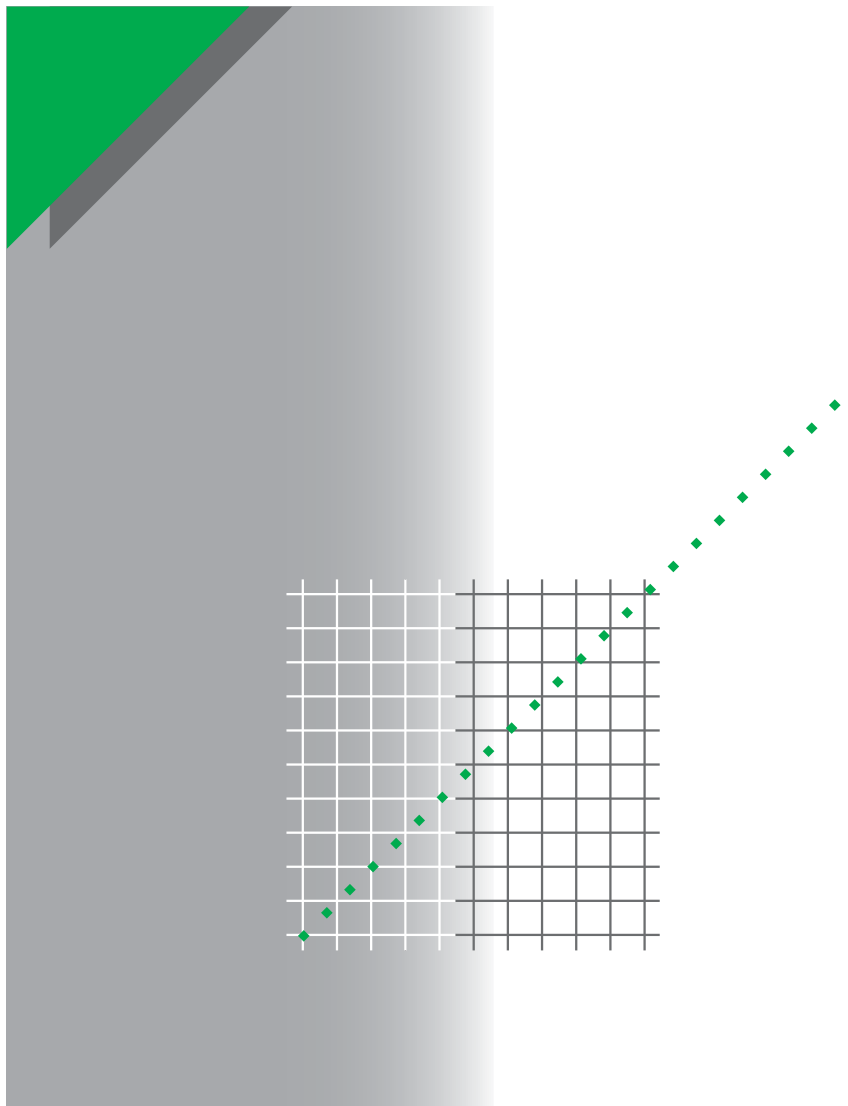


**Выпуск № 28**

**Комбинация защиты  
и измерения в сетях  
низкого напряжения**



Компания Schneider Electric приступила к выпуску **«Технической коллекции Schneider Electric»** на русском языке.

**Техническая коллекция** представляет собой серию отдельных выпусков для специалистов, которые хотели бы получить более подробную техническую информацию о продукции Schneider Electric и ее применении, в дополнение к тому, что содержится в каталогах.

В **Технической коллекции** будут публиковаться материалы, которые позволят лучше понять технические и экономические проблемы и явления, возникающие при использовании электрооборудования и средств автоматизации Schneider Electric.

**Техническая коллекция** предназначена для инженеров и специалистов, работающих в электротехнической промышленности и в проектных организациях, занимающихся разработкой, монтажом и эксплуатацией электроустановок, распределительных электрических сетей, средств и систем автоматизации.

**Техническая коллекция** будет также полезна студентам и преподавателям ВУЗов. В ней они найдут сведения о новых технологиях и современных тенденциях в мире Электричества и Автоматики.

В каждом выпуске **Технической коллекции** будет углубленно рассматриваться конкретная тема из области электрических сетей, релейной защиты и управления, промышленного контроля и автоматизации технологических процессов.

**Валерий Саженок,**  
Технический директор  
ЗАО «Шнейдер Электрик»,  
Кандидат технических наук

# Содержание

<b>Защита и измерение</b>	<b>2</b>
1.1. Защита	2
1.2. Измерение	3
1.3. Комбинация защиты и измерения	4
<b>Эффективность использования энергии</b>	<b>5</b>
2.1. Основные решения для достижения энергоэффективности	7
2.1.1. Измерение мощности	7
2.1.2. Управление системами отопления, вентиляции и кондиционирования	8
2.1.3. Управление освещением	8
2.1.4. Компенсация реактивной мощности	8
2.1.5. Автоматизация зданий	9
2.1.6. Система управления энергией	9
<b>Качество энергии</b>	<b>12</b>
3.1. Разные типы искажений	12
3.1.1. Искажения напряжения	12
3.1.2. Разновидности дисбаланса в многофазных системах	17
3.1.3. Электромагнитные помехи: эмиссия, излучение, электростатический разряд	18
3.1.4. Частотные помехи	18
3.1.5. Гармонические помехи	18
<b>Стандарт МЭК 61557-12</b>	<b>25</b>
4.1. Область применения	25
4.2. Общая структура устройств измерения и контроля (PMD)	25
4.3. Разные типы точности	27
4.4. Сочетание наружных датчиков с PMD	28
4.5. Классы эксплуатационных показателей	29
4.6. Основной ток, номинальный ток и максимальный ток	29
4.7. Эталонные условия и номинальные условия	29
4.8. Непрерывное измерение или нулевой период нечувствительности	30
4.9. Точность наиболее существенных физических величин	30
<b>Решения Schneider Electric</b>	<b>32</b>
5.1. Конструктивные особенности Compact NSX	32
5.2. Совместимость	36
5.3. Точность измерений Compact NSX	37
5.4. Сочетание измерения и защиты: пример реализации	38

Выражаем благодарность Международной электротехнической комиссии (МЭК) за разрешение воспроизводить информацию из международного стандарта МЭК 61557-12, издание 1.0. Все подобные выдержки являются авторским правом МЭК, Женева, Швейцария. Все права защищены. Более подробную информацию по МЭК см. на сайте [www.iec.ch](http://www.iec.ch). МЭК не несет ответственность за контекст, в котором выдержки и содержание воспроизводятся автором.

# Защита и измерение

## 1.1. Защита

Множество различных явлений может нарушить нормальную работу сети в течение жизненного цикла электроустановки. Для предотвращения нежелательных явлений необходимо использовать специальные защитные меры.

### Защита от поражения электрическим током

Эта защита касается людей, находящихся в контакте с частями электроустановки под напряжением. В этом случае необходима защита от прямого или непрямого контакта:

- прямой контакт касается людей, которые работают с токоведущими частями оборудования.

В соответствии с различными стандартами на электроустановки (например, национальными - NF C15-100 во Франции, или международными, такими как стандарт МЭК 60364) необходимо предпринимать специальные меры для защиты от прямого контакта (ограждения, изолированные токопроводящие части, пониженное напряжение, использование УЗО на 30 мА и т.д.).

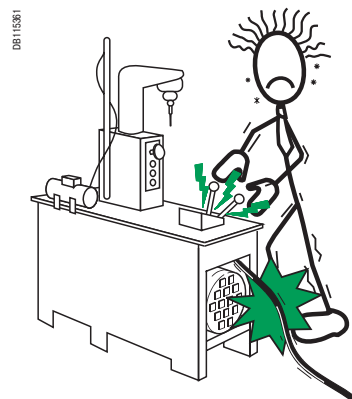
Требуется защита электроустановок в соответствии с существующими стандартами.

Измерение параметров сети дает возможность:

- определить качество поставляемой энергии;
- обеспечить эффективное использование электроэнергии.

Комбинация данных функций в одном устройстве позволяет:

- снизить затраты на установку;
- гарантировать, что устройство работает корректно при правильном подключении измерительных датчиков к устройству.



- не прямой контакт касается людей, находящихся в контакте с деталями, которые обычно не находятся под напряжением, но случайно оказались под напряжением вследствие пробоя изоляции. Стандарты по установке требуют соблюдения специальных правил по защите от непрямого контакта:

- автоматическое отключение источника напряжения посредством защитного коммутационного устройства (например, автоматического выключателя);
- использование изолирующих материалов класса II;
- электрическое разделение посредством использования разделительных трансформаторов и т.д.

### Защита установки (проводники и нагрузки)

Относится к неполадкам, которые могут появляться в сети: короткое замыкание, перегрузка, перенапряжение. Используемая защита гарантирует работу установки в соответствии с потребностями пользователя, существующими нормами и стандартами, касающимися устройств защиты. Чтобы обеспечить выполнение данной цели, необходимо учитывать следующие аспекты:

- мощность, необходимую для электроустановки (получаемую через трансформаторы или генераторы переменного тока);
- параметры нагрузки;
- неполадки, которые могут появляться в сети.

В стандартах на электроустановки рекомендуются меры по защите в отношении разных типов отказов. Их выполнение является обязательным.

### Защита от возгорания электрооборудования

В соответствии со стандартами необходимы конкретные решения (главным образом, использование УЗО или устройств защиты от замыкания на землю, а также других типов устройств защиты).

## 1.2. Измерение

Затраты на энергию являются очень важным пунктом расходов.

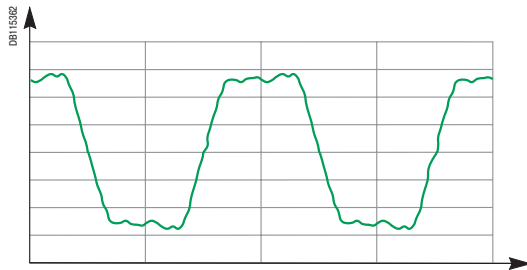
Существует много параметров, которые следует учитывать при подсчете затрат на электроустановку: ток, напряжение, мощность, кривые нагрузки, анализ отключения и т.д. Данные параметры важны для понимания электрических процессов в электроустановке. Количество рассматриваемых параметров зависит от вида деятельности, особенностей электроустановки, требуемой производительности, необходимой точности.

Поэтому до выбора оборудования важно правильно определить требования, чтобы выбранные измерительные приборы им соответствовали.

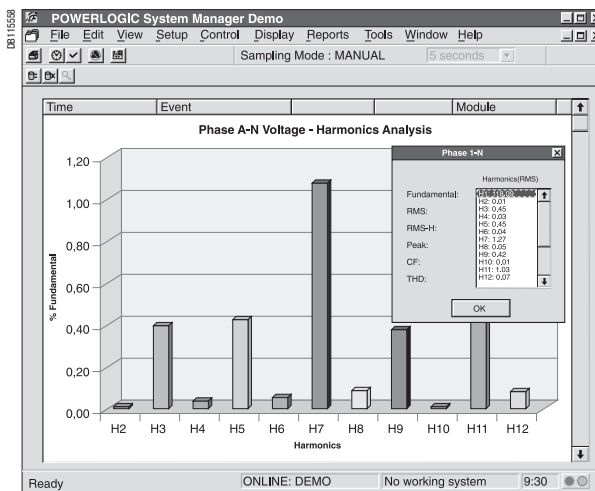
С экономической точки зрения посредством измерений в электроустановках необходимо обеспечить выполнение двух задач:

- с одной стороны, эффективность использования энергии, другими словами, подача энергии заданного качества для минимального потребления при соблюдении требований к мощности электроустановки. Поэтому параметр эффективности непосредственно влияет на счет за электроэнергию;

- с другой стороны, качество энергии, которое предполагает измерение показателей качества электроэнергии, питающей установку. Это в особенности касается частоты тока или напряжения, а также уровня нелинейных искажений.



Кривая тока с гармониками



Измерение гармонических токов при помощи блока контроля и управления Micrologic

# Защита и измерение

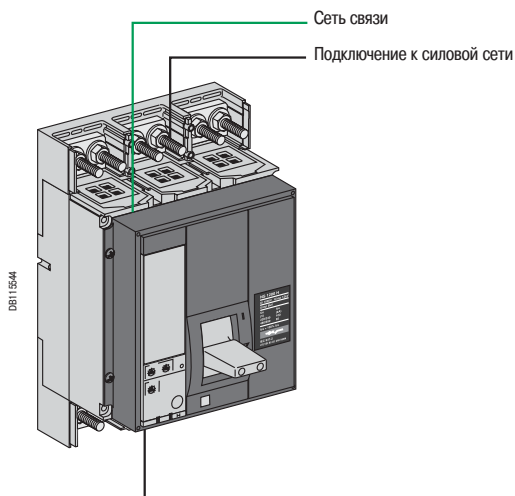
## 1.3. Комбинация защиты и измерения

При комбинации функций защиты и измерения в одном устройстве можно достичь многих преимуществ.

Во-первых, этот подход приводит к снижению затрат на установку оборудования.

Установка одного устройства обойдется дешевле, чем установка двух устройств. При этом сочетание этих двух функций в одном устройстве гарантирует правильную калибровку датчиков тока, исключает риски, возникающие при прокладке кабеля, и обеспечивает правильную работу в случае, если устройство прошло полную проверку на заводе-изготовителе.

Кроме того, необходимая точность задается для всей цепи измерений (включая датчики) путем заводской калибровки электронных систем с датчиками.



Пример устройства, сочетающего защиту и измерение:  
автоматический выключатель *Сотраст* с расцепителем *Micrologic*

# Эффективность использования энергии

Эффективность использования энергии включает в себя:

- снижение потребления энергии;
- оптимизацию стоимости энергии;
- повышение надежности установки.

Эффективность использования энергии включает в себя обеспечение заданного уровня производительности, затрат, качества, доступности и комфорта при минимальном уровне использования энергии за время жизненного цикла данного оборудования или процесса.

Для обеспечения регулирования расхода энергии необходимо выполнить три задачи:

- **снизить потребление энергии:** должны быть снижены все виды потребляемой энергии на всех участках эксплуатации;
- **оптимизировать стоимость энергии:** снижение стоимости получения энергии, используемой при эксплуатации оборудования;
- **повысить надежность и доступность:** надежная и эффективная работа оборудования обеспечивает прибыль, потому что риск выхода из строя снижен путем выбора правильных проектных решений и оптимальной стратегии развития.

08116363

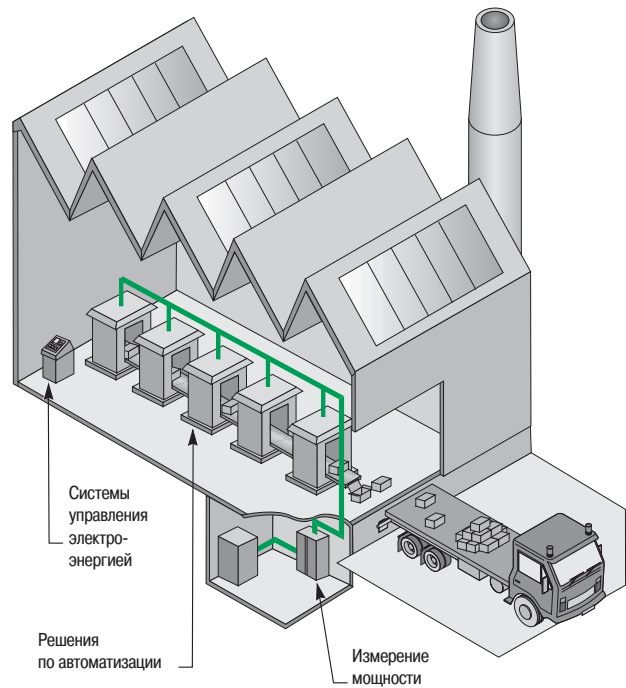
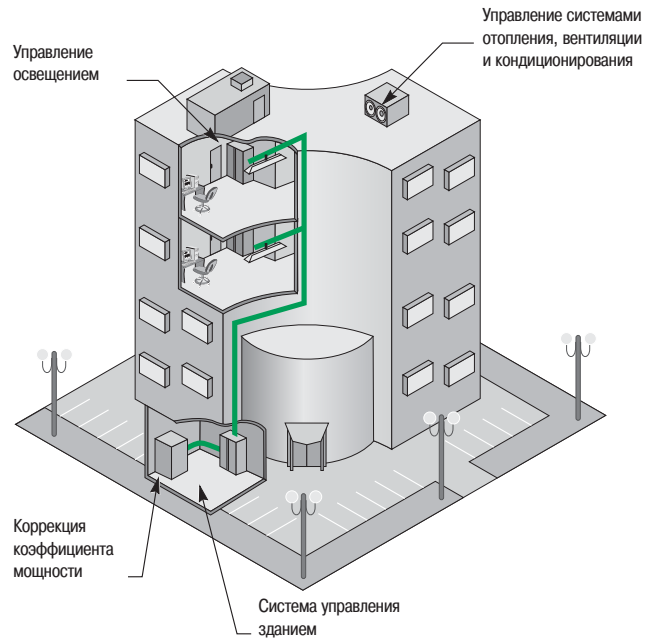


В то же время для реального обеспечения энергоэффективности используется три основных метода:

- **контроль и анализ** улучшают понимание эффективности потребления и использования энергии:
  - обозначение ориентиров и возможностей для экономии;
  - облегчение проверки существующей схемы управления энергопотреблением;
  - использование программного обеспечения и сервисов для измерения, контроля и управления.
- **системы управления и регулирования** дают возможность более эффективного использования энергии:
  - управление освещением, системами отопления, вентиляции и кондиционирования, системы управления зданием, решения по автоматизации оборудования и процессов;
  - автономные устройства управления - датчики присутствия, таймеры, термореле и приборы дистанционного управления;
  - преобразователи частоты для эффективного управления двигателем.
- **специализированное оборудование** снижает потери, повреждения и выход из строя:
  - корректировка коэффициента мощности и трансформаторы с высоким КПД для снижения потерь;
  - улучшение качества электроэнергии: фильтры, кондиционеры питания, подавители гармоник;
  - повышение надежности: системы для снижения выхода из строя и количества повреждений.

# Эффективность использования энергии

DB1 1535



Решения по эффективному использованию энергии в коммерческих зданиях и на промышленных объектах



## 2.1. Основные решения для достижения энергоэффективности

### 2.1.1. Измерение мощности

Измерение мощности предоставляет возможность ответственному персоналу определить реальное распределение энергии в сети.

Решение также предлагает возможность анализа энергопотребления для улучшения использования энергии, экономии средств и совершенствования эффективности посредством:

- предоставления исходных данных для локализации потребителей электроэнергии;
- определения коэффициента мощности в реальном времени и помощи потребителям с целью исключения штрафов;
- регистрации максимумов энергопотребления (для самого широкого спектра используемого оборудования).

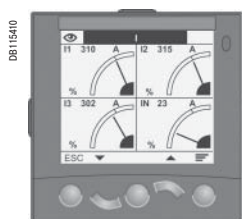
Задача по измерению мощности решается с помощью установки специального прибора со стороны источника питания или со стороны потребителя. Это трехфазный измерительный прибор высокого качества, который предоставляет обслуживающему персоналу данные в реальном времени.

Основные измерения включают в себя следующие параметры:

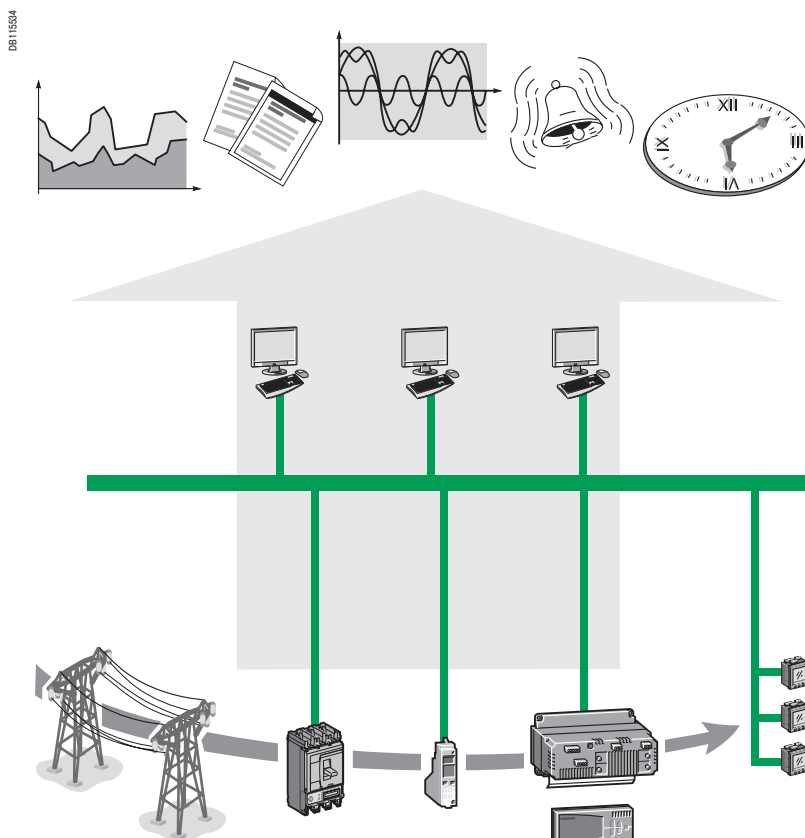
- ток;
- напряжение;
- энергия;
- мощность;
- частота;
- коэффициент мощности.

Самым простым решением является прибор для измерения мощности с дисплеем, с которого персонал считывает данные или отслеживает параметры. Самый высокопроизводительный вариант - система, которая включает в себя несколько приборов для измерения мощности и простой пакет программного обеспечения.

Развитая система контроля мощности предоставляет более точную информацию по электроснабжению наиболее ответственных потребителей и вводит необходимые данные для регистрации и сортировки основных событий в электросети. Данная система контроля мощности состоит из multifunctional точных приборов, управляемых программным обеспечением контроля и регулирования мощности посредством новейших технологий связи.



Дисплей прибора FDM121



Система измерения мощности

# Эффективность использования энергии

## 2.1.2. Управление системами отопления, вентиляции и кондиционирования

Управление системами отопления, вентиляции и кондиционирования направлено на регулирование параметров для того, чтобы:

- обеспечить необходимые условия окружающей среды (температура, воздух, скорость движения воздуха, влажность, CO2 и т.д.) для удобства пользователей и снижения энергозатрат в здании;
- снизить потребление энергии;
- уменьшить другие затраты, например, затраты на эксплуатацию, обслуживание и ремонт.

### Преимущества

- Система отопления, вентиляции и кондиционирования может потреблять до 70% получаемой энергии в зависимости от типов зданий.
- Можно использовать сочетание разных методов для снижения на 15 - 30% энергозатрат на систему отопления, вентиляции и кондиционирования:
  - программирование температуры в соответствии с количеством работников в помещении;
  - регулирование мощности нагрева или охлаждения в соответствии с фактическими потребностями;
  - повышение температуры до комфортного уровня, когда установлено присутствие людей;
  - регулирование системы вентиляции в зависимости от наличия людей или уровня загрязнения воздуха;
  - использование отработанного воздуха для обогрева с целью экономии энергии.

## 2.1.3. Управление освещением

Освещение может представлять до 40% потребления энергии в зависимости от типов зданий.

Управление освещением является одним из самых простых способов экономии затрат на электроэнергию. При использовании решений эффективного управления освещением потребители могут с легкостью сэкономить до 50% на счете за электричество по сравнению с традиционными способами. Решения по управлению освещением обеспечивают автоматические средства регулирования освещения, основанные на трех основных параметрах: время, интенсивность и присутствие.

Решения могут быть простыми, такими как таймеры, и довольно сложными, выполненными по техническим условиям заказчика, но при этом гибкими и централизованными, являющимися частью системы автоматизации зданий.

## 2.1.4. Компенсация реактивной мощности

Коэффициент мощности (PF) представляет собой отношение активной мощности к полной мощности, потребляемой электроустановкой.

$$PF = \text{кВт/кВА}$$

Компенсация реактивной мощности заключается в увеличении коэффициента мощности до значения близкого к 1 (оптимальное значение 0,92 – 0,95). Более низкое значение означает, что питающей сетью должна подаваться реактивная энергия, а это увеличивает потребляемый ток. Компенсация реактивной мощности обычно достигается путем установки специальных конденсаторных батарей. Батарея компенсации коэффициента мощности, установленная параллельно с нагрузкой, рассчитана на увеличение коэффициента мощности в рассматриваемой точке сети и уменьшение реактивной мощности.

### Преимущества

- Снижение полной мощности нагрузки.
- Снижение затрат по счетам на электроэнергию.
- Возможность оптимизации электроустановки заказчика, электрической сети и генератора мощности.

DB115535



Конденсаторная батарея для компенсации реактивной мощности

---

## 2.1.5. Автоматизация зданий

Системы автоматизации зданий включают в себя оборудование и коммуникации для управления, контроля, оптимизации и обслуживания инженерных сетей здания:

- механическое и электрическое оборудование (нагрев, вентиляция, кондиционирование воздуха, освещение, жалюзи, распределение мощности и т.д.);
- безопасность (контроль доступа, система видеонаблюдения и т.д.).

### Преимущества

- В зданиях примерно 80 % потребления энергии приходится на системы отопления, вентиляции, кондиционирования и освещение.
- Система автоматизации здания способствует экономии электроэнергии, так как она может управлять всеми коммунальными услугами (системами отопления, вентиляции, кондиционирования, освещением, жалюзи, мощностью, безопасностью) и предоставляет возможность оптимизации затрат: экономия от 15 до 30% расходов на электроэнергию.
- Оптимизация работы инженерных сетей здания в течение всего жизненного цикла оборудования обеспечивает потребителю максимальную эффективность использования электроэнергии.

## 2.1.6. Система управления энергией

### 2.1.6.1. Сигнализация и регистрация событий

Функция сигнализации обеспечивает предупреждение оператора в случае, если то или иное событие (превышение фиксированного порога, перегрузка, замыкание на землю и т.д.) происходит в электрической сети, тогда как функция регистрации записывает событие (с указанием времени) и сохраняет в базе данных.

Эта информация помогает электротехническому персоналу быстро искать, определять и анализировать проблемные участки цепи, неисправности и отказ оборудования, а также предпринимать шаги по предотвращению этих событий в будущем.

Составные элементы системы включают в себя:

- графические представления;
- сигнализацию и уведомление о наиболее важных эксплуатационных параметрах и возможных рисках;
- последовательную регистрацию событий;
- составление отчетов по эксплуатационным параметрам для определения возможных причин простоя или повреждения оборудования.

### Преимущества

Наличие отчетов по эксплуатационным параметрам дает возможность потребителям быстрее и эффективнее реагировать и уменьшить негативное воздействие на оборудование критических ситуаций или полностью предотвратить их возникновение.

Для выполнения этой задачи необходимо учитывать несколько факторов:

- точное, синхронизированное по времени измерение мощности и отслеживание неисправностей;
- структура обмена данными и программное обеспечение для оценки работы системы и оперативного уведомления персонала;
- средства программного обеспечения для упорядочивания, фильтрации и представления данных.

# Эффективность использования энергии

---

## 2.1.6.2. Оптимизация управления ресурсами

Регулярное обслуживание и модернизация электросети на протяжении всего жизненного цикла оборудования необходимы для эффективного энергоснабжения потребителя. Управление ресурсами необходимо для всех мероприятий, используемых для достижения данной цели при условии оптимальной стоимости.

### Преимущества

Оптимизация ресурсов позволяет потребителю избежать убытков в результате аварий в системе энергоснабжения и гарантирует, что он получает необходимое качество электроэнергии при выполнении следующих условий:

- надлежащее обслуживание оборудования для обеспечения нормальной эксплуатации в течение срока службы;
- гарантия постоянного обновления оборудования и принятие решений относительно его обслуживания, модификации или замены;
- настройка структуры сети для выполнения конкретных требований.

Управление ресурсами повышает эффективность обслуживания и эксплуатации благодаря наличию системы управления данными. Данная система:

- хранит описание установленного оборудования;
- регистрирует все данные, относящиеся к обслуживанию оборудования в течение его срока службы;
- анализирует данные, поступающие дистанционно от оборудования.

Применение управления ресурсами требует выполнения следующих задач:

- консультационные услуги для оценки установки и составления планов;
- обслуживание (в случае возникновения неисправностей и предупредительное);
- модернизация (новые проекты и модификация);
- контроль текущего технического состояния;
- управление (информационная система).

## 2.1.6.3. Оптимизация тарифов на электроэнергию

Для главных энергетиков и руководства наиболее важным аспектом является наличие надежного контракта на поставку электроэнергии. Заключив наиболее выгодные договоры на поставку и инвестируя в схемы, обеспечивающие наиболее выгодные тарифы, потребители могут оптимизировать затраты на электроэнергию.

### Преимущества

■ Посредством анализа тарифов на электроэнергию, совокупности данных потребления электроэнергии и анализа возможностей по снижению энергопотребления главные энергетики могут существенно повлиять на стоимость контракта с поставщиками электроэнергии. Знание о том, как используется электроэнергия, потребляемая предприятием, предоставляет огромное преимущество для руководителя при переговорах по стоимости контракта. Главные энергетики, как правило, принимают активное участие в оценке необходимого количества поставляемой электроэнергии и анализе финансовой составляющей контракта.

В зависимости от тарифов, предложенных поставщиками, и нагрузок потребители могут снизить расходы электроэнергии различными способами.

■ Расходы на пиковое потребление могут быть снижены путем временного отключения неприоритетных цепей. Кроме того, энергоснабжение в период пика нагрузки может обеспечиваться локальными источниками энергии.

■ Потребители также могут использовать специальные тарифы, предлагаемые энергоснабжающими организациями, у которых есть ограничения на поставку электроэнергии (например, в летний период). Соглашение о сокращении потребления позволяет потребителю получать выгоду от «привлекательного» тарифа на электроэнергию. Пользователи на время снижают нагрузку, когда это требуется энергоснабжающей организации.

■ Тарифы, зависящие от времени суток, являются другим стимулом для тех потребителей, которые могут перераспределять нагрузку по времени суток и, таким образом, снижать сумму счета за электроэнергию.

---

■ Другим способом оптимизации расходов является исключение затрат на реактивную мощность. Индуктивные нагрузки, такие как трансформаторы и двигатели, используют не только активную, но и реактивную мощность. Реактивная мощность, в отличие от активной, не потребляется нагрузкой, а лишь запасается в ней в течение четверти периода колебания переменного тока электросети. В следующую четверть периода реактивная энергия возвращается в сеть. Электрические сети должны обеспечивать пропускную способность для поддержания данной реактивной мощности, а затраты на реактивную мощность увеличивают сумму счета за электроэнергию. Если тариф включает в себя расходы на реактивную мощность, увеличение коэффициента мощности является способом исключения этой статьи расходов из счета за электроэнергию.

#### 2.1.6.4. Анализ использования энергии

Анализ использования энергии на основе отчетов за прошедший период дает персоналу возможность понимания тенденций изменения энергопотребления в будущем. Организации, которые не имеют доступа к указанному типу данных, могут не заметить наиболее существенные тенденции при рассмотрении вопроса повышения энергоэффективности:

- принимаемые меры по вопросам энергосбережения могут быть неэффективными или могут быть эффективными вначале, но их эффективность снизится со временем;
- могут быть пропущены существенные ошибки в счетах за энергоснабжение;
- без точных данных эффективность учета использованной энергии невысокая, и это может противоречить интересам организации.

##### Преимущества

Стратегии и действия для анализа использования энергии начинаются с простых и заканчиваются самыми сложными:

- **базовые измерения энергии** для всех существенных инженерных сетей (вода, воздух, газ, электричество, пар) позволят персоналу обозначить наиболее важные участки для улучшения эффективности использования энергии;
- использование **программного обеспечения** для выполнения сравнительных расчетов, позволяющих персоналу обнаружить участки системы, где может быть достигнута экономия энергии, а также расчет возможной экономии;
- **отчет о распределении затрат** позволяет персоналу проверять счета за энергопотребление и формировать собственную отчетность. Предоставление данной отчетности руководству помогает принимать решения, приводящие к экономии энергии и снижению затрат;
- **разбивка счета** по подразделениям позволяет владельцу здания или предприятия выписать счет каждому арендатору для эффективного потребления электричества, таким образом устанавливая источники затрат на электроэнергию и мотивируя разумное использование энергии. Владельцы также могут максимально учесть потребности в энергетических ресурсах для каждого арендатора с гарантией возврата расходов. Владелец может снизить суммарное потребление энергии для здания на 8 - 10 %, устанавливая ответственность каждого арендатора за расходы на электроэнергию.

Качество электроэнергии непосредственно влияет на:

- эксплуатационные расходы на электроустановку;
- надежность работы оборудования.

Поэтому параметры качества электроэнергии крайне важны.

# Качество энергии

Широкое использование электронного оборудования с импульсными блоками питания и наличие нелинейных нагрузок, а также ошибки проектирования и монтажа электрической сети привели к увеличению в ней различных искажений и помех.

Измерение параметров качества энергии включает в себя измерение уровня искажений и помех с целью их снижения или полного устранения. Оптимизация работы, обслуживания и повышение надежности электроустановки не могут быть выполнены до тех пор, пока мы не определили уровень искажений и помех.

Данная глава посвящена главным искажениям электрических параметров и описывает причины их возникновения, а также влияние на оборудование.

## 3.1. Разные типы искажений

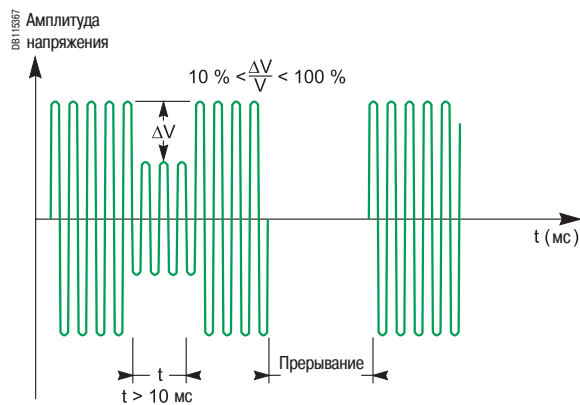
### 3.1.1. Искажения напряжения

Искажения и помехи в сети низкого напряжения обычно происходят как при нормальном функционировании оборудования, так и при авариях в сети, например, при коротких замыканиях или перегрузках. Обычно коммутационные устройства, используемые в сетях низкого напряжения, невосприимчивы к помехам и искажениям, возникающим при нормальной работе оборудования.

Существуют две причины искажений кривой напряжения в сети переменного тока.

#### 3.1.1.1. Провалы напряжения

Провал напряжения обычно определяется как резкое снижение напряжения питания, более чем на 10 - 99%, с восстановлением первоначального уровня напряжения после короткого периода от 10 мс до 1 мин. Когда оно превышает 99%, мы говорим о полном исчезновении напряжения, которое может быть коротким, менее 3 мин (например, вследствие переходного процесса), или длительным, более 3 мин (например, при аварии в сети питания). Провалы менее 10 мс обычно возникают вследствие переходных процессов.



Провал и полное исчезновение напряжения

В соответствии с европейским стандартом EN 50160 необходимо, чтобы действующее значение напряжения (среднеквадратичное значение, рассчитанное за 10 минут измерений при нормальных рабочих условиях) в течение 95% недели находилось в диапазоне  $\pm 10\%$  от номинального значения.

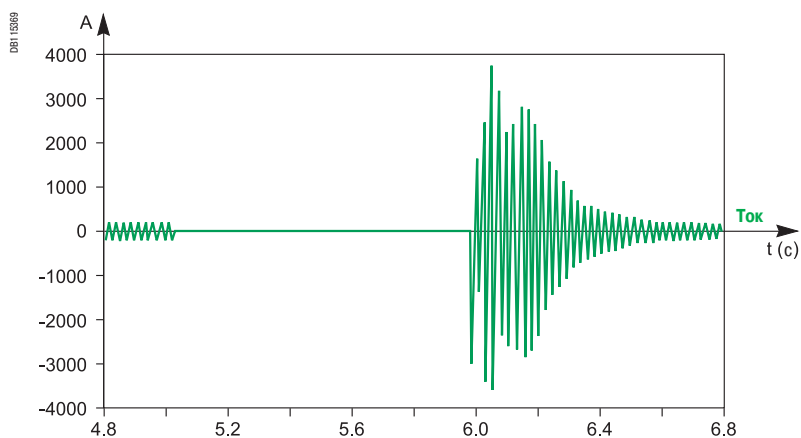
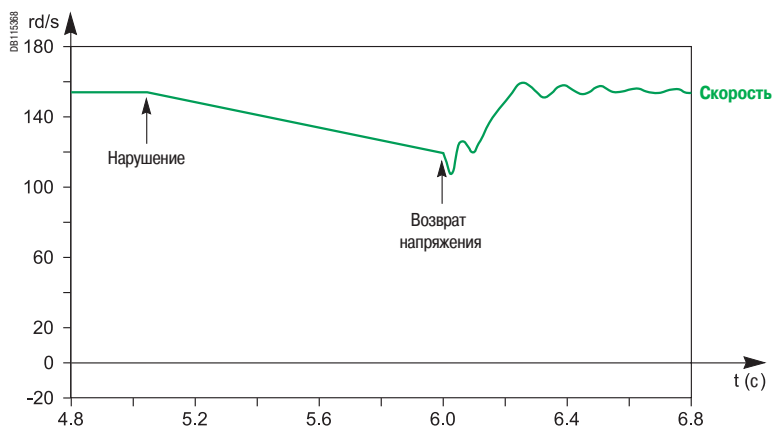
Провалы напряжения могут оказывать отрицательное воздействие на установку с повышенными требованиями к непрерывности работы, например, линии непрерывного производства на заводах, оборудование в больницах, коммуникационных центрах, банках и т.д. Среди оборудования, наиболее чувствительного к провалам напряжения и помехам в электросети, можно выделить:

- коммуникационное оборудование (компьютеры, у которых нет резервного питания и которые могут отключиться);

- осветительные приборы, например, газоразрядные лампы (отключение и последующее включение после времени, необходимого для охлаждения);

- асинхронные двигатели с крутящим моментом, пропорциональным квадрату напряжения, чувствительные к провалам напряжения. Если крутящий момент двигателя оказывается меньше крутящего момента нагрузки, двигатель останавливается. Быстрый перезапуск может сопровождаться высокими пиковыми значениями тока, превышающими в полтора раза пусковой ток. Провалы напряжений и токовые перегрузки могут снизить ресурс двигателя, а также отрицательно воздействовать на устройство пуска и защиты двигателя (контакты могут быть повреждены или даже приварены).

При срабатывании устройства защиты и отключении двигателя от сети ротор двигателя продолжает вращаться, вследствие чего двигатель может начать генерировать ток, находящийся в противофазе к току в сети. В цепи двигателя могут возникнуть переходные процессы большой интенсивности. На практике, при отключении двигателя от сети его скорость падает в зависимости от крутящего момента нагрузки, зависящего от ее величины. При повторной подаче напряжения остаточная электродвижущая сила в двигателе может быть в противофазе электродвижущей силе сети, что приведет к пиковому значению тока в цепи двигателя, который может быть намного больше пускового тока.



Переходные процессы при быстром перезапуске электродвигателя

# Качество энергии

Существует множество причин провалов или временных исчезновений напряжения, и все они вызваны работой оборудования, подключенного к сети или авариями в сетях высокого, среднего или низкого напряжения.

## Помехи в сетях высокого и среднего напряжения

Эти помехи могут быть вызваны следующими причинами:

- изменением конфигурации сети высокого/среднего напряжения вследствие подключения новых сетей или отключения существующих сетей;
- током намагничивания трансформатора после его включения, который может длиться несколько сотен миллисекунд. Например, включение трансформатора среднего/низкого напряжения мощностью  $S = 1000$  кВА сопровождается возникновением пикового тока на стороне среднего напряжения длительностью до 350 мс, который может быть в 10 раз больше номинального тока;
- включением различной нагрузки, например, двигателей (при этом пусковой ток в течение нескольких десятков секунд превышает в 8 раз номинальный ток) или конденсаторов среднего напряжения.

## Помехи вследствие аварий в сетях высокого и среднего напряжения

Эти аварии обычно возникают вследствие коротких замыканий или пробоя изоляции в сети. Удары молнии, повреждение кабелей, проложенных в земле, замыкание на землю воздушной линии также могут быть причиной аварий. Помехи, вызываемые этими авариями, влияют как на локальный участок сети вблизи места аварии, так и на всю сеть среднего напряжения.

## Помехи в сети низкого напряжения

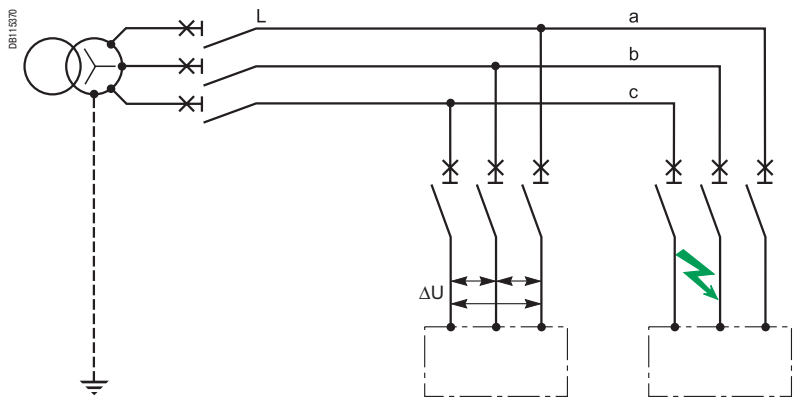
Как и в сетях среднего напряжения, эти помехи обычно возникают вследствие включения мощных нагрузок: конденсаторы могут вызвать провал напряжения вследствие их зарядки при включении, другой причиной может быть запуск или перезапуск двигателей.

## Помехи вследствие аварий в сети низкого напряжения

Эти помехи могут возникнуть вследствие коротких замыканий или пробоев изоляции в сети.

При использовании системы заземления TN полное сопротивление в неисправной цепи может быть таким, что возникнет провал напряжения 20% при замыкании на землю (если сопротивление контакта между неисправным проводником и землей равно нулю).

При межфазном коротком замыкании провал напряжения можно заметить на соседнем неповрежденном фидере. Этот провал напряжения будет иметь место на всех трех фазах вследствие циркуляции тока короткого замыкания в поврежденной цепи.



*Межфазное короткое замыкание приводит к провалу напряжения на соседнем неповрежденном фидере*

Таким же образом при переключении с основной сети на резервную через АВР может появиться провал напряжения. Время провала напряжения равно суммарному времени подключения нагрузки к работающему генератору (которое может составлять несколько секунд) и длительности переключения ( $\geq 50$  мс согласно стандарту МЭК 60947-6-1).



### 3.1.1.2. Перенапряжение

Перенапряжением называется любое напряжение, поступающее на вход электрооборудования и превышающее диапазон отклонений, допускаемых действующим стандартом.

Перенапряжения происходят в двух режимах:

- симметричный (дифференциальный), когда напряжение приложено между фазным и нейтральным проводами;
- несимметричный (общего вида), когда напряжение приложено между фазным или нейтральным проводом и заземляющим проводом (PE или PEN в системе заземления TNС).

Все перенапряжения классифицируются по скорости нарастания, длительности и повторяемости, а также по режиму: бывают длительные и импульсные перенапряжения, импульсные перенапряжения с одиночными или повторяющимися импульсами, симметричный или несимметричный режим перенапряжений. Электронные компоненты оборудования наиболее чувствительны к перенапряжениям прежде всего из-за опасности диэлектрического пробоя. Кроме того, если импульсные перенапряжения регулярно повторяются, они могут значительно снизить срок эксплуатации оборудования, а также привести к его выходу из строя или возгоранию.

Перенапряжение возникает по следующим причинам:

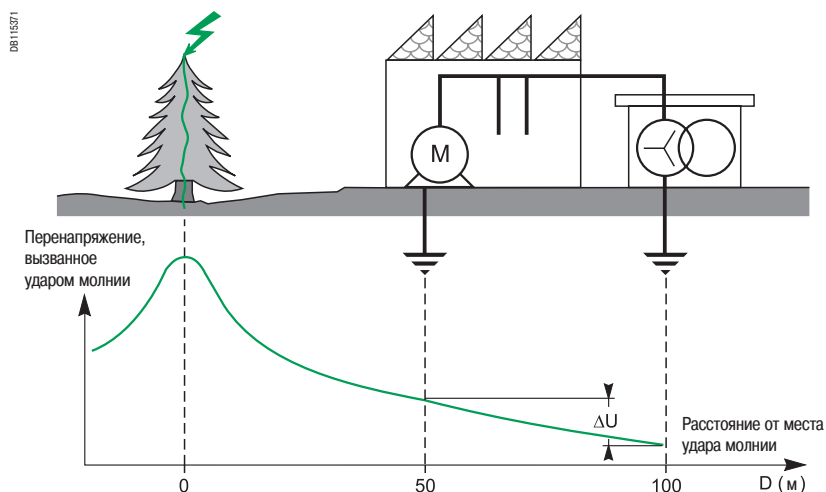
- **Внутренние неисправности сети (перенапряжения с частотой, равной частоте сети)**

Пробой изоляции (обычно в системах IT) могут стать причиной перенапряжения в цепи между неповрежденной фазой и землей. В случае перекомпенсации реактивной энергии конденсаторы установки компенсации могут повысить напряжение в сети до значений, выше номинальных.

Другой причиной может быть неисправность регуляторов нагрузки на трансформаторных подстанциях среднего/низкого напряжения.

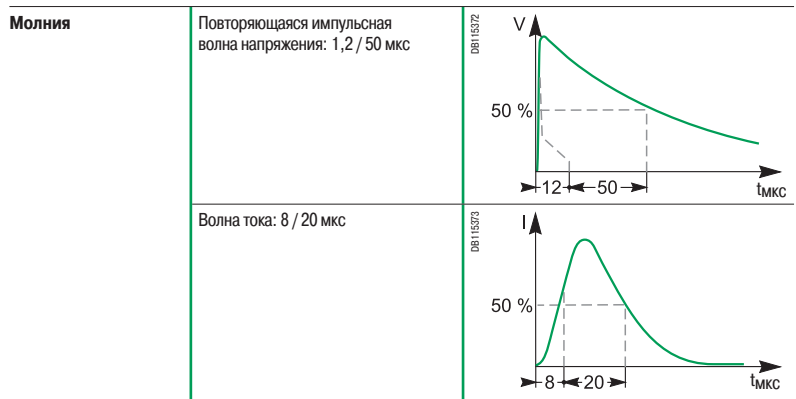
- **Атмосферные явления и грозовой разряд**

Молния может воздействовать либо путем прямого удара в электроустановку, либо через увеличение потенциала земли в случае, если удар молнии произошел рядом со зданием, где расположена электроустановка. Обычно считается, что если удар молнии произошел на стороне среднего напряжения, то менее 4% амплитуды перенапряжения будет наблюдаться на стороне низкого напряжения. Коммутационное устройство низкого напряжения способно выдержать перенапряжения, вызванные ударом молнии, поскольку оно проходит предварительные испытания на заводе-изготовителе, заключающиеся в воздействии на устройство импульсных перенапряжений.



При токе (вследствие удара молнии) 20 кА и удельном сопротивлении земли 1000 Ом х м, потенциал земли может достичь 40 кВ

# Качество энергии

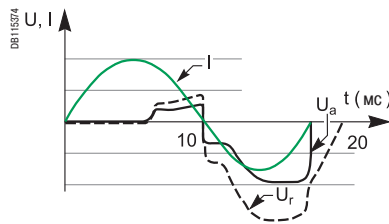


Формы испытательных волн, имитирующие воздействие молнии на оборудование низкого напряжения

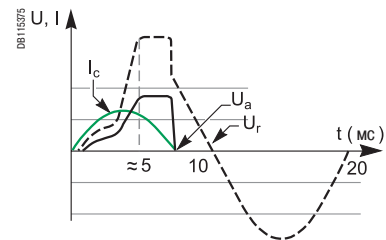
## ■ Операции переключения в сетях среднего и низкого напряжения

Несколько типов операций переключения могут стать причиной перенапряжения в сети. Ниже представлено несколько примеров:

- подача напряжения на трансформаторы среднего/низкого напряжения. В зависимости от типа коммутационного устройства, колебания напряжения могут в три раза превысить номинальное значение;
- отключение тока, проходящего через реле, катушки или контакторы при нормальной нагрузке, может вызвать перенапряжения до 10 кВ в цепи 230 В;

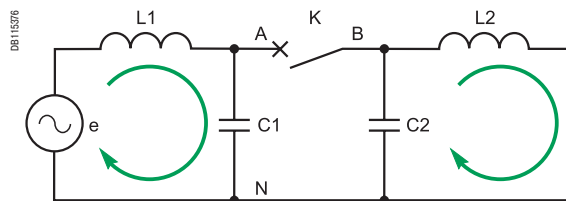


Перенапряжение на клеммах автоматического выключателя без токоограничения



Перенапряжение на клеммах автоматического выключателя с токоограничением

- выключение устройства коммутации (например, выключателя), даже если оно кратковременное, приводит к перенапряжению. При этом возникает переходное напряжение, которое сильно зависит от степени токоограничения выключателя. Напряжение дуги между полюсами устройства, которое обратно пропорционально протекающему току, суммируется с напряжением сети;
- включение и отключение небольших токов в цепи с преимущественно индуктивной нагрузкой может вызвать серию импульсных перенапряжений.



При размыкании  $K$  напряжения  $V_{AN}$  и  $V_{BN}$  находятся в противофазе, что приводит к их взаимному подавлению. Дуга будет повторно возникать до тех пор, пока энергия на ее поддержание не будет израсходована, и увеличивающееся расстояние между контактами не прекратит этот процесс

### 3.1.2. Разновидности дисбаланса в многофазных системах

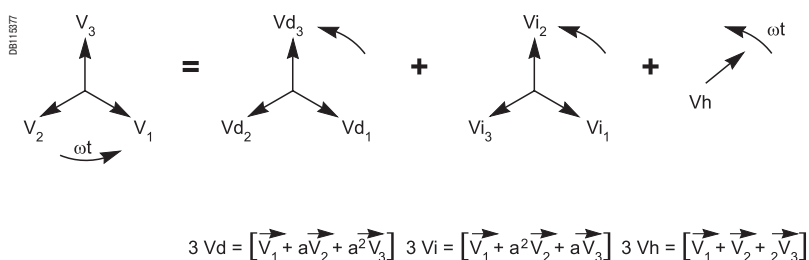
В многофазных сетях возможны два типа дисбаланса:

#### Дисбаланс тока и напряжения

Данный тип дисбаланса происходит вследствие следующих причин:

- подача питания для однофазных или двухфазных потребителей от трехфазной сети. Так как полное сопротивление нагрузки различных потребителей отличается, разные потребители потребляют разные токи, что приводит к возникновению дисбаланса напряжений;
- неисправности в однофазной или двухфазной цепи.

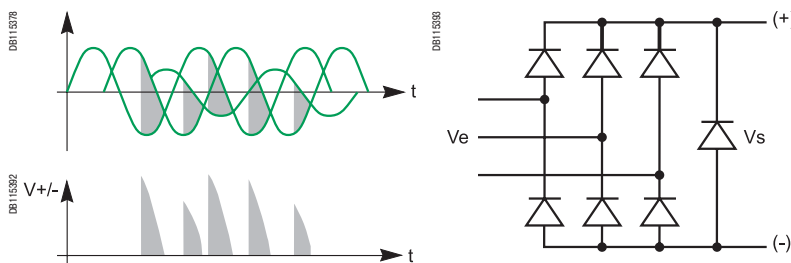
Во всех случаях дисбаланс характеризуется наличием токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей. Двигатели переменного тока очень чувствительны к напряжениям обратной и нулевой последовательностей, так как они вызывают торможение ротора, и температура двигателя повышается. Обычно считается, что если соотношение между напряжениями обратной и прямой последовательностей превышает 2%, то имеет место дисбаланс.



Напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей в трехфазной системе

#### Дисбаланс фаз

Этот тип дисбаланса более всего наблюдается в тиристорных устройствах: работа тиристорного устройства нарушается при наличии дисбаланса напряжения, кроме того, гармоники напряжений при прохождении через ноль могут вызвать сбой в работе тириستоров.



Влияние дисбаланса напряжений на тиристорные устройства

## 3.1.3. Электромагнитные помехи: эмиссия, излучение, электростатический разряд

Все коммутационные устройства подвергаются воздействию электромагнитных полей, генерируемых окружающим оборудованием. Степень воздействия зависит от места установки устройства, особенностей прокладки электрических цепей, взаимного расположения оборудования и нагрузки, а также напряжения питания.

- Коммутационное устройство должно оставаться нечувствительным к электромагнитным и кондуктивным помехам от внешних источников (испытания приведены в серии стандартов МЭК 61000-4). Например, перекрестные помехи в кабельных системах являются одним из наиболее распространенных видов помех: любые изменения тока или напряжения в одном кабеле индуцируют электромагнитное поле в соседних кабелях.
- Не оказывая существенного электромагнитного влияния на среду, коммутационное устройство, тем не менее, считается источником кондуктивных и электромагнитных помех (испытания приведены в серии стандартов МЭК 61000-6 и CISPR 11, 14 и 22). Например, при испытаниях устройства, подключенного или отключенного от измерительной цепи (в зависимости от рода испытаний: кондуктивные помехи или излучение электромагнитных помех), измеряется уровень электромагнитного излучения для каждой частоты.
- Стойкость к электростатическим разрядам в соответствии с МЭК 61000-4-2. Электронные компоненты оборудования наиболее чувствительны к электростатическим разрядам.

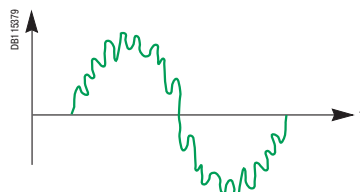
## 3.1.4. Частотные помехи

Данные помехи обычно характеризуются низкой амплитудой. Частота помех находится вблизи стандартных частот 50 и 60 Гц. Европейский стандарт EN 50160 предписывает, что частота сети не должна отличаться от номинальной частоты более чем на  $\pm 1\%$  в течение 95% недели и даже в случае аварии в сети не может отличаться более чем на  $[-4\%, +6\%]$  от номинальной частоты.

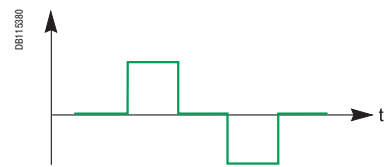
## 3.1.5. Гармонические помехи

Токи и напряжения в реальной распределительной сети переменного тока никогда не являются полностью синусоидальными вследствие разных несовершенств инсталляции или внутренних характеристик подключенного к сети электрооборудования:

- Некоторые генераторы могут вырабатывать высокочастотные гармоники. Устройства защиты от перегрузки по току чувствительны к указанным помехам, что может вызвать ложное срабатывание данных устройств защиты.

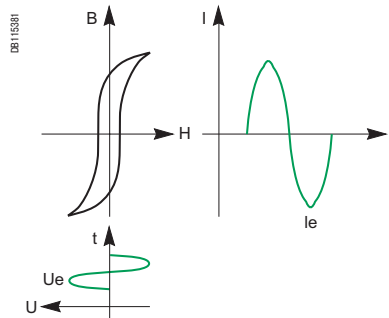


Помехи от генератора переменного тока



Помехи от работы инвертора без фильтра

- Гармоники напряжения и тока могут вызывать насыщение сердечника трансформатора, его перегрев и снижение КПД (из-за наличия петли гистерезиса).



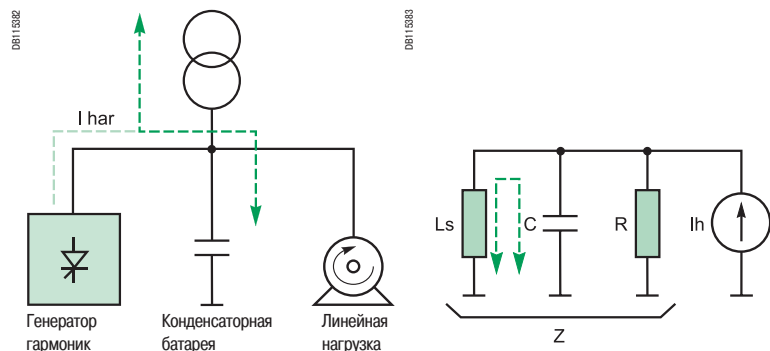
Поглощение гармоник тока сердечником трансформатора

■ Как правило, наиболее распространенным источником гармонических помех являются нелинейные нагрузки:

□ конденсаторные батареи часто используются для компенсации реактивной энергии, потребляемой индуктивными нагрузками. При этом частота гармоник в сети, генерируемых нелинейной нагрузкой, может совпадать с собственной частотой контура, зависящей от соотношения емкости конденсаторов и индуктивности нагрузки, а также от сопротивления контура. Это приводит к резонансу и увеличению амплитуды гармоник в сети при данной частоте, что представляет опасность для электрооборудования.

Рассмотрим упрощенную схему электроустановки, включающую в себя:

- питающий трансформатор;
- линейные нагрузки;
- нелинейные нагрузки, генерирующие гармонические токи;
- конденсаторы для компенсации реактивной мощности.



- $L_s$  : Индуктивность питающей сети
- $C$  : Конденсатор для компенсации реактивной мощности
- $R$  : Сопротивление линейной нагрузки
- $I_h$  : Гармонический ток

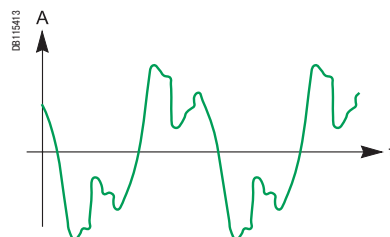
В результате получаем:

$$Z = \frac{j \times L_s \times \omega}{1 - L_s \times C \times \omega^2}$$

без учета R.

Резонанс имеет место, когда знаменатель  $(1 - L_s \times C \times \omega^2)$  стремится к нулю. Соответствующая частота называется резонансной частотой цепи. При данной частоте полное сопротивление будет иметь максимальное значение. Возникают значительные гармонические напряжения, и, как следствие, происходит сильное искажение кривой напряжения. Это сопровождается циркуляцией гармонических токов в цепи  $L_s + C$  большей величины, чем гармонические токи, генерируемые нелинейной нагрузкой. При этом питающая сеть, а также конденсаторы подвергаются сильному воздействию гармонических токов, что может вызвать перегрузки в сети и выход из строя конденсаторов.

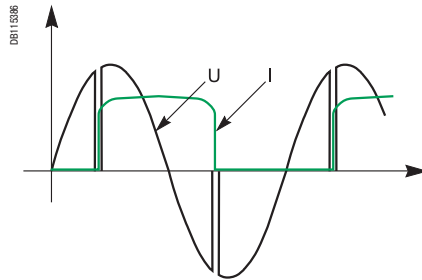
□ люминесцентные лампы, а также газоразрядные лампы генерируют гармоники в очень широком диапазоне.



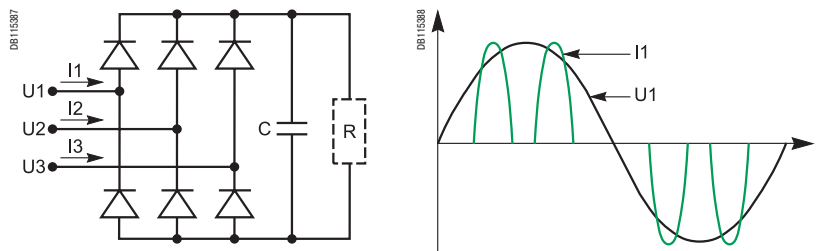
Форма кривой тока при работе люминесцентных ламп

# Качество энергии

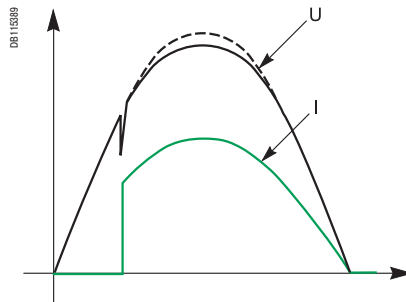
□ выпрямители на основе мостовых схем, а также диодные или тиристорные статические преобразователи являются нелинейной нагрузкой, генерирующей гармоники тока. Кроме того, переключения в цепях данных устройств сопровождаются импульсами напряжения, что приводит к искажениям кривой напряжения. Обычно выпрямители генерируют нечетные гармоники тока с амплитудой, обратно пропорциональной порядку гармоники. В первом приближении  $I_n = I_{осн}/n$ , где  $I_{осн}$  – основная гармоника,  $n$  – порядок гармоники. В действительности, различные факторы (например, небольшие отклонения при сборке и функционировании устройств) могут приводить к возникновению четных гармоник, которые намного сложнее устранить, чем нечетные гармоники (прежде всего, это относится к гармоникам второго порядка).



Кривые тока и напряжения в цепи с полупроводниковым выпрямителем

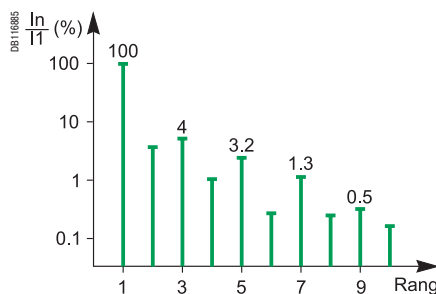


Кривая тока на входе цепи с выпрямителем и конденсатором



При каждом запуске тиристора в терморегуляторе наблюдается понижение напряжения с последующим провалом, что вызвано наличием в цепи индуктивности и внутренним сопротивлением источника питания

□ дуговые печи, вследствие асимметричного и нестабильного характера дуги, генерируют гармоники во всем диапазоне. В зависимости от тока (переменный или постоянный) и конкретной установки, диапазон гармоник сильно отличается и не может быть рассчитан заранее, необходимы тщательные измерения.



Гармоники в сети переменного тока при работе дуговой печи

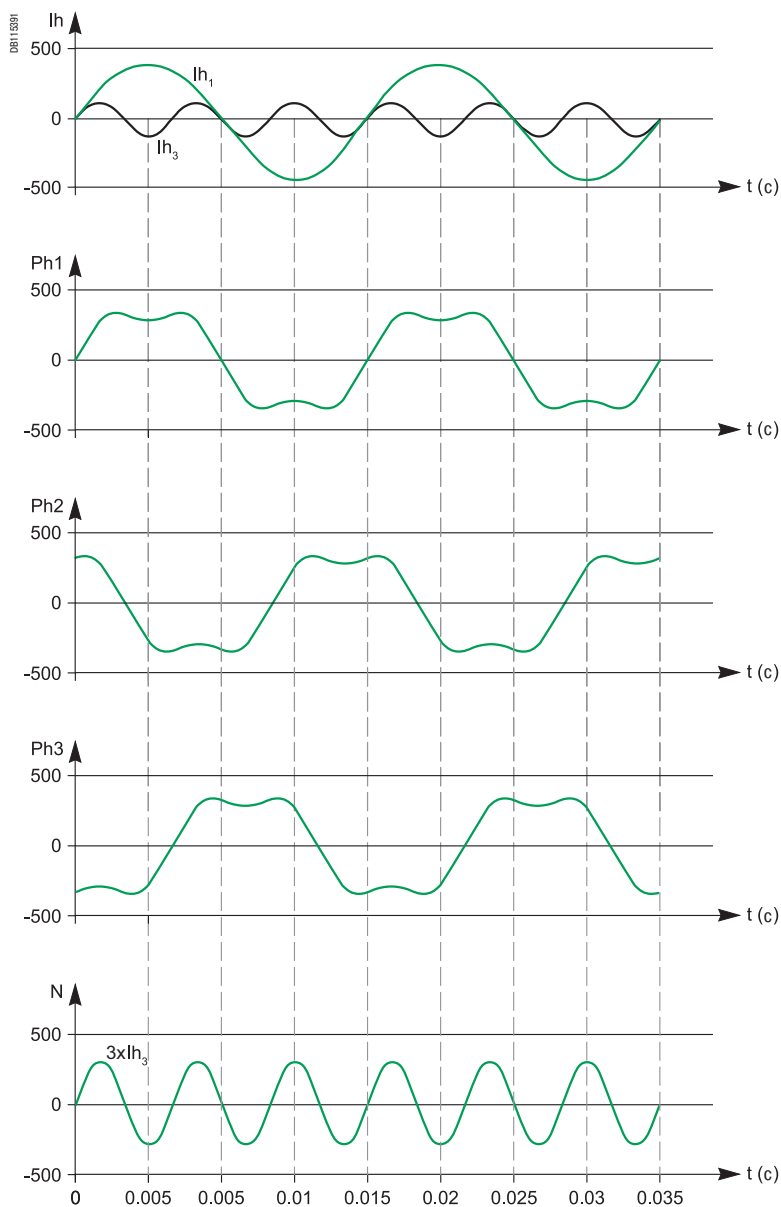
Гармоники воздействуют на сеть различными способами:

- повышение пиковых значений тока и напряжения, которые отрицательно влияют на электронные компоненты. Гармонические токи в цепи конденсаторов могут вызвать их нагрев, поскольку полное сопротивление конденсаторов обратно пропорционально частоте тока;
- повышение действующих значений тока и напряжения. Прямое воздействие гармоник заключается в повышении температуры кабелей (Джоулево тепло) и конденсаторов, а также источников питания - трансформаторов и генераторов (Джоулево тепло и потери в сердечнике);
- увеличение частоты сигналов, приводящее к ускоренному старению и вибрациям оборудования (например, пульсации в асинхронных двигателях).

Одним из наиболее нежелательных воздействий гармоник, преимущественно третьего порядка и кратных трем, является их суммирование в нейтральном проводнике. Основная гармоника тока (частотой 50 Гц) в трех фазах взаимно компенсируется и поэтому суммарный ток основной частоты 50 Гц в нейтральном проводнике равен нулю.

Однако, гармоники третьего порядка (и кратные трем) суммируются. Поэтому, при наличии гармоник тока в трехфазной цепи с равномерным распределением нагрузок по фазам, в нейтральном проводнике может протекать ток.

#### Суммирование гармоник третьего порядка в нейтральном проводнике



# Качество энергии

Кроме того, ток в нейтрали может превышать значение тока в фазах в случае большого содержания в сети гармоник третьего порядка и кратных трем. Можно доказать, что максимальная величина тока в нейтрали при этом достигнет значения  $\sqrt{3} \times I_{ph}$ , где  $I_{ph}$  = ток в фазах. Особое внимание необходимо уделить защите нейтрального проводника, поскольку по нему может протекать указанное значение тока. Могут возникнуть ситуации, когда:

- уровень гармоник тока третьего порядка в фазных проводниках низкий - в таком случае уставки защиты и сечение проводника нейтрали могут быть выбраны такими же, как и для фазных проводников;
- уровень гармоник тока третьего порядка в фазных проводниках высокий - в таком случае ток, проходящий по проводнику нейтрали, может быть больше тока в фазных проводниках. Выбор сечения кабелей должен производиться по ожидаемому току в нейтральном проводнике. Однако, используя специальное коммутирующее устройство (например, расцепитель с функцией защиты нейтрали в автоматических выключателях Compact NSX), можно выбрать различные сечения для проводника нейтрали и фазных проводников, что позволит получить существенную экономию. Для анализа гармонического состава сигналов используются два основных показателя:

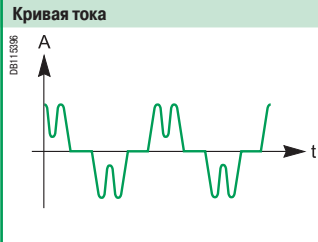
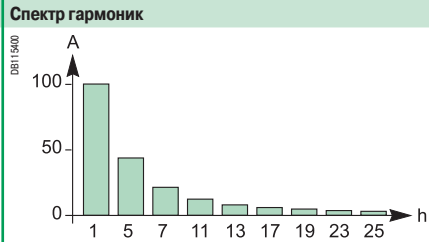
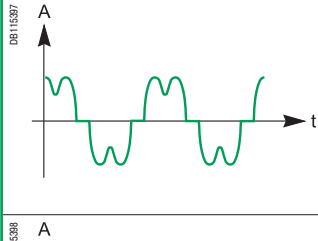
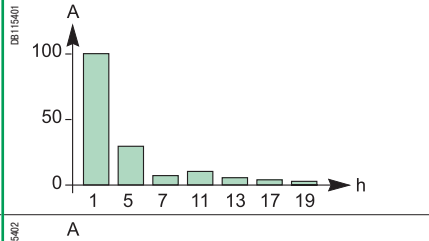
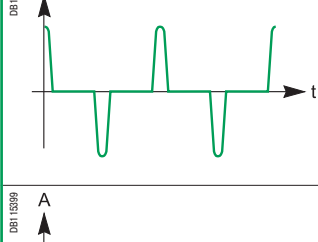
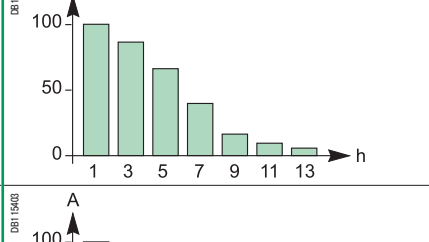
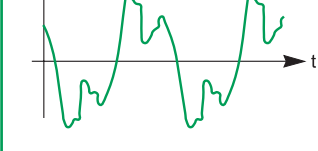
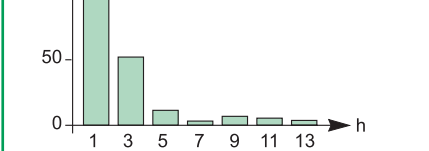
■ THDi (коэффициент гармонических искажений тока):

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}, \quad \text{где} \quad \begin{array}{l} I_1 = \text{основная гармоника} \\ I_h = \text{гармоническая составляющая тока порядка } h \end{array}$$

■ THDu (коэффициент гармонических искажений напряжения):

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}, \quad \text{где} \quad \begin{array}{l} U_1 = \text{основная гармоника} \\ U_h = \text{гармоническая составляющая напряжения порядка } h \end{array}$$

Этот коэффициент показывает отношение суммарной мощности всех гармоник (кроме первой) к мощности первой гармоники. Ниже представлены значения коэффициента THD для различных нелинейных нагрузок:

Нелинейные нагрузки	Кривая тока	Спектр гармоник	THDi
Частотный регулятор скорости			44 %
Выпрямитель			28 %
Компьютерная нагрузка			115 %
Люминесцентная лампа			53 %



Считается, что влияние гармоник напряжения и тока зависит от их уровня:

Уровень гармоник	Степень влияния гармоник
$\text{THDi} < 10\%$ , $\text{THDu} < 5\%$	-
$10\% < \text{THDi} < 50\%$ , $5\% < \text{THDu} < 8\%$	Существенное загрязнение сети гармониками, возможно отрицательное влияние
$\text{THDi} > 50\%$ , $\text{THDu} > 8\%$	Сильное загрязнение сети гармониками, большая вероятность отрицательного влияния

В связи с отрицательным воздействием гармоник на электрооборудование стандартами вводятся пороговые значения THDi. Французский стандарт NF C 15-100 устанавливает зависимость сечения проводников нейтрали от уровня гармоник третьего порядка в фазных проводах ( $\text{THDi}_{\text{н3}}$ ). Данным стандартом предложены пороговые значения THDi<sub>н3</sub> на уровне 15, 33 и 45 % (§ 524.2):

	$\text{THDi}_{\text{н3}} \leq 15\%$	$15\% < \text{THDi}_{\text{н3}} \leq 33\%$	$\text{THDi}_{\text{н3}} > 33\%$
$S_N = \frac{1}{2} S_{Ph}$	Разрешено Обязательна защита нейтрали	Запрещено	Запрещено
$S_N = S_{Ph}$	Разрешено Защита нейтрали необязательна	Разрешено Ток в фазных проводах определяет сечение всех проводников	Разрешено Ток в нейтрали определяет сечение всех проводников
$S_N > S_{Ph}$			Разрешено Ток в нейтрали определяет только сечение проводника нейтрали

Например, рассмотрим случай трехфазной сети с нейтралью, к которой подключено компьютерное оборудование, потребляющее ток 150 А по каждой фазе. При отсутствии гармоник в сети для защиты данной нагрузки будет достаточно трехполюсного автоматического выключателя с номинальным током 160 А, а для подключения можно выбрать кабель сечением 95 мм<sup>2</sup>. Так как компьютерное оборудование является нелинейной нагрузкой, генерирующей гармоники третьего порядка ( $\text{THDi}_{\text{н3}} > 33\%$ ), именно ток в нейтрали определяет сечение кабеля (см. таблицу выше). Тогда, учитывая, что ток в проводнике нейтрали может превышать номинальный ток (150 А) и достигать 210 А (для  $\text{THDi}_{\text{н3}} 40\%$ ), необходимо выбрать кабель сечением жил не менее 185 мм<sup>2</sup>, а также автоматический выключатель с номинальным током 250 А. Однако возможен и другой вариант: можно выбрать сечение 95 мм<sup>2</sup> для фазных проводников и 185 мм<sup>2</sup> для провода нейтрали, но при этом необходимо выбрать четырехполюсный автоматический выключатель и соответствующим образом отрегулировать его уставки (у расцепителя должна быть функция регулируемой защиты нейтрали). Преимущество этого варианта в уменьшении сечения фазных проводников.

В международном стандарте МЭК 60364-5-52 (на котором основан стандарт NF C 15-100) приведены коэффициенты уменьшения при выборе сечения проводника нейтрали с учетом наличия в сети гармоник третьего порядка:

Гармоники тока третьего порядка в фазных проводниках (%)	Поправочный коэффициент	
	Выбор на основе тока в фазных проводниках	Выбор на основе тока в проводнике нейтрали
0 - 15	1,0	-
15 - 33	0,86	-
33 - 45	-	0,86
> 45	-	1,0

Поэтому для приведенного выше примера электроустановки с  $\text{THDi}_{\text{н3}} 15-33\%$  и номинальным током 150 А выбирается поправочный коэффициент 0,86. Расчетный ток с учетом поправки составит 175 А, данное значение тока определяет выбор сечения всех проводников. Если  $\text{THDi}_{\text{н3}}$  находится в интервале 33-45% (например, 40%), то именно нейтраль определяет сечение всех проводников: ток в нейтрали  $150 \times 0,4 (40\%) \times 3$  (поскольку гармоники третьего порядка суммируются в нейтральном проводнике) = 180 А, выбираем поправочный коэффициент 0,86. Тогда расчетный ток =  $180/0,86 = 210$  А.

Можно сделать вывод, что измерение гармонических составляющих в электроустановке чрезвычайно важно и существенно влияет на стоимость электроустановки и ее безопасность. Поэтому это очень важный параметр при измерениях качества электроэнергии.

# Качество энергии

В таблице ниже представлены основные эффекты от наличия гармоник в сети для различных видов оборудования:

Оборудование	Эффект
Силовой конденсатор	Повышение температуры, сокращение срока службы, резонанс
Двигатели	Дополнительные потери и повышение температуры Снижение номинальной мощности Вибрации, шум
Трансформаторы	Потери в сердечнике и дополнительное повышение температуры Механические вибрации, шум
Автоматические выключатели	Ложные отключения (более высокий ток для той же самой активной мощности и др.)
Кабели	Дополнительные потери (особенно в нейтрали при наличии гармоник третьего порядка)
Компьютеры	Сбои в работе
Силовая электроника	Сбои в работе (ложные переключения и др.)

# Стандарт МЭК 61557-12

Стандарт МЭК 61557-12 предоставляет нам:

- общие требования;
- оценку рабочих характеристик;
- общее описание для приборов, предназначенных для измерения различных электрических параметров.

Очень важно измерять различные электрические параметры для того, чтобы обеспечить надежное функционирование электроустановки. При этом необходимо учитывать:

- изменения в электроустановке (например, необходимо выполнить измерение тока в проводнике нейтрали при появлении гармоник в сети);
- технологические изменения (например, необходимо выполнить ряд измерений при изменении нагрузки);
- требования потребителей по снижению затрат на электроустановку;
- доступность и надежность обслуживания;
- устойчивое развитие (при этом измерения рассматриваются как ключевой элемент в контроле энергопотребления).

Устройства, предназначенные для выполнения данного контроля, обладают разными характеристиками, что требует стандартизации процессов измерения и измеряемых параметров. Данный стандарт должен давать возможность потребителю выбрать необходимые показатели, а также указать способ интерпретации измеренных параметров.

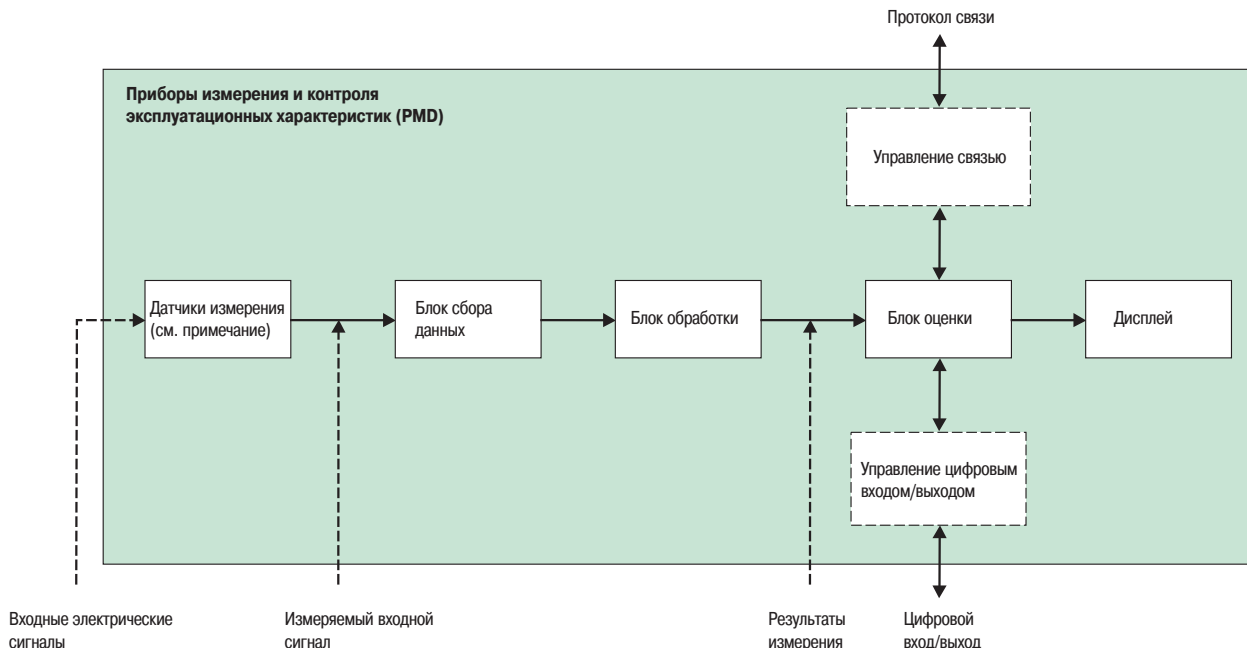
Стандарт МЭК 61557-12 предлагает основу, позволяющую выбрать необходимое оборудование и оценить его эксплуатационные параметры. Он указывает требования для устройств измерения и контроля эксплуатационных параметров (PMD).

## 4.1. Область применения

Стандарт МЭК 61557-12 применяется:

- в сетях переменного и постоянного тока с рабочим напряжением переменного тока до 1000 В или постоянного тока до 1500 В;
- в стационарных или переносных электроустановках наружного или внутреннего применения;
- как правило, в промышленных и/или коммерческих электроустановках для следующих целей:
  - контроль энергопотребления внутри электроустановки;
  - контроль и/или измерение электрических параметров;
  - контроль и/или измерение качества электроэнергии.

## 4.2. Общая структура устройств измерения и контроля (PMD)



# Стандарт МЭК 61557-12

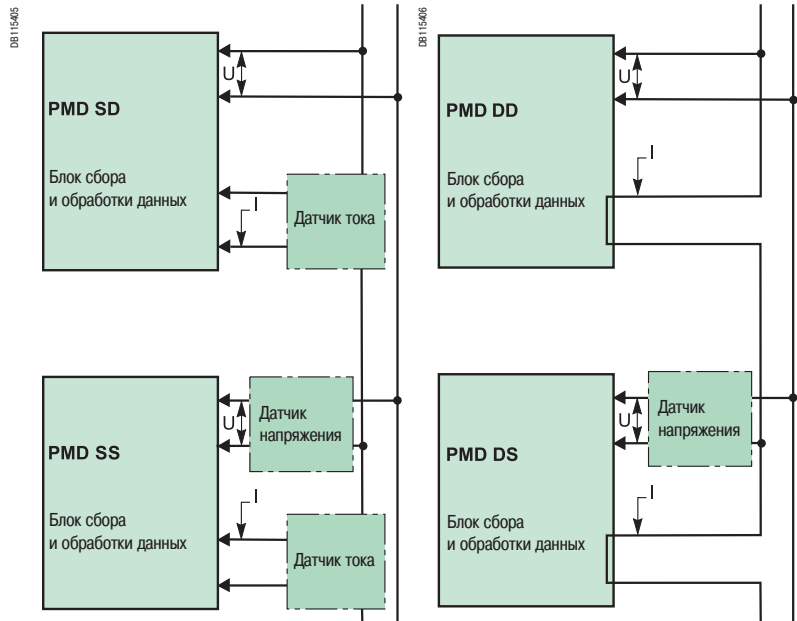
Стандарт МЭК 61557-12 определяет общую структуру PMD. Измеряемый электрический сигнал может быть получен либо непосредственно либо посредством датчиков измерений. Затем он обрабатывается и оценивается, и результат отображается (через дисплей) или передается при помощи протокола связи (например, Modbus), или отправляется на блок цифрового входа/выхода. Эта последняя опция используется, прежде всего, в машинах и PLC.

С точки зрения конструкции, стандарт подразделяет устройства измерения и контроля (PMD) в зависимости от наличия у них измерительных датчиков. Поэтому мы можем выделить разные типы PMD: DD, SS, DS и SD.

Измерение тока		
	PMD, подключаемые через датчик (датчики тока вне PMD) → PMD Sx	PMD с прямым подключением (датчики тока в PMD) → PMD Dx
Измерение напряжения	PMD с прямым подключением (датчики напряжения в PMD) → PMD xD	PMD DD
	PMD, подключаемые через датчик (датчики напряжения вне PMD) → PMD xS	PMD DS

Следовательно:

- PMD, для которого датчики тока и напряжения встроены в устройство, - это PMD DD;
- PMD, для которого датчики тока и напряжения вне устройства, - это PMD SS;
- PMD, для которого датчики тока встроены в устройство, но датчик напряжения внешний, - это PMD DS;
- PMD, для которого датчик напряжения встроен в устройство, но датчик тока внешний, - это PMD SD.



### 4.3. Разные типы точности

Стандарт различает три разных типа точности PMD:

- внутренняя точность прибора с учетом погрешности выборки аналогово-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей микроконтроллера в блоке расчета при эталонных условиях;
- рабочая точность прибора с учетом погрешности влияния внешних факторов (изменения температуры, частоты сети, запитывающей прибор, и т.д.).

Стандарт определяет формулу для расчета данной точности исходя из внутренней точности:

$$\text{Рабочая точность} = |\text{внутренняя точность}| + 1,15 \sqrt{\sum_{i=1}^N (\text{изменение из-за влияния параметров сети})^2}$$

где  $N$  - количество влияющих параметров.

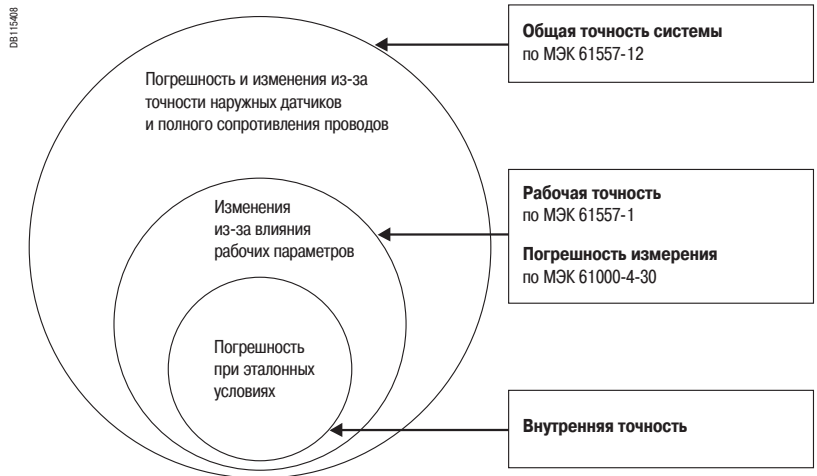
- общая точность прибора, учитывающая все факторы, влияющие на общую погрешность измерения (погрешность и изменения точности внешних датчиков, изменение полного сопротивления кабеля, который соединяет датчики устройства и т.д.).

Формула для расчета общей точности отличается согласно типу PMD:

- для PMD DD общая точность = рабочая точность;
- для PMD SD, DS или SS:

$$\text{Общая точность системы} = 1,15 \sqrt{(\text{PMD рабочая точность})^2 + \sum_{i=1}^N (\text{датчик} + \text{погрешность проводки})^2}$$

где  $N=1$ , если есть один наружный датчик (тока или напряжения), для PMD SD или PMD DS,  
 $N=2$ , если представлены два датчика (тока и напряжения), для PMD DD.



# Стандарт МЭК 61557-12

Следовательно, выбор наружных датчиков (при наличии) должен осуществляться аккуратно, чтобы достичь конкретного класса общих параметров системы.

## ■ Для PMD SS:

Класс эксплуатационных показателей PMD без наружных датчиков	Рекомендованный класс датчиков для связи с PMD	Предполагаемый класс эксплуатационных показателей для PMD Sx или PMD xS, включая их наружные датчики	Максимально возможный класс датчиков для связи с PMD <sup>(1)</sup>
0,1	0,1 или менее	0,2	0,2
0,2	0,2 или менее	0,5	0,5
0,5	0,5 или менее	1	1
1	1 или менее	2	2
2	2 или менее	5	5
5	5 или менее	10	

*(1) Если невозможно использовать рекомендованный класс датчиков, использование максимально возможного класса датчиков приводит к потере эксплуатационных характеристик.*

## ■ Для PMD SD или DS:

Класс эксплуатационных показателей PMD без наружных датчиков	Рекомендованный класс датчиков для связи с PMD	Предполагаемый класс эксплуатационных показателей для PMD Sx или PMD xS, включая их наружные датчики	Максимально возможный класс датчиков для связи с PMD <sup>(1)</sup>
0,1	0,1 или менее	0,2	0,2
0,2	0,2 или менее	0,5	0,5
0,5	0,5 или менее	1	1
1	1 или менее	2	2
2	2 или менее	5	5
5	5 или менее	10	

*(1) Если невозможно использовать рекомендованный класс датчиков, использование максимально возможного класса датчиков приводит к потере эксплуатационных характеристик.*

## 4.4. Сочетание наружных датчиков с PMD

Все полные PMD состоят из блока обработки и датчиков, которые могут быть либо наружными, либо внутренними по отношению к устройству. Общий класс эксплуатационных показателей системы зависит от точности PMD, также от класса эксплуатационных показателей датчиков согласно формуле на странице 27. Однако можно заметить, что этот общий класс эксплуатационных показателей системы действителен только для диапазона значений, для которых датчики имеют погрешность, гарантированную их классом эксплуатационных показателей, очень часто намного меньше, чем диапазон точности PMD DD. Например, датчики тока согласно стандарту МЭК 60044-1 обладают классом эксплуатационных показателей в диапазоне меньшем, чем PMD DD в том же классе.

Особенно осторожно необходимо относиться к измерениям мощности и энергии из-за погрешности в фазе датчика: например, погрешность 30° градуса на фазе вызывает ошибку более 1,5 % на измерении активной фазы при коэффициенте мощности = 0,5. По этой причине по стандарту рекомендуется использовать датчики хорошего качества (класс 0.2 S или 0.5 S), чтобы провести допустимое измерение мощности и энергии.

## 4.5. Классы эксплуатационных показателей

Стандарты определяют значения классов эксплуатационных показателей, к которым должны относиться все РМД, чтобы измерять разные физические значения:

0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	10	20
------	------	-----	-----	-----	---	-----	---	-----	---	---	----	----

Все промежуточные значения функционирования должны быть заявлены как самые близкие высокие значения. Поэтому РМД с общими эксплуатационными характеристиками 0,03 будут обладать классом эксплуатационных показателей 0,05, согласно стандарту МЭК 61557-12.

## 4.6. Основной ток, номинальный ток и максимальный ток

Все измерения проводятся относительно диапазонов тока, в которых они применяются. Два решающих значения для данного диапазона:

- эталонный ток, который определяется по разному согласно типу РМД:
- $I_b$  или основной ток для РМД типа Dx (DS или DD);
- $I_n$  или номинальный ток для РМД типа Sx (SD или SS).
- максимальный ток  $I_{\text{макс}}$ , который определяет верхнюю границу тока, для которой проводится измерение соответствующего значения.

Например, измерение активной мощности для установки, коэффициент мощности которой равен 1, для класса функционирования 1, должны измеряться:

- с точностью 1 % для тока, изменяющегося на 10 % от  $I_b$  до максимального для РМД Dx;
- с точностью 1 % для тока, изменяющегося на 5 % от  $I_n$  до максимального для РМД Sx.

## 4.7. Эталонные условия и номинальные условия

Измерения, определенные в стандарте МЭК 61557-12, действительны, только если конкретные эталонные условия соответствуют внутренним номинальным рабочим условиям.

Таблица основных эталонных условий:

Условия	Эталонные условия
Рабочая температура	23 ± 2 °C или как указано изготовителем
Относительная влажность	40 - 60 %
Напряжение оперативного постоянного тока	Номинальное напряжение питания ± 1 %
Фазы	Доступны 3 фазы <sup>(1)</sup>
Несимметрия напряжений	≤ 0,1 % <sup>(1)</sup>
Внешнее постоянное магнитное поле	≤ 40 А/м пост. тока ≤ 3 А/м пер. тока при 50/60 Гц
Составляющая постоянного тока по напряжению и току	Нет
Форма волны	Синусоидальная
Частота	Номинальная частота (50/60 Гц) ± 0,2 %

<sup>(1)</sup> Требуется только при трехфазных системах.

# Стандарт МЭК 61557-12

Стандарт определяет условия трех классов номинальной температуры в зависимости от диапазона температуры, при котором работает устройство, K55, K70 и Kx:

	K55 класс температуры PMD	K70 класс температуры PMD	Kx <sup>(2)</sup> класс температуры PMD
Номинальный рабочий диапазон (с указанной погрешностью)	От -5 до +55 °C	От -25 до +70 °C	Более +70 °C и/или ниже -25 °C <sup>(1)</sup>
Диапазон ограничений работы (нет отказа аппаратуры)	От -5 до +55 °C	От -25 до +70 °C	Более +70 °C и/или ниже -25 °C <sup>(1)</sup>
Диапазон ограничений для хранения и отгрузки	От -25 до +70 °C	От -40 до +80 °C	По спецификации изготовителя <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Пределы должны быть определены изготовителем согласно применению.

<sup>(2)</sup> Kx означает увеличенные условия.

Стандарт также определяет два номинальных рабочих условия в понятиях влажности и высоты, стандартные условия и увеличенные условия:

	Стандартные условия	Увеличенные условия
Номинальный рабочий диапазон (с указанной погрешностью)	От 0 до 75 % HR <sup>(2)</sup>	От 0 до более 75 % HR <sup>(1)(2)</sup>
Диапазон предела работы для 30 дней/лет	От 0 до 90 % HR <sup>(2)</sup>	От 0 до более 90 % HR <sup>(1)(2)</sup>
Диапазон предела для хранения и погрузки	От 0 до 90 % HR <sup>(2)</sup>	От 0 до более 90 % HR <sup>(1)(2)</sup>
Высота	0 - 2000 м	От 0 до более 2000 м <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Пределы должны быть определены изготовителем согласно применению.

<sup>(2)</sup> Значения относительной влажности указаны без конденсации.

Для отклонений относительно данных эталонных условий, но все еще внутри номинальных диапазонов, стандарт допускает расширенные диапазоны точности.

## 4.8. Непрерывное измерение или нулевой период нечувствительности

Стандарт устанавливает, что конкретные измерения (главным образом мощности и энергии) проводятся непрерывно, другими словами, учитываются все замеры. Для значений, для которых эта технология является обязательной, нет предположений относительно стабильности измеряемого сигнала. Для других значений, для которых это правило не является обязательным, сигнал считается устойчивым в периоды между двумя последовательными измерениями.

## 4.9. Точность наиболее существенных физических величин

### Активная мощность и энергия

Указанный диапазон измерений		Коэффициент мощности	Пределы внутренней погрешности для PMD функции эксплуатационных показателей класса C		Единицы
Значение тока для PMD Dx прямого подключения	Значение тока для PMD Sx, подключаемых через датчик		Для C < 1	Для C ≥ 1	
2 % I <sub>b</sub> ≤ I < 10 % I <sub>b</sub>	1 % I <sub>n</sub> ≤ I < 5 % I <sub>n</sub>	1	±2,0 x C	Нет требования	%
5 % I <sub>b</sub> ≤ I < 10 % I <sub>b</sub>	2 % I <sub>n</sub> ≤ I < 5 % I <sub>n</sub>	1	Нет требования	±(1,0 x C + 0,5)	%
10 % I <sub>b</sub> ≤ I ≤ I <sub>макс</sub>	5 % I <sub>n</sub> ≤ I ≤ I <sub>макс</sub>	1	±1,0 x C	±1,0 x C	%



#### Ток фазы

Указанный диапазон измерений		Пределы внутренней погрешности для PMD функции эксплуатационных показателей класса С <sup>(1)(2)</sup>	Единица
Значение тока для PMD Dx прямого подключения	Значение тока для PMD Sx, подключаемых через датчик		
20 % $I_b \leq I \leq I_{макс}$ .	10 % $I_n \leq I \leq I_{макс}$ .	$\pm 1,0 \times C$	%

Допустимые классы эксплуатационных показателей С: 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 2.

#### Ток THD

Указанный диапазон измерений	Пределы внутренней погрешности для PMD функции эксплуатационных показателей класса С	Единица
От 0 до 100 %	$\pm 0,3 \times C$ <sup>(3)</sup>	Точка с
От 100 до 200 %	$\pm 0,3 \times C \times THD / 100$ <sup>(4)</sup>	Точка с

<sup>(3)</sup>  $0,3 \times C$  это абсолютная погрешность. Например, при 10 % THD, если  $C = 1$ , измеренное значение может находиться от 9,7 до 10,3.

<sup>(4)</sup> THD это измеренное значение тока THD, выраженное в %.

Допустимые классы эксплуатационных показателей С: 1 - 2 - 5.

При измерении THD необходимо обращать особое внимание на измерительные устройства:  $0,3 \times C$ . Это абсолютная погрешность. Например, для THD 20 %, если класс эксплуатационных показателей 1, тогда измеренное значение может быть от 19,7 % до 20,3 %.

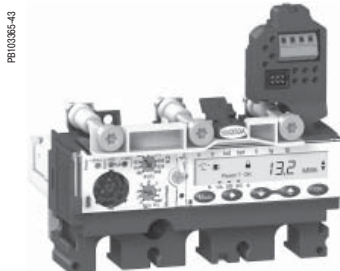
Compact NSX - это единственный автоматический выключатель в литом корпусе (MCCB) со встроенной функцией, обеспечивающей измерение тока класса 1. Функции измерения, защиты и связи, реализованные в Compact NSX, сравнимы с функциями аппарата Masterpact.

## Решения Schneider Electric

### 5.1. Конструктивные особенности Compact NSX

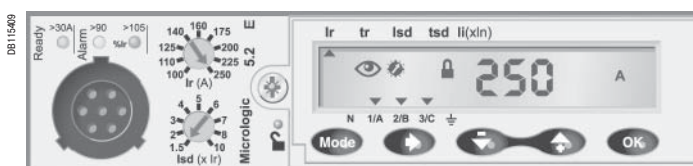
Кроме выполнения защитных функций автоматический выключатель Compact NSX обеспечивает большой диапазон измерений и сигнализации. Эти функциональные возможности реализованы в двух новых типах расцепителей Micrologic.

- Micrologic типа А: предназначен для измерения тока;
- Micrologic типа Е: предназначен для точного измерения различных электрических параметров.



		Micrologic	
		A	E
<b>Отображение уставок защиты</b>			
Уставки (А) и задержки срабатывания	Могут отображаться все уставки	■	■
<b>Измерения</b>			
<b>Мгновенные действующие значения</b>			
Ток (А)	Ток фаз и нейтрали	■	■
	Средний фазный ток	■	■
	Ток наиболее нагруженной фазы	■	■
	Замыкание на землю (Micrologic 6)	■	■
	Несимметрия токов в фазах	-	■
Напряжение (V)	Линейное напряжение	-	■
	Фазное напряжение	-	■
	Среднее линейное напряжение	-	■
	Среднее фазное напряжение	-	■
	Небаланс напряжений	-	■
	Порядок чередования фаз	-	■
Частота (Гц)	Сеть электропитания	-	■
Мощность	Активная (кВт)	-	■
	Реактивная (кВАр)	-	■
	Полная (кВА)	-	■
	Коэффициент мощности и $\cos \varphi$	-	■

Compact NSX является единственным автоматическим выключателем в литом корпусе (MCCB) со встроенными функциями измерения мощности. Это позволяет Compact NSX обеспечивать функции как защиты, так и измерения на уровне, соответствующем стандарту МЭК 61557-12.



08115410



Щитовой индикатор FDM121

Вместе с тем, Compact NSX обеспечивает разные вспомогательные функции:



**Персонализируемая аварийно-предупредительная сигнализация** с указанием времени.

Пользователь может задать с компьютера до 12 аварийно-предупредительных сигналов. Они могут считываться с щитового индикатора FDM121 или с экрана компьютера.



**Хронологические протоколы и журналы событий**

Хронологические протоколы отключений, аварийно-предупредительных сигналов и других событий всегда доступны через расцепитель Micrologic. Указанная информация хранится в энергонезависимой памяти, которая сохраняет данные даже при потере питания.

Данные могут быть выведены на щитовой индикатор FDM121 или через систему передачи данных на компьютер.



**Индикаторы техобслуживания**

Несколько индикаторов используются для сервисных целей. Они отображаются на щитовом индикаторе FDM121.

Функции помощи в эксплуатации Micrologic 5 / 6		Тип	
		A	E
<b>Помощь в эксплуатации</b>			
<b>Персонализируемые аварийно-предупредительные сигналы</b>			
Настройки	До 10 сигналов, назначаемых на любые измерения, доступные на А или Е Опережение/отставание по фазе, четыре квадранта, порядок чередования фаз, выбор приоритета индикации	■	■
Индикация	Сигналы и отключения	■	■
Дистанционная сигнализация	Активация двух выделенных контактов модуля SDx	■	■
<b>Хронологические протоколы с указанием даты и времени</b>			
Отключения (17 последних)	Причина отключения (с указанием времени в мс)	Ir, lsd, li (Micrologic 5, 6) lg (Micrologic 6)	■ ■
Аварийно-предупредительные сигналы (10 последних)			■
Эксплуатационные события (10 последних)	Типы событий	Изменение настройки защиты переключателем Снятие блокировки клавиатуры Тестирование с клавиатуры Тестирование внешним устройством Установка времени (дата и время) Сброс максимальных/минимальных значений и счётчика энергии	- - - - - ■
Указание даты и времени	Представление	Дата, время, текст, состояние	■
<b>Таблицы событий с указанием даты и времени</b>			
Настройки защит	Изменение настройки (индикация значения) Указание даты и времени Предыдущее значение	lr tr lsd tsd li lg tg	■ ■ ■
Максимальные/минимальные значения	Контролируемые величины Указание даты и времени для каждой величины Текущее макс./мин. значение	I1 I2 I3 IN I1 I2 I3 IN U12 U23 U31 f Дата и время записи макс./мин. значения Макс./мин. значение величины	■ - ■ ■
<b>Индикаторы техобслуживания</b>			
Счетчик	Механические коммутации <sup>(1)</sup> Электрические коммутации <sup>(1)</sup> Отключения Аварийно-предупредительные сигналы Отработанные часы	Возможность комбинации с аварийно-предупредительным сигналом Возможность комбинации с аварийно-предупредительным сигналом Один на тип отключения Один на каждый тип аварийно-предупредительного сигнала Суммарная продолжительность работы	■ ■ ■ ■ ■
Индикатор	Износ контактов	%	■
Профиль	Часы работы с различными уровнями нагрузки	% часов работы в 4 диапазонах тока: 0-49 % In, 50-79 % In, 80 - 89 % In ≥ 90 % In	■

# Решения Schneider Electric

Compact NSX предоставляет данные в режиме реального времени:

- постоянное отображение действующих значений параметров для наиболее нагруженной фазы. Это дает возможность пользователю получить оперативную информацию о существующих нагрузках в сети;
- запоминание значения тока, вызвавшего отключение. Ценная информация об отключении (например, причина срабатывания расцепителя: короткое замыкание или перегрузка) может быть затем передана пользователем.

Compact NSX обеспечивает одинаковую точность измерения независимо от частоты сети (50 или 60 Гц), при этом дополнительные настройки не нужны – расцепитель Micrologic самостоятельно определяет частоту сети и учитывает ее в расчетах. Это достигается при помощи нового, специально разработанного метода расчета, его использование упрощает пользователю монтаж и эксплуатацию аппарата.

Compact NSX также подсчитывает значения потребляемой мощности с использованием постоянного или скользящего временного интервала длительностью от 5 до 60 мин с шагом 1 мин. Таким образом, можно определить среднее значение потребляемой мощности за определенный период времени T:

$$\text{Demand } (P_{total}) = \frac{1}{T} \int_T P_{total}(t) \times dt$$

На основе полученных данных при помощи простой программы можно построить диаграммы тенденций энергопотребления и составить прогнозы. Их можно использовать для ограничения или повторного подключения нагрузки с целью приведения энергопотребления в соответствие с уровнем заявленной мощности.

Каждое измерение мгновенных значений может сочетаться с учётом максимальных/минимальных значений. Максимальные значения наиболее нагруженной фазы, потребляемого тока и потребляемой мощности могут сбрасываться с клавиатуры расцепителя, с щитового индикатора FDM121 и через сеть передачи данных.

Кроме того, Compact NSX определяет показатели качества электроэнергии путем измерения значений THD тока и напряжения (о важности измерений значений THD см. главу 3.1.5).

## Измерения, выполняемые расцепителем Micrologic

Для любого автоматического выключателя со встроенной функцией измерения необходимо одновременно выполнить два требования:

- обеспечить необходимую мощность для питания расцепителя, выполняющего функцию защиты;
- выполнить точное измерение.

Чтобы выполнить эти два требования Compact NSX использует трансформатор тока нового поколения. Он состоит из:

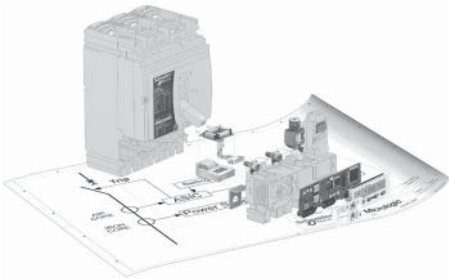
- воздушного трансформатора тока (тор Роговского), предназначенного для точного измерения в широком диапазоне;
- обычного трансформатора тока с железным сердечником, предназначенного для питания расцепителя.

Эти новые трансформаторы тока используются в каждом новом расцепителе Micrologic, гарантируя, таким образом, одинаковую методику измерения для всех расцепителей данного типа.

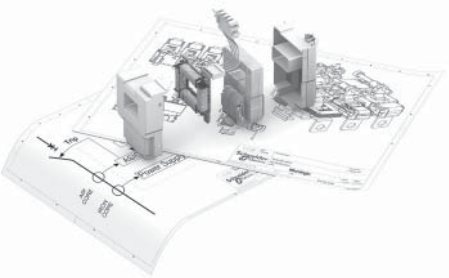
В то же время необходимо учитывать один аспект: функция измерения не должна снижать надежность защиты и наоборот. Чтобы убедиться в том, что две указанные функции хорошо разделены, необходимо проанализировать несколько факторов:

- вопросы электромагнитной совместимости: электромагнитное поле, создаваемое одним трансформатором, не оказывает воздействие на другой;
- вопросы настройки программ: в электронном расцепителе функции защиты и измерения должны четко разделяться.

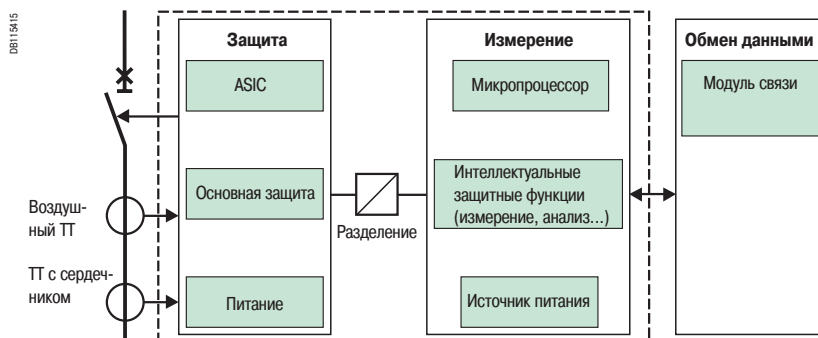
DB115412



DB115414

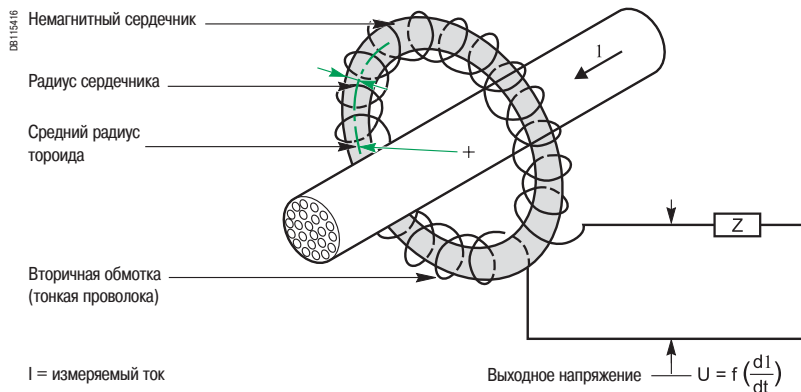


В расцепителе Micrologic эти проблемы успешно решены, так как в блок обработки измерений встроен микропроцессор, который отделен от блока защиты. Блок защиты включает интегральную микросхему ASIC. Эта схема имеет очень высокий уровень надежности, так как она не регулируется и не чувствительна к окружающей среде.



### Тор Роговского

Роговский разработал данный датчик в 1912 году. Он не содержит ферромагнитных материалов, что обеспечивает оптимальную линейную зависимость в широком токовом диапазоне, на которую не влияют различные внешние воздействия.



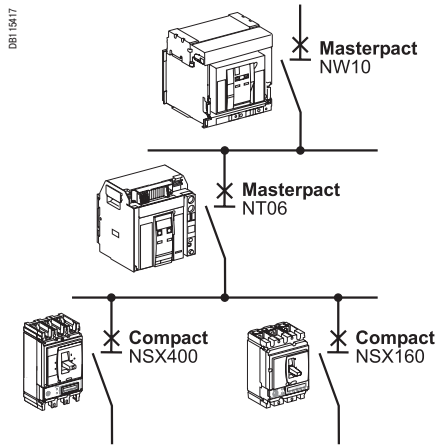
Схематическое изображение тора Роговского

Выходной сигнал тора Роговского пропорционален производной тока.

## 5.2. Совместимость

Измерительные устройства, встроенные в расцепители силовых выключателей Schneider Electric на низкое напряжение, хорошо совместимы между собой по функциональным возможностям, способности интеграции в сеть передачи данных и точности.

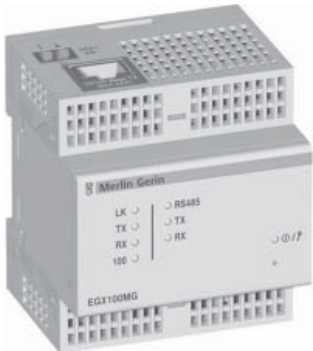
С точки зрения функциональных возможностей, новые расцепители Micrologic обеспечивают функции измерения для автоматических выключателей в литом корпусе (MCCB), которые прежде существовали только для автоматических выключателей Masterpact на большие токи (ACB). Поэтому теперь можно использовать одну и ту же технику измерения в диапазоне от 100 до 6300 А.



С точки зрения обмена данными, есть четкая согласованность между результатами измерений, переданных Masterpact NT/NW и Compact NSX. Этот обмен данными гарантирует, что те же самые измерения в тех же регистрах теми же устройствами могут быть переданы по протоколу Modbus через шлюз в Ethernet (EGX100 или MPS100).

Измерения выполняются с одинаковой точностью как аппаратами Masterpact NT/NW, так и Compact NSX. При этом результаты измерений доступны и могут быть проанализированы устройствами обработки данных.

DB11587



EGX100

DB11586



MPS100

---

## 5.3. Точность измерений Compact NSX

Измерения, проводимые Compact NSX, соответствуют требованиям стандарта МЭК 61557-12. В соответствии с определением, данным в этом стандарте, Compact NSX - это устройство измерения и контроля (PMD) типа DD со встроенными датчиками напряжения и тока. Данное определение действительно для всей измерительной цепочки, включая датчики.

В соответствии с требованиями стандарта, для измерений при помощи Compact NSX наиболее важны три показателя:

■ **основной ток  $I_b$  равен номинальному току выключателя:**

- для Compact NSX160 на 40 А:  $I_b = 40$  А;
- для Compact NSX630 на 630 А:  $I_b = 630$  А;

■ **максимальный ток  $I_{\text{макс.}}$ , для которого измерения гарантируются с данной точностью, равен  $1,2 \times I_b$ :**

- для Compact NSX160 на 40 А:  $I_{\text{макс.}} = 48$  А;
- для Compact NSX630 на 630 А:  $I_{\text{макс.}} = 750$  А;

■ **точность измерений:**

□ **класс 1 для измерения тока:**

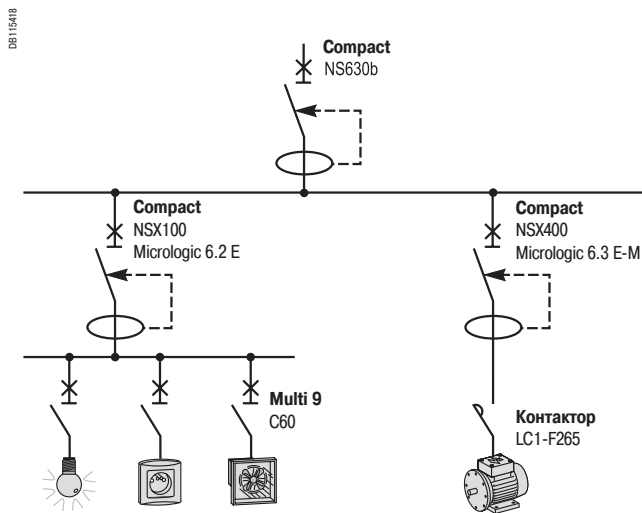
- для Compact NSX160 на 40 А фазный ток измеряется с точностью 1 % в диапазоне от 8 до 48 А;
- для Compact NSX630 на 630 А, фазный ток измеряется с точностью 1 % в диапазоне от 130 до 750 А;

□ **класс 2 для измерения активной энергии:**

- для Compact NSX160 на 40 А активная энергия измеряется с точностью 2,5 % в диапазоне от 2 до 4 А и с точностью 2 % в диапазоне от 4 до 48 А;
- для Compact NSX630 на 630 А активная энергия измеряется с точностью 2,5 % в диапазоне от 31,5 до 63 А и с точностью 2 % в диапазоне от 63 до 750 А.

## 5.4. Сочетание измерения и защиты: пример реализации

Ниже представлен типичный пример части электроустановки внутри распределительного щита, когда реализованы функции как измерения, так и защиты, благодаря их комбинации в Compact NSX:



Питающий фидер подает линейное напряжение 380 В на разные нагрузки. Двигатель 160 кВт защищен автоматическим выключателем.

Между Compact NSX400 и контактором LC1-F265 обеспечивается координация типа 2 по МЭК 60947-1. Автоматический выключатель Compact NSX400 находится ниже главного выключателя Compact NS630b, установленного на вводе, между ними обеспечивается полная селективность по МЭК 60947-2, приложение А.

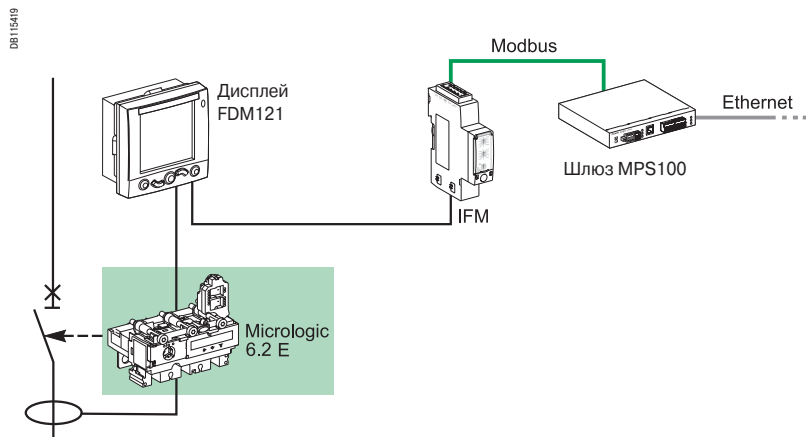
Ниже главного вводного выключателя расположен другой фидер, защищенный Compact NSX100, с которым обеспечена полная селективность. Далее, ниже по цепи, обеспечивается полная селективность Compact NSX100 с несколькими модульными выключателями C60, которые защищают различные нагрузки: розетки, компьютерные цепи и цепь освещения небольшого помещения.

Compact NSX100 оборудован расцепителем Micrologic 6.2 E, тогда как Compact NSX400 оснащен расцепителем Micrologic 6.3 E-M. Данные аппараты хорошо защищают распределительную сеть и цепь питания двигателя, соответственно.

В то же время, помимо функции защиты, расцепитель Micrologic измеряет наиболее важные электрические параметры посредством выключателей Compact и может отображать измеренные параметры локально на ЖК-мониторе или на щитовом индикаторе FDM121.



Затем эти данные могут быть переданы по протоколу Modbus через интерфейс Modbus (IFM), имеющийся в каждом Compact NSX, и далее через шлюз EGX100 или MPS100 в Ethernet. Затем данные могут быть обработаны и проанализированы системой SCADA:



Таким образом, реализована комбинация функций измерения и защиты, а также обработка результатов, внутри одного аппарата Compact NSX с расцепителем Micrologic. Отсутствие проводов между устройствами, выполняющими разные функции (защита и измерение), гарантирует невозможность ошибок соединения. Кроме того, трансформаторы тока и напряжения хорошо согласованы как с расцепителем, так и с автоматическим выключателем, так как они встроены в один и тот же аппарат.

В то же время, чем меньше соединений, тем меньше затрат. Лучшее решение достигается через встраивание модулей в один аппарат, при этом нет необходимости в дорогих дополнительных соединениях.

Более того, сочетание защиты и измерения предоставляют возможность пользователю быстро модернизировать электроустановку. Действительно, Compact NSX100 с расцепителем Micrologic 2.2 (не производящим измерения) может за короткое время быть преобразован в Compact NSX100 с расцепителем Micrologic 6.2A или E (производящим измерения). Благодаря конструкции Compact NSX смена расцепителя производится очень легко.

## Для заметок

---



# Schneider Electric в странах СНГ

## Азербайджан

### Баку

AZ 1008, ул. Гарабах, 22  
Тел.: (99412) 496 93 39  
Факс: (99412) 496 22 97

## Беларусь

### Минск

220006, ул. Белорусская, 15, офис 9  
Тел.: (37517) 226 06 74, 227 60 34, 227 60 72

## Казахстан

### Алматы

050050, ул. Табачнозаводская, 20  
Швейцарский центр  
Тел.: (727) 244 15 05 (многоканальный)  
Факс: (727) 244 15 06, 244 15 07

### Астана

010000, ул. Бейбитшилик, 18  
Бизнес-центр «Бейбитшилик 2002», офис 402  
Тел.: (3172) 91 06 69  
Факс: (3172) 91 06 70

### Атырау

060002, ул. Абая, 2 А  
Бизнес-центр «Сугас-С», офис 407  
Тел.: (3122) 32 31 91, 32 66 70  
Факс: (3122) 32 37 54

## Россия

### Волгоград

400089, ул. Профсоюзная, 15, офис 12  
Тел.: (8442) 93 08 41

### Воронеж

394026, пр-т Труда, 65, офис 267  
Тел.: (4732) 39 06 00  
Тел./факс: (4732) 39 06 01

### Екатеринбург

620219, ул. Первомайская, 104, офисы 311, 313  
Тел.: (343) 217 63 37  
Факс: (343) 217 63 38

### Иркутск

664047, ул. 1-я Советская, 3 Б, офис 312  
Тел./факс: (3952) 29 00 07, 29 20 43

### Казань

420107, ул. Спартаковская, 6, этаж 7  
Тел./факс: (843) 526 55 84 / 85 / 86 / 87 / 88

### Калининград

236040, Гвардейский пр., 15  
Тел.: (4012) 53 59 53  
Факс: (4012) 57 60 79

### Краснодар

350020, ул. Коммунаров, 268 В, офисы 316, 314  
Тел.: (861) 210 06 38, 210 14 45  
Факс: (861) 210 06 02

### Красноярск

660021, ул. Горького, 3 А, офис 302  
Тел.: (3912) 56 80 95  
Факс: (3912) 56 80 96

### Москва

129281, ул. Енисейская, 37  
Тел.: (495) 797 40 00  
Факс: (495) 797 40 02

### Мурманск

183038, ул. Воровского, 5/23  
Конгресс-отель «Меридиан», офис 739  
Тел.: (8152) 28 86 90  
Факс: (8152) 28 87 30

### Нижний Новгород

603000, пер. Холодный, 10 А, этаж 8  
Тел./факс: (831) 278 97 25, 278 97 26

### Новосибирск

630005, Красный пр-т, 86, офис 501  
Тел.: (383) 358 54 21  
Тел./факс: (383) 227 62 53

### Пермь

614010, Комсомольский пр-т, 98, офис 11  
Тел./факс: (342) 290 26 11 / 13 / 15

### Ростов-на-Дону

344002, ул. Социалистическая, 74, литера А  
Тел.: (863) 200 17 22, 200 17 23  
Факс: (863) 200 17 24

### Самара

443096, ул. Коммунистическая, 27  
Тел./факс: (846) 266 41 41, 266 41 11

### Санкт-Петербург

198103, ул. Циолковского, 9, корпус 2 А  
Тел.: (812) 320 64 64  
Факс: (812) 320 64 63

### Сочи

354008, ул. Виноградная, 20 А, офис 54  
Тел.: (8622) 96 06 01, 96 06 02  
Факс: (8622) 96 06 02

### Уфа

450098, пр-т Октября, 132/3 (бизнес-центр КПД)  
Блок-секция № 3, этаж 9  
Тел.: (347) 279 98 29  
Факс: (347) 279 98 30

### Хабаровск

680000, ул. Муравьева-Амурского, 23, этаж 4  
Тел.: (4212) 30 64 70  
Факс: (4212) 30 46 66

## Туркменистан

### Ашгабат

744017, Мир 2/1, ул. Ю. Эмре, «Э.М.Б.Ц.»  
Тел.: (99312) 45 49 40  
Факс: (99312) 45 49 56

## Узбекистан

### Ташкент

100000, пр-т Мустакиллик, 75  
Тел.: (99871) 140 11 33  
Факс: (99871) 140 11 99

## Украина

### Днепропетровск

49000, ул. Глинки, 17, этаж 4  
Тел.: (380567) 90 08 88  
Факс: (380567) 90 09 99

### Донецк

83087, ул. Инженерная, 1 В  
Тел.: (38062) 385 48 45, 385 48 65  
Факс: (38062) 385 49 23

### Киев

03057, ул. Смоленская, 31-33, кор. 29  
Тел.: (38044) 538 14 70  
Факс: (38044) 538 14 71

### Львов

79015, ул. Тургенева, 72, кор. 1  
Тел./факс: (38032) 298 85 85

### Николаев

54030, ул. Никольская, 25  
Бизнес-центр «Александровский», офис 5  
Тел.: (380512) 58 24 67  
Факс: (380512) 58 24 68

### Одесса

65079, ул. Куликово поле, 1, офис 213  
Тел.: (38048) 728 65 55  
Факс: (38048) 728 65 35

### Симферополь

95013, ул. Севастопольская, 43/2, офис 11  
Тел.: (380652) 44 38 26  
Факс: (380652) 54 81 14

### Харьков

61070, ул. Академика Проскуры, 1  
Бизнес-центр «Telesens», офис 569  
Тел.: (38057) 719 07 79  
Факс: (38057) 719 07 49

## Центр поддержки клиентов

Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)  
Тел.: (495) 797 32 32, факс: (495) 797 40 04  
ru.csc@ru.schneider-electric.com  
www.schneider-electric.ru