точность измерений характеризует степень приближения погрешности измерений к нулю, то есть приближения полученного при измерении значения к истинному значению измеряемой величины.

Количественно точность может быть выражена

$$\varepsilon = \left| \frac{X_{\text{ист}}}{\Delta} \right| \quad (2.86)$$

При определении погрешностей и точности вместо истинного значения физической величины $X_{\text{ист}}$ реально может быть использовано ее действительное значение.

Классификация средств измерений может проводиться по следующим критериям.

1. По характеристике точности измерения делятся на равноточные и неравноточные.

Равноточными измерениями физической величины называется ряд измерений некоторой величины, сделанных при помощи средств измерений (СИ), обладающих одинаковой точностью, в идентичных исходных условиях.

Неравноточными измерениями физической величины называется ряд измерений некоторой величины, сделанных при помощи средств измерения, обладающих разной точностью, и (или) в различных исходных условиях.

2. По количеству измерений измерения делятся на однократные и многократные.

Однократное измерение – это измерение одной величины, сделанное один раз. Однократные измерения на практике имеют большую погрешность, в связи с этим рекомендуется для уменьшения погрешности выполнять минимум три раза измерения такого типа, а в качестве результата брать их среднее арифметическое.

Многократные измерения – это измерение одной или нескольких величин, выполненное четыре и более раз. Многократное измерение представляет собой ряд однократных измерений. Минимальное число измерений, при котором измерение может считаться многократным, – четыре. Результатом многократного измерения является среднее арифметическое результатов всех проведенных измерений. При многократных измерениях снижается погрешность.

3. По типу изменения величины измерения делятся на статические и динамические.

Статические измерения – это измерения постоянной, неизменной физической величины. Примером такой постоянной во времени физической величины может послужить длина земельного участка.

Динамические измерения – это измерения изменяющейся, непостоянной физической величины.

4. По назначению измерения делятся на технические и метрологические.

Технические измерения – это измерения, выполняемые техническими средствами измерений.

Метрологические измерения – это измерения, выполняемые с использованием эталонов.

5. По способу представления результата измерения делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютные измерения – это измерения, которые выполняются посредством прямого, непосредственного измерения основной величины и (или) применения физической константы.

Относительные измерения – это измерения, при которых вычисляется отношение однородных величин, причем числитель является сравниваемой величиной, а знаменатель – базой сравнения (единицей). Результат измерения будет зависеть от того, какая величина принимается за базу сравнения.

6. По методам получения результатов измерения делятся на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения – это измерения, выполняемые при помощи мер, т.е. измеряемая величина, сопоставляется непосредственно с ее мерой. Примером прямых измерений является измерение величины угла (мера – транспортир).

Косвенные измерения – это измерения, при которых значение измеряемой величины вычисляется при помощи значений, полученных посредством прямых измерений, и некоторой известной зависимости между данными значениями и измеряемой величиной.

Совокупные измерения – это измерения, результатом которых является решение некоторой системы уравнений, которая составлена из уравнений, полученных вследствие измерения возможных сочетаний измеряемых величин.

Совместные измерения – это измерения, в ходе которых измеряется минимум две неоднородные физические величины с целью установления существующей между ними зависимости.

В зависимости от назначения и от предъявляемой к ним точности измерения подразделяются на лабораторные (точные) и технические.

Лабораторные (точные) измерения - это такие измерения, которые, как правило, выполняются многократно повторяемыми и с помощью средств измерений повышенной точности.

Технические измерения – это измерения, выполняемые однократно с помощью рабочих (технических) средств измерений, градуированных в соответствующих единицах.

Мера – СИ, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Классификационным признаком является наличие или отсутствие при измерении меры.

2.2.2 Погрешности и обработка результатов измерений

Неотъемлемой частью любого измерения является погрешность измерений. С развитием приборостроения и методик измерений человечество стремится снизить влияние данного явления на конечный результат измерений.

В зависимости от причин возникновения, характера изменений и условий проявления различают погрешности измерений.

Истинной погрешностью измерения называется отклонение результата измерения физической величины (действительного значения) от ее истинного значения. При проведении измерений, как правило, истинное значение измеряемой величины неизвестно. Результатом измерения является оценка истинного значения, которая чаще всего с ним не совпадает. Принято, независимо от того, известно или неизвестно истинное значение, погрешность характеризовать, так называемым, доверительным интервалом, в котором с определенной степенью достоверности содержится истинное значение. Погрешность выражается в виде абсолютной и относительной погрешности.

Абсолютная погрешность – это погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины. Она определяется выражением.

$$\Delta = X - X_0 \quad (2.87)$$

где X – результат измерения; X_0 – истинное значение этой величины.

Поскольку истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, на практике пользуются лишь приближенной оценкой абсолютной погрешности измерения, определяемой выражением

$$\Delta = X - X_d \quad (2.88)$$

где X_d – действительное значение этой измеряемой величины, которое с погрешностью ее определения принимают за истинное значение.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины:

$$\sigma = \frac{\Delta}{X_d} \quad (2.89)$$

По закономерности появления погрешности измерения подразделяются на систематические, прогрессирующие, и случайные.

Систематическая погрешность – это погрешность измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся при повторных измерениях одной и той же величины.

Прогрессирующая погрешность – это непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени.

Систематические и прогрессирующие погрешности средств измерений вызываются:

- первые — погрешностью градуировки шкалы или ее небольшим сдвигом;
- вторые — старением элементов средства измерения.

Систематическая погрешность остается постоянной или закономерно изменяющейся при многократных измерениях одной и той же величины. Особенность систематической погрешности состоит в том, что она может быть полностью устранена введением поправок. Особенностью прогрессирующих погрешностей является то, что они могут быть скорректированы только в данный момент времени. Они требуют непрерывной коррекции.

Случайная погрешность – это погрешность измерения изменяется случайным образом. При повторных измерениях одной и той же величины. Случайные погрешности можно обнаружить только при многократных измерениях. В отличие от систематических погрешностей случайные нельзя устранить из результатов измерений.

По происхождению различают инструментальные и методические погрешности средств измерений.

Инструментальные погрешности – это погрешности, вызываемые особенностями свойств средств измерений. Они возникают вследствие недостаточно высокого качества элементов средств измерений. К данным погрешностям можно отнести изготовление и сборку элементов средств измерений; погрешности из-за трения в механизме прибора, недостаточной жесткости его элементов и деталей и др. Подчеркнем, что инструментальная погрешность индивидуальна для каждого средства измерений.

Методическая погрешность – это погрешность средства измерения, возникающая из-за несовершенства метода измерения, неточности соотношения, используемого для оценки измеряемой величины.

Погрешности средств измерений

Абсолютная погрешность меры – это разность между номинальным ее значением и истинным (действительным) значением воспроизводимой ею величины:

$$\Delta = X_n - X_d \quad (2.90)$$

где X_n – номинальное значение меры; X_d – действительное значение меры

Абсолютная погрешность измерительного прибора – это разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины:

$$\Delta = X_{\Pi} - X_d \quad (2.91)$$

где X_{Π} – показания прибора; X_d – действительное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность меры или измерительного прибора – это отношение абсолютной погрешности меры или измерительного прибора к истинному (действительному) значению воспроизводимой или измеряемой величины. Относительная погрешность меры или измерительного прибора может быть выражена в %.

Приведенная погрешность измерительного прибора – отношение погрешности измерительного прибора к нормирующему значению. Нормирующее значение X_N – это условно принятое значение, равное или верхнему пределу измерений, или диапазону измерений, или длине шкалы.

Предел допускаемой погрешности средств измерений – наибольшая без учета знака погрешность средства измерений, при которой оно может быть признано и допущено к применению. Данное определение применяют к основной и дополнительной погрешности, а также к вариации показаний. Поскольку свойства средств измерений зависят от внешних условий, их погрешности также зависят от этих условий, поэтому погрешности средств измерений принято делить на основные и дополнительные.

Основная – это погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях, которые обычно определены в нормативно-технических документах на данное средство измерений.

Дополнительная – это изменение погрешности средства измерений вследствие отклонения влияющих величин от нормальных значений.

Погрешности средств измерений подразделяются также на статические и динамические.

Статическая – это погрешность средства измерений, используемого для измерения постоянной величины. Если измеряемая величина является функцией времени, то вследствие инерционности средств измерений возникает составляющая общей погрешности, называется **динамической погрешностью** средств измерений.

Также существуют систематические и случайные погрешности средств измерений они аналогичны с такими же погрешностями измерений.

Факторы влияющие на погрешность измерений.

Погрешности возникают по разным причинам: это могут быть ошибки экспериментатора или ошибки из-за применения прибора не по назначению и т.д. Существует ряд понятий, которые определяют факторы, влияющие на погрешность измерений

Вариация показаний прибора – это наибольшая разность показаний полученных при прямом и обратном ходе при одном и том же действительном значении измеряемой величины и неизменных внешних условиях.

Класс точности прибора – это обобщенная характеристика средств измерений (прибора), определяемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющих на точность, значение которой устанавливаются на отдельные виды средств измерений.

Классы точности прибора устанавливают при выпуске, градуируя его по образцовому прибору в нормальных условиях.

Прецизионность – показывает, как точно или отчетливо можно произвести отсчет. Она определяется, тем насколько близки друг к другу результаты двух идентичных измерений.

Разрешение прибора – это наименьшее изменение измеряемого значения, на которое прибор будет реагировать.

Диапазон прибора – определяется минимальным и максимальным значением входного сигнала, для которого он предназначен.

Полоса пропускания прибора – это разность между минимальной и максимальной частотой, для которых он предназначен.

Чувствительность прибора – определяется, как отношение выходного сигнала или показания прибора к входному сигналу или измеряемой величине.

2.2.3 Измерение напряжения и силы тока

Измерение силы тока протекающего по электрической цепи осуществляется с помощью амперметра.

Перед измерением тока необходимо иметь представление о его частоте, форме, ожидаемом значении, требуемой точности значения и о сопротивлении цепи, в которой производится измерение.

Для измерения тока применяют метод непосредственной оценки и метод сравнения.

Метод непосредственной оценки осуществляется с помощью прямопоказывающих приборов – амперметров. Амперметр включают последовательно нагрузке в разрыв цепи, чтобы прибор не оказывал влияние на режим работы цепи, необходимо чтобы его внутреннее сопротивление было маленьким.

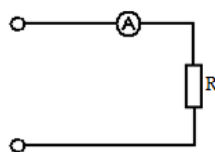


Рисунок 2.2.2. Схема включения амперметра

Метод сравнения обеспечивает более высокую точность.

1. **Электромеханические амперметры** выполняют на основе магнитоэлектрических, ферродинамических, электродинамических, электромагнитных механизмов.

В магнитоэлектрических амперметрах обмотка подводящей катушки выполняется из тонкого провода, поэтому магнитоэлектрические амперметры могут непосредственно измерять только микро- или миллиамперы.

Для измерения больших постоянных токов параллельно зажимам подключается электрический шунт, представляющий собой прямоугольную

манганиновую пластину.

Шунт представляет из себя низкоомный резистор или провод, который может быть из меди, манганина, нихрома и др. Применяют шунт в электроизмерительных приборах – амперметрах или для измерения силы тока в цепи с помощью вольтметра.

Для измерения токов свыше 50А применяются наружные шунты.

Шунты изготавливают однопредельными или многопредельными. Шунтированный амперметр, вследствие неточности изготовления шунтов имеет более высокую погрешность. В электродинамических и ферродинамических амперметрах обе катушки соединяют параллельно или последовательно.

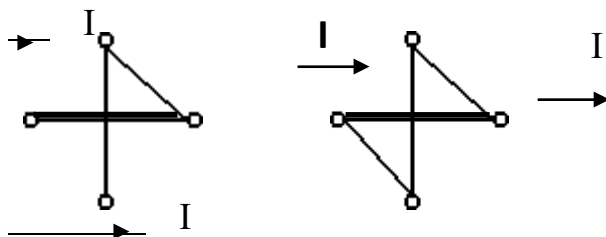


Рисунок 2.2.3. Соединение катушек ЭДМ для измерения тока.

Переносные амперметры имеют шкалы от 5мА до 10А.

Щитовые амперметры непосредственного включения выпускают с пределами измерения от 1 до 200А. Расширение пределов до 6кА осуществляют при помощи измерительных трансформаторов тока.

В электромагнитных амперметрах катушку изготавливают из медного провода, рассчитанного на номинальное значение тока 5А. Число витков определяют из условия полного отклонения указателя амперметра при номинальном токе. Щитовые амперметры изготавливают со шкалами от 100мА до 500А. Для расширения пределов измерения переменного тока применяют измерительные трансформаторы.

Для измерения напряжения применяют метод непосредственной оценки и метод сравнения.

Метод непосредственной оценки осуществляют с помощью прямопоказывающих приборов – вольтметров со шкалами градуированными в единицах измеряемой величины (вольтах).

Вольтметр присоединяют параллельно участку цепи, падение напряжение на котором нужно измерить. Чтобы прибор не оказывал влияние на режим работы цепи, необходимо чтобы внутреннее сопротивление вольтметра было во много раз больше сопротивления нагрузки R_H ($R_V \geq R_H$). Не выполнение этого условия приведет к систематической методической погрешности, которая приблизительно совпадет со значением отношений R_H/R_V .

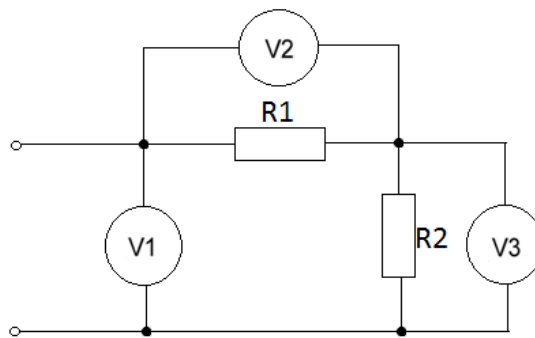


Рисунок 2.2.4. Измерение напряжений вольтметрами

На практике, при измерении повреждений участков в электрических цепях величины напряжений на различных участках цепи измеряют одним вольтметром, присоединяя его к различным точкам цепи.

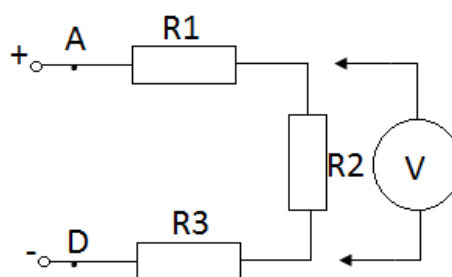


Рисунок 2.2.5. Измерение напряжения на различных участках одним вольтметром

Условие $R_V \geq R_H$ особенно трудно выполнить при измерении напряжения на участках (нагрузках) с большим сопротивлением в так называемых слаботочных цепях. Для этой цели применяют электронные вольтметры.

Такие вольтметры работают на методе сравнения.

Метод сравнения обеспечивает более высокую точность. Приборы, работающие на этом методе имеют большое входное сопротивление.

Электромеханические вольтметры выполняют на основе магнитоэлектрических, электродинамических, ферродинамических, электромагнитных, электростатических измерительных механизмов.

В магнитоэлектрических вольтметрах магнитоэлектрический механизм включают параллельно участку электрической цепи. Сопротивление обмотки подвижной катушки мало, поэтому при измерении больших напряжений последовательно измерительному механизму включают добавочные сопротивления. Вольтметры МЭС измеряют только постоянное напряжение.

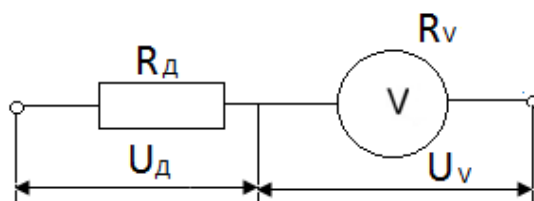


Рисунок 2.2.6. Схема расширения пределов вольтметра

В электромагнитных вольтметрах катушку изготавливают из большого числа витков тонкого медного провода, достаточного для постоянного отклонения указателя при данном значении тока. Вольтметры электромагнитной системы измеряют постоянное и переменное напряжения.

Щитовые вольтметры непосредственного включения выпускают со шкалами от 7,5 до 250В и добавочными сопротивлениями на 450, 600, 750: класс точности 1,5.

Электродинамические вольтметры непосредственного включения выпускаются со шкалами до 450В, переносимые от 7,5 до 600В. Измеряют постоянное и переменное напряжения. Для расширения пределов измерения до 30кВ применяют измерительные трансформаторы напряжения.

В Ферродинамических вольтметрах неподвижные катушки заключены в сердечник из ферромагнитного материала, что обеспечивает значительное увеличение вращающего момента и хорошую защиту от внешних магнитных полей, но наличие сердечника приводит к увеличению погрешности прибора.

При использовании электродинамической и ферродинамической системы в качестве вольтметра катушки соединяют так, как указано на рисунке 4.

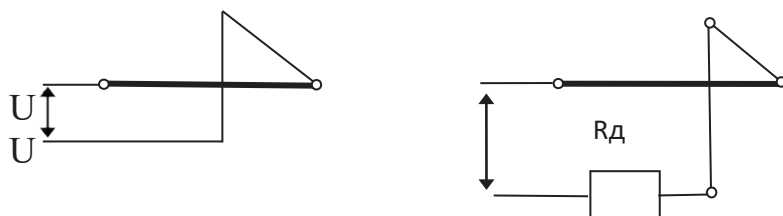


Рисунок 2.2.7. Соединение катушка ЭДС для работы ее в качестве вольтметра.

Электростатические вольтметры выполняют щитовых и переносных вольтметров и киловольтметров для измерения напряжения в цепях постоянного и переменного тока с частотой от 20Гц до 30МГц.

Выпрямительные приборы

Переменные напряжения и токи широко используются во всех областях электроэнергетики. Наиболее полной информационной характеристикой переменного тока есть кривая тока или напряжения в течение периода. На практике чаще всего достаточно знать основные параметры переменных токов и напряжений: среднеквадратическое (действующее) значение, средневывпрямленное, амплитудное (пиковое), среднее.

Пиковое значение U_m – это наибольшее мгновенное значение напряжения за период.

Среднее значение U_{cp} за период (постоянная составляющая напряжения) – это среднее арифметическое мгновенных значений за период.

Средневыпрямленное значение $U_{св}$ (рассматривается двухполупериодное выпрямление напряжения) – среднее арифметическое из абсолютных мгновенных значений.

Среднеквадратическое значение U за период определяется как корень квадратный из среднего значения квадрата напряжения.

Связь между пиковым (амплитудным), среднеквадратическим и средневыпрямленным значениями напряжения данной конкретной формы устанавливают через коэффициенты амплитуды $K_a = U_m / U$ и коэффициента формы кривой $K_\phi = U / U_{св}$.

Для синусоидальной формы напряжения.

$$K_a = 1,41$$

$$K_\phi = 1,11$$

Выпрямительные преобразователи – устройство, предназначенное для преобразования входного электрического тока переменного направления в ток постоянного направления (то есть однонаправленный ток), в частном случае – в постоянный выходной электрический ток, являются преобразователями средних значений переменных токов и напряжений. Различают однополупериодные и двухполупериодные схемы выпрямления. Наиболее широкое распространение получили мостовые схемы выпрямления.

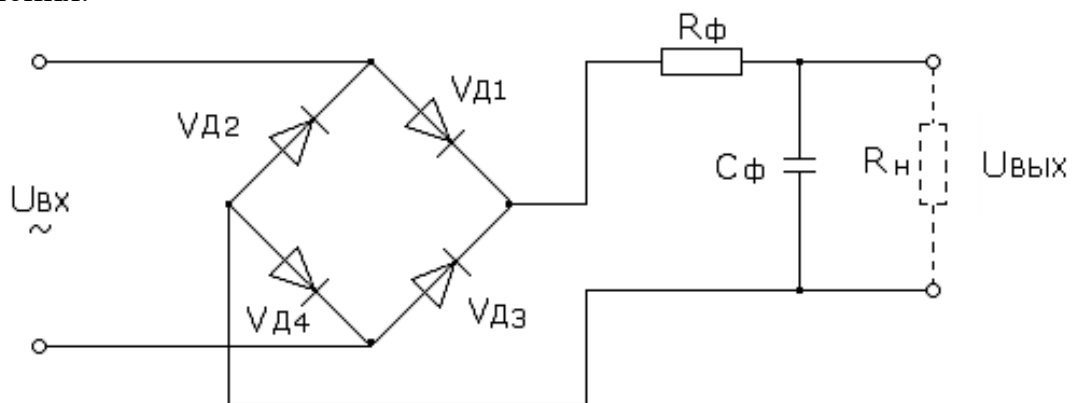


Рисунок 2.2.8. Схема выпрямительного преобразователя

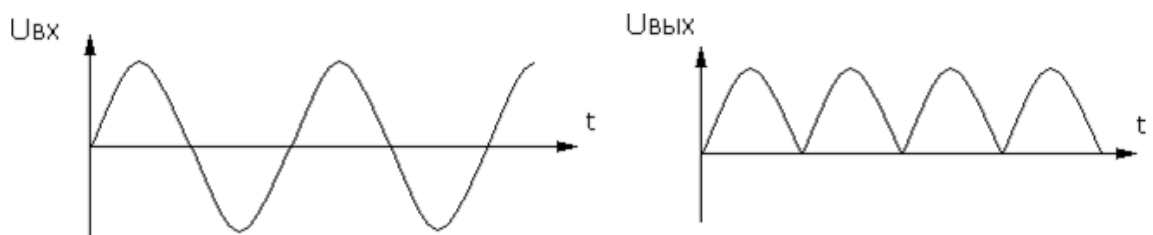


Рисунок 2.2.9. Осциллограммы кривых до преобразования и после

Переменное входное напряжение подается на одну диагональ моста, а выходное пульсирующее напряжение снимается с другой диагонали.

В течение положительного полупериода входного напряжения диоды $V_{д1}$ и $V_{д4}$ открыты, а диоды $V_{д2}$ и $V_{д3}$ заперты. В течение отрицательного полупериода $V_{д1}$ и $V_{д4}$ закрыты, а $V_{д2}$ и $V_{д3}$ открыты. Через нагрузку в оба полупериода проходит ток, если в качестве нагрузки включить магнитоэлектрический измерительный механизм, то можно получить выпрямительный измерительный прибор, способный измерять переменный ток и напряжение.

Шкалы приборов градуируют в действующих значениях при синусоидальном токе. При отклонении формы кривой измеряемого тока (напряжения) от синусоидальной в показаниях приборов возникает погрешность.

Для расширения пределов измерения приборов по току и напряжению применяют шунты и добавочные сопротивления.

Для уменьшения температурной погрешности применяют различные схемы температурной компенсации.

Для компенсации частотной погрешности параллельно добавочным сопротивлениям включают емкости.

Промышленностью выпускаются многопредельные выпрямительные ампервольтметры показывающие и самопишущие.

Достоинства выпрямительных вольтметров – высокая чувствительность; малое собственное потребление мощности; узкий частотный диапазон (до 200кГц).

Недостатки – невысокая точность и зависимость показаний от формы кривой.

В настоящее время для уменьшения погрешностей выпрямительных приборов, применяют активные выпрямители на основе операционных усилителей.

Термоэлектрические преобразователи являются преобразователями среднеквадратических значений переменных токов и напряжений.

Термоэлектрический преобразователь состоит из термопары и нагревателя. В качестве нагревателя используется тонкая проволока (нихром, константан). Термопары хромель – копель или золото – палладий, платина – платинородий.

Различают контактные и бесконтактные термопреобразователи.

Тепловая энергия непосредственно превращается в электрическую в так называемых термоэлектрических преобразователях. Термопара термоэлектрического преобразователя состоит из двух металлических проводников, изготовленных из разных материалов (например, из меди и константана) и спаянных вместе одними своими концами.

При некоторой разности температур между точкой спая и двумя другими концами обоих проводников возникает ЭДС, которая в первом приближении прямо пропорциональна этой разнице температур. Эта термо-ЭДС, равная нескольким милливольтам, может быть зарегистрирована при

помощи высокочувствительных вольтметров. Если вольтметр проградуировать в градусах Цельсия, то вместе с термоэлектрическим преобразователем полученное устройство можно применить для непосредственного измерения температуры.

При прохождении измеряемого тока по нагревателю, на термопаре возникает ТермоЭДС, пропорциональная количеству теплоты, выделенной измеряемым током в месте присоединения спая. Количество теплоты пропорционально квадрату измеряемого тока.

Ток в цепи измерительного механизма

$$I_1 = \frac{E}{R} \quad (2.92)$$

где E – термо-ЭДС; R – полное сопротивление цепи прибора.

Термоэлектрический прибор – сочетание термоэлектрического преобразователя с магнитоэлектрическим прибором.

Для расширения пределов измерения термоэлектрических амперметров используют специальные ВЧ экранированные трансформаторы тока.

В термоэлектрических вольтметрах включают добавочные сопротивления.

Достоинства: высокая точность измерения в широком диапазоне частот; независимость показаний от формы кривой тока и напряжений.

Недостатки – малая перегрузочная способность; большое собственное потребление мощности; неравномерная шкала.

Электронные вольтметры – распространенные электрорадиоизмерительные приборы, которые предназначены для измерения постоянных и переменных напряжений. Они имеют высокую чувствительность, большое входное сопротивление, малую входную емкость и работают в широком диапазоне частот.

Электронным вольтметром называется измерительный прибор, показания которого вызываются током электронных приборов, то есть энергией источника питания вольтметра.

Электронные вольтметры подразделяют на:

- Вольтметры для проверки (В1);
- Вольтметры постоянного тока (В2);
- Вольтметры переменного тока (В3);
- Вольтметры импульсные (В4);
- Вольтметры селективные (В6);
- Вольтметры универсальные (В7);

Вольтметры электронные аналоговые переменного тока делят по характеру измеряемого напряжения:

а) вольтметры, которые измеряют среднеквадратическое (действующее) значение U ;

б) вольтметры, которые измеряют средневыпрямленное значение $U_{ср}$;

в) вольтметры, которые измеряют амплитудное значение U_m .

По частотному диапазону вольтметры разделяют: на низкочастотные, высокочастотные и СВЧ.

По схеме входа: с открытым и закрытым входом

По отображению информации электронные вольтметры разделяют на: аналоговые (стрелочные) и цифровые.

По точности электронные вольтметры имеют классы точности 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 5,0.

2.2.4 Измерительные генераторы

Измерительный генератор – мера для воспроизведения электромагнитного сигнала (синусоидального, импульсного, шумового или специальной формы). Генераторы применяются для проверки и настройки радиоэлектронных устройств, каналов связи, при поверке и калибровке средств измерений и в других целях.

Измерительные генераторы подразделяют на следующие виды:

1) *генераторы сигналов низкой частоты (ГНЧ)* – источники гармонических немодулированных или модулированных сигналов инфразвуковых, звуковых и ультразвуковых частот;

2) *генераторы сигналов высокой частоты (ВНЧ)* – источники гармонических немодулированных или модулированных сигналов высоких и сверхвысоких частот;

3) *генераторы качающейся частоты (свин-генераторы)* – источники гармонических сигналов, частота которых автоматически изменяется в пределах устанавливаемой полосы частот;

4) *генераторы импульсов* – источники одиночных или периодических видеоимпульсных сигналов, форма которых близка к прямоугольной;

5) *генераторы сигналов специальной формы* – источники одиночных или периодических видеоимпульсных сигналов, форма которых отлична от прямоугольной;

6) *генераторы шумовых сигналов* – источники электрических шумовых сигналов, значение спектральной плотности мощности которых или мощность шума в требуемой полосе частот известны.

Современные измерительные генераторы гармонических сигналов перекрывают диапазон частот от тысячных долей герц и до десятков гигагерц. В зависимости от конструктивных особенностей, присущих приборам, работающим в разных частях этого диапазона, измерительные генераторы делятся на: низкочастотные (до 300кГц); высокочастотные (от 30кГц до 300МГц); сверхвысокочастотные с коаксиальным выходом (от 300МГц до 18ГГц); сверхвысокочастотные с волноводным выходом (свыше 6ГГц). Такая классификация обусловлена особенностями конструктивных решений колебательных цепей и электронных приборов (транзисторы, диоды, клистроны), пригодных для работы в данном диапазоне частот.

Установка и регулировка частоты осуществляется ручным или автоматическим способом. Отдельную группу приборов образуют генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты.

Для имитации реальных сигналов в генераторах предусмотрена возможность модуляции гармонических колебаний. По виду модуляции генераторы делятся на приборы с амплитудной и частотной синусоидальной модуляцией, амплитудной, частотной и фазовой импульсной модуляцией и с однополюсной модуляцией.

Выходной уровень напряжения (мощности) измерительных генераторов может быть калиброванным или некалиброванным. Калиброванный уровень напряжения изменяется от десятых долей вольт до сотых долей микровольт, а мощности – от единиц мкВт до 10^{-14} Вт. Выходная мощность генераторов с некалиброванным уровнем может достигать нескольких ватт. Основными метрологическими характеристиками генераторов гармонических сигналов являются погрешности установки частоты и выходного уровня сигнала, нестабильность частоты, параметры выходного сигнала при модуляции, максимальная выходная мощность на согласованной нагрузке.

Генераторы импульсных сигналов формируют одиночные или парные прямоугольные импульсы с частотой повторения от долей герц до сотен мегагерц, длительностью от долей наносекунды до нескольких секунд и амплитудой от единиц милливольт до десятков вольт.

Основными метрологическими характеристиками генераторов синусоидальных сигналов являются: погрешность установки частоты; нестабильность частоты; погрешность установки выходного уровня сигнала; максимальная выходная мощность сигнала на согласованной нагрузке; параметры выходного сигнала при модуляции, коэффициент (нелинейных) гармонических искажений.

Все метрологические (технические) характеристики сигналов в рамках данной лекции мы рассматривать не будем. Ограничимся лишь рассмотрением коэффициента гармонических искажений.

Нелинейным искажением называется изменение формы гармонического сигнала, возникающее в результате его прохождения через устройство, содержащее нелинейные элементы. (В генераторах сигналов нелинейными элементами являются, главным образом, ламповые и полупроводниковые усилители сигналов).

Искаженный негармонический сигнал содержит в своем спектре постоянную составляющую, первую гармонику (основную частоту f) и высшие гармоники с частотами $2f$, $3f$, ... Нелинейное искажение гармонического сигнала оценивается *коэффициентом гармоник* K_g , равным отношению среднеквадратического напряжения гармоник сигнала (кроме первой) к среднеквадратическому значению напряжения первой гармоники:

$$K_g = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2}} = \frac{U_g}{U_1} \quad (2.93)$$

Коэффициент гармоник часто выражается в процентах.

Нелинейные искажения сигнала любой формы оцениваются *коэффициентом нелинейности* K_n , который вычисляется по формуле:

$$K_H = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}} = \frac{U_g}{U_c} \quad (2.94)$$

отношение среднеквадратического значения высших гармонических к среднеквадратическому значению напряжения всех гармоник, т. е. к напряжению сигнала. Формулы (2.93) и (2.94) связаны соотношением:

$$K_g = \frac{K_H}{\sqrt{1 - K_H^2}} \quad (2.95)$$

Имеются и другие методы оценки нелинейности – комбинационный, статистический, которые больше характеризуют нелинейные свойства радиотехнических устройств, чем искажения сигналов.

Нелинейные искажения сигнала измеряют гармоническим методом, который реализуется двумя способами – аналитическим и интегральным.

Аналитический способ – гармонический сигнал генератора Г подают на вход измеряемого объекта ИО, на выходе которого включен анализатор спектра АС или анализатор гармоник. С помощью анализатора спектра получают спектрограмму выходного сигнала, измеряют абсолютные или относительные значения амплитуд высших гармонических и первой гармоники и по формуле (2.93) вычисляют коэффициент гармоник [6]. Если используют анализатор гармоник, то его настраивают вручную на каждую последующую гармонику, записывают их значения и вычисляют K_g по той же формуле. Аналитический способ трудоемок и применяется с целью выяснения роли каждой гармоники в отдельности.

2.2.5 Генераторы гармонических колебаний

Гармоническими называют колебания, которые описывают при помощи тригонометрических законов синуса и косинуса. Генератор гармонических колебаний – это устройство, создающее переменное напряжение, которое описывает закон синуса, при этом входные сигналы отсутствуют. При этом электрическая энергия источника постоянного тока трансформируется в энергию незатухающих гармонических колебаний определенной частоты, амплитуды и мощности. Генераторы гармонических колебаний применяют на практике:

- в радиоустройствах как задающие генераторы;
- с целью нагревания металлов и диэлектриков, используя индукционный высокочастотный нагрев;
- в составе разных преобразователей, которые используют для обработки материалов ультразвуком;
- в частотных измерительных приборах.

Генераторы, в зависимости от частоты генерации колебаний делят на:

- низкочастотные (генерирующие частоты до 10^5 Гц);
- высокочастотные (генерирующие частоты от 10^5 до 10^8 Гц);
- сверхвысокочастотные (СВЧ) генераторы (частоты более 10^8 Гц).

Генераторы могут обладать: независимым внешним возбуждением; самовозбуждением. Генератор, имеющий внешнее возбуждение – это

усилитель мощности. На его вход подает электрический сигнал источник колебаний. Частота колебаний для таких генераторов определяется частотой возбуждающих колебаний. Генератор, имеющий самовозбуждение обладает формирова́телями колебаний, обычно данные генераторы именуют автогенераторами. Для автогенераторов частота колебаний определяется параметрами собственных частото́задающих цепей [7].

Принципиальная схема генератора (рисунок 2.2.10.) имеет следующие структурные элементы: источник энергии; усилитель; цепь положительной обратной связи; цепь отрицательной обратной связи; формирова́тель колебаний (LC или RC цепи).

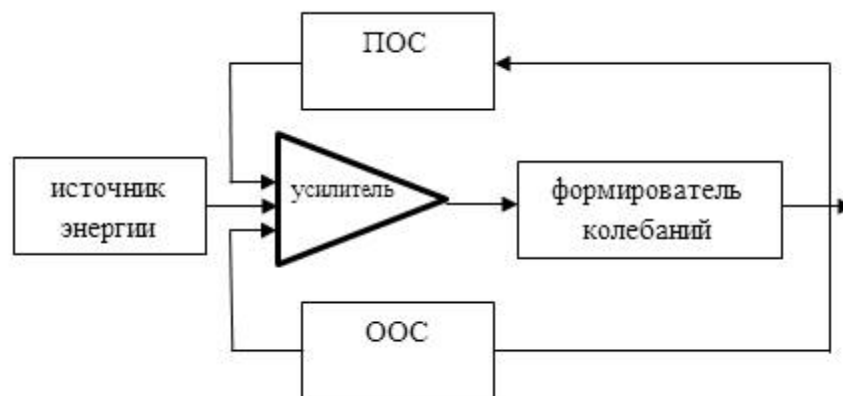


Рисунок 2.2.10. Принципиальная схема генератора гармонических колебаний

Автогенератор содержит: усилитель; избирательную цепь, которые включены последовательно в замкнутую цепь с положительной обратной связью. Усилитель может состоять из: Линейного усилителя; Ограничителя колебаний с общим коэффициентом передачи: $k_u = mk_{u0}(1)$, где k_{u0} - коэффициент передачи линейного усилителя; $m \leq 1$ - коэффициент ограничения амплитуды колебаний (коэффициент передачи ограничителя). Реализация колебаний в автогенераторе возможна при выполнении двух основных условий: Произведение коэффициентов передачи составных частей автогенератора в его замкнутой цепи должно быть равно единице: $k_u k_o = 1(2)$, где k_o - коэффициент передачи избирательной цепи. Сумма сдвигов фаз в цепи автогенератора должна быть равна нулю: $\varphi_u + \varphi_o = 0(3)$, где φ_u - фазовый сдвиг в усилителе; φ_o - фазовый сдвиг в цепи обратной связи (в избирательной цепи). Коэффициент передачи в цепи автогенератора является переменной величиной, зависящей от амплитуды колебаний. Если амплитуды колебаний малы, то произведение коэффициентов передачи должно быть более единицы: $k_{u0} k_o > 1$, где $m=1$, при этом амплитуда колебаний, появляющихся в автогенераторе, станет увеличиваться. При установлении колебаний их амплитуда ограничена соответствующей цепью. При установившемся режиме выполняется условие (2). При этом m Для автогенератора имеется два режима возбуждения: Мягкий, при котором

колебания возбуждаются самостоятельно; Жесткий, когда необходим внешний «толчок». Баланс амплитуд в автогенераторе обеспечивает совместная работа усилителя и ограничителя. Коэффициент m выступает в роли регулирующего параметра, с его помощью поддерживается баланс амплитуд. Баланс фаз в автогенераторе обеспечивается в основном, реализацией положительной обратной связью. Обычно ограничение амплитуды сопровождается искажением формы колебаний. При этом избирательная цепь автогенератора фильтрует колебания, осуществляя выделение первой гармоники[7].

Роль избирательных цепей в автогенераторах исполняют: LC – контуры, RC - цепи, кварцевые резонаторы, камертонные резонаторы, отрезки длинных линий. Кварцевые и камертонные резонаторы используют для получения колебаний со стабильными по частоте колебаниями. Отрезки длинных линий и полые резонаторы применяют для создания УВЧ и СВЧ колебаний. Самой распространенной избирательной цепью служит LC - контур. Его подключают параллельно или последовательно к внешнему источнику. При параллельном подключении LC - контура его сопротивление равно: $Z=Z_0/1+jxQ$, где: Z_0 - эквивалентное параллельное сопротивление потерь (эквивалентное сопротивление контура на частоте резонанса); $Q=\rho/r$ - добротность контура; $\rho=\sqrt{L/C}$ - характеристическое сопротивление; r - сопротивление потерь; x - обобщённая расстройка. $\omega_0=1/\sqrt{LC}$ - резонансная частота контура [7].

Последовательный LC - контур характеризуют проводимостью на частоте ω_0 : $J=J_0/1+jxQ$, где $J_0=1/r=Q\rho$.

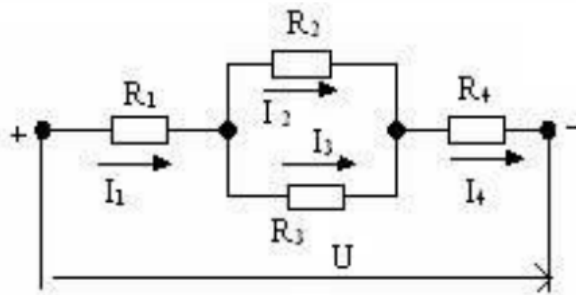
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. Найти напряжённость электрического поля точечного заряда 12нКл, если расстояние от заряда до точки поля 6см.
2. Определить расстояние до точки электрического поля напряжённостью 300Н/Кл, если заряд равен 3нКл.
3. Какова величина точечного заряда, если напряжённость 4мкН/Кл, а расстояние до точки электрического поля равно 3см.
4. Квадратную рамку со стороной 20см изготовили из проволоки сопротивлением 0,01Ом и поместили в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Определите среднюю силу тока в рамке, если за время 0,10с рамку повернули вокруг одной из сторон на угол 1800. Модуль вектора магнитной индукции 5,0мТл.
5. Измерены два значения напряжения 50 и 400В вольтметром с номинальным значением 400В с одной и той же абсолютной погрешностью 1В. Требуется определить какого из указанных значений напряжения погрешность измерения меньше.
6. Для измерения тока 4мА имеются два миллиамперметра: первый- класса точности 1% с верхним пределом 20мА и второй - класса точности

2,5% с верхним пределом 5мА. Требуется определить, каким прибором заданный ток можно измерить с меньшей относительной погрешностью.

7. Амперметром класса точности 2.0 со шкалой (0...50)А измерены значения тока 0; 5; 10; 20; 25; 30; 40; 50А. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой основных погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

8. В электрической цепи: $R_1=60\text{Ом}$, $R_2=30\text{Ом}$, $R_3=20\text{Ом}$, $R_4=8\text{Ом}$, $U=120\text{В}$. Определить эквивалентное сопротивление цепи, токи в неразветвленных участках и в ветвях цепи напряжения на резисторах цепи. Составить баланс мощностей.



9. Рассчитать погрешность установки частоты и напряжения, если в паспорте генератора указан класс точности и приведена формуле расчета абсолютной погрешность.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Что такое электрический заряд?
2. Как называется сила, с которой взаимодействуют заряды?
3. Дайте определение напряженности электростатического поля.
4. Цепи постоянного тока (состав и особенности элементов цепи, где применяются). Режимы работы электрической цепи (холостой ход, нормальный, номинальный, короткозамкнутый).
5. Первый и второй законы Кирхгофа.
6. Расчет цепи постоянного тока методом контурных токов (разобрать на примере)
7. Направление тока и его магнитного поля. Правило буравчика
8. По каким признакам классифицируются методы измерений
9. Что такое условия измерений? Какими они бывают?
10. Дайте определения прямых, косвенных, совместных и совокупных видов измерений.
11. В чём ценность относительной погрешности по сравнению с абсолютной?
12. Для чего нужно знать погрешности измерения?
13. Как вычисляется погрешность косвенного измерения: а) при однократных измерениях; б) при многократных воспроизводимых измерениях непосредственно наблюдаемых величин.
14. Как включают амперметр в схеме относительно нагрузки?
15. Каким должно быть внутреннее сопротивление амперметра?

16. Назовите недостатки выпрямительных приборов
17. Назначение импульсных вольтметров
18. Как различают измерительные генераторы в зависимости от формы выходного сигнала?
19. Как подразделяются генераторы по частотным характеристикам?
20. Каковы условия самовозбуждения генератора гармонических колебаний? Какими методами они реализуются?

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для овладения базовыми знаниями, необходимыми для применения законов электротехники и электроники, применения электрических цепей постоянного и переменного тока, электромагнетизма, знание физических процессов в электрических цепях, методов расчета электрических цепей, методов измерения основных параметров электрических, электронных и магнитных цепей, назначение принцип работы и применение измерительных трансформаторов тока и напряжения, перспективы развития электронной техники, способы и методы измерения электрических и радиотехнических величин, схемы включения электроизмерительных приборов.

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают: расчет параметров и элементов электрических и электронных устройств, сборку электрических схем и их работу, знания об измерениях и единицах измерения физических величин, метрологических показателей средств измерений, погрешностях измерений, основных видов средств измерений и их классификацию, принципа действия устройства, навыки для измерений электрических и неэлектрических величин в сфере профессиональной деятельности.

При изучении модуля обучающиеся учатся читать простые схемы типовой электронной аппаратуры, выбирать типы электронных приборов в зависимости от особенностей их применения, применять методы измерений, эксплуатировать электронные устройства, производить измерения электрических и неэлектрических параметров, определять пределы измерения величин, определять цену деления, расширять пределы измерения, производить измерения электрических параметров универсальными приборами измерения, определять погрешности измерений.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.Д. Андреев. Физика. Магнетизм: конспект лекций/А.Д.Андреев, Л.М. Черных; СПбГУТ. – СПб, 2009.
2. Андреев, А.Д. Физика. Электрический ток: конспект лекций А.Д. Андреев, Л.М.Черных; СПбГУТ. – СПб, 2005.
3. Савельев, И.В. Курс общей физики. Кн. 2/И.В.Савельев. – М.: Наука, 1998.

4. А.Д.Андреев Физика. Электростатика: конспект лекций/ А.Д.Андреев, Л.М. Черных; СПбГУТ. – СПб, 2004.
5. Шишмарёв В.Ю., Шанин В.И. Электрорадиоизмерения. 3-е изд. (2018)
6. Нефедов В.И., Сигов А.С., Битюков В.К., Самохина Е.В., Электрорадиоизмерения, 2018
- 7.https://spravochnick.ru/fizika/garmonicheskie_kolebaniya/generatory_garmonicheskikh_kolebaniy/

РАЗДЕЛ 3. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ СВОЙСТВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ И УСТРОЙСТВАХ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Определять свойства и классифицировать материалы, применяемые в производстве
2. Определять электрорадиоматериалы, применяемые при производстве электронных приборов и устройств
3. Использовать свойства электротехнических материалов при проектировании электронных приборов и устройств

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер с необходимым программным обеспечением
2. Измерительные приборы, радиокомпоненты.

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, описывающие физические и химические свойства металлов, широко применяемые в технике, изучающие классификацию и свойства металлов и сплавов, методы измерения параметров и определения свойств материалов, основные электрические, механические и тепловые свойства материалов, сортамент проводов и кабелей, зависимость электрической прочности электроизоляционных материалов от характеристик

3.1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ЭЛЕКТРОРАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ

3.1.1 Физико-химические основы материаловедения

Материаловедение – наука, изучающая металлические и неметаллические материалы, применяемые в технике, объективные закономерности зависимости их свойств от химического состава, структуры, способов обработки и условий эксплуатации и разрабатывающая пути управления свойствами [1] (рис.3.1.1).



Рисунок 3.1.1. Положение металловедения в общей структуре наук

Основные задачи материаловедения:

- раскрыть физическую сущность явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации;
- установить зависимость между составом, строением и свойствами материалов;
- изучить теорию и практику различных способов упрочнения материалов для повышения высокой надёжности и долговечности деталей, инструмента и изделий;
- изучить основные группы современных материалов, их свойства и области применения;
- дать понятия о современных методах исследования структуры и прогнозирования эксплуатационных свойств материалов и изделий.

Знакомство с основами материаловедения необходимо не только инженерам и научным работникам, но и любому современному человеку.

Как показывает практика и обширные научные исследования в области физики твердого тела (ФТТ) и материаловедения, наличие тех или иных свойств определяется **внутренним строением** сплавов. В свою очередь, строение сплава зависит от **состава и характера предварительной обработки**. Таким образом, можно установить следующие связи между характеристиками материала [2] (рис.3.1.2):

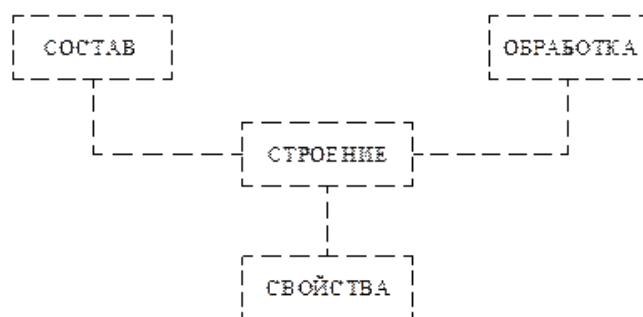


Рисунок 3.1.2. Схема связей между характеристиками материала

Изучение представленных связей составляет предмет материаловедения. В результате изучения предмета студент должен уметь:

- правильно выбрать материал для изделия;
- назначать его обработку с целью получения заданной структуры и свойств;
- оценивать поведение материала при воздействии на него различных эксплуатационных факторов;
- определять опытным путем основные характеристики материалов.

Достижения материаловедения, применяемые новые конструкционные материалы во многом определяют работоспособность машин, их надежность и долговечность.

Рациональный выбор материалов и технологии их переработки в изделия в значительной мере предопределяет возможность эксплуатации машин и механизмов в течение заданного периода времени. Материаловедение позволяет составлять научно-обоснованный прогноз изменения свойств материалов при различных условиях эксплуатации [2].

Классификация материалов: металлические, неметаллические и композиционные материалы. Металлические материалы подразделяются на цветные металлы, порошковые материалы. Неметаллические материалы: резина, стекло, керамика, пластические массы, ситаллы. Композиционные материалы являются составными материалами, в состав которых входят два и более материалов (стеклопластики).

Существует классификация материалов в зависимости от вида полуфабрикатов: листы, порошки, гранулы, волокна, профили и т. д.

Техника создания материалов положена в основу классификации по структуре.

Металлические материалы подразделяются на группы в соответствии с тем компонентом, который лежит в их основе. Материалы черной металлургии: сталь, чугуны, ферросплавы, сплавы, в которых основной компонент – железо. Материалы цветной металлургии: алюминий, медь, цинк, свинец, никель, олово.

Основу современной техники составляют металлы и металлические сплавы. Сегодня металлы являются самым универсальным по применению классом материалов. Для того чтобы повысить качество и надежность

изделий, требуются новые материалы. Для решения этих проблем применяются композиционные, полимерные, порошковые материалы.

Металлы – вещества, которые обладают ковкостью, блеском, электропроводностью и теплопроводностью. В технике все металлические материалы называют металлами и делят на две группы.

Простые металлы – металлы, которые имеют небольшое количество примесей других металлов.

Сложные металлы – металлы, которые представляют сочетания простого металла как основы с другими элементами.

Физические и химические, технологические и эксплуатационные свойства металлов.

В изготовлении машин и рабочих установок, наиболее применяемыми стали металлы и их сплавы.

Сплав – это соединение двух или более веществ, образовавшееся в результате кристаллизации (затвердевания) расплавов.

Для правильного выбора металла для изготовления конструкций механизмов с дальнейшим анализом ее использования, механических и других свойств, которые влияют на надежность и работоспособность машин – нужно знать внутреннее строение, механические, физико-химические и технологические свойства, а также каким методом проводить обработку металла и нуждается ли материал в резке металла (если материал нужно обработать резкой, то лучше это сделать при помощи плазменной резки металла) [3].

Все твердые тела делятся на аморфные и кристаллические.

В аморфных телах атомы расположены хаотично, т.е. беспорядке, без всякой системы. Примерами аморфных тел могут служить стекло, клей, воск, канифоль.

В кристаллических телах атомы расположены в строго определенной последовательности. К телам с кристаллическим строением относят поваренную соль, кварц, сахарный песок, металлы и сплавы.

Все свойства металлов и сплавов можно разделить на четыре группы: физические, химические, технологические и механические.

1) Физические свойства

К ним относятся: температура плавления, цвет, плотность, коэффициенты линейного и объемного расширения, электропроводность, теплопроводность, склонность к намагничиванию. Физические свойства сплавов обуславливаются их составом и структурой.

Состав металлов и сплавов определяется химическим, спектральным и фазовыми анализами: структуру металла и сплава – рентгеноструктурным и магнитоструктурным анализами, металлографией и магнитной металлографией, электрические свойства сплавов – их электросопротивлением.

Теплопроводность – способность тел проводить тепло при нагреве и охлаждении. Металлы имеют сравнительно высокую теплопроводность, чем

она выше, тем равномернее распределяется температура по объему металла и тем быстрее он прогревается.

Электропроводность – свойство металла проводить электрический ток.

Магнитные свойства – способность металла намагничиваться (ферромагниты, парамагниты, диамагниты).

2) Химические свойства

Химические свойства – это способность металла к взаимодействию с другими веществами: воздухом, водой, кислотами, щелочами и др. К химическим свойствам металлов и сплавов относятся их окисляемость, растворимость, коррозионная стойкость. Для определения химических свойств металлы и сплавы испытывают на общую коррозию в различных средах, межкристаллитную коррозию и на коррозионное растрескивание [3].

Окисляемость – способность металла вступать в реакцию в кислороде под воздействием окислителей.

Растворимость – способность вещества растворяться в том или ином растворителе. Металлы растворяются в сильных кислотах и едких щелочах.

Коррозионная стойкость – способность металла сопротивляться коррозии.

3) Технологические и эксплуатационные свойства

– Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

а) Литейные свойства характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок:

– Жидкотекучесть – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

– Усадка (линейная и объемная) – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

– Ликвация – неоднородность химического состава по объему.

б) Способность материала к обработке давлением – это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь. Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб. Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

в) Свариваемость – это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

г) Способность к обработке резанием характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

Износостойкость – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

Коррозионная стойкость – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

Жаростойкость – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

Жаропрочность – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

Хладостойкость – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

Антифрикционность – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий. При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

3.1.2 Полупроводниковые материалы

Полупроводниковые материалы по удельному электрическому сопротивлению занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. При изменении температуры, воздействии света, излучения, давления, введении в полупроводник малого количества примесей и т.д. удельное сопротивление полупроводниковых материалов изменяется. При высоких температурах полупроводники по проводимости приближаются к проводникам. Повышается электропроводность полупроводников и при действии света. Процесс контролируемого введения в полупроводник необходимых примесей называют *легированием*. Процесс легирования лежит в основе создания всех полупроводниковых приборов [4].

Простыми называются такие полупроводниковые материалы, которые состоят из одного химического элемента. К простым полупроводниковым материалам относятся германий, кремний, селен, теллур и др.

Германий – твердый и хрупкий материал. Он применяется для изготовления диодов различных типов, транзисторов и тензодатчиков. Оптические свойства германия позволяют его использовать для изготовления фотодиодов и фототранзисторов, оптических фильтров и др. Рабочая температура полупроводниковых приборов на основе германия не должна превышать плюс 80°C. При низких температурах и высоких давлениях германий переходит в сверхпроводящее состояние.

Кремний является базовым материалом полупроводниковой электроники. Электропроводность кремния, как и германия, зависит от концентрации примесей. Кремний идет на изготовление диодов, транзисторов, тиристоров, фотодиодов и т.д. Кремниевые приборы могут работать при более высоких температурах (180–200°C), чем германиевые.

Кристаллический кремний хрупкий с металлическим блеском, химически инертен.

К *сложным* полупроводниковым материалам относятся неорганические и органические соединения: карбид кремния, химические соединения бора, индия, галлия, алюминия с азотом и др [4].

Карбид кремния – это соединение кремния с углеродом. На основе карбида кремния создают полупроводниковые приборы, которые сохраняют работоспособность при температурах до $+700^{\circ}\text{C}$. Эти приборы необходимы для контроля высокотемпературных процессов. Еще одно применение карбид кремния нашел при производстве силитовых нагревателей для электрических печей, рассчитанных на максимальные температуры до 1500°C . Карбид кремния характеризуется высокой прочностью, по твердости немного уступает алмазу, химически стойкий.

Арсенид галлия (соединения с мышьяком) используется для создания полупроводниковых приборов, работающих при высоких частотах и температурах ($300\text{--}400^{\circ}\text{C}$).

3.1.3 Свойства проводниковых материалов

Различные металлы и, конечно, сплавы из них, относятся к твердым проводниковым материалам. Немного рассмотрим свойства, которые имеют твердые проводниковые материалы. Известно, что свободные электроны являются носителями электрических зарядов в металлах. Они движутся беспорядочно при отсутствии внешнего электрического поля. В одном определенном направлении свободные электроны в проводнике начинают движение под действием электрического поля, образуя в последствии электрический ток [4].

Проводниковые свойства проявляют металлы, металлические сплавы, графит (модификация углерода) и электролиты. Металлы относятся к проводникам с электронной проводимостью. В электролитах (растворы кислот, солей, щелочей) перенос электрических зарядов осуществляют ионы.

Основная характеристика проводника - это его электропроводность. Как известно, в любом теле при приложении напряжения должен протекать ток. Свойство металлов объясняется хорошей проводимостью электрического тока, а это значит, металл обладает большой плотностью свободных электронов. Малое удельное сопротивление имеют химически чистые металлы.

Как правило, сплавы по сравнению с чистыми металлами обладают большим удельным сопротивлением. Известно, что с повышением температуры сопротивление металлов увеличивается. Производя расчеты с целью выбора проводниковых материалов это необходимо учитывать, так как они нагреваются во время прохождения по ним электрического тока.

Для металлов носителями заряда являются электроны. Примерное количество электронов в металле составляет около 10^{23} шт/см. Если оценить концентрацию атомов типичного металла, то она составит примерно те же значения. Это означает, что все атомы ионизованы и электроны не

принадлежат каждому атому, а обобществлены во всем кристалле. Классическая теория металлов рассматривала электроны как идеальный газ, частицы которого сталкиваются с дефектами решетки, колебаниями атомов, за счет чего их скорость остается ограниченной в электрическом поле.

Известная из практики закономерность, что чем больше электропроводность металла, тем больше его теплопроводность имеет под собой теоретическое обоснование. Действительно, теплопроводность и электропроводность пропорциональны друг другу.

Для практики важно, что электропроводность металлов зависит от температуры. Экспериментально установлено в ряде случаев, что эта зависимость близка к линейной зависимости. Для электрических проводов значение удельного сопротивления является самым важным фактором. Он определяет удельную мощность потерь электроэнергии в проводах, т.е. мощность в единице объема провода.

В зависимости от плотности тока в проводах потери могут сильно различаться. Ясно, что при пропускании определенной мощности по линии электропередач, например для трехфазной линии $P = 3 I_{\text{на}} U$ 1 чем больше напряжение сети, тем больше мощность при том же значении тока. Поскольку потери определяются током, а передаваемая мощность произведением тока на напряжение, то выгоднее переходить на более высокие классы напряжения. Поэтому переходят на все более высокие напряжения, чтобы относительно меньшая доля энергии терялась в проводах.

Различают проводниковые материалы по механическим свойствам: прочность при растяжении, изгибании, твердость, и т.п. При конструировании и проектировании электроустановок учитывают эти свойства. Химические свойства учитывают при выборе и применении проводниковых материалов. Например, если проводники требуется использовать в условиях повышенной влажности, то их помещают в герметические оболочки или даже в некоторых случаях защищают антикоррозионными покрытиями. Также выбирая проводники важно учитывать

Сверхпроводимость проводников. Удельное сопротивление отдельных проводников при понижении температуры уменьшается, например: удельное сопротивление алюминия равно 0,05 при температуре жидкого водорода 20°K, т.е. в 524 раза меньше, чем при температуре 20°С 293°K. При охлаждении до определенной критической температуры, близкой к абсолютному нулю, у многих проводников, кроме золота, меди, серебра и некоторых других металлов, электрическое сопротивление скачкообразно падает до нуля. Это свойство называется у проводников сверхпроводимостью. Протекание тока в проводниках всегда связано с потерями энергии, т.е. с переходом энергии из электрического вида в тепловой вид. Этот переход необратим, обратный переход связан только с совершением работы, как об этом говорит термодинамика. Существует возможность перевода тепловой энергии в электрическую с использованием т. н. термоэлектрического эффекта, когда используют два контакта двух

проводников, причем один нагревают, а другой охлаждают. Сверхпроводимость была обнаружена в экспериментах при сверхнизких температурах, вблизи абсолютного нуля температур. По мере приближения к абсолютному нулю колебания решетки замирают. Сопротивление протеканию тока уменьшается согласно классической теории, но до нуля при некоторой критической температуре T_c , оно уменьшается только согласно квантовым законам.

Широкое практическое применение в настоящее время находит явление сверхпроводимости, например, при сооружении трансформаторов, мощных установок общего назначения.

3.1.4 Диэлектрические материалы

Диэлектрик – материал, основным электрическим свойством которого является способность поляризоваться в электрическом поле. Диэлектрический материал предназначен для использования его диэлектрических свойств. Важным свойством диэлектриков является их высокое удельное электрическое сопротивление (10^7 - КРОм м).

Явление поляризации диэлектрика заключается в возникновении электрического момента тела под влиянием внешних воздействий (чаще всего внешнего электрического поля). Количественно электрическая поляризация вещества характеризуется поляризованностью p (Кл/м²) – векторной величиной, равной пределу отношения электрического момента p некоторого объема вещества к этому объему V , при стремлении последнего к нулю.

Механизм поляризации диэлектрика зависит от его строения. Диэлектрики бывают полярными и неполярными.

Полярный диэлектрик содержит электрические диполи – молекулы, обладающие дипольным моментом и способные к переориентации во внешнем электрическом поле. В отсутствие поля они находятся в хаотическом тепловом движении и ориентированы беспорядочно. При наложении электрического поля дипольные моменты молекул ориентируются преимущественно по полю и диэлектрик становится поляризованным.

Для *неполярных диэлектриков* характерна электронная поляризация, которая обусловлена упругим смещением и деформацией электронных оболочек относительно ядер в диэлектрике. Электронная поляризация наблюдается у всех диэлектриков и сопровождается другими типами поляризации.

Ионная поляризация – электрическая поляризация, обусловленная упругим смещением разноименно заряженных ионов относительно их положения равновесия в диэлектрике. Данный тип поляризации имеет место у диэлектриков ионного строения.

Диэлектрические свойства материалов характеризуются абсолютной $\epsilon_{\text{ц}}$ и относительной ϵ , диэлектрической проницаемостью и абсолютной и относительной диэлектрической восприимчивостью.

Абсолютная диэлектрическая проницаемость – величина, характеризующая диэлектрические свойства диэлектрика. Для изотропного вещества это скалярная величина, равная отношению модуля электрического смещения D к модулю напряженности электрического поля E , для анизотропного – тензорная.

Относительная диэлектрическая проницаемость – отношение абсолютной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\text{ц}}$ к электрической постоянной ϵ_0 :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_{\text{ц}}}{\epsilon_0} \quad (3.1)$$

Абсолютная диэлектрическая восприимчивость – величина, характеризующая свойство диэлектрика поляризоваться в электрическом поле. Для изотропного вещества это скалярная величина, равная отношению модуля поляризованное к модулю напряженности электрического поля, для анизотропного – тензорная.

Относительная диэлектрическая восприимчивость – отношение абсолютной диэлектрической восприимчивости $\chi_{\text{ц}}$ к электрической постоянной ϵ_0 .

$$\chi_r = \chi_{\text{ц}} \epsilon_0 \quad (3.2)$$

Относительная диэлектрическая проницаемость связана с относительной диэлектрической восприимчивостью соотношением

$$\epsilon_r = \chi_r + 1 \quad (3.3)$$

а электрическое смещение

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (3.4)$$

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества зависит от внешних факторов, таких, как частота приложенного электрического поля, температура, давление. Диэлектрическая проницаемость электронных и ионных диэлектриков обычно не зависит или слабо зависит от частоты приложенного поля. Это связано с тем, что характерное время поляризации составляет 10^{13} - 10^{15} с и при частотах, применяемых в современной электротехнике, за время полупериода успевает установиться равновесие.

Диэлектрическая проницаемость электронных диэлектриков слабо уменьшается с повышением температуры, а у ионных диэлектриков сложным образом зависит от последней, часто слабо возрастаая с увеличением температуры. У полярных диэлектриков диэлектрическая проницаемость проходит обычно через максимум: она сначала увеличивается вследствие уменьшения вязкости диэлектрика, а затем падает в результате разориентирующего действия температуры на электрические диполи.

При использовании диэлектриков в качестве диэлектрических материалов при внешних воздействиях учитываются такие характеристики, как нагревостойкость, стойкость к термоударам, холодостойкость, дугостойкость, химиостойкость, радиационная стойкость, короностойкость, трекингостойкость, влагостойкость, водостойкость, водопоглощение, грипикостойкость, плеснестойкость, влагопоглощение и старение диэлектрика.

Наибольшая по количеству и стоимости часть выпускаемых промышленностью диэлектрических материалов предназначена для использования в качестве электроизоляционных материалов. Согласно ГОСТ 21515-76 электроизоляционные материалы делятся на следующие виды.

Электроизоляционный слоистый пластик – электроизоляционный материал, состоящий из слоев волокнистого наполнителя, связанных терморезактивным связующим. Листовой электроизоляционный слоистый пластик выпускают в виде листов, фасонный – в виде различных форм поперечного сечения (стержней, трубок, цилиндров). В зависимости от вида волокнистого наполнителя производят гетинакс, текстолит, асботекстолит, асбогетинакс, стеклотекстолит.

Электроизоляционный фольгированный материал – листовой или рулонный электроизоляционный материал, облицованный с одной или двух сторон металлической фольгой.

Миканит, слюдинит и слюдопласт – слюдосодержащие электроизоляционные материалы на основе пластин щипаной слюды, слюдинитовой и слюдопластовой бумаги соответственно. По назначению выпускают коллекторный, прокладочный, формовочный, гибкий и ленточный миканит, слюдинит и слюдопласт.

Пленкосодержащий электроизоляционный материал – листовой или рулонный материал, состоящий из полимерной пленки, склеенной с различными электроизоляционными бумагами, тканями, картонами и другими гибкими материалами. Гибкая электроизоляционная трубка – цилиндрический полый гибкий материал. По способу изготовления и назначению различают лакированные, эластомерные, пластиковые и термоусаживаемые гибкие электроизоляционные трубки.

Электроизоляционный лак – раствор пленкообразующих в органических растворителях, создающий после удаления растворителя и высыхания однородную пленку, обладающую электроизоляционными свойствами. По механизму пленкообразования он делится на термопластичные и терморезактивные лаки, по режиму сушки – лаки естественной и горячей сушки, по назначению – пропиточные, клеящие и покрывные лаки.

Электроизоляционный компаунд – порошкообразный, высоковязкий или жидкий состав без растворителя, применяемый для напыления, заливки или пропитки электроизоляционных материалов, деталей и узлов электрооборудования. По составам различают термопластичные и терморезактивные компаунды, по режиму отверждения – компаунды естественного и горячего отверждения.

Электроизоляционная лакоткань – рулонный материал, состоящий из ткани, пропитанной электроизолирующим лаком. По виду применяемой ткани она делится на хлопчатобумажные и шелковые лакоткани, стеклоткани и резин остекловки и.

Электроизоляционный препрег – гибкий материал, состоящий из волокнистой основы и частично отвержденного термореактивного связующего. Различают препреги обмоточные и формовочные.

Электроизоляционный пресс-материал – материал в виде порошка, гранул или рыхлых пучков, состоящих из волокнистого наполнителя и частично отвержденного термореактивного связующего.

Большую группу диэлектриков, используемых в качестве изоляционных материалов, составляют *жидкие диэлектрики*.

Значительное развитие получило использование *электрических кристаллов*. Такие кристаллы излучают и принимают звук и ультразвук, стабилизируют по частоте излучение радиостанций, разграничивают частотные диапазоны в высокочастотной телефонии, служат активными элементами в измерительных приборах, управляют лазерным пучком и т.д. Среди электрических кристаллов центральное место принадлежит сегнето- и пьезоэлектрикам.

3.2. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЕ

3.2.1 Измерение частоты и интервалов времени

Методы измерения частоты

В связи используется широкий диапазон частот: от нескольких сот килогерц до десятков гигагерц. Низкочастотное оборудование охватывает полосы частот от 20 Гц до 120 кГц. В зависимости от частотного диапазона на практике применяются различные методы измерения.

Частота f и время T являются обратными величинами:

$$f = 1/T \quad (3.5)$$

где f измерено в Герцах, а T в секундах. Кроме того, частота связана с длиной волны известным выражением:

$$f = c/\lambda \quad (3.6)$$

где $c=3\cdot 10^8$ м/с – скорость света в свободном пространстве; λ - длина волны в метрах. Следовательно, измерение частоты, периода или длины волны равноценны. Аппаратура для измерения частотно – временных параметров представляет собой единый комплекс приборов, обеспечивающих измерение с привязкой к Государственному первичному эталону времени и частоты.

Частоту можно измерять методом сравнения, резонансным методом и методом дискретного счёта. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, и область применения. Все приборы для измерения частоты образуют подгруппу Ч, внутри которой выделяют стандарты частоты и времени Ч1, частотомеры резонансные (Ч2), электронно-счётные (Ч3) и гетеродинные (Ч4).

Основой всех частотно-временных измерений в России является группа стандартов – высокоточных мер частоты и времени, в которую входит водородный, рубидиевый, цезиевый и кварцевый стандарты.

Осциллографические методы измерения частоты

Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки

Схема подключения источника сигнала к осциллографу приведена на рис.3.2.1.

$$\begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{гр}(t) \end{cases} \quad (3.7)$$

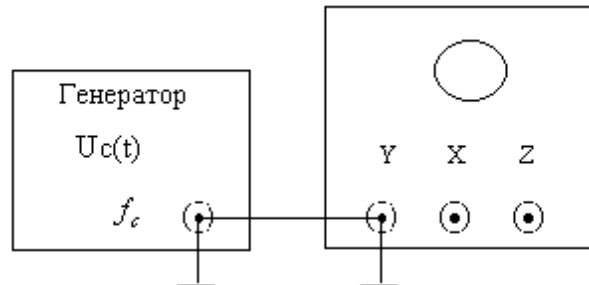


Рисунок 3.2.1а. Схема подключения источника сигнала к осциллографу

Измеряемый сигнал $u_c(t)$ подается на вход Y осциллографа. На пластины X ЭЛТ поступает сигнал ГР $u_{гр}(t)$. Порядок функционирования блоков осциллографа определяется структурной схемой на рис.3.2.1б. На экране наблюдается осциллограмма, которая для синусоидального сигнала будет иметь вид, приведенный на рис.3.2.1б.

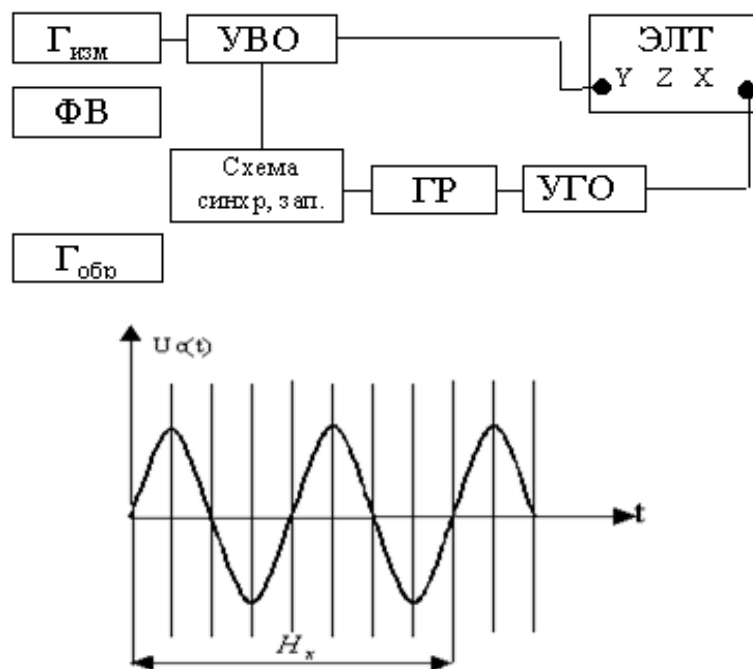


Рисунок 3.2.1б. Подключение источника сигнала к осциллографу (осциллограмма)

Определяем геометрический размер H_x [дел], соответствующий целому числу периодов сигнала. Период и частота исследуемого сигнала определяются из соотношений

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} \quad (3.8)$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{n}{H_x \cdot m_x} \quad (3.9)$$

где n – целое число периодов сигнала, m - коэффициент отклонения по горизонтали (цена деления по оси X) $\left[\frac{\text{время}}{\text{дел}} \right]$.

Его численное значение определяется положением дискретного переключателя скорости развертки (калиброванная величина).

Погрешность измерения периода определяется из соотношений:

– систематическая абсолютная составляющая

$$\Delta_T = \frac{m_x}{n} \Delta H_x + \frac{H_x}{n} \Delta m_x \quad (3.10)$$

– СКО случайной составляющей

$$G_T = \sqrt{\left(\frac{m_x}{n} G_{H_x} \right)^2 + \left(\frac{H_x}{n} G_{m_x} \right)^2} \quad (3.11)$$

Где ΔH_x - абсолютная погрешность измерения геометрического размера H_x дел;

Δm_x - абсолютная погрешность задания коэффициента $m_x \left[\frac{\text{время}}{\text{дел}} \right]$

G_{H_x} - СКО погрешность измерения величины H_x [дел]

G_{m_x} - СКО погрешности задания коэффициента $m_x \left[\frac{\text{время}}{\text{дел}} \right]$

Измерение частоты методом линейной развертки с внешним генератором образцовой частоты

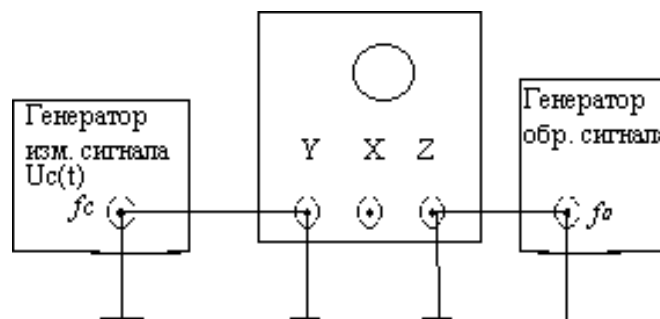


Рисунок 3.2.2. Источник образцовой частоты

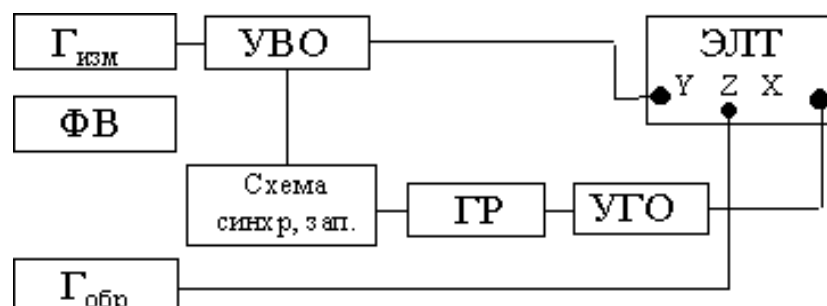


Рисунок 3.2.3. Порядок функционирования блоков осциллографа

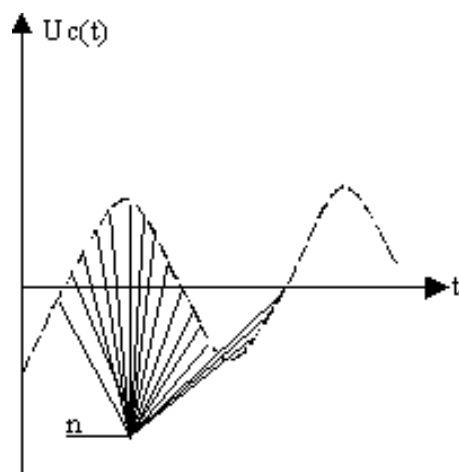


Рисунок 3.2.4. Число “ n ” в одном периоде сигнала

$$\begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{гр}(t) \\ u_z(t) = u_{обр}(t) \end{cases} \quad (3.12)$$

Измеряемый сигнал $u_c(t)$ подается на вход Y осциллографа. На пластины X ЭЛТ поступает сигнал ГР $u_{гр}(t)$. Источник образцовой частоты подключается к входу Z осциллографа (рис.3.2.2). Порядок функционирования блоков осциллографа определяет структурная схема, представленная на рис.3.2.3. На осциллограмме возникают яркостные метки. Подсчитывается их число “ n ” в одном периоде сигнала рис.3.2.4. Измеряемая частота определяется из соотношения

$$f_c = \frac{f_0}{n} \quad (3.13)$$

При условии, что $f_0 > f_c$

Измерение частоты методом синусоидальной развертки производится во втором основном режиме работы осциллографа (П1 в положении 2). Гармонические сигналы подаются на входы Y и X осциллографа.

3.2.2 Измерение фазового сдвига и мощности

Фазовым сдвигом – называют модуль разности аргументов двух гармонических сигналов одинаковой частоты:

$$u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (3.14)$$

$$u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (3.15)$$

т.е. разности начальных фаз $\varphi_1 - \varphi_2$.

Фазовый сдвиг является постоянной величиной и не зависит от момента отсчёта. Обозначим ΔT интервал времени между моментами, когда сигналы находятся в одинаковых фазах, например при переходах через нуль от отрицательных к положительным значениям. Тогда фазовый сдвиг

$$\varphi = \omega \Delta T = \frac{2\pi \omega T}{T} \quad (3.16)$$

или $\varphi = 360 \Delta T / T$

где T – период гармонических сигналов.

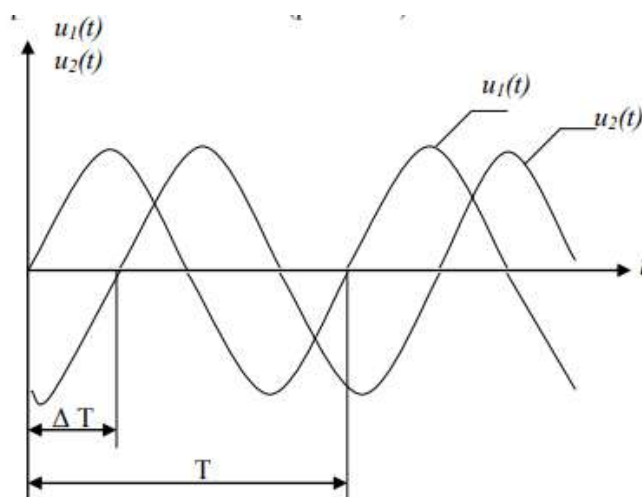


Рисунок 3.2.5. Период гармонических сигналов

Фазовый сдвиг проявляется, когда электрический сигнал проходит через цепь, в которой он задерживается. Колебательные контуры, фильтры, фазовращатели и другие четырёхполюсники вносят фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением $\varphi = \omega t_3$, где t_3 – длительность задержки в секундах. Усилительный каскад обычного типа вносит фазовый сдвиг, равный π . Многие радиотехнические устройства – радиолокационные, радионавигационные, телевизионные, широкополосные усилители всех назначений, фильтры – характеризуются наряду с другими параметрами фазочастотной характеристикой $\varphi(\omega)$, т.е. зависимостью фазового сдвига от частоты.

Если напряжения с одинаковыми частотами имеют несинусоидальную форму, то фазовый сдвиг рассматривается между их первыми гармониками. При измерении напряжение высших гармоник отфильтровываются с помощью фильтров нижних частот.

Осциллографические методы измерения угла сдвига фаз

Измерение угла сдвига фаз методом синусоидальной развертки производится во втором режиме работы осциллографа. На входы Y и X подаются гармонические сигналы со сдвигом фазы φ . Формируется осциллограмма в виде эллипса, для которой определяются расстояние l между точками пересечения с осью X и проекция L эллипса на ось X (рис.3.2.6).

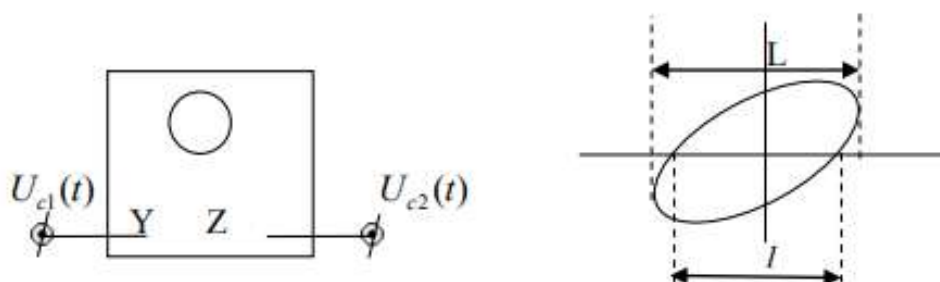


Рисунок 3.2.6. Осциллограмма в виде эллипса

Измеряемый сдвиг фазы вычисляется из соотношения

$$\varphi = \arcsin \frac{l}{L}$$

Характерные положения осциллограммы для различных значений угла сдвига фаз показаны на рис.3.2.7.

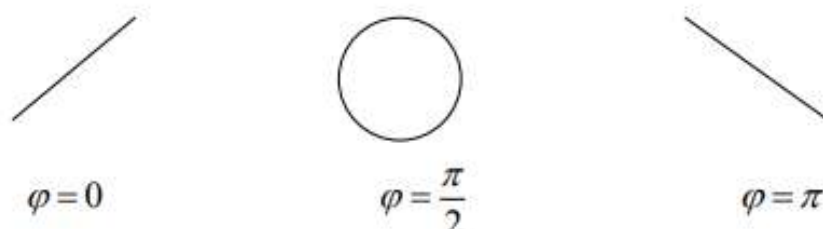


Рисунок 3.2.7. Характерные положения осциллограммы

В этом случае на экране формируется временная развертка напряжений поданных на входы Y1 и Y2 осциллографа. На полученной осциллограмме определяют расстояние l , соответствующее фазовому сдвигу, и расстояние L , соответствующее периоду сигнала. Измеряемый угол сдвига фаз вычисляется из соотношения

$$\begin{cases} u_{c1}(t) = U_m \sin \omega t \\ u_{c2}(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi) \end{cases} \quad (3.17)$$

Измерение угла сдвига фаз методом линейной развертки производится с помощью двухканального (двух лучевого) осциллографа (рис.3.2.8)

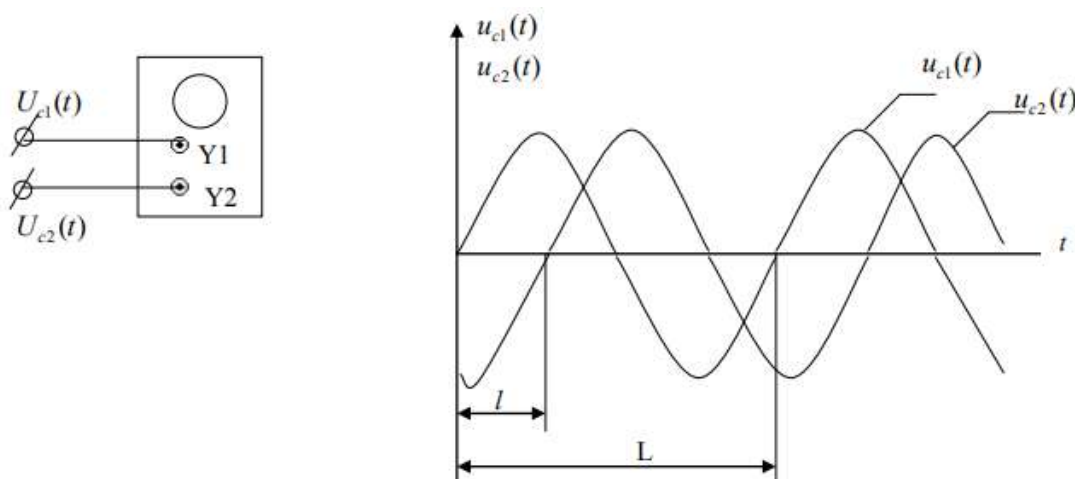


Рисунок 3.2.8. Измерение угла сдвига фаз

В этом случае на экране формируется временная развертка напряжений поданных на входы Y1 и Y2 осциллографа. На полученной осциллограмме определяют расстояние l , соответствующее фазовому сдвигу, и расстояние L , соответствующее периоду сигнала. Измеряемый угол сдвига фаз вычисляется из соотношения

$$\varphi = \left[\frac{l}{L} \right] 360^\circ$$

Цифровые фазометры

В основу работы цифровых фазометров (ЦФ) положено уравнение (11.1), по способу реализации которого ЦФ делят на две группы:

- 1) с промежуточным преобразованием фазового сдвига в постоянное напряжение;
- 2) с время-импульсным преобразованием:
 - с измерением за один период;
 - с измерением среднего значения за несколько периодов (интегрирующие).

Цифровой фазометр с преобразованием фазового сдвига в постоянное напряжение

Метод реализуют с помощью следующей структурной схемы:

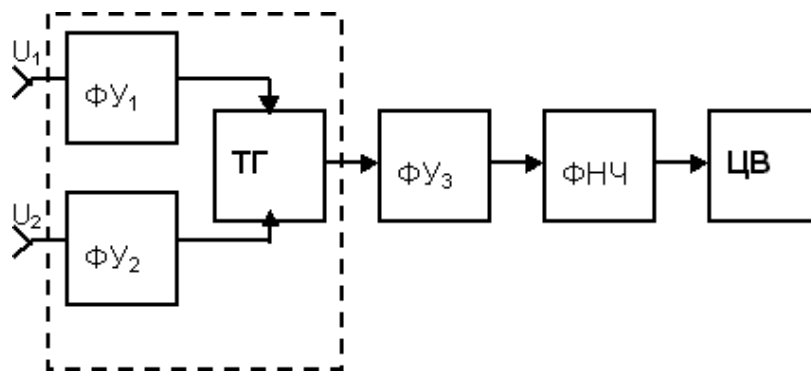


Рисунок 3.2.9. Цифровой фазометр

$\Phi Y_{1,2}$ – формирующие устройства, которые формируют из гармонического сигнала сигнал с крутыми фронтами.

ΦY_3 – формирующее устройство для формирования сигнала с калиброванным пиковым значением U_p .

ФНЧ – фильтр нижних частот для выделения постоянной составляющей сигнала U_{CP} . ЦВ – цифровой вольтметр постоянного напряжения.

БФ – блок формирования временного интервала Δt_ϕ .

Среднее значение напряжения на выходе ФНЧ определяется выражением:

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = U_p \frac{\Delta t_\phi}{T} = \frac{U_p}{360} \varphi \quad (3.18)$$

Следовательно, показание ЦВ будет пропорционально фазовому сдвигу φ

Источники погрешности измерения:

- 1) погрешность формирования временного интервала Δt_ϕ
- 2) нестабильность напряжения U_p
- 3) погрешность ЦВ

Цифровой фазометр с время-импульсным преобразованием за 1 период.

Структурная схема такого фазометра имеет вид:

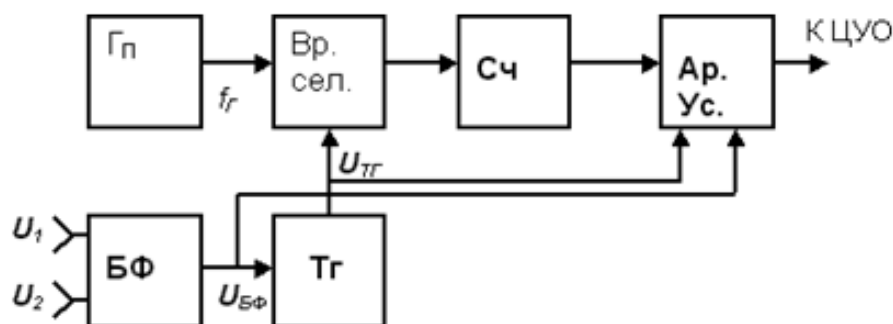


Рисунок 3.2.10. Цифровой фазометр

Гп – генератор коротких импульсов с частотой следования $f_{Г}$;

Вр. сел. – временной селектор (электронный ключ, электронный коммутатор); Сч – счетчик импульсов;

Тг – триггер;

Ар.Ус. – арифметическое устройство;

БФ – блок формирования интервала Δt_{ϕ} (см. предыдущую схему).

Измерение мощности электрических сигналов относится к одной из важных проблем систем связи, радиотехники и любых радиоэлектронных средств (РЭС). На практике мощность измеряют в широком частотном диапазоне – от постоянного тока до оптических волн, и в пределах уровней – от 10^{-18} до 10^8 Вт.

Мощность электромагнитных колебаний. Электрическую мощность определяют работой, совершаемой источником электромагнитного поля в единицу времени. Мощность в ваттах: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$.

Измерение мощности в различных частотных диапазонах имеет определенные особенности. Измерители мощности промышленной частоты наряду со счетчиками энергии являются основой действующей системы учета потребления электрической энергии в быту и народном хозяйстве. Измерение мощности на постоянном токе, а также в диапазоне звуковых и высоких частот имеет ограниченное значение, поскольку на частотах до нескольких десятков мегагерц часто удобнее измерять напряжения, токи и фазовые сдвиги, а мощность определять расчетным путем.

На частотах свыше 300 МГц вследствие волнового характера процессов значения напряжений и токов теряют однозначность и результаты измерений начинают зависеть от места подключения прибора. Поскольку поток мощности через любое поперечное сечение линии передачи всегда остается неизменным, то основным параметром, характеризующим режим работы практически любого устройства СВЧ, становится мощность.

Активную (поглощаемую электрической цепью) мощность однофазного переменного тока определяют по формуле

$$P = UI \cos \varphi \quad (3.19)$$

где U , I – средние квадратические значения напряжения и тока; φ – сдвиг фазы между их мгновенными значениями.

Если нагрузка R_H в электрической цепи активная ($\varphi = 0$), то мощность переменного тока

$$P = UI = I^2 \cdot R_n = U^2 / R_n \quad (3.20)$$

Электрическую мощность переменного тока можно измерять непосредственно с помощью специальных приборов – *ваттметров*, или косвенно путем измерения величин, входящих в приведенные выше соотношения. Принцип действия ваттметров основан на реализации операции перемножения.

Для измерения мощности электрических колебаний применяются устройства как прямого, так и косвенного перемножения. Примерами устройств прямого перемножения являются измерительные механизмы ваттметров электродинамической системы. Прямое перемножение напряжений или токов можно обеспечить с помощью преобразователей Холла (Холл Э.Г., 1855-1938, амер. физик) или специальных схем на полевых транзисторах и т.д. В устройствах косвенного перемножения произведение величин находят путем сложения (вычитания), возведения в степень, логарифмирования, интегрирования и пр. Для этих целей служат аналоговые интегральные перемножители. Современные ваттметры на частоты 1...10МГц создают на основе интегральных перемножителей с использованием термопреобразователей.

Измерение мощности низкочастотных и высокочастотных колебаний. В диапазоне частот 1...10кГц при измерениях электрической мощности используют ваттметры электродинамической системы.

Как и у всех приборов электродинамической системы, принцип действия ваттметра основан на том, что угол поворота, а рамки (со стрелкой) измерительного механизма пропорционален произведению токов, умноженному на косинус угла φ между ними:

$$\alpha = k I_1 I_2 \cos \varphi \quad (3.21)$$

где k – постоянный для данного прибора коэффициент.

Пусть требуется измерить активную мощность, потребляемую некоторой нагрузкой Z_H к которой приложено среднее квадратическое значение гармонического напряжения U_H и через нее протекает ток со средним квадратическим значением I_H сдвинутый по фазе на угол φ по отношению к напряжению.

Схема включения катушек ваттметра показана на рис.3.2.11. Неподвижную катушку, сопротивление которой должно быть мало, включают последовательно с нагрузкой, а цепь рамки, состоящую из обмотки рамки и добавочного резистора $R_{дон}$, – параллельно нагрузке.

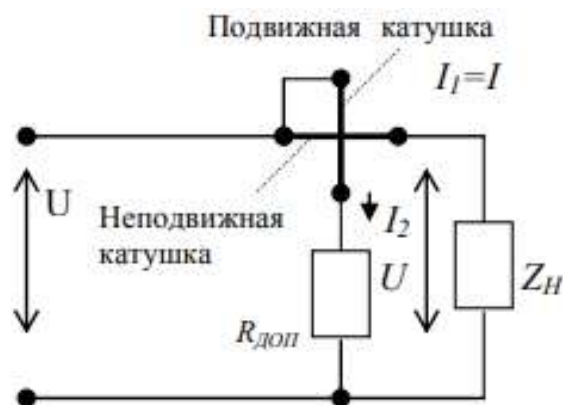


Рисунок 3.2.11. Схема включения катушек ваттметра

Ваттметры электродинамической системы можно применять для измерения электрической мощности в цепях как постоянного, так и переменного тока.

Для измерения мощности низкочастотных и высокочастотных колебаний применяют ваттметры на интегральных аналоговых перемножителях.

В перемножителях применяют идентичные, со стабильными параметрами нелинейные элементы, имеющие квадратичные вольтамперные характеристики. Более высокую точность измерения мощности по методу прямого умножения сигналов обеспечивает операция интегрирования, которую применяют в прецизионных измерительных преобразователях активной мощности промышленной частоты.

По уровню измеряемой электрической мощности все измерители мощности делятся на ваттметры малой (до 10мВт), средней (10мВт... 10Вт) и большой мощностей (свыше 10Вт).

Цифровые методы измерения мощности

Повсеместно внедряемая в последние годы в измерительной технике автоматизация процессов измерения распространилась и на средства измерения мощности. Необходимость в автоматизации; средств измерения мощности обусловлена двумя основными причинами: во-первых, развитием автоматических систем контроля и, во-вторых, сложностью управления работой, связанной с балансировкой мостовых схем.

В цифровых ваттметрах применяют различные типы преобразователей мощности, в том числе и терморезисторные. Упрощенная структурная схема цифрового ваттметра показана на рис.3.2.12.



Рисунок 3.2.12. Упрощенная структурная схема цифрового ваттметра

Основным элементом структурной схемы ваттметра является микропроцессор. Усилитель постоянного тока УПТ усиливает выходное напряжение термоэлектрического приемного преобразователя до значения, обеспечивающего устойчивую работу блока АЦП. Напряжение, пропорциональное значению измеряемой мощности, преобразуется с помощью времяимпульсного преобразователя (на схеме для упрощения не показан) в интервал времени, который заполняют импульсами опорной частоты. Число импульсов, заполнивших интервал времени, пропорциональное измеряемой мощности, отображается в значениях мощности на ЦОУ или выводится в специализированное; устройство обработки измерительной информации.

Микропроцессор ваттметра содержит элементы автоматического управления режимами работы прибора и дистанционного переключения пределов измерения, индикации условного обозначения измеряемой величины. Калибратор мощности переменного тока используют для самокалибровки ваттметра, а калибратор мощности постоянного тока – для калибровки цифрового ваттметра, работающего с преобразователями на средних и больших уровнях мощности. Все электронные узлы ваттметра подключают ко встроенному источнику питания.

Приемный преобразователь состоит из отрезка коаксиальной, полосковой или волноводной линии со стандартным высокочастотным разъемом, поглощающего элемента, термоэлектрического модуля и «образца сравнения». Поглощающий элемент представляет собой тонкопленочный резистор на теплопроводящей (бериллиевой) керамике. Центральным проводником коаксиального тракта является тонкостенная трубка из нержавеющей стали, исключая тепловое влияние внешней среды на поглощающий элемент. Для уменьшения потерь в СВЧ-диапазоне трубку покрывают медью и серебром. Один конец поглощающего элемента за счет плотной посадки имеет электрический контакт с центральным проводником,

а другой – впаян в согласующий медный экран с серебряным покрытием. В согласующем экране предусмотрено ступенчатое изменение диаметра, что обеспечивает согласование поглощающего элемента с трактом во всем диапазоне частот. Термоэлектрический модуль представляет собой диск с отверстием и расположен так, что горячий спай имеет тепловой контакт с внешней поверхностью согласующего экрана в месте пайки поглощающего элемента, а холодный спай – с «образцом сравнения». К выводам термоэлектрического модуля припаивают провода соединительного кабеля. Для защиты модуля от случайных внешних тепловых воздействий используют внутренний и внешний экраны. На внешнем экране укреплены ребра, образующие вместе с экраном радиатор. Применение радиатора позволяет увеличить мощность рассеяния преобразователя.

Цифровой ваттметр с микропроцессором осуществляет ряд автоматизированных операций: автоматический выбор пределов измерений уровня электрической мощности, автоматическую установку нуля и самокалибровку. Кроме того, предусматривают выход информации на канал общего пользования при включении ваттметра в состав информационно-измерительной системы.

3.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

3.3.1 Неметаллические проводники

Понятие неметаллические материалы включает большой ассортимент материалов таких, как пластические массы, композиционные материалы, резиновые материалы, клеи, лакокрасочные покрытия, древесина, а также силикатные стекла, керамика и др.

Неметаллические материалы являются не только заменителями металлов, но и применяются как самостоятельные, иногда даже незаменимые материалы. Отдельные материалы обладают высокой механической прочностью, легкостью, термической и химической стойкостью, высокими электроизоляционными характеристиками, оптической прозрачностью и т. п. Особо следует отметить технологичность неметаллических материалов. Основой неметаллических материалов являются полимеры, главным образом синтетические.

Применение неметаллических материалов обеспечивает значительную экономическую эффективность.

Из числа твердых неметаллических проводниковых материалов наибольшее значение имеют материалы на основе углерода (электротехнические угольные изделия, сокращенно электроугольные изделия).

К электроугольным изделиям, применяемым в электротехнике и технике, связи, относятся: электрические щётки для коллекторов электромашин, электроугли, применяемые в лампах и электропечах, электроды - в гальванических элементах, угольные мембраны, угольные порошки. Из угля делают высокоомные резисторы, разрядники для

телефонных сетей; угольные изделия применяют в электровакуумной технике.

В качестве сырья для производства электроугольных изделий можно использовать *сажу, графит* или *антрацит*. Для получения стержневых электродов измельченная масса со связующим, в качестве которого используется каменноугольная смола, а иногда и жидкое стекло, продавливается сквозь мундштук. Изделия более сложной формы изготавливают в соответствующих пресс-формах. Угольные заготовки проходят процесс обжига. Режим обжига определяет форму, в которой углерод будет находиться в изделии. При высоких температурах достигается искусственный перевод углерода в форму графита, вследствие чего такой процесс носит название *графитирования*.

Электротехнический уголь используют также и в виде порошка, например, при изготовлении микрофонов, а также щеток, широко применяемых в устройстве электрических машин.

Электрощётки

Обжиг обычных щеток для электрических машин ведут при температуре около 800°C; графитированные щетки нагревают при обжиге до 2200°C.

Щётки служат для образования скользящего контакта между неподвижной и вращающейся частями электрической машины, т.е. для подвода (или отвода) тока к коллектору или контактными кольцами и, кроме того, осуществляют коммутацию переменной ЭДС, индуктированной в обмотке якоря. При работе на кольцах щетки осуществляют только подвод и отвод тока без коммутации.

Щётки должны иметь малое сопротивление, малый износ и хорошо шлифоваться к поверхности коллектора. Имеется несколько марок щеток, отличающихся друг от друга составом и технологическим процессом изготовления.

Щётки общего назначения подразделяют на четыре группы:

1. *Угольно-графитные щётки* (марок Т2, УГ2, Г20, Г21, Г22). Изготавливают из графита с добавлением кокса, сажи и связующих веществ и после термической обработки покрывают тонким слоем меди. Они рассчитаны на номинальную плотность тока от 10 до 22 А/см², обладают повышенной механической прочностью, твердостью и большой износостойкостью.

2. *Графитные щётки* (марки ГЗ, 611М, 6110М). Делают из графита. Они рассчитаны на номинальную плотность тока 20 А/см², при работе вызывают незначительный шум.

3. *Электрографитированные* (марки ЭГ2А, ЭГ2АФ, ЭГ-4, ЭГ-8, ЭГ-14, ЭГ-15, ЭГ-83 и др.). Изготавливают так же, как и угольно-графитные щетки, но после первой термической обработки подвергают графитизации, т. е. отжигу при температуре 2500–2800°C. Они рассчитаны на номинальную плотность тока 20 А/см², обладают повышенной механической прочностью. Эти щетки, в отличие от угольных и угольно-графитных, применяют в

электрических машинах, работающих при больших частотах вращения и толчкообразных изменениях нагрузки, например в тяговых электродвигателях.

4. **Металлографитные** (марки М 1, М 3, М 6, М 20, МГ, МГО, МГ2, МГ4, МГС, МГСО, СМ и др.). В электрических машинах низкого напряжения применяют металлографитные щетки.

Угольные электроды термического назначения

Угольные электроды термического назначения служат:

1) в качестве нагревательных элементов электрических печей, где они выполняют роль резисторов;

2) в качестве проводника электроэнергии к нагревательному элементу, состоящему из угольной крупки в печах сопротивлений.

Электроды применяют в производстве ферросплавов, электростали, карбида кальция, абразивных материалов для шлифования, электролизе алюминия, электросварке.

Угольные электроды, работа которых будет протекать при высоких температурах, обжигаются также при очень высокой температуре, вплоть до 3000°C. Угольные электроды, как и другие угольные изделия, имеют отрицательный температурный коэффициент удельного сопротивления.

Удельное сопротивление, Ом мм²/м:

Электродов.....50/70

Угольных трубок.....50/80

Сварочных углей.....60/80

Осветительные угли

Для освещения в качестве электродов вольтовой дуги употребляют специальные сорта углей. Различают угли для постоянного и переменного токов. Положительный электрод для постоянного тока обычно применяют с фитилем, диаметр его больше диаметра отрицательного угля в 1,5-2 раза потому, что накаливается он сильнее. В случае одинаковых диаметров он сгорел бы скорее.

Осветительные угли подразделяются на: прожекторные, кинопроекторные, для постоянного тока, переменного тока, киносъемочные и различных марок. Угли изготавливаются в виде стержней диаметром от 5 до 30мм, длиной от 120 до 450мм.

Угли для гальванических элементов

Эти угли применяют в качестве положительного полюса гальванических элементов в виде пластин в цилиндре различных размеров. Удельное электрическое сопротивление элементарных углей находится в пределах от 50 до 60 Ом мм²/м. Твердость по Шору не ниже 40.

Таблица №3.3.

Зависимость сопротивления регулировочного угольного резистора от давления

Давление, кг	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	10	15	20
Сопротивление, Ом	23,3	14,3	7,7	4,0	0,96	0,54	0,39	0,33

Непроволочные резисторы

Отличаются от проволочных уменьшенными размерами и высоким верхним пределом номинального сопротивления, находят широкое применение в автоматике, измерительной и вычислительной технике и некоторых других областях электротехники. Они должны иметь малую зависимость сопротивления от напряжения и отличаться высокой стабильностью при воздействии температуры и влажности.

В качестве проводящих материалов непроволочных линейных резисторов могут быть использованы природный графит, сажа, пиролитический углерод, бороуглеродистые пленки, а также высокоомные сплавы металлов и другие материалы.

Природный графит

Представляет собой одну из модификаций чистого углерода слоистой структуры с большой анизотропией как электрических, так и механических свойств.

Следует отметить, что чистый углерод в модификации алмаза представляет собой диэлектрик с весьма высоким удельным сопротивлением.

Сажи

Представляют собой мелкодисперсный углерод. Лаки, в состав которых в качестве пигмента введена сажа, обладают малым удельным сопротивлением и могут быть использованы для выравнивания электрического поля в электрических машинах высокого напряжения.

3.3.2 Материалы для электрических контактов

К материалу контактов предъявляются следующие требования:

1. Высокая электрическая проводимость и теплопроводность.
2. Стойкость против коррозии в воздухе и других газах.
3. Стойкость против образования пленок с высоким удельным сопротивлением.
4. Малая твердость для уменьшения необходимой силы нажатия.
5. Высокая твердость для уменьшения механического износа при частых включениях и отключениях.
6. Малая эрозия.
7. Высокая дугостойкость (температура плавления).
8. Высокие значения тока и напряжения, необходимых для дугообразования.
9. Простота обработки, низкая стоимость.

Свойства некоторых контактных материалов рассмотрены ниже.

Медь. Положительные свойства: высокие электрическая проводимость и теплопроводность, достаточная твердость, что позволяет применять при частых включениях и отключениях, довольно высокие значения U_o и I_o , простота технологии, низкая стоимость.

Недостатки: низкая температура плавления, при работе на воздухе покрывается слоем прочных окислов, имеющих высокое сопротивление, требует довольно больших сил нажатия. Для защиты меди от окисления

поверхность контактов покрывается электролитическим способом слоем серебра толщиной 20-30 мкм. На главных контактах иногда ставятся серебряные пластинки (в аппаратах, включаемых относительно редко). Применяется как материал для плоских и круглых шин, контактов аппаратов высокого напряжения, контакторов, автоматов и др. Вследствие низкой дугостойкости нежелательно применение в аппаратах, отключающих мощную дугу и имеющих большое число включений в час.

Серебро. Положительные свойства: высокие электро- и теплопроводность, пленка окисла серебра имеет малую механическую прочность и быстро разрушается при нагреве контактной точки. Контакт серебра устойчив, благодаря малой механической прочности достаточны малые нажатия (применяется при нажатиях 0,05Н и выше). Устойчивость контакта, малое переходное сопротивление являются характерными свойствами серебра.

Отрицательные свойства: малая дугостойкость и недостаточная твердость серебра препятствуют использованию его при наличии мощной дуги и при частых включениях и отключениях.

Применяется в реле и контакторах при токах до 20А. При больших токах вплоть до 10кА серебро используется как материал для главных контактов, работающих без дуги.

Алюминий. Этот материал имеет достаточно высокую электрическую проводимость и теплопроводность. Благодаря малой плотности токоведущая часть круглого сечения из алюминия на такой же ток, как и медный проводник, имеет почти на 48% меньшую массу. Это позволяет уменьшить массу аппарата.

Недостатки алюминия: образование на воздухе и в активных средах пленок с высокой механической прочностью и высоким сопротивлением; низкая дугостойкость (температура плавления значительно меньше, чем у меди и серебра); малая механическая прочность; при контакте с медью образуется пара, подверженная сильной электрохимической коррозии. В связи с этим при соединении с медью алюминий должен покрываться тонким слоем меди электролитическим путем либо оба металла необходимо покрывать серебром.

Алюминий и его сплавы (дюраль, силумин) применяются главным образом как материал для шин и конструктивных деталей аппаратов.

Вольфрам. Положительными свойствами вольфрама являются: высокая дугостойкость, большая стойкость против эрозии, сваривания. Высокая твердость вольфрама позволяет применять его при частых включениях и отключениях.

Недостатками вольфрама являются: высокое удельное сопротивление, малая теплопроводность, образование прочных оксидных и сульфидных пленок. В связи с высокой механической прочностью и образованием пленок вольфрамовые контакты требуют большого нажатия.

В реле на малые токи с небольшим нажатием применяются стойкие против коррозии материалы – золото, платина, палладий и их сплавы.

Металлокерамические материалы. Рассмотрение свойств чистых металлов показывает, что ни один из них не удовлетворяет полностью всем требованиям, предъявляемым к разрывным контактам.

Основные необходимые свойства контактного материала – высокая электрическая проводимость и дугостойкость – не могут быть получены за счет сплавов таких материалов, как серебро и вольфрам, медь и вольфрам, так как эти металлы не образуют сплавов. Материалы, обладающие желаемыми свойствами, получают методом порошковой металлургии (металлокерамики). Физические свойства металлов при изготовлении металлокерамических контактов сохраняются. Дугостойкость керамике сообщается такими металлами, как вольфрам, молибден. Для получения низкого переходного сопротивления контакта в качестве второго компонента используют серебро или медь. Чем больше в материале вольфрама, тем выше дугостойкость, механическая прочность, сопротивление свариванию. Но соответственно растет сопротивление контактов, уменьшается теплопроводность. Обычно металлокерамика с содержанием вольфрама выше 50% применяется для тяжело нагруженных аппаратов, отключающих большие токи короткого замыкания.

Для контактов аппаратов высокого напряжения наибольшее распространение получила металлокерамика КМК-А60, КМК-А61, МК-Б20, КМК-Б21.

В аппаратах низкого напряжения наибольшее распространение получила металлокерамика КМК-А10 из серебра и окиси кадмия CdO . Отличительной особенностью этого материала является диссоциация CdO на пары кадмия и кислород. Выделяющийся газ заставляет дугу быстро перемещаться по поверхности контакта, что значительно снижает температуру контакта и способствует деионизации дуги.

Металлокерамика, состоящая из серебра и 10% окиси меди, МК-А20 еще более стойка к износу, чем КМК-А10.

Серебряно-никелевые контакты хорошо обрабатываются, обладают высокой стойкостью против электрического износа. Контакты дают низкое и устойчивое в эксплуатации переходное сопротивление. Однако они легче свариваются, чем контакты из материала КМК-А60, МК-Б20, КМК-А10.

Серебряно-графитовые и медно-графитовые контакты благодаря высокой устойчивости против сваривания применяются как дугогасительные контакты.

В заключение следует отметить, что хотя применение металлокерамики увеличивает стоимость аппаратуры в эксплуатации, эти «лишние» затраты быстро окупаются, так как возрастает срок службы аппарата, увеличивается время между ревизиями и значительно повышается надежность.

3.3.3 Магнитные материалы

Магнитные материалы обладают способностью при внесении их в магнитные поля намагничиваться, а некоторые из них сохраняют свою намагниченность и после прекращения воздействия магнитного поля.

В электрических машинах и аппаратах они играют роль проводников магнитного потока (магнитопроводы). Они же могут служить источниками магнитного потока. Магнитные материалы являются основой современных генераторов, двигателей, трансформаторов, приборов автоматики и измерительной техники. От качества магнитных материалов зависят габариты электрических машин и их мощность на единицу веса.

К магнитным материалам относятся железо, никель, кобальт и сплавы на их основе. Основными магнитными материалами являются магнитные стали и сплавы. Они подразделяются на две группы:

- магнитотвердые – для изготовления постоянных магнитов (хромистые и хромокобальтовые стали);
- магнитомягкие – легко перемагничиваются в переменном магнитном поле, их применяют для изготовления сердечников (магнитопроводов) вращающихся электрических машин, трансформаторов, электромагнитов и в измерительных приборах, когда необходимо достигнуть наибольшей индукции при наименьшей затрате энергии.

В качестве *магнитотвердых сплавов* обычно используются хромистые и хромокобальтовые стали (ЕХЗ, ЕХ5К5, ЕХ9К15). Эти стали применяют после термической обработки. Наилучшей структурой магнитотвердых сплавов является мартенсит с некоторым количеством карбидов. Более высокими свойствами обладают железо-никель-алюминиевые сплавы; но они не поддаются механической обработке. Детали из них изготавливают отливкой и методом металлокерамики.

Постоянные магниты находят применение при магнитопорошковой и феррозондовой дефектоскопии в качестве приставных намагничивающих устройств при контроле участков крупногабаритных деталей вагонов (корпус автосцепки, боковая рама и надрессорная балка грузовой тележки и др.); а также в вакуумных коммутационных аппаратах нового поколения и др.

В качестве *магнитомягких материалов* чаще всего применяются чистое железо и электротехнические стали (сплав железа с кремнием), а также сплавы на железоникелевой, железо кобальтовой и железоникелькобальтовой основе. Чистое железо или оксиды железа в порошковой форме используют в качестве дефектоскопического магнитного материала при магнитных методах неразрушающего контроля деталей вагонов (оси колесных пар, детали тележек и др.).

Главным легирующим элементом электротехнической стали является кремний, который уменьшает магнитные потери в стали. Чем выше содержание кремния в стали, тем меньше магнитные потери. Однако кремний увеличивает твердость и хрупкость стали, что затрудняет ее обработку.

Железоникелевые сплавы (пермаллой) подразделяются на высоконикелевые (70-83% никеля) и низконикелевые (40-50% никеля). Пермаллой обладают высокой пластичностью, легко прокатываются в тонкие листы, имеют высокую магнитную проницаемость. Их магнитные свойства сильно зависят от термической обработки. Магнитные свойства пермаллоев

можно улучшить путем дополнительного легирования кобальтом, марганцем, хромом, кремнием и другими элементами.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. Изучить основные механические, технологические и электрические свойства материалов.

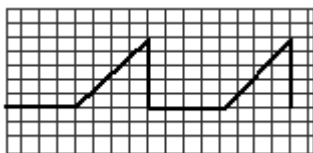
2. Заполнить таблицу основных характеристик данных материалов

Свойства	Чистые металлы			Сплавы	
	Медь	Алюминий	Серебро	Бронза	Латунь
Состав					
Плотность, (кг/м ³)					
Температура плавления, (°C)					
Относительное удлинение при разрыве, %					
Предел прочности при растяжении σ_p , (Н/м ²)					
Удельное электрическое сопротивление, (Ом·м)					
Достоинства					
Недостатки					
Область применения					

3. Перечислите основные метрологические характеристики измерителя параметров радиотехнических цепей.

4. Прямые и косвенные измерения: дайте определения, приведите примеры.

5. Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 1 В/дел для осциллограммы



6. Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 37,86 В при СКО погрешности однократного измерения 0,14 В, если число измерений равно 5, доверительная вероятность 0,93.

7. Изучить и нарисовать структуру основных видов неметаллических конструкционных материалов и область их применения.

8. Расшифровывать маркировку сталей и чугунов.

9. Определите характеристики магнитных материалов и построить характеристики намагничивания

10. Опишите материалы для электрических контактов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Как классифицируются материалы по поведению в электрическом поле?
2. Какие материалы относятся к полупроводниковым?

3. Чем отличается собственная проводимость от примесной?
4. Как измеряют временные параметры сигнала электронным осциллографом?
5. Какие методы используются для измерения частоты?
6. Как измерить частоту с помощью осциллографа?
7. В чем заключается различие в преобразовании частотного спектра сигнала при взаимодействии их с линейными и нелинейными элементами?
8. Перечислите характерные особенности, свойственные нелинейным преобразованиям сигнала.
9. Как измерить фазовый сдвиг с помощью осциллографа?
10. Перечислите основные методы измерения мощностей в различных частотных диапазонах

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Данный модуль даёт возможность получить навыки и знания, необходимые, для использования выбора электротехнических материалов.

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают: виды, свойства и области применения основных электротехнических материалов, используемых в производстве, классификацию и свойства металлов и сплавов, методы измерения параметров и определения свойств материалов, основные электрические, механические и тепловые свойства материалов, зависимость электрической прочности электроизоляционных материалов от характеристик.

При изучении модуля обучающиеся учатся: определять закономерности изменения свойств под влиянием термического, химического или механического воздействия, проводить испытания материалов, различать основные электротехнические материалы по физико-механическим и технологическим свойствам, определять свойства и классифицировать электротехнические материалы, применяемые в производстве.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радиоматериалы и радиокомпоненты [Электронный ресурс]: учеб.пособие/Н.А.Голов [и др.]. – Электрон. дан. – Москва: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2015

2. Хромоин П.К.Электротехнические измерения: учебное пособие/2-е изд., испр. И доп. – М.: ФОРУМ, 2011

3. Хрусталева З.А. Электротехнические измерения: учебник/М.: КНОРУС, 2011.

4 А. С.Ястребов, М. Ю.Волокобинский, А. С.Сотенко
Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты Учебник. М: Академия, 2011

5. Шишмарёв В.Ю., Шанин В.И. Электрорадиоизмерения. 3-е изд. (2018)
6. Нефедов В.И., Сигов А.С., Битюков В.К., Самохина Е.В., Электрорадиоизмерения, 2018

РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Применять математические и логические основы вычислительной техники.
2. Определять типовые узлы и устройства вычислительной техники
3. Описать работу микропроцессора и объяснять цифровую обработку сигналов

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер или ноутбук с необходимым программным обеспечением

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для освоения сведений об электронно-вычислительной технике, системах счисления, видах информации и способах их представления, логические основы и основы микропроцессорных систем, типовые узлы и устройства вычислительной техники

4.1. ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

4.1.1 Арифметические основы цифровых устройств

Для обозначения различных предметов, понятий, действий пользуются словами. Слова строятся из букв, которые берутся из некоторого их набора, называемого алфавитом.

В цифровой технике для тех же целей пользуются кодовыми словами. Особенность этих слов состоит в том, что все они имеют одинаковую длину (т. е. представляют собой последовательность букв одинаковой длины) и для их построения используется простейший алфавит, состоящий лишь из двух букв. Эти буквы принято обозначать символами 0 и 1. Таким образом, кодовое слово в цифровой технике есть последовательность символов 0 и 1 определенной длины, например 10111011. Такими словами могут представляться и числа, в этом случае 0 и 1 совпадают по смыслу с обычными арабскими цифрами. При представлении кодовым словом некоторой нечисловой информации, чтобы отличать буквы 0 и 1 от цифр, будем эти буквы называть соответственно *логическим нулем* и *логической единицей*.

Если длина кодовых слов составляет n разрядов, то можно построить 2^n различных комбинаций - кодовых слов. Например, при $n=3$ можно построить $2^3 = 8$ слов: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

Система счисления – это совокупность правил и приемов записи чисел с помощью набора цифровых знаков. Количество цифр, необходимых для записи числа в системе, называют основанием системы счисления.

В вычислительных машинах используется двоичная система счисления, её основание - число 2. Для записи чисел в этой системе используют только две цифры - 0 и 1. Вопреки распространенному заблуждению, двоичная система счисления была придумана не инженерами-конструкторами ЭВМ, а математиками и философами задолго до появления компьютеров, еще в XVII - XIX веках [2].

С помощью двоичной системы кодирования можно зафиксировать любые данные и знания. Это легко понять, если вспомнить принцип кодирования и передачи информации с помощью азбуки Морзе. Телеграфист, используя только два символа этой азбуки - точки и тире, может передать практически любой текст.

Двоичная система удобна для компьютера, но неудобна для человека: числа получаются длинными и их трудно записывать и запоминать. Конечно, можно перевести число в десятичную систему и записывать в таком виде, а потом, когда понадобится перевести обратно, но все эти переводы трудоёмки. Поэтому применяются системы счисления, родственные двоичной - восьмеричная и шестнадцатеричная.

Достоинства двоичной системы счисления заключаются в простоте реализации процессов хранения, передачи и обработки информации на компьютере. Для ее реализации нужны элементы с двумя возможными состояниями, а не с десятью. Представление информации посредством только двух состояний надежно и помехоустойчиво. Возможность применения алгебры логики для выполнения логических преобразований. Двоичная арифметика проще десятичной.

Недостатки двоичной системы счисления Код числа, записанного в двоичной системе счисления представляет собой последовательность из 0 и 1. Большие числа занимают достаточно большое число разрядов. Быстрый рост числа разрядов - самый существенный недостаток двоичной системы счисления.

Арифметические операции в двоичной системе счисления

Правила выполнения арифметических действий над двоичными числами задаются таблицей сложения, вычитания и умножения (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Сложение	Вычитание	Умножение
$0+0=0$	$0-0=0$	$0*0=0$
$0+1=1$	$1-0=1$	$0*1=0$
$1+0=1$	$1-1=0$	$1*0=0$
$1+1=10$	$10-1=1$	$1*1=1$

Единица – перенос в старший разряд

Правила арифметики во всех позиционных системах счисления аналогичны. В двоичной системе счисления арифметическое сложение происходит по правилу сложения по модулю два с учетом переноса единицы в старший разряд.

Пример. Выполнить операцию арифметического сложения в двоичной системе счисления чисел 13 и 7.

$$13_{10}=1101_2 \quad 7_{10}=0111_2$$

Решение:

$$\begin{array}{r} 13 \quad \quad 01101 \\ +7 \quad \quad +00111 \\ \hline 20_{10} \quad 10100_2 \end{array}$$

При сложении двух единиц результат операции равен нулю и единица переносится в соседний разряд.

$$\begin{array}{cccccc} 4 & 3 & 2 & 1 & 0 & \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0_2 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 20_{10} \end{array}$$

4.1.2 Основные логические элементы

Любое цифровое устройство – персональный компьютер, или современная система автоматики состоит из цифровых интегральных микросхем (ИМС), которые выполняют определённые сложные функции. Но для выполнения одной сложной функции необходимо выполнить несколько простейших функций. Например, сложение двух двоичных чисел размером в один байт происходит внутри цифровой микросхемы называемой «процессор» и выполняется в несколько этапов большим количеством **логических элементов** находящихся внутри процессора. Двоичные числа сначала запоминаются в буферной памяти процессора, потом переписываются в специальные «главные» регистры процессора, после выполняется их сложение, запоминание результата в другом регистре, и лишь после результат сложения выводится через буферную память из процессора на другие устройства компьютера.

Процессор состоит из функциональных узлов: интерфейсов ввода-вывода, ячеек памяти – буферных регистров и «аккумуляторов», сумматоров, регистров сдвига и т.д. Эти функциональные узлы состоят из простейших логических элементов, которые, в свою очередь состоят из полупроводниковых транзисторов, диодов и резисторов. При конструировании простых триггерных и других электронных импульсных схем, сложные процессоры не применить, а использовать транзисторные каскады – «прошлый век». Тут и приходят на помощь – **логические элементы** [3].

Логические элементы, это простейшие «кубики», составные части цифровой микросхемы, выполняющие определённые логические функции. При этом, цифровая микросхема может содержать в себе от одного, до нескольких единиц, десятков, и до нескольких сотен тысяч логических элементов в зависимости от степени интеграции. Для того, чтобы

разобраться, что такое логические элементы, мы будем рассматривать самые простейшие из них. А потом, наращивая знания, разберёмся и с более сложными цифровыми элементами.

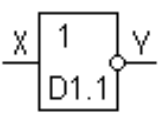
Начнём с того, что единица цифровой информации это «один бит». Он может принимать два логических состояния – логический ноль «0», когда напряжение равно нулю (низкий уровень), и состояние логической единицы «1», когда напряжение равно напряжению питания микросхемы (высокий уровень).

Поскольку простейший логический элемент это электронное устройство, то это означает, что у него есть входы (входные выводы) и выходы (выходные выводы). И входов и выходов может быть один, а может быть и больше.

Для того, чтобы понять принципы работы простейших логических элементов используется «**таблица истинности**». Кроме того, для понимания принципов работы логических элементов, входы, в зависимости от их количества обозначают: X_1, X_2, \dots, X_N , а выходы: Y_1, Y_2, \dots, Y_N [4].

Функции, выполняемые простейшими логическими элементами, имеют названия. Как правило, впереди функции ставится цифра, обозначающая количество входов. Простейшие логические элементы всегда имеют лишь один выход.

Рассмотрим простейшие логические элементы

	X	Y
	0	1
	1	0

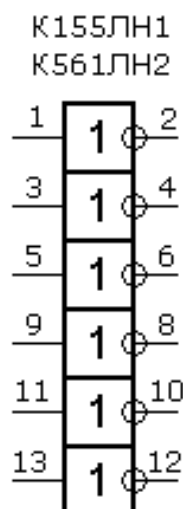


Рисунок 4.1.1. Логический элемент НЕ

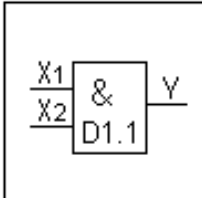
«**НЕ**» (**NOT**) – функция отрицания (инверсии сигнала). Потому его чаще называют – «**инвертор**». Графически, инверсия обозначается пустым кружочком вокруг вывода элемента (микросхемы). Обычно кружок инверсии

ставится у выхода, но в более сложных логических элементах, он может стоять и на входе. Графическое обозначение элемента «НЕ» и его таблица истинности представлены на рисунке слева.

У элемента «НЕ» всегда один вход и один выход. По таблице истинности следует, что при наличии на входе элемента логического нуля, на выходе будет логическая единица. И наоборот, при наличии на входе логической единицы, на выходе будет логический ноль. Цифра «1» внутри прямоугольника обозначает функцию «ИЛИ», её принято рисовать и внутри прямоугольника элемента «НЕ», но это равным счётом ничего абсолютно не значит.

Обозначение D1.1 означает, что D – цифровой логический элемент, 1 (первая) – номер микросхемы в общей схеме, 1 (вторая) – номер элемента в микросхеме. Точно также расшифровываются и другие логические элементы.

Самой распространённой микросхемой «транзисторно-транзисторной логики» (ТТЛ), выполняющей функцию «НЕ», является интегральная микросхема (ИМС) К155ЛН1, внутри которой имеется шесть элементов «НЕ». Нумерация выводов этой микросхемы показана справа [4].

	X1	X2	Y
	0	0	0
	1	0	0
	0	1	0
	1	1	1

К155ЛН1

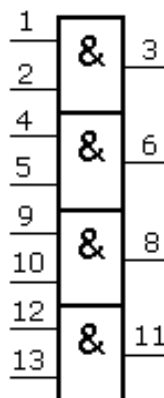


Рисунок 4.1.2. Логический элемент И

«И» (AND) – функция сложения (если на всех входах единица, то на выходе будет единица, в противном случае, если хотя бы на одном входе ноль, то и на выходе всегда будет ноль). В алгебре-логике элемент «И» называют «конъюнктор». Графическое обозначение элемента «2И» и его таблица истинности представлены слева.

Название элемента «2И» обозначает, что у него два входа, и он выполняет функцию «И». На схеме внутри прямоугольника микросхемы

рисуеться значок «&», что на английском языке означает «AND» (в переводе на русский – И).

По таблице истинности следует, что на выходе элемента «И» будет логическая единица только в одном случае – когда на обоих входах будет логическая единица. Если хотя бы на одном входе ноль, то и на выходе будет ноль.

Самой распространённой микросхемой «транзисторно-транзисторной логики» (ТТЛ), выполняющей функцию «2И», является интегральная микросхема (ИМС) К155ЛИ1, внутри которой имеется четыре элемента «2И». Нумерация выводов этой микросхемы показана справа.

Для того, чтобы вам было понятнее что такое «2И», «3И», «4И», и т.д., приведу графическое обозначение и таблицу истинности элемента «3И».

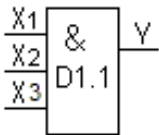
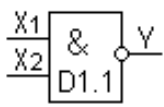
	X1	X2	X3	Y
	0	0	0	0
	1	0	0	0
	0	1	0	0
	1	1	0	0
	0	0	1	0
	1	0	1	0
	0	1	1	0
	1	1	1	1

Рисунок 4.1.3. Таблица истинности

По таблице истинности следует, что на выходе элемента «3И» будет логическая единица только в том случае – когда на всех трёх входах будет логическая единица. Если хотя бы на одном входе будет логический ноль, то и на выходе элемента также будет логический ноль. Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «3И», является микросхема К555ЛИЗ, внутри которой имеется три элемента «3И» [4].

	X1	X2	Y
	0	0	1
	1	0	1
	0	1	1
	1	1	0

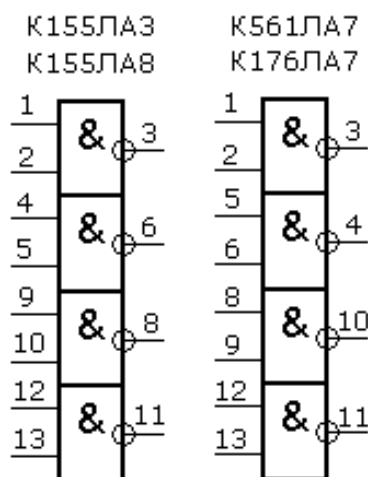


Рисунок 4.1.4. Логический элемент И-НЕ

«И-НЕ» (NAND) – функция сложения с отрицанием (если на всех входах единица, то на выходе будет ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица). Графическое обозначение элемента «2И-НЕ» и его таблица истинности приведены на рисунке 4.1.4.

По таблице истинности следует, что на выходе элемента «2И-НЕ» будет логический ноль только в том случае, если на обоих входах будет логическая единица. Если хотя бы на одном входе ноль, то на выходе будет единица.

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «2И-НЕ», является ИМС К155ЛА3, а микросхемами КМОП (комплементарный металлооксидный полупроводник) – ИМС К561ЛА7 и К176ЛА7, внутри которых имеется четыре элемента «2И-НЕ».

		X1	X2	Y
X1	1	0	0	0
X2		1	0	1
		0	1	1
		1	1	1

К155ЛЛ1

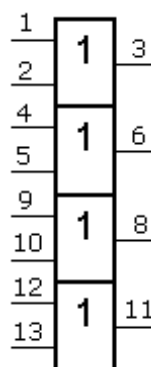


Рисунок 4.1.5. Логический элемент ИЛИ

«ИЛИ» (OR) – функция выбора (если хотя бы на одном из входов – единица, то на выходе – единица, в противном случае на выходе всегда будет ноль). В алгебре-логике, элемент «ИЛИ» называют «дизъюнктор».

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «2ИЛИ», является ИМС К155ЛЛ1, внутри которой имеется четыре элемента «2ИЛИ».

		X1	X2	Y
X1	1	0	0	1
X2		1	0	0
		0	1	0
		1	1	0

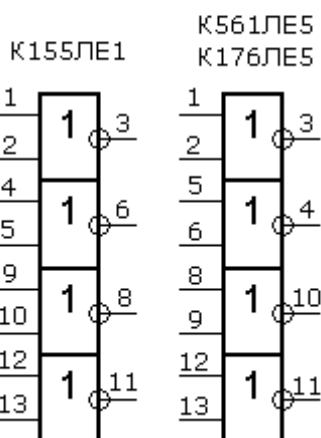
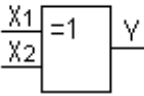


Рисунок 4.1.6. Логический элемент ИЛИ-НЕ

«ИЛИ-НЕ» (NOR) – функция выбора (если хотя бы на одном из входов – единица, то на выходе – ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица). Как вы поняли, элемент «ИЛИ-НЕ» выполняет функцию «ИЛИ», а потом инвертирует его функцией «НЕ».

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «2ИЛИ-НЕ», является ИМС К155ЛЕ1, а микросхемами КМОП – К561ЛЕ5 и К176ЛЕ5, внутри которых имеется четыре элемента «2ИЛИ-НЕ».

	X1	X2	Y
	0	0	0
	1	0	1
	0	1	1
	1	1	0

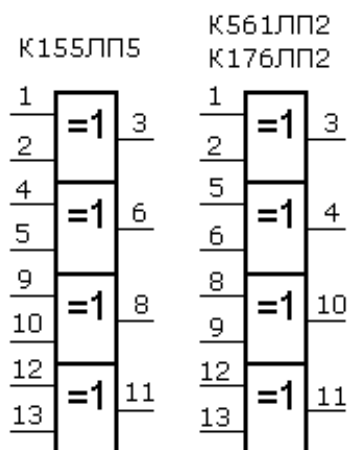


Рисунок 4.1.7 Логический элемент «Исключающее ИЛИ»

«Исключающее ИЛИ» (XOR) – функция неравенства двух входов (если на обоих входах элемента одинаковые сигналы, то на выходе – ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица). Операция, которую он выполняет, часто называют «сложение по модулю 2».

Графическое обозначение элемента «Исключающее ИЛИ» и его таблица истинности приведены слева.

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «Исключающее ИЛИ», является ИМС К155ЛП5, а микросхемами КМОП – К561ЛП2 и К176ЛП2, внутри которых имеется четыре элемента «Исключающее ИЛИ». Нумерация выводов этих микросхем показана справа.

Предположим, что нам в схеме необходим элемент, выполняющий функцию «Исключающее ИЛИ», но у нас есть в распоряжении только элементы «2И-НЕ», тогда можно собрать следующую схему, которая будет выполнять функцию **«Исключающее ИЛИ»**:

Вышеперечисленные логические элементы выполняют статические функции, а на основе них строятся более сложные статические и динамические элементы (устройства): триггеры, регистры, счётчики, шифраторы, дешифраторы, сумматоры, мультиплексоры.

Основные преимущества цифровых систем:

1) Высокое качество передачи информации (цифровой сигнал может принимать фиксированные значения. Например, если при аналоговой передаче данных сигналы слабого уровня больше подвержены помехам, то в

цифровом виде уровень сигнала задается кодом и возможность ошибки при одинаковом шуме и виде модуляции зависит только от степени различия между уровнями символов, которыми передается код. При цифровой связи задача состоит лишь в различении фиксированных уровней. в аналоговой связи любое отклонение при приеме будет ошибкой. а цифровой сигнал, даже если и отклонился от изначального уровня, но это отклонение недостаточно велико, чтоб "угадать" (определить) символ, то он будет принят без ошибки).

2) Стабильность характеристик (в отличие от цифрового, аналоговый фильтр имеет дело с аналоговым сигналом, его свойства не дискретны, соответственно передаточная функция зависит от внутренних свойств составляющих его элементов.).

3) Высокая помехозащищенность (возможность применения помехоустойчивого кодирования).

4) Управление качеством передачи информации (возможность выбора скорости передачи в зависимости от качества канала. (количество позиций многоуровневого кода) большое количество позиций - больше скорость, но выше вероятность ошибки из-за уменьшения "расстояния" между позициями).

5) Экономичность (передача и коммутация сигналов в цифровой форме позволяют реализовывать оборудование на единых аппаратных платформах. Это позволяет резко снижать трудоемкость изготовления оборудования, значительно снижать его стоимость, потребляемую энергию и габариты. Кроме того, существенно упрощается эксплуатация систем и повышается их надежность).

4.1.3 Общие принципы построения компьютеров

Структура компьютера – это совокупность его функциональных элементов и связей между ними. Элементами могут быть самые различные устройства – от основных логических узлов компьютера до простейших схем. Структура компьютера графически представляется в виде структурных схем, с помощью которых можно дать описание компьютера на любом уровне детализации.



Рисунок 4.1.8. Структурная схема персонального компьютера

Микропроцессор (МП) - центральный блок ПК, предназначенный для управления работой всех блоков машины и для выполнения арифметических и логических операций над информацией.

Микропроцессор выполняет следующие функции:

чтение и дешифрацию команд из основной памяти (ОП);

чтение данных из ОП и регистров адаптеров внешних устройств (ВУ);

прием и обработку запросов и команд от адаптеров на обслуживание ВУ;

обработку данных и их запись в ОП и регистры адаптеров ВУ;

выработку управляющих сигналов для всех прочих узлов и блоков ПК.

В состав микропроцессора входят следующие устройства:

- Устройство управления (УУ) формирует и передает во все блоки компьютера в нужные моменты времени определенные сигналы управления (управляющие импульсы, последовательность импульсов устройство управления получает от генератора тактовых импульсов).

- Арифметико-логическое устройство (АЛУ)—предназначено для выполнения всех арифметических и логических операций над числовой и символьной информацией

Микропроцессорная память (МПП) предназначена для кратковременного хранения, записи и выдачи информации, непосредственно в ближайшие такты работы машины используемой в вычислениях.

МПП используется для обеспечения высокого быстродействия машины, т.к. основная память (ОП) не всегда обеспечивает скорость записи, поиска и считывания информации.

Разрядность МП 16 - 32 - 64 - 128 - это максимальное количество разрядов двоичного числа, над которым одновременно может выполняться

машинная операция. Чем больше разрядность, тем будет больше и производительность ПК при прочих равных условиях.

- Интерфейсная система микропроцессора предназначена для связи с другими устройствами ПК.

Основная память

Основная память (ОП) предназначена для хранения и оперативного обмена информацией с другими устройствами компьютера.

Функции памяти:

- *приём* информации от других устройств;
- *запоминание* информации;
- *выдача* информации по запросу в другие устройства машины.

ОП содержит два вида запоминающих устройств ПЗУ и ОЗУ:

- ПЗУ – *постоянное запоминающее устройство* (ROM – Read Only Memory – память только для чтения);

ПЗУ предназначено для хранения постоянной программной и справочной информации (BIOS – Basic Input-Output System – базовая система ввода-вывода). В ПЗУ данные занесены при изготовлении

ПЗУ позволяет оперативно только считывать информацию, хранящуюся в нем (изменить информацию в ПЗУ нельзя).

- ОЗУ – *оперативное запоминающее устройство* (RAM – Random Access Memory – память с произвольным доступом).

ОЗУ предназначено для оперативной записи, хранения и считывания информации (программ и данных), непосредственно участвующей в информационно-вычислительном процессе, выполняемом ПК в текущий период времени.

Главными достоинствами оперативной памяти являются ее высокое быстродействие и возможность обращения к каждой ячейке памяти отдельно (прямой адресный доступ к памяти).

В качестве недостатка оперативной памяти следует отметить невозможность сохранения информации в ней после выключения питания машины (энергозависимость).

Емкость ОЗУ: 640кб – 1Мб - 2Мб - 4Мб - 8Мб - 16Мб - 32Мб - 64Мб – 128Мб – 256Мб – 512Мб.

Внешняя память относится к внешним устройствам ПК и используется для долговременного хранения любой информации, которая может когда-либо потребоваться для решения задач.

В частности, во внешней памяти хранится все программное обеспечение компьютера.

Устройства внешней памяти, или, иначе, *внешние запоминающие устройства* (ВЗУ), весьма разнообразны.

Их можно классифицировать по целому ряду признаков:

- по виду носителя,
- по типу конструкции,
- по принципу записи и считывания
- по методу доступа и т. д.

Процессор – центральное устройство компьютера.

Назначение процессора:

- 1) управлять работой ЭВМ по заданной программе;
- 2) выполнять операции обработки информации.

Микропроцессор (МП) - это сверхбольшая интегральная схема, которая реализует функции процессора ПК. Микропроцессор создается на полупроводниковом кристалле (или нескольких кристаллах) путем применения сложной микроэлектронной технологии. Возможности компьютера как универсального исполнителя по работе с информацией определяются системой команд процессора. Эта система команд представляет собой язык машинных команд (ЯМК). Из команд ЯМК составляют программы управления работой компьютера. Отдельная команда определяет отдельную операцию (действие) компьютера. В ЯМК существуют команды, по которым выполняются арифметические и логические операции, операции управления последовательностью выполнения команд, операции передачи данных из одних устройств памяти в другие и пр.

Устройство процессора.

В состав процессора входят следующие устройства: *устройство управления (УУ)*, *арифметико-логическое устройство (АЛУ)*, *регистры процессорной памяти*. УУ управляет работой всех устройств компьютера по заданной программе. УУ извлекает очередную команду из регистра команд, определяет, что надо делать с данными, а затем задает последовательность действий выполнения поставленной задачи. (Функцию устройства управления можно сравнить с работой дирижера, управляющего оркестром. Своеобразной "партитурой" для УУ является программа.)

АЛУ - вычислительный инструмент процессора; это устройство выполняет арифметические и логические операции по командам программы.

Регистры - это внутренняя память процессора. Каждый из регистров служит своего рода черновиком, используя который процессор выполняет расчеты и сохраняет промежуточные результаты. У каждого регистра есть определенное назначение. Предположим, что у процессора возникла необходимость сложить два числа. Для этого ему нужно считать из памяти первое слагаемое, затем - второе слагаемое, сложить их и, если необходимо, отправить результат снова в оперативную память. Стало быть, процессору необходимо где-то хранить первое и второе слагаемое, а затем и результат. Для этого служит внутренняя ячейка самого процессора, называемая сумматор, или аккумулятор. Кроме того, процессору необходимо знать, из какой ячейки оперативной памяти считывать очередную команду. Об этом ему сообщает содержимое его внутренней ячейки, называемой счетчиком команд. Сама команда после извлечения из оперативной памяти помещается в ячейку - регистр команд. Полученный после выполнения команды результат может быть переписан из регистра в ячейку ОЗУ.

Существует несколько типов регистров, отличающихся видом выполняемых операций. Некоторые важные регистры имеют свои названия, например:

- сумматор - регистр АЛУ, участвующий в выполнении каждой операции;
- счетчик команд - регистр УУ, содержимое которого соответствует адресу очередной выполняемой команды; служит для автоматической выборки программы из последовательных ячеек памяти;
- регистр команд - регистр УУ для хранения кода команды на период времени, необходимый для ее выполнения.

Все устройства процессора обмениваются между собой информацией с помощью внутренней шины данных. Современные процессоры имеют и другие части, но три перечисленные выше, вместе со связующим звеном - внутренней шиной данных - необходимый минимум.

Командный цикл микропроцессора

МП работает в составе МПС, обмениваясь информацией с памятью и ВУ. В основе работы МП лежит *командный цикл* - действия по выбору из памяти и выполнению одной команды. В зависимости от типа и формата команды, способов адресации и числа операндов командный цикл может включать в себя различное число обращений к памяти и ВУ и следовательно - иметь различную длительность.

Любой командный цикл (КЦ) начинается с извлечения из памяти первого байта команды по адресу, хранящемуся в РС, что команды i8080 имеют длину 1, 2 или 3 байта, причем в первом байте содержится информация о длине команды. В случае 2- или 3-байтовой команды реализуются дополнительные обращения к памяти по соседним (большим) адресам.

После считывания команды начинается ее выполнение, причем в процессе выполнения может потребоваться еще одно или несколько обращений к памяти или ВУ (чтение операнда, запись результата).

Для реализации команды i8080 может потребоваться от 1 до 5 обращений к памяти (ВУ). Хотя обращения к ЗУ/ВУ располагаются в разных частях КЦ, выполняются они по единым правилам, соответствующим интерфейсу МПС и реализованы на общем оборудовании управляющего автомата. Действия МПС по передаче в/из МП одного байта данных/команды называются *машинным циклом*.

Работа машинного цикла

Как правило, этот процесс разбивается на следующие этапы:

- из ячейки памяти, адрес которой хранится в счетчике команд, выбирается очередная команда; содержимое счетчика команд при этом увеличивается на длину команды;
- выбранная команда передается в устройство управления на регистр команд;
- устройство управления расшифровывает адресное поле команды;
- по сигналам УУ операнды считываются из памяти и записываются в АЛУ на специальные регистры операндов;
- УУ расшифровывает код операции и выдает в АЛУ сигнал выполнить соответствующую операцию над данными;

- результат операции либо остается в процессоре, либо отправляется в память, если в команде был указан адрес результата;
- все предыдущие этапы повторяются до достижения команды "стоп".

А теперь более подробно рассмотрим, как выполняется кусочек программы, в котором есть все тоже сложение двух чисел. Итак:

1. Устройство управления смотрит, что находится в счетчике команд.

2. Набор из ноликов и единичек из соответствующей ячейки ОЗУ записывается в регистр команд. В процессе его декодирования устройство управления распознало команду вызова другой ячейки оперативной памяти в сумматор.

3. Номер ячейки - первого операнда (первого слагаемого) - записывается в регистр адреса.

4. Устройство управления считывает данные из оперативной памяти, согласуясь с регистром адреса, в сумматор.

Выборка и выполнение первой команды закончились. К этому времени счётчик команд автоматически увеличивается на 1.

1. Устройство управления переписывает содержимое следующей ячейки оперативной памяти, на которую указывает счётчик команд, в регистр команд.

2. Это оказалась команда сложения сумматора с ячейкой оперативной памяти. Её адрес располагается в регистре адреса, который уже изменился в процессе декодирования команды сложения устройством управления.

3. Данные из оперативной памяти из ячейки, на которую указывает регистр адреса, считывается, и складываются с сумматором. Результат остается в сумматоре.

Закончились выборка и выполнение второй команды. Получена сумма двух чисел, и она располагается в сумматоре... И так далее. Операция выборки-выполнения называется ещё циклом выборки-выполнения, или машинным циклом.

Характеристики процессора.

1. Тактовая частота.

Процессор работает в тесном контакте с микросхемой, которая называется генератором тактовой частоты (ГТЧ). ГТЧ вырабатывает периодические импульсы, синхронизирующие работу всех узлов компьютера. Это своеобразный метроном внутри компьютера. В ритме этого метронома работает процессор. Тактовая частота равна количеству тактов в секунду. Такт - это промежуток времени между началом подачи текущего импульса и началом подачи следующего. На выполнение процессором каждой операции отводится определенное количество тактов. Ясно, что если "метроном стучит" быстрее, то и процессор работает быстрее. Тактовая частота измеряется в мегагерцах - МГц. Частота в 1 МГц соответствует миллиону тактов в 1 секунду. Вот некоторые характерные тактовые частоты микропроцессоров: 40 МГц, 66 МГц, 100 МГц, 130 МГц и др.

2. Разрядность процессора.

Разрядностью называют максимальное количество разрядов двоичного кода, которые могут образовываться или передаваться процессором одновременно. Разрядность процессора определяется разрядностью регистров, в которые помещаются обрабатываемые данные. Например, если регистр имеет размер 2 байта, то разрядность процессора равна $16(8 \cdot 2)$; если 4 байта, то 32, если 8 байт, то 64. Ячейка - это группа последовательных байтов ОЗУ, вмещающая в себя информацию, доступную для обработки отдельной командой процессора. Содержимое ячейки памяти называется машинным словом. Очевидно, размер ячейки памяти и машинного слова равен разрядности процессора. Обмен информацией между процессором и внутренней памятью производится машинными словами. Адрес ячейки памяти равен адресу младшего байта (байта с наименьшим номером), входящего в ячейку. Адресация как байтов, так и ячеек памяти начинается с нуля. Адреса ячеек кратны количеству байтов в машинном слове (изменяются через 2, или через 4, или через 8). Еще раз подчеркнем: ячейка - это вместилище информации, машинное слово - это информация в ячейке.

3. Адресное пространство.

По адресной шине процессор передает адресный код - двоичное число, обозначающее адрес ячейки памяти или внешнего устройства, куда направляется информация по шине данных. Адресное пространство - это диапазон адресов (множество адресов), к которым может обратиться процессор, используя адресный код. Если адресный код содержит n бит, то размер адресного пространства равен 2^n байтов. Обычно размер адресного кода равен количеству линий в адресной шине (разрядности адресной шины). Например, если компьютер имеет 16-разрядную адресную шину, то адресное пространство его процессора равно $2^{16}=64$ Кб, а при 32-разрядной адресной шине адресное пространство равно $2^{32}=4$ Гб.

4.1.4 Запоминающие устройства

Наибольший удельный вес по числу микросхем и суммарной их стоимости в современных МПС имеет система памяти. Наряду с резидентной памятью, к которой процессор обращается непосредственно по системной шине, используется внешняя, обладающая большим объемом память на магнитных и магнитно-оптических носителях информации. В настоящем разделе рассматривается только резидентная память.

Основной элементной базой резидентной системы памяти являются БИС запоминающих устройств (ЗУ). По способу занесения информации они делятся на оперативные/Random Access Memory (ОЗУ/RAM) и постоянные/Read Only Memory (ПЗУ/ROM), по режиму работы - на статические и динамические, по технологии изготовления - на биполярные и униполярные (МОП). Классификация БИС ЗУ приведена на рис.4.1.9.

ОЗУ статического типа получили наибольшее применение в специализированных системах, так как они обладают большим быстродействием и надежностью. Системы памяти универсальных устройств

строятся, как правило, с использованием БИС ОЗУ динамического типа, обладающих большим объемом памяти.

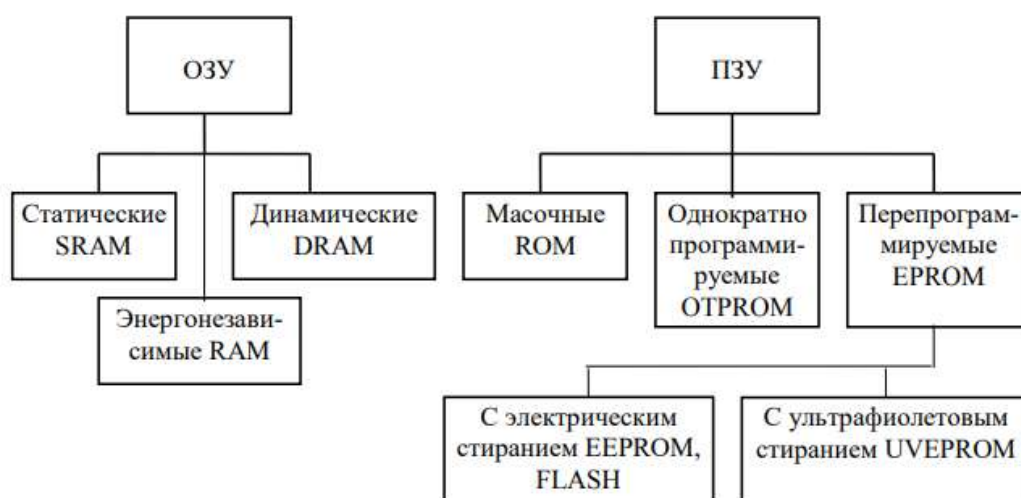


Рисунок 4.1.9. Классификация БИС запоминающих устройств

Блоки постоянной памяти МПС состоят из ПЗУ масочного типа, информация в которые заносится при их изготовлении. На этапах отладки программного обеспечения или при малых тиражах систем используются БИС электрически программируемых (ППЗУ) и репрограммируемые ПЗУ (РПЗУ) с электрической записью и стиранием (EEPROM), или стиранием ультрафиолетовым излучением (UVEPROM).

Основными характеристиками ЗУ являются емкость и быстродействие. ЗУ содержит некоторое число ячеек N , в которых может храниться слово с определенным числом разрядов n . Ячейки памяти последовательно нумеруются двоичными числами, номер ячейки называется адресом. Количество информации, которое может храниться в ЗУ, определяет его емкость. Емкость может выражаться либо числом ячеек N с указанием разрядности n хранимых в них информации: $N \times n$, либо произведением в битах, например, 512К x 8 или 4М.

Быстродействие ЗУ характеризуется двумя параметрами: временем выборки t_B , представляющим собой интервал времени между моментом подачи сигнала выборки и появлением считанных данных на выходе; и циклом записи t_3 , определяемым минимально допустимым временем между подачей сигнала выборки при записи и моментом, когда возможно следующее обращение к памяти.

На рис.4.1.10 изображена типичная структура запоминающего устройства. Информация хранится в накопителе, который представляет собой матрицу, составленную из элементов памяти (ЭП), расположенных по строкам и столбцам. Элемент памяти может хранить бит информации (0 либо 1). Кроме того, ЗУ имеет устройство управления, которое обеспечивает его работу в режимах чтения, записи и хранения данных.

Разряды кода адреса делятся на две группы: одна группа из s разрядов определяет двоичный номер строки, в которой в накопителе расположен ЭП,

другая группа из k разрядов - номер столбца. Каждая группа разрядов адреса подается на соответствующий дешифратор, который вырабатывает управляющий сигнал (S_i , K_i), выбирающий адресованный ЭП.

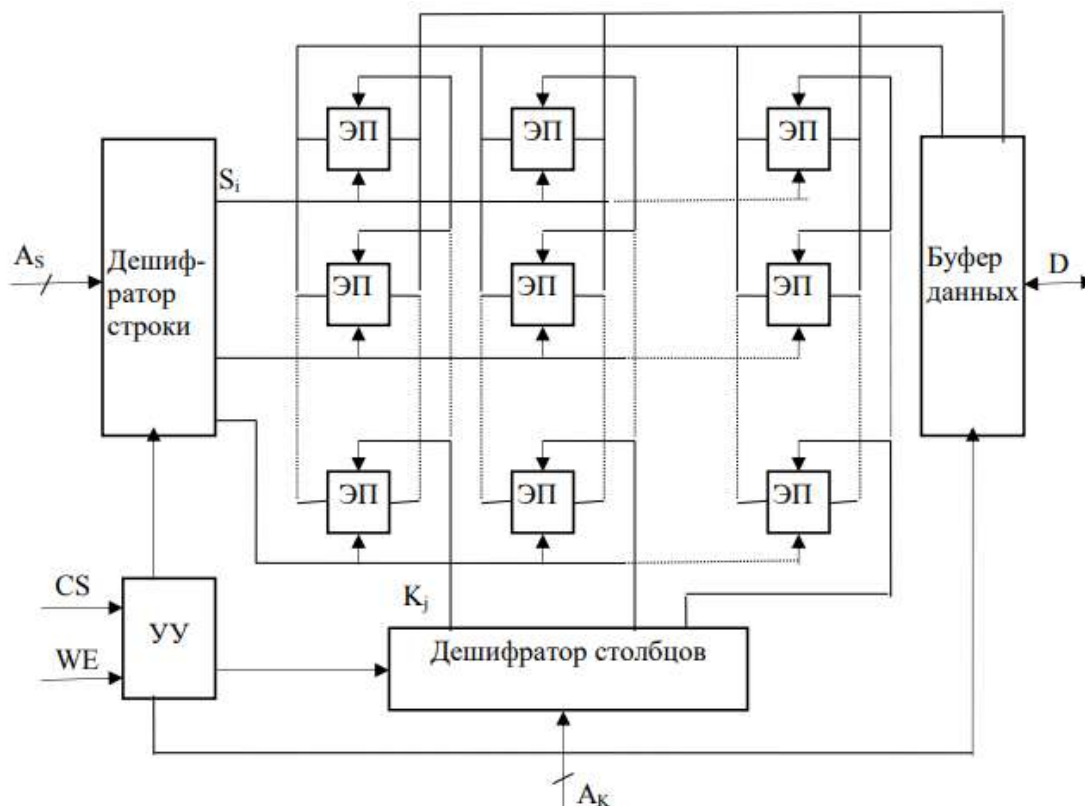


Рисунок 4.1.10 Структура БИС запоминающего устройства

При чтении, когда на БИС памяти подается сигнал выбора кристалла CS, содержимое ЭП выдается в буфер данных. При записи, кроме того, в устройство управления УУ посылается сигнал разрешения записи WE, и в результате, бит информации из буфера данных поступает в ЭП. При отсутствии сигнала выбора кристалла буфер данных переходит в высокоимпедансное состояние.

Оперативные запоминающие устройства

Статическое ОЗУ. В качестве элементов памяти используются триггеры с непосредственными связями, которые могут неограниченно долго хранить информацию при включенном питании. Они очень просты в эксплуатации, обладают высокой надежностью и не требуют сложных схем обслуживания. При интегральной реализации памяти используются два вида запоминающих матриц: накопители высокого быстродействия со средней степенью интеграции без схем дешифрации (время цикла может достигать 3 нс) и накопители с повышенной информационной емкостью со схемами дешифрации (максимально до 64М, минимальное время цикла до 10 нс).

Динамические ОЗУ. Увеличение емкости памяти связано с сокращением площади, занимаемой элементом памяти. Это достигается при использовании динамических ячеек, в которых информация хранится в виде заряда емкости конденсатора. Элемент динамической памяти на МОП

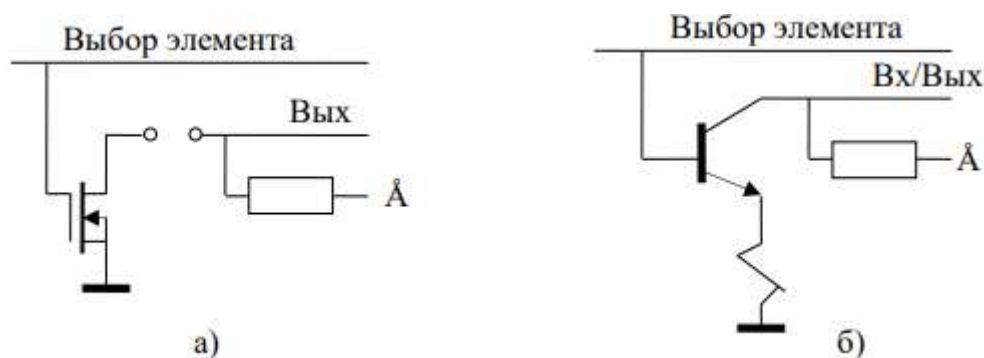
структурах показан на рисунке, он представляет собой один МОП-транзистор, в котором роль конденсатора выполняет емкость затвор-подложка. Ток утечки накопителя составляет не более 10^{-10} А, а емкость - 0,1 пФ, следовательно, постоянная разряда конденсатора $t_{RC} > 1$ мс. Поэтому для сохранения заряда необходимо периодическое восстановление информации (регенерация) с периодом $t_r < 2$ мс.

Главные отличия динамических БИС ОЗУ от статических заключается в следующем:

- необходимо устройство, обеспечивающее регенерацию памяти в моменты, когда к ней нет обращений;
- обращение к БИС требует дополнительных схем;
- максимальная простота накопителя для обеспечения минимально занимаемой площади;
- меньшая потребляемая мощность, так как динамический элемент не потребляет тока, когда к нему не обращаются.

Сравнивая два элемента памяти на рис.4.1.10, можно считать, что емкость БИС статических и динамических ОЗУ находится в пропорции 1:4. Следовательно, максимальная емкость динамической БИС на уровне современной технологии составляет 256 Мбит, что может потребовать 28 выводов на ее корпусе только для адресации ячейки памяти.

Постоянные запоминающие устройства. ПЗУ относятся к не разрушаемой памяти, которая необходима в МПС для постоянного хранения информации в том числе и при отключении питания. В ней может быть находиться программа начальной загрузки и инициализации системы, программа функционирования специализированного микропроцессорного контроллера, или же только данные, например, таблицы поправок для линеаризации функции отклика измерительной системы. Основными требованиями к ПЗУ являются не разрушаемое считывание, высокая надежность и энергонезависимость хранения информации.



4.2 НАЗНАЧЕНИЕ И ГРУППЫ ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ

Основное назначение ПУ - обеспечить поступление в ПК из окружающей среды программ и данных для обработки, а также выдачу

результатов работы ПК в виде, пригодном для восприятия человека или для передачи на другую ЭВМ, или в иной, необходимой форме. Периферийные устройства можно разделить на несколько групп по функциональному назначению:

- Устройства ввода-вывода – предназначены для ввода информации в ПК, вывода в необходимом для оператора формате или обмена информацией с другими ПК. К такому типу ПУ можно отнести внешние накопители (ленточные, магнитооптические), модемы.
- Устройства вывода – предназначены для вывода информации в необходимом для оператора формате. К этому типу периферийных устройств относятся: принтер, монитор (дисплей), аудиосистема.
- Устройства ввода – Устройствами ввода являются устройства, посредством которых можно ввести информацию в компьютер. Главное их предназначение - реализовывать воздействие на машину. К такому виду периферийных устройств относятся: клавиатура (входит в базовую конфигурацию ПК), сканер, графический планшет и т.д.
- Дополнительные ПУ – такие как манипулятор «мышь», который лишь обеспечивает удобное управление графическим интерфейсом операционных систем ПК и не несет ярковыраженных функций ввода либо вывода информации; WEB-камеры, способствующие передаче видео и аудио информации в сети Internet, либо между другими ПК.

4.2.1 Внешние накопители

Ленточные (магнитные) накопители – стримеры. Благодаря достаточно большому объему и довольно высокой надежности чаще всего используются в рамках устройств резервного копирования данных на предприятиях и в крупных компаниях (хранят резервные копии баз данных и другой важной информации). На ленточный накопитель не просто сохраняется резервная копия данных, но также создается образ накопителя данных. Это позволяет пользователю восстанавливать определенное состояние или использовать этот образ как эталонный банк данных, например, когда данные были изменены. Принцип записи на магнитных носителях основан на изменении намагниченности отдельных участков магнитного слоя носителя. Запись осуществляется при помощи магнитной головки, которая создает магнитное поле. При считывании информации намагниченные участки создают в магнитной головке слабые токи, которые превращаются в двоичный код, соответствующий записанному.

Магнитооптические накопители – приводы CD-ROM, CD-R, CD-RW, DVD-R, DVD-RW. Также могут использоваться в качестве устройств резервного копирования, но, в отличие от стримеров, обладают гораздо меньшей вместимостью данных (CD-R, CD-RW до 700 MB данных, DVD-R, DVD-RW до 4.7 GB данных). Информация на магнитооптических накопителях типа CD-R, представляется чередованием углублений и пиков. Этот рельеф создается при производстве механическим путем. Информация наносится вдоль тонких дорожек. Считывание происходит путем

сканирования дорожек лазерным лучом, который по-разному отражается от углублений и пиков. На дисках, которые позволяют многократную перезапись, применяется магнитооптический принцип, в основу которого положено физическое свойство: коэффициент отражения лазерного луча от по-разному намагниченных участков диска с особым образом нанесенным магнитным покрытием различен.

4.2.2 Флэш-карты

Стоило компьютерам научиться обрабатывать массивы данных, появилась проблема, где и как хранить и переносить эти данные. Решений нашлось много – от бумажных перфокарт до магнитных лент и дисков. У каждой из технологий было множество своих плюсов и, как водится еще больше минусов. Все мы склонны к лени, ищем наиболее приятные и комфортные условия, и не готовы идти на жертвы, если этого не требует мода. И поэтому, как только персональный компьютер потерял статус престижной и дорогой игрушки, пользователи все в более требовательной форме стали намекать производителям на неудобства обращения с ними. Сегодня предмет нашего разговора – сменная память. К этой разновидности памяти пользователи предъявляют несколько скромных требований:

- Энергонезависимость – т.е. не нуждаться в батареях, неожиданная разрядка которых приведет к потере информации.
- Надежность – не потерять данные под воздействием грозы, падении или при попадании в лужу.
- Компактной – чтобы не размышлять, а стоит ли тащить все это с собой.
- Долговечной – чтобы не бегать в магазин каждый месяц за новой, т.к. старая отслужила свой срок.
- Универсальной – совместимой со множеством устройств, в которых могут потребоваться данные.

4.2.3 Модемы

В настоящее время существуют два вида модемов: аналоговые и цифровые (технология xDSL).

Аналоговые модемы более популярны из-за своей дешевизны и используются в основном для выхода в сеть Internet, и только иногда (из-за невысокой (до 56 Кбит/с) скорости передачи данных) для связи с другими ПК. Цифровые же модемы довольно дорогие и используются для высокоскоростных соединений с сетью Internet, либо для организации локальной сети на больших расстояниях (xDSL модемы позволяют передавать и принимать информацию со скоростью до 5Мбит/с на расстоянии 5-7 км).

Модемы имеют несколько типов соединений с ПК: COM, USB или (для цифровых модемов) посредством сетевой карты. Модем, соединение которого идет через COM-порт, требует дополнительного источника (блока) питания, а при соединении при помощи USB-порта потребность в блоке

питания отпадает. xDSL-модемы также требуют дополнительного источника питания.

4.2.4 Мониторы

Периферийные устройства вывода предназначены для вывода информации в необходимом для оператора формате. Среди них есть обязательные (входящие в базовую конфигурацию ПК) и необязательные устройства.

Монитор является необходимым устройством вывода информации. Монитор (или дисплей) позволяет вывести на экран алфавитно-цифровую или графическую информацию в удобном для чтения и контроля пользователем виде. В соответствии с этим, существует два режима работы: текстовой и графический. В текстовом режиме экран представлен в виде строк и столбцов. В графическом формате параметры экрана задаются числом точек по горизонтали и числом точечных строк по вертикали. Количество горизонтальных и вертикальных линий экрана называется разрешением. Чем оно выше, тем больше информации можно отобразить на единице площади экрана.

- Цифровые мониторы. Самый простой - монохромный монитор позволяет отображать только черно-белое изображение. Цифровые RGB - мониторы (Red-Green-Blue) поддерживают и монохромной режим, и цветной (с 16 оттенками цвета).

- Аналоговые мониторы. Аналоговая передача сигналов производится в виде различных уровней напряжения. Это позволяет формировать палитру с оттенками разной степени глубины.

- Мультичастотные мониторы. Видеокарта формирует сигналы синхронизации, которые относятся к горизонтальной частоте строк и вертикальной частоте повторения кадров. Эти значения монитор должен распознавать и переходить в соответствующий режим.

ЭЛТ-монитор По возможности настройки можно выделить: одночастотные мониторы, которые воспринимают сигналы только одной фиксированной частоты; многочастотные, которые воспринимают несколько фиксированных частот; мультичастотные, настраивающиеся на произвольные значения частот синхросигналов в некотором диапазоне.

- Жидкокристаллические дисплеи (LCD). Их появление связано с борьбой за снижение габаритов и веса переносных компьютеров.

Основной из недостатков - невозможность быстрого изменения картинок или быстрого движения курсора мыши и т.п. Такие экраны нуждаются в дополнительной подсветке или во внешнем освещении. Преимущества данных экранов - в значительном сокращении спектра вредных воздействий.

- Газоплазменные мониторы. Не имеют ограничений LCD - экранов. Их недостаток - большое потребление электроэнергии.

Особо надо выделить группу сенсорных экранов, так как они позволяют не только выводить на экран данные, но и вводить их, то есть

попадают в класс устройств ввода/вывода. Эта относительно новая технология не получила еще широкого распространения. Такие экраны обеспечивают самый простой и короткий путь общения с компьютером: достаточно просто указать на то, что вас интересует. Устройство ввода полностью интегрировано в монитор. Используются в информационно справочных системах.

4.2.5 Принтеры

Принтер это широко распространенное устройство вывода информации на бумагу, его название образовано от английского глагола to print - печатать. Принтер не входит в базовую конфигурацию ПК. Существуют различные типы принтеров:

- Типовой принтер работает аналогично электрической печатающей машинке. Достоинства: четкое изображение символов, возможность изменения шрифтов при замене типового диска. Недостатки: шум при печати, низкая скорость печати (30-40 зн./сек.), невозможна печать графического изображения.
- Матричные (игольчатые) принтеры - это самые дешевые аппараты, обеспечивающие удовлетворительное качество печати для широкого круга рутинных операций (главным образом для подготовки текстовых документов). Применяются в сберкассах, в промышленных условиях, где необходима рулонная печать, печать на книжках и плотных карточках и других носителях из плотного материала. Достоинства: приемлемое качество печати при условии хорошей красящей ленты, возможности печати «под копирку». Недостатки: достаточно низкая скорость печати, особенно графических изображений, значительный уровень шума. Среди матичных принтеров есть и достаточно быстрые устройства (так называемые, Shattle-принтеры).
- Струйные принтеры обеспечивают более высокое качество печати. Они особенно удобны для вывода цветных графических изображений. Применение чернил разного цвета дает сравнительно недорогое изображение приемлемого качества. Цветную модель называют СМΥВ (Cyan-Magenta-Yellow-Black) по названиям основных цветов, образующих палитру.

Струйные принтеры значительно меньше шумят. Скорость печати зависит от качества. Достаточно эффективны при создании рекламных проспектов, календарей, поздравительных открыток. Этот тип принтера занимает промежуточное накопление между матричными и лазерными принтерами.

- Лазерные принтеры - имеют еще более высокое качество печати, приближенное к фотографическому. Они стоят намного дороже, однако скорость печати в 4-5 раз выше, чем у матричных и струйных принтеров. Недостатком лазерных принтеров являются довольно жесткие требования к качеству бумаги - она должна быть достаточно

плотной и не должна быть рыхлой, недопустима печать на бумаге с пластиковым покрытием и т.д.

Особенно эффективны лазерные принтеры при изготовлении оригинал-макетов книг и брошюр, деловых писем и материалов, требующих высокого качества. Они позволяют с большой скоростью печатать графики, рисунки.

- Светодиодные принтеры - альтернатива лазерным. Разработчик - фирма OKI.

Термические принтеры. Используются для получения цветного изображения фотографического качества. Требуют особой бумаги. Такие принтеры пригодны для деловой графики. Принтер на технологии Micro Dry. Эти принтеры дают полные фотонатуральные цвета, имеют высочайшее разрешение. Это новое конкурентоспособное направление. Намного дешевле лазерных и струйных принтеров. Разработчик - фирма Citizen. Печатает на любой бумаге и картоне. Принтер работает с низким уровнем шума.

4.2.6 Плоттеры (графопостроители)

Это устройство применяется только в определенных областях: чертежи, схемы, графики, диаграммы и т.п. Широкое применение нашли плоттеры совместно с программами систем автоматического проектирования, где частью результатов работы программы становится конструкторская или технологическая документация. Незаменимы плоттеры и при разработках архитектурных проектов. Поле черчения плоттера соответствует форматам A0-A4, хотя есть устройства, работающие с рулоном не ограничивающие длину выводимого чертежа (он может иметь длину несколько метров). То есть различают планшетные и барабанные плоттеры.

- Планшетные плоттеры, в основном для форматов A2-A3, фиксируют лист и наносят чертеж с помощью пишущего узла, перемещающегося в двух координатах. Они обеспечивают более высокую по сравнению с барабанным точность печати рисунков и графиков.

- Рулонный (барабанный) плоттер – остается фактически единственным развивающимся видом плоттера с роликовой подачей листа и пишущим узлом, перемещающимся по одной координате (по другой координате перемещается бумага).

Распространены режущие плоттеры для вывода чертежа на пленку, вместо пишущего узла они имеют резак. Связь с компьютером плоттеры, как правило, осуществляют через последовательный (COM), параллельный (LPT) или SCSI-интерфейс. Некоторые модели графопостроителей оснащаются встроенным буфером (1 Мбайт и более).

4.2.7 Проекционная техника

Мультимедиа-проектор позволяет воспроизводить на большом экране информацию, получаемую от самых разнообразных источников сигнала: компьютера, видеомагнитофона, видеокамеры, фотокамеры, DVD-проигрывателя, игровой приставки. Изображение в мультимедиа-проекторе формируется несколькими основными способами: с помощью

жидкокристаллических панелей (LCD-технология) и с помощью микрозеркальных чипов DMD (DLP-технология). В LCD-проекторах свет от лампы проходит через жидкокристаллическую панель, на которой как на обычной пленке, но с помощью цифровой электронной схемы создается картинка. Свет проходит через панель и объектив, и в результате на экран проецируется увеличенное во много раз изображение. В DLP-проекторах свет от лампы отражается от множества управляемых электроникой микрозеркал и также через объектив попадает на экран.

4.2.8 Аудиосистема

В персональных компьютерах применяются самые разнообразные схемы формирования звуковых сигналов - от простых до сложных. Вроде бы проблема со звуком для персональных компьютеров решена окончательно. Редко встретишь материнские платы необорудованные аудиоконтроллером. Тем не менее, даже если считать вопрос с аудиоплатами закрытым, остается животрепещущей тема акустических систем. Животрепещущим этот вопрос остается, потому что многие пользователи не ограничиваются просмотром видеофильмов и играми с объемным звучанием. Настоящие аудиофилы предпочитают качественный стереозвук с объемным звучанием и глубоким басом, не говоря уже об энтузиастах, которые занимаются созданием музыки при помощи своих персональных компьютеров. Для них вообще обязательным элементом домашней студии является качественная стереоакустика, даже если вся остальная роль возложена на компьютер со звуковой платой. В наши дни на рынке очень много акустических систем, состоящих из двух активных колонок, и выполненных по системе 2.1. Подобные системы в народе называются «пищалками», потому что не способны обеспечить звук высокого качества даже на низком уровне громкости. Совсем недавно идеалом в мире компьютерных (и не только) акустических систем была система 5.1 (пять сателлитов и один сабвуфер), но в последнее время производители акустики расширяют возможности своих систем, что привело сначала к появлению системы 6.1, а позднее и 8.1

4.2.9 Сканер

Для непосредственного считывания графической информации с бумажного или иного носителя в ПК применяется оптические сканеры. Сканируемое изображение считывается и преобразуется в цифровую форму элементами специального устройства: CCD - чипами. Существует множество видов и моделей сканеров. Какой из них выбрать, зависит от задач, для которых сканер предназначается. Самые простые сканеры распознают только два цвета: черный и белый. Такие сканеры используют для чтения штрихового кода.

- Ручные сканеры - самые простые и дешевые. Основной недостаток в том, что человек сам перемещает сканер по объекту, и качество полученного изображения зависит от умения и твердости руки. Другой

важный недостаток - небольшая ширина полосы сканирования (до 10 см), что затрудняет чтение широких оригиналов.

- Барабанные сканеры применяются в профессиональной типографической деятельности. Принцип заключается в том, что оригинал на барабане освещается источником света, а фотосенсоры переводят отраженное излучение в цифровое значение.
- Листовые сканеры. Их основное отличие от двух предыдущих в том, что при сканировании неподвижно закреплена линейка с CCD - элементами, а лист со сканируемым изображением движется относительно нее с помощью специальных валиков.
- Планшетные сканеры. Это самый распространенный сейчас вид для профессиональных работ. Сканируемый объект помещается на стеклянный лист, изображение построчно с равномерной скоростью считывается головкой чтения с CCD - сенсорами, расположенной снизу. Планшетный сканер может быть оборудован специальным устройством слайд-приставкой для сканирования диапозитивов и негативов. Для сканирования слайдов и микроизображений ранее использовались слайд-сканеры.
- Проекционные сканеры. Относительно новое направление. Цветной проекционный сканер является мощным многофункциональным средством для ввода в компьютер любых цветных изображений, включая трехмерные. Он вполне может заменить фотоаппарат.

В наше время у сканеров появилось еще одно применение - считывание рукописных текстов, которые затем специальными программами распознавания символов преобразуются в коды ASC II и в дальнейшем могут обрабатываться текстовыми редакторами.

Интерфейс может быть разным:

- Собственный интерфейс – сканер поставляется со своей уникальной картой и работает только с ней. Эта карта может не заработать в лично Вашем компьютере или выйти из строя.
- SCSI – если использовать сканер не с поставляемой в комплекте картой, то лёгкая совместимость получается не всегда.
- LPT (и его варианты, с поддержкой или требованием EPP, ECP или Bi-Directional) – сканеру может быть необходима поддержка портом одного из скоростных протоколов. Если EPP обычно есть всегда, то необходимый для сканеров Epson вариант 8-бит Bi-Directional реализован не везде.
- USB – самый распространенный вариант подключения на сегодняшний день. Просто подключить и, при наличии всех драйверов и программ, работает всегда.

4.2.10 Графический планшет

Настольные компьютеры для конструкторских и дизайнерских работ уже более десяти лет комплектуются графическими планшетами. Это устройство значительно упрощает ввод в ПК чертежей, схем и рисунков.

Сначала планшеты были дорогими приспособлениями и поэтому были рассчитаны на сугубо профессиональное использование. Но уже лет пять выпускаются дешевые домашние модели. Даже, несмотря на хорошие навыки рисования от руки, вам вряд ли удастся изобразить в графическом редакторе что-нибудь путное, водя мышкой. Перо и планшет в корне меняют ситуацию. Если еще к этому добавить появление новых возможностей у графических редакторов. Речь идет о чувствительности к силе нажатия. В зависимости от того, с каким усилием вы проводите линию, в окне программы изменяются ее толщина и прозрачность. Прозрачная пленка, покрывающая планшет, позволяет выполнять трассировку оригиналов – т.е. под нее можно положить картинку и, обводя наконечником пера ее линии, повторить рисунок в окне.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. Рассмотрите на примере двоичных чисел сложение многоразрядных чисел. При сложении возможен перенос числа из младшего разряда в старший. $110_2 + 11_2 = 1001_2$.

2. Выполните операцию умножения чисел $11001_2 \times 110_2$ в двоичной системе счисления, и проверить правильность результата, переведя его в десятичную систему счисления.

3. Сложить числа +10 и – 5, используя коды

4. Загрузите Интернет, в строке поиска введите фразу «каталог образовательных ресурсов». Перечислите, какие разделы включают в себя образовательные ресурсы сети Интернет. Охарактеризуйте любые три.

5. Установите программу «FineReader 6.0.Тренажер» из папки «ПР1» Рабочего стола на компьютер. Опишите все этапы установки.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Для чего предназначен микропроцессор ПК?
2. Какие существуют классификации микропроцессоров?
3. Перечислите характеристики микропроцессоров, поясните их
4. Кэш-память, назначение, уровни.
5. Приведите таблицу истинности логической операции «инверсия».
6. Приведите таблицу истинности логической операции «конъюнкция».
7. Приведите таблицу истинности логической операции «дизъюнкция».
8. Как на электронных схемах изображаются логические элементы: НЕ, И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ?
9. Назовите основные параметры запоминающих устройств.
10. Какие элементы памяти используются в различных типах ROM?

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для освоения сведений об электронно-вычислительной технике, системах счисления, видах информации и способах их представления, логические основы и основы микропроцессорных систем, типовые узлы и устройства

вычислительной техники, взаимодействие аппаратного и программного обеспечения в работе электронно- вычислительных машин.

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают: принцип действия, классификацию и типовые узлы вычислительной техники, архитектуру микропроцессорной системы, основные методы цифровой обработки сигналов, характеристики электронно-вычислительной техники, основной базис и законы алгебры логики, системы команд микропроцессора, процедуры выполнения команд, рабочего цикла микропроцессора.

При изучении модуля обучающиеся учатся: выбирать материалы на основе их свойств, характеризовать регистры, дешифраторы, счетчики, сумматоры, классифицировать принципы построения устройств памяти, использовать различные средства вычислительной техники и программного обеспечения в профессиональной деятельности, использовать различные виды обработки информации и способы ее представления в электронно-вычислительных машинах.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Максимов Н.В., Партыка Т.Л., Повпов И.И. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006
2. Захаров Н. Г. Вычислительная техника: учебник / Н. Г. Захаров, Р, А. Сайфутдинов. - Ульяновск: УлГТУ, 2007.
3. Старков В.В. Архитектура персонального компьютера. Организация, устройство, работа. М.: Горячая линия-Телеком, 2009
4. Жаворонков М.А., Кузин А.В. Микропроцессорная техника. М.: Академия, 2008.
5. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем. М., СПб.: Питер, 2006

РАЗДЕЛ 5. ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ МЕНЕДЖМЕНТА И МАРКЕТИНГА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Описать виды, формы, показатели, методы определения экономической эффективности форм общественной организации производства в отраслях.
2. Применять методы современного менеджмента для анализа экономической ситуации.
3. Проявлять управленческую закономерность для общественной деятельности.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер или ноутбук с необходимым программным обеспечением

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для расчёта производственных затрат, сметы работ, потребности в материальных ресурсах и проведения анализа экономической эффективности и хозяйственной деятельности, планирования в системе менеджмента

5.1. ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ

Экономика отрасли является не только теоретической, но и прикладной наукой, пользуется не только выводами других наук, но и сама обеспечивает смежные науки фактической информацией о закономерностях формирования и развития отрасли, процессов её развития, связи процессов концентрации и диверсификации производства с эффективностью его функционирования параметров производственного процесса с существующим уровнем развития технологии, а также выполняет методические функции. Она должна обеспечить управленческим органам надежную обратную связь, выполнить функцию обоснования принимаемых ими решений в сфере управления экономическими процессами развития экономики отрасли.

Экономика отрасли - совокупность организаций, предприятий, учреждений, производящих однородные товары и услуги, использующих однотипные технологии, удовлетворяющих близкие по природе потребности. Различают: чистые отрасли, производящие монопродукт (например, угольная промышленность); хозяйственные отрасли, в которых производством

отраслевого продукта занята основная часть организаций отрасли; административные отрасли, организации которых относятся к одному министерству, ведомству. В отрасли материального производства входят промышленность, сельское и лесное хозяйство, строительство, транспорт и связь, торговля и общественное питание, материально-техническое обеспечение (логистика). К отраслям социально-культурной ориентации, сферы услуг относят: культуру, образование, здравоохранение, социальное обеспечение, науку, управление, жилищно-коммунальное хозяйство, бытовое обслуживание населения. Правоммерно выделение в качестве отраслей экономики банковского сектора, деятельности, связанной с информационными технологиями.

Экономика – это наука, в переводе с Др.Греческого – умение управлять домашним хозяйством.

Экономика – это хозяйство всей страны, либо какой-то системы предприятий, либо хозяйствующего субъекта, т.е. предприятия. Это наука, т.е. система определенных знаний.

Экономика – это совокупность производственных отношений, соответствующих данной стадии развития производственных сил общества. В зарубежной экономической литературе характеризуют экономику, как искусство выбора рационального образа действий из ряда имеющихся у людей потенциальных возможностей с учетом ограниченности ресурсов, т.е. выбор предпочтительного из возможного.

Предприятие – это хозяйствующий субъект определенного типа, в отличие от аналогичных объектов других типов, а именно: союзов, ассоциаций, объединений, концернов, являющиеся юридическим лицом, обладают хозяйственной самостоятельностью. Таким образом, *экономика предприятия* – это наука о правилах хозяйствования на предприятии.

Изучая данную дисциплину, студент должен знать основы экономики предприятия, как основного объекта рыночной экономики, организационные и производственные основы функционирования предприятия в условиях рынка. Уметь построить организационную и производственную структуру предприятия. Знать экономический потенциал предприятия, методику его расчета, сущность технико-экономических показателей предприятия, с помощью которых оценивается состояние здоровья предприятия.

Предприятие – объект рыночной экономики. Французские специалисты в области менеджмента говорят, что предприятие – это место соединения трудовых, материальных и финансовых ресурсов для производства продукции и услуг, распределение прибыли между работниками, собственниками, но причастным к производству лицам. Это место сотрудничества и конфликта между партнерами, также место применения, как использование власти.

Предпринимательство осуществляется в условиях риска под имущественную ответственность в пределах определенных форм и объединений. Субъектами предпринимательской деятельности выступают физические и юридические лица.

Предприниматель может осуществлять любые виды деятельности: производственную, инновационную, посредническую, торговую, коммерческую, а также операции с ценными бумагами. Предприниматель имеет право привлекать на договорных началах физических лиц, использовать их финансовые средства, объекты интеллектуальной собственности, формировать программу, выбирать поставщиков и потребителей своей продукции, осуществлять внешнеэкономическую деятельность.

Предпринимательская деятельность осуществляется в 2-х формах: либо самим собственником, либо менеджером предприятия от имени собственника. Пределы распоряжений такой собственностью регулируются контрактом, определяющим взаимные обязательства сторон, где указываются ограничения прав в использовании имущества и проведение отдельных видов деятельности. Порядок и условия финансовых взаимоотношений, материальной ответственности сторон, а также находит отражение основания и условия расторжения договора.

Типы производств.

В настоящее время следует различать на предприятиях следующие типы производств: *массовое, серийное, единичное, смешанное.*

Тип производства обычно характеризуется коэффициентом специализации рабочих мест или коэффициентом серийности, который определяется количеством деталей, операций, исполняющихся на одном рабочем месте. Этот коэффициент на многих предприятиях промышленности для массового использования составляет величину до 3, на крупносерийном от 4-10, на среднесерийном от 11-20, на мелкосерийном более 20.

Характерным для единичного производства является изменчивость номенклатуры, небольшой объем выпуска, который приводит к ограничению возможностей использования стандартизированных, конструкторско-технологических решений. К продукции единичного типа относятся турбины, прокатные станы, уникальные станки.

Серийное производство характеризуется тем, что к рабочему месту изделия поступают не по 1-2 штуки, как в единичном производстве, а периодически конструктивно одинаковыми партиями, т.е. сериями. Для серийного типа производства характерна относительно большая номенклатура изделий, однако значительно меньше, чем в единичном типе производства.

Массовое производство характеризуется узкой специализацией рабочих мест, ориентированных на выполнение 1-2 постоянно повторяющихся деталей операции. В большинстве случаев коэффициент серийности равен 1. Основным признаком массового производства в изготовлении большого объема однородной продукции в течение относительно длительного времени. Для предприятий массового производства характерна ограниченная номенклатура выпускаемых изделий.

Предприятия классифицируются по количественным и качественным признакам.

К количественным в наших условиях можно отнести деление предприятий на мелкие, средние и крупные. Критерием отнесения является признак работающих на данном предприятии.

К мелким относят численность рабочих до 100 человек. В промышленности 100 человек, в строительстве 100 человек, в транспорте 100 человек, в сельском хозяйстве 60 человек, в научно-технической сфере 60 человек, в оптовой торговле 50 человек, в БОН 30 человек, в розничной торговле 30 человек, в остальных отраслях не более 50 человек.

До 1000 человек – к средним, более 1000 человек – к крупным.

К качественным признакам относят:

1. по организационно-правовой форме – это комплекс юридических, правовых, хозяйственных норм, определяющих характер, условия, способы формирования отношений между собственниками предприятий, а также между предприятиями и другими внешними по отношению к ним субъектами хозяйственной деятельности и органами государственной власти.

2. по форме собственности делятся на частные, коллективные, муниципальные и другие формы собственности.

3. по видам деятельности.

4. деление предприятий на коммерческие и некоммерческие.

Цель деятельности коммерческих предприятий – получение прибыли. Некоммерческие – союзы, объединения, фонды, их цель уставная (соблюдение устава). Прибыль распределяют для дальнейшего развития.

5.2. ОСНОВЫ МЕНЕДЖМЕНТА

Понятие «менеджмент» возникло в начале 20 века в американской среде бизнеса. Еще в 30-е годы прошлого столетия там была ясно осознана его значимость, деятельность превратилась в профессию, область знаний – в самостоятельную дисциплину, а социальный слой – в весьма влиятельную общественную силу. Произошла т.н. «революция менеджеров», когда возникли корпорации-гиганты, простирающие свои производственные и сбытовые сети по всему миру, обладающие огромным экономическим, производственным, научно-техническим потенциалом, сопоставимым с целым государством. Известно, что крупнейшие корпорации, банки составляют стержень экономической и политической силы великих наций, от них зависят правительства, а значит, решения менеджеров, стоящих во главе крупных корпорации, подобно решениям государственных деятелей определяют судьбы миллионов людей, государств и целых регионов. Важен и малый бизнес. В экономике развитых стран предприятия малого бизнеса по количественному составу составляют более 95% всех фирм. В этой сфере экономики существует еще более жесткая конкуренция, а основная задача устоять, выжить, вырасти принадлежит эффективному менеджменту. Что же такое менеджмент и кто такой менеджер?

Менеджмент – это умение добиваться поставленных целей, используя труд, интеллект, мотивы поведения других людей.

Менеджмент – это вид профессиональной деятельности, направленный на оптимизацию человеческих, материальных и финансовых ресурсов для достижения целей организации.

Менеджмент – это система научных знаний, рекомендаций, основанных на практике управления.

Менеджмент – это наука + опыт, приумноженные управленческим искусством.

Современный менеджмент опирается на четыре функции: организация, планирование, мотивация и контроль. Интегральным критерием менеджменте любого уровня принимается системное качество на базе стандарта 9001:9015 – система менеджмента качества (СМК).

Планирование – определение целей деятельности, необходимых для этого средств, разработка методов достижения целей, прогнозирование будущего развития организации. Организация – формирование структуры организации, обеспечение ее ресурсами: материальными, финансовыми, трудовыми.

Мотивация – активизация работников, побуждение их эффективно работать ради достижения целей организации с помощью экономического и морального стимулирования и создание условий для развития творческого потенциала работников.

Контроль – количественная и качественная оценка и учет результатов работы, корректировка планов, норм, решений.

Координация – достижение согласованности в работе всех звеньев системы путем установления рациональных связей между ними.

Стандарт ISO 9001:2015 (национальный эквивалент – ИСО 9001-2015) устанавливает следующие основные принципы менеджмента качества (ПМК):

1) ориентация на потребителя (ранее - организация, сфокусированная на заказчика) - организация зависит от своих заказчиков и поэтому должна понимать текущие и будущие нужды заказчика, выполнять требования заказчика и стараться превосходить ожидания заказчика.

Принцип говорит, что любые организации созданы для удовлетворения потребности Заказчиков – своих потребителей, а не наоборот. С точки зрения менеджмента качества все действия организации должны быть направлены на выявление, понимание и удовлетворение потребностей заказчиков.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- увеличение дохода и доли рынка за счет более гибкой и быстрой реакции на изменения на рынке;
- увеличение эффективности использования ресурсов организации за счет роста удовлетворенности потребителей;
- повышение лояльности потребителей и за счет этого увеличение повторных заказов.

2) *лидерство* (ранее - лидерство руководства) - лидеры устанавливают единство цели, направления и внутреннюю среду организации. Они создают окружение, в котором люди могут стать полностью вовлеченными в достижение целей организации.

Для эффективного достижения целей организации сотрудники на всех уровнях должны не просто хотеть достигнуть поставленных целей, но и быть лидерами в достижении этих целей, быть примером в стремлении к этим целям.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- сотрудники организации начинают разделять цели организации, за счет этого они будут больше мотивированы на достижение поставленных целей;
- появляется возможность выстраивать, выполнять и оценивать любые действия в организации на основе единых непротиворечивых принципов;
- сокращается несогласованность и недопонимание между различными уровнями управления в организации.

3) *взаимодействие людей* (ранее - вовлечение людей) - служащие всех уровней – это сущность организации и их полное вовлечение дает возможность использовать их способности на благо организации.

Хорошо и эффективно люди в организации смогут работать только тогда, когда они увлечены своей работой, когда она им интересна. Чтобы достигнуть целей по качеству, в организации должны быть созданы условия для максимальной заинтересованности людей в той работе, которую они выполняют. Этого можно добиться за счет эффективного управления персоналом.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- появляется мотивация, активное участие и вовлечение сотрудников во все процессы организации, что повышает эффективность их труда;
- у сотрудников появляется заинтересованность в разработке предложений и внедрении инноваций в своей работе и работе организации в целом, что способствует более быстрому достижению целей организации;
- появляется реальная ответственность сотрудников за свои собственные предложения и нововведения;
- сотрудники стремятся сами принимать участие и помогать процессу непрерывного улучшения в работе организации.

4) *процессный подход* - желаемый результат достигается более эффективно, когда соответствующие ресурсы и деятельности управляются как система взаимосвязанных процессов.

Любая деятельность в организации должна рассматриваться как процесс, следовательно, она должна иметь четко определенные и

однозначные входы, выходы, ресурсы, операции и взаимосвязь всех указанных составляющих процесса.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- снижается стоимость и сокращается производственный цикл за счет более эффективного использования ресурсов;
- результаты работы становятся предсказуемыми, повторяемыми и могут быть улучшены, если в этом появляется необходимость;
- первостепенное внимание уделяется возможностям для улучшения работы.

Ранее (в версии стандартов 2008 года) присутствовал еще один принцип - системный подход к управлению. Новая версия стандартов объединила данный принцип с принципом процессного подхода.

5) *улучшение* (ранее - постоянное улучшение) - постоянное улучшение является неизменной целью организации.

Данный принцип определяет необходимость постоянного развития организации.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- получение преимуществ за счет увеличения возможностей организации;
- выстраивание действий по улучшению, выполняемых на всех уровнях организации, в единую стратегию организации;
- появляется возможность быстро реагировать на возникающие изменения во внешнем и внутреннем окружении организации.

6) *принятие решений, основанных на фактах* - эффективность решений основывается на логическом анализе данных и информации.

Любые решения, любые управляющие воздействия должны приниматься только на основе объективных данных, объективных свидетельств, но никак не на основе предположений, домыслов или субъективных мнений.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- принятие каждого решения обосновано набором достоверных данных;
- появляется возможность подтвердить эффективность принимаемых решений за счет анализа фактических данных;
- появляется возможность вносить обоснованные изменения в ранее принятые решения.

7) *менеджмент взаимоотношений* (ранее - взаимовыгодные отношения с поставщиками) - взаимовыгодные отношения между организацией и ее заинтересованными сторонами повышает способность организации по созданию ценности.

Этот принцип ориентирует организацию на развитие своих взаимоотношений с заинтересованными сторонами. Каждая

заинтересованная сторона в той или иной степени влияет на результаты деятельности организации. Если организация сможет оптимальным образом выстроить свои взаимоотношения со всеми заинтересованными сторонами, то это позволит ей снизить как внешние, так и внутренние риски, связанные с результатами деятельности.

Ключевые преимущества, которые дает внедрение этого принципа, заключаются в следующем:

- происходит оптимизация затрат и ресурсов;
- появляется заинтересованность сторон в адекватных совместных действиях в случае изменения ситуации как внутри, так и во вне организации;
- повышается ценность взаимного партнерства между организацией и ее заинтересованными сторонами.

От того, насколько хорошо руководители и сотрудники организации понимают принципы менеджмента качества, будет зависеть работа всей системы качества.

Построение системы качества по стандартам ИСО серии 9000 позволяет организации внедрить принципы менеджмента качества в практику своей работы. Каждый из указанных выше принципов отражен в стандарте ИСО 9001 набором требований. Поэтому, когда организация разрабатывает и внедряет методы реализации этих требований в своей работе, она тем самым внедряет принципы менеджмента качества.

5.3. МАРКЕТИНГ

Маркетинг – это деятельность, которая ставит своей целью получение прибыли с помощью удовлетворения потребностей покупателей. Это очень обобщенное определение, показывающее суть любых маркетинговых мероприятий – умение продать товар или услугу целевой аудитории.

В более широком смысле маркетинг – это комплексная дисциплина, которая включает в себя умение анализировать нишу и конкурентов, прогнозировать потребительский спрос, умело выстраивать коммуникации с целевой аудиторией. Словом, профессиональный маркетолог должен понимать, как превратить потребности людей (B2C) или организаций (B2B) в услугах и товарах в потребительский спрос.

Таким образом, если описать маркетинг кратко – это деятельность по удовлетворению потребностей клиентов. Собственно она и является главной целью всех маркетинговых стратегий компании.

Чтобы достигнуть цели маркетологи решают следующие задачи, стоящие перед бизнесом:

- Анализ потребностей клиентов в нише, где работает компания. Пользуется ли товар спросом, какие критерии выбора ЦА необходимо учитывать перед выпуском продукции в продажу?
- Изучение предложений конкурентов на рынке, а также ценообразования в конкретной нише. На основе полученных данных разрабатывается ценовая политика компании.

- Подстройка ассортимента товаров и услуг под потребительский спрос. Большинство компаний, выходя на рынок, работают с уже имеющимся спросом. Поэтому продвигать неликвидный товар, зачастую, убыточное предприятие. С другой стороны для продвижения новинки требуется большой бюджет на создание спроса, но и все «сливки» достанутся вам.
- Запуск мероприятий направленных на повышение спроса, сбыта продукции. Это реклама в онлайн и офлайн среде, вирусное продвижение, сарафанное радио и другие методики.
- Сервисное обслуживание, поддержка клиентов. Идеальный маркетинг – это не просто одиночная продажа товаров, а технология превращения покупателей в постоянных клиентов. В этой системе все важно: качество продукции, качество обслуживания, отзывчивая поддержка.

Эффективно решать задачи маркетинга помогают следующие принципы: понимание производственных возможностей компании, умение планировать мероприятия по сбыту товаров или услуг. Кроме того, компания должна уметь гибко реагировать на меняющийся спрос, обновлять ассортимент продукции в соответствии с потребностями ЦА.

Функции

1. Аналитическая. Комплекс мероприятий по исследованию внешних и внутренних факторов, которые влияют на компанию, рынок и потребительский спрос. Сюда входит анализ ниши и конкурентов, изучение потребностей ЦА и прогнозирование покупательского поведения. Кроме того, анализу подвергается и внутренняя деятельность компании – насколько корпоративная среда соответствует запросам времени, как предприятие выглядит на фоне конкурентов.

2. Производственная. Эти функции отвечают за внедрение новых технологий в производственный процесс. Сам процесс может подразделяться на несколько составляющих: организация закупок, реализация товаров и услуг, складское хранение и другие. Также производственные функции решают задачи по управлению качеством и конкурентоспособностью товара на рынке, контролируют соответствие продукции стандартам качества.

3. Управление и контроль. Отвечают за процессы планирования маркетинговых мероприятий в компании. Сюда же входит информационная поддержка клиентов и партнеров, управление рисками.

4. Продажи. Все что отвечает за формирование ценовой и товарной политики предприятия. В более широком понимании к продажам также относятся мероприятия по расширению спроса на товары и услуги, освоение новых рынков.

5. Инновационная. Разработка и внедрение нового продукта на рынок.

Функционал поддерживается следующими методами маркетинга – опрос, анализ ситуации на рынке, наблюдения, изучение потребительского спроса. В плане продвижения продукции используются рекламные технологии в онлайн и офлайн среде, PR, личные продажи, консультации.

Инструменты

Маркетинг – это процесс превращения потребителя в покупателя. Для реализации этой задачи используются маркетинговые инструменты. Условно их можно разделить на четыре группы: цена, продукция, сбыт, реклама.

- Цена – сюда входят затраты на производство и продажу товара, ассортимент продукции, критерии выбора ЦА, политическая и финансовая обстановка в стране. Зачастую именно стоимость товаров определяет уровень спроса.
- Сбыт – в эту категорию входят инструменты, повышающие потребительский спрос. Например, яркая упаковка, по сути, является продавцом товара. Также используются скидки, акции и другие мероприятия стимуляции интереса покупателей. Участие продукции на выставках и ярмарках помогает продвинуть новый товар на рынок.
- Реклама – онлайн и офлайн каналы продвижения товаров и услуг. Для комплексного развития бизнеса желательно использовать два направления. Первое – быстрее и эффективнее работает с потребительским спросом, второе – незаменимо в брендинге компании.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

1. Погрузочная машина отработала 500 часов, при плановом фонде 720 часов. Определить степень использования во времени то есть коэффициент экстенсивной нагрузки.

2. Годовая фактическая производительность станка составила 27000 тонн, при технической производительности 40000 тонн. Определить коэффициент интенсивной нагрузки станка.

3. Проведенное маркетинговое исследование показало, что среднерыночная цена продукта равна 5000 тенге. Постоянные издержки равны 10000, себестоимость единицы товара 2500 тенге, цена отгрузки 3200 тенге. Определите точку безубыточности для компании (шт. и тенге).

4. Емкость рынка деревянных стеклопакетов составляет 10% от емкости всего рынка оконных конструкций и равняется 1,4млн м² в год. Рассчитайте общую емкость рынка оконных конструкций.

5. За смену, продолжительностью которой 8ч, при планируемых затратах на проведение ремонтных работ два часа. Фактическое время работы станка составило 5 часов. Найти коэффициент интенсивной нагрузки.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Экономические особенности отрасли связи.
2. Подотрасли и виды связи.
3. Экономическая характеристика продукции связи.
4. Виды и номенклатура продукции связи.
5. Отличие маркетинга от сбыта
6. Что подразумевает компания, утверждая, что она становится маркетинговой?
7. Что такое "маркетинговые возможности фирмы"?

8. Назовите, по каким признакам могут формироваться группы потребителей?
9. Понятия «менеджмент» и «управление»
10. Характерные черты и стадии менеджмента

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для проведения анализа экономической эффективности и хозяйственной деятельности, планирования в системе менеджмента, определения системы методов управления, управления стрессами и конфликтами.

В результате изучения модуля обучающиеся учатся: проводить анализ отраслевой структуры промышленности, отраслевой структуры легкой промышленности, выполнять расчеты по определению оптимальных размеров предприятий промышленности, уровня и экономической эффективности форм общественной организации производства, показателей рыночной власти, оптимального объема выпуска в различных рыночных структурах, самостоятельно и творчески использовать теоретические знания в области экономики отрасли в процессе последующего обучения.

При изучении модуля обучающиеся осваивают: экономические понятия рынка, производственные фонды предприятий, основы менеджмента, маркетинга и планирования производства, экономическую сущность производственных фондов, порядков разработки сметной документации, основы маркетинга и менеджмента, методов планирования и учета.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карташова В.Н., Приходько А.В. Экономика организации (предприятия): Учеб. для средних специальных учебных заведений. – М. «Гриф», 2009
2. Курс лекций по дисциплине “Экономика предприятия” / Для студентов специальности 061500 - Маркетинг. – Орел: Орел ГТУ, 2009
3. Сафронов Н.А. Экономика организации (предприятия): Учеб. Для студентов среднего профессионального образования. – М. «Экономист», 2010.
4. Ассэль Г. Маркетинг: принципы и стратегия. М.: ИНФРА-М, 2001
5. Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент. 2014.
6. Гашкова Л.В., Морозова О.Ю. Основы маркетинга и менеджмента: практикум. 2015.
7. Глазов М.М. Менеджмент: учебное пособие. 2013.

РАЗДЕЛ 6. ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОХРАНЫ ТРУДА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Применять нормативные документы по охране труда и здоровья, основе профессиональной гигиены, профессиональной санитарии и пожаробезопасности.
2. Соблюдать правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок.
3. Выполнять санитарно-технологические требования на рабочем месте и в производственной зоне, нормы и требования к гигиене и охране труда.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер или ноутбук с необходимым программным обеспечением

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки необходимые по решения вопросов охраны труда в отрасли, владения методами обеспечения безопасных условий труда на производстве, эксплуатации технологического оборудования.

6.1. ОХРАНА ТРУДА

Измерения и контроль являются основными методами подтверждения соответствия условий окружающей и производственной среды санитарным нормативам. Особенности их применения определяются задачами, которые решает испытательная лаборатория при сертификации.

6.1.1 Основные законодательно-правовые акты по охране труда

Охрана труда (ОТ) - система законодательных и нормативных документов, на основе которых разрабатываются социально-экономические, технические и гигиенические мероприятия, обеспечивающие безопасные условия труда на рабочих местах и сохраняющие работоспособность человека. Цель охраны труда можно описать формулой

$$\text{ЦЕЛЬ} = \text{БС} + \text{ПТ} + \text{СЗ} + \text{ПР} + \text{КТ},$$

где БС – достижение безаварийных ситуаций;

ПТ – предупреждение травматизма;

СЗ – сохранение здоровья;

ПР – повышение работоспособности;

КТ – повышение качества труда.

Для достижения поставленной цели необходимо решить две группы задач. Первая – научная, то есть математические модели в системах человек – машина, опасные (вредные) производственные факторы и так далее. Вторая – эта практическое обеспечение безопасных условий труда при обслуживании оборудования.

Законодательные акты по охране труда составляют неразрывную часть трудового права Республики Казахстан, основой которого является статья 24 Конституции РК от 30.09.95г.

В этой статье записано, что каждый имеет право на свободу труда, свободный выбор рода деятельности и профессии:

- Закон РК от 28.02.2004 г. № 528-П «О безопасности и охране труда»;
- Закон РК от 07.02.2005 г. № 30-П «Об обязательном страховании гражданско-правовой ответственности работодателя за причинение вреда жизни и здоровью работника при исполнении им трудовых (служебных) обязанностей».

Кроме этого, к нормативным актам по охране труда относятся:

- стандарты Системы стандартов безопасности труда (ССБТ), утверждаемые: государственные стандарты (ГОСТ) - Межгосударственным Советом СНГ по стандартизации, метрологии и сертификации; отраслевые стандарты (ОСТ) - соответствующими министерствами, ведомствами, другими центральными органами исполнительной власти; стандарты предприятия (СТП) - предприятиями;
- санитарные правила, нормы, гигиенические нормативы, эргономические, физиологические и другие требования, утверждаемые Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения Республики Казахстан;
- правила и инструкции по охране труда отраслевого назначения, утверждаемые центральным органом исполнительной власти и соответствующим надзорным и контролирующим органом по согласованию с Департаментом охраны труда Министерства труда Республики Казахстан;
- правила и инструкции по охране труда межотраслевого назначения, утверждаемые Департаментом охраны труда Министерства труда Республики Казахстан по согласованию с министерствами, ведомствами.

Проведение инструктажа. Расследование, оформление и учет производственного травматизма

Каждая организация, где возможно возникновение травм и профессиональных заболеваний, должна иметь систему инструктажа как постоянных, так и временных работников.

Вновь поступающие рабочие могут быть допущены к работе только после прохождения вводного общего инструктажа по правилам техники безопасности и производственной санитарии, инструктажа по правилам техники безопасности непосредственно на рабочем месте. Последний необходим также при переходе на другую работу или при изменении условий работы.

Вводный инструктаж рабочих обеспечивает инженер по технике безопасности или главный инженер управления. Прораб (мастер, начальник участка), в распоряжение которого поступает рабочий, обязан провести инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

Повторный инструктаж проводится один раз в 3 месяца (в первый рабочий день квартала), а также в тех случаях, когда меняются условия работ, обнаруживаются грубые нарушения правил техники безопасности.

Кроме инструктажа, необходимо не позднее 3 месяцев со дня поступления рабочих на работу обучить их безопасным методам и приемам работ по программе, утвержденной главным инженером организации. После окончания обучения и в дальнейшем ежегодно проводится проверка знаний с выдачей удостоверений. Результаты проверки оформляются протоколом.

Порядок оформления, регистрации и учета несчастных случаев, связанных с производством определяется в соответствии с «Правилами расследования и учета несчастных случаев», утвержденных Правительством РК 3.03.2001. №326.

О каждом несчастном случае пострадавший или очевидец обязан незамедлительно сообщить работодателю или организатору работы.

Работодатель обязан организовать первую медицинскую помощь пострадавшему и его доставку в организацию здравоохранения, а также сохранить до начала расследования обстановку на месте несчастного случая.

Работодатель о несчастном случае на производстве или ином повреждении здоровья работников немедленно сообщает в государственную инспекцию труда уполномоченного государственного органа по труду, представителям работников, страховой организации при наличии соответствующего договора со страховой организацией, правоохранительному органу по месту, где произошел несчастный случай и органам промышленного и ведомственного контроля и надзора.

Расследование несчастного случая проводится комиссией, создаваемой в течение двадцати четырех часов руководителем организации с момента его поступления в составе: - председателя организации или его заместителя; членов – руководителя службы охраны труда организации, представителя уполномоченного органа работников или доверенного лица потерпевшего.

Расследование групповых несчастных случаев, при которых погибло два человека, проводится комиссией, которую возглавляет главный госинспектор труда области, городов Астаны и Алматы. Расследование групповых несчастных случаев, при которых погибло три-пять человек, проводится комиссией, создаваемой уполномоченным государственным органом по труду, а при гибели более пяти человек - Правительством Республики Казахстан.

Каждый несчастный случай, связанный с производством, вызвавший у работника потерю трудоспособности не менее одного дня оформляется актом о несчастном случае по форме Н-1.

6.1.2 Организация условий труда на рабочем месте

Производственная санитария. Влияние тепловых воздействий и вредных веществ на организм человека

Многие производственные процессы сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны (пространство, ограниченное по высоте 2м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непосредственного (временного) пребывания работающих) различного рода загрязнений (пары, газы, твердые и жидкие частицы) и тепловых излучений.

Вредные вещества по характеру воздействия на организм человека подразделяются на:

- токсичные, вызывающие нарушения деятельности всего организма или отдельных органов (свинец, ртуть, бензол, мышьяк и его соединения);
- раздражающие, поражающие поверхность тканей дыхательного тракта и слизистые оболочки (сернистый газ, хлор, окиси азота и др.);
- сенсibiliзирующие, действующие, как аллергены (формальдегид, различные растворители и лаки на основе нитросоединений и др.);
- канцерогенные, вызывающие раковые заболевания (никель и его соединения, окиси хрома, асбест и др.);
- мутагенные, приводящие к изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные вещества и др.), влияющие на репродуктивную детородную функцию (ртуть, свинец, марганец, стирол, радиоактивные вещества и др.).

В качестве примера профессиональных заболеваний можно привести пневмокониозы, развивающиеся при длительном вдыхании пыли. Наиболее тяжелым из них является силикоз, возникающий при воздействии на человека пыли, содержащей двуокись кремния. Это заболевание имеет место в литейном производстве, при пескоструйной обработке и другие.

На характер условий труда большое влияние оказывает микроклимат на рабочем месте, параметрами которого являются температура, относительная влажность и скорость движения воздуха.

Способность человеческого организма поддерживать постоянную температуру (36,6°C) при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы называется терморегуляцией.

Теплоотдача человеческого организма осуществляется в основном тремя путями: конвекцией, излучением, испарением пота.

Факторы воздействия производственной среды подразделяются на опасные и вредные.

Опасный фактор - фактор, воздействие которого может привести к травме работающего.

Вредный производственный фактор – воздействие может привести к заболеванию работающих.

Все опасные и вредные производственные факторы делятся на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещений, определяемый действующими на человека сочетаниями температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового излучения.

Естественная вентиляция: инфильтрация (неорганизованный воздухообмен), аэрация (организованный, рассчитанный предварительно воздухообмен). Преимущество – экономичность, недостаток – вредные вещества нельзя подвергнуть очистке, загрязняется окружающая среда.

Искусственная вентиляция – рассчитывается для удаления избытков тепла, вредных веществ и избытков влаги.

Запыленность и загазованность на производстве. Меры защиты.

Нормирование. По опасности воздействия на человека все вредные вещества делятся на четыре группы: чрезвычайно опасные (пары ртути, свинца, фосген); высоко опасные (пары олова, йода, бензол); умеренно опасные вещества (оксиды серы, пары кислот), малоопасные (соединения аммиака и оксиды углерода)

Пыль на рабочих местах может возникать вследствие процессов дезинтеграции (т.е. разрушения), конденсации (при попадании паров, образующихся в высокотемпературных процессах, в воздух рабочей зоны). Воздействие пыли приводит к трем видам профзаболеваний: а) заболевание легких – пневмокониозы; б) дерматиты - заболевания кожи; в) конъюнктивиты – воспаление роговой оболочки глаза.

Меры профилактики пылевых заболеваний:

- а) борьба с образованием пыли;
- б) устройство пылеуловителей;
- в) биологическая профилактика (ультрафиолетовое облучение);
- г) индивидуальные средства защиты (респиратор, спец одежда, противопылевые очки).

Методы отбора проб для исследования газов:

- а) аспирационный-протягивание газа через твердое или жидкое вещество, поглощающее этот газ;
- б) одномоментный отбор. Берется 3-5 литровая колба в ней создается вакуум, колба плотно закрывается пробкой. На исследуемом месте пробка открывается, воздух её заполняет, отобранный воздух отправляется на анализ.

Методы анализа: экспресс индикаторный метод: химический, физико-химический, спектральный и другие.

Меры борьбы с газами:

- а) герметизация оборудования;
- б) организация системы вентиляции;
- в) средства индивидуальной защиты (противогазы, спецодежда, пасты, мази для рук и лица).

Шум, вибрация, ультразвук. Производственное освещение.

Человеческое ухо способно воспринимать звуки, слышимые в диапазоне частот 16Гц-20кГц. Колебания с частотой ниже 16Гц называют инфразвуками, а выше 20кГц – ультразвуками.

Шум – это совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на слух человека, мешающих его работе и отдыху. Физически звук характеризуется частотой /интенсивностью/ и звуковым давлением P .

Распространение звуковых волн сопровождается переносом колебательной энергии в пространстве. Ее количество, проходящее через площадь 1м^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения звуковой волны, обуславливает интенсивность или силу звука.

Ухо человека чувствительно не к интенсивности звука, а к давлению, оказываемому звуковой волной.

Весь диапазон энергии, воспринимаемой слухом как звук, укладывается при этих условиях в 13–14Б. Для удобства пользуются не белом, а единицей в 10 раз меньшей – децибелом (дБ), которая соответствует минимальному увеличению силы звука, различаемому ухом.

Третьей важной характеристикой звука, определяющей его высоту, является частота колебаний, измеряемая числом полных колебаний, совершенных в течение 1с (Гц). Слышимый диапазон частот условно распределен на октавные полосы, в которых верхняя граничная частота равна удвоенной нижней частоте.

Классификация шумов, воздействующих на человека

По характеру спектра: широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более 1 октавы; тональный шум, в спектре которого имеются выраженные тоны.

По временным характеристикам: непостоянный шум.

Непостоянные шумы подразделяют на колеблющийся во времени и импульсный.

Гигиеническая классификация ультразвука

По способу распространения: контактный и воздушный

По типу источников ультразвуковых колебаний: ручные источники, стационарные источники.

По спектральным характеристикам ультразвуковых колебаний: низкочастотный ультразвук – 16–63кГц (указаны среднегеометрические частоты октавных полос); среднечастотный ультразвук – 125–250кГц; высокочастотный ультразвук – 1,0–31,5МГц.

По режиму генерирования ультразвуковых колебаний: постоянный и импульсный.

По способу излучения ультразвуковых колебаний:

- а) источники ультразвука с магнитострикционным генератором;
- б) источники ультразвука с пьезоэлектрическим генератором.

Нормирование шума производится по ГОСТ 12.1.003-83 - шум, требования безопасности. Для постоянного шума нормируется уровень звукового давления на среднегеометрических частотах.

Акустический расчет предполагает проведение 3 этапов:

- а) определение интенсивности шума на рабочих местах расчетным или инструментальным методом на всех восьми среднегеометрических частотах;
- б) сравнение рассчитанных либо замеренных уровней шума на рабочих местах с нормативными значениями;
- е) если хотя бы на одной из среднегеометрических частот наблюдается превышение уровня шума, то должны быть разработаны меры защиты.

Меры защиты:

- а) уменьшение шума в источнике. Например, для механических шумов – (смазка), для аэродинамических – (системы глушителей), для шумов электромагнитного происхождения - более полная прессовка пакетов;
- б) защита расстоянием, дистанционное управление процессом;
- в) рациональная планировка оборудования и цехов, т.е. наиболее шумные цеха должны располагаться с подветренной стороны и выходить торцами на остальные здания;
- г) использование звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов.

Меры защиты:

- а) уменьшение вибрации в источнике;
- б) использование виброизолирующих (амортизаторы) и вибропоглощающих (установка источника на массивный фундамент) материалов;
- в) использование индивидуальных средств защиты (виброперчатки для защиты от местных вибраций, виброобувь, виброжилеты, вибропрокладки в ручном инструменте).

Ультразвук - колебания частотой свыше 20кГц, приводят к явлению кавитации - разрыв жидкости в организме человека с высоким давлением и температурой. Нормирование по ГОСТ ССБТ 12.1.001-84 (уровень звукового давления на треть октавных полосах).

Меры защиты:

- а) использование звукоизолирующих экранов, например – оргстекло;
- б) индивидуальные средства защиты, чаще всего – резиновые перчатки.

6.1.3 Основные мероприятия по предупреждению несчастных случаев на производстве

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрический ток протекает через тело человека, если между двумя его точками имеется разность потенциалов. Напряжение между двумя

точками цепи тока, которых одновременно касается человек, называется напряжением прикосновения.

Электрический ток, протекающий через тело человека, может оказывать термическое, биологическое и электролитическое воздействие.

Возможны следующие виды поражения электрическим током: ожоги, металлизация кожи, электрические знаки, электроофтальмия, электрические удары, механические повреждения.

Характер поражения электрическим током и его последствия зависят от значения и рода тока, пути его прохождения, длительности воздействия, индивидуальных физиологических особенностей человека и его состояния в момент поражения.

Токи в зависимости от значения по своему воздействию на организм человека делятся на ощутимые, неотпускающие и фибрилляционные.

Ощутимые токи – токи, вызывающие при прохождении через организм ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие переменного тока (50Гц) при значениях от 0,5 до 1,5мА и постоянного тока – от 5 до 7мА. В пределах этих значений наблюдается легкое дрожание пальцев, покалывание, нагревание кожи (при постоянном токе). Такие токи называют пороговыми ощутимыми токами.

Неотпускающие токи вызывают судорожное сокращение мышц руки. Наименьшее значение тока, при котором человек не может самостоятельно оторвать руки от токоведущих частей, называется пороговым неотпускающим током. Для переменного тока это значение лежит в пределах от 10 до 15мА, для постоянного тока – от 50 до 80мА. При дальнейшем увеличении тока начинается поражение сердечно-сосудистой системы. Затрудняется, а затем останавливается дыхание, изменяется работа сердца.

Фибрилляционные токи вызывают фибрилляцию сердца – трепетание или аритмичное сокращение и расслабление сердечной мышцы. В результате фибрилляции кровь из сердца не поступает в жизненно важные органы и в первую очередь нарушается кровоснабжение мозга. Человеческий мозг, лишенный кровоснабжения, живет в течение 5 – 8 минут, а затем погибает, поэтому в данном случае очень важно быстро своевременно оказать первую помощь пострадавшему. Значение фибрилляционных токов колеблются от 80 до 5000мА.

Характер поражения электрическим током в зависимости от его значения и рода приведен в таблице 6.1. Путь прохождения тока оказывает существенное влияние на характер поражения. Наиболее опасный – это путь, проходящий через голову и спинной мозг, сердце, легкие.

Значение тока, проходящего через организм человека, зависит от приложенного напряжения и сопротивления тела. Чем больше напряжение, тем больший ток проходит через человека.

Таблица 6.1. Характер поражения в зависимости от значения и рода электрического тока, проходящего через тело человека

I, мА	При переменном токе 50Гц	При постоянном токе
0,6-1,5	Возникновение ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
5 – 7	Судороги в руках	Возникновение ощущения, нагревания кожи
8–10	Руки трудно, но еще можно оторвать от электродов; сильные боли в кистях и предплечьях	Усиление нагревания
20-25	Руки парализуются, оторвать их от электродов невозможно, дыхание затруднено	Незначительное сокращение мышц
50-80	Остановка дыхания, начало фибрилляции сердца	Сильное нагревание, сокращение мышц рук, затрудненное дыхание
90-100	Остановка дыхания и сердечной деятельности (при длительности воздействия более 3с.)	Остановка дыхания

Сопротивление тела человека непостоянно и зависит от многих факторов – состояния кожи, величины и плотности контакта, приложенного напряжения и времени воздействия тока. Сопротивление тела человека, находящегося под воздействием электрического тока, можно представить в виде эквивалентной схемы, показанной на рисунке 6.1. Сопротивление r_{R1} представляет с собой сопротивление кожного покрова в месте входа тока, например, руки, если человек касается части установки, находящейся под напряжением.

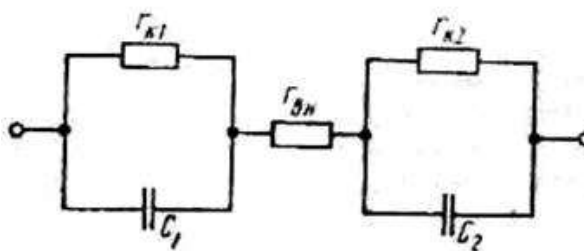


Рисунок 6.1. Эквивалентная схема сопротивления тела человека электрическому току

Обычно при анализе опасности электрических сетей и при расчете принято считать сопротивление тела человека активным и равным 1 кОм.

Характер поражения зависит также от времени действия тока. При длительном воздействии тока увеличивается нагревание кожи, кожа из-за потовыделения увлажняется, сопротивления ее падает и ток, проходящий через тело человека, резко увеличивается.

Характер поражения определяется и индивидуальными физиологическими особенностями человека. Если человек физически здоров, то электропоражение будет менее тяжелым. При заболеваниях сердечно-сосудистой системы, кожи, нервной системы, при алкогольном опьянении электротравма может быть чрезвычайно серьезной даже при небольших воздействующих токах.

Допустимые значения напряжения прикосновения и тока, в зависимости от времени прохождения тока приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2. Нормы допустимых напряжения $U_{пр}$, В и тока I_R , мА, проходящих через тело человека

Установка	Нормируемая величина	Продолжительность воздействия тока, с					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	3,0
Переменного тока При напряжении до 1000 В, частоте 50Гц При частоте 400Гц	$U_{пр}, В$	500	250	100	75	50	36
	$I_k, мА$	500	250	100	75	50	6
	$U_{пр}, В$	—	500	200	140	100	36
	$I_k, мА$	—	500	200	140	100	8
Постоянного тока	$U_{пр}, В$	500	400	250	200	150	100
	$I_k, мА$	500	400	250	200	150	50

Анализ опасности электрических сетей. Ток, протекающий через тело человека, зависит от напряжения электроустановки, схемы включения человека, режима нейтрали, сопротивления и емкости электрической сети относительно земли.

Различают двух и однополюсные прикосновения человека к частям электроустановок, находящихся под напряжением. Двухполюсным прикосновением называется одновременно прикосновения к двум полюсам электроустановки, находящейся под напряжением. Однополюсным прикосновением называется прикосновение к одному полюсу. Если электроустановка является установкой переменного тока, то такие прикосновения называют соответственно двух и однофазными.

Двухполюсное или двухфазное прикосновения является наиболее опасным, так как в этом случае напряжения прикосновения максимально и равно напряжению сети.

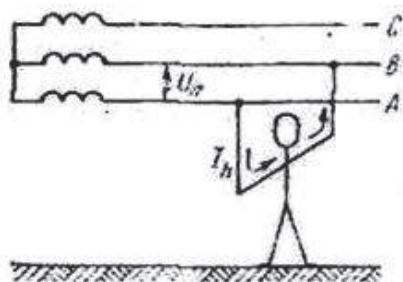


Рисунок 6.2. Двухфазное прикосновение человека к электрической сети

На рисунке 6.2 приведена схема двухфазного включения человека в электрическую сеть. Ток, протекающий через тело человека, при таком включении можно определить с помощью следующего выражения

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h} = \frac{U_{\text{Л}}}{R_h} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}}{R_h} \quad (6.1)$$

В этом выражении I_h - ток, протекающий через человека, А; $U_{\text{пр}}$ - напряжение прикосновения, В; $U_{\text{Л}}$ линейное напряжения для трехфазных сетей переменного тока, В; $U_{\text{ф}}$ фазное напряжение, В; R_h - сопротивление тела человека, Ом.

Схема включения человека и эквивалентная схема замещения при однофазном прикосновении показаны на рисунке 6.3. Для упрощения расчетов емкость проводов относительно земли учитывать не будем.

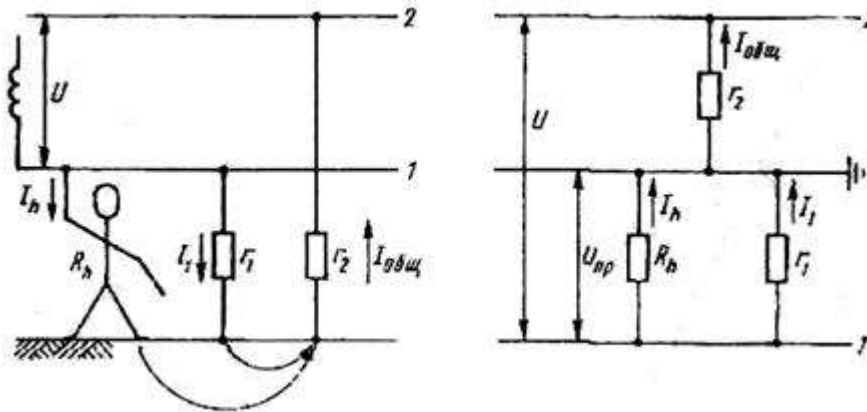


Рисунок 6.3. Однополюсное прикосновение человека к электрической сети

Ток, проходящий через тело человека, можно определить по формуле

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h} \quad (6.2)$$

Используя схему замещения, можно определить напряжение прикосновения, входящее в эту формулу

$$U_{\text{пр}} = \frac{R_h \cdot r_1}{R_h + r_1} \quad (6.3)$$

Общий ток можно определить из схемы замещения

$$I_{\text{общ}} = \frac{U}{r_2 + R_h \cdot r_1 / R_h + r_1} \quad (6.4)$$

Подстановка выражения для общего тока в формулу для напряжения прикосновения дает следующую формулу

$$U_{\text{пр}} = U \cdot \frac{r_1 \cdot R_h}{r_1 r_2 + r_1 \cdot R_h + r_2 R_h} \quad (6.5)$$

С использованием (6.4) формула, определяющая ток, проходящий через тело человека, принимает следующий вид

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h} = U \cdot \frac{r_1 \cdot R_h}{r_1 r_2 + r_1 \cdot R_h + r_2 R_h} \quad (6.6)$$

Если $r_1 = r_2 = r_{из}$ ($r_{из}$ – сопротивление изоляции), то формулы (6.5) и (6.6) примут вид

$$U_{пр} = U \cdot \frac{R_h}{2R_h + r_{из}} \quad (6.7)$$

$$I_h = U \cdot \frac{1}{2R_h + r_{из}} \quad (6.8)$$

Анализируя можно сделать вывод, что с увеличением сопротивления изоляции сети ток, протекающий через человека, уменьшается.

При аварийном режиме, когда одна фаза или полюс замкнуты на землю, эквивалентную схему следует заменить на схему, показанную на рисунке 6.4

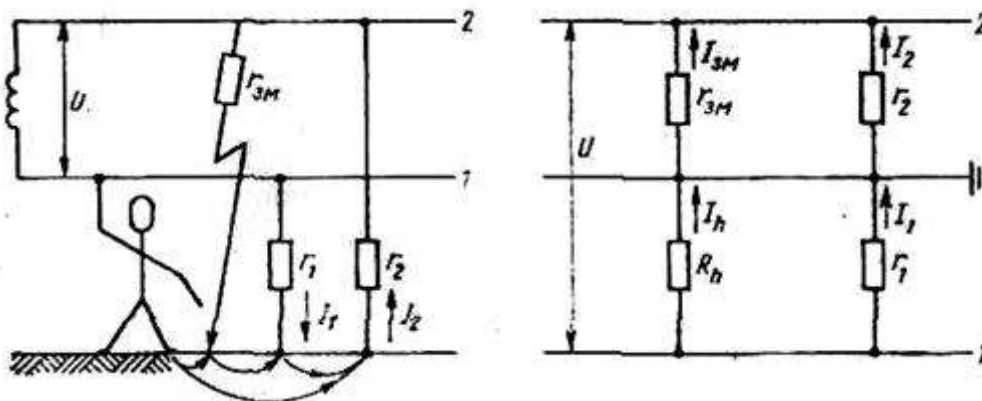


Рисунок 6.4. Однофазное прикосновение человека к электрической сети в аварийном режиме

Можно сделать вывод, что при аварийном режиме напряжения прикосновения равно напряжению сети и ток, протекающий через тело человека от воздействия тока.

Для питания устройств связи в большинстве случаев используют трехфазные сети с изолированной и заземленной нейтралью. Ток, проходящий через тело человека, при прикосновении к одной из фаз в сети с изолированной нейтралью зависит от сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли (рисунок 6.5).

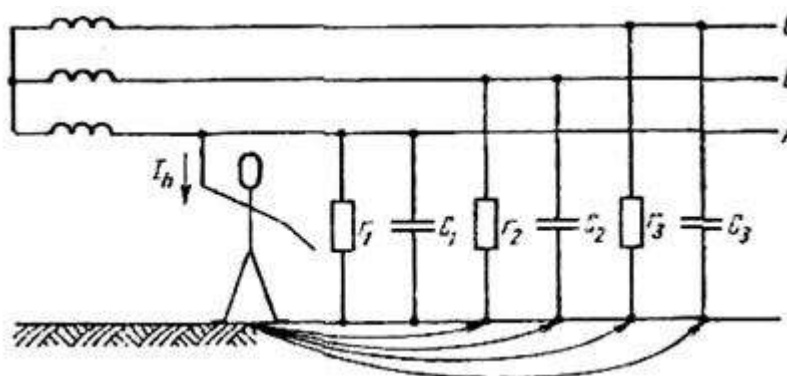


Рисунок 6.5. Однофазное прикосновение к трехфазной сети с изолированной нейтралью

Защитные меры в электроустановках

Анализ травматизма показывает, что более половины электротравм происходит при прикосновении к токоведущим частям оборудования.

Токоведущей частью электроустановки называется та, по которой при рабочем режиме проходит электрический ток. Примерами токоведущих частей могут служить провода, контакты элементов аппаратуры и т.п. Для защиты от прикосновения к токоведущим частям используется ограждения, блокировки, изоляция. Токоведущие части располагают на недоступной высоте.

Ограждения выполняются в виде кожухов, шкафов, стоек, колпаков, накладок или ширм.

Они могут являться частью конструкции устройства или быть переносными. Ограждения могут быть сплошными и сетчатыми выполняются таким образом, чтобы их можно было снять и закрыть только с помощью инструментов или специальных приспособлений (рисунок 6.1). Сетчатые ограждения могут иметь двери, закрывающиеся на замок. Блокировки применяются при работе с повышенной опасностью; они предотвращают ошибочные действия персонала и закрывают доступ к токоведущим частям, если последние находятся под напряжением.

Электроблокировка отключает питание электроустановки, разрывая электрическую цепь с помощью блокконтактов при открывании дверей ограждений, шкафов, снятии кожухов.

Изоляция служит не только для защиты подводящих проводов, кабелей от механических повреждений, но и электрического тока. Оболочка из резины, пластмассы, хлопчатобумажной пряжи надежно защищает токоведущие части от случайного прикосновения. В настоящее время в зависимости от условий эксплуатации применяют рабочую, усиленную и двойную изоляции.

Чтобы предотвратить опасность поражения людей электрическим током, необходимо проводить испытания и контроль изоляции.

Измерения проводят на участке цепи между двумя предохранителями или автоматами или между предохранителем и токоприемником. Мегаомметр должен быть рассчитан на номинальное напряжение электроустановки. В электрических сетях напряжением до 1000В сопротивление рабочей изоляции каждого участка цепи должно быть не менее 0,5МОм. Сопротивление должно контролироваться не реже 1 раза в 3 года.

В тех случаях, когда токоведущие части оградить или изолировать невозможно или нецелесообразно (например, провода воздушных линий электропередач и линий связи), токоведущие части располагают на недоступной высоте. Провода электрических линий напряжением до 1000В вне помещения подвешивают на высоте не менее 6м. В производственных помещениях неогражденные токоведущие части (троллейные, контактные провода) располагают на высоте не менее 3,5м от пола.

Для того чтобы предупредить людей о грозящей опасности поражения электрическим током в местах, где производят работы или возможно нахождение людей, вывешиваются предупредительные плакаты – предостерегающие: «Высокое напряжение! Опасно для жизни», «Стой! Высокое напряжение»; запрещающие: «Не включать - работают люди»; разрешающие: «Работать здесь»; напоминающие: «Заземлено» и другие.

6.2. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Переменный ток получил гораздо большее распространение в промышленности и в быту, чем постоянный, так как упрощается конструкция электродвигателей, а синхронные генераторы могут быть выполнены на значительно большие мощности и более высокие напряжения, чем генераторы постоянного тока. Переменный ток позволяет легко изменять величину напряжения с помощью трансформаторов, что необходимо при передаче электроэнергии на большие расстояния.

6.2.1 Цепи переменного тока

При передаче и распределении электрической энергии возникает необходимость в применении различных напряжений: высокого – для передачи энергии на большие расстояния и низкого – для питания приемников энергии. Такое преобразование напряжений легко осуществляется лишь при переменном токе.

Для этого используют электромагнитные аппараты - трансформаторы, имеющие простое устройство и высокий КПД. Поэтому современная энергетика построена на использовании переменного тока, который получают на электрических станциях с помощью синхронных генераторов.

Наиболее распространен синусоидальный ток $i = I_m \sin \omega t$

Электрический ток, изменяющийся с течением времени, называют *переменным током*.

Если его мгновенные значения и направления через равные промежутки времени (периодически) повторяются, то его называют *периодически повторяющимся*.

Электрические цепи периодического переменного тока классифицируются в зависимости от формы кривой тока и его частоты, характера параметров, сложности электрических схем замещения, назначения.

Электрические цепи переменного тока классифицируются:

- однофазные;
- многофазные;
- линейные;
- нелинейные;
- простые;
- сложные.

Синусоидальный переменный ток получил наиболее широкое применение в электроэнергетике. Генераторы всех электростанций мира

генерируют электрический ток синусоидальной формы, без скачков и резких перепадов, что благоприятно сказывается на работе электрических машин и аппаратов.

Однофазной электрической цепью синусоидального тока называют цепь, содержащую один или несколько источников электрической энергии переменного тока, имеющих одинаковую частоту и начальную фазу.

Интервал времени, через который повторяются значения электрической величины, называют *периодом* (T).

Величину, обратную периоду называют *частотой переменного тока* f . Частота переменного тока измеряется в Герцах (Гц).

Величину $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ называют угловой частотой и выражают в рад, с

Угол ψ_1 называют начальной фазой переменного тока. Начальная фаза определяет мгновенное значение тока в момент времени $t=0$

Величину $\omega t + \psi_1$ называют *фазой*.

Переменный ток во всех участках электрической цепи с резистором R , индуктивной катушкой L и конденсатором C может существовать длительно и как ток проводимости, и как ток смещения.

Все элементы электрической цепи обладают одновременно индуктивностью L , емкостью C и электрическим сопротивлением R .

В элементах L и C энергия магнитного и электрических полей периодически с частотой тока изменяется. Поэтому элементы L и C электрической цепи переменного тока называют *реактивными*, а их способность противодействовать переменному току называют *реактивным сопротивлением элементов*.

Для элемента L это сопротивление называют *индуктивным* и обозначают X_L , для элемента C – *емкостным сопротивлением* и обозначают X_C

Активное сопротивление. Электрическая цепь переменного тока характеризуется тремя параметрами: активным сопротивлением; индуктивностью; емкостью.

Они влияют на величину и начальную фазу переменного тока, возникающего в цепи при переменном напряжении. В элементах цепи, имеющих сопротивление, электрическая энергия преобразуется в тепло.

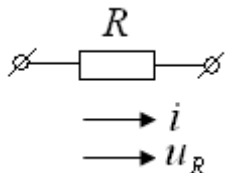
В элементах же цепи с индуктивностью и емкостью энергия в виде тепла не выделяется, а периодически накапливается в магнитном и электрических полях, а затем возвращается к источнику электроэнергии. Такие элементы цепи называют *реактивными*. Влияние этих элементов на величину переменного тока учитывается *реактивными сопротивлениями*.

Обычно цепь имеет три параметра r , L и C , но некоторым из них в ряде случаев можно пренебречь. Например, лампы накаливания, резисторы, нагревательные приборы обычно характеризуются только активным сопротивлением, ненагруженные трансформаторы – индуктивностью, а кабельные линии без нагрузки – емкостью.

Расчет простейших цепей однофазного синусоидального тока. Расчет линейных электрических схем гармонического тока в установившемся режиме аналогичен расчету электрических цепей постоянного тока, только все параметры записывают в комплексной (символической) форме.

Представим напряжение на активном сопротивлении, индуктивности и емкости относительно мгновенных и комплексных значений.

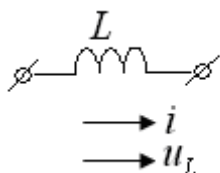
1.



$$u_R = iR$$

$$\dot{U} = \dot{I} R.$$

2.

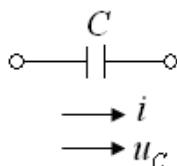


$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

$$\dot{U} = j\omega L \dot{I},$$

где $jX_L = j\omega L$ - индуктивное сопротивление в комплексной форме.

3.



$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$\dot{U}_C = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I},$$

где $-jX_C = -j \frac{1}{\omega C}$ - емкостное сопротивление в комплексной форме.

Рассмотрим схему при последовательном соединении активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.

Рассчитаем ток, построим векторную диаграмму.

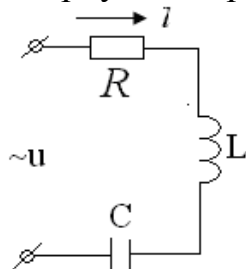


Рисунок 6.6. Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

Комплексное сопротивление контура

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

Комплексное значение тока. $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} A$

Комплексы падений напряжений на участках:

$$\dot{U}_R = R\dot{I}$$

$$\dot{U}_L = jX_L\dot{I}$$

$$\dot{U}_C = -jX_C\dot{I}$$

Построим векторную диаграмму (рисунок 6.7), для этого нужно выбрать масштаб для тока и напряжений: m_I, m_U

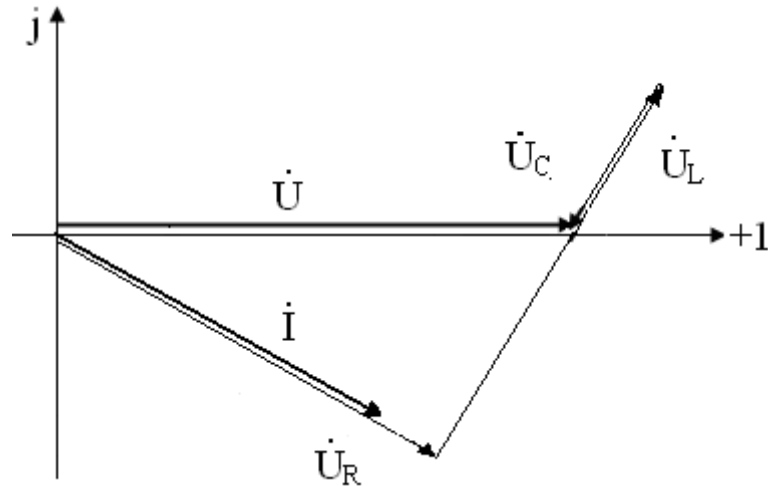


Рисунок 6.7. Векторная диаграмма

Рассмотрим *смешанное соединение* приемников (рисунок 6.8).
Определим токи ветвей. Построим векторную диаграмму.

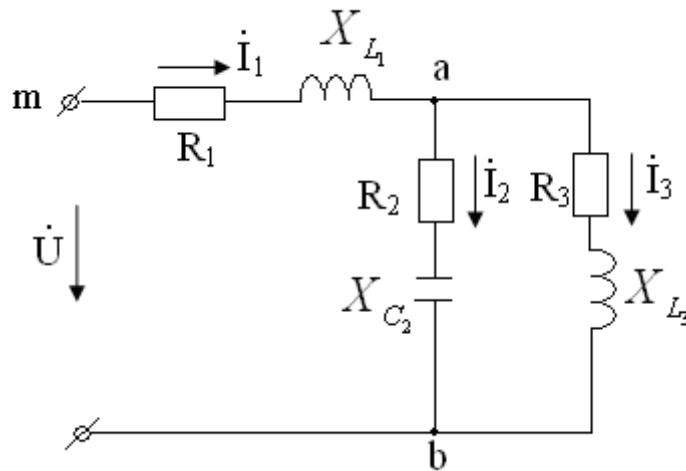


Рисунок 6.8. Смешанное соединение приемников

Комплексные сопротивления ветвей:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_{L_1}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 - jX_{C_2}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + jX_{L_3}$$

Полное сопротивление цепи:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}$$

Ток в неразветвленной части цепи.

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}}$$

Законы Кирхгофа в дифференциальной форме записываются для мгновенных значений переменных токов и напряжений. Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма мгновенных значений токов в узле схемы равна нулю:

$$\sum_{K=1}^n i_K = 0.$$

Со знаком «+» записываются токи i_K , положительные направления которых направлены к рассматриваемому узлу, со знаком «-» записываются токи i_K , положительные направления которых направлены от данного узла (или наоборот).

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма мгновенных ЭДС всех источников напряжения в любом замкнутом контуре схемы равна алгебраической сумме мгновенных напряжений на всех остальных элементах того же контура:

$$\sum_{K=1}^n (R_K i_K + L_K \frac{di_K}{dt} + \frac{1}{C_K} \int i_K dt) = \sum_{K=1}^n e_K.$$

Второй закон Кирхгофа записывается для независимых контуров схемы, независимые контуры выбираются, так же как и для цепей постоянного тока. Со знаком «+» записываются мгновенные напряжения, если положительные направления токов i_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае напряжения записываются со знаком «-». Мгновенные ЭДС e_K записываются со знаком «+», если положительные направления e_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае e_K записываются со знаком «-».

Законы Кирхгофа в символической (комплексной) форме записываются для комплексных амплитуд или комплексных действующих значений токов, напряжений, ЭДС. Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма комплексных токов в узле схемы равна нулю: $\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0.$

Со знаком «+» записываются токи \dot{I}_K , направленные к рассматриваемому узлу, со знаком «-» записываются токи \dot{I}_K , направленные от данного узла (или наоборот).

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма комплексных ЭДС всех источников напряжения в любом замкнутом контуре схемы равна

алгебраической сумме комплексных напряжений на всех остальных элементах того же контура:

$$\sum_{K=1}^n (R_K \dot{I}_K + j\omega L_K \dot{I}_K - j\frac{1}{\omega C_K} \dot{I}_K) = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K, \text{ или } \sum_{K=1}^n \underline{Z}_K \dot{I}_K = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K.$$

Здесь $\underline{Z}_K = R_K + j(x_{L_K} - x_{C_K})$, $x_{L_K} = \omega L_K$, $x_{C_K} = 1/\omega C_K$;

$\dot{U}_{R_K} = R_K \dot{I}_K$ – комплексное напряжение на активном сопротивлении;

$\dot{U}_{L_K} = j\omega L_K \dot{I}_K = jx_{L_K} \dot{I}_K$ – комплексное напряжение на индуктивности;

$\dot{U}_{C_K} = -j1/\omega C_K \dot{I}_K = -jx_{C_K} \dot{I}_K$ – комплексное напряжение на емкости.

Напряжения $\dot{U}_{R_K}, \dot{U}_{L_K}, \dot{U}_{C_K}$ записываются со знаком «+», если положительные направления токов \dot{I}_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае напряжения записываются со знаком «-». ЭДС \dot{E}_K записываются со знаком «+», если положительные направления \dot{E}_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае \dot{E}_K записываются со знаком «-».

Уравнения, выражающие законы Кирхгофа в комплексной форме для цепей синусоидального тока: $\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0$, $\sum_{K=1}^n \underline{Z}_K \dot{I}_K = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K$, аналогичны уравнениям, выражающим законы Кирхгофа для цепей постоянного тока:

$$\sum_{K=1}^n I_K = 0, \quad \sum_{K=1}^n R_K I_K = \sum_{K=1}^n E_K.$$

Следовательно, расчет цепей синусоидального тока комплексным методом полностью аналогичен расчету цепей постоянного тока. Все методы расчета цепей постоянного тока (МКТ, МУП, МЭГ и т.п.) применяют для расчета цепей синусоидального тока, только ЭДС, напряжения, токи и сопротивления входят в уравнения в виде комплексных величин: $\dot{E}_K, \dot{U}_K, \dot{I}_K, \underline{Z}_K$.

6.2.2 Трехфазные цепи

Трехфазная цепь является совокупностью трех электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые относительно друг друга по фазе на 120° , создаваемые общим источником. Участок **трехфазной** системы, по которому протекает одинаковый ток, называется фазой.

Трехфазная цепь состоит из трехфазного генератора, соединительных проводов и приемников или нагрузки, которые могут быть однофазными или трехфазными.

Трехфазный генератор представляет собой синхронную машину. На статоре генератора размещена обмотка, состоящая из трех частей или фаз,

пространственно смещенных относительно друг друга на 120° . В фазах генератора индуцируется симметричная трехфазная система ЭДС, в которой электродвижущие силы одинаковы по амплитуде и различаются по фазе на 120° . Запишем мгновенные значения и комплексы действующих значений ЭДС.

Сумма электродвижущих сил симметричной трехфазной системы в любой момент времени равна нулю.

На схемах трехфазных цепей начала фаз обозначают первыми буквами латинского алфавита (A, B, C), а концы - последними буквами (X, Y, Z). Направления ЭДС указывают от конца фазы обмотки генератора к ее началу.

Каждая фаза нагрузки соединяется с фазой генератора двумя проводами: прямым и обратным. Получается несвязанная трехфазная система, в которой имеется шесть соединительных проводов. Чтобы уменьшить количество соединительных проводов, используют трехфазные цепи, соединенные звездой или треугольником.

Если концы всех фаз генератора соединить в общий узел, а начала фаз соединить с нагрузкой, образующей трехлучевую звезду сопротивлений, получится трехфазная цепь, соединенная звездой. При этом три обратных провода сливаются в один, называемый нулевым или нейтральным. Трехфазная цепь, соединенная звездой, изображена на рисунке 6.9.

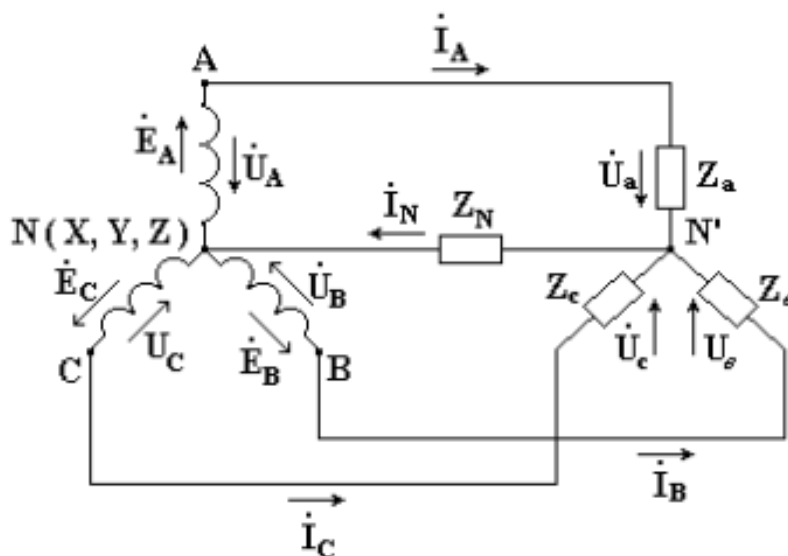


Рисунок 6.9. Трехфазная цепь, соединенная звездой

Провода, идущие от источника к нагрузке называют линейными проводами, провод, соединяющий нейтральные точки источника N_n приемника N' называют нейтральным (нулевым) проводом.

Напряжения между началами фаз или между линейными проводами называют линейными напряжениями. Напряжения между началом и концом фазы или между линейными и нейтральными проводами называются фазными напряжениями.

Токи в фазах приемника или источника называют фазными токами, токи в линейных проводах - линейными токами. Так как линейные провода

соединены последовательно с фазами источника и приемника, линейные токи при соединении звездой являются одновременно фазными токами.

6.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Физические принципы электромеханического преобразования энергии. Машины, использующие явления электромагнитной индукции и предназначенные для преобразования электрической энергии в механическую или наоборот, называются электрическими.

По назначению электрические машины подразделяются на следующие виды:

- электрические генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую. Генераторы устанавливаются на электрических станциях, где приводятся во вращение с помощью паровых и гидравлических турбин. Кроме того, они широко применяются в различных транспортных устройствах: на автомобилях, самолетах, тепловозах, кораблях, передвижных электростанциях и др., где приводятся во вращение главным образом от двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. В ряде случаев генераторы используются в качестве источников питания в установках связи, устройствах автоматики, измерительной техники и пр.;

- электрические двигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую. Электродвигатели приводят во вращение самые различные машины, механизмы и устройства, применяемые в промышленности, сельском хозяйстве, связи, на транспорте, в военном деле и быту. В современных системах автоматического управления они используются в качестве исполнительных, регулирующих и программирующих органов;

- электромашинные преобразователи, преобразующие переменный ток в постоянный и, наоборот, изменяющие величину напряжения переменного и постоянного тока, частоту, число фаз и др. Преобразователи широко используются в системе передачи и распределения электрической энергии, в промышленности, авиации, на транспорте и в военном деле;

- электромеханические преобразователи сигналов, генерирующие, преобразующие и усиливающие различные сигналы. Эти преобразователи, выполняемые обычно в виде электрических микромашин, широко используются в системах автоматического регулирования, а также в измерительных и счетно-решающих устройствах в качестве различных датчиков, приборов для функциональных преобразований, дифференцирующих и интегрирующих элементов, сравнивающих и регулирующих органов и др.

По характеру выполнения функций электрические микромашины подразделяются на следующие основные группы:

- исполнительные двигатели, преобразующие подводимый к ним электрический сигнал в механическое перемещение вала, т. е. обрабатывающие определенные команды;

- тахогенераторы, преобразующие механическое вращение в электрический сигнал - напряжение, пропорциональное скорости вращения;

- поворотные трансформаторы, дающие на выходе напряжение, пропорциональное той или другой функции угла поворота ротора, например, синусу или косинусу этого угла или же самому углу;

- машины синхронной связи, осуществляющие синхронный и синфазный поворот или вращение двух механически не связанных между собой осей;

- микродвигатели общего применения, служащие для привода различных маломощных механизмов: самопишущих приборов, вентиляторов, магнитофонов, насосов и др.

Электрические машины обладают свойством обратимости. Вращающиеся электрические машины могут работать как в генераторном, так и в двигательном режимах и переходить из одного режима в другой; каждый преобразователь может изменять направление преобразуемой им энергии. Однако выпускаемые электромашиностроительными заводами машины обычно предназначаются для какого-либо одного режима работы, например генераторного или двигательного. При этом оказывается возможным наилучшим образом приспособить электрическую машину к требуемым условиям работы, добиться наиболее рационального использования материалов, уменьшить ее вес, габариты и повысить к. п. д. В ряде случаев, однако, необходимо предусматривать работу электрических машин как в двигательном, так и в генераторном режимах. Такие условия имеют место, например, в электрических приводах, где генераторный режим используется в целях торможения.

Электрические машины широко применяются во многих отраслях промышленности. Они осуществляют преобразование энергии, а также различных электрических и других сигналов. Достоинствами их являются высокий к.п.д., достигающий в мощных электрических машинах 95-99%, сравнительно малый вес и габаритные размеры, а также хорошее использование материалов.

Электрические машины могут быть выполнены на различные мощности (от долей ватта до сотен мегаватт) и скорости вращения, на различный род тока, а также различные величины напряжения и частоты. Они характеризуются высокой надежностью и долговечностью, простотой управления и обслуживания, удобством подвода и отвода энергии, а также небольшой стоимостью при массовом и крупносерийном производстве.

По роду тока электрические машины делятся на машины переменного и постоянного тока.

Машины переменного тока в зависимости от особенностей своей электромагнитной системы подразделяются на асинхронные, синхронные и коллекторные. К ним относят также трансформаторы - статические электромагнитные аппараты, у которых процесс преобразования энергии во многом подобен вращающимся электрическим машинам.

Трансформаторы широко применяются для преобразования напряжения в системах передачи и распределения электрической энергии, в выпрямительных установках, а также в устройствах автоматики, связи,

радиоаппаратуре, вычислительной технике, для измерений и функциональных преобразований (поворотные трансформаторы) и др.

Асинхронные машины используются главным образом в качестве электрических двигателей трехфазного тока. Они широко применяются в различных отраслях техники благодаря простоте устройства и высокой надежности. В системах автоматического регулирования широко используются одно- и двухфазные асинхронные двигатели, асинхронные тахогенераторы, а также сельсины, осуществляющие синхронный поворот или вращение нескольких, не связанных друг с другом механически осей.

Синхронные машины применяются в качестве генераторов переменного тока и электрических двигателей. В устройствах автоматики широко используются различные типы синхронных машин малой мощности (реактивные, с постоянными магнитами, гистерезисные, шаговые, индукторные и пр.).

Коллекторные машины переменного тока применяются сравнительно редко и главным образом в качестве двигателей. Они имеют сложную конструкцию и требуют тщательного ухода. В устройствах автоматики, а также различного рода электробытовых приборах широко используются универсальные коллекторные двигатели, работающие как на постоянном, так и на переменном токе.

Машины постоянного тока используются в качестве генераторов, двигателей, электромашинных усилителей, преобразователей скорости вращения в электрические сигналы (тахогенераторов) и преобразователей напряжения. В последние годы в связи с развитием управляемых полупроводниковых преобразователей все более широко применяются электроприводы с двигателями постоянного тока.

Вращающиеся электромашинные преобразователи, выполненные в виде одной или двух отдельных электрических машин (двигателя и генератора), механически связанных друг с другом, широко используются в системах электрического привода для питания устройств связи, различных радиотехнических установок и др. В последнее время они вытесняются статическими полупроводниковыми преобразователями, которые обладают рядом преимуществ перед вращающимися машинами.

По мощности электрические машины условно подразделяются на следующие группы:

- микромашины, имеющие мощность от долей ватта до 500Вт. Эти машины работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной (400-500Гц) частоты;
- машины малой мощности - от 0,5 до 10кВт. Они работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной или повышенной частоты;
- машины средней мощности – от 10 до нескольких сотен киловатт;
- машины большой мощности – свыше нескольких сотен киловатт.

Машины большой и средней мощности обычно предназначаются для работы на постоянном или переменном токе нормальной частоты. Кроме

некоторых специальных случаев (авиация, морской флот и др.), где иногда используются довольно мощные машины повышенной частоты.

В зависимости от скорости вращения машины условно подразделяются на:

- тихоходные со скоростями вращения до 300об/мин;
- средней быстроходности – 300-1500об/мин;
- быстроходные – 1500-6000об/мин;
- сверхбыстроходные – свыше 6000об/мин.

Микромашины строятся для скоростей вращения от нескольких до 30000об/мин; машины большой и средней мощности – обычно до 3000об/мин.

В большинстве электрических машин переменного тока статор и ротор выполняют из изолированных друг от друга листов электротехнической стали, собранных в общий пакет. Пакет ротора удерживается в сжатом состоянии двумя нажимными шайбами и под прессом насаживается на вал. Пакет статора также скрепляется двумя нажимными шайбами и запрессовывается в корпус машины. Для предотвращения осевого сдвига и углового перемещения пакет статора укрепляется в корпусе шпонками, стопорными шпильками и др.

Электрические машины при всем их разнообразии подразделяются на две группы:

- а) генераторы - электрические машины, с помощью которых вырабатывается электрическая энергия;
- б) двигатели - электрические машины, с помощью которых электрическая энергия преобразуется в механическую.

Принцип действия электрического генератора основан на законе электромагнитной индукции, который формулируется так: «При всяком изменении магнитного потока, пронизывающего проводящий контур, в этом контуре наводится электродвижущая сила (ЭДС)». Использование этой ЭДС позволяет преобразовывать механическую энергию в электрическую.

Если магнитный поток пересекает проводник, по которому течет электрический ток, то на этот проводник будет действовать механическая сила, это позволяет преобразовывать электрическую энергию в механическую. Электрическая машина, работающая на этом принципе, является двигателем.

По виду потребляемой или вырабатываемой электрической энергии электрические машины подразделяются на машины постоянного и переменного тока.

6.3.1 Трансформаторы

Электрический трансформатор – это устройство, предназначенное для изменения величины напряжения в сети переменного тока. Принцип действия трансформаторов основан на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока, в обмотках генерируется магнитное поле, которое вызывает ЭДМ во вторичных

обмотках. Данная ЭДС пропорциональна числу витков в первичных и вторичных обмотках. Отношение электродвижущей силы в первичной обмотке/вторичной называется коэффициентом трансформации.

Основными элементами конструкции трансформатора являются первичные и вторичные обмотки и ферромагнитный магнитопровод (обычно замкнутого типа). Обмотки расположены на магнитопроводе и индуктивно связаны друг с другом. Использование магнитопровода позволяет аккумулировать большую часть магнитного поля внутри трансформатора, что повышает КПД устройства. Магнитопровод обычно состоит из набора металлических пластин, покрытых изоляцией, для предотвращения возникновения «паразитных» токов внутри магнитопровода.

Зачастую часть вторичной обмотки служит часть первичной и наоборот. Данный тип трансформаторов называют автотрансформаторами. В этом случае концы первичных обмоток подключаются к сети переменного напряжения, а концы вторичной присоединяются к потребителям электроэнергии.

Основная классификация трансформаторов.

- По назначению: измерительные трансформаторы тока, напряжения, защитные, лабораторные, промежуточные.
- По способу установки: наружные, внутренние, шинные, опорные, стационарные, переносные.
- По числу ступеней: одноступенчатые, многоступенчатые (каскадные).
- По номинальному напряжению: низковольтные, высоковольтные.
- По типу изоляции обмоток: с сухой изоляцией, компаундной, бумажно-масляной.

Основные типы трансформаторов

Силовые трансформаторы - наиболее распространенный тип электротрансформаторов. Они предназначены для изменения энергии переменного тока в электросетях энергосистем, в сетях освещения или питания электрооборудования. Применяются для создания комплектных трансформаторных подстанций.

Классифицируются по количеству фаз и номинальному напряжению.

Наиболее известные низковольтные однофазные и трехфазные трансформаторы серии ТП и ОСМ.

Среди высоковольтных трансформаторов, наиболее используемые в данной момент в энергетике, трансформаторы ТМГ-с масляным охлаждением в герметичном баке.. Преимуществами данной серии является высокий КПД (до 99%), высокие показатели защиты от перегрева, высокие эксплуатационные характеристики, и минимальное обслуживание во время использования.

Помимо силовых, существуют трансформаторы различных типов и назначения: для измерения больших напряжений и токов (измерительные трансформаторы), для преобразования напряжения синусоидальной формы в импульсное (пик-трансформаторы), для преобразования импульсов тока и напряжения (импульсные трансформаторы), для выделения переменной

составляющей тока, для разделения электрических цепей на гальванически не связанные между собой части, для их согласования и т.д.

Трансформаторы, получающее питание от источника переменного напряжения – с целью изменения уровня питающего напряжения. Основная сфера использования: в распределительных электросетях в КТП комплектных трансформаторных устройствах и измерительном оборудовании. Трансформаторы позволяют изолировать измеряющие устройства и логические цепи от высокого напряжения.

В основе работы трансформаторов напряжения лежит явление электромагнитной индукции, появление электрического тока в проводнике под действием переменного магнитного поля. Изменяющийся электрический ток в первичной обмотке создает переменное магнитное поле, создающее ЭДС во вторичной катушке.

Основными элементами конструкции трансформаторов является магнитопровод, катушки обмотки элементы защиты и охлаждения.

- Магнитопровод – чаще всего набор пластин из электротехнической стали обладающей ферромагнитными свойствами для аккумуляции магнитного поля.
- Обмотки – совокупность витков для аккумуляции наведенной ЭДС. Виток состоит из отдельной жилы изолированной друг от друга чаще всего квадратной формы (в силовых трансформаторах)

Типы и характеристики трансформаторов напряжения:

- По количеству фаз – однофазные или трехфазные напряжения
- По номинальному напряжению:
 - до 0,66кВ - низковольтные
 - от 0,66 до 35кВ высоковольтные
- По способу охлаждения обмоток:

Сухие трансформаторы - охлаждение в процессе работы происходит естественным способом с помощью воздуха.

Масляные трансформаторы - обмотки трансформатора расположены в масле в чугунном корпусе. Подразделяются на два вида

В герметично закрытом корпусе с расширительным баком – трансформаторы ТМГ

В незакрытом корпусе заполненном маслом - трансформаторы ТМ.

По функционалу:

Силовые трансформаторы. Для изменения уровня напряжения в цепях питания и распределительных устройствах в электросетях

Измерительные трансформаторы. Для пропорционального изменения напряжения без сдвига фаз с последующей передачей сигнала от вторичной катушки измерительным приборам

По защите от механического повреждения (сухие)

- В корпусе – в защитной металлическом или чугунном корпусе
- Бескорпусные
- По схеме соединений обмоток трансформатора.

- Соединение звездой – все обмотки подключаются в одной точке (нейтральной) – преимущественно используется при работе с высокими напряжениями. Линейный ток в обмотке равен фазному. Условное обозначение У
- Соединение треугольником – концы обмоток соединяются, последовательно образуя треугольник. При таком способе соединения линейный ток обмоток равен корень из 3 от фазного тока. Условное обозначение Д.
- Возможно исполнение трансформаторов, когда одна из обмоток соединена звездой, а другая треугольником.
- Измерительные трансформаторы – электротехнические устройства, предназначенные для изменения уровня напряжения с высокой точностью трансформации.

Классифицируются по назначению, изменению уровня напряжения или тока.

Также делятся на низковольтные трансформаторы тока типа Т, 066 ТШ-0,66, ТТИ-066 и Высоковольтные трансформаторы напряжения, такие как НАМИТ и ЗНОЛ.

Вторичные обмотки данных устройств соединены с измерительными устройствами (амперметрами, счетчиками электроэнергии, вольтметрами, фазометрами, реле тока и т.д.) Применение данного оборудования позволяет изолировать измеряющее оборудование от больших токов и напряжений измеряемой цепи, и создает возможность стандартизации измеряющего оборудования.

Измерительные трансформаторы тока предназначены для изменения уровня электрического тока согласно коэффициенту трансформации в пределах класса точности и передачи сигнала измеряющему оборудованию. Обычно применяется совместно со трехфазными счетчиками электрической энергии трансформаторного подключения и щитовыми амперметрами.

Основные характеристики счетчиков электроэнергии

1. Ток первичной обмотки
2. Ток вторичной обмотки.
3. Тип присоединения силовому кабелю (шине)
4. Номинальная мощность.

Автотрансформаторы – устройства, обмотки которого соединены гальванически между собой. Благодаря малым коэффициентам трансформации, автотрансформаторы имеют меньшие габариты и стоимость по сравнению с многообмоточными. Из недостатков необходимо отметить невозможность гальванической изоляции цепей.

Основные сферы использования автотрансформаторов – изменение напряжения в пусковых устройствах крупных электрических машин переменного тока, в системах релейной защиты при плавном регулировании напряжения. В случае реализации в конструкции автотрансформатора изменения количества рабочих витков вторичной обмотки, появляется возможность сохранять уровень вторичного напряжения при изменении

первичного напряжения. Наибольшее распространение данный механизм используется в стабилизаторах напряжения.

6.3.2 Асинхронные машины

Асинхронная машина – электрическая машина переменного тока, частота вращения ротора которой не эквивалентна частоте вращения электромагнитного поля, создаваемого током медной обмотки статора. Асинхронные машины – это довольно распространённые электрические машины. Асинхронный означает не одновременный, что имеется ввиду, что частота вращения магнитного поля статора всегда больше частоты вращения ротора у асинхронных двигателей. Работают асинхронные двигатели от сети переменного тока.

Статор обладает цилиндрической формой, собранный из листов стального материала. В пазах сердечника статора уложены обмотки статора, выполненных из обмоточного провода. Оси этих обмоток находятся в пространстве и сдвинуты на угол 120° относительно друг друга. Концы таких обмоток соединяются треугольником или звездой в зависимости от подаваемого напряжения.

Статор асинхронного электродвигателя имеет невыраженные полюсы, т.е. поверхность статора является абсолютно гладкой изнутри. Для того, чтобы сбавить потери на вихревых токах, сердечник статора собирают из тонких штампованных листов стали. Ранее собранный сердечник статора нужно закрепить в корпусе из стали. В пазах статора укладывают обмотку из проволоки из меди. Начала и концы обмоток выводятся на специальный изоляционный щиток, из-за того, что фазовые обмотки статора электродвигателя соединяются «звездой» или «треугольником». Такое устройство статора является очень удобным, так как его обмотки можно включать на различные стандартные напряжения. Когда осуществляется подача напряжения на обмотку статора, то в каждой фазе создаётся магнитный поток, изменяемый частотой подаваемого напряжения. Эти потоки сдвинуты на 120° относительно друг друга, как во времени, так и в пространстве. Результирующий поток будет при этом вращающимся.

Своим вращением поток создаёт в проводниках ротора ЭДС. Из-за того, что обмотка ротора входит в замкнутую электрическую цепь, в ней возникает ток, взаимодействующий с магнитным потоком статора, тем самым создавая пусковой момент двигателя, который стремится направить ротор в сторону вращения магнитного поля статора. Ротор начнет вращаться, когда пусковой момент двигателя достигнет значения тормозного момента ротора, а затем превысит его. При этом возникает так называемое скольжение.

Скольжение является крайне важной величиной. При начальном моменте времени скольжение равно единичному значению, но относительная разность частот становится меньше по мере возрастания частоты вращения ротора, из-за чего в проводниках ротора уменьшаются ЭДС и ток, которые влекут за собой уменьшение вращающего момента. Во время режима

холостого хода, т.е. когда двигатель совершает работу без нагрузки на валу, скольжение является минимальным значением, но оно возрастает до величины критического скольжения, путем увеличением статического момента. При превышении данного значения, может произойти опрокидывание двигателя, что, впоследствии, приведет к его нестабильной работе. Значение скольжения лежит в диапазоне от 0 до 1, для двигателей общего назначения в номинальном режиме оно составляет 1-8%.

При наступлении равновесия между электромагнитным моментом, который вызывает вращение ротора, и тормозным моментом, который создает нагрузку на валу двигателя, процессы изменения величин прекратятся.

Из этого следует, что принцип работы асинхронного двигателя заключен во взаимодействии токов, наводящимся магнитным полем в роторе и самим вращающимся магнитным полем статора. Когда вращающий момент возникает тогда, когда существует разность частот вращения магнитных полей.

Ротор асинхронного двигателя, как и статор, собирается из штампованных стальных листов. В пазах ротора укладывается обмотка из медных стержней. Торцы этих стержней соединены при помощи медного кольца. Такая обмотка является обмоткой типа «беличьей клетки». При этом медные стержни в пазах не являются изолированными.

В зависимости от конструкции ротора асинхронные электродвигатели различаются на 2 типа: с короткозамкнутым ротором и фазным ротором.

Короткозамкнутый ротор представляет собой сердечник, собранный из стальных листов. В пазах этого сердечника заливается расплавленный алюминий, из-за чего образуются стержни, замкнутые накоротко торцевыми кольцами. Данная конструкция называется "беличьей клеткой". В двигателях с большой мощностью заливается медь.

Фазный ротор содержит трёхфазную обмотку, практически не отличающуюся от обмотки на статоре. В большинстве случаев концы обмоток фазного ротора соединены звездой, где свободные концы подводятся к контактным кольцам. При помощи щёток, подключенных к кольцам, можно ввести дополнительный резистор в цепь обмотки ротора. Этот резистор нужен для того, чтобы изменять активное сопротивление в цепи ротора, которое способствует уменьшению больших пусковых токов.

Асинхронный двигатель с фазным ротором обычно применяется в электродвигателях с большой мощностью и в случаях, во время начала движения с места, электродвигатель создавал большое усилие, когда это необходимо. Достигается это путем включения в обмотки фазного двигателя пускового реостата.

Короткозамкнутые асинхронные двигатели запускаются двумя способами:

- 1) Подключением трехфазного напряжения сети к статору двигателя.
- 2) Снижением напряжения, подводимого к обмоткам статора.

Пуск двигателя в ход происходит с соединения «звездой» обмоток статора, а когда ротор достигает нормального числа оборотов, соединение переключается на форму «треугольника».

При этом способе ток пуска двигателя в подводящих проводах уменьшается в 3 раза если сравнивать с тем током, что возникал бы во время пуска двигателя прямым включением в сеть с обмотками статора, соединенными «треугольником». Но данный способ пригоден лишь в тех случаях, когда статор предназначен для нормальной работы при его соединении «треугольником».

Более простым, дешевым и довольно надежным является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, правда этот двигатель имеет некоторые недостатки – малое усилие во время трогания с места и большим пусковым током. Данные недостатки в значительной мере можно устранить путем применения фазного ротора, правда такое применение значительно повысит двигатель в его стоимости и будет требовать пусковой реостат.

Самое большое применение получили машины с трехфазной симметричной разноименно полюсной обмоткой на статоре, которая питается от сети переменного тока. Также применение нашли асинхронные машины с трехфазной или многофазной симметричной разноименно полюсной обмоткой на роторе. Обычно асинхронные машины используются как двигатели, когда как генератор они применяются очень редко.

Асинхронный двигатель – является самым распространенным типом двигателя переменного тока. Если ротор асинхронной машины находится в неподвижном состоянии, либо же частота вращения ротора меньше синхронной, то вращающееся электромагнитное поле проходит через электрические проводники медной обмотки ротора и соответственно индуцирует в них электродвижущую силу, под воздействием которой по медной обмотке ротора двигателя течёт ток. На электрические проводники с током данной обмотки ротора, находящимся в электромагнитном поле медной обмотки возбужденного состояния, действуют силы магнитного воздействия определённого размера. Из-за прикладываемого усилия порождается магнитный вращающий момент, который тянет ротор за электромагнитным полем.

Если данный вращающий момент достаточно велик, то ротор электрической машины приходит в динамическое вращение, и его средняя рабочая частота вращения соответствует равенству имеющегося магнитного момента тормозному, созданного механической нагрузкой на валу электродвигателя, механическими силами вентиляции, трения в подшипниках и т.д. Частота вращения ротора электрической машины не соответствует частоте вращения электромагнитного поля, т.к. в этом случае угловая скорость вращения электромагнитного поля по сравнению с токопроводящей обмоткой ротора становится равна нулю, вследствие этого электромагнитное поле не будет индуцировать в уже доступной обмотке ротора электродвижущую силу и создавать крутящий момент.

Если ротор электрической машины, которая включена в сеть, вращать при помощи двигателя в направлении вращающегося поля статора, тогда движение ротора по сравнению с полем статора изменится, из-за того, что ротор будет обгонять поле статора.

Скольжение же при этом станет отрицательным, а направления электродвижущей силы E_1 , находящейся на обмотке статора, и тока I_1 изменятся на противоположное. В результате этого электромагнитный момент ротора также изменит направление, превратившись из вращающего в противодействующий. В этих условиях электрическая машина из двигательного режима переходит в генераторный режим, последствием преобразования механической энергии двигателя в электрическую.

Вследствие того, что в режиме генератора электрической машины, условия создания вращающегося поля статора будут такими же, что и в двигательном режиме, и потребление намагничивающего тока I_0 происходит от сети, то электрическая машина в генераторном режиме обладает определенными свойствами: потребление реактивной энергии от сети, которая необходима для создания вращающегося поля статора, но происходит отдача активной энергии в сеть, получаемой во время преобразования механической энергии двигателя. Работа асинхронных генераторов возможна лишь тогда, когда она происходит в совместной работе с синхронными генераторами, необходимыми как источники реактивной энергии.

В отличие от синхронных генераторов, асинхронные не подвержены опасностям выпадения из синхронизма. Асинхронные генераторы не получили большого распространения. Это объясняется рядом их недостатков в сопоставлении с синхронными генераторами.

Одним из главных недостатков является то, что асинхронные генераторы обладают большой реактивной мощностью, затрачиваемой ими от сети. Величина этой мощности пропорциональна намагничивающему току и даже может достигать 25-45% от номинальной мощности машины. Следовательно, для работы нескольких асинхронных генераторов нужно использовать один синхронный генератор такой по величине мощности, которая равна мощности одного асинхронного генератора.

Без включения в общую сеть, асинхронный генератор может работать и в автономных условиях. Но в этом случае, чтобы получить реактивную мощность необходимую для намагничивания генератора, нужно использовать батарею конденсаторов, которые, в свою очередь, включены параллельно нагрузке на выводах генератора.

Наличие остаточного намагничивания является одним из условий работы асинхронных генераторов, которое необходимо для самовозбуждения генератора. Электродвижущая сила создает небольшой реактивный ток, как в обмотке статора, так и в цепи конденсатора, усиливающий остаточный поток. Далее процесс развивается также, как и в генераторе постоянного тока параллельного возбуждения. С помощью изменения емкости конденсаторов можно регулировать величину намагничивающего тока, а также, и величину

напряжения генераторов. Из-за чрезмерных величин и высоких стоимостей конденсаторных батарей, асинхронные генераторы с самовозбуждением не получили большого распространения. Следовательно, такие генераторы применяются лишь на вспомогательных электростанциях, в таких как ветросиловые установки.

Таким образом, существуют три режима работы асинхронной машины: движущий режим, генераторный режим и режим тормоза. Каждому из данных режимов соответствует определенный диапазон изменения коэффициента скольжения: когда в двигательном режиме скольжение может изменяться от нуля до единицы, в генераторном – от нуля до минус бесконечности, а в тормозном – от единицы до плюс бесконечности.

6.3.3 Синхронные машины

Синхронные машины – это электрические машины переменного тока, в которых ротор и магнитное поле токов статора вращаются синхронно. Работают в режимах генератора и двигателя. Являются основными источниками электроэнергии (СГ на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях. Трехфазные СГ – самые мощные электрические машины. Единичная мощность - СГ, на ГЭС - 640 МВт, а на ТЭС – 8 ÷ 1200 МВт; СД достигает нескольких десятков мегаватт.

Устройство трехфазной синхронной машины. Основные части: статор и ротор, статор (как у АМ). Ротор - явнополюсной или неявнополюсной электромагнит. Ток в обмотку ротора поступает через контактные кольца и щетки от внешнего источника постоянного тока – возбuditеля (самовозбуждающийся ГПТ, установленный на валу СГ). Его мощность составляет 1–3% мощности СГ. С увеличением мощности СГ возбuditель с коллектором стал ненадежным, поэтому в последнее время все большее применение находят вентильные системы возбуждения с диодами и тиристорами. У многополюсной СМ ротор имеет p пар полюсов, а токи в обмотке статора образуют p пар полюсов вращающегося магнитного поля (как АМ). Ротор должен вращаться с частотой, равной частоте вращения поля:

$$n = 60 f / p.$$

Режим работы определяется взаимодействием магнитных полей токов статора и ротора. СМ переходит от режима генератора к режиму двигателя в зависимости от того, действует ли на ее вал вращающий (генератор) или тормозной (двигатель) момент.

На обмотку статора подается симметричная система токов, создается вращающееся магнитное поле.

Если пренебречь всеми видами потерь энергии в СМ, то при отсутствии момента на валу (режим холостого хода), ось полюсов ротора совпадает с осью полюсов статора.

Режим генератора. Увеличиваем $M_{вр}$ (двигателем), ось полюсов ротора поворачивается на угол θ относительно оси полюсов статора в направлении вращения. Результирующее магнитное поле (наложение полей статора и

ротора) изменится, ток в обмотках статора изменится и его взаимодействие с магнитным полем ротора создаст M_t – режим генератора.

Режим двигателя. Прикладываем к валу M_t , ось полюсов ротора поворачивается на θ против направления вращения. Изменяются токи в обмотках статора и возникают электромагнитные силы, взаимодействия токов статора и магнитного поля ротора, которые увлекают ротор в направлении вращения. Эти силы создают $M_{вр}$.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Практическое задание №1

Тема: «Разработка инструкций по охране труда»

Цель работы: ознакомиться с порядком разработки инструкций по охране труда

Оборудование: методические указания для выполнения практических занятий, нормативно-техническая и справочная литература, журнал формы ТНУ-19, схема разработки инструкции

Ход работы

1. Ознакомиться с нормативной документацией регламентирующей порядок разработки инструкций по охране труда
2. Изучить порядок оформления инструкций по охране труда
3. Ознакомиться с методикой составления инструкций по охране труда
4. Составить отчет по работе

Практическое задание №2

Тема: «Учёт и расследование несчастных случаев на производстве».

Цель занятия – изучить порядок расследования и учёта несчастных случаев на производстве.

Содержание работы:

1. Изучить порядок расследования несчастных случаев на производстве.
2. Изучить структуру акта по форме Н-1.

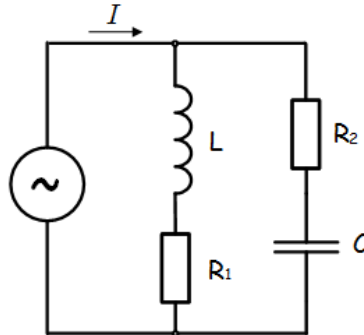
Практическое задание №3

На строительной площадке, при производстве погрузочно-разгрузочных работ, каменщик Алиев, не имея удостоверения стропальщика начал подавать сигналы крановщице для перемещения груза. Во время перемещения он находился под грузом. Груз упал ему на ногу. Алиев получил увечье, которое повлекло за собой временную утрату трудоспособности менее 60 дней.

Какие нарушения были допущены? Как какой категории относится вышеуказанный несчастный случай? Каков порядок расследования данного несчастного случая?

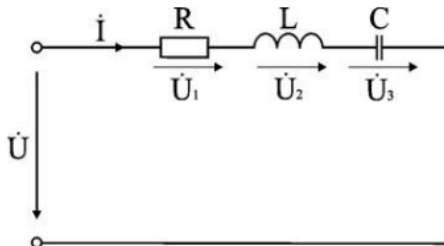
Практическое задание №4.

В цепи как показано на схеме, подключены катушка, конденсатор и резисторы. Индуктивность катушки – 15мГн , емкость конденсатора 20мкФ , $R_1=10\text{Ом}$, $R_2=30\text{Ом}$. Напряжение источника 100В , частота 100Гц . Определить токи в цепи, активную, реактивную и полную мощность в цепи.



Практическое задание №5.

Электрическая цепь, показанная на рис. питается от источника синусоидального тока с частотой 200Гц и напряжением 120В . Дано: $R = 4\text{Ом}$, $L = 6,37\text{мГн}$, $C = 159\text{мкФ}$. Вычислить ток в цепи, напряжения на всех участках, активную, реактивную, и полную мощности. Построить векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.



Практическое задание №6.

Обмотка якоря постоянного тока содержит элементарных пазов $Z_{эл}$ при числе полюсов $2p$. По данным, рассчитать параметры и начертить развёрнутую схему простой волновой (ПВ) либо простой петлевой (ПП) обмотки якоря. На схеме обозначить полюсы, расставить щётки и, задавшись направлением вращения якоря, определить полярность щеток в генераторном режиме работы машины.

Практическое задание №7.

Генератор с независимым возбуждением работает в номинальном режиме при напряжении на зажимах $U_n=220\text{В}$. Сопротивление обмотки якоря $R_a=0,2\text{Ом}$; обмотки возбуждения $R_b=55\text{Ом}$. Напряжение для питания цепи возбуждения $U_b=110\text{В}$. Генератор имеет шесть полюсов ($2p=6$). На якоре находятся $N=240$ проводников, образующих шесть параллельных ветвей ($2a=6$). Магнитный поток полюса $\Phi=0,05\text{Вб}$. Номинальная частота вращения якоря $n_n=1200\text{об/мин}$. Определить ЭДС генератора; силу тока, отдаваемого потребителю; силу тока в обмотке возбуждения; мощность, отдаваемую генератором; сопротивление нагрузки.

проводить анализ опасных и вредных факторов в сфере профессиональной деятельности, оценивать состояние техники безопасности на производственном объекте, применять безопасные приемы труда на территории организации и в производственных помещениях, проводить аттестацию рабочих мест по условиям труда, в том числе оценку условий труда и травмобезопасности, инструктировать подчиненных работников (персонал) по вопросам техники безопасности, соблюдать правила безопасности труда, производственной санитарии и пожарной безопасности.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляков, Г.И. Охрана труда и техника безопасности: Учебник для СПО / Г.И. Беляков. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 404 с.
2. Графкина, М.В. Охрана труда: Учебник/М.В.Графкина. - М.: Academia, 2018. - 88 с.
3. Коробко, В.И. Охрана труда: Учебное пособие/В.И.Коробко. - М.: Юнити, 2015. - 256 с.
4. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования/Е.А. Лоторейчук. - Гриф МО. - М.: Форум: Инфра-М, 2008. - 316 с.
5. Федорченко А. А. Электротехника с основами электроники: учеб. для учащ. проф. училищ, лицеев и студ. колледжей/А.А.Федорченко, Ю.Г.Синдеев. - 2-е изд. - М.: Дашков и К, 2010. - 415 с.
6. Немцов М.В. Электротехника : учеб. пособие для сред. учеб. заведений/М.В.Немцов, И.И.Светлакова. - Гриф МО. - Ростов н/Д: Феникс, 2004. - 572 с.
7. Алиев, И.И. Электрические машины/И.И. Алиев. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. - 448 с.
8. Беспалов, В.Я. Электрические машины: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования/В.Я.Беспалов, Н.Ф.Котеленец.. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.
9. Кацман, М.М. Электрические машины: Учебник/М.М.Кацман. - М.: Academia, 2017. - 320 с.
10. Набиев Ф.М. Электрические машины/Ф.М.Набиев. - М.: Радио и связь, 2012. - 292 с.

РАЗДЕЛ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Характеризовать физические основы ионных и полупроводниковых приборов.
2. Понимать особенности строения полупроводников.
3. Выполнять схемы включения электронных приборов и устройств.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер с необходимым стандартным программным обеспечением и установленными программными обеспечениями ElectronicWorkBench, multisim, matcad, matlab

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для изучения принципа действия, характеристик, параметров полупроводниковых приборов, интегральных микросхем, физических процессов протекающих в электронных приборах.

7.1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

В процессе проектирования и создания различных радиоэлектронных устройств необходимо не только учитывать основные характеристики электронных приборов, но и понимать физические основы работы, технологию изготовления, уметь сравнивать приборы по их характеристикам и параметрам при выборе оптимальных схемотехнических решений.

Электронно-дырочным (р-п) называют такой переход, который образован двумя областями полупроводника с разными типами проводимости: электронной и дырочной. Электронно-дырочный переход нельзя создать простым соприкосновением полупроводниковых пластин n- и р-типа, так как в месте соединения невозможно обеспечить общую кристаллическую решетку без дефектов. На практике широко используется метод получения р-п перехода путем введения в примесный полупроводник примеси с противоположным типом проводимости, например с помощью диффузии, или эпитаксии.

Электронно-дырочные переходы используются в большинстве полупроводниковых приборов (в диодах и полевых транзисторах используются по одному р-п переходу, в биполярных транзисторах - два р-п

перехода, в тиристорах - три р-п перехода). Поэтому очень важным является понимание физических явлений и электрических свойств р-п перехода.

Формирование р-п-перехода. Предположим, что р-п переход образован электрическим контактом полупроводников п- и р-типа с одинаковой концентрацией донорных и акцепторных примесей (рис.7.1, а). На границе областей возникают градиенты концентраций электронов и дырок. Вследствие того, что концентрация электронов в п-области выше, чем в р-области, возникает диффузионный ток электронов из р-области в п-область. А из-за того, что концентрация дырок в р-области выше, чем в п-области, возникает диффузионный ток дырок из р-области в п-область. В результате диффузии основных носителей заряда в граничном слое происходит рекомбинация. Приграничная р-область приобретает нескомпенсированный отрицательный заряд, обусловленный отрицательными ионами. Приграничная п-область приобретает нескомпенсированный положительный заряд, обусловленный положительными ионами.

На рис.7.1, б показано распределение концентраций дырок $p(x)$ и электронов $n(x)$ в полупроводнике. В граничном слое образуется электрическое поле, направленное от п-области к р-области, как показано на рис.7.1, а.

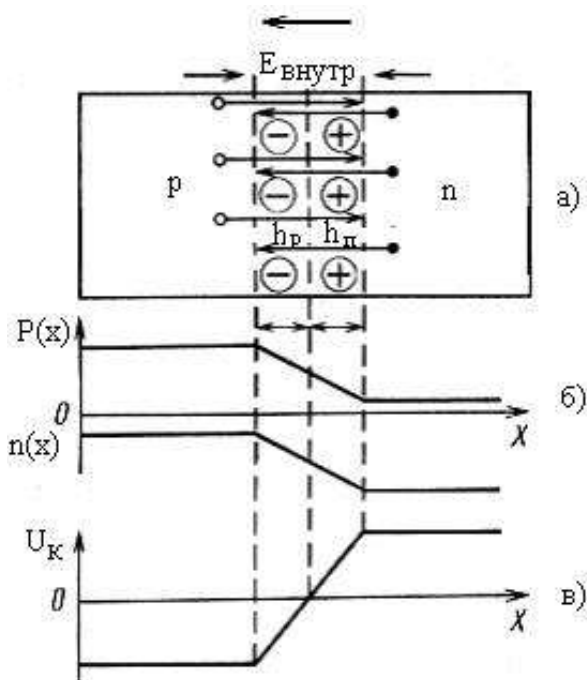


Рисунок 7.1. р-п переход с одинаковой концентрацией донорных и акцепторных примесей

Это поле является тормозящим для основных носителей заряда. Теперь любой электрон, проходящий из п-области в р-область, попадает в электрическое поле, стремящееся вернуть его обратно в электронную область. Аналогично любая дырка, проходящая из р-области в п-область, также попадает в электрическое поле, стремящееся вернуть ее обратно в дырочную область.

Внутреннее поле является ускоряющим для неосновных носителей. Если электроны р-области вследствие, например, хаотического теплового движения попадут в зону р-п перехода, то внутреннее поле обеспечит их быстрый переход через приграничную область. Аналогично будут преодолевать р-п переход дырки п-области. Для них внутреннее поле также является ускоряющим.

Таким образом, внутреннее электрическое поле р-п перехода создает дрейфовый ток неосновных носителей заряда. Этот ток направлен встречно диффузионному току основных носителей заряда.

Если к полупроводнику не прикладывается внешнее напряжение, то результирующий ток через р-п переход отсутствует:

$$I = I_{\text{диф}_n} + I_{\text{диф}_p} - I_{\text{др}_n} - I_{\text{др}_p} = 0 \quad (7.1)$$

Это равенство устанавливается при определенной контактной разности потенциалов U_K (рис.7.1, в). Эта разность потенциалов препятствует перемещению основных носителей заряда, т. е. создает потенциальный барьер. Для того чтобы преодолеть потенциальный барьер электрон должен обладать энергией $W = q_e U_K$. С увеличением потенциального барьера диффузионный ток должен убывать. Толщина слоя h , в котором действует внутреннее электрическое поле, мала и определяет толщину р-п перехода (обычно $h < 10^6 \text{ м}$). Однако сопротивление этого слоя велико, поскольку он обеднен основными носителями заряда. Поэтому его часто называют запирающим. При одинаковых концентрациях носителей зарядов в р- и п-областях полупроводника толщина р-п перехода образуется из двух равных частей h_p и h_n (рис.7.1, а).

В общем случае справедливо соотношение

$$N_a h_p = N_d h_n \quad (7.2)$$

Контактная разность потенциалов и толщина р-п-перехода зависят от концентрации доноров и акцепторов:

$$U_K = \frac{kT}{q_e} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2} \quad (7.3)$$

$$h = \sqrt{\frac{2\varepsilon U_K}{q_e} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right)} \quad (7.4)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость.

Очевидно, что увеличение концентрации доноров и акцепторов приводит к увеличению контактной разности потенциалов и уменьшению толщины р-п перехода.

Вольт-амперная характеристика р-п-перехода. Вольт-амперной характеристикой р-п перехода называется зависимость тока, протекающего через р-п переход, от величины и полярности приложенного напряжения. Аналитическое выражение ВАХ р-п перехода имеет вид:

$$I = I_{\text{обр}} \left[\exp \left(\frac{q_e U}{kT} \right) - 1 \right] \quad (7.5)$$

где $I_{\text{обр}}$ – обратный ток насыщения р-п перехода; U - напряжение, приложенное к р-п переходу.

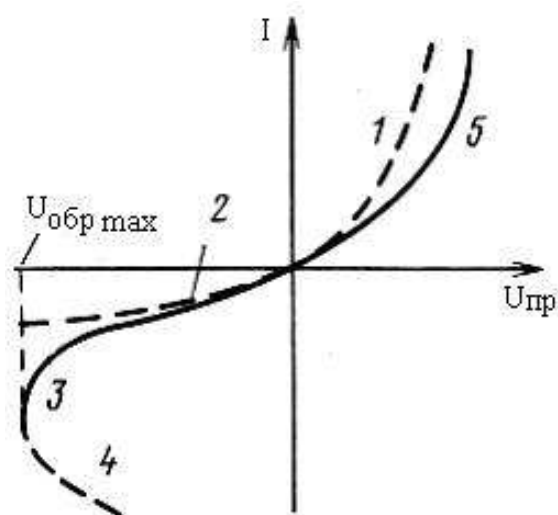


Рисунок 7.2. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода

Характеристика, построенная с использованием этого выражения, имеет два характерных участка (рис.7.2): 1 – соответствующий прямому управляющему напряжению $U_{пр}$, 2 – соответствующий обратному напряжению $U_{обр}$.

При больших обратных напряжениях наблюдается пробой р-п перехода, при котором обратный ток резко увеличивается. Различают два вида пробоя: электрический (обратимый) и тепловой (необратимый).

Прямое включение р-п-перехода. Включение, при котором к р-п переходу прикладывается внешнее напряжение $U_{пр}$ в противофазе с контактной разностью потенциалов, называется прямым. Прямое включение р-п перехода показано на рис.7.3, а. Практически все внешнее напряжение прикладывается к запирающему слою, поскольку его сопротивление значительно больше сопротивления остальной части полупроводника.

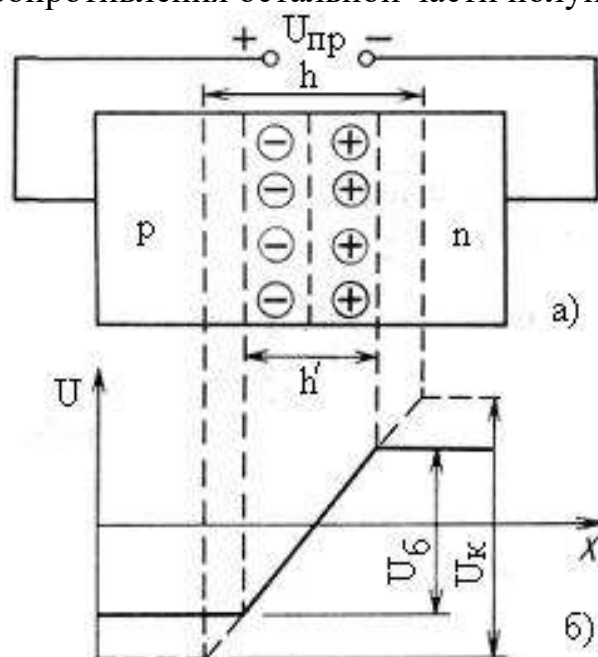


Рисунок 7.3. Прямое включение р-п-перехода

Как видно из потенциальной диаграммы (рис.7.3, б), высота потенциального барьера уменьшается: $U_b = U_k - U_{пр}$. Ширина p-n перехода также уменьшается ($h' < h$). Дрейфовый ток уменьшается, диффузионный ток резко возрастает. Динамическое равновесие нарушается и через p-n переход протекает прямой ток:

$$I_{пр} = I_{диф} - I_{др} \approx I_{диф} \exp\left(\frac{q_e U}{kT}\right) \quad (7.6)$$

Как видно из формулы (7.6), при увеличении прямого напряжения ток может возрасти до больших значений, так как он обусловлен движением основных носителей, концентрация которых в обеих областях полупроводника велика.

При прямом включении дрейфовая составляющая тока пренебрежимо мала по сравнению с диффузионной. Это объясняется низкой концентрацией неосновных носителей заряда и уменьшением результирующей напряженности электрического поля, обуславливающих дрейфовый ток.

Процесс введения основных носителей заряда через p-n переход с пониженной высотой потенциального барьера в область полупроводника, где эти носители заряда являются неосновными, называется инжекцией. Инжектированные носители диффундируют вглубь полупроводника, рекомбинируя с основными носителями этой области. Дырки, проникшие из p-области в n-область, рекомбинируют с электронами, поэтому диффузионный дырочный ток I_p постепенно спадает в n-области до нуля.

Поступающие от внешнего источника в n-область электроны продвигаются к p-n переходу, создавая электронный ток I_n . По мере приближения к переходу, вследствие рекомбинации электронов с дырками, этот ток спадает до нуля. Суммарный же ток в n-области $I_{диф} = I_p + I_n$ во всех точках полупроводника n-типа остается неизменным. Одновременно с инжекцией дырок в n-область происходит инжекция электронов в p-область. Протекающие при этом процессы аналогичны описанным выше.

Обратное включение p-n-перехода. Включение, при котором к p-n переходу прикладывается внешнее напряжение $U_{обр}$ в фазе с контактной разностью потенциалов, называется обратным. Этот случай иллюстрирует рис.7.4, а.

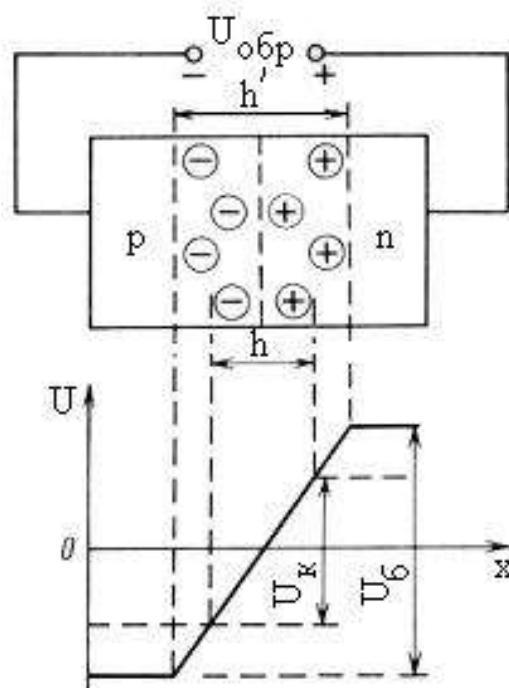


Рисунок 7.4. Обратное включение p-n-перехода

Под действием электрического поля, создаваемого внешним источником $U_{обр}$, основные носители оттягиваются от приконтактных слоев вглубь полупроводника. Как видно из рис.7.4, б, это приводит к расширению p-n перехода ($h' > h$). Потенциальный барьер возрастает и становится равным $U_б = U_к + U_{обр}$. Число основных носителей, способных преодолеть действие результирующего поля, уменьшается. Это приводит к уменьшению диффузионного тока, который может быть определен по формуле:

$$I_{диф} = I_{обр} \exp\left(-\frac{q_e U_{обр}}{kT}\right) \quad (7.7)$$

Для неосновных носителей (дырков в n-области и электронов в p-области) потенциальный барьер в электронно-дырочном переходе отсутствует. Неосновные носители втягиваются полем в переход и быстро преодолевают его. Это явление называется экстракцией.

При обратном включении преобладающую роль играет дрейфовый ток. Он имеет небольшую величину, так как создается движением неосновных носителей. Этот ток называется обратным и может быть определен по формуле $I_{обр} = I_{др} - I_{диф}$. Величина обратного тока практически не зависит от напряжения $U_{обр}$. Это объясняется тем, что в единицу времени количество генерируемых пар «электрон – дырка» при неизменной температуре остается неизменным. Поскольку концентрация неосновных носителей значительно меньше концентрации основных носителей заряда, обратный ток p-n перехода существенно меньше прямого (обычно на несколько порядков). Это определяет выпрямительные свойства p-n перехода: способность пропускать ток только в одном направлении.

Для получения хороших выпрямительных свойств желательно уменьшить обратный ток, что достигается очисткой исходного полупроводникового материала с целью снижения концентрации неосновных

носителей заряда. Высокая степень чистоты полупроводниковых материалов обеспечивается специальной дорогостоящей технологией.

Электрический пробой происходит в результате внутренней электростатической эмиссии и под действием ударной ионизации атомов. Внутренняя электростатическая эмиссия в полупроводниках аналогична электростатической эмиссии электронов из металла. Под действием сильного электрического поля часть электронов освобождается из ковалентных связей и получает энергию, достаточную для преодоления высокого потенциального барьера р-п перехода. Двигаясь с большой скоростью, электроны сталкиваются с нейтральными атомами и ионизируют их. В результате ударной ионизации появляются новые свободные электроны и дырки. Они, в свою очередь, разгоняются полем и создают дополнительные носители тока. Описанный процесс носит лавинообразный характер и приводит к значительному увеличению обратного тока через р-п переход. Электрическому пробое соответствует участок 3 на рис.7.2. Если чрезмерно увеличивать обратное напряжение (до значений, превышающих максимально допустимое напряжение $U_{обр\ max}$, указанное на рис. 7.2), то произойдет тепловой пробой р-п перехода, и он потеряет свойство односторонней проводимости. Обратная ветвь характеристики при тепловом пробое имеет вид участка 4.

Тепловой пробой р-п перехода происходит вследствие вырывания валентных электронов из связей в атомах при тепловых колебаниях кристаллической решетки. Тепловая генерация пар «электрон – дырка» приводит к увеличению концентрации неосновных носителей заряда и росту обратного тока. Увеличение тока сопровождается дальнейшим повышением температуры. Процесс нарастает лавинообразно, происходит изменение структуры кристалла, и переход необратимо выходит из строя. Если же при возникновении пробоя ток через р-п переход ограничен сопротивлением внешней цепи и мощность, выделяемая на переходе, невелика, то пробой обратим.

Анализ ВАХ р-п перехода позволяет рассматривать его как нелинейный элемент, сопротивление которого R_d изменяется в зависимости от величины и полярности приложенного напряжения. Нелинейные свойства р-п перехода лежат в основе работы полупроводниковых диодов, транзисторов и других приборов.

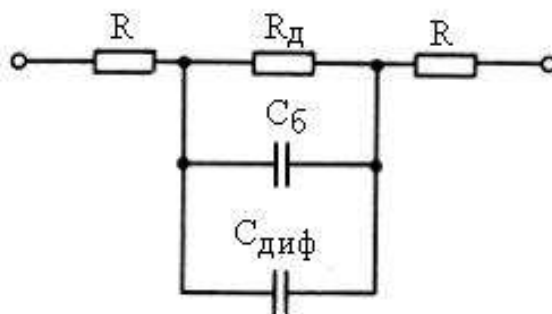


Рисунок 7.5. Модель реального р-п перехода

На рис.7.5 приведена модель реального р-п перехода. Здесь помимо управляемого сопротивления R_d показаны неуправляемые сопротивления контактов R и емкости р-п перехода: барьерная C_6 и диффузионная $C_{диф}$. Наличие у реальных р-п переходов сопротивлений контактов R сказывается на виде ВАХ в области прямых управляющих напряжений: характеристика располагается ниже по сравнению с идеализированным р-п переходом (область 5 на рис.7.2).

Потенциальный барьер образован неподвижными зарядами: положительными и отрицательными ионами. Емкость, обусловленная этими зарядами, называется барьерной. При изменении запирающего напряжения меняется толщина р-п перехода, а следовательно, и его емкость. Величина барьерной емкости пропорциональна площади р-п перехода, концентрации носителей заряда и диэлектрической проницаемости материала полупроводника. При малом обратном напряжении толщина р-п перехода мала, носители зарядов противоположных знаков находятся на небольшом расстоянии друг от друга. При этом собственная емкость р-п перехода велика. В случае увеличения обратного напряжения толщина р-п перехода растет и емкость р-п перехода уменьшается. Таким образом, р-п переход можно использовать как емкость, управляемую обратным напряжением: $C_6 = q_6/U_{обр}$, где q_6 – объемный заряд равновесных носителей.

При прямом напряжении р-п переход, кроме барьерной емкости, обладает диффузионной емкостью $C_{диф}$. Эта емкость обусловлена накоплением подвижных носителей заряда в п- и р-областях. При прямом напряжении основные носители заряда в большом количестве диффундируют через пониженный потенциальный барьер и, не успев рекомбинировать, накапливаются в п- и р-областях.

Каждому значению прямого напряжения соответствует определенный накопленный неравновесный заряд $q_{диф}$:

$$C_{диф} = q_{диф}/U_{пр} \quad (7.8)$$

Диффузионная емкость не оказывает существенного влияния на работу р-п перехода, так как она всегда зашунгирована малым прямым сопротивлением R_d . Зависимости емкостей р-п перехода от управляющего напряжения имеют вид, изображенный на рис.7.6.

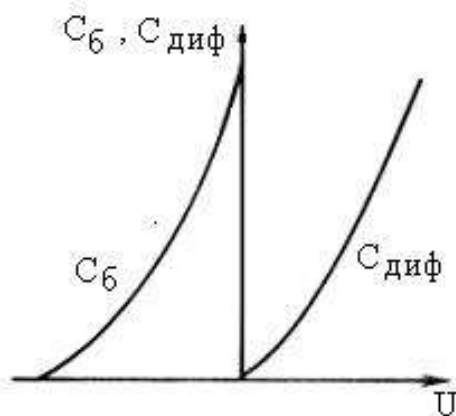


Рисунок 7.6. Зависимости емкостей р-п перехода от управляющего напряжения

7.1.1 Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и двумя выводами, в котором используется то или иное свойство электронно-дырочного рп-перехода. Графическое обозначение полупроводникового диода.



В диодах рп-переход используется в качестве выпрямляющего электрического перехода, разделяющего р- и n-области кристалла полупроводника (рисунок 7.7).

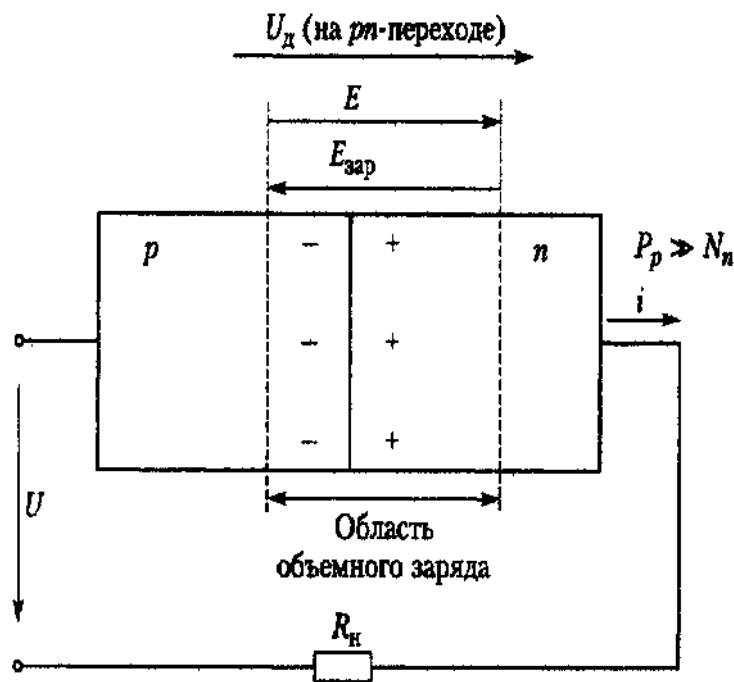


Рисунок 7.7. Схема включения полупроводникового диода и пространственное распределение объемных зарядов рп-перехода при отсутствии внешнего напряжения

К р- и n-областям кристалла привариваются или припаиваются металлические выводы, и вся система заключается в металлический, металлокерамический, стеклянный или пластмассовый корпус.

Одну из полупроводниковых областей кристалла, имеющую более высокую концентрацию примесей, а следовательно, и основных носителей заряда, называют эмиттером. Другую область, с меньшей концентрацией примесей, называют базой.

Диоды различают по назначению, материалу, конструктивному исполнению, мощности и другим признакам.

В зависимости от технологических процессов, использованных при их изготовлении, различают точечные диоды, сплавные и микросплавные, с диффузионной базой, эпитаксиальные и др.

По функциональному назначению диоды делятся на выпрямительные, универсальные, импульсные, смесительные, СВЧ, стабилитроны, стабилитроны, варикапы, диносторы, тиристоры, симисторы, фотодиоды, светодиоды и т.д.

По конструктивному исполнению диоды бывают плоскостные и точечные.

По используемому материалу – кремниевые, германиевые, арсенид-галлиевые.

Принцип работы полупроводникового диода

При отсутствии внешнего напряжения.

В результате встречной диффузии дырок из р-области в n-область и электронов из n-области в р-область получается, что заряды неподвижных ионов примесей окажутся нескомпенсированными (акцепторная для р-области; донорная для n-области).

Для сохранения электрической нейтральности рn-структуры количество диффундировавших через рn-переход основных носителей заряда из р- в n-область должно равняться количеству диффундировавших основных носителей заряда из n- в р-область. Так как $N_n \gg P_p$, то область объемного заряда со стороны базы (n) будет больше, чем со стороны эмиттера (р).

Образованный в результате встречной диффузии объемный заряд создает электрическое поле с напряженностью $E_{зар}$, препятствующее дальнейшей встречной диффузии основных носителей заряда.

Таким образом, на границе рn-перехода образуется контактная разность потенциалов (КРП), численно характеризующаяся высотой потенциального барьера $\Delta\phi_0$. Диффузия прекращается, когда энергия носителей заряда становится недостаточной для преодоления потенциального барьера.

Под действием прямого напряжения.

Прямое напряжение U создает электрическое поле E , которое компенсирует поле $E_{зар}$, и в область базы (n) по мере увеличения напряжения будет вводиться все большее количество дырок (неосновные носители для n-области), которые и образуют ток диода $I_{пр}$ (рисунок 7.7).

Встречной инжекцией N_n (электронов n из n-области) в р-область (в эмиттер) можно пренебречь, учитывая, что $P_p \gg N_n$.

Под действием обратного напряжения.

Создаваемое напряжением электрическое поле $-E$ совпадает по направлению с $E_{зар}$, что приводит к повышению потенциального барьера и препятствует переходу основных носителей заряда в соседнюю область. Однако суммарная напряженность электрических полей способствует извлечению (экстракции) неосновных носителей заряда: электронов из р-области в область n-область и дырок из n-области в р-область, которые и образуют ток $I_{обр}$.

Неосновные носители при увеличении барьерной емкости или увеличении температуры образуют обратный ток $I_{обр}$, называемый тепловым током $I_T(T)$:

$$I_T(T) = I_0 \frac{T - T_0}{\Delta T} \quad (7.9)$$

где I_0 – значение теплового тока при комнатной температуре $T_0 = 300\text{K}$;
 ΔT – значение приращения температуры, соответствующее удвоению значения теплового тока (для германия ΔT составляет 10K, для кремния – 7K);

T – абсолютная температура.

Вольт-амперная характеристика

Нелинейные свойства диода видны при рассмотрении его ВАХ. ВАХ диода описывается выражением:

$$I = I_0 \left[\exp \frac{U_d}{\varphi_t} - 1 \right] \quad (7.10)$$

где I_0 – ток насыщения;

U_d – напряжение рп-перехода;

φ_t – тепловой потенциал, равный контактной разности потенциалов на границе рп-перехода при отсутствии $U_{\text{внеш}}$ (при $T = 300\text{K}$ $\varphi_t = 0,025\text{V}$).

$$\varphi_t = \frac{kT}{q} \quad (7.11)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура;

$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

ВАХ, описываемая этим выражением, будет иметь вид, показанный на рисунке 7.8, б.

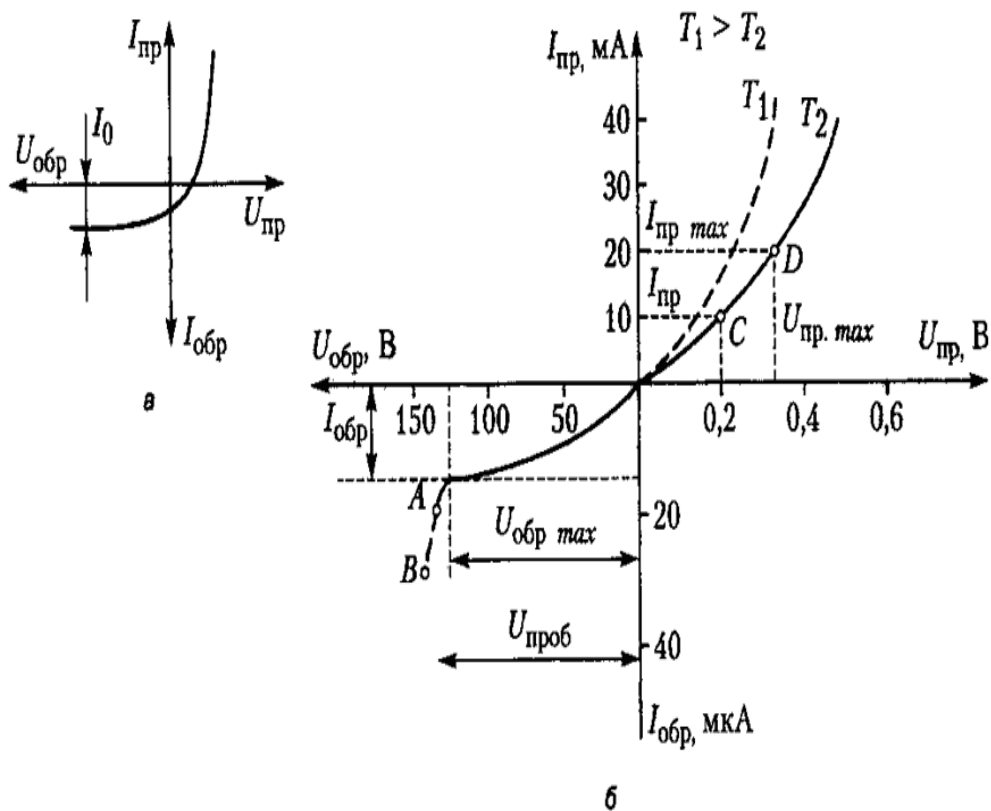


Рисунок 7.8. Статические вольт-амперные характеристики (а – идеального рп-перехода; б – реального диода)

По мере увеличения напряжения U_{np} на рп-переходе I_{np} диода резко возрастает. Поэтому незначительное изменение напряжения U_{np} приводит к значительному изменению тока I_{np} , что затрудняет задание требуемого значения тока I_{np} с помощью напряжения U_{np} . Вот почему для рп-переходов характерен режим заданного тока I_{np} .

Приведенная ВАХ (рисунок 7.8, а) является идеальной ВАХ рп-перехода. Она не учитывает рекомбинационно-генерационных процессов, происходящих в объеме и на поверхности рп-перехода, то есть построена в предположении, что рп-переход является бесконечно тонким и длинным.

Реальный переход не является бесконечно тонким, и поэтому при напряжении $U_{обр}$ происходит генерация пар электрон-дырка, образующая ток генерации $I_{ген}$. Причем с увеличением напряжения $U_{обр}$ растет толщина рп-перехода (эффект Эрли) и, соответственно, увеличивается количество генерируемых пар. Вот почему с увеличением напряжения $U_{обр}$ одновременно возрастает и ток $I_{обр}$ (рисунок 7.8, б). Протяженность реального перехода также не бесконечна.

Поверхность полупроводникового кристалла характеризуется нарушениями кристаллической решетки и различными загрязнениями, что обуславливает рекомбинационно-генерационные процессы на поверхности рп-перехода и приводит к появлению дополнительного тока – тока утечки $I_{ут}$.

Обратный ток $I_{обр}$ используют в качестве одного из основных параметров реальных диодов, его измеряют при определенном значении обратного напряжения. У германиевых диодов $I_{обр} \approx I_0$, у кремниевых $I_{обр} \gg I_0$.

ВАХ реального диода имеет вид, который изображен на рисунке 7.8, б (T_2).

В определенный момент напряжение $U_{обр}$ достигает значения $U_{проб}$, и начинается лавинообразный процесс нарастания тока $I_{обр}$, что соответствует электрическому пробое рп-перехода (отрезок АВ). Если в этот момент напряжение $U_{обр}$ не ограничить, то электрический пробой переходит в тепловой (участок ВАХ после отметки В). Такой процесс нарастания тока $I_{обр}$ характерен для кремниевых диодов.

У германиевых диодов при увеличении напряжения $U_{обр}$ тепловой пробой наступает практически одновременно с наступлением лавинообразного процесса нарастания тока $U_{обр}$.

Электрический пробой обратим, то есть после уменьшения напряжения $U_{обр}$ работа диода соответствует пологому участку обратной ветви ВАХ. Тепловой пробой – необратимый процесс, так как разрушает кристаллическую решетку полупроводника.

Тепловой пробой обусловлен ростом числа носителей в рп-переходе. При некотором значении напряжения $U_{проб}$ мощность, выделяющаяся в диоде $P_d = U_{обр} I_{обр}$, не успевает отводиться, что ведет к увеличению его температуры и тока $I_{обр}$ и дальнейшему увеличению температуры, и в результате диод разрушается вследствие перегрева. Для германиевых диодов ток $I_{обр}$ больше, чем для кремниевых, то есть для германиевых диодов

вероятность теплового пробоя выше. Поэтому максимальная рабочая температура окружающей среды и рп-перехода для кремниевых диодов выше, чем для германиевых (кремниевые – 75-90°C; германиевые – 150-200°C).

Прямой ток $I_{пр}$ диода зависит от температуры окружающей среды, возрастая с ее увеличением, хотя в значительно меньшей степени, чем ток $I_{обр}$. Характер изменения прямой ветви ВАХ при изменениях температуры показан на рисунке 7.9, б (T_1). $T_1 > T_2$, где $T_2 \approx 300\text{K}$ (комнатная температура).

Для оценки температурной зависимости прямой ветви ВАХ диода служит температурный коэффициент напряжения (ТКН):

$$\text{ТКН} = \frac{\Delta U}{U \Delta T} \quad (7.12)$$

Выпрямительные диоды

Диоды, предназначенные для преобразования переменного тока в постоянный, к быстрдействию, емкости р-п-перехода и стабильности параметров которых обычно не предъявляют специальных требований, называют выпрямительными.

Выпрямительные диоды применяются в выпрямителях переменного тока. Выпрямительный диод представляет собой электронный ключ, управляемый приложенным к нему напряжением. При подаче $U_{пр}$ ключ замкнут, при подаче $U_{обр}$ ключ разомкнут.

В качестве выпрямительных диодов используют сплавные эпитаксиальные и диффузионные диоды, выполненные на основе несимметричных р-п-переходов.

Эпитаксиальные диоды обычно имеют малое падение напряжения в открытом состоянии и высокое пробивное напряжение.

Для выпрямительных диодов характерно, что они имеют малые сопротивления в проводящем состоянии и позволяют пропускать большие токи. Барьерная емкость их из-за большой площади р-п-переходов велика и достигает значений десятков пикофард.

Германиевые выпрямительные диоды могут быть использованы при температурах, не превышающих 70-80°C, кремниевые - до 120-150°C, арсенид-галлиевые - до 150°C. В настоящее время температурный диапазон существенно расширен.

Основные параметры выпрямительных диодов:

1. Максимально допустимое обратное напряжение диода $U_{обр\ max}$;
2. Средний выпрямленный ток диода $I_{вп\ ср}$;
3. Импульсный прямой ток диода $I_{пр\ и}$;
4. Средний обратный ток диода $I_{обр\ ср}$;
5. Среднее прямое напряжение диода при заданном среднем значении прямого тока $U_{пр\ ср}$;
6. Средняя рассеиваемая мощность диода $P_{ср\ д}$;
7. Дифференциальное сопротивление диода $r_{диф}$.

Импульсные диоды

Импульсный диод – это диод с малой длительностью переходных процессов, предназначенный для работы в импульсных цепях. От выпрямительных диодов они отличаются малыми емкостями р-п-перехода (доли пикофарад) и рядом параметров, определяющих переходные характеристики диода. Уменьшение емкостей достигается за счет уменьшения площади р-п-перехода, поэтому допустимые мощности рассеяния у них невелики (30–40 мВт).

Импульсные диоды работают в различных электронных схемах в качестве электронного ключа (рисунок 7.9, а). На диод, соединенный последовательно с нагрузкой, подается импульсное напряжение. При положительном импульсе диод находится под прямым напряжением, следовательно, его сопротивление мало (ключ замкнут), через резистор R_H протекает ток. При отрицательном импульсе к диоду приложено обратное напряжение, его сопротивление велико (ключ разомкнут), тока в нагрузке нет.

Длительность импульсов может быть очень мала. Тогда для нормальной работы схемы диод должен быстро переходить из одного состояния в другое, однако это затруднено инерционностью диода. При смене полярности с прямой на обратную сопротивление диода не может мгновенно измениться от $R_{пр}$ до $R_{обр}$, следовательно, требуется какое-то определенное время.

На временной диаграмме (рисунок 7.9, б) показаны конец положительного импульса напряжения и начало отрицательного импульса. За время положительного импульса в результате инжекции в базе возникает избыточная концентрация неосновных носителей заряда, например дырок в базе n-типа. Причем она будет наибольшей около рп-перехода.

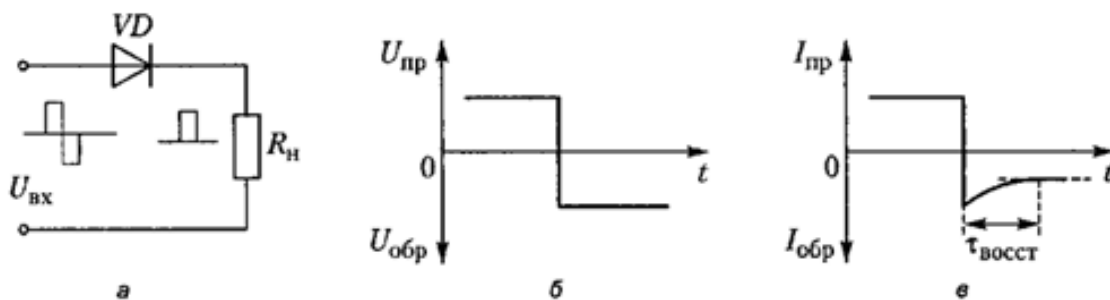


Рисунок 7.9. Простейшая схема диодного ключа и временные диаграммы ее работы

При смене полярности большое количество неравновесных дырок, находящихся в базе в непосредственной близости от рп-перехода, начнет перебрасываться полем перехода обратно в р-область, а это вызовет возникновение импульса обратного тока через диод (рисунок 7.11, в), который может превышать стационарное значение обратного тока в десятки раз. Резкое увеличение обратного тока означает резкое уменьшение обратного сопротивления диода.

По мере рассасывания концентрации дырок в базе (как за счет их перехода в р-область, так и за счет рекомбинации с основными носителями заряда базы - свободными электронами) обратный ток будет убывать, а обратное сопротивление диода возрастать. Когда концентрация дырок в базе уменьшится до равновесного состояния, а обратный ток снизится до своего стационарного значения, обратное сопротивление диода восстановится.

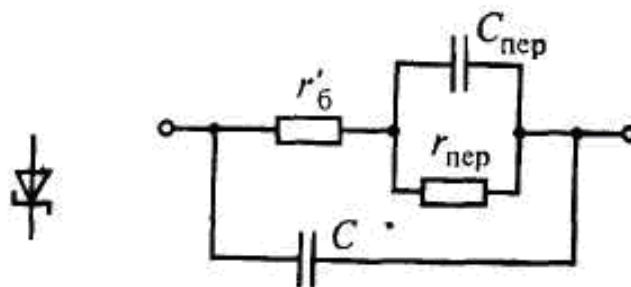
Интервал времени от момента переключения диода с прямого на обратное напряжение, в течение которого обратное сопротивление перехода полупроводникового диода восстановится до постоянного значения, называют временем восстановления обратного сопротивления ($t_{\text{восст}}$).

Импульсные диоды характеризуются как общими с выпрямительными диодами параметрами, так и индивидуальными.

Диоды Шотки

В быстродействующих импульсных цепях широко используют диоды Шотки, в которых переход выполнен на основе контакта металл – полупроводник. В этих диодах отсутствуют процессы накопления и рассасывания зарядов в базе, их быстродействие зависит только от скорости процесса перезарядки барьерной емкости. Вольт-амперная характеристика диодов Шотки напоминает характеристику диодов на основе рп-переходов. Отличие состоит в том, что прямая ветвь в пределах 8-10 декад (декада – изменение значения в 10 раз) приложенного напряжения представляет почти идеальную экспоненциальную кривую, а обратные токи малы (доли-десятки нА). Конструктивно диоды Шотки выполняют в виде пластины низкоомного кремния, на которую нанесена высокоомная эпитаксиальная пленка с электропроводностью того же типа. На поверхность пленки вакуумным напылением нанесен слой металла.

Диоды Шотки применяют также в выпрямителях больших токов и в логарифмирующих устройствах. Условное обозначение диода Шотки и эквивалентная схема диода приведены на рисунке 7.10.



$r_{\text{пер}}$ - сопротивление р-п-перехода; $C_{\text{пер}}$ - емкость р-п-перехода; $r_{\text{б}}$ - омическое сопротивление тела базы и эмиттера; C - межэлектродная емкость выводов

Рисунок 7.10. Условное обозначение диода с барьером Шотки и его эквивалентная схема

Полупроводниковые стабилитроны

Полупроводниковые стабилитроны, называемые иногда опорными диодами, предназначены для стабилизации напряжений. Их работа основана на использовании явления электрического пробоя р-п-перехода при включении диода в обратном направлении.

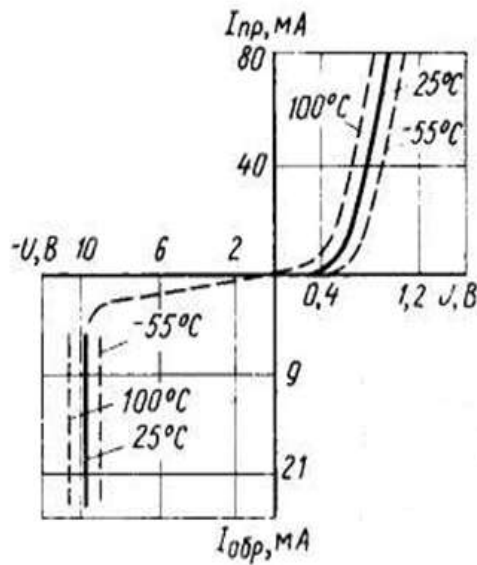
Механизм пробоя может быть туннельным, лавинным или смешанным. У низковольтных стабилитронов (с низким сопротивлением базы) более вероятен туннельный пробой. У стабилитронов с высокоомной базой пробой носит лавинный характер. Материалы, используемые для создания рп-перехода стабилитронов, имеют высокую концентрацию примесей. При этом напряженность электрического поля в рп-переходе значительно выше, чем у обычных диодов. При относительно небольших обратных напряжениях в рп-переходе возникает сильное электрическое поле, вызывающее его электрический пробой. В этом режиме нагрев диода не носит лавинообразного характера. Поэтому электрический пробой не переходит в тепловой.

В качестве примера на рисунке 7.11, а приведены вольт-амперные характеристики стабилитрона КС510А при различных температурах. На рисунке 7.11, б, в показаны условное обозначение стабилитронов и его включение в схему стабилизации напряжения.

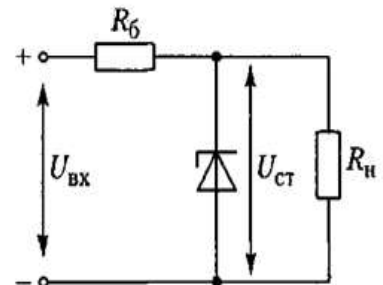
Процесс стабилизации напряжения на нагрузке протекает следующим образом.

Если, например, входное напряжение повысилось, то сопротивление стабилитрона уменьшится, ток через него возрастет, а напряжение на нагрузке почти не изменится за счет своеобразной характеристики обратной ветви стабилитрона. Излишек напряжения гасится на балластном резисторе R_b .

Напряжение стабилизации стабилитрона зависит от удельного сопротивления базы (определяемого, в свою очередь, концентрацией примеси). Чем больше удельное сопротивление базы, тем выше напряжение стабилизации. Промышленностью выпускаются стабилитроны с напряжением стабилизации 3,3-180В.



а)



б)

Рисунок 7.11. Вольт-амперная характеристика стабилитрона и включение полупроводникового стабилитрона в схему стабилизации напряжения на нагрузке (б)

Основные параметры стабилитронов:

1. Напряжение стабилизации $U_{ст}$;
2. Максимальный ток стабилизации $I_{ст, max}$;
3. Минимальный ток стабилизации $I_{ст, min}$;
4. Дифференциальное сопротивление $r_{диф}$;
5. Температурный коэффициент напряжения стабилизации $\alpha_{ст}$.

Пробойный режим не связан с инжекцией неосновных носителей. Поэтому в стабилитроне инерционные явления, связанные с накоплением и рассасыванием носителей, при переходе из области пробоя в область запираения и обратно практически отсутствуют. Это позволяет использовать их в импульсных схемах в качестве фиксаторов уровней и ограничителей.

Схема стабилизации рассчитывается так, чтобы при номинальном входном напряжении $U_{вх}$ через сопротивление нагрузки $R_{н}$ протекал требуемый ток, при котором напряжение на нагрузке и стабилитроне было равно напряжению стабилизации $U_{ст}$, а ток, протекающий через стабилитрон, был равен $I_{ст ср}$.

Для уменьшения температурного коэффициента напряжения стабилизации последовательно со стабилитроном включают дополнительный диод (рисунок 7.12, а). При этом вид вольт-амперной характеристики (рисунок 7.11, а) при прямом напряжении U изменяется и этот участок представляет обратную ветвь характеристики диода VD1. В отличие от вышерассмотренного такой компенсированный стабилитрон практически не изменяет параметры напряжения, полярность которого противоположна стабилизируемому, что удобно при построении ряда устройств. Данные

стабилитроны получили название прецизионных и выпускаются промышленностью в виде законченных компонентов, например 2С191, КС211, КС520 и др. В них дополнительно нормируются временная нестабильность напряжения стабилизации (тысячные доли процента – доли процента) и время выхода на режим, при котором обеспечивается заданная временная нестабильность (десятки минут).

В прецизионных стабилизаторах напряжения вместо резистора R_6 устанавливают стабилизатор тока. Он необходим потому, что при изменении тока через стабилитрон на величину $\Delta I_{ст}$ падение напряжения на нем меняется на $\Delta U_{ст}$ ($\Delta U_{ст} = \Delta I_{ст} r_{диф}$). Поэтому чем меньше $\Delta I_{ст}$, тем точнее будет поддерживаться требуемое значение напряжения.

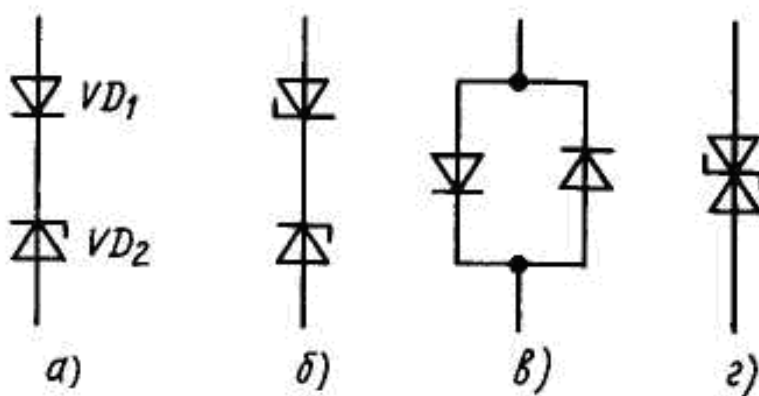


Рисунок 7.12. Температурная компенсация стабилитрона (а); включение стабилитронов для двухполярной стабилизации напряжения (б); двухполярная стабилизация с помощью термокомпенсированных стабилитронов (в); стабилитрон, имеющий двухполярное напряжение стабилизации (г)

Варикап - это полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании зависимости емкости от обратного напряжения и который предназначен для использования в качестве электрически управляемой емкости.

Варикапы широко применяют в схемах автоматической подстройки частоты, частотной модуляции, в параметрических усилителях.

Эквивалентная схема варикапа и его условное обозначение приведены на рисунке 7.13, а, б. Наличие индуктивности L_B в эквивалентной схеме объясняется в основном конструктивными особенностями варикапа.

Основные параметры варикапов:

1. Общая емкость C_B ;
2. Коэффициент перекрытия по емкости;
3. Сопротивление потерь r_n ;
4. Добротность Q_B ;
5. Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) α_{C_B} .

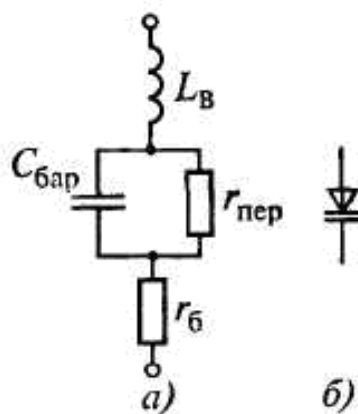


Рисунок 7.13. Эквивалентная схема варикапа (а) и его условное обозначение (б)

Диоды других типов

Кроме рассмотренных диодов некоторое распространение получили стабисторы (КС107, 2С113А, 2С119А), туннельные и сверхвысокочастотные диоды, среди которых различают сверхвысокочастотные детекторные, параметрические, переключательные и ограничительные, умножительные и настроенные.

Стабисторы, как и стабилитроны, предназначены для стабилизации напряжения. Однако в отличие от последних в них используется специальная форма прямой ветви вольт-амперной характеристики. Поэтому стабисторы работают при прямом напряжении и позволяют стабилизировать малые напряжения (0,35–1,9 В). По основным параметрам они близки к стабилитронам, но включаются в цепь стабилизации в прямом направлении.

Туннельные диоды – это полупроводниковые приборы, на вольт-амперной характеристике которых имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (участок 1 - 2 на рисунке 7.14, а). Наличие его является следствием проявления туннельного эффекта. В зависимости от функционального назначения туннельные диоды условно подразделяют на усилительные (ЗИ101, ЗИ104 и др.), генераторные (ЗИ201-ЗИ203), переключательные (ЗИ306-ЗИ309). Область их применения в настоящее время ограничена из-за большей эффективности, даваемой другими полупроводниковыми компонентами. Обращенные диоды представляют собой разновидность туннельных и характеризуются тем, что вместо участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением у них на вольт-амперной характеристике имеется практически горизонтальный участок (рисунок 1.11, в). В этих диодах прямая ветвь характеристики используется в качестве обратной (отсюда и название диодов). Обращенный диод имеет значительно меньшее прямое напряжение, чем у обычных диодов, и может быть применен для выпрямления малых напряжений. Значения обратного напряжения также малы.

Диоды, предназначенные для генерирования шумов, составляют отдельную группу полупроводниковых приборов – так называемых генераторов шума, например типа 2Г401. По виду вольт-амперных

характеристик и схеме включения они практически не отличаются от стабилитронов. Режим их работы выбирается так, чтобы обратный ток (ток пробоя) был меньше $I_{ст\ min}$. При малых токах параметры напряжения пробоя нестабильны, в результате чего возникают его колебания, происходящие случайным образом (генерируется напряжение шумов). Спектр их достаточно широкий (до 3,5 МГц), а спектральная плотность напряжения генераторов шума лежит в пределах 1,5...мкВ/√Гц, причем при изменении обратного тока спектральная плотность меняется в два раза и более.

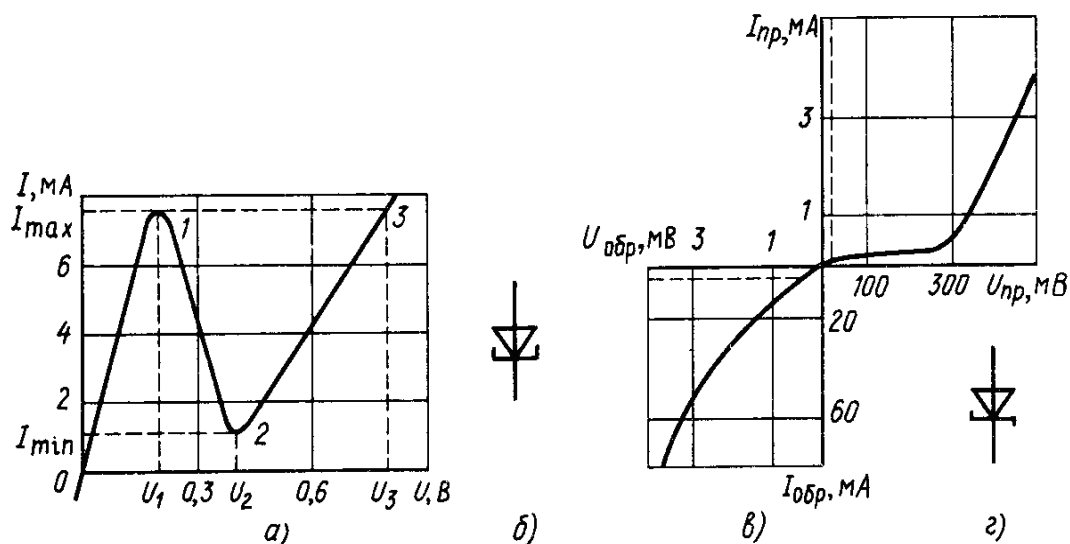


Рисунок 7.14. Вольт-амперная характеристика туннельного диода (а) и его условное обозначение (б); вольт-амперная характеристика обращенного диода (в) и его условное обозначение (г)

Сверхвысокочастотные диоды подразделяют на смесительные (2A101 - 2A109 и др), детекторные (2A201 - 2A203 и др), параметрические (1A401 - 1A408), переключательные и ограничительные (2A503 - 2A524), умножительные и настроечные (Э2A601 - 2A613), генераторные (3A703, 3A705). Это специальные типы диодов, предназначенные для работы в сантиметровом диапазоне волн, которые характеризуются параметрами, важными для работы в этом диапазоне частот.

Диоды Ганна основаны на использовании одноименного физического явления генерации высокочастотных колебаний электрического тока в полупроводнике. При создании в таком материале электрического поля определенной напряженности возникают колебания электрического поля. Частота их определяется параметрами самого диода, а не параметрами внешней резонансной системы, как это имеет место, например, в генераторах, выполненных на туннельных диодах.

Система обозначений полупроводниковых диодов

Обозначения полупроводниковых диодов состоят из шести элементов.

Первый элемент - буква, указывающая, на основе какого полупроводникового материала выполнен диод. Германий или его

соединения обозначают буквой Г, кремний и его соединения - К, соединения галлия - А. В приборах специального назначения буквы заменяются соответствующими цифрами: германий - 1, кремний - 2, соединения галлия - 3.

Второй элемент - буква, обозначающая подклассы диода: выпрямительные, импульсные, универсальные - Д, варикапы - В, туннельные и обращенные диоды - И, стабилитроны - С, сверхвысокочастотные - А.

Третий элемент - цифра, определяющая назначение диода (от 101 до 399 - выпрямительные; от 401 до 499 - универсальные; от 501 до 599 - импульсные). У стабилитронов эта цифра определяет мощность рассеяния.

Четвертый и пятый элементы - цифры, определяющие порядковый номер разработки (у стабилитронов эти цифры показывают номинальное напряжение стабилизации).

Шестой элемент - буква, показывающая деление технологического типа на параметрические группы (приборы одного типа по значениям параметров подразделяются на группы). У стабилитронов буквы от А до Я определяют последовательность разработки, например: КД215А, ГД412А, 2Д504А, КВ101А, КС168А и т. д.

Пример: ГД412А. Г – германиевый; Д - диод; 4 - универсальный; 12 - номер разработки; А - группа.

7.1.2 Принцип работы биполярного транзистора, классификация и эксплуатация

Транзисторами называются полупроводниковые приборы, способные усиливать электрическую мощность, имеющие три или более выводов, один или более $p-n$ переходов. Они предназначены для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний. В зависимости от того, носители одного или обоих типов участвуют в образовании тока, различают униполярные и биполярные транзисторы соответственно.

Устройство биполярного транзистора

Биполярный транзистор – это полупроводниковый триод с двумя взаимодействующими $p-n$ переходами, усилительные свойства которого обусловлены явлениями инжекции и экстракции носителей заряда. Биполярными они называются, так как играют роль оба типа носителей: электроны и дырки.

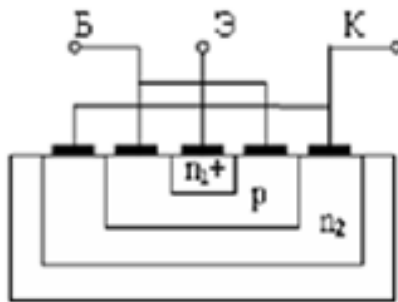


Рисунок 7.15. Структура биполярного транзистора

Транзистор имеет три слоя, соответственно три электрода и два p - n перехода (рисунок 7.15). Площадь между n_1 - p намного меньше, чем между p - n_2 . Структура транзистора несимметрична. Слой, сильно легированный с меньшей площадью ю, служащий для инжекции носителей в базу, называется эмиттером (Э). Слой с большей площадью, служащий для экстракции носителей из базы и собирающий эти носители, называется коллектором (К). Средний слой, управляющий движением носителей от эмиттера к коллектору, называется базой (Б).

Через базу осуществляется также связь двух p - n переходов, которые называются соответственно эмиттерным (ЭП) и коллекторным (КП) переходами. Взаимодействие переходов обеспечивается очень малой толщиной базы между переходами (несколько десятков микрон). В любом случае она должна быть намного меньше диффузионной длины неосновных носителей в базе. Кроме того, электропроводность базы должна быть значительно меньше электропроводности эмиттера.

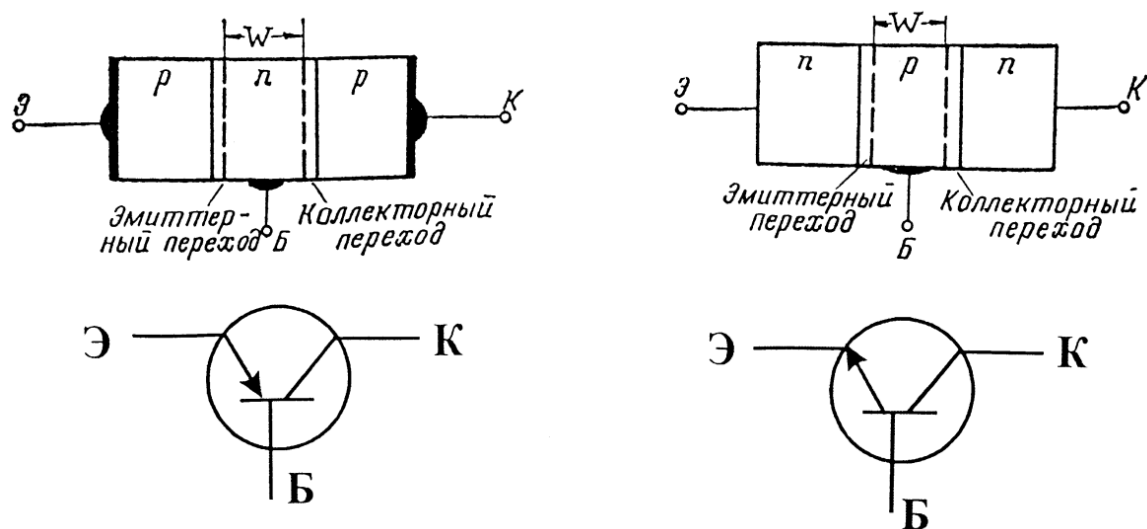


Рисунок 7.16. Транзисторы n - p - n и p - n - p типов

Транзисторы с однородной базой называются бездрейфовыми, с неоднородной – дрейфовыми. В зависимости от последовательности расположения типов слоев полупроводника различают транзисторы n - p - n (рисунок 7.16, а) и p - n - p (рисунок 7.16, б) - типов.

Принцип работы транзисторов обоих типов одинаков, различие заключается лишь в том, что в транзисторе n - p - n -типа через базу к коллектору движутся электроны, инжектированные эмиттером, а в транзисторе p - n - p -типа – дырки. Для этого к электродам транзистора подключают источники питания обратной полярности. В микросхемах главным образом используются n - p - n -транзисторы, а p - n - p -типа – используется в сочетании с n - p - n и пара называется комплементарной, в дискретном исполнении – в основном p - n - p -типа.

Режимы работы биполярного транзистора. В зависимости от напряжения смещения переходов различают три режима включения: активный, отсечки и насыщения.

В активном режиме один из переходов смещен в прямом направлении, второй – в обратном. Если в прямом направлении включен эмиттерный переход, то такой режим называется нормальным активным или усилительным. В инверсном активном режиме ЭП смещен в обратном направлении, а КП – в прямом.

В режиме отсечки оба перехода смещены в обратном направлении. В этом случае токи во внешних цепях малы и соизмеримы с обратным током одного из переходов. Или, другими словами, транзистор заперт.

В режиме насыщения оба перехода смещены в прямом направлении, т.е. открыты. В базу инжектируют неосновные носители из области эмиттера и из области коллектора (режим двойной инжекции). Так как оба перехода открыты, то на структуре падает небольшое напряжение.

Необходимо отметить, что в активном режиме управление транзистором осуществляется в полной мере, и он исполняет роль активного элемента. В режимах отсечки и насыщения усиление практически отсутствует.

Принцип действия транзистора в активном усилительном режиме

Физические процессы в транзисторной структуре определяются состоянием эмиттерного и коллекторного переходов. В активном нормальном режиме при подключении к электродам транзистора напряжений $E_{эб}$ и $E_{кб}$, как показано на рисунке 7.17, эмиттерный переход смещается в прямом направлении, а коллекторный – в обратном.

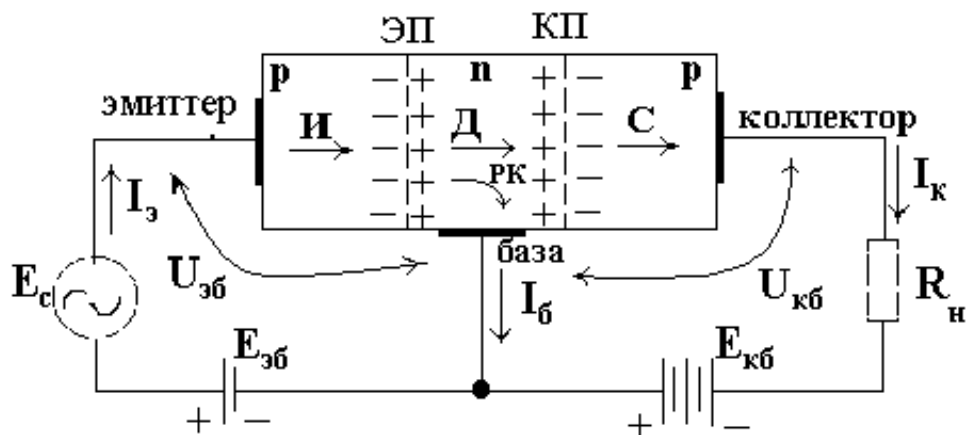


Рисунок 7.17. Принцип работы биполярного транзистора

В результате снижения потенциального барьера электроны из области эмиттера диффундируют через эмиттерный переход в область базы (инжекция электронов), а дырки – из базы в область эмиттера. Однако, поскольку удельное сопротивление базы высокое, электронный поток носителей заряда преобладает над дырочным, то есть в базе повышается концентрация электронов.

Коллекторный переход смещен в обратном направлении, за счет этого усиливается экстракция электронов из базы в коллектор, то есть в базе на границе с коллектором уменьшается концентрация электронов.

В базе создается градиент концентраций электронов, поэтому электроны диффундируют от ЭП к КП.

Большинство электронов, инжектированных в базу, не успевают рекомбинировать в ней с дырками. Рекомбинирует только небольшая часть электронов (примерно 1%) . Остальные 99% электронов идут к коллектору, попадают в ускоренное поле коллекторного перехода и втягиваются в коллектор (экстракция электронов). Для нейтральности базы из нее во внешнюю цепь по выводу уходит часть электронов, равная рекомбинировавшей, которая и создает ток базы.

Таким образом, ток эмиттерного перехода несколько больше тока коллекторного перехода. Коэффициент передачи тока эмиттера в цепь коллектора $\alpha = I_{kn}/I_{\text{э}}$. Для реальных структур $\alpha = 0,9 \div 0,99$.

Сопротивление эмиттерного перехода мало (сотни Ом), а сопротивление коллекторного перехода составляет сотни килоом. Допустим, в коллекторную цепь последовательно включено сопротивление нагрузки $R_{\text{н}} \approx 1\text{кОм}$, оно не повлияет на режим работы транзистора, но на сопротивлении можно снять большое напряжение.

Включение в цепь эмиттера источника переменного сигнала $E_{\text{с}}$ вызывает изменение числа инжектируемых в базу неосновных носителей заряда и соответствующее изменение тока эмиттера и коллектора в такт с $E_{\text{с}}$. На нагрузке $R_{\text{н}}$ будет выделяться усиленное напряжение с частотой, равной частоте входного сигнала, но при этом напряжение выходного сигнала намного больше входного сигнала $E_{\text{с}}$. Таким вот образом происходит усиление сигнала.

Токи в транзисторе

По первому закону Кирхгофа для транзистора ток эмиттера равен сумме тока базы и тока коллектора

$$I_{\text{э}} = I_{\text{б}} + I_{\text{к}}$$

где $I_{\text{э}} = I_{\text{эп}} + I_{\text{эрек}} + I_{\text{кн}}$ – ток эмиттера;

$I_{\text{б}} = I_{\text{эп}} + I_{\text{эрек}} - I_{\text{к0}}$ – ток базы. Этот ток составляет не более 1% от тока эмиттера;

$I_{\text{к0}}$ – тепловой ток коллекторного перехода.

Ток коллектора равен $I_{\text{к}} = I_{\text{к0}} + I_{\text{кн}}$, где $I_{\text{кн}} = \alpha I_{\text{э}}$.

Отсюда $I_{\text{к}} = \alpha I_{\text{э}} + I_{\text{к0}}$.

Таким образом, в схемах с транзистором имеются две цепи: входная, в которую включается источник усиливаемых колебаний, и выходная, в которую включается нагрузочное сопротивление. Ток эмиттера $I_{\text{э}}$ здесь является управляющим током, ток коллектора $I_{\text{к}}$ – управляемым, а ток базы $I_{\text{б}}$ – их разностью.

Схемы включения транзисторов

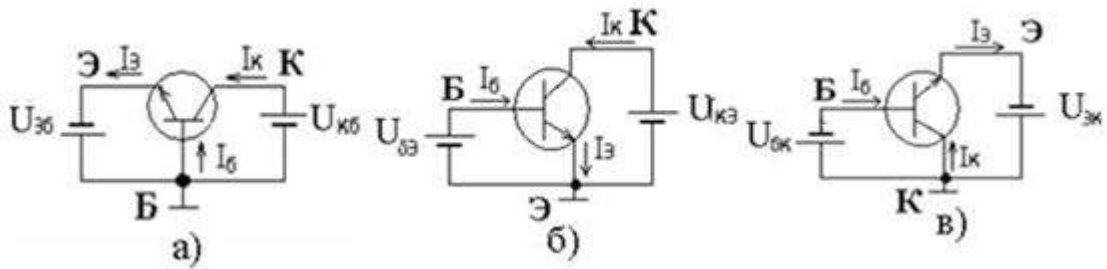


Рисунок 7.18. Схемы включения биполярного транзистора

В зависимости от того, какой из выводов транзистора является общим между источником сигнала на входе и выходной цепью транзистора, существуют три основные схемы включения транзистора в электрическую цепь: с общей базой (ОБ, рисунок 7.18, а), с общим эмиттером (ОЭ, рисунок 7.18, б), с общим коллектором (ОК, 7.18, в).

Основные параметры транзистора по схеме с общей базой:

а) коэффициент усиления по току $K_I = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_{\text{э}}} = \alpha \approx 0,9 \div 0,99$. Ток не усиливается, $I_{\text{вых}} < I_{\text{вх}}$, что является недостатком схемы;

б) коэффициент усиления по напряжению $K_U = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вх}}} = \frac{\Delta I_k \cdot R_k}{\Delta I_{\text{э}} \cdot R_{\text{вх}}} = \alpha \cdot \frac{R_k}{R_{\text{вх}}}$

Так как всегда можно подобрать $R_k \gg R_{\text{вх}}$, то $K_U \gg 1$, усиление по напряжению в сотни раз;

в) коэффициент усиления по мощности $K_P = K_I \cdot K_U$ – десятки – сотни;

г) входное сопротивление $R_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{\text{эб}}}{\Delta I_{\text{э}}}$ – десятки и сотни Ом, малое входное сопротивление является недостатком схемы, так как оно заколачивает источник сигнала, т.е. требуется большой входной ток;

д) выходное сопротивление $R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{кб}}}{\Delta I_k}$ – от сотен килоОм до единиц мегаОм;

е) фазовый сдвиг выходного напряжения равен нулю.

Недостатки схемы включения с ОБ:

а) нет усиления по току ($\alpha < 1$);

б) мало входное сопротивление $R_{\text{вх}}$;

в) большая разница между входным и выходным сопротивлениями, вследствие чего невозможно построение многокаскадной схемы с ОБ.

Достоинства:

а) высокий коэффициент усиления по напряжению и по мощности;

б) более высокие рабочие частоты, меньше частотные искажения;

в) меньше температурная нестабильность;

г) высокая линейность характеристик.

Схема с ОБ применяется в стабилизаторах тока и в схемах с более высокой рабочей частотой.

Основные параметры транзистора по схеме с общим эмиттером

Наиболее часто на практике применяют схему включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ). При таком включении входным электродом является база, эмиттер заземляется (общий электрод), а выходным электродом по-прежнему является коллектор (рисунок 7.18, б).

В схеме с общим эмиттером:

а) коэффициент усиления по току $K_I = \beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_6} | U_{кэ} = const$ и равен нескольким десяткам и единицам сотен, Параметр β связан с коэффициентом передачи тока эмиттера соотношением

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_6} = \frac{\Delta I_k / \Delta I_3}{\frac{\Delta I_3 - \Delta I_k}{\Delta I_3}}; \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}; \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

б) коэффициент усиления по напряжению $K_U = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = \frac{\Delta I_k \cdot R_n}{\Delta I_6 \cdot R_{вх}} = \beta \frac{R_n}{R_{вх}}$, так как $R_n \gg R_{вх}$, $\beta \gg 1$, то $K_U \gg 1$ (сотни);

в) коэффициент усиления по мощности $K_P = K_I \cdot K_U$ – десятки тысяч;

г) входное сопротивление $R_{вх} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_6}$ – сотни Ом и единицы килоОм.

Входное сопротивление схемы с общим эмиттером больше входного сопротивления схемы с общей базой;

д) выходное сопротивление $R_{вых} = \frac{\Delta U_{кб}}{\Delta I_k}$ десятки килоОм.

Таким образом, $R_{вых ОЭ} < R_{вых ОБ}$, $R_{вх ОЭ} > R_{вх ОБ}$;

е) фазовый сдвиг выходного напряжения $\varphi = \pi$.

В схеме включения с общим коллектором коллектор является общей точкой входа и выхода, поскольку источники питания E_b и E_k всегда шунтированы конденсаторами большой ёмкости и для переменного тока могут считаться короткозамкнутыми.

$$I_{вх} = I_6$$

$$I_{вых} = I_3$$

$$U_{вх} = U_{бк}$$

$$U_{вых} = U_{кэ}$$

$$I_{вых} / I_{вх} = I_3 / I_6 = (I_k + I_6) / I_6 = \beta + 1 = n$$

$$n = 10 \dots 100$$

$$R_{вх} = U_{бк} / I_6 = n (10 \text{ч} 100) \text{ кОм}$$

Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь. Нетрудно видеть, что входное напряжение равно сумме переменного напряжения база - эмиттер $U_{бэ}$ и выходного напряжения. Коэффициент усиления по току каскада с общим коллектором почти такой же, как и в схеме с ОЭ, т. е. равен нескольким десяткам. Однако, в отличие от каскада с ОЭ, коэффициент усиления по напряжению схемы с

ОК близок к единице, причем, всегда меньше её. Переменное напряжение, поданное на вход транзистора, усиливается в десятки раз (так же, как и в схеме ОЭ), но весь каскад не даёт усиления. Коэффициент усиления по мощности равен примерно нескольким десяткам.

Рассмотрев полярность переменных напряжений в схеме, можно установить, что фазового сдвига между $U_{вых}$ и $U_{вх}$ нет. Значит, выходное напряжение совпадает по фазе с входным и почти равно ему. То есть, выходное напряжение повторяет входное. Именно поэтому данный каскад обычно называют эмиттерным повторителем.

Эмиттерным – потому, что резистор нагрузки включен в провод вывода эмиттера и выходное напряжение снимается с эмиттера (относительно корпуса). Так как входная цепь представляет собой закрытый коллекторный переход, входное сопротивление каскада по схеме ОК составляет десятки килоОм, что является важным достоинством схемы. Выходное сопротивление схемы с ОК, наоборот, получается сравнительно небольшим, обычно единицы килоОм или сотни Ом. Эти достоинства схемы с ОК побуждают использовать её для согласования различных устройств по входному сопротивлению.

Недостатком схемы является то, что она не усиливает напряжение – коэффициент усиления чуть меньше 1.

7.1.3 Параметры и характеристики полевых транзисторов

Полевой транзистор – это электропреобразовательный прибор, в котором ток, протекающий через канал, управляется электрическим полем, возникающим при приложении напряжения между затвором и истоком, и который предназначен для усиления мощности электромагнитных колебаний.

К классу полевых относят транзисторы, принцип действия которых основан на использовании носителей заряда только одного знака (электронов или дырок). Управление током в полевых транзисторах осуществляется изменением проводимости канала, через который протекает ток транзистора под воздействием электрического поля. Вследствие этого транзисторы называют полевыми.

По способу создания канала различают полевые транзисторы с затвором в виде управляющего р-n- перехода и с изолированным затвором (МДП - или МОП - транзисторы): встроенным каналом и индуцированным каналом.

В зависимости от проводимости канала полевые транзисторы делятся на: полевые транзисторы с каналом р- типа и n- типа. Канал р- типа обладает дырочной проводимостью, а n- типа – электронной.

Полевые транзисторы с управляющим р-n переходом

Полевой транзистор с управляющим р-n- переходом – это полевой транзистор, затвор которого отделен в электрическом отношении от канала р-n-переходом, смещенным в обратном направлении.

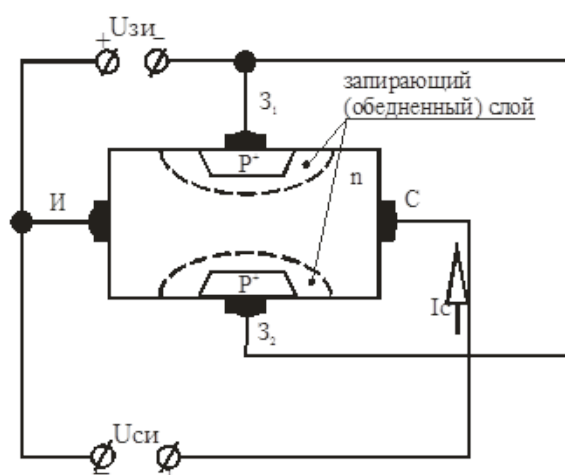


Рисунок 7.19. Устройство полевого транзистора с управляющим р-п-переходом (каналом n- типа)



Рисунок 7.20. Условное обозначение полевого транзистора с р-п-переходом и каналом n- типа (а), каналом р- типа (б)

Каналом полевого транзистора называют область в полупроводнике, в которой ток основных носителей заряда регулируется изменением ее поперечного сечения.

Электрод (вывод), через который в канал входят основные носители заряда, называют истоком. Электрод, через который из канала уходят основные носители заряда, называют стоком. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала за счет управляющего напряжения, называют затвором.

Как правило, выпускаются кремниевые полевые транзисторы. Кремний применяется потому, что ток затвора, т.е. обратный ток р-п-перехода, получается во много раз меньше, чем у германия.

Условные обозначения полевых транзисторов с каналом n- и р- типов приведены на рис.7.20.

Полярность внешних напряжений, подводимых к транзистору, показана на рис.7.19. Управляющее (входное) напряжение подается между затвором и истоком. Напряжение $U_{зи}$ является обратным для обоих р-п-переходов. Ширина р-п- переходов, а, следовательно, эффективная площадь поперечного сечения канала, его сопротивление и ток в канале зависят от этого напряжения. С его ростом расширяются р-п- переходы, уменьшается площадь сечения токопроводящего канала, увеличивается его сопротивление, а, следовательно, уменьшается ток в канале. Следовательно, если между истоком и стоком включить источник напряжения $U_{си}$, то силой тока стока I_c , протекающего через канал, можно управлять путем изменения

сопротивления (сечения) канала с помощью напряжения, подаваемого на затвор. На этом принципе и основана работа полевого транзистора с управляющим р-п- переходом.

При напряжении $U_{зи} = 0$ сечение канала наибольшее, его сопротивление наименьшее и ток I_c получается наибольшим.

Ток стока $I_{снач}$ при $U_{зи} = 0$ называют начальным током стока.

Напряжение $U_{зи}$, при котором канал полностью перекрывается, а ток стока I_c становится весьма малым (десятые доли микроампер), называют напряжением отсечки $U_{зиотс}$.

Статические характеристики полевого транзистора с управляющим р-п- переходом

Рассмотрим вольт-амперные характеристики полевых транзисторов с р-п-переходом. Для этих транзисторов представляют интерес два вида вольт-амперных характеристик: стоковые и стоко-затворные.

Стоковые (выходные) характеристики полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа показаны на рис.7.21, а. Они отражают зависимость тока стока от напряжения $U_{си}$ при фиксированном напряжении $U_{зи}$: $I_c = f(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$.

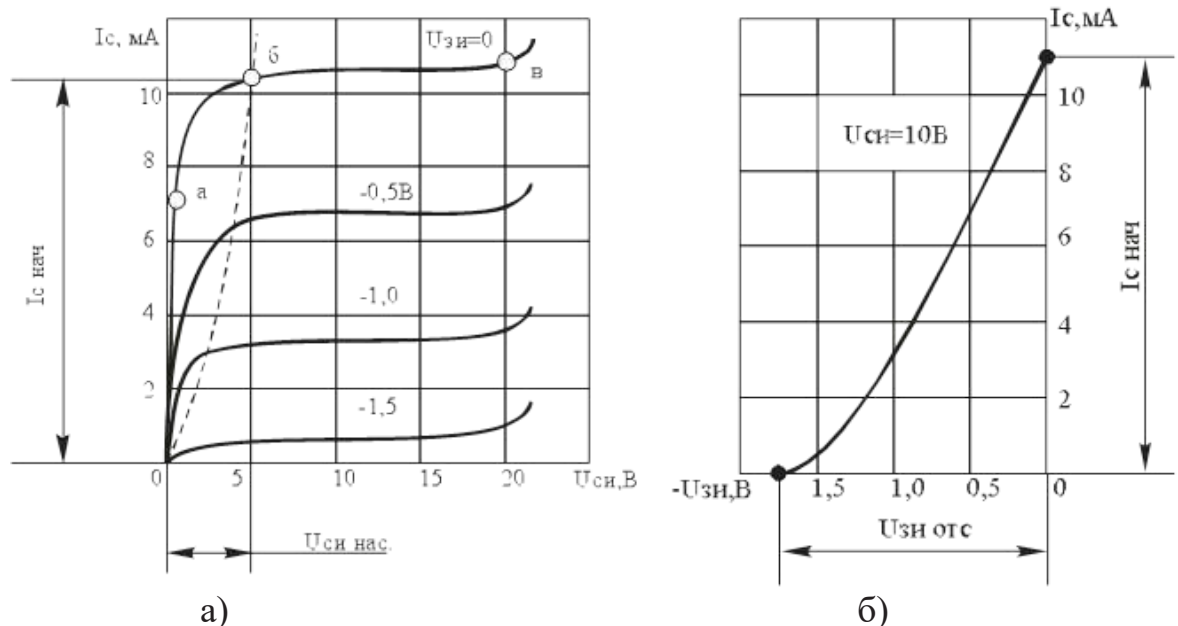


Рисунок 7.21. Вольт-амперные характеристики полевого транзистора с р-п-переходом и каналом п-типа: а – стоковые (выходные); б – стоко-затворная

Особенностью полевого транзистора является то, что на проводимость канала оказывает влияние как управляющее напряжение $U_{зи}$, так и напряжение $U_{си}$. При $U_{си} = 0$ выходной ток $I_c = 0$. При $U_{си} > 0$ ($U_{зи} = 0$) через канал протекает ток I_c , в результате чего создается падение напряжения, возрастающее в направлении стока. Суммарное падение напряжения участка исток-сток равно $U_{си}$. Повышение напряжения $U_{си}$ вызывает увеличение падения напряжения в канале и уменьшение его сечения, а следовательно,

уменьшение проводимости канала. При некотором напряжении $U_{си}$ происходит сужение канала, при котором границы обоих р-п-переходов смыкаются и сопротивление канала становится высоким. Такое напряжение $U_{си}$ называют напряжением перекрытия или напряжением насыщения $U_{си\text{нас}}$. При подаче на затвор обратного напряжения $U_{зи}$ происходит дополнительное сужение канала, и его перекрытие наступает при меньшем значении напряжения $U_{си\text{нас}}$. В рабочем режиме используются пологие (линейные) участки выходных характеристик.

Стоко-затворная характеристика полевого транзистора показывает зависимость тока I_c от напряжения $U_{зи}$ при фиксированном напряжении $U_{си}$: $I_c=f(U_{си})$ при $U_{си}=\text{const}$ (рис.7.21, б).

Основные параметры

- максимальный ток стока $I_{c\text{max}}$ (при $U_{зи}=0$);
- максимальное напряжение сток-исток $U_{си\text{max}}$;
- напряжение отсечки $U_{зи\text{отс}}$;
- внутреннее (выходное) сопротивление r_i – представляет собой сопротивление транзистора между стоком и истоком (сопротивление канала) для переменного тока:

$$r_i = \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c}$$

при $U_{зи}=\text{const}$;

- крутизна стоко-затворной характеристики:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}}$$

при $U_{си}=\text{const}$, отображает влияние напряжения затвора на выходной ток транзистора;

- входное сопротивление $r_{вх} = \frac{\Delta U_{зи}}{\Delta I_3}$ при $U_{си}=\text{const}$ транзистора определяется сопротивлением р-п-переходов, смещенных в обратном направлении. Входное сопротивление полевых транзисторов с р-п-переходом довольно велико (достигает единиц и десятков мегаОм), что выгодно отличает их от биполярных транзисторов.

Полевые транзисторы с изолированным затвором

Полевой транзистор с изолированным затвором (МДП-транзистор) – это полевой транзистор, затвор которого отделен в электрическом отношении от канала слоем диэлектрика.

МДП-транзисторы (структура: металл-диэлектрик-полупроводник) выполняют из кремния. В качестве диэлектрика используют окисел кремния SiO_2 , отсюда другое название этих транзисторов – МОП-транзисторы (структура: металл-окисел-полупроводник). Наличие диэлектрика обеспечивает высокое входное сопротивление рассматриваемых транзисторов ($10^{12} \dots 10^{14}$ Ом).

Принцип действия МДП-транзисторов основан на эффекте изменения проводимости приповерхностного слоя полупроводника на границе с

диэлектриком под воздействием поперечного электрического поля. Приповерхностный слой полупроводника является токопроводящим каналом этих транзисторов. МДП - транзисторы выполняют двух типов – со встроенным и с индуцированным каналом.

Рассмотрим особенности МДП-транзисторов со встроенным каналом. Конструкция такого транзистора с каналом n-типа показана на рис.7.22, а. В исходной пластинке кремния р-типа с относительно высоким удельным сопротивлением, которую называют подложкой, с помощью диффузионной технологии созданы две сильнолегированные области с противоположным типом электропроводности – p. На эти области нанесены металлические электроды – исток и сток. Между истоком и стоком имеется тонкий приповерхностный канал с электропроводностью n-типа. Поверхность кристалла полупроводника между истоком и стоком покрыта тонким слоем (порядка 0,1 мкм) диэлектрика. На слой диэлектрика нанесен металлический электрод – затвор. Наличие слоя диэлектрика позволяет в таком полевом транзисторе подавать на затвор управляющее напряжение обеих полярностей.

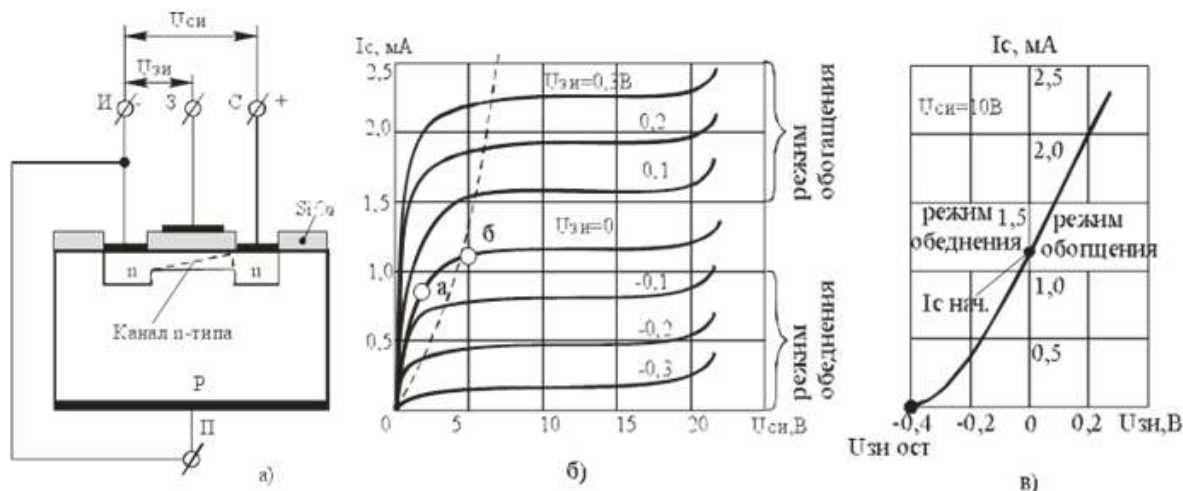


Рисунок 7.22. Конструкция МДП-транзистора со встроенным каналом n-типа (а); семейство его стоковых характеристик (б); стоко-затворная характеристика (в)

При подаче на затвор положительного напряжения, электрическим полем, которое при этом создается, дырки из канала будут выталкиваться в подложку, а электроны вытягиваться из подложки в канал. Канал обогащается основными носителями заряда – электронами, его проводимость увеличивается, и ток стока возрастает. Этот режим называют режимом обогащения.

При подаче на затвор напряжения, отрицательного относительно истока, в канале создается электрическое поле, под влиянием которого электроны выталкиваются из канала в подложку, а дырки втягиваются из подложки в канал. Канал обедняется основными носителями заряда, его проводимость уменьшается, и ток стока уменьшается. Такой режим транзистора называют режимом обеднения.

В таких транзисторах при $U_{зи}=0$, если приложить напряжение между стоком и истоком ($U_{си}>0$), протекает ток стока $I_{снач}$, называемый начальным и, представляющий собой поток электронов.

Конструкция МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа показана на рис.7.23, а

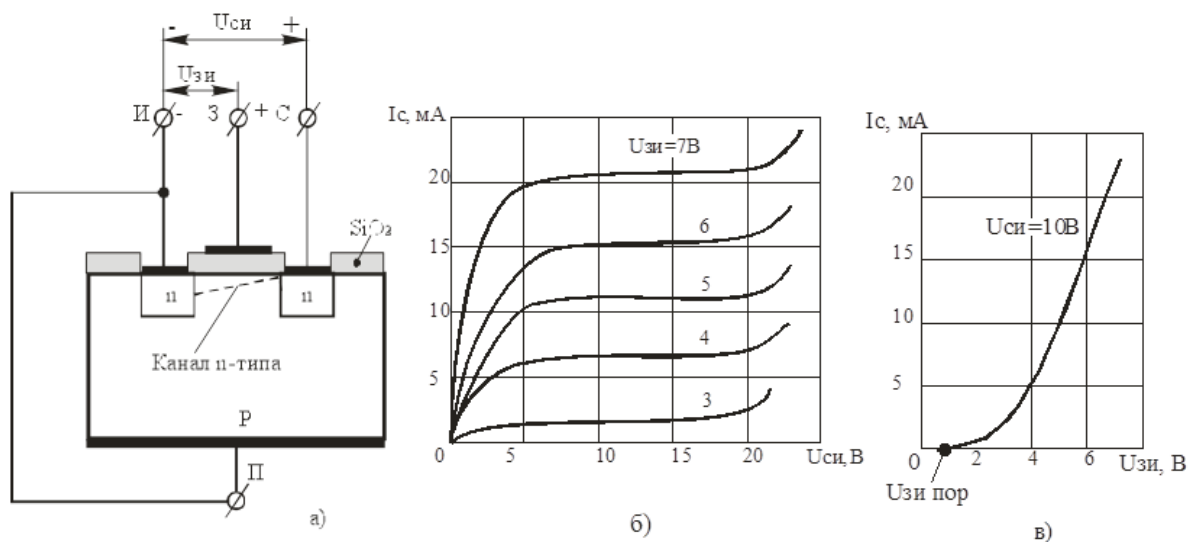


Рисунок 7.23. Конструкция МДП - транзистора с индуцированным каналом n-типа (а); семейство его стоковых характеристик (б); стоко-затворная характеристика (в)

Канал проводимости тока здесь специально не создается, а образуется (индуцируется) благодаря притоку электронов из полупроводниковой пластины (подложки) в случае приложения к затвору напряжения положительной полярности относительно истока. При отсутствии этого напряжения канала нет, между истоком и стоком n-типа расположен только кристалл р-типа и на одном из р-n-переходов получается обратное напряжение. В этом состоянии сопротивление между истоком и стоком очень велико, т.е. транзистор заперт. Но если подать на затвор положительное напряжение, то под влиянием поля затвора электроны будут перемещаться из областей истока и стока и из р-области (подложки) по направлению к затвору. Когда напряжение затвора превысит некоторое отпирающее, или пороговое, значение $U_{зи\text{ пор}}$, то в приповерхностном слое концентрация электронов превысит концентрацию дырок, и в этом слое произойдет инверсия типа электропроводности, т.е. индуцируется токопроводящий канал n-типа, соединяющий области истока и стока, и транзистор начинает проводить ток. Чем больше положительное напряжение затвора, тем больше проводимость канала и ток стока. Таким образом, транзистор с индуцированным каналом может работать только в режиме обогащения.

Условные обозначения МДП-транзисторов приведены на рис.7.24.

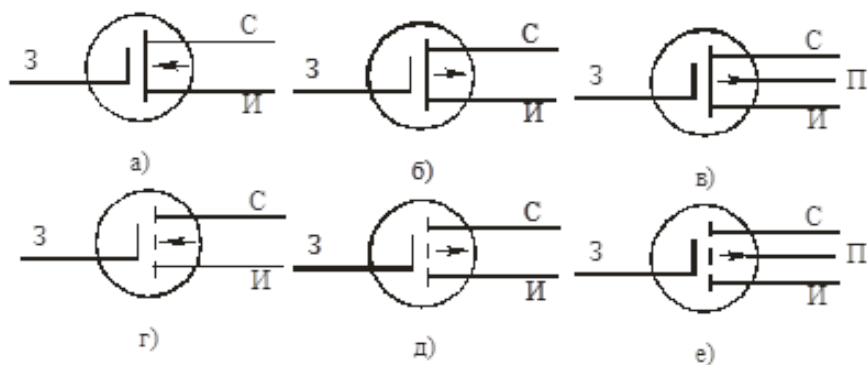


Рисунок 7.24. Условное обозначение МДП-транзисторов:

а – со встроенным каналом n- типа;

б – со встроенным каналом p- типа;

в – с выводом от подложки;

г – с индуцированным каналом n- типа;

д – с индуцированным каналом p- типа;

е – с выводом от подложки

Схемы включения полевых транзисторов

Как и у биполярных транзисторов есть три типовых схемы включения:

1. С общим истоком (а). Используется чаще всех, даёт усиление по току и мощности.

2. С общим затвором (б). Редко используется, низкое входное сопротивление, усиления нет.

3. С общим стоком (в). Усиление по напряжению близко к 1, большое входное сопротивление, а выходное низкое. Другое название – истоковый повторитель.

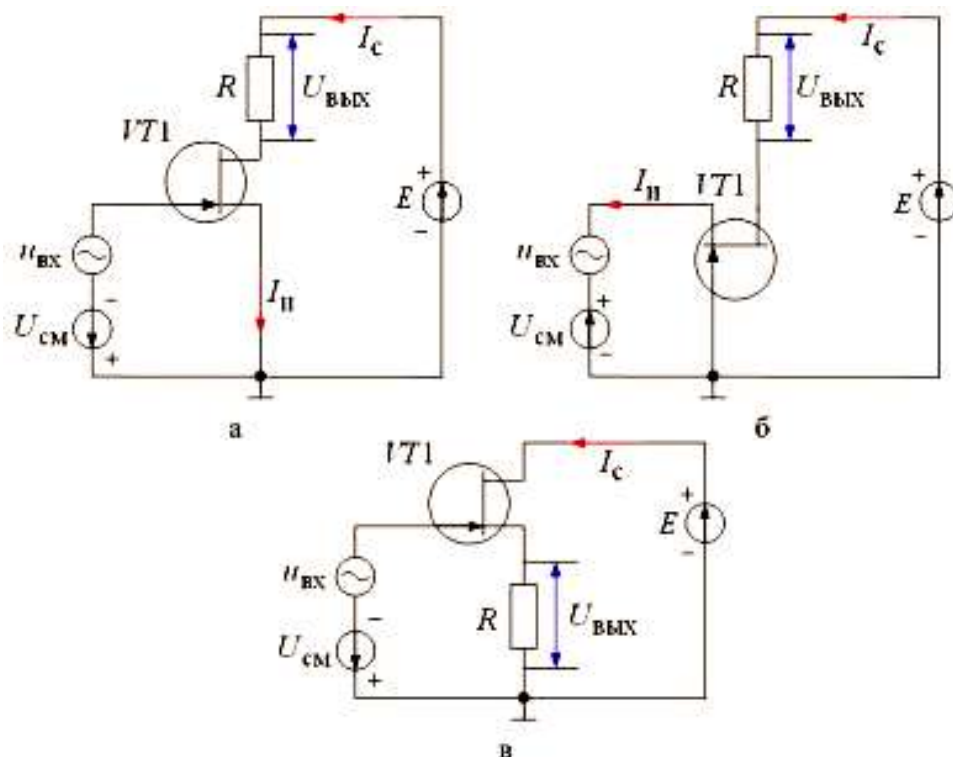


Рисунок 7.25. Схемы включения полевых транзисторов

Особенности, преимущества, недостатки

Главное преимущество полевого транзистора – высокое входное сопротивление. Входное сопротивление это отношения тока к напряжению затвор-исток. Принцип действия лежит в управлении с помощью электрического поля, а оно образуется при приложении напряжения. То есть полевые транзисторы управляются напряжением.

Полевой транзистор практически не потребляет тока управления, это снижает потери управления, искажения сигнала, перегрузку по току источника сигнала...

В среднем частотные характеристики полевых транзисторов лучше, чем у биполярных, это связано с тем, что нужно меньше времени на «рассасывание» носителей заряда в областях биполярного транзистора. Некоторые современные биполярные транзисторы могут и превосходить полевые, это связано с использованием более совершенных технологий, уменьшения ширины базы и прочего.

Низкий уровень шумов у полевых транзисторов обусловлен отсутствием процесса инжекции зарядов, как у биполярных.

Стабильность при изменении температуры.

Малое потребление мощности в проводящем состоянии – большой КПД ваших устройств.

Простейший пример использования высокого входного сопротивления – это приборы согласователи для подключения электроакустических гитар с пьезозвукоснимателями и электрогитар с электромагнитными звукоснимателями к линейным входам с низким входным сопротивлением.

Низкое входное сопротивление может вызвать просадки входного сигнала, исказив его форму в разной степени в зависимости от частоты сигнала. Это значит, что нужно этого избежать, введя каскад с высоким входным сопротивлением. Вот простейшая схема такого устройства. Подойдет для подключения электрогитар в линейный вход аудио-карты компьютера. С ней звук станет ярче, а тембр богаче.

Главным недостатком является то, что такие транзисторы боятся статики. Вы можете взять наэлектризованными руками элемент, и он тут же выйдет из строя, это и есть следствие управления ключом с помощью поля. С ними рекомендуют работать в диэлектрических перчатках, подключенным через специальный браслет к заземлению, низковольтным паяльником с изолированным жалом, а выводы транзистора можно обвязать проволокой, чтобы закоротить их на время монтажа.

Современные приборы практически не боятся этого, поскольку по входу в них могут быть встроены защитные устройства типа стабилитронов, которые срабатывают при превышении напряжения.

7.2 ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Оптоэлектроника – область электроники, занимающаяся вопросами преобразования оптических сигналов в электрические и наоборот. Оптоэлектроника (ОЭ), возникла на стыке трех наук – физики твёрдого тела,

оптики и электроники. Элементную базу ОЭ составляют: источники света, оптические среды (световоды) и фотоприемники.

7.2.1 Световоды

Световоды – пучки тончайших нитей из прозрачного стекла, по которым свет распространяется в результате многократного внутреннего отражения от стенок. Через стекловолокно толщиной примерно нескольких микрон может быть передано более ста оптических сигналов с незначительными потерями. Если волокна изготовлены с примесью определенных химических элементов, то они могут усиливать световой сигнал.

7.2.2 Источники света (ИС)

Принцип действия ИС основан на использовании индуцированного излучения и электролюминесценции.

Индуцированное излучение осуществляется под действием внешних фотонов. Излучатели, работающие на этом принципе, – лазеры (аббревиатура от слов: light amplification by stimulated emission of radiation – усиление света за счёт индуцированного излучения).

В основе работы светодиода лежит излучательная рекомбинация в *p-n*-переходе. При прямом смещении инжектированные неосновные носители вблизи перехода рекомбинируют в базе с основными. При этом излучаются кванты света. Излучение может быть в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой частях спектра.

Используются плоская и полусферическая конструкции. Плоская конструкция наиболее простая. Рабочая поверхность большая (несколько мм²), но мала эффективность. Используется в матричных устройствах с большой плотностью упаковки.

Полусферическая конструкция по технологии сложнее, но выигрывает в эффективности. Это делает её более предпочтительной.

Фотоприёмники. В фотоприемнике или фотоэлектрическом приборе происходит преобразование лучистой энергии в электрическую. Строится на трех основных фотоэлектрических явлениях:

а) внутренний фотоэффект – изменение электропроводности проводника при его освещении за счёт увеличения концентрации носителей тока (фоторезистор);

б) фотоэффект в запирающем слое – возникновение ЭДС на границе двух материалов под воздействием света (фотодиод, фототранзистор);

в) внешний фотоэффект – испускание электронов веществом под действием света – фотоэлектронная эмиссия (фотоэлемент, фотоэлектронный умножитель).

Рассмотрим фотодиод – фотоэлектронный прибор, в основу работы которого положен фотоэффект в запирающем слое, возникает ЭДС в *p-n* переходе под действием светового потока.

Имеет структуру обычного $p-n$ перехода. Изготавливается из германия или кремния, чаще кремния, так как он имеет более высокий коэффициент преобразования. При облучении происходит ионизация атомов исходного вещества в $p-n$ переходе. Увеличивается собственная электропроводность, т.е. количество пар электронов и дырок.

Фотодиод может включаться без и с внешним источником:

а) без внешнего источника – называется вентильным или фотогенераторным режимом;

б) при наличии внешнего источника питания $E_{вн}$ – фотодиодным или фотопреобразовательным режимом.

Фотодиоды применяются для регистрации слабых низкочастотных световых сигналов, при преобразовании световой энергии в электрическую (солнечные батареи, источники питания), автоматике, фотометрии, при контроле наличия источников излучения и др.

7.3.ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

7.3.1 Оптроны

Оптрон - это активный элемент, сочетающий источник света и согласованный с ним фотоприемник, в котором внешний электрический сигнал преобразуется в оптический, усиливается, затем снова преобразуется в электрический, либо наоборот, но обязательно коэффициент усиления должен быть больше единицы.

Основное достоинство – возможность разделения входной и выходной цепей, т.е. имеет место гальваническая или оптическая развязка.

Оптроны подразделяются на два вида:

а) оптрон с внешней фотонной связью и внутренней электрической;

б) оптрон с внутренней фотонной связью и с внешней электрической.

Оптроны используются для преобразования, усиления, генерирования, формирования электрического сигнала и т.д.

В основном в качестве источника света в оптронах используется светодиод инжекционный. Спектр излучения зависит от материала изготовления и различается типом фотоприемника.

7.3.2 Аналоговые электронные устройства

Электронные устройства делятся на аналоговые и цифровые.

Аналоговые (АЭУ) – это устройства, предназначенные для усиления, преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции. Преимущества аналоговых устройств (сравнительная простота, надежность и быстродействие) обеспечили им самое широкое применение.

Цифровые устройства служат для обработки импульсных сигналов в двоичном или каком-либо другом коде.

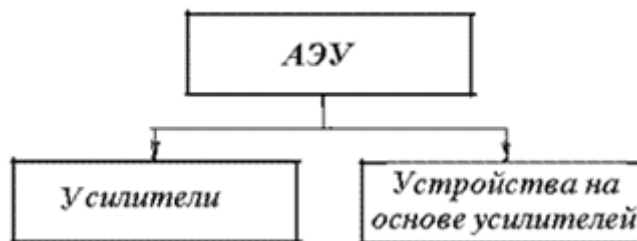


Рисунок 7.26. Классификация АЭУ

АЭУ делятся на две большие группы:

- усилители;
- устройства на основе усилителей.

Электронный усилитель электрических колебаний – это устройство для увеличения мощности сигнала за счет энергии источника постоянного напряжения. Является одним из основных узлов радиоаппаратуры и электронных систем.

Устройства на основе усилителей делятся на:

- а) преобразователи электрических сигналов или устройства аналоговой обработки сигналов. Выполняются они на базе усилителей со специальными цепями обратной связи. К ним относятся сумматоры, интеграторы, дифференциаторы, активные фильтры, логарифмические усилители, детекторы, перемножители и делители, устройства сравнения (компараторы) и другие;
- б) преобразователи сопротивлений. Строятся также на усилителях с обратной связью. Они преобразуют величину, знак и характер сопротивлений;
- в) особый класс составляют всевозможные генераторы сигналов и связанные с ними устройства.

Дифференциальный усилитель

Дифференциальный усилитель (рисунок 7.27) усиливает разность входных сигналов, который называется дифференциальным сигналом. Строится на биполярных или полевых транзисторах.

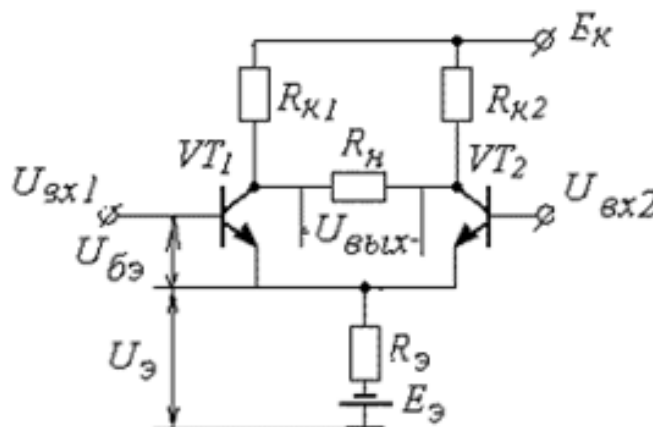


Рисунок 7.27. Дифференциальный усилитель

ДУ представляет собой параллельно-балансный каскад – два УПТ с общей эмиттерной нагрузкой $R_э$, т.е. сбалансированный мост. Плечи моста: $R_{к1} = R_{к2}$ и транзисторы VT_1 и VT_2 , которые должны быть идентичны.

В одну диагональ включено коллекторное питание, в другую – нагрузка R_n . Питание каскада осуществляется от двух источников $E_k = E_э$, т.е. суммарное напряжение питания $E_{пит} = E_k + E_э$.

С помощью $E_э$ уменьшается потенциал эмиттеров VT_1 и VT_2 относительно общей точки, при этом отпадает необходимость согласования потенциалов.

На дискретных транзисторах трудно получить абсолютную симметрию, поэтому качественные ДУ строятся на интегральных микросхемах.

Разновидности схем дифференциальных усилителей

Основными задачами разработки разновидностей схем ДУ является увеличение коэффициента усиления усилителя и увеличение входного сопротивления.

Используются следующие разновидности схем ДУ:

- а) на входах ДУ ставятся составные транзисторы (пара Дарлингтона), у которых гораздо выше входное сопротивление и коэффициент передачи тока равен произведению коэффициентов передачи тока обоих транзисторов;
- б) на входах ДУ ставятся эмиттерные повторители, у которых входное сопротивление сотни килоОмов;
- в) ДУ с полевыми транзисторами на входах;
- г) ДУ с динамической нагрузкой.

7.3.3 Назначение и основные параметры операционных усилителей

Операционный усилитель – универсальный усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и однотактным выходом.

Идеальный ОУ имеет следующие параметры:

- коэффициент усиления по напряжению $K_U \rightarrow \infty$;
- входное сопротивление $R_{вх} \rightarrow \infty$;
- выходное сопротивление $R_{вых} \rightarrow 0$

Такие характеристики позволяют применять глубокую обратную связь (ОС), и свойства ОУ определяются только параметрами элементов цепи ОС. Используя различные ОС, можно осуществлять различные математические операции. Поэтому усилители были названы операционными.

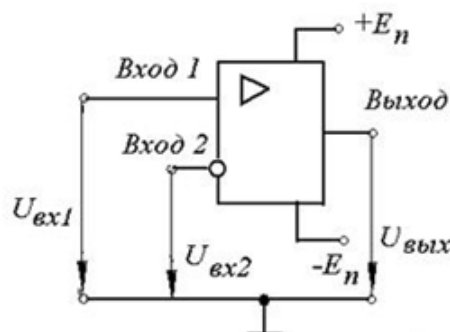


Рисунок 7.28. Условное обозначение ОУ

Здесь: *вход 1* – неинвертирующий вход, т.е. выходной сигнал совпадает по фазе с входным; *вход 2* – инвертирующий вход, т.е. выходной сигнал в противофазе с входным; *выход* – одноканальный; $+E_n$ и $-E_n$ – выводы двух источников питания E_n или двуполярного источника.

Реальные ОУ обычно имеют большое число выводов для подключения внешних цепей частотной коррекции, формирующих требуемый вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) усилителя.

В операционных усилителях используются внешние цепи:

а) цепи коррекции частотной характеристики – частотно-зависимые RC-цепи;

б) цепи балансировки для установки нулевого напряжения на выходе при нулевом входном;

в) цепи защиты:

1) от пробоя на входе при высоком входном напряжении;

2) от короткого замыкания на выходе включается последовательно резистор примерно 400 Ом;

3) от переплюсовки источника питания при неправильной полярности включения;

4) от перенапряжения источника питания;

г) цепи обратной связи.

Обычно в ОУ используется отрицательная обратная связь, т.к. без нее даже при $U_{\text{вх.диф}} = 0$ коэффициент усиления стремится к бесконечности и $U_{\text{вых}}$ может достичь предельного значения.

Отрицательная обратная связь позволяет создать схему с заданными функциями, достичь нужного коэффициента усиления, повысить стабильность и устойчивость схемы, добиться необходимых $R_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вых}}$, уменьшить линейные и нелинейные искажения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

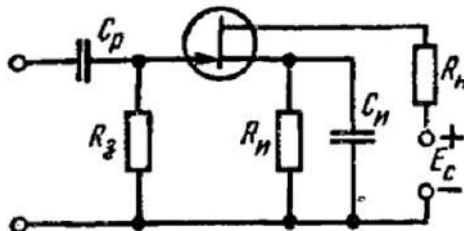
1. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при $T=300\text{K}$, если ширина его запрещенной зоны $E_g=1,12\text{eV}$, а эффективные массы носителей заряда $m_n=1,05m_0$, $m_p=0,56m_0$, где m_0 – масса свободного электрона.

2. Уровень Ферми в кремнии при 300 К расположен на 0,2 эВ ниже дна зоны проводимости. Рассчитайте равновесную концентрацию электронов и дырок в этом полупроводнике, если ширина его запрещенной зоны = 1,12 эВ, а эффективные массы носителей заряда $m_n=1,05m_0$, $m_p=0,56m_0$, где m_0 – масса свободного электрона.

3. При исследовании температурной зависимости концентрации носителей заряда для чистого кремния в области собственной электропроводности получены следующие результаты: $T_1=463\text{ K}$ собственная концентрация $n_{i1}=10^{20}\text{ м}^{-3}$, а при $T_2=781\text{ K}$ $n_{i2}=10^{23}\text{ м}^{-3}$. На основании этих данных рассчитать ширину запрещенной зоны при $T=300\text{ K}$, если коэффициент ее температурного изменения $b=-2,84\cdot 10^{-4}\text{ эВ/К}$.

4. У полевого транзистора с управляющим р-п переходом максимальный ток стока равен 1 мА, а напряжение отсечки – 4 В. Какой ток будет протекать при обратном напряжении смещения затвор-исток, равном 2 В? Чему равна крутизна и максимальная крутизна в этом случае?

5. В усилительном каскаде с общим истоком сопротивление нагрузки равно 20 кОм. Эффективное входное сопротивление полевого транзистора составляет 20 кОм, а рабочая крутизна – 2 мА/В. Определите коэффициент усиления каскада.



6. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом имеет следующие характеристики при температуре 25 °С: начальный ток стока $I_{Cn} = 10$ мА, напряжение отсечки $U_0 = -2$ В. Оценить, на сколько процентов изменится (увеличится или уменьшится) ток стока в пологой области выходной ВАХ, если между затвором и истоком поддерживать напряжение $U_{зи} = -0,5$ В, а температуру поднять до 85 градусов Цельсия.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Физические основы работы полупроводниковых приборов. Электропроводность полупроводников. Диффузионное движение носителей заряда в полупроводниках. Соотношение Эйнштейна.
2. Электрические переходы, классификация. Структура электронно-дырочного перехода (*n-p* перехода) в условиях термодинамического равновесия. Зонная энергетическая диаграмма *n-p* перехода.
3. Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии. Явления инжекции и экстракции носителей заряда.
4. Практическое использование емкостных свойств *n-p* перехода. Полупроводниковые управляемые емкости (варикапы).
5. Туннельные и обращенные полупроводниковые диоды. Принцип действия.
6. Диоды Шоттки. Основные параметры и сфера применения.
7. Усилительные свойства биполярных транзисторов. Малосигнальные параметры и эквивалентные схемы
8. Частотные характеристики биполярного транзистора. Предельная частота усиления по току и её зависимость от параметров структуры.
9. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Строение и принцип действия. Статические ВАХ МДП-транзистора.
10. Какие схемы используют в выходных каскадах ОУ?
11. Опишите типовую структуру ОУ на биполярных транзисторах.
12. Каковы принципы построения многокаскадных усилителей?

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают: общую характеристику элементной базы электроники, основные принципы и методы анализа нелинейных цепей и каскадов, принципы построения и конкретные схемы узлов электронной аппаратуры, современное состояние и перспективы развития аналоговой и цифровой микроэлектроники, особенности работы электровакуумных приборов и классификацию оптоэлектронных полупроводниковых приборов.

При изучении модуля обучающиеся учатся: снимать основные характеристики электронных устройств, обращаться с контрольно-измерительной аппаратурой, выполнять расчеты основных каскадов электронных устройств, анализировать основные параметры электронных схем определять основные параметры и схему включения, иметь представления о разработке и создании различных функциональных узлов и устройств на современной элементной базе.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ямпурин Н.П.: Электроника. - М.: Академия, 2011
2. Электротехника и электроника: иллюстрированное учебное пособие / Под ред. Бутырина П.А.. - М.: Academia, 2018. - 892 с.
3. Иньков, Ю.М. Электротехника и электроника: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Б.И. Петленко, Ю.М. Иньков, А.В. Крашенинников. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 368 с.
4. Кравченко, В.Б. Электроника и схемотехника: Учебное пособие / В.Б. Кравченко, Е.А. Бородин. - М.: Academia, 2017. - 640 с.
5. Морозова, Н.Ю. Электротехника и электроника / Н.Ю. Морозова. - М.: Academia, 2017. - 200 с.

РАЗДЕЛ 8. ВЫПОЛНЕНИЕ СБОРКИ, МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Использовать технологию сборки электронных приборов и применять материалы монтажной пайки.
2. Понимает технологию микросварки в производстве электроники.
3. Владеет информацией об основных механических, химических и электрических свойствах, применяемых материалов.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер или ноутбук с необходимым программным обеспечением.
2. Документация на процессы демонтажа и сборки: технологические схемы сборки, технологическая карта, маршрутная карта и т.д.

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для выполнения сборки всех типов микросхем с применением завальцовки, запрессовки, пайки на станках-полуавтоматах и автоматах посадки с применением оптических приборов.

8.1. ВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ, МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Под электромонтажом приборов понимают ряд последовательных операций по электрическому соединению контактных выводов электрорадиоэлементов.

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по определению состояния предмета труда.

Виды технологических процессов могут быть: единичный (только на данное изделие), типовой (на группу конструктивно похожих изделий), групповой (на группу изделий имеющих конструктивную и технологическую общность), проектный, рабочий, перспективный, временный, маршрутный, операционный, маршрутно–операционный. Последние три определяют степень подробности в описании технологического процесса. В электромонтаже, как правило, применяются типовые технологические процессы и операции. Сборка и электромонтаж являются наиболее трудоемкой стадией производства. В среднем трудоемкость сборки

механических приборов составляет 40...50% от общей трудоемкости изготовления прибора, оптических приборов – 45...55%, электромеханических – 60...70%, приборов электронной техники 70...80%. Сборка – это образование соединений составных частей изделия (ГОСТ 3.1109– 82). Сборочная технологическая операция – это операция установки и образование соединений составных частей заготовки или изделия

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте или на рабочем месте бригады. Монтаж – установка изделия или его составных частей на месте использования. Электромонтаж – монтаж электроизделий или его составных частей, имеющих токоведущие элементы. Виды изделий: детали (Д), сборочные единицы (СЕ), комплексы и комплекты. Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала. Понятие СЕ адекватно конструкторскому понятию узел, блок, но часто СЕ означает не полностью собранную СЕ. Это особенно проявляется на разных стадиях технологического процесса: предварительная, промежуточная, окончательная сборка. Комплекс – это два и более изделия, изготовленные по отдельности, но предназначенные для совместной эксплуатации. Комплекс – это два и более изделия предназначенные для совместного использования и имеющие вспомогательное назначение. Например, запасные части, инструмент, приспособления и т.п.

Виды соединений разъемные и неразъемные, подвижные и неподвижные, соединения по форме сопрягаемых поверхностей (плоские, цилиндрические, конические, сферические, винтовые, профильные), по методу образования соединений (резьбовые, шпоночные, прессовые, паяные, клееные, развальцованные и т.п.).

Виды соединений в электромонтаже весьма разнообразны: пайка, накрутка, приклеивание, термосоединение, сварка, и т.п.

Классификация видов сборки: по объекту сборки – узловая, общая; по стадии сборки – предварительная, промежуточная, окончательная; по организаций производства – типовая поточная с использованием транспортных средств, типовая поточная без использования транспортных средств, групповая поточная с использованием транспортных средств, групповая поточная без использования транспортных средств, групповая не поточная, единичная; по последовательности сборки: последовательная, параллельная, последовательно–параллельная; по подвижности объекта сборки: подвижная с непрерывным перемещением, подвижная с периодическим перемещением, неподвижная (стационарная); по механизации и автоматизации: автоматическая, автоматизированная, механизированная, ручная; по точности сборки: в зависимости от метода сборки (всего шесть методов). Схема сборки изделия (ССИ) – это графическое изображение в виде условных обозначений последовательности сборки изделия или его составной части. ТССИ – это ССИ с нанесенной на нее технологической информацией: вид соединения, наименование операций сборки, – значение штучного времени, типа и модели оборудования и т.п.

ССИ – разрабатывается конструктором и представляется в комплекте конструкторской документации.

Исходными данными для разработки технологического процесса являются: принципиальная электрическая схема с перечнем элементов, монтажная схема и тип производства. Перечень типовых групп операций:

1. Комплектовочная. Комплектовщица на основании перечня элементов подбирает деталь - комплект. С целью сокращения ручного труда на данной операции применяют поставку ЭРЭ в ориентированном виде (в рулонах, в дисках и т.п.).

2. Подготовительная. На данной операции обрезают, формуют и выполняют лужение выводных элементов ЭРЭ. Все действия выполняют в соответствии с ГОСТами в зависимости от вида ЭРЭ, веса, возможных механических воздействий при эксплуатации и требуемого охлаждения. Лужение производится с целью лучшей пайки после установки ЭРЭ. Время хранения ЭРЭ после служения и до установки на плату от 1 часа до месяца. Виды формовки приведены далее.

3. Установка механических элементов на плату. Порядок установки деталей и узлов на шасси в основном определяется удобством выполнения работ. В ряде случаев крепление деталей и узлов можно чередовать с укладкой отдельных монтажных проводов. Сравнительно тяжелые детали и узлы крепят на шасси при помощи разъемных и неразъемных соединений. Разъемные соединения, выполненные с помощью винтов, болтов, гаек и шпилек, применяют для тех деталей и узлов, которые в условиях эксплуатации могут быть заменены. Неразъемные соединения (клепаные, развальцованные и др.) используют для остальных деталей. Навесные ЭРЭ и детали располагают друг от друга, а также от шасси и токопроводящих поверхностей не менее чем на 2мм; надписи номиналов и маркировка на этих деталях должны быть хорошо видны и удобны для чтения. Монтаж полупроводниковых приборов проводят с соблюдением следующих правил: тщательно следят за правильностью подключения, полярностью выводов (первым подключается базовый вывод триода); выводы закрепляют осторожно, чтобы не согнуть их в местах выхода из корпуса; расстояние от места крепления выводов до корпуса должно соответствовать техническим условиям.

4. Установка ЭРЭ и ИМС на плату. Установка производится с помощью автоматизированного оборудования.

5. Пайка. Пайка представляет собой соединение с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры плавления, их смачивания припоем, затекания припоя в зазор и последующего его кристаллизации. Смачивание основного металла расплавленным припоем и растекание последнего, обеспечивающее хорошую адгезию припоя к основному металлу и их взаимную диффузию, возможно только при отсутствии окисных и жировых пленок, а также других загрязнений на поверхности основного металла. Для удаления окислов и загрязнений детали перед пайкой зачищают. В результате зачистки получают

шероховатую поверхность - сеть капиллярных канавок, которые увеличивают смачивание основного металла припоем.

Для защиты поверхностей спаиваемых деталей от интенсивного окисления в результате нагрева место пайки покрывают флюсом, который образует жидкую и газообразную преграду между поверхностями спаиваемых деталей и окружающим воздухом. Действие большинства флюсов не ограничивается защитой места пайки от окисления: они очищают поверхности спаиваемых деталей от загрязнения, растворяют окисные пленки и способствуют лучшему затеканию расплавленного припоя в зазоры между спаиваемыми деталями. В качестве припоев применяют различные цветные металлы и сплавы. В соответствии с решением Совета Европы с 1 июля 2006г. рекомендовано производителям электронной техники отказаться от применения таких тяжелых металлов как свинец, кадмий, ртуть и шестивалентный хром. В связи с этим для пайки рекомендуют бессвинцовистые припои. Наиболее широко применяемые припои: - CASTIN – $\text{Sn/Ag}_{2,5}/\text{Cu}_{0,8}/\text{Sb}_{0,5}$ – температура плавления 217°C , - SAC 305 – $\text{Sn/Ag}_{3}/\text{Cu}_{0,5}$ – температура плавления $217-218^{\circ}\text{C}$ и др. Припои содержат и другие компоненты. Основным флюсом, применяемым при монтаже радиоаппаратуры, является канифольно-спиртовой флюс (30%-ный раствор канифоли в спирте). Кроме раствора канифоли, применяют и кусковую канифоль. Она растворяет окислы меди при температуре выше 150°C и не вызывает разрушения проводов и деталей. При монтаже аппаратуры нельзя применять в качестве флюса хлористый цинк, так как он будучи растворенным в воде, содержит свободные пары соляной кислоты, которая разрушает жилы проводов и изоляцию. Компания AIM производит жидкие флюсы, совместимые с бессвинцовыми материалами, например: NC 266-3, NC270 WR, WS735. Температуру нагревания паяльника выбирают такой, при которой припой быстро плавится, но не стекает с рабочей части (жала), а канифоль не сгорает мгновенно, а остается на жале в виде кипящих капелек. Температуру нагрева паяльника в зависимости от марки припоя. Температура нагрева выбирается также в зависимости от допустимой температуры нагрева ЭРЭ. В серийном и массовом типе производства пайка осуществляется следующими способами: пайка волной припоя, пайка погружением, пайка окунанием, пайка каскадная, пайка фильерная и др.

6. Промывка. Промывка осуществляется раствором спирта в воде с целью устранения остатков флюса с платы.

7. Настройка и устранение дефектов. В процессе проверки, если это необходимо, выпаивают ЭРЭ специальным устройством с вытяжкой расплавленного припоя.

8. Лакировочная. Все платы и места пайки для защиты от коррозии покрывают лаком путем окунания, нанесения лака кистью, пульверизатором. После покрытия лаком обязательно выполняется сушка с повышенной температурой.

9. Контрольная. Отработка конструкции на технологичность начинается с оценки схемы. Электрическая, электронная схема, в общем

случае, считается технологичной, если содержит максимальное количество унифицированных узлов и серийно выпускаемых ЭРЭ, и ее можно разбить на отдельные функциональные узлы, каждый из которых выполняется на плате печатного монтажа, унифицированного размера, основание платы изготавливается по типовому технологическому процессу, освоенному в производстве, точностные требования к конструкции обеспечиваются имеющимся оборудованием, монтажно-сборочные работы могут быть оснащены автоматизированным оборудованием. Оценку монтажной схемы следует начинать с обоснования выбора электромонтажа: объемный или печатный. Объемный монтаж имеет следующие разновидности: жесткий, монтаж на расшивочных панелях, комбинированный, монтаж накруткой, монтаж с применением жгутов, монтаж плоскими ленточными проводами, стежковый монтаж и др. Печатный монтаж обеспечивает механизацию и автоматизацию технологического процесса, повышенную прочность отдельных блоков. Наиболее крупный недостаток печатного монтажа - трудность при необходимости внесения изменения в изготовленную плату. В настоящее время всё шире применяются поверхностный монтаж. Следует обосновывать выбор методов монтажа и обеспечения требуемой точности выходных параметров с учетом погрешности (5, 10, 30%) применяемых ЭРЭ.

Установление методов сборки для электронных изделий имеет такое же большое значение, как и для механической сборки. При электрическом соединении наиболее широко применяются подстроечные элементы - компенсаторы. Подстроечные элементы должны быть указаны на принципиальной электрической схеме и на общем виде, на сборочном чертеже. В технологическом процессе должно быть указано, как осуществлять настройку. Разработка технологического процесса начинается с разработки первой операции - комплектовочной, выполняемой вручную или с применением автоматов. Последнее осуществляется только при поставке ЭРЭиИМС, упакованных с применением липкой ленты или в кассетах. Следующей группой операций являются подготовительные. В их процессе выполняется ряд работ: рихтовка, подрезка, зачистка, лужение и формовка выводов. Требования к формовке выводов изложены в монтажной нормали и в требованиях к сборочному чертежу.

Элементы обрабатываются вручную или с применением автоматов. Сборочная группа операций включает в себя установку и закрепление механических элементов: разъемов, колонок, фиксаторов платы, ЭРЭ, требующих механического закрепления. В ряде случаев сборочной операции может и не быть. Порядок установки деталей и узлов на шасси платы, в основном определяется удобством выполнения работ. Сравнительно тяжелые детали и узлы крепятся разъемными и неразъемными соединениями. Разъемные соединения, выполненные с помощью винтов, болтов, гаек и шпилек, применяются для тех деталей и узлов, которые в условиях эксплуатации могут быть заменены. Механические и монтажные электрические соединения выполняются склепыванием, развальцовкой, пластическим деформированием элементов соединяемых деталей,

запрессовкой, пайкой, сваркой, склеиванием, скреплением с помощью замазок и цементов. Монтажная группа операций включает в себя установку ЭРЭ и ИМС на плату и осуществление пайки вручную или с применением автомата.

Пайка паяльником с применением прибора для контроля и регулирования температуры паяльника применяется в единичном производстве. В серийном производстве применяется пайка волной, погружением, окунанием, каскадная, фильерная и т.д. В ряде случаев применяется электрическое соединение проводящими клеящими составами, например, контактов К-1 на основе эпоксидных смол с наполнителем - шарообразными частицами серебра до 65...85% от общей массы. Промывочная операция необходима для снятия остатков флюса с платы и общей очистки платы. Маркировочная операция предназначена для нанесения обозначения на плату, в соответствии с требованиями конструкторской документации. Контрольная операция осуществляется для визуального контроля качества паяк, правильности монтажной схемы с установленными на плате ЭРЭ и ИМС. Контроль качества паяк также осуществляется выборочной проверкой - осторожным покачиванием выводных концов ЭРЭ. В ряде случаев применяют проверку качества монтажа путем проведения вибрации в течение - 20 мин. И последующей проверкой монтажа. Настроечная операция выполняется в соответствии с ТУ на ППМ. На этой операции проверяется функционирование платы. Одновременно с этим может быть осуществлена замена какого-либо элемента, регулировка подстроечных элементов и фиксация их в установленном положении. Настройка может осуществляться как с применением универсальных приборов, так и на специальном стенде. В настроечной операции следует указать, какие элементы следует регулировать или заменять, как осуществлять проверку на функционирование.

Лакировочная операция предназначена для защиты электромонтажных соединений от воздействий внешних климатических условий. Плата покрывается лаком с последующей сушкой. Количество слоев лака оговаривается в типовом технологическом процессе. Испытательная операция необходима для контроля качества платы в части проверки сопротивления изоляции. В процессе выполнения операции проверяется сопротивление изоляции и устойчивость при подаче повышенного напряжения с целью проверки изоляции в плате. Последняя операция - контрольная. Представитель ОТК проверяет внешним осмотром плату и фиксирует результаты в технологическом паспорте и в сертификате. Технологический процесс электромонтажа, как видим, состоит из типовых операций, содержание которых зависит от имеющегося оборудования. Пример технологического процесса приведен далее. Выбор оборудования осуществляется по каталогам. Например, сверление оснований ППМ производится на четырех шпиндельном станке с ЧПУ. Расчет технологических режимов определяется применяемым оборудованием. Выбор и конструирование дополнительного технологического оснащения

определяется уровнем механизации и автоматизации и задается преподавателем. Назначение технических условий на сборку осуществляется на сборочном чертеже и в ТП. Выбор методов и средств контроля зависит от назначения устройства, его электрической схемы, сборочного чертежа и типа производства.

8.1.1 Организация технологического процесса сборки и монтажа, демонтажа электронных приборов и устройств

Технологичность сборки. Общие требования к технологичности изделия и составных частей сборочной единицы, относятся и к изделиям приборостроения.

1. СЕ должна расчленяться на рациональное число составных частей.
2. Конструкция СЕ должна обеспечивать возможность компоновки из стандартных и унифицированных частей.
3. Технологическое оснащение должно быть по возможности не сложным.
4. Сборка СЕ должна иметь возможность механизации и автоматизации.
5. В конструкции СЕ должны быть предусмотрены элементы для автоматического захвата.
6. Все должно быть четко выражена базовая часть.
7. Сборка должна производиться при неизменном базировании составных частей.
8. Необходимо совпадение конструкторских баз с технологическими и измерительными.
9. Сборка ОС должна производиться без разборки СЕ и составных, частей.
10. Необходимо обеспечить удобный доступ к местам для контроля, регулировки и т.п.
11. Компоновка СЕ и виды соединений должны обеспечить легкий съем частей с малым ресурсом.
12. Необходимо рационально располагать монтажные опоры, такелажные узлы и т.п.

Отработка конструкции на технологичность начинается с оценки схемы ППМ. Электрическая, электронная схема, в общем случае, считается технологичной, если: содержит максимальное количество унифицированных узлов и серийно выпускаемых ЭРЭ, и ее можно разбить на отдельные функциональные узлы, каждый из которых выполняется на плате печатного монтажа, унифицированного размера, основание платы изготавливается по типовому технологическому процессу, освоенному в производстве, точностные требования к конструкции обеспечиваются имеющимся оборудованием, монтажно-сборочные работы могут быть оснащены автоматизированным оборудованием.

Технологичность изделия в сборке оценивается и количественно комплексным показателем, определенным на основе базовых показателей. Где K – расчетный базовый показатель, – коэффициент весомой значимости показателя; i – порядковый номер показателя; n – число базовых показателей.

Уровень технологичности разрабатываемого изделия при известном нормативном показателе K_n оценивают отношением достигнутого комплексного показателя к нормативному. Это отношение должно удовлетворять условию. В качестве изделий – аналогов принимают наиболее современные конструкции, разработанные с учетом новейших достижений науки и техники, выпускаемые серийно. Расчет комплексных показателей технологичности каждой группы изделий ведут по конструктивным и технологическим базовым показателям.

Установление методов сборки для электронных изделий имеет такое же большое значение, как и для механической сборки. Электрорадиоэлементы – резисторы, конденсаторы и др. – имеют погрешности 5, 10 и даже 50%. Это значительно больше, чем у механических деталей в процентном отношении. Метод полной взаимозаменяемости. Метод полной взаимозаменяемости означает, что любая деталь, изготовленная в пределах допуска, удовлетворяет требованиям соединения одной детали с другой, т.е. обеспечивается требуемая посадка.

Процесс сборки сводится к соединению деталей без дополнительной обработки и 100%-го контроля. Такая сборка является признаком наиболее высокой технологичности конструкции. Метод применяется в массовом типе производства, упрощается организация сборочных потоков (конвейеров) и легко решается проблема запасных деталей и узлов. Однако, метод требует более высокой точности изготовления деталей. В электромонтажных работах метод применяется после инженерных расчетов позволяющих принять решение, что все ЭРЭ в соответствии с перечнем элементов и указанными допусками на каждый ЭРЭ обеспечат функционирование схемы. Селективная сборка, или метод групповой, взаимозаменяемости.

13. Сущность метода заключается в том, что детали, изготовленные с расширенными допусками, перед сборкой сортируются на группы по заранее установленным размерам. Сборку производят только с одинаковыми группами.

Метод позволяет получить более высокую точность сборки при наличии широких допусков на изготовление деталей, но при этом необходимы 100%-й контроль и сортировка деталей. Метод применяется в любом типе производства. В электромонтажных работах метод применяется путем указания в технологическом процессе о необходимости проверки конкретных ЭРЭ по погрешностям в лаборатории входного контроля и, после этого, направлять на сборку. Сборка методом неполной взаимозаменяемости. При этом методе требуемая точность достигается только у наибольшей части соединяемых деталей. Метод основан на том, что распределение фактических размеров, как правило, соответствует нормальному распределению, при этом 99,73% всех деталей будут соответствовать

условиям сборки. В электромонтаже применяется также как и в селективной сборке.

Сборка методом пригонки. Требуемая точность замыкающего звена достигается в результате снятия или нанесения слоя материала с заранее определенной конструктором поверхности детали. Метод применяется при большом числе звеньев и требуемой высокой точности соединений в мелкосерийном и единичном типе производства. Однако, у метода пригонки имеются серьезные недостатки: прерывание процесса сборки, трудность нормирования доработки, наличие стружки на рабочем месте сборщика, нарушение антикоррозийного покрытия. Поэтому применение данного метода следует ограничивать. В электромонтажном производстве метод применяется при собственном изготовлении ЭРЭ. Например, намотка резисторов, лазерная подгонка ЭРЭ и т.п. Сборка с применением компенсационных звеньев. Требуемая точность собираемого изделия достигается изменением какого-либо параметра при изменении положения специального устройства без снятия стружки. Метод позволяет применять более дешевые технологические процессы изготовления деталей, но усложняет конструкции. Например, регулировочный винт, винт с эксцентриситетом и т.п. Наиболее широко применяется в электронных схемах путем введения подстроечных элементов. Это различные подстроечные резисторы, конденсаторы и др. ЭРЭ. Подстроечные элементы должны быть указаны на принципиальной электрической схеме и на общем виде, на сборочном чертеже. В технологическом процессе должно быть указано, как осуществлять настройку. Сборка с применением компенсационных материалов. Осуществляется путем введения деформируемых компенсаторов. В качестве материалов применяется резина, пластмасса и т.п. Сборка может осуществляться путем бесступенчатого изменения замыкающего звена, путем подбора компенсатора (прокладки), регулированием силового замыкания.

8.1.2 Общие сведения о монтаже ЭПиУ

Настройка и регулировка – необходимые операции в общем технологическом цикле производства ЭА. Они должны обеспечить заданные параметры ЭА при наименьших затратах и устранить все неисправности, допущенные при сборке. Под регулировочными и настроечными операциями (РНО) понимают комплекс работ по доведению параметров ЭА до величин, соответствующих требованиям технических условий (ТУ) и нормалей. Целью является получение такого разброса параметров, который гарантирует эффективное функционирование аппаратуры в условиях эксплуатации. Проведение РНО необходимо, чтобы устранить погрешности изготовления деталей, элементов и сборки узлов, причем как вынужденных, так и predetermined заранее. Причиной появления predetermined погрешностей является искусственное завышение допусков на отдельные параметры в целях уменьшения себестоимости изделий или невозможности реализации требуемой точности. Работы, выполняемые на РНО, включают

настройку различных резонансных систем, сопряжение электрических, кинематических параметров отдельных узлов и всей аппаратуры в целом, установку определенных режимов отдельных блоков, узлов, подгонку некоторых элементов и т.д. Характер и объем РНО определяется видом и объемом производства, оснащённостью ТП. Как этап производства РНО составляют в общем ТП ряд операций, не изменяющих схему и конструкцию изделия, а лишь компенсирующих неточность изготовления и сборки элементов ЭА собственного производства, а также комплектующих элементов. Важное значение имеет качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии: коэффициент мощности, коэффициент нелинейных искажений (КНИ), крест-фактор нагрузки, неполадки в электросети

1. Коэффициент мощности

Показатель, характеризующий линейные и нелинейные искажения, вносимые нагрузкой в электросеть. Равен отношению мощностей активной и полной P/S (Вт/ВА), потребляемых нагрузкой. Плохое значение коэффициента мощности - 0.8 и меньше (0.7 - у компьютерного оборудования, 0,65 - у двухполупериодных выпрямителей).

2. Коэффициент нелинейных искажений (КНИ)

Показатель, характеризующий степень отличия формы напряжения или тока от идеальной синусоиды. Типовые значения КНИ: 0% - синусоида; 3...5% - форма, близкая к синусоиде; до 21% - трапецеидальная или ступенчатая формы; 43% - прямоугольная форма.

3. Крест-фактор нагрузки

Показатель, характеризующий способность источника ЭЭ питать нелинейную нагрузку, потребляющую импульсный ток. Равен отношению амплитуды импульсного тока в нелинейной нагрузке I_m (нелин.) к амплитуде тока гармонической формы I_m (лин.) при эквивалентной потребляемой мощности.

4. Неполадки в электросети

Любые отклонения параметров питающего напряжения от установленных стандартных значений. На территории Казахстана определены такие параметры качества электроэнергии сети: напряжение $220V \pm 10\%$; частота $50\text{Гц} \pm 1\text{Гц}$ (2%); коэффициент КНИ.

Существуют два различных процесса (способа) которые могут быть применены для ограничения множества гармоник, которые присутствуют в системе электропитания. Первый выбранный Международной Электротехнической Комиссией (IEC – International Electrotechnical Commission) это серии ограничений, которые разработаны для применения в терминалах с любой, в особенности, нелинейной нагрузкой. Второй, выбранный IEEE и лёг в основу для IEEE 519- 1992 серии ограничений, которые разработаны для применения в отдельной более конкретной точке питания параллельных нелинейных нагрузок. Философия IEC ограничений основывается на утверждении, что ограничиваемое гармоническое воздействие от каждой части оборудования, эффективно ограничит любые комбинированные эффекты. Понятие эффективности положений

предложенных в разработке действующих ограничений довольно отличны от тех, что были предложены в IEEE 519-1992 и было доказано, что ограничения IEEE являются, отчасти более хорошими, что обусловлено использованием ограничения обоих гармоник: тока и напряжения. В процессе изготовления приборов используют следующие виды контроля: входной комплектующих изделий; пооперационный контроль, в процессе регулировки и настройки; а также в процессе приемосдаточных испытаний. Объем и содержание входного контроля определяется конструкцией прибора и ТУ на прибор.

Пооперационный контроль назначается технологом на основании сборочного чертежа и ТУ. Средства контроля выбирают из имеющихся универсальных или проектируют специальные. Приемосдаточные испытания проводятся на каждом изготовленном приборе. При наличии специфицированных узлов и блоков и ТУ на них приемосдаточные испытания проводятся последовательно: узлы, блоки, прибор. Цель испытаний – определение характера и степени изменений объекта испытаний, возникающих как результат воздействий на него при функционировании прибора. Системой испытаний предусмотрена совокупность средств и исполнителей, взаимодействующих с объектами по программе и правилам, установленным соответствующей документацией. Испытания делятся на: контрольные, исследовательские и граничные; доводочные, предварительные и приемочные; ведомственные; межведомственные и государственные; ускоренные и нормативные; форсированные и сокращенные; полигонные и эксплуатационные испытания на надежность и ресурсные и т.д. Периодические испытания заключаются в том, что в определенный период (раз в два года, в год, в квартал) из партии изделий выбирают несколько образцов и проводят испытания на воздействие различных факторов в соответствии с требованиями ТУ. Различные физические принципы приборов и различные условия работы требуют проведения испытаний при механических, электрических, акустических, тепловых, радиационных, электромагнитных, климатических, биологических и химических воздействиях. В процессе контроля и испытаний применяют универсальную, типовую и специальную контрольно-измерительную аппаратуру. В мелкосерийном типе производства, в основном, применяют универсальную измерительную аппаратуру. Типовую аппаратуру разрабатывают в рамках внутриотраслевой кооперации и используют для контроля близких по составу и назначению объектов (систем контроля; установок и приборов; программно-переналаживаемых приборов). Специальную аппаратуру применяют, как правило, в крупносерийном производстве, при проверке быстропротекающих процессов. Эту аппаратуру специально разрабатывает и изготавливает предприятие-изготовитель прибора. Нормирование электромонтажных работ производят в зависимости от типа производства по дифференцированным нормам или по укрупненным нормативам.

8.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Сущность печатного монтажа заключается в том, что все контактные соединения, предназначенные для пайки, выведены в одну плоскость и роль монтажных проводов выполняет проводящий металлический рисунок, закрепленный на изоляционной плате в соответствии с принципиальной схемой. Недостатки печатного монтажа: затруднено внесение изменений в схему, сложные схемы требуют большой площади платы. Достоинства: обеспечивает возможность механизации и автоматизации производственных процессов, повышенная прочность отдельных блоков, стабильность и идентичность взаимовлияний электрических параметров. Применение ППМ позволяет: обеспечить значительное повышение плотности соединений и возможность миниатюризации аппаратуры, стабильность электрических параметров, повышение электрических нагрузок в цепях, повышение качества и надежности аппаратуры, улучшение механической прочности, унификация и стандартизация узлов, создание условий для механизации и автоматизации монтажных работ.

Конструкторско-технологическая классификация.

Печатные платы могут быть:

Односторонние без металлизированных отверстий, - с металлизированными отверстиями.

Двухсторонние на диэлектрическом основании, - на металлическом основании.

Многослойные с межслойными соединениями; - без межслойных соединений.

Гибкие платы; гибкие кабели, шлейфы.

Проводные с печатным рисунком; без печатного рисунка.

Групповая плата.

По геометрическим размерам платы подразделяются на:

- особо малогабаритные менее 60х90мм,
- малогабаритные менее 120х180мм,
- среднегабаритные менее 200х240мм,
- крупногабаритные менее 240х360мм.

Рекомендуемое соотношение сторон: 1:1; 1:3 ; 2:3 ; 2:5.

По плотности монтажа ППМ делятся на 5 классов. Например, по ширине проводников и расстояния между проводниками от 0,5 мм до 0,1мм. В качестве материалов для плат печатного монтажа применяют: гетинакс, стеклотекстолит, полиамидные материалы, фторопласт, керамику и другие материалы. Медная фольга используется для нанесения ее на диэлектрик в качестве проводников толщиной 20-50мкм, при этом чистота состава не менее 99,5%. При изготовлении многослойных печатных плат применяют специальные склеивающие прокладки, например: стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой; толщина прокладок 25- 100мкм.

В производстве ППМ применяют жидкие фоторезисты. Это светочувствительные составы для получения рисунка печатного монтажа. Жидкие фоторезисты могут быть негативные и позитивные. В последнее

время применяют сухие фоторезисты, которые превосходят жидкие по технологичности. Сухой фоторезист - это тонкая пленка, полимеризующаяся под действием ультрафиолетового излучения. Конструктивно пленка состоит из 3 частей: оптически прозрачная пленка полиэтилентерефталота, пленки светочувствительного полимера, защитной полиэтиленовой пленки.

Для получения рисунков печатного монтажа необходимы фотошаблоны, изготавливаемые большей частью с фото оригиналов. Фото оригиналом называют графическое изображение элементов печатного монтажа, выполненное, как правило, с увеличением масштаба на малоусадочной основе и предназначенное для последующего фотографирования с целью получения рабочих фотошаблонов. Фотошаблоном ППМ называют графическое изображение элементов печатного монтажа, выполненное в натуральном масштабе на фотопластинке или фотопленке и предназначенное для использования в серийном технологическом процессе производства ППМ. Фотошаблоны выполняют в позитивном и негативном изображениях, путем перефотографирования фото оригинала. Фотошаблоны могут быть контрольные и рабочие. Производство фото оригиналов и фотошаблонов является наиболее трудоемкой операцией и составляет до 50% общей трудоемкости производства ППМ. Механическая обработка ППМ предусматривает обработку в них всех видов отверстий, а также контурную обработку. Изготовление отверстий методом штамповки производится специальным многопозиционным штампом, позволяющим получить сразу все отверстия или группу отверстий. Данный метод высокопроизводителен, но применяется только в массовом и серийном производстве и, кроме того, невозможно получить отверстия малого диаметра

Как правило, все отверстия изготавливаются путем сверления. Таким же способом получают базовые и технологические отверстия. В качестве инструмента применяют специальные твердосплавные сверла. При сверлении отверстий происходит наволакивание смолы на контактные площадки. С целью устранения этого эффекта применяют: жидкостное охлаждение; угол заточки сверла 118°C ; применяют сверление и рассверливание; сверление с технологическими пластинами из пластмассы сверху и снизу основания ППМ. Наиболее прогрессивным оборудованием являются станки для сверления в ППМ с ЧПУ. Станки имеют четыре шпинделя (одновременно обрабатывается четыре одинаковых платы), высокооборотные шпиндели (до 120 тыс. оборотов в минуту), хорошее виброизоляционное основание.

Заготовки ППМ получают методами штамповки и резания роликовыми или гильотинными ножницами. Виды дефектов в ПП: короткие замыкания между элементами печатного монтажа; разрыв токопроводящих цепей; нарушение электрической связи между контактными площадками и металлизированными отверстиями в наружных и внутренних слоях многослойной структуры; отслоение элементов печатного монтажа от диэлектрического основания; выход отверстия за пределы контактных

площадок; расслоение многослойной структуры и понижение сопротивления изоляции; потемнение проводников и др.

Допустимые рабочие напряжения для проводников плат зависят от минимальных расстояний между ними, материала диэлектрического основания и окружающей среды. Плотность тока в печатных проводниках наружных слоев плат не должна превышать 20А/мм^2 , а во внутренних слоях МПП- 15А/мм^2 .

Существует достаточно большое количество различных технологических процессов получения оснований ППМ. Рассмотрим кратко только 4 основных способа:

1. Химический метод заключается в том, что нафольгированный диэлектрик с одной стороны наносят защитный слой позитивного рисунка схемы. Последующим травлением в растворе хлорного железа или хлорной меди удаляют медь с незащищенных участков и на диэлектрике получается требуемая электрическая схема проводников. Химический метод подразделяется по методам нанесения защитных покрытий на: фотохимический, сеточно-химический, офсетно-химический. Метод применяется для односторонних плат и внутренних слоев МПП.

2. Электрохимический (полуаддитивный) метод заключается в предварительном химико-гальваническом меднении отверстий и поверхности нефольгированного диэлектрика, гальванического наращивания токопроводящих участков и химического травления слоя предварительного меднения с незащищенных мест. В зависимости от способа получения защитного рисунка схемы существуют варианты: фотоэлектрический, сеточно-химический, электрохимический. Метод применяется для изготовления двухсторонних печатных плат 3 класса и наружных слоев МПП.

3. Комбинированный метод заключается в получении проводников путем травления фольгированного диэлектрика и металлизации отверстий химико-гальваническим способом. Может быть позитивный и негативный. Метод применяется для изготовления односторонних и двухсторонних плат 1 и 2 класса. Метод применяется также для металлизации сквозных отверстий для многослойных плат.

4. Аддитивный метод заключается в химическом осаждении меди в зоне токопроводящих участков на нефольгированный диэлектрик с введением катализатора и с адгезивным слоем. Метод применяется для изготовления одно и двухсторонних плат невысокой точности. Комбинированный и электрохимический методы наиболее трудоемки. Технологический процесс состоит из ряда типовых операций.

8.2.1 Методы и способы изготовления многослойных печатных плат

Методы изготовления многослойных печатных плат (МПП) постоянно эволюционируют, при этом наблюдается развитие по спирали: возврат к старому в новом качестве. Так метод послойного наращивания, уступивший

в свое время первенство методу металлизации сквозных отверстий, вернулся как способ наращивания слоев с глухими отверстиями. А метод попарного прессования можно увидеть как фрагмент изготовления МПП со скрытыми межслойными переходами. Поэтому описание прежних методов изготовления МПП, это не просто дань уважения истории техники, а возможность возврата к ним в новых комбинациях. Мало того, в ряде успешно функционирующих электронных систем эти методы до сих пор присутствуют, и никто не собирается их менять. Что касается новых методов, то они неизбежно будут продвигаться вслед за интеграцией элементной базы, увеличением функциональности аппаратуры, уменьшением ее габаритов и массы.

Метод попарного прессования

Этот метод изготовления многослойных печатных плат основан на выполнении межслойных соединений посредством металлизации отверстий, но типу обычных двусторонних печатных плат.

Для изготовления многослойных печатных плат используются две заготовки из двустороннего фольгированного диэлектрика. На одной стороне каждой заготовки фотохимическим способом изготавливаются схемы внутренних слоев – второго и третьего. Затем сверлятся и металлизируются отверстия межслойных переходов, со второго на первый и с третьего на четвертый слой. При электрохимической металлизации переходных отверстий, для электрического соединения с катодом ванны используется цинковая фольга будущих наружных слоев. Заготовки с готовыми внутренними слоями платы спрессовываются. Выдавленная при прессовании смола заполняет переходные отверстия, защищая, тем самым, их медное гальванопокрытие от химического воздействия последующих технологических операций, в том числе от травления. После прессования заготовка МПП обрабатывается так же, как двусторонняя печатная плата, – позитивным комбинированным методом с получением металлизированных отверстий и печатных проводников на наружных слоях. Нужно отметить, что наружный слой МПП попарного прессования дважды подвергается металлизации: при осаждении меди в переходные отверстия и при металлизации сквозных отверстий, соединяющих наружные слои. Поэтому толщина меди наружных слоев, считая и медную фольгу, достигает 130–160 мкм. Это резко снижает разрешающую способность печатного рисунка наружных слоев, так как травление меди значительной и неравномерной толщины не обеспечивает необходимого качества и плотности печатного рисунка. Кроме того, при защите печатных узлов покровными лаками создаются значительные затруднения в получении плотного защитного покрытия: лак стекает с высоких проводников, обнажая их острые кромки. Методом попарного прессования можно изготовить многослойную печатную плату с числом слоев не более четырех, что не всегда позволяет получить необходимую плотность монтажа. Преимуществами метода попарного прессования является относительная простота реализации, поскольку он основан на обычной технологии металлизации отверстий двусторонних

печатных плат, хорошо освоенной в промышленности. Однако прессование заготовок при недостаточной жесткости исходного материала может приводить к разрушению металлизации переходных отверстий, следовательно, к отказам соединений. Метод открытых контактных площадок и выступающих выводов

Сущность обоих методов заключается в прессовании тонких печатных слоев с перфорированными окнами для доступа к внутренним слоям. Межслойные соединения, как таковые, в этих методах изготовления отсутствуют. Поэтому проводники, принадлежащие одной цепи, должны лежать в одном слое. При изготовлении многослойных печатных плат методом открытых контактных площадок используются полученные травлением отдельные печатные слои. Соединения выводов навесных элементов с контактными площадками внутренних слоев осуществляются через перфорированные окна вышележащих слоев. В результате этого верхний слой имеет перфорации, обеспечивающие доступ ко всем нижним слоям. Очевидно, нижний внутренний слой имеет наибольшую площадь для трассировки печатных цепей, поскольку не имеет перфораций, а верхний наружный слой имеет наименьшую площадь для трассировки и наибольшее количество перфорации. Таким образом, при использовании метода открытых контактных площадок плотность печатного рисунка внутренних слоев имеет ограничения, связанные с необходимостью перфораций для осуществления соединений. Поэтому увеличение слойности МПП, изготавливаемых методом открытых контактных площадок, более пяти становится нецелесообразным. Такие ограничения отсутствуют для метода выступающих выводов. Фольгирование перфорированной стеклоткани внутренних слоев при изготовлении многослойных печатных плат методом выступающих выводов производится самим изготовителем платы, так как выступающие выводы являются продолжением печатных проводников и выходят из внутренних слоев в перфорированные окна. После склеивания пакета внутренних слоев, выступающие в окна выводы отгибают на наружную поверхность платы и формуют под крепящую колодку либо подпаивают к контактными площадкам наружного печатного слоя. Окна в плате предназначены для размещения микросхем. Из каждого окна должны выходить концы проводников в количестве, равном числу выводов микросхем. Оба этих метода отличаются простотой и сравнительно коротким технологическим циклом. Однако необходимость формовки выводов радиоэлементов на различную глубину и пайка в перфорированные окна повышают трудоемкость монтажных операций для метода открытых контактных площадок. Кроме того, при этом методе существует ограничение на число слоев (не более 5...7), так как большее их число увеличивает глубину перфорации, что делает пайку открытых контактных площадок ненадежной. В отличие от других методов, метод выступающих выводов не имеет каких-либо ограничений по максимальному количеству слоев. Но сосредоточение печатных проводников в узких переплетах перфорированных окон создает большие перекрестные помехи и, тем самым, ограничивает трассировочные возможности печатных узлов. Наряду с этим недостатком,

следует принять во внимание затруднения в формовке и закреплении выступающих выводов на поверхности платы в пределах периметра окна. Метод послойного наращивания. Изготовление многослойных печатных плат этим методом заключается в последовательном чередовании слоя изоляции и металлизированного слоя печатного рисунка. Соединения между проводящими элементами печатных слоев производятся гальваническим наращиванием меди в отверстиях слоя изоляции. Изготовление платы начинается с приклейки к медной фольге изоляционной прокладки с перфорациями в местах будущих межслойных переходов. На всех операциях изготовления многослойной печатной платы методом послойного наращивания эта фольга осуществляет соединение металлируемых поверхностей с катодом гальванической ванны. На конечном этапе на ней вытравливают рисунок наружного слоя. После изготовления металлизированных переходов и их планаризации в плоскость с диэлектриком, на поверхность межслойной изоляции полуаддитивным методом формируют печатный рисунок слоя. На изготовленный слой проводящего рисунка напрессовывают следующий слой перфорированной изоляции и через перфорации наращивают очередные металлизированные переходы. Таким образом, последовательно создаются слои проводящего рисунка и изоляции с межслойными переходами. В качестве межслойной изоляции могут быть использованы стеклотекстолитовые прокладки с перфорациями в местах межслойных переходов или полимерные пленки, отверстия в которых химически вытравливают в назначенных местах. Количество слоев многослойной печатной платы при послойном наращивании ограничивают обычно пятью, так как изготовление каждого последующего слоя связано с многократными термическими (при прессовании) и химическими воздействиями на уже изготовленные слои. Преимуществом данного метода изготовления многослойных печатных плат является исключительно высокая плотность монтажа, так как он дает возможность выполнения межслойных переходов в любой точке платы, независимо от трассировки и местоположения межслойных соединений смежных слоев. Таким образом, межслойные переходы могут выполняться независимо друг от друга, между любыми слоями в любой назначенной точке. Ввиду необходимости строгой последовательности выполнения операций, процесс изготовления многослойных печатных плат методом послойного наращивания имеет длительный технологический цикл. Кроме того, этот процесс требует исключительной тщательности и качества изготовления, так как любой производственный дефект, допущенный на последних слоях, приводит к браку всей печатной платы. Использование этого метода для изготовления МПП создает дополнительные технологические трудности при очистке отверстий под межслойные переходы от затеков клея, последующего тщательного визуального контроля каждого отверстия на отсутствие загрязнений, шлифования вручную выступающих над поверхностью заготовки столбиков меди межслойных соединений до уровня поверхности изоляции и др. Попытки в какой-то мере

механизировать эти операции, как правило, не приводят к положительному эффекту. Особенности гальванических осадений в толстых слоях и длительный контакт электролитов с открытой поверхностью диэлектриков приводят к необходимости постоянной тщательной очистки электролитов и предотвращения попадания в ванну даже незначительных загрязнений, которые потом могут вызвать отказ соединений по межслойному переходу. Для обеспечения постоянных условий металлизации необходимо более часто, чем для других случаев, производить химический анализ, корректировку и очистку растворов ванн. Трудности послойного наращивания в сочетании с высокой реализуемой плотностью монтажа и надежностью выделили этот метод для изготовления уникальных многослойных печатных плат в лабораторном производстве с высокой технологической культурой. Внедрение этого метода в серийное и даже в мелкосерийное производство затруднено. Применение этого метода оправдано для создания аппаратуры с высокой надежностью. Например, печатные платы в аппаратуре космического транспорта и космического базирования, изготовленные этим методом, не имели ни одного отказа за все время использования с 80-х годов прошлого столетия. Метод металлизации сквозных отверстий

Процесс изготовления многослойных печатных плат методом электрохимической металлизации сквозных отверстий состоит в изготовлении отдельных внутренних слоев химическим методом, прессования слоев в монолитный пакет, сверлении сквозных отверстий и их металлизации. При сверлении на стенках отверстий вскрывают торцы контактных площадок внутренних слоев. Соединения их друг с другом и с контактными площадками наружных слоев получаются за счет металлизации отверстий. Поскольку все отверстия в плате являются сквозными, плотность межсоединений несколько ограничена, так как каждое отверстие используется для внутреннего соединения только один раз и в то же время занимает определенную площадь на каждом слое, ограничивая свободу трассировки печатных цепей. Вводя промежуточные внутренние соединения или сквозные отверстия для групп слоев, межслойные соединения можно располагать, друг над другом или только между теми слоями, где они нужны, не ограничивая трассировку печатных цепей на других слоях. Изготовление многослойных печатных плат по таким схемам обеспечивает наибольшую свободу в выборе месторасположения внутренних соединений и путей трассировки печатных проводников, следовательно, позволяет получить максимальную плотность межсоединений. Метод металлизации сквозных отверстий, по существу единственный метод создания конструкций с наиболее оптимальной электрической структурой, обеспечивающей надежную передачу наносекундных импульсов и распределение питания между активными элементами. Такие конструкции многослойных печатных плат позволяют выполнить печатные цепи как полосковые линии передач и создают эффективное экранирование одной группы цепей от другой. Таким образом, наряду с высокой технологичностью многослойные печатные платы, изготовленные методом металлизации сквозных отверстий, имеют

высокую плотность монтажа, большое количество вариантов трассировки печатных цепей, более короткие линии связей, возможность электрического экранирования, улучшение характеристик, связанное с устойчивостью к воздействию окружающей среды за счет расположения всех печатных проводников в массе монолитного диэлектрика, возможность увеличения числа слоев без существенного увеличения стоимости и длительности процесса. Недостатком метода металлизации сквозных отверстий является относительно механически слабая связь металлизации отверстий с торцами контактных площадок внутренних слоев. Изготовление МПП этим методом осложнено проблемой точного совмещения печатных слоев из-за погрешностей фотошаблонов и деформаций базовых материалов в процессе изготовления внутренних слоев и прессования. Особой тщательности требует подбор режимов прессования для обеспечения прочной адгезии пакета слоев, устойчивой к воздействию групповой пайки. Наконец, в процессе использования МПП возникают трудности, при внесении изменений в трассировку при ремонте плат. Многослойные печатные платы со скрытыми микропереходами на наружных слоях. Схема изготовления МПП со скрытыми микропереходами похожа на схему МПП изготавливаемых методом попарного прессования. Отличие лишь в том, что металлизацию внешнего слоя защищают от осаждения, чтобы не создавать больших толщин меди на внешних слоях. Для этого отверстия в слое выполняют не сквозными, а глухими. Не трудно увидеть также, что высверлить глухое отверстие в тонком основании на заданную глубину, не порвав фольги, невозможно. Поэтому слой с микропереходами выполняют из фольгированного полиимида и отверстия вытравливают через перфорации фольги по местам, где должны быть отверстия. Нужно сказать, что технология изготовления МПП со скрытыми микропереходами активно вытесняется методом послойного наращивания переходов на основание, изготовленное методом металлизации сквозных отверстий. Гибкие печатные платы. Использование гибких диэлектрических материалов для изготовления печатных плат дает как разработчику, так и пользователю электронных устройств ряд уникальных возможностей. Это, прежде всего, уменьшение размеров и веса конструкции, повышение эффективности сборки, повышение электрических характеристик, теплоотдачи и, в целом, надежности. Если учесть основное свойство таких плат – динамическую гибкость – становится понятным все возрастающий объем применения таких плат в автомобилях, бытовой технике, медицине, в оборонной и аэрокосмической технике, компьютерах, в системах промышленного контроля и бортовых системах. Гибкие печатные платы (ГПП) изготавливаются на полиимидной или лавсановой пленке и поэтому могут легко деформироваться, даже после формирования проводящего рисунка. Большая часть конструкций гибких печатных плат аналогична конструкциям печатных плат на жесткой основе.

8.2.2 Оборудование производства печатных плат

Технологичность изделия – это совокупность конструктивно-технологических требований к электронным средствам, позволяющих обеспечить конструктивно простое и экономичное изготовление изделия в соответствии с техническими и эксплуатационными требованиями.

Внедрение на производство изделий электронных средств автоматических и автоматизированных, механизированных устройств, применение программных продуктов при осуществлении технологической подготовки производства электронных средств, разработке технологических процессов изготовления печатных плат, сборки блоков ЭС, контроля, настройки и регулировки изделий возможно при оценке и соответствующем уровне технологичности конструкции блока электронного средства. Конструкция блока считается технологичной, если она соответствует требованиям, которые изложены в нормативных документах на изготавливаемое изделие ЭС, при выбранном типе производства и заданном объёме выпуска изделия применяются экономически целесообразные технологические процессы. Целью оценки технологичности конструкции блока электронного средства является минимизация временных и финансовых ресурсов на технологическую подготовку производства, разработку технологических процессов изготовления деталей, сборки блоков и печатных узлов, контроля, настройки и регулировки блоков и узлов электронных средств при выпуске продукции на предприятии надлежащего качества.

8.3. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА И СБОРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Основные этапы сборки и монтажа блока ЭС определяются в соответствии с видом изготавливаемого блока и типом производства. Разработка технологического процесса сборки и монтажа блоков электронных средств является одним из основных этапов технологической подготовки производства изделия ЭС и включает следующие направления:

1. Анализируются исходные данные на разработку блока ЭС, выполняется подробное изучение технического задания на разработку изделия, конструкторской документации, осуществляется расчёт и анализ технологичности конструкции блока ЭС, определяются объём выпуска изделия и тип производства.

2. Выбор типового технологического процесса (ТП) – выбирается код изделия по классификатору, изделие относится к определённой классификационной группе. Для данной классификационной группы проводится выбор типового технологического процесса сборки и монтажа блока, а также при сборке применяется использующийся на предприятии технологический процесс.

3. Для разработки технологической схемы сборки блока осуществляется выбор состава деталей и сборочных единиц изделия, комплектующих: печатных плат, интегральных микросхем,

электрорадиоэлементов. Определяется способ сборки и монтажа блока ЭС: с базовой деталью или веерного типа. При способе с базовой деталью выбирается базовая деталь или сборочная единица. В соответствии с этим осуществляется разработка схемы технологического процесса сборки блока.

4. При разработке маршрутного технологического процесса устанавливается последовательность выполнения технологических операций, проводится выбор технологического оборудования и оснастки. Разрабатывается техническое задание при необходимости заказа нового оборудования.

5. Разрабатываются технологические операции: выбирается структура операции и определяется её точность; создаются последовательности переходов при выполнении технологических операций, схемы базирования деталей при монтаже и сборке блока электронного средства; выполняется расчёт и анализ применяемых режимов и определяется уровень загрузки оборудования.

6. Проводится технико-экономическое обоснование разрабатываемых технологических процессов сборки блока и технологических операций, по результатам которого определяются оптимальные варианты по выбранным критериям: технологической себестоимости и трудоёмкости, а также устанавливается разряд работ в соответствии с классификатором профессий и разрядов.

7. Для обеспечения техники безопасности технологического процесса сборки и монтажа блока электронного средства необходимо определить требования по вибрации, радиации, шуму, способы защиты от влияния опасных веществ, применять наиболее эффективные методы сохранения экологической среды.

8. Разработка последовательности технологических операций, маршрутного и операционного технологических процессов, изложенных, соответственно, в маршрутных и операционных картах, технологической документации в полном объёме согласно требованиям.

9. Если при реализации технологического процесса необходимо применение специальной оснастки, то разрабатывается техническое задание с указанием точности приспособлений, числа заготовок и метода их закрепления, схем базирования заготовок и погрешностей базирования. Существуют два способа реализации технологических процессов сборки блока электронного средства: схемы с базовой деталью и веерного типа. При разработке технологических процессов сборки первоначально составляется схема сборочного состава блока ЭС, при этом указываются сборочные единицы, детали и уровень их сложности. В технологической схеме с базовой деталью определяется базовая деталь, на которую в процессе сборки устанавливаются все детали, сборочные единицы и остальные комплектующие блока. Для модулей первого уровня базовой деталью служит печатная плата (ПП). В модулях второго уровня в качестве базовой детали применяются каркас, рамка, основание и др. Преимуществом схемы с базовой деталью является указание наименования технологических операций

при сборке и монтаже блока ЭС, а также последовательности осуществления технологического процесса сборки изделия. Схема технологического процесса сборки вверного типа показывает этапы сборки, состав конструкции блока ЭС, наименование и число деталей и сборочных единиц, но не отражает название технологических операций при сборке и монтаже блока и последовательность их выполнения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Практическое задание №1. Исследование работы мультиметра.

Цель работы: Изучение принципиальных основ работы и органов управления цифровым мультиметром.

План выполнения лабораторной работы:

1. Изучить основные функции мультиметра;
2. Изучить методику измерения электрических величин мультиметром;
3. Проведение экспериментальной части работы (измерение сопротивления, постоянного и переменного тока и напряжения, обработка полученных результатов);

Функции цифровых мультиметров:

1. Измерение постоянного и переменного напряжения;
2. Измерения постоянной и переменной силы тока;
3. Измерение электрического сопротивления;
4. Измерение индуктивности;
5. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь.
6. Тестирование транзисторов;
7. Тестирование диодов;
8. Тестирование проводимости (прозвонка);
9. Измерение частоты электрического тока;
10. Измерения электрической емкости конденсаторов;
11. Измерения температуры;

На рисунке 1 представлена лицевая панель мультиметра.

Включение питания мультиметра осуществляется при помощи кнопки 1;

При помощи поворотного переключателя 6 осуществляется выбор функции мультиметра, определяется его предел измерения;

Мультиметр имеет 4 входных гнезда рассчитанных на перегрузки;

Черный Щуп устанавливается в гнездо «СОМ»;

Красный щуп устанавливается в гнездо соответствующему проводимому типу измерения.

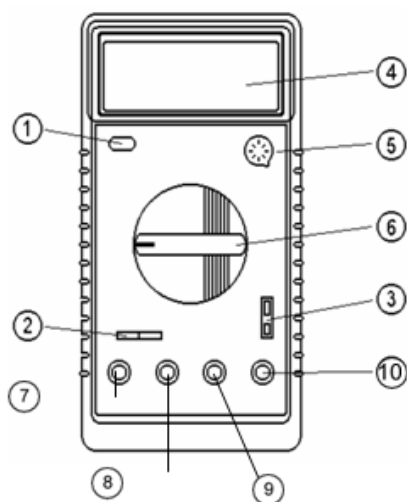


Рис. 1. Схема лицевой панели цифрового мультиметра MastechMY64:

1 – кнопка включения питания; 2 – гнездо для измерения подключения электрических конденсаторов; 3 – гнездо для измерения температуры; 4 – ЖК дисплей; 5 – гнездо подключения транзисторов; 6 – переключатель функций; 7 – гнездо для подключения щупа при измерении силы тока до 10 А; 8 – гнездо для подключения щупа при измерении силы тока до 200 мА; 9 – гнездо COM; 10 – гнездо для подключения щупа при измерении напряжения, частоты, сопротивления

Выполнение основных функций

Проверка напряжения:

1. Подключить черный щуп к гнезду «COM»,
2. Подключить красный щуп к гнезду U;
3. С помощью переключателя выбрать режим и предел измерения;
4. При измерении постоянного напряжения отобразится полярность сигнала;

Проверка силы тока:

1. Подключить черный щуп к гнезду «COM»;
2. Красный щуп подключается к гнезду 200 мА или 10 А;
3. С помощью переключателя выбирается нужная функция и предел измерения;
4. При измерении постоянного тока на дисплее отобразится полярность сигнала.

Измерение частоты:

1. Подключите черный щуп к гнезду «COM»;
2. Красный щуп к гнезду U;
3. Установите поворотный переключатель в позицию «KHz».
4. Подключите клеммы к источнику сигнала;

Измерение сопротивления

1. Подключите черный щуп к гнезду «COM»;
2. Красный щуп к гнезду U;
3. Установите поворотный переключатель в позицию «R»;
4. Подключить мультиметр последовательно к исследуемой

нагрузке.

Проверка работы транзистора:

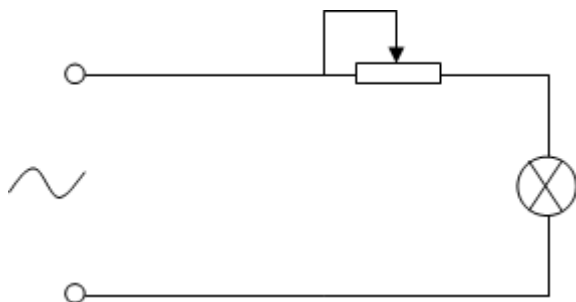
1. Установить поворотный переключатель в положение « h_{FE} »;
2. Определить полупроводниковый тип проверяемого транзистора;
3. Установить выводы транзистора в соответствующие гнезда мультиметра;
4. На дисплее отображается коэффициент транзистора при токе базы 10 мА, напряжением коллектор-эмиттер 3.2 В;

«Прозвонка» соединений:

1. Подключите черный щуп к гнезду «COM»;
2. Подключите красный щуп к гнезду «U»;
3. Установить поворотный переключатель в режим «прозвонки»;
4. Если сопротивление между испытываемыми клеммами меньше 50 Ом прозвучит звуковой сигнал;

Порядок выполнения работы

Согласно схеме подключите приборы:



Измерение сопротивления

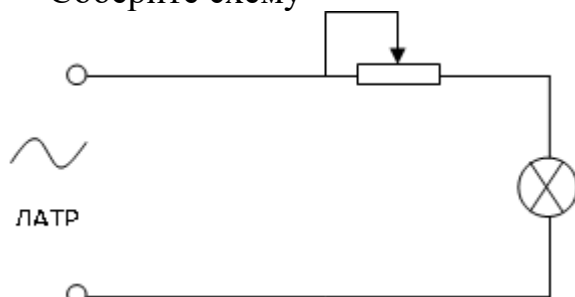
1. Установите регулятор резистора в среднее положение;
2. Установите переключатель режима работы мультиметра в положение измерения сопротивления;
3. Установите щупы мультиметра в разрыв между лампой и сопротивлением;
4. Запишите полученные значения;
5. Отключить щуп красного цвета мультиметра от контакта переменного резистора. Спустя 10 секунд повторно подключить щуп красного цвета мультиметра к контакту;
6. Повторите испытание не менее 10 раз.

Таблица 4. Результаты измерений

Номер эксперимента	R
1	
2	
3	
...	
10	
M_x	
D_x	
Σ_x	

Измерение напряжения

1. Соберите схему



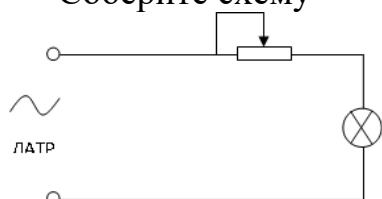
2. Установите регулятор напряжения на ЛАТРЕ на напряжение 100 Вольт;
3. Установите мультиметр на измерение переменного напряжения;
4. Установите щупы мультиметра на клеммы лампы;
5. Зафиксируйте напряжение;
6. Отсоедините один щуп и через 10 секунд повторно подключите;
7. Повторите опыт минимум 10 раз.

Таблица 5. Результаты измерения

Номер эксперимента	U
1	
2	
3	
...	
10	
M_x	
D_x	
Σ_x	

Измерение силы тока

1. Соберите схему



2. Установите регулятор напряжения на ЛАТРЕ на напряжение 20В;
3. Установите мультиметр на измерение переменной силы тока;
4. Установите щупы мультиметра черный в гнездо «COM», красный в гнездо 200 мА
5. Зафиксируйте напряжение;
6. Отсоедините один щуп и через 10 секунд повторно подключите;
7. Повторите опыт минимум 10 раз.
- 8.

Таблица 6. Результаты измерения

Номер	I
1	
2	
3	
...	
10	
M_x	
D_x	
Σ_x	

Практическое задание №2. Ознакомление с электроизмерительными приборами и измерениями электрических величин.

1. Цель работы.

Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах, выполняемых на стенде. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

Изучение паспортных характеристик стрелочных электроизмерительных приборов. Для этого внимательно рассмотреть лицевые панели стрелочных амперметров и заполнить табл.1.

Таблица 1

Характеристика электроизмерительного прибора		
Наименование прибора	Вольтметр №1	Вольтметр №2
Система измерительного механизма		
Предел измерения		
Цена деления		
Минимальное значение измеряемой величины		
Класс точности		
Допустимая максимальная абсолютная погрешность		
Род тока		
Нормальное положение шкалы		
Прочие характеристики		

график зависимости относительной погрешности измерения от измеряемой величины $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$ для прибора, указанного преподавателем. Сделать вывод о величине относительной погрешности измерения в начальной и конечной части шкалы, о характере изменения погрешности вдоль шкалы прибора.

Измерить величину сопротивления, заданного преподавателем, методом амперметра и вольтметра.

После проверки схемы, включить электропитание и занести полученные данные в табл.3. Выключить электропитание. Рассчитать, используя закон Ома, величину заданного сопротивления R . Результат занести в табл.2.

Таблица 2

U, В	I, мА	R, Ом

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование работы и цель работы;
- технические данные измерительных приборов;
- график зависимости относительной погрешности измерений $\gamma_{\text{изм}} = f(A_{\text{изм}})$;
- результаты измерений;
- выводы по работе.

Практическое задание №3. Вычислить среднеповерхностные температуры нагретой зоны и корпуса радиоэлектронного аппарата с перфопрофигурованным корпусом и горизонтальным перфопрофигурованным шасси.

Геометрические параметры и режимы работы аппарата известны: среднее расстояние между отверстиями для подвода и отвода воздуха $h=0,206\text{м}$; суммарные площади отверстий корпуса и шасси аппарата $F_{\text{вх}}=F_{\text{вых}}=1,6\cdot 10^{-2}\text{м}^2$, $F_{\text{ш}}=1,75\cdot 10^{-2}\text{м}^2$; площади поверхностей корпуса, нагретой зоны и излучающей ее поверхности $S_{\text{к}}=0,695\text{м}^2$; $S_{\text{з.в.}}=0,247\text{м}^2$; $S_{\text{з.д.}}=0,241\text{м}^2$; площадь поперечного сечения порожнего корпуса аппарата $F_{\text{ап}}=0,122\text{м}^2$. Коэффициент заполнения аппарата $k_3=0,1$. Мощность источников тепла, действующих в аппарате $P=95\text{Вт}$. Теплообмен осуществляется в неограниченной воздушной среде. Температура среды $t_c=20^\circ\text{С}$, давление нормальное, теплообмен внешней поверхности корпуса со средой происходит в условиях естественной конвекции.

Практическое задание №4. Определить температура корпуса радиоэлектронного аппарата, имеющего следующие размеры: длина $L_1=0,176\text{м}$, ширина $L_2=0,095\text{м}$ и высота $h=0,072\text{м}$. Корпус окрашен эмалевой краской (степень черноты $\epsilon=0,9$). Давление H среды, окружающей аппарат, нормальное. Температура среды $t_c=20^\circ\text{С}$. Мощность источника тепла, действующих в аппарате $P=16\text{Вт}$.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
2. Что такое предел измерения?
3. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
4. Что характеризует класс точности прибора?
5. В какой части шкалы прибора измерение точнее и почему?
6. Каковы основные достоинства цифровых измерительных приборов?
7. Как можно измерить величину сопротивления резистора?
8. Какие операции входят в производственный процесс изготовления электронных изделий?
9. Дайте краткое описание структуры производства электронной техники.
10. Какие производственные действия относятся к подготовительным операциям?

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают: навыки выполнения сборки, монтажа и демонтажа электронных приборов и устройств в соответствии с технической документацией.

При изучении модуля обучающиеся учатся: соблюдать требования Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системы технологической документации (ЕСТД), нормативные требования по проведению технологического процесса сборки, монтажа и демонтажа, применять алгоритм организации технологического процесса сборки, иметь

представление о назначении и рабочие функции деталей и узлов собираемых приборов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств Москва: Техносфера, 2007. - 256с.
2. Кар Дж. Проектирование и изготовление электронной аппаратуры М.: Мир, 1986. - 387с.
3. Петров В.П. Выполнение монтажа и сборки средней сложности и сложных узлов, блоков, приборов радиоэлектронной аппаратуры, аппаратуры проводной связи, элементов узлов импульсной и вычислительной техники: учебник для нач. проф. образования / В.П.Петров. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 272с.
4. Электротехника и электроника: Учебник для сред. проф. образования /Б.И. Петленко, Ю.М. Иньков, А.В. Крашенинников и др.; Под ред. Б.И.Петленко.–М.: Изд. Цент «Академия», 2003.–320с
5. Москатов Е.А.Электронная техника: учебник/Е.А.Москатов.– М.:Высшая школа, 2007.–121с.

РАЗДЕЛ 9. ВЫПОЛНЕНИЕ НАСТРОЙКИ, РЕГУЛИРОВКИ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Читать электрические схемы и составляет схемы соединений регулируемых приборов и устройств.
2. Выявлять механические и электрические неточности в работе электронных приборов и устройств.
3. Определять и устранять причины отказа работы электронных приборов и устройств.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

1. Персональный компьютер или ноутбук с необходимым программным обеспечением

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для чтения схем различных электронных приборов и устройств, их отдельных узлов и каскадов, выполнения настройки, регулировки и проведение испытаний электронных приборов и устройств, дает представление о назначении, устройство, принцип действия различных электронных приборов и устройств.

9.1. Технология настройки и регулировки и проведение испытаний электронных приборов и устройств

Настройка и регулировка электронных приборов и устройств производится в такой последовательности: внешний осмотр сборки и монтажа аппаратуры, настройка и регулировка ее узлов и блоков и проверка электрических параметров аппаратуры.

При внешнем осмотре сборки и монтажа проверяют правильность установки деталей и сборочных единиц на шасси или печатной плате и их крепление, отсутствие замыканий проводов или печатных проводников на плате. Любые неисправности, обнаруженные при осмотре, должны быть устранены.

Настройку и регулировку электрических параметров узлов и блоков начинают с измерения напряжений и токов питания, иногда – сопротивлений цепи. Измеренные значения токов потребления и напряжений (сопротивлений) сравнивают с их значениями, приведенными на принципиальной электрической схеме и технологических картах.

Если показания измерительных приборов не отличаются резко от нормы, приступают к настройке и регулировке блока. При регулировке узлов и блоков РЭА в зависимости от технологического процесса применяют либо метод проверки параметров по измерительным приборам, или метод сравнения выходных параметров блока с эталоном.

При расхождении этих значений со значениями данных в ТУ изделия бракуют и отправляют в ремонт. При регулировке и настройке электронных приборов и устройств с использованием интегральных микросхем и микросборок необходимо, чтобы измерительное оборудование не нарушало их электрических и тепловых режимов. Проверка электрических режимов микросхем и микросборок при монтаже или ремонте сводится к измерению постоянных или импульсных напряжений на их выводах в узлах или блоках.

Основные методы измерений электрических параметров устройств на микросхемах и микроблоках и определение их характеристик оговорены ГОСТ 18683–76 и ГОСТ 19799–74. При этом нельзя допускать произвольную замену номиналов резисторов на схемах блоков, так как режимы микросхем и микросборок могут выйти за пределы допустимых значений.

Существенное значение в работе СВЧ-аппаратуры приобретают потери электромагнитной энергии при передаче ее от источника на нагрузку. Для уменьшения потерь энергии осуществляется согласование между отдельными узлами и блоками аппаратуры, входящими в тракт передачи энергии, с помощью согласующих устройств-преобразователей (аттенуаторов, ответвителей, фазовращателей, нагрузок и др.).

Волноводные, коаксиальные и полосковые тракты передачи энергии, а также входящие в их состав линейные элементы характеризуются полным сопротивлением, коэффициентом стоячей волны (КСВ), модулем, фазой коэффициента отражения и комплексным коэффициентом передачи. Измерения этих величин, а также мощности СВЧ-колебаний также имеют специфические особенности.

При настройке и регулировке узлов и блоков, работающих в СВЧ-диапазоне, необходимо согласовать элементы тракта СВЧ для передачи максимума энергии без отражений, обеспечить заданную стабильность работы генераторов и др. Для этого используют специальные измерительные приборы и устройства (волномеры, измерители мощности, измерительные линии, генераторы) и согласующие устройства – преобразователи.

В процессе регулировки необходимо следить за точностью и плотностью сочленения отдельных элементов (фланцев, разъемов и др.) СВЧ-тракта. Различные смещения, ухудшение контакта и другие неточности в соединении отдельных элементов приводят к большим потерям полезного сигнала.

При проведении испытания следует руководствоваться следующими общими положениями:

а) испытания проводят с учетом требований Государственных стандартов;

б) продолжительность испытания определяется временем, необходимым для проверки параметров изделия или временем достижения заданного режима.

В технически обоснованных случаях для степени жесткости X в стандартах и ПИ могут устанавливаться методы испытаний на длительное (более 2-3 ч) воздействие пониженного атмосферного давления;

в) изделия считают выдержавшими испытание, если в процессе и после испытания они удовлетворяют требованиям, установленным в стандартах и ПИ для данного вида испытаний.

9.1.1 Ведение эксплуатации контрольно-измерительного оборудования и технологического оснащения сборки и монтажа

При производстве микросхем и микросборок совершенно неприменимы обычные методы монтажа, пайки и сварки, используемые при производстве функциональных узлов и микромодулей, так как большинство полупроводниковых материалов и диэлектрических подложек из керамики и стекла обладают низкой теплопроводностью, узкой зоной пластичности и малой сопротивляемостью к воздействию термических и механических напряжений.

Внутренний монтаж микросхем включает в себя технологические операции по ориентированию и разделению пластин с готовыми структурами на кристаллы (подложки), установке и креплению одной или нескольких микросхем в корпусе и выполнению внутрисхемных соединений.

Крепление кристаллов микросхемы осуществляют методом пайки, сварки или приклеиванием.

Внутрисхемные соединения между напыленными на кристаллы контактными площадками микросхемы и выводами ее корпуса выполняют проволочными перемычками, в качестве которых используют медные и золотые микропровода толщиной от 8 до 60 мкм или осуществляют беспроволочный монтаж. К беспроволочному монтажу относятся подсоединение кристаллов с выводами, сборка на рамке, ленте или гибком носителе.

В зависимости от сочетания материалов и конструкции выводов при сборке микросхем применяют микросварку (термокомпрессионную, ультразвуковую, контактную, электронно-лучевую, лазерную) и микропайку. Наибольшее распространение получили термокомпрессионная и ультразвуковая микросварка и микропайка.

Самый распространенный способ монтажа кристаллов, поддающийся автоматизации – эвтектическая пайка.

Термокомпрессионная микросварка заключается в одновременном воздействии на свариваемые детали давления и повышенной температуры. Соединяемые металлы разогреваются до определенной температуры (начало рекристаллизации), при которой начинает появляться заметное сцепление (диффузия) очищенных от окислов поверхностей металлов при приложении даже небольшой нагрузки. Этим способом можно присоединять

электрические выводы толщиной не более нескольких десятков микрон к контактными площадкам кристаллов, размеры которых не превышают 20–50 мкм. Соединение проводят следующим образом: микропровод из алюминия или золота прикладывают к кристаллу полупроводника и прижимают нагретым стержнем инструмента.

Основными параметрами, определяющими режим термокомпрессионной микросварки, являются удельное давление, температура нагрева и время сварки. Метод термокомпрессии требует тщательного контроля этих параметров.

Область применения термокомпрессионной микросварки очень широка: для присоединения выводов к полупроводниковым кристаллам; проволочных микропроводников к напыленным контактными площадкам микросхем, монтажа БИС и микросборок. С помощью термокомпрессионной микросварки можно осуществлять групповую сварку микросхем с планарными выводами, а также прецизионную микросварку элементов с минимальной толщиной проводников.

Ультразвуковая микросварка позволяет получить надежное соединение металлов с оксидными поверхностями кристаллов при минимальном тепловом воздействии на структуру чувствительных к нагреву элементов микросхем. Этот вид сварки применяют для соединения металлов, отличающихся электро- и теплопроводностью, а также для сварки металлов с керамикой и стеклом.

При сварке ультразвуком неразъемное соединение металлов образуется при совместном воздействии на детали механических колебаний с частотой 15–60 кГц, относительно небольших сжимающих усилий и теплового эффекта, сопровождающего процесс сварки. В результате в сварной зоне наблюдается небольшая пластическая деформация, которая обеспечивает надежное соединение деталей.

В последние годы при монтаже микросхем широкое применение получил комбинированный способ, основанный на термокомпрессии с косвенным импульсным нагревом и наложением ультразвуковых колебаний, а также лазерная точечная сварка. Сварка лазерным пятном диаметром 0,25–1 мм и удельной мощностью 105–106 Вт/см² при длительности импульса 4–6 мс позволяет сваривать самые тугоплавкие материалы, не разрушая структуру расположенных рядом элементов. Сварные соединения обладают малым переходным сопротивлением.

Микропайка характеризуется простотой соединения деталей сложной конфигурации, что трудно осуществить при микросварке. В настоящее время разработаны высокотехнологичные способы микропайки. Одним из таких способов является микропайка в атмосфере горячего (до 400°C) инертного газа или водорода при проведении которой предварительно облуженный участок обдувается из миниатюрных сопел горячей струей газа. Установка обладает высокой производительностью, кроме того, нет необходимости в применении флюса.

Процесс пайки упрощается, когда используют дозированный припой в виде таблеток или пасты. Его предварительно наносят на места соединений. При этом способе можно точно контролировать количества тепла в месте сварки, а используя средства автоматики, регулировать ток и его время прохождения.

Процесс сборки и монтажа микросхем должен находиться под постоянным контролем. При этом применяют визуальный контроль с помощью микроскопа, позволяющий обнаружить обрывы, микротрещины и другие деформации, электрическую проверку параметров, а также рентгеновскую дефектоскопию, позволяющую обнаружить внутренние дефекты. Выборочно осуществляют испытания и полный контроль с разрушением конструкции микросхемы. Контроль в процессе производства интегральных микросхем показан на рисунке 9.1



Рисунок 9.1. Общая схема изготовления интегральных микросхем: ВО – вспомогательные операции. КО – контрольные операции

9.1.2 Осуществление настройки и регулировки устройств и блоков радиоэлектронных приборов

Производство РЭА на базе микроэлектроники предъявляет специфические требования как при выполнении соединений микроэлементов внутри микросхем, так и при монтаже микросхем в узлы и блоки.

Если в микромодулях микроэлемент еще существует как отдельная деталь до момента сборки микромодуля, то метод пленочной технологии предполагает изготовление большинства элементов непосредственно в процессе изготовления микросхемы, а в молекулярных функциональных устройствах и СБИС невозможно выделить отдельные элементы схемы.

При компоновке РЭА на интегральных схемах возникает сложная задача по объединению всех микросхем в одну систему с сохранением преимуществ, присущих интегральным микросхемам. Перед проектировщиками РЭА всегда стояла задача сокращения ее размеров, эта задача еще более осложняется при конструировании РЭА на базе микроэлектроники.

Примером того, насколько малыми могут быть микросборки, выполненные на основе микроэлектроники, может служить законченное устройство для ЭВМ – микропроцессор, все элементы которого выполнены в одном кристалле с уровнем интеграции до 1 млн. элементов.

Конструирование микроэлектронной аппаратуры возможно вести обычными традиционными методами, где активными элементами являются корпусированные интегральные микросхемы. Однако в последние годы все большее развитие находят конструкции микроэлектронных устройств с прогрессирующим уровнем интеграции, позволяющие получить более высокие технические, конструктивные, производственно-технологические и организационно-экономические показатели. Развитие этого направления связано с научно-техническим прогрессом, требует нового подхода к конструированию устройств, организации их производства, а также к регулировке и настройке радиоэлектронных устройств.

Конструирование РЭА на основе комплексной микроминиатюризации позволяет снизить потребляемую мощность, уменьшить массу и габариты, улучшить электромагнитную совместимость за счет сокращения длины соединительных линий и уменьшения восприимчивости схемных узлов к помехам, увеличить надежность, повысить устойчивость к механическим нагрузкам и изменениям климатических условий работы.

Выделяют несколько характерных компоновочных структур микроэлектронной аппаратуры, отличающихся степенью интеграции, однако использовать все преимущества интегральных схем и в первую очередь высокую интеграцию полностью не удастся. Это связано с тем, что приходится значительно увеличивать габариты аппаратуры для обеспечения отвода тепла и осуществления пайки или сварки выводов.

Радиоэлектронная аппаратура может изготавливаться как на интегральных микросхемах, размещенных в корпусах, так и на бескорпусных.

При применении микросхем в плоских прямоугольных корпусах наиболее оптимальной является конструкция блоков, использующих многослойные печатные платы.

Бескорпусный метод конструирования позволяет размещать кристаллы микросхемы на общей подложке, где производится коммутация их соединений. Благодаря этому методу в несколько раз увеличивается плотность компоновки и сокращается внешняя коммутация проводников.

Прежде чем начать серийное производство какой-либо микросборки, функционального узла или блока, нужно убедиться в том, что они правильно выполняют свои функции при воздействии на них дестабилизирующих факторов и разбросе параметров входящих в них компонентов. Методы машинного анализа с использованием ЭВМ позволяют относительно быстро решить эту задачу без применения дорогостоящего и длительного макетирования микросборок, узлов и блоков предварительной проверки и испытаний.

Особенно ощутимый эффект автоматизация проектирования с использованием ЭВМ дает при разработке сложных БИС и электронных схем. Например, для изготовления опытного образца интегральной схемы средней и высокой степени интеграции требуется произвести расчеты по рациональным принципам и методам взаимного расположения элементов схемы с учетом последовательности технологических операций ее изготовления, что составляет многие сотни тысяч чисел. Решение такой задачи под силу только средствам машинного проектирования.

Основными достоинствами использования ЭВМ при проектировании топологии микросхем и микросборок являются: сокращение сроков проектирования, снижение стоимости, повышение качества за счет снижения вероятности ошибок проектирования и предварительного моделирования характеристик до их изготовления.

В результате топологического проектирования получают комплект конструкторской документации, состоящий из чертежей и таблиц координат – для послойного совмещения трафаретов и информации, записанной на перфокартах – для автоматического управления специальным оборудованием (координатографами, графопостроителями и др.), необходимым для изготовления микросхем и микросборок.

С помощью ЭВМ можно также произвести необходимое размещение микроэлементов схемы и монтаж соединений между ними. Важное значение приобретает также возможность автоматического изменения параметров микросборок в процессе их изготовления.

В последние годы при производстве РЭА на микросхемах применяют функционально-узловой метод сборки.

Разработка РЭА по функционально-узловому методу резко сокращает сроки проектирования, дает возможность быстро вводить изменения в конструкцию аппаратуры, как в процессе разработки опытных образцов, так и при ее серийном изготовлении, значительно уменьшает трудоемкость производства за счет внедрения механизации и автоматизации производства,

упрощения методов контроля, настройки и испытаний.

9.1.3 Методы выбора средств измерений и способы их подключения

В процессе разработки, производства и эксплуатации РЭА возникает необходимость измерения и контроля качественных показателей аппаратуры и ее составных частей.

Измерением какой-либо величины называется сравнение ее с другими величинами, принятыми за единицу измерения (меры). Измеряемая величина сравнивается с единицей измерения измерительными приборами.

Методы измерения разделяются на электротехнические и радиотехнические. В электрических цепях измерение тока и напряжения производят на низкой промышленной частоте синусоидальной формы (50–60 и 400Гц). Под радиотехническими измерениями понимают измерения токов, напряжений, мощности в цепях РЭА, а также частоты, фазы, напряженности поля, формы сигнала и др.

Одно из основных требований к процессу измерений заключается в том, чтобы приборы не влияли на параметры измеряемой цепи. Такое влияние обусловлено тем, что любой измерительный прибор кроме омического (активного), сопротивления обладает реактивным сопротивлением, так как имеет индуктивность и емкость. С ростом частоты, на которой производят измерения, это влияние растет. Кроме того, измерительный прибор всегда потребляет часть энергии измеряемой цепи. Особенно это ощутимо при измерении малых токов, напряжений и мощностей.

9.2. МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ И СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытание РЭА является одним из элементов процесса контроля с целью определения технических показателей аппаратуры (приборов) с помощью различных средств. К этим показателям относятся различные технические параметры, надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и др.

9.2.1 Ведение стандартных и сертифицированных испытаний

Под испытанием РЭА понимается комплекс контрольно-проверочных работ, связанных с выявлением отдельных характеристик испытываемой аппаратуры, ее узлов и блоков, который включает проверку: соответствия РЭА техническому заданию и конструкторской документации, работоспособности аппаратуры при воздействии на нее предельных механических и климатических факторов, испытание на электромагнитную совместимость и др.

В соответствии с ГОСТ 15001–73 установлен порядок проведения испытаний (проверок) опытных образцов (опытных партий), а также

серийной и массовой аппаратуры. Вид и характер испытаний зависят от стадии разработки и производства РЭА.

На стадии разработки опытные образцы (опытные партии) подвергаются предварительным и приемочным испытаниям.

Цель предварительных испытаний заключается в проверке соответствия аппаратуры техническому заданию и технической документации. Предварительные (заводские) испытания организует и проводит предприятие-разработчик аппаратуры на стенде и в условиях, близких к эксплуатационным.

Стендовые испытания проводят в специально оборудованных лабораториях по всем параметрам согласно ТУ с помощью камер и стендов, имитирующих воздействие различных климатических и механических факторов. При этом уточняют правильность примененных материалов и покрытий, обнаруживают конструктивные дефекты, проверяют регулировку и настройку аппаратуры. Однако в лабораторных условиях не всегда можно создать полный комплекс условий эксплуатации, поэтому приходится проводить полевые испытания в реальных условиях работы аппаратуры.

В процессе испытаний проводится аттестация качества продукции по ее техническому уровню в соответствии с Единой системой аттестации качества продукции (ЕСАКП).

По результатам предварительных испытаний РЭА принимается решение о представлении ее на приемочные испытания, которые проводят для определения соответствия продукции техническому заданию, требованиям стандарта и технической документации. После этого дается разрешение на массовое производство продукции.

На стадии серийного и массового производства РЭА подвергают приемо-сдаточным и периодическим испытаниям. Определение видов испытаний устанавливается ГОСТ 16504-70.

Приемо-сдаточные испытания проводят при приемке готовых изделий работниками ОТК по специально составленной программе или ТУ. С целью контроля качества продукции при изготовлении радиоаппаратуры проводят типовые или периодические испытания. Типовые испытания позволяют также определить возможные отклонения, возникающие в процессе производства в течение определенного времени. При периодических испытаниях для проверки выбирают произвольные образцы из партии или серии, принятые ОТК (выходной контроль). Периодичность, продолжительность и условия проведения испытаний (проверок), а также объем продукции, подвергаемой испытаниям, (проверкам) устанавливается стандартами, ТУ и технической документацией на продукцию.

В последние годы для отработки аппаратуры и систем, требующих для испытаний больших материальных затрат, все чаще стали применять методы математического моделирования с линейным программированием на ЭВМ, которые позволяют найти наиболее оптимальные решения создания высоконадежных образцов аппаратуры при минимальных затратах.

Наиболее надежной проверкой конструкции аппаратуры и технологии ее изготовления являются комплексные испытания, которые наиболее полно имитируют действительные условия эксплуатации. Известно, что во многих случаях на аппаратуру в условиях эксплуатации одновременно могут воздействовать несколько климатических и механических факторов. Комплексные испытания в таких случаях весьма желательны.

Самолетную радиоаппаратуру испытывают, например, следующим образом. Устанавливают аппарат на вибростенд, помещенный в термобарокамеру, т. е. создают условия для одновременных испытаний в разряженной атмосфере, при отрицательной или положительной температуре и вибрации.

Климатические испытания проводят в определенной последовательности, которая регламентируется нормативно-технической документацией. Климатические испытания аппаратуры должны предшествовать механическим испытаниям, а испытания на влагоустойчивость – испытаниям на холодоустойчивость. После каждого вида испытания производится визуальный осмотр аппаратуры с целью выяснения, не произошло ли механических разрушений или повреждений аппаратуры в процессе ее испытаний.

9.2.2 Технология ремонта и регулировки устройств, блоков и приборов радиоэлектронной техники

К современным радиоприемникам предъявляют очень высокие требования чувствительности и избирательности по соседнему каналу, поэтому для их повышения при малых частотных искажениях часто используют многоконтурные фильтры сосредоточенной селекции с переменной полосой пропускания. Минимальную полосу пропускания выбирают равной 3-4кГц, а максимальную – 10-14кГц. Такую регулировку обычно осуществляют одновременно с регулировкой полосы пропускания в усилителе звуковой частоты.

В лучших моделях промышленных радиоприемников «Романтика-001-стерео», «Виктория-003-стерео», «Мелодия-105-стерео» избирательность в узкой полосе (при расстройке ± 10 кГц) составляет 70–80дБ и более. По ГОСТу ослабление радиосигналов соседней по частоте радиостанции у приемников высшего класса должно быть не менее чем на 60дБ (в 1000 раз), I класса – на 46, II класса – на 34 и III класса – на 26дБ.

Настройка и регулировка усилителей УПЧ в основном сводится к выбору оптимального режима работы усилительных элементов (микросхем, транзисторов и радиоламп) и настройке входящих в усилитель контуров или полосовых фильтров. Закончив сборку и монтаж усилителя УПЧ (или его ремонт), приступают к электрической проверке режимов работы микросхем, транзисторов (или радиоламп) по постоянному току (по технологическим картам или принципиальной схеме). Напряжение цепей измеряют вольтметром постоянного напряжения со шкалой 3 и 10В (класс точности не ниже 2,5%, входное сопротивление прибора не менее 10МОм).

В транзисторных УПЧ могут наблюдаться внешние и внутренние паразитные обратные связи. К внешним относятся индуктивная и емкостная связь между деталями усилителя и монтажными проводниками и связь за счет общих цепей питания и регулировки, к внутренним – связи через обратную проходную проводимость транзисторов.

Внутренняя обратная связь в УПЧ приводит к изменению качественных показателей усилителя: коэффициента усиления, полосы пропускания и др. Эти связи могут вызвать самовозбуждение каскадов УПЧ, которое проявляется в виде шумов, свистов и прерывистой генерации, сопровождающих прием вещательных станций. Самовозбуждение в тракте УПЧ можно также обнаружить по отклонению стрелки индикатора вольтметра, включенного на выходе усилителя УПЧ при отсутствии напряжения сигнала на его входе.

Внешние обратные связи могут быть устранены или сильно ослаблены экранированием, рациональным расположением деталей и соединительных проводников, с помощью развязывающих фильтров, включаемых в цепи питания отдельных каскадов.

Основными способами повышения устойчивости работы каскадов УПЧ являются включение в коллекторные цепи транзисторов антипаразитных резисторов (с сопротивлением 50–200 Ом) и уменьшение коэффициента трансформации при включении транзисторов в контуры и др. При использовании пьезокерамических фильтров остаточное (вне полосы пропускания фильтров) затухание составляет 35 дБ, поэтому для подавления помех, частоты которых далеки от полосы пропускания, эти фильтры рекомендуется использовать совместно с LC-контурами.

После электрической проверки режимов и устранения самовозбуждения приступают к общей проверке работоспособности усилителя, настройке и регулировке полосовых фильтров. Настройку катушек индуктивности полосовых фильтров радиоприемников производят с помощью ферритовых сердечников, в редких случаях посредством подстроечных конденсаторов.

Настройку и регулировку полосовых усилителей производят при отключенных АРУ и гетеродине. В многокаскадных полосовых усилителях проверку работоспособности тракта усиления производят в такой последовательности: от последнего каскада к первому при подаче сигнала промежуточной частоты от сигнал-генератора на вход регулируемого каскада. Измеряют напряжение сигнала на выходе регулируемого каскада электронным вольтметром.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Практическое задание №1. Выбор измерительных приборов, испытательного оборудования, схемы их включения

Цель работы: изучить методику выбора измерительных приборов и испытательного оборудования.

Краткие теоретические материалы по теме практического занятия:

Наладка – проверка и испытания электрооборудования. Проверка производится осмотром, измерительными приборами, испытания – измерительными приборами, специальными установками, подачей испытательного напряжения и другими методами.

Испытательно-наладочные работы производятся в период изготовления электрооборудования (ЭО) – заводские типовые и контрольные испытания; в процессе монтажа – приемосдаточные испытания и наладка; в процессе эксплуатации – профилактические измерения и испытания, что позволяет расширить возможности обнаружения дефектов с целью своевременного ремонта или замены оборудования; испытания и измерения после капитального ремонта и т.д.

Объем и нормы приемосдаточных испытаний ЭО определяются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и другими отраслевыми правилами и инструкциями.

Все ЭО должно пройти проверку работы механической части в соответствии с заводскими и монтажными инструкциями.

Заключение о пригодности ЭО к эксплуатации делается на основании рассмотрения результатов всех проверок и испытаний, относящихся к данной единице оборудования.

По степени точности электроизмерительные приборы делятся на классы: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0, а вспомогательные части к приборам: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

Для измерения сопротивлений постоянному току используют разнообразные приборы и следующие методы: амперметра – вольтметра, электрического моста, микроомметра.

Метод амперметра и вольтметра применяют во всех случаях, когда не требуется особенно большой точности измерения. Этим методом удобно пользоваться при измерении сопротивлений, находящихся в рабочем режиме. Точность измерения определяется суммой погрешностей амперметра и вольтметра. Для получения достаточно точных результатов необходимо использовать приборы класса точности 0,5 с погрешностью не более 0,5 %. Пределы измерений приборов выбирают так, чтобы отсчеты показаний производились во второй половине их шкалы. Обычно в таких случаях применяют многопредельные вольтметры с пределами измерения напряжения в цепях постоянного тока от 0,045 до 300В и тока от 0,03 до 30А. Метод основан на законе Ома, согласно которому измеряемое сопротивление какого-либо проводника R равно напряжению на его зажимах U , деленному на ток, проходящий через проводник $R=Z=U/I$. Таким образом, если пропустить через сопротивление ток и измерить его и напряжение на зажимах сопротивления, можно определить значение сопротивления.

Метод амперметра и вольтметра дает правильные результаты при соблюдении следующих условий: количество разъемных контактов в схеме измерения должно быть наименьшим; источником постоянного тока должна быть сеть или аккумуляторная батарея достаточной емкости напряжением 4-12В.

Для измерения сопротивлений (10-8-10+16Ом) постоянному току с высокой точностью служат электрические мосты. Измерительный мост состоит из трех резисторов R_1 , R_2 , R_3 , которые вместе с измеряемым сопротивлением резистора R_m образуют четырехугольник АБВГ. В его диагонали включены батареи GB и гальванометр P (чувствительный магнитоэлектрический прибор).

Для более точного измерения сопротивлений в практике наладочных работ широко применяют мосты постоянного тока Р 316, УМВ, Р333.

Для измерения малых сопротивлений применяют микроомметр, который дает эффект при большом количестве измерений, например: переходных сопротивлений контактов ошиновки, масляных выключателей, сопротивлений между соседними парами коллекторных пластин электрических машин и другого электрооборудования.

Задания к практическому занятию:

1. Согласно обозначениям на шкалах электроизмерительных приборов, используемых в данной работе, указать назначение прибора, тип тока, безопасность, класс точности, систему измерительного механизма, рабочее положение при эксплуатации.

2. По классу точности электроизмерительных приборов, используемых в данной работе, вычислить их абсолютную (инструментальную) погрешность и указать к какой группе приборов (прецизионным, техническим или внеклассовым) они относятся.

Инструкция по выполнению практического занятия:

1. Составьте классификацию ИП.
2. По условным обозначениям шкалы ИП дать его полную характеристику.
3. Решить задачи по определению погрешностей.
4. Составить таблицу условных обозначений на шкалах ИП:

Условное обозначение	Наименование	Применение
----------------------	--------------	------------

Порядок выполнения отчета по практическому занятию:

Отчет по практическим занятиям оформляется в тетрадях для практических занятий и должен содержать:

- необходимые таблицы, расчеты, выводы в соответствии с целью практического занятия.

Практическое задание №2. Изучить виды и методы проведения испытаний, способы установки, измерения и поддержания температурных режимов при испытании на воздействие тепла (холода).

Ознакомиться с назначением, устройством, принципом работы и основными техническими характеристиками испытательного оборудования.

Содержание отчета

- Краткие сведения о видах и методах испытаний на температурные воздействия и применяемом на кафедре испытательном оборудовании и контрольно-измерительной аппаратуре.
- Структурная схема измерений, эскиз испытательной установки, поясняющей принцип действия

Практическое задание №3. Изучить соответствующие методы и средства испытания РЭС и ее элементов на воздействие ударных нагрузок. Ознакомиться с назначением, устройством, принципом работы и основными техническими параметрами электродинамической ударной установки.

Порядок выполнения работы:

Ознакомиться с конструкцией и управлением ударной установки и измерительными приборами;

Подготовить отчет и защитить работу

Содержание отчета

- Краткие сведения о методах испытаний на воздействие ударных нагрузок, испытательном оборудовании и контрольно-измерительной аппаратуре.
- Структурная схема и эскиз конструкции используемой ударной установки.

Практическое задание №4. Поверка технических приборов и основы метрологии
Исходные данные
Технический амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током $I_n=1,0A$ и числом номинальных делений $\alpha_n=100$ имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения I_n , проставленные на каждой пятой части шкалы (стрелки обесточенных приборов занимают нулевое положение). Поверка технического амперметра осуществлялась образцовым амперметром той же системы. При поверке установлены абсолютные погрешности для каждого из пяти оцифрованных значений измеряемой величины. Значения абсолютных погрешностей для примера ΔI – -0,03; +0,05; +0,04; -0,08; -0,06;

Вариант	Значения абсолютных погрешностей
1.	ΔI 1 -0,01; +0,05; +0,04; -0,09; -0,06
2.	-0,02; +0,06; +0,04; -0,08; -0,06
3.	-0,03; +0,07; +0,04; -0,07; -0,06
4.	-0,04; +0,08; +0,04; -0,06; -0,06
5.	-0,05; +0,09; +0,04; -0,05; -0,06
6.	-0,06; +0,09; +0,04; -0,04; -0,06
7.	-0,07; +0,08; +0,04; -0,03; -0,06
8.	-0,08; +0,07; +0,04; -0,02; -0,06
9.	-0,09; +0,06; +0,04; -0,02; -0,06
10.	-0,09; +0,05; +0,04; -0,08; -0,06
11.	-0,08; +0,04; +0,04; -0,09; -0,06
12.	-0,07; +0,03; +0,04; -0,07; -0,06

При решении задания для всех вариантов, необходимо:

1. Указать условия поверки приборов;
2. Определить поправки измерений;
3. Построить график поправок;
4. Определить относительные погрешности;
5. Определить приведённые погрешности;
6. Указать, к какому классу точности относится данный прибор;
7. Дать определения всех погрешностей, которые использованы в данном задании.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Какое влияние оказывает тепло (холод) на ЭРЭ, конструктивные элементы и РЭС в целом?
2. Как классифицируются испытания на температурные воздействия?
3. Назовите механизмы воздействия повышенной влажности на изделия РЭС.
4. Как и почему изменяются параметры материалов, применяемых в производстве РЭС и ЭРЭ при воздействии повышенной влажности?
5. Как классифицируются испытания на воздействие влаги?
6. Каковы различия между испытаниями на виброустойчивость и вибропрочность?
7. Какими методами испытывается РЭС на вибропрочность?
8. Какова цель проведения испытаний на надежность?
9. По каким планам необходимо проводить испытания на безотказность и давать их характеристику?
10. Сравнительная характеристика случаев применения соответствующих планов, их достоинства и недостатки.
11. Методика определения объема выборки.
12. Методика испытания и правила принятия решения.
13. Классификация отказов аппаратуры при испытаниях на надежность.
14. Характерные причины отказов аппаратуры при испытаниях на надежность

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают навыки: настройки и регулировки электронных приборов и устройств, проведения испытаний электронных приборов и устройств.

При изучении модуля обучающиеся учатся: применять методы диагностики и восстановления работоспособности электронных приборов и устройств, определять способы регулировки и проверки на точность электронных приборов соблюдать требования.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС, ЭВС - М.: Высш. шк., 1991.-335с.
2. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование/Под ред. А.И.Коробова – М: Радио и связь, 1987.- 270с.
3. Технология приборостроения: Учебник/Под общей редакцией проф. И.П.Бушминского. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана.
4. Тупик В.А. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры. – СПб: Издательство: СПбГЭТУ "ЛЭТИ" – 2004.

РАЗДЕЛ 10. ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Цели обучения:

После прохождения данного модуля студенты смогут:

1. Проводить анализ показателей объекта диагностирования и их оценки.
2. Производить оценку работоспособности электронных приборов и устройств.
3. Оформлять техническую документацию по ремонту электронных приборов и устройств.

Предварительные требования

Перед началом работы с данным модулем вам рекомендуется успешно пройти предыдущий модуль

Необходимые учебные материалы

3. Персональный компьютер или ноутбук с необходимым программным обеспечением

ВВЕДЕНИЕ

Данный модуль описывает знания, умения и навыки, необходимые для применения методов стандартных испытаний и технического контроля, умения применить правила эксплуатации и назначение различных электронных приборов и устройств, навыки применения программных средств в профессиональной деятельности.

10.1. ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ И ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Надежность – один из основных технических показателей качества РЭА. Основные понятия и определения надежности приведены ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения». В соответствии с этим ГОСТом понятие надежности определяет свойство аппаратуры выполнять возложенные на нее функции при сохранении эксплуатационных показателей в заданных пределах и режимах работы, установленных нормативно-технической документацией. При этом под режимами работы понимают электрические, механические, климатические и другие условия работы аппаратуры, а также время, в течение которого она работает.

Надежность РЭА определяется такими показателями, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохранность. Определение этих свойств РЭА опирается на понятие работоспособность, т. е. способность выполнять заданные функции при определенных параметрах, установленных требованиями технической документации.

Работоспособность РЭА неразрывно связана с ее качеством и условиями эксплуатации.

Качество изделия – это совокупность свойств, определяющих степень пригодности изделия для использования по назначению. Эксплуатация РЭА включает транспортировку, хранение, подготовку к использованию по назначению и ремонт.

Чтобы объективно сравнивать различные образцы аппаратуры по надежности, а также задаваться необходимым уровнем надежности при ее проектировании и осуществлять контроль при производстве, испытаниях и эксплуатации этой аппаратуры, надо располагать количественными характеристиками (показателями) надежности элементов, входящих в эту аппаратуру.

Надежность определенного класса элементов в течение определенного времени t характеризуется вероятностью их безотказной работы P , интенсивностью отказов λ и др. Математически между этими характеристиками надежности существуют определенные взаимосвязи, зная которые, можно по одной или нескольким характеристикам элементов найти остальные.

Вероятностью безотказной работы P называется способность изделия в заданном интервале времени t (или пределах заданной наработки) работать без отказа. Вероятность безотказной работы характеризует надежность элемента и аппаратуры в целом. Типичная зависимость вероятности безотказной работы аппаратуры от времени характеризуется кривой $P(t)$, изображенной на рис. 10.1. В течение конечных интервалов времени она может приобретать значения $0 < P < 1$. Значения величины P определяются по результатам испытаний партии изделий.

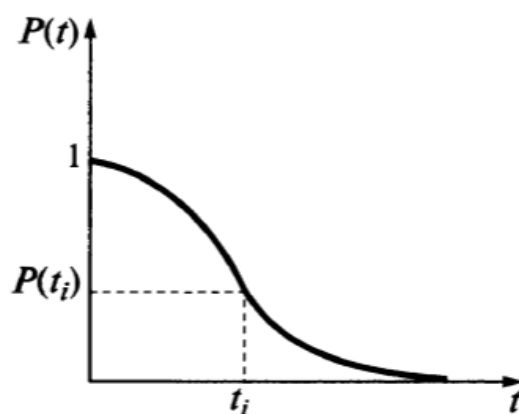


Рисунок 10.1. Изменение вероятности безотказной работы изделия во времени

Период приработки элементов характеризуется высокой интенсивностью отказов. В этот период выходят из строя элементы со скрытыми дефектами из-за нарушения технологического процесса их изготовления и действия систематических и случайных факторов,

снижающих качество и надежность этих элементов. Период приработки элементов должен быть относительно мал.

Для того чтобы аппаратура во время эксплуатации имела минимальную интенсивность отказов, целесообразно перенести I период ее работы (период приработки) на заводы-изготовители.

С этой целью на заводах организуется тренировка комплектующих элементов и аппаратуры в целом в условиях, близких к эксплуатационным.

Для большинства радиоэлектронных систем характерно постоянство интенсивности отказов в период нормальной работы аппаратуры (II участок характеристики). Это объясняется отсутствием старения материалов элементов на II участке; III участок характеристики резко возрастает вследствие износа и старения элементов, связанных с окончанием их срока службы.

По известной характеристике $X(t)$ наиболее просто определяются остальные надежные характеристики системы.

Понятие о неисправностях. Эксплуатация РЭА в связи с ограниченной надежностью входящих в нее элементов характеризуется периодами исправного и неисправного состояний. Соотношение между этими периодами определяется уровнем надежности аппаратуры, достигнутым при конструировании и производстве, возможностью выполнения восстановительных и профилактических работ, качеством и условиями эксплуатации.

Аппаратура считается исправной, если соответствует всем требованиям, предъявляемым к ней как в отношении основных параметров и характеристик (выходная мощность, полоса пропускания, чувствительность приема и др.), так и в отношении второстепенных параметров, связанных с удобством эксплуатации, полнотой комплектации, внешним видом и т.д. В связи с этим под неисправностью понимают такое состояние аппаратуры, при котором она в данный момент времени не соответствует одному или нескольким из установленных требований.

При возникновении основной неисправности аппаратура теряет свою работоспособность. При наличии второстепенных неисправностей аппаратура не утрачивает работоспособность, т. е. отказа не происходит. Например, нарушение лакокрасочного покрытия и вмятины на корпусе, поломка ручек управления, выход из строя сигнальных лампочек не вызывают ухудшения основных параметров аппаратуры и не препятствуют продолжению ее эксплуатации, однако при длительной эксплуатации эта аппаратура может выйти из строя и быть неработоспособной. Поэтому второстепенные неисправности должны быть своевременно устранены.

10.1.1 Методы диагностики отказов и обнаружения дефектов

В процессе анализа отказов, возникающих в РЭА, необходимо уметь правильно проводить их классификацию.

Отказом в работе блока РЭА называют такое его состояние, когда значения одного или нескольких параметров блока или аппарата в целом

выходят за допустимые пределы. Отказ может наступить как при механических и электрических повреждениях элементов (удары и падения блоков, обрывы и короткие замыкания в цепях), так и при изменении параметров элементов сверх допустимых пределов (старение радиодеталей, потери эмиссии катодов радиоламп, воздействие радиации, изменение температурных режимов).

В зависимости от связи элементов между собой различают независимые и зависимые отказы в работе РЭА. Если отказ какой-либо детали в блоке не приводит к отказу других элементов блока и аппаратура продолжает работать, его называют независимым (например, выход из строя лампочки освещения шкалы радиоприемника). В данном случае радиоприемник продолжает работать. Отказ в работе аппаратуры в целом, возникший из-за отказа одного или нескольких элементов, называют зависимым, например, обрыв нити накала радиолампы или пробой конденсатора фильтра, вызывающий разогрев трансформатора и выход его из строя. Иногда зависимый отказ называют групповым.

В большинстве случаев механические и электрические повреждения деталей и блоков приводят к потере работоспособности самой детали и блока мгновенно. Такие отказы называются мгновенными или внезапными и являются результатом скрытых производственных дефектов или изменений параметров, накапливающихся при различных эксплуатационных воздействиях (удары, тряски). Причиной мгновенных отказов могут также явиться неправильные действия обслуживающего персонала.

Существуют также постепенные отказы, возникающие в результате постепенного изменения одного или нескольких значений основных параметров (например, потеря эмиссии катода кинескопа телевизора). В данном случае ухудшаются выходные характеристики телевизора (контрастность изображения), хотя аппарат продолжает работать и остальные его характеристики могут находиться в пределах нормы. Этот вид отказа позволяет прогнозировать и предсказывать их возникновение.

Как показывает опыт эксплуатации многочисленных типов РЭА, при существующих методах контроля работоспособности большая часть отказов (до 50% и более) появляется мгновенно и зависит от типа аппаратуры, средств контроля работоспособности, уровня профилактики. Применение специальных методов прогнозирования и проверки работоспособности РЭА позволяет подавляющее количество отказов свести к категории постепенных. Особую роль в этом отношении могут сыграть внедрение совершенных автоматизированных приборов контроля работоспособности аппаратуры.

Деление отказов в работе аппарата на мгновенные и постепенные имеет большое значение при расчете надежности, а характер отказа при разработке методики расчета надежности аппаратуры, выборе технологических и конструктивных решений построения схем, методике обнаружения неисправности и т.д.

В соответствии с возможностью или невозможностью использования детали или элемента блока после возникновения отказа различают полный

(окончательный) и частичный отказы. Полным называется такой отказ, при возникновении которого невозможно использовать детали или элемент блока по назначению до устранения его причины. Например, исчезновение изображения на экране телевизора при выходе из строя высоковольтного выпрямителя означает полный отказ. Частичный отказ обычно связан с ухудшением одной или нескольких характеристик прибора, причем некоторое время до устранения причины отказа прибор может работать. (Например, ухудшение качества звучания радиоприемника вследствие понижения его чувствительности не исключает возможности вести прием.)

Наряду с устойчивыми (полными или частичными) отказами существует особая группа самовосстанавливающихся (или перемежающихся) отказов, которые часто называют сбоями. Особенно характерны сбои для работы ЭВМ и систем автоматического регулирования. Примером наиболее распространенных самовосстанавливающихся отказов может служить искрение в высоковольтном выпрямителе телевизора при повышении влажности.

10.1.2 Диагностика обнаружения отказов и дефектов радиоэлектронной аппаратуры

Опыт эксплуатации РЭА показывает, что нарушения ее работоспособности возникают в основном по следующим причинам: недостаточная надежность комплектующих элементов или нарушение режимов их использования, схемно-конструктивные и производственно-технологические недостатки, недостаточная защищенность узлов и блоков РЭА от внешних воздействий, а также недостатки, вызванные профилактическим обслуживанием или нарушениями правил эксплуатации РЭА.

Все факторы, влияющие на надежность РЭА, могут быть разделены на три основные группы: схемно-конструктивные, эксплуатационные и производственно-технологические.

К схемно-конструктивным факторам (причинам), влияющим на надежность работы РЭА, относятся: недостатки схемного и конструктивного проектирования схем, узлов и блоков аппаратуры, установка в аппаратуру малонадежных, устаревших комплектующих элементов и неправильное их применение (постановка элементов в тяжелые – электрический, тепловой, механический и другие режимы работы, не соответствующие ТУ, или недостаточные меры защиты от тяжелых режимов работы, плохое качество разработки конструкторской документации).

При выборе схем необходимо учитывать, что надежнее в работе: либо более простые и имеющие меньшее число элементов схемы; либо схемы, выходные параметры которых незначительно зависят от изменения питающих напряжений и не требуют стабилизированных источников питания; либо с минимальным потреблением электроэнергии, которые не требуют сложных систем охлаждения; либо предварительно прошедшие испытания на надежность и имеющие минимальное число органов

регулировки и управления. Не рекомендуется применять схемы, требующие в процессе регулировки большого подбора элементов.

Надежность РЭА в сильной степени зависит от конструктивного решения, монтажа и герметизации узлов и блоков.

Для повышения конструктивной надежности РЭА при ее конструировании необходимо: разрабатывать новые схемы узлов и блоков с применением в аппаратуре высоконадежных элементов; размещать элементы схемы так, чтобы обеспечить надежную их защиту от действия внешних и внутренних факторов; правильно выбирать режимы работы деталей, устанавливаемых в аппаратуре.

Рабочий режим элементов определяется степенью их электрической и механической нагрузок, окружающей температурой и эксплуатационными факторами, которые должны учитываться при выборе радиодеталей. Как показывает опыт эксплуатации РЭА, выбор оптимального режима нагрузки элементов благоприятно сказывается на их надежности и существенно увеличивает продолжительность их безотказной работы – уменьшает число мгновенных и постепенных отказов. Желательно, чтобы коэффициенты нагрузки были минимальными (например, не выше 0,5).

Наряду со снижением электрической нагрузки на элементы при конструировании необходимо всемерно стремиться к снижению окружающей температуры, уменьшению влияния вибрации, влажности, пониженного давления и др.

Микроминиатюризация РЭА позволяет широко использовать резервирование, также являющееся одним из наиболее действенных средств повышения надежности. При невозможности обеспечить заданные технические требования РЭА для повышения надежности используют методы резервирования входящих в эту аппаратуру элементов.

Метод повышения надежности устройства путем применения идентичных дублирующих элементов, устройств, систем называется резервированием. Группа элементов считается резервированной, если отказ одного или нескольких ее элементов не нарушает нормальной работы схемы (узла, системы), а оставшиеся исправные элементы выполняют ту же заданную функцию. Такое резервирование называется функциональным. При этом методе различные системы отличаются одна от другой в первую очередь реакцией на отказ элемента схемы.

На рисунке 10.1 приведены схемы общего и отдельного резервирования. Общее (рисунок 10.1, а) заключается в резервировании всей системы, блока или узла I в случае выхода из строя одного из элементов (например, второго) этой системы. Этот способ резервирования широко применяется благодаря его простоте. Раздельное (рисунок 10.1, б) заключается в резервировании отдельных элементов системы (1, 2 ит. д.) запасными

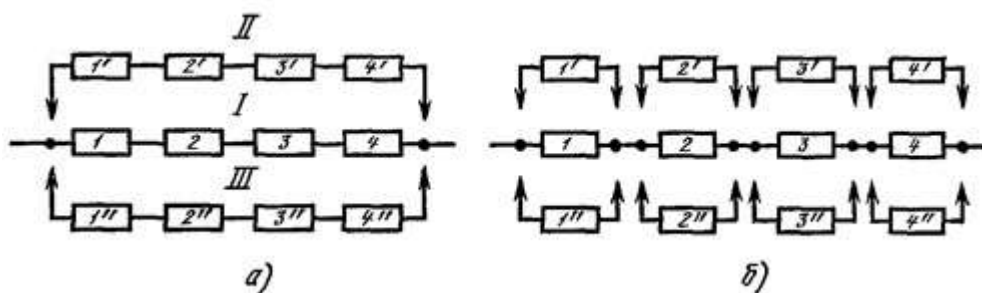


Рисунок 10.1. Схемы общего (а) и раздельного (б) резервирования

Основным параметром резервирования является его кратность, представляющая собой отношение количества резервных единиц к числу резервируемых.

Состояние, в котором находятся цепи до момента включения их в работу вместо отказавшей цепи (или элемента), может характеризоваться: холодным резервом, когда резервные цепи (элементы) находятся в нерабочем состоянии. Например, когда на резервные блоки радиостанции не подаются питающие напряжения; горячим резервом, когда все цепи резервного блока одинаково загружены с основными.

Существует также резерв с облегченным режимом, в этом случае блок находится не в полном рабочем состоянии.

Эксплуатационные факторы, влияющие на надежность РЭА, определяются субъективными и объективными причинами.

К субъективным факторам относятся: квалификация обслуживающего персонала, наличие условий для проведения профилактических и ремонтных работ и выполнение инструкций по эксплуатации и ремонту. Недостаточная квалификация персонала, несоблюдение инструкций по эксплуатации и ремонту нередко приводят к отказам и поломкам РЭА.

К объективным факторам относятся: специфические условия работы РЭА (стационарные, самолетные, космические и др.), внешние климатические условия (температура и влажность воздуха, давление), биологические и др.

10.2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Надежность и качество электронных устройств и ее элементов в значительной степени зависят от производственно-технологических факторов и культуры производства. Несовершенство технологических процессов, нарушение технологического цикла, ошибки при выполнении сборочных и монтажных работ, некачественная регулировка и настройка, загрязненность рабочих мест, оборудования и приспособлений, недостаточная квалификация рабочих и инженерно-технических работников, а также слабый входной и выходной контроль качества продукции сказываются на качестве и надежности электронных устройств, выпускаемой предприятием.

10.2.1 Общие функции управления качеством продукции

Большую роль в повышении надежности выпускаемой продукции играет применение современных методов контроля (входной, текущий и выходной) ее качества.

Отличительной чертой радиотехнических предприятий является многономенклатурность применяемых комплектующих изделий и материалов, а также многообразие технологических процессов производства.

Комплектующие детали и материалы, поступающие от смежных предприятий-поставщиков или со склада готовой продукции, могут иметь скрытые дефекты или различные отклонения от ТУ. Будучи установленными в аппаратуру, дефектные детали часто являются причиной отказа в ее работе.

Как показывает статистика, 75% общего числа отказов в работе РЭА, вызванных несовершенством производства, происходит из-за недостаточной надежности комплектующих элементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов и т. п.), а 25% – из-за ошибок сборки, монтажа и регулировки. Исходя из этого, можно сделать заключение, что надежность выпускаемой продукции в значительной мере зависит от организации входного контроля комплектующих изделий (электро- и радиоэлементов, готовых узлов и блоков или материалов), а также от организации технологического процесса и контроля качества продукции в процессе производства.

Входной контроль является дополнительной проверкой параметров, поступающих на завод деталей, комплектующих изделий и материалов, поскольку в процессе транспортировки, длительного или неудовлетворительного хранения на складах, а также из-за недостаточного контроля готовой продукции на заводах-поставщиках они могут ухудшить свои механические, электрические, магнитные и другие параметры. Например, могут появиться ржавчина на металле, коробление гетинакса, окисление контактов и др.

Входной контроль осуществляется работниками отдела технического контроля (ОТК) и проводится по инструкции, предусматривающей порядок и методику проверки поступающих в производство деталей на соответствие ТУ. Подразделения ОТК, осуществляющие входной контроль, должны оснащаться измерительной аппаратурой, специальными стендами и приспособлениями, повышающими скорость и надежность контроля. В процессе проверки может производиться также тренировка элементов, что помогает выявить элементы со скрытыми дефектами. На крупносерийных заводах в составе ОТК имеются лаборатории, разрабатывающие технологические процессы контроля и отработки комплектующих изделий и проводящие в случае необходимости анализы материалов и деталей.

Одно из главных направлений повышения эффективности систем управления качеством – совершенствование методов контроля за ходом технологических процессов, качеством готовой продукции, дальнейшее развитие методов отбраковочных испытаний и тренировок для обеспечения выпуска высоконадежных изделий.

В соответствии с ГОСТ 15467–79 понятие качества изделий определяет совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Однако обеспечение выпуска высококачественной продукции не может быть достигнуто только в результате усиления контроля и устранения организационных недостатков. В сложных условиях современного производства решение проблемы качества возможно лишь на основе системного подхода к планированию организации, управлению, проектно-конструкторским работам, технологии, контролю и испытаниям, эксплуатации.

Системный комплексный подход к решению проблемы повышения качества охватывает многие сферы производства, является составной частью общей системы управления предприятием и будет развиваться на основе долгосрочных планов, согласованных с планами развития народного хозяйства.

В каждой отрасли, в том числе и в радиотехнической промышленности, действует отраслевая система управления качеством, которая является составной частью единой системы управления техническим уровнем и качеством изготовления продукции (СУТУК). Эта система предусматривает: разработку и осуществление мероприятий в области метрологии и испытаний, аттестации качества продукции, первостепенную роль стандартизации в повышении надежности и качества продукции, создания комплексов перспективных опережающих стандартов, корректировку действующих стандартов, идейно-воспитательные мероприятия и совершенствование форм социалистического соревнования.

10.2.2 Методы контроля качества, анализа дефектов и их причин

Производство современной РЭА немислимо без высококвалифицированного технического контроля. Такому контролю на заводе должны подвергаться детали и блоки собственного производства и детали, поступающие от предприятий смежных отраслей промышленности.

Надежность выпускаемой продукции зависит от средств, методов и систем контроля изделий. Идеальной является 100%-ная проверка всех параметров деталей на всех производственных операциях. Однако при этом возникают большие экономические и технические трудности, связанные с необходимостью иметь большое число контролеров и дорогостоящее измерительное оборудование. Поэтому в процессе производства предусматривают проверку всех покупных изделий на соответствие ТУ, межоперационную проверку по технологическим картам и чертежам и проверку готовой продукции (выходной контроль).

В этом случае применяют следующие виды контроля: рабочий (РК), профилактический (ПК), наладки (КН), режимов (КР), выборочный (В К), статистический (Ст. К).

Рабочий контроль предусматривает проверку качества изготовленной продукции непосредственно у рабочего места (станка, пресса, верстака).

Проверка может осуществляться как самим рабочим, так и работником ОТК визуально или с помощью инструментов или приспособлений, указанных в технологической карте. Контроль может быть 100%-ным или выборочным. В процессе контроля может быть произведена необходимая наладка оборудования или инструмента. На приемку ОТК должны предъявляться только годные детали и узлы, проверенные самим исполнителем. При забраковке деталей или узлов они возвращаются на доработку.

Профилактический контроль предусматривает проверку соблюдения технологического процесса и качества выпускаемой продукции, предупреждение массового брака. Необходимость профилактического контроля и выбор его метода определяются результатом предшествующего статистического анализа, который помогает выявить и устранить основные причины, вызывающие появление брака, и установить технологические факторы, на которые необходимо обратить особое внимание при проведении профилактического контроля. Этот вид контроля должен осуществляться квалифицированными рабочими, контрольными и производственными мастерами и технологами. Главное внимание технического персонала цеха должно быть направлено на проверку состояния основного оборудования и оснастки, а также на проверку соблюдения технологических режимов. Проверочные замеры производят точными универсальными и контрольными инструментами, приспособлениями и приборами.

Выявившиеся при проверке нарушения технологического процесса, дефекты продукции и средств производства оформляются актом проверки и анализируются. По результатам проверки принимаются соответствующие решения и вырабатываются мероприятия по устранению дефектов. При повторных проверках следует обращать внимание на выполнение ранее утвержденных мероприятий. В случае возникновения массового брака, а также при внесении крупных изменений в конструкторскую документацию и технологические процессы профилактический контроль проводится вне очереди. За организацию и проведение контроля несут ответственность начальники цехов и начальник ОТК завода.

Контроль наладки проводится при введении нового оборудования или измерительного комплекса в процессе изготовления изделия. После проведения наладочных работ наладчик обязан изготовить небольшую партию деталей и предъявить их ОТК. Иногда этот вид контроля сочетается с другими видами для повышения качества выпускаемой продукции (например, профилактический контроль, контроль режимов).

Выборочный и статистический контроль, как правило, проводят только при крупносерийном и массовом производстве. При выборочном (или статистическом) контроле по результатам проверки части изделий судят о годности всей предъявляемой продукции. Этот вид контроля осуществляется методом однократной выборки.

Метод однократной выборки состоит в следующем. Из партии готовой продукции произвольно извлекается N изделий. В ТУ на изделие предусматривается объем N и норма количества годных изделий C в общем

количестве выборки. В том случае, когда из N изделий оказалось M дефектных или не соответствующих ТУ на изделия, при $M > C$ партия не принимается и бракуется, при $M \leq C$ партия признается годной. После испытаний принимается решение. Возможны три вида решений: принять партию, продолжить контроль (извлечь еще одну или еще несколько выборок) или забраковать всю партию. Забракованная партия может быть подвергнута сплошной проверке или полностью изъята и возвращена исполнителю для разбраковки и исправления.

Главным, что определяет надежность выборочного контроля, является нормированное количество изделий, подлежащих контролю и условия, на основе которых выносится решение о годности партии. Выборочный контроль приводится в картах технологического процесса в виде специальной операции с размерами и параметрами, подлежащими проверке, и средствами контроля.

При хорошо организованном технологическом процессе выборочный контроль может быть осуществлен на промежуточных и окончательных операциях (выходной контроль).

10.3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

В современной микроэлектронной аппаратуре, выполняющей функции, обработки и хранения информации автоматизации и управления технологическими процессами, используются универсальные и специализированные интегральные микросхемы (ИМС) различной степени интеграции.

Наблюдается тенденция более широкого применения ИМС высокой степени интеграции - больших (БИС) и сверхбольших (СБИС). Это обусловлено существенным улучшением технико-экономических характеристик аппаратуры, а именно: повышением надежности, быстродействия и помехоустойчивости; снижением массы, габаритов, потребляемой мощности, стоимости; сокращением сроков проектирования и подготовки производства.

Для БИС характерны такие особенности конструкции, как высокая плотность размещения элементов, многоуровневая разводка, большой размер кристалла, высокая мощность потребления, большое количество выводов. Их конструктивные особенности монтажа с целью получения высоконадежных изделий с высоким и стабильным процентом выхода готовых микросхем.

10.3.1 Сборка и монтаж полупроводниковых приборов и интегральных схем

Сборка и монтаж - это часть общего технологического процесса изготовления БИС, в результате проведения которого получают готовую конструкцию ИМС(БИС), т.е. готовое изделие.

Процессы и операции сборки и монтажа являются наиболее трудоемкими в технологии производства ИМС. Если при

изготовлении кристаллов широко применяются высокопроизводительные групповые методы, то при сборке и монтаже оперируют с каждой отдельной ИМС.

Технологическим процессом сборки ИМС (БИС) называют совокупность операций по ориентированному разделению пластин и подложек со сформированными элементами на кристаллы или платы, закрепление их на основаниях корпусов, посадочных площадках выводных рамок и т. д.

Технологическим процессом монтажа ИМС, в том числе БИС, называют совокупность операций, направленных на получение электрических соединений кристалла с последующим коммутационным уровнем, т. е. с выводами рамок, гибких носителей, оснований корпусов, либо с контактными площадками подложек плат. Герметизация ИМС входит в число монтажных операций только в том случае, если она является бескорпусной, и сводится к формированию защитных покрытий путем заливки смонтированного кристалла (как правило, его рабочей поверхности) специальным герметизирующим покрытием (чаще всего называемым герметиком).

Использование бескорпусных БИС в микроэлектронной аппаратуре (МЭА) позволяет обеспечить значительное уменьшение ее массогабаритных характеристик, снижение значений переходных сопротивлений, паразитных индуктивностей и емкостей, повышение надежности. Бескорпусные БИС обладают универсальностью применения при пониженной материалоемкости.

Бескорпусные БИС изготавливают с гибкими проволочными выводами, на полиимидном носителе и с объемными выводами. На коммутационной плате БИС на полиимидном носителе занимают площадь, в 4 ч 10 и более раз меньшую по сравнению с микросхемами в корпусах. Для монтажа на плату выводы БИС в этом случае имеют вид квадратных контактных площадок, расположенных в периферийных областях кристалла.

Применение бескорпусных БИС на полиимидных носителях позволяет повысить надежность МЭА за счет уменьшения количества сварных и паяных соединений в расчете на одну контактную площадку БИС (для корпусных - три, четыре соединения, для бескорпусных - два, три), улучшения условий отвода теплоты при установке кристалла непосредственно на теплоотводящий пьедестал, снижения механических напряжений в кристалле БИС и небольшой массы.

Бескорпусные БИС с объемными выводами представляют собой кристаллы БИС, на контактных площадках которых образованы шариковые (или столбиковые) выводы. Объемные выводы (ОВ) изготавливают из золота, облуженной или позолоченной меди и сплава олово-серебро. Такие БИС занимают на коммутационной плате площадь в 16 ч 40 раз меньшую, чем корпусные БИС, и в 4 ч 10 раз меньшую, чем бескорпусные БИС на полиимидном носителе. Сопротивление их выводов в 20 ч 100 раз,

паразитная индуктивность в 60 ч 200 раз и межвыводная емкость в 9 ч 50 раз ниже, чем у корпусных БИС.

Объемные выводы на контактных площадках кристалла БИС могут быть сформированы двумя различными способами. В первом способе, называемом "мокрым", используют процессы вакуумного осаждения барьерного слоя (хром-медь, хром-никель, ванадий-медь), на котором гальванически выращивают припойные шарики. Барьерный слой создают из металлов, имеющих хорошую адгезию к алюминию кристалла БИС и не образующих с ним выпрямляющих контактов, т.е. не влияющих на электрические параметры БИС. К недостаткам "мокрого" способа относят трудность нанесения однородного покрытия необходимой толщины, сложность контроля за составом припоя и выдерживанием размеров ОВ из-за гальванического разрастания, а также ухудшение параметров БИС, особенно на МДП-структурах.

Чтобы избежать недостатков "мокрого" способа формирования ОВ, применяют "сухой" способ. Сущность его заключается в ультразвуковом присоединении шариков из золотой проволоки и последующей обрезке проволоки непосредственно над шариком. "Сухой" способ прост и практически не влияет на параметры БИС. Объемные выводы формируют на кристаллах, находящихся в составе пластины, до ее разделения. При этом "сухой" способ обеспечивает избирательность в формировании ОВ: они создаются на контактных площадках только годных, предварительно проверенных по электрическим параметрам кристаллов БИС.

Полиимидные носители с алюминиевыми балочными выводами присоединяют к алюминиевым контактным площадкам кристаллов БИС ультразвуковой микросваркой. В этом случае при взаимодействии материалов вывода и контактной площадки образуется надежное однокомпонентное микросварное соединение.

Присоединять медные, покрытые олово-висмутом, балочные выводы полиимидного носителя к контактным площадкам кристаллов сложнее, так как медь и алюминий технически несовместимы при микросварке и пайке. Поэтому перед их соединением на контактных площадках кристалла или ленточных выводах носителя формируют объемные выводы: на кристалле – золотые или припойные, на носителе – золотые.

Присоединение носителя может быть осуществлено пайкой или термокомпрессионной сваркой. Объемные золотые выводы на носителе формируют импульсной пайкой с образованием золото-оловянного эвтектического сплава, термокомпрессионной сваркой с золотым покрытием медной балки, а также лазерной импульсной пайкой или сваркой.

В оловянное покрытие медных балочных выводов вводят висмут (до 10%) или свинец (до 40%) с целью предотвращения образования хрупкой фазы интерметаллида AuSn_4 . При добавлении висмута толщина интерметаллида после пайки при температуре 250°C и времени выдержки 30с составляет 0,5ч 2мкм. Легирование припоя свинцом при пайке в таких же условиях приводит к образованию слоя интерметаллида толщиной 4ч 5мкм,

который способствует образованию прочных паяных соединений. Дальнейшее увеличение его толщины вызывает уменьшение прочности.

10.3.2 Анализ электрических схем электронных приборов и устройств

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) – симулятор электронных схем общего назначения с открытым исходным кодом. Является мощной программой, используемой в разработке печатных плат для проверки целостности схемы и для анализа ее поведения. В настоящее время SPICE де-факто стала эталонной программой-ядром моделирования аналоговых и аналого-цифровых электронных цепей. Первая версия SPICE была разработана в середине 70-х годов в Electronics Research Laboratory в Калифорнийском университете в Беркли. Она позволяла анализировать линейные и нелинейные цепи во временной области, рассчитывать частотные характеристики линейных цепей. Программа SPICE 1 была целиком написана на языке FORTRAN, и для анализа линейных резистивных цепей использовался метод узловых напряжений. Библиотека моделей электронных компонентов включала модели диода и биполярного транзистора (модель Молла-Эберса). В последующем программа SPICE совершенствовалась, появлялись новые версии, расширялся список моделей компонентов, и уже в конце 70-х годов SPICE стала широко использоваться в промышленности для проектирования и моделирования электронных схем.

В 1975 году вышла вторая версия программы SPICE 2, которая так же была написана на FORTRAN, но имела больше элементов, позволяла изменять временной шаг при моделировании, а уравнения цепей формулировались при помощи модифицированного метода узловых потенциалов. Последняя редакция второй версии SPICE 2G.6 появилась в 1983 году. В ней были переработаны модели биполярных и полевых МОП-транзисторов. Модель биполярного транзистора в версии SPICE 2G.6 основана на уравнениях Гуммеля-Пуна. В 1985 году была разработана следующая версия программы, SPICE 3. Она базируется на версии SPICE 2G.6 и является ее развитием. Математическое ядро программы было полностью переписано на языке C. Для представления результатов моделирования стал использоваться графический интерфейс (эпюры напряжений, графики частотных характеристик и т.д.). В программу были включены программные модели новых электронных компонентов: длинные линии с потерями, неидеальные ключи и т.д. Появились новые модели МОП-транзисторов, учитывающие физические эффекты, возникающие при уменьшении геометрических размеров приборов. В середине 80-х годов появились программы схемотехнического моделирования, предназначенные для персональных компьютеров. В 1984 г. корпорация MicroSim представила свою версию SPICE для персональных компьютеров, назвав ее PSpice. Эта программа и все ее последующие версии используют математические модули SPICE, а также SPICE формат представления входных и выходных данных. Первые версии PSpice компании MicroSim позволяли моделировать только

аналоговые радиоэлектронные устройства. Рассчитывались переходные процессы при действии сигналов различной формы, частотные характеристики, рабочие точки нелинейных приборов. В начале 90-х годов были созданы версии, позволяющие моделировать не только аналоговые, но и смешанные аналого-цифровые устройства. Программа получила более удобный 24 интерфейс, обеспечивающий графический ввод схем вместо текстового. Современные версии PSpice представляют вычислительную среду, предназначенную для моделирования аналоговых и цифровых электронных схем. Существенное достоинство программы заключается в возможности моделирования смешанных аналого-цифровых схем без применения вспомогательных программных модулей согласования аналоговых и цифровых сигналов. Это достигается за счет автоматического использования специальных интерфейсов и значительно облегчает моделирование смешанных аналого-цифровых устройств.

Процедура моделирования электронных схем в программе PSpice состоит из трёх этапов:

1. Создание принципиальной схемы в графическом редакторе;
2. Непосредственно моделирование работы схемы;
3. Представление результатов моделирования в удобной для пользователя форме (эпюры напряжений, АЧХ и т.д.).

Базовый набор электронных элементов PSpice включает резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы (с управляющим р–п переходом и изолированным затвором), длинные линии, источники напряжения и тока, генераторы сигналов различной формы. Аналоговые интегральные схемы, а также некоторые электронные компоненты (тиристоры, некоторые виды полевых транзисторов) представляются подсхемами, параметры которых задает пользователь. Базовый набор электронных компонентов PSpice содержит также цифровые функциональные блоки, выполняющие логические операции. Кроме того, существуют обширные библиотеки серийно выпускаемых цифровых компонентов.

Для примера на рисунке 10.2 показано описание модели n-канального МОП-транзистора NMOS5PO.

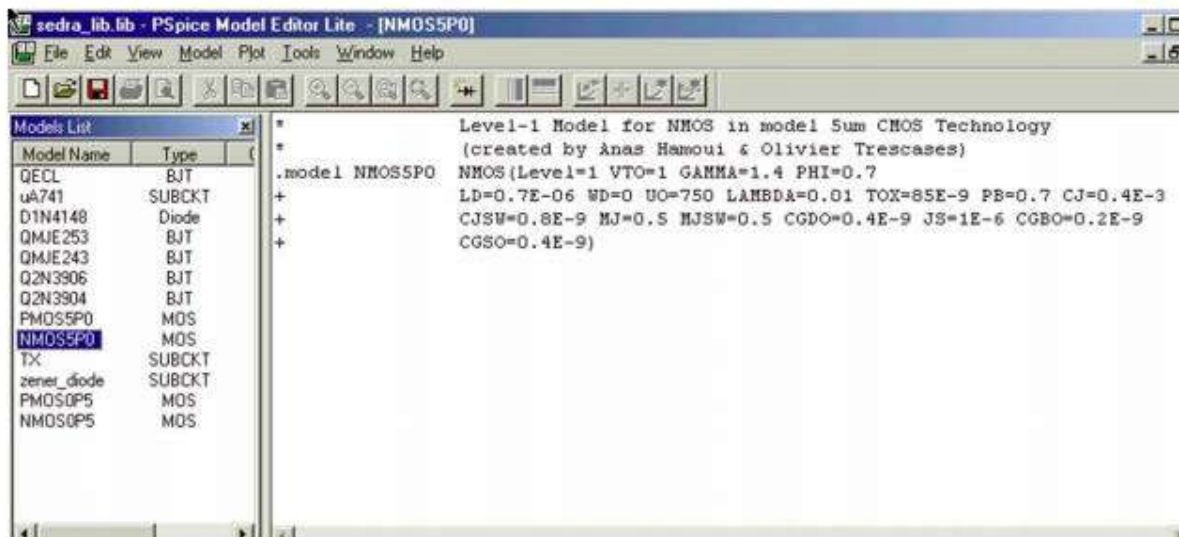


Рисунок 10.2. Модель n-канального МОП-транзистора в PSpice

В PSpice (SPICE) возможны следующие виды анализа.

1. Bias – Анализ по постоянному току для больших сигналов;
2. DC (Direct Current) – Анализ по постоянному току для малых сигналов;
3. AC (Alternating Current) – Анализ по переменному току (расчет частотных характеристик линейных цепей);
4. Transient – расчет переходных процессов в нелинейных цепях при действии сигналов произвольной формы;
5. Fourier Analysis – Анализ спектров сигналов;
6. Parametric Sweep – Режим вариации параметров компонентов цепи;
7. Sensitivity – Расчет характеристик чувствительности линейных цепей к вариациям параметров компонентов в режимах постоянного и переменного тока (метод наихудшего случая);
8. Noise Analysis – Анализ спектральной плотности мощности шума на входе и выходе схемы;
9. Вероятностный анализ разброса параметров электронных компонентов методом Монте-Карло.

Программные пакеты создания и проверки SPICE моделей электронных компонентов:

1. Model Builder Производитель: Agilent Technologies

Программа Model Builder (MBP) представляет собой комплексное решение для моделирования полупроводниковых приборов на основе кремния и экстракции полученных моделей.

Основные возможности программы Model Builder:

- создание SPICE моделей;
- экстракции моделей для полевых МОП-транзисторов, биполярных транзисторов, диодов и пассивных компонентов;
- поддержка современных моделей, включая BSIM6, BSIMIMG, BSIM-CMG и др.;

- возможность создания моделей старения, моделей функционирования в условиях перегрузки, моделей высоковольтных устройств;
- дружелюбный пользовательский интерфейс и широкий набор вспомогательных программ для моделирования. На рисунке 10.3 показан пример моделирования транзистора в данном программном пакете.

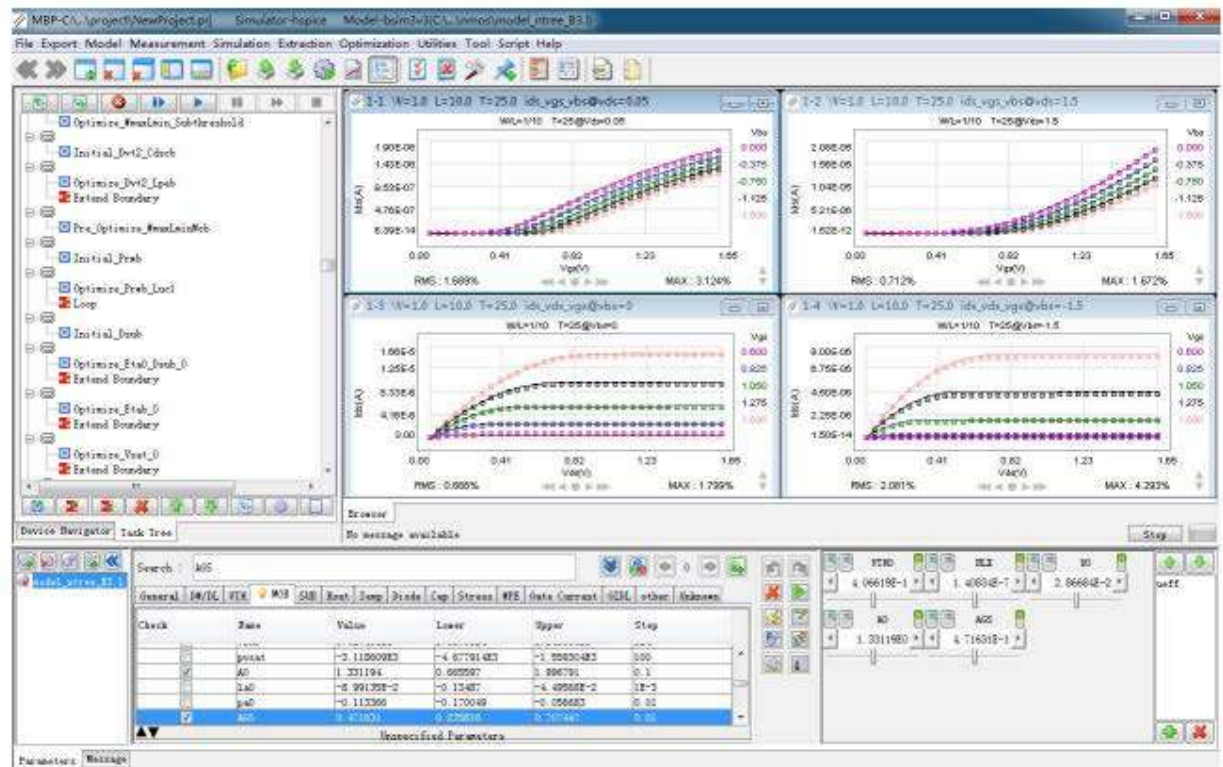


Рисунок 10.3. Пример моделирования в Model Builder (MBP)

2. MQA Производитель: Agilent Technologies

Программа проверки качества модели (MQA) позволяет разработчикам и производителям интегральных схем проводить проверку достоверности, сравнение и документирование моделей SPICE.

Основные возможности программы MQA:

- проверка качества и достоверности моделей SPICE;
- отладка результатов моделирования SPICE;
- проверка достоверности заводских моделей;
- создание детализированных отчетов по проверке качества моделей;
- сравнение различий между версиями модели, симуляторами SPICE и технологиями производства.

Пример анализа моделей SPICE в пакете MQA приведен на рисунке 10.4.

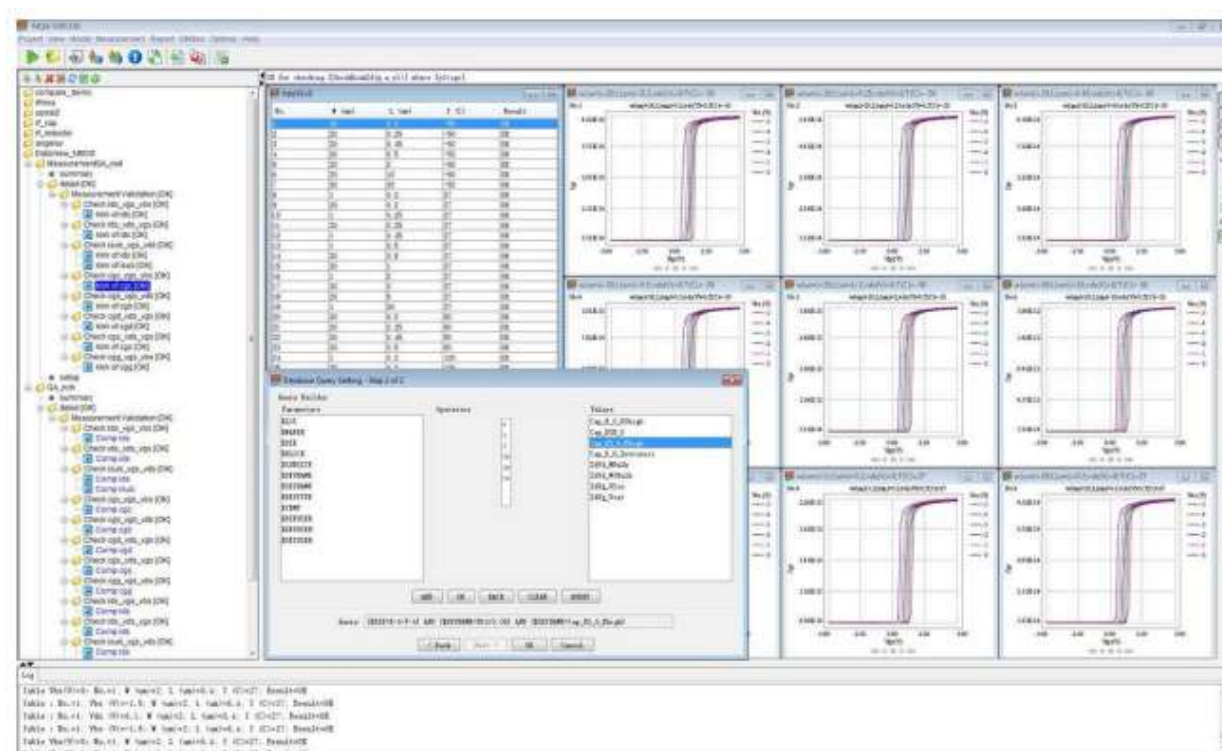


Рисунок 10.4. Пример моделирования в MQA

10.3.3 Настройки и регулировки электронных приборов и устройств

Регулировка радиоэлектронной аппаратуры осуществляется с целью доведения параметров изделий до значений, соответствующих требованиям технических условий, ГОСТов или образцам, принятым за эталон.

Основными задачами регулировки являются компенсация (подстройка) допустимых отклонений параметров элементов устройства, а также выявление ошибок монтажа и других неисправностей. Обычно с этой целью выполняют подгонку режимов полупроводниковых приборов, регулировку усилителя низкой частоты и детектора, проверку исправности различных элементов, установку режимов отдельных каскадов и всего устройства.

Регулировка производится двумя методами: по измерительным приборам и сравнением настраиваемого устройства с образцом, которое называется электрическим копированием.

Точность и надежность радиоаппаратуры и приборов зависят от технологического процесса их производства. Поэтому технический уровень изготовления отдельных элементов и блоков определяет объем и степень точности регулировки радиоаппаратуры.

Прежде чем приступить к выполнению регулировочных работ, регулировщик должен изучить устройство, которое подлежит регулировке, ознакомиться с техническими условиями на него, с основными выходными и промежуточными значениями параметров, чертежами общего вида, электрическими, кинематическими и другими схемами. Важно знать также, в каких условиях оно будет эксплуатироваться. Кроме того, регулировщик должен знать характеристики регулировочной и измерительной аппаратуры и

методы измерений, последовательность выполнения регулировочных операций, уметь применять сложные электроизмерительные приборы. Обычно регулировочные операции поручают высококвалифицированным рабочим.

Рабочее место регулировщика должно быть оборудовано необходимой аппаратурой, приборами и приспособлениями. При использовании для измерений специальных стендов регулировщик должен изучить назначение каждого конструктивного элемента стенда и ручек управления. Кроме того, ему следует ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, которая определяет меры, предупреждающие травмы, а также способы быстрой ликвидации возникшей опасности поражения электрическим током и воздействия электромагнитного поля сверхвысоких частот.

Рабочее место регулировщика-ремонтника радиоэлектронной аппаратуры и приборов – должно быть оснащено необходимыми инструментами.

Под условиями эксплуатации радиоаппаратуры и приборов обычно понимают внешнюю среду, в которой эти изделия работают, а также физические воздействия, которым они подвергаются (удары, вибрация).

На работу радиоаппаратуры наибольшее влияние оказывают понижение давления и изменение температуры, которые могут привести к разрегулировке. Под воздействием температуры изменяются объем, твердость, упругость, электрические, магнитные и оптические свойства материалов. Особенно сильно отражаются на работе радиоаппаратуры изменения температуры в сочетании с повышенной влажностью. Существенное влияние оказывает также содержание в воздухе солей (морской воздух), песка, пыли. Характер воздействия влаги на детали и блоки радиоаппаратуры может быть различным. Это и конденсация водяных паров на поверхности изделий, и брызги воды или дождя, и кратковременное или длительное погружение в воду.

При продолжительном воздействии высокой и низкой температуры и влаги на детали и блоки радиоаппаратуры изменяются индуктивность катушек и емкость конденсаторов, нарушается стабильность рабочей частоты, снижаются чувствительность и избирательность радиоприемных устройств, а также мощность и коэффициент полезного действия передающих устройств. Кроме того, появляются утечки и замыкания в соединительных кабелях и электрических разъемах, ухудшается изоляция отдельных деталей и блоков. Осаждение влаги на поверхности металлов создает благоприятные условия для возникновения коррозии, что приводит к обрыву тонких проводов и нарушению контактов.

Удары и вибрация, которым подвергается радиоаппаратура при эксплуатации и транспортировке, способствуют еще более значительному изменению качественных показателей входящих в нее элементов и могут вызвать технические повреждения.

Выполнение регулировочных работ связано с большой ответственностью, так как ими завершается изготовление изделия. Поэтому важно,

чтобы регулировщик заранее продумывал свои действия перед выполнением любых операций, необходимость которых возникает в процессе регулировки. К таким операциям относится, в частности, замена отдельных сборочных единиц и деталей. Объем демонтажных, сборочных и монтажных работ обычно невелик, однако обеспечение высокого качества их выполнения является непреложным законом. Особое внимание следует обращать на демонтажные работы, в процессе которых производится освобождение паяных выводов элементов, имеющих дополнительные механические крепления. Эти операции требуют особого внимания и тщательного выполнения, в противном случае могут происходить отслаивание печатных проводников, выход из строя микросхем, поджигание изоляции навесных проводников, обламывание выводов.

Работы, связанные непосредственно с регулировкой изделия, в условиях серийного и массового производства определяются технической документацией – технологическими картами или инструкциями по регулировке. На этапах разработки опытных образцов и опытных серий регулировщик должен производить отбраковку технической документации на регулировку, определять наиболее производительные способы последовательности регулировки, а также пределы номинальных значений подбираемых при этом элементов, выявлять дефекты конструкции и технологического процесса производства.

Перед началом регулировки измерительной аппаратуры регулировщик должен тщательно изучить технические данные приборов, правила их эксплуатации и уметь использовать их на практике.

Прежде чем начать соединение регулируемого изделия с источниками питания и измерительными приборами, необходимо убедиться в их исправности и наличии нормальных напряжений питания. Проверка наличия нормальных питающих напряжений, а иногда и уровня их пульсаций осуществляется непосредственно на входе цепей питания регулируемого изделия.

Одной из причин появления ошибок при регулировке может быть неправильный выбор кабеля из комплекта к измерительному прибору. Один из этих кабелей может быть на конце открытым, другой – нагружен на сопротивление 50 или 75 Ом, третий – иметь встроенную детекторную головку, а четвертый – встроенный фильтр или последовательное сопротивление. Неправильный выбор кабеля неизбежно ведет к грубым ошибкам, а иногда и к нарушению функционирования регулируемого изделия.

Другой причиной появления ошибок может быть обрыв цепи в кабеле или соединительных проводах, а также нарушение контактов в разъемах, соединяющих кабели с одной стороны с измерительными приборами или источниками питания, а с другой – с регулируемым прибором. Существуют различные способы проверки исправности соединительных устройств, простейшим из которых является замена вызывающего сомнение кабеля

исправным. Плохой контакт в разъемах обнаруживается при легком покачивании или небольшом перемещении подвижной части разъема.

Важной операцией, которую приходится выполнять монтажнику-регулирующему, является настройка колебательных контуров. Необходимость настройки при условии, что в приемнике устранены повреждения, искажающие режим работы транзисторов или обусловленные наличием паразитных связей, вызывается несоответствием градуировки шкалы настройки, пониженной или неравномерной по диапазонам чувствительностью и плохой избирательностью. Единой схемы для настройки контуров различных типов не существует, однако любая настройка включает в себя четыре вида операций:

- 1) настройку одного или нескольких контуров на какую-либо фиксированную частоту (в каскадах промежуточной частоты, контурах заграждающих фильтров и в радиоприемниках с фиксированной настройкой);

- 2) согласование резонанса между одновременно настраиваемыми несколькими контурами (в радиоприемниках прямого усиления и высокочастотной части супергетеродина);

- 3) сопряжение кривой настройки с градуировкой шкалы;

- 4) регулировку избирательности приемника.

Выбор необходимых операций зависит только от типа приемника и его состояния.

Качество радиоаппаратуры и приборов, а также затраты на их изготовление в значительной степени зависят от технологической подготовки регулировочных и контрольно-испытательных работ. Она включает в себя разработку технологического процесса, т.е. содержания и последовательности выполнения регулировочных и контрольно-испытательных работ; конструирование и изготовление для этого технологической оснастки (различных стендов, специальных приборов и приспособлений), оборудование рабочих мест; разработку технологической документации.

При разработке технологического процесса регулировки осуществляется организация выполнения следующих работ:

проверки функционирования изделия. Поступившие на регулировку изделия могут иметь после сборки и монтажа различные дефекты, которые мешают нормальной работе прибора. При этом регулировщик может встретиться с дефектами элементов (ламп, транзисторов, конденсаторов, переключателей и др.), а также с ошибками механической сборки и электрического монтажа. В связи с этим необходима проверка надежности механических креплений переключателей, электролитических конденсаторов, потенциометров, трансформаторов и дросселей НЧ, ламповых панелей; плавности хода и отсутствия заеданий в органах регулирования (конденсаторах и резисторах, механизмах настройки, вариометрах, катушках с регулируемым сердечниками); четкости работы фиксаторов переключателей; правильности положения их ручек

относительно соответствующих надписей на лицевой панели и надежности крепления на осях;

- настройки избирательных устройств;
- регулировки параметров для обеспечения работоспособности изделия в условиях эксплуатации.

Важным вопросом в организации процесса регулировки является оборудование рабочих мест, проектирование которых должно обеспечивать выполнение требований, предъявляемых к охране труда, и создание наиболее благоприятных условий работы (достаточная освещенность, удобство положения регулировщика относительно регулируемого объекта и измерительной аппаратуры, благоприятные эстетические условия). В условиях серийного и массового производства размещение рабочих мест регулировщиков должно соответствовать последовательности технологического процесса производства изделия и исключать излишние затраты времени на его перемещение.

Выбор конкретных решений при проектировании рабочих мест проводится с учетом обеспечения высокой производительности труда и единообразия результатов измерений параметров при выполнении одинаковых операций, безопасности работы, а также стоимости оборудования и условий эксплуатации рабочих мест.

Испытания радиоэлектронной аппаратуры

Испытания радиоаппаратуры и приборов проводятся по заданной программе, которая определяет последовательность и время действия внешних факторов, параметры, характеризующие эти факторы (температуру, влажность, механические нагрузки и др.), а также параметры изделий, подлежащие контролю до и после испытаний.

Испытания радиоаппаратуры включают в себя комплекс контрольно-проверочных работ, связанных с определением отдельных характеристик испытываемой аппаратуры.

Кроме испытаний изделий при их функционировании проводятся также испытания моделей. В этом случае возможно не только непосредственное воздействие внешних факторов на модель, но и моделирование воздействий. Существуют следующие основные испытания:

- *исследовательские*, проводимые для изучения определенных свойств объекта;
- *сравнительные*, при которых испытываются два или более объектов в одинаковых условиях для сравнения характеристик их качества;
- *предварительные*, при которых проводятся контрольные испытания опытных образцов или опытных партий изделий для определения возможности их предъявления на приемочные испытания;
- *приемочные*, при которых проводятся контрольные испытания опытных образцов или опытных партий изделий для решения вопросов о целесообразности их серийного производства;
- *государственные*, которые являются приемочными испытаниями, проводимыми государственной комиссией;

- *приемо-сдаточные*, представляющие собой контрольные испытания, проводимые при приемочном контроле готовой продукции;
- *типовые*, представляющие собой контрольные испытания изделий, проводимые после внесения изменений в конструкцию или технологию изготовления для оценки их эффективности и целесообразности;
- *на надежность*, проводимые для определения или оценки значений показателей надежности.

По характеру внешних воздействий различают следующие испытания:

- механические, при которых основным видом воздействий на объект испытаний являются механические нагрузки;
- климатические, при которых основным видом воздействий на объект являются такие факторы, как температура и влажность воздуха, атмосферное давление и др.;
- электрические, при которых основным видом воздействий являются электрические нагрузки;
- радиационные, при которых основным видом воздействий является ионизирующее излучение;
- биологические, при которых основным видом воздействий является жизнедеятельность организмов.

Типовые испытания играют большую роль в обеспечении надежности радиоэлектронной аппаратуры.

Оптимальным способом проверки конструкции аппаратуры и технологии ее изготовления является проведение комплексных испытаний, которые наиболее полно имитируют действительные условия эксплуатации.

Известно, что очень часто на аппаратуру в условиях эксплуатации одновременно могут воздействовать несколько климатических и механических факторов. В таких случаях целесообразно проводить комплексные испытания. Так, например, самолетную радиоаппаратуру испытывают следующим образом. Устанавливают аппарат на вибростенд, помещенный в термобарокамеру, т.е. создают условия для одновременных испытаний в разреженной атмосфере при отрицательной или положительной температуре и вибрации.

Климатические испытания должны проводиться в определенной последовательности, которая регламентируется в нормативно-технической документации. Так, в ГОСТ 9763–67 указывается, что климатические испытания аппаратуры должны всегда предшествовать механическим испытаниям, а испытания на влагоустойчивость – испытаниям на холодоустойчивость. После каждого вида испытания должен производиться визуальный осмотр аппаратуры с целью выявления механических разрушений или повреждений, которые могли произойти в процессе ее испытаний.

Условия эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры и приборов

При транспортировке, хранении и эксплуатации радиоаппаратура подвергается многочисленным внешним воздействиям, основными из которых являются:

климатические, связанные в основном с состоянием атмосферы, – температурой и ее цикличностью; влажностью (дождь, иней, роса); атмосферным давлением; солнечной радиацией; примесями в воздухе (пыль, соли, промышленные газы); биологическими факторами (грибковая плесень и др.);

механические, связанные с вибрационными и ударными нагрузками и звуковым давлением.

Рассмотрим влияние различных факторов на работоспособность радиоаппаратуры.

Климатические воздействия. В зависимости от диапазона изменения основных климатических факторов условия эксплуатации аппаратуры можно разделить на три группы:

нормальные условия, характерные для стационарной и широкополосной аппаратуры, работающей обычно в закрытых помещениях при температуре $+25 \dots -10^{\circ}\text{C}$, относительной влажности до 80% и атмосферном давлении 720... 780 мм рт. ст.;

сложные условия, предусматривающие эксплуатацию аппаратуры при температуре от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха до 90% и атмосферном давлении 90... 780 мм рт. ст.;

тяжелые условия, когда аппаратура работает при резком изменении в широких пределах температуры, давления и влажности. Например, радиоэлектронная аппаратура, работающая на космических станциях, обеспечивает высокую надежность в очень тяжелых условиях космоса, в том числе при изменении температуры от -150 до $+150^{\circ}\text{C}$ при полном вакууме.

Надежность работы радиоаппаратуры и ее элементов зависит от температуры окружающей среды. Повышение или понижение температуры окружающей среды от номинального значения почти всегда вызывает ухудшение работы радиоаппаратуры, связанное с изменением физико-химических и механических свойств металлов, из которых изготовлена радиоаппаратура. Тепловое воздействие также является причиной ухудшения электрических свойств радиоаппаратуры вследствие изменения электрического сопротивления резисторов, сопротивления изоляции диэлектриков, емкости конденсаторов и т.д. При повышении температуры некоторые виды пластмасс размягчаются, а влагонепроницаемые покрытия ухудшают свои свойства. Тепловое воздействие приводит также к ускоренному старению материалов и др.

При понижении температуры у всех материалов ухудшается пластичность, а при очень низкой температуре она практически исчезает – металл становится хрупким. Некоторые элементы радиоаппаратуры, в частности электролитические конденсаторы и химические источники питания, при низких температурах теряют свои свойства. Ухудшение параметров изоляционных материалов может привести к механическим повреждениям конструкции в целом. Из-за повышения, например, вязкости часто наблюдается увеличение трения между отдельными подвижными элементами конструкции.

Надежность работы радиоаппаратуры очень зависит от состояния окружающей атмосферы в первую очередь – от влажности. С увеличением влажности резко уменьшаются поверхностное и объемное сопротивления изоляционных материалов.

Особенно сильно воздействуют климатические условия (повышенная влажность, грибковая плесень, солнечная радиация) на параметры радиоаппаратуры, эксплуатируемой в тропических условиях. Так, образование и развитие грибов снижает изоляцию материала, способствует созданию проводящего слоя на поверхности изоляции, вызывает химическое разложение органических материалов и коррозию металлов. Это, в конечном счете, приводит к порче и выходу из строя аппаратуры, не защищенной от таких воздействий. Интенсивное солнечное облучение способствует окислению или химическому разложению некоторых органических материалов.

Радиоаппаратура, эксплуатируемая в морских условиях, подвержена воздействию солей, растворенных в морской воде. В условиях повышенной влажности соли вызывают интенсивную коррозию металлических деталей.

Механические воздействия. Механические нагрузки, испытываемые радиоаппаратурой в разных условиях, могут иметь сложный комплексный характер при различном их сочетании. Так, стационарная аппаратура подвергается кратковременным ударным нагрузкам и тряске только при упаковке и транспортировании. Радиоаппаратура, устанавливаемая на автомобилях и железнодорожном транспорте, испытывает вибрацию и ударные нагрузки во время работы. Корабельная аппаратура помимо вибрационных и ударных воздействий подвергается длительным перегрузкам от качки. Наибольший угол отклонения от вертикали корабельной аппаратуры при качке может достигать 45° . Авиационная аппаратура подвержена длительному воздействию вибрации во время полета и значительным ударным нагрузкам при взлете и посадке самолета, а также линейному ускорению при полете.

Разрушение или быстрое изнашивание конструкции вызывают не длительно действующие малые нагрузки, а большие перегрузки, хотя они и действуют кратковременно. Поэтому наиболее опасным, случаем при воздействии вибрации является совпадение собственной частоты колебаний отдельных частей аппаратуры с колебаниями источника вибрации. Амплитуда колебаний бывает при этом настолько велика, что может произойти разрушение конструкции.

Таким образом, механические воздействия могут приводить в лучшем случае к нежелательным изменениям параметров аппаратуры, в худшем – к ее разрушению. Очевидно, что создание абсолютно устойчивых деталей и узлов к ударной и вибрационной нагрузкам почти невозможно. Поэтому в конструкцию радиоаппаратуры вводятся специальные устройства для смягчения динамических нагрузок или изменения их характера, например всевозможные амортизаторы, преобразующие ударные нагрузки в вибрационные с синусоидальными затухающими колебаниями.

Для повышения надежности аппаратуры рекомендуется использовать облегченные режимы работы ее элементов. Радиоаппаратура нередко подвергается одновременному воздействию нескольких механических и климатических факторов в различной комбинации, под влиянием которых происходит ухудшение ее электрических и механических параметров. Любое воздействие внешних факторов на радиоэлектронную аппаратуру сначала проявляется в процессе самого воздействия, вызывая неустойчивость и отказы в работе аппарата, а затем – после него, способствуя старению аппаратуры.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Практическое задание №1. Алгоритм диагностики устройства загрузки/выгрузки DVD-проигрывателя.

1. Включение функционального блока вне системы, в условиях моделирующих систему. По сути метод является комбинацией методов: разбиение на функциональные блоки и снятие внешних рабочих характеристик.

2. Предварительная проверка функциональных блоков.

Очень широко применяется для профилактики неисправностей системы в условиях производства новых изделий. Функциональный блок предварительно проверяется вне системы, на специально изготовленном стенде (рабочем месте).

3. Метод замены.

Подозреваемый блок/компонент заменяется на заведомо исправный. И проверяется функционирование системы. По результатам проверки судят о правильности гипотезы в отношении неисправности. Возможны несколько случаев:

- когда поведение системы не изменилось, это означает что гипотеза не верна

- когда все неисправности в системе устранены, значит неисправность действительно локализована в замененном блоке

- когда исчезла часть дефектов, это может означать что устранена только вторичная неисправность и исправный блок вновь сгорит под воздействием первичного дефекта системы. В этом случае лучшим решением будет вновь поставить замененный блок (если это возможно и целесообразно) и продолжить поиск неисправностей с тем чтобы устранить именно первопричину.

4. Проверка режима работы элемента.

Суть метода в том, что проверяют соответствие токов и напряжений в схеме предположительно правильным, отраженным в документации, рассчитанным при моделировании, полученным при исследовании исправного блока. На основании этого делают заключение о исправности элемента.

5. Провоцирующие воздействия.

Повышение или понижение температуры, влажности механическое воздействие. Подобные воздействия очень эффективно для обнаружения пропадающих неисправностей.

6. Проверка температуры элемента.

Суть метода проста, любым измерительным прибором (или пальцем) нужно оценить температуру элемента или сделать вывод о температуре элемента по косвенным признакам (цвета побежалости, запах горелого и пр.). На основании этих данных делают вывод о возможной неисправности элемента.

7. Выполнение тестовых программ.

Суть метода заключается в том, что на работающей системе выполняется тестовая программа которая взаимодействует с различными компонентами системы и предоставляет информацию о их отклике, либо система под управлением тестовой программы управляет периферийными устройствами и оператор наблюдает отклик периферийных устройств, либо тестовая программа позволяет наблюдать отклик периферийных устройств на тестовое воздействие (нажатие клавиши, реакция датчика температуры на изменение температуры и пр.).

8. Пошаговое исполнение команд.

Этот метод можно классифицировать как одну из разновидностей «метода исполнения тестовых программ», но применение метода возможно на почти не работоспособной системе. Метод очень эффективен для отладки микропроцессорных систем на стадии разработки.

9. Тестовые сигнатуры.

10.«Выход на вход».

Если изделие/система имеет выход (множество выходов) и имеет вход (множество входов) и вход/выход могут работать в дуплексном режиме, то возможна проверка системы в которой сигнал с выхода, через внешние связи подается на вход. Анализируется наличие/отсутствие сигнала, его качество и по результатам дается оценка о работоспособности соответствующих цепей.

11. Типовые неисправности.

12. Анализ влияния неисправности.

Задания

Заполнить таблицу

Виды неисправностей	Методы устранения	Результат

Практическое задание №2. Диагностика обнаружения отказов и дефектов цифровых устройств и блоков.

Схема описания методов: суть метода возможности метода, достоинства метода, недостатки метода, применение метода

1. Выяснения истории появления неисправности. Суть метода:

2. Внешний осмотр. Суть метода:

3. Прозвонка. Суть метода:

4. Снятие внешних рабочих характеристик. Суть метода.

5. Наблюдение прохождения сигналов по каскадам.
6. Сравнение с исправным блоком.
7. Моделирование.
8. Разбиение на функциональные блоки.
9. Временная модификация схемы.неисправности и затем гипотеза проверяется измерениями.

Задания

1. Оформить таблицу

Виды неисправностей	Методы устранения	Результат

Практическое задание №3. Снятие частотных характеристик усилителя звуковой частоты

Цель работы:

- 1.Научиться использовать приборы для снятия частотных характеристик усилителя звуковой частоты
- 2.Снять частотные характеристики усилителя звуковой частоты
- 3.Определить коэффициент усиления усилителя

Задание:

- 1.Подключить измерительные приборы согласно блок схеме подключения измерительных приборов
- 2.Изменяя частоту генератора снять показания с электронного вольтметра зафиксировать результаты, построить график.
- 3.Вычислить коэффициент усиления усилителя

Практическое задание №4. Ремонт нестабилизированных источников питания

Цель работы:

- 1.Получить практический опыт ремонта нестабилизированного блока питания

Задание:

1. Изучить нормативно техническую документацию на нестабилизированный источник питания;
2. Изучить принципиальную схему нестабилизированного источника питания;
3. Выбрать контрольно-измерительную аппаратуру;
4. Исследовать работу нестабилизированного источника питания, определить неисправность(узел, компонент);
5. Устранить неисправность;
5. Выполнить проверку работоспособности и при необходимости произвести настройку или регулировку.

Практическое задание №5. Организация рабочего места и оснащение его оборудованием для ремонта радиоэлектронной техники

Цель работы: Получение практического опыта в организации рабочего места и оснащении его оборудованием для ремонта радиоэлектронной техники

Задание:

1. Изучить нормативно-техническую документацию на столы ремонтников и регулировщиков радиоэлектронной аппаратуры, оснащение рабочих мест вытяжной вентиляцией, освещением, оптико-осветительным оборудованием, паяльным оборудованием, инструментом для ремонта.
2. Изучить техническую документацию по охране труда, пожаробезопасности, и санитарии на рабочем месте ремонтника радиоэлектронной техники
3. Рациональную расстановку контрольно-измерительной аппаратуры.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Как организуется процесс испытаний на стадии разработки и в процессе проектирования?
2. основные положения системы испытания продукции.
3. Перечислите виды отказов
4. Какие оптические измерительные приборы и инструменты вы знаете ? Перечислить.
5. Назовите основные задачи технического обслуживания.
6. По каким признакам классифицируются отказы?
7. Что такое «предельное состояние» объекта?
8. Какие факторы конкурентоспособности продукции (ЭПиУ) вы знаете?
9. Какие факторы, влияющие на уровень интенсивности отказов в период нормальной эксплуатации изделий вы знаете?
10. Назовите основные задачи испытательных центров, лабораторий.
11. Какие виды испытаний характерны для электронных приборов и устройств?
12. Какие механические измерительные приборы и инструменты вы знаете?

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В результате изучения модуля обучающиеся осваивают практический опыт проведения диагностики работоспособности электронных приборов и устройств средней сложности, осуществления диагностики работоспособности аналоговых и импульсных электронных приборов и устройств, осуществления диагностики работоспособности цифровых и электронных устройств со встроенными микропроцессорами, устранения обнаруженных неисправностей и дефектов в работе электронных приборов и устройств, выполнения технического обслуживания электронных приборов и устройств в соответствии с регламентом и правилами эксплуатации,

выполнения ремонта электронных приборов и устройств в процессе эксплуатации.

При изучении модуля обучающиеся учатся: устранять обнаруженные неисправности и дефекты в работе электронных приборов и устройств.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бенда, Д. Поиск неисправностей в электрических схемах /Д.Бенда. – ВНУ-Санкт-Петербург, 2015 – 256 с.
2. Бытовая радиотелевизионная аппаратура. Устройство, техническое обслуживание, ремонт /под ред. А.Е. Пескина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013 – 606 с.
3. Обнаружение неисправностей в аналоговых схемах. Роберт А. Пиз Техносфера, 2007
4. Практические советы по ремонту бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Книга 1,2 А. М. Столовых, Солон-Пресс, 2005
5. Электронные приборы и усилители. Учебник. Гриф Министерства связи, Вайсбурд Ф.И., Либроком, 2009г.

ГЛОССАРИЙ

Амплитуда синусоидального электрического тока комплексная – комплексная величина, модуль и аргумент которой равны соответственно амплитуде и начальной фазе данного синусоидального электрического тока.

Анализ схемы электрической цепи – аналитическое или числовое описание процессов в электрической цепи и ее свойств при заданных ее топологии и параметрах элементов.

База данных (БД) – специально организованная совокупность взаимосвязанных данных, отражающих состояние выделенной предметной области в реальной действительности и предназначенных для совместного использования при решении задач многими пользователями.

Взаимозаменяемость – пригодность для использования одного изделия, процесса или услуги вместо другого в целях выполнения одних и тех же требований.

Вид предмета (вид) - ортогональная проекция обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета, расположенного между ним и плоскостью проецирования.

Величина входная (электрической цепи) – электрический ток или электрическое напряжение, подводимое к выводам электрической цепи, рассматриваемым как ее вход.

Величина выходная (электрической цепи) – электрический ток или электрическое напряжение на выводах электрической цепи, рассматриваемых как ее выход.

Ветвь (электрической цепи) – участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же электрический ток.

Вывод (электрической цепи) – точка электрической цепи, предназначенная для выполнения соединений с другой электрической цепью.

Гарантирование качества – часть менеджмента качества, направленная на предоставление уверенности в том, что требования к качеству будут выполнены.

Государственный реестр систем сертификации – официальный перечень зарегистрированных систем сертификации.

Государственный эталон единицы величины – эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Горизонталь – прямая, параллельная горизонтальной плоскости проекции в аксонометрическом или ортогональном чертеже, проецируется на горизонтальную плоскость в натуральную величину.

Двухполюсник – часть электрической цепи с двумя выделенными выводами.

Диагностика (электрической) цепи – определение неизвестных параметров электрической цепи при известных топологии цепи, части параметров цепи и ее реакции на различные воздействия.

Дополнительный вид предмета (дополнительный вид) - изображение предмета на плоскости, непараллельной ни одной из основных плоскостей

проекции, применяемое для неискаженного изображения поверхности, если ее нельзя получить на основном виде.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Знак соответствия – зарегистрированный в законодательном порядке сертификационный знак, используемый согласно порядку сертификации третьей стороной для продукции (услуги), находящейся в полном соответствии с требованиями нормативного документа, применяемого при сертификации.

Запаздывание по фазе (первой синусоидальной функции относительно второй) – алгебраическая величина, определяемая вычитанием начальной фазы первой синусоидальной функции из начальной фазы второй синусоидальной функции, имеющей такой же период.

Значение периодического электрического тока действующее – среднеквадратичное значение периодического электрического тока за период.

Идентификация – процедура, посредством которой устанавливается соответствие продукции требованиям, которые предъявляются к ней (к данному виду или типу) в нормативных или информационных документах.

Идентификация продукции – установление тождественности характеристик продукции ее существенным признакам.

Изменение к стандарту – модификация, дополнение или исключение определенных разделов (частей, фрагментов) нормативного документа. Результаты изменения публикуются отдельно в виде перечня (листка) изменений.

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств, имеющих нормированные метрологические свойства.

Измерительная техника – совокупность технических средств и методик проведения измерений.

Интерфейс – граница раздела двух систем, устройств или программ; совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие устройств, программ.

Интеллект – мыслительные способности человека.

Интегрированная система – автоматизированная система, обеспечивающая различные потребности (в том числе информационные, вычислительные и др.) пользователей и поддерживающая единый порядок взаимодействия с пользователями, включая и способы представления данных.

Информационная база – совокупность информационных массивов, организованных соответствующим образом и размещенных на машинных носителях.

Информационное хранилище – архивная активная электронная система для сбора, доставки, хранения, анализа и предоставления информации для подготовки управленческих решений.

Испытание – техническая операция, экспериментальное установление одной или нескольких количественных и (или) качественных характеристик свойств испытываемого объекта (продукции, процесса или услуги) в соответствии с установленной процедурой.

Испытательная лаборатория – лаборатория, которая проводит испытания (отдельные его виды) продукции (услуги).

Изображение – объект, образ, явление, в той или иной степени подобное (но не идентичное) изображаемому или сам процесс их создания.

Индуктивность (собственная) – скалярная величина, равная отношению потокосцепления самоиндукции элемента электрической цепи к электрическому току в нем.

Индуктивность взаимная – скалярная величина, равная отношению потокосцепления взаимной индукции одного элемента электрической цепи к электрическому току в другом элементе, обуславливающему это потокосцепление.

Индукция взаимная – электромагнитная индукция, вызванная изменением сцепляющегося с контуром магнитного потока, обусловленного электрическими токами в других контурах.

Источник (электрического) напряжения идеальный – источник электрической энергии, электрическое напряжение на выводах которого не зависит от электрического тока в нем.

Источник (электрического) тока – источник электрической энергии, характеризующийся электрическим током в нем и внутренней проводимостью.

Источник электрического напряжения – источник электрической энергии, характеризующийся электродвижущей силой и внутренним электрическим сопротивлением.

Калибровка средства измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору.

Качество продукции (услуги) – определенная совокупность свойств продукции (услуги), потенциально или реально способных в той или иной мере удовлетворять требуемым потребностям при их использовании по назначению, включая утилизацию или уничтожение; «степень, в какой совокупность присущих характеристик выполняет требования» (по ГОСТ Р ИСО 9000–2001).

Квалификационные испытания – метод оценки работы лаборатории путем проведения параллельных таких же испытаний в другой аналогичной лаборатории (межлабораторных испытаний).

Контролирующий орган сертификации – орган, осуществляющий по поручению органа по сертификации деятельность по контролю сертифицированной продукции (услуги).

Контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки.

Концепция – система взглядов, то или иное понимание ситуации; единый определяющий замысел; ведущая мысль при выработке управленческого решения.

Конкурирующие точки – точки, расположенные на одной проецирующей прямой, но при этом удаленные от плоскости проекций на разное расстояние.

Катушка (индуктивная) – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его собственной индуктивности и/или его магнитного поля.

Конденсатор (электрический) – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрической емкости.

Контур (электрической цепи) – последовательность ветвей электрической цепи, образующая замкнутый путь, в которой один из узлов одновременно является началом и концом пути, а остальные встречаются только один раз.

Контур колебательный – электрическая цепь, в которой может возникать колебательная составляющая преходящего тока.

Ломаный разрез – сложный разрез, выполненный пересекающимися плоскостями. – сложный разрез, выполненный пересекающимися плоскостями.

Международная организация по стандартизации (ИСО) – организация по стандартизации, членство в которой открыто для соответствующего органа любой страны.

Международная стандартизация – стандартизация, участие в которой открыто для соответствующих органов всех стран.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) – организация, созданная в 1906г. по решению Международного электротехнического конгресса. Основная цель МЭК – содействие международному сотрудничеству в области стандартизации и смежным с ней проблемам в отраслях электротехники, радиоэлектроники и связи.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией, занимающейся стандартизацией, и доступный широкому кругу потребителей.

Менеджмент качества – скоординированная деятельность, нацеленная на то, чтобы направлять организацию и управлять ею применительно к качеству.

Метод измерения – сочетание принципов и средств измерений, соответствующих выбранному принципу.

Метод испытания – установленный порядок проведения испытания.

Методика испытания – техническая процедура для определения одной или нескольких специфических характеристик материала или изделия.

Метрологическая служба – сеть государственных и ведомственных метрологических органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений в стране (государственная и ведомственная).

Метрология – наука об измерениях физических величин, методах и средствах достижения необходимой точности и единства измерений.

Нормативный документ – документ, в котором изложены установленные в процессе стандартизации правила, принципы, характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, и которые доступны широкому кругу заинтересованных в нем пользователей.

Местный вид предмета (местный вид) - изображение отдельного ограниченного участка поверхности предмета.

Местный разрез - разрез, выполненный секущей плоскостью только в отдельном, ограниченном месте предмета.

Мониторинг – разработка системы показателей, определяющих возникновение той или иной проблемы, и механизмов их отслеживания.

Мультимедиа – компьютерная система и технология, обеспечивающая возможность создания, хранения и воспроизведения разнородной информации, включая текст, звук и графику (в том числе движущееся изображение и анимацию).

Напряжение (электрическое) – скалярная величина, равная линейному интегралу напряженности электрического поля рассматриваемого пути.

Нормаконтроль технической документации – проводимый по определенным правилам контроль соответствия качества составления, оформления и учета технической документации порядку, установленному системой стандартизации.

Обеспечение качества – совокупность способов и методов, направленных на создание уверенности в том, что продукция или услуга удовлетворяет определенным требованиям к качеству.

Объект стандартизации – предмет (продукция, процесс, услуга), подлежащий стандартизации.

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту; любая процедура, прямо или косвенно используемая для определения соответствия продукции требованиям технических регламентов или стандартов. Наиболее часто соответствие подтверждается сертификацией.

Ось проекций - линия пересечения плоскостей проекций (OX, OY, OZ).

Операционная система – программа или совокупность программ, управляющая основными действиями ЭВМ, ее периферийными устройствами и обеспечивающая запуск всех остальных программ, а также взаимодействие с оператором.

Память – среда или функциональная часть ЭВМ, предназначенная для приема, хранения и избирательной выдачи данных. Различают оперативную (главную, основную, внутреннюю), регистровую, кэш и внешнюю память.

Поверка средства измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия установленным техническим требованиям.

Принцип измерений – использование определенной физической величины (явления) для получения результата измерения. Например, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Проверка качества – систематический и независимый анализ, позволяющий определить соответствие деятельности и результатов в области качества запланированным показателям, а также эффективность их внедрения и степень достижения поставленных целей.

Протокол испытаний – документ, содержащий результаты испытания и другую информацию, относящуюся к испытаниям.

Плоскость (геометрия) – двумерное пространство нулевой кривизны

Проецирование – это процесс получения проекций предмета на какой-либо поверхности (плоской, цилиндрической, сферической, конической) с помощью проецирующих лучей.

Период (электрического тока) – наименьший интервал времени, по истечении которого мгновенные значения периодического электрического тока повторяются в неизменной последовательности.

Проводимость (электрическая) активная – параметр пассивного двухполюсника, равный отношению активной мощности, поглощаемой в этом двухполюснике, к квадрату действующего значения электрического напряжения на его выводах.

Размер физической величины – количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту (явлению, процессу). Истинный размер есть объективная реальность, не зависящая от измерений.

Разность потенциалов (электрических) – электрическое напряжение в безвихревом электрическом поле, характеризующееся независимостью от выбора пути интегрирования.

Режим (в электрической цепи) установившийся – режим электрической цепи, при котором электродвижущие силы, электрические напряжения и электрические токи в электрической цепи являются постоянными или периодическими.

Резистор – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрического сопротивления.

Резонанс (в электрической цепи) – явление в электрической цепи, содержащей участки, имеющие индуктивный и емкостной характер, при котором разность фаз синусоидального электрического напряжения и синусоидального электрического тока на входе цепи равна нулю.

Резонанс напряжений – резонанс в участке электрической цепи, содержащей последовательно соединенные индуктивный и емкостной элементы.

Резонанс токов – резонанс в участке электрической цепи, содержащей параллельно соединенные индуктивный и емкостной элементы.

Риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Руководство по качеству – документ, содержащий политику в области качества и характеризующий основные положения системы менеджмента качества предприятия.

Свидетельство в области сертификации (лицензия) – документ, изданный в соответствии с правилами системы сертификации, посредством которого орган по сертификации наделяет лицо или орган правом использовать сертификаты или знаки соответствия для своей продукции, процессов или услуг в соответствии с правилами соответствующей системы сертификации.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров; действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная продукция, процесс или услуга соответствует конкретному нормативному документу.

Сертификация соответствия – действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированные продукция, процесс или услуга соответствуют конкретному стандарту или другому нормативному документу.

Система менеджмента качества – система для установления политики качества, целей качества и для достижения этих целей.

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом. Системы сертификации могут действовать на национальном, региональном и международном уровнях.

Совместимость – пригодность продукции, процессов или услуг к совместному, но не вызывающему нежелательных взаимодействий,

использованию при заданных условиях для выполнения установленных требований.

Соответствие – соблюдение всех установленных требований к продукции, процессу или услуге.

Срок действия нормативного документа – время, в течение которого действует нормативный документ начиная с введения его в действие и до отмены или замены.

Срок действия стандарта – период времени от даты введения в действие нормативного документа до момента его отмены. Решение о введении и отмене принимает ответственный за стандартизацию орган, принявший этот документ.

Стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Сечение предмета (сечение) - ортогональная проекция фигуры, получающейся в одной или нескольких секущих плоскостях или поверхностях при мысленном рассечении проецируемого предмета.

Ступенчатый разрез - сложный разрез, выполненный параллельными секущими плоскостями.

Сервер – специализированный компьютер, выполняющий функции по обслуживанию клиента. Сервер распределяет ресурсы системы: принтеры, БД, программы, внешнюю память и т. д.

Сетевой сервер – поддерживает выполнение функций сетевой ОС: управление вычислительной сетью, планирование задач, распределение ресурсов, доступ к сетевой файловой системе, защиту информации и т. д.

Самоиндукция – электромагнитная индукция, вызванная изменением сцепляющегося с контуром магнитного потока, обусловленного электрическим током в этом контуре.

Сдвиг фаз между напряжением и током – алгебраическая величина, определяемая вычитанием начальной фазы синусоидального электрического тока из начальной фазы синусоидального электрического напряжения.

Сила электродвижущая; ЭДС – скалярная величина, характеризующая способность стороннего поля и индуцированного электрического поля вызывать электрический ток.

Схема (электрической цепи) – графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и показывающее соединения этих элементов.

Схема замещения (электрической цепи) – схема электрической цепи, отображающая свойства цепи при определенных условиях.

Требование – положение, содержащее критерии, которые должны быть соблюдены; потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным.

Ток (полный) – скалярная величина, равная сумме электрического тока проводимости, электрического тока переноса и электрического тока смещения сквозь рассматриваемую поверхность.

Улучшение качества – часть менеджмента качества, направленная на повышение способности выполнить требования к качеству.

Уровень качества – мера соответствия (относительная характеристика) качества оцениваемого объекта качеству объекта, принятому за эталон сравнения.

Узел (электрической цепи) – место соединения ветвей электрической цепи

Участок (электрической) цепи – часть электрической цепи, содержащая выделенную совокупность ее элементов.

Фронталь – прямая, параллельная фронтальной плоскости проекции в аксонометрическом или ортогональном чертеже, проецируется на фронтальную плоскость в истинную величину.

Характеристика вольт-амперная – зависимость электрического напряжения на выводах элемента электрической цепи от электрического тока в нем.

Цепь электрическая – совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе, электрическом токе и электрическом напряжении.

Частота (электрического тока) – величина, обратная периоду электрического тока.

Частота резонансная – частота электрического тока и электрического напряжения при резонансе в электрической цепи.

Четырехполюсник – часть электрической цепи, имеющая две пары выводов, которые могут быть входными и выходными.

Элемент (электрической) цепи – отдельное устройство, входящее в состав электрической цепи, выполняющее в ней определенную функцию.

Эталон единицы величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (кратных либо дольных ее значений) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины.

Эффективность – соотношение между достигнутым результатом и затратами (использованными ресурсами).