

Созданные измерять.  
Электроизмерения в низковольтных  
распределительных щитах

Power and productivity  
for a better world™



# Содержание

Созданные измерять.

## Практическое руководство по выполнению электрических измерений в низковольтных распределительных щитах

### 1 Электрические измерения

1.1	Зачем нужны измерения?	3
1.2	Сфера применения	4
1.3	Проблемы, связанные с энергосистемами	4
1.4	Снижение энергопотребления	7
1.5	Тарифы	8
1.6	Пиковое энергопотребление	8
1.7	Распределение энергопотребления по времени	9
1.8	Компенсация и поддержание коэффициента мощности	9
1.9	Дистанционный контроль информации и отслеживание ее во времени	9

### 2 Технические стандарты

2.1	Стандарты Международной электротехнической комиссии (МЭК)	10
2.2	Директива по измерительному оборудованию	11

### 3 Измерительные приборы

3.1	Аналоговые приборы	12
3.2	Цифровые приборы	14
3.3	Погрешности измерения и классы точности	15
3.4	Преимущества и недостатки цифровых и аналоговых приборов	18

### 4 Прямые и косвенные измерения. Токовые трансформаторы, трансформаторы напряжения, преобразователи и принадлежности

4.1	Прямое измерение	20
4.2	Косвенное измерение	20
4.3	Шунты для цепей постоянного тока	23
4.4	Преобразователи и принадлежности	23

### 5 Обзор продукции АВВ

5.1	Аналоговые приборы	24
5.1.1	Аналоговые приборы для монтажа на DIN-рейку	24
5.1.2	Аналоговые приборы для щитового монтажа	25
5.1.3	Преимущества	27
5.2	Цифровые приборы	28
5.2.1	Цифровые приборы для монтажа на DIN-рейку	29
5.2.2	Цифровые приборы для щитового монтажа	29
5.2.3	Мультиметры DMTME	30
5.2.4	Сетевые анализаторы MTME и ANR	31
5.2.5	Приборы для измерения температуры	34

5.2.6	Электронные счетчики электроэнергии	35
5.3	Принадлежности для измерительных приборов	36
5.3.1	Адаптеры последовательных каналов связи	36
5.3.2	Токовые трансформаторы	37
5.3.3	Шунты для цепей постоянного тока	38

### 6 Процесс измерения

6.1	Измерение истинных среднеквадратичных значений	40
6.1.1	Линейные нагрузки	40
6.1.2	Нелинейные нагрузки	40
6.1.3	Трудности, связанные с измерением истинного среднеквадратичного значения	41
6.2	Гармоническое искажение и суммарный коэффициент гармоник	42
6.3	Коэффициент мощности и $\cos \varphi$	44
6.4	Практические советы по внедрению измерительной системы	44

### 7 Цифровой обмен данными

7.1	Протоколы обмена данными	49
7.1.1	Физический уровень	49
7.1.2	Уровень соединения	52
7.1.3	Уровень приложения	52
7.1.4	Межуровневая совместимость	53
7.2	Управление электrorаспределительными установками	53
7.3	Сеть Modbus RS-485	55
7.3.1	Правила прокладки кабелей	55
7.3.2	Принцип работы системы Modbus	57

### 8 Примеры применения сетевых анализаторов

8.1	Истинные среднеквадратичные значения номинального напряжения (фазные и линейные)	62
8.2	Истинные среднеквадратичные значения фазных токов и тока нейтрали	62
8.3	Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ )	62
8.4	Активная мощность	63
8.5	Суммарный коэффициент гармоник до 31-й гармоники (графическое отображение и процентное соотношение)	63
8.6	Нелинейные искажения до 31-й гармоники (графическое отображение и процентное соотношение)	63
8.7	Потребление и выработка активной мощности при делении счетчика и в зависимости от времени суток	63

### 9 Приложение

9.1	Глоссарий терминов в области измерения	64
-----	--	----

# Электрические измерения

Измерение – это выяснение отношения одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принятой за единицу (в ее роли выступает так называемая «единица измерения»).

Что же касается величин электрического поля, зачастую нелегко выявить объект для их сравнения (а значит, и измерения), особенно если измерение выполняется вне оборудованной лаборатории.

На практике для измерений применяются калиброванные приборы, где сравнение значения электрической величины выполняется не с единицей этой же величины, а с другой величиной (например, в аналоговых измерительных приборах – с усилием, оказываемым пружиной).

Такое определение принципа измерения требует определения единиц измерения, неизменных и в общем случае воспроизводимых.

Единицы измерения, признанные правильными и обязательными к использованию, собраны в Международную систему единиц СИ. Фундаментальные (базовые) единицы измерения согласно системе СИ содержатся в таблице 1.1.

Величина	Единица измерения	
	Наименование	Символ
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Ток	ампер	А
Температура	кельвин	К
Количество вещества	моль	моль
Сила света	канделла	кд

Таблица 1.1. Базовые единицы измерения по системе СИ

## 1. Продолжение

В таблице 1.2 приведены наиболее часто встречающиеся электрические и магнитные величины, подлежащие измерению.

Величина	Единица СИ		Развернутое обозначение
	Наименование	Символ	
- Электрический ток	ампер	А	А
- Количество электричества (нагрузка)	кулон	Кл	с • А
- Электрический потенциал • разность потенциалов • электродвижущая сила • напряжение	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^{-1}$
- Электрическая ёмкость	фарад	Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
- Диэлектрическая проницаемость	фарадов в метр	Ф/м	$\text{м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
- Сопротивление • полное сопротивление	ом	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
- Удельное сопротивление	ом•метр	Ом•м	$\text{м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^{-2}$
- Электрическая проводимость	сименс	См	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
- Удельная проводимость	сименс в метр	См/м	$\text{м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
- Индуктивность	генри	Гн	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
- Электрическое поле	вольт на метр	В/м	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
- Плотность нагрузки	кулонов на кв. метр	Кл/м <sup>2</sup>	$\text{м}^{-2} \cdot \text{с} \cdot \text{А}$
- Плотность тока	амперов на кв. метр	А/м <sup>2</sup>	$\text{м}^{-2} \cdot \text{А}$
- Частота	герц	Гц	с <sup>-1</sup>
- Магнитный поток	вебер	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
- Индукция магнитного поля	тесла	Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
- Магнитное поле	амперов на метр	А/м	$\text{м}^{-1} \cdot \text{А}$
- Магнитный потенциал	веберов на метр	Вб/м	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
- Диэлектрическая постоянная	фарадов в метр	ε	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
- Магнитная проницаемость	генри в метр	μ	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
- Мощность	ватт	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
- Энергия	ватт в секунду	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$

Таблица 1.2. Основные электрические и магнитные величины

### 1.1

#### Зачем нужны измерения?

Статья 2 Директивы Европейского совета № 374 от 25 июля 1985 года гласит, что «электричество также» является «продуктом», по сути не отличающимся от прочих типов «движимых товаров». Отсюда немедленно проистекает первый ответ: чтобы продавать электричество.

Развернутый аргумент (даже ограничив его коммерческими аспектами работы электростанции, игнорируя технические и научные аспекты): в современных рыночных условиях существует явная потребность в снижении издержек и обеспечении бесперебойности обслуживания. Таким образом, жизненно необходимо знать все тонкости работы электростанции, чтобы иметь возможность оптимизировать такие параметры, как: энергопотребление, кривые нагрузки, гармонические помехи, резкие отклонения напряжения и т. п. С учетом этих параметров можно увеличивать КПД, конкурентоспособность и, что очень важно в настоящий момент, снижать интенсивность токсичных выбросов в окружающую среду.

И наконец, еще один аргумент с точки зрения экономиста: измерение и контроль электрических величин позволяет так составить программу технического обслуживания, чтобы выявлять неполадки на стадии их возникновения, минимизировать количество неисправностей и таким образом улучшить защиту не только самой электростанции, но и примыкающих объектов.

### Электрические измерения

Цели эффективной системы измерения и контроля электрических величин:

- снижение затрат,
- контроль качества электроэнергии,
- обеспечение бесперебойной работы оборудования.

В рамках перечисленных выше целей система управления должна решать задачи, указанные на рис. 1.1.



Рис. 1.1.: Цели и задачи электрических измерений

Компания ABB выпускает такие измерительные приборы, как аналоговые и цифровые счетчики электроэнергии и сетевые анализаторы, позволяющие решать указанные выше задачи в следующих приложениях:

- жилые и коммерческие здания;
- промышленные объекты;
- торговые центры;
- гаражи;
- учебные заведения и студенческие городки;
- ярмарки и выставки;
- объекты туризма;
- отели и кемпинги.

Измерительные приборы ABB – как предназначенные для монтажа на DIN-рейку, так и для щитового монтажа – отличаются превосходными характеристиками, не в последнюю очередь выделяясь возможностью усовершенствования функциональности и внешнего вида распределительных щитов и шкафов, соединенных кабелями с трансформаторными подстанциями.

### Проблемы, связанные с энергосистемами

При определении характеристик электроэнергии в точках потребления необходимо выделить различия между нормальным и аварийным режимами работы энергосистемы. Энергосистема работает в нормальном режиме, когда она способна запитывать нагрузку, устранять неисправности и поддерживать себя в исправном состоянии, используя стандартные средства и процедуры, в отсутствие чрезвычайных условий, возникших в результате внешнего воздействия или критических ситуаций.

К аварийным режимам относятся ситуации, когда по различным причинам (мощности энергосистемы не хватает на всех потребителей, либо из-за значительного повреждения энер-

## 1.3. Продолжение

госистемы, либо из-за событий, неподконтрольных энергетической компании - террористический акт, природные катаклизмы, забастовка, действия властей и т. д.) приходится прерывать или ограничивать подачу электроэнергии.

Трехфазное напряжение, подаваемое потребителям посредством распределительной системы общего пользования, в нормальном режиме характеризуется следующими параметрами (см. также таблицу 1.3):

- частота;
- амплитуда;
- форма волны;
- симметрия фазных токов (в трехфазной системе).

Организация, владеющая распределительной системой, может также накладывать на это напряжение низковольтные сигналы для передачи информации о работе системы.

В нормальном режиме работы энергосистемы значения указанных параметров меняются в связи с изменением нагрузки, помехами, которые генерируются некоторыми типами оборудования потребителей или электростанции, и неисправностями, причиной которых чаще всего являются внешние факторы, и которые могут приводить к временным прекращением энергоснабжения. С точки зрения конкретного потребителя указанные параметры меняются во времени. Если же рассмотреть всех потребителей в конкретный момент времени, окажется, что эти параметры могут быть различными для различных потребителей. В обоих случаях эти изменения необходимо описать с использованием статистических формул. На рис. 1.2 изображены различные типы изменений амплитуды напряжения в связи с работой транзисторных устройств и пульсацией. В таблице 1.4 перечислены основные классы машин и оборудования потребителей электроэнергии, создающих электромагнитные помехи. Эти устройства классифицированы по области применения. В результате видно, что одно устройство может одновременно создавать различные помехи. Например, контактная сварочная машина может стать причиной: асимметрии фаз, изменений и колебаний напряжения (см. таблицу 1.4, столбцы «Асс. фаз», «Кол. напр.», «Изм. напр.»).

Параметр	Явление	
	Тип	Описание
Частота	Изменение	Отклонение от номинального значения (в процентах)
Амплитуда	Медленное изменение	Длительное (длительностью более 10 с) отклонение от номинального значения (в процентах)
	Быстрое изменение	Кратковременное (длительностью менее 10 с) отклонение от номинального значения (в процентах)
	Перенапряжение	Рост напряжения (мгновенное абсолютное значение или в процентах от номинального значения)
	Падение напряжения	Падение напряжения ниже 90 % номинального значения длительностью от 10 мс до 60 с
	Кратковременный отказ	Отсутствие напряжения длительностью менее 180 с
	Длительный отказ	Отсутствие напряжения длительностью более 180 с
Форма волны	Гармоники	Существуют синусоидальные напряжения и токи, частота которых кратна базовой частоте. Наличие гармоник приводит к искажению формы волны напряжения питания.
	Интергармоники	Существуют напряжения и токи с одной синусоидальной составляющей, частота которой не кратна базовой частоте либо представляет собой расширенный спектр синусоидальных составляющих
Симметрия фазных токов трехфазной системы	Асимметрия	Степень асимметрии определяется как разность амплитуд фазных токов и (или) отличие разности углов между фазами от требуемого значения

Таблица 1.3. Параметры напряжения

**Пояснения****а) Падение напряжения:**

длительность – от 10 мс до 60 с; если напряжение отсутствует полностью, это кратковременный отказ.

**б) Перенапряжение без пульсации:**

противоположность падению напряжения.

**в) Медленное изменение:**

Изменение амплитуды по сравнению с номинальным значением длительностью более 10 с.

**г) Длительная пульсация напряжения:**

длительность – от 0,1 мс до нескольких миллисекунд, причина – замыкания или переключения.

**д) Пульсация напряжения средней длительности:**

длительность – от 1 до 100 мкс, причина – атмосферные явления, переключение ручных и автоматических выключателей, перегорание плавких предохранителей.

**е) Кратковременная пульсация напряжения:**

длительность – менее 1 мкс, причина – переключение ручных и автоматических выключателей (особые случаи).

**ж) Переходные процессы при передаче информации:**

причина – преобразователи и выпрямители.

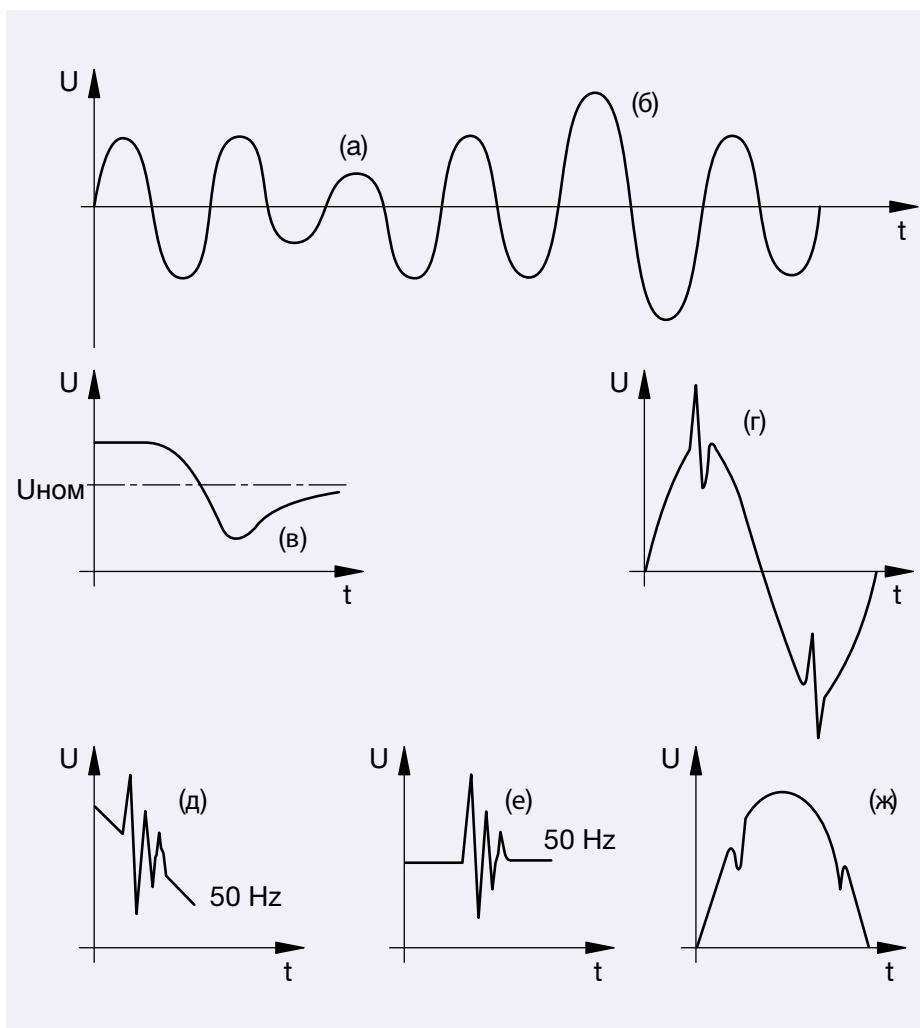


Рис. 1.2: Типы изменения амплитуды напряжения

**Пояснения**

Асс. фаз – асимметрия фаз

Кол. напр. – колебание напряжения

Изм. напр. – изменение напряжения

Гарм. – гармонические помехи

Пар. част. – паразитные частоты

РП – радиопомехи

(1) Для однофазной сети

(2) На вводе, где мощность выше мощности короткого замыкания сети

(3) При дистанционном управлении

Устройство	Мощность	Создаваемые помехи					
		Асс. фаз	Кол. напр.	Изм. напр.	Гарм.	Пар. част.	РП
Электрический обогреватель	1–40 кВт	(1)		(2)	(3)		
Бытовые печи - микроволновые печи - инфракрасные печи	1–2 кВт	(1) (1)		• •		•	•
Промышленные печи - индукционные - ВЧ - УВЧ - плазменные - дуговые	10–2000 кВт 10–600 кВт 10–100 кВт Несколько мегавольт-ампер 1–100 МВА			• • • • •	• • • • •	• • • • •	• • • • •
Сварочные машины - контактные - дуговые	0,1–2,0 МВт 1–300 кВт	•	• •	• •	(3)		
Электродвигатели - асинхронные (например, компрессоров) - с переменной скоростью	Менее 10 МВА -20 МВА	• •	• •	• •	• •		
Трансформаторы	Менее 100 МВА			• •			
Преобразователи - выпрямители - переменного/переменного тока и циклоконвертеры	Менее 10 МВт Менее 30 МВт			• •	• •	•	
Машины электроэрозионной резки	10–30 кВт			•			
Газоразрядные лампы				•			
Телевизоры				•	•		
Рентгеновские аппараты				•	•		

Таблица 1.4. Устройства-источники помех

### 1.3. Продолжение

Одно устройство может одновременно создавать помехи нескольких различных типов.

Уровень излучения различных помех вычисляется следующим образом:

- вычисляется уровень помех, генерируемых отдельным устройством;
- вычисляется общий уровень помех из сети пользователя как сумма уровней помех от отдельных устройств;
- общий уровень помех из сети пользователя сравнивается с допустимым уровнем помех (определяется владельцем распределительной сети с учетом требований к электромагнитной совместимости).

Особый интерес представляют уровни помех в следующих узловых точках: точка сопряжения с национальной электросетью и точки сопряжения с распределительными сетями пользователей. Чаще всего имеют место следующие помехи (их следует оценивать в первую очередь):

- гармоники;
- быстрые изменения напряжения;
- пульсация.

Последняя представляет собой колебание напряжения с частотой модуляции от 0,5 до 35 Гц, при котором возникает мерцание (например, колебания яркости свечения ламп).

### 1.4

#### Снижение энергопотребления

Рост стоимости электроэнергии является серьезной проблемой. Именно он все более принимается во внимание при расчете общих затрат предприятия. Согласно статистическим данным, любая компания имеет возможность снизить затраты на электроэнергию на 10–30 %. Возможность экономии варьируется в зависимости от величины энергопотребления электростанции, заложенной на этапе ее проектирования, и еще больше увеличивается для старых электростанций, где имеется возможность провести анализ энергопотребления и внедрить системы управления энергопотреблением. На рис. 1.3 указаны задачи, которые необходимо выполнить для снижения энергопотребления.



Рис. 1.3. Этапы снижения энергопотребления

## 1.5

**Таблица тарифов**

Анализ договора на поставку электроэнергии помогает выявить следующие полезные сведения:

- максимальное энергопотребление, превышение которого грозит штрафами;
- таблица тарифов - фиксированных или меняющихся в зависимости от времени суток;
- пиковое энергопотребление, превосходящее указанную в договоре допустимую величину.

Выделенная мощность - это максимальное энергопотребление, предусмотренное договором, обычно не очень высокое (как правило, до 35 кВт), в случае превышения которого происходит отключение электроэнергии с помощью ограничителя тока.

Выделенная мощность определяется на этапе проектирования с учетом эффективной мощности, требуемой для постоянной работы нагрузок в период пикового энергопотребления.

За каждый киловатт выделенной мощности необходимо платить установленную сумму, поэтому рекомендуется как можно более точно оценить свои потребности в электроэнергии, чтобы избежать лишних расходов.

Перед заключением договора следует спроектировать оптимальную архитектуру своей электросети, учитывая следующие важнейшие параметры:

- количество точек подключения;
- подключение к сети низкого или среднего напряжения, или несколько точек подключения к сети низкого напряжения;
- наличие аварийного генератора;
- прогнозирование энергопотребления с учетом текущих потребностей (а не просто суммы номинальной мощности нагрузок) для определения выделенной мощности.

В период действия договора на поставку электроэнергии пользователь должен контролировать свое энергопотребление с помощью соответствующих измерительных приборов и периодически сравнивать полученное значение со значением, указанным в счетах на электроэнергию; отсюда следует важность контроля энергопотребления.

## 1.6

**Пиковое энергопотребление**

Когда энергопотребление превышает 37,5 кВт, поставщик электроэнергии определяет среднее энергопотребление за 15-минутный интервал (см. рис. 1.4).

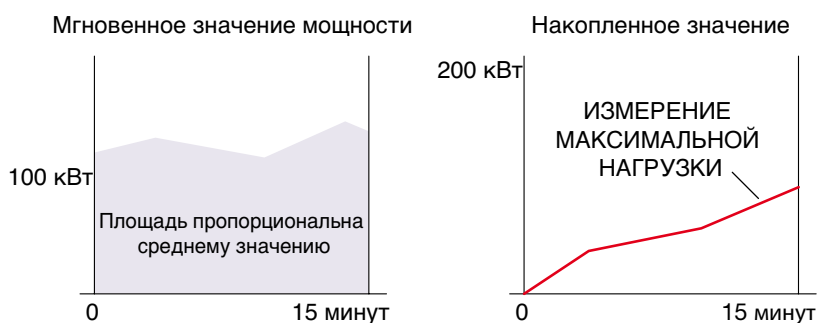


Рис. 1.4.: Графическое представление среднего энергопотребления

Например, пиковое энергопотребление согласно договору составляет 100 кВт. Предполагается, что энергопотребление в течение 15 минут не будет превышать 100 кВт. Это равнозначно потреблению 200 кВт в течение 7,5 минут и нулевому потреблению в течение следующих 7,5 минут.

Во избежание штрафных санкций необходимо регулировать пиковое энергопотребление, чтобы никогда не превышать допустимое среднее значение.

Правильный анализ энергопотребления дает возможность отслеживать потребление электроэнергии согласно договору, позволяя компании снизить расходы и предотвратить дополнительные платежи по итогам года. Так, регистрация энергопотребления по времени суток позволяет отслеживать недельное и месячное потребление электроэнергии и постоянно иметь перед глазами полную картину.

## 1.7

**Распределение энергопотребления по времени суток**

Чтобы снизить расходы на электроэнергию, нужно отслеживать энергопотребление. Важность этого сравнима с важностью рационального использования выделенной согласно договору мощности; эти действия позволяют избежать отключения энергоснабжения и штрафных санкций.

В жилых зонах и для предприятий сферы услуг, где выделенная мощность ограничена, а потребность в электроэнергии постоянно меняется в течение суток, важно отслеживать мгновенное энергопотребление и иметь возможность отключать менее критичные нагрузки при достижении максимально допустимой мощности.

Например, если домохозяйка включит сразу несколько устройств (стиральную и посудомоечную машины, пылесос и т.д.), и произойдет превышение максимального согласно договору энергопотребления, ограничитель тока в счетчике электроэнергии отключит электроснабжение всей квартиры. В простых примерах, подобных приведенному выше, можно обойтись реле управления нагрузкой (например, реле LSS1/2), в то время как в более сложных системах (на производственных предприятиях и предприятиях сферы услуг) можно использовать счетчики электроэнергии изготовления ABB (ODINsingle и DELTAsingle для однофазных сетей или ODINplus и DELTAplus для трехфазных сетей, см. раздел 5) для постоянного контроля потребленной мощности и составить план действий при достижении допустимого энергопотребления (например, отключать наименее критичные нагрузки, чтобы поддержать питание наиболее важных нагрузок).

## 1.8

**Компенсация и поддержание коэффициента мощности**

Значение коэффициента мощности (косинуса угла между векторами тока и напряжения) необходимо поддерживать как можно ближе к единице во избежание возникновения ненужных индукционных токов, перегружающих сеть поставщика электроэнергии. Как известно, устройства пользователя чаще всего являются индуктивными нагрузками (например, электродвигатели и трансформаторы), для их работы требуется ток намагничивания, который не выполняет полезной работы, однако перегружает электрическую сеть, снижая ее пропускную способность.

По этой причине поставщики электроэнергии налагают штрафные санкции на потребителей, коэффициент мощности устройств которых менее 0,9.

Именно поэтому важно измерять коэффициент мощности, а в случае его падения ниже допустимого согласно договору значения необходимо компенсировать его конденсаторами, устанавливая их в линии, где наблюдается сдвиг по фазе.

При этом измерение и регистрация потребленной мощности является важным фактором при составлении графика технического обслуживания, особенно на промышленных предприятиях, ведь знание наиболее загруженных линий и устройств позволяет спланировать вмешательства в их работу в рамках программы профилактического технического обслуживания.

## 1.9

**Дистанционный контроль информации и отслеживание ее во времени**

Для тщательного анализа электрических параметров и событий необходимо помимо измерительных приборов предусмотреть систему дистанционной передачи и хранения полученных данных для их последующего сравнения и анализа.

Дистанционная передача и хранение информации особенно важны на предприятиях, занимающих большую площадь и оснащенных мощным электрооборудованием (например, в больших сетевых магазинах и на промышленных предприятиях).



Для изготовления высококачественных технических (и особенно электрических) устройств необходимо соблюдать все применимые правовые и технические стандарты.

Знание стандартов и различий между правовыми и техническими стандартами представляет собой основу правильной организации изготовления измерительных инструментов, где учитываются не только точность и безопасность, но и вопросы налогообложения и бухгалтерского учета.

Правовые стандарты регулируют взаимоотношения между участниками рынка и органами управления государством. К ним, в частности, относятся Директивы Европейского совета, которые обычно вводятся в национальное законодательство постановлениями правительства соответствующих государств.

Технические стандарты содержат указания по проектированию, изготовлению и испытаниям машин, устройств, материалов и установок с целью обеспечения эффективности и безопасности их эксплуатации.

Технические стандарты, выпущенные национальными и международными организациями (Совет технических обществ, Европейская комиссия по стандартизации, Международная электротехническая комиссия), содержат очень подробные инструкции и имеют значимость государственных нормативных документов после принятия соответствующих постановлений правительством.

### 2.1

#### Стандарты Международной электротехнической комиссии (МЭК)

За контрольно-измерительное оборудование отвечают три Технических комитета:

- Технический комитет 85 «Приборы для измерения электрических и электромагнитных величин»;
- Технический комитет 66 «Безопасность контрольных, измерительных и лабораторных приборов»;
- Технический комитет 13 «Измерение расхода электроэнергии, управление нагрузкой и тарифами».

Технический комитет 85 разрабатывает и издает эталонные стандарты для цифровых и аналоговых приборов (вольтметров, амперметров, ваттметров и т. д.) и инструкции по использованию этих приборов и устройств в составе испытательных систем (аккумуляторные батареи, резисторы, самопишущие приборы и т. д.).

Также Технический комитет 85 выпустил ряд стандартов (от IEC EN 61557-1 до IEC EN 61557-10, все выпущены в Европе) по электробезопасности распределительных систем низкого напряжения. Кроме того, указанные стандарты содержат инструкции по технике безопасности и функциональные характеристики приборов, предназначенных для осуществления управления, испытаний и измерений в низковольтных электроустановках, например, измерителей сопротивления изоляции, цепей заземления и короткозамкнутых цепей, приборов для проверки целостности проводников схем защиты и т. д.

Таким образом, эти стандарты необходимо использовать при определении характеристик измерительных приборов, предназначенных для проведения испытаний в соответствии со стандартом ЕС 60364, в котором содержатся требования к электрическим установкам низкого напряжения.

Технический комитет 66 ведает мерами обеспечения безопасности оператора при изготовлении электрических измерительных приборов.

И наконец, Технический комитет 13 разрабатывает и издает стандарты, регулирующие процесс измерения активной и реактивной мощности и изготовления соответствующих устройств (счетчиков электроэнергии, встроенных устройств и т. д.). В этой связи в процессе испытаний счетчиков электроэнергии (как электромеханических, так и статических) необходимо соблюдать требования стандартов EN 50470-1, EN 50470-2 и EN 50470-3. На рис. 2.1 указаны стандарты, касающиеся контрольно-измерительного оборудования.

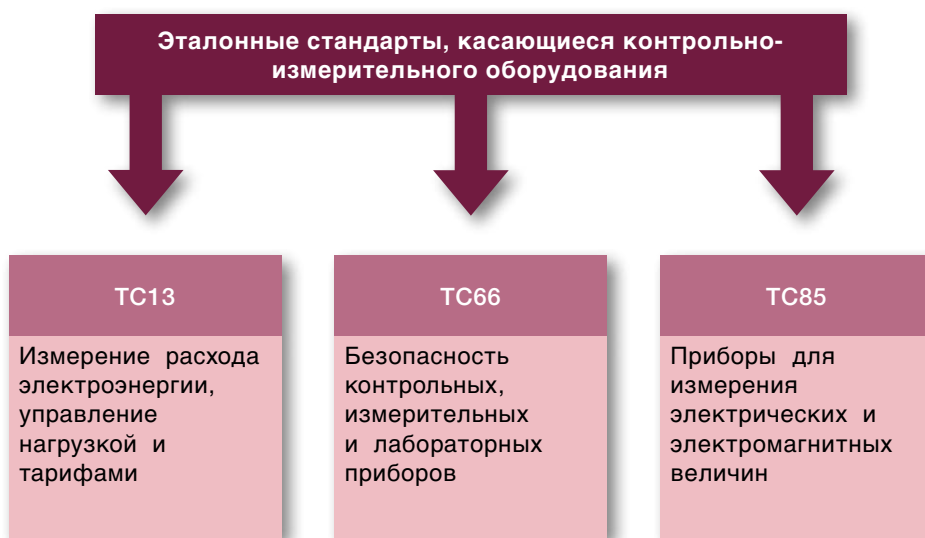


Рис. 2.1. Эталонные стандарты, касающиеся контрольно-измерительного оборудования

## 2.2

### Директива по измерительному оборудованию

Директива Европейского совета 2004/22/ЕС от 31 марта 2004 года содержит законодательные требования к устройствам и системам измерения количества такой продукции, как вода, газ и жидкости в целом, в частности, к «счетчикам электроэнергии и измерительным трансформаторам», определение которых содержится в Директиве MI-003.

Директива гласит, что измерительный прибор должен соответствовать «требованиям, применимым к рассматриваемому прибору». В приложении указаны требования к счетчикам электроэнергии по следующим параметрам: точность, условия эксплуатации, допустимая погрешность, порядок выяснения соответствия.

Эта Директива относится ко всем счетчикам электроэнергии (вне зависимости от владельца), установленным и используемым для измерения расхода электроэнергии; также указано, что эти счетчики можно использовать совместно с внешним трансформатором.

Значимость этой Директивы заключается не только в ликвидации использования ненадежных измерительных приборов, изготовленных с нарушением требований соответствующего стандарта и порой даже не имеющих знака «СЕ», но и в разрешении использования счетчиков электроэнергии, соответствующих требованиям этой Директивы, для целей налогообложения.

# 3

## Измерительные приборы

На протяжении последних десятилетий применяются как аналоговые, так и цифровые измерительные приборы.

В аналоговых приборах показания являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. В цифровых же приборах, получивших распространение в 1970-х и 80-х годах с развитием электроники и информационных технологий, измеряемая величина преобразуется в дискретное число.

Такие приборы состоят из аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для преобразования неэлектрического входного сигнала сначала в аналоговый электрический сигнал (обычно в сигнал напряжения), а затем - в цифровую форму, и счетчика импульсов для получения данных о количестве импульсов.

### 3.1

#### Аналоговые приборы

На рис. 3.1 изображена блок-схема конфигурации аналогового прибора по умолчанию.

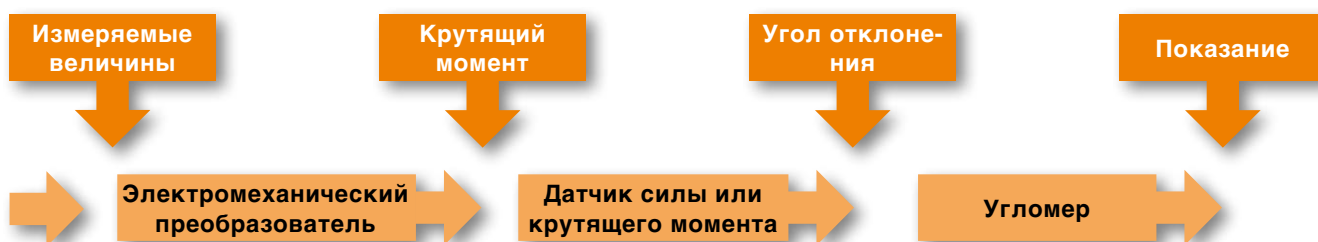


Рис. 3.1. Блок-схема электромеханического аналогового прибора

В этих приборах используется зависимость механической силы или крутящего момента от значения электрических или магнитных величин. Такие приборы оснащены подвижной деталью, которая в покое находится в исходном положении и на которую действует крутящий момент как функция значения измеряемой электрической или магнитной величины.

Этому крутящему моменту противостоит крутящий момент с обратным знаком (обычно упругий, зависит от смещения детали из исходного положения), который старается вернуть подвижную деталь в исходное положение при уменьшении значения измеряемой величины.

В результате действия двух крутящих моментов подвижная деталь останавливается в некоем положении равновесия, угловое отклонение которого пропорционально значению измеряемой величины.

Стрелка, прикрепленная к подвижной детали, вращается по шкале. Как правило, изготовитель прибора помещает на шкалу прибора общепринятые символы, которые характеризуют не только единицу измерения, но и принцип работы, тип подключенной сети (постоянного или переменного тока), класс точности, рабочее положение (горизонтальное, вертикальное) и меры безопасности (испытательное напряжение).

Эти общепринятые символы перечислены в таблицах 3.1 и 3.2.

### 3.1. Продолжение

Тип электрической сети			
Сеть	Символ	Сеть	Символ
Постоянного тока	—	Трехфазная сеть переменного тока с токовым контуром и контуром напряжения	
Переменного тока	~	Трехфазная сеть переменного тока с двумя токовыми контурами и двумя контурами напряжения	
Постоянного и переменного тока	≍	Трехфазная сеть переменного тока с тремя токовыми контурами и тремя контурами напряжения	
Монтажное положение			
Положение	Символ	Положение	Символ
Использовать прибор с вертикальной шкалой		Использовать прибор с наклонной шкалой	
Использовать прибор с горизонтальной шкалой		Угол наклона (необязательно)	
Испытательное напряжение			
Напряжение	Символ	Напряжение	Символ
Испытательное напряжение 500 В		Испытательное напряжение 5 000 В	
Испытательное напряжение 2 000 В		Испытательное напряжение не требуется	

Таблица 3.1. Идентификация приборов по символам, изображенным на их шкале

Прибор	Символ	Прибор	Символ
Стационарный магнит с подвижной катушкой		Стационарный магнит с подвижной катушкой в качестве измерителя отношений	
Подвижный сердечник		Подвижный сердечник в качестве измерителя отношений или дифференциального прибора	
Электродинамический преобразователь		Электродинамический преобразователь в качестве измерителя отношений	
Электродинамический преобразователь с сердечником		Электродинамический преобразователь с сердечником в качестве измерителя отношений	
Индуктор		Индуктор в качестве измерителя отношений или дифференциального прибора	
Плавкий предохранитель для защиты от тепловой перегрузки		Биметаллический предохранитель для защиты от тепловой перегрузки	
Электростатический преобразователь		Вибрирующие лезвия	
Подвижная термоэлектрическая катушка		Подвижная катушка с выпрямителем	

Таблица 3.2. Символы, обозначающие принцип работы прибора

### Цифровые приборы

Принцип работы цифровых приборов заключается в аналого-цифровом преобразовании. Такие приборы всегда оснащены устройствами декодирования и отображения (например, генераторами частоты стробирования и десятичными счетными цепями). Блок-схема изображена на рис. 3.2.

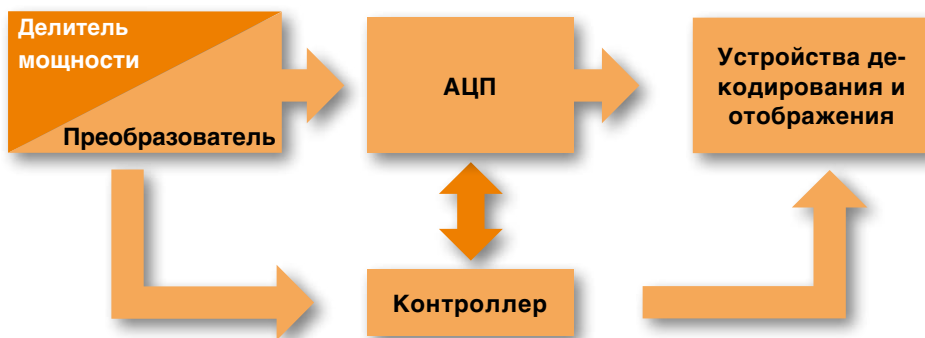


Рис. 3.2. Обычная конфигурация цифрового прибора

К цифровым приборам, помимо всего прочего, относятся вольтметры для цепей постоянного тока. При этом использование традиционных выпрямителей (особенно термоэлектрических преобразователей) или источников постоянного тока позволяет сделать их универсальными приборами, в том числе и для измерения напряжения частотой до сотен килогерц и сопротивления.

Такие измерительные приборы можно использовать для хранения и последующего использования измеренных величин. Также ими можно дистанционно управлять и применять их для обработки данных в составе микропроцессорных систем, получая в результате автоматические измерительные системы с широчайшей функциональностью.

Во избежание нарушений безопасности использования и функциональности цифровых приборов при их проектировании и эксплуатации необходимо учитывать два важных момента:

- электромагнитные помехи,
- требования к заземлению.

Для защиты прибора от электромагнитных (в том числе и высокочастотных) помех используют электростатический экран из неферромагнитного металла.

Этот экран можно подключить к одному из измерительных выводов либо к отдельному (третьему) выводу.

В первом случае результат измерения будет несбалансирован, поскольку один из двух выводов необходимо заземлить, чтобы можно было получить только два показания напряжения по отношению к потенциалу земли.

С другой стороны, в приборах с тремя выводами два вывода используются для измерения, а третий (к нему подключен экран) заземлен. В этом случае можно измерять разности потенциалов между двумя незаземленными точками; результат такого измерения называется сбалансированным.

Точка заземления – это точка, потенциал которой (так называемый опорный потенциал) неизменен. Это достигается за счет использования заземляющего проводника с очень малым сопротивлением.

В электронных и цифровых приборах может потребоваться наличие нескольких опорных точек (по одной для различных цепей прибора). Такие точки называются подключениями к «массе». Сопротивление между ними должно быть очень велико, емкостная связь должна быть сведена к минимуму.

На рис. 3.3 изображены общеупотребительные символы заземления и подключения к «массе».

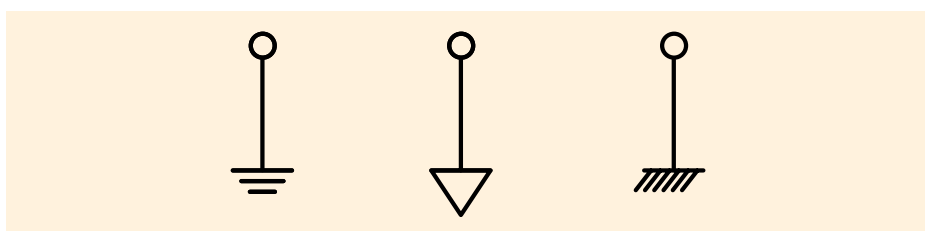


Рис. 3.3. Общеупотребительные символы заземления (а) и подключения к «массе» (б, в)

### Погрешность измерения и классы точности

Невозможно достичь абсолютной точности измерения. Каждый раз необходимо задавать допустимую погрешность измерения – предельное значение, на которое измеренная величина может отличаться от истинного значения.

Погрешности измерения возникают по разным причинам и имеют различное происхождение. Помимо ошибок измерения, вызванных, например, неправильным подключением прибора, можно выделить следующие классы погрешностей:случайная и систематическая (см. блок-схему на рис. 3.4).

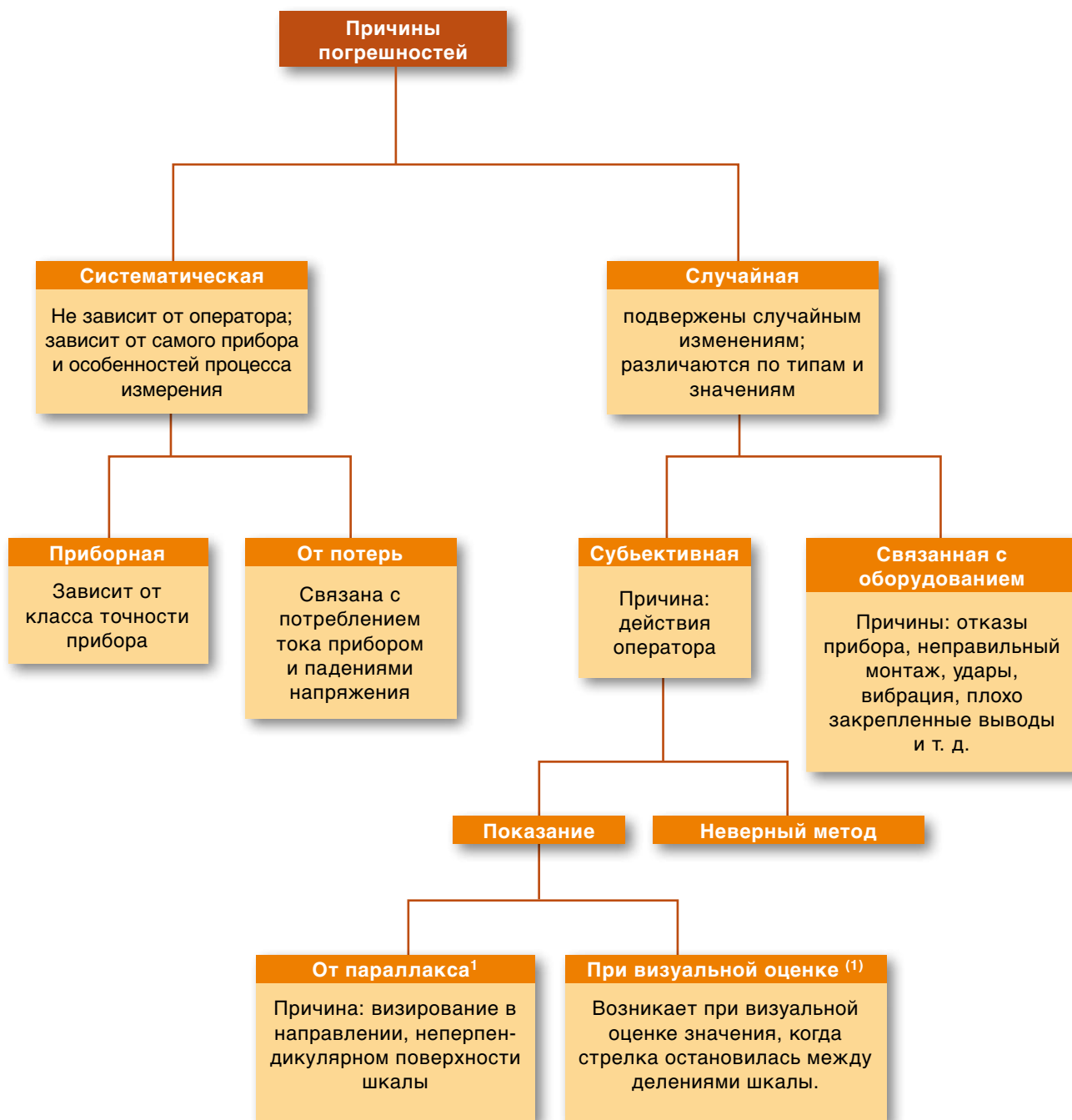


Рис. 3.4. Основные причины погрешностей при измерении электрических величин

<sup>(1)</sup> Погрешности в результате параллакса и визуальной оценки типичны для аналоговых приборов.

### 3.3. Продолжение

Вне зависимости от причины погрешности абсолютная погрешность измерения ( $\epsilon_{абс}$ ) определяется как разность между измеренным значением измеряемой величины ( $V_{изм}$ ) и истинным значением этой величины ( $V_{ист}$ ) по следующей формуле:

$$\epsilon_{абс} = V_{изм} - V_{ист}$$

На практике предпочитают пользоваться относительной погрешностью, которая вычисляется делением абсолютной погрешности  $\epsilon_{абс}$  на истинное значение  $V_{ист}$  с умножением результата на 100.

$$\epsilon_r \% = \frac{V_m - V_v}{V_v} \cdot 100 = \frac{\epsilon_a}{V_v} \cdot 100$$

Из этой формулы видно, что относительная погрешность уменьшается с ростом измеренного значения  $V_{изм}$ . В то время как абсолютная погрешность в целом не зависит от  $V_{изм}$ , относительная погрешность тем меньше, чем ближе показание прибора к верхней границе шкалы. Пример: абсолютная погрешность составляет 0,5 В для вольтметров, один из которых показывает 50 В, а другой – 100 В.

$$\epsilon_r \% = \frac{0.5}{50} \cdot 100 = 1 \% \qquad \epsilon_r \% = \frac{0.5}{100} \cdot 100 = 0.5 \%$$

Иными словами относительная погрешность во втором случае в два раза меньше относительной погрешности в первом случае. Этот факт следует учитывать при выборе измерительного прибора: показания аналогового прибора должны быть в районе верхней границы диапазона.

Не менее важно знать класс точности прибора. На основании этой информации можно заранее оценить абсолютную погрешность прибора и решить, достаточна ли его точность.

В соответствии со стандартами МЭК электрические измерительные приборы делятся на категории в зависимости от класса точности:

$$0.05 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 1.0 - 1.5 - 2.5 - 5$$

Указанные значения представляют собой процентное отношение абсолютной погрешности к верхней границе диапазона.

Это значит, что вольтметр класса точности 0,5 с верхней границей диапазона 200 В ни в одной точке шкалы не должен иметь абсолютную погрешность свыше  $\pm 0,5 \%$ . Другими словами допустимая абсолютная погрешность составляет:

$$\epsilon_a = \frac{\pm 0.5 \cdot 200}{100} = \pm 1 \text{ В}$$

Таким образом, любое напряжение, измеренное этим прибором, не должно отличаться от истинного значения больше чем на 1 В.

Классу точности прибора можно сопоставить относительную погрешность относительно полной шкалы. В данном случае она равна:

$$\epsilon_r = \frac{1}{200} \cdot 100 = 0.5 \%$$

Что касается цифровых приборов, погрешность прибора (вычисляется на основе истинного и измеренного значений) обычно указывается двумя числами (см. пример ниже).

Максимальная погрешность определяется на основе нескольких параметров. Обычно она указана в техническом описании прибора.

**Пример**

Заявленная погрешность:	$\pm 1\%$ чт. $\pm 4$ рзр.
Где:	«чт.» - сокращение от «чтение» И «рзр.» - сокращение от «разряд»
Диапазон измерения прибора	300 В
Точность	0,1 В
Измеренное значение	30 В

Порядок оценки погрешности измерения:

- максимальная погрешность измерения величины	$\pm 1\%$ от 30 В = $\pm 0,3$ В
- погрешность в крайнем разряде	$\pm 4$ разряда = $\pm 0,4$ В
- максимальная возможная погрешность	$0,3 + 4 = \pm 0,7$ В

Если при прочих равных условиях точность измерения составляет 1 В вместо 0,1 В, то максимальная погрешность измерения составит:

- максимальная погрешность измерения величины	$\pm 1\%$ от 30 В = $\pm 0,3$ В
- погрешность в крайнем разряде	$\pm 4$ разряда = $\pm 4$ В
- максимальная возможная погрешность	$0,3 + 4 = \pm 4,3$ В

При использовании цифрового прибора в цепи переменного тока важной характеристикой прибора является его способность определять эффективное истинное значение величины. Многие приборы (мультиметры, амперметрические датчики и т. д.) проектируются и калибруются для измерения величин только синусоидальной формы в сетях частотой 50 Гц.

При использовании таких приборов в установках с нелинейными нагрузками или в присутствии гармоник (такие устройства пользователя, как компьютеры, регуляторы освещенности, копировальная техника, микроволновые печи, инверторы, телевизоры и пр.) возможна очень большая погрешность измерения (измеренное значение может быть в два раза меньше эффективного истинного значения). Чтобы нивелировать влияние гармонических токов на результат измерения, следует использовать приборы с широкой (до 1000 Гц) частотной характеристикой.

При использовании вольтметров в средах с сильными магнитными полями (в трансформаторных будках, рядом с мощными электродвигателями или высоковольтными линиями электропередач) необходимо уделить особое внимание влиянию электромагнитных полей на эти приборы.

Как правило, в электротехнических установках используются вольтметры с высоким внутренним сопротивлением. Высокое внутреннее сопротивление, характерное для цифровых приборов и приборов с электронными входными сигналами, обеспечивает измерение напряжения с высокой точностью. При этом прибор способен определять малое напряжение и его незначительные изменения даже при малой мощности в измеряемой цепи. При наличии сильных электромагнитных полей причиной измерительной погрешности таких приборов могут стать даже их провода.

Кабель, помещенный в электромагнитное поле, становится проводником наведенной электродвижущей силы.

Чем длиннее подключенные к вольтметру кабели и чем выше его внутреннее сопротивление, тем выше наведенное напряжение (напряжение помех). Такой вольтметр способен указывать значение напряжения свыше 100 В, когда один его вывод заземлен, а другой – вывешен в воздух.

### Преимущества и недостатки цифровых и аналоговых приборов

Аналоговые приборы (а других и не существовало каких-то десятилетий назад) до сих пор великолепно выполняют поставленные перед ними задачи. Особенно это касается приборов щитового исполнения, прочность и надежность работы которых заслужили всеобщее одобрение.

Цифровые приборы обладают следующими объективными преимуществами перед своими аналоговыми «коллегами»: легкость восприятия показаний (не нужно определять значение по положению стрелки между соседними делениями шкалы и умножать это значение на масштабирующий коэффициент), большая точность и разрешение, сравнительно малые погрешности, высокая скорость измерения, возможность непосредственной установки в автоматическую систему измерения под управлением компьютера.

При выборе типа прибора необходимо учитывать требования к этому прибору, в частности, знать, в какую измерительную цепь, щит или установку планируется устанавливать этот прибор. Необходимо соблюдать принцип разумной достаточности. Например, в распределительный щит цеха производственной компании достаточно установить простейший вольтметр, который будет указывать сам факт наличия напряжения. Если же первоочередной задачей является постоянный контроль расхода электроэнергии и снижение расходов (например, путем контроля кривых нагрузки), то без электронного прибора с функциями сохранения и обработки измеренных величин не обойтись.





## Прямые и косвенные измерения. Токовые трансформаторы, трансформаторы напряжения, преобразователи и принадлежности

Приборы для измерения электрических величин должны быть подключены к цепям с соблюдением правил безопасности, монтаж должен быть максимально прост и удобен. Как правило, требуется измерение таких фундаментальных параметров, как напряжение и сила тока. Вольтметры подключаются параллельно измеряемой цепи, амперметры – последовательно.

### 4.1

#### Прямое измерение

Прямое измерение осуществляется при непосредственном включении прибора в цепь в точке измерения без каких-либо промежуточных устройств.

Прямое измерение можно осуществлять лишь в случаях, когда значение измеряемой величины не превышает измерительный диапазон прибора.

Например, для измерения в цепи напряжением 230 В необходимо использовать вольтметр с более широким диапазоном (например, 300 В).

То же относится и к измерению силы тока: при измерении токов силой до 5 А следует использовать прибор с диапазоном не менее 5 А, также требуется вход диапазоном 0-5 А.

Как правило, приборы, предназначенные для прямого монтажа в щит или шкаф, обладают весьма ограниченным диапазоном (рассчитаны на измерение малых токов и напряжений) и оснащены одним или несколькими дополнительными резисторами (вольтметры) или шунтами (амперметры).

Прибор, оснащенный резисторами высокого номинала, можно подключать напрямую к измеряемой цепи.

### 4.2

#### Косвенное измерение

Если значение измеряемой величины превышает измерительный диапазон прибора, между цепью и прибором внедряют понижающий трансформатор, который подает на измерительный прибор входной сигнал, соответствующий его диапазону. Такой способ измерения называется косвенным.

Измерение через измерительный трансформатор называется косвенным, поскольку непосредственного измерения в цепи не выполняется.

Например, для измерения силы тока до 100 А амперметром, измерительный диапазон которого составляет 5 А, между цепью и амперметром требуется установить токовый трансформатор с коэффициентом трансформации 100/5.

Трансформаторы тока с витой первичной обмоткой подключают последовательно к цепи, в которой планируется измерять силу тока. Если же трансформатор тока оснащен сквозной первичной обмоткой, через соответствующее отверстие прибора пропускают изолированный или оголенный участок цепи. С выхода такого трансформатора подается ток диапазоном в 5 А (уменьшен в 20 раз по сравнению с током измеряемой цепи). Первичная обмотка токового трансформатора подключается последовательно в измеряемую цепь; вторичная обмотка

#### 4.2. Продолжение

ка подает ток на один или несколько последовательно соединенных друг с другом измерительных приборов. Пример электрической схемы такого трансформатора изображен на рис. 4.1. По сравнению с обычным трансформатором токовый трансформатор сконструирован таким образом, чтобы ток намагничивания  $I_0$  был бы пренебрежимо мал для создания потока  $\Phi$  в сердечнике.

При таких условиях токи первичной и вторичной обмоток имеют в точности противоположные фазы, отношение их эффективных значений равно отношению количества витков вторичной ( $N_2$ ) и первичной ( $N_1$ ) обмоток. Другими словами:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_2}{N_1} = n$$

откуда

$$I_p = n I_s$$

Таким образом, отношение количества витков вторичной и первичной обмоток ( $n$ ) является идеальным коэффициентом трансформации первичного тока во вторичный.

В действительности же трансформатор не может обладать нулевым сопротивлением магнитному потоку. Для каждого трансформатора стандартами ЕС 38-1 определены номинальные токи его первичной (IПЕРВном) и вторичной (IВТном) обмоток. Соотношение этих двух токов является номинальным коэффициентом трансформации:

$$K_n = \frac{I_{Pn}}{I_{sn}}$$

Этот коэффициент всегда записывается с указанием числителя и знаменателя. Например, токовый трансформатор с номинальными токами первичной и вторичной обмоток, равными 75 и 5 А, вкратце записывается как «токовый трансформатор 75 А / 5 А».

В таблице 4.1 указаны коэффициенты и угловые погрешности (разности фаз между токами первичной и вторичной обмоток), допустимые стандартами МЭК для токовых трансформаторов.

Класс точности	Ток, процентов от номинального значения	Погрешность коэффициента, %	Угловые погрешности	
			в угловых минутах	сотые доли процентов
0.1	10	± 0.25	± 10	± 0.3
	10	± 0.2	± 8	± 0.24
	100	± 0.1	± 5	± 0.15
	120	± 0.1	± 5	± 0.15
0.2	10	± 0.5	± 20	± 0.6
	20	± 0.35	± 15	± 0.45
	100	± 0.2	± 10	± 0.3
	120	± 0.2	± 10	± 0.3
0.5	10	± 1	± 60	± 1.8
	20	± 0.75	± 45	± 1.35
	100	± 0.5	± 30	± 0.9
	120	± 0.5	± 30	± 0.9
1	10	± 2	± 120	± 3.6
	10	± 1.5	± 90	± 2.7
	100	± 1	± 60	± 1.8
	120	± 1	± 60	± 1.8
3	50	± 3	Не регламентируется	
	120	± 3		
5	50	± 5	Не регламентируется	
	120	± 5		

Таблица 4.1. Коэффициенты трансформации токовых трансформаторов и допустимые стандартом МЭК значения угловых погрешностей

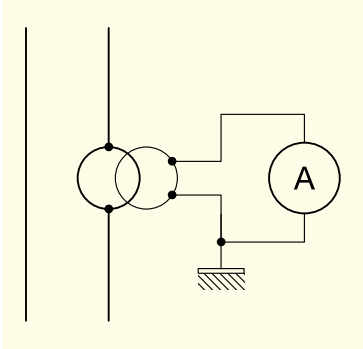


Рис. 4.1. Электрическая схема токового трансформатора

#### 4.2. Продолжение

При измерении высоких напряжений и напряжений, которые могут превышать измерительный диапазон прибора, используются трансформаторы напряжения. На их первичную обмотку подается напряжение измеряемой цепи (Uперв), а напряжение вторичной обмотки (Uвт) подается на измерительные приборы, подключенные параллельно друг другу. Пример электрической схемы такого трансформатора изображен на рис. 4.2.

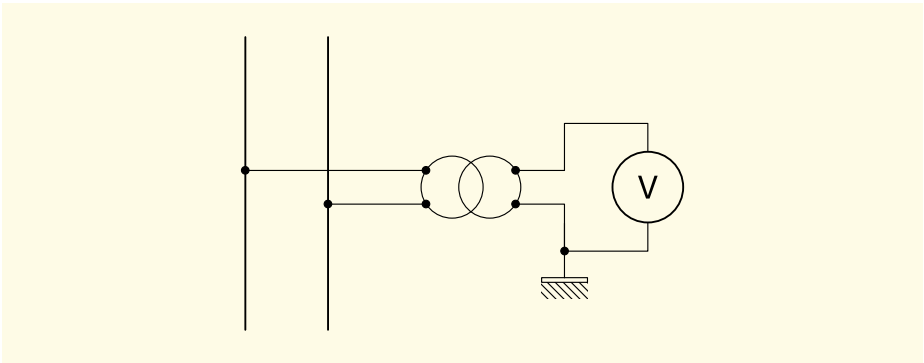


Рис. 4.2. Электрическая схема трансформатора напряжения

Подобно токовым трансформаторам, соотношение  $n$  между количествами витков двух обмоток (идеальный коэффициент трансформации) задается следующими формулами:

$$\frac{U_P}{U_s} = \frac{E_P}{E_s} = \frac{N_P}{N_s} = n$$

Однако на практике активное и индуктивное падение напряжения в обеих обмотках приводит к тому, что отношение  $U_{перв}/U_{вт}$  отличается от соотношения количества витков в обмотках ( $n$ ). Разница между этими значениями называется погрешностью определения коэффициента трансформации  $\eta_{изм}$  и измеряется в процентах. Поэтому для каждого трансформатора изготовитель определяет номинальные напряжения первичной (UПЕРВном) и вторичной (UВТном) обмоток, соответствующие предполагаемой нагрузке. Соотношение этих двух напряжений является номинальным коэффициентом трансформации:

$$K_n = \frac{U_{Pn}}{U_{sn}}$$

При этом следует указывать и числитель, и знаменатель. Например, трансформатор напряжения с номинальными напряжениями первичной и вторичной обмоток, равными 10 000 и 100 В, вкратце записывается как «трансформатор напряжения 10 000 В / 100 В». В таблице 4.2 указаны коэффициенты трансформации и угловые погрешности, допустимые стандартом МЭК.

Класс точности	Погрешность коэффициента, %	Угловые погрешности	
		в угловых минутах	сотые доли
0,1	± 0,1	± 5	± 0,15
0,2	± 0,2	± 10	± 0,3
0,5	± 0,5	± 20	± 0,6
1,0	± 1	± 40	± 1,2
3,0	± 3	Не регламентируется	Не регламентируется

Таблица 4.2. Коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения и допустимые стандартом МЭК значения угловых погрешностей

В заключение обсуждения приборов для измерения тока и напряжения напомним, что при оценке допустимой погрешности измерения необходимо суммировать погрешность прибора и погрешность трансформатора. Например, если класс точности прибора составляет 1,5, а трансформатора – 0,5, то допустимая погрешность будет равна ±2 % от измеренного значения (класс точности 2).

### Шунты для цепей постоянного тока

Если ток в цепи превышает диапазон измерения прибора, можно использовать шунт. Шунт – это дополнительный резистор, который устанавливают параллельно прибору, чтобы часть тока протекала через него. Таким образом, ограничивается сила тока, протекающего через прибор.

На рис. 4.3 изображена схема подключения шунта и милливольтметра к цепи постоянного тока.

Шунт подбирают, чтобы обеспечить надлежащее деление тока и, как следствие, соответствие силы тока, протекающего через прибор, и диапазона этого прибора. На рис. 4.3 мы имеем следующее:

$$I = \frac{R_s}{R + R_s} I' \quad I' = \frac{1}{m} I'$$

откуда

$$I' = m I = K'_A n$$

где  $m = \frac{R + R_s}{R_s} = \frac{I'}{I}$

коэффициент шунтирования,  $n$  – количество делений шкалы,  $K'_A$  – новая постоянная измерения прибора ( $K'_A = m K_A$ ).

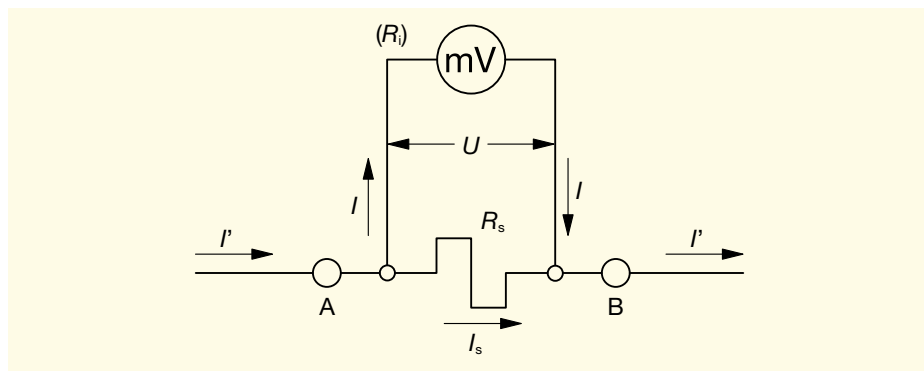


Рис. 4.3. Измерение постоянного тока с помощью милливольтметра и внешнего шунта

### Преобразователи и принадлежности

Преобразователи подключают к цепям переменного тока для получения сигнала постоянного тока или напряжения, пропорционального входному сигналу вне зависимости от нагрузки.

Эти устройства отлично подходят для получения показаний с высокой точностью и надежностью; на показания не влияют колебания температуры и вибрация.

Обычно преобразователь имеет несколько выходов, которые можно использовать в зависимости от ситуации.

Помимо преобразователей и трансформаторов тока и напряжения существуют следующие измерительные принадлежности:

- сменные шкалы для регулирования измерительного диапазона аналоговых приборов;
- коммутаторы тока и напряжения для переключения датчиков между различными фазами тока и напряжения;
- датчики, необходимые для прямого подключения аналоговых измерителей коэффициента мощности.

Преобразователи тока (напряжения) подают выходной сигнал постоянного тока (напряжения), независимый от нагрузки и прямо пропорциональный входному сигналу тока (напряжения).

Электронная схема обеспечивает надежность и точность измерения этих приборов, расширение их измерительного диапазона, устойчивость к изменениям температуры и вибрациям и малое энергопотребление из измеряемой цепи. Высокая скорость сбора данных (даже с большого расстояния) и возможность использования выходов различных типов (путем установки миниатюрных пакетных переключателей) делают эти приборы пригодными для применения в установках с особыми требованиями к выработке, распределению и потреблению электроэнергии.



Рис. 4.1. Преобразователи тока и напряжения



Измерительные приборы, предназначенные для установки в первичных и вторичных промышленных распределительных щитах среднего и низкого напряжения, идеально дополняют устройства АВВ, вместе с которыми они составляют встроенную панель управления.

Ассортимент продукции АВВ насчитывает свыше тысячи наименований. И это только базовые версии! Для соответствия различным стандартам и использования в системах разных типов компания АВВ разработала специальные версии этих устройств.

В наличии имеются как аналоговые, так и цифровые измерительные приборы. В аналоговых приборах показания отображаются с помощью подвижной стрелки, вращающейся вдоль градуированной шкалы, что позволяет немедленно считывать показания. Цифровые модели оснащены ЖК дисплеем (трех- или четырехразрядным, в зависимости от типа изделия).

Температура эксплуатации обоих типов устройств составляет от -10 до +55 °С, при этом приборы могут работать и в более жестких условиях с незначительным ухудшением точности. Эти приборы являются виброустойчивыми и обладают высоким классом защиты (IP).

### 5.1

#### Аналоговые приборы

Помимо обычных устройств для измерения электрических параметров (вольтметров, амперметров, измерителей коэффициента мощности) компания АВВ выпускает аналоговые приборы (измерители) специального назначения и различные принадлежности, включая токовые трансформаторы для расширения рабочего диапазона приборов.

Изделия различаются по исполнению: (1) изделия для монтажа на стандартную DIN-рейку (монтируются защелкиванием) отличаются малыми размерами, конструктивно прекрасно подходят для использования совместно с управляющими и защитными устройствами серий System и System pro M compact®; (2) изделия щитового исполнения предназначены для монтажа на первичные и вторичные промышленные распределительные щиты среднего и низкого напряжения; они монтируются винтами к кронштейнам, благодаря которым устройство можно устанавливать как в горизонтальном, так и в вертикальном положении, что способствует экономии пространства и облегчению доступа через лицевую панель щита.

##### 5.1.1

#### Аналоговые приборы для монтажа на DIN-рейку

В таблице 5.1 указаны краткие характеристики аналоговых приборов АВВ для монтажа на DIN-рейку. Подробные сведения о технических характеристиках этих устройств содержатся в техническом каталоге по устройствам серии System pro M compact®.

Аналоговые измерительные приборы ABB	
Для цепей переменного тока	Для цепей постоянного тока
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вольтметры для непосредственного измерения</li> <li>- Амперметры для непосредственного измерения</li> <li>- Амперметры без шкалы для токового трансформатора</li> <li>- Частотомеры (45-65 Гц)</li> <li>- Измерители коэффициента мощности со шкалой для преобразователей (входной сигнал 1 мА)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Амперметры для непосредственного измерения</li> <li>Амперметры без шкалы для шунта</li> </ul>

Технические характеристики		
Номинальное напряжение $U_{ном}$	[В]	300 и 500 (перем. тока), 100 и 300 (пост. тока)
Номинальный переменный ток для непосредственных измерений для косвенных измерений	[А]	Полная шкала: 5-30 Полная шкала: 5-2500
Номинальный постоянный ток для непосредственных измерений для косвенных измерений	[А]	Полная шкала: 0,1-30 Полная шкала: 5-500
Частота	[Гц]	50 или 60
Допустимая перегрузка	[%]	20 (по отношению к номинальному напряжению или току)
Класс точности	[%]	1,5 (0,5 для частотомеров)
Энергопотребление	[Вт]	См. каталог на изделия серии System pro M compact®
Модули	[шт.]	3
Стандарт		EN60051

При любом способе подключения прибора (прямое, через токовый трансформатор или шунт, см. рис. 5.1) вспомогательный источник питания не требуется.

При прямом подключении достаточно выбрать подходящее номинальное напряжение или ток. В остальных случаях:

- выберите номинальное значение параметра (тока, напряжения и т. д.);
- выберите трансформатор напряжения, токовый трансформатор, шунт или преобразователь;
- выберите подходящую шкалу;
- подключите прибор.

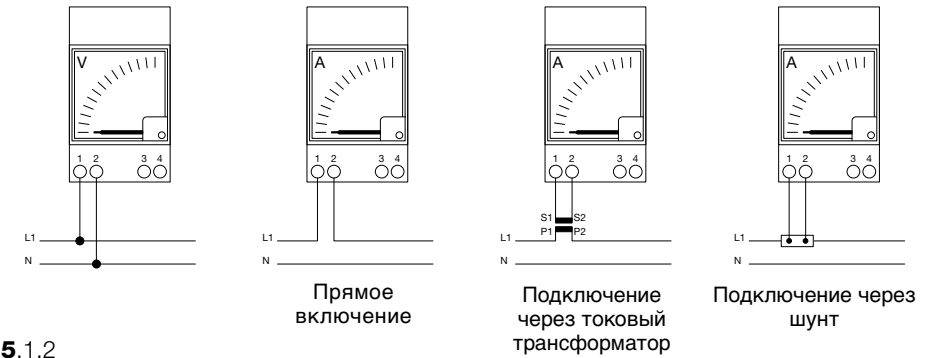


Таблица 5.1. Аналоговые измерительные приборы ABB для монтажа на DIN-рейку

Рис. 5.1. Подключение аналоговых приборов различными способами (прямое, через токовый трансформатор и через шунт)

5.1.2

**Аналоговые приборы для щитового монтажа**

К этой категории относятся вольтметры, амперметры, измерители коэффициента мощности и частотомеры с подвижной или стационарной катушкой (в зависимости от модели). При прохождении тока через прибор со стационарной катушкой крутящий момент, вызванный электромагнитным полем, смещает сердечник, соединенный со стрелкой, вдоль квадратичной шкалы.

Благодаря своей устойчивости к пиковым токам устройства со стационарной катушкой отлично подходят для установки в цепях переменного тока. При прохождении тока через прибор со стационарной катушкой крутящий момент, вызванный электромагнитным полем, смещает сердечник, соединенный со стрелкой, вдоль квадратичной шкалы.

Перемещение стрелки по часовой стрелке возможно только при определенном подключении полюсов, поэтому такие устройства можно использовать только в цепях постоянного тока.

## 5.1.2. Продолжение

Вольтметры и амперметры для подключения к цепям как постоянного, так и переменного тока, поставляются в трех исполнениях (48 x 48, 72 x 72 и 96 x 96 мм, другие исполнения доступны на заказ).

Для амперметров без шкалы имеются сменные шкалы (определяются кодом принадлежности). Спектр измерительных приборов щитового исполнения дополнен измерителями коэффициента мощности и частотомерами для однофазных и трехфазных цепей переменного тока в трех стандартных исполнениях (48 x 48, 72 x 72 и 96 x 96 мм).

На рис. 5.1 изображены примеры приборов щитового исполнения. Их технические характеристики указаны в таблице 5.2.

Подробное описание этих приборов, включая тип и код заказа, содержится в техническом каталоге «System pro M compact®», документ 2CSC400002D00209.

Технические характеристики		
Макс. номинальное напряжение изоляции	В	650
Испытательное напряжение	В	Эффективное 2000 (50 Гц в течение 1 минуты)
Класс точности		1,5 (0,5 для частотомеров)
Допустимая перегрузка <sup>(1)</sup> :		
- обмотки амперметра		До I <sub>ном</sub> x 10 в течение менее чем 1 с До I <sub>ном</sub> x 2 постоянно
- обмотки вольтметра		До U <sub>ном</sub> x 2 в течение менее чем 5 с До U <sub>ном</sub> x 1,2 постоянно
Рабочая температура	°C	-20...+40
Температура хранения	°C	-40...+70
Средняя и максимальная относительная влажность (DIN 40040) <sup>(2)</sup>		65 % (в среднем за год) 85 % (при температуре +35 °C в течение 60 суток в год)
Виброустойчивость (IEC 50-1)	g (9,81 м/с)	0,08-1,80 (0,35 мм с частотой 10-55 Гц по трем осям в течение 6 часов)
Класс защиты		IP52 – внутренние компоненты IP00 – блок выводов (IEC 144, DIN 40050) IP40 – с крышкой блока выводов
Конструкционный материал:		
- корпус и лицевая панель		самозатухающий термопластический материал в соответствии с UL94 V-0, устойчивый к грибкам и термитам
- стрелки дисплея (DIN 43802) <sup>(3)</sup>		алюминиевая отливка
- выводы		бронза
Монтаж		Вертикальный или горизонтальный, винтами к кронштейнам <sup>(4)</sup>
Габариты (Д x В x Ш, согласно DIN 43700/43718)	мм	48 x 48 x 53 72 x 72 x 53 96 x 96 x 53
Применимые стандарты		IEC EN 61010-1

<sup>(1)</sup> Если прибор подключен через токовый трансформатор, перегрузка может быть больше, поскольку трансформатор гасит пики тока вторичной обмотки до 10 x I<sub>ном</sub>.

<sup>(2)</sup> Тропическое исполнение предусматривает работу при относительной влажности до 95 % и температуре +35 °C в течение 60 суток. Согласно стандарту DIN 40040 такие устройства должны быть защищены от проникновения влаги внутрь. Выводы, винты, шайбы, болты и магниты должны быть оцинкованы для защиты от коррозии, а электрические цепи должны быть окрашены специальной краской Multicolor PC52.

<sup>(3)</sup> Время успокоения стрелки прибора составляет одну секунду. Сброс зафиксированных значений осуществляется соответствующей регулировкой.

<sup>(4)</sup> Если толщина панели составляет 0,5-19,0 мм, винты следует вворачивать как можно ближе к лицевой поверхности измерительного прибора. Если толщина панели составляет 20-39 мм, винты следует вворачивать как можно дальше от лицевой поверхности измерительного прибора.

Таблица 5.2. Технические характеристики аналоговых измерительных приборов щитового исполнения



Рис. 5.2. Аналоговые измерительные приборы щитового исполнения

## 5.1.3

**Преимущества**

Аналоговые измерительные приборы ABB отличаются высокой надежностью и стабильностью показаний, обеспечивающей даже дистанционное снятие показаний. Также они обладают следующими характеристиками, облегчающими процесс установки:

- уменьшенные габариты;
- полный спектр размеров для щитового монтажа (48 x 48, 72 x 72, 96 x 96 мм);
- не требуется вспомогательный источник питания;
- возможность снятия нескольких показаний благодаря наличию селекторных переключателей.

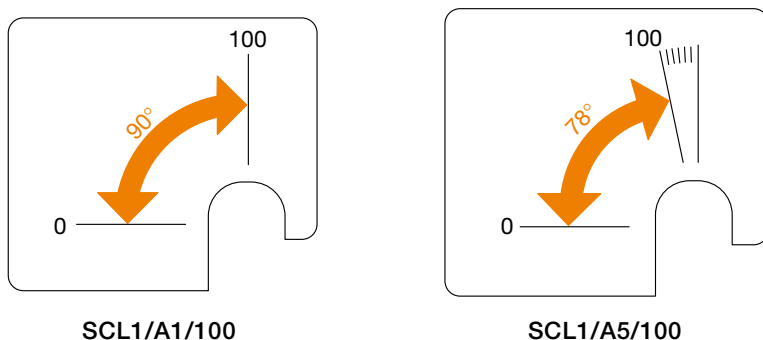
И заказчику, и продавцу удобно иметь один прибор на весь диапазон измерения (от 5 до 2500 А), укомплектованный различными принадлежностями и приспособлениями для установки, в том числе переключателями для монтажа на DIN-рейку.



Рис. 5.3. Переключатели щитового исполнения и для монтажа на DIN-рейку

Также необходимо отметить наличие сменных шкал, позволяющих расширить диапазон показаний электрических величин, измеряемых аналоговыми приборами.

Так, на рис. 5.4а и 5.4б изображены приборы с различными шкалами: полная шкала первого прибора имеет традиционный угол  $90^\circ$ , вторая –  $78^\circ$  плюс дополнительную шкалу, которая может пригодиться, например, для измерения пиковых токов, превосходящих полный диапазон (наблюдаются, в частности, при пуске асинхронных электродвигателей).

Рис. 5.4. а – полная шкала  $90^\circ$ ; б – полная шкала  $78^\circ$  с дополнительной шкалой

### Цифровые приборы

Компания АВВ производит широчайший спектр цифровых приборов. Помимо традиционных измерительных приборов (вольтметров, амперметров, частотомеров) щитового исполнения и для монтажа на DIN-рейку выпускаются также:

- мультиметры серии DMTME, которые не только измеряют основные электрические величины, но и сохраняют их максимальные, минимальные и средние значения и определяют активную и реактивную составляющие мощности;
- сетевые анализаторы серий MTME и ANR, которые не только отслеживают текущее энергопотребление, но также способны отключать нагрузки и подавать аварийные сигналы;
- счетчики электроэнергии;
- приборы для измерения температуры.

Наличие широкого спектра принадлежностей делает эти приборы универсальными, обеспечивая их использование в сетях со следующими параметрами:

- напряжение до 600 В;
- ток до 999 А;
- частота от 40 до 80 Гц.

В конце следует добавить, что отсутствие трущихся деталей (а значит, и их абразивного износа) увеличивает срок службы приборов и обеспечивает исключительную точность их регулировки.

#### 5.2.1

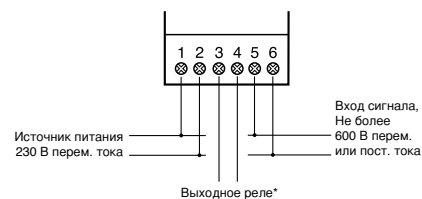
### Цифровые приборы для монтажа на DIN-рейку

Все эти приборы имеют высокую точность измерения (класс точности – 0,5) и отображения измеренных величин. Линейка этих устройств дополнена приборами со встроенным реле, отслеживающим значение измеряемой величины и при достижении заданной уставки переключающим релейный контакт с подачей аварийного сигнала. Можно задавать как минимальную, так и максимальную уставку. Зафиксированные максимальное и минимальное значения сохраняются в ПЗУ прибора. Пользователь может программировать работу реле. По умолчанию релейный контакт является замыкаемым; замыкание происходит лишь в случае аварийного события. Включив режим программирования, можно изменить принцип работы реле: в этом случае во время нормальной работы релейный контакт будет замкнут; размыкание произойдет лишь при возникновении аварийного события или при отказе электроснабжения. Прибор, оснащенный реле, можно использовать в качестве либо минимального, либо максимального реле; одновременное использование этих вариантов исключено. Также эти приборы способны сохранять и отображать минимальное и максимальное значения измеряемой величины.

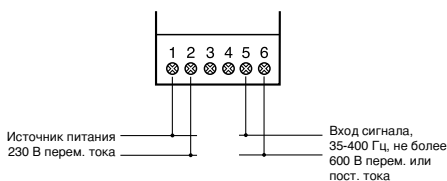


### Электрические схемы цифровых приборов (щитового исполнения и для монтажа на DIN-рейку)

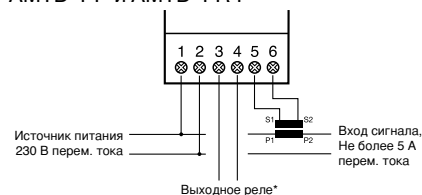
VLMD-1-2 и VLMD-1-2-R  
VLMD P и VLMD-R P



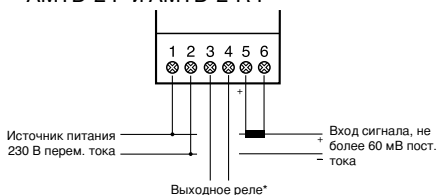
FRZ-DIG



AMTD-1 и AMTD-1-R  
AMTD-1 P и AMTD-1-R P



AMTD-2 и AMTD-2-R  
AMTD-2 P и AMTD-2-R P



\* Только для приборов с выходным реле

Рис. 5.5. Способы подключения цифровых приборов ABB

### 5.2.2

#### Цифровые приборы для щитового монтажа

Эти приборы оснащены трехразрядными ЖК дисплеями с немедленным отображением значений измеренных величин.

Благодаря нескольким простым операциям осуществляется переключение между диапазонами, это позволяет менять или расширять диапазон измерения прибора.

К приборам данного типа относятся вольтметры, амперметры для прямого и косвенного (посредством трансформаторов, шунтов и приборов измерения температуры) измерения. Эти приборы можно использовать в цепях как постоянного, так и переменного тока.

Отсутствие трущихся механических деталей обеспечивает исключительную надежность и долговечность этих устройств.

На рис. 5.1 изображены примеры приборов щитового исполнения. Их технические характеристики указаны в таблице 5.4.

Подробное описание этих приборов, включая тип и код заказа, содержится в техническом каталоге «System pro M compact®», документ 2CSC400002D0208.



Рис. 5.6. Цифровые измерительные приборы щитового исполнения

## 5.2.2. Продолжение

Технические характеристики		
Напряжение питания	[В]	230 В перем. тока
Номинальная частота	[Гц]	50÷60
Полная шкала амперметров	[А]	5, 20, 25, 40, 60, 100, 150, 200, 250, 400, 600
Полная шкала вольтметров	[В]	300, 500
Полная шкала частотомеров	[Гц]	35...400
Задержка срабатывания	[с]	1, 5, 10, 20, 30
Гистерезис	[%]	5, 10, 20, 30 (заданная уставка)
Напряжение на выводах	[В]	3-4
Выходное реле	[А]	Замыкающий контакт
Номинальное напряжение реле	[I <sub>ном</sub> /U <sub>ном</sub> ]	230 В перем. тока
Номинальный ток реле	[%]	AC1 16, AC15 3
Конфигурация реле		Замыкающий релейный контакт замыкается при достижении аварийной уставки
		Размыкающий релейный контакт размыкается при достижении аварийной уставки
Устойчивость к перегрузке	[I <sub>ном</sub> /U <sub>ном</sub> ]	1, 2
Класс точности	[%]	±0,5 от полной шкалы, ±1 разряд при температуре 25 °С
Макс. входной сигнал (для амперметров)	[°С]	5 А перем. тока/60 мВ пост. тока
Дисплей	[°С]	3-разрядный ЖК дисплей
Рабочая температура	[°С]	-10...+55
Температура хранения	[°С]	-40...+70
Класс защиты		IP20
Энергопотребление	[ВА]	4
Модули	[шт.]	3
Габариты приборов щитового исполнения	[мм]	36 x 72 x 61,5 (глубина 51,5 мм при монтаже внутри распределительного щита)
Применимый стандарт		IEC EN w61010

Таблица 5.4. Технические характеристики цифровых измерительных приборов щитового исполнения

## 5.2.3

## Мультиметры DMTME

Цифровые мультиметры серии DMTME предназначены для измерения истинных среднеквадратических значений основных электрических величин в трехфазных сетях напряжением 230 и 400 В переменного тока, сохранения их максимальных, минимальных и средних значений и учета активной и реактивной мощности.

Мультиметр DMTME одновременно выполняет функции вольтметра, амперметра, измерителя коэффициента мощности, ваттметра, варметра, частотомера, счетчика активной и реактивной мощности и счетчика часов наработки. При этом достигается значительная экономия за счет уменьшения габаритов распределительного щита и длительности электрического монтажа.

На рис. 5.7а изображен шестимодульный мультиметр DMTME для монтажа на DIN-рейку. Он предназначен для установки в цепи напряжением 230 или 400 В переменного тока через токовый трансформатор .../5 А. Измеряемые величины: напряжение, ток, активная и реактивная мощность, частота и энергия. Модель DMTME-I-485 оснащена одним последовательным портом RS485 и двумя цифровыми выходами, которые можно запрограммировать для подачи импульсов или аварийных сигналов при достижении уставки.

На рис. 5.7b изображены две модели мультиметров щитового исполнения: традиционная модель (96 x 96 мм) и компактная модель (72 x 72 мм), идеальная для установки в трансформаторных подстанциях, где существуют более строгие требования к габаритам оборудования. Через последовательный порт RS485 несколько мультиметров и других цифровых приборов можно подключить к сети с помощью протокола Modbus RTU. К каждому мультиметру прилагается компакт-диск с руководством по эксплуатации, технической документацией, протоколом обмена данными и программным средством DMTME-SW.



Рис. 5.7а. Мультиметр серии DMTME для монтажа на DIN-рейку

Технические характеристики			
Номинальное напряжение	[В (скз)]	230 +15% - 10%	DMTME-72 и DMTME-96
	[В (скз)]	240 +15% - 10%	DMTME-72 и DMTME-96
	[В (скз)]	400 +10% - 10%	DMTME-72
	[В (скз)]	400 +10% - 10%	DMTME-72
	[В (скз)]	115 +15% - 10%	DMTME-96
	[В (скз)]	120 +15% - 10%	DMTME-96
Частота	[Гц]	45...65	
Энергопотребление	[ВА]	< 6	
Плавкий предохранитель		0.1 А	
Входы вольтметра			
Диапазон	[В (скз)]	10...500 В между фазой и нейтралью	
Макс. неразрушающее.	[В (скз)]	550	
Сопротивление (между фазой и нейтралью)	[МОм]	> 8	
Токковые входы (только с внешним токовым трансформатором .../5 А)			
Диапазон	[А (скз)]	0.05...5	
Допустимая перегрузка		1,1 (длительно)	
Точность измерений			
Напряжение		±0,5 % (полная шкала), ±1 разряд диапазона	
Ток		±0,5 % (полная шкала), ±1 разряд диапазона	
Активная мощность		±1 % ±0,1 % (полная шкала), от cosj = 0,3 до cosj = -0,3	
Частота		±0,2 %, ±0,1 Гц в диапазоне от 40,0 до 99,9 Гц	
		±0,2 %, ±1 Гц в диапазоне от 100 до 500 Гц	
Счетчик электроэнергии			
Предел счетчика мощности по одной фазе		4294,9 МВт·ч (МВА·ч) при kA = kV = 1	
Предел счетчика мощности по трем фазам		4294,9 МВт·ч (МВА·ч) при kA = kV = 1	
Точность		Класс 1	
Максимальное энергопотребление		1,4 Вт по каждому входу (при I <sub>макс</sub> = 5 А скз)	
Цифровые выходы			
Длительность импульса		Нижний уровень (не менее 50 мс) чередуется с верхним уровнем (50 мс)	
Максимальное выходное напряжение		48 В (пиковое, пост. или перем. тока) 450 мВт	
Энергопотребление		450 mW	
Максимальная частота		10 импульсов в секунду	
Максимальный выходной ток		100 мА (пиковый, пост. или перем. тока)	
Напряжение пробоя изоляции		Не более 750 В	
Программируемые параметры			
Коэффициент трансформации трансформатора напряжения		1...500	
Коэффициент трансформации токового трансформатора		1...1250	
Счетчик часов наработки	[часов]	10 000 000, с возможностью сброса	
Счетчик обратного отсчета			
Countdown	[часов]	1...32,000	
Рабочая температура	[°C]	0...+50	
Температура хранения	[°C]	-10...+60	
Относительная влажность		Не более 90 % (без конденсации) при температуре 40 °C	
Габариты	[мм]	96x96x103	DMTME-96
	[мм]	72x72x90	DMTME-72



### Сетевые анализаторы MTME и ANR

Сетевые анализаторы серии MTME (см. рис. 5.8а) предназначены для измерения истинных среднеквадратических значений основных электрических величин в трехфазных сетях напряжением 230 и 400 В переменного тока, сохранения их максимальных, минимальных и средних значений и учета активной и реактивной мощности.

Благодаря измерению абсолютной и относительной величины суммарного коэффициента гармоник можно в режиме реального времени отслеживать выработку и потребление электроэнергии установкой и предотвращать повреждение оборудования.

Некоторые модели сетевых анализаторов серии MTME способны включать и отключать нагрузки в целях оптимизации энергопотребления и генерировать аварийные сигналы по 34 величинам посредством двух релейных выходов.

Модели с портом RS484 предусматривают возможность локального или дистанционного контроля величин, измеряемых одним или несколькими приборами.

Измеренные величины отображаются локально на ЖК дисплее с подсветкой. Кроме того, имеются следующие функции:

- автоматическое распознавание полярности подключения токового трансформатора (с возможностью переключения);
- программируемый главный экран;
- пароль доступа;
- обновление встроенного ПО с помощью персонального компьютера.

К каждому прибору прилагается компакт-диск с руководством по эксплуатации, технической документацией, протоколом обмена данными и программным средством DMTME-SW.



Рис. 5.8а. Сетевой анализатор MTME-485-LCD-96

Основные характеристики сетевого анализатора MTME-485-LCD-96		
Номинальное напряжение	В (скз)	230 +15% - 10%
	В (скз)	240 +15% - 10%
	В (скз)	115 +15% - 10%
	В (скз)	120 +15% - 10%
Частота	[Гц]	45...65
Энергопотребление	[ВА]	< 6
Плавкий предохранитель		0, 1А
Входы вольтметра		
Диапазон	В (скз)	10...500 В между фазой и нейтралью
Макс. неразрушающее	В (скз)	550
Сопротивление (между фазой и нейтралью)	[МОм]	> 2
Токовые входы (только с токовым трансформатором .../5 А)		
Диапазон	[А (скз)]	0.05...5
Устойчивость к перегрузке		1,1 (длительно)
Точность измерений		
Напряжение		±0,25 % ±0,3 % (полная шкала)
Ток		±0,25 % ±0,3 % (полная шкала)
Активная мощность		±0,5% ±0,1 % (полная шкала), от cosj = 0,3 до cosj = -0,3
Частота		±0,2 %, ±0,1 Гц в диапазоне от 40,0 до 99,9 Гц
		±0,2 %, ±1 Гц в диапазоне от 100 до 500 Гц
Счетчик электроэнергии		
Предел счетчика мощности по одной фазе		4294,9 МВт·ч (МВА·ч) при кА = кВ = 1
Предел счетчика мощности по трем фазам		4294,9 МВт·ч (МВА·ч) при кА = кВ = 1
Цифровые выходы		
Длительность импульса		Нижний уровень (не менее 50 мс) чередуется с верхним уровнем (50 мс)
Максимальное выходное напряжение		48 В (пиковое, пост. или перем. тока)
Энергопотребление		450 мВт
Максимальная частота		10 импульсов в секунду
Максимальный выходной ток		100 мА (пиковый, пост. или перем. тока)
Напряжение пробоя изоляции		Не более 750 В

## 5.2.4. Продолжение

Программируемые параметры		
Коэффициент трансформации трансформатора напряжения		1...500
Коэффициент трансформации токового трансформатора		1...1000
Рабочая температура	[°C]	0...+50
Температура хранения	[°C]	-10...+60
Относительная влажность		Не более 90 % (без конденсации) при температуре 40 °C
Габариты	[мм]	96x96x103

Если требуется дальнейшее совершенствование функций анализа, можно использовать приборы ABB щитового исполнения и сетевые анализаторы серии ANR, предназначенные для измерения и регистрации сетевых и аварийных параметров путем обмена данными с системами контроля.

Программное средство SW01, которым оснащены эти устройства, обеспечивает программирование, отображение и сохранение данных измерения и аварийных сигналов.

Великолепная производительность:

- возможность измерения, хранения и анализа свыше 60 электрических параметров;
- измерение истинных и эффективных (истинных среднеквадратичных) значений тока и напряжения с классом точности 0,5;
- обмен данными посредством программируемых аналоговых выходов; цифровых выходов управления, подачи импульсов и аварийных сигналов; сбора данных о состоянии и (или) значений неэлектрических параметров; протоколов.

Сетевые анализаторы серии ANR выпускаются в двух исполнениях: 96 x 96 мм для скрытого монтажа и 144 x 144 мм (с платами расширения). Они оснащены графическими ЖК дисплеями разрешением 128 x 128 пикселей с подсветкой.

Использование этих устройств обеспечивает исключительную эффективность контроля над расходом электроэнергии как в однофазных, так и в трехфазных распределительных сетях посредством анализа мгновенных и архивных сведений об изменениях напряжения, перебоях в электроснабжении, незначительных отклонениях, гармонических составляющих (вплоть до 31-го порядка) и формах волны. Также эти устройства обеспечивают уменьшение расходов на электроэнергию путем анализа мгновенных и архивных сведений о потреблении энергии по четырем периодам в течение суток (можно задавать), контроля над нагрузками и их отключения в случае необходимости.



Рис. 5.8b. Сетевой анализатор ANR 144-230 R

Основные характеристики сетевого анализатора ANR 144-230			
<b>Корпус</b>			
Габариты	[мм]	96 x 96 x 130 - 144 x 144 x 66	IEC 61554
Максимальная площадь сечения проводов	[мм²]	2.5	
Класс защиты		IP52 (передняя панель), IP20 (блоки выводов)	EN 60529
Масса	[г]	430	
<b>Дисплей</b>			
Графический, ЖК		Разрешение 128x128, с регулировкой контрастности за счет изменения интенсивности подсветки	
Габариты дисплея	[мм]	ANR96: 50 x 50-ANR144: 70 x 70	IEC 60529
<b>Напряжение (эффективное истинное значение)</b>			
Прямое измерение	[В]	10 - 600	
Диапазон коэффициента трансформации	[В]	0,01 - 5000,00	
Длительная перегрузка		750, в случае превышения этого значения необходимо использовать трансформатор напряжения	
Энергопотребление	[ВА]	0.2	
Сопротивление входов	[МОм]	> 2	

## 5.2.4. Продолжение

<b>Ток (эффективное истинное значение)</b>		
3 изолированных входа со встроенными токовыми трансформаторами .../5 А	[А]	0.01 - 5
Нижняя граница измерительного диапазона	[мА]	10
Энергопотребление	[ВА]	0,2
Дисплей		
Устойчивость к перегрузке	[А]	10 (100 А в течение 1 с)
Диапазон коэффициента трансформации		0,01 - 5000,00
<b>Суммарный коэффициент гармоник</b>		
Напряжение и ток		До 31-й гармоники
<b>Частота</b>		
	[Гц]	30 - 500
<b>Точность</b>		
Ток	[%]	< 0,5 EN 61036
Напряжение	[%]	< 0,5
Мощность	[%]	< 1
Коэффициент мощности	[%]	< 1
Активная мощность	[%]	< 1 IEC 62052-11
Реактивная мощность	[%]	2 IEC 62053-23
<b>Внешний источник питания</b>		
ANR96-230, ANR96P-230, ANR144-230	[В]	85 ÷ 265, перем. или пост. тока
ANR96-24, ANR96P-24, ANR144-24	[В]	20 ÷ 60, перем. или пост. тока
Встроенный предохранитель		5 x 20 мм, 315 мА, 250 В, мгновенного срабатывания
<b>Условия эксплуатации</b>		
Рабочая температура	[°C]	-10 ÷ +50
Температура хранения	[°C]	-15 ÷ +70
Относительная влажность	[°C]	90%, без конденсации
<b>Изоляция</b>		
Напряжение пробоя		3700 В перем. тока (скз) в течение 1 минуты
<b>Последовательный вывод</b>		
RS485		
Настраиваемая скорость передачи данных	[бит/с]	1.200 - 19.200
Протоколы обмена данными		Modbus RTU, ASCII
<b>Встроенное ЗУ</b>		
ANR96 и ANR144	[Кб]	128 (используемый объем – 80)
ANR96P	[Мб]	1
Тип ЗУ		ПЗУ со встроенной батареей battery
Период хранения данных		5 лет при температуре 25 °C
<b>Встроенные часы</b>		
Часы реального времени		IEC EN 61038
Точность	[импульсов в минуту]	5
<b>Цифровые выходы</b>		
Максимальная площадь сечения проводов	[мм²]	0 ÷ 2.5
Выходное импульсное напряжение	[В]	12 ÷ 230 В перем. или пост. тока
Максимальный ток	[мА]	150
<b>Цифровые входы</b>		
Напряжение	[В]	12 - 24, пост. тока

## 5.2.5

**Приборы для измерения температуры**

Контроль температуры позволяет отслеживать работу систем вентиляции электрических устройств (трансформаторов, электродвигателей и т. д.) и предотвращать неполадки, связанные с их перегревом.

Для измерения температуры используются датчики PT100 и резистивные датчики температуры.

### 5.2.5. Продолжение

Для каждого канала измерения можно программировать по две уставки срабатывания выходных реле, которые будут подавать аварийный сигнал при достижении критической температуры.

Измеренные значения и возможные аварийные состояния отображаются на двух трехразрядных дисплеях на передней панели устройства. Программирование функций устройства осуществляется с помощью пяти кнопок.

Кроме того, эти устройства оснащены функцией сохранения максимальных значений и фактов вмешательства оператора, а также функцией контроля за работой системы вентиляции распределительного щита. На рис. 5.9 изображен блок управления TMD-T4/96 щитового исполнения.



Рис. 5.9. Модуль TMD-T4/96

Основные характеристики блока TMD-T4/96		
Напряжение вспомогательного источника питания	[В]	100 ... 125, 220 ... 240, 380 ... 415/50-60 при частоте 50 или 60 Гц
Максимальное энергопотребление	[ВА]	4
Измерительные входы		2 (PT100 или резистивные датчики температуры)
Измерительный диапазон	[°C]	0...+220 °C с погрешностью $\pm 2$ °C
Задержка срабатывания, гистерезис		5 с/2 °C
Дисплей		ЖК дисплей, 7 разрядов
Выходы		1, 12 В пост. тока; 3 реле (НО-З-НЗ); 8 А, резистивная нагрузка
Функции выходов		Подача аварийных сигналов и сигналов срабатывания, контроль системы вентиляции, самодиагностика
Программируемые функции		ALARM (Аварийный сигнал), TRIP (Срабатывание), HOLD (Удержание), FAN (Вентиляция), T. MAX (Макс. температура)
Соединения		Извлекаемые блоки выводов с винтовыми зажимами, площадь сечения проводов – 2,5 мм <sup>2</sup>
Изоляция	[В (скз)]	2500, 50 Гц в течение 1 минуты
Класс защиты		IP52 (передняя панель), можно увеличить до IP65, установив дополнительный защитный кожух (код 2CSG524000R2021) IP20 (задняя панель)
Рабочая температура	[°C]	-10...+55, при влажности не более 90 %
Температура хранения	[°C]	-25 ... +80
Стандарты		IEC EN 50081-2, IEC EN 50082-2, IEC 14.1, IEC EN 60255

### 5.2.6

#### Электронные счетчики электроэнергии

Таблица 5.5 содержит краткие сведения о счетчиках электроэнергии ABB, предназначенных для монтажа на DIN-рейку. Подробные технические характеристики этих устройств содержатся в каталоге «System pro M compact®».

Каждый счетчик электроэнергии изготовления ABB прошел типовые испытания, поверку и имеет сертификат соответствия требованиям Директивы по измерительному оборудованию. Типовые испытания изделий ABB выполняются согласно требованиям приложения В, первичная поверка – согласно требованиям приложения D. Каждое изделие проходит проверку на соответствие соответствующим требованиям стандарта EN 50470 и проверку специалистом уполномоченной организации, который выписывает сертификат на данное изделие. Компания ABB привлекает компанию Nmi в качестве независимого эксперта по метрологическим испытаниям, сертификации и калибровке. Данные счетчики электроэнергии выгодно использовать для жилых районов, предприятий сферы обслуживания и производственных предприятий. Типичный пример первого применения – контроль и регистрация энергопотребления во внутренних помещениях торгового центра. Управление потреблением мощности на уровне здания может быть дистанционным, встроенным в систему управления и выполняться с использованием различных протоколов связи (Modbus RTU, M-bus, LonWork или Ethernet по выбору заказчика) через адаптеры последовательных каналов связи. Благодаря функции автоматического определения направления тока эти счетчики обеспечивают точность измерения и безопасность эксплуатации.

5.2.6. Продолжение

Не меньшими достоинствами обладают счетчики электроэнергии для промышленных установок. Конкретные функции этих устройств обеспечивают их рентабельность и надежность (см. таблицу 5.6).

Счетчики электроэнергии для однофазных сетей		Счетчики электроэнергии для трехфазных сетей	
ODINsingle	DELTAsingle	ODIN	DELTAplus
			
Прямое измерение до 65 А	Прямое измерение до 80 А	Прямое измерение до 65 А; косвенное измерение с помощью токового трансформатора (5/5-900/5 А/А)	Прямое измерение до 80 А; косвенное измерение с помощью токового трансформатора (1-999 А)

Таблица 5.5. Электронные счетчики электроэнергии для монтажа на DIN-рейку

## Принадлежности для измерительных приборов

### 5.3.1

#### Адаптеры последовательных каналов связи

Они обеспечивают последовательный обмен данными между счетчиками электроэнергии и удаленной системой контроля, являются компактными (два модуля DIN) и простыми в установке на DIN-рейку устройствами. Способ сопряжения со счетчиком электроэнергии изображен на рис. 5.10.

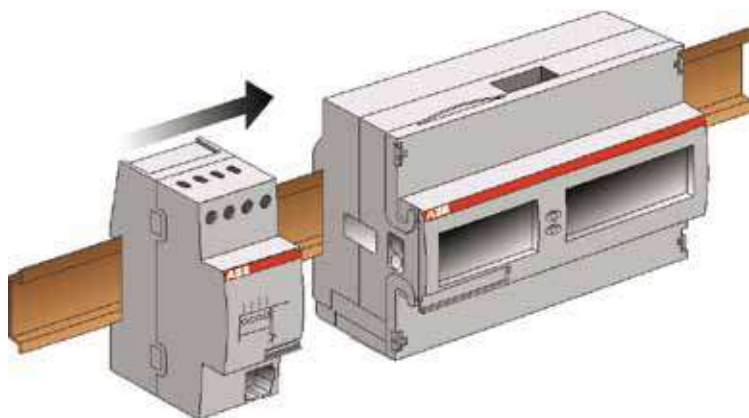


Рис. 5.10. Присоединение адаптера к счетчику электроэнергии

В основном они служат для преобразования оптических сигналов от счетчиков в сигналы для последовательной передачи по силовым цепям, витым парам и другим средам с использованием указанных протоколов (Modbus RTU, Meter-bus, TCP/IP, KNX/EIB, GSM/GPRS).

#### Последовательный преобразователь RS485 / RS232

Многофункциональные последовательные преобразователи CUS (см. рис. 5.11) используют во всех случаях, когда необходимо управлять последовательными каналами EIA-232 (RS-232), EIA-485 (RS-485) и EIA-422 (RS-422). При осуществлении обмена данными по шине, например, между ПЛК и контрольно-измерительными приборами или между устройствами и компьютерами с определенным ПО зачастую требуется преобразование последовательных сигналов, их усиление, гальваническая развязка между различными сегментами сети и т. д. Многофункциональный преобразователь CUS применяется для решения этих и других задач, чему во многом способствуют его широкие возможности в области настройки и регулировки.



Рис. 5.11. Последовательный преобразователь CUS

Преобразователь CUS обеспечивает гальваническую развязку между сегментами RS-232, RS422-485 и источником питания.

Это устройство может работать в следующих режимах:

- преобразование сигнала RS-232 в полнодуплексный сигнал RS-422;
- преобразование сигнала RS-232 в одинарный полудуплексный сигнал RS-485;
- преобразование сигнала RS-232 в двойной полудуплексный сигнал RS-485;
- повторение сигнала RS-485 (и контроль работы порта RS-232).

Основные сферы применения:

- сети с многоточечным обменом данными;
- последовательный обмен данными на большие расстояния;
- гальваническая развязка периферийных устройств;
- расширение линий связи RS-485.

Основные характеристики последовательного преобразователя RS485 / RS232		
Напряжение питания	[В]	230 В перем. тока $\pm 20\%$
Частота	[Гц]	50-60
Энергопотребление	[ВА]	Не более 7
Рас рассеяние энергии	[Вт]	3.5
Линейный плавкий предохранитель		Встроенный, 500 мА
Площадь сечения выводов питания	[мм <sup>2</sup> ]	Не более 2,5
Площадь сечения выводов RS485-422	[мм <sup>2</sup> ]	Не более 2,5
Разъем RS-232		9-контактный, гнездовой, Sub-D (DB9)
Максимальная длина линии RS-232	[м]	15
Максимальная длина линии RS485-422	[м]	1200
Количество устройств в многоточечной линии		Не более 32
Рабочая температура	[°C]	-20...+60
Температура хранения	[°C]	-20...+80
Модули	[шт.]	6

## 5.3.2

**Токовые трансформаторы**

Токовые трансформаторы применяются для понижения силы тока (до 6000 А на первичной обмотке и 5 А на вторичной обмотке) и подачи полученного малого тока на аналоговые и цифровые измерительные приборы. Имеются токовые трансформаторы с витой и сквозной первичной обмоткой. В первом случае первичная обмотка включается непосредственно в измеряемую цепь, во втором – через отверстие в трансформаторе пропускается шина или кабель, выполняющий роль первичной обмотки.

Имеются самые различные модели токовых трансформаторов. Подробные технические характеристики этих устройств содержатся в техническом каталоге «System pro M compact®». Так, на рис. 5.12 изображены три токовых трансформатора различных типов:

- 1) трансформатор для монтажа на DIN-рейку;
- 2) трансформатор с витой первичной обмоткой (подключается к 25-миллиметровой шине), ток вторичной обмотки снимается с выводов;
- 3) трансформатор со сквозной первичной обмоткой (в этом качестве можно использовать кабель, горизонтальную или вертикальную шину).

**Линейка токовых трансформаторов**

								
Трансформатор TRFM для монтажа на DIN-рейку			Трансформатор с витой первичной обмоткой			Трансформатор со сквозной первичной обмоткой		

Рис. 5.12. Примеры токовых трансформаторов

		Первичная обмотка						
		СТ3	СТ4	СТ6	СТ8	СТ8-V	СТ12	СТ12-V
Сечение провода, мм	○	21	25	50	2х30	2х35	2х50	2х35
	□	30х10	40х10	60х20	80х30	-	125х50	-
	▮	20х10	40х10	-	-	3х80х5	-	4х125х5

### Шунты для цепей постоянного тока

Эти шунты (напряжение – 60 мВ, максимальное сопротивление – 0,25 Ом) предназначены для использования совместно с измерительными приборами в цепях постоянного тока.

Каждый шунт оснащен метровым двухполюсным кабелем площадью сечения 1,4 мм<sup>2</sup>, что соответствует сопротивлению 0,025 Ом. Чтобы обеспечить правильную работу шунта, проверьте соблюдение следующих условий:

- монтаж может быть как горизонтальным, так и вертикальным (при горизонтальном монтаже лучше теплоотдача);
- контактная поверхность должна использоваться полностью и быть чистой; после подсоединения покрывайте ее специальной смазкой;
- крепежные элементы должны быть затянуты надлежащим моментом;
- следует обеспечить надлежащую вентиляцию шунтов; поскольку шунты не имеют изоляции, необходимо оборудовать их защитой от случайного прикосновения.



Рис. 5.14. Шунт для цепи постоянного тока

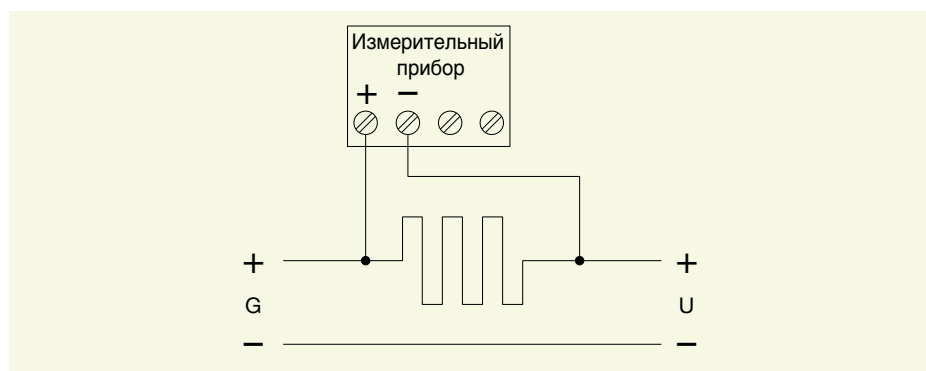


Рис. 5.15. Способ установки шунта в измерительную цепь

## 6.1

## Измерение истинных среднеквадратичных значений

## 6.1.1

## Линейные нагрузки

Значение напряжения, вырабатываемого на электростанциях, изменяется по синусоиде.

Примеры традиционных нагрузок:

- лампы накаливания и обогреватели (активные нагрузки);
- электродвигатели и трансформаторы (индуктивные нагрузки); если они подключены к источнику синусоидального напряжения, то значение проходящего через них тока также изменяется по синусоиде.

Ток в чисто активной или индуктивной нагрузке изменяется по тому же закону, то есть кривая его изменения, имеет ту же форму, что и кривая изменения напряжения, приложенного к нагрузке. Таким образом, в линейных нагрузках формы кривых изменения тока и напряжения одинаковы (обе синусоидальны) и не содержат гармонических составляющих.

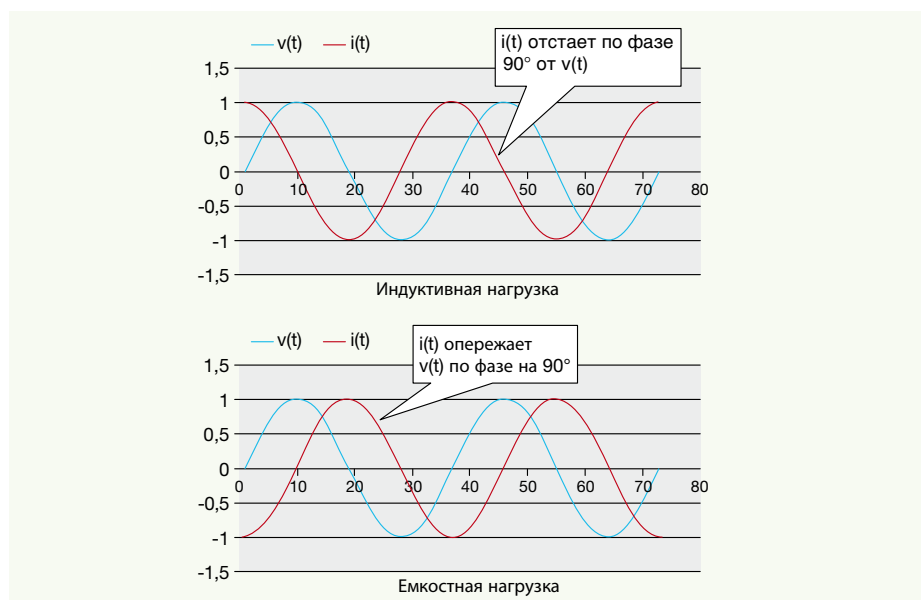


Рис. 1. Линейная зависимость между синусоидальным током  $I(t)$  и напряжением  $V(t)$

## 6.1.2

## Нелинейные нагрузки

Развитие технической мысли и необходимость снижения энергопотребления привели к разработке новых высокоэффективных энергопотребителей, способных работать с меньшими энергозатратами. Внедрение современной логики управления с использованием статических выпрямителей привело к тому, что электродвигатели переменного тока приблизились к

## 6.1.2 Продолжение

электродвигателям постоянного тока по динамическим характеристикам и КПД. Форма кривой тока, потребляемого устройством с выпрямителем, отличается от синусоидальной, хотя и является периодической; амплитуда и частота в пределах одного периода такой кривой изменяются по синусоидальному закону. Форма такой кривой сильно отличается от синусоиды. Нагрузки, на которые подается напряжение такой формы, называются «нелинейными» или «искажающими». Кривая изменения значения тока, потребляемого нелинейной нагрузкой, также не является синусоидой; ее форма отличается от формы кривой напряжения, приложенного к нагрузке.

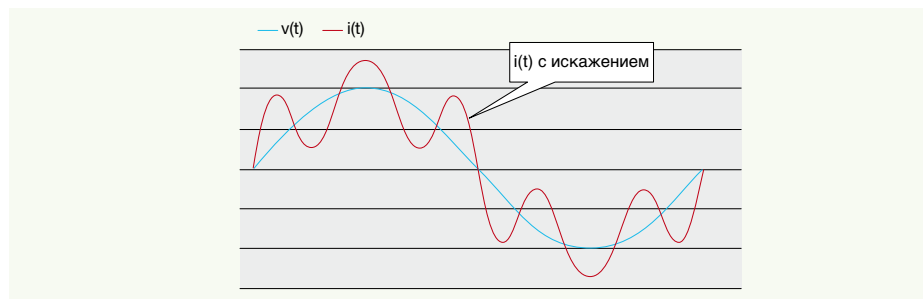


Рис. 2. Несинусоидальная зависимость  $i(t)$  от  $U(t)$  в нелинейной нагрузке

Примеры нелинейных нагрузок:

- компьютеры, принтеры, мониторы;
- ИБП;
- статические выпрямители и преобразователи постоянного тока в переменный;
- индукционные печи;
- электронные регуляторы;
- коммутационная аппаратура (в том числе и в бытовых устройствах);
- системы освещения под управлением устройств SCR и Triac;
- приводы с переменной скоростью;
- рентгеновские аппараты;
- магниторезонансные приборы.

## 6.1.3

### Трудности, связанные с измерением истинного среднеквадратичного значения

Существуют два типа измерительных приборов:

- приборы, измеряющие эффективное (среднеквадратичное) значение величины,
- приборы, измеряющие истинное эффективное значение эффективное (истинное среднеквадратичное) значение величины.

При измерении эффективного значения величины прибор оценивает произведение среднего значения выпрямленной кривой и коэффициента формы 1,11 (типичен для синусоидальной кривой); таким образом выполняется оценка эффективного значения периодической величины.

Таким образом, прибор показывает следующее значение:

показание прибора = среднее значение  $\times$  коэффициент формы синусоидальной волны

где коэффициент формы синусоидальной волны = 1,11.

Пример:  $22,4 \text{ A} \times 1,11 = 24,8 \text{ A}$

Среднее значение за половину периода можно также представить на графике, на котором оно равно высоте прямоугольника, длина которого равна половине периода, а площадь равняется площади под отрезком синусоиды за то же время.

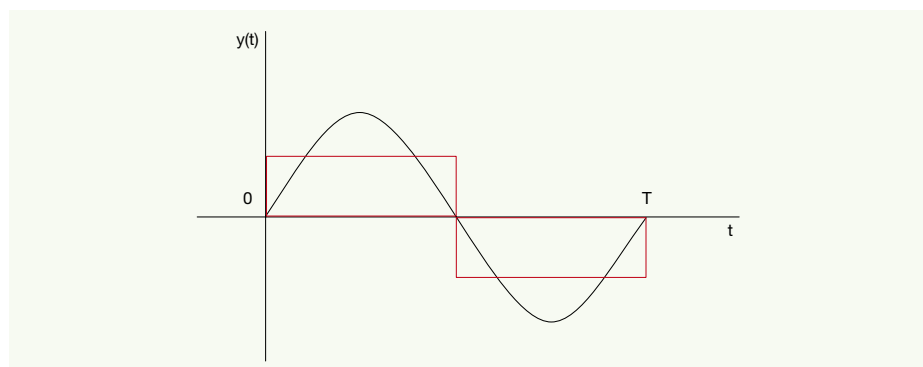


Рис. 3. Эффективное значение синусоидального сигнала

### 6.1.3 Продолжение

Приборы, измеряющие истинное эффективное значение величины, выполняют следующие операции:

- определение амплитуды сигнала в течение полного периода;
- возведение значений амплитуды в квадрат;
- вычисление среднего арифметического из получившихся значений;
- извлечение квадратного корня из среднего значения.

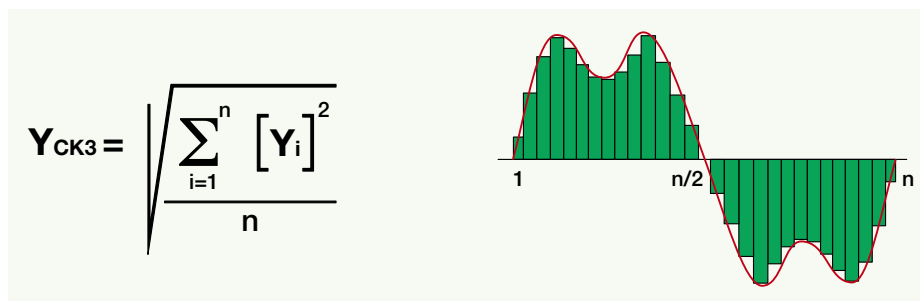


Рис. 4. Истинное эффективное значение синусоидального сигнала

Результаты измерения, выполненные приборами, измеряющими просто эффективное и истинное эффективное значения, совпадают только в случае идеально синусоидального сигнала.

Чтобы обеспечить точное измерение мощности в случае искаженной кривой, необходимо всегда использовать приборы с функцией определения истинных эффективных значений измеряемых величин.

## 6.2

### Гармоническое искажение и суммарный коэффициент гармоник

Гармоники – это синусоидальные кривые, частота которых кратна частоте базовой синусоиде. Кратность частоты гармоники называется «порядком гармоники».

При частоте сети, равной 50 Гц, нелинейные нагрузки в основном генерируют гармоники нечетных порядков:

- третья гармоника (150 Гц),
- пятая гармоника (250 Гц),
- седьмая гармоника (350 Гц) и т. д.

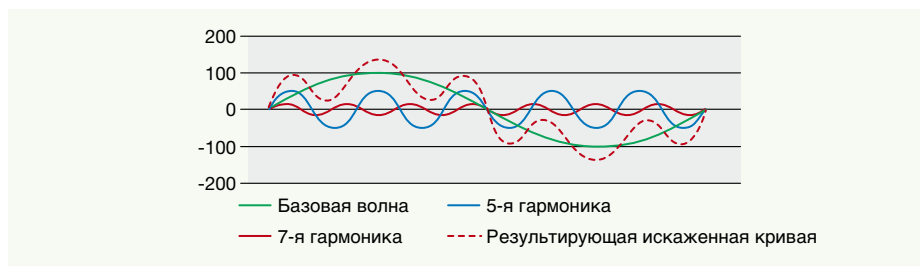


Рис. 5. Форма волны с гармоническими составляющими

Нелинейные нагрузки (включая перечисленные выше) являются источниками токовых гармонических составляющих.

Чем больше на предприятии таких электрических устройств, тем больше их влияние на локальную систему распределения электроэнергии.

При достижении значительных величин токовыми гармониками эти гармоники начинают влиять на работу распределительной системы и электрооборудования предприятия.

В результате меняется сопротивление распределительной системы, из-за чего происходят искажение напряжения и потеря электроэнергии.

При достижении чрезмерного гармонического искажения в оборудовании могут наблюдаться следующие неполадки:

- несвоевременное срабатывание дифференциальных реле;
- увеличение тока в фазных проводниках;
- значительный рост тока в нейтрали с последующим перегревом;
- перегрев трансформаторов и рост уровня издаваемого ими шума;
- увеличение скорости вращения дисков индукционных счетчиков электроэнергии;

- преждевременное старение электрических компонентов;  
- выход из строя конденсаторов системы компенсации коэффициента мощности;  
- выход из строя конденсаторов фильтров и малая резервная мощность ИБП;  
- снижение коэффициента мощности и наложение штрафных санкций поставщиком электроэнергии.

В случае сбалансированных нагрузок гармонические токи, подобно фазным токам при базовой частоте (50 Гц), стремятся уравновесить друг друга.

Это явление действительно для всех гармоник, кроме нечетных гармоник, порядок которых делится на три. Такие гармоники суммируются и возвращаются исключительно через нейтраль.

Если нелинейные нагрузки, подключенные звездой к трехфазной электросети, генерируют гармоники, порядок которых делится на три, это может вызвать перегрузку и, как следствие, перегрев нейтральных проводников.

Ниже изображены три векторные диаграммы: суммы векторов тока базовой частоты, пятой гармоники и третьей гармоники.

Далее в таблице, в которой содержатся результаты реальных измерений, наглядно показано, что суммарный ток нейтрали почти полностью представляет собой сумму токов третьей гармоники по трем фазам.



Истинное эффективное значение тока		Результаты измерения с помощью анализатора			
Линия	Ист. эфф. значение	Линия	Ток базовой частоты	Ток третьей гармоники	Ток пятой гармоники
L1	143,5 А	L1	138,2 А	35,5 А	12,1 А
L2	145,5 А	L2	140,7 А	34,7 А	11,6 А
L3	147,8 А	L3	141,7 А	39,6 А	13,2 А
Нейтраль	109,9 А	Нейтраль	10,6 А	109,4 А	3,1 А

Таблица 1. Влияние тока третьей гармоники на ток в нейтральном проводнике

Суммарный коэффициент гармоник представляет собой суммарное влияние всех гармонических составляющих на форму базовой кривой.

Другими словами, суммарный коэффициент гармоник – это гармоническое искажение измеряемой величины, которое определяется в сравнении с базовой кривой изменения ее значения.

Суммарный коэффициент гармоник измеряется в процентах и является хорошим индикатором наличия гармонических составляющих.

В стандарте EC EN 50160 содержится описание характеристик напряжения в в электросетях общего пользования.

В разделе 4.11 «Гармоническая составляющая напряжения» указано, что суммарный коэффициент гармоник (до 40-го порядка) для напряжения питания не должен превышать 8 %.

Даже если суммарный коэффициент гармоник для тока составляет считанные проценты, необходимо провести тщательный гармонический анализ, чтобы выявить наличие гармоник (особенно третьей), которые могут привести к нарушению работы электроустановки.

### Коэффициент мощности и $\cos \varphi$

$\cos \varphi$  – это косинус угла сдвига фаз в электросетях общего пользования в электросети переменного тока. В системе, где присутствуют только активные нагрузки, угол сдвига фаз равен нулю, поэтому  $\cos \varphi = 1$ . На практике всегда присутствуют индуктивные нагрузки (электродвигатели, источники питания, люминесцентные лампы и т. д.), в этом случае угол сдвига фаз лежит в диапазоне от 0 до  $\pi/2$  (задержка по фазе). Если в системе присутствует емкостная нагрузка, сдвиг по фазе лежит в диапазоне от 0 до  $-\pi/2$  (опережение по фазе). В обоих случаях значение  $\cos \varphi$  становится меньше единицы и теоретически может достичь нуля.  $\cos \varphi$  также называют коэффициентом мощности, поскольку его значение равно отношению между значениями активной и полной мощности. Если  $\cos \varphi = 1$ , значит, активная мощность равна полной мощности, реактивная мощность при этом равна нулю.

Гармонические составляющие, присутствующие в электросети, приводят к снижению коэффициента мощности, поскольку растет реактивная мощность. Наличие реактивной мощности всегда нежелательно. Коэффициент мощности тем хуже, чем больше он отличается от единицы. Поскольку фазовый сдвиг, вызванный индуктивными и емкостными нагрузками, различается знаком, установка обоих типов нагрузок в одной цепи (например, добавление конденсаторов к индуктивной нагрузке) позволяет скомпенсировать их и увеличить  $\cos \varphi$  (коэффициент мощности) почти до единицы. Значение  $\cos \varphi$  необходимо знать для определения мер по изменению в лучшую сторону коэффициента мощности.

## Практические советы по внедрению измерительной системы

### Начинайте с потребностей: что требуется измерять? Один электрический параметр или сразу все?

На рынке представлены различные семейства изделий: (1) приборы для измерения одного электрического параметра (напряжения, тока, частоты, сдвига фаз, коэффициента мощности), обычно используемые в однофазных системах и механизмах; (2) приборы для измерения и отображения значений всех электрических параметров как в однофазных, так и в трехфазных системах. Такие многофункциональные приборы идеально подходят для установки в щитах с ограниченным пространством, в щитах подстанций и в главных распределительных щитах промышленных предприятий. Если требуется не только измерение электрических величин, но и учет энергопотребления, измерительный прибор должен иметь еще и функцию учета активной и реактивной мощности.

### Выбор измерительной системы: один или несколько параметров, аналоговые или цифровые приборы

Приборы следует выбирать в зависимости от типа распределительной системы.

В однофазной системе для измерения напряжения, тока, частоты и коэффициента мощности можно использовать как аналоговые, так и цифровые приборы. В трехфазной системе можно установить измерительные приборы на каждый фазный провод, либо можно совместить амперметр и вольтметр с коммутаторами тока и напряжения, что даст возможность проводить измерения последовательно, с чередованием по фазе. Благодаря механической инерции стрелки аналоговые приборы обеспечивают хорошую стабильность показаний; также оператор может мгновенно определить, находится ли измеряемая величина в пределах допустимого диапазона или нет. Стрелка аналогового прибора указывает на точку измерительной шкалы, на которой показаны верхний и нижний пределы измерений.

В цифровых приборах такое отображение значения невозможно; отображается только цифровое значение на дисплее (например, значение тока).

Некоторые измерительные приборы оснащены шкальными индикаторами, на которых значение параметра отображается в процентах от верхней границы диапазона.

Использование цифровых приборов обеспечивает разборчивость показаний, особенно при плохом освещении (благодаря подсветке ЖК дисплея), и немедленное отображение изменения параметра.

### Расчет системы. Выбор токового трансформатора

Для расчета системы необходимо знать основные параметры установки, начиная с характеристик защитного выключателя, типа распределительной системы, номинальных значений тока и напряжения, тип шины. После определения необходимых для измерения приборов и выявления необходимости косвенного измерения следует надлежащим образом подобрать трансформаторы тока и напряжения. Непосредственное подключение амперметра для измерения силы тока порядка 800 А в большинстве случаев недопустимо. В этом случае необходимо подобрать подходящий токовый трансформатор. К характеристикам токового трансформатора относятся не только номинальный ток, мощность и ток вторичной обмотки, но и способ монтажа. Для соединения компонентов распределительного щита можно использовать гибкие и жесткие кабели, а также шины. Трансформаторы различаются по способу монтажа:

со сквозным кабелем или с подключением первичной обмотки к кабелю, монтаж к горизонтальным или вертикальным шинам.

### Электрические схемы

Подключение аналогового прибора выполняется очень просто – требуется лишь подключить фазный и нейтральный проводники к выводам прибора. К цифровому прибору должны быть постоянно подсоединены два провода от внешнего источника питания.

Многофункциональные приборы применяются в различных распределительных системах. В трехфазных системах с распределенной нейтралью требуется установка трех токовых трансформаторов. В трехфазных системах без распределенной нейтрали, где нагрузки симметричны и сбалансированы, можно выполнить схему Арона. При этом используются два, а не три токовых трансформатора. Ток в третьей фазе определяется косвенно (по разности), при этом предполагается, что все фазные токи одинаковы. Провода должны быть подключены не только к измерительным выводам многофункционального прибора, но и к его последовательному порту RS485, и к аналоговым и цифровым входам и выходам.

### Заземление и защита прибора

Чтобы обеспечить надлежащую защиту, необходимо установить подходящие плавкие предохранители в цепи питания цифровых приборов и в цепи входных сигналов вольтметров.

Заземление вторичных обмоток токовых предохранителей обеспечит защиту на случай короткого замыкания в трансформаторе, никак не влияя на точность измерения.

При отсутствии гальванической развязки между измерительными входами разных приборов возникновение большой разности потенциалов между нейтралью и землей может привести к ухудшению точности измерения.

### Настройка цифровых приборов

Перед вводом цифровых приборов в эксплуатацию необходимо задать им параметры измерения и обмена данными. Основными параметрами при измерении являются коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, которые определяются как соотношение между номинальным значением и значением параметра на вторичной обмотке (например, коэффициент трансформации для токового трансформатора СТЗ/100 с током вторичной обмотки, равным 5 А, вычисляется как  $k_{CT} = 100 / 5 = 20$ ).

### Устранение неполадок при окончательных испытаниях

Чаще всего причиной неполадок на этапе испытаний является неправильная установка приборов или их принадлежностей.

Всегда проверяйте, отвечают ли подключения требованиям, изложенным в руководстве по эксплуатации.

Наиболее частые ошибки при установке измерительных приборов:

- перепутаны полюса вторичной обмотки токового трансформатора;
- перепутаны фазы при подсоединении проводов к входам измерения тока и напряжения;
- короткое замыкание во вторичной обмотке токового трансформатора;
- задан неверный коэффициент трансформации.

# Цифровой обмен данными

Цифровой обмен данными – это процесс обмена данными в двоичной форме (так называемыми «битами»<sup>(1)</sup> данных) между интеллектуальными электронными устройствами, оснащенными соответствующими схемами и интерфейсами. Как правило, обмен данными выполняется последовательно, когда биты, составляющие сообщение или пакет, передаются один за другим по одному физическому каналу.

Устройства, осуществляющие обмен данными, объединены в сеть связи.

Обычно сеть состоит из узлов, объединенных линиями связи:

- узел (интеллектуальное устройство, способное обмениваться данными с другими устройствами) является точкой передачи и (или) приема данных;
- линия связи – элемент, соединяющий два узла и представляющий собой непосредственный канал для обмена данными между этими двумя узлами. Обычно это физическая среда (коаксиальный кабель, двухпроводной телефонный кабель, оптическое волокно, инфракрасные лучи), по которой передаются данные.

<sup>(1)</sup>Бит – это основная единица измерения количества информации. Значение бита определяется состоянием физического устройства, оно равно нулю или единице. Совокупность битов может представлять собой букву алфавита или число, служить сигналом, что-нибудь включать или выполнять другую функцию.

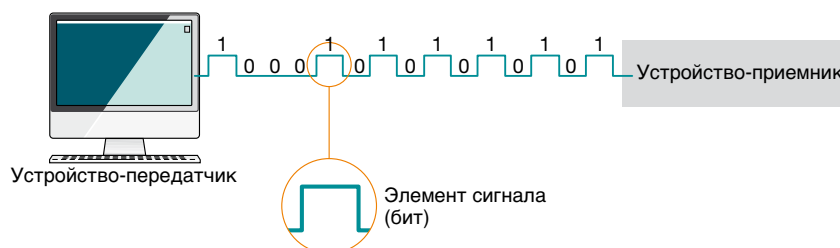


Рис. 1.  
Последовательность битов

Основные классы сетей обмена данными:

- «кольцо» – цепочка узлов (на рис. 2 – персональные компьютеры), объединенных в замкнутое кольцо;

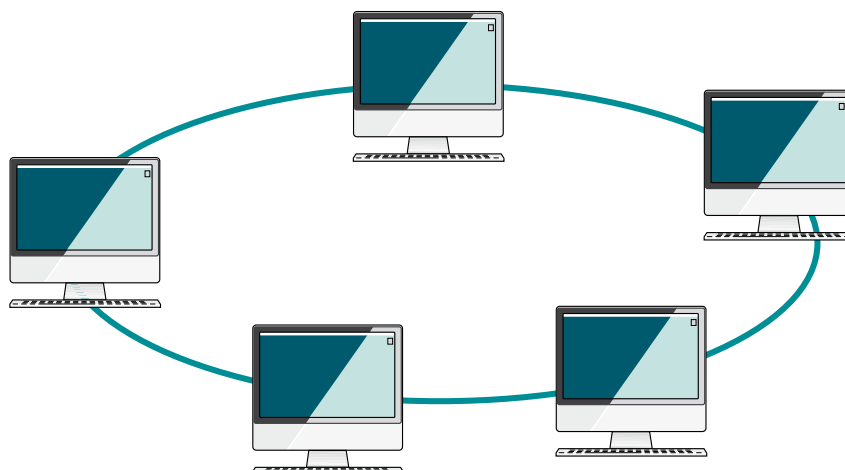


Рис. 2.  
Кольцевая конфигурация сети

- «звезда» – имеется центральный узел, с которым связаны все прочие (периферийные) узлы;

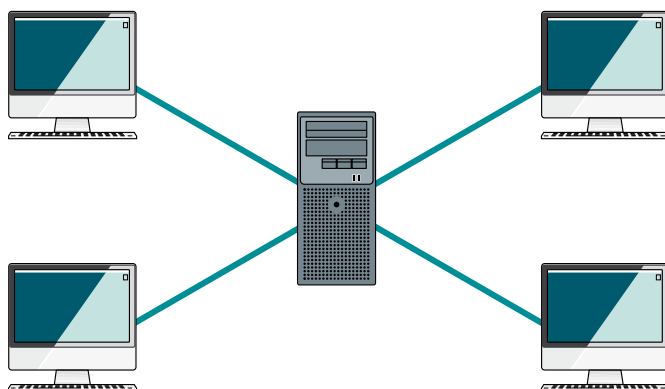


Рис. 3.  
Сеть с конфигурацией «звезда»

- «шина» – все узлы подключены параллельно к одному средству передачи данных (обычно к витой паре или коаксиальному кабелю).

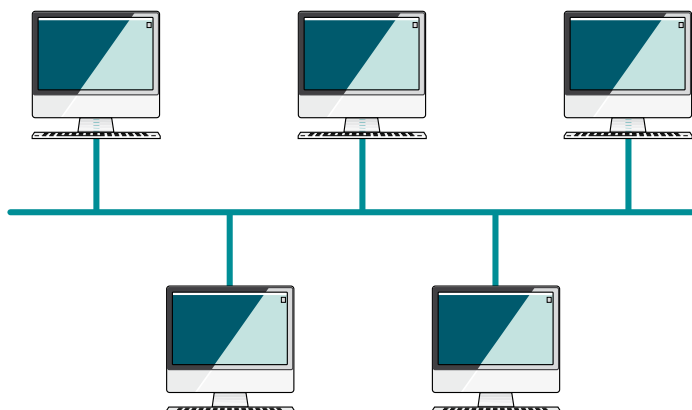


Рис. 4.  
Сеть с конфигурацией «шина»

Примеры управления процессом, когда необходим обмен данными между устройствами сети:

- 1) обмен данными между персональными компьютерами фирмы, объединенными в ЛВС<sup>(2)</sup>;

<sup>(2)</sup> ЛВС (локальная вычислительная сеть) – локальная сеть (например, Ethernet), объединяющая компьютеры и терминалы, находящиеся на небольшом расстоянии друг от друга (например, в одном помещении или здании).

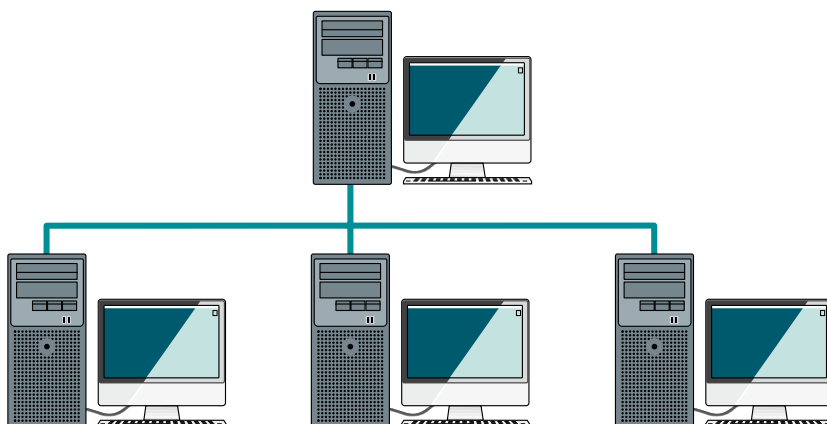


Рис. 5.  
Пример ЛВС

## 7 Продолжение

2) обмен данными и командами между системой контроля и управления и полевыми устройствами (датчиками и исполнительными механизмами) в рамках системы автоматического управления технологическим процессом.

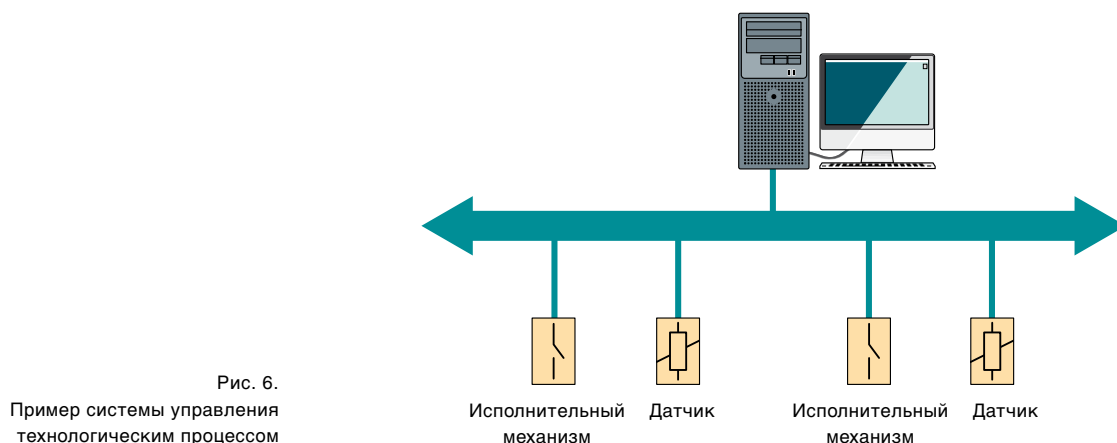


Рис. 6.  
Пример системы управления  
технологическим процессом

Для управления потоком данных в сети и «понимания» узлами сети друг друга требуется протокол обмена данными. Протокол обмена данными – это набор правил и действий, которым должны следовать узлы сети в процессе обмена данными; это четкая последовательность действий при обмене данными между передатчиком и приемником. В промышленных приложениях обмена данными между различными устройствами используется огромное множество протоколов обмена данными. Протоколы обмена данными различаются в зависимости от требований к обмену данными.

Примеры требований:

- объем передаваемой информации;
- количество узлов в сети;
- окружающие условия, в которых выполняется обмен данными;
- временные ограничения;
- важность передаваемой информации;
- возможность исправления ошибок связи.

Существует также большое количество протоколов для обмена данными между информационным оборудованием (например, персональными компьютерами и периферийными устройствами). В этом руководстве основное внимание будет уделено протоколам обмена данными между полевыми устройствами в промышленных приложениях, то есть устройствами, напрямую взаимодействующими с контролируемым физическим процессом. В частности, концепции обмена данными, управления и контроля будут рассмотрены применительно к распределительным системам низкого напряжения.

## Протоколы обмена данными

Современные протоколы, используемые в промышленных сетях обмена данными, отличаются значительной сложностью.

Для упрощения описания протоколы разделены на уровни: физический уровень, канальный уровень и уровень приложения.

Каждый уровень описывает часть процесса обмена данными, а именно:

- физический уровень определяет аппаратный канал связи между устройствами и описывает электрические сигналы для передачи битов от передатчика к приемнику; в частности, он описывает способ подключения и прокладки кабелей, значения напряжения или тока для представления нуля и единицы и их длительность. Обычно в промышленных протоколах в качестве физического уровня используется один из стандартных интерфейсов (RS-232, RS-485, RS-422 и т. д.);
- канальный уровень определяет способ группировки битов в символы и пакеты, а также методы выявления и устранения ошибок. При необходимости на канальном уровне задаются приоритеты устройств на доступ к средству передачи данных;
- на уровне приложения определяется значение переданной информации для контролируемого процесса. На этом уровне описываются данные, содержащиеся в передаваемых и принимаемых пакетах, и способ их использования.

Как правило, эти уровни независимы друг от друга. Для пояснения многоуровневой системы можно привести пример общения людей: по телефону или рации (физический уровень), на английском или французском языке (канальный уровень), тема разговора (уровень приложения). Для успешного установления связи между двумя узлами эти узлы должны использовать одинаковый протокол (уровни не должны противоречить друг другу). Например, я не могу говорить по телефону с человеком, который пытается говорить со мной по рации; мы не можем говорить на разных языках и т. д. Несмотря на то что данное руководство не предназначено для подробного описания существующих протоколов, необходимо все-таки описать некоторые особенности систем связи, дав краткое описание указанных трех уровней этих систем.

### 7.1.1

#### Физический уровень

Классификация систем по физическому уровню:

- беспроводные системы, где в качестве среды передачи сигнала используются радиоволны, инфракрасные или видимые лучи, свободно распространяющиеся в пространстве;
- проводные (кабельные) системы, где сигналы передаются по кабелю (металлическому или оптоволоконному). Типы проводных систем:
- системы прямой связи, где каждая пара устройств соединена собственным кабелем, по которому происходит обмен данными исключительно между этой парой устройств (классический пример – обмен данными между компьютером и принтером). Обмен данными может быть дуплексным (когда оба устройства могут одновременно передавать данные) или симплексным (когда передача данных выполняется устройствами по очереди);
- системы групповой связи (многоточечные системы), где сразу несколько устройств подключены параллельно к одному кабелю (см. рис. 8). Очень важной разновидностью многоточечных систем является система связи по шине, где все устройства параллельно подключены (напрямую или через короткие ответвления) к одному главному кабелю.

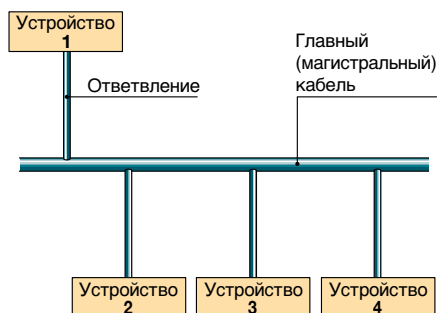


Рис. 8.  
Многоточечная система с обменом данными по шине

### 7.1.1 Продолжение

В промышленных сетях чаще всего используются следующие интерфейсы физического уровня: RS-232 (для прямой связи) и RS-485 (для групповой связи).

#### Интерфейсы RS-232 и RS-485

Ниже дано краткое описание интерфейсов физического уровня.

Интерфейс **RS-232** (так называемый «последовательный порт») широко используется в персональных компьютерах. Это асинхронный последовательный интерфейс для прямого обмена данными в дуплексном режиме.

Рис. 9.  
9-контактный разъем RS-232 для последовательного обмена данными



Рис. 10.  
Кабель с 9-контактными разъемами RS-232 для последовательного обмена данными



Краткое описание этого интерфейса:

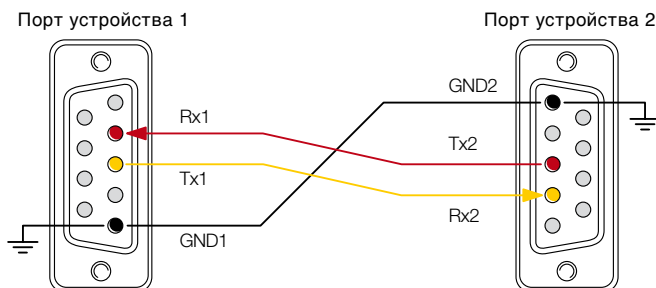
- «последовательный» означает, что биты передаются один за другим;
- «асинхронный» означает, что каждое устройство может осуществлять передачу посимвольно с произвольными интервалами;
- «прямой» означает, что таким образом можно соединить лишь два устройства. Чтобы соединить несколько устройств через интерфейс RS-232, необходимо для каждой пары оборудовать независимый канал обмена данными и предусмотреть на каждом устройстве соответствующее количество разъемов;
- «дуплексный» означает, что устройства могут одновременно и передавать, и получать данные. Дуплексная связь возможна за счет наличия двух независимых электрических соединений (по одному на каждое направление передачи данных).

Биты передаются в форме сигналов с двумя уровнями напряжения с контакта передачи (Tx) одного устройства на контакта приема (Rx) другого устройства. В обоих устройствах уровень напряжения сигнала определяется относительно контакта заземления (GND).

Рис. 11.  
Прямое соединение между двумя компьютерами



Рис. 12.  
Основные соединения для обмена данными через интерфейс RS-232



<sup>(3)</sup> Управление потоком данных – это способ управления обмена данных. Квитирование установления связи – это обмен определенными сигналами между двумя устройствами в процессе установления соединения. Устройства посылают эти сигналы, чтобы сообщить о готовности к передаче или получению данных.

Для такого соединения требуются хотя бы три провода (Tx, Rx и GND). Дополнительные соединения можно использовать для управления потоком данных (например, для обозначения готовности устройства к передаче или приему данных). Вопросы, относящиеся к управлению потоком данных и квитированию установления связи<sup>(3)</sup>, не рассматриваются в этом руководстве.

### 7.1.1 Продолжение

Каждый символ, передаваемый по последовательному кабелю, имеет следующую структуру:

- один или несколько стартовых битов для уведомления устройства-приемника о скором поступлении нового символа (такое заблаговременное предупреждение необходимо, поскольку интерфейс является асинхронным, и устройство-приемник не в состоянии предугадать момент прихода нового символа);
- определенное количество битов данных (например, восемь);
- возможно, бит четности для выявления ошибки передачи одного из битов (в этом случае весь символ считается недостоверным и отвергается). Бит четности можно настроить на четный или нечетный режим;
- один или несколько стоповых битов, завершающих передачу символа.

Все перечисленные биты имеют одинаковую продолжительность.

Последовательный интерфейс настроен на передачу определенного количества битов в секунду (бит/с или бод). Скорости передачи данных стандартизованы (обычно кратны 300 бит/с). Так, устройство может передавать данные со скоростью 9600, 19 200 или 38 400 бод или. Во избежание ошибок связи оба устройства должны иметь одинаковые настройки: скорость передачи данных, количество битов данных, стартовых и стоповых битов, использовать или не использовать бит четности, его режим (четный или нечетный). В противном случае распознавание символов, а значит, и обмен данными будут невозможны.

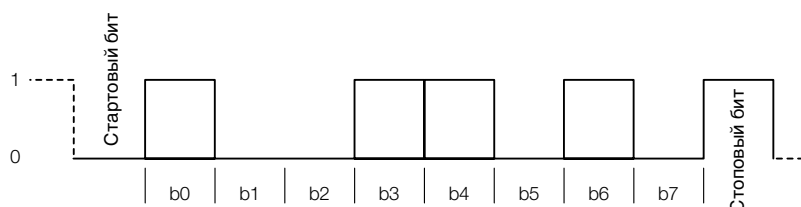


Рис. 13.  
Единица данных, закодированная  
восемью битами

Например, последовательность битов, изображенная на рис. 13, имеет следующую структуру:

- один стартовый бит,
- 8 битов данных (b0...b7),
- один стоповый бит.

Интерфейс RS-485 отличается от интерфейса RS-232 как электрическими характеристиками, так и параметрами связи. Его главные преимущества: возможность создания многоточечных соединений<sup>(4)</sup> (обмен данным осуществляется сразу между несколькими устройствами, см. рис. 14) и улучшенная устойчивость к электрическим помехам.

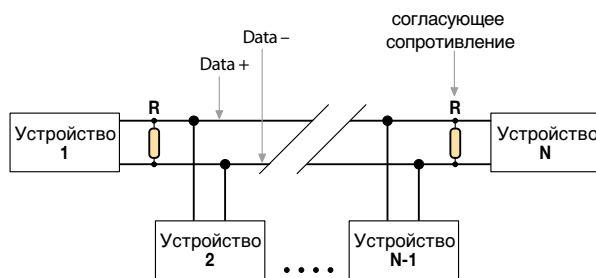


Рис. 14.  
Многоточечная система, подключение  
к шине через интерфейс RS-485

Благодаря своим характеристикам интерфейс RS-485 пользуется популярностью при разработке промышленных систем обмена данными (от первых версий интерфейса Modbus (1960-е годы) до современных интерфейсов Modbus RTU, Profibus-DP, DeviceNet, CANopen и As-Interface). При использовании интерфейса RS-485 все устройства подключены параллельно к единой шине, состоящей из двух проводов: Data+ и Data- (или A и B, или Data1 и Data2, в зависимости от изготовителя устройств). Применяются разностные сигналы (биты представлены в виде разности потенциалов между проводами Data+ and Data-). Эти провода плотно свиты между собой, поэтому электрические помехи влияют на них одинаково, практически не меняя существующую разность потенциалов. Если устройство не передает данные, оно переходит в режим приема с очень большим сопротивлением на порте связи.

Стандарт RS-485 (EIA/TIA-485)<sup>(5)</sup> определяет граничные значения входного сопротивления, а также ток и мощность, которые каждое устройство должно отдавать в линию связи во время передачи данных.

<sup>(4)</sup> В сущности, в многоточечной системе устройства параллельно присоединены к главному кабелю.

<sup>(5)</sup> Стандарт EIA/TIA-485 «Основы построения системы обмена данных посредством разностных сигналов» содержит описание стандарта RS-485; он обязателен к соблюдению изготовителями оборудования.

### 7.1.1 Продолжение

В частности, этот стандарт гласит, что обмен данными без ошибок можно осуществлять, если в режиме приема находятся до 32 подключенных к линии устройств. Следовательно, в соответствии с этим стандартом интерфейс RS-485 обеспечивает безошибочный обмен данными, когда к шине подключено до 32 устройств; причем в течение каждого цикла связи только одно из них находится в режиме передачи, остальные же находятся в режиме приема. Действительно, поскольку все устройства подключены параллельно к одной шине, одновременная передача данных несколькими устройствами исключена, поскольку в этом случае сигналы накладываются друг на друга и становятся неразборчивыми. Интерфейс RS-485 не располагает механизмом наделения устройств правом передачи данных, эту задачу решают протоколы более высокого уровня. Структура передаваемого символа, его длительность и возможности настройки те же, что и для последовательного интерфейса RS-232 (например, скорость передачи данных составляет 19 200 бод, используются один стартовый и один стоповый бит, можно использовать бит четности). Все устройства, подключенные к одной шине, должны иметь одинаковые настройки, чтобы осуществлять обмен данными.

### 7.1.2

#### Канальный уровень

На канальном уровне используются иерархические протоколы, где одно ведущее устройство управляет обменом данными между остальными (ведомыми) устройствами.

Если такой иерархии не существует и устройства пользуются равным приоритетом доступа к среде передачи данных, используются одноранговые (пиринговые) системы. В этом случае протокол содержит процедуры определения передающего устройства и приоритета доступа к среде передачи данных (самый известный пример такого протокола – Ethernet).

Самые распространенные протоколы обмена данными:

- Modbus RTU, наиболее часто используется для обмена данными между промышленными электронными устройствами;
- ProfiBus-DP, используется для связи с полевыми устройствами (датчиками и интеллектуальными исполнительными механизмами), обычно для скоростного циклического обмена данными между полевыми устройствами и контроллерами;
- DeviceNet, также используется для обмена данными между полевыми устройствами и контроллерами (ПК и ПЛК);
- AS-i, применяется для связи с простейшими датчиками (например, концевыми выключателями) и управляющими устройствами (например, кнопками).

### 7.1.3

#### Уровень приложения

На уровне приложения распознаются полученные по сети двоичные данные: команды (например, команда замыкания или размыкания реле), числа (например, значение напряжения) и т. д.

Например, протокол Modbus можно использовать для дистанционного считывания значений тока из памяти мультиметра DMTME-I-485.

Мультиметр сохраняет значения величин и параметров в соответствующих регистрах. Эти регистры могут быть доступны только для чтения (например, регистры с измеренными значениями тока) либо для чтения и записи (например, регистры для настройки коэффициента трансформации токового трансформатора).

Когда ведущее устройство (например, компьютер) намеревается считать сохраненные значения тока, оно посылает мультиметру сообщение содержащее:

- номера регистров, которые требуется считать (измеряемые величины соотносены с номерами регистров);
- тип требуемой операции (например, чтение значения из регистра).

В качестве ответного действия ведомое устройство (в данном случае это мультиметр) пересылает требуемые значения ведущему устройству.

Затем эти значения отображаются в наиболее удобном виде с помощью пользовательских интерфейсов используемой программы и приложений системы управления, предназначенных

### 7.1.3 Продолжение

для отображения полученных данных о контролируемом технологическом процессе.

На рис. 15 изображен пользовательский интерфейс программы DMTME-SW, посредством которого на дисплее операторской станции отображаются значения токов и других электрических величин, измеренных мультиметром.



Рис. 15.  
Окно программы DMTME-SW,  
отображающее значения,  
полученные  
из нескольких мультиметров

### 7.1.4

#### Совместимость между уровнями

Для обмена данными различные устройства промышленных сетей должны использовать одинаковые протоколы на всех уровнях. Например, мультиметры и сетевые анализаторы ABB используют протокол Modbus RTU для обмена данными через интерфейс RS-485.

Однако существуют и другие промышленные устройства, которые используют протокол Modbus RTU для обмена данными через интерфейс RS-232 (или протокол Profibus-DP для связи через интерфейс RS-485).

## 7.2

### Управление электrorаспределительными установками

Электrorаспределительная установка низкого напряжения является по сути промышленным технологическим процессом распределения электроэнергии, а значит, для повышения ее надежности и производительности требуется система управления и контроля. Чтобы объединить систему управления и установку традиционного типа и получить возможность централизованно управлять домашними и промышленными установками в автоматическом режиме, следует рассмотреть два потока, циркулирующих в электрической установке:

- основной поток представляет собой поток электроэнергии, который протекает по кабелям и через устройства управления и защиты и подается потребителям и к нагрузкам электроустановки;
- информационный поток (цифровых данных) состоит из всей информации, данных и команд, которые используются при управлении электроустановкой и контроля за ее работой.

Именно система управления регулирует информационный поток, циркулирующий по сети обмена данными.

В зависимости от сложности установки и занимаемого ею пространства можно использовать системы управления с различной архитектурой, начиная от простейшей – двухуровневой – архитектуры и заканчивая весьма сложными многоуровневыми архитектурами.

Структура простейшей двухуровневой системы:

- 1) Уровень управления, представляет собой систему диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-систему, Supervisory Control and Data Acquisition). Простейший ее вариант – это компьютер, на котором установлены приложения сбора данных, контроля и управления установкой. Именно на этот уровень передаются сведения от датчиков, здесь эти данные обрабатываются, после чего исполнительным механизмам отправляются соответствующие команды. При этом оператор может одновременно отслеживать состояние

## 7.2 Продолжение

всех компонентов установки и предпринимать меры по обеспечению ее высокой производительности и безотказной работы. Вообще, в приложениях, где автоматическая система управления интегрирована в распределительную установку, уровень управления представляет собой компьютер, на котором запущена программа автоматического управления всем технологическим процессом.

- 2) Полевой уровень, состоит из полевых устройств (измерительные приборы, датчики, исполнительные механизмы и защитные реле с электронными средствами отключения) с интерфейсом связи, которые установлены в электроустановке, непосредственно взаимодействуют с технологическим процессом и пересылают сведения о нем на уровень управления. Основные функции полевого уровня:
- пересылка сведений о технологическом процессе (значений тока, напряжения, мощности и т. д.) на уровень управления;
  - исполнение команд (например, замыкание и размыкание реле), полученных с уровня управления.

Эти два уровня обмениваются данными через сеть в виде шины.

Сведения (например, измеренные значения), передаваемые с полевого уровня на уровень управления, и команды, передаваемые обратно, составляют информационный поток, циркулирующий по шине.

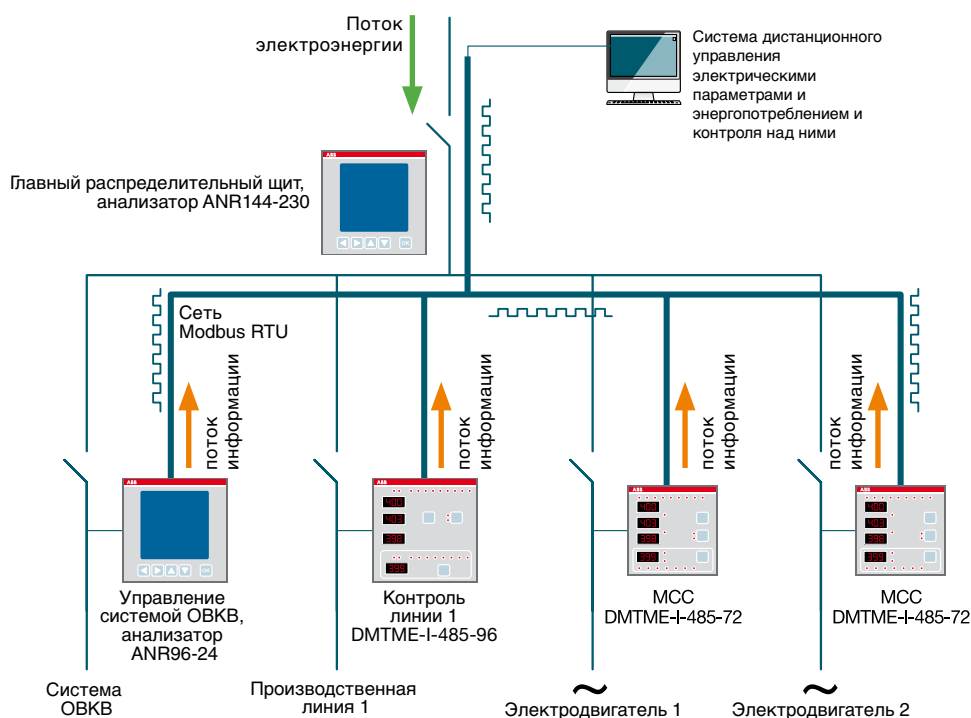


Рис. 16.  
Схема системы управления  
с подключенными к сети  
мультиметрами и сетевыми  
анализаторами

## Сеть Modbus RS-485

### 7.3.1

#### Правила прокладки кабелей

Способы прокладки силовых кабелей и кабелей промышленной системы обмена данными различаются. В связи с этим монтажники, не являющиеся экспертами в сетях Modbus, могут столкнуться с трудностями. В сети Modbus RS-485 одно ведущее устройство подключается к одному или нескольким ведомым устройствам. С данного момента под «ведомыми устройствами» подразумеваются измерительные приборы АВВ с последовательным портом (даже в случае, когда способ прокладки кабелей одинаков для любых устройств Modbus).

Основные правила прокладки сетевых кабелей:

#### 1. Подключение кабеля к порту

Каждое устройство оснащено портом с двумя выводами, которые для удобства обозначены как «А» и «В». Сетевой кабель следует подключать к этим двум выводам таким образом, чтобы все устройства сети оказались подключены параллельно.

Выводы «А» всех устройств должны быть связаны друг с другом. То же относится и к выводам «В». Если при подключении устройства перепутать эти выводы, то устройство не только не сможет осуществлять обмен данными, но может стать причиной отказа всей сети (это связано с приложением к выводам напряжения неверной полярности).

Если сеть состоит из большого количества устройств, для предотвращения такой ошибки при подключении к выводам «А» нужно использовать кабель одного цвета (например, белого), а к выводам «В» – другого (например, синего).

Порт связи ведущего устройства обязательно имеет два вывода, соответствующих «А» и «В».

#### 2. Присоединение устройств к шине

Способы параллельного подключения обычных электрических устройств и узлов сети также различаются. Система RS-485 с протоколом Modbus представляет собой главную (магистральную) шину, к которой все устройства подключаются посредством ответвлений (также называемых «шлейфами»), которые должны быть как можно короче.

Длина ответвлений не должна превышать 1200 м.

В противном случае в ответвлении могут возникать отражения сигнала и помехи, а следовательно, и ошибки приема данных. На рис. 17 изображен пример правильного подключения устройств к шине.

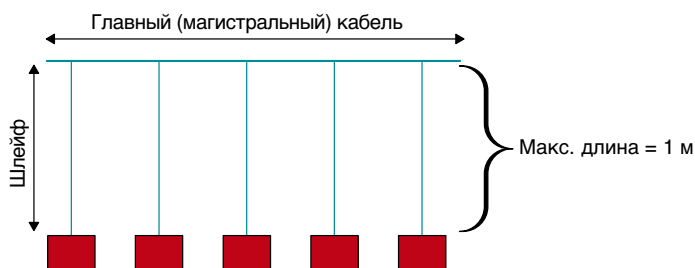


Рис. 17.  
Сеть типа «шина»

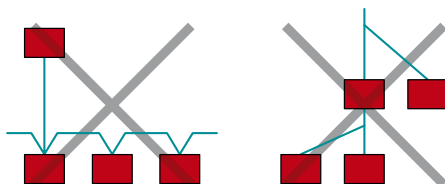


Рис. 18.  
Примеры неправильного подключения к шине

#### 3. Максимальная длина шины и максимальное количество устройств

Длина главной шины не должна превышать 700 м.

Это значение не учитывает длину ответвлений (которые, тем не менее, также должны быть короткими). Максимальное количество устройств, которое можно подключить к шине, включая ведущее, составляет 32.

## 7.3.1 Продолжение

**4. Использование повторителей**

Для расширения сети Modbus следует использовать повторители – устройства с двумя портами связи, предназначенные для усиления сигнала, полученного через один порт, и его воспроизведения через другой порт. При использовании повторителей шина делится на сегменты длиной до 700 м, к каждому из которых можно подключать до 32 устройств (включая сами повторители). Последовательно можно подключать до трех повторителей. Большое количество повторителей ведет к чрезмерным задержкам передачи сигнала.

**5. Тип используемого кабеля**

Необходимо использовать экранированную витую пару (обычно используется в телефонии). Компания ABB одобрила для этой цели кабель Belden 3105A, однако можно использовать кабели других типов с аналогичными характеристиками. Витая пара представляет собой два скрученных между собой провода. Такая форма кабеля обеспечивает улучшенную устойчивость к электромагнитным помехам. Это связано с тем, что кабель состоит из большого количества витков, каждый из которых направлен противоположно соседнему витку второго проводника. Магнитное поле пронизывает каждую пару витков в противоположном направлении, поэтому его влияние минимально (теоретически действие поля на один виток в точности противоположно действию на противоположный виток, поэтому влияние должно быть в точности нулевым). Экран может быть плетеным (представлять собой сетку из тонких проводящих проволочек) или из фольги, состоящей из двух слоев металла, намотанных на проводники. По свойствам экраны этих двух типов аналогичны.

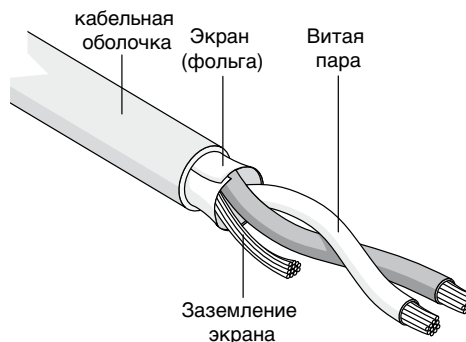


Рис. 19.  
Экранированная витая пара

**6. Подключение выводов**

В некоторых странах правила разрешают подсоединение двух кабелей к одной винтовой клемме. В таких случаях можно подключать два отрезка шины непосредственно к выводам прибора без использования ответвления. Если, напротив, допустимо подключение лишь одного кабеля на клемму, необходимо соединять провода шины и приборы (каждый измерительный прибор имеет по три вывода) ответвлениями надлежащей длины.

**7. Заземление экрана**

Экран кабеля необходимо заземлить лишь в одной точке. Обычно заземляющий проводник экрана подсоединяется к одному из концов шины.

**8. Согласующие резисторы**

Во избежание отражения сигнала на концы шины следует устанавливать согласующие резисторы номиналом 120 Ом. Согласующие резисторы устанавливают только на концах шины. Если общая длина шины менее 50 м, согласующие резисторы можно не устанавливать.

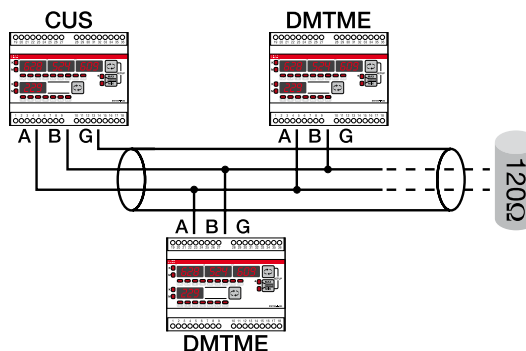


Рис. 20.  
Подключение согласующего  
резистора номиналом 120 Ом

### 9. Подключение персонального компьютера

Если в качестве ведущего устройства используется персональный компьютер, для подключения его к шине обычно используется последовательный преобразователь RS-232/RS-485.

### 7.3.2

#### Принцип работы системы Modbus

Информационным потоком в шине управляет ПК или ПЛК (ведущее устройство). В роли ведомых устройств выступают полевые устройства. Ведущее устройство регулирует поток данных в шине. Только ведущее устройство может инициировать обмен данными.

Оно передает ведомым устройствам данные, команды и запросы на пересылку данных.

Ведомое устройство осуществляет передачу информации через сеть лишь после соответствующего запроса ведущего устройства. Ведомые устройства не могут обмениваться друг с другом напрямую. Так, передача данных от одного ведомого устройства другому выполняется следующим образом: эти данные передаются первым ведомым устройством, принимаются ведущим устройством, а затем передаются второму ведомому устройству.

Порядок обмена данными между мультиметром (ведомое устройство) и ПК (ведущее устройство):

- 1) ПК посылает в шину команду или запрос.
- 2) Мультиметр, которому адресован этот запрос или команда, выполняет соответствующее действие:
  - выполняет команду;
  - высылает запрошенные данные;
  - уведомляет о невозможности выполнения запроса.

Команда (запрос) содержит обозначение прибора-адресата. Поэтому, несмотря на то что запрос получают все подключенные к сети устройства, только запрашиваемое устройство отвечает на него. ПК выполняет циклический опрос полевых устройств, то есть в течение определенного промежутка времени (период опроса) последовательно опрашивает все устройства технологического процесса. При вычислении периода опроса время обработки информации компьютером ( $t_{PC}$  — время с момента завершения отклика прибора до отправки запроса следующему прибору) считается пренебрежимо малым.

Что необходимо для внедрения системы Modbus RTU с измерительными приборами ABB? Как работает протокол Modbus?

Необходимо:

- ведущее устройство (ПК, ПЛК или SCADA-система);
- если в роли ведущего устройства выбран ПК с последовательным портом RS232, для обмена данными между ПК и сетью приборов требуется последовательный преобразователь 232/485;
- кабель, соединяющий преобразователь с ПК, и имеющий последовательные или USB-разъемы;
- экранированная витая пара (используемая в телефонии, см. раздел 7.3.1);
- измерительные приборы ABB с последовательным портом RS-485 (в виде контактной колодки на приборе с тремя клеммами, обозначенными A, B, C.).

Чтобы обеспечить обмен данными между различными ведомыми устройствами (измерительными приборами, реле защиты, устройствами контроля температуры) в сети Modbus RTU, необходимо задать одинаковые параметры связи всем узлам сети.

Параметры связи:

- скорость передачи данных (от 2400 до 19 200 бит/с);
- количество битов данных: 8; данных;
- режим контроля четности: ЧЕТНЫЙ, НЕЧЕТНЫЙ, НЕТ;
- количество стоповых битов: 1, 2 (если режим контроля четности = НЕТ), 1 (если режим контроля четности = ЧЕТНЫЙ, НЕЧЕТНЫЙ или НЕТ);
- адрес каждого ведомого устройства в сети.

После настройки всем ведомым устройствам одинаковой скорости передачи данных, режима контроля четности и количества стоповых битов, а также задания им уникальных сетевых адресов эти устройства готовы к приему данных от ведущего устройства.

### 7.3.2 Продолжение

Ведущее устройство посылает ведомым запросы на информацию, отклик ведомых устройств заключается в посылке требуемой информации ведущему устройству. Ведущее устройство последовательно опрашивает ведомых. Если сеть имеет очень сложную архитектуру (большое количество подключенных приборов и большую географическую протяженность), время отклика возрастает. Сеть Modbus рассчитана на управление 247 приборами. Максимальная дальность передачи сигнала составляет 1200 м. В случае больших расстояний необходимо использовать повторители, усиливающие полученный сигнал.

Сообщение, которое ведущее устройство посылает ведомому, состоит из восьми битов, и каждая его часть несет имеет определенное значение. Первая часть сообщения – физический адрес устройства-адресата. Далее зашифровано действие, которое должно выполнить это ведомое устройство. Примеры действий: считывание показаний, запись новых настроек прибора (коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения и др.), сбор сведений о процессе, контролируемом с помощью сети. Центральная часть сообщения содержит указание на тип и количество требуемой информации. И наконец, стоповые биты предназначены для проверки безошибочного приема и расшифровки сообщения надлежащим прибором.

Ведущее устройство посылает измерительным приборам запросы на измеренные и вычисленные значения электрических параметров. Список этих параметров хранится в ЗУ прибора. Каждый параметр имеет определенное положение в этом списке (так называемой «карте памяти»). Каждому элементу списка соответствует свой регистр; поэтому карта памяти еще называется «картой регистров». Таким образом, карта памяти – это список всех регистров, содержащих значения параметров, измеряемых прибором. Ниже в таблице для каждого элемента списка указан его адрес, длина строки («2» означает, что ведомое устройство высылает два значения, первое из которых является меткой параметра), название параметра, единица измерения и двоичный формат числа.

Адрес	слов	Название параметра	Единица измерения	Формат
1000h	2	НАПРЯЖЕНИЕ В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ	В	Длинное целое без знака
1002h	2	НАПРЯЖЕНИЕ МЕЖДУ ФАЗОЙ L1 И НЕЙТРАЛЬНО	В	Длинное целое без знака
1004h	2	НАПРЯЖЕНИЕ МЕЖДУ ФАЗОЙ L2 И НЕЙТРАЛЬНО	В	Длинное целое без знака
1006h	2	НАПРЯЖЕНИЕ МЕЖДУ ФАЗОЙ L3 И НЕЙТРАЛЬНО	В	Длинное целое без знака
1008h	2	НАПРЯЖЕНИЕ МЕЖДУ ФАЗАМИ L1 И L2	В	Длинное целое без знака
100Ah	2	НАПРЯЖЕНИЕ МЕЖДУ ФАЗАМИ L2 И L3	В	Длинное целое без знака
100Ch	2	НАПРЯЖЕНИЕ МЕЖДУ ФАЗАМИ L3 И L1	В	Длинное целое без знака
100Eh	2	ТОК В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ	мА	Длинное целое без знака
1010h	2	ФАЗНЫЙ ТОК L1	мА	Длинное целое без знака
1012h	2	ФАЗНЫЙ ТОК L2	мА	Длинное целое без знака
1014h	2	ФАЗНЫЙ ТОК L3	мА	Длинное целое без знака
1016h	2	КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ	*1000	Длинное целое со знаком
1018h	2	КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ДЛЯ ФАЗЫ L1i	*1000	Длинное целое со знаком
101Ah	2	КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ДЛЯ ФАЗЫ L2i	*1000	Длинное целое со знаком
101Ch	2	КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ДЛЯ ФАЗЫ L3i	*1000	Длинное целое со знаком
101Eh	2	COS φ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	*1000	Длинное целое со знаком
1020h	2	COS φ ДЛЯ ФАЗЫ L1	*1000	Длинное целое со знаком
1022h	2	COS φ ДЛЯ ФАЗЫ L2	*1000	Длинное целое со знаком
1024h	2	COS φ ДЛЯ ФАЗЫ L3	*1000	Длинное целое со знаком
1026h	2	ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	ВА	Длинное целое без знака
1028h	2	ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L1	ВА	Длинное целое без знака
102Ah	2	ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L2	ВА	Длинное целое без знака
102Ch	2	ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L3	ВА	Длинное целое без знака
102Eh	2	АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	Вт	Длинное целое без знака
1030h	2	АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L1	Вт	Длинное целое без знака
1032h	2	АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L2	Вт	Длинное целое без знака
1034h	2	АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L3	Вт	Длинное целое без знака
1036h	2	РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	ВАр	Длинное целое без знака
1038h	2	РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L1	ВАр	Длинное целое без знака
103Ah	2	РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L2	ВАр	Длинное целое без знака
103Ch	2	РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ФАЗЫ L3	ВАр	Длинное целое без знака
103Eh	2	ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	Вт *100	Длинное целое без знака
1040h	2	РЕАКТИВНАЯ ЭНЕРГИЯ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	ВАр·ч *100	Длинное целое без знака
1046h	2	ЧАСТОТА	мГц	Длинное целое без знака
1060h	2	МАКС. ЛИНЕЙНЫЙ ТОК L1	мА	Длинное целое без знака
1062h	2	МАКС. ЛИНЕЙНЫЙ ТОК L2	мА	Длинное целое без знака
1064h	2	МАКС. ЛИНЕЙНЫЙ ТОК L3	мА	Длинное целое без знака
1066h	2	МАКС. АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	Вт	Длинное целое без знака
1068h	2	МАКС. ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ	ВА	Длинное целое без знака
1070h	2	СРЕДНЯЯ АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЗА 15 МИНУТ	Вт	Длинное целое без знака
11A0h	2	КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ТОКОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА	1 - 1250	Длинное целое без знака
11A2h	2	КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ	1 - 500	Длинное целое без знака
11A4h	2	ВЗВЕШЕННАЯ ЭНЕРГИЯ ИМПУЛЬСА	1 - 4ii	Длинное целое без знака

Рис. 21.  
Карта памяти («карта регистров») мультиметра DMTME

### 7.3.2 Продолжение

Например, чтобы узнать значение напряжения в трехфазной системе, ведущее устройство посылает команду, содержащую:

- адрес опрашиваемого прибора (например, мультиметра в главном распределительном щите установки);
- функцию считывания;
- адрес регистра, где содержится значение напряжения в трехфазной системе;
- дополнительные параметры (до пяти параметров), значения которых требуется считать;
- информацию для проверки достижения сообщением адресата.

Формат строки, отосланной ведущим устройством:

Поле адреса	= 1Fh
Код функции	= 03h
Адрес начала (старший байт)	= 10h
Адрес начала (младший байт)	= 00h
№ регистра (старший байт)	= 00h
№ регистра (младший байт)	= 14h
Старший байт контроля по избыточности	= 42h
Младший байт контроля по избыточности	= BBh

В вышеприведенном примере ведущее устройство посылает ведомому устройству с адресом 1Fh команду чтения (03h) параметров из 14 регистров, начиная с регистра 1000h.

Формат отклика ведомого устройства:

Поле адреса	= 1Fh
Код функции	= 03h
Количество байтов	= 28h
Регистр данных 1000 (старший байт)	= 10h
Регистр данных 1000 (младший байт)	= EFh
-----	
Старший байт контроля по избыточности	= Xxh
Младший байт контроля по избыточности	= Yyh

В регистре 1000h карты памяти содержится значение напряжения трехфазной системы. С этого регистра и до регистра 14h считываются параметры вплоть до тока в фазе 2.

Значения регистров карты памяти выражаются в шестнадцатиричном виде (на это указывает суффикс «h» после числа). При использовании загруженного из Интернета бесплатного ПО (например, Modbus Pol или Modbus Constructor) для считывания данных из мультиметров обращайте внимание на формат данных (десятичный или шестнадцатиричный), используемый в этих программах.

Например, шестнадцатиричное значение 1000h регистра, где хранится значение напряжения в трехфазной системе, соответствует десятичному значению 4096.

Содержимое карты памяти определяется изготовителем мультиметра, который распределяет параметры по регистрам и решает, все ли значения величин и параметры настройки прибора можно передавать через последовательный интерфейс.

Кому нужна карта регистров прибора Modbus RTU?

Обычно это системный интегратор, создающий сеть устройств, взаимодействующих через ПК или ПЛК. Это специалист, настраивающий обмен данными между подключенными к шине устройствами.

По карте регистров ведущее устройство определяет адреса регистров, в которых содержатся значения электрических величин.

# 8

## Пример применения сетевых анализаторов

В этом разделе содержится пример применения сетевого анализатора серии ANR, включая инструкции по настройке и эксплуатации.

Объект, рассматриваемый в примере, является промышленным объектом или объектом сферы торговли и обслуживания (крупным магазином), на котором имеются как линейные, так и нелинейные нагрузки. Прибор ANR144 установлен в главном распределительном щите низкого напряжения.



Рис. 1.  
Сетевой анализатор ANR144

Подключите его согласно электрической схеме (см. ниже).

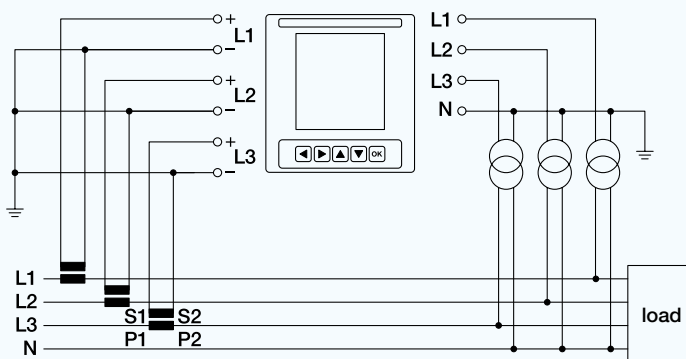


Рис. 2.  
Схема подключения анализатора ANR  
в трехфазную сеть с нейтралью

Подключение в линию из 4-х проводников с помощью 3-х трансформаторов тока и 3-х трансформаторов напряжения

Электрическое питание прибор может получать непосредственно из контролируемой сети (ANR 144-230).

Чтобы обеспечить хранение и отображение информации в случае отключения основного питания, необходимо подключить анализатор через ИБП или использовать анализатор модели ANR 144-24, оснащенный входом питания 20–60 В переменного или постоянного тока от независимого источника (например, аккумулятора).

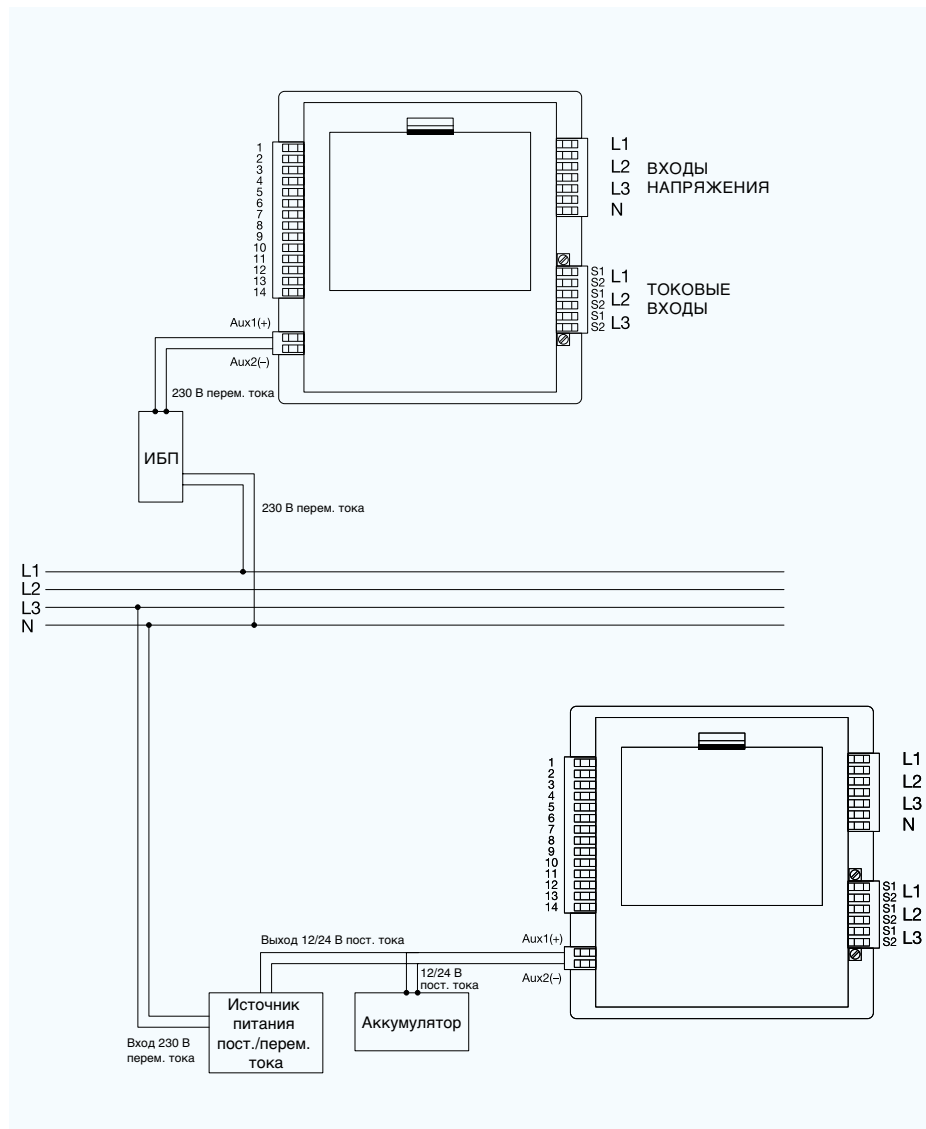


Рис. 2.  
Схема подключения к трехфазной сети с нейтралью

После подключения прибор можно использовать для хранения и отображения следующих параметров контролируемой сети:

1. Истинные среднеквадратические значения номинального напряжения (фазные и линейные)
2. Истинные среднеквадратические значения фазных токов и тока нейтрали
3. Коэффициент мощности
4. Активная мощность
5. Суммарный коэффициент гармоник до 31-й гармоники (графическое отображение и процентное соотношение)
6. Нелинейные искажения до 31-й гармоники (графическое отображение и процентное соотношение)
7. Потребление и выработка активной мощности при делении счетчика и в зависимости от времени суток

## 8.1

### Истинные среднеквадратические значения номинального напряжения (фазные и линейные)

Напряжение – один из главных параметров, значения которых нужно знать при анализе электросети. Кроме того, значение используется для определения сбалансированности фаз по напряжению в процессе нормальной работы установки.



Рис. 3.  
Отображение параметров  
трехфазной системы

## 8.2

### Истинные среднеквадратические значения фазных токов и тока нейтрали

Ток – один из главных параметров, значения которых нужно знать при анализе электросети. Также значения токов необходимо знать для определения сбалансированности нагрузки по трем фазам.

Измерять истинное эффективное значение тока нейтрали необходимо для выявления искажений, наводимых гармониками третьего порядка нелинейных нагрузок (см. раздел 6.2).

- Если нагрузки сбалансированы по фазам и гармонические искажения отсутствуют, ток в нейтрали практически равен нулю.
- В нормальных условиях (нагрузки не сбалансированы, но гармонические искажения отсутствуют) ток нейтрали много меньше фазного тока.
- При наличии гармонических искажений третьи гармоники фазных токов складываются (ввиду своей синфазности) в значительный ток нейтрали; чем больше амплитуда тока третьей гармоники, тем больше ток в нейтрали.



Рис. 4.  
Отображение фазных  
токов и тока нейтрали

## 8.3

### Коэффициент мощности

Отслеживать коэффициент мощности, чаще известный под названием  $\cos \phi$ , необходимо, чтобы избежать штрафных санкций со стороны поставщика электроэнергии при падении коэффициента мощности ниже 0,9.

Для оповещения оператора о приближении к опасному значению необходимо задать аварийную уставку, близкую к 0,9 (например, подача аварийного сигнала при  $\cos \phi = 0,92$ ).

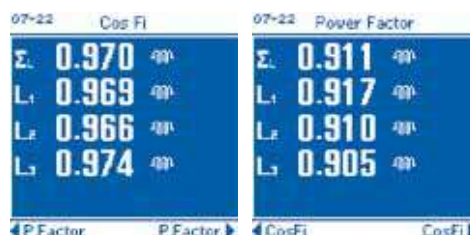


Рис. 5.  
Отображение значений  
коэффициента мощности и  $\cos \phi$

## 8.4

### Активная мощность

Во избежание штрафных санкций (см. разделы 1.5 и 1.6) необходимо регулировать пиковое энергопотребление, чтобы никогда не превышать допустимое среднее значение.

Чтобы оптимизировать потребление мощности, можно запрограммировать прибор следующим образом:

- значения энергопотребления сохраняются для дальнейшего анализа, в том числе и по времени суток в соответствии с договором о поставке электроэнергии;
- наименее критичные нагрузки отключаются в случае превышения максимально допустимого значения энергопотребления.



Рис. 6.  
Отображение активной мощности

## 8.5

### Суммарный коэффициент гармоник до 31-й гармоники (графическое отображение и процентное соотношение)

Отображение и хранение суммарного коэффициента гармоник позволяет непрерывно отслеживать влияние нелинейных нагрузок на электросеть.



Рис. 7.  
Отображение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжений и токов (в процентах)

## 8.6

### Нелинейные искажения до 31-й гармоники (графическое отображение и процентное соотношение)

Если предыдущие измерения выявили наличие гармонических искажений в токе или напряжении, можно выполнить анализ гармоник вплоть до 31-го порядка с отображением их значений в численном виде и в форме гистограммы. Значительные гармонические искажения могут стать причиной различных неполадок (см. раздел 6.2).

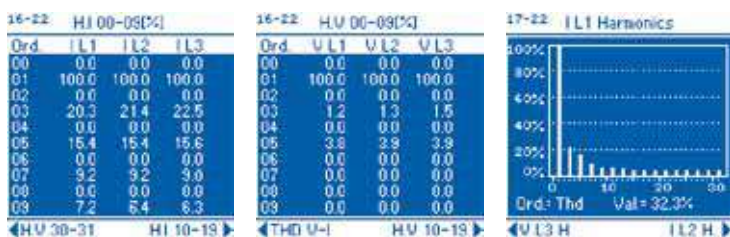


Рис. 8.  
Отображение амплитуд гармоник до 31-го порядка (в численном виде и в форме гистограммы)

## 8.7

### Потребление и выработка активной мощности при делении счетчика и в зависимости от времени суток

Эта функция особенно полезна при проведении испытаний и для поддержания равновесия между потреблением из сети и генерацией электроэнергии.



### 9.1

#### Глоссарий терминов в области измерения

<b>Принадлежность</b>	Элемент, группа элементов или устройство, подключенное к измеряемой цепи или измерительному прибору и обеспечивающее приемлемые для прибора условия измерения.
<b>Амплитуда измерительного диапазона</b>	Алгебраическая разность между верхней и нижней границами измерительного диапазона. Выражается в единицах измеряемой величины.
<b>Измерительный (фактический) диапазон</b>	Поле, заданное двумя значениями измеряемой величины, в котором определена допустимая погрешность измерительного прибора и (или) принадлежности.
<b>Вспомогательная цепь</b>	Цепь, отличная от измеряемой цепи и необходимая для работы прибора.
<b>Измерительная цепь (прибора)</b>	Часть электрической цепи, расположенная внутри прибора и его принадлежностей, включая соединительные провода. В эту цепь подается сигнал тока или напряжения, по которым и происходит определение измеряемой величины (причем этой величиной как раз может быть ток или напряжение).
<b>Класс точности</b>	Группа измерительных приборов и (или) принадлежностей, удовлетворяющих определенным требованиям к точности измерения, конструкция которых гарантирует недопустимость превышения определенной максимальной погрешности.
<b>Эталонные условия</b>	Совокупность значений влияющих величин и их диапазонов, при которых не будет превышена допустимая погрешность прибора и (или) принадлежности. Каждая влияющая величина может иметь эталонное значение или диапазон.

<b>Измерительный провод</b>	Провод, состоящий из одного или нескольких проводников и предназначенный для подключения измерительных приборов к внешним цепям и принадлежностям.
<b>Шунт</b>	Резистор, подключенный параллельно с измерительной цепью или измерительным прибором.
<b>Деление шкалы</b>	Расстояние между двумя соседними метками на шкале.
<b>Абсолютная погрешность</b>	<p>Для прибора: разность истинного и измеренного значений.</p> <p>Для принадлежности: разность истинного и ожидаемого значений.</p> <p><i>Примечания.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Поскольку истинное значение невозможно определить путем измерения, вместо него берут значение, полученное при определенных условиях испытаний. Это значение получено на основе национальных эталонов базовых величин по договоренности между изготовителем и заказчиком.</i></li> <li>2. <i>Когда принадлежность подключена к прибору, погрешности прибора и принадлежности могут иметь разные знаки.</i></li> </ol>
<b>Масштабная погрешность</b>	Разность между значением, измеренным прибором, и пропорциональным значением, измеренным в различных точках шкалы после калибровки прибора таким образом, что он не имеет погрешности в этих двух точках.
<b>Исходная погрешность</b>	Погрешность прибора и (или) принадлежности, имеющая место при эталонных условиях.
<b>Фазомер</b>	<p>Прибор для измерения сдвига фаз между двумя входными электрическими величинами одинаковой частоты и сходной формы кривой изменения значений.</p> <p>Его используют для измерения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сдвига фаз между двумя сигналами напряжения или двумя сигналами тока;</li> <li>- сдвига фаз между сигналами напряжения и тока.</li> </ul>
<b>Коэффициент искажения (суммарный коэффициент гармонических искажений величины)</b>	Отношение эффективных значений негармонической и гармонической составляющих.
<b>Коэффициент амплитуды</b>	Отношение пикового и эффективного значений периодической величины.

## 9.1 Продолжение

<b>Градуировка</b>	Деления, делящие шкалу на равные интервалы позволяющие определить значение величины по положению стрелки.
<b>Стрелка</b>	Деталь, вращающаяся вдоль шкалы и указывающая положение подвижного элемента прибора.
<b>Индекс класса точности</b>	Число, указывающее класс точности. <i>Примечание.</i> <i>Некоторые приборы и принадлежности могут иметь несколько индексов класса точности.</i>
<b>Длина шкалы</b>	Длина линии (прямой или дуги), проходящей через центральные точки всех делений шкалы (с первого до последнего). Выражается в единицах длины.
<b>Измеритель коэффициента мощности</b>	Прибор для измерения отношения активной и полной мощности в электрической цепи.
<b>Точность</b>	Характеристика измерительного прибора, определяющая степень близости между отображаемым и истинным значениями. Характеристика принадлежности, определяющая степень близости между отображаемым (ожидаемым) и истинным значениями. <i>Примечание.</i> <i>Точность измерительного прибора и принадлежности определяется исходной погрешностью и допустимым отклонением показаний от истинного значения.</i>
<b>Градуированный диск</b>	Поверхность, на которую нанесены градуировочные деления и специальные символы и обозначения.
<b>Дополнительный резистор</b>	Резистор, последовательно подключенный к измерительной цепи измерительного прибора.
<b>Шкала</b>	Градуировочные деление и числа, по которым определяется положение стрелки и значение измеряемой величины.
<b>Проскок стрелки</b>	Максимальное отклонение положения стрелки (выраженное в процентах от длины шкалы) от ее окончательного (стабильного) положения при резком изменении значения величины (из одного постоянного значения в другое постоянное значение).
<b>Аналоговый измерительный прибор</b>	Измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. <i>Примечание.</i> <i>Прибор, изменение показаний которого выполняется дискретно, не оснащенный цифровым дисплеем, считается аналоговым.</i>

## 9.1 Продолжение

<b>Прибор, отображающий эффективное значение</b>	Прибор, с указанной частотой отображающий значение, пропорциональное эффективному значению измеряемой величины, даже если эта величина не является синусоидальной или непрерывной.
<b>Электрический измерительный прибор</b>	Прибор, предназначенный для измерения электрической или неэлектрической величины, оснащенный электрическими компонентами.
<b>Электронный измерительный прибор</b>	Прибор, предназначенный для измерения электрической или неэлектрической величины, оснащенный электронными компонентами.
<b>Измерительный прибор прямого действия</b>	Прибор, в котором устройство отображения механически соединено с подвижным элементом и приводится им в движение.
<b>Частота пульсации величины</b>	Отношение эффективных значений непрерывной составляющей и составляющей пульсации.
<b>Время отклика</b>	Время, необходимое устройству отображения для перехода в новое положение и стабилизации в этом положении после резкого изменения величины с нуля (отсутствие сигнала) в значение, соответствующее окончательному положению устройства отображения.
<b>Приписанное значение</b>	Фиксированное значение величины (обычно задается изготовителем) для конкретного рабочего состояния.
<b>Принятое значение</b>	Четко определенное значение величины, по отношению к которому определяются погрешности приборов и принадлежностей при выяснении их класса точности.
<b>Номинальное значение</b>	Значение величины, при котором следует использовать прибор или принадлежность. Указанные изготовителем характеристики прибора или принадлежности также являются номинальными значениями.
<b>Ноль шкалы</b>	Метка шкалы, обозначающая нулевое значение величины.

Более подробные сведения можно получить в техническом документе, изображенном справа. Его можно заказать прямо с начальной страницы сайта <http://www.abb.com/abblibrary/DownloadCenter/> в разделе Order documentation and technical software («Документация по размещению заказа и служебное программное обеспечение»).

System pro M compact®



2CSC400002D0209

## Наши контакты:

### **АББ Лтд.**

Украина, 03680, Киев  
ул. Н. Гринченка, 2/1  
тел. +380 44 495 22 11  
факс +380 44 495 22 10

Украина, 61000, Харьков  
проспект Гагарина, 20-а  
тел. +380 577 14 97 90  
факс +380 577 14 97 91

Украина, 83017, Донецк  
бул. Шевченко, 42-а  
тел. +380 62 332 79 04  
факс +380 62 332 79 03

Украина, 69002, Запорожье  
ул. Грязнова, 4а, 3-й этаж  
тел. +380 612 13 50 67  
факс +380 612 13 50 50

Украина, 79000, Львов  
ул. Грабовского, 11, к. 201  
тел./факс +380 32 297 46 80  
+380 32 297 46 80

Украина, 54002, Николаев  
ул. М. Морская, 108, оф. 704  
тел. +380 512 500 215  
факс +380 512 500 225

Мы оставляем за собой право  
вносить изменения в содержание  
этого документа на основе  
технического изменения продуктов,  
без предварительного  
уведомления.

Copyright 2014 ABB. All right reserved.

[www.abb.ua](http://www.abb.ua)

1SLC801013D0201UA-2014

# Контактная информация

ООО «Вольтлайн»  
03067, Украина, Киев Бульвар Ивана Лепсе, 4, корп. 1  
БЦ Diamond Center оф.419  
(044) 357-74-47

ABB SACE  
Подразделение компании ABB S.p.A.  
**Apparecchi Modulari**  
Viale dell'Industria, 18  
20010 Vittuone (MI)  
Тел.: 02 9034 1  
Факс: 02 9034 7609

**[bol.it.abb.com](mailto:bol.it.abb.com)**  
**[www.abb.com](http://www.abb.com)**

Иллюстрации могут не повторять в точности  
содержимое текста.  
Содержание этого документа может быть изменено  
без предварительного уведомления по мере  
усовершенствования описанных в нем изделий.

Copyright 2011 ABB. All rights reserved.

2CSC445012D1101 - 11/2011 - 1.500 - CAL.