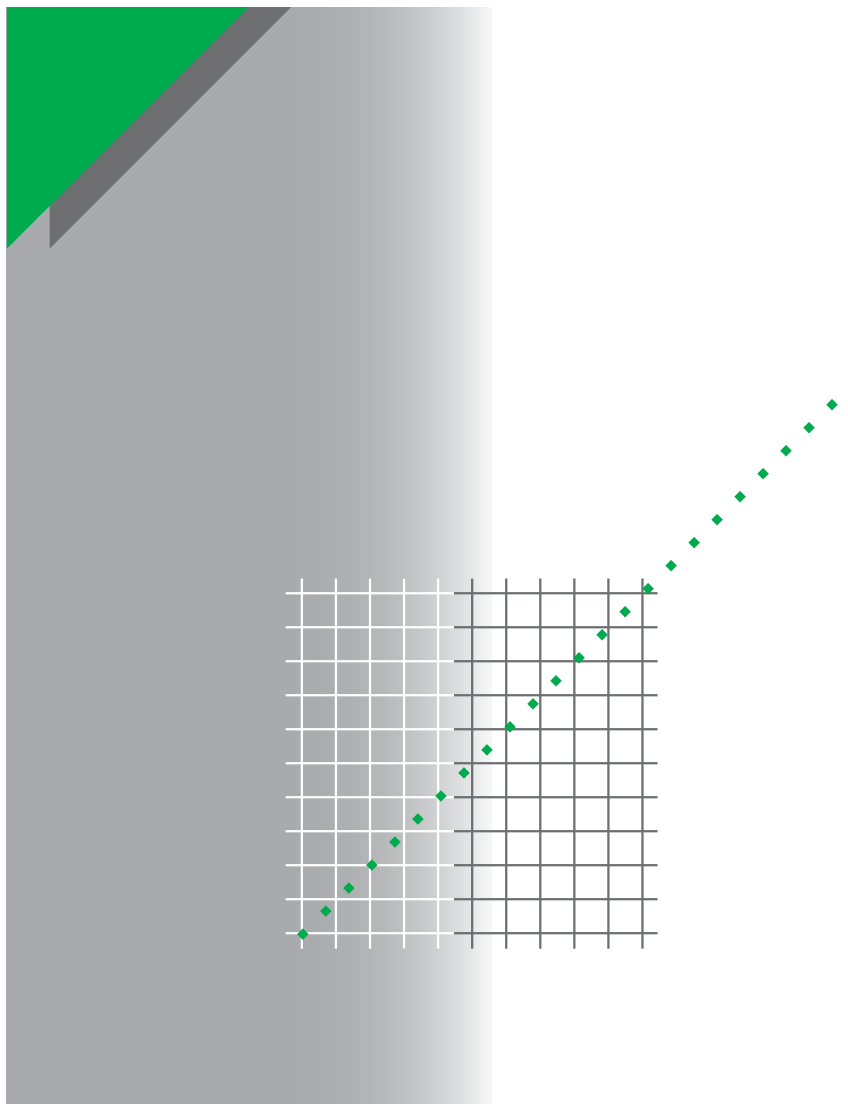


## Выпуск № 19

### Низковольтные устройства защиты и частотные регуляторы скорости



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

## Выпуск № 19

### Низковольтные устройства защиты и частотные регуляторы скорости



**Жак Шонек**

Инженер, выпускник Высшей Национальной Школы электротехники, электроники, информатики, гидравлики и телекоммуникаций и доктор технических наук университета Тулузы, он участвовал с 1980 по 1995 г. в проектировании регуляторов скорости марки «Telemecanique».

Затем он заведовал отделом фильтрации гармоник. В настоящее время он отвечает за электротехнические сети и приложения в бюро проектирования и прогнозов дирекции распределения электроэнергии Шнейдер Электрик.

---



**Ив Небон**

Поступив в «Merlin Gerin» в 1969 г., он работал в течение 14 лет в проектно бюро низкого напряжения и успешно продолжал свое обучение, получив последовательно несколько дипломов и достигнув звания инженера. Затем он занимал различные должности по профилю низкого напряжения.

С 1995 г. он занимается изучением рынка и развитием гаммы продукции для распределения низкого напряжения фирмы «Merlin Gerin» в составе Шнейдер Электрик.

---

## Принятые сокращения

---

КЗ - Короткое замыкание

МДС - Магнитодвижущая сила

МТЗ - Максимально - токовая защита

НН - Низкое напряжение

СЗС - Схема заземления сети

ТТНП - Трансформатор тока нулевой последовательности

УЗО - Устройство защитного отключения

УКИ - Устройство контроля изоляции

ШИМ - Широтно-импульсная модуляция

ЭДС - Электродвижущая сила

ЭМС - Электромагнитная совместимость

ЭП - Электроприемник

---

# Низковольтные устройства защиты и частотные регуляторы скорости

Темой данного выпуска технической коллекции является объяснение особенностей явлений, наблюдаемых в установках низкого напряжения (НН) во время перегрузки или замыкания в цепях регуляторов скорости. Различные меры должны быть предусмотрены для обеспечения защиты людей от поражения током, для защиты материальных ценностей, а также для обеспечения бесперебойности питания.

## Содержание

		Стр.
<b>1 Частотные регуляторы скорости для асинхронных электродвигателей</b>	1.1 Описание	<b>4</b>
	1.2 Необходимость соответствующей защиты	7
<b>2 Защиты от сверхтоков</b>	2.1 Защиты, встроенные в регулятор	<b>8</b>
	2.2 Защиты вне регулятора	9
<b>3 Защита от поражения током</b>	3.1 Опасности, связанные с повреждением изоляции	<b>11</b>
	3.2 Схемы заземления электрических сетей	12
	3.3 Использование УЗО в зависимости от СЗС	14
	3.4 Защита от замыканий на землю, встроенная в регуляторы	14
	3.5 Повреждения изоляции и частотные регуляторы скорости	15
<b>4 Защиты, которыми должны быть оснащены регуляторы</b>	(сводная таблица)	<b>19</b>
<b>5 Особенности</b>	5.1 Высокочастотные токи утечки	<b>20</b>
	5.2 Токи утечки в момент подачи напряжения	22
	5.3 Замыкание на выходе регулятора в схемах ТТ или TN	23
	5.4 Замыкание на выходе регулятора в схеме IT	25
	5.5 Ток замыкания, содержащий постоянную составляющую	26
<b>6 Рекомендации по выбору и монтажу</b>	6.1 Выбор УЗО	<b>28</b>
	6.2 Выбор УКИ	28
	6.3 Предотвращение неправильной работы	29
<b>Библиография</b>		<b>30</b>

# 1 Частотные регуляторы скорости для асинхронных электродвигателей

## 1.1 Описание

### Назначение

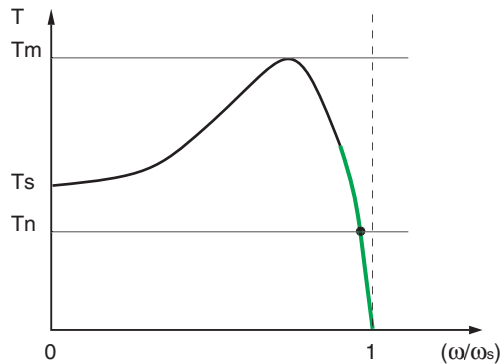
Назначение частотных регуляторов скорости состоит в питании трехфазных асинхронных электродвигателей (АД) таким образом, чтобы получить рабочие характеристики, радикально отличающиеся от обычных, получаемых при питании непосредственно от сети, где напряжение и частота неизменны. Таблица [рис. 1](#) показывает преимущества этих устройств.

### Принцип

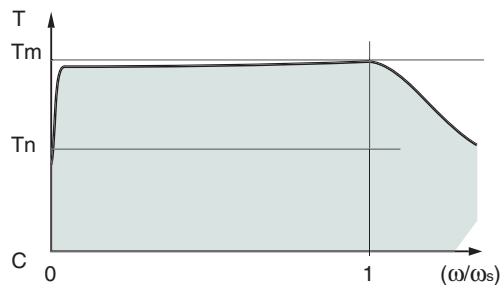
Он состоит в питании электродвигателя переменным напряжением с изменяющимися амплитудой и частотой, поддерживая отношение напряжение/частота на неизменном уровне с достаточной точностью. Генерирование этого переменного напряжения осуществляется с помощью силового электронного преобразователя, принципиальная схема которого приведена на [рис. 4](#).

Асинхронный двигатель	Асинхронный двигатель при традиционном использовании	Асинхронный двигатель с частотным регулятором скорости
Пусковой ток	Больше номинального: действующее значение - в 6-8 раз, амплитудное значение – в 15-20 раз	Ограничен в среднем примерно на уровне 1,5 от номинального тока
Пусковой момент $C_d$	Повышенный и неуправляемый, в 2-3 раза больше номинального момента $C_n$	Примерно в 1,5 раза выше номинального момента $C_n$ , управляется в течение всего периода разгона
Разгон	Резкий; время разгона определяется только характеристиками двигателя и приводимого механизма (тормозной момент, инерция)	Плавный, без рывков и управляемый (например, линейное нарастание скорости)
Скорость	Незначительно изменяется в зависимости от нагрузки (близка к синхронной скорости $N_s$ )	Может изменяться от нуля до величины, большей синхронной скорости $N_s$
Максимальный момент $C_m$	Повышенный, в 2-3 раза больше номинального $C_n$	Повышенный во всем диапазоне скоростей (примерно в 1,5 раза больше номинального момента)
Электрическое торможение	Относительно сложно, требуются защиты и специальная схема	Осуществляется просто
Изменение направления вращения	Просто, после остановки двигателя	Просто
Возможность потери устойчивости (опрокидывания)	Да, в случае перегрузки (нагрузочный момент $> C_m$ ), или в случае снижения напряжения	Нет
Механические характеристики (момент-скорость) работы двигателя	См. <a href="#">рис. 2</a>	См. <a href="#">рис. 3</a>

**Рис. 1** : сравнение рабочих характеристик, показывающее преимущества частотного регулирования скорости



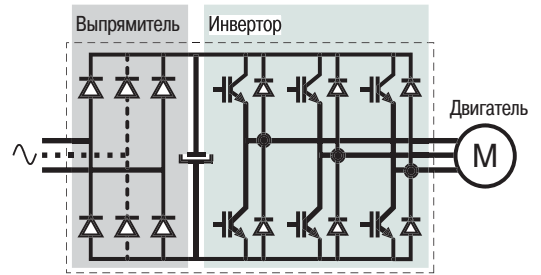
**Рис. 2** : механическая характеристика двигателя, питаемого от сети. Зона работы двигателя в плоскости «момент-скорость» ограничена зеленым отрезком кривой



**Рис. 3** : механическая характеристика двигателя, питаемого от преобразователя частоты. Зона работы двигателя в плоскости «момент-скорость» закрашена зеленым цветом

Преобразователь включает в себя:

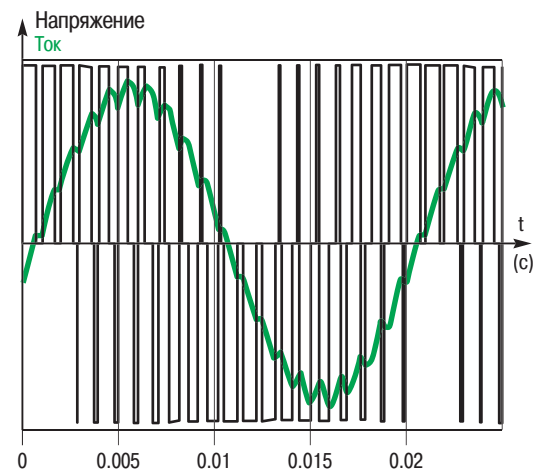
- одно или трехфазный мостовой выпрямитель с конденсатором на выходе, образующий источник постоянного напряжения;
- мостовой инвертор (обычно IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor), питаемый постоянным напряжением, методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) генерирует переменное напряжение с изменяемой амплитудой и частотой;
- модуль управления, подающий команды проводимости на инвертор в зависимости от сигналов, посылаемых оператором (пуск, направление вращения, заданная скорость...) и от результатов измерений электрических величин (напряжение сети, ток двигателя).



**Рис. 4** : принципиальная схема преобразователя частоты

Принцип ШИМ, используемый в мостовом инверторе заключается в подаче на обмотки двигателя серии импульсов напряжения с амплитудой, равной напряжению, получаемому от выпрямителя. Эти импульсы модулированы по ширине с целью создать напряжение переменного тока с изменяющейся амплитудой.

На рис. 5 в качестве примера представлены кривые междуфазного напряжения и тока в одной обмотке двигателя (в предположении соединения обмоток треугольником).



**Рис. 5** : напряжение на выходе ШИМ и ток в обмотке двигателя

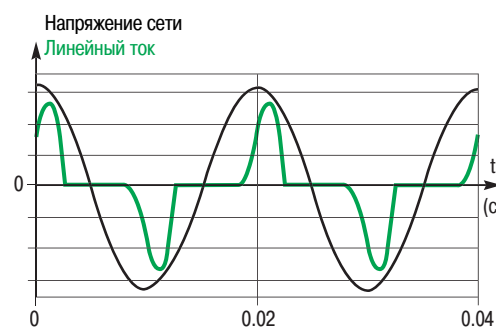
### Характеристики тока, потребляемого из сети частотным регулятором

■ Форма кривой  
 □ В случае трехфазного питания.  
 Мостовой выпрямитель, оснащенный фильтрующим конденсатором, потребляет из сети несинусоидальный ток, форма которого приведена на **рис. 6**, а его гармонический спектр – на **рис. 7**.  
 Коэффициент искажения синусоидальности кривой тока составляет обычно 40%.  
 Следует заметить, что такой коэффициент искажения получен в случае значительной индуктивности питающей линии, приводящей к потере напряжения 3-5%. В случае отсутствия этой индуктивности коэффициент искажения

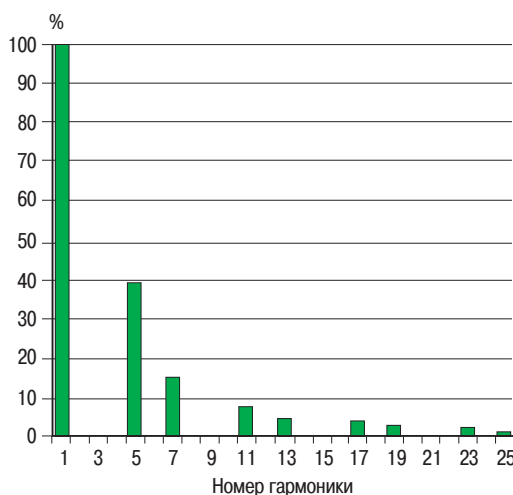
становится выше: он может достигать 80% при полном отсутствии индуктивности в регуляторе.  
 □ При однофазном питании.  
 Потребляемый ток представлен на **рис. 8**, а его спектр – на **рис. 9**.  
 Типичная величина коэффициента искажения синусоидальности кривой тока составляет 80%.  
 Следует также заметить, что такой коэффициент искажения получен в случае значительной индуктивности питающей линии, приводящей к потере напряжения 3-5%. В случае отсутствия этой индуктивности коэффициент искажения становится выше: он может превысить 100% при полном отсутствии индуктивности в регуляторе.



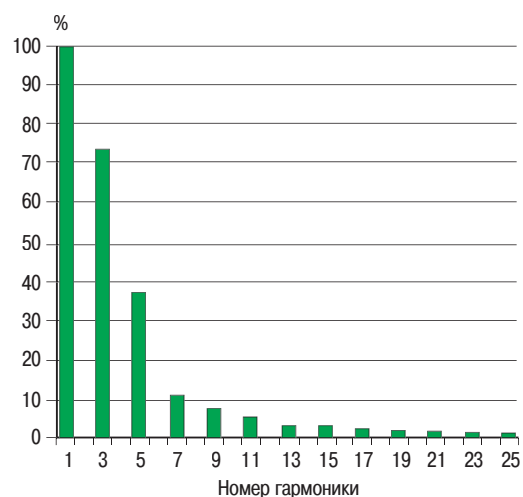
**Рис. 6** : потребляемый ток и фазное напряжение сети (трехфазное питание)



**Рис. 8** : потребляемый ток и фазное напряжение сети (однофазное питание)



**Рис. 7** : спектр потребляемого из сети тока (трехфазное питание)



**Рис. 9** : спектр потребляемого из сети тока (однофазное питание)



■ Изменение линейного тока в зависимости от режима работы двигателя  
Ток первой (основной) гармоники, потребляемый регулятором из сети, практически совпадает по фазе с напряжением. Следовательно, ток пропорционален активной мощности, потребляемой из сети. С точностью до КПД можно считать, что ток пропорционален механической мощности, выдаваемой двигателем. Механическая мощность равна произведению момента и скорости. На пониженной скорости механическая мощность мала. Отсюда следует, что ток, потребляемый регулятором из сети, когда двигатель работает на пониженной скорости, - невелик, даже если при этом двигатель развивает большой момент, потребляя при этом повышенный ток от регулятора.

### Нормативные документы

Два документа касаются особенно подробно проектирования и изготовления частотных регуляторов скорости:

- МЭК 61800-3 «Мощные электроприводы с регулируемой скоростью, - часть 3: Нормы электромагнитной совместимости»;
  - NF EN50178 «Силовая электроника».
- Соответствие этому стандарту дает право на маркировку «СЕ» на основании европейской директивы «низкое напряжение».
- Следует заметить, что в этом стандарте содержатся также указания по монтажу регуляторов.

## 1.2 Необходимость соответствующей защиты

Описанные выше характеристики, касающиеся как технологии (цепи силовой электроники), так и функционирования двигателя вместе с регулятором, показывают, что для успешной эксплуатации такой системы необходимо предусмотреть соответствующий набор защит.

Использование электронной технологии позволяет встроить в регулятор многие из этих защит, не повышая

значительно его стоимость. Очевидно, что эти защиты не заменяют защит, необходимых в голове каждой цепи, требуемых действующими правилами и рассматриваемых как «внешние» по отношению к регуляторам.

Используемые защиты и их работа описаны в следующей главе.

## 2 Защиты от сверхтоков

Срабатывание обычных защит (выключателей и предохранителей) происходит в двух случаях:

- чтобы защитить установку от негативных последствий короткого замыкания;
- чтобы избежать негативных последствий перегрузки цепи, например, током нагрузки превышающим

пропускную способность проводников (шин и кабелей), а также коммутационных аппаратов.

Технология регуляторов скорости позволяет с помощью электроники обеспечить некоторые из этих функций.

### 2.1 Защиты, встроенные в регулятор

#### Защита от перегрузки двигателя

Современные регуляторы обеспечивают защиту двигателя от перегрузок:

- путем ограничения действующего значения тока на уровне примерно 1,5 номинального тока;
- путем непрерывных расчетов величин  $I^2t$ , с учетом скорости (большинство двигателей имеют систему самовентиляции, при которой охлаждение при низкой скорости становится менее эффективным).

Заметим, что когда отходящая линия питает только один двигатель с его регулятором, то эта защита двигателя от перегрузки обеспечивает одновременно защиту от перегрузки всего комплекса аппаратов и проводок.

#### Защита от коротких замыканий в двигателе или в линии ниже регулятора

В случае междуфазного КЗ на выходе регулятора (на зажимах двигателя или где-то на линии между регулятором и двигателем), сверхток обнаруживается внутри регулятора, и блокирующая команда немедленно отправляется на инвертор. Ток КЗ прерывается через несколько микросекунд, что обеспечивает защиту регулятора. Этот кратковременный ток в основном поступает от конденсатора фильтра, присоединенного к выпрямителю, и поэтому он не протекает по линии сеть-регулятор.

#### Другие защиты, встроенные в регулятор

Регулятор располагает и другими функциями внутренней защиты от:

- перегрева его электронных компонентов, способного вызвать выход их из строя. Датчик, расположенный на радиаторе охлаждения вызывает отключение регулятора, если температура превышает определенный порог;

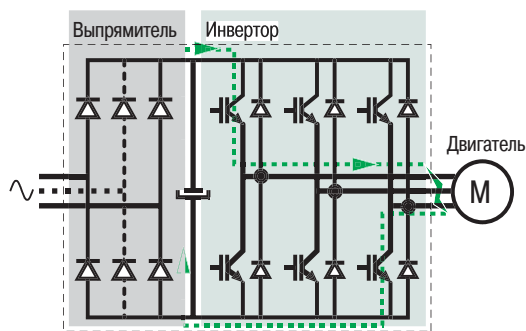


Рис. 10 : короткое замыкание ниже регулятора

- провалов напряжения сети: эта защита необходима для того, чтобы избежать любого нарушения работы системы управления и двигателя, а также появления опасного сверхтока в момент восстановления нормального напряжения сети;
- перенапряжений промышленной частоты, возникающих в сети: чтобы не допустить возможную порчу или разрушение электронных компонентов регулятора;
- обрыва одной фазы (для регуляторов, с трехфазным питанием): так как переход с трехфазного на однофазное питание вызывает увеличение потребляемого из сети тока.

#### Действие встроенных защит

В случае срабатывания, все защиты вызывают блокирование регулятора и остановку двигателя в режиме свободного выбега. Полное отключение питания осуществляется линейным контактором, получающим сигнал от реле, встроенного в регулятор.

## 2.2 Защиты вне регулятора

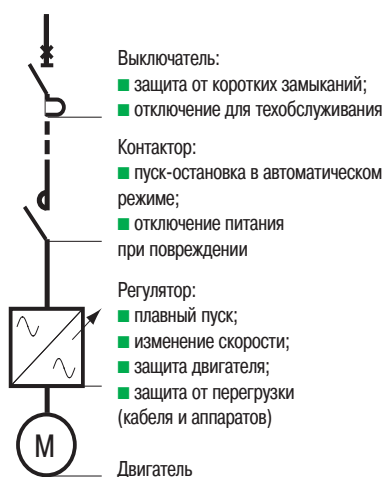
В дополнение к защитами, описанным выше, предусматриваются также внешние защиты от сверхтоков, которые должны срабатывать в случае повреждения внутри регулятора (например, разрушение выпрямителя): устройство защиты питающей линии обеспечивает отключение аварийного тока.

**Примечание:** хотя эта защита обычно не может обеспечить защиту компонентов регулятора, но ее автоматическое срабатывание ограничивает последствия аварии.

### Размещение оборудования

Все защиты предназначены для размещения в цепи, которая чаще всего выполняется по схеме, представленной на **рис. 11**:

- в голове цепи — индивидуальная защита от сверхтоков, часто дополненная контактором;
  - без коммутационного аппарата ниже регулятора.
- На этом рисунке указаны функции отдельных аппаратов (выключатель, контактор и регулятор).



**Рис. 11** : схема размещения защиты от сверхтоков

Этот комплект (выключатель, контактор и регулятор), предусмотренный конструкторами, называется «фидер-двигатель». С учетом защит, встроенных в регулятор, этот комплект обеспечивает естественным образом координацию типа 2 в случае короткого замыкания ниже регулятора.

«Координация типа 2» означает, что в случае короткого замыкания:

- никакой ущерб или нарушение регулировок не допускается;
- изоляция сохраняет свои свойства;
- фидер-двигатель должен быть способен функционировать после устранения короткого замыкания;
- возможность сваривания контактов контактора допускается, если они могут быть легко разделены. Если имеется вероятность короткого замыкания выше регулятора, то для обеспечения координации типа 2 необходимо обратиться к таблицам координации, составленным изготовителями защит, расположенных выше регулятора.

**Примечание:** при наличии регулятора, большой упускаемой ток в момент включения отсутствует, поэтому упрощаются требования к устройству защиты.

### Расчет тока для выбора выключателей и контакторов

Типоразмер аппарата определяется в зависимости от линейного тока, потребляемого регулятором.

Ток рассчитывается в зависимости от:

- номинальной мощности на валу двигателя;
- номинального напряжения питания;
- КПД двигателя и регулятора;
- допустимой длительной перегрузки  $1,1C_n$  при постоянном моменте и  $1,05C_n$  при переменном моменте;
- гармоник, так как ток имеет несинусоидальную форму. Действующее значение тока в зависимости от коэффициента искажения синусоидальности его кривой TND определяется по формуле:

$$I_{\text{rms}} = I_1 \sqrt{1 + \text{TND}^2}$$

Так, при TND = 40%,  $I_{\text{rms}} = 1,08 I_1$ , где  $I_1$  — ток основной (первой) гармоники.

Так как ток основной гармоники практически совпадает по фазе с напряжением, типичное значение номинального тока, потребляемого регулятором из сети (при постоянной нагрузке на валу) определяются по формуле:

$$I_{\text{rms}} = 1,08 I_1 \approx 1,08 \times 1,1 \frac{P_d}{\sqrt{3}U} \frac{1}{\eta_d} \frac{1}{\eta_{\text{рег}}}$$

где:

- $P_d$  — номинальная мощность двигателя,
- $U$  — номинальное линейное напряжение,
- $\eta_d$  — КПД двигателя,
- $\eta_{\text{рег}}$  — КПД регулятора.

■ Пример:

Мощность двигателя : 15 кВт

Напряжение сети : 400 В

$\eta_d : 0,95$

$\eta_{per} : 0,97,$

откуда  $I_{rms} = 27,9$  А.

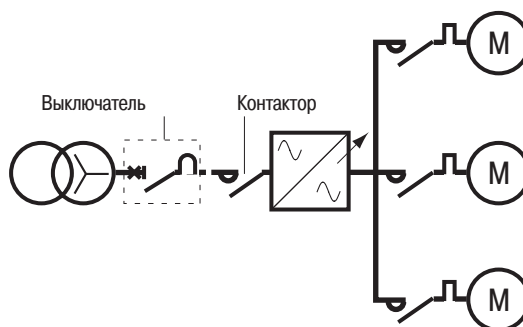
**Два особых случая**

■ Питание двигателей в параллель (см. рис. 12).

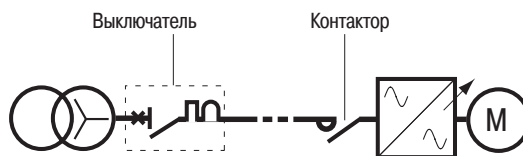
В этом случае защита от перегрузки, встроенная в регулятор, не может обеспечить защиту каждого двигателя. Действительно, один из двигателей может быть перегружен, но общий ток, потребляемый всей группой двигателей, может не превышать номинальный ток преобразователя. Поэтому каждый из двигателей должен иметь индивидуальную защиту с помощью теплового реле. Несмотря на это, рекомендуется оставлять в работе защиту от перегрузки, встроенную в регулятор, с целью обеспечить защиту питающего кабеля.

■ Защита от перегрузки, встроенная в регулятор, выведена из работы.

Для некоторых ЭП, требующих высокой степени бесперебойности питания, защита от перегрузки, встроенная в регулятор, может быть выведена из работы. В этом случае выключатель, установленный в голове присоединения «фидер-двигатель» должен обязательно иметь реле перегрузки для защиты кабелей и аппаратуры (см. рис. 13). При этом они выбираются с 20% запасом по пропускной способности.



**Рис. 12** : защита от перегрузки нескольких двигателей, питающихся от одного регулятора



**Рис. 13** : защита от перегрузки, встроенная в регулятор, выведена из работы

## 3 Защита от поражения током

### 3.1 Опасности, связанные с повреждением изоляции

Повреждение изоляции, независимо от причины возникновения, представляет опасность для:

- безопасности людей (возможность электротравмы);
- материальных ценностей (возможность пожара, взрыва по причине местного перегрева);
- бесперебойности питания электроэнергией (отключение поврежденной части электроустановки).

Что касается защиты от поражения током, то нормы и правила различают два типа опасных прикосновений и рекомендуют соответствующие меры защиты.

#### Прямое прикосновение

Прикосновение человека к токоведущим частям (фазы или нейтраль) нормально находящимся под напряжением (см. рис. 14).

Защита от этого прикосновения нормально обеспечивается при помощи изоляции токоведущих частей барьерами, экранами или оболочками (в соответствии с МЭК 60364-4-41 или NFC 15-100). Все эти устройства имеют предупредительный характер и могут быть повреждены. В таком случае, чтобы избежать опасности поражения, используют дополнительную защиту, которая автоматически отключает электроустановку при прямом прикосновении. Эта защита способна обнаружить небольшой ток утечки на землю, который протекает через тело человека и не возвращается к источнику по токоведущим проводникам. Ее уставка составляет 30 мА на переменном (МЭК 60364-4-41 или NFC 15-100) и 60 мА на постоянном токе.

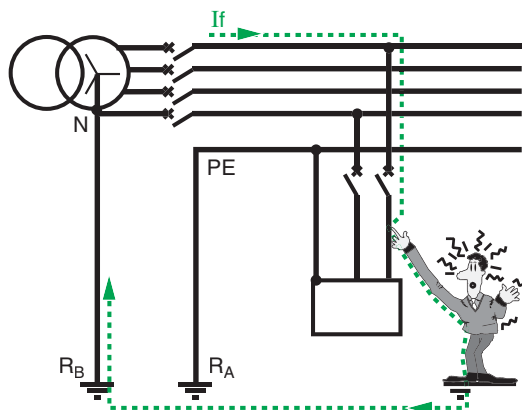
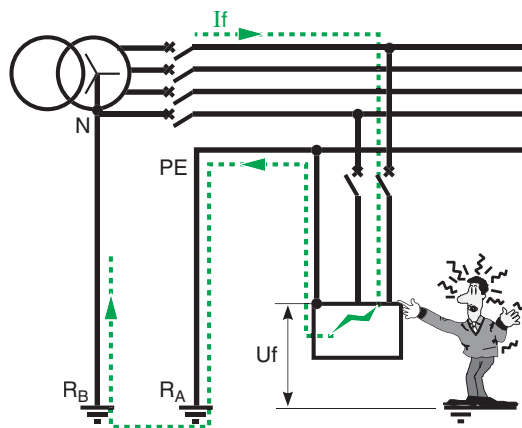


Рис. 14 : Прямое прикосновение в сети TT

#### Косвенное прикосновение

Это прикосновение человека к открытым проводящим частям, нормально не находящимся под напряжением, но оказавшимся под ним в результате повреждения изоляции (см. рис. 15).

Степень опасности зависит от напряжения прикосновения, появляющегося между корпусом поврежденного оборудования и землей или сторонними проводящими частями. При выборе соответствующей защиты следует учитывать приведенные в стандартах различные схемы заземления электрических сетей (СЗС). Более подробно СЗС рассмотрены в «Cahier Technique» № 172.



При прикосновении к корпусу, аварийно оказавшемуся под напряжением  $U_f$ , порог опасности определяется предельно допустимым безопасным напряжением  $U_L$ .

Если:

$R_A$  – сопротивление заземления корпусов электроустановки,

$R_B$  – сопротивление заземления нейтрали,

$I_f$  – ток замыкания,

$I_{\Delta n}$  – чувствительность УЗО,  $I_d \leq I_{\Delta n}$ ,

то порог чувствительности ( $I_{\Delta n}$ ) защитного устройства (УЗО),

должен быть таким, чтобы:

$$U_f = R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$$

и, следовательно,  $I_{\Delta n} \leq U_L / R_A$ .

(Более подробно см. Техническая коллекция Schneider Electric, Выпуск № 5).

Рис. 15 : косвенное прикосновение в сети TT

## 3.2 Схемы заземления электрических сетей (СЗС)

В сетях напряжением ниже 1000 В (сетях НН) существует три СЗС, обычно называемых режимами нейтрали. Различия между ними: заземлена или нет нейтраль источника и с чем соединены корпуса ЭП (см. рис. 16). Выбор СЗС зависит от характеристик электроустановки и условий и требований эксплуатации. Более подробные сведения можно найти в «Технических тетрадах № 173, 178»:

### Схема ТТ

В этой схеме, называемой «с глухозаземленной нейтралью»:

- нейтраль источника и корпуса ЭП присоединены к разным заземляющим устройствам;
- все корпуса электроустановки, защищенной одним отключающим аппаратом, должны быть присоединены к одному заземляющему устройству.

Это типовая схема для городских и сельских сетей во Франции.

Схема ТТ требует немедленного отключения при любом замыкании на корпус (на землю), так как оно приводит к опасности электропоражения.

### Схема TN

Принцип этой схемы, называемый «зануление», состоит в том, что любое замыкание на корпус вызывает однофазное короткое замыкание фаза-нейтраль. При этом также требуется немедленное отключение, для чего в этой схеме используется обычная защита от сверхтоков.

В этой схеме:

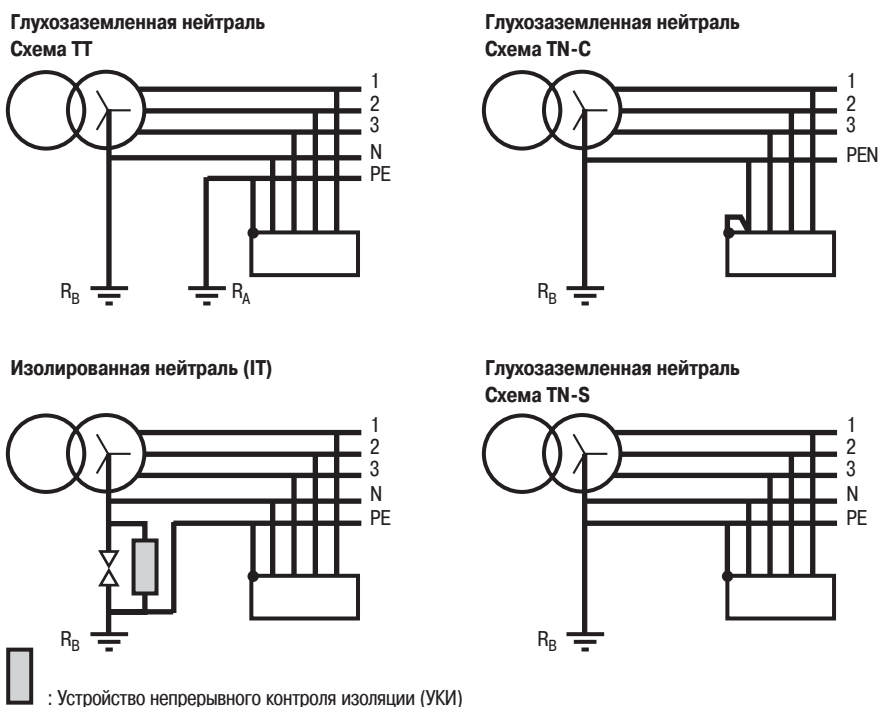
- нейтральная точка на стороне НН каждого источника глухо заземлена;
- все корпуса электроустановок присоединены к нейтрали источника (и, следовательно, к земле) с помощью защитного заземляющего проводника:
  - PE, отделенного от рабочего нейтрального проводника – это схема TN-S;
  - или PEN, общего с рабочим нейтральным – это схема TN-C.

**Замечание:** Схема TN-C не рекомендуется для питания электронных устройств по причине возможного протекания токов высших гармоник в нейтральном проводнике, который одновременно является и защитным проводником.

### Схема IT

В этой схеме, называемой «с изолированной нейтралью»:

- нейтраль трансформатора:
  - либо изолирована от земли (изолированная нейтраль);
  - либо присоединена к земле через большое сопротивление (резистивная нейтраль);
- все корпуса электроустановок соединены между собой и присоединены к земле.



**Рис. 16** : три стандартные схемы заземления электрических сетей НН

В схеме IT первое замыкание на корпус не требует отключения, что позволяет электроустановке продолжить нормально работать. Однако при появлении первого замыкания должен поступить предупредительный сигнал. Затем место первого замыкания нужно обнаружить и замыкание устранить раньше, чем случится второе замыкание на другом токоведущем проводнике, вызывающее немедленное отключение. Благодаря этому свойству, сеть IT обеспечивает самую высокую степень бесперебойности питания потребителей (см. также «Технические тетради № 178»).

### Нужда в специальных средствах обнаружения тока

Величина тока замыкания между фазой и землей зависит от СЗС. Часто его величина слишком мала, чтобы быть обнаруженным и отключенным существующими защитами от сверхтоков (тепловым и электромагнитным расцепителями автомата) – это характерно для схем TT и IT.

Два устройства специально предназначены для защиты от поражения током: Устройство Защитного Отключения – УЗО и Устройство Контроля Изоляции – УКИ.

#### ■ УЗО

□ Принцип действия УЗО показан на рисунке 17. В отсутствие замыкания на корпус алгебраическая сумма токов в активных (токоведущих) проводниках равна нулю и магнитодвижущая сила (МДС) в магнитопроводе (в торе) отсутствует. В случае однофазного замыкания на корпус эта сумма больше не равна нулю и ток замыкания вызывает появление МДС и магнитного потока в торе, который наводит ЭДС и ток в его вторичной обмотке. Если ток превышает заданную уставку в течение времени, большего, чем допустимая выдержка, то команда отключения передается на отключающий аппарат. Более подробно – см. «Техническая коллекция Шнейдер Электрик, выпуск № 5».

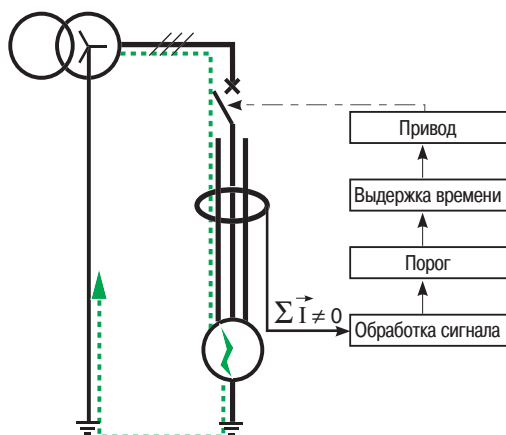


Рис. 17 : принцип действия УЗО

#### □ Типы УЗО

Стандарт МЭК 60755 различает три типа УЗО:

**АС:** для переменных токов синусоидальной формы, **А:** для переменных токов, содержащих постоянную составляющую (см. рис. 18). Эти аппараты годятся для обнаружения выпрямленного однофазного тока.

**В:** для постоянных токов. Эти аппараты годятся для любой формы тока и необходимы, в частности, для выпрямленного трехфазного тока.

#### ■ УКИ

Принцип УКИ состоит в наложении напряжения (постоянного или переменного) между сетью и землей (см. рис. 19). Измерение тока, протекающего через устройство контроля, позволяет рассчитать активное сопротивление изоляции при постоянном токе или полное сопротивление сеть/земля при переменном токе. Эти измерения вместе с пороговым устройством позволяют получить различные предупредительные сигналы, например, о постепенном снижении уровня изоляции, требующем проведения профилактического ремонта, или о первом замыкании на землю, требующем его отыскания и устранения до появления второго замыкания.

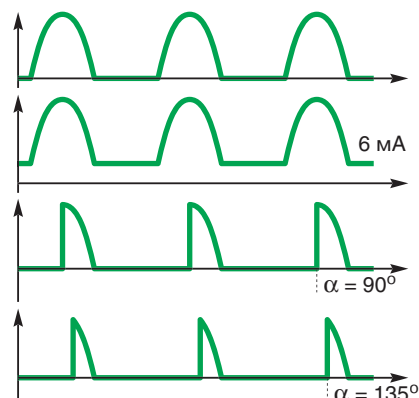


Рис. 18 : формы кривых тока, характеризующих УЗО типа А

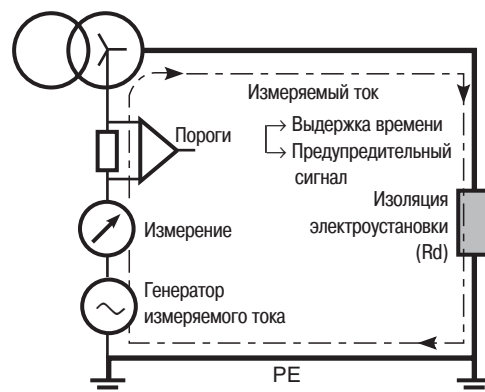


Рис. 19 : принцип действия УКИ

### 3.3 Использование УЗО в зависимости от СЗС

В Технической тетради № 172: «Les schemas des liaisons a la terre en BT (regimes de neutre)» эта тема рассмотрена более подробно.

#### Независимо от СЗС

УЗО используются в качестве дополнительной защиты от прямого прикосновения. В некоторых странах они являются обязательными для защиты розеток с номинальным током  $\leq 32$  А и должны иметь уставку  $\leq 30$  мА (например во Франции в соответствии с нормами NFC 15-100, § 532.26).

УЗО с чувствительностью не более 500 мА (МЭК 60364, § 482) рекомендуются для контроля токов утечки в цепях, питающих пожароопасные зоны.

#### Схема TT

Использование УЗО – это единственная возможность обнаружить слабые токи замыкания. Действительно, полное сопротивление цепи замыкания неизвестно и может быть высоким (например, корпуса присоединены к разным заземляющим устройствам и не всегда соединены между собой).

#### Схема TN-S или TN-C-S

Использование УЗО позволяет избавиться от проверки величины тока однофазного короткого замыкания.

Также они производят отключение цепи тогда, когда ток замыкания, ограниченный большой длиной кабеля, недостаточен, чтобы привести в действие защиту от сверхтоков. Уставка УЗО может быть высокой (чувствительность – низкой) – от нескольких Ампер до нескольких десятков Ампер.

**Замечание:** В соответствии с МЭК 60364:

- УЗО на дифференциальном токе не может быть использовано в сети TN-C,
- если УЗО на дифференциальном токе установлено в сети TN-C-S, то проводник PEN не может быть распределен ниже УЗО.

#### Схема IT

В схеме IT УЗО используются в двух случаях:

- если ток короткого замыкания, возникающий при двойном замыкании недостаточен для срабатывания защиты от сверхтока, например, на линиях, питающих удаленные потребители,
- при наличии нескольких групп потребителей, присоединенных к индивидуальным заземляющим устройствам (группы корпусов, не соединенные между собой).

### 3.4 Защита от замыканий на землю, встроенная в регуляторы

Если питающая сеть выполнена по схеме TN, то замыкание на корпус на выходе регулятора приводит к протеканию сверхтока благодаря занулению (см. рис. 20). Так же, как в случае междуфазного КЗ, этот сверхток обнаруживается и отправляется команда блокирования инвертора. При замыкании на корпус (в отличие от междуфазного) ток замыкания протекает в

течение короткого времени (несколько сотен микросекунд) по питающей линии. Гальваническое отделение регулятора осуществляется путем отключения контактора. Таким образом срабатывает встроенное устройство защиты. Но это устройство не может во всех случаях обеспечить защиту от косвенного прикосновения. Действительно, сопротивление цепи

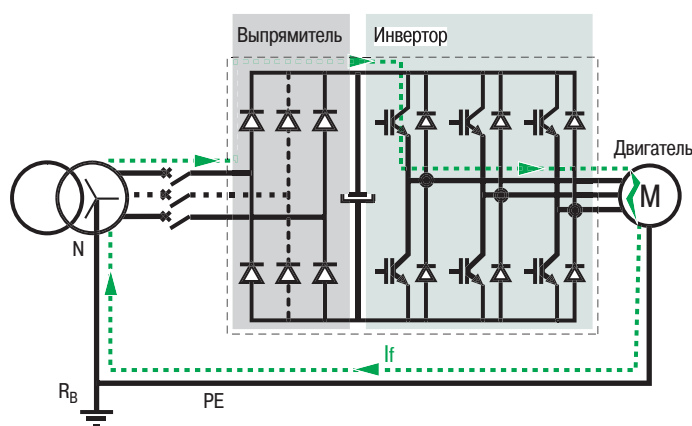


Рис. 20 : замыкание на землю на выходе регулятора



замыкания может ограничить ток до значения, меньшего, чем порог срабатывания защиты регулятора. Это может произойти в сети TN, а в сети TT – это обычное явление. Поэтому установка УЗО 300 мА является необходимой.

В сетях IT первое замыкание не вызывает протекания тока и регулятор продолжает нормально работать.

### 3.5 Повреждения изоляции и частотные регуляторы скорости

#### Прямое прикосновение

В цепях с регуляторами прямое прикосновение может произойти при различных ситуациях (см. рис. 21 и 22).

■ Схемы TT и TN-S

На случай выхода из строя основных средств защиты от прямого прикосновения или на случай неосторожных действий, дополнительная защита может быть предусмотрена при помощи УЗО 30 мА, установленного выше регулятора.

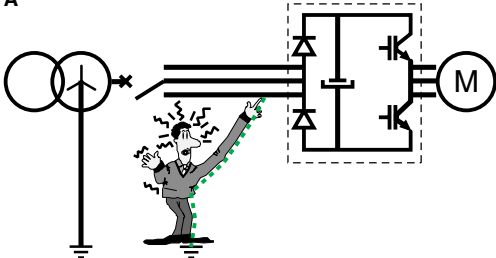
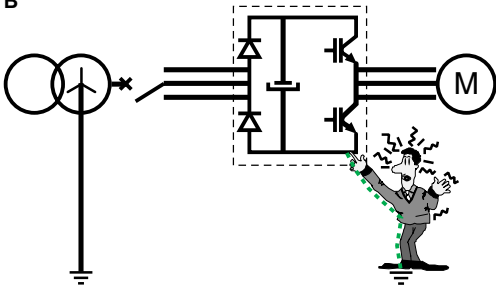
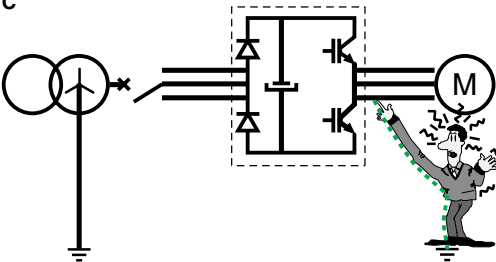
Риск прямого прикосновения	Напряжение прикосновения	Дополнительная защита
<p><b>Выше регулятора</b> А</p> 	Фазное напряжение	УЗО 30 мА
<p><b>На шине постоянного тока</b> В</p> 	Выпрямленное напряжение сети	
<p><b>Ниже регулятора</b> С</p> 	Выходное напряжение регулятора	

Рис. 21 : напряжения прямого прикосновения в схемах TT и TN-S

■ Схема IT, работающая с первым замыканием

Риск прямого прикосновения	Напряжение прикосновения	Дополнительная защита
<p>A</p>	<p>Выпрямленное напряжение сети</p>	<p>Невозможна защита автоматическим отключением</p>
<p>B</p>	<p>Выходное напряжение регулятора</p>	
<p>C</p>		

**Рис. 22** : прямое прикосновение человека в различных ситуациях в сети IT, работающей с первым замыканием

В трех ситуациях, свойственных схеме IT и представленных на рис. 22, никакая защита, действующая на автоматическое отключение, не может быть применена: ток замыкания не может быть отделен

от рабочего тока. Это подчеркивает необходимость качественного монтажа машин и сети с целью гарантировать основную защиту – изоляцию токоведущих частей.

Примечание:

- В каждой из ситуаций при взаимной перестановке места замыкания и места прямого прикосновения последствия идентичны.
- Если несколько регуляторов питаются от общей сети, то шины постоянного тока различных регуляторов находятся под одним потенциалом. Поэтому замыкания на землю в разных регуляторах на стороне постоянного тока могут рассматриваться как замыкание в одном, где произошло прямое прикосновение.

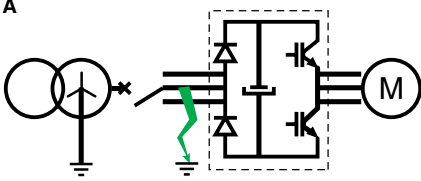
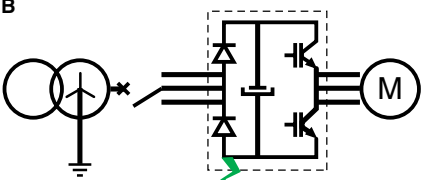
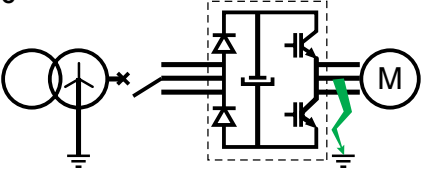
### Косвенное прикосновение

#### ■ Схемы TT и TN-S

Ситуации косвенного прикосновения представлены на **рис. 23**.

#### ■ Схема IT

В этой схеме нужно принимать в расчет режим двойного замыкания. В таблице на **рис. 24** приведены последствия различных повреждений.

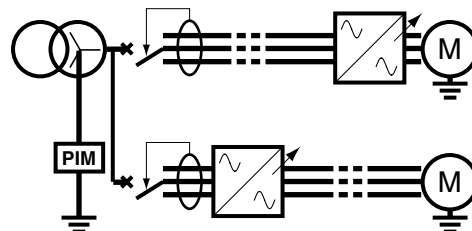
Ситуация	Последствия	Соответствующая защита в схеме TT	Соответствующая защита в схеме TN-S
<p><b>A</b></p> 	Увеличение тока (TT) или сверхток (TN-S) выше регулятора	УЗО	Максимально токовая защита, расположенная выше регулятора
<p><b>B</b></p> 	Увеличение тока (TT) или сверхток (TN-S) через диод выпрямительного моста; ток замыкания – это выпрямленный ток (опасность выхода выпрямителя из строя)	УЗО для пульсирующего тока (типа A)	
<p><b>C</b></p> 	Увеличение тока (TT) или сверхток (TN-S) через выпрямитель и инвертор, которые могут выйти из строя (в зависимости от типа защиты от КЗ, встроенной в регулятор)	Встроенная в регулятор или УЗО	

**Рис. 23** : различные виды замыканий на корпус в сетях TT и TN-S

Ситуация	Последствия	Соответствующая защита
<b>A</b> 	Сверток выше регулятора	MTЗ, расположенная выше регулятора
<b>B</b> 	Сверток через диод выпрямительного моста (опасность выхода выпрямителя из строя).	MTЗ, расположенная выше регулятора
<b>C</b> 	Сверток через выпрямитель и инвертор, которые могут выйти из строя (в зависимости от типа защиты от КЗ, встроенной в регулятор)	Встроенная в регулятор или MTЗ, расположенная выше, но большая длина кабелей выше и ниже регулятора может помешать обнаружить повреждение
<b>D</b> 	КЗ на шинах постоянного тока (опасность выхода выпрямителя из строя)	MTЗ, расположенная выше регулятора
<b>E</b> 	КЗ на зажимах инвертора (опасность его выхода из строя, ограниченная в зависимости от типа встроенной защиты от КЗ)	Встроенная в регулятор или MTЗ, расположенная выше регулятора
<b>F</b> 	Сверток на выходе регулятора	Встроенная в регулятор

**Рис. 24** : различные случаи двойных замыканий на корпус(а) через низкое переходное сопротивление в сети IT

■ Особый случай нескольких радиальных линий с регуляторами, корпуса которых присоединены к разным заземляющим устройствам. Когда от одного источника питаются несколько ЭП, удаленных друг от друга, их корпуса часто присоединяют к разным заземляющим устройствам. Полное сопротивление цепи тока двойного замыкания увеличивается на величину суммарного сопротивления двух заземляющих устройств. Необходимое для защиты людей условие (соблюдение максимально допустимого времени отключения) не может быть обеспечено с помощью MTЗ. Обычное решение, простое для проектирования и эксплуатации, - это установка УЗО на каждом фидере к установкам, имеющим разные заземляющие устройства (см. **рис. 25**). Работа этих УЗО не должна нарушаться при прохождении постоянной составляющей тока.



**Рис. 25** : расположение УЗО в схеме IT для защиты двух фидеров, имеющих разные заземляющие устройства

## 4 Защиты, которыми должны быть оснащены регуляторы (сводная таблица)

Подводя итог предыдущей главы, в нижеследующей таблице перечисляются функции, выполняемые регулятором и при необходимости дополненные

внешними по отношению к регулятору устройствами, такими, как выключатель, реле перегрузки и УЗО.

Необходимая защита от	Защита, обычно обеспечиваемая регулятором	Внешняя защита
Перегрузка кабеля	Да = (1)	Не нужна, если (1)
Перегрузка двигателя	Да = (2)	Не нужна, если (2)
КЗ ниже регулятора	Да	
Перегрев регулятора	Да	
Перенапряжение	Да	
Понижение или провал напряжения	Да	
Обрыв фазы	Да	
КЗ выше регулятора		Выключатель (отключение КЗ)
Внутреннее повреждение		Выключатель (отключение КЗ и перегрузки)
Замыкание на землю ниже регулятора (косвенное прикосновение)	Внутренняя защита регулятора	УЗО $\geq 300$ мА
Прямое прикосновение		УЗО $\leq 30$ мА

## 5 Особенности

Объектом данной главы является анализ специфических явлений, связанных с работой преобразователей

частоты, которые оказывают влияние на устройства защиты УЗО и УКИ.

### 5.1 Токи утечки высокой частоты

Форма напряжения, вырабатываемого регулятором, и особенно присутствие крутых фронтов напряжения в моменты коммутации инвертора, является причиной появления токов утечки высокой частоты, протекающих по питающему кабелю.

#### Пути протекания токов

Эти фронты напряжения прикладываются к различным емкостям цепи (см. **рис. 26**):

$C_s$  – емкость компонентов инвертора между проводниками и заземленной оболочкой,

$C_m$  – емкость между обмотками двигателя и заземленным корпусом (зависит от мощности двигателя),

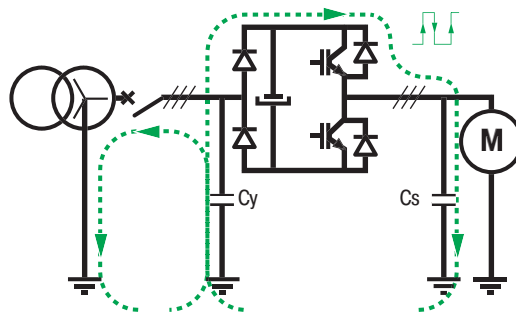
$C_r$  – емкость между проводниками питающей сети и землей (замкнута накоротко в сетях TN и TT),

$C_c$  – емкость между жилами кабеля на выходе регулятора и землей (зависит от типа и длины кабеля),

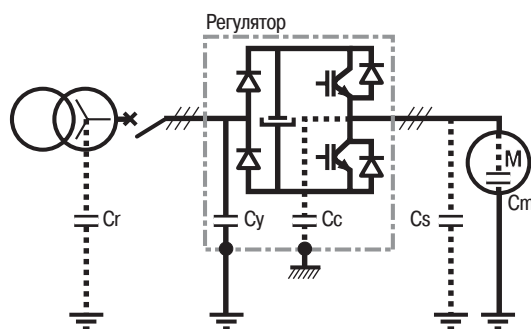
$C_y$  – антипаразитная емкость на входе регулятора.

Токи высокой частоты протекают через эти емкости.

Наиболее значительные из них представлены на **рис. 27**.



**Рис. 27** : протекание токов утечки высокой частоты



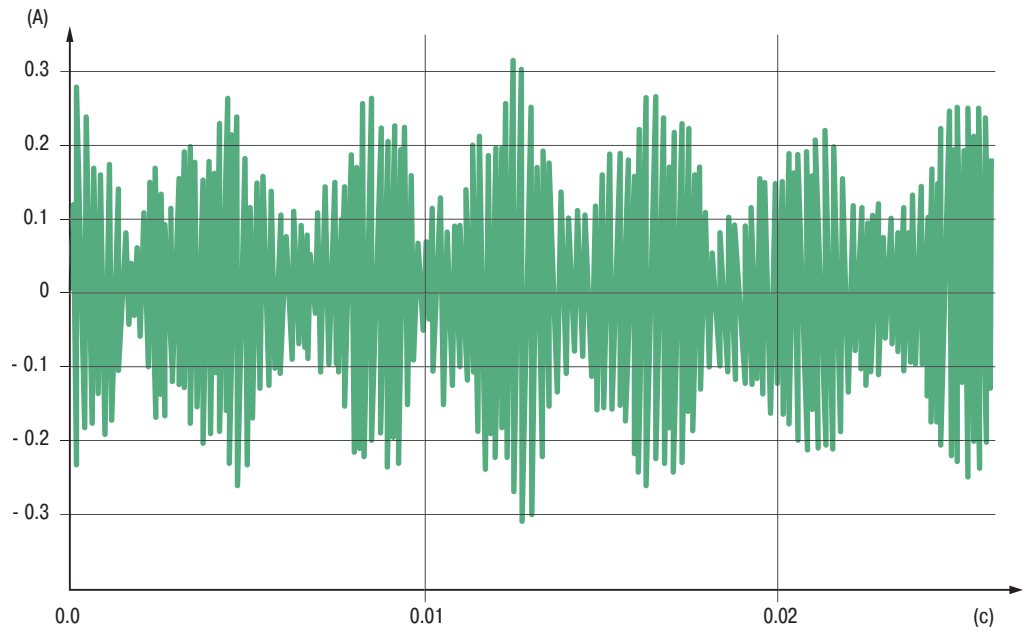
**Рис. 26** : емкости цепи

#### Их характеристики

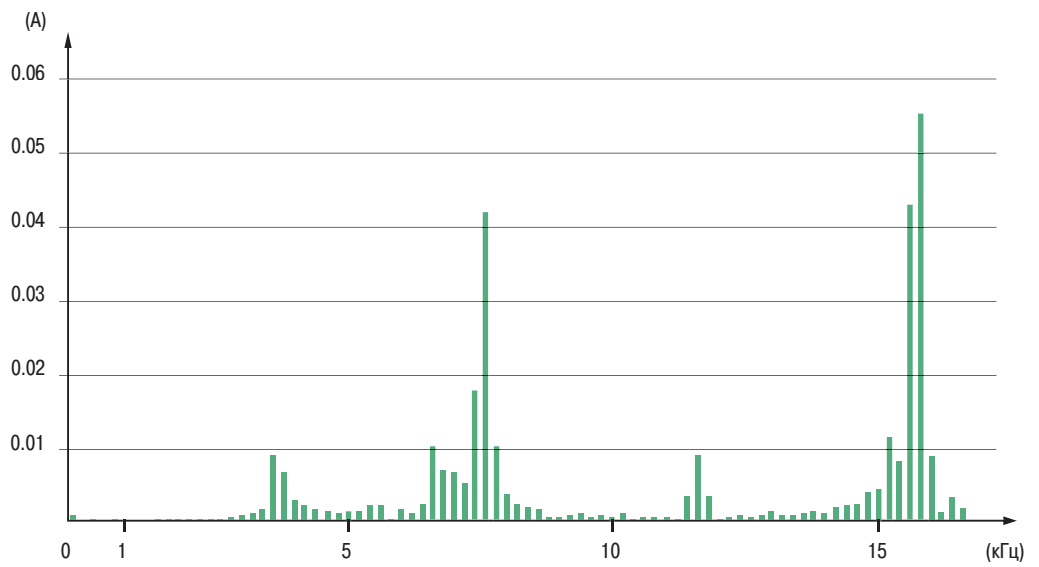
Мгновенное значение этих токов может достигать нескольких Ампер, а действующее значение – десятков и сотен миллиампер. Спектр и амплитуда этих токов зависит от частоты ШИМ (между 1 и 20 кГц) и от характеристик установки:

- питание - СЗС и полное сопротивление линии;
- тип и длина кабеля к двигателю (экранированный или нет, наличие защитного проводника);
- мощность двигателя.

Форма и частотный спектр токов высокой частоты на входе исправного регулятора для ШИМ на 4 кГц представлены на **рис. 28** и **29**.



**Рис. 28** : токи утечки высокой частоты

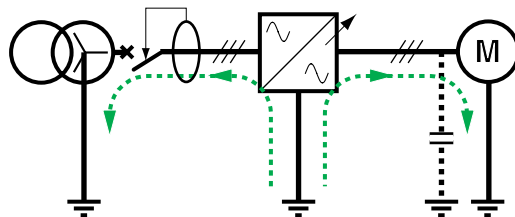


**Рис. 29** : частотный спектр токов утечки

**Их следствие:**  
**риск нарушения работы УЗО**

■ Ложные отключения

Эти токи могут явиться причиной неправильной работы УЗО на дифференциальном токе, так как они протекают по проводникам, окруженным измерительными торами (магнитопроводами дифференциальных трансформаторов тока, называемых также ТТНП). Поэтому измерение дифференциального тока может быть затруднено, в особенности, если кабель от регулятора до двигателя имеет большую длину и/или емкости между жилами и землей велики (см. **рис. 30**).



**Рис. 30** : нарушение работы УЗО токами утечки высокой частоты

**Решение**

Измерительный прибор должен включать в себя фильтр, позволяющий выделять из сигнала и измерять только составляющую низкой частоты (см. **рис. 31**). В определенных экстремальных ситуациях могут потребоваться дополнительные меры предосторожности, описанные в конце данного выпуска технической коллекции.



Модульная версия

Щитовая версия

**Рис. 31** : УЗО, оснащенное фильтром токов высокой частоты (Vigirex RH99M и RH99P – марка Merlin Gerin)

## 5.2 Токи утечки в момент подачи напряжения

**Их происхождение**

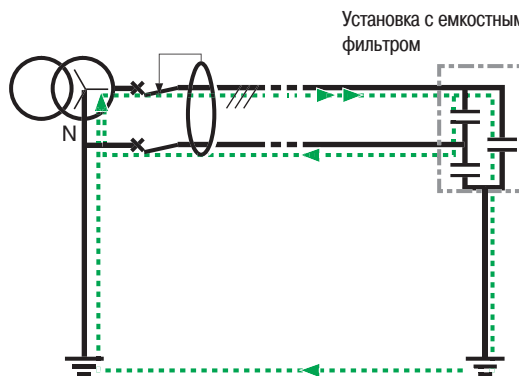
Конденсаторы обычно подключаются на входе преобразователя частоты для защиты от высокочастотных помех, приходящих из сети и одновременно для уменьшения излучения высоких частот. Их емкость составляет примерно от 10 до 100 наноФарад. Эти конденсаторы вызывают появление дифференциального тока как в момент подачи напряжения, так и в установившемся режиме.

**Их следствие: риск ложного отключения**

Для одного аппарата, работающего в нормальном режиме, эти токи невелики (от 0,5 до 3,5 мА). Но в установке, содержащей несколько регуляторов, они могут вызвать ложное отключение УЗО.

**Решение**

Оно находится в компетенции проектировщиков и монтажников: нужно ограничивать количество регуляторов, питаемых от одного УЗО.



**Рис. 32** : ток утечки, протекающий через конденсаторы на входе установки (пунктирная линия)

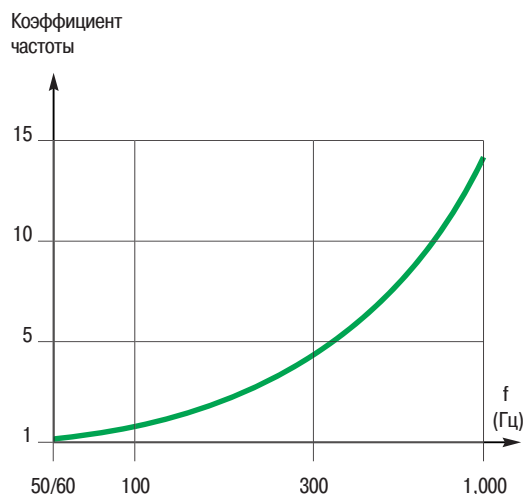


### 5.3 Замыкание на выходе регулятора в схемах ТТ или ТН

#### Опасность поражения током

Ток замыкания содержит составляющую с частотой ШИМ, а также токи высокой частоты, образованные колебаниями на паразитных емкостях, но опасности токов высокой частоты пока недостаточно изучены. В стандарте МЭК 60479-2 приводится график изменения порога фибрилляции сердца. Эта кривая (см. **рис. 33**) показывает, что коэффициент частоты (отношение токов, вызывающих одинаковое физиологическое воздействие на повышенной и промышленной частотах) увеличивается с увеличением частоты.

Из этой кривой следует, что ток уставки на отключение при частоте выше 50 Гц может быть увеличен. Технически это изменение уставки реализуется с помощью фильтра.



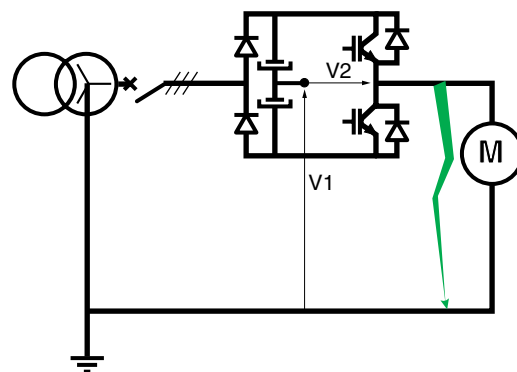
**Рис. 33** : изменение порога сердечной фибрилляции в зависимости от частоты (в соответствии с МЭК 60479-2)

#### Форма тока замыкания

В случае замыкания на корпус (на землю) на выходе регулятора в схеме ТН сверхток вызывает срабатывание внутренней защиты регулятора или МТЗ, расположенной выше регулятора. Если переходное сопротивление в

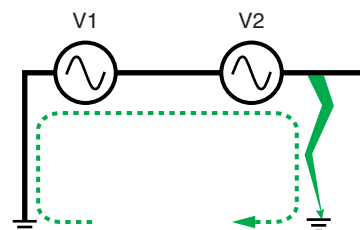
месте замыкания значительно, то уставка МТЗ не может быть достигнута. Поэтому для осуществления защиты следует предусматривать УЗО.

Как было показано выше, надежное срабатывание УЗО зависит от токов, которые проходят через тороидальный датчик, однако в данном случае эти токи несинусоидальны. Анализ формы кривой тока замыкания нулевой последовательности можно сделать с помощью упрощенной эквивалентной схемы на **рис. 34**.



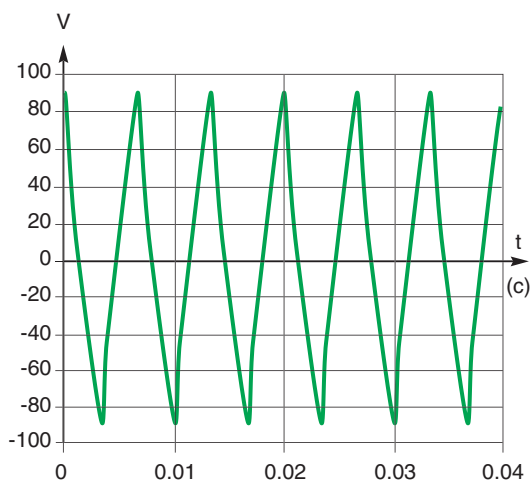
**Рис. 34** : напряжение замыкания.

Напряжения V1 и V2 вызывают циркуляцию возможного тока замыкания, как это показано на **рис. 35**.



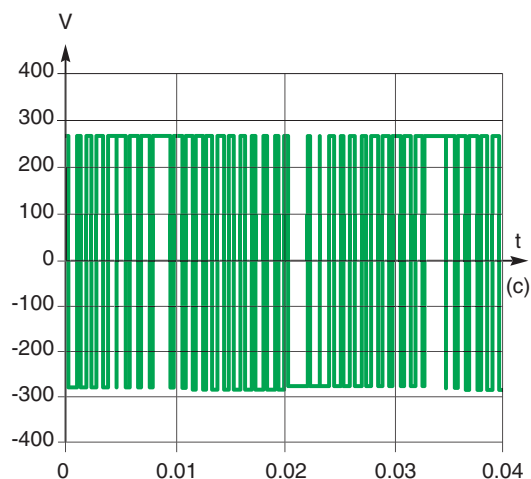
**Рис. 35** : ток замыкания

Напряжение V1 между нейтралью трехфазной питающей сети и средней точкой выпрямителя имеет основную частоту 150 Гц (см. **рис. 36**).



**Рис. 36** : напряжение средней точки трехфазного выпрямителя

Напряжение V2 (см. **рис. 37**) между средней точкой выпрямителя и одной фазой на выходе регулятора – это результат работы ШИМ. Оно содержит составляющую низкой частоты, равной выходной частоте регулятора (в данном примере = 40 Гц) и составляющую с частотой ШИМ (в данном примере = 1 кГц).

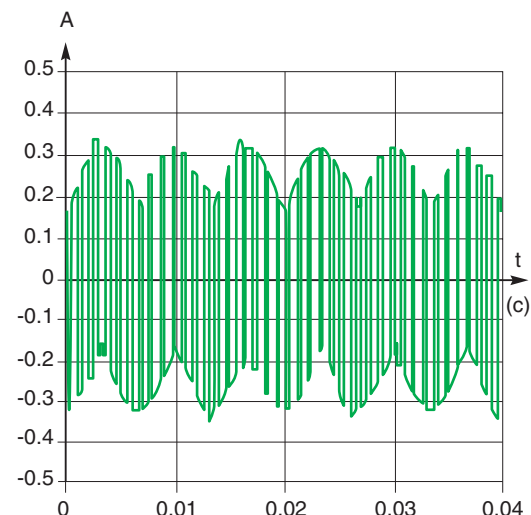


**Рис. 37** : напряжение на выходе ступени инвертора

В результате ток замыкания содержит сумму этих составляющих:

- 150 Гц;
- выходную частоту регулятора;
- частоту модуляции,
- а также их гармоники.

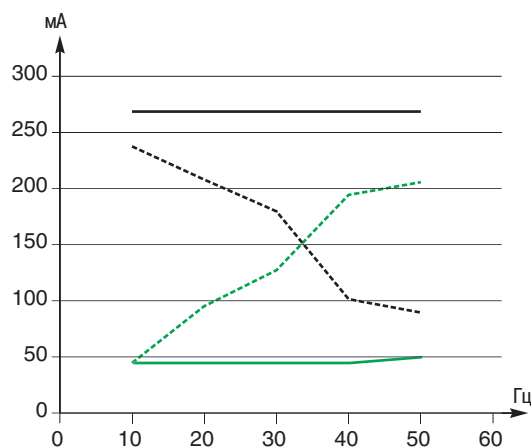
Его форма показана на **рис. 38**. Этот ток замыкания содержит также токи высокой частоты, рассмотренные в предыдущих параграфах, но не представленные здесь, чтобы упростить рисунок.



**Рис. 38** : ток замыкания при питании регулятора от трехфазной сети

В зависимости от частоты вращения двигателя, амплитуда различных составляющих меняется, как это показано на **рис. 39**:

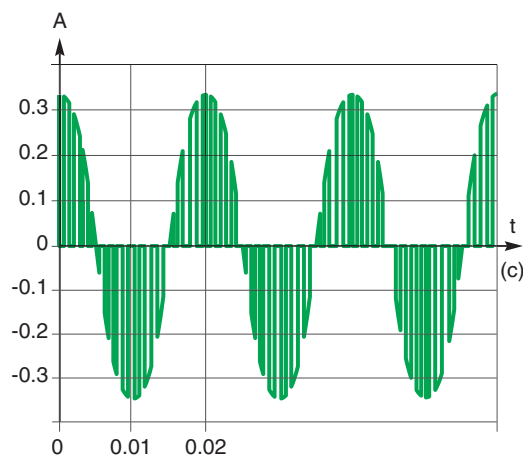
- Действующее значение полного тока и составляющая 150 Гц остаются неизменными.
- Составляющие с частотой питания двигателя и с частотой ШИМ изменяются в противоположных направлениях.



- Действующее значение полного тока
- ..... Составляющая с частотой двигателя
- Составляющая 150 Гц
- .-.-.-.- Составляющая с частотой ШИМ 1кГц

**Рис. 39** : изменение составляющих тока замыкания

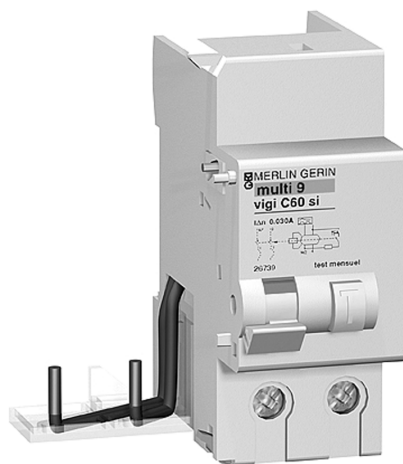
Для случая однофазного питания регулятора форма тока замыкания представлена на **рис. 40**. Следует заметить, что вместо составляющей 150 Гц, которая присутствует при трехфазном питании, здесь имеется составляющая 50 Гц.



**Рис. 40** : ток замыкания при однофазном питании

#### Решение

Сложная форма тока замыкания требует использования УЗО типа А (см. **рис. 41**).



**Рис. 41** : пример УЗО типа А, присоединяемого к выключателю НН (блок Vigi C60-300 мА-Merlin Gerin)

## 5.4 Замыкание на выходе регулятора в схеме IT

### Быстрые флуктуации напряжения между сетью и землей

В сетях IT замыкание на землю на выходе регулятора не требует отключения, но вызывает быстрые флуктуации напряжения сети по отношению к земле.

Действительно, в противоположность сети TN, потенциал сети не зафиксирован и следует флуктуациям, определяемым преобразователем. Это показано на **рис. 42**.

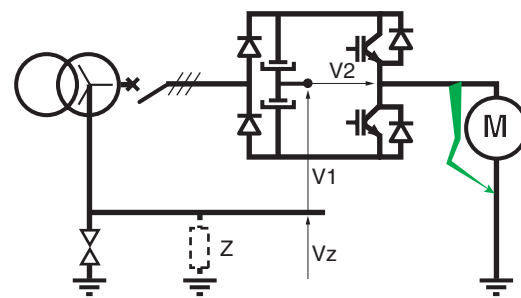
Все ЭП, присоединенные к сети, подвержены этим флуктуациям, включающим высокие градиенты напряжения (изменения напряжения с крутым фронтом), см. **рис. 43**. Эти градиенты могут вызвать перегрев и выход из строя емкостных фильтров, подключенных между сетью и землей.

### Решения

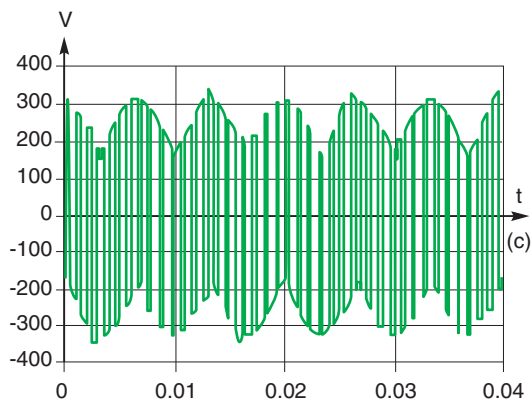
Использование фильтров с целью улучшения электромагнитной совместимости (ЭМС) в схемах IT не рекомендуется (см. МЭК 61800-3).

Если снижение излучения высоких частот все же необходимо, возможным решением является включение на входе регулятора фильтра ЭМС без связи с землей.

Для устранения явления быстрых флуктуаций напряжения рекомендуется установка фильтра типа «синус» на выходе регулятора: он устраняет любые повышенные градиенты напряжения, приложенные к питающему кабелю и двигателю.



**Рис. 42** : замыкание на землю в сети IT

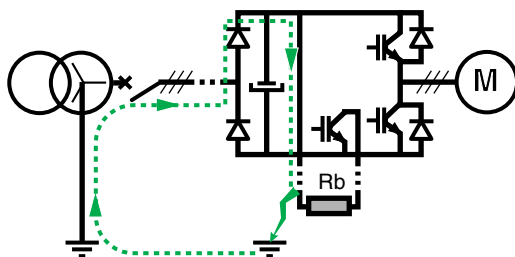


**Рис. 43** : флуктуации напряжения сети

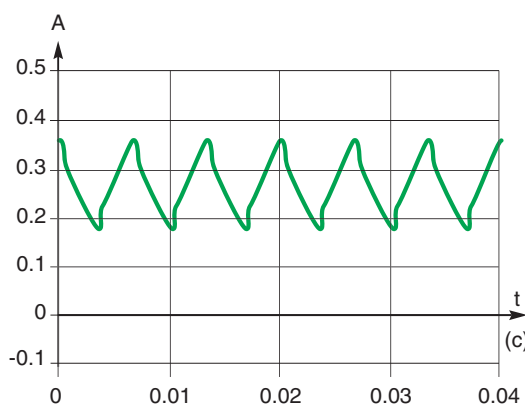
## 5.5 Ток замыкания на землю, содержащий постоянную составляющую

### Описание

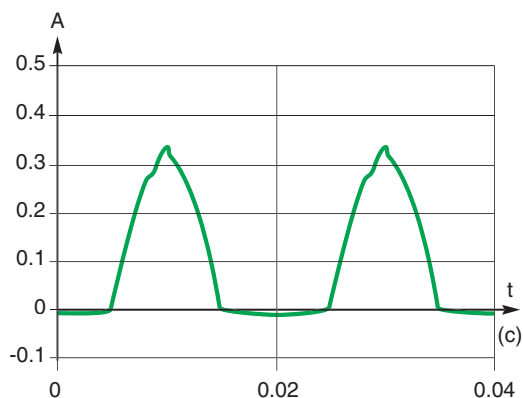
Наиболее распространенные УЗО предназначены для измерения переменных токов замыкания. Но при замыкании на шинах постоянного тока внутри регулятора или на сопротивлении динамического торможения  $R_f$ , обычно расположенном вне корпуса регулятора (см. **рис. 44**), ток замыкания содержит постоянную составляющую. Графики токов при трехфазном и однофазном питании приведены на **рис. 45** и **46**.



**Рис. 44** : замыкание между тормозным сопротивлением и землей



**Рис. 45** : ток замыкания на тормозном сопротивлении при трехфазном питании и переходном сопротивлении в месте замыкания, равном  $1 \text{ кОм}$



**Рис. 46** : ток замыкания на тормозном сопротивлении при однофазном питании и переходном сопротивлении в месте замыкания, равном  $1 \text{ кОм}$

### Решение

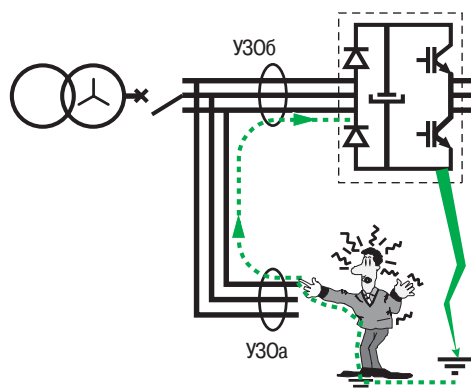
Несмотря на постоянную составляющую, УЗО должно оставаться в работоспособном состоянии. Если замыкание на корпус возможно на шинах постоянного тока или в цепи тормозного сопротивления, то при трехфазном питании необходимо использовать УЗО типа В, а при однофазном подойдет УЗО типа А.

### Правило совместного использования нескольких УЗО

■ В первом случае, показанном на **рис. 47**, в схеме IT ток замыкания имеет постоянную составляющую. УЗО, осуществляющее дополнительную защиту от прямого прикосновения на соседней линии, должно быть чувствительным к такому току.

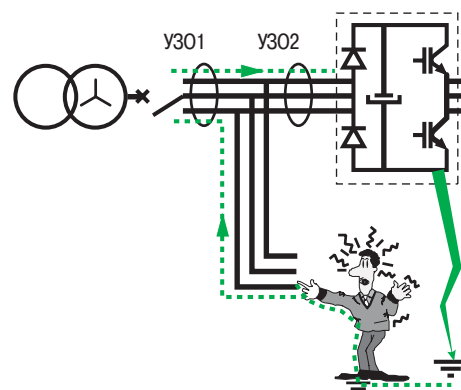
■ Во втором случае (см. **рис. 48**) два УЗО расположены последовательно.

В случае замыкания на шинах постоянного тока, величина тока может быть недостаточна для срабатывания УЗО2. Но в то же время, этот ток, имеющий постоянную составляющую, может оказаться достаточным, чтобы насытить магнитопровод измерительного тора УЗО1, мешая ему сработать при возможном появлении замыкания на другой отходящей линии.



**Рис. 47** : риск «ослепления» УЗОа

■ В итоге получаем следующее правило:  
 Если ток замыкания может иметь постоянную составляющую, то в зависимости от питания, необходимо применять УЗО типов А или В. При этом все УЗО, через которые может протекать этот ток, должны



**Рис. 48** : риск «ослепления» УЗО1

быть одного типа А или В. Это условие должно строго выполняться:

- в случае последовательного расположения УЗО;
- в сети IT, где УЗО должны работать при двойных замыканиях на разных фидерах.

## 6 Рекомендации по выбору и монтажу

Исходя из принципов:

- состава применяемых устройств защиты от сверхтоков (от перегрузок и КЗ), рассмотренных в главе 2,
- защиты от поражения током (тема главы 3);
- специфики явлений, рассмотренных в предыдущей главе.

В данной главе даются практические рекомендации, отвечающие на вопрос: как правильно защитить цепь, содержащую частотный регулятор скорости?

### 6.1 Выбор УЗО (см. рис. 49)

	Защита...			
	... от косвенного прикосновения		... от прямого прикосновения	
Питание	Трёхфазное		Однофазное	
Характеристики электроаппаратов и электроустановки	Без двойной изоляции цепей пост. тока	С двойной изоляцией цепей пост. тока	Если на случай защиты персонала или повреждения основных средств защиты необходимо иметь дополнительную защиту (см. правила устройства)	
СЗС: ТТ (или IT с необъединенными корпусами)	Типа В, низкой чувствительности ( $\geq 300$ мА)	Типа А, низкой чувствительности ( $\geq 300$ мА)	Типа А (30 мА) или типа В (30 мА)	Типа А (30 мА)
СЗС: TN-S	Типа А, низкой чувствительности ( $\geq 300$ мА) [*]		если тормозное сопротивление доступно	
СЗС: IT				

[\*] Замыкание на корпус аналогично КЗ. Отключение должно производиться защитой от КЗ (МТЗ), но в случае возможности несрабатывания МТЗ рекомендуется дополнительно предусмотреть установку УЗО.

Рис. 49 : типы УЗО в зависимости от СЗС и от желаемой защиты

#### Особые рекомендации:

- к УЗО подключать только один частотный регулятор;

- если тормозное сопротивление доступно, то предусматривать УЗО в качестве дополнительной защиты от прямого прикосновения.

### 6.2 Выбор УКИ

УКИ, работающие по принципу наложения постоянного тока, могут быть «обмануты» при замыкании, сопровождаемом появлением постоянной составляющей напряжения между сетью и землей. В зависимости от полярности этого напряжения, уровень изоляции будет ошибочно усилен или ослаблен.

Только лишь УКИ, работающие по принципу наложения переменного тока, могут быть использованы в сетях, питающих преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока без гальванического разделения, такие как частотные регуляторы скорости.

Но все же, в случае замыкания на корпус на выходе регулятора, измерение сопротивления изоляции может быть ошибочным (см. рис. 50). Действительно, преобразователь – это источник напряжения с регулируемой амплитудой и частотой. Это напряжение

складывается с напряжением, накладываемым УКИ, предназначенным для измерения. Если частота напряжения УКИ близка к основной частоте на выходе регулятора, то результаты измерения искажаются.

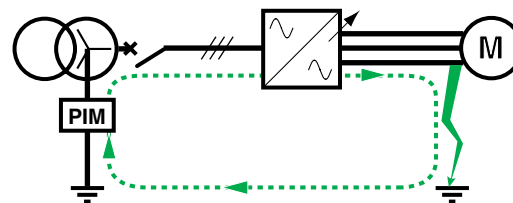


Рис. 50 : искажение измерения УКИ

## 6.3 Предотвращение неправильной работы

Возмущающие факторы, рассмотренные в предыдущих параграфах, могут вызвать ложные срабатывания защит. Для обеспечения бесперебойного питания рекомендуется следовать инструкциям, изложенным ниже.

### Меры предосторожности, касающиеся УЗО

- Выбирать подходящую модель, включающую в себя:
  - фильтрацию токов высокой частоты;
  - выдержку времени, что позволяет избежать ложных отключений, вызванных зарядом паразитных емкостей в момент подачи напряжения. Выдержка времени невозможна для аппаратов 30 мА. В этом случае можно выбрать УЗО, отстроенное от ложных отключений, например УЗО с повышенной устойчивостью к ложным отключениям гаммы «s.i.» (марки Merlin Gerin).
- Увеличить, если это возможно, уставку, соблюдая пределы, обусловленные защитой от поражения током. Эти предосторожности дополняют правила, изложенные в параграфе 5.5, касающиеся совместного использования нескольких УЗО.

### Меры предосторожности, касающиеся УКИ

Выбирать подходящую модель:

- с наложением переменного тока
- или
- с наложением кодированных импульсов, позволяющих отстроиться от выходной частоты регулятора.

### Меры предосторожности, касающиеся монтажа

Монтаж преобразователей частоты должен быть выполнен в соответствии с нормами EN 50178 и МЭК 61800-3.

Некоторые дополнительные меры могут оказаться необходимыми.

- Снизить насколько возможно емкости по отношению к земле; для этого:
  - избегать экранированных кабелей, когда окружающая обстановка это позволяет;
  - уменьшать длину кабеля между регулятором и двигателем;
  - осуществлять прокладку кабелей в соответствии с правилами монтажа;
  - избегать фильтров ЭМС или использовать фильтры с небольшими емкостями (в особенности в сетях IT).
- Снижать частоту ШИМ (уменьшение количества коммутаций в секунду приводит к снижению действующего значения токов высокой частоты).
- Распределять регуляторы по нескольким УЗО, чтобы токи утечки не могли складываться.
- Подключать фильтры типа «синус» на выходе регулятора, чтобы устранить высокие градиенты напряжения, прикладываемые к кабелю.
- Использовать разделительные трансформаторы и располагать УЗО выше них (отделение цепи с помехами, вызванными регулятором, от питающей сети).

## Библиография

### Нормы «Оборудование»

- IEC 60479: Guide to the effects of current passing through the human body.
- IEC 60755: General requirements for residual current operated protective devices.
- IEC 60947-2: Low voltage switchgear - Part 2: Circuit-breakers.
- IEC 61008, EN 61008-1 et 61008-2: Residual current operated circuit-breakers for household and similar use.
- IEC 61009, EN 61009-1 et 61009-2: Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar use.
- IEC 61800-3: Adjustable speed electrical power drive systems - Part 3: EMC product standard.
- EN 50178: Electronic equipment used in power installations.
- UTE C 60-130: Dispositifs de protection И courant diffОrentiel rОsiduel.
- NF C 61-420: Petits disjoncteurs diffОrentiels.
- NF C 62-411: MatОriel de branchement et analogues, disjoncteurs diffОrentiels pour tableaux de contrЦle des installations de premiОre catОgorie.

### Нормы «Монтаж»

- IEC 60364: Electrical installations of buildings.

### Технические тетради Шнейдер Электрик

- Residual current devices in LV.  
R. CALVAS, Cahier Technique no. 114.
- Protection of people and uninterruptible power supplies.  
J-N. FIORINA, Cahier Technique no. 129.
- Earthing systems in LV.  
B. LACROIX and R. CALVAS,  
Cahier Technique no. 172.
- Earthing systems worldwide and evolutions.  
B. LACROIX and R. CALVAS,  
Cahier Technique no. 173.
- Disturbances of electronic systems and earthing systems.  
R. CALVAS, Cahier Technique no. 177.
- The IT earthing system (unearthed neutral) in LV.  
F. JULLIEN and I. HERITIER,  
Cahier Technique no. 178.
- Cohabitation of high and low currents.  
R. CALVAS and J. DELABALLE,  
Cahier Technique no. 187.



**Для заметок**

---

**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**  
220030, 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

ул. Бейбитшилик, 18  
Бизнес-центр «Бейбитшилик 2002», офис 402  
Тел.: (7172) 91 06 69  
Факс: (7172) 91 06 70

## Атырау

060002, ул. Абая, 2-А  
Бизнес-центр «Сугас - С», офис 407  
Тел.: (7122) 32 31 91, 32 66 70  
Факс: (7122) 32 37 54

## Россия

**Волгоград**  
400001, ул. Профсоюзная, 15/1, офис 12  
Тел.: (8442) 93 08 41

## Воронеж

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

## Екатеринбург

620219, ул. Первомайская, 104, офисы 311, 313  
Тел.: (343) 217 63 37, 217 63 38  
Факс: (343) 349 40 27

## Иркутск

664047, ул. Советская, 3 Б, офис 312  
Тел./факс: (3952) 29 00 07

## Казань

420107, ул. Спартаковская, 6, этаж 7  
Тел.: (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, офисы 316, 314  
Тел./факс: (861) 210 06 38, 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

## Нижний Новгород

603000, пер. Холодный, 10 А, офис 1.5  
Тел.: (831) 278 97 25  
Тел./факс: (831) 278 97 26

## Новосибирск

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

## Пермь

614010, Комсомольский пр-т, 98, офис 11  
Тел./факс: (343) 290 26 11 / 13 / 15

## Самара

443096, ул. Коммунистическая, 27  
Тел./факс: (846) 266 50 08, 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

## Уфа

450064, ул. Мира, 14, офисы 518, 520  
Тел.: (347) 279 98 29  
Факс: (347) 279 98 30

## Хабаровск

680011, ул. Металлистов, 10, офис 4  
Тел.: (4212) 78 33 37  
Факс: (4212) 78 33 38

## 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, ул. Пушкина, 75  
Тел.: (99871) 140 11 33  
Факс: (99871) 140 11 99

## Украина

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

## Донецк

83023, ул. Лабутенко, 8  
Тел./факс: (38062) 345 10 85, 345 10 86

## Киев

04070, ул. Набережно-Крещатицкая, 10 А  
Корпус Б  
Тел.: (38044) 490 62 10  
Факс: (38044) 490 62 11

## Львов

79015, ул. Тургенева, 72, к. 1  
Тел./факс: (032) 298 85 85

## Николаев

54030, ул. Никольская, 25  
Бизнес-центр «Александровский», офис 5  
Тел./факс: (380512) 48 95 98

## Одесса

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

## Симферополь

95013, ул. Севастопольская, 43/2, офис 11  
Тел./факс: (380652) 44 38 26

## Харьков

61070, ул. Ак. Проскуры, 1  
Бизнес-центр «Telesens», офис 569  
Тел.: (380577) 19 07 49  
Факс: (380577) 19 07 79



### ЦЕНТР ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ

Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)  
(495) 797 32 32  
Факс: (495) 797 40 02  
ru.csc@ru.schneider-electric.com  
www.schneider-electric.ru