

С.И. МАРКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Учебное пособие



С.И. Марков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ



Учебное пособие

Санкт-Петербург
АНО ДПО «Образовательный центр «Сфера успеха»
2013

УДК 621.311

Марков,С.И.

Проектирование сетей электроснабжение: учеб. пособие. /Составитель С.И. Марков /. – Санкт-Петербург: АНО ДПО Образовательный центр «Сфера успеха», 2013. – 134 с.

В книге приведены требования к устройству электрической части электроснабжения, освещения зданий, помещений и сооружений различного назначения, открытых пространств и улиц, а также требования к устройству рекламного освещения. Содержатся требования к электрооборудованию жилых и общественных зданий, зрелищных предприятий, клубных учреждений, спортивных сооружений.

Книга рассчитана на инженерно-технический персонал, занятый проектированием, монтажом и эксплуатацией установок электрооборудования, электрического освещения, а также электрооборудования специальных установок.

© Санкт-Петербург, АНО ДПО
«Образовательный центр
«Сфера успеха», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1.	РАЗДЕЛ 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	3
1.1.	Федеральные нормативно-правовые положения, законы, акты	3
1.2.	Региональные нормативно-правовые положения, законы, акты	4
1.3.	Техническая документация	8
2.	РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	10
2.1.	Проектирование схем электроснабжения	10
2.2.	Проектирование системы безопасности	45
2.3.	Проектирование электроснабжения освещения	59
3.	РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	62
3.1.	Расчет нагрузок методом коэффициента максимума	62
3.2.	Расчет нагрузок методом коэффициента спроса	85
3.3.	Расчет нагрузок осветительных установок	86
4	РАЗДЕЛ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВР	86
5.	РАЗДЕЛ 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ И МОЛНИЕЗАЩИТЫ	87
5.1.	Проектирование заземления	87
5.2.	Проектирование молниезащиты	89
6.	РАЗДЕЛ 6. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	90
6.1.	Рекомендации по выбору напряжения питающих сетей промышленных предприятий	90
6.2.	Схема внешнего электроснабжения предприятий	94
6.3.	Глубокие вводы 35-220 кВ - Схемы электроснабжения промышленных предприятий	96
6.4.	Системы заземления электроустановок напряжением до 1 кВ	101
6.5.	Структурные схемы трансформаторных подстанций	107
6.6.	Основные элементы распределительных устройств	109
6.7.	Трансформаторные подстанции напряжением 10(6) кВ	128

Раздел 1

Нормативно-правовая база проектирования электроснабжения

Тема 1.1 Федеральные нормативно-правовые положения, законы, акты

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) — документ, описывающий устройство и безопасное использование [электроустановок](#) в России и некоторых странах [СНГ](#). В соответствии со статьей 13 ФЗ «О техническом регулировании», с момента введения закона на территории России в сфере стандартизации имеют хождение только поименованные законом документы.^[1] В соответствии с переходными положениями ПУЭ действует до принятия технического регламента "О безопасности электроустановок".

ПУЭ распространяется на установки электрического освещения зданий, помещений и сооружений наружного освещения городов, посёлков и сельских населённых пунктов, территорий предприятий и учреждений, на установки оздоровительного ультрафиолетового облучения длительного действия, установки световой рекламы, световые знаки и иллюминационные установки и др.

Действующая версия правил не учитывают требования по защите электроустановок от пожаров (ГОСТ Р 50571.17-2000), защите от перенапряжений, вызываемых замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ, грозовыми разрядами и коммутационными переключениями (ГОСТ Р 50571.18-2000, ГОСТ Р 50571.19-2000), электромагнитными воздействиями (ГОСТ Р 50571.20-2000).^[2]

ПУЭ

Издание седьмое

В книге приведены требования к устройству электрической части освещения зданий, помещений и сооружений различного назначения, открытых пространств и улиц, а также требования к устройству рекламного освещения. Содержатся требования к электрооборудованию жилых и общественных зданий, зрелищных предприятий, клубных учреждений, спортивных сооружений.

Книга рассчитана на инженерно-технический персонал, занятый проектированием, монтажом и эксплуатацией установок электрического освещения, а также электрооборудования специальных установок.

Область применения. Определения

1.1.1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) распространяются на вновь сооружаемые и реконструируемые электроустановки постоянного и переменного тока напряжением до 750 кВ, в том числе на специальные электроустановки, рассмотренные в [разд. 7](#) настоящих Правил.

Устройство специальных электроустановок, не рассмотренных в [разд. 7](#), должно регламентироваться другими нормативными документами. Отдельные требования настоящих Правил могут применяться для таких электроустановок в той мере, в какой они по исполнению и условиям работы аналогичны электроустановкам, рассмотренным в настоящих Правилах.

Требования настоящих Правил рекомендуется применять для действующих электроустановок, если это повышает надежность электроустановки или если ее модернизация направлена на обеспечение требований безопасности.

По отношению к реконструируемым электроустановкам требования настоящих Правил распространяются лишь на реконструируемую часть электроустановок.

1.1.2. ПУЭ разработаны с учетом обязательности проведения в условиях эксплуатации планово-предупредительных и профилактических испытаний, ремонтов электроустановок и их электрооборудования.

1.1.3. Э л е к т р о у с т а н о в к а - совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

1.1.4. О т к р ы т ы е или н а р у ж н ы е э л е к т р о у с т а н о в к и - электроустановки, не защищенные зданием от атмосферных воздействий.

Электроустановки, защищенные только навесами, сетчатыми ограждениями и т.п., рассматриваются как наружные.

З а к р ы т ы е или в н у т р е н н и е э л е к т р о у с т а н о в к и - электроустановки, размещенные внутри здания, защищающего их от атмосферных воздействий.

1.1.5. Э л е к т р о п о м е щ е н и я - помещения или отгороженные (например, сетками) части помещения, в которых расположено электрооборудование, доступное только для квалифицированного обслуживающего персонала.

1.1.6. С у х и е п о м е щ е н и я - помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %.

При отсутствии в таких помещениях условий, указанных в 1.1.10-1.1.12, они называются н о р м а л ь н ы м и.

1.1.7. В л а ж н ы е п о м е щ е н и я - помещения, в которых относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %.

1.1.8. С ы р ы е п о м е щ е н и я - помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75 %.

1.1.9. О с о б о с ы р ы е п о м е щ е н и я - помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

1.1.10. Ж а р к и е п о м е щ е н и я - помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С (например, помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

1.1.11. П ы л ь н ы е п о м е щ е н и я - помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п.

Пыльные помещения разделяются на п о м е щ е н и я с т о к о п р о в о д я щ е й пылью и п о м е щ е н и я с н е т о к о п р о в о д я щ е й пылью.

1.1.12. Помещения с химически активной или органической средой - помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

1.1.13. В отношении опасности поражения людей электрическим током различаются:

1) помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность (см. пп. 2 и 3);

2) помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

сырость или токопроводящая пыль (см. 1.1.8 и 1.1.11);

токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);

высокая температура (см. 1.1.10);

возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой;

3) особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

особая сырость (см. 1.1.9);

химически активная или органическая среда (см. 1.1.12);

одновременно два или более условий повышенной опасности (см. 1.1.13, п. 2);

4) территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

1.1.14. К в а л и ф и ц и р о в а н н ы й о б с л у ж и в а ю щ и й п е р с о н а л - специально подготовленные работники, прошедшие проверку знаний в объеме, обязательном для данной работы (должности), и имеющие группу по электробезопасности, предусмотренную действующими правилами охраны труда при эксплуатации электроустановок.

1.1.15. Н о м и н а л ь н о е з н а ч е н и е п а р а м е т р а - указанное изготовителем значение параметра электротехнического устройства.

1.1.16. Н а п р я ж е н и е п е р е м е н н о г о т о к а - действующее значение напряжения.

Н а п р я ж е н и е п о с т о я н н о г о т о к а - напряжение постоянного тока или напряжение выпрямленного тока с содержанием пульсаций не более 10 % от действующего значения.

1.1.17. Для обозначения обязательности выполнения требований ПУЭ применяются слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них. Слова «как правило» означают, что данное требование является преобладающим, а отступление от него должно быть обосновано. Слово «допускается» означает, что данное решение применяется в виде исключения как вынужденное (вследствие стесненных условий, ограниченных ресурсов необходимого оборудования, материалов и т.п.). Слово «рекомендуется» означает, что

данное решение является одним из лучших, но не обязательным. Слово «может» означает, что данное решение является правомерным.

1.1.18. Принятые в ПУЭ нормируемые значения величин с указанием «не менее» являются наименьшими, а с указанием «не более» - наибольшими.

Все значения величин, приведенные в Правилах с предлогами «от» и «до», следует понимать как «включительно».

Общие указания по устройству электроустановок

1.1.19. Применяемые в электроустановках электрооборудование, электротехнические изделия и материалы должны соответствовать требованиям государственных стандартов или технических условий, утвержденных в установленном порядке.

1.1.20. Конструкция, исполнение, способ установки, класс и характеристики изоляции применяемых машин, аппаратов, приборов и прочего электрооборудования, а также кабелей и проводов должны соответствовать параметрам сети или электроустановки, режимам работы, условиям окружающей среды и требованиям соответствующих глав ПУЭ.

1.1.21. Электроустановки и связанные с ними конструкции должны быть стойкими в отношении воздействия окружающей среды или защищенными от этого воздействия.

1.1.22. Строительная и санитарно-техническая части электроустановок (конструкция здания и его элементов, отопление, вентиляция, водоснабжение и пр.) должны выполняться в соответствии с действующими строительными нормами и правилами (СНиП) при обязательном выполнении дополнительных требований, приведенных в ПУЭ.

1.1.23. Электроустановки должны удовлетворять требованиям действующих нормативных документов об охране окружающей природной среды по допустимым уровням шума, вибрации, напряженностей электрического и магнитного полей, электромагнитной совместимости.

1.1.24. Для защиты от влияния электроустановок должны предусматриваться меры в соответствии с требованиями норм допускаемых промышленных радиопомех и правил защиты устройств связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи.

1.1.25. В электроустановках должны быть предусмотрены сбор и удаление отходов: химических веществ, масла, мусора, технических вод и т.п. В соответствии с действующими требованиями по охране окружающей среды должна быть исключена возможность попадания указанных отходов в водоемы, систему отвода ливневых вод, овраги, а также на территории, не предназначенные для хранения таких отходов.

1.1.26. Проектирование и выбор схем, компоновок и конструкций электроустановок должны производиться на основе технико-экономических сравнений вариантов с учетом требований обеспечения безопасности обслуживания, применения надежных схем, внедрения новой техники, энерго- и ресурсосберегающих технологий, опыта эксплуатации.

1.1.27. При опасности возникновения электрокоррозии или почвенной коррозии должны предусматриваться соответствующие меры по защите сооружений, оборудования, трубопроводов и других подземных коммуникаций.

1.1.28. В электроустановках должна быть обеспечена возможность легкого распознавания частей, относящихся к отдельным элементам (простота и наглядность схем, надлежащее расположение электрооборудования, надписи, маркировка, расцветка).

1.1.29. Для цветового и цифрового обозначения отдельных изолированных или неизолированных проводников должны быть использованы цвета и цифры в соответствии с ГОСТ Р 50462 «Идентификация проводников по цветам или цифровым обозначениям».

Проводники защитного заземления во всех электроустановках, а также нулевые защитные проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в т.ч. шины, должны иметь буквенное обозначение *PE* и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины (для шин от 15 до 100 мм) желтого и зеленого цветов.

Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой *N* и голубым цветом. Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение *PEN* и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и желто-зеленые полосы на концах.

1.1.30. Буквенно-цифровые и цветовые обозначения одноименных шин в каждой электроустановке должны быть одинаковыми.

Шины должны быть обозначены:

1) при переменном трехфазном токе: шины фазы *A* - желтым, фазы *B* - зеленым, фазы *C* - красным цветами;

2) при переменном однофазном токе шина *B*, присоединенная к концу обмотки источника питания, - красным цветом, шина *A*, присоединенная к началу обмотки источника питания, - желтым цветом.

Шины однофазного тока, если они являются ответвлением от шин трехфазной системы, обозначаются как соответствующие шины трехфазного тока;

3) при постоянном токе: положительная шина (+) - красным цветом, отрицательная (-) - синим и нулевая рабочая *M* - голубым цветом.

Цветовое обозначение должно быть выполнено по всей длине шин, если оно предусмотрено также для более интенсивного охлаждения или антикоррозионной защиты.

Допускается выполнять цветовое обозначение не по всей длине шин, только цветовое или только буквенно-цифровое обозначение либо цветовое в сочетании с буквенно-цифровым в местах присоединения шин. Если неизолированные шины недоступны для осмотра в период, когда они находятся под напряжением, то допускается их не обозначать. При этом не должен снижаться уровень безопасности и наглядности при обслуживании электроустановки.

1.1.31. При расположении шин «плашмя» или «на ребро» в распределительных устройствах (кроме комплектных сборных ячеек одностороннего обслуживания (КСО) и комплектных распределительных устройств (КРУ) 6-10 кВ, а также панелей 0,4-0,69 кВ заводского изготовления) необходимо соблюдать следующие условия:

1. В распределительных устройствах напряжением 6-220 кВ при переменном трехфазном токе сборные и обходные шины, а также все виды секционных шин должны располагаться:

- а) при горизонтальном расположении:
одна под другой: сверху вниз *A-B-C*;
одна за другой, наклонно или треугольником: наиболее удаленная шина *A*, средняя - *B*, ближайшая к коридору обслуживания - *C*;
- б) при вертикальном расположении (в одной плоскости или треугольником):
слева направо *A-B-C* или наиболее удаленная шина *A*, средняя - *B*, ближайшая к коридору обслуживания - *C*;
- в) ответвления от сборных шин, если смотреть на шины из коридора обслуживания (при наличии трех коридоров - из центрального):
при горизонтальном расположении: слева направо *A-B-C*;
при вертикальном расположении (в одной плоскости или треугольником): сверху вниз *A-B-C*.

2. В пяти- и четырехпроводных цепях трехфазного переменного тока в электроустановках напряжением до 1 кВ расположение шин должно быть следующим:

- при горизонтальном расположении:
одна под другой: сверху вниз *A-B-C-N-PE (PEN)*;
одна за другой: наиболее удаленная шина *A*, затем фазы *B-C-N*, ближайшая к коридору обслуживания - *PE (PEN)*;
- при вертикальном расположении: слева направо *A-B-C-N-PE (PEN)* или наиболее удаленная шина *A*, затем фазы *B-C-N*, ближайшая к коридору обслуживания - *PE (PEN)*;
- ответвления от сборных шин, если смотреть на шины из коридора обслуживания:
при горизонтальном расположении: слева направо *A-B-C-N-PE (PEN)*;
при вертикальном расположении: *A-B-C-N-PE (PEN)* сверху вниз.

3. При постоянном токе шины должны располагаться:

- сборные шины при вертикальном расположении: верхняя *M*, средняя (-), нижняя (+);
- сборные шины при горизонтальном расположении: наиболее удаленная *M*, средняя (-) и ближайшая (+), если смотреть на шины из коридора обслуживания;
- ответвления от сборных шин: левая шина *M*, средняя (-), правая (+), если смотреть на шины из коридора обслуживания.

В отдельных случаях допускаются отступления от требований, приведенных в пп. 1-3, если их выполнение связано с существенным усложнением электроустановок (например, вызывает необходимость установки специальных опор вблизи подстанции для транспозиции проводов воздушных линий электропередачи - ВЛ) или если на подстанции применяются две или более ступени трансформации.

1.1.32. Электроустановки по условиям электробезопасности разделяются на электроустановки напряжением до 1 кВ и электроустановки напряжением выше 1 кВ (по действующему значению напряжения).

Безопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением мер защиты, предусмотренных в гл. 1.7, а также следующих мероприятий:

соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия, ограждения токоведущих частей;

применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;

применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;

применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;

использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

1.1.33. В электропомещениях с установками напряжением до 1 кВ допускается применение неизолированных и изолированных токоведущих частей без защиты от прикосновения, если по местным условиям такая защита не является необходимой для каких-либо иных целей (например, для защиты от механических воздействий). При этом доступные прикосновению части должны располагаться так, чтобы нормальное обслуживание не было сопряжено с опасностью прикосновения к ним.

1.1.34. В жилых, общественных и других помещениях устройства для ограждения и закрытия токоведущих частей должны быть сплошные; в помещениях, доступных только для квалифицированного персонала, эти устройства могут быть сплошные, - сетчатые или дырчатые.

Ограждающие и закрывающие устройства должны быть выполнены так, чтобы снимать или открывать их можно было только при помощи ключей или инструментов.

1.1.35. Все ограждающие и закрывающие устройства должны обладать требуемой (в зависимости от местных условий) механической прочностью. При напряжении выше 1 кВ толщина металлических ограждающих и закрывающих устройств должна быть не менее 1 мм.

1.1.36. Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током, от действия электрической дуги и т.п. все электроустановки должны быть снабжены средствами защиты, а также средствами оказания первой помощи в соответствии с действующими правилами применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках.

1.1.37. Пожаро- и взрывобезопасность электроустановок должны обеспечиваться выполнением требований, приведенных в соответствующих главах настоящих Правил.

При сдаче в эксплуатацию электроустановки должны быть снабжены противопожарными средствами и инвентарем в соответствии с действующими положениями.

1.1.38. Вновь сооруженные и реконструированные электроустановки и установленное в них электрооборудование должно быть подвергнуто приемо-сдаточным испытаниям.

1.1.39. Вновь сооруженные и реконструированные электроустановки вводятся в промышленную эксплуатацию только после их приемки согласно действующим положениям.

Раздел 2

Проектирования объектов электроснабжения гражданских зданий и коммунальных предприятий

2.1 Проектирование схем электроснабжения

Основные термины и определения

Электроснабжением называют обеспечение потребителей электроэнергией, системой электроснабжения - совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией. Системой электроснабжения может быть определена и как совокупность взаимосвязанных электроустановок, осуществляющих электроснабжение района, города, предприятия.

Потребитель - предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники электроэнергии присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию.

Приемником электроэнергии называют устройство (аппарат, агрегат, механизм), в котором происходит преобразование электрической энергии в другой вид энергии для ее использования. По технологическому назначению приемники электроэнергии классифицируются в зависимости от вида энергии, в который данный приемник преобразует электрическую энергию, в частности: электродвигатели приводов машин и механизмов, электро-термические и электросиловые установки, установки электроосвещения, установки электростатического и электромагнитного поля, электрофильтры, установки искровой обработки, электронные и вычислительные машины, устройства контроля и испытания изделий.

Электроустановками называют совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, передачи, накопления, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии. Электроустановка - комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений. Примеры электроустановок: электрическая подстанция, линия электропередачи, распределительная подстанция, конденсаторная установка, индукционная установка.

Введем понятие электрического хозяйства промышленных предприятий, представляющего совокупность генерирующих, преобразующих, передающих электроустановок, посредством которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией и эффективное использование ее в процессе технологического производства. Электрическое хозяйство включает в себя: собственно электроснабжение, которое называют внутризаводским электроснабжением, силовое электрооборудование и автоматизацию, электроосвещение, эксплуатацию и ремонт электрооборудования.

Энергетической системой (энергосистемой) называют совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электроэнергии и теплоты при общем управлении этим режимом. **Электрической частью** энергосистемы называется совокупность электрических станций и электрических сетей энергосистемы.

Электрической сетью называют совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящую из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Подстанцией называют электроустановку, служащую для преобразования и распределения электроэнергии и состоящую из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительного устройства, устройства управления и вспомогательных сооружений. Трансформаторную подстанцию называют комплектной - КТП - при поставке трансформаторов, щита низкого напряжения и других элементов в собранном виде или в виде, полностью подготовленном для сборки.

Распределительным устройством (РУ) называют электроустановку, служащую для приема и распределения электроэнергии и содержащую коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы. Если все или основное оборудование РУ расположено на открытом воздухе, оно называется открытым (ОРУ), в здании - закрытым (ЗРУ). Распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов и блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемое в собранном или полностью под-

готовленном для сборки виде, называют комплектным и обозначают: для внутренней установки - КРУ, для наружной - КРУН.

Распределительным пунктом называют РУ, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации. Распределительный пункт напряжением до 1 кВ называют, как правило, силовым (сборкой).

Распределительным щитом называют распределительное устройство до 1 кВ, предназначенное для управления линиями сети их защиты.

Станция управления - комплектное устройство до 1 кВ, предназначенное для дистанционного управления электроустановками или их частями с автоматизированным выполнением функций управления, регулирования, защиты и сигнализации. Конструктивно станция управления представляет собой блок, панель, шкаф, щит.

Блок управления - станция управления, все элементы которого монтируют на отдельных плите или каркасе.

Панель управления - станция управления, все элементы которого монтируют на щитах, рейках или других конструктивных элементах, собранных на общей раме или металлическом листе.

Щит управления (щит станции управления - ЩСУ) - сборка из нескольких панелей или блоков на объемном каркасе. Шкаф управления - станция управления, защищенная со всех сторон таким образом, что при закрытых дверях и крышках исключается доступ к токоведущим частям.

Поясним термины и определения на примере схемы на рис 1.1, где максимально упрощенно представлена иерархическая схема электроснабжения крупного промышленного

предприятия. Предприятие является потребителем электроэнергии (абонентом). На схеме показано условная граница раздела предприятие-энергосистема. Через нее предприятие обеспечивается электроэнергией.

Заводские подстанции 110/10 кВ (возможность трансформации на 6 кВ здесь и далее подразумевается) носят разные наименования: главные понизительные (преобразовательные) - ГПП, подстанции глубокого ввода - ПГВ.

Часть от границы раздела предприятие-энергосистема до ТП 10/0,4 кВ, включая ГПП, РП и сети, собственно и есть электроснабжение. Электроустановки и сети 0,4 кВ многочисленны и разветвлены. Они определяются электроприемниками. На схеме условно показаны осветительная нагрузка, выпрямительное устройство, двигатель, нагревательное устройство. Эту часть (от ТП до отдельного электроприемника) на предприятии и в проектных организациях называют силовым электрооборудованием, а сети - цеховыми.

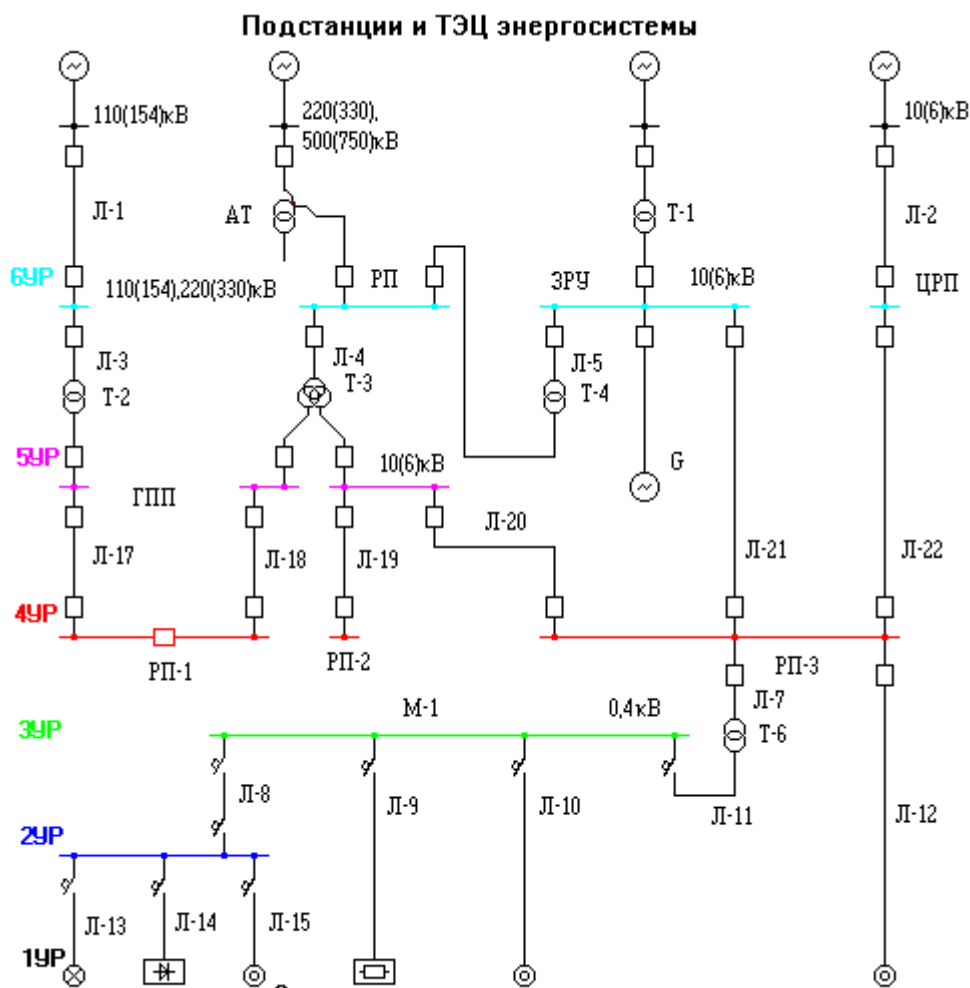


Рис.1.1. Уровни системы электроснабжения

Общие требования к системам электроснабжения

Системы электроснабжения промышленных предприятий должны обеспечивать следующее:

- экономичность;
- надежность электроснабжения;
- безопасность и удобство эксплуатации;
- качество электрической энергии;

- гибкость системы (возможность дальнейшего развития);
- максимальное приближение источников питания к электроустановкам потребителей.

Выбор системы электроснабжения промышленного предприятия должен осуществляться на основе технико-экономического сравнения нескольких вариантов. При создании системы электроснабжения необходимо учитывать категорию приемников электроэнергии. При определении категории следует руководствоваться требованиями ПУЭ [3]. При этом надо избегать необоснованного отнесения электроприемников к более высокой категории. Электроприемники и отделения цехов разной категории рассматриваются как объекты с разными условиями резервирования.

Надежность электроснабжения потребителя обеспечивается требуемой степенью резервирования. Электроприемники первой и второй категорий должны иметь резервные источники питания. Резервирование необходимо для продолжения работы основного производства в после-аварийном режиме. Питание электроприемников третьей категории не требует резервирования.

В соответствии с ПУЭ для электроприемников первой категории должны предусматриваться два независимых взаимно резервируемых источника питания.

В ряде электроприемников первой категории необходимо выявлять наиболее ответственные (особая группа приемников). Для них предусматривается третий независимый источник питания. В качестве третьего источника питания для особой группы и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы собственные электростанции или электростанции энергосистемы (в частности, шины генераторного напряжения), агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п. Назначение третьего независимого источника питания — обеспечение безаварийного останова производства. Завышение мощности третьего источника в целях использования его для продолжения работы производства при отключении двух основных независимых источников питания может быть допущено только при выполнении в проекте технико-экономического обоснования.

Схема электроснабжения электроприемников особой группы первой категории должна обеспечивать:

- постоянную готовность третьего независимого источника к включению и автоматическое его включение при исчезновении напряжения на обоих основных источниках питания;
- перевод независимого источника питания в режим горячего резерва при выходе из строя одного из двух основных источников питания (в обоснованных случаях может быть допущено ручное включение третьего независимого источника питания).

Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания. Ко второй категории следует относить только такое технологическое оборудование, без которого невозможно продолжение работы основного производства на время послеаварийного режима.

Для правильного решения вопросов надежности необходимо различать аварийный и послеаварийный режимы работы. Систему электроснабжения следует строить таким образом, чтобы она в послеаварийном режиме обеспечивала функционирование основных производств предприятия после необходимых переключений. Мощности независимых источников питания в послеаварийном режиме определяются степени резервирования системы. При этом используются все дополнительные источники и возможности резервирования.

Схема электроснабжения должна обеспечивать необходимое качество электрической энергии в соответствии с ГОСТ 13109—97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». На промышленных предприятиях могут быть установлены электроприемники с резкопеременными графиками нагрузок (приводы прокатных станов, дуговые электрические печи), однофазные электроприемники (электротермические и сварочные установки, освещение), электроприемники, нарушающие синусоидальность токов и напряжений (преобразователи всех типов, дуговые электрические печи и т. п.). Это приводит к возникновению колебаний напряжения, к нарушению симметрии токов и напряжений, к появлению высших гармонических составляющих токов и напряжений. Снижение качества электрической энергии приводит к дополнительным потерям энергии, уменьшает пропускную способность электрических сетей, приводит к сокращению срока службы электрооборудования, электрических машин, конденсаторных установок и т. д.

Качество электрической энергии может быть достигнуто:

- применением повышенных напряжений в питающих и распределительных сетях и приближением источников питания к электроприемникам (для электроприемников с резкопеременной нагрузкой);
- уменьшением реактивного сопротивления элементов схемы от источников питания до электроприемников с резкопеременной нагрузкой;
- включением на параллельную работу вторичных обмоток трансформаторов, питающих резкопеременную нагрузку;
- применением глубоких вводов напряжением 35 кВ и выше для питания крупных дуговых электропечей, главных электроприводов прокатных станов, преобразовательных установок большой мощности и т. д. или питания таких электроприемников от отдельных линий непосредственно от энергосистемы, ГПП или ПГВ;
- применением симметрирующих устройств, фильтров высших гармоник, быстродействующих синхронных компенсаторов для выравнивания графиков электрических нагрузок и осуществлением других мероприятий, уменьшающих вредное воздействие электроприемников на системы электроснабжения.

Трансформаторные и распределительные подстанции следует максимально приближать к электроустановкам потребителей электроэнергии, сокращая число ступеней трансформации путем внедрения глубоких вводов, повышенных напряжений питающих и распределительных сетей, дальнейшего развития принципа разукрупнения подстанций, внедрения магистральных токопроводов.

Источники питания и пункты приема электрической энергии - Схемы электроснабжения промышленных предприятий

Основными источниками питания большинства предприятий являются электростанции (в том числе шины генераторного напряжения), собственные ТЭЦ и районные подстанции энергосистем. Выбор независимых источников питания осуществляет энерго-снабжающая организация, которая в технических условиях на присоединение указывает их характеристики.

С начала 90-х годов в энергосистемах наметилась тенденция питания потребителей с шин районных подстанций на напряжениях 110—220 кВ. Это диктуется стремлением гальванически развязать сети генераторов и потребителей для исключения влияния различного рода повреждений в сети потребителя на работу генераторов. На многих строящихся электростанциях вообще не предусматриваются распределительные устройства 6, 10 и 35 кВ, предназначенные для потребителей электроэнергии, вся мощность передается на напряжениях 110 и 220 кВ к ближайшим районным подстанциям. Строительство собственных ТЭЦ на предприятиях также считается невыгодным. Такие решения экономически оправданы для энергокомпаний, но могут существенно снизить надежность электроснабжения потребителей [4].

В соответствии с нормативными требованиями, определенными в ПУЭ [3], питание потребителей первой категории допускается производить от двух секций или систем шин одной районной подстанции. В настоящее время это широко используется при проектировании многих промышленных предприятий, но является недостаточно надежным. Разработчику проекта электроснабжения следует обратить особое внимание на следующие факторы, определяющие бесперебойность питания электроприемников при аварийном отключении одного из независимых источников питания [5]:

- установившееся значение напряжения на оставшемся источнике питания в послеаварийном режиме должно быть не менее 0,9 номинального напряжения;
- при аварийном отключении одного из источников питания и действии релейной защиты и автоматики на оставшемся источнике питания может иметь место кратковременное снижение напряжения. Если значение провала напряжения и его продолжительность таковы, что вызывают отключение электроприемников на оставшемся источнике питания, то эти источники питания не могут считаться независимыми. Значение оставшегося напряжения на резервирующем источнике питания должно быть не менее 0,7 номинального напряжения.

Для повышения надежности электроснабжения предприятий с потребителями первой категории большой мощности необходимо предусматривать два территориально независимых источника питания.

Число независимых источников питания, обеспечивающих электроснабжение предприятия с электроприемниками первой и второй категорий, может быть больше двух (при обосновании), например, при протяженных линиях электропередачи, прокладываемых в неблагоприятных условиях, при недостаточной надежности одного из независимых источников питания и т. д.

Сооружение собственных электростанций (ТЭЦ, ТЭС) целесообразно при следующих обстоятельствах:

- при значительной потребности предприятия в паре и горячей воде;
- при наличии на предприятии отходного топлива (газа и т. г.) и возможности его использования для электростанции;
- при значительной удаленности или недостаточной мощности энергосистемы;
- при наличии особых групп электроприемников с повышенными требованиями к бесперебойности питания, когда собственный источник питания необходим для резервирования электроснабжения.

Мощность собственного источника питания зависит от его назначения и может колебаться в очень широких пределах. Размещение собственной электростанции определяется общей схемой электроснабжения и теплоснабжения предприятия. Неудачное ее расположение может привести к удлинению и удорожанию электрических и тепловых сетей.

Электростанция, используемая в качестве собственного источника питания, должна быть электрически связана с ближайшими электрическими сетями энергосистемы. Связь может осуществляться либо непосредственно на генераторном напряжении, либо на повышенном напряжении через трансформаторы связи. От источника питания электроэнергия поступает на пункт приема электроэнергии — электроустановку, служащую для приема электроэнергии от источника питания и распределяющую (или преобразующую и распределяющую) ее между отдельными цехами и потребителями электроэнергии. Число пунктов приема и их вид зависят от мощности предприятия, территориального расположения нагрузок, требований надежности электроснабжения, очередности строительства предприятия и других факторов. На промышленных предприятиях пунктами приема электроэнергии могут быть:

- узловые распределительные подстанции напряжением 110 кВ и выше, предназначенные для распределения электроэнергии на крупных предприятиях между подстанциями глубокого ввода;
- главные понизительные подстанции напряжением 35 кВ и выше (одна или несколько);
- подстанции глубокого ввода 35 кВ и выше в случаях, когда их питание осуществляется от подстанций энергосистемы;
- центральные распределительные подстанции или распределительные подстанции при одинаковом напряжении питающей и распределительной сетей предприятия;
- трансформаторные подстанции (ТП) напряжением 6—20 кВ на предприятиях с небольшой электрической нагрузкой.

Условно все предприятия в зависимости от суммарной установленной мощности электроприемников можно разделить на три группы [6]:

- крупные — установленная мощность более 75 МВт;
- средние — установленная мощность от 5 до 75 МВт;
- малые — установленная мощность до 5 МВт.

Для крупных энергоемких предприятий с электрической нагрузкой порядка 100—150 МВт и выше в качестве пунктов приема электроэнергии могут быть использованы уз-

ловые распределительные подстанции напряжением 110—500 кВ. Целесообразность сооружения УРП рассматривается совместно с энергоснабжающей организацией в случаях, когда на проектируемом предприятии намечается сооружение нескольких ГПП или ПГВ. При этом учитывается возможность питания от узловых распределительных подстанций других промышленных предприятий и прочих объектов, размещаемых в данном районе. В большинстве случаев узловые распределительные подстанции напряжением 220—500 кВ совмещаются с трансформаторными подстанциями 220—500/110—220 кВ. УРП осуществляют прием и распределение электроэнергии на напряжениях 220—500 кВ, а трансформаторная подстанция — частичную трансформацию электроэнергии и распределение ее по промышленному предприятию и другим потребителям напряжением 110—220 кВ.

При напряжении питающей сети энергосистемы 110 или 220 кВ и целесообразности сооружения узловых распределительных подстанций для питания нескольких ГПП или ПГВ, функции УРП — прием и распределение электроэнергии на напряжении 110—220 кВ без ее трансформации.

Узловые распределительные подстанции чаще всего находятся в ведении энергоснабжающей организации, поэтому они размещаются, как правило, вне площадки промышленного предприятия, но в непосредственной близости от него. В тех случаях, когда узловые распределительные подстанции предназначаются для питания нескольких подстанций глубокого ввода одного предприятия, может быть рассмотрена возможность размещения узловых распределительных подстанций на территории предприятия. В этом случае эксплуатация должна осуществляться персоналом промышленного предприятия. Для предприятий с электрической нагрузкой, составляющей десятки мегаватт, пунктами приема электроэнергии могут быть главные понизительные подстанции, подстанции глубокого ввода, распределительные подстанции 10(6) кВ. Число пунктов приема электроэнергии на промышленном предприятии определяется рядом факторов. Системы электроснабжения с одним приемным пунктом следует применять, как правило, при отсутствии специальных требований к надежности питания и при компактном расположении нагрузок.

Системы электроснабжения с двумя пунктами приема следует применять:

- при повышенных требованиях к надежности питания электроприемников первой категории;
- при наличии на объекте двух или более относительно мощных и обособленных групп потребителей;
- при поэтапном развитии предприятия в тех случаях, когда для питания нагрузок второй очереди целесообразно сооружение отдельного приемного пункта электроэнергии;
- при экономической целесообразности.

Системы электроснабжения с тремя и более приемными пунктами требуют технико-экономического обоснования.

Основные сведения о схемах электроснабжения - Схемы электроснабжения промышленных предприятий

Схемы электроснабжения промышленных предприятий должны разрабатываться с учетом следующих основных принципов [5]:

- источники питания должны быть максимально приближены к потребителям электрической энергии;
- число ступеней трансформации и распределения электрической энергии на каждом напряжении должно быть по возможности минимальным;
- схемы электроснабжения и электрических соединений подстанций должны обеспечивать необходимые надежность электроснабжения и уровень резервирования;
- распределение электроэнергии рекомендуется осуществлять по магистральным схемам питания. Радиальные схемы могут применяться при соответствующем обосновании;
- схемы электроснабжения должны быть выполнены по блочному принципу с учетом технологической схемы предприятия. Питание электроприемников параллельных технологических линий следует осуществлять от разных секций шин подстанций, взаимозаменяемые технологические агрегаты должны питаться от одной секции шин;
- все элементы электрической сети должны находиться под нагрузкой. Резервирование предусматривается в самой схеме электроснабжения путем перераспределения отключенных нагрузок между оставшимися в работе элементами схемы. При этом используется перегрузочная способность электрооборудования и, в отдельных случаях, отключение неответственных потребителей. Наличие резервных неработающих элементов сети должно быть обосновано;
- следует применять раздельную работу элементов системы электроснабжения: линий, секций шин, токопроводов, трансформаторов. В некоторых случаях, по согласованию с энергоснабжающей организацией, может быть допущена параллельная работа, например, при питании ударных резкопеременных нагрузок, если автоматическое включение резервного питания не обеспечивает необходимое быстродействие восстановления питания с точки зрения самопуска электродвигателей.

В схемах электроснабжения промышленных предприятий следует выделять схемы **внешнего и внутреннего электроснабжения**. К схемам внешнего электроснабжения относят электрические сети, связывающие источники питания предприятия с пунктами приема электроэнергии. К схемам внутреннего электроснабжения относят электрические сети от пунктов приема электроэнергии до электроприемников высокого и низкого напряжения.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий, как правило, выполняются разомкнутыми и строятся по ступенчатому принципу. Число ступеней распределения электроэнергии на предприятии определяется мощностью и расположением электрических нагрузок на территории предприятия. Обычно применяется не более двух ступеней распределения электроэнергии на одном напряжении. При большем числе ступеней распределения ухудшаются технико-экономические показатели системы электроснабжения и усложняются условия эксплуатации. Распределение электроэнергии выполняется по радиальным, магистральным или смешанным схемам.

Радиальная схема — схема, в которой линия электропередачи соединяет подстанцию верхнего уровня с подстанцией нижнего уровня (или устройством распределения электроэнергии, приемником электроэнергии) без промежуточных отборов мощности (рис. 1.4.1, а). Радиальные схемы просты, надежны, в большинстве случаев позволяют использовать упрощенные схемы первичной коммутации подстанции нижнего уровня. Аварийное отключение радиальной линии не отражается на потребителях электроэнергии, подключенных к другим линиям. К недостаткам радиальных схем можно отнести более высокую стоимость по сравнению с магистральными схемами, больший расход коммутационной аппаратуры и цветных металлов.

Радиальные схемы следует применять:

- при сосредоточенных нагрузках;
- для питания мощных электроприемников с нелинейными, резко переменными, ударными нагрузками, отрицательно влияющими на качество электрической энергии;
- при повышенных требованиях к надежности электроснабжения.

При **магистральной схеме** от подстанции верхнего уровня питаются по одной линии электропередачи (магистральной) несколько подстанций нижнего уровня (или устройств распределения электроэнергии). Преимуществами магистральных схем являются лучшая загрузка магистральных линий по току, меньшее число коммутационной аппаратуры, уменьшение расхода цветных металлов и затрат на выполнение электрической схемы. К недостаткам можно отнести усложнение схем первичной коммутации подстанций нижнего уровня, более сложные схемы релейной защиты, низкую надежность электроснабжения.

Магистральные схемы распределения электроэнергии следует применять при распределенных нагрузках и при таком взаимном расположении подстанций (ПГВ, РП, ТП) на территории проектируемого объекта, когда магистрали могут быть проложены без значительных обратных направлений.

Магистральные схемы можно разделить (рис. 1, б— ж):

- на одиночные магистрали с односторонним питанием;
- на одиночные магистрали с двухсторонним питанием;
- на двойные магистрали с односторонним питанием;
- на двойные магистрали с двухсторонним питанием;
- на кольцевые.

Выбор схемы зависит от территориального размещения нагрузок, их значения, необходимой степени надежности электроснабжения и других особенностей проектируемого предприятия.

Схему электроснабжения промышленного предприятия проще всего представить в виде структурной схемы электроснабжения, на которой прямоугольниками показаны источники питания, подстанции и другие устройства распределения электрической энергии с электрическими связями между ними.

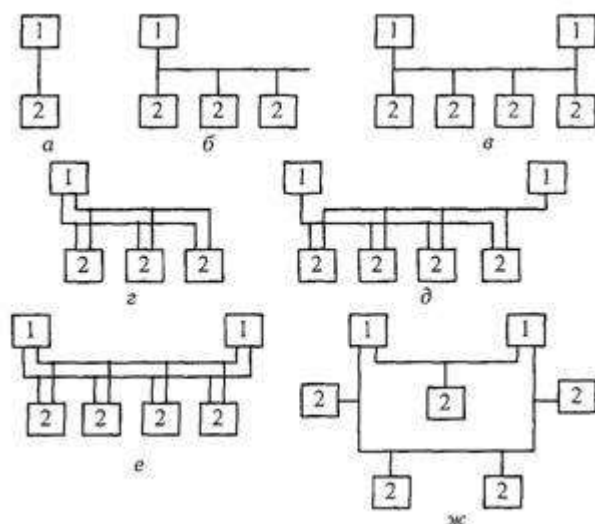


Рис. 1. Схемы распределения электрической энергии: 1 — подстанция верхнего уровня; 2 — подстанция нижнего уровня; а ~ радиальная; б — одиночная магистраль с односторонним питанием; в — одиночная магистраль с двухсторонним питанием; г — двойная магистраль с односторонним питанием; д, е — двойные магистрали с двухсторонним питанием; ж — кольцевая

На рис. 2 представлена структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия, получающего электрическую энергию от двух источников питания (ИП1, ИП2) по линиям напряжением 110 кВ и выше. Пунктами приема электроэнергии служат узловые распределительные подстанции, от которых электроэнергия передается по радиальным и магистральным схемам к подстанциям глубокого ввода (первая ступень распределения электроэнергии). Такая схема, позволяющая максимально приблизить высшее напряжение непосредственно к электроустановкам потребителей, называется схемой глубокого ввода.

Второй ступенью распределения электроэнергии является сетевое звено от РУ 10(6) кВ подстанций глубокого ввода до трансформаторных подстанций или приемников электроэнергии напряжением 10(6) кВ. Применение схем глубокого ввода позволяет во многих случаях отказаться от РП 10(6) кВ, что значительно упрощает схему распределения электроэнергии на этом напряжении.

С шин (напряжением 0,4—0,69 кВ) трансформаторных подстанций электрическая энергия поступает на низковольтные устройства распределения (НКУ), от которых получают питание приемники электрической энергии.

На рис. 3 представлена структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия, где объектами приема электроэнергии являются подстанции глубокого ввода. Схема распределения электроэнергии на напряжении 10(6) кВ без промежуточных РП будет одноступенчатой. Если возникает необходимость применения промежуточных РП 10(6) кВ, то распределение электроэнергии производится в две ступени: первая — от РУ 10(6) кВ подстанции глубокого ввода до РП; вторая — от РП 10(6) кВ до транс-

форматорных подстанций и электроприемников. Данная схема может применяться на крупных и средних предприятиях при наличии мощных сосредоточенных нагрузок.

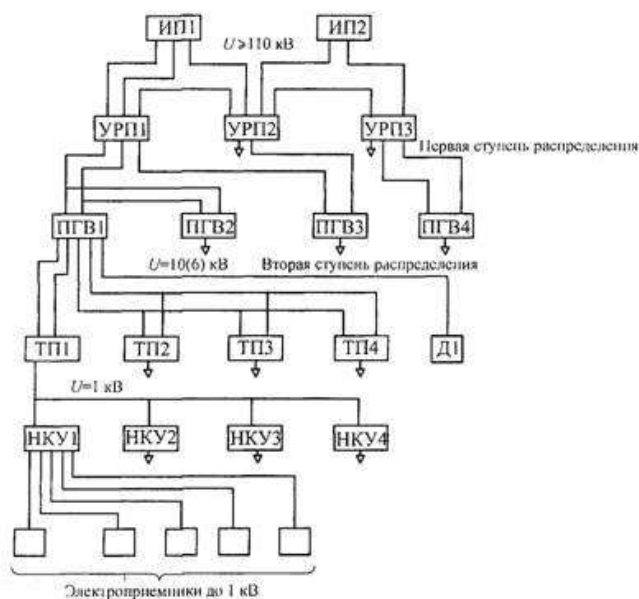


Рис. 2. Структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия

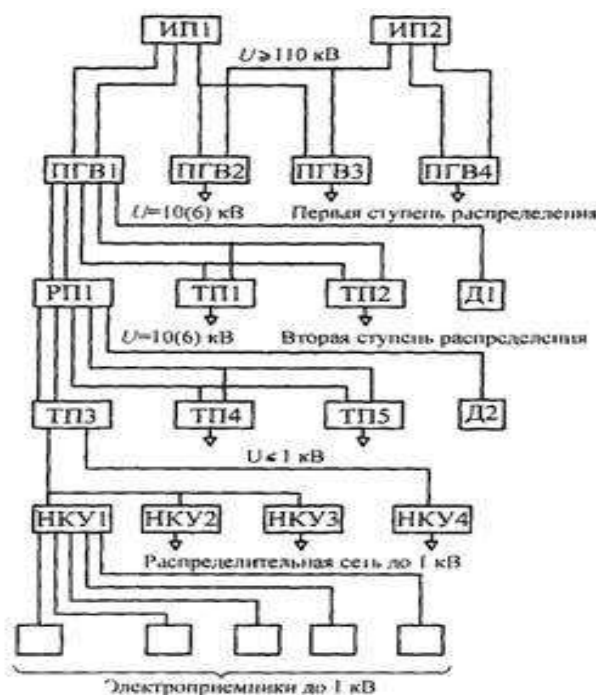


Рис. 3. Структурная схема электроснабжения крупного промышленного предприятия

Иной вариант построения схемы электроснабжения представлен на рис. 1.4.4, где приемным пунктом является главная понижающая подстанция напряжением 35—110 кВ и выше. С шин РУ 10(6) кВ ГПП осуществляется питание всех потребителей промышленного предприятия. Распределение электроэнергии на напряжении 10(6) кВ производится, как правило, в две ступени: первая ступень — от РУ 10(6) кВ ГПП до РП; вторая ступень — от РП 10(6) кВ до трансформаторных подстанций и приемников электроэнергии. Данная схема применяется в основном для предприятий средней мощности.

Для крупных промышленных предприятий в схемах, где пунктом приема электроэнергии является главная понизительная подстанция, распределение электрической энергии может производиться на двух напряжениях 110(35) кВ и 10(6) кВ (см. рис. 1.6.3) или в качестве приемных пунктов электроэнергии выступают одновременно ГПП и ПГВ (см. рис. 1.6.2).

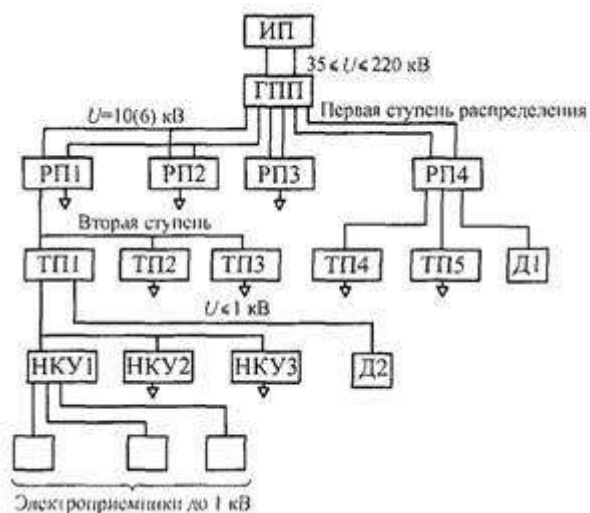
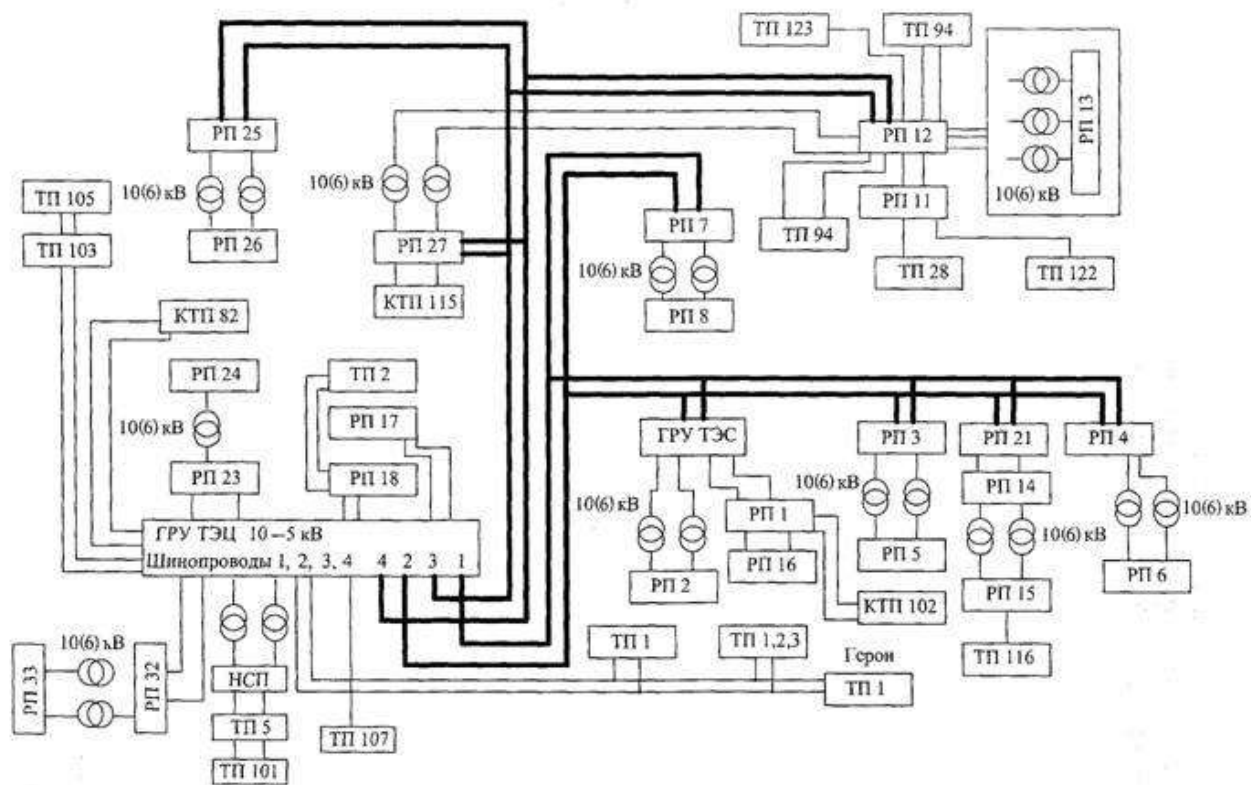


Рис.4. Структурная схема электроснабжения промышленного предприятия средней мощности с главной понизительной подстанцией

При наличии на предприятии собственной электростанции или при незначительном удалении предприятия от источника питания питающая сеть выполняется на напряжении 10(6) кВ. В этом случае приемным пунктом электроэнергии служит, как правило, центральная распределительная подстанция 10(6) кВ (рис. 1.4.5) или одна или несколько распределительных подстанций предприятия. Примером может служить схема электроснабжения Усть-Илимского целлюлозно-бумажного комбината (рис. 1.4.6), где источниками питания служат шины генераторного напряжения 10 кВ ТЭЦ и ТЭС, а электрическая энергия распределяется на территории комбината по двум двухцепным токопроводам 10 кВ.



Тема — Устройство Электроснабжения. Электроснабжение Объектов (потребителей).

В данной теме хотелось описать общий принцип построения и структуру энергетических систем, что создаются для обеспечения электрической энергией всевозможных потребителей и электрических нагрузок с учётом максимальной эффективности и оптимальности данных сетей. И так, конечными электрическими нагрузками (электрическими потребителями) являются, естественно, всевозможные электрические устройства и оборудование (электрические лампы освещения, электродвигатели, обогреватели, промышленные и бытовые устройства и т.д.). Всё это располагается и действует на территории жилого дома или производственного предприятия.

Отталкиваясь от оптимальности и экономии, электростанции не ведут линии электропитания под каждый конкретный завод или дом, а рационально планируют и организуют различные структурные энергосистемы электроснабжения с промежуточными пунктами распределения. А именно, берётся нуждающийся в электроснабжении территориальный объект в виде посёлка, города, предприятия и т.д. При этом учитывается в обязательном порядке непосредственное местоположение объекта, общая мощность энергопотребления, размеры, уровень важности и по этим данным рассчитываются для них электроснабжающие системы и сети.

Территориальными объектами являются: большие, средние, малые города, посёлки, предприятия большой, средней, малой мощности и т.д. Как видно эти объекты имеют совершенно различные масштабы и сложность. По этой причине будет различной усложнённость электроснабжающей схемы, необходимость в разбиении на определённые ступени высоких напряжений, место расположения электропитающих пунктов в виде понижающих подстанций. Если на объекте есть своя собственная электростанция, то в этом случае общее энергоснабжение может использоваться как резерв. Это позволит обеспечить непрерывность работы и без проблемное осуществление электрического питания в случае профилактики либо ремонта личной электростанции.

Обычным делом является случай, когда основные электростанции располагаются на удалённом расстоянии от самих потребителей электроэнергии. По этому электростанциям вынужденно приходится увеличивать вырабатываемое напряжение до высоких значений (как правило, сверхдальние расстояния - 500, 750 и 1150 кВ). Это позволяет значительно снижать электрические потери при самой передаче электроэнергии. И чем ближе располагается потребитель, тем значения величин напряжения будут снижаться специальными промежуточными распределительными и понижающими электроподстанциями (330, 220, 150, 110, 35, 20, 10, 6, 0.4 кВ).

Для непосредственного потребления электроэнергии, как правило, применяют напряжение в 0.4 кВ (380 В). Это трехфазное электрическое сетевое напряжение, которое находится между двумя различными фазами, а также напряжение 220 В между нулем и одной из имеющихся фаз. Для наглядности приведу такой пример, допустим, у нас есть объект потребления электроэнергии в виде обычного посёлка. Его отнесём к относительно малому потребителю. На его электроснабжение достаточно взять понижающую электри-

ческую подстанцию с напряжением на входе 6-10 кВ и напряжением на выходе 0.4 кВ. Эти подстанции называются колхозницами.

Для электроснабжения небольшого городка уже нужно будет использовать несколько таких электрических подстанций, которые питаются от одной электросистемы и, при необходимости, имеющие 2 независимые силовые линии. Для города средних размеров данная схема не подойдёт. Здесь понадобится дополнительная электрическая ступень. Такая энергосистема будет содержать несколько подстанций расположенных вокруг данного городка с напряжением на входе 35-110 кВ и образующих между собой замкнутое кольцо. А от каждой из этих подстанций будет запитываться более низкая ступень с подстанциями 6-10 кВ/0.4кВ.

Учтите, это относится к электрическим системам электроснабжения по ступеням. Кроме ступеней существует и глубокий ввод. Это, так называемый, обход электрических ступеней, который позволяет осуществить электропитание потребителей от высокого напряжения. Проще говоря, на электрическую подстанцию входит 35-110 кВ, а выходит 0.4 кВ. Глубокий ввод позволяет сильно упростить схему электроснабжения и исключить использование дополнительных систем.

Тема — Надежность электроснабжения. Вероятность отказа системы электроснабжения.

Для начала хотелось бы подчеркнуть такой факт — надёжность и вероятность, являются весьма неточными характеристиками. То есть, надёжность и вероятность отказа системы электроснабжения невозможно изначально рассчитать со сверхвысокой точностью, а можно лишь предположить с определённой долей случайности. Ну, а теперь об этом подробнее.

Вначале давайте с Вами представим систему электроснабжения и посмотрим, что собой она представляет. Эта электроэнергетическая система является, своего рода, определённой цепочкой некоторых событий. Естественно, её основная задача заключается в бесперебойной и качественной подачи электрического питания к потребителю, что в свою очередь, обязан совершать стабильную работу, выдавая желаемый результат.

В идеале, вся электроснабжающая система (вплоть до самих входных клемм электрического устройства), а также данное электрическое оборудование, должны функционировать безотказно и постоянно. К сожалению, нечто не вечно и по причине различных факторов влияния происходят отказы и поломки систем. Потенциальная вероятность отказа системы напрямую влияет на общую надёжность электроснабжения.

Вся система электроснабжения, естественно, начинается с электрического источника питания (электростанции). Электрические станции можно представить, как комплекс, который состоит из множества функциональных частей (механических, электрических и т.д.). Каждый отдельный узел, устройство, деталь, в свою очередь, также можно раздробить на более меньшие части. В итоге мы получаем большое количество взаимосвязанных элементов, в случае выхода из строя каждого из которых (по крайней мере, большинство из них), последует отказ системы.

Это можно отнести не только к электростанции, а и всей системы электроснабжения в общем. Электростанция, промежуточные распределительные и понижающие подстанции, линии электропередач, кабельный ввод (идущий к объекту электропотребления), вся защитная и распределительная система внутри объекта потребления (распределительные щиты, шкафы управления, магистрали, нагрузки).

Теперь вернёмся к самой вероятности отказа: давайте с Вами рассмотрим будь-какой элемент из электроснабжающей системы, и пусть это будет масляный трансформатор, что работает на одной из понижающих подстанций. Данный силовой трансформатор представляет собой целостное электрическое устройство. Как мы помним, он состоит из сердечника, катушки, самого корпуса, контактных клемм, диэлектрических прокладок и т.д. Силовой понижающий трансформатор будет работать нормально до тех пор, пока есть благоприятные условия для этого. Но, как только подобные условия нарушатся в силу внутренних или внешних факторов, как сразу последует сбой номинальной работы и последующий переход в ненормальный режим.

Ярким примером будет такая ситуация — понижающий трансформатор смонтирован на столбе. Однажды проезжающий автомобиль зацепил опору. Далее, трансформатор упал, что повлекло механическую деформацию (внешние условия). Либо же из-за естественной старости изоляция на обмотках начала ухудшаться, далее случилось замыкание, перегрев и выход из строя. И получается, что из-за одного фактора произошёл отказ системы электроснабжения.

Данные факторы влияния не возможно за ранее точно и полностью предсказать. Можно лишь предугадать, основываясь на косвенные показатели. Как правило, это выясняется проверкой самим временем эксплуатации и средними показателями проводимых тестов. Да, кстати, более вероятными участками отрезка времени, при которых возможен отказ является начальное время эксплуатации (относительно малый промежуток времени от часа до месяца). А вторым критическим участком времени будет момент непосредственного старения устройства. И выходит, что если оборудование не поломалось в течение первого времени своей работы, то оно будет работать и дальше, до момента своего старения и технического износа.

Тема — Категории Надежности Электроснабжения. Надежность и Важность Электроснабжения.

Классификация по категориям прописаны в Правилах Устройства Электроустановок (ПУЭ). Все электрические потребители условно разделяют по определённой важности. К примеру, надёжность электроснабжения жилых домов, естественно, будет отличаться от электроснабжения больниц, в которых от стабильности подачи электроэнергии зависят человеческие жизни (операционные, реанимации и т.д.). Или взять химическое производство, для которого перебои в электроснабжении могут в итоге обернуться ужасной аварией.

По причине такой различной важности электроснабжения тех или иных объектов были разработаны несколько основных категорий надёжности электроснабжения. Данные

категории изначально определяются при самом проектировании объектов, что должны обеспечиваться электроэнергией, на основании существующих нормативных документов и технической части самого этого проекта. Категорий электроснабжения три. И если говорить на понятном и простом языке, то их смысл будет звучать так: просто важные, очень важные и все остальные.

Первая категория (или очень важные) — к данной категории надёжности электроснабжения можно отнести следующие разновидности электропотребителей: это всё то, что в результате простоя по причине отсутствия электричества может стать причиной опасности для жизни человека (людей, государства), повлечь за собой аварию с большим материальным ущербом, выход из строя дорогостоящего и сложного электрооборудования либо сбой сложного технологического процесса, деятельности сфер коммунального хозяйства, элементов телевидения и связи. То есть, всё то, что крайне нежелательно и опасно.

Кроме этого в данную категорию (первую) ещё входит и особая группа электропотребителей. Она должна быть обязательно непрерывной по причине большой вероятности появления взрывов, пожаров и смертей. Потребители электроэнергии особой категории при обычной своей работе, в обязательном порядке должны заранее предусматривать 2 независимых друг от друга резервируемых источника электрического питания. У данных источников перерыв для полного возобновления прежнего электроснабжения при аварийном отключении одного из них, должен составлять то время, за которое произойдёт автоматическое переключения на второй источник (считанные секунды и минуты).

Для первой категории особой группы также обязательно должен заранее предусматриваться третий энергонезависимый электрический источник питания (увеличение надёжности). Третьим электрическим источником для особой группы (и для второго источника электропитания иных электропотребителей первой категории) могут применяться общие энергосистемы (к примеру, шины генераторного напряжения), автономные мини-электростанции, аппараты бесперебойного электрического питания, аккумуляторы и т.д.

Вторая категория (или просто важно) — к этой категории надёжности электроснабжения относятся потребители электроэнергии, которые в случае аварийного отключения электропитания могут быть причиной массовому браку либо значительному недоотпуску какой либо продукции, повлечь продолжительный простой оборудования, рабочих, техпроцесса, нарушение жизнедеятельности большого количества социального населения и т.д. Данная категория должна осуществлять электроснабжение также от двух энергонезависимых резервирующих электрических источников питания. Для электропотребителей второй категории в случае проблем и перебоев с питанием на одном из электрических источников, вполне допустим определённый простой до момента полного восстановления прежнего электроснабжения (время, пока обслуживающий персонал либо выездная бригада не сделает переключение, тем самым возобновив подачу электроэнергии).

Третья категория (или всё, что не вошло в предыдущие категории). Для третьей категории электроснабжения допускается электропитание от одного электрического источника (при условии, что на восстановление электроснабжения будет затрачено не более

суток). В результате, данная классификация на категории надёжности электроснабжения позволяет произвести рациональный подбор общей комплектации системы на объекте электропотребления.

Степень обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий отражена в таблице

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Жилые дома:	
противопожарные устройства (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре), лифты, аварийное освещение, огни светового ограждения	I
Комплекс остальных электроприемников:	
жилые дома с электроплитами (кроме 1-8-квартирных домов)	II
дома 1-8-квартирные с электроплитами	III
дома св. 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	II
дома до 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	III
на участках садоводческих товариществ	III
Общежития общей вместимостью, чел.:	
до 50	III
св. 50	II
Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), индивидуальные тепловые пункты (ИТП) многоквартирных жилых домов	I
Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
Комплекс остальных электроприемников:	
здания с количеством работающих св. 2000 чел. независимо от этажности, здания высотой более 16 этажей, а также здания учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих св. 50 чел.	I
здания с количеством работающих св. 50 чел., а также здания областного, городского и районного значения до 50 чел.	II
здания с количеством работающих до 50 чел.	III
Здания лечебно-профилактических учреждений*:	

электроприемники операционных и родильных блоков, отделений анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и ангиографии, противопожарных устройств и охранной сигнализации, эвакуационного освещения и больничных лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования:	
федерального и республиканского подчинения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	II
Библиотеки и архивы:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом св. 1000 тыс. ед. хранения	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс. ед. хранения:	
св. 100 до 1000	II
до 100	III
Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия торговли**:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации, лифтов универсамов, торговых центров и магазинов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия общественного питания**:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия бытового обслуживания:	
комплекс электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест св. 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест св. 50, прачечных и химчи-	II

сток производительностью св. 500 кг белья в смену, бань с числом мест св. 100	
то же, парикмахерских с количеством рабочих мест до 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест до 50, прачечных и химчисток производительностью до 500 кг белья в смену, мастерских по ремонту обуви, металлоизделий, часов, фотоателье, бань и саун с числом мест до 100	III
Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Музеи и выставки:	
комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения	I
музеи и выставки республиканского, краевого и областного значения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	III
Конференц-залы и актовые залы , в том числе со стационарными кинопроекторными установками и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для проведения платных зрелищных мероприятий	В соответствии с категорией электроприемников зданий, в которые встроены указанные залы
<p>* Для электроприемников ряда медицинских помещений, например операционных, реанимационных (интенсивная терапия), палат для недоношенных детей, может потребоваться третий независимый источник. Необходимость третьего независимого источника определяется заданием на проектирование в зависимости от типа применяемого медицинского оборудования.</p> <p>** Для временных сооружений, выполняемых в соответствии с 7.12 ПУЭ, а также встроенных помещений площадью до 100 м² - III категория электроснабжения.</p> <p>Примечания</p> <p>1 Схемы питания противопожарных устройств и лифтов, предназначенных для перевозки пожарных подразделений, должны выполняться в соответствии с требованиями <u>7.8 - 7.10</u> настоящего свода правил, независимо от их категории надежности.</p> <p>2 В комплекс электроприемников жилых домов входят электроприемники квартир, освещение общедомовых помещений, лифты, хозяйственные насосы и др. В комплекс электроприемников общественных зданий входят все электрические устройства, которыми оборудуется здание или группа помещений.</p> <p>3 Категория электроснабжения может быть повышена по заданию заказчика.</p>	

В зданиях, относящихся к III категории по надежности электроснабжения, питающихся по одной линии, резервное питание устройств охранной и пожарной сигнализации следует осуществлять от автономных источников.

Питание силовых электроприемников и освещения рекомендуется осуществлять от общих трансформаторов.

В общественных зданиях разрешается размещать встроенные и пристроенные трансформаторные подстанции (ТП), в том числе комплектные трансформаторные подстанции (КТП), при условии соблюдения требований ПУЭ, соответствующих санитарных и противопожарных норм, требований настоящего Свода правил.

В жилых зданиях размещение встроенных и пристроенных подстанций разрешается только с использованием сухих или заполненных негорючим экологически безопасным жидким диэлектриком трансформаторов и при условии соблюдения требований санитарных норм по уровням звукового давления, вибрации, воздействию электрических и магнитных полей вне помещений подстанции.

В спальнях корпусов различных учреждений, в школьных и других учебных заведениях сооружение встроенных и пристроенных подстанций не допускается.

Главные распределительные щиты (ГРЩ) при применении встроенных ТП должны размещаться, как правило, в смежном с трансформаторами помещении.

Для встроенных ТП, КТП и закрытых распределительных устройств (ЗРУ) напряжением до 10 кВ в дополнение к требованиям 4.2 ПУЭ необходимо предусматривать следующее:

- не размещать их под помещениями с мокрыми технологическими процессами, под душевыми, ванными и уборными;
- выполнять надежную гидроизоляцию над помещениями ТП, КТП и ЗРУ, исключающую возможность проникания влаги в случае аварии систем отопления, водоснабжения и канализации;
- полы камер трансформаторов и ЗРУ напряжением до и выше 1000 В со стороны входов должны быть выше полов примыкающих помещений не менее чем на 10 см. Если вход в ТП предусмотрен снаружи здания, отметка пола помещения ТП должна быть выше отметки земли не менее чем на 30 см. При расстоянии от пола подстанции до пола примыкающих помещений или земли более 40 см для входа следует предусматривать ступени;
- устраивать дороги для подъезда автотранспорта к месту расположения подстанции.

Компоновка и размещение ТП должны предусматривать возможность круглосуточного беспрепятственного доступа в нее персонала эксплуатирующей организации.

На встроенных ТП и КТП следует устанавливать не более двух масляных или заполненных негорючим экологически безопасным жидким диэлектриком трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А каждый. Число сухих трансформаторов не ограничивается, а мощность каждого из них св. 1000 кВ·А не рекомендуется.

Подстанции с масляными трансформаторами, как правило, должны размещаться на первом этаже или в цокольной части здания (выше уровня планировочной отметки земли). Двери камер трансформаторов должны располагаться на одном из фасадов здания.

Подстанции с сухими трансформаторами допускается размещать в подвалах при условии:

соблюдения требований 5.9 настоящего Свода правил;

исключения возможности их затопления грунтовыми и паводковыми водами, а также при авариях систем водоснабжения, отопления и канализации;

обеспечения подъема трансформаторов на поверхность земли с помощью передвижных или стационарных механизмов и устройств;

что расстояние между наружными стенами и стенами подстанции должно быть, как правило, не менее 800 мм. Допускается уменьшение этого расстояния до 200 мм, если обеспечивается требуемая вентиляция пространства между стенами.

При наличии технико-экономических обоснований допускается установка подстанций на верхних этажах здания, если обеспечивается возможность транспортировки трансформаторов. В этом случае отделения помещения подстанции от наружных стен не требуется.

В ТП, как правило, следует устанавливать силовые трансформаторы с глухозаземленной нейтралью со схемами соединения обмоток «звезда-зигзаг» при мощности до 250 кВ·А и «треугольник-звезда» при мощности 400 кВА и более.

Для включения и отключения намагничивающего тока силовых трансформаторов допускается использовать трехполюсные разъединители.

Место установки устройства АВР (централизованно на вводах в здание или децентрализованно у электроприемников I категории по надежности электроснабжения) выбирается в проекте в зависимости от их взаимного расположения, условий эксплуатации и способов прокладки питающих линий до удаленных электроприемников.

При наличии АВР на стороне низшего напряжения встроенной ТП установка его на ГРЩ, расположенном в смежном с ТП помещении, не требуется.

В случае когда электроприемники 1-й категории не могут быть запитаны от двух независимых источников, должно быть осуществлено технологическое резервирование, включаемое автоматически.

Тема — Качество Электрической Энергии Сети — основные показатели качества.

Существующее качество электрической энергии основывается на ГОСТе 13169-87 — это «нормы качества электроэнергии и ее приемников», которые присоединены к электросетям общего назначения. Для самых распространенных электрических сетей 3х-фазного тока основные показатели качества электрической энергии следующие:

- 1) колебания и отклонения рабочей частоты;
- 2) размах и отклонения изменения номинального напряжения;
- 3) несинусоидальность кривой формы рабочего напряжения;
- 4) несимметрия 3х-фазной сети, а также смещение нейтрали;
- 5) неуравновешенность рабочего напряжения.

Отклонение рабочей частоты является разностью между ее номинальным и фактическим значениями, которая усреднена за 10 минут. В своём нормальном режиме работы отклонения частоты должны находиться в пределах около $\pm 0,1$ Гц. Колебания рабочей частоты обуславливается разностью между наименьшим и наибольшим значениями основной рабочей частоты за некоторый промежуток времени. Эти колебания и отклонения частоты напрямую влияют на качество электрической энергии.

Отклонение номинального напряжения представляет собой относительную разность (выражаемой в процентах) между его номинальным $U_{ном}$ и фактическим U значениями, которая возникает при относительно медленном изменении своего режима. Могут быть допущены следующие пределы отклонения рабочего напряжения от номинального значения: на выводах электродвигателей и устройствах для их запуска и управления - от -5 до +10%; на выводах электрических приборов освещения в общественных и производственных помещениях - от -2,5 до +5%; на выводах прочих электрических приемников - $\pm 5\%$.

Колебания рабочего напряжения обуславливается размахом его изменения - то есть, относительной разностью между наименьшим U_{min} и наибольшим U_{max} действующими значениями электрического напряжения. На колебания рабочего напряжения также влияют и режимы технологических систем, пуски электрических двигателей, работасварочных аппаратов, мощных дуговых печей, различных выпрямительных установок и т.д. Для уменьшения колебаний понижают сопротивление питающей электросети, используют конденсаторы, приближают электрические приемники к источникам электропитания и т.д.

Несинусоидальность формы кривой рабочего напряжения обуславливается составом присутствующих высших гармоник (включительно по 13) и может допускаться в таких пределах: существующее значение всех высших гармоник на электрических выводах любого приемника не должно быть больше 5% имеющейся величины напряжения основной рабочей частоты. Высшие гармонические составляющие негативно действуют на работу электрических приемников и электросетей, систем связи и автоматики, различных измерительных устройств, вычислительной техники и прочей электроники. Источники таких гармоник — это, прежде всего выпрямительные элементы у потребителей, электри-

ческой передачи постоянного тока, силовые электрические трансформаторы, сварочные аппараты, дуговые электрические печи и т.д; которые значительно ухудшают качество электрической энергии в сетях.

Несимметрия 3х-фазной системы электроснабжения может появляться не только при аварийных ситуациях (отключении или обрыве одной фазы), но и в нормальных рабочих режимах (при работе единичных довольно мощных однофазных электрических нагрузок). В случае несимметричного режима сильно ухудшаются условия функционирования приемников и всех имеющихся элементов электросети (понижается качество электрической энергии): уменьшается экономичность и продолжительность срока службы устройств, снижается пропускная способность электросети и т.д. Данный режим обуславливается напряжением обратной последовательности, которое не должно превышать номинального значения на 2% на выводах трехфазного приемника.

Тема — Перенапряжение в Сети Электроснабжения — общая характеристика.

Электрическим перенапряжением принято называть любое амплитудное превышение напряжением от среднего номинального значения. Продолжительность перенапряжения в сети электроснабжения может быть от микросекунд до часов. Действие электрического перенапряжения на диэлектрическую изоляцию может стать причиной ее пробоя. К главным характеристикам перенапряжения в сети относят:

- 1) максимальное значение напряжения;
- 2) кратность электрического перенапряжения;
- 3) длительность нарастания перенапряжения;
- 4) широта охвата сети электроснабжения;
- 5) количество импульсов в перенапряжении;
- 6) время действия перенапряжения;
- 7) повторяемость электрического перенапряжения.

Определения для перенапряжения в сети электроснабжения:

» Импульс напряжения представляет собой резкое изменение сетевого напряжения в точке электросети, за которым идёт нормальное восстановление значения напряжения до изначального либо приближенного к нему номинального уровня за время до нескольких миллисекунд;

» Временное электрическое перенапряжение, это увеличения напряжения в точке электросети больше 1,1 $U_{\text{номинала}}$ и длительностью действия более 10 миллисекунд, которое возникает в электроснабжающих системах при различных коммутациях либо электрических коротких замыканиях;

» Коэффициент временного сетевого перенапряжения представляет собой величину, которая равна некоторому отношению максимальной величины огибающей амплитудных значений электрического напряжения за период действия временного перенапряжения к имеющейся амплитуде номинального электрического напряжения сети системы электроснабжения.

По непосредственному месту приложения электрического напряжения различают: перенапряжения фазные, междуфазные, внутрифазные, между электрическими контактами коммутационных устройств. По причинам появления перенапряжения сети электроснабжения делят на: внешние (удары молнии) и внутренние (процессы при переключениях, авариях).

Индуктированные электрические перенапряжения появляются по причине ёмкостной и индуктивной связи канала молнии с самими токонесущими и заземленными элементами сети электроснабжения. Значение индуктированных электрических перенапряжений меньше, по сравнению с прямыми попаданиями молнии. Они несут угрозу только для электросетей с напряжением до 35кВ при попадании молнии неподалёку электрической линии электроснабжения. Электрические импульсы перенапряжений расходятся на довольно значительные расстояния от непосредственного места своего появления. Набегающие волны также представляют большую опасность для различного электрического оборудования силовых подстанций, прочность (электрическая) которого меньше, чем у линейной диэлектрической изоляции данных электрических систем.

Перенапряжения сети электроснабжения (внутренние) по длительности и по непосредственной причине появления разделяют на квазистационарные и коммутационные.

Квазистационарные перенапряжения электрические делятся от секунд до минут (десятков) и делятся на резонансные, режимные, феррорезонансные и параметрические. Резонансные имеют место при появлении резонансных эффектов в электрических линиях, в электрических цепях при наличии реакторов. Режимные появляются при коротких замыканиях (несимметричных) на землю, и при разгоне электрогенератора в случае мгновенного сброса нагрузки. Перенапряжения феррорезонансные появляются в электрических цепях с катушками с магнитопроводом (насыщенным).

Коммутационные перенапряжения сетей электроснабжения появляются при различных переходных процессах и быстро протекающих изменениях режима своей нормальной работы электросети за счет энергии, которая запасена в индуктивных и емкостных элементах. Подобные перенапряжения возникают при коммутациях линий с конденсаторами и катушками.

Тема — Коммутационные Перенапряжения Электрические — причины появления.

Коммутационные перенапряжения электрические появляются при подключении к линии без нагрузки (особой), вследствие чего на перенапряжение (квазистационарное) за счет эффекта электрической ёмкости накладываются колебания затухающего характера на имеющиеся в линии индуктивности и емкости, рабочая частота которых зависит от самой длины электролинии.

Амплитуда электрических колебательной при коммутационных переключениях имеет наибольшее значение при угле включения 90 либо 270 градусов, и величина ее достигает порядка 2-х амплитуд среднего установившегося режима работы. В случае совпадения частоты колебаний (собственных) электрической линии с частотой электросети колеблющаяся амплитуда составляющей может приравняться десятикратному значению вынужденной амплитудной составляющей. Для уменьшения данной разновидности электрических перенапряжений применяют следующие меры:

- 1) использование шунтирующих сопротивлений с двухступенчатым включением. Сначала идёт включение резистора 600-1200 Ом, а после, спустя 10-20 мс, следует шунтирование данного электрического сопротивления;
- 2) использование специальных электрических выключателей, которые позволяют выбирать самый благоприятный момент электрического включения нагрузки;
- 3) применение различных видов ограничителей перенапряжения;
- 4) секционирование электрических линий на участки не больше 250-300 км.

После автоматического повторного включения (АПВ) двухфазного либо однофазного короткого замыкания возникающий переходный процесс в некоторой степени отличается от электрического включения разгруженной силовой линии вероятным наличием электрических зарядов на неповрежденных силовых фазах электрической линии. Электрический заряд на линии без специальных реакторов уходит на землю через имеющиеся активные проводимости диэлектрических изоляторов. В общем, электрические перенапряжения при «АПВ» больше, чем при включении разгруженных силовых линий.

Не малые электрические коммутационные перенапряжения могут появляться не только лишь при включениях, а также и при выключениях не - и мало нагруженных линий (конденсаторных электрических батарей). Довольно большие коммутационные перенапряжения при выключении емкостного электрического элемента могут появиться по причине повторных пробоев между контактами выключателя (расходящимися). Пробивное электрическое напряжение между контактного зазора намного быстрее увеличивается у выключателей воздушного типа с их скоростным перемещением силовых контактов и активным дутьем, чем у выключателей масляного типа.

К возникновению коммутационных перенапряжений также приводит и электрическое отключение различных коротких замыканий, так как при этом процессе из-за присутствующей селективности электрической защиты выключается только определённая часть силовой линии, а другая часть представляет собой электрическую линию, на которой происходит восстановления разности потенциалов после выключения ближнего контакта к

возникшему короткому замыканию. Устройство продольной компенсации, стоящее на линии, приводит к повышению перенапряжений, что могут достигать трехкратной величины амплитуды электрического напряжения самого питающего эту линию источника.

При отключении трансформатора (не нагруженного) возникает также коммутационные перенапряжения довольно большой амплитуды. Появляющиеся при этом повторные дуговые зажигания в выключателе в некоторой степени ограничивают перенапряжения, но при многократном повторе зажиганий больше и перенапряжения. Они могут достигать 4-х амплитуд номинального напряжения и больше. При осуществлении переключений не нагруженных силовых линий, при выключении конденсаторных систем и мало нагруженных силовых трансформаторов появляются электрические коммутационные перенапряжения довольно большого значения.

Тема — Распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов электрических.

Гирлянда изоляторов электрических, которая состоит из подвесных тарельчатых диэлектрических изоляторов, представляет собой одну из широко применяемых и всюду встречающихся разновидностей высоковольтной изоляции токонесущих проводов работающих на воздушных линиях электропередач, а также контактной электросети.

Электрическое напряжение, которое приложено к изоляционной гирлянде, распределяется крайне неравномерно, и на различные диэлектрические изоляторы ложатся разные уровни напряжений. Это явление понижает электрическое напряжение начала короны и рабочее напряжение перекрытия самих гирлянды. В самой неблагоприятной ситуации находится диэлектрический изолятор, который расположен ближе всего к высоковольтному проводу.

Главной причиной неоднородного распределения напряжений на диэлектрических изоляторах является существование паразитных электрических емкостей металлических элементов изоляторов относительно земли. В гирлянде изоляторов электрических можно различить 3 основные разновидности паразитных емкостей:

- 1) собственные электрические ёмкости изоляторов ($C_0 = 50$ пФ);
- 2) ёмкости металлических элементов относительно земли ($C_1 = 5$ пФ);
- 3) электрические ёмкости относительно к самому проводу ($C_2 = 0.5$ пФ).

В последнем приближении электрическими ёмкостями диэлектрических изоляторов относительно высоковольтного провода можно пренебречь. При работе с переменным напряжением по ёмкостным электрическим элементам проходит ток ёмкости, и имеющийся ток самого первого снизу диэлектрического изолятора разделяется на электрический ток ёмкостного элемента относительно самой земли и электрический ток оставшейся на изоляционной гирлянде. Через второй изолятор, расположенные снизу, протекает ёмкостный электрический ток меньшего значения, и падение разности потенциалов максимально сосредоточено на нижнем изоляторе, ближайшем к проводу, который работает в наиболее худших условиях. В случае, когда количество имеющихся работающих изоляторов гирлянды электрической больше 3-4 наименьшая разность потенциалов приходится, не на самый верхний диэлектрический изолятор.

Присутствие паразитных ёмкостей C_2 (электрических емкостей относительно самой земли) приводит к определённому выравниванию существующей неравномерности падения разности потенциалов, и минимальное электрическое напряжение оказывается на 2-3 (либо далее, в зависимости от имеющегося количества изоляторов в гирлянде) изоляторе сверху.

Для того чтобы выровнять разность потенциалов по диэлектрическим изоляторам гирлянды широко используют специальные экраны в виде овалов, тороидов, восьмерок, закрепляемых определённым образом снизу самой гирлянды; на электрических силовых линиях с расщепленными фазами монтируют ближайшие диэлектрические изоляторы между токонесущими проводами расщепленной электрической фазы; специально расщепляют изоляционную гирлянду около самого провода на две части.

Приведённые способы неплохо выравнивают перераспределение электрического напряжения по причине увеличения своей ёмкости. Среди диэлектрических изоляторов по непосредственному расположению токонесущей части различают проходные, опорные и подвесные изоляторы, по своему конструктивному выполнению существуют стержневые, тарельчатые и штыревые изоляторы, а по месту монтажа есть станционные и линейные изоляторы электрические. К наиболее значимым характеристикам изоляторов электрических можно отнести рабочее напряжение, напряжения разряда, механические характеристики и геометрические параметры. На контактной электросети применяют специальные подвесные изоляторы, консольные изоляторы, фиксаторные изоляторы, секционирующие изоляторы, опорные изоляторы и штыревые.

Тема — Электрощитовое Оборудование — общие сведения. Основы Электро-снабжения.

Ежедневно, используя обычные бытовые электроприборы: кофеварки, электрочайники, утюги, фены, и даже включая электроосвещение в ванной, мы вовсе не задаёмся вопросом, откуда электричество берётся для работы всех этих электрических приборов. Лишь маленькие дети иногда говорят: в нашем холодильнике живёт свет. А ведь электро-снабжение устроено не так просто, как может показаться на первый взгляд.

Для того чтобы в наших жилищах появилась электроэнергия, без которой нынешняя жизнь просто немыслима, приходится постоянно работать многим людям, которые монтируют, ремонтируют, обслуживают, следят за безопасностью электроснабжения. Давайте с Вами подробнее с системой электроснабжения, а точнее с её неотъемлемой частью под названием электрощитовое оборудование.

Как выглядит и что собой представляет пункт электрический распределительный для рабочего и жилого помещения? В силу прогресса и технического совершенствованию, электрические щиты ныне делаются из лёгких, практичных, безопасных материалов. Щиты изначально снабжают специальными дверцами (имеющие замки), чтобы заранее предотвратить случайную возможность электрического контактирования человека (и не только) с высоковольтным электрооборудованием. При особой необходимости дверцы

электрощитов изготавливают герметичными с целью защиты электрооборудование от попадания на токонесущие части электрощитового оборудования пыли и влаги.

Внешне распределительные электрические пункты собой представляют эстетичную и компактную панель для установки в ней элементов электрощитового оборудования, таких как специальных модульные приборы, аппараты защиты, устройства измерения и т.д. Эти электрические системы предназначены для обеспечения непосредственного приема электроэнергии от внешней городской сети и последующее её распределение по электро-сети внутри самого дома, квартиры, офиса, дачи и т.д.

Практически все электрощитовое оборудование электрическое делится условно на некоторые разновидности, в зависимости от своего конкретного предназначения: вводно-распределительные устройства (ВРУ), учетные этажные электрощиты, силовые шкафы, гаражные щиты, щиты освещения и т.д. Каждый из таких электрических щитов выполняет свою определённую функцию и изначально снабжен специфическим именно ему электрощитовым оборудованием, необходимым для ее нормальной работы.

Предположим, возьмём шкаф электрический силовой - одно из обычных по конструкции электроустройств. Он компактен в своём исполнении и применяется для обеспечения электроэнергией небольших по объёму объектов. Подобный электрический шкаф изначально снабжен входным рубильником и защитными предохранителями, которые являются надёжной защитой для электротехники от возможных коротких замыканий, перегрузок и чрезмерного повышения электрического напряжения в сетях.

Более сложные в своём конструктивном и функциональном исполнении являются системы ВРУ (вводно-распределительные устройства). Они широко применяются в индивидуальных и многоквартирных домах, а также в различных административных помещениях и служат для выполнения следующих задач: непосредственный прием и последующее распределение электроэнергии по имеющимся помещениям, учет потраченной электроэнергии при помощи встроенных электрических счетчиков, защита всех внутренних электрических линий от перепадов напряжения, перегрузки и короткого замыкания.

Электрощитовое оборудование (щиты) могут быть как подвесными, так и напольными, пластиковыми либо сделанные из легких сплавов алюминия, различных цветов, что даёт возможность легко вписать их в Ваш интерьер офиса или коттеджа. Важно довольно серьезно подойти к непосредственному выбору электрощитового оборудования. Выберете хорошую фирму производителя и ознакомитесь с имеющимися условиями установки.

Тема — Промышленное Электроснабжение. Электрификация Производства. Основы.

В системах промышленного электроснабжения энергосбережение и экономия имеют первостепенное значение. Оно достигается при снижении потерь электрической энергии за счёт рационального расчёта на этапе изначального проектирования и составления общей схемы электрификации данного производственного предприятия. Основопологающим принципом при электрификации производства является: эффективность, оптимальность и экономичность.

Вы наверняка слышали о таком понятии как значение косинуса «Ф» и реактивная мощность. Данное явление значительно вносит свой негативный вклад в лишние затраты электрической энергии, что в итоге способствует дополнительной электрической нагрузке и на электросеть (на территории предприятия) и на основную электромагистраль. Для борьбы с этим в электросистеме предприятия должна быть принудительная компенсация реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности делается с помощью конденсаторных батарей.

Что касается электрического оборудования на самом предприятии, то при его выборе, также следует стремиться к использованию комплексных систем и устройств. То есть, нужно учитывать совместимость и аналогичность питающих напряжений, общих режимов работы, назначения и прочего, что в итоге способствует повышению надёжности, качества, долговечности и т.д.

Промышленное электроснабжение и электрификация производства изначально начинается с выбора основного центра электрических нагрузок относительно данного предприятия. Для этого производится определённый расчёт всех электрических нагрузок при помощи метода упорядоченных диаграмм. Этот метод заключается в следующем: производится расчёт по отдельно лежащим узлам электропитания системы всего электроснабжения предприятия. Вся электрическая нагрузка делится на группы (такие как с постоянным графиком работы или мало изменяющимся и переменным). После этого вычисляется максимальная и номинальная мощность всех электроприёмников (обязательно принимается во внимание их реактивная мощность). Далее, делается диаграмма нагрузки по определённым участкам предприятия.

Теперь что касается электрических подстанций. Главная понизительная электрическая подстанция является главным центром всей электроснабжающей системы промышленного предприятия. По этой причине её лучше располагать на территории самого производства. Центр электронагрузок рисуется по ранее рассчитанным нагрузкам и их координатам на карте предприятия. Причём, центры должны совпадать с их геометрическими центрами электрической загруженности, то есть, электрическая нагрузка на участках распределяется совершенно равномерно. Интенсивность распределения нагрузок делается на схеме в виде кругов. Центром нарисованного круга является центр электрической нагрузки всего цеха, ну, а радиус круга привязывают к расчётной мощности данного участка.

Главную электрическую подстанцию необходимо расположить в центре того участка, у которого имеется наибольшая электрическая нагрузка. Электропитание реактивных нагрузок должно происходить с подсоединением конденсаторных батарей, которые установлены в самих местах работы реактивной мощности. Неверное расположение такого места нахождения компенсаторных батарей может сказаться на протекании потоков реактивной составляющей по цепям всей электросистемы данного предприятия. Это создаст большие потери электроэнергии.

Для питания электрических нагрузок, что расположены в не цеха, применяют комплекты трансформаторные подстанции (или сокращённо КТП) с вводным напряжением 6 или 10 кВ. Их устанавливают как внутри помещения, так и в отдельно стоящем сооружении. Экономичной является всё же внутрицеховая подстанция. Выбор электрической

мощности подстанции зависит от характера и величины электрической нагрузки. При выборе нужно отталкиваться из расчётов экономически целесообразного режима работы. При этом следует учитывать возможность резервирования электропитания на случай внезапного отключения одного из трансформаторов.

Тема — Электроснабжение Промышленных Предприятий. Общая Схема Электроснабжения.

Общая схема электроснабжения промышленных предприятий начинается, естественно, с ввода электрической энергии от ближайшей понижающей подстанции. Обычно на промышленные предприятия подаётся линия с высоким напряжением (6 или 10 кВ). В зависимости от надобности в резервном питании и надёжности электроснабжения, линий ввода делают две (независимые друг от друга). Если вдруг произойдёт обесточивания одной линии, то осуществляется автоматический переход на резервную линию с помощью устройства АВР (автоматический ввод резерва).

Электрическая подстанция представляет собой 3 основных части. Это блок ввода с напряжением в 6 или 10 кВ (шкаф ВВ-1...ВВ-3 и ШВВ-3), далее, основной блок — силовой трансформатор (ТМ и ТСЗ) и третий блок — это распределительное устройство на стандартное трёхфазное напряжение 0,4 кВ (шкаф КБ-1...КБ-4, КН-1...КН-6, ШНЛ, ШНВ, ШНС). Из данных частей, которые поставляются производителем подстанций, на самой территории производственного предприятия устанавливается (производится сборка) электрической подстанции. Кроме этого в электроподстанцию могут входить различные дополнительные системы и шкафы, которые устанавливаются по необходимости.

Для непосредственного контроля работы силовых трансформаторов и обязательного учёта расхода электрической энергии, ставятся следующие измерительные приборы: амперметр, вольтметр, контрольные и расчётные счётчики активной и реактивной электроэнергии (для больших величин устанавливаются и измерительные трансформаторы тока и напряжения). Расчётные электросчётчики, как правило, ставятся и на вводе (по высокому напряжению) и на выходе, после трансформатора (на низком напряжении). Контрольные электросчётчики обычно ставятся только на низшем напряжении силового трансформатора электроподстанции.

Высоковольтная линия входит в первый блок (вводная часть). Его задача заключается в принятии электропитания и передачи его на первичную обмотку трансформатора. В данный вводной блок могут входить выключатели электрической нагрузки с ручным или дистанционным отключением, различная защита от перенапряжения, расцепители, предохранители, устройство учёта электроэнергии по высокой стороне. Конкретная комплектация зависит от нужд.

На трансформаторе происходит понижение напряжения до 0.4 кВ. Как я выше упоминал, от нужды в резерве, данных силовых трансформаторов может быть два. Далее напряжение (0.4 кВ) следует в третий блок - распределительное устройство. Его функция заключается в распределении электрической энергии на конкретную нагрузку, что находится на территории производственного предприятия. Распределительное устройство представляет собой шкаф с ячейками. В каждой из таких ячеек имеются клеммы для под-

соединения силового кабеля и секционный выключатель. Кроме самих ячеек в распределительном устройстве могут находиться электросчётчики, вольтметры, амперметры, их подсветка, дополнительная автоматика и защита.

Подстанции должны иметь в своей комплектации системы компенсации реактивной электрической мощности. Данная система состоит из отдельного шкафа, где располагается комплект конденсаторных батарей и управление подключения определённого количества банок. То есть, в зависимости от значения реактивной мощности, автоматически (или в ручном режиме) к общей линии электроснабжения подсоединяется определённое количество ёмкостей. В результате снижается реактивная мощность и уменьшаются потери электроэнергии.

Все вышеприведенные функциональные блоки располагаются в специально отведённом месте промышленного предприятия (помещении). С данного места и осуществляется электропитание всего промышленного предприятия. С электрической подстанции выходят кабели, что разнесены на все участки производства, нуждающиеся в электропитании. В зависимости от характера и разновидностей приёмников электрической энергии, существует несколько схем их общего питания. Это радиальный, магистральный, кольцевой и смешанный способ.

Тема — Электричество на Предприятии. Электрика на Производстве. Основные Сведения.

Под производством или предприятием, подразумевается структура, задача которой является создание и изготовление определённой разновидности продукции или сырья. К производствам (предприятиям) относятся различные фабрики, заводы, небольшие цеха и т.д. Все процессы (технологические) любого предприятия, естественно, связаны с непосредственным потреблением электрической энергии. Это, в свою очередь, делает электроэнергию очень значимым и важным ресурсом. Электричество является универсальным видом энергии, благодаря которой возможно получить механическое движение, обогрев, освещение и т.д.

На предприятиях в основном применяют трёхфазное электроснабжение, так как большинство электрических нагрузок, это асинхронные трёхфазные электродвигатели. Именно на них тратится значительная часть электрической энергии. Помимо трёхфазного электропитания в некоторых сферах промышленности используют постоянный электрический ток, что получают путём выпрямления переменного тока. Использование постоянного тока доминирует на предприятиях с использованием гальванического электролиза (химическая промышленность, цветная металлургия). А если говорить в общем, то в наше прогрессирующее время не одна отрасль производства (и не только) не обходится без использования электричества. От электроэнергии зависит работа станков, прессов, конвейеров, печей, упаковщиков, дополнительных систем, которые не могут без неё функционировать.

Теперь что касается непосредственной электрификации производства (предприятия). И так, электрификация подобных объектов электропотребления начинается, прежде всего, с электрической подстанции. Она располагается, обычно, на самой территории предприятия. Подстанция может быть как закрытой, то есть, располагаться либо в самом

помещении, либо отдельно стоящем сооружении, так и открытой, находится на открытом воздухе. К подстанции подходит трехфазная линия вводного напряжения, что идёт от ближайшей главной понижающей подстанции. Обычно величина ввода составляет 6 или 10 кВ.

В большинстве случаев на предприятиях устанавливаются «КТП» (комплектные трансформаторные подстанции). Основной задачей подстанции является понижение высокого входного напряжения до пределов 380 и 220 В, а также распределить электроэнергию по распределительным шкафам. Далее, от каждого распределительного щита осуществляется питание определённого участка на предприятии. В зависимости от вида предприятия или учреждения, к которым предъявляются определённые условия надёжности бесперебойного электроснабжения, подстанции подключаются к питающей электросети разными вариантами.

Наиболее используемыми схемами электроснабжения являются магистральная и радиальная. В радиальных схемах от щита подстанции выходят линии, запитывающие крупные электронагрузки: электродвигатели, групповые распределительные объекты, к которым подсоединены более мелкие электронагрузки. Радиальные схемы обычно используют для компрессорных, насосных станций, взрывоопасных цехов. Они способны обеспечить весьма высокую степень надёжности электрического снабжения, а также позволяют применять автоматическую аппаратуру для защиты и управления. Магистральные схемы применяют в случае равномерного распределения электрической нагрузки по всей площади участка, когда не особой необходимости делать отдельный распределительный щит на электрической подстанции. Недостатком схемы является относительно низкая надёжность электроснабжения. То есть, в случае поломки на магистрали, отключаются все соединённые с ней.

От электрической подстанции, что установлена на предприятии, электроэнергия с величиной напряжения 380 и 220 В (промышленной частоты 50 Гц) распределяется по всем участкам и цехам. От подстанции отходят силовые кабели на каждый нуждающийся в электропитании участок. На самом участке может стоять ещё один распределительный шкаф, от которого отходят питающие кабели на конечные нагрузки (установки, оборудование, системы и т.д.).

2.2 Проектирование системы безопасности

Тема — Защита Подстанций — основные принципы защиты электроподстанций.

Общая надежность электрической защиты подстанций от различных перенапряжений должна в значительной мере превышать надежность электрической защиты линий, так как вероятный ущерб от случайного повреждения здесь намного больше, а уровень диэлектрической изоляции, наоборот, ниже. Вот главные принципы электрической защиты оборудования электроподстанций, которые сводятся к следующему:

- 1) защита подстанций стержневыми молниеотводами от прямых попаданий молнии;
- 2) защита электроподстанций при помощи ОПН (ограничитель перенапряжения нелинейный) и разрядников от волн и импульсов, которые приходят с электрической линии;
- 3) защита подходов электрических линий от прямых попаданий молнии.

Для надёжной защиты подстанций и линий, а также их электрооборудования от различных электрических перенапряжений применяют разрядники, искровые промежутки, ограничители перенапряжений нелинейные, заземлительные опоры на линиях и тросы, трубчатые электрические разрядники на контактной сети, роговые разрядники, конденсаторы электрические для понижения грозовых перенапряжений, молниеотводы.

Зоны электрозащиты молниеотводов обычно определяются опытным, опираясь на то, что имеющаяся вероятность прорыва разряда молнии в тот или иной защищаемый объект не больше 0.05 (один прямой удар из двадцати электрических ударов), в некоторых случаях – 0.005. Для хорошей и надёжной защиты подстанций и их электрооборудования от электрических волн, которые приходят с линии, стоящий разрядник должен обладать остающимся и пробивным напряжением меньше допустимого на объекте (защищаемом) на определённую величину. Эта величина называется интервалом координации (должна быть не менее 15 процентов уровня допустимого электрического напряжения).

Некоторой особенностью перенапряжений на электроподстанции является их значительная зависимость от фронтальной крутизны набегающей электрической волны и малая зависимость от максимальной амплитуды этой волны. Имеющаяся амплитуда воздействует лишь на значение остающегося электрического напряжения, незначительно меняющегося в силу вольтамперной (пологой) характеристике резистора (нелинейного) разрядника либо ограничителя перенапряжения нелинейного (ОПН).

Значение величины воздействующего электрического перенапряжения также ещё зависит и от крутизны волны (набегающей) с силу того, что при протекании этой волны от самого объекта до электрического разрядника и волны (обратной) от сработавшего защитного электрического разрядника до действующего объекта подъем электрического напряжения на этом объекте за период двойного пробега определяется средней скоростью увеличения напряжения падающей электрической волны.

При электрической защите самого подхода линии тросы грозозащитные устанавливаются даже в случае их отсутствия на иных частях линии, трос обязательно заземляют на каждой стоящей опоре, а электрическое сопротивление заземления самой опоры прирав-

нивается уровню не больше 10-20 Ом. В самом начале подхода ставятся специальный трубчатый разрядник, который ограничивает амплитуду силы тока в защитном разряднике подстанции.

Второй защитный трубчатый разрядник электрический нужен для защиты выключателя. На электроподстанциях с рабочим напряжением 110-220 кВ, как правило, ставят один комплект электрических защитных разрядников на каждую имеющуюся систему шин. Средняя длина подхода (защищаемого) равняется около 1-2 км. Электрические подстанции с рабочим напряжением 3-20 кВ содержат кабельные вводы, так как подвести к электроподстанции слишком большое количество воздушных линий проблематично.

Тема — Электрические Контакты — причина неисправностей электропроводки.

Начиная данную статью, следует заметить, что ремонт электрической проводки в доме или квартире по большому счёту можно свести к нахождению и последующему устранению неполадок, связанных с электрическими контактами. Думаю, каждый из нас слышал фразу: «Электрика – это наука об электрических контактах». Как не показалось бы странным, но действительно, это так, поскольку все неисправности электрической проводки напрямую связаны, именно с электрическими контактами.

А именно: отсутствие контакта или плохой контакт, а может и наоборот, возникновение электрического контакта в том месте, где его вовсе не должно быть (это, как Вы поняли - короткое замыкание). Давайте с Вами подробней рассмотрим данные проблемы, связанные с электрическими контактами – основные причины появления и вероятные неисправности электрической проводки, к которым они скорее всего приведут впоследствии.

1) Плохой контакт - главной причиной появления плохого электрического контакта на токопроводящих частях электрической проводки чаще всего служит малая степень их сжимающейся упругости, то есть - ослабленный контакт. Данная разновидность неисправности электрической проводки весьма часто появляется в силу чрезмерной электрической нагрузки при разогреве электрических скруток, сделанных обычно из алюминиевых проводов (алюминий обладает свойством текучести под действием давления и нагрева). Чередование нагрева и остывания подобной электропроводки (из алюминиевых проводов) влияет на их упругость, а это, в свою очередь, отражается на упругости электрического соединения – скрутке проводов.

Несовместимость проводов (электрохимическая). Пожалуй, сейчас многие люди знают, что алюминиевые и медные электрические провода без специальных клеммников и разделительных металлических пластин соединять между собой нельзя. А дело в том, что поверхность этих разных металлов (точнее окисные плёнки) меди и алюминия, имеют совсем разные электрохимические свойства, которые в значительной степени ухудшают электрическую проводимость данного электрического контакта.

Плохой электрический контакт также легко может образоваться по причине некачественных электромонтажных работ, проводимых на скорую руку, при недостаточной протяжке соединительных клемм розеток, автоматов, выключателей, и т.д.

2) Отсутствие электрического контакта - данный вид неисправности электрической проводки вполне может быть результатом как некачественного контакта, предположим, когда перегорают контакты либо же электрические провода из-за чрезмерного перегрева, так и повреждения механического характера токонесущих проводов. Механическое повреждение встречается весьма редко, но случается, как правило, при ремонте помещений, в случае, когда непреднамеренно перебивается силовой провод электрической проводки.

3) Электрическое короткое замыкание – также одна из проблем электрических контактов, поскольку это возникновение контакта в том месте, где его не должно изначально быть. Короткое замыкание происходит при неаккуратных и случайных действиях во время проведения ремонта, неверном обращении с электрическим инструментом и т.д, но наиболее часто, бывает итогом нарушения диэлектрической защитной изоляции проводов, токоведущих частей, в силу устаревания либо чрезмерного перегрева.

И так, все вышеперечисленные проблемы электрических контактов легко могут стать причиной не только выхода из строя электрической проводки, частичному или же полному обесточиванию вашего дома и квартиры, но и даже к пожару. Распространены случаи появления пожаров, когда основной причиной служит электрическое короткое замыкание проводки либо нагревающейся электрический контакт.

Тема — Изоляторы Полимерные — практическая оценка надёжности и отзывы.

Объем работающих изоляторов полимерных диэлектрических на эксплуатационных распределительных высоковольтных линиях от 35 до 220 кВ на данный момент достаточный, для того чтобы сделать оценку общей надежности производимых полимерных изоляторов. Весьма широкое применение изоляторы полимерные получили на высоковольтных линиях 110 кВ. Общий объем эксплуатационной наработки здесь составляет больше 3×10^6 изоляторолет. За данный промежуток времени работы учтено два случая аварийной ситуации. Это говорит о том, что уровень (среднегодовой) отказов полимерных изоляторов не выше 1×10^{-6} .

Для изоляторов полимерных на высокое напряжение 35 кВ средняя наработка составляет около $1,5 \times 10^6$ изоляторолет (также при 2 отказах); уровень выхода из строя меньше двух 10^{-6} . На высоковольтных линиях с рабочим напряжением 220 кВ наработка полимерных изоляторов - больше 2×10^5 изоляторолет (отсутствуют случаи аварий); уровень (среднегодовой) отказов не больше 5×10^{-6} . С этих данных мы можно увидеть, что показатели надежности данных изоляторов довольно высокие.

На высоковольтных линиях сверхвысоких классов электрических напряжений от 330 до 750 кВ средние объемы эксплуатационной наработок изоляторов полимерных много меньше и имеющиеся расчетные величины показателей существующей надежности не столь значительны. Хотя нет повода опасаться по причине, что они окажутся ниже показателей полимерных изоляторов на напряжения 220 кВ.

В имеющихся отзывах о работе кремнийорганических изоляторов полимерных сетевые структуры энергосистем, помимо эксплуатационной высокой надежности, также ещё отмечают и иные преимущества полимерных изоляторов нового поколения:

- » хорошая устойчивость к механическим (ударным) нагрузкам.
- » малый вес (легче в 10-15 раз аналогичных гирлянды изоляторов).
- » простота и удобство при непосредственном монтаже и транспортировке.
- » довольно эстетичный внешний вид.

Конечно, имеются в их отзывах и некоторые замечания о незначительных недостатках. Наиболее чаще организации отмечают 3 основных недостатка:

1) полимерные линейные изоляторы высоковольтных линий от 35 до 110 кВ для малозагрязненных районов имеют длину (строительную) большую, чем обычная типовая диэлектрическая гирлянда изоляторов приблизительно на 20 см. Это некоторая особенность не только конкретно полимерных изоляторов, а всех стержневых. Несмотря на это она довольно часто является проблемой к применению изоляторов полимерных при замене диэлектрических гирлянд изоляторов на высоковольтных линиях с ограниченными габаритами. Для районов с более загрязненной атмосферой у изоляторов таких же классов электрического напряжения, и у всех изоляторов на большее напряжение данного недостатка нет.

2) практически у всех изоляторов полимерных, которые работают на высоковольтных линиях до 1999 года, оконцеватели содержат сочленительные узлы с линейной арматурой лишь 2х видов: пестик (нижний) и проушина (верхний оконцеватель), в то время как типовая подвеска диэлектрических гирлянд в верхней части содержит узел зацепления (сферический) типа «гнездо». Это усложняет замену диэлектрических гирлянд на полимерные изоляторы. В этом случае возникает необходимость в установке дополнительной арматуры или заменять весь узел подвесочного крепления.

3) в некоторых полимерных изоляторах на оконцевателях, несмотря на цинковое покрытие, через 5-10 лет образуются следы ржавчины. Основная причина этому - довольно низкое качество защищающих покрытий изолятора.

В целом же, наш опыт в работе изоляторов полимерных серии ЛК смело можно рассматривать как весьма успешный. Подобные результаты получены и за рубежом, где аналогичные изоляторы применяются в более продолжительное время и больших объемах.

Тема — Изоляторы Полимерные — особенности диэлектрических изоляторов.

На сегодняшнее время, как для Российских электроэнергетиков, так и во всем мире в целом понятие - полимерные изоляторы стал уже вполне понятным и привычным. Хотя всё же, за рубежом довольно часто применяют понятие - диэлектрические изоляторы из композитных материалов. Несмотря на это, основные компоненты конструкции будь какого полимерного изолятора во всех случаях одинаковы:

- 1) элемент из стеклопластика (он несёт механическую нагрузку)

2) оконцеватели металлические либо фланцы для непосредственного крепления к токоведущим участкам и защитным электрически заземленным конструкциям

3) оболочка полимерная, которая служит защитой от различных атмосферных воздействий и создающая нужную длину пути токовой утечки.

Самые первые конструкции изоляторов полимерных делались на основе смол (эпоксидных). Наилучшие варианты способны были нормально работать около 5-7 лет. Под действием поверхностных частичных разрядов и солнечной радиации поверхностная оболочка изолятора разрушалась, на нём образовывались токопроводящие треки и следы довольно сильной эрозии. Новое своё развитие полимерные изоляторы получили во время, когда были созданы изоляторы полимерные диэлектрические с оболочкой из эластомерных кремнийорганических композиций (на основе резины).

Из опыта лабораторных испытаний и эксплуатации изоляторы полимерные диэлектрические, которые были демонтированы после продолжительности своей эксплуатации, установлены такие результаты (положительные):

1) в местах работы с умеренными загрязнениями не отмечено случаев электрического пробоя полимерных изоляторов либо эрозии оболочки, образования трека.

2) изоляторы полимерные хорошо сохраняют большие величины удельного сопротивления (поверхностного). В одних и тех же условиях данный показатель в 3-4 раза больше, по сравнению со стеклянными изоляторами.

3) влагоразрядные напряжения изоляторов полимерных, находящихся в работе от 5 до 12 лет, вдвое больше, по сравнению с гирляндами изоляторов (стеклянных), с такой же длиной пути токовой утечки, работающих в тех же условиях.

4) изоляторы полимерные хорошо сохраняют исходно довольно высокую электрическую прочность при действии на них коммутационных и грозовых перенапряжений, при этом, не меняя их даже после нескольких перекрытий, с воздействием электрической дуги.

5) механическая прочность полимерных изоляторов значительно превышает ранее установленную (нормированную) величину.

6) прочность (электрическая) стеклопластикового стержня и края раздела его с оболочкой (полимерной) остается на первоначальном уровне. Это, в свою очередь, свидетельствует об отсутствии старения (электрического) и весьма надежной защите от влаги стеклопластика полимерного изолятора.

7) Электрическое напряжения возникновения короны на защитных экранах и оконцевателях превышает действующее напряжение высоковольтной линии.

Из довольно продолжительного срока эксплуатации полимерных изоляторов были известны лишь несколько случаев отказов (аварийных). Проведённые расследования показали, что к подобным отказам приводят 3 основные причины:

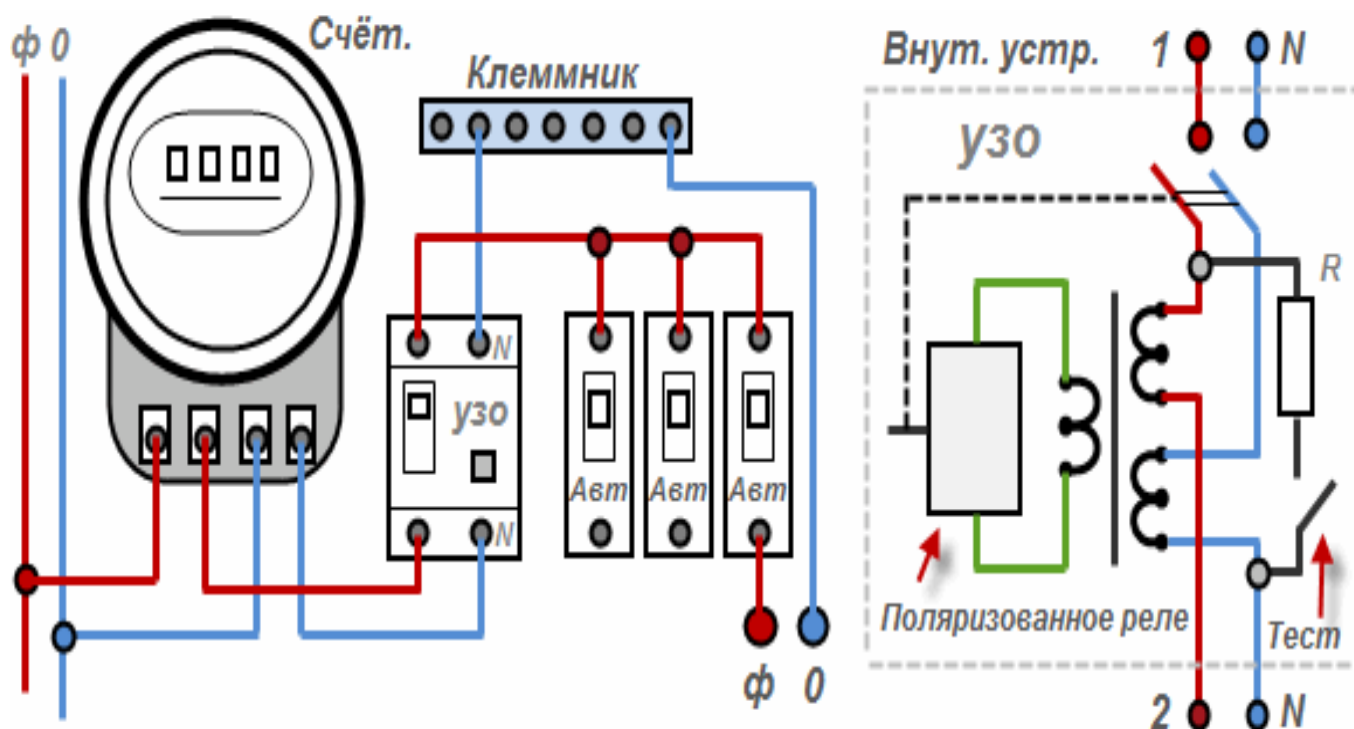
» некачественно проведённые работы при непосредственной сборки полимерных изоляторов

при отсутствии хорошего контроля качества производимой продукции.

» изменение (необоснованное) отлаженной и уже проверенной многими испытаниями конструкции полимерного изолятора в целях ее удешевления и упрощения.

» действие на полимерный изолятор механических (нерасчетных) нагрузок. Это единичный случай на высоковольтной линии электропередач 500 кВ: подсечка фазного электрического провода транспортом (негабаритным) с передачей нагрузки на диэлектрический изолятор, в результате чего был изгиб стеклопластикового стержня.

На изображении нарисована электрическая схема подключения УЗО (устройство защитного отключения), что довольно часто используется в быту. С правой стороны находится общая схема устройства (внутреннего) данной электрической защиты. И так, систе-



ма УЗО представляет собой защитное электротехническое устройство. Основной задачей этого устройства является своевременное автоматическое выключение электричества (его подачи) при появлении тока утечки относительно земли.

Будь какая токовая утечка представляет собой нежелательное явление. В номинальном режиме работы любой электрической системы ток должен протекать только по строго определённым цепям. Появившийся ток, идущий на землю, будет этой самой утечкой. Эта токовая утечка может возникнуть из-за пробоя на металлический корпус, который заземлён, а также при непреднамеренном касании человека к токоведущим частям (стоящим на плохо изолируемой поверхности). В этом случае ток утечки пройдёт через тело.

Лучшим местом подключения УЗО будет максимальная близость к электрическому вводу. Поскольку промежуток электрической сети до счётчика электроэнергии подвергается контролю соответствующих организаций. Установить УЗО (устройство защитного отключения) следует сразу после электросчётчика. В итоге, надёжно обеспечивается электрозащита от различных утечек на землю во всей электрической цепи.

К сожалению, при данном подключении УЗО произойдёт полное обесточивание всего электрифицированного участка, которая питается от данной линии (на которую стоит защита). В случае нежелательности этого явления следует поставить несколько систем

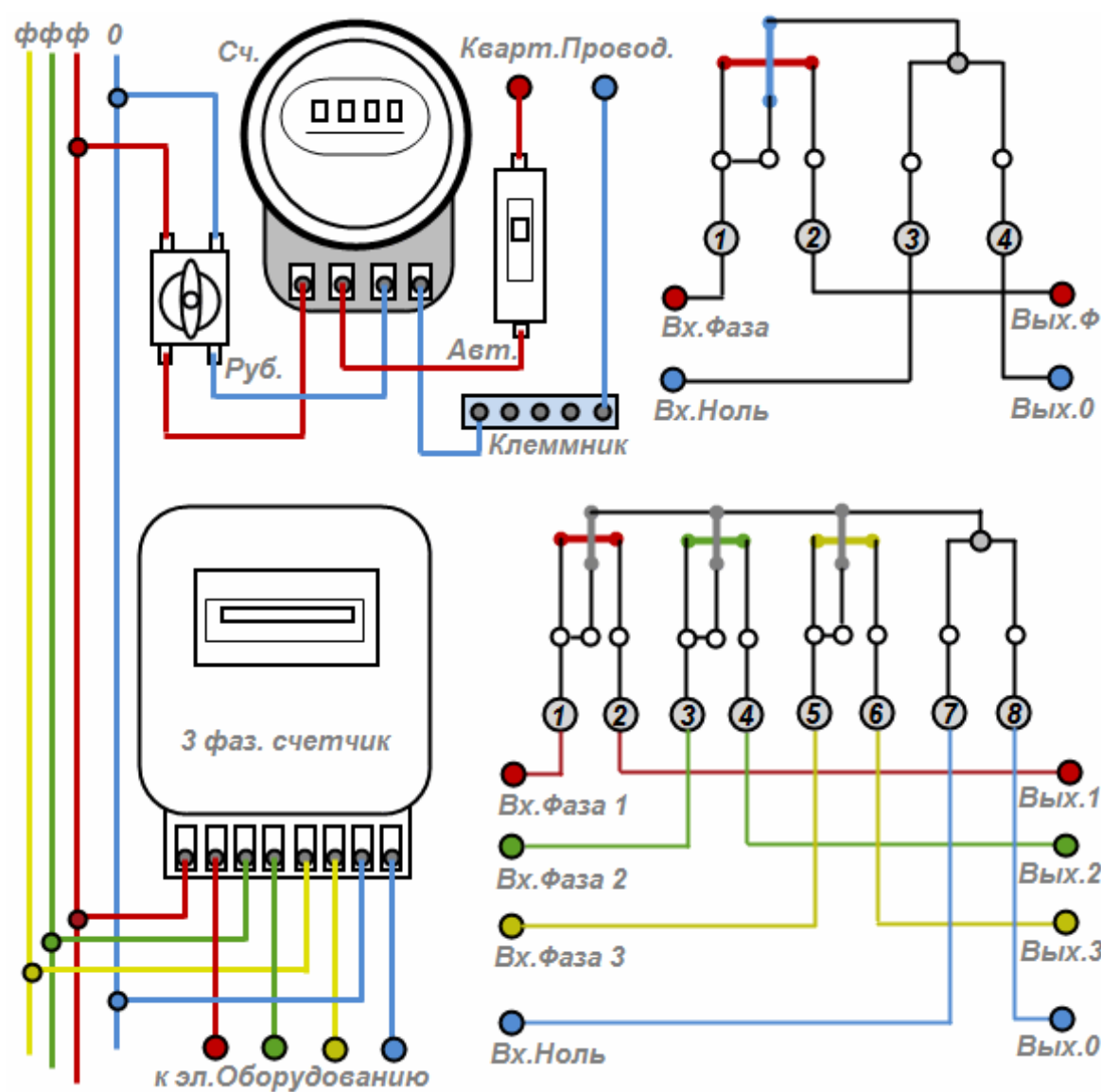
УЗО либо ограничится одним, но только для той цепи, которая наиболее важна с точки зрения обеспечения безопасности.

А теперь поговорим о самой схеме УЗО. Принцип действия системы УЗО заключается в своевременном отслеживании определённого значения разности величин тока между фазным и нулевым проводом. В случае своей номинальной работы любого электротехнической системы данной разности токов нет (сколько прошло тока по фазному проводу, столько же должно пройти и по нулевому проводу). Предположим, проводка заложена в сыром помещении и в ней есть значительные повреждения диэлектрической изоляции. Влага просачивается сквозь повреждение на электрический проводник, тем самым образовав новую электрическую цепь между проводкой и землёй. В итоге, этот ток утечки и станет причиной появления той разницы, на которую отреагирует система УЗО.

Ток утечки снимается с катушек специального трансформатора и передаётся в поляризованное электрическое реле УЗО. Здесь сигнал утечки усилятся, и запускает систему отключения УЗО. До тех пор пока не будет устранена неисправность электрической проводки, устройство защитного отключения постоянно будет срабатывать при очередной попытке его запуска.

Устройство защитного отключения (УЗО) следует подключать в соответствии надписям на самом корпусе УЗО. Устройство, как видно на рисунке, имеет электрические контактные нейтрали, которые подключаются к нулю, а также фазные контакты, которые обозначаются цифрами 1 и 2 либо L. На изображении нарисована схема подключения УЗО для однофазного электрического потребителя, но существуют системы УЗО и для трёхфазных сетей. Различие лишь в количестве контактов. Подключение и работа у них одна и та же.

Системы защиты целесообразно устанавливать в местах, где есть необходимость в обеспечении высокой электробезопасности. В местах, где случайное выключение может способствовать нежелательным последствиям данную защиту лучше не устанавливать. Токовые утечки в старом электрическом оборудовании встречаются довольно часто (допустим: старые светильники, которые многие годы работают на открытом пространстве). Системы УЗО чувствительны к подобным случаям. В итоге Вы замучаетесь от периодического и постоянного срабатывания защитного устройства.



Эта электрическая схема подключения электросчётчика (однофазного и трёхфазного) именуется прямой. Схема представляет собой вариант включения, который наиболее распространён на практике в силу своей простоты. По имеющимся нормам для одной квартиры соответствующими организациями энергоконтроля выделяется до 3 кВт электрической энергии (для жилых квартир с электрической плитой - 7 кВт.). При данной электрической мощности сила тока будет равна 13.5 амперам.

На электросчётчиках существует надпись о его технических характеристиках, в которых указан нормальный рабочий и максимальный ток (обычно пишется вот так: 5-15 А. либо 10-40 А.). Как видно, сила отводимого тока и номинального тока счётчика примерно соответствуют, поэтому и осуществляют их подключение прямым способом (без применения трансформаторов тока).

Несмотря на большое разнообразие производимых электрических счётчиков, расположение контактных клемм электрического подключения у них у всех одно и то же. Причём, на самой защитной крышке закрытия внешних клемм (с внутренней стороны этой крышки) есть нарисованная электрическая схема подключения электросчётчика (на случай, если забыли, как осуществлять подключение).

Контроль показаний электросчётчика. Главной задачей электросчётчика является непосредственный учёт потреблённой электрической энергии. Данный учёт важен тем организациям, которые осуществляют подачу электрической энергии. Отсюда следует, что те электросчётчики, которые служат для точного учёта и последующей оплаты израсходованной электрической энергии обязательно должны строго соответствовать имеющимся правилам и нормам. Это значит, что монтаж, контроль, проверка строго ведётся под наблюдением организаций энергосбыта. После проверки и одобрения на соответствия нормам и правильности подключения электросчётчик подлежит опломбировке.

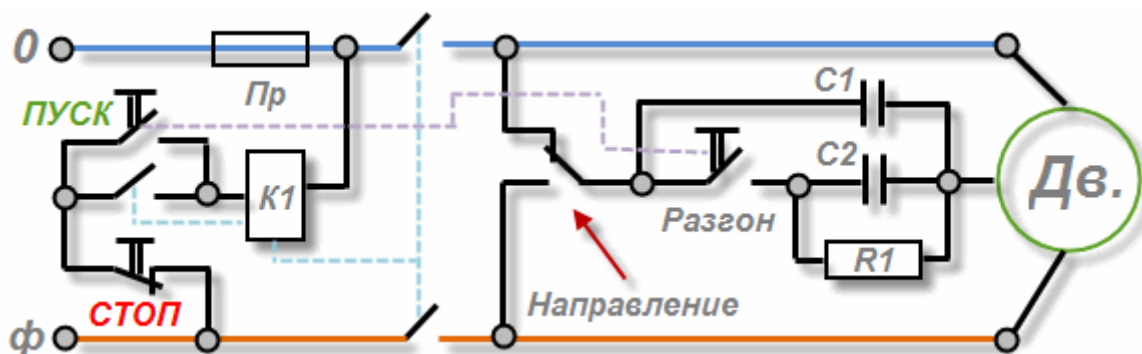
Электросчётчики, которые ставятся самими хозяевами для своих целей (в одном доме живут несколько семей и появляется потребность в учёте электроэнергии для каждой из них) не контролируются организаций энергосбыта. Они являются обычными электрическими устройствами, что ставятся и работают на территории самого потребителя.

О схеме подключения электросчётчика (однофазного и трёхфазного). В жилых многоквартирных домах через силовой электрический кабель определённого сечения делается подсоединение вводной фазы (или 3-х фаз) к входным электрическим клеммам домашнего электросчётчика. В некоторых случаях (а по нынешним законам, в обязательном порядке), между вводом и электрическим счётчиком ставятся автоматы и/или рубильники. Эти коммутационные элементы позволяют совершать замену электросчётчиков в обесточенных условиях (мера электробезопасности).

С выходных контактных клемм электросчётчика питание передаётся на устройства защиты и распределения. Электрическая фаза поступает на систему УЗО, электрические автоматы, пробки, предохранители, а электрический ноль садится на общий клеммник. Как правило, входной рубильник, электрический счётчик, клеммники, автоматы, предохранители и другие дополнительные устройства могут располагаться в одном электрощитке. От щитка и производится запитка помещений и электрооборудования.

О внутреннем устройстве электросчётчика. Прежде всего, следует напомнить, что конструктивно счётчики можно поделить на старотипные электромеханические и новые электронные. Основная конструкция старого электросчётчика (электромеханического) состоит в основном из медных катушек напряжения и тока. Внутри устройства есть алюминиевый диск. Он под действием протекающего тока (по медным катушкам) приводится во вращение. При помощи механических узлов индикация совершённых оборотов (израсходованной электроэнергии) выводится на специальное табло лицевой стороны электросчётчика. У электронного счётчика весь учёт электроэнергии производится по принципу вычисления электронных операций, а результат показывается на экране.

Схема подключения электродвигателя (3-х фазный) к однофазной сети.



Мощность трехфазного электродвигателя, кВт	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	2.2
Минимальная емкость конденсатора C1, мкф	40	60	80	100	150	230
Емкость пускового конденсатора C2, мкф	80	120	160	200	250	300

По причине того, что трёхфазные асинхронные электродвигатели имеют весьма широкое распространение и обладают определёнными достоинствами, они довольно часто применяются на практике в быту. К сожалению, не всегда существует возможность осуществлять его электрическое питание от трёхфазной сети. Решить данную проблему поможет небольшая и несложная электрическая схема.

Как известно, трёхфазное питание представляет собой силовую линию, состоящую из трёх фазных проводов и защитного нуля. Значение напряжения между любыми двумя фазами равняется 380 вольт, а сами фазы относительно друг друга сдвинуты на 120 градусов. Если вообразить процесс работы трёхфазной сети, то получим нечто похожее на плавное перетекание максимальной величины напряжения между этими тремя проводниками. При подключении к подобным трехфазным проводам трёх катушек и их соединить по схеме треугольника, то будет создаваться вращающееся электромагнитное поле между этими катушками. Именно по этому принципу работает асинхронный электродвигатель.

Для нужд повседневного быта широко используется электропитание с напряжением 220 вольт. Данное напряжение берётся при подключении проводов между фазой и нулём. Если «бегающее» поле возникало в трёхфазной сети (между 3-мя проводами), то при однофазном электропитании этого эффекта нет.

Вы должны помнить, что электрические конденсаторы могут создавать сдвиг по фазе. Этот эффект нам и будет полезен в схеме подключения трёхфазного асинхронного электродвигателя к однофазной сети. Кстати, думаю Вы не забыли, что у асинхронного электрического двигателя на клеммнике подключения существует три контакта для фаз и четвёртый служит для защитного заземления (провод прикручивается к самому корпусу).

Всю схему подключения электродвигателя (трёхфазного) к однофазной сети условно разделим на 2 части. Первая часть отвечает за включение и выключение движка (работа схемы электромагнитного пускателя). При нажатии на кнопку «ПУСК», мы замыкаем электрическую цепь, и магнитный пускатель срабатывает, тем самым становясь на самоподхват (благодаря замыканию контакта, который на схеме расположен под кнопкой ПУСКА). Этот процесс осуществляет подачу напряжения на вторую часть электрической схемы. Кнопкой «СТОП», данная схема отключается. «Пр» — это защитный предохранитель.

Другая часть электросхемы подключения трёхфазного электродвигателя к однофазной электросети содержит в себе конденсаторы разгона (ёмкость C2), работы (ёмкость C1), сопротивление (резистор R1 - 470 кОм), реверсивный переключатель вращения (задаёт направление) и кнопку интенсивного разгона двигателя. Конденсатор C1 предназначен для создания имитации трёхфазной электросети, а для чего же нужны R1 и C2 ?

У асинхронных электрических двигателей имеется следующий недостаток — относительно тяжёлый момент старта (а у нас, помимо прочего, запуск происходит при сниженном напряжении). При имеющейся механической нагрузке на валу электрического двигателя, просто взяв и подав на него питающее напряжение, у него не будет сил для нормального старта и разгона (будет стоять на месте, нагреваться и гудеть).

Чтобы обойти данную проблему и был введён в электрическую схему запуска электродвигателя от однофазной сети дополнительный конденсатор (C2). Его основная задача, это вывести двигатель на номинальный режим своей работы. Данный начальный разгон необходим в течение 4-8 секунд. Для удобства было сделано параллельное соединение кнопки пуска и разгона. При включении схемы подключения электродвигателя (трёхфазного) к однофазной сети следует нажать кнопку «ПУСК» и немного её подержать до разгона двигателя.

Поскольку электрические ёмкости на себе оставляют остаточный заряд после отключения от них напряжения (может ударить Вас током), был дополнительно введён шунтовый резистор R1. Его роль следующая - разряд ёмкости C2. Ёмкость C1 разрядится через обмотку движка. Учтите, что подключая трёхфазный электродвигатель, рассчитанный на 380 вольт к сети 220 вольт, будет потеряна часть его мощности (в этом случае мощность будет около 50-60 процентов от номинала).

Схема магнитного пускателя реверсивного типа.

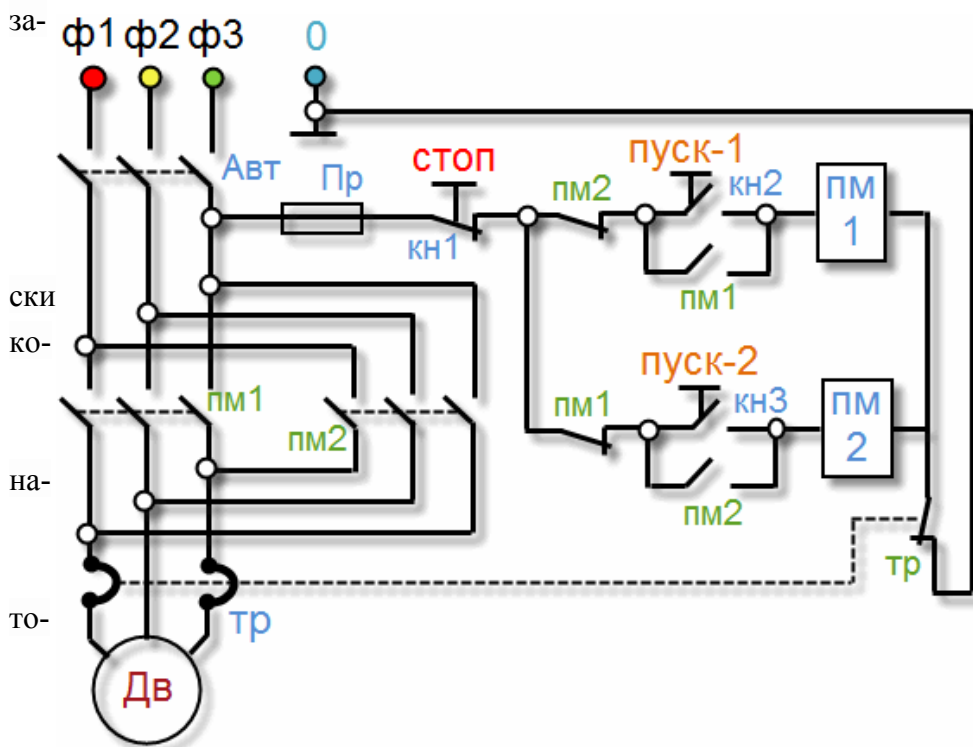
Электрическая схема магнитного пускателя, работающему по принципу реверса, в принципе, мало чем отличается от распространенной схемы, что была изображена в предыдущей статье (обычная схема магнитного пускателя). По сути, это две простые элек-

трические схемы, которые собраны воедино, а в целях безопасности для исключения одновременного срабатывания (это станет причиной короткого замыкания) в них ещё установлена дополнительная электрическая защита.

Давайте с Вами разберём общий принцип работы этой схемы магнитного пускателя реверсивного типа. Как известно, направление движение асинхронного трёхфазного электродвигателя зависит от варианта подключения вводных фаз к внутренним обмоткам самого электрического двигателя. На деле это происходит следующим образом: 3 электрические провода (фазы) соединяются с тремя клеммами асинхронного электродвигателя и пуском (кратковременным) проверяется вектор вращения (направление). Если движение происходит в нужном направлении, то вариант подключения помечается на двигателе, либо на самом устройстве. В случае если направление вращения неверное, просто местами меняются любые 2 фазных провода из имеющихся 3 фаз.

Этот принцип заложен в нашей схеме магнитного пускателя. Перебрасывание фазных проводов осуществляется при помощи переключения пускателей. Первый электромагнитный пускатель вводит электрические фазы на двигатель как есть, а второй пускатель включает те же фазы, но уже с поменянными 2-мя проводами между собой.

А что произойдёт, если одновременно нажать 2 «ПУСКА», имеющие противоположное направление? В силу того, что на втором электрическом магнитном пускателе силовые провода переброшены относительно друг друга, то произойдёт прямое электрическое контактирование двух различных фаз. Это, естественно, повлечёт за собой короткое замыкание. Следовательно, для того, чтобы не допустить подобного случая, необходимо сделать специальную защиту. То, что при включении первого пускателя будет исключать



пуск второго магнитного пускателя, предотвращая тем самым перехлестывание фаз.

Схематическую такую защиту от короткого замыкания сделать просто. Для этого нам понадобится магнитные пускатели электрические, которые будут иметь помимо 4-х нормально разомкнутых основных

электрических контактов, ещё по одному нормально замкнутому контакту. Таким образом, в случае, когда один из магнитных пускателей находится в работе и осуществляет

подачу питания на электродвигатель, он же и разрывает электрическую цепь второй пускателя (цепь электропитания катушки).

Обычно, для дополнительной электрической защиты от аварии, в имеющейся цепи управления электрическими магнитными пускателями устанавливаются предохранители. На случай, если вдруг одна из электрических катушек внутри замкнёт, и при отсутствии защитной плавкой вставки может возникнуть её возгорание. Кроме этого ещё необходимо устанавливать на входе электропитания вводной электрический автомат, который будет обесточивать имеющееся электрооборудование (прерывая электропитание, идущее на схему). Опять же, это делается с целью обеспечения электробезопасности, а так же удобства при совершении ремонта либо внесения изменений в саму схему. Для защиты устанавливается тепловая защита электрическая, о которой было сказано в предыдущей моей статье.

Расчет систем защиты представлен в программе «Электрик» (в разделе безопасность и в разделе защитное оборудование)

2.3 Проектирование электроснабжения освещения

Точечный метод расчета освещения

Точечный метод дает возможность определить в любой точке помещения освещенность как в горизонтальной, так и в вертикальной или наклонной плоскостях.

В основном точечный метод расчета освещения применяется при расчете локализованного и наружного освещения в случаях, когда часть светильников закрывается расположенным в помещении оборудованием, при освещении наклонных или вертикальных поверхностей, а также для расчета освещения производственных помещений с темными стенами и потолком (литейные, кузнечные цехи, большинство цехов металлургических заводов и т.п.).

В основу точечного метода положено уравнение, связывающее освещенность и силу света:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p^2}$$

где: I_{α} - сила света в направлении от источника на заданную точку рабочей поверхности (определяют по кривым силы света или по таблицам выбранного типа светильника), α - угол между нормалью к рабочей поверхности и направлением силы света к расчетной точке, μ - коэффициент, учитывающий действие удаленных от расчетной точки светильников и отраженного светового потока от стен, потолка, пола, оборудования, падающего на рабочую поверхность в расчетной точке (принимают в пределах $\mu = 1,05 \dots 1,2$), k - коэффициент запаса, h_p - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

Перед началом расчета освещения точечным методом необходимо вычертить в масштабе схему размещения светильников для определения геометрических соотношений и углов.

Расчет точечным методом более сложен, чем расчет по удельной мощности и методом коэффициента использования. Расчет ведется по специальным формулам, номограммам, графикам и вспомогательным таблицам.

Наиболее простым является определение освещенности в горизонтальной плоскости от светильников с ЛН с помощью графиков пространственных изолюкс. Такие графики строятся для светильников каждого типа и имеются в справочных книгах по проектированию электроосвещения. «Изолюксой» называется линия, соединяющая точки с одинаковой освещенностью.

На рис.1 по вертикальной оси отложена высота установки светильника над расчетной поверхностью h в метрах, а по горизонтальной оси - расстояние d в метрах 30, 20, 15, 10, 7 ... - у каждой кривой нанесена освещенность в люксах от светильника, имеющего лампу со световым потоком равным 1000 лм.

Чтобы понять назначение пространственных изолюкс и сущность расчета по ним, сделаем простой рисунок (рис.2). Пусть в помещении установлен светильник С на высоте h над расчетной поверхностью, например, над полом. Возьмем на полу точку А, в которой не-

обходимо определить освещенность. Обозначим расстояние от проекции светильника на расчетную плоскость O до точка A через d .

Чтобы определить освещенность в точке A , необходимо знать величины h и d . Предположим, что $h = 4$ м, $d = 6$ м. Проведем на рис.2 горизонтальную линию от цифры 4 на вертикальной оси и вертикальную линию от цифры 6 на горизонтальной оси. Линии пересекаются в точке, через которую проходит кривая, обозначенная числом 1. Это означает, что в точке A светильник C создает условную освещенность $e = 1$ лк.

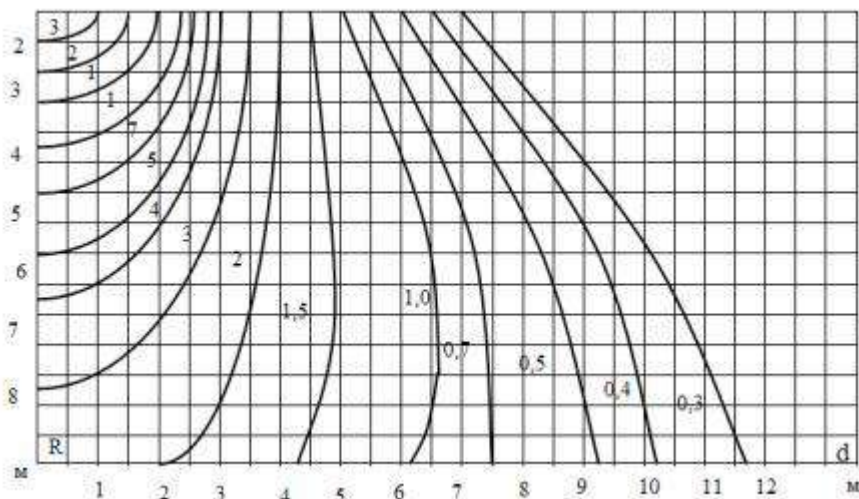


Рис. 1. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности от светильника с матированным стеклом.

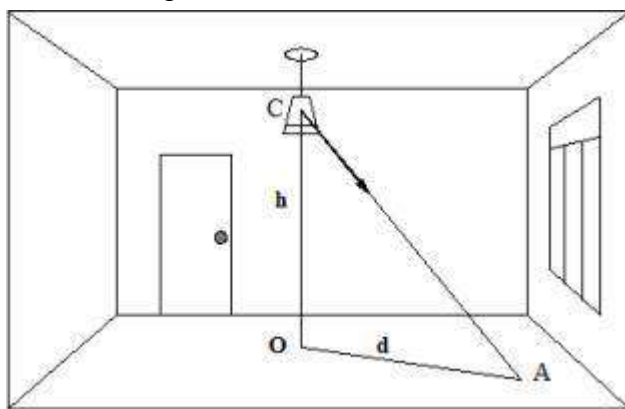


Рис. 2. К расчету освещения точечным методом. C - светильник, O - проекция светильника на расчетную плоскость, A - контрольная точка.

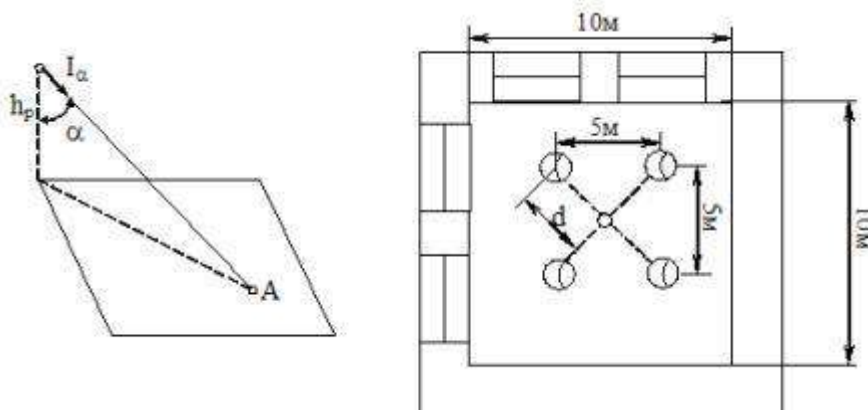


Рис. 3. К расчету освещенности точечным методом

Расчет освещенности точечным методом от светильников с симметричным светораспределением (рис.3) рекомендуется вести в такой последовательности:

1. По соотношению d / h_p определяют $\operatorname{tg} \alpha$ и, следовательно, угол α и $\cos 3\alpha$, где d - расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку.
2. По кривой силы света (или табличным данным) для выбранного типа светильников и угла α выбирают I_α .
3. По основной формуле подсчитывают горизонтальную освещенность от каждого светильника в расчетной точке.
4. Определяют суммарную освещенность в контрольной точке, создаваемую всеми светильниками.
5. Вычисляют расчетный световой поток (в люменах), который должен быть создан каждой лампой для получения в расчетной точке требуемой (нормированной) освещенности.
6. По найденному расчетному световому потоку подбирают лампу требуемой мощности.

Пример расчета освещения точечным методом

Помещение площадью 100 м² высотой 5 м освещается четырьмя светильниками типа РСП113-400 с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт. Светильники расположены по углам квадрата со стороной 5 м (рис. 2). Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью $h_p = 4,5$ м. Нормированная освещенность в контрольной точке А равна 250 лк. Определить, соответствует ли освещенность в контрольной точке требуемой норме.

1. Определяем $\operatorname{tg} \alpha$ (рис. 3), α и $\cos 3\alpha$, $\alpha = 37^\circ$, $\cos 3\alpha = 0,49$.
2. Определяем I_α . По кривой силы света светильников РСП13 (ДРЛ) при условной лампе со световым потоком $\Phi_{\text{Л}} = 1000$ лм, находим силу света I_α при $\alpha = 37^\circ$ (интерполируя между значениями силы света для угла $\alpha = 35^\circ$ и 45°), $I_{\alpha 1000} = 214$ кд.

Световой поток установленной в светильнике лампы ДРЛ мощностью 400 Вт равен 19000 лм. Поэтому $I_\alpha = 214 \times (19000 / 1000) = 214 \times 19 = 4066$ кд.

3. Рассчитываем освещенность от одного светильника в горизонтальной плоскости в контрольной точке А. Принимая коэффициент запаса $k = 1,5$ для одного светильника и $\mu = 1,05$ получим

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p^2} = \frac{4066 \cdot 0,49 \cdot 1,05}{1,5 \cdot 4,5^2} = 68,8 \text{ лк}$$

Так как в расчетной точке каждый из четырех светильников создает одинаковую освещенность, то суммарная горизонтальная освещенность в точке А будет $\sum E_A = 4 \times 68,8 = 275,2$ лк

Фактическая освещенность повышает нормированную (250 лк) примерно на 10%, что находится в допустимых пределах.

Для рационализации техники расчетов освещенности точечным методом используют справочные кривые пространственных изолюкс, построенные для каждого типа светильника.

Раздел 3

Расчет электрических нагрузок

Графики электрических нагрузок

Высокие темпы развития энергетики требуют максимальной эффективности капиталовложений и материальных затрат в данной отрасли промышленности. Как известно, на долю промышленных предприятий приходится около двух третей потребления электроэнергии. В связи с этим особенно большое значение имеет задача определения **электрических нагрузок промышленных предприятий**: для отдельных групп электроприемников, цехов и всего предприятия в целом.

Электрическая сеть, запроектированная на основе преуменьшенных расчетных нагрузок, не сможет обеспечить пропускную способность элементов сети по условию нагрева, вследствие этого нарушается нормальное функционирование предприятия. Завышение же расчетной нагрузки приводит к излишним капиталовложениям в строительство сетей электроснабжения и нарушению электромагнитной совместимости. Поэтому **точное определение расчетных нагрузок есть первый и основополагающий этап проектирования любой электрической сети в промышленности.**

Расчетные электрические нагрузки промышленных предприятий следует принимать по проектам электроснабжения предприятий или по соответствующим аналогам.

Электрические нагрузки **существующих предприятий** допускается принимать по данным фактических замеров с учетом перспективного развития предприятия.

Нагрузка электроэнергетической системы - суммарная электрическая мощность, расходуемая всеми приемниками (потребителями) электроэнергии, присоединёнными к распределительным сетям системы, и мощность, идущая на покрытие потерь во всех звеньях электрической сети (трансформаторах, преобразователях, линиях электропередачи). Зависимость изменения **электрической нагрузки** во времени, т. е. мощности потребителя или силы тока в сети в функции времени, называется **графиком нагрузки**. Различают индивидуальные и групповые графики нагрузки — соответственно для отдельных потребителей и для групп потребителей. Электрические нагрузки, определяющиеся мощностью потребителей, являются случайными величинами, принимающими различное значение с некоторыми вероятностями. Потребители обычно работают не одновременно и не все на полную мощность, поэтому фактически электрические нагрузки всегда меньше суммы индивидуальных мощностей потребителей.

Отношение наибольшей потребляемой мощности к присоединённой мощности называют **коэффициентом одновременности**. Отношение наибольшей нагрузки данной группы потребителей к их установленной мощности называется коэффициентом спроса.

Различают **среднюю электрическую нагрузку**, т. е. значение нагрузки энергосистемы, равное отношению выработанной (или использованной) за определенный период времени энергии к длительности этого периода в часах, и **среднеквадратичную электрическую нагрузку** за сутки, месяц, квартал, год.

Под **активной (реактивной) электрической нагрузкой** понимают суммарную активную (реактивную) мощность всех потребителей с учётом её потерь в электрических

сетях. Активная мощность P отдельной нагрузки, группы нагрузок или электрическая нагрузка определяется как $P = S \times \cos j$, где $S = UI$ — полная мощность (U — напряжение, I — сила тока), $\cos j$ — коэффициент мощности, $j = \arcsin Q/P$ где Q — реактивная мощность нагрузки. Нагрузка с резко или скачкообразно меняющимся графиком называется **толчкообразной нагрузкой**. В нагрузке электроэнергетической системы при изменении условий работы и нарушениях режима энергосистемы (изменении напряжения, частоты, параметров передачи, конфигурации сети и т.д.) возникают переходные процессы. При изучении этих процессов обычно рассматривают не отдельные нагрузки, а группы нагрузок (узлы нагрузки), присоединённых к мощной подстанции, высоковольтной распределительной сети или линии электропередачи.

Процессы в узлах нагрузки оказывают влияние на работу энергосистемы в целом. Степень этого влияния зависит от характеристик нагрузки, под которыми обычно понимают зависимости потребляемой в узлах активной и реактивной мощностей, вращающего момента или силы тока от напряжения или частоты. Различают 2 вида характеристик нагрузок — статические и динамические. **Статической характеристикой** называется зависимость мощности, момента или силы тока от напряжения (или частоты), определяемая при медленных изменениях электрической нагрузки.

Эти же зависимости, определённые при быстрых изменениях нагрузки, называются **динамическими характеристиками**. Надёжность работы энергосистемы в каком-либо режиме в значительной мере зависит от соотношения нагрузки электроэнергетической системы в этом режиме и возможной предельной нагрузки.

Требования к определению электрических нагрузок, которые должны выполняться при проектировании объектов **электроснабжения промышленных предприятий**:

1. Основными исходными данными для определения расчетных нагрузок служит перечень электроприемников, установленных на предприятии, с указанием их номинальной мощности, назначения, режима работы.

2. Определение электрических нагрузок электроприемников с переменным графиком нагрузки на всех ступенях питающих и распределительных сетей следует выполнять, как правило, по **методу коэффициента использования и коэффициента максимума** в соответствии с действующими указаниями по определению электрических нагрузок в промышленных установках, при этом расчетные нагрузки на трансформаторы следует корректировать с учетом нагрузок, определяемых по удельным расходам электроэнергии.

3. Коэффициенты использования и максимума следует систематически уточнять на основании данных обследования электрических нагрузок действующих промышленных электроустановок.

4. Нагрузки от крупных потребителей напряжением выше 100000В должны учитываться особо, в соответствии с их режимом работы. Расчетную нагрузку электроемких потребителей следует определять по графику нагрузки, составленному на основе технологического графика.

5. При построении общего графика нагрузки нескольких электроемких потребителей необходимо учитывать несовпадение индивидуальных графиков с целью уменьшения максимума суммарной электрической нагрузки.

6. Определение суммарных резкопеременных ударных нагрузок следует производить на основании индивидуальных графиков работы таких электроприемников. Учитывая сложный и случайный характер изменения нагрузок, допускается применение упрощенного метода определения суммарных резкопеременных ударных нагрузок путем определения вероятности совпадения максимумов индивидуальных графиков по времени продолжительности работы и времени пауз.

Результаты расчета электрических нагрузок должны сопоставляться со среднегодовыми темпами роста нагрузок, полученными из анализа их изменения за последние 5-10 лет и, при необходимости, корректироваться.

В системах электроснабжения промышленных предприятий для коммутации токов в электрических сетях в условиях больших токовых нагрузок применяются **выключатели нагрузки**.

При проектировании систем электроснабжения выполняется ряд расчетов, результаты которых позволяют выбрать оборудование подстанций, сечение и материал проводников, наиболее экономичные способы передачи электроэнергии, конфигурацию сети и т.п. Определение расчетных электрических нагрузок и учет изменения их во времени в этом случае является исходным материалом для всего последующего проектирования. При проектировании и эксплуатации электрических сетей промышленных предприятий приходится иметь дело с различными видами их нагрузок: по активной мощности P , по реактивной мощности Q и по току.

Кривая изменения активной, реактивной и токовой нагрузки во времени, называется **графиком нагрузки** по активной, реактивной мощностям и току соответственно.

Графики нагрузок дают возможность определить некоторые показатели, необходимые при расчетах нагрузок, и более рационально выполнить систему электроснабжения.

Назначение и классификация графиков нагрузок

Электрическая нагрузка характеризует потребление электрической энергии отдельными приемниками, группой приемников в цехе, цехом и заводом в целом. При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий основными являются три вида нагрузок:

- а) активная мощность P ;
- б) реактивная мощность Q ;
- в) ток I .

В расчетах систем электроснабжения промышленных предприятий используются следующие значения электрических нагрузок:

- а) средняя нагрузка за наиболее загруженную смену – для определения расчетной нагрузки и расхода электроэнергии;
- б) расчетный получасовой максимум активной и реактивной мощности – для выбора элементов систем электроснабжения по нагреву, отклонению напряжения и экономическим соображениям;
- в) пиковый ток – для определения колебаний напряжения, выбора устройств защиты и их уставок.

Электрическая нагрузка может наблюдаться визуально по измерительным приборам. Регистрировать изменения нагрузки во времени можно самопишущим прибором (рис.1). В условиях эксплуатации изменение нагрузки по активной и реактивной мощности во времени записывают, как правило, в виде ступенчатой кривой, по показаниям счётчиков активной и реактивной энергии, снятым через одинаковые интервалы времени t_u (рис. 2).

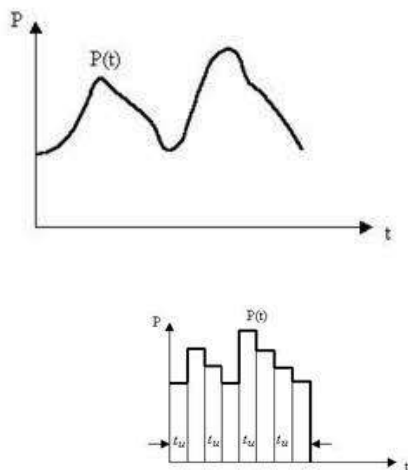


Рис.1. График нагрузок по записи регистрирующих приборов

Рис.2. График нагрузки по показаниям счетчика активной энергии

Графики нагрузок подразделяют на индивидуальные и групповые.

Индивидуальные графики ($p(t)$, $q(t)$, $i(t)$), необходимы для определения нагрузок мощных приемников электроэнергии (электрические печи, преобразовательные агрегаты главных приводов прокатных станов и др.).

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий используются, как правило, групповые графики нагрузок (от графиков нагрузок нескольких приемников электроэнергии до графиков предприятия в целом). Графики нагрузок всего промышленного предприятия дают возможность определить потребление активной и реактивной энергии предприятием, правильно и рационально выбрать питающие предприятие источники тока, а также выполнить наиболее рациональную схему электроснабжения.

По продолжительности различают суточные и годовые графики нагрузок предприятия. Каждая отрасль промышленности имеет свой характерный график нагрузок, определяемый технологическим процессом производства. Групповой график нагрузок складывается из индивидуальных графиков нагрузок приемников, входящих в данную группу. Степень регулярности групповых графиков определяется типами индивидуальных графиков и взаимосвязью нагрузок отдельных приёмников по технологическому режиму работы.

Основные коэффициенты, применяемые при расчете электрических нагрузок

Коэффициент использования – основной показатель для расчета нагрузки – это отношение средней активной мощности отдельного приемника (или группы их) к её номинальному значению.

$$K_{и,а} = \frac{P_c}{P_{ном}}; \quad K_{и,а} = \frac{P_c}{P_{ном}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{и,а} P_{ном}}{\sum_{i=1}^n P_{ном}} \quad (1)$$

Значения коэффициента использования должны быть отнесены к тому же периоду времени (циклу, году, смене), к которому отнесены мощности, на основе которых этот коэффициент вычисляется.

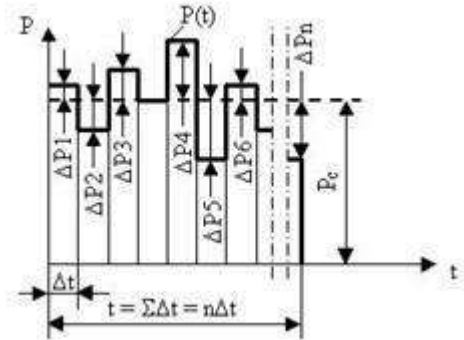


Рис.3. Индивидуальный график активных нагрузок

Для графика активных нагрузок (рис.3) средний коэффициент использования активной мощности приемника за смену может быть определен из выражения (2):

$$K_{и,а} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + \dots + P_n t_n}{P_{ном} (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n + t_{науз})} = \frac{\mathcal{E}_а}{\mathcal{E}_{а,возм}} \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_а$ – энергия, потребляемая приемником за смену; $\mathcal{E}_{а,возм}$ – энергия, которая могла бы быть потреблена приемником за смену при номинальной загрузке его в течение всей смены.

Коэффициентом включения приемника k_B – называется отношение продолжительности включения приемника в цикле t_B ко всей продолжительности цикла t_{ψ} . Время включения приемника за цикл складывается из времени работы t_p времени холостого хода t_x :

$$k_B = \frac{t_B}{t_{\psi}} = \frac{t_p + t_x}{t_{\psi}} \quad (3)$$

Коэффициентом включения группы приемников, или групповым коэффициентом включения K_B , называется средневзвешенное (по номинальной активной мощности) значение коэффициентов включения всех приемников, входящих в группу, определяемое по формуле:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n k_{B_i} P_{ном_i}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}} \quad (4)$$

Коэффициентом загрузки $k_{з,а}$ приемника по активной мощности называется отношение фактически потребляемой им средней активной мощности $P_{с,в}$ (за время включения t_B в течение времени цикла t_{ψ}) к его номинальной мощности:

$$k_{з,а} = \frac{P_{с,в}}{P_{ном}} = \frac{1}{P_{ном}} \frac{1}{t_B} \int_0^{t_у} p(t) dt = \frac{P_c}{P_{ном}} \frac{t_у}{t_B} = \frac{k_{у,а}}{k_B} \quad (5)$$

Групповым коэффициентом загрузки по активной мощности называется отношение группового коэффициента использования к групповому коэффициенту включения:

$$K_{з,а} = \frac{K_{у,а}}{K_B} \quad (6)$$

Коэффициентом формы индивидуального или группового графика нагрузок называется отношение среднеквадратичного тока (или среднеквадратичной полной мощности) приёмника или группы приёмников за определенный период времени к среднему значению его за тот же период времени:

$$k_{ф,а} = \frac{P_{ср}}{P_c} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_1^m (\Delta \mathcal{E}_{ai})^2}{m(\Delta T)^2}}}{\mathcal{E}_a / T} = \frac{1}{\Delta T} \sqrt{\frac{\sum_1^m (\Delta \mathcal{E}_{ai})^2}{m}} = \sqrt{m} \frac{\sqrt{\sum_1^m (\Delta \mathcal{E}_{ai})^2}}{\mathcal{E}_a} \quad (7)$$

Коэффициентом максимума активной мощности называется отношение расчетной активной мощности к средней нагрузке за исследуемый период времени. Исследуемый период времени принимается равным продолжительности наиболее загруженной смены.

$$k_{м,а} = \frac{P}{P_c} \quad (8)$$

Коэффициентом спроса по активной мощности называется отношение расчетной (в условиях проектирования) или потребляемой P_n (в условиях эксплуатации) активной мощности к номинальной (установленной) активной мощности группы приемников:

$$K_{с,а} = P_p / P_{ном} \quad \text{или} \quad K_{с,а} = P_n / P_{ном} \quad (9)$$

Коэффициентом заполнения графика нагрузок – называется отношение средней активной мощности к максимальной за исследуемый период времени (обычно $P_M = P(30)$). Исследуемый период времени принимается равным продолжительности наиболее загруженной смены.

$$K_{з,з,а} = P_c / P_M \quad (10)$$

Коэффициентом разновременности максимума активных нагрузок называется отношение суммарного расчётного максимума активной мощности узла системы электроснабжения к сумме расчётных максимумов активной мощности отдельных групп приемников, входящих в данный узел системы электроснабжения. Этот коэффициент характеризует смещение максимума нагрузок отдельных групп приемников во времени, что вызывает снижение суммарного максимума узла по сравнению с суммой максимумов отдельных групп.

$$K_{р,м,а} = \frac{P_p}{\sum_1^m P_{р,i}} \quad (11)$$

В зависимости от выполняемых функций, возможностей обеспечения схемы питания от **энергосистемы**, величины и режимов потребления **электроэнергии** и мощности, особенностей правил пользования электроэнергией потребителей электроэнергии принято делить на следующие основные группы:

- промышленные и приравненные к ним;
- производственные сельскохозяйственные;
- бытовые;
- общественно-коммунальные (учреждения, организации, предприятия торговли и общественного питания и др.).

К промышленным потребителям приравнены следующие предприятия: строительные, транспорта, шахты, рудники, карьеры, нефтяные, газовые и другие промыслы, связи, коммунального хозяйства и бытового обслуживания. Промышленные потребители являются наиболее энергоемкой группой потребителей электрической энергии.

Каждая из групп потребителей имеет определенный режим работы.

Так, например, электрическая нагрузка от коммунально-бытовых потребителей с преимущественно осветительной нагрузкой отличается большой неравномерностью в разное время суток. Днем нагрузка небольшая, к вечеру она возрастает до максимума, ночью она резко падает и к утру вновь возрастает. Электрическая нагрузка промышленных предприятий более равномерна в течение дня и зависит от вида производства, режима рабочего дня и числа смен.

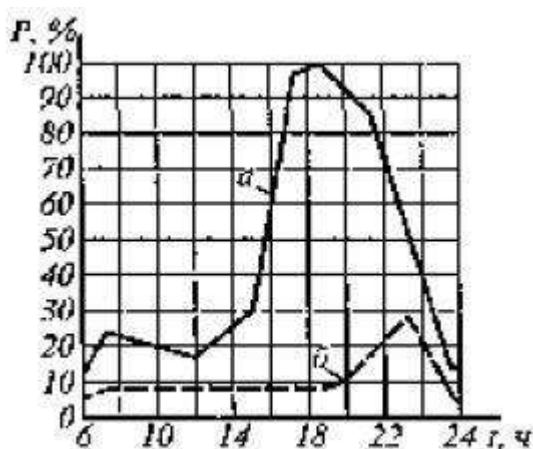


Рис. Суточные графики осветительной нагрузки города: а - зимой; б – летом

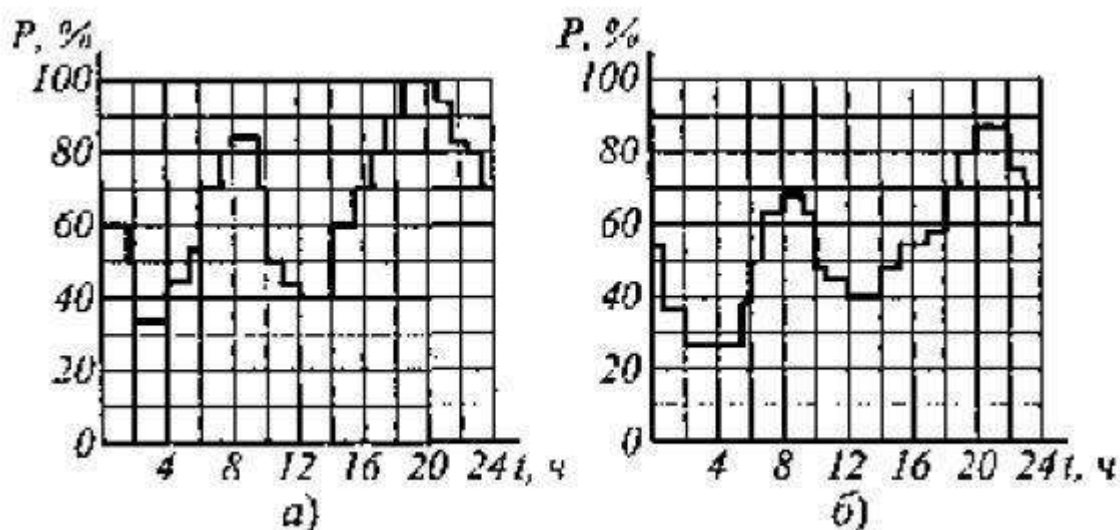


Рис. Суточные графики электрической нагрузки крупного города: а — зимой; б — летом

Наглядное представление о характере изменения электрических нагрузок во времени дают графики нагрузок. По продолжительности они могут быть суточными и годовыми. Если откладывать по оси абсцисс часы суток, а по оси ординат потребляемую в каждый момент времени мощность в процентах от максимальной мощности, то получим суточный график нагрузки. На рис. изображены суточные графики осветительной нагрузки города для зимнего (октябрь - март) и летнего (апрель - сентябрь) периодов.

Максимальная нагрузка для зимних суток наступает между 17 и 20 ч (кривая а), а для летних суток - между 22 и 23 ч (кривая б). Таким образом, летний максимум (мощность в часы пик) наступает позднее и значительно меньше по величине, чем зимой. Дневной минимум также уменьшается. На рис. 1.4 изображены характерные суточные графики активной мощности (в процентах от максимальной мощности) крупного города с учетом нагрузок освещения, а также силового оборудования коммунальных предприятий, электрифицированного транспорта и др.

Определение потребности в электроэнергии и построение суточного графика нагрузки для района энергопотребления

Расчет годовой потребности района в электрической энергии.

Годовая потребность в электрической энергии рассчитывается для следующих основных групп потребителей в районе:

- основные отрасли промышленности (включая производственное освещение);
- бытовое освещение (квартиры, общественные учреждения, улицы);
- бытовые электрические приборы;
- электрифицированный городской транспорт;
- водопровод и канализация;
- прочие потребители.

Потребность в электрической энергии промышленности рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{пром}} = N_{\text{пром}} * \Pi_i, \text{ кВтч/год};$$

где Π_i - годовой объем выпуска продукции предприятиями в натуральных или стоимостных измерителях;

$N_{\text{пром}}$ - норма удельного расхода электроэнергии, кВтч/ед. прод. Годовое потребление электроэнергии городским хозяйством и населением рассчитывается по нормам удельных расходов на одного жителя района:

$$\mathcal{E}_{\text{гор}} = N_{\text{гор}} * \mathcal{C}, \text{ кВтч/год};$$

где \mathcal{C} - численность населения в районе (табл.8);

N - норма удельного расхода электроэнергии, кВтч/житель

Полное годовое потребление электроэнергии в районе:

$$\Sigma \mathcal{E}_{\text{пол.}} == \mathcal{E}_{\text{гор}} + \mathcal{E}_{\text{пром}} \text{ кВтч/год};$$

Расчет годовых максимумов электрической нагрузки (по группам потребителей).

Годовой максимум электрической нагрузки отрасли промышленности (или промышленного предприятия) определяется по формуле:

$$P_{\text{пром}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{пром}}}{h_{\text{макс}}^{\text{пром}}} \text{ кВт};$$

где $h_{\text{макс}}^{\text{гор}}$ - число часов использования максимума электрической нагрузки рассматриваемой отрасли промышленности (промышленного предприятия):

$$h_{\text{макс}}^{\text{пром}} = \beta * 8760 \text{ кВт};$$

где β - коэффициент заполнения годового графика нагрузки отрасли (промышленного предприятия, табл.7).

Годовой максимум электрической нагрузки группы потребителей городского хозяйства и населения определяется по формуле:

$$P_{\text{гор}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{гор}}}{h_{\text{макс}}^{\text{гор}}} \text{ кВт};$$

где $h_{\text{макс}}^{\text{гор}}$ - число часов использования максимальной нагрузки группы городских потребителей (табл. 9).

Годовой максимум промышленной осветительной нагрузки можно определить по формуле:

$$P_{\text{пром}}^{\text{осв}} = K * P_{\text{пром}} \text{ кВт};$$

где K - процент максимума осветительной нагрузки от годового максимума электрической нагрузки отрасли промышленности (промышленного предприятия). Результаты расчетов сводятся в табл. 1.

Построение зимнего суточного графика электрической нагрузки (по группам потребителей).

Суточные графики электрической нагрузки всех промышленных потребителей рассчитываются для зимних суток (декабрь).

Таблица 1- Сводная таблица электропотребления и максимума нагрузки

Потребители	Выпуск продукции промышленности и число жителей $P; N_{\text{жел}}$	Норма расхода электроэнергии на единицу продукции (или одного жителя) Э	$\Sigma_{\text{год}}:$ 10^6 кВтч	$N_{\text{макс}}:$ час	$P_{\text{гор}}:$ 10^3 кВт	К %	$P_{\text{пром}}:$ 10^3 кВт	$P_{\text{осв}}^{\text{пром}}:$ 10^3 кВт	$\Sigma P_{\text{пром}} = P_{\text{пром}} + P_{\text{осв}}^{\text{пром}}$ кВт
Промышленность									
1.									
2.									
3.									
Город									
1.									
2.									
И т.п.									

Суточные графики нагрузки отраслей промышленности строятся в виде трехступенчатых линий, каждая ступень которых характеризует нагрузку одной из трех рабочих смен: 1- в 8 час; 2 - в 16 час; 3 - в 24 часа (табл.7).

Рассчитанный ранее годовой максимум электрической нагрузки промышленности $\bar{P}_{\text{пром}}$ принимается за величину нагрузки 1 смены. Нагрузки 2 и 3 смен определяются исходя из соотношения нагрузки по сменам, заданным для отраслей промышленности. Суточные графики электрической нагрузки городского хозяйства и населения строятся исходя из типовых графиков нагрузки в процентах от их годового максимума (таблица П-1). Результаты расчета записываются в расчетную таблицу 2.

В расчетной таблице 2 суммируются цифры каждого столбца (по часам суток) отдельно для промышленного и городского потребления. Каждая такая сумма дает величину электрической нагрузки для данного часа суток проектного года для промышленности и города.

Величину суммарной электрической нагрузки для промышленности следует умножить на коэффициент разновременности максимумов электрической нагрузки промышленных потребителей. Коэффициент разновременности максимумов электрической нагрузки промышленных потребителей можно принять равным 0,9.

Складывая затем полученные величины электрической нагрузки городского хозяйства и промышленности, получаем в результате совмещенный электрический график нагрузки района для данного часа суток проектного года $\bar{P}_{\text{совм}}$.

Таблица 2

Построение суточного графика электрической нагрузки промышленного производства и города (для зимы)

Потребители	МВт	Соотношение нагрузок по сменам.	3 смена				1 смена				2 смена		
			0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-24
Промышленность													
1.													
2.													
3.													
$\sum P_{\text{час}}^{\text{пром}}$													
$\sum P_{\text{совм}}^{\text{пром}} = 0,9 * P_{\text{час}}^{\text{пром}}$													
Город													
1.													
2.													
$\sum P_{\text{час}}^{\text{гор}}$													
$\sum P_{\text{совм}} = \sum P_{\text{совм}}^{\text{пром}} + \sum P_{\text{час}}^{\text{гор}}$													

По результатам расчета строится график электрической нагрузки. Необходимо построить три графика: для промышленности, коммунально-бытовых нужд и транспорта, совмещенный график электрической нагрузки района.

Расчет нагрузок методом коэффициента максимума (упорядочных диаграмм)

Метод упорядоченных диаграмм.

Пример

Метод упорядоченных диаграмм применяется для всех уровней системы электроснабжения и вне зависимости от стадии проектирования. При нахождении электрических нагрузок в сетях напряжением до 1 кВ существует следующий порядок расчета:

1) По расчетному узлу суммируются число силовых электроприемников и их номинальные мощности;

2) Суммируются средние активные и реактивные нагрузки рабочих электроприемников
 $P_{\text{ср}} = \sum P_{\text{ср},i}$

3) Находится групповой коэффициент использования данного расчетного узла

$$K_{\text{г}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{г},i} P_{\text{ном},i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном},i}}$$

4) Рассчитывается эффективное число электроприемников узла.

$$n_{\text{з}} = \left(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном},i} \right)^2 / \left(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном},i}^2 \right)$$

5) По справочным кривым или табличным значениям определяются коэффициент расчетной нагрузки и максимальная силовая нагрузка расчетного узла

$$P_p = K_p P_{cp}$$

Расчетную реактивную нагрузку принимают равной

$$\text{при } n \leq 10 - Q_p = 1,1 Q_{cp}, m = 1,1 P_{cp} \operatorname{tg} \varphi_{cp}$$

$$\text{при } n > 10 - Q_p = Q_{cp}, m = P_{cp} \operatorname{tg} \varphi_{cp}$$

К расчетным силовым нагрузкам до 1000 В по цеху (трансформатору в целом) добавляются осветительные нагрузки.

Зависимость коэффициента расчетной нагрузки K_p от эффективного числа приемников n , при различных коэффициентах использования $K_{и}$

Эффективное число электроприемников n	$K_{и}$				
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
2	8	4	2	1,33	1,0
4	3,42	2,0	1,3	1,14	1,0
6	2,64	1,62	1,14	1,06	1,0
8	2,37	1,48	1,1	1,02	1,0
10	2,18	1,39	1,06	1,0	1,0
15	1,9	1,25	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,1	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0

Методы расчета потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ

Электрические сети 0,38 кВ являются последним звеном в цепи передачи и распределения электроэнергии от электростанций к потребителям. По России в целом они составляют около 40% от суммарной протяженности всех электрических сетей. От надежности работы сетей 0,38 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей, а от точности расчетов технических потерь в сетях 0,38 кВ – точность выявления коммерческих потерь в электрических сетях в целом. Расчет потерь электроэнергии в этих сетях является одним из наиболее трудоемких. Это связано со следующими особенностями распределительных сетей:

- большим объемом информации с одновременно низкой ее достоверностью;
- большой протяженностью и разветвленностью;
- динамикой изменения схемных и особенно режимных параметров;
- различным исполнением участков: пятипроводные (три фазы, ноль и фонарный провод), четырехпроводные (три фазы и ноль), трехпроводные (две фазы и ноль), двухпроводные (одна фаза и ноль);
- неравномерностью загрузки фаз;
- неодинаковостью фазных напряжений на шинах питающей ТП.

Следует также отметить, что методы расчета режимов электрических сетей, уровней напряжения в узлах, потерь мощности и электроэнергии должны быть в максималь-

ной степени адаптированы к имеющейся в условиях эксплуатации сетей схемных и режимных параметров.

В данной статье представлены методы расчета технических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ при различных вариантах исходной информации. Методики приводятся в порядке повышения их точности и, соответственно, увеличения необходимого для расчетов объема исходной информации.

Наиболее простой и в то же время наименее точной является оценочная методика расчета потерь электроэнергии по суммарной длине электрических сетей 0,38 кВ, средним удельным потерям электроэнергии на 1 км длины для средней загрузки характерных сетей:

$$\Delta W_{\text{НУ0,38}} = \Delta P_{\text{НУ0,38}} \cdot L_{\Sigma 0,38} \cdot \tau_{0,38}, \quad (1)$$

где $L_{\Sigma 0,38}$ – суммарная длина электрических сетей 0,38 кВ филиала ЭС по его отчетным данным;

$\tau_{0,38}$ – время потерь для электрических сетей 0,38 кВ;

$\Delta P_{\text{НУ0,38}}$ – средние по филиалу ЭС удельные нагрузочные потери мощности на 1 км линии 0,38 кВ в часы максимума нагрузки энергосистемы, рассчитываемые по формуле:

$$\Delta P_{\text{НУ0,38}} = 3 \cdot \left(\frac{S_{\text{НОМ(ср)}} \cdot k_{\text{ЗГ(ср)}} \cdot k_p}{\sqrt{3} \cdot U} \right)^2 \cdot R_0, \quad (2)$$

где $S_{\text{НОМ(ср)}}$ – средняя мощность трансформатора, характерного для распределительных сетей филиала ЭС;

$k_{\text{ЗГ(ср)}}$ – средняя загрузка трансформатора в максимум нагрузки по данным контрольных измерений;

k_p – коэффициент распределения нагрузки по длине сети;

R_0 – удельное сопротивление линии 0,38 кВ с маркой провода, принимаемой в расчетах средней для филиала ЭС.

Пример определения усредненного норматива потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ.

Исходные данные:

- суммарное количество распределительных трансформаторов (РТ) 6(10) кВ по РФ – 16464 шт.;
- суммарная установленная мощность РТ 6(10) кВ по РФ – 4180 МВА;
- средняя загрузка одного РТ 6(10) кВ в максимум нагрузки – 0,4 о.е.;
- среднее число фидеров 0,38 кВ на 1 РТ 6(10) кВ – 2 шт.;
- среднее сечение магистрального провода 0,38 кВ АС-35 с $r_0=0,92$ Ом/км;
- число часов наибольших потерь 1200 ч.

Порядок расчета:

1. Средняя установленная мощность РТ 6(10) кВ:

$$S_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{ТС}} \cdot 10^3}{n_{\text{ТС}}} = \frac{4180 \cdot 10^3}{16464} = 253 \text{ кВА}.$$

2. Средняя максимальная нагрузка одного РТ 6(10) кВ:

$$S_{\text{МРТ}} = S_{\text{ср}} \cdot k_3 = 253 \cdot 0,4 = 100 \text{ кВА}.$$

3. Средняя нагрузка на один фидер 0,38 кВ:

$$S_{\text{МФ}} = \frac{S_{\text{МРТ}}}{n_{\text{ф}}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ кВА}.$$

4. Средний ток нагрузки на один фидер 0,38 кВ:

$$I_{\text{МФ}} = \frac{S_{\text{МФ}}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 72,3 \text{ А}$$

5. Средний ток нагрузки на 1 км линий 0,38 кВ:

$$I_{\text{МУ}} = I_{\text{МФ}} \cdot k_p = 72,3 \cdot 0,5 = 36,1 \text{ А},$$

где k_p – коэффициент распределения нагрузки по длине сети.

6. Средние максимальные потери мощности в фидере 0,38 кВ с маркой провода АС-35, длиной 1 км и нагрузкой 36,1 А:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 = 3 \cdot 36,1^2 \cdot 0,92 = 3,6 \text{ кВт} / \text{км}.$$

7. Средние годовые потери электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau = 3,6 \cdot 1200 = 4,3 \text{ тыс. кВт.ч}.$$

8. Средние относительные максимальные потери мощности:

$$\Delta P_* = \frac{\Delta P}{S_{\text{МФ}} \cdot 0,5 \cdot \cos \varphi} = \frac{3,6}{25 \cdot 0,95} = 15,2\%.$$

9. Средние относительные потери электроэнергии:

$$\Delta W_* = \Delta P_* \cdot \frac{\tau}{T_{\text{max}}} = 15,2 \cdot \frac{1200}{2500} = 7,29\%$$

Наиболее распространенной в практике эксплуатации методикой расчета потерь мощности и электроэнергии, рекомендуемой отраслевой Инструкцией [1], является методика расчета по потере напряжения до наиболее электрически удаленной от ТП точки сети. Данная методика позволяет определить потери электроэнергии в линиях, учитывая неравномерность загрузки фаз линии 0,38 кВ.

В качестве исходной информации используются результаты контрольных измерений уровней напряжения на шинах ТП и в наиболее электрически удаленной точке сети 0,38 кВ, фазных токов головного участка в максимум нагрузки:

$$\Delta W_{\%} = K_{\text{м/н}} \cdot K_{\text{дп}} \cdot \Delta U_{\text{ср}\%} \cdot \tau_{0,38}, \quad (3)$$

где $\Delta U_{\text{ср}\%}$ – средняя относительная величина потерь напряжения для сети;

$K_{\text{ДП}}$ – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий неравномерность загрузки фаз сети 0,38 кВ, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{ДП}} = 3 \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2} \left(1 + 1,5 \frac{R_H}{R_\Phi} \right) - 1,5 \frac{R_H}{R_\Phi}, \quad (4)$$

где I_A, I_B, I_C – измеренные токовые нагрузки фаз;

R_H и R_Φ – сопротивления нулевого и фазного проводов;

$K_{\text{м/н}}$ – коэффициент связи относительных потерь мощности с относительными потерями напряжения, в общем случае зависящий от конфигурации сети, плотности нагрузки и других факторов, предлагается определять по формуле:

$$K_{\text{м/н}} = K_{\text{разв}} \cdot 2r / \left[r \cdot \cos^2 \varphi + x \cdot \sin 2\varphi \right], \quad (5)$$

где r и x – активное и реактивное сопротивления головного участка линии 0,38 кВ,

$K_{\text{разв}}$ – коэффициент разветвленности схемы [2].

Так как выполнить расчеты потерь электроэнергии во всех распределительных линиях 0,38 кВ в масштабах энергосистемы даже с помощью сравнительно простого метода $K_{\text{м/н}}$ часто оказывается затруднительным, поэтому для оценки потерь в совокупности сетей 0,38 кВ оправданным и целесообразным следует считать применение метода случайной выборки с последующим распространением результатов расчета с заданной доверительной вероятностью на всю рассматриваемую сеть [3]. Суть метода состоит в расчете относительных потерь электроэнергии не во всех сетях, а только в их части, определенной по одному из способов случайного отбора. При отборе электрических сетей необходимо обеспечить равную вероятность попадания различных распределительных сетей в выборку.

В ряде случаев более точным является расчет потерь мощности в сети по контрольным измерениям уровней напряжения на шинах ТП, фазных токов головного участка в максимум нагрузки, характеру потребителей сети 0,38 кВ и их нагрузке. При таком объеме исходной информации появляется возможность рассчитывать установившийся режим электрической сети 0,38 кВ, уровни напряжения в узлах, потери напряжения и мощности на участках для каждой распределительной линии и их совокупности по ТП, РЭС и ПЭС в целом.

В зависимости от характера и вида нагрузки потребителей, а также исходной информации на головном участке линии 0,38 кВ расчеты выполняются по разным методикам.

При расчете электрических сетей с коммунально-бытовой нагрузкой, которая принимается равномерно распределенной по длине сети, потери электроэнергии для линии 0,38 кВ определяются по формулам:

$$\Delta W_{H0,38} = \tau_{0,38} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta P_{H0,38i}, \quad (6)$$

где $\Delta P_{H0,38i}$ – потери мощности, рассчитываемые для каждого участка линии 0,38 кВ [4]:

$$\Delta P_{H0,38i} = 3 \cdot K_{\text{длн}} \cdot R_i \cdot \left(\frac{1}{3} I_{Pi}^2 + I_{Pi} \cdot I_{Ci} + I_{Ci}^2 \right), \quad (7)$$

где I_P – равномерно распределенная по длине токовая нагрузка, приходящаяся на одну фазу каждого участка сети:

$$I_{Pi} = I_{\Gamma} \frac{L_i}{L_{\Sigma}}, \quad (8)$$

где L_i – длина i -го участка сети, L_{Σ} – суммарная протяженность;

I_C – сосредоточенные токовые нагрузки для каждого участка сети, приходящиеся на одну фазу:

$$I_{Ci} = \frac{I_{\Gamma}}{L_{\Sigma}} \sum_{i=k}^m L_i, \quad (9)$$

где k – номер участка, для которого определяется сосредоточенный ток.

При расчете электрических сетей с производственной нагрузкой, которая принимается сосредоточенной в узлах сети, необходимо предусматривать учет следующих видов задания нагрузки: присоединенной мощности нагрузки, потребляемой электроэнергии за год, результаты измерений нагрузки в зимний максимум.

Если нагрузка задана присоединенной мощностью, то расчет потерь мощности и напряжения ведется итерационным путем. На первом шаге итерации мощность головного участка распределяется пропорционально установленной в узлах мощности нагрузок потребителей. По данным головного участка вычисляется коэффициент дополнительных потерь, возникающих из-за неравномерности загрузки фаз, и принимается одинаковым для каждого участка. Определяются потери электроэнергии по формуле (6). Если нагрузка задана потребляемой электроэнергией за год, расчет выполняется аналогично с пересчетом электроэнергии в мощность.

Для распределения рассчитанных годовых потерь электроэнергии в электрической сети 0,38 кВ по месяцам можно воспользоваться графиком помесечного отпуска электроэнергии в сеть 6(10) кВ, от которой питается рассматриваемая сеть 0,38 кВ.

Порядок расчета представлен для всех линий 0,38 кВ, получающих питание от фидера 6(10) кВ.

1. Определяют потери электроэнергии в линиях 0,38 кВ за декабрь в год ($t-1$):

$$\Delta W_{0,38д}^{(t-1)} = \frac{\Delta W_{0,38год}^{(t)}}{\sum_{i=1}^{12} K_i^2}, \quad (10)$$

где $\Delta W_{год}^{(t)}$ - годовые потери электроэнергии в линиях 0,38 кВ;

K_i - отношение отпуска электроэнергии в фидер 6(10) кВ в i -й месяц $(t-1)$ года к отпуску электроэнергии в декабре месяце этого же года:

$$K_i = \frac{W_{OC6(10)i}^{(t-1)}}{W_{OC6(10)д}^{(t-1)}}. \quad (11)$$

2. Рассчитываются потери электроэнергии в линиях 0,38 кВ i -й месяц года t :

$$\Delta W_{0,38i}^{(t)} = \Delta W_{0,38д}^{(t-1)} \left(\frac{W_{OC6(10)i}^{(t)}}{W_{OC6(10)д}^{(t-1)}} \right)^2. \quad (12)$$

Например, для расчета нормативных потерь электроэнергии за январь 2002 года, формула (12) примет вид:

$$\Delta W_{0,38я}^{(2002)} = \Delta W_{0,38д}^{(2001)} \left(\frac{W_{OC6(10)я}^{(2002)}}{W_{OC6(10)д}^{(2001)}} \right)^2,$$

за февраль 2002 года:

$$\Delta W_{0,38ф}^{(2002)} = \Delta W_{0,38д}^{(2001)} \left(\frac{W_{OC6(10)ф}^{(2002)}}{W_{OC6(10)д}^{(2001)}} \right)^2, \text{ и т.д.}$$

3. Потери электроэнергии в линиях 0,38 кВ за декабрь месяц 2001 по формуле (10) определяются:

$$\Delta W_{0,38д}^{(2001)} = \frac{\Delta W_{год}^{(2002)}}{\sum_{i=1}^{12} K_{я}^2 + K_{ф}^2 + \dots + K_{д}^2}, \quad (13)$$

$$K_{\text{я}} = \frac{W_{\text{OC6(10)я}}^{(2001)}}{W_{\text{OC6(10)д}}^{(2001)}}; K_{\text{ф}} = \frac{W_{\text{OC6(10)ф}}^{(2001)}}{W_{\text{OC6(10)д}}^{(2001)}} \text{ и т.д.} \quad (14)$$

Из формул (10)-(14) видно, что их использование основано на допущении о том, что переменные потери электроэнергии в электрической сети 0,38 кВ пропорциональны квадрату переданной по ней электроэнергии, если параметры сети при этом остаются неизменными.

Если в качестве нагрузки используется потребляемая (или оплаченная) электроэнергия за месяц и известен отпуск электроэнергии в данную линию 0,38 кВ за тот же расчетный период (W_A) потери электроэнергии определяются:

$$\Delta W_{\text{H0,38}} = \frac{W_A^2 \cdot \left(1 + \text{tg}^2 \varphi\right)}{U_{\text{ш}}^2 \cdot T} \cdot R_{\text{э}} \cdot k_{\text{фг}}^2 \cdot K_{\text{дп}}, \quad (15)$$

$U_{\text{ш}}$ – среднее за период T напряжение на шинах ТП;

$R_{\text{э}}$ – эквивалентное сопротивление рассчитываемой линии 0,38 кВ;

$k_{\text{фг}}$ – коэффициент формы графика нагрузки головного участка распределительной линии.

Наиболее точной и вместе с тем наиболее трудоемкой, требующей максимального объема исходной информации является методика расчета, основанная на контрольных измерениях уровней напряжения на шинах ТП, фазных токов головного участка в максимум нагрузки, установленной мощности, характеру и типовым графикам нагрузки потребителей, отпуску электроэнергии в сеть 0,38 кВ или суммарному потреблению электроэнергии присоединенным к сети потребителями.

Одновременное знание контрольных замеров нагрузки по сетям 0,38 кВ и электропотребления позволяют привести их в определенное соответствие через расчет серии установившихся режимов и потерь мощности при изменении нагрузок в узлах согласно графикам нагрузки с накоплением результатов расчета потерь мощности за характерные сутки.

На головном участке в качестве исходных данных могут использоваться: активный отпуск электроэнергии за характерные сутки, месяц, квартал, год.

Статистические показатели типового графика нагрузки зависят от величины нагрузки. Для каждого типового графика приведена стандартная величина максимального значения математического ожидания активных нагрузок. Для пересчета типового графика для любой другой нагрузки необходимо определить коэффициент подобия:

– при известной величине максимальной активной нагрузки P_M :

$$x = \frac{\sqrt{\left(\frac{\beta C_{\text{PM}} \bar{P}_{\text{CT}}}{200}\right)^2 + \bar{P}_{\text{CT}} \cdot P_M} - \frac{\beta C_{\text{PM}} \bar{P}_{\text{CT}}}{200}}{\bar{P}_{\text{CT}}}, \quad (16)$$

где \bar{P}_{CT} – математическое ожидание максимальной нагрузки;

β – коэффициент надежности расчета (при вероятности 0,975 $\beta=2$);

C_{PM} – вариация в максимум активной нагрузки.

– при известной величине математического ожидания максимальной активной нагрузки \bar{P}_M :

$$x = \sqrt{\frac{\bar{P}_M}{\bar{P}_{CT}}}; \quad (17)$$

– при известной величине потребления электроэнергии за год:

$$x = \sqrt{\frac{W_{год}}{W_{CT}}}, \quad (18)$$

где W_{CT} – годовое потребление электроэнергии, соответствующее данному типовому графику

$$W_{CT} = \frac{\sum_{k=1}^{12} m_k \cdot \bar{P}_{CT} \cdot \sum_{j=1}^{12} \kappa_{pj} \cdot \sum_{i=1}^{24} P_{ik}}{1200}, \quad (19)$$

где κ_{pj} – коэффициент сезонности;

P_{ik} – математическое ожидание активной нагрузки i -го часа k -го сезона;

m_k – число дней в месяце.

Показатели пересчитываемого графика для расчета нагрузки любого i -го часа и месяца (P_{ij}) и их среднеквадратического отклонения (σ_{ij}) определяются:

$$\bar{P}_{ij} = \frac{\bar{P}_{CT} \cdot \bar{P}_{ik} \cdot x^2 \cdot \kappa_{pj}}{100}, \quad (20)$$

$$\sigma_{Pij} = \frac{\bar{P}_{CT} \cdot C_{Pik} \cdot x \cdot \kappa_{pj}}{100}. \quad (21)$$

Тогда максимальное значение нагрузки за i -й час:

$$P_{ij} = \bar{P}_{ij} + \beta \cdot \sigma_{Pij}. \quad (22)$$

Расчет токораспределения в сети, потокораспределения и потерь напряжения в ней осуществляется известными методами.

Последняя методика в наибольшей степени соответствует требованиям задачи выявления и оценки коммерческих потерь электроэнергии. Информация, необходимая для ее решения, может быть использована также для определения характерных точек сети с максимальным и минимальным отклонениями напряжения для выбора законов регулирования в центрах питания распределительных сетей 0,38-10 кВ.

В то же время, если выполняется совместный расчет электрической сети 6-10 кВ и всех питающихся от нее сетей 0,4 кВ имеется возможность:

- уточнить потокораспределение, потери напряжения, мощности и электроэнергии в сети 6-10 кВ за счет более точного знания нагрузок присоединенных ТП;
- рассчитать баланс нагрузок и электроэнергии по сетям 6(10) 0,38 кВ с учетом технических потерь мощности и электроэнергии в них;
- определить участки сети с недопустимым небалансом электроэнергии.

Таким образом, первые три методики могут рассматриваться как оценочные при недостаточно развитой системе информационного обеспечения расчетов режимов и потерь в сетях 0,4 кВ.

Четвертая методика является на сегодняшний день наиболее точной и наиболее перспективной. Переход к ней должен осуществляться поэтапно от отдельных наиболее загруженных узлов нагрузки и наиболее протяженных сетей 0,4 кВ к участкам, районам электрических сетей, ПЭС и энергосистеме в целом. Для практического внедрения четвертой методики необходимо тесное взаимодействие районов электрических сетей (измерения нагрузок, напряжений), служб распределительных сетей и диспетчерских служб ПЭС (схемы электрических сетей и их параметры), отделений энергосбыта (электропотребление и графики нагрузок).

Расчёт нагрузок 0,4 кВ

Расчёт силовых и осветительных нагрузок 0,4 кВ покажем на примере цеха [деревообработки](#) (далее, цех). Список электроприемников цеха представлен в [Приложении А](#).

***.1. Методика определения силовых нагрузок 0,4 кВ**

Для индивидуальных потребителей за расчётную нагрузку принимается их номинальная мощность $P_{ном}$. Для потребителей повторно-кратковременного режима работы (сварочные агрегаты, краны и т.п.) за расчетную нагрузку принимается паспортная мощность $P_{пасп}$, приведенная к ПВ=100%:

$$P_{ном} = P_{пасп} \sqrt{ПВ}, \quad (*.1)$$

где ПВ принимается в долях единицы.

Активная расчетная нагрузка группы потребителей, подключенных к узлу питания напряжением до 1 кВ, определяется:

$$P_{P,свл} = \kappa_p \sum_{i=1}^n \kappa_{u,a,i} P_{н,i}, \quad (*) .2$$

или

$$P_{P,свл} = \kappa_p P_{см}, \quad (*) .2-a$$

где

$$P_{см,i} = \kappa_{u,a,i} P_{ном,i}, \quad (*) .3$$

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n \kappa_{u,a,i} P_{ном,i}, \quad (*) .3-a$$

где $P_{см,i}$ и $P_{см}$ – средние за смену нагрузки – i -го потребителя и групповая; κ_p - коэффициент расчётной нагрузки, определяемый по таблицам [1]; $\kappa_{u,a,i}$ – коэффициент использования активной мощности для i -го потребителя, справочная величина [2]; $P_{н,i}$ – номинальная мощность i -го потребителя;

Расчётная реактивная нагрузка на шинах РП, питающих отдельные участки производства Q_P определяется в зависимости от эффективного числа приёмников $n_{ЭФ}$:

при $n_{ЭФ} \leq 10$

$$Q_{P,свл} = 1,1 \sum_{i=1}^n \kappa_{u,a,i} P_{н,i} \operatorname{tg} \varphi_i; \quad (*) .4$$

при $n_{ЭФ} > 10$

$$Q_{P,свл} = \sum_{i=1}^n \kappa_{u,a,i} P_{н,i} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (*) .5$$

где

$$Q_{см,i} = \kappa_{u,a,i} P_{н,i} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (*) .6$$

$$Q_{см} = \sum \kappa_{u,a,i} P_{н,i} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (*) .6-a$$

где $Q_{см,i}$ и $Q_{см}$ – средние за смену реактивные нагрузки – i -го потребителя и групповая; $\operatorname{tg} \varphi_i$ – соответствует $\cos \varphi_i$, принятому для данного потребителя из справочных материалов.

Расчётная реактивная нагрузка на шинах ТП определяется по выражению:

$$Q_{P,свл} = \kappa_p P_{см} \operatorname{tg} \varphi. \quad (*) .7$$

Эффективное число приемников может определяться по упрощенному выражению:

$$n_{эф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{н,i}}{P_{н,маx}}, \quad (*.8)$$

где $P_{н,маx}$ – номинальная мощность наиболее мощного приёмника группы.

Групповой коэффициент использования в целом по объекту определяется по формуле:

$$K_{и,г} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{и,a,i} P_{н,i}}{\sum_{i=1}^n P_{н,i}}. \quad (*.9)$$

Полная расчетная мощность по объекту в целом:

$$S_{P,сил} = \sqrt{P_{P,сил}^2 + Q_{P,сил}^2}. \quad (*.10)$$

Полный расчетный ток:

$$I_{P,сил} = \frac{S_{P,сил}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (*.11)$$

где $U_{ном}$ – напряжение сети.

ПРИМЕР Расчёт силовых нагрузок 0,4 кВ по ТП

Расчёт выполним на примере [ТП-1](#).

Сменные нагрузки 1-го электроприемника по (*.3):

$$P_{сm1} = 5,500 \cdot 0,16 = 3,520 \text{ кВт};$$

$$Q_{сm1} = 3,520 \cdot 1,33 = 4,693 \text{ кВар}.$$

Общее число приёмников в целом:

$$n = 12.$$

Сумма номинальных мощностей в целом:

$$P_{ном.Σ} = 80,200 \text{ кВт}.$$

Сумма сменных нагрузок в целом:

$$P_{сm.Σ} = 29,708 \text{ кВт};$$

$$Q_{сm.Σ} = 60,719 \text{ кВар}.$$

Эффективное число приёмников электрической энергии:

$$n_{эф} = \frac{2 \cdot 80,200}{12,000} = 13.$$

Групповой коэффициент использования активной мощности:

$$\kappa_{и,а} = \frac{29,708}{80,200} = 0,37.$$

Расчетный коэффициент по [1] при $\kappa_{и,а}=0,37$ и $n_{эф}=13$:

$$\kappa_P = 1,53.$$

Активная расчетная мощность силового оборудования в целом:

$$P_{P.сил} = 1,53 \cdot 29,708 = 45,598 \text{ кВт.}$$

Расчётная реактивная мощность силового оборудования в целом равна:

$$Q_{P.сил} = 1,00 \cdot 60,719 = 60,719 \text{ кВар.}$$

Полная цеховая расчётная мощность силового оборудования:

$$S_{P.сил} = \sqrt{45,598^2 + 60,719^2} = 75,934 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Расчётный ток силового оборудования в целом:

$$I_{P.сил} = \frac{75,934}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 115,370 \text{ А.}$$

Групповой коэффициент мощности силового оборудования в целом:

$$\operatorname{tg} \varphi_{P.сил} = \frac{60,719}{45,598} = 1,33,$$

$$\cos \varphi_{P.сил} = 0,60.$$

Расчёт по остальным группам потребителей аналогичен. Результаты расчётов по определению силовых нагрузок сведены в

Расчет нагрузок методом коэффициента спроса

Расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса

Для определения расчетных нагрузок по методу коэффициента спроса необходимо знать установленную мощность $P_{НОМ}$ группы приемников и коэффициенты мощности $\cos\varphi$ и спроса k_C данной группы, определяемые по справочным материалам.

Расчетную нагрузку группы однородных по режиму работы приемников определяют по формулам:

$$P_p = k_C \cdot P_{НОМ}; \quad (*) .1$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (*) .2$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (*) .3$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ соответствует $\cos\varphi$ данной группы электроприемников.

В соответствии с (*.1)-(*.3) определяем:

$$P_p = 0,00 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,00 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ кВар};$$

$$S_p = \sqrt{0,00^2 + 0,00^2} = 0,00 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 1

Таблица 1 Результаты расчета электрических нагрузок

Наименование электропотребителя	наим. (номинальная) Мощность	Кол-во	коэффициент спроса k_C	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	активная мощность P_p ,	реактивная мощность	полная мощность S_p , кВ·А
	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого	0,00	0	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Определение расчетной силовой нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса является приближенным методом расчета, поэтому его применение рекомендуют для предварительных расчетов и определения общезаводских нагрузок.

Для справки: применение формулы (*.1) независимо от числа электроприемников представляет собой лишь грубо эмпирический метод оценки порядка величины расчетной нагрузки, но не метод её определения. До выхода в свет “Временных руководящих указаний по определению расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, 1961г” этот приём расчета широко применялся на практике. Были попытки уточнения метода коэффициента спроса, однако внесенные уточнения условны и не касаются, в частности, главного недостатка – не учета зависимости величины коэффициента спроса от числа электроприемников в группе.

Расчет нагрузок освещения

Раздел 4

Проектирование релейной защиты и АВР

Раздел 5.

Проектирование заземляющих устройств и молниезащиты

Расчет заземления

Расчет заземления для одиночного глубинного заземлителя на основе модульного заземления производится как расчет обычного вертикального заземлителя из металлического стержня диаметром 14,2 мм.

Формула расчета сопротивления заземления одиночного вертикального заземлителя:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right]$$

где:

ρ – удельное сопротивление грунта (Ом*м)

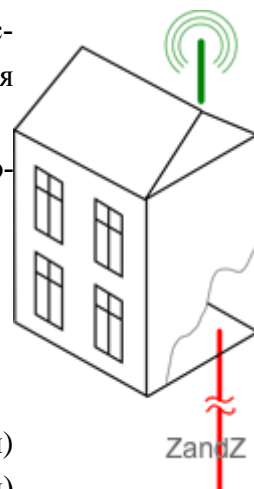
L – длина заземлителя (м)

d – диаметр заземлителя (мм)

T - заглубление заземлителя (расстояние от поверхности земли до середины заземлителя) (м)

π - математическая константа Пи (3,141592)

\ln - натуральный логарифм



Для готовых комплектов модульного заземления Z_{andZ} формула расчета сопротивления упрощается до вида:

$R_1 = 0,0868\rho$ - для комплекта ZZ-000-015

$R_1 = 0,0472\rho$ - для комплекта ZZ-000-030

где:

ρ – удельное сопротивление грунта (Ом*м)

Для расчета взяты следующие величины:
 $L = 15$ (30) метров
 $d = 0,014$ метра = 14 мм

$T = 8$ (15,5) метров: с учетом заглубления электрода на глубине 0,5 метра

Сопротивление заземления

Сопротивление заземления (сопротивление растеканию электрического тока) определяется как величина "противодействия" растеканию электрического тока в земле, поступающего в нее через заземлитель.

Измеряется в Омах и должно иметь минимально низкое значение. Идеальный случай - нулевая величина, что означает отсутствие какого-либо сопротивления при пропускании "вредных" электротоков, что гарантирует их ПОЛНОЕ поглощение землей.

Так как идеала достигнуть невозможно, все электрооборудование и электроника создаются исходя из некоторых нормированных величин сопротивления заземления = 60, 30, 15, 10, 8, 4, 2, 1 и 0,5 Ома.

- для домов, с подключением к электросети 220 Вольт однофазного тока или электросети 380 Вольт трехфазного тока, необходимо иметь локальное заземление с сопротивлением не более **30 Ом** (ПУЭ 1.7.103).

При этом суммарное сопротивление заземления к которому присоединены нейтрали трансформатора / генератора (локальное + всех повторных + заземления трансформатора / генератора) должно быть не более **4 Ом** при линейных напряжениях 380 В источника трехфазного тока или 220 В источника однофазного тока (ПУЭ 1.7.101).

- при подключении газопровода к дому должно выполняться стандартное требование для заземления дома. Однако из-за использования опасного оборудования необходимо выполнять заземление с сопротивлением не более **10 Ом** (ПУЭ 1.7.103; для всех повторных заземлений)

- для заземления, использующегося для подключения молниеприемников, сопротивление заземления должно быть не более **10 Ом** (РД 34.21.122-87, п. 8)

- для источника тока (генератора или трансформатора) сопротивление заземления должно быть не более **2, 4 и 8 Ом** соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока (ПУЭ 1.7.101)

- при подключении телекоммуникационного оборудования, заземление обычно должно иметь сопротивление не более **2 или 4 Ом**

- для подстанции 110/... кВ сопротивление растеканию токов должно быть не более **0,5 Ом** (ПУЭ 1.7.90)

Приведенные выше нормы сопротивления заземления справедливы для нормальных грунтов с удельным электрическим сопротивлением не более 100 Ом*м (например, глина / суглинки).

Если грунт имеет более высокое удельное электрическое сопротивление - то часто (но не всегда) минимальные значения сопротивления заземления повышаются на величину **0,01** от удельного сопротивления грунта.

Например, для песчаных грунтов с удельным сопротивлением 500 Ом*м - минимальное сопротивление локального заземления дома повышается до 150 Ом вместо 30 Ом.

Расчет сопротивления заземления

Для расчета сопротивления заземления существуют специальные формулы и методики, описывающие зависимости от описанных факторов. Они представлены на странице "Расчет заземления".

Качество заземления

Сопротивление заземления является основным качественным показателем заземлителя и напрямую зависит от:

- удельного сопротивления грунта
- конфигурации заземлителя, в частности: площади электрического контакта электродов заземлителя с грунтом

Удельное сопротивление грунта

Параметр определяет собой уровень "электропроводности" земли как проводника = как хорошо будет растекаться в такой среде электрический ток, поступающий от заземлителя. Чем меньший размер будет иметь эта величина, тем меньше будет сопротивление заземления.

Удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м) - это измеряемая величина, зависящая от состава грунта, размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, его влажности и температуры, концентрации в нем растворимых химических веществ (солей, кислотных и щелочных остатков).

Обычно используется таблица ориентировочных величин "удельное сопротивление грунта", т.к. его точное измерение возможно только в ходе проведения специальных геологических изыскательных работ.

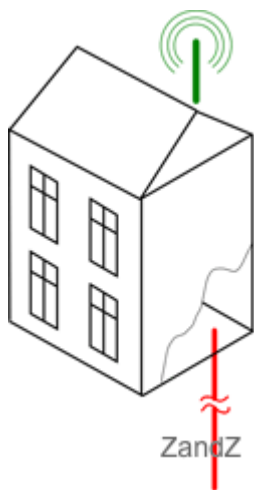
Конфигурация заземлителя

Сопротивление заземления напрямую зависит от площади электрического контакта электродов заземлителя с грунтом, которая должна быть как можно большей. Чем больше площадь поверхности заземлителя, тем меньше сопротивление заземления.

Чаще всего, из-за наименьшей сложности монтажа, в роли заземлителя используется вертикальный электрод в виде стержня/трубы/уголка.

Для увеличения площади контакта заземлителя с грунтом:

- увеличивается длина (глубина) электрода
- используется несколько соединенных вместе коротких электродов, размещенных на некотором расстоянии друг от друга (контур заземления). В таком случае площади единичных электродов просто складываются вместе, что подробно описано на отдельной странице о расчете заземления.



Выбор напряжения

Выбор напряжения питающих сетей зависит от напряжений сетей энергосистемы в данном районе, от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, числа и мощности электроприемников (электродвигателей, электропечей, преобразователей и пр.). При неоднозначности выбора величины напряжения следует проводить технико-экономическое сравнение различных вариантов. При равенстве или незначительной разнице затрат (5—10 %) предпочтение следует отдавать варианту с более высоким напряжением.

Рекомендации по выбору напряжения питающих сетей промышленных предприятий

Питание крупных энергоемких предприятий от сетей энергосистемы следует осуществлять на напряжении 110, 220 или 330 кВ. Напряжение 110 кВ — при потребляемой мощности 10—150 МВА, напряжение 220 кВ и выше целесообразно применять при потребляемой мощности более 120—150 МВА. Напряжение 35 кВ имеет экономические преимущества при передаваемой мощности не более 10 МВА. Его применение целесообразно для удаленных насосных станций водозаборных сооружений промышленных предприятий, для распределения электроэнергии на предприятиях указанной мощности с помощью глубоких вводов в виде магистралей, к которым присоединяются трансформаторы 35/0,4 кВ или 35/10(6) кВ; а также для питания мощных электроприемников на предприятиях большой мощности.

Напряжение 10(6) кВ может быть использовано при питании предприятия от собственной электростанции, а также при небольшой потребляемой мощности и небольших расстояниях от предприятия до подстанции энергосистемы.

Рекомендации по выбору напряжений распределительных сетей высокого напряжения.

Распределительную сеть энергоемкого производства при сооружении нескольких подстанций глубокого ввода и питании их от УРП рекомендуется выполнять следующим образом:

- первая ступень распределения электроэнергии на напряжении 110кВ;
- вторая ступень распределения электроэнергии на напряжении 10 кВ.

Напряжение 35 кВ в качестве распределительного может быть применено на энергоемком предприятии с мощными специфическими электроприемниками (электропечи, преобразовательные установки и др.), для которых целесообразно создание локальной сети 35 кВ, не являющейся сетью общего назначения.

Питание этой сети осуществляется либо от трехобмоточных трансформаторов ГПП с обмоткой среднего напряжения 35 кВ, либо от специальных трансформаторов 110(330)/35 кВ. Напряжение 10 кВ рекомендуется в качестве основного для распределения электроэнергии по территории предприятия.

Использование напряжения в 6 кВ следует ограничивать и применять при следующих обстоятельствах:

- при питании предприятия от собственной электростанции на генераторном напряжении;
- при большом числе электродвигателей небольшой мощности (до 500 кВт);
- при реконструкции или расширении действующего предприятия, ранее запроектированного на данное напряжение.

При наличии на предприятии большого числа двигателей напряжением 6 кВ (более 20 % суммарной потребляемой мощности) целесообразна установка на главной понижающей подстанции трансформаторов с расщепленной обмоткой 110/10(6) кВ. В этом случае на территории предприятия выполняются сети двух напряжений:

- 10 кВ — для питания трансформаторов 10/0,4 кВ;
- 6 кВ — для питания электродвигателей.

Если электродвигатели напряжением 6 кВ составляют менее 20 % общего числа электродвигателей, целесообразна групповая установка трансформаторов 10/6 кВ. Использование в этом случае трансформаторов 110/10/6 кВ приведет к значительному завышению мощности трансформаторов, так как соотношение номинальных мощностей обмоток 100/50/50 %. Если доля двигателей напряжением 6 кВ превышает 80 % суммарной потребляемой мощности, то от выполнения сети 10 кВ можно отказаться.

В начале 60-х годов ГОСТом было введено напряжение 20 кВ. Применение этого напряжения во многих случаях может быть экономически оправданным для питающих и распределительных сетей предприятия, так как позволяет увеличить радиус обслуживания подстанций, уменьшить потери мощности, энергии, напряжения, сократить расход цветных металлов, в ряде случаев сократить число трансформаций напряжения [6]. При проектировании напряжение 20 кВ, как правило, не рассматривается, так как фактически не налажен выпуск электрооборудования на это напряжение.

Для распределения электроэнергии в электрических сетях переменного тока до 1 кВ могут применяться напряжения 380 и 660 В.

Напряжение 380 В получило широкое распространение на промышленных предприятиях с большим числом электродвигателей малой и средней мощности (до 200 кВт). Для питания двигателей мощностью выше 200 кВт используется напряжение 6 кВ. Достоинством использования напряжения 380 В является возможность совместного питания силовой и осветительной нагрузки, к недостаткам можно отнести следующее:

- имеют место большие потери мощности, энергии, напряжения, особенно в протяженных электрических сетях;
- возникает необходимость использования распределительной сети напряжением 6 кВ при наличии на предприятии двигателей мощностью 200—630 кВт.

С 1962 г. напряжение 500 В было заменено на напряжение 660 В. Технико-экономические расчеты [6, 7] показали целесообразность применения напряжения 660 В. Переход на напряжение 660 В дает следующие преимущества:

- повышается пропускная способность сети и уменьшаются потери энергии в ней;
- увеличивается радиус действия цеховых трансформаторных подстанций, что приводит к увеличению единичной мощности трансформаторов, уменьшению числа транс-

форматоров и, следовательно, сокращению числа линий и выключателей, питающих трансформаторную подстанцию;

- отпадает необходимость применения напряжения 6 кВ, что значительно упрощает схему электроснабжения;

- повышается предельная мощность двигателей за счет уменьшения тока статора двигателя, что дает экономию на стоимости двигателя и увеличение его КПД на 1,5—2 %.

Напряжение 660 В находит применение во многих отраслях промышленности: горнодобывающей, металлургической, химической, текстильной и др. При проектировании систем электроснабжения напряжение 660 В рекомендуется применять [5]:

- при значительной протяженности сетей низкого напряжения;
- когда основную часть электроприемников составляют низковольтные нерегулируемые электродвигатели мощностью свыше 10 кВт;
- если поставщики технологического оборудования (станков, автоматических линий, прессов, термического и сварочного оборудования, кранов и т. д.) обеспечивают поставку комплектующего электрооборудования и систем управления на напряжение 660 В.

При выборе напряжения 660 В возникает необходимость установки дополнительных трансформаторов 0,66/0,22 кВ и выполнения электрических сетей на напряжение 220 В для питания люминесцентных ламп, ламп накаливания, тиристорных преобразователей, установок контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИП и А), средств автоматизации электродвигателей мощностью до 0,4 кВт и др. Необходимость устройства для одного объекта сетей напряжением 660 и 220 В снижает эффективность использования напряжения 660 В.

Выбор напряжения электрических сетей постоянного тока зависит от требований технологического процесса и величины тока. Для Сетей, питающих электроприводы постоянного тока, используются напряжения 220 и 440 В. Для электроприводов постоянного тока с индивидуальными преобразователями используются и более высокие напряжения — 750 и 850 В. Для электролиза применяются напряжения 450 и 850 В.

Питание силовых и осветительных электроприемников при напряжении 380/220 В рекомендуется производить от общих трансформаторов при условии соблюдения требуемых норм по качеству электрической энергии.

Для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения, как правило, должно применяться напряжение не выше 220 В переменного или постоянного тока. В помещениях без повышенной опасности напряжение 220 В может применяться для всех стационарно установленных осветительных приборов независимо от высоты их установки.

Напряжение 380 В для питания осветительных приборов общего внутреннего и наружного освещения может использоваться при соблюдении следующих условий:

- ввод в осветительный прибор и независимый, не встроенный в прибор, пускорегулирующий аппарат выполняется проводами или кабелем с изоляцией на напряжение не менее 660 В;
 - ввод в осветительный прибор двух или трех проводов системы 660/380 В не допускается.
- В устройствах освещения фасадов зданий, установленных ниже 2,5 м от поверхности зем-

ли или площадки обслуживания, может применяться напряжение до 380 В при степени защиты осветительных приборов не ниже IP54.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения: в помещениях без повышенной опасности — не выше 220 В, в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — не выше 50 В. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных допускается для светильников напряжение до 220 В, в этом случае должно быть предусмотрено защитное отключение линии при токе утечки до 30 мА или разделяющий трансформатор.

Для питания светильников местного освещения с люминесцентными лампами может применяться напряжение не выше 220 В. При этом в помещениях сырых, особо сырых, жарких и с химически активной средой применение люминесцентных ламп для местного освещения допускается только в арматуре специальной конструкции. Для питаний переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должно применяться напряжение не выше 50 В.

При особо неблагоприятных условиях: опасность поражения электрическим током обусловлена теснотой, неудобным положением работающего, возможностью соприкосновения с большими металлическими хорошо заземленными поверхностями (например, работа в котлах) и в наружных установках для питания ручных светильников, должно применяться напряжение не выше 12 В.

Переносные светильники, предназначенные для подвешивания, настольные, напольные и т. п. приравниваются к стационарным светильникам местного стационарного освещения. Для переносных светильников, устанавливаемых на переставных стойках на высоте 2,5 м и более, допускается применять напряжение 380 В.

Схемы внешнего электроснабжения в значительной степени зависят от характеристик источников питания, числа приемных пунктов, их размещения на территории предприятия, наличия собственной электростанции, мощных электроприемников с резкопеременными, нелинейными, несимметричными нагрузками. Электроснабжение потребителей при имеющейся собственной ТЭЦ достаточной мощности чаще всего осуществляется от шин генераторного напряжения 6 или 10 кВ. В некоторых случаях в схемах внешнего электроснабжения предусматриваются связи источников питания с потребителями на генераторном напряжении 10(6) кВ, особенно для предприятий большой мощности с потребителями первой и второй категорий. Это позволяет существенно повысить надежность электроснабжения потребителей. Для того чтобы исключить влияние различных повреждений на работу генераторов, следует шире применять современные микропроцессорные системы релейной защиты и автоматики, обеспечивающие высокочувствительную многофункциональную диагностику повреждений, локализацию повреждений на отдельных участках сети и предотвращение перерастания локальных аварий в системные.

На промышленных предприятиях с потребителями первой и второй категорий, значительно удаленных от ТЭЦ, целесообразно сооружение собственного независимого источника питания. До последнего времени считалось, что создание собственных источников питания на предприятиях экономически нецелесообразно, за исключением источников питания для потребителей особой группы электроприемников первой категории. Но в ус-

ловиях рыночной экономики, при постоянном росте тарифов на электроэнергию, собственные источники питания — оправданное решение, позволяющее существенно повысить надежность электроснабжения потребителей первой и второй категорий [4].

Схемы внешнего электроснабжения могут быть кольцевыми, магистральными с односторонним и двухсторонним питанием и радиальными.

Кольцевые питающие сети применяются для крупных металлургических заводов, нефтеперерабатывающих предприятий [10] и др. На рис. 1.6.1 представлена схема кольцевой питающей сети 110 кВ, к которой присоединяются приемные пункты электроэнергии — узловые распределительные подстанции УРП1— УРП4, которые получают питание от двух территориально независимых источников питания: от ТЭЦ и подстанции энергосистемы по линиям 110 кВ. С шин 110 кВ УРП получают питание подстанции глубокого ввода.

На рис. 1.6.2 приведена схема электроснабжения крупного предприятия цветной металлургии, которое получает питание от двух территориально независимых источников питания: подстанции энергосистемы и ТЭЦ по линиям 110 кВ. Пунктами приема электроэнергии являются главная понизительная подстанция предприятия и подстанция электролиза. При построении схемы учитывают то, что преобразовательная подстанция электролиза является источником высших гармоник тока и напряжения. Ее питание осуществляется по отдельной линии 110 кВ от подстанции энергосистемы по схеме глубокого ввода. Для повышения надежности электроснабжения электролиза предусмотрена связь подстанции электролиза с ТЭЦ и ГПП по двухцепному токопроводу 10 кВ.

На рис. 1.6.3 представлена схема питания крупного химического комбината. Источником электрической и тепловой энергии предприятия служит собственная ТЭЦ. Недостающая электроэнергия передается от подстанции энергосистемы по радиальным линиям 220 кВ на приемный пункт — ГПП с автотрансформаторами напряжением 220/110/10 кВ. Для повышения надежности электроснабжения предусмотрена связь ГПП по магистральным линиям 110 кВ с другой подстанцией энергосистемы. Распределение электрической энергии по территории предприятия производится от ГПП на двух напряжениях — 110 и 10 кВ. По радиальным линиям глубокого ввода с шин 110 кВ ГПП получают питание мощные потребители химкомбината: стройбаза, фабрика, завод, остальные потребители получают питание с шин РУ 10 кВ ГПП.



Рис. 1.6.1. Схема внешнего электроснабжения крупного металлургического завода

Для предприятий средней мощности применяются радиальные и магистральные схемы питания с одним и более приемными пунктами. В схемах, представленных на рис. 1.6.4, питание предприятия осуществляется радиальными линиями от подстанции энергосистемы и собственной ТЭЦ. Если подстанция энергосистемы расположена на значительном расстоянии от предприятия, то используется схема, в которой питающая сеть выполняется на напряжениях 35, 110 или 220 кВ, а приемным пунктом электроэнергии служит главная понизительная подстанция предприятия (рис. 1.6.4, а).

При небольшом расстоянии от подстанции энергосистемы питающая сеть может быть выполнена на напряжение 10(6) кВ, в этом случае приемным пунктом служит центральная распределительная подстанция предприятия (рис. 1.6.4, б).

На рис. 1.6.5 представлены схемы внешнего электроснабжения предприятия при питании его от разных систем (секций) шин районной подстанции энергосистемы с приемными пунктами:

- главная понизительная подстанция (рис. 1.6.5, а)
- центральная распределительная подстанция (рис. 1.6.5, б)
- подстанции глубокого ввода (рис. 1.6.5, в).

При наличии на предприятии электроприемников первой, второй категорий пункты приема электроэнергии должны иметь два трансформатора, две секции шин, запитываемые не менее чем по двум линиям от разных систем (секций) шин подстанции энергосистемы.

Предпочтительным является вариант, когда линии выполняются на отдельных опорах и идут по разным трассам.

Выбор пропускной способности питающих линий производится таким образом, чтобы при выходе одной из линий оставшиеся обеспечивали питание электроприемников первой и второй категорий.

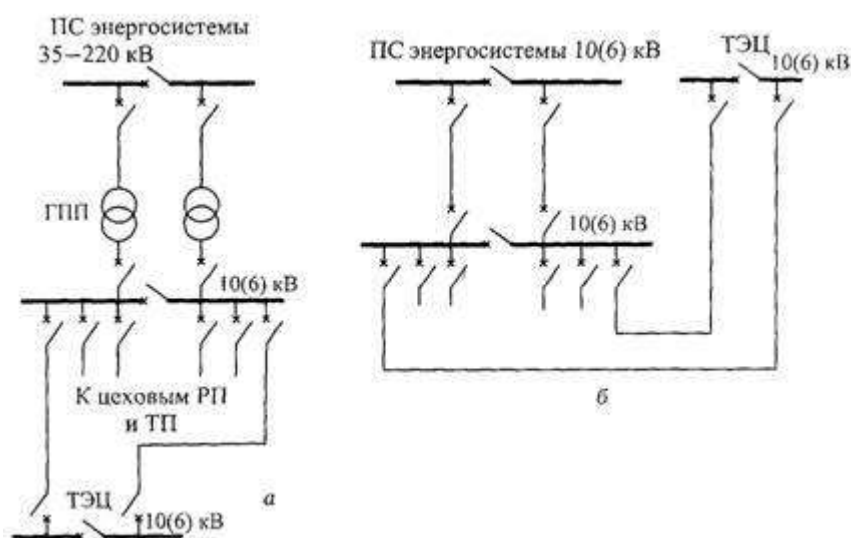


Рис. 1.6.4. Схемы внешнего электроснабжения предприятий средней мощности с приемным пунктом электроэнергии: а — ГПП; б — ЦРП

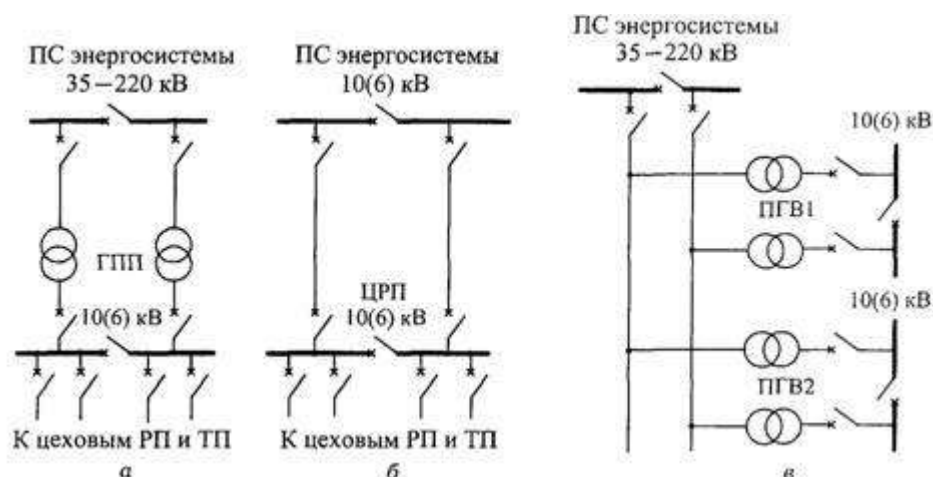


Рис. 1.6.5. Схемы внешнего электроснабжения предприятий средней мощности с приемным пунктом электроэнергии: а — ГПП; б — ЦРП; в — ПГВ

Решение о питании промышленного предприятия от сетей энергосистемы напряжением 35 кВ следует принимать при невозможности питания предприятия на других напряжениях. В зависимости от потребляемой мощности и состава электроприемников в качестве приемных пунктов могут быть применены: трансформаторная подстанция 35/10(6) кВ с трансформаторами мощностью 1,6—10 МВА и (или) трансформаторные подстанции 35/0,4 кВ с трансформаторами мощностью до 2,5 МВ-А. Пример выполнения питающей сети по схеме глубокого ввода напряжением 35 кВ приведен на рис. 1.6.6.

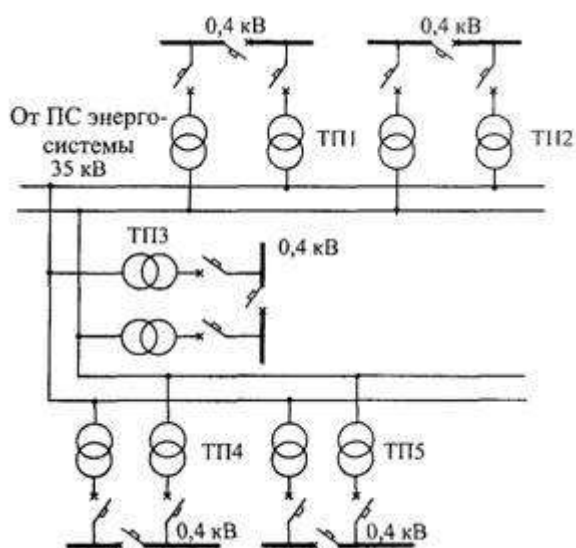


Рис. 1.6.6, Схема глубокого ввода напряжением 35 кВ

Глубокие вводы 35-220 кВ - Схемы электроснабжения промышленных предприятий

Глубокие вводы широко применяются в схемах внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий и считаются наиболее прогрессивными схемами электроснабжения. Их применение позволяет [7]:

- расположить подстанции глубокого ввода в крупных узлах потребления электроэнергии (электролизные установки, прокатные станы, азотно-кислородные станции и т. д.);
- исключить промежуточные РП, так как их функции выполняют РУ вторичного напряжения подстанций глубокого ввода;
- использовать упрощенные схемы первичной коммутации ПГВ;
- резко сократить протяженность электрических сетей напряжением 10(6) кВ, а следовательно, уменьшить потери мощности, энергии, напряжения в этих сетях, протяженность кабельных эстакад, число используемой коммутационной и защитной аппаратуры;
- уменьшить емкостные токи в сетях 10(6) кВ, что позволяет во многих случаях обойтись без установок компенсации емкостных токов;
- осуществить питание характерных групп электроприемников с нелинейными, резкопеременными, ударными нагрузками отдельными линиями непосредственно от подстанций глубокого ввода, что позволяет значительно уменьшить влияние данных нагрузок на систему электроснабжения и повысить качество электрической энергии;
- повысить надежность электроснабжения и уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные издержки на систему электроснабжения.

Схемы глубоких вводов напряжением 110—220 кВ выполняются воздушными или кабельными линиями, схемы глубоких вводов 330 кВ и выше — воздушными линиями.

Применение воздушных линий целесообразно при невысокой плотности застройки промышленной площадки. В целях снижения отчуждаемой под воздушную линию площади допускается прохождение линий над всеми несгораемыми зданиями и сооружениями, за исключением взрывоопасных установок. При выборе высоты опор воздушной линии должна учитываться возможность прокладки под проводами воздушных линий трубопроводов, транспортных и других коммуникаций. В обоснованных случаях может оказаться целесообразным применение специальных опор для увеличения длины пролетов. Все большее применение в системах электроснабжения предприятий находят кабельные линии напряжением 110—220 кВ. Разработка новых конструкций кабелей и совершенствование технических решений по прокладке кабельных линий способствует их широкому применению.

Маслонаполненные кабельные линии низкого давления требуют повышенного внимания со стороны обслуживающего персонала, так как имеют маслосистему, а в отдельных случаях и систему охлаждения, которые считаются ненадежными звеньями кабельных линий. Прокладка данных линий осуществляется в лотках, земле, траншеях, каналах и ниже зоны промерзания, а также с устройством специальных колодцев для муфт. Прокладка маслонаполненных кабелей в тоннелях не рекомендуется из-за значительной стоимости [5].

Кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляцией) имеют более высокие технико-экономические показатели по сравнению с маслонаполненными кабельными линиями. Это позволило рекомендовать их в качестве основных для применения в сетях 110—220 кВ промышленных предприятий при высокой плотности застройки

Число разукрупненных ПГВ 35—220 кВ зависит от плотности, размещения и концентрации электрических нагрузок. Наибольшее применение система разукрупнения подстанций 110—220 кВ находит при нагрузках, размещенных во многих пунктах на большой территории, например на горно-обогатительных комбинатах, карьерах и т. п., на которых число подстанций, подключаемых к линиям глубоких вводов, доходит до 10—12. На предприятиях или участках предприятий с более концентрированными нагрузками, на которых имеются крупные электропечи, мощные электродвигатели, электролизные ванны и т. п., мощность ПГВ 35—220 кВ более значительна, а их число меньше (до трех-четырех).

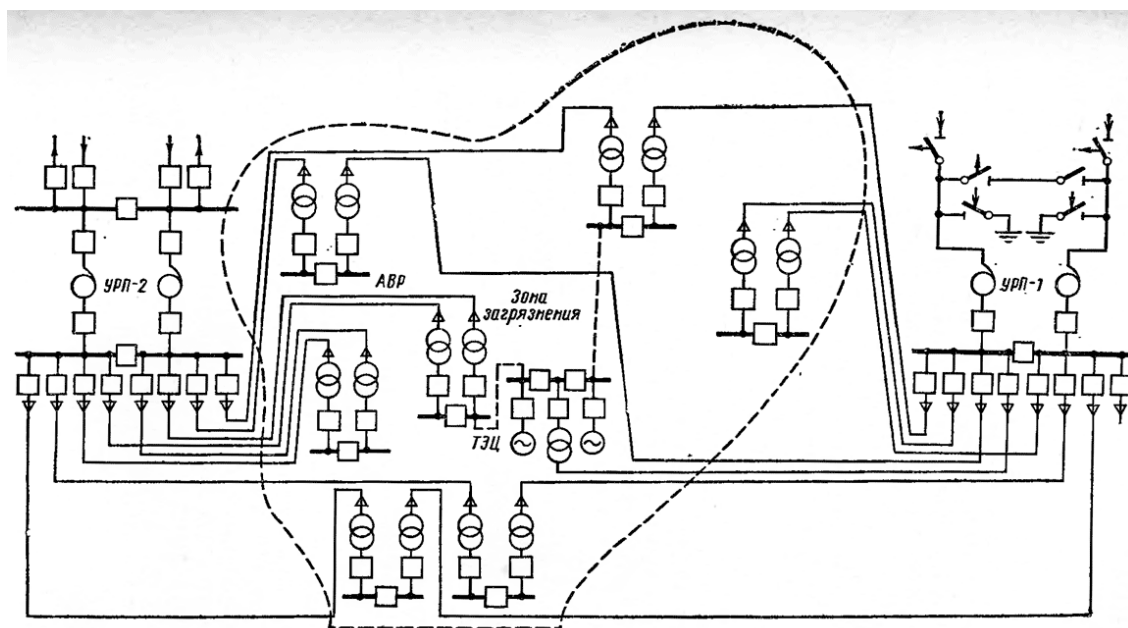


Рис. 3. Схема электроснабжения с применением радиальных глубоких вводов 110—220 кВ.

На рис. 3 приведен пример схемы электроснабжения с применением радиальных глубоких вводов 110—220 кВ. Предприятие имеет ответственные нагрузки, расположенные в загрязненных зонах. Поэтому питание каждой ПГВ предусмотрено от двух УРП, расположенных с противоположных сторон территории, что исключает одновременное попадание обоих УРП в факел загрязнения и обеспечивает питание в разных аварийных ситуациях. Эта схема дороже схемы, представленной на рис. 2, но значительно надежнее ее.

Основными преимуществами системы глубоких вводов и разукрупненных подстанций 35—220 кВ являются резкое упрощение и, следовательно, удешевление распределительной сети с одновременным повышением ее общей надежности. Отпадают промежуточные распределительные пункты (РП), необходимые при крупных ГПП, так как при разукрупненных подстанциях 110—220 кВ функции РП выполняют их распределительные устройства вторичного напряжения (6—10 кВ), следовательно, отпадает одна ступень электроснабжения, а иногда сокращается и число ступеней трансформации. Распределение энергии на первой ступени производится при повышенном напряжении, т. е. с минимальными потерями энергии, наименьшими затратами проводникового металла и с меньшими капи-

таловложениями.

Резко сокращаются распределительные сети вторичного напряжения 6—10 кВ, а следовательно, значительно уменьшается протяженность дорогих кабельных линий в тоннелях и других канализациях. Они сохраняются только на относительно небольших участках около цехов и внутри них. Сокращение кабельных сетей, кроме экономии, повышает надежность системы, так как в крупных кабельных тоннелях имели место тяжелые аварии, вызывавшие длительные простои производства и большие убытки. Общая надежность электроснабжения повышается также и потому, что зона аварии резко сокращается, так как отключается при аварии только одно сравнительно небольшое звено, которое легче восстановить, чем при мощных ГПП. Разукрупнение подстанций глубоких вводов дает еще следующие дополнительные преимущества.

Уменьшаются рабочие токи и токи к. з. на вторичном напряжении этих сравнительно небольших подстанций. Следовательно, упрощается коммутация. В ряде случаев можно обойтись без реактирования линий или же применить групповые реакторы в цепях трансформаторов. Не требуется дорогих громоздких многоамперных выключателей типа МГГ на вводах и на секциях. Значительно облегчается задача регулирования напряжения (см. §6). Упрощается развитие электроснабжения, которое решается более просто и дешево, в большинстве случаев путем сооружения новых подстанций в центрах вновь возникающих нагрузок, а не путем расширения существующих подстанций, как это делалось ранее при мощных ГПП. В то же время и на разукрупненных ПГВ обычно предусматривается при выдаче строительного задания на фундаменты и маслосборное устройство возможность замены установленных трансформаторов на трансформаторы большей мощности, а также возможность будущего расширения (РУ) 6—10 кВ. Необходимо подчеркнуть, что без применения приведенных выше упрощенных схем ПГВ и ГПП практически невозможно было бы внедрение глубоких вводов и системы децентрализации приема электроэнергии (или метода разукрупнения ГПП). Это стало возможным без уменьшения надежности электроснабжения благодаря применению автоматики: автоматического повторного включения (АПВ) на головном выключателе питающей линии 35—220 кВ и АВР на секционном выключателе вторичного напряжения 6—10 кВ (см. § 9). При помощи этой автоматики быстро восстанавливается питание при аварийном отключении линии или трансформатора. Поэтому описанные упрощенные схемы коммутации без выключателей на первичном напряжении ПГВ (ГПП) в случае применения двухтрансформаторных ПГВ и при наличии АВР на вторичном напряжении в большинстве случаев пригодны для питания потребителей любой категории. Однако время действия устройств защиты и автоматики, требующееся для восстановления питания при авариях, должно быть минимальным. В противном случае затрудняется и осложняется, а иногда становится невозможным самозапуск электродвигателей, в связи с чем может расстроиться сложный технологический процесс. Поэтому при определенных условиях, перечисленных в п. 4, может возникнуть необходимость в применении выключателей на вводах к трансформаторам ПГВ или ГПП (см. рис. 1, з, и, к).

Необходимо отметить особенности выполнения релейной защиты и автоматики в тех случаях, когда на вторичном напряжении упрощенных подстанций с короткозамыкателями и отделителями присоединены крупные синхронные двигатели СД, синхронные компенсаторы, линии связи с ТЭЦ. Эти источники дают подпитку короткого замыкания на стороне первичного напряжения 110—220 кВ при питании ПГВ или ГПП по магистральным схемам. Дело в том, что при коротком замыкании между отделителем п/ст 1 и выключателем, установленным на стороне вторичного напряжения этой подстанции (рис. 4,а), выключатели 2 иг Н1 и И2 хотя и будут отключены, но к месту короткого замыкания будет протекать ток от синхронных двигателей, приключенных к шинам вторичного напряжения п/ст 2.

Системы заземления электроустановок напряжением до 1 кВ (ПУЭ 1.7)

Электрические сети напряжением до 1 кВ переменного тока могут выполняться с глухозаземленной или с изолированной нейтралью. До 1995 г. в России электроустановки напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью выполнялись четырехпроводными: три фазы и нулевой проводники, нейтраль трансформатора или другого источника питания присоединялась к земле (заземляющему устройству) через малое сопротивление. Нулевой проводник соединялся с нейтралью трансформатора и выполнял функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. По принятым в настоящее время стандартам такая система заземления относится к системе TN-C с PEN проводником. Система TN-C получила очень широкое распространение в промышленных, городских и сельских сетях благодаря своему основному преимуществу — наличию двух стандартных напряжений: фазному и линейному. Данная система заземления достаточно проста, экономична, но не обеспечивает должный уровень электробезопасности [12]. С середины 90-х годов в качестве государственных стандартов были приняты международные стандарты [МЭК 364 (ГОСТ Р 50571—94)], требования которых были включены в ПУЭ. Новые требования к выполнению систем заземления привели к существенным изменениям при проектировании электроснабжения жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Так, было запрещено использовать систему заземления TN-C. Вместо нее были предложены новые системы: TN-C-S и TN-S, в которых нулевой рабочий и нулевой защитный проводники во всей сети или в ее части работают отдельно.

Типы систем заземления. ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3—93) предусматривает три типа систем заземления электрических сетей: TN, TT, IT. Система TN в зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников разделяется на три вида: TN-C, TN-C-S и TN-S.

В обозначении системы заземления первая буква (I или T) определяет тип заземления нейтрали трансформатора. Буква «I» означает, что нейтраль трансформатора изолирована от земли или связана с землей через сопротивление или разрядник. Буква «T» указывает на прямую связь по меньшей мере одной точки сети (нейтрали трансформатора) с землей. Вторая буква характеризует связь с землей открытых проводящих частей электро-


установки. Буква «Т» означает прямое соединение открытых проводящих частей¹ электроустановки с землей без связи их с нейтралью трансформатора. Буква «N» указывает на прямое соединение открытых проводящих частей электроустановки с заземленной нейтралью посредством PEN или PE проводников. Последующие буквы характеризуют устройство нулевого защитного и нулевого рабочего проводников. Буква «С» означает, что функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN проводнике), буква «S» — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками.


В системах заземления используются следующие нулевые проводники:

- N проводник — нулевой рабочий проводник, который служит для питания однофазных электроприемников и для подключения к нему нулевых точек трехфазных электроприемников;
- PE проводник — нулевой защитный проводник, соединяющий зануляемые части (корпуса) электроприемников с заземленной нейтралью трансформатора или генератора в сетях переменного трехфазного тока или с заземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока;
- PEN проводник выполняет функции PE проводника и N проводника. PEN проводник присоединяется к заземленной нейтрали вторичной обмотки трансформатора или генератора, может иметь повторное заземление в других точках сети.

Система TN — система, в которой нейтраль трансформатора или другого источника питания глухо заземлена (соединена с землей в одной или нескольких точках), а все доступные прикосновению открытые проводящие части электроустановки соединяются с заземленной точкой с помощью PEN или PE и N проводников. Проводимость PEN проводника, идущего от нейтрали трансформатора или генератора, должна быть не менее 50 % проводимости фаз.

В качестве N проводника следует использовать дополнительную жилу провода или кабеля (четвертая жила в сетях переменного трехфазного тока).

N -  - нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

PE -  - защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

PEN -  - совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

В качестве защитных проводников (PEN и PE проводников) должны быть в первую очередь использованы специально предусмотренные для этой цели проводники, в том числе жилы кабелей, изолированные провода в общей оболочке с фазными проводами, стационарно проложенные неизолированные или изолированные проводники. В качестве

PEN или PE проводников между нейтралью и щитом распределительного устройства следует использовать: при выводе фаз шинами — шину на изоляторах; при выводе фаз кабелем (проводом) — жилу кабеля (провода). Допускается использовать в качестве PEN и PE проводников следующие проводники, конструкции и элементы, если они обеспечивают непрерывность цепи заземления и удовлетворяют нормативным требованиям:

- алюминиевые оболочки кабелей;
- металлические конструкции и опорные конструкции шинопроводов;
- стальные трубы электропроводок;
- металлические конструкции зданий или сооружений (фермы, колонны);
- арматуру железобетонных конструкций и фундаментов зданий;
- металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и центрального отопления.

Система TN-C — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис. 1.9.1). В настоящее время система TN-C остается основной в питающих и распределительных сетях низкого напряжения промышленных предприятий.

В четырехпроводных сетях переменного трехфазного тока или трех-проводных сетях постоянного тока заземление нейтрали или средней точки источников тока является обязательным.

Открытые проводящие части электроустановки должны быть электрически соединены с заземленной нейтралью трансформатора или генератора в сетях переменного тока, с заземленной средней точкой источника питания — в сетях постоянного тока, т. е. должно быть выполнено зануление. Заземление корпусов электроприемников без их зануления недопустимо. Зануление предназначено для создания цепи короткого замыкания с малым сопротивлением при пробое одной из фаз на корпус электроустановки и для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

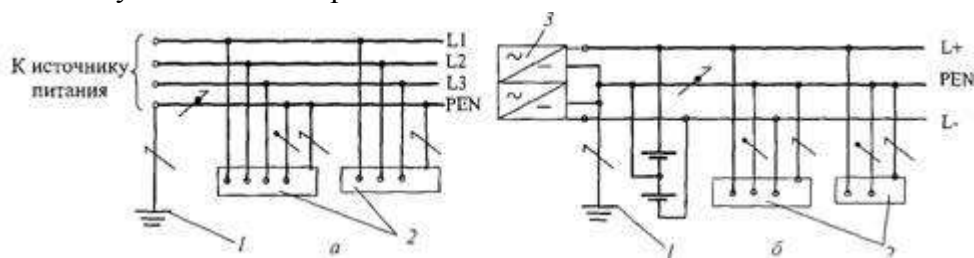


Рис. 1.9.1. Системы TN-C переменного (а) и постоянного (б) тока (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике): 1 — заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания; 2 — открытые проводящие части; 3 — источник питания постоянного тока

В системе TN-C предусматриваются устройства защиты от сверхтоков (коротких замыканий, перегрузок). Устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток (устройства защитного отключения — УЗО), как правило, не предусматриваются из-за неэффективности их применения.

Система TN-C-S является комбинацией систем TN-C и TN-S, в которой PEN проводник используется только в сети общего пользования. В какой-то точке сети PEN проводник разделяется на два проводника: PE и N проводники (рис. 1.9.2). После точки разделения PE и N проводники объединять запрещается, N проводник изолируется от корпуса, предусматриваются отдельные зажимы или шины для PE и N проводников. Разделение PEN проводника в системе TN-C-S обычно осуществляется на вводе в электроустановку (в здание). В точке разделения PEN проводник заземляется на повторный контур заземления.

Стандарты предъявляют следующие требования к PEN проводнику в системе TN-C-S:

- площадь сечения медного проводника должно быть не менее 10 мм²:

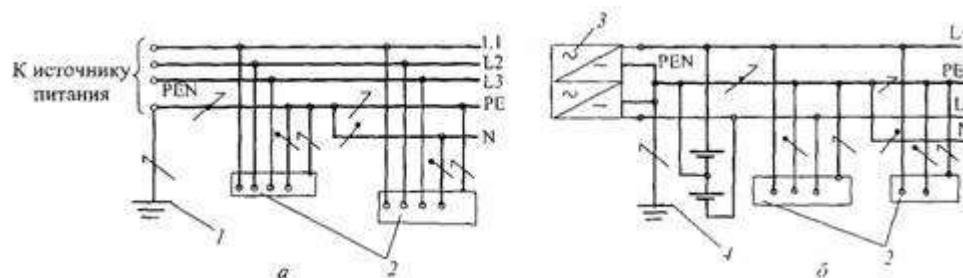


Рис. 1.9.2. Системы TN-C-S переменного (а) и постоянного (б) тока: / — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части; 3 — источник питания; 4 — заземлитель средней точки источника постоянного тока

- площадь сечения алюминиевого проводника должно быть не менее 16 мм²;
- часть электроустановки с PEN проводником не должна быть оснащена устройствами УЗО, реагирующими на дифференциальный ток.

Устройства защитного отключения в системе могут быть установлены только после разделения PEN проводника со стороны электроприемников. Система TN-C-S является наиболее перспективной для практического применения, так как она позволяет обеспечить более высокий уровень электробезопасности по сравнению с системой TN-C и не требует проводить реконструкцию существующей электрической сети.

Система TN-S имеет N и PE проводники, которые работают раздельно по всей системе. В системе TN-S устройство защитного отключения может устанавливаться в любой точке сети. В трехфазных сетях переменного тока для реализации системы TN-S требуется применять пятипроводные линии во всей сети от источника питания до электроприемника. Это делает систему TN-S более дорогой и сложной (рис. 1.9.3).

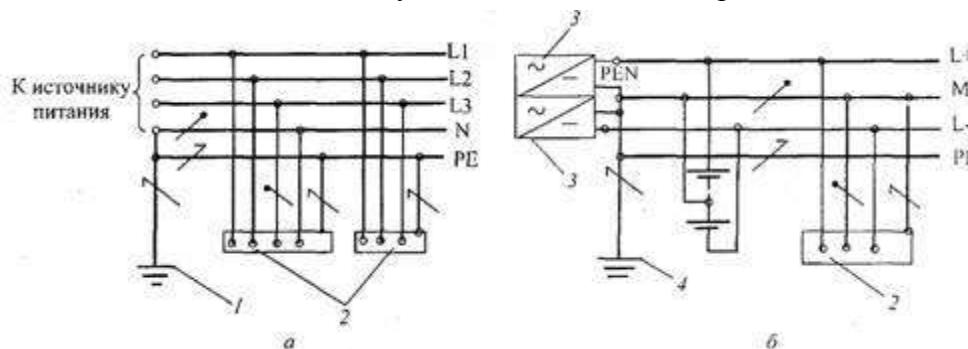


Рис. 1.9.3. Системы TN-S переменного (а) и постоянного (б) тока: / — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части; 3 — источники питания; 4 — заземлитель средней точки источника постоянного тока

Система IT — система с изолированной нейтралью (в установках постоянного тока с изолированной средней точкой), в которой нейтраль трансформатора или генератора изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление. Открытые проводящие части электроустановки заземлены (присоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали трансформатора или генератора). Систему следует применять при недопустимости перерыва электроснабжения электроприемников. Так как наиболее частые аварии в сетях с глухозаземленной нейтралью — однофазные короткие замыкания, то применение сетей с изолированной нейтралью позволяет не нарушать работу электроприемников в случае пробоя или нарушения изоляции в одной фазе. Сети с изолированными нейтралью применяются в шахтах, для передвижных установок, торфяных разработок, в отдельных цехах предприятий цветной металлургии и т. д.

Для сетей с изолированной нейтралью заземление корпусов электроприемников является обязательным. Кроме того, должен предусматриваться непрерывный контроль изоляции сети и обеспечена возможность быстрого отыскания замыканий на землю. В сетях системы IT предусматриваются защиты от сверхтоков, защита от замыканий на землю, могут применяться устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток. Защита от замыканий на землю должна действовать на отключение в тех случаях, когда это необходимо для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Система TT — система, в которой нейтраль трансформатора или генератора глухо заземлена, а открытые проводящие части заземлены с помощью заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника питания. Данная система заземления имеет ограниченную область применения. ГОСТ Р 50669—94 рекомендует использовать систему TT при проектировании и монтаже электроустановок зданий из металла (киосков, павильонов).

Классификация подстанций

Функционально подстанции делятся на трансформаторные, преобразовательные и распределительные.

Трансформаторные подстанции предназначены для приема, преобразования (тока и напряжения), распределения электрической энергии.

Преобразовательные подстанции предназначены для приема, преобразования (частоты, рода тока) и распределения электрической энергии.

Распределительные подстанции предназначены для приема и распределения электрической энергии без ее преобразования.

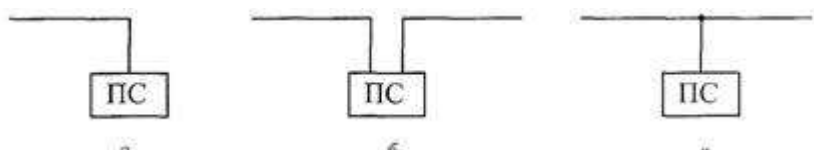
Трансформаторные подстанции по значению в системе электроснабжения делятся на главные понизительные подстанции, подстанции глубокого ввода, трансформаторные подстанции 10(6) кВ (ТП). Последние называются цеховыми подстанциями в промышленных сетях, городскими — в городских сетях.

Распределительные подстанции делятся на узловые распределительные подстанции напряжением 110 кВ и выше; центральные распределительные подстанции (пункты) напряжением 10(6) кВ; распределительные подстанции (пункты) напряжением 10(6) кВ.

В зависимости от способа присоединения подстанции к питающей линии трансформаторные подстанции делятся на тупиковые, проходные, ответвительные.

Если линия питает только одну подстанцию, то подстанция называется тупиковой (рис. 3.1.1, а). К тупиковым подстанциям относятся подстанции, получающие питание по радиальным схемам, и последние подстанции в магистральной схеме с односторонним питанием. Проходная подстанция включается в расщелку питающей магистральной линии, т. е. имеется вход и выход питающей линии (рис. 3.1.1, б).

Рис. 3.1.1. Схемы присоединения подстанций к питающей линии а — тупиковая, б — проходная, в — ответвительная



Если подстанция подключается через ответвление от питающей линии, она называется ответвительной (3.1.1, в).

По типу подстанции делятся на открытые и закрытые. Открытой подстанцией называется подстанция с открытой установкой трансформаторов, закрытой — подстанция, все элементы которой (распределительные устройства и трансформаторы) устанавливаются в специальном помещении.

В зависимости от места установки и размещения оборудования подстанции напряжением 10(6) кВ делятся на внутрицеховые, встроенные, пристроенные, отдельно стоящие.

Внутрицеховой подстанцией называется подстанция, расположенная внутри здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

Встроенной подстанцией называется подстанция, вписанная в контур основного здания.

Пристроенная подстанция непосредственно примыкает к основному зданию.

Отдельно стоящая подстанция располагается отдельно от производственных и общественных зданий.

В зависимости от числа обмоток трансформатора подстанции могут быть с двух- и трех-обмоточными трансформаторами, с расщепленными обмотками низшего напряжения.

Структурные схемы трансформаторных подстанций

Подстанция с двухобмоточными трансформаторами состоит из трех основных узлов: распределительного устройства высшего напряжения (РУВН); силового трансформатора или автотрансформатора¹ (одного или нескольких), распределительного устройства низшего напряжения (РУНН) (рис. 3.2.1, а, в), вспомогательных устройств (компрессорных, аккумуляторных и т. п.), устройств релейной защиты, автоматики, измерения. В подстанциях с трехобмоточными трансформаторами добавляется четвертый узел — распределительное устройство среднего напряжения (РУСН) (рис. 3.2.1, б). В схемах электроснабжения могут применяться трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения (рис. 3.2.1, в, д), что приводит к увеличению секций сборных шин в РУНН. Применение трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения позволяет уменьшить токи короткого замыкания за трансформаторами. С этой же целью на подстанциях могут устанавливаться сдвоенные реакторы (рис. 3.2.1, г, д).

1 В дальнейшем, если не требуется уточнений, под термином «трансформатор» будет подразумеваться и автотрансформатор.

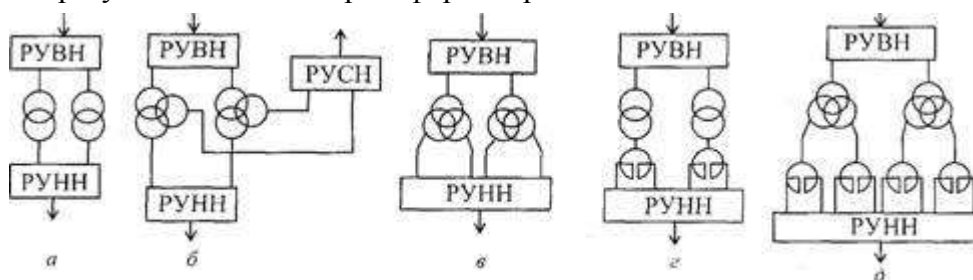


Рис. 3.2.1. Структурные схемы трансформаторных подстанций

Распределительное устройство высокого напряжения подстанции чаще всего выполняет функции приема электрической энергии от линии электропередачи к трансформатору. В отдельных случаях РУВН может выполнять функции приема и распределения электроэнергии (по требованию энергоснабжающей организации или при целесообразности питания от главной понизительной подстанции нескольких подстанций глубокого ввода на напряжениях 110—330 кВ).

Распределительные устройства средних и низших напряжений всегда выполняют функции приема и распределения электроэнергии. Аналогичные функции выполняют и распределительные подстанции. Идентичность функций определяет идентичность схем и конструкций распределительных устройств и распределительных подстанций, поэтому в дальнейшем под термином «распределительное устройство» может подразумеваться и распределительная подстанция.

Распределительные устройства могут быть комплектными, сборными, открытыми и за-

крытыми. При стесненной городской и промышленной застройке в распределительных устройствах может быть применено электрооборудование с элегазовой изоляцией. Проектирование подстанций регламентируется нормативными документами, разработанными институтами Энергосетьпроект и Тяжпромэлектропроект [25] и [26]. Проект подстанции разрабатывается на 5 лет с момента предполагаемого ввода ее в эксплуатацию и с перспективой развития на последующее время (не менее 5 лет).

Проектирование подстанций ведется на основе следующих утвержденных схем:

- схемы развития энергосистемы или электрических сетей города;
- схемы внешнего электроснабжения объекта (промышленного предприятия, микрорайона города и т. д.);
- схемы организации ремонта, технического и оперативного обслуживания;
- схемы развития средств управления общесистемного назначения (СУОН), включающие в себя релейную защиту и автоматику аварийного режима (РЗА), противоаварийную автоматику, а также схемы развития автоматизированных систем диспетчерского управления.

Исходными данными для проектирования служат:

- район размещения подстанции;
- нагрузки на расчетный период и их перспективное развитие с указанием распределения по напряжениям и категориям;
- число присоединяемых линий напряжением 35 кВ и выше, их нагрузки;
- число линий 10(6) кВ и их нагрузки;
- расчетные значения токов однофазного и трехфазного короткого замыкания с учетом развития сетей и генерирующих источников на срок не менее пяти лет, считая от предполагаемого ввода в эксплуатацию;
- уровни и пределы регулирования напряжения на шинах подстанции и необходимость дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электрической энергии;
- режимы заземления нейтралей трансформаторов;
- границы раздела обслуживания объектов различными энергообъединениями и энергопредприятиями и т. д.

При проектировании подстанций решаются следующие задачи:

- выбор площадки для строительства подстанции;
- выбор типа и исполнения подстанций и распределительных устройств (закрытого или открытого типа, комплектная, сборная и т. д.);
- определение схемы электрических соединений распределительных устройств высокого, среднего и низшего напряжений;
- ограничение токов короткого замыкания;
- выбор основного электротехнического оборудования и токоведущих частей;
- ограничение перенапряжений, выбор места установки, числа ограничителей перенапряжений или вентильных разрядников и других защитных средств для ограничения перенапряжений;
- заземление подстанций;

- выбор источников оперативного тока и источников питания собственных нужд подстанции;
- управление, релейная защита, автоматика, сигнализация.

Для трансформаторных подстанций дополнительно решаются следующие задачи:

- выбор числа трансформаторов, определение их мощности, номинальных напряжений, соотношения мощностей обмоток трехобмоточных трансформаторов;
- выбор режимов заземления нейтралей трансформаторов; при необходимости решается вопрос компенсации емкостных токов в электрических сетях 6—35 кВ (выбор места установки, числа и мощности дугогасящих реакторов);
- определение уровней и пределов регулирования напряжения на шинах подстанции, необходимости установки дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электрической энергии.

Основные рекомендации для решения вышеперечисленных вопросов приведены в [25].

Кроме того, Министерством энергетики РФ изданы «Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35—750 кВ» (Издательство НЦ ЭНАС, 2004 г.).

Основные элементы распределительных устройств

Распределительные устройства всех напряжений, осуществляющие прием и распределение электрической энергии, выполняются со сборными шинами. Распределительные устройства ВН трансформаторных подстанций, предназначенные только для приема электрической энергии (без ее распределения), выполняются без сборных шин по блочным, мостиковым и другим схемам.

Распределительное устройство со сборными шинами состоит из сборных шин, к которым через ответвительные шины подключаются различные присоединения:

- питающие линии (ввод);
- отходящие линии;
- секционирование;
- трансформаторы напряжения;
- трансформаторы для собственного обслуживания;
- заземляющие разъединители сборных шин и др.

Сборными шинами называются короткие участки шин жесткой или гибкой конструкции, обладающие малым электрическим сопротивлением, предназначенные для подключения присоединений.

По своему назначению сборные шины делятся на рабочие, резервные и обходные. Рабочая система шин в нормальном режиме находится под напряжением и осуществляет питание всех подключенных к ней присоединений. Резервная система шин служит для питания присоединений подстанции в случае ремонта или ревизии рабочей системы шин. В нормальном режиме резервная система шин находится не под напряжением. Обходная система шин применяется при повышенных требованиях к надежности электроснабжения и позволяет осуществлять контроль и ремонт любого коммутационного аппарата без отклю-

ния потребителей. В нормальном режиме обходная система шин не под напряжением. На всех присоединениях на участках от сборных шин до выключателей, предохранителей, трансформаторов напряжения и т. п., а также на участках, где возможна подача напряжения от других источников напряжения, обязательно устанавливаются разъединители, обеспечивающие видимый разрыв цепи. Указанное требование не распространяется на шкафы КРУ и КРУН с выкатными тележками, высокочастотные заградители и конденсаторы связи, трансформаторы напряжения, устанавливаемые на отходящих линиях, разрядники, устанавливаемые на вводах трансформаторов и на отходящих линиях.

Питающие и отходящие линии подключаются к сборным шинам через разъединители и выключатели. На каждую линию необходим один выключатель, один или два шинных разъединителя (в зависимости от применяемой системы сборных шин) и один линейный разъединитель (рис. 3.4.1, а, б). Выключатель служит для включения и отключения линии в нормальных и аварийных режимах. Шинный разъединитель предназначен для создания видимого отключения сети и создания безопасных условий для проведения контроля и ремонта выключателя, а также при двух системах шин — для переключения присоединений с одной системы шин на другую без перерыва в работе. Линейный разъединитель предусматривается в присоединениях, где при отключенном выключателе линия может оказаться под напряжением и необходимо видимое отключение линии для безопасного ремонта выключателя.

При использовании комплектных распределительных устройств выкатного исполнения выключатели, трансформаторы напряжения и другое оборудование устанавливаются на выкатных тележках. В этом случае на схеме указываются штепсельные разъемы (рис. 3.4.1, в).

В распределительных устройствах обязательно предусматриваются стационарные заземляющие ножи, обеспечивающие заземление аппаратов и ошиновки без применения переносных заземлителей. Распределительные устройства должны быть оборудованы оперативной блокировкой, исключающей ошибочные действия с разъединителями, выключателями, заземляющими ножами и т. д.

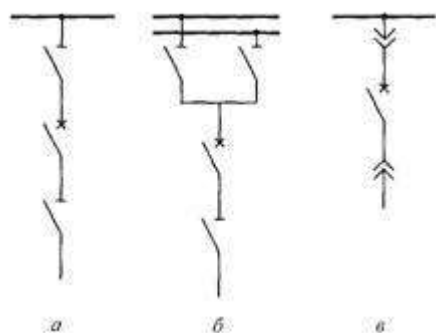


Рис. 3.4.1. Присоединения выключателей к сборным шинам: а — с одной системой шин; б — с двумя системами шин; в — с одной системой шин выкатного исполнения

На присоединениях питающих и отходящих линий кроме коммутационных аппаратов устанавливаются трансформаторы тока, на воздушных линиях напряжением 35 кВ и выше

— высокочастотные заградители и конденсаторы связи.

Трансформаторы напряжения устанавливаются на каждую систему шин, а если система шин делится на части (секции), то на каждую секцию шин. Трансформаторы напряжения подключаются к сборным шинам через разъединители и предохранители в РУ 6—35 кВ и через разъединители в РУ 110 кВ и выше.

При необходимости в распределительном устройстве предусматриваются трансформаторы для собственного обслуживания, которые служат для питания оперативных цепей, а также освещения технологических и вспомогательных зданий и сооружений подстанции. Трансформаторы для собственного назначения подключаются через предохранители до выключателей ввода, если ТСН используются для питания оперативных цепей, и на сборные шины, если ТСН не используются для питания оперативных цепей.

Применяются следующие схемы распределительных устройств [26]:

- с одной несекционированной системой шин;
- с одной секционированной системой шин;
- с двумя одиночными секционированными системами шин¹;
- с четырьмя одиночными секционированными системами шин²;
- с одной секционированной и обходной системами шин;
- с двумя системами шин;
- с двумя секционированными системами шин;
- с двумя системами шин и обходной;
- с двумя секционированными системами шин и обходной. Схема с одной несекционированной системой шин — самая простая

схема, которая применяется в сетях 6—35 кВ (рис. 3.4.2). В сетях 10(6) кВ схему называют одиночной системой шин. На отходящих и питающих линиях устанавливается один выключатель, один шинный и один линейный разъединители.

1 Для РУ 10(6) кВ ПС с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с одним трансформатором с расщепленной обмоткой и двумя сдвоенными реакторами.

2 Для РУ 10(6) кВ ПС с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой и двумя сдвоенными реакторами.

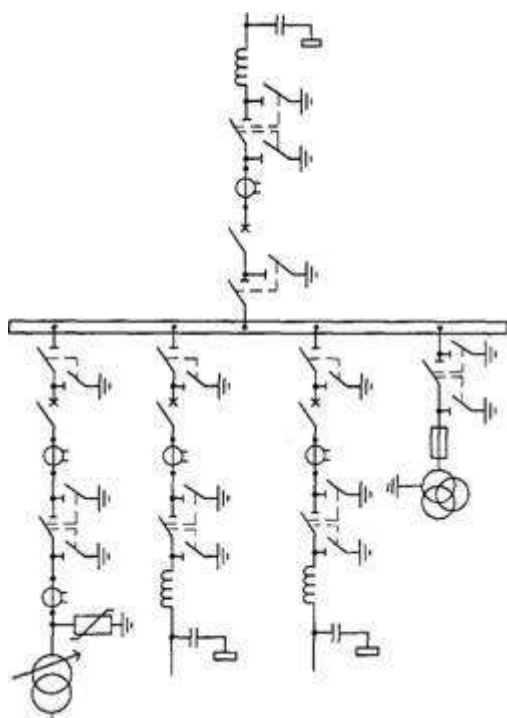


Рис. 3.4.2. Схема с одной системой шин

Недостатки данной схемы:

- в схеме используется один источник питания;
- профилактический ремонт сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением распределительного устройства, что приводит к перерыву электроснабжения всех потребителей на время ремонта;
- повреждения в зоне сборных шин приводят к отключению распределительного устройства;
- ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

Схема с одной секционированной выключателем системой шин (рис. 3.4.3) позволяет частично устранить перечисленные выше недостатки предыдущей схемы путем секционирования системы шин, т. е. разделения системы шин на части с установкой в точках деления секционных выключателей. Секционирование, как правило, выполняется так, чтобы каждая секция шин получала питание от разных источников питания. Число присоединений и нагрузка на секциях шин должны быть по возможности равными.

В нормальном режиме секционный выключатель может быть включен (параллельная работа секций шин) или отключен (раздельная работа секций шин). В системах электроснабжения промышленных предприятий и городов предусматривается обычно раздельная работа секций шин. Данная схема проста, наглядна, экономична, обладает достаточно высокой надежностью, широко применяется в промышленных и городских сетях для электроснабжения потребителей любой категории на напряжениях до 35 кВ включительно.

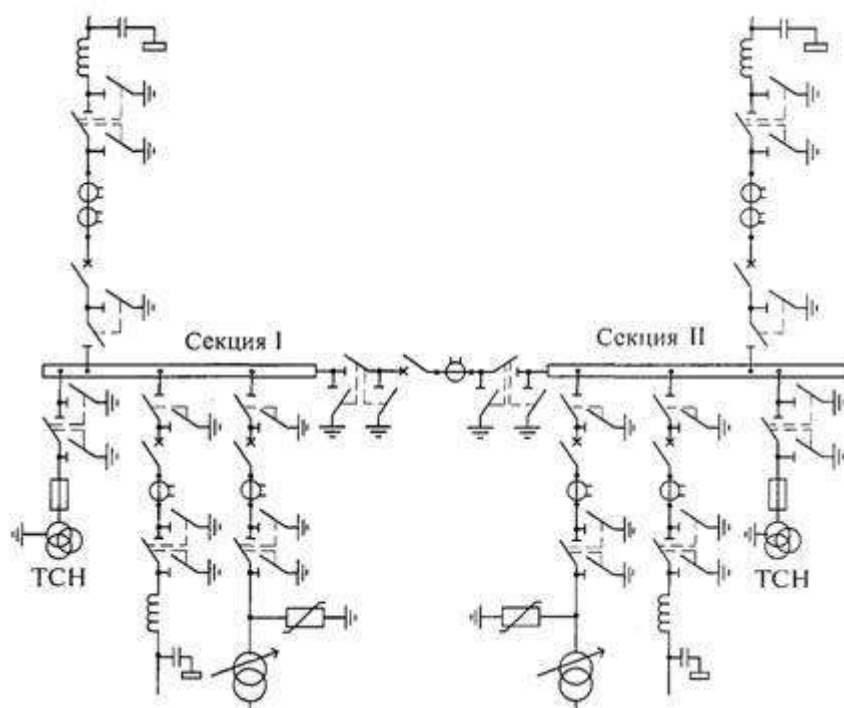


Рис. 3.4.3. Схема с одной секционированной системой шин

Допускается применять данную схему при пяти и более присоединениях в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии возможности замены выключателей в эксплуатационный период. В сетях 10(6) кВ эта схема имеет преимущество. По сравнению с одиночной несекционированной системой шин данная схема имеет более высокую надежность, так как при коротком замыкании на сборных шинах отключается только одна секция шин, вторая остается в работе.

Недостатки схемы с одной секционированной выключателем системы шин:

- на все время проведения контроля или ремонта секции сборных шин один источник питания отключается;
- профилактический ремонт секции сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением всех линий, подключенных к этой секции шин;
- повреждения в зоне секции сборных шин приводят к отключению всех линий соответствующей секции шин;
- ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

Вышеперечисленные недостатки частично устраняются при использовании схем с большим числом секций. На рис. 3.4.4 представлена схема РУ 10(6) кВ подстанции с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с двумя сдвоенными реакторами. Схема имеет четыре секции шин и называется «две одиночные секционированные выключателями системы шин». При наличии одновременно двух трансформаторов с расщепленной обмоткой и двух сдвоенных реакторов применяется схема, состоящая из восьми секций шин, которая называется «четыре одиночные секционированные выключателями системы шин» (рис. 3.4.5).

Схема с одной секционированной выключателем и обходной системами шин позволяет проводить ревизию и ремонт выключателей без отключения присоединения. В нормальном режиме обходная система шин находится без напряжения, разъединители, соединяющие линии и трансформаторы с обходной системой шин, отключены. В схеме могут быть установлены два обходных выключателя, осуществляющие связь каждой секции шин с обходной. В целях экономии средств ограничиваются одним обходным выключателем с двумя шинными разъединителями, с помощью которых обходной выключатель может быть присоединен к первой или второй секциям шин. Именно эта схема предлагается в качестве типовой для распределительных устройств напряжением 110—220 кВ при пяти и более присоединениях (рис. 3.4.6).

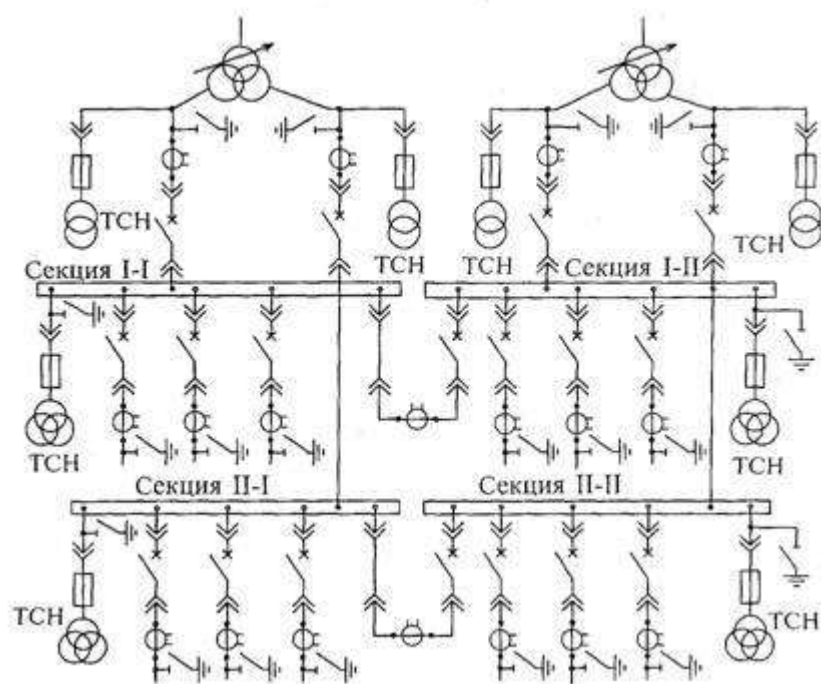


Рис. 3.4.4. Схема с двумя одиночными секционированными системами шин (ТСН при постоянном оперативном токе подключаются к сборным шинам)

Рис. 3.4.6. Схема с одной секционированной и обходной системами шин с обходным (Q1.)

и секционным (Q2) выключателями

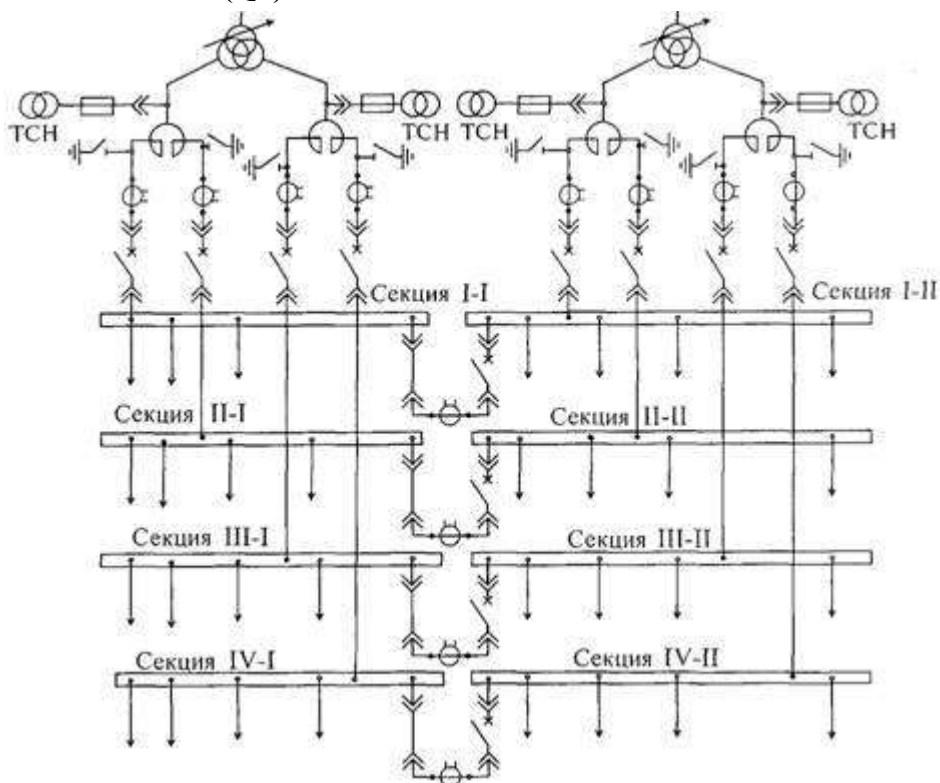
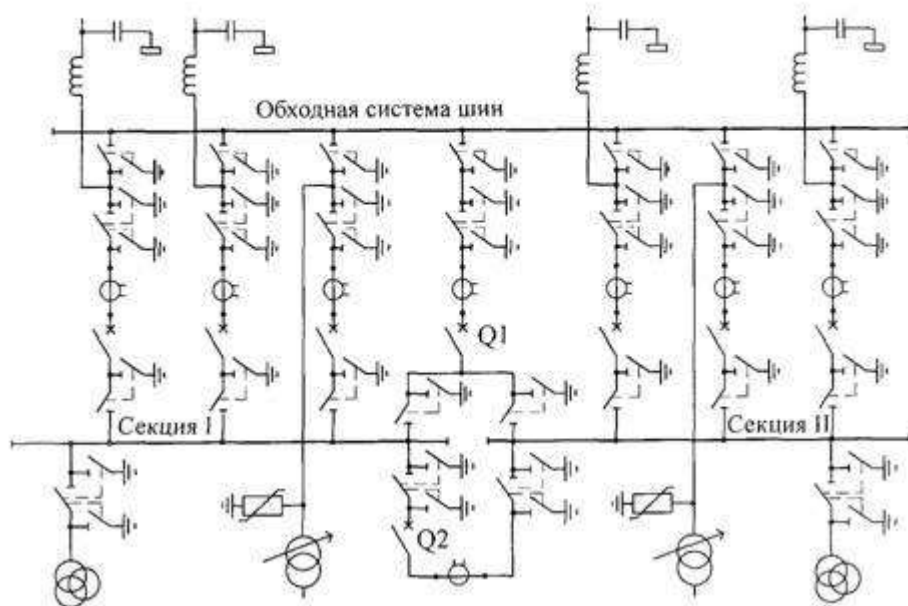


Рис. 3.4.5. Схема с четырьмя одиночными секционированными системами шин



В схеме с двумя системами сборных шин каждое присоединение содержит выключатель, два шинных разъединителя и линейный разъединитель. Системы шин связываются между собой через шинно-соединительный выключатель (рис. 3.4.7). Возможны два принципиально разных варианта работы этой схемы. В первом варианте одна система шин является рабочей, вторая — резервной. В нормальном режиме работы все присоединения подключены к рабочей системе шин через соответствующие шинные разъединители. Напряжение на резервной системе шин в нормальном режиме отсутствует, шинно-соединительный выключатель отключен. Во втором варианте, который в настоящее время получил наибольшее применение, вторую систему сборных шин используют постоянно в качестве рабочей

в целях повышения надежности электроустановки. При этом все присоединения к источникам питания и к отходящим линиям распределяют между обеими системами шин. Шинносоединительный выключатель в нормальном режиме работы замкнут. Схема называется «две рабочие системы шин».

Схема с двумя системами шин позволяет производить ремонт одной системы шин, сохраняя в рабочем состоянии все присоединения. Для этого все присоединения переводят на одну систему шин путем соответствующих переключений коммутационных аппаратов. Данная схема является гибкой и достаточно надежной.

Недостатки схемы с двумя системами шин:

- при ремонте одной из систем шин на это время снижается надежность схемы;

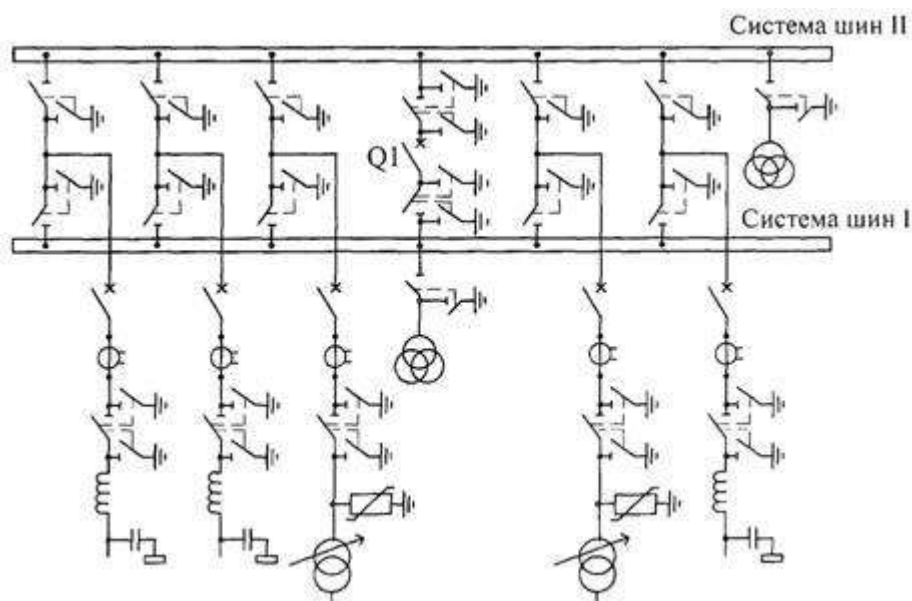


Рис. 3.4.7. Схема с двумя системами шин с шинносоединительным выключателем Q1

- при замыкании в шинносоединительном выключателе отключаются обе системы шин;
- ремонт выключателей и линейных разъединителей связан с отключением на время ремонта соответствующих присоединений;
- сложность схемы, большое число разъединителей и выключателей. Частые переключения с помощью разъединителей увеличивают вероятность повреждений в зоне сборных шин. Большое число операций с разъединителями и сложная блокировка между выключателями и разъединителями приводят к возможности ошибочных действий обслуживающего персонала.

Схему «две рабочие системы шин» допускается применять в РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15, если РУ выполнено из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время.

В РУ 110—220 кВ при числе присоединений более 15 делят сборные шины на секции с установкой в точках деления секционных выключателей (рис. 3.4.8). При этом должно предусматриваться два шинносоединительных выключателя. Таким образом, распределительное устройство делится на четыре части, связанные между собой двумя секционными и двумя шинносоединительными выключателями. Данная схема называется «две рабочие

секционированные выключателями системы шин». Она используется при тех же условиях, что и схема «две рабочие системы шин».

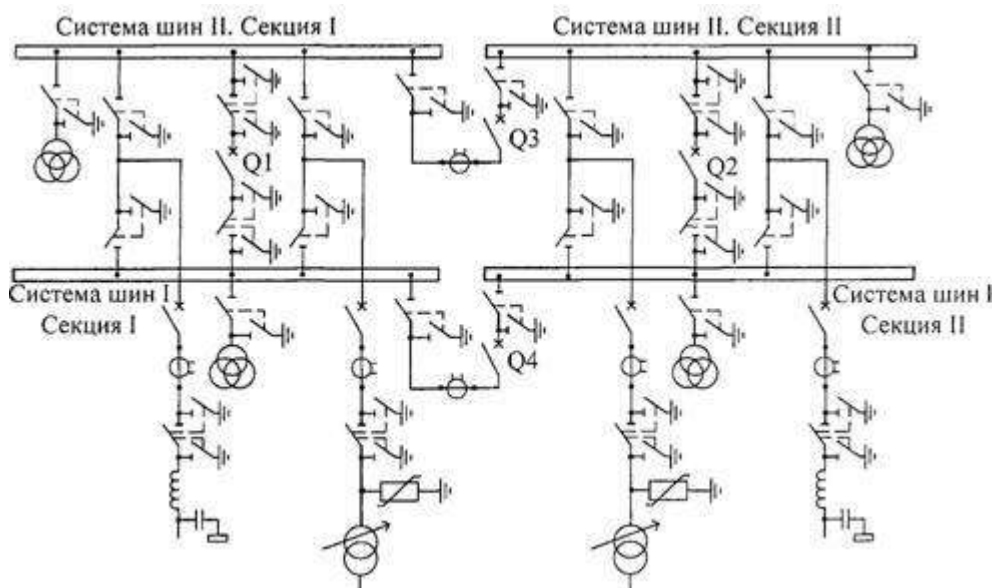


Рис. 3.4.8. Схема с двумя секционированными системами шин с двумя шиносоединительными (Q1, Q2) и двумя секционными (Q3, Q4) выключателями

Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным и обходным выключателями обеспечивает возможность поочередного ремонта выключателей без перерыва в работе соответствующих присоединений (рис. 3.4.9). Схема рекомендуется к применению в РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15. В нормальном режиме работы обе системы шин являются рабочими, шиносоединительный выключатель находится во включенном положении.

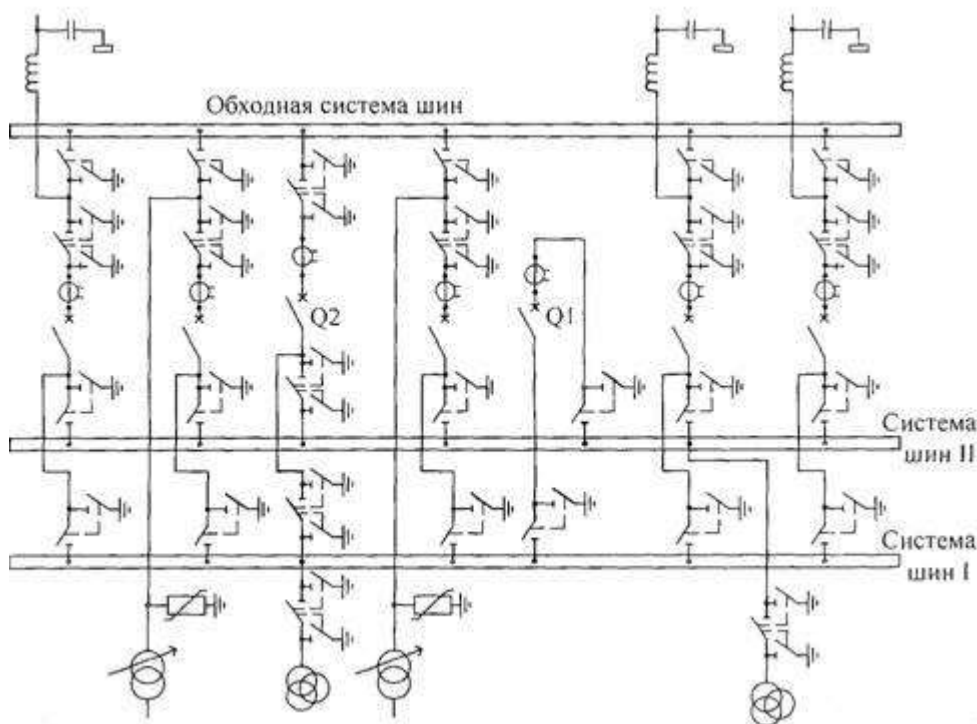


Рис. 3.4.9. Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным (Q1) и обходным (Q2) выключателями

При числе присоединений более 15 или более 12 и при установке на подстанции трех трансформаторов мощностью 125 МВА и более рекомендуется к применению схема «две рабочие секционированные выключателями и обходная системы шин» с двумя шиносоединительными выключателями и двумя обходными выключателями. Связь между секциями шин обеспечивается через секционные выключатели, которые в нормальном режиме отключены (рис. 3.4.10).

Рекомендации по применению данной схемы распределительных устройств 6—220 кВ приведены в табл. 3.4.1.

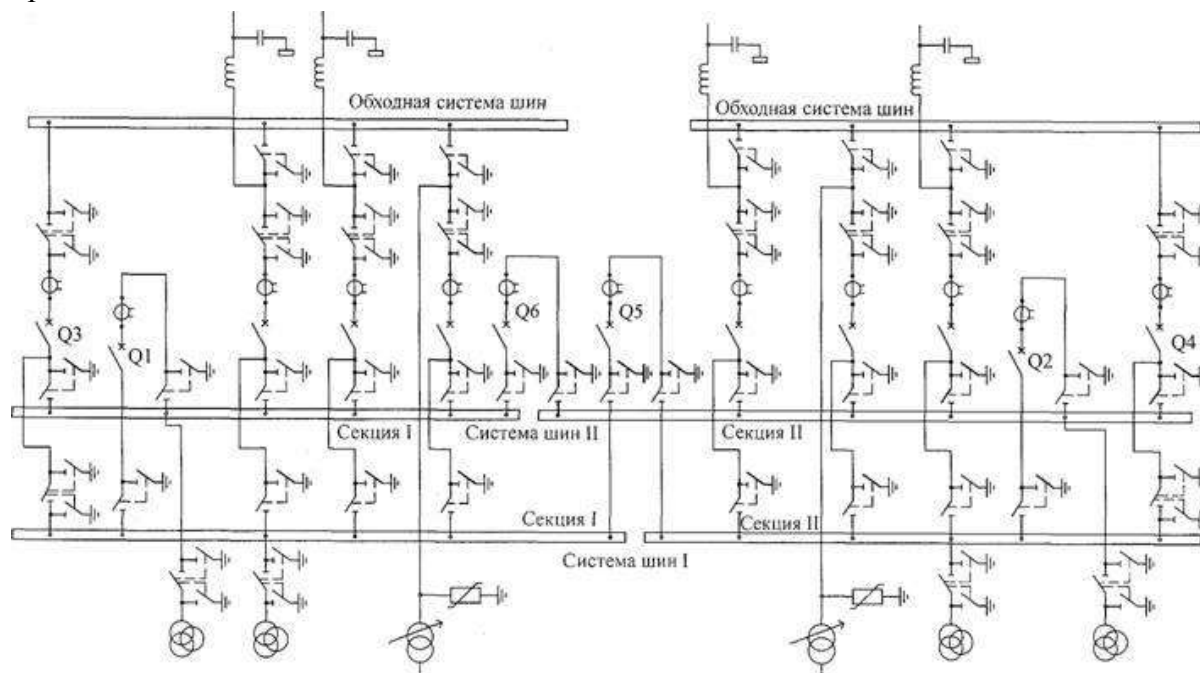


Рис. 3.4.10. Схема с двумя системами шин и обходной с двумя шиносоединительными (Q1, Q2) и двумя обходными (Q3, Q4) выключателями (Q5, Q6 — секционные выключатели)

Таблица 3.4.1. Рекомендации по применению схем распределительных устройств напряжением до 220 кВ включительно

Система сборных шин	Область применения	Номер (номинальное напряжение-индекс схемы по [26])*
Одиночная система шин	В РП, РУ 10(6) кВ при отсутствии присоединений с электроприемниками первой категории или при наличии резервирования их от других РП, РУ	—
Одна рабочая секционированная выключате-	В РП, РУ 10(6) кВ В РП 35 кВ; в РУ ВН и СИ 35 кВ. Допускается применять в РУ 110—220 кВ при пяти и более присоединениях, если РУ	10(6)-1;35-9

лем система шин	выполнено из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время	
Две одиночные секционированные выключателями системы шин	В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с двухобмоточными трансформаторами и двумя сдвоенными реакторами	10(6)-2
Четыре одиночные секционированные системы шин	В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой и с двумя сдвоенными реакторами	10(6)-3
Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин	В РУ 110—220 кВ при пяти и более присоединениях	12
Две рабочие системы шин	Допускается применять при числе присоединений от 5 до 15 в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время	—
Две рабочие и обходная системы шин	1. В РУ 10 кВ для энергоемких предприятий с электроприемниками первой категории (например, для предприятий цветной металлургии). 2. В РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15	13
Две рабочие секционированные выключателями системы шин	Допускается применять при числе присоединений более 15 в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время	—

Две рабочие секционированные выключателем и обходная системы шин с двумя шиносоединительными и двумя обходными выключателями	1. В РУ 110—220 кВ при числе присоединений более 15. 2. В РУ 220 кВ при трех, четырех трансформаторах мощностью 125 МВ-А и более при общем числе присоединений от 12 и более	14
--	---	----

* Первая цифра означает номинальное напряжение, вторая — индекс схемы.

Применяются следующие схемы распределительных устройств:

- блочные;
- мостиковые;
- заход—выход;
- четырехугольника.

Блочные схемы. Блочной схемой называется схема «блок линия—трансформатор» без сборных шин и связей с выключателями между двумя блоками на двухтрансформаторных подстанциях (между двумя блоками может устанавливаться неавтоматическая перемычка из разъединителей). Блочные схемы применяются на стороне ВН тупиковых подстанций напряжением до 500 кВ включительно, ответвительных и проходных подстанций, присоединяемых к одной или к двум линиям, до 220 кВ включительно.

Схемы «блок линия—трансформатор» могут выполняться:

- без коммутационных аппаратов (схема глухого присоединения) или только с разъединителем;
- с отделителем1;
- с выключателем.

Схема «блок линия—трансформатор без коммутационных аппаратов»

применяется при напряжениях 35—330 кВ и питании подстанции по радиальной схеме.

Использование данной схемы целесообразно в случаях, когда подстанция размещается в зоне сильного промышленного загрязнения (рис. 3.4.11, а). Для питания трансформаторов следует использовать кабельные линии высокого напряжения, что позволяет исключить воздействие окружающей среды на изоляцию вводов даже при открытой установке трансформаторов.

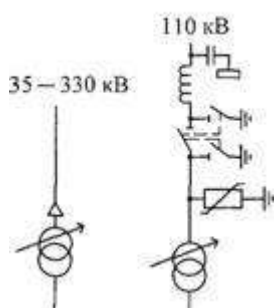


Рис. 3.4.11. Схема «блок линия—трансформатор»: а — без коммутационных аппаратов

с кабельным вводом (схема глухого присоединения); б — с разъединителем

Имеет ограниченное применение в сетях напряжением 110 кВ.

Для защиты трансформатора напряжением 330 кВ любой мощности, а также трансформатора напряжением 110, 220 кВ мощностью более 25 МВ·А предусматривается передача отключающего сигнала на головной выключатель, который обеспечивает отключение питающей линии в случае повреждения трансформатора. Выбор способа передачи сигнала зависит от длины питающей линии, мощности трансформатора, требований по надежности отключения. При мощности трансформатора 25 МВ·А и менее, а также при кабельном вводе в трансформатор передача отключающего сигнала может не предусматриваться [26].

Схема «блок линия—трансформатор с разъединителем» применяется в тех же случаях, что и предыдущая (рис. 3.4.11, б).

На схемах, приведенных на рис. 3.4.11, для упрощения показан один блок, в случае двухтрансформаторных подстанций число таких блоков удваивается. Перемычка между блоками не предусматривается. Это рекомендуется использовать в условиях интенсивного загрязнения и при ограниченной площади застройки.

Схему «блок линия—трансформатор с отделителем»' допустимо применять на напряжении 110 кВ и трансформаторах мощностью до 25 МВА при необходимости автоматического отключения поврежденного трансформатора от линии, питающей несколько подстанций (рис. 3.4.12, а). Отделители на стороне ВН подстанций могут применяться как с короткозамыкателями, так и с передачей отключающего сигнала на выключатель головного участка магистрали.

На двухтрансформаторных подстанциях используется схема «два блока линия—трансформатор» с отделителем и неавтоматической перемычкой со стороны линий (рис. 3.4.12, б). В нормальном режиме работы один из разъединителей в перемычке должен быть разомкнут.

Запрещается применять схему с отделителем в случае [26]:

- распределительных устройств, расположенных в районах холодного климата по ГОСТ 15150—69, а также в районах, где часто наблюдается гололед;
- сейсмичности более 6 баллов по шкале MSK-614;
- воздействия отделителя и короткозамыкателя, которое приводит к выпадению из синхронизма синхронных двигателей или нарушению технологического процесса;
- использования подстанции на транспорте и в нефте- и газодобывающей промышленности;
- применения трансформаторов, присоединенных к линиям, имеющим ОАПВ.

1 В соответствии с «Рекомендациями по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35—750 кВ» (Издательство НЦ ЭНАС, 2004 г.) при проектировании применять схему с отделителем и короткозамыкателем не рекомендуется, а при реконструкции и техническом перевооружении подстанций предусматривать замену этих аппаратов на выключатели.

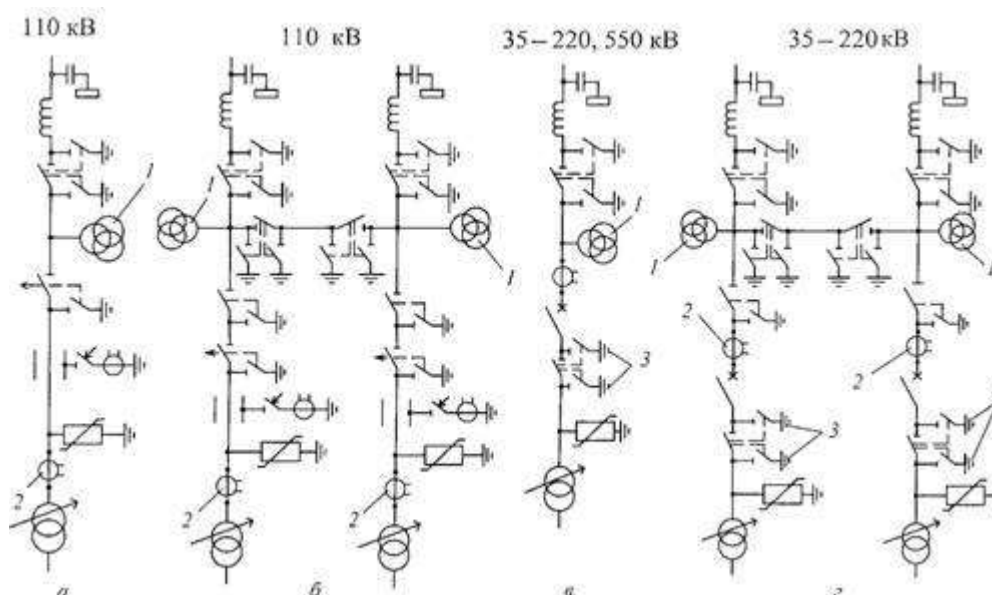


Рис. 3.4.12. Схема «блок линия—трансформатор»: а — с отделителем; б — два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линии; в — с выключателем; г — два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии; 1,2 — трансформаторы тока и напряжения, установка которых должна быть обоснована; 3 — разъединители, которые устанавливаются при напряжениях 110, 220 кВ и наличии собственного питания

Схема «блок линия—трансформатор с выключателем» применяется на подстанциях напряжением 35—220 и 500 кВ в тех случаях, когда нельзя использовать более простые и дешевые схемы первичной коммутации подстанций (рис. 3.4.12, в). На двухтрансформаторных подстанциях напряжением 35—220 кВ применяется схема «блок линия—трансформатор» с выключателем и неавтоматической перемычкой со стороны линии (рис. 3.4.12, г). Блочные схемы просты, экономичны, но при повреждениях в линии или в трансформаторе автоматически отключаются линия и трансформатор.

В схеме «мостик» линии или трансформаторы на двух-, трехтрансформаторных подстанциях соединяются между собой с помощью выключателя. Данная схема применяется на стороне ВН 35—220 кВ подстанций при необходимости секционирования выключателем линий или трансформаторов мощностью до 63 МВА включительно. На напряжениях 110 и 220 кВ схема мостика применяется, как правило, с ремонтной перемычкой, которая при соответствующем обосновании может не предусматриваться. Ремонтная перемычка позволяет выполнять ревизию любого выключателя со стороны линий или трансформаторов при сохранении в работе линий и трансформаторов. Перемычка обычно не предусматривается при электрификации сельских сетей напряжением 35 кВ.

Схема «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов» применяется в тех же случаях, что и блочные схемы с отделителями (рис. 3.4.13).

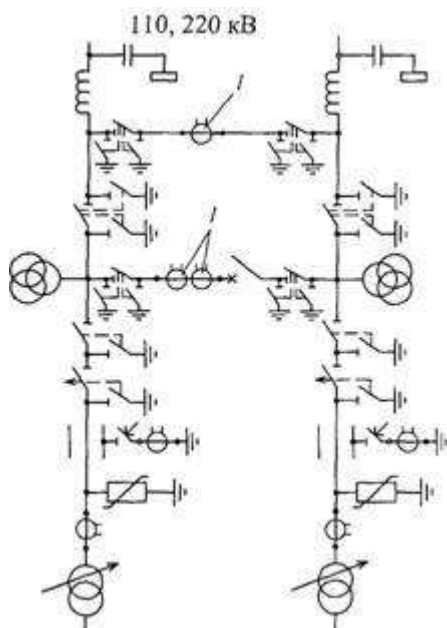


Рис. 3.4.13. **Схема «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов»:** / — трансформаторы тока, установка которых должна быть обоснована (индекс схемы — 5 по [26])

Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» может применяться на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях напряжением 35—220 кВ (рис. 3.4.14). На тупиковых и ответвительных подстанциях ремонтная перемычка и перемычка с выключателем нормально разомкнуты. При аварии на одной из линий автоматически отключается выключатель со стороны поврежденной линии и включается выключатель в перемычке, оба трансформатора остаются работающими. В случае аварии на одном из трансформаторов отключение выключателя приводит к отключению трансформатора и питающей линии. Отключение линии при повреждении трансформатора является недостатком данной схемы.

На проходных подстанциях перемычка с выключателем нормально замкнута, через нее осуществляется транзит мощности.

Схема «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов» (рис. 3.4.15) применяется в тех же случаях, что и схема, приведенная на рис. 3.4.14. Особенность данной схемы состоит в том, что при аварии в линии автоматически отключается поврежденная линия и трансформатор. При аварии на трансформаторе после автоматических переключений в работе остаются две линии и два источника питания. Учитывая, что аварийное отключение трансформаторов происходит сравнительно редко, более предпочтительна схема, приведенная на рис. 3.4.14.

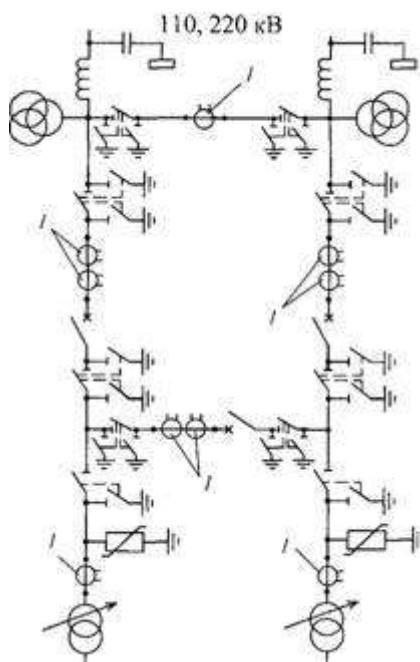


Рис. 3.4.14. Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»: / — трансформаторы тока, установка которых должна быть обоснована (индекс схемы — 5Н по [26])

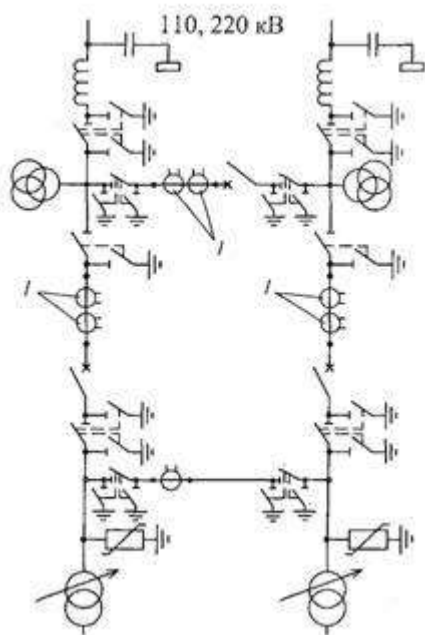


Рис. 3.4.15. Схема «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов»: / — трансформаторы тока, установка которых должна быть обоснована (для напряжения 35 кВ ремонтная перемычка, как правило, не предусматривается) (индекс схемы — 5АН по [26])

Схема «заход—выход» применяется на проходных подстанциях напряжением 110—220 кВ (рис. 3.4.16). В схеме устанавливается два выключателя со стороны линии, которые позволяют отключать поврежденный участок линии. Данная схема может применяться как с ремонтной перемычкой, так и без нее.

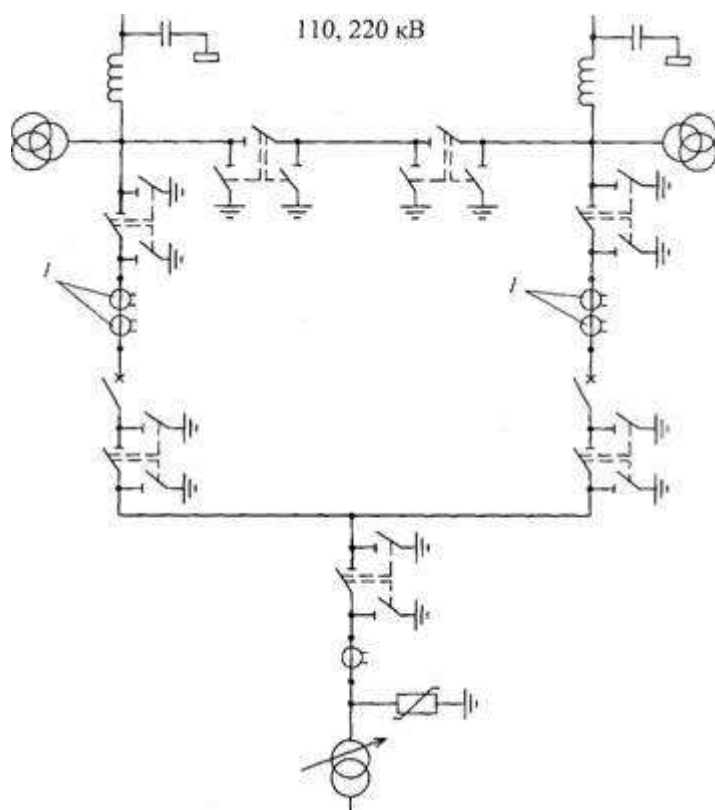


Рис. 3.4.16. Схема «заход—выход»: / — трансформаторы тока, установка которых должна быть обоснована (индекс схемы — 6 по [26])

Схема четырехугольника применяется в РУ 110—750 кВ при четырех присоединениях (две линии и два трансформатора) и необходимости секционирования транзитной линии при мощности трансформаторов от 125 МВА и более при напряжениях 110—220 кВ и любой мощности при напряжениях 330 кВ и выше (рис. 4.3.17). В схеме со стороны линии установлены через развилку два выключателя, подключаемых к разным трансформаторам. Данная схема обладает более высокой надежностью по сравнению со схемой «мостика», так как авария в линии или в трансформаторе приводит к отключению только поврежденного элемента. Недостаток схемы — при отключении одной из линий трансформаторы получают питание по одной линии от одного источника питания.

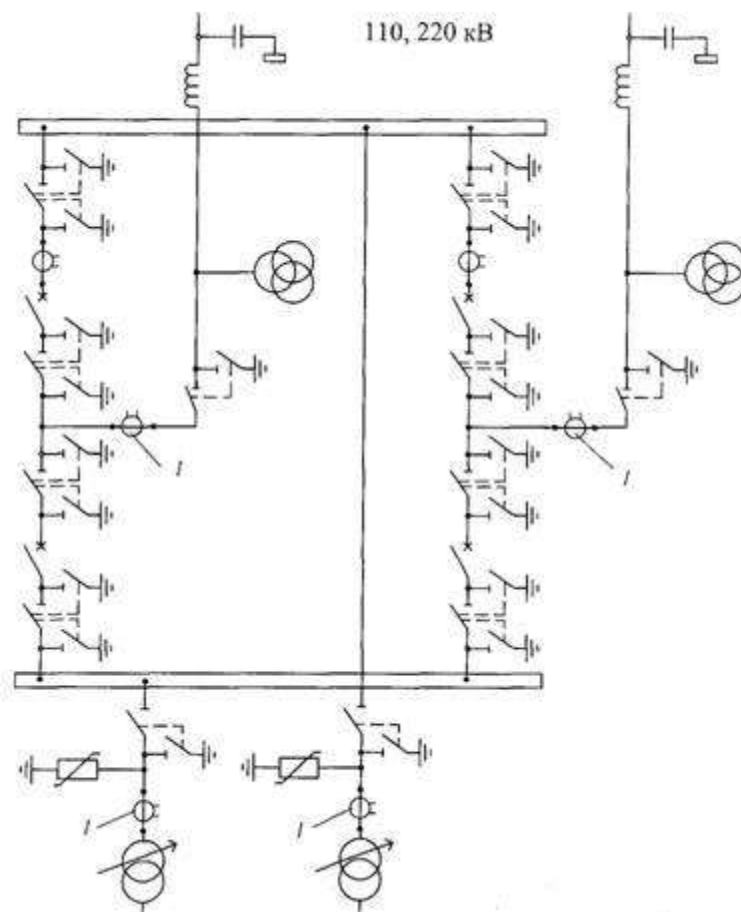


Рис. 3.4.17. **Схема четырехугольника:** / — трансформаторы тока, установка которых должна быть обоснована (индекс схемы — 7 по [26])

Рекомендации по применению схем приведены в табл. 3.4.2.

Таблица 3А.2. Рекомендации по применению схем распределительных устройств без сборных шин напряжением 35 кВ и выше трансформаторных подстанций

Схема	Область применения	Индекс схемы (по [26])
	Блочные схемы	
Блок линия—трансформатор без коммутационных аппаратов	При напряжениях 35—330 кВ и радиальной схеме питания подстанции в условиях сильного промышленного загрязнения окружающей среды	1
Блок линия—трансформатор	При напряжениях 35—330 кВ и радиальной схеме питания подстанции	1

с разъединителем		
Схема	Область применения	Индекс схемы (по [26])
Блок линия—трансформатор с отделителем	При напряжении 110 кВ и магистральной схеме питания подстанции (кроме проходных) с трансформаторами мощностью до 25 МВ-А (ис- ключения см. раздел 3.4.3)	3
Два блока линия— трансформатор с отделителем и неавтоматной перемычкой	То же	4
Блок линия—трансформатор с выключателем	При напряжении 35—220, 500 кВ на тупиковых и ответвительных подстанциях	3Н
Два блока линия— трансформатор с выключате- лем и неавтоматной перемыч- кой со стороны линий	При напряжении 35—220 кВ на тупиковых и от- ветвительных подстанциях	4Н
Костиковые схемы		
Мостик с выключателем в пе- ремычке и отделителями в це- пях трансформаторов	При магистральной схеме питания и напряжении 110 кВ на подстанциях с трансформаторами мощностью до 25 МВ-А (исключения см. раздел 3.4.3)	СП
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной пе- ремычкой со стороны линий	При напряжениях 35—220 кВ на тупиковых, от- ветвительных и проходных подстанциях при не- обходимости секционирования линий и мощно- сти трансформаторов до 63 МВ-А включительно	5Н
Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ре- монтной перемычкой в цепях трансформаторов	При напряжении 35—220 кВ на тупиковых, от- ветвительных и проходных подстанциях при не- обходимости секционирования трансформаторов при мощности трансформаторов до 63 МВ-А	5АН

	включительно	
Схемы «заход—выход» и четырехугольника		
Заход—выход	На проходных подстанциях при напряжении 110, 220 кВ	6
Четырехугольника	В РУ подстанций при четырех присоединениях и необходимости секционирования транзитных линий и мощности трансформаторов от 125 МВ·А при напряжении 110, 220 кВ и любой мощности при напряжении 330—750 кВ	7

Распределительные подстанции напряжением 10(6) кВ в соответствии с ПУЭ называются распределительными пунктами (РП). Последние широко применяются в системах электроснабжения промышленных предприятий, городов, поселков, агропромышленных комплексов. Распределительные пункты, как правило, выполняются с одиночной секционированной или несекционированной системой шин. Распределительные пункты в системах электроснабжения промышленных предприятий рекомендуется сооружать для удаленных от ГПП потребителей [компрессорных, насосных станций, производственного корпуса с несколькими трансформаторными подстанциями 10(6) кВ]. При числе отходящих линий 10(6) кВ менее восьми целесообразность сооружения РП должна быть обоснована [5]. Для городских сетей целесообразность сооружения РП [19] определяется следующим: нагрузка РП на расчетный срок должна составлять на шинах 10 кВ не менее 7 МВт, на шинах 6 кВ — не менее 4 МВт.

РУ 10(6) кВ трансформаторных подстанций выполняются с одиночной секционированной, двумя или четырьмя одиночными секционированными системами шин (см. табл. 3.4.1).

На крупных энергоемких предприятиях с электроприемниками высокой категорийности могут применяться распределительные устройства с двумя рабочими системами шин и двумя рабочими системами шин с обходной.

Распределительные устройства с одиночной системой шин с любым числом секций и распределительные пункты выполняются комплектными.

Трансформаторные подстанции напряжением 10(6) кВ

В промышленных электрических сетях трансформаторные подстанции 10(6) кВ называются цеховыми. Подстанции могут быть отдельно стоящими, пристроенными, встроенными и внутрицеховыми.

Отдельно стоящие подстанции располагаются на территории предприятия на некотором

расстоянии от цеха и предназначены для питания одного или нескольких цехов предприятия. Такие подстанции обычно применяются в тех случаях, когда по условиям среды или специфики технологического процесса подстанцию нельзя приблизить к цеху. Например на некоторых взрывоопасных производствах и химических предприятиях, а также в случаях, когда подстанция применяется для питания нескольких цехов небольшой мощности. Пристроенные подстанции применяются в тех случаях, когда по состоянию окружающей среды или специфики технологического процесса подстанцию нельзя расположить внутри цеха.

Встроенные и внутрицеховые подстанции можно максимально приблизить к центру электрических нагрузок. Для таких подстанций обычно применяют комплектные трансформаторные подстанции промышленного типа внутренней установки, которые устанавливаются в цехах открыто с использованием простейших сетчатых ограждений.

Цеховые трансформаторные подстанции предназначены для питания силовых и осветительных электроприемников. В случаях, когда вторичное напряжение трансформатора составляет 0,69 кВ, питание осветительных сетей осуществляется от отдельных трансформаторов.

Ниже приводятся рекомендации по проектированию цеховых трансформаторных подстанций в соответствии с [5].

Число трансформаторов цеховой ТП зависит от требований надежности питания потребителей. Питание электроприемников первой категории следует предусматривать от двух- и трехтрансформаторных подстанций. Трехтрансформаторные подстанции рекомендуется применять в случаях, когда возможно равномерное распределение подключаемой нагрузки по секциям РУНН подстанции.

Двух- и трехтрансформаторные подстанции рекомендуется также применять для питания электроприемников второй категории. При сосредоточенной нагрузке, предпочтение следует отдавать трехтрансформаторным подстанциям. Однотрансформаторные подстанции могут быть применены для питания электроприемников второй категории, если требуемая степень резервирования потребителей обеспечивается линиями низкого напряжения от другого трансформатора и время замены вышедшего из строя трансформатора не превышает сутки.

При сосредоточенной нагрузке электроприемников второй категории значительной мощности может оказаться целесообразным сооружение цеховой ТП, на которой устанавливается несколько полностью загруженных трансформаторов и один резервный трансформатор, способный заменить любой из трансформаторов группы с помощью транс-ферной системы шин. Использование данной подстанции целесообразно, если число полностью загруженных трансформаторов 6 и более.

Питание отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (компрессорных, насосных станций и т. п.) рекомендуется выполнять от двухтрансформаторных подстанций.

Для питания электроприемников третьей категории рекомендуется применять однотрансформаторные подстанции, если перерыв электроснабжения, необходимый для замены поврежденного трансформатора, не превышает сутки. При значительной сосредоточенной нагрузке электроприемников третьей категории вместо двух однотрансформаторных под-

станций может быть установлена одна двухтрансформаторная подстанция без устройства АВР с полной загрузкой трансформатора.

Мощность трансформаторов двух- и трехтрансформаторных подстанций определяется таким образом, чтобы при отключении одного трансформатора было обеспечено питание требующих резервирования электроприемников в послеаварийном режиме с учетом перегрузочной способности трансформатора.

Значения коэффициентов допустимой перегрузки трансформаторов в послеаварийном режиме и коэффициентов загрузки трансформаторов в нормальном режиме приведены в табл. 3.5.1.

Выбор единичной мощности трансформаторов при значительном числе устанавливаемых цеховых трансформаторных подстанций и рассредоточенной нагрузке следует делать на основании технико-экономического расчета. Определяющими факторами при выборе единичной мощности трансформатора являются затраты на питающую сеть 0,4 кВ, потери мощности в питающей сети и в трансформаторах, затраты на строительную часть ТП.

Таблица 3.5.1. Значения коэффициентов загрузки трансформаторов двух-и трех-трансформаторных подстанций

Коэффициент допустимой перегрузки трансформатора	Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме	
	двухтрансформаторная подстанция	трехтрансформаторная подстанция
1,0	0,5	0,666
1,1	0,55	0,735
1,2	0,6	0,8
1,3	0,65	0,86
1,4	0,7	0,93
1,5	0,75	1,0

Если нагрузка равномерно распределена по площади цеха, то выбор единичной мощности трансформатора при напряжении питающей сети 0,4 кВ определяется следующим образом:

- при плотности нагрузки до 0,2 (кВА)/м² — 1000, 1600 кВА;
- при плотности нагрузки 0,2 — 0,5 (кВА)/м² — 1600 кВ А;
- при плотности нагрузки более 0,5 (кВА)/м² — 2500, 1600 кВА.

Для энергоемких производств при значительном количестве цеховых ТП рекомендуется унифицировать единичные мощности трансформаторов.

Схемы соединения обмоток трансформаторов. Трансформаторы цеховых ТП мощностью 400—2500 кВ-А выпускаются со схемами соединения обмоток «звезда—звезда» с допустимым током нулевого вывода, равным 25 % номинального тока трансформатора, или со схемой «треугольник—звезда» — 75 % номинального тока трансформатора. По условиям надежности действия защиты от однофазных коротких замыканий в сетях напряжением до 1 кВ и возможности подключения несимметричных нагрузок предпочтительным явля-

ется трансформатор со схемой соединения обмоток «треугольник—звезда».

Выбор исполнения трансформатора по способу охлаждения обмоток (масляный, сухой, заполненный негорючим жидким диэлектриком) зависит от условий окружающей среды, противопожарных требований, объемно-планировочных решений производственного здания.

Распределительное устройство со стороны высокого напряжения подстанции для КТП промышленного типа выполняется обычно в виде высоковольтного шкафа без сборных шин со встроенными в шкаф коммутационными аппаратами или без них (глухой ввод). Высоковольтный шкаф называется устройством со стороны высшего напряжения подстанции (УВН).

Установка отключающего аппарата перед цеховым трансформатором при магистральной схеме питания обязательна. Глухое присоединение цехового трансформатора может применяться при радиальной схеме питания трансформатора кабельными линиями по схеме блока «линия—трансформатор», за исключением питания от пункта, находящегося в ведении другой эксплуатирующей организации, а также при необходимости установки отключающего аппарата по условиям защиты. В качестве отключающих аппаратов могут применяться разъединители с предохранителями, выключатели нагрузки, выключатели нагрузки с предохранителями. В последнее время появились УВН с вакуумными выключателями.

При магистральной схеме питания применяются схемы, изображенные на рис. 3.5.1, где на входе и выходе магистрали устанавливаются разъединители, выключатели нагрузки или шинные накладки, а в цепи трансформатора — разъединители с предохранителями, выключатели нагрузки с предохранителями или разъединители с вакуумными выключателями.



Рис. 3.5.1. Схемы УВН цеховых подстанций при магистральной схеме питания ТП а — с разъединителями на вводе и выводе, разъединителем и выключателем в цепи трансформатора, б — с выключателями нагрузки на вводе и выводе, выключателем нагрузки и предохранителями в цепи трансформатора, в — с шинными накладками на вводе и выводе, разъединителем и предохранителями в цепи трансформатора

Распределительным устройством со стороны низшего напряжения подстанции называется устройство для распределения электроэнергии напряжением до 690 В, состоящее из одного или нескольких шкафов со встроенными в них аппаратами для коммутации, управления, измерения и защиты. РУНН двухтрансформаторной подстанции выполняется с одиночной секционированной системой шин с фиксированным подключением каждого трансформатора к своей секции шин через коммутационный аппарат.

В промышленных электрических сетях применяются комплектные трансформаторные

подстанции:

- для внутренней установки — КТП промышленного типа;
- для наружной установки — КТП промышленного типа в модульном здании, КТП модульного типа; КТП в бетонной оболочке; КТП городского типа и др.

В городских электрических сетях используют:

- отдельно стоящие подстанции;
- подстанции, совмещенные с РП 10(6) кВ;
- встроенные и пристроенные подстанции, которые могут быть установлены в общественных зданиях при условии соблюдения требований ПУЭ, санитарных норм [21].

Не допускается применение встроенных и пристроенных подстанций в спальнях корпусов общественно-образовательных школ, школах-интернатах, учреждениях по подготовке кадров, дошкольных детских учреждениях и др., где уровень звука ограничен санитарными нормами.

Применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции с мощностью трансформатора не более 1000 кВА. На встроенных и пристроенных подстанциях при применении сухих трансформаторов число трансформаторов не ограничивается. Выбор мощности силовых трансформаторов должен производиться с учетом нагрузочной и перегрузочной способности трансформаторов. Для двухтрансформаторных подстанций с масляными трансформаторами допустимая аварийная перегрузка трансформатора должна приниматься в соответствии с требованиями ГОСТ 14209-97.

Рекомендуемые схемы соединения обмоток трансформаторов:

- «звезда—зигзаг» при мощности трансформаторов до 250 кВ А;
- «треугольник—звезда» при мощности 400 кВ А и более.

В настоящее время чаще всего применяются подстанции закрытого типа в кирпичных или бетонных зданиях, с силовыми трансформаторами марки ТМ. РУВН выполняется со сборными шинами с камерами КСО-366М, РУНН — с панелями ЩО-70. Принципиальная схема данной подстанции показана на рис. 3.5.2, план подстанции типа К-42 — на рис. 3.5.3. При радиальной схеме питания подстанций применяются более простые схемы на стороне ВН подстанции. В последнее время

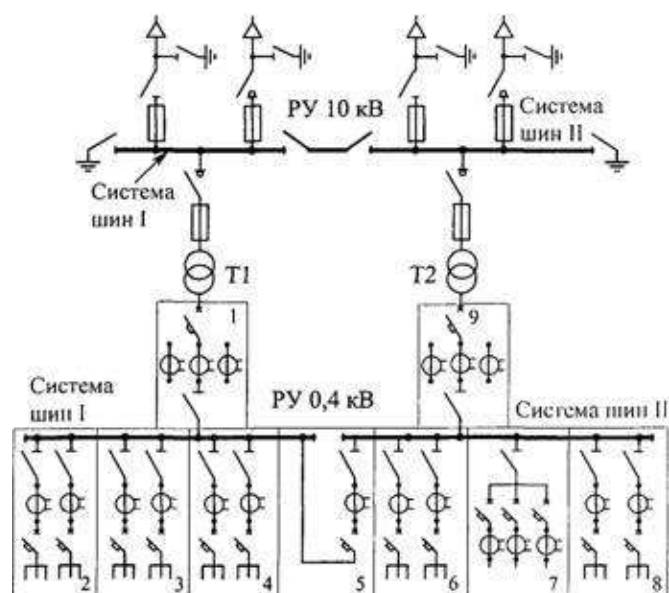
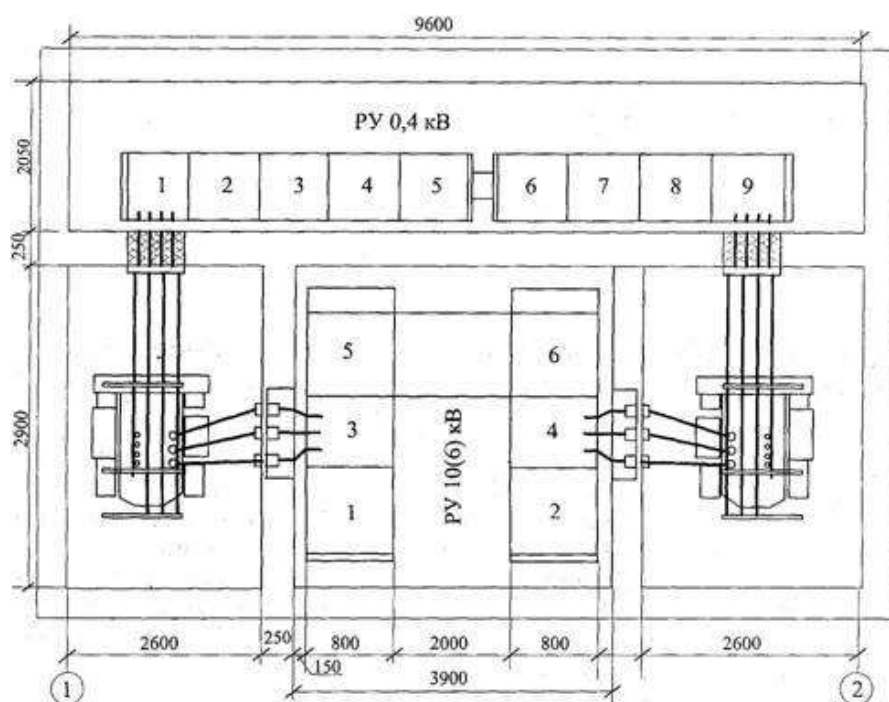


Рис. 3.5.2. Принципиальная схема подстанции РУ 10 кВ с камерами КСО-366М (РУ 0,4 кВ с панелями ЩО 70-1, тонкими линиями выделены панели 0,4 кВ): /, 9— вводные панели; 2—4, 6—8— линейные панели; 5 — секционная панель



Секционные разъединители и заземляющие ножи сборных шин установлены на шинном мосту

Рис. 3.5.3. План подстанции 10(6)/0,4 кВ типа К-42-630 М5 для схемы, приведенной на рис. 3.5.2. Секционные разъединители и заземляющие ножи установлены на шинном мосту

русские предприятия освоили выпуск комплектных трансформаторных подстанций разных типов, которые могут быть установлены в городских электрических сетях:

- КТП городского типа;
- КТП модульного типа;

- КТП в бетонной оболочке;
- КТП наружного типа и др.