

Помехоустойчивость технических средств

Лекция № 3

по курсу

Электромагнитная совместимость
в электроэнергетике

Вопросы к зачету

1. ЭМС технических средств.
2. Описание ЭМС посредством введения типовых классов окружающей среды.
3. Обеспечение электромагнитной совместимости
4. Контроль помехоустойчивости аппаратуры

Вопросы к зачету

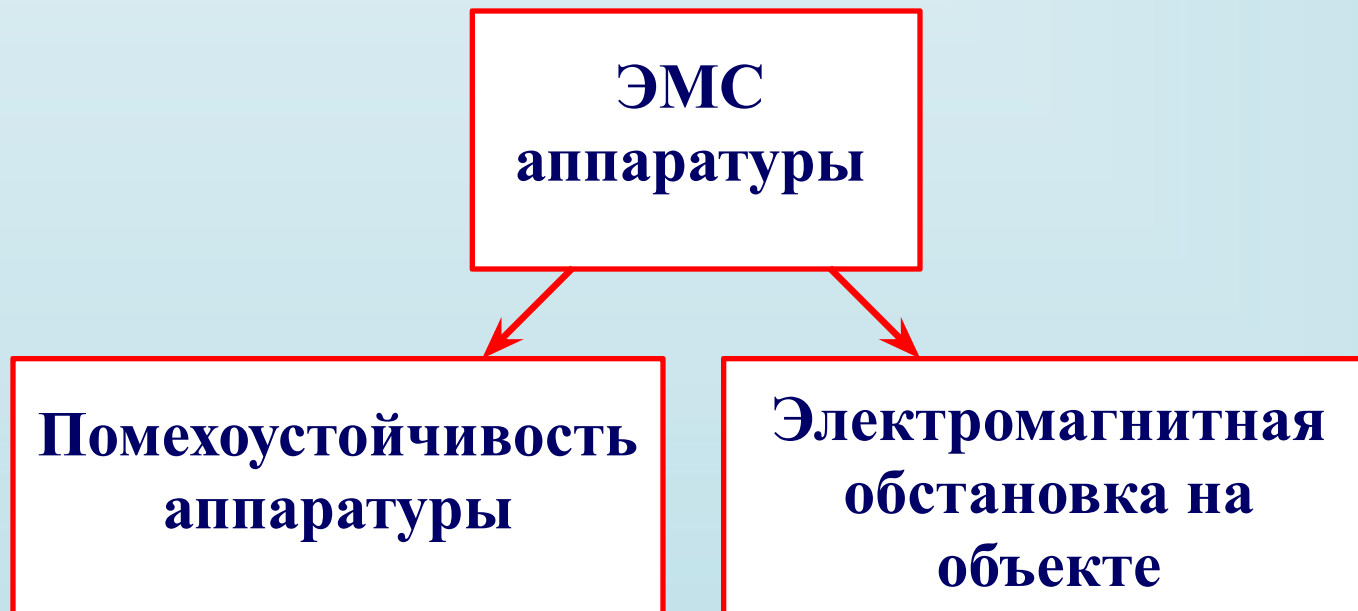
5. Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии и их влияние на потребителей электроэнергии.
6. Виновники ухудшения качества электроэнергии. Контроль качества электроэнергии.
7. Понятие об основных системах стандартизации и контроля параметров ЭМС аппаратуры.

Общий подход к решению проблемы ЭМС

Для достижения ЭМС используется комбинация двух подходов.

Во-первых, должен обеспечиваться определенный уровень собственной устойчивости к помехам применяемой аппаратуры.

Во-вторых, ЭМО на объекте должна поддерживаться в таком состоянии, чтобы действующие на аппаратуру помехи не превышали уровней устойчивости этой аппаратуры.



Определения

- **Устойчивость к электромагнитной помехе** — способность технического средства сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения технического средства.
- **Уровень электромагнитной совместимости** — регламентированный уровень кондуктивной электромагнитной помехи, используемый в качестве эталонного для координации между допустимым уровнем помех, вносимым техническими средствами энергоснабжающей организации и потребителей электрической энергии, и уровнем помех, воспринимаемым техническими средствами без нарушения их функционирования.
- **Характеристика ЭМС** — характеристика технического средства, отражающая возможность функционирования этого средства в заданной электромагнитной обстановке (ЭМО) и (или) степень его воздействия на другие технические средства.

- **Электромагнитная совместимость технических средств** — способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.
- **Электромагнитная обстановка** — совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах.
- **Электромагнитная помеха** — электромагнитное явление и процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства.

- Учитывая многообразие источников **ЭМП**, в отечественной и зарубежной практике принята упрощенная процедура стандартизированного описания **ЭМО** посредством введения типовых классов окружающей среды.
- Для каждого класса **ЭМО** в стандартах **МЭК** и других национальных стандартах устанавливаются нормы на вносимые уровни различных **ЭМП**.
- Для оптимального построения систем электроснабжения с учетом **ЭМС** технических средств необходимо знать уровни помехоустойчивости этих средств и уровни вносимых помех — эмиссии помех (рис. 1.1).

Надежность ТС

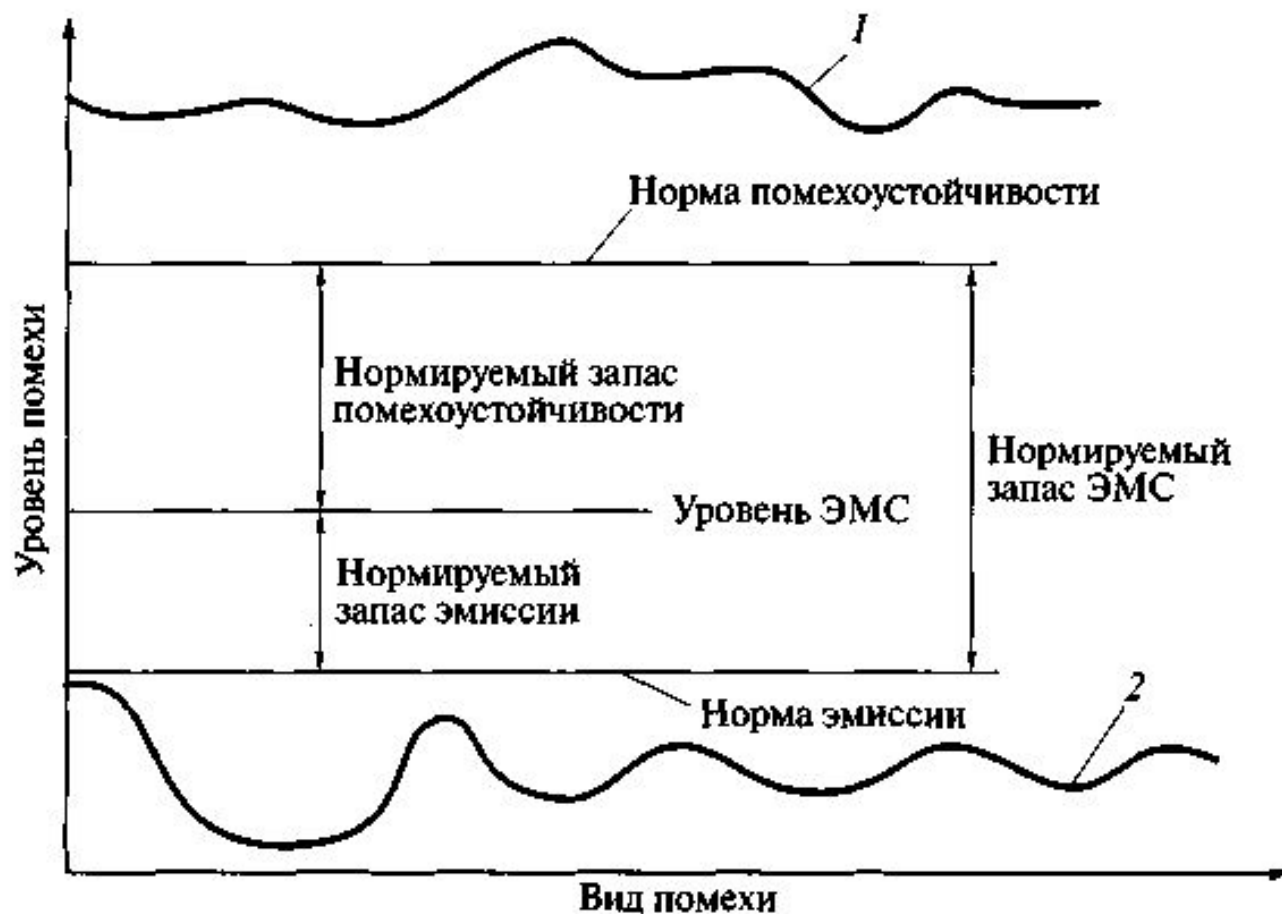


Рис. 1.1. Пояснение ЭМС технических средств:

1 — уровень помехоустойчивости ТС; 2 — уровень эмиссии помехи

- **Норма помехоустойчивости** — это максимальное значение определенной ЭМП, воздействующей на ТС, при котором это ТС может продолжать работу с требуемыми рабочими характеристиками.
- Норма помехоустойчивости устанавливается с запасом выше относительного уровня ЭМС, а **норма допустимой эмиссии** помех устанавливается с запасом ниже относительного уровня ЭМС. Разница рассматривается как нормированный запас ЭМС.

- Уровень помехоустойчивости конкретного ТС может быть выше нормы (кривая 7), а эмиссия помех может быть ниже нормы (кривая 2). Дополнительные запасы этих величин, определяемые конструкцией устройства, называются конструктивными.
- Соотношение уровней помехи и помехоустойчивости, показанные на рис. 1.1, характеризует случаи одного источника помех и одного ТС, чувствительного к ним. Этот уровень помехоустойчивости применим и к каждому из множества ТС, эксплуатируемых в сети. Допустимые уровни эмиссии помех каждого ТС устанавливаются таким образом, чтобы суммарный уровень помех не превышал норму на эмиссию для данного класса ЭМО.

- При разработке норм на допустимую эмиссию помех конкретными типами ТС оценивается характеристика типовой сети и типовое количество ТС в данной сети. Распределение суммарного допустимого уровня эмиссии между конкретными типами ТС производится с учетом режимов их работы, частоты использования, возможности подавления создаваемых ими помех с помощью внутренних схемных решений и т.п.

- Испытания на помехоустойчивость предназначены для проверки функционирования ТС при воздействии ЭМП.
- Уровни ЭМП в условиях эксплуатации и уровень восприимчивости ТС являются случайными величинами с распределениями соответственно (рис. 8.1).
- Уровень помехоустойчивости должен обеспечивать малое значение вероятности ухудшения качества функционирования ТС при испытаниях.
- Уровень ЭМС должен обеспечивать малую вероятность появления помех большого уровня и незначительное ухудшение качества функционирования ТС при воздействии помех с амплитудой, меньше уровня совместимости. Уровень ЭМС представляет собой опорное значение, на основе которого устанавливается правильное соотношение между уровнем помех и уровнем помехоустойчивости. Уровень совместимости выбирается таким образом, чтобы уровень помех соответствовал значениям вероятности его превышения амплитудой помехи, равной 0,05; 0,02; 0,01. Конкретные значения вероятности превышения амплитудой помехи уровня совместимости устанавливаются стандартами.

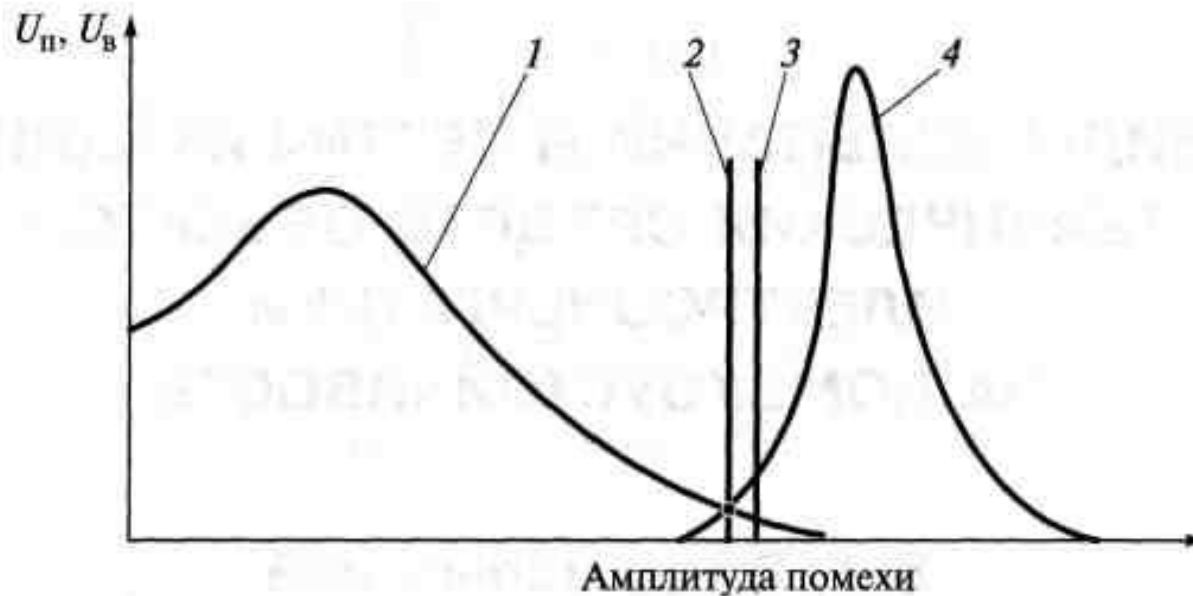


Рис. 8.1. Соотношение между уровнем ЭМП и уровнями помехоустойчивости, ЭМС и восприимчивости ТС:

1 — распределение уровня ЭМП; 2 — уровень ЭМС; 3 — уровень помехоустойчивости; 4 — распределение уровня восприимчивости ТС

Классификация ЭМО объекта по критериям МЭК 61000-2-5-2002

Класс 1. Легкая электромагнитная обстановка, при которой

- осуществлены оптимизированные и скоординированные мероприятия по подавлению помех, защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства резервировано, силовые и контрольные кабели проложены отдельно;
- выполнение заземляющего устройства, прокладка кабелей, экранирование произведено в соответствии с требованиями ЭМС;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

Класс 2. Электромагнитная обстановка средней тяжести, при которой

- цепи питания и управления частично оборудованы помехозащитными устройствами и устройствами для защиты от перенапряжений;
- отсутствуют силовые выключатели, устройства для отключения конденсаторов, катушек индуктивностей;
- электропитание устройств АСТУ осуществляется от сетевых стабилизаторов напряжения;
- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;
- токовые контуры разделены гальванически;
- предусмотрено регулирование влажности воздуха, материалы, способные электризоваться трением, отсутствуют;
- применение радиопереговорных устройств, передатчиков, запрещено.

Класс 3. Жесткая обстановка, при которой

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторного зажигания дуги в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- силовые, контрольные и коммутационных цепей кабели разделены;
- контрольные кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;
- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах, нет материалов, электризуемых трением;
- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлены ограничения приближения к приборам на определенное расстояние).

Класс 4. Крайне жесткая обстановка, при которой

- защита в цепях управления и силовых контурах от перенапряжений отсутствует;
- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;
- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;
- нет пространственного разделения силовых, контрольных кабелей и коммутационных цепей;
- допустимы любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;
- в непосредственной близости могут находиться мощные радиопередатчики;
- вблизи могут находиться дуговые технологические устройства (электропечи, сварочные машины и т.п.).

Выдержка из инструкции по эксплуатации микропроцессорного блока релейной защиты

1.3.2.11 Электрическая изоляция между входными и выходными цепями, электрически не связанными между собой, и между этими цепями и корпусом блока, в холодном состоянии при нормальных климатических условиях выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия в течение 1 минуты испытательное напряжение 2000 В (действующее значение) переменного тока частотой 50 Гц.

1.3.2.12 Электрическая изоляция между цепями, электрически не связанными между собой, и между этими цепями и корпусом блока выдерживает импульсное напряжение с параметрами:

- амплитуда от 4,5 до 5 кВ;
- крутизна фронта волны 1,2 мкс;
- время спада волны 50 мкс;
- длительность интервала между импульсами не менее 5 с.

1.3.2.13 Блок выполняет свои функции при воздействии высокочастотных помех с параметрами, указанными в таблице 2

Продолжение

Таблица 2

Вид помехи	Параметры помехи	Значение параметра
1. Высокочастотная помеха	Форма волны	Затухающие колебания высокой частоты, модуль огибающей которых уменьшается на 50% относительно максимального значения после 3-6 периодов
	Частота	$(1 \pm 0,1)$ МГц
2. Пачки импульсов	Амплитуда первого импульса	2,5 кВ
	Амплитуда импульсов	2,0 кВ
	Длительность импульса в пачке	(50 ± 15) нс.
	Длительность пачки	(15 ± 3) мс
	Период следования пачек	(300 ± 60) мс
3. Электростатический разряд	Напряжение разряда	8 кВ

Обеспечение электромагнитной совместимости

- 1. Организационное обеспечение ЭМС:** организационные решения, постановления, нормативно-технические документы, направленные на исключение или снижение до приемлемого уровня электромагнитных помех между техническими средствами
- 2. Экспертиза ЭМС:** экспериментальное и (или) теоретическое исследование состояния обеспечения ЭМС технического средства в заданной электромагнитной обстановке
- 3. Сертификация ТС на соответствие требованиям ЭМС:** мероприятия, в результате которых удостоверяется соответствие определенного типа технического средства требованиям государственных, международных или иных нормативно-технических документов, регламентирующих характеристики ЭМС, посредством выдачи предприятию изготовителю сертификата

4. Техническое обеспечение ЭМС: Технические решения, направленные на улучшение характеристик их ЭМС

В частности:

- **Подавление помех:** мероприятия, имеющие целью ослабление или устранение влияния помех
- **Экранирование** (электромагнитное): способ ослабления электромагнитной помехи с помощью экрана с высокой электрической и (или) магнитной проводимостями
- **Биологическая защита (от электромагнитного излучения):** обеспечение регламентированных уровней электромагнитных излучений, соответствующих установленным санитарными нормами
- ...

Условия проведения испытаний.

- Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях, если иные требования не оговорены в стандартах или технических условиях на ТС. При испытаниях ТС на устойчивость к ЭМП конкретного вида другие помехи, которые могут действовать в месте испытания, не должны оказывать влияния на качество функционирования ТС. При проведении испытаний ТС должно функционировать непрерывно в режиме, установленном в его технической документации и обеспечивающем наибольшую восприимчивость к воздействию помех. При испытаниях на устойчивость к одновременному воздействию помех нескольких видов должно выбираться сочетание уровней этих помех, обеспечивающее наибольшую восприимчивость их техническими средствами.

Выбор степеней жесткости испытаний.

Для большинства видов испытаний устанавливается несколько степеней жесткости. При этом следует учитывать:

- условия ЭМО, определяющие уровни помех;
- требования потребителя к надежности ТС;
- экономические ограничения.
- Указанные факторы должны рассматриваться во взаимосвязи, так как они могут оказывать противоположное воздействие на выбор степени жесткости испытаний.
- Существует пять степеней жесткости испытаний. Рекомендации по выбору степеней жесткости для различных испытаний ТС приведены в ГОСТ 29280-92 (МЭК-1000-4-92)

Контроль помехоустойчивости аппаратуры

Контроль помехоустойчивости аппаратуры может организовываться как в рамках общегосударственных систем (основанных на действующем законодательстве и государственных стандартах), так и в рамках отдельных ведомств (компаний) на основе внутренней директивной документации, государственных и международных стандартов, стандартов организации.

Понятие об основных системах стандартизации и контроля параметров ЭМС аппаратуры

А. Система ГОСТ Р:

Было:

- Законодательная база
- Список товаров и услуг, подлежащих обязательной сертификации
- Система стандартов ГОСТ, ГОСТ Р

Вводится:

Обязательная сертификация или декларирование соответствия на базе Технического регламента ЭМС.

Большинство стандартов ЭМС (применимых к аппаратуре) можно разделить на 3 группы.

- К первой группе относятся общие стандарты, содержащие основные определения, описание общих подходов к обеспечению ЭМС и проведению испытаний аппаратуры.
- Ко второй группе относятся стандарты, содержащие конкретные требования к аппаратуре определенного назначения (например – проводной связи) в части устойчивости к помехам и эмиссии помех.
- К третьей группе относятся стандарты на методы испытаний, устанавливающие степени жесткости испытаний (амплитуду испытательных воздействий), требования к характеру испытательных воздействий и методику проведения испытаний.

В реальности, иногда один и тот же стандарт содержит признаки различных групп.

ОБЩИЕ СТАНДАРТЫ ЭМС

ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения

ГОСТ Р 50649-94 Совместимость технических средств электромагнитная. Технические требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.2.5-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка.
Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств

ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ

ГОСТ 30804.6.1-2013(IEC 61000-6-1:2005)

(ГОСТ Р 51317.6.1-99) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.6.2-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.6.3-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Нормы и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.6.4-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний

ГОСТ Р 51318.24-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость оборудования информационных технологий к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51516-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость измерительных реле и устройств защиты к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51522-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51525-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость измерительных реле и устройств защиты к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ

ГОСТ Р 51317.4.2-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.4-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.5-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.11-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.14-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебаниям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний

Подробный список на сайте <http://www.ezop.ru/tech.htm>

Б. Отраслевые и корпоративные системы контроля и сертификации:

- Документы директивного характера, например - Приказ РАО «ЕЭС России» №229 от 16.11.1998, приказ ФСК № 208 от 09.08.2004
- Документы технического характера, например - РД 34.35.310-97 «Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем».

Для более тщательной проверки оборудования, к надежности которого предъявляются повышенные требования, а также с целью учета отраслевой специфики, некоторые организации вводят собственные процедуры контроля поставляемой им аппаратуры.

Испытания на устойчивость к помехам:

- устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания;
- устойчивость к колебаниям напряжения электропитания;
- устойчивость к изменениям частоты электропитания;
- электростатический разряд;
- наносекундные импульсные помехи;
- микросекундные импульсные помехи;
- магнитное поле промышленной частоты;
- импульсное магнитное поле;
- затухающее магнитное поле;
- колебательные затухающие помехи;
- кондуктивные радиочастотные помехи;
- устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю;
- устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока;
- устойчивость к искажениям синусоидальности напряжения электропитания.

Испытания на помехоэмиссию:

- напряженность поля промышленных радиопомех;
- напряжение промышленных радиопомех;
- эмиссия гармонических составляющих потребляемого тока;
- колебания напряжения, вызываемые ТС в сети.

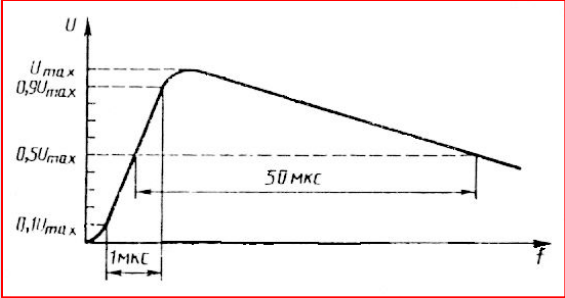
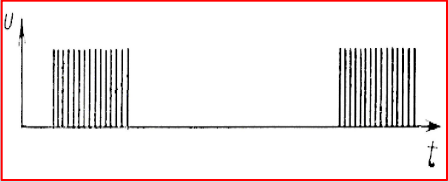
Критерии качества функционирования — совокупность свойств и параметров, характеризующих работоспособность технических средств при воздействии помех:

- **критерий А** — нормальное функционирование в соответствии с ТУ;
- **критерий В** — кратковременные нарушения с последующим восстановлением функций без вмешательства оператора;
- **критерий С** — временное нарушение работы, требующее вмешательства оператора для восстановления нормальных функций.

Степень жесткости испытаний — условный номер, отражающий интенсивность воздействующей помехи с параметрами, регламентированными в нормативной документации.

- Например, для наносекундных импульсных помех степени жесткости характеризуются амплитудой испытательных импульсов:
 - **1 степень** — 0,5 кВ;
 - **2 степень** — 1 кВ
 - **3 степень** — 2 кВ;
 - **4 степень** — 4 кВ.
- По требованию заказчика может использоваться специальная степень жесткости испытаний.

Основные испытания на устойчивость

Испытание	Имитируемое явление	Способ подачи воздействия
<p>Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии – МИП (ГОСТ Р 50007, ГОСТ Р 51317.4.2-99, <u>ГОСТ IEC 61000-4-5-2014</u>)</p>	<p>Импульсная помеха от молниевых разрядов</p> 	<p>Входы питания. Входы и выходы информационных цепей.</p>
<p>Устойчивость к наносекундным импульсным помехам - ГОСТ 30804.4.4-2013 (IEC 61000-4-4:2004)</p>	<p>Помехи при работе электромеханических устройств, коммутациях в элегазовых электроустановках.</p> 	<p>Входы питания. Входы и выходы информационных цепей.</p>

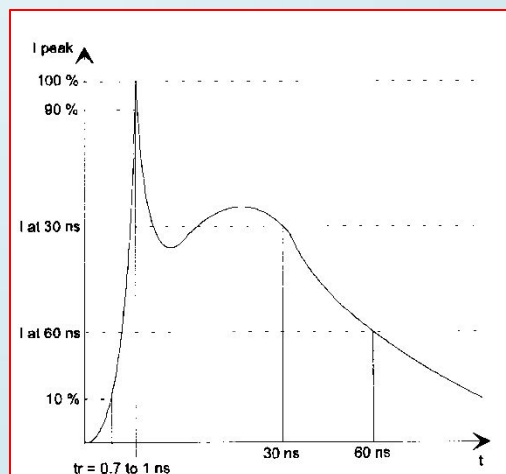
При испытаниях на устойчивость к помехам аппаратура подвергается воздействиям, имитирующим с той или иной степенью приближения помехи от основных источников, определяющих электромагнитную обстановку на большинстве объектов. При этом аппаратура находится в рабочем состоянии и включена.

Фиксируются не только физические повреждения аппаратуры под действием помех, но и случаи ее неправильной работы без физического повреждения компонентов.

Устойчивость к электростатическим разрядам (ГОСТ 30804.4.2-2013 (IEC 61000-4-2:2008)).

ЭСР с тела человека или заряженных предметов

Корпус аппаратуры, незакрытые клавиатуры, разъемы и т.п.



Устойчивость к затухающим импульсным помехам частотой 100 кГц и 1 МГц. (ГОСТ 29280, ГОСТ Р 51317.4.12-99, МЭК 1000-4-12-96)

Коммутационные помехи

Входы питания.

Входы и выходы информационных цепей.

Большинство испытательных воздействий подается через специальные устройства связи – развязки на входы питания и обмена информацией.

Электростатические разряды подаются непосредственно на доступные прикосновению части аппаратуры или рядом с ней при помощи специального устройства, внешне напоминающего пистолет.

При испытаниях на устойчивость к воздействию магнитных и электромагнитных полей работающая аппаратура помещается в область пространства, где с помощью специального излучателя (катушки с током или антенны) создано поле требуемой по условиям испытаний напряженности.

<p>Устойчивость к динамическим изменениям напряжения сети электропитания (ГОСТ 30804.4.11-2013 (IEC 61000-4-11:2004)).</p>	<p>Провалы, прерывания и выбросы напряжения питания</p>	<p>Входы питания.</p>
<p>Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю (ГОСТ30804.4.3-2013 (IEC 61000-4-3:2006)).</p>	<p>Работа радиопередатчиков различного назначения</p>	<p>Аппаратура в целом с присоединенными кабелями</p>
<p>Устойчивость к магнитным полям промышленной частоты по ГОСТ Р 50648, ГОСТ Р 51317.4.8-99, МЭК 1000-4-8-93 ГОСТ IEC 61000-4-8-2013</p>	<p>Работа силового электрооборудования в нормальном режиме и в режиме КЗ</p>	<p>Аппаратура в целом с присоединенными кабелями</p>

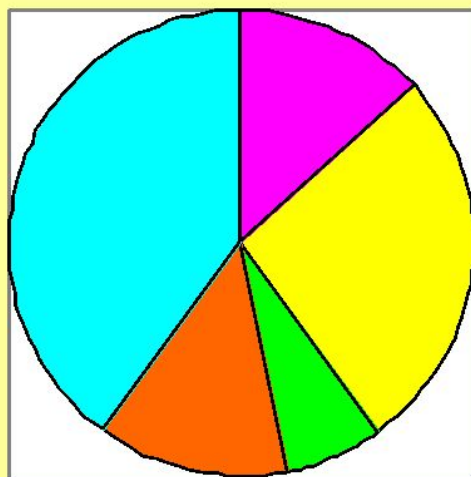
Испытания проводятся в специализированной испытательной лаборатории. По их результатам оформляются протоколы испытаний. В России большинство испытательных лабораторий имеет аккредитацию Госстандарта РФ.

Протоколы ведущих зарубежных испытательных центров (например, КЕМА) также имеют силу на территории РФ.

Протоколы испытаний на ЭМС (в случае положительного исхода), а также испытаний на электрическую безопасность и т.п. служат основанием для выдачи сертификатов соответствия на аппаратуру.

Результаты испытаний аппаратуры РЗА и связи на ЭМС

Данные получены на основе испытаний аппаратуры связи и РЗА в рамках процедур сертификации и экспертной оценки (по данным ВНИИЭ, Ростест – Москва, «ЭЗОП»)



- МИП
- НИП
- Динамические изменения
- ЭСР
- Без отказов

Стандарты на испытания на устойчивость к электромагнитным помехам

- В настоящее время в России вводятся в действие новые отечественные стандарты и методы испытаний (свыше 50 стандартов), гармонизированные с международными и европейскими стандартами, регламентирующими объем современных требований к техническим средствам по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС). Решения о совершенствовании регулирования в области ЭМС были связаны, прежде всего, с широким распространением микроэлектроники и компьютерной техники в бытовой, производственной и хозяйственной сферах.

На диаграмме отражены результаты испытаний аппаратуры связи и защиты для электроэнергетики, проводившихся в 1998 – 2001 гг. Видно, что более половины типов представленной на испытания аппаратуры не соответствовали требованиям ЭМС в части устойчивости минимум к одному из видов помех. По результатам испытаний проводилась доработка аппаратуры.

Во избежание серьезных проблем в эксплуатации, на стадии выбора аппаратуры следует получить от ее поставщика или производителя информацию об устойчивости данной аппаратуры к помехам. Желательно, чтобы эта информация подтверждалась протоколами независимых испытаний и сертификатом соответствия.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
51317.6.5—
2006
(МЭК 61000-6-5:
2001)

Совместимость технических средств
электромагнитная

УСТОЙЧИВОСТЬ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ
ПОМЕХАМ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ
И ПОДСТАНЦИЯХ

Требования и методы испытаний

IEC 61000-6-5: 2001

Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 6-5: Generic standards — Immunity
for power station and substation environments
(MOD)

Настоящий стандарт устанавливает требования электромагнитной совместимости в части устойчивости к электромагнитным помехам (далее — помехи) к электротехническим и электронным изделиям и аппаратуре (далее — технические средства), предназначенным для применения организациями — поставщиками электрической энергии при производстве, передаче и распределении электрической энергии и в связанных с этими процессами телекоммуникационных системах.

Настоящий стандарт устанавливает требования электромагнитной совместимости в части устойчивости к электромагнитным помехам (далее — помехи) к электротехническим и электронным изделиям и аппаратуре (далее — технические средства), предназначенным для применения организациями — поставщиками электрической энергии при производстве, передаче и распределении электрической энергии и в связанных с этими процессами телекоммуникационных системах.

Критерии качества функционирования при испытаниях на помехоустойчивость, установленные в настоящем стандарте, учитывают назначение и выполняемые задачи ТС конкретного вида, применяемых на электростанциях и подстанциях.

При эксплуатации ТС уровни внешних помех на электростанциях и подстанциях могут превышать уровни испытательных воздействий, установленные в настоящем стандарте. В этом случае должны быть применены специальные меры подавления помех.

7 Условия проведения испытаний

Режим функционирования испытуемого ТС должен быть выбран из предусмотренных в технических документах на ТС конкретного вида и обеспечивать наименьшую устойчивость к помехе конкретного вида. Выбирают конфигурацию, при которой испытуемое ТС обладает наименьшей помехоустойчивостью при соответствии условиям установки и применения ТС.

Если не представляется возможным провести испытания на помехоустойчивость во всех режимах функционирования, предусмотренных в технических документах на ТС конкретного вида, должен быть выбран наиболее критичный режим функционирования.

8 Критерии качества функционирования

Критерии качества функционирования ТС при испытаниях на помехоустойчивость непосредственно связаны с характеристиками воздействующих помех (см. таблицу 6) и характером основных функций ТС.

ГОСТ Р 51317.6.5—2006

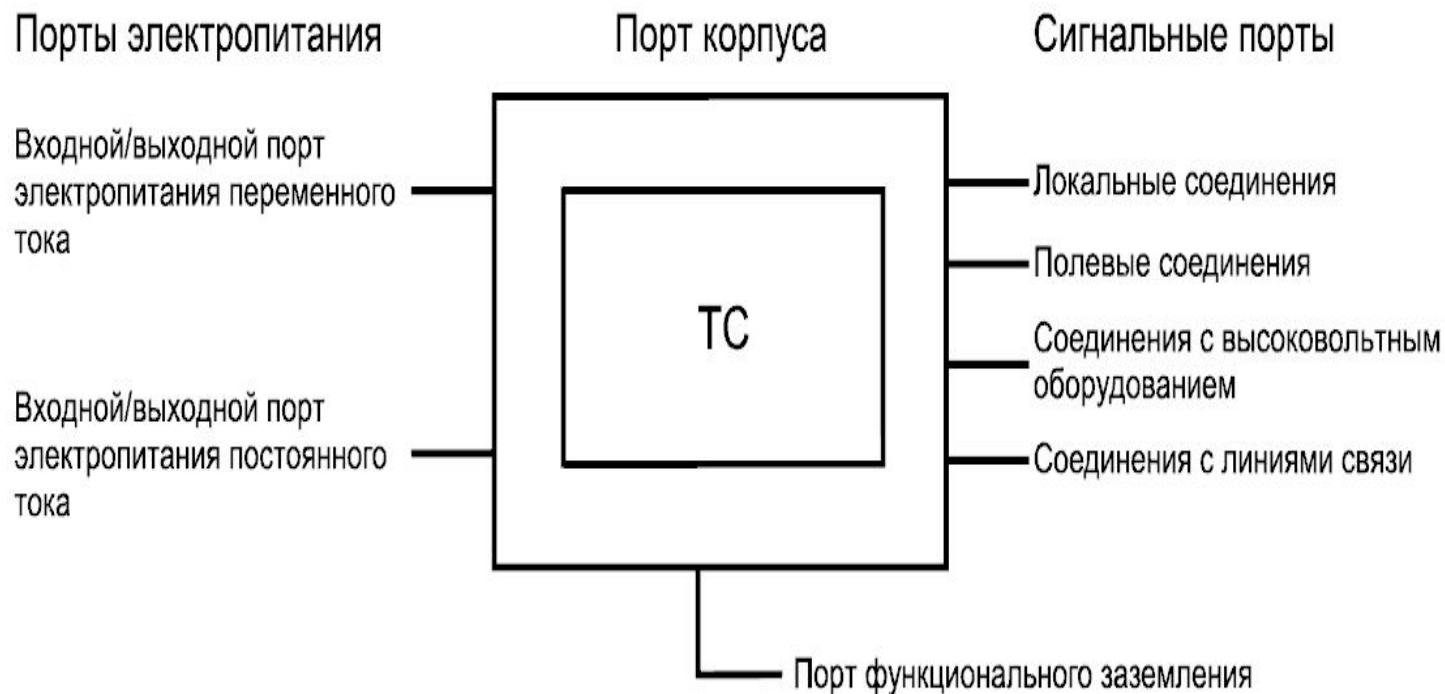
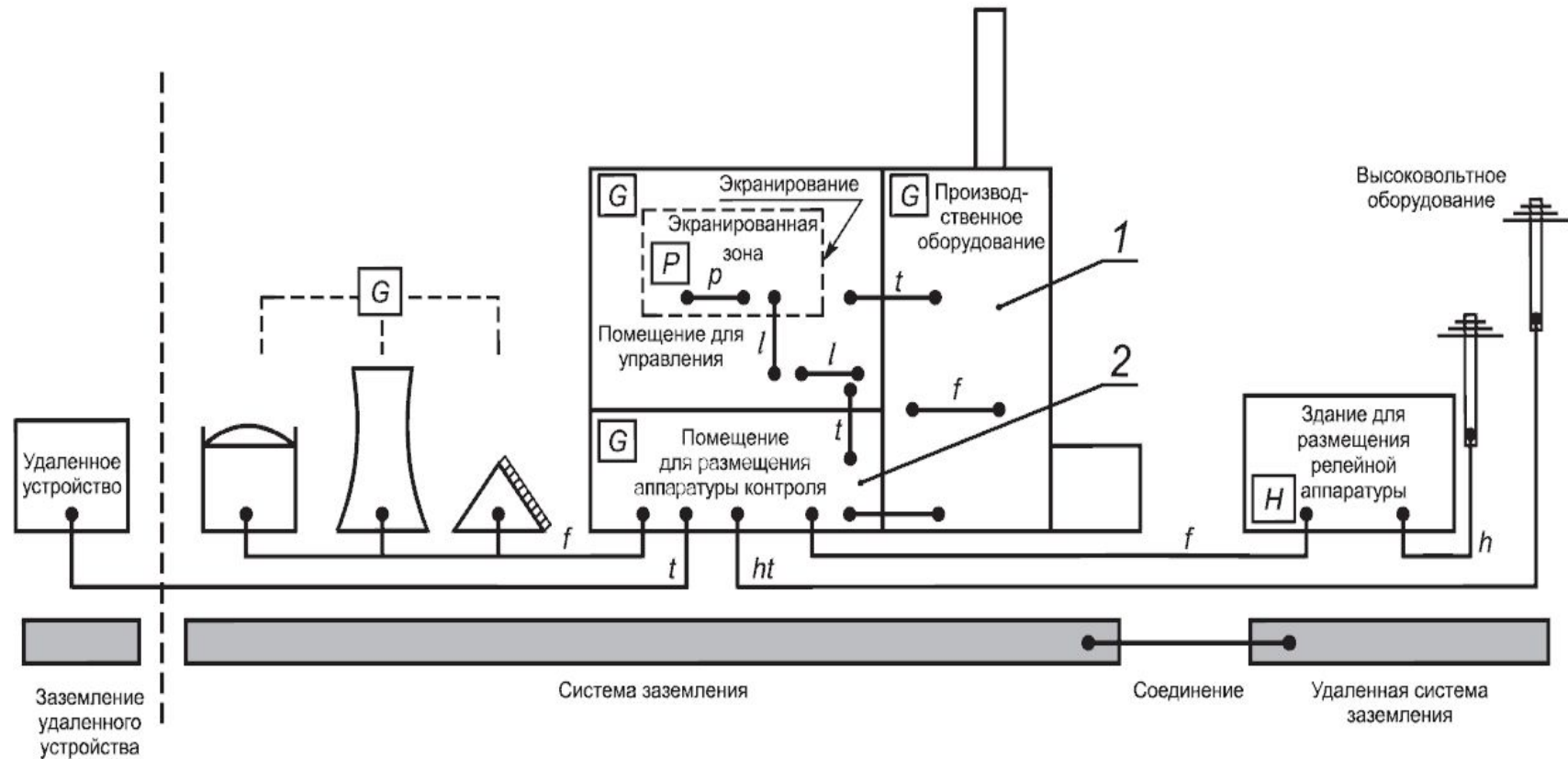


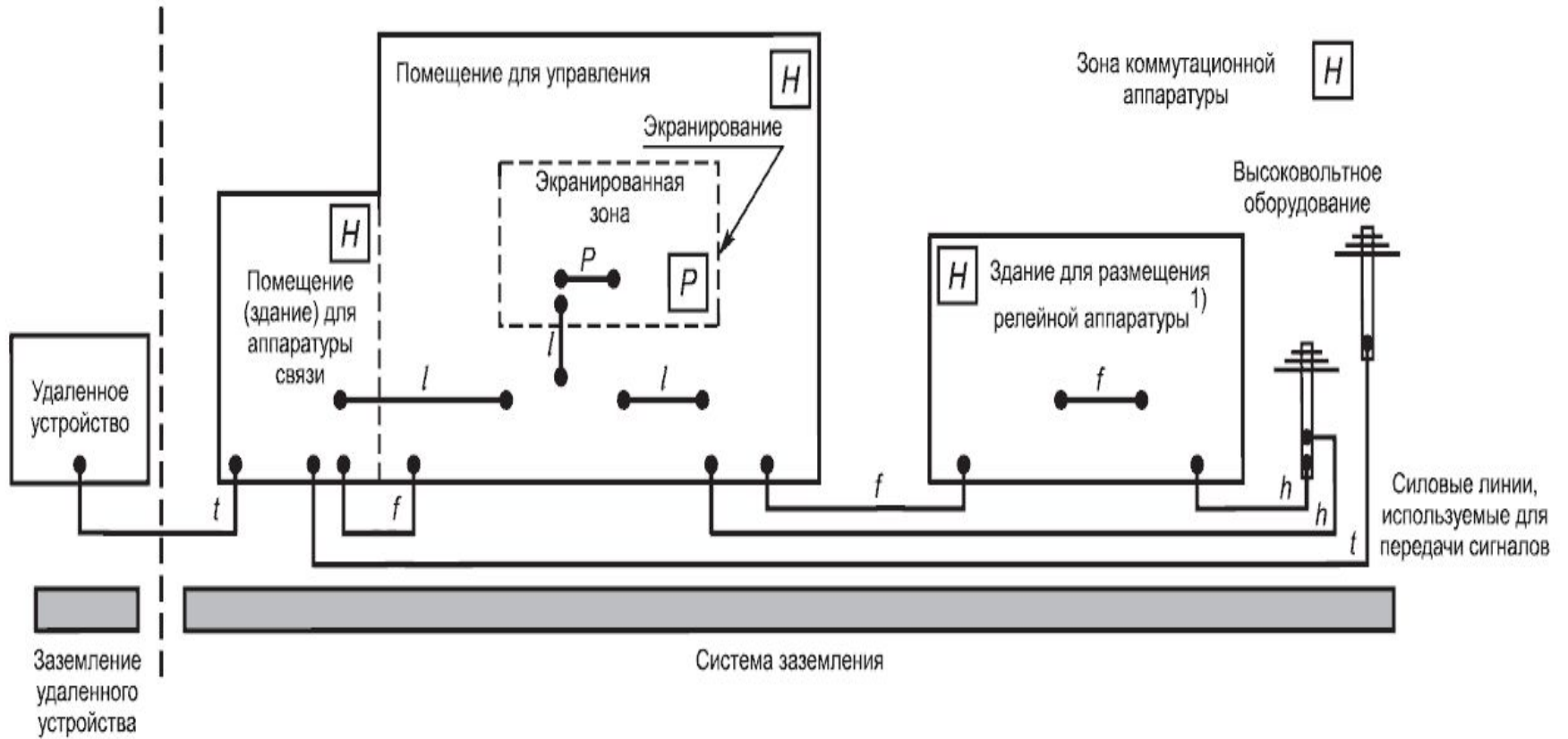
Рисунок 1 — Порты ТС

ГОСТ Р 51317.6.5—2006



- 1 — Паровой котел, турбина, генератор, коммутационная аппаратура, оборудование подстанции среднего напряжения и т. д.;
- 2 — Аппаратура контроля и управления, электрические реле, преобразователи и т. д.

ГОСТ Р 51317.6.5—2006



Т а б л и ц а 7 — Критерии качества функционирования ТС при испытаниях на помехоустойчивость (для основных функций ТС в порядке убывания критичности)

Функции ТС ¹⁾ (в порядке убывания критичности)	Функциональные требования в зависимости от воздействующих помех				
	Непрерывные электромагнитные помехи	Переходные электромагнитные помехи с высокой вероятностью возникновения	Переходные электромагнитные помехи с низкой вероятностью возникновения		
Защита ²⁾	Нормальное функционирование в соответствии с техническими документами на ТС				
Обработка данных и регулирование в режиме «on-line»					
Снятие показаний				Кратковременное прекращение функционирования ³⁾	
Управление и контроль					
Наблюдение				Временное прекращение функционирования, самовосстановление ³⁾	
Интерфейс «человек — машина»				Остановка и повторный запуск ³⁾	
Сигнализация				Кратковременная задержка ⁷⁾ . Временная неправильная индикация	
Передача данных и сообщений ³⁾				Отсутствие потерь, возможное повышение вероятности ошибочного приема символов ⁸⁾	Временные потери ⁸⁾
Сбор и хранение данных				Временное ухудшение функционирования ^{9), 9)}	
Измерения				Временное ухудшение функционирования, самовосстановление ¹⁰⁾	
Обработка данных вне режима «on-line»	Временное ухудшение функционирования ⁹⁾	Временное прекращение функционирования, повторный запуск ⁹⁾			
Мониторинг	Временное ухудшение функционирования	Временное прекращение функционирования			
Самодиагностика	Временное прекращение функционирования, самовосстановление ¹¹⁾				

1) Допускается изменение качества функционирования для ТС, способных выполнять разные функции.

Т а б л и ц а 1 — Помехоустойчивость. Порт корпуса

Вид помех	Стандарт на метод испытаний на помехоустойчивость	ТС, предназначенные для применения на ¹⁾				Примечание
		электростанциях и подстанциях среднего напряжения G		подстанциях высокого напряжения H		
		Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	
Магнитное поле промышленной частоты	ГОСТ Р 50648	2	3 А/м (непрерывное магнитное поле)	2	3 А/м (непрерывное магнитное поле)	Применяют для мониторов на ЭЛТ в соответствии с ГОСТ Р 51318.24, Б.2 (приложение Б)
		5	100 А/м (непрерывное магнитное поле) 1000 А/м (кратковременное магнитное поле, 1 с)	5	100 А/м (непрерывное магнитное поле) 1000 А/м (кратковременное магнитное поле, 1 с)	
Радиочастотное электромагнитное поле 80 — 3000 МГц ²⁾	ГОСТ Р 51317.4.3	3	10 В/м ³⁾	3	10 В/м ³⁾	Данный уровень позволяет применять портативные радиочастотные излучающие средства на расстоянии 1—2 м от установленного ТС (см. ГОСТ Р 51317.4.3)
Электростатические разряды	ГОСТ Р 51317.4.2	3	6 кВ (контактный разряд) 8 кВ (воздушный разряд)	3	6 кВ (контактный разряд) ⁴⁾ 8 кВ (воздушный разряд)	—

¹⁾ См. рисунки 3 и 4.

²⁾ При частотах свыше 1 ГГц испытания проводят в полосе частот, установленной в стандарте на метод испытаний на помехоустойчивость.

³⁾ При размещении ТС в более критичных условиях (например в непосредственной близости к радиовещательной станции) для подтверждения соответствия следует применять более жесткие требования.

⁴⁾ Для ТС, применяемых в обстановке с высокой вероятностью электростатических разрядов (вне зданий), следует применять повышенные испытательные уровни.

Т а б л и ц а 2 — Помехоустойчивость. Сигнальные порты

Вид помех	Стандарт на метод испытаний на помехоустойчивость	Тип соединения ¹⁾								Примечание
		Локальное (l)		Полевое (l)		С высоковольтным оборудованием (h)		С линиями связи (f)		
		Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	Степень жесткости испытаний	Испытательный уровень	
Напряжение промышленной частоты	ГОСТ Р 51317.4.16	—	—	4	30 В (длительные помехи) 300 В (1 с)	4	30 В (длительные помехи) 300 В (1 с)	4	30 В (длительные помехи) 300 В (1 с)	—
Микросекундные импульсные помехи большой энергии (1/50 мкс — 6,4/16 мкс) по схеме: - провод—провод - провод—земля	ГОСТ Р 51317.4.5	2 1	1 кВ 0,5 кВ	3 2	2 кВ 1 кВ	4 3	4 кВ 2 кВ	4 3	4 кВ ²⁾ 2 кВ ²⁾	Применяют для симметричных линий и линий передачи данных малой протяженности. См. ГОСТ Р 51317.4.5, А.1 (приложение А)
Повторяющиеся колебательные затухающие помехи по схеме: - провод—провод - провод—земля	ГОСТ Р 51317.4.12	—	—	2	1 кВ 0,5 кВ	3	2,5 кВ 1 кВ	3	2,5 кВ ³⁾ 1 кВ	Испытания проводят при частоте 1 МГц (более высокие частоты для испытаний оборудования для подстанций с газовой изоляцией — на рассмотрении)
Наносекундные импульсные помехи	ГОСТ Р 51317.4.4	3	1 кВ	4	2 кВ	X	4 кВ	X	4 кВ	Частоту повторения 2,5 кГц применяют при напряжении 4 кВ
Кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями	ГОСТ Р 51317.4.6	3	10 В	3	10 В	3	10 В	3	10 В	10 В = 140 дБ (мкВ)

¹⁾ См. рисунки 3 и 4.

²⁾ Для подачи помех на сигнальные порты, предназначенные для подключения к линиям связи с объектами в удаленных районах, следует применять испытательный генератор микросекундных импульсных помех (10 / 700 мкс — 4 / 300 мкс) по ГОСТ Р 51317.4.5.

³⁾ Применяют только для соединений, используемых при передаче сигналов по высоковольтным линиям.

ОСТ 30804.6.2-2013

**Совместимость технических средств
электромагнитная. Устойчивость
к электромагнитным помехам технических
средств, применяемых в промышленных зонах.
Требования и методы испытаний**

Настоящий стандарт применяют при отсутствии межгосударственных стандартов в области электромагнитной совместимости, устанавливающих требования помехоустойчивости для ТС конкретных групп, предназначенных для применения в промышленных зонах.

- Настоящий стандарт устанавливает требования по обеспечению электромагнитной совместимости в части устойчивости к электромагнитным помехам к электротехническим, электронным и радиоэлектронным изделиям и аппаратуре, предназначенным для применения в промышленных зонах, в соответствии с приведенными ниже условиями отнесения мест эксплуатации технических средств (ТС) к указанным зонам, а также методы соответствующих испытаний. Область применения настоящего стандарта охватывает полосу частот от 0 до 400 ГГц. Испытания ТС на частотах, применительно к которым требования не установлены, не проводят

- К применяемым в промышленных зонах относят ТС, предназначенные для подключения к электрическим сетям, получающим питание от силовых трансформаторов высокого или среднего напряжения, предназначенных для электроснабжения установок, питающих электрической энергией промышленное оборудование и оборудование аналогичного назначения, функционирующие в местах эксплуатации, характеризующиеся хотя бы одним из следующих условий:

наличием в месте эксплуатации или в непосредственной близости промышленных, научных и медицинских высокочастотных устройств класса А;

частыми переключениями значительных индуктивных и емкостных нагрузок в электрических сетях;

значительными токами, потребляемыми ТС, и связанными с ними уровнями магнитных полей.

Качество электроэнергии

Лекция № 3

по курсу

Электромагнитная совместимость
в электроэнергетике

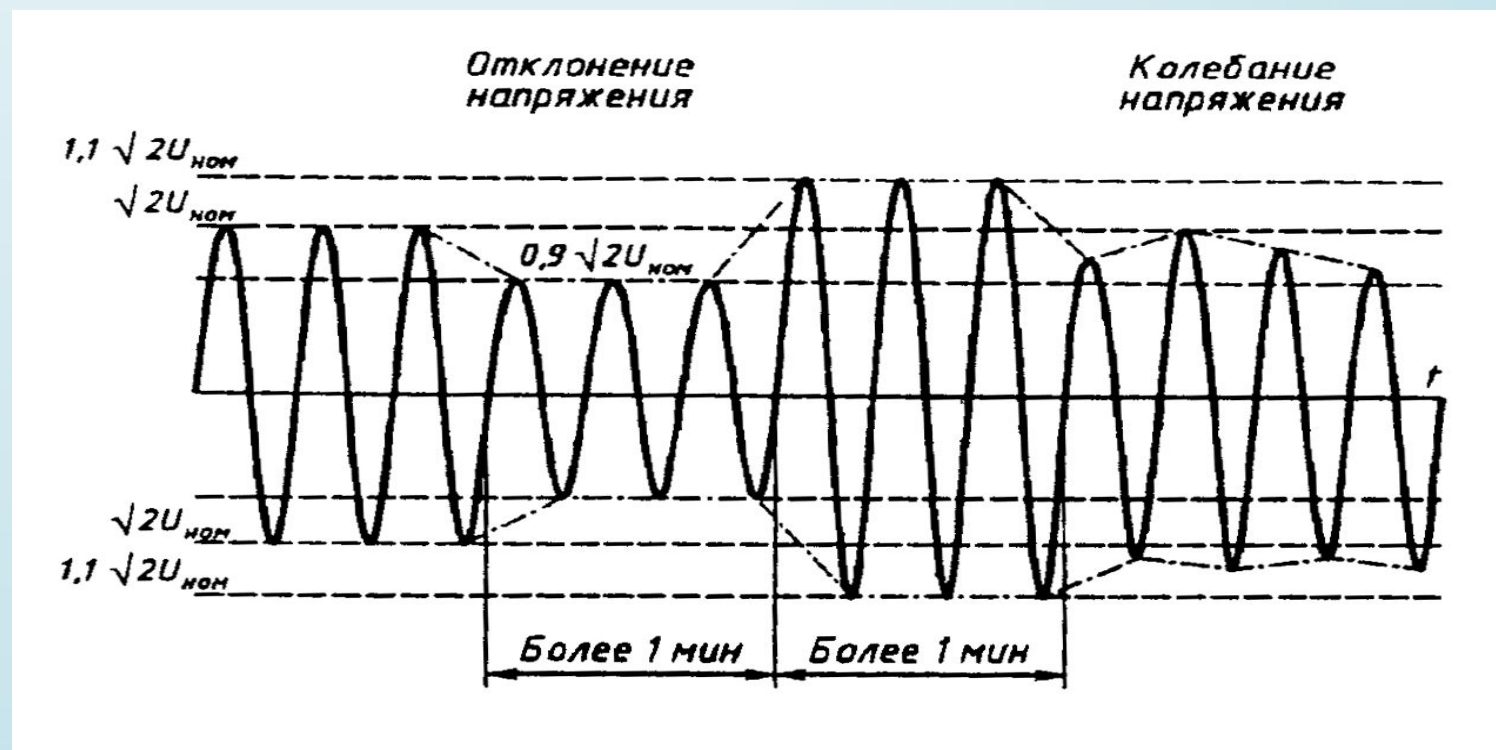
Показатели качества электрической энергии, методы их оценки и нормы определяет

**Межгосударственный стандарт
«Электрическая энергия. Совместимость
технических средств электромагнитная.
Нормы качества электрической энергии в
системах электроснабжения общего
назначения» ГОСТ 32144— 2013 .**

- **3.1.5 потребитель электрической энергии:** Юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью) на основании заключенного договора.
- **3.1.6 точка передачи электрической энергии:** Точка электрической сети, находящаяся на линии раздела объектов электроэнергетики между владельцами по признаку собственности или владения на ином предусмотренном законами основании, определенная в процессе технологического присоединения.
- **3.1.7 точка общего присоединения:** электрически ближайшая к конкретной нагрузке пользователя сети точка, к которой присоединены нагрузки других пользователей сети.

	Наименование ПКЭ	Наиболее вероятная причина
Отклонение напряжения		
δU_y	установившееся отклонение напряжения	график нагрузки потребителя
Колебания напряжения		
δU_t	размах изменения напряжения	потребитель с резкопеременной нагрузкой
P_t	доза фликера	
Несимметрия напряжений в трёхфазной системе		
K_{2V}	коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности	потребитель с несимметричной нагрузкой
K_{0V}	коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	
Несинусоидальность формы кривой напряжения		
K_U	коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	потребитель с нелинейной нагрузкой
$K_{U(n)}$	коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения	
Прочие		
Δf	отклонение частоты	особенности работы сети, климатические условия или природные явления
Δt_{Π}	длительность провала напряжения	
$U_{\text{имп}}$	импульсное напряжение	
$K_{\text{пер}U}$	коэффициент временного перенапряжения	

Отклонение напряжения - отличие фактического напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения от его номинального значения



Медленные изменения напряжения

- Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети. Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное U_{+} отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального / согласованного значения, %:

Отклонение напряжения определяется разностью между действующим U и номинальным $U_{ном}$ значениями напряжения, B

$$\delta U = U - U_{ном}$$

или, %

$$\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100$$

Установившееся отклонение напряжения δU_y равно, %:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} 100$$

где U_y — установившееся (действующее) значение напряжения за интервал усреднения

Влияние отклонения напряжения на потребителей:

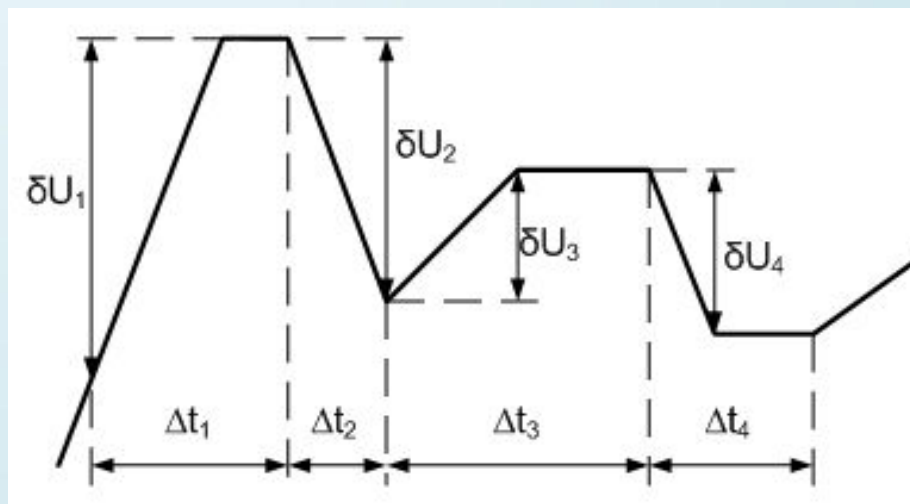
Технологические установки:

- При снижении напряжения существенно **ухудшается технологический процесс**, увеличивается его длительность.
- При повышении напряжения **снижается срок службы оборудования**, повышается вероятность аварий.

Освещение:

- **Снижается срок службы ламп** освещения, так при величине напряжения $1,1 \cdot U$ ном срок службы ламп накаливания снижается в 4 раза.

Колебания напряжения — быстро изменяющиеся отклонения напряжения длительностью от полупериода до нескольких секунд



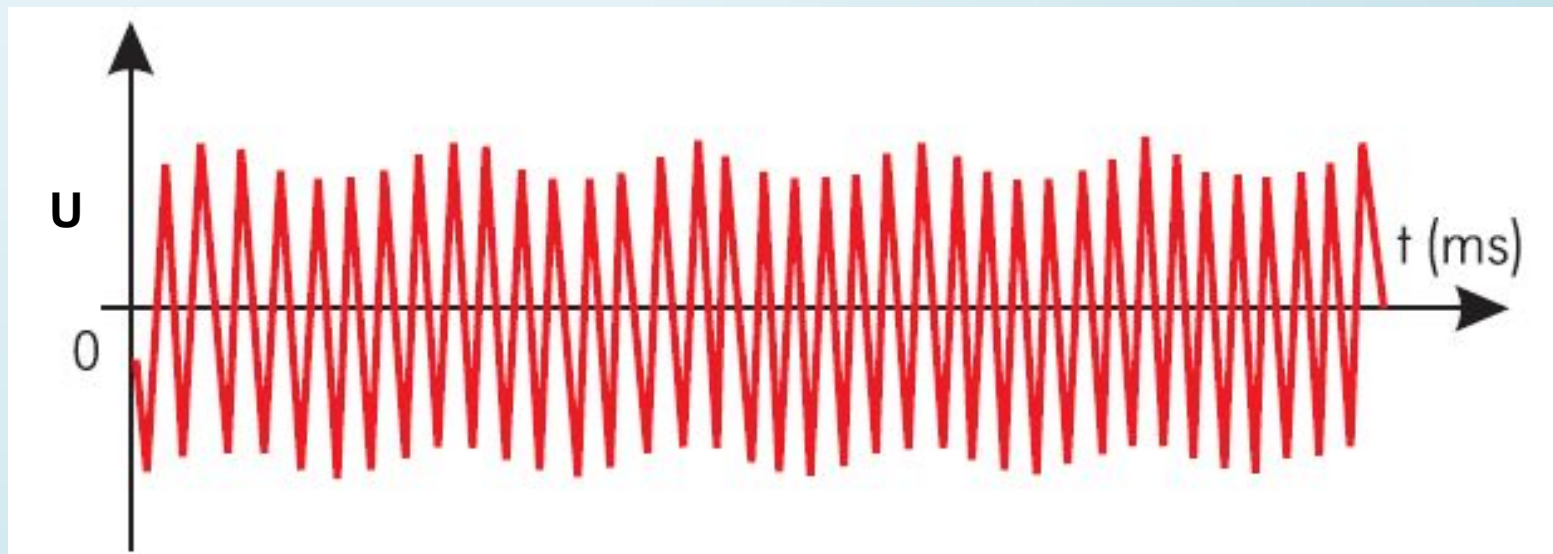
Колебания напряжения характеризуются двумя показателями :

- размахом изменения напряжения;
- дозой фликера (-мерцание).

Размах изменения напряжения Ut вычисляют по формуле, %

$$\delta U_t = \frac{(U_i - U_{i+1})}{U_{ном}} 100$$

где U_i , U_{i+1} — значения следующих один за другим экстремумов (или экстремума и горизонтального участка) огибающей среднеквадратичных значений напряжения



Быстрые флуктуации напряжения (фликер)

Влияние колебаний напряжения на работу электрооборудования:

- Отклонения напряжения, усугублённые резкопеременным характером, ещё более снижают эффективность работы и срок службы оборудования. Способствуют отключению автоматических систем управления и повреждению оборудования.
- Колебания амплитуды и, в большей мере, фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателя, приводимых механизмов и систем. В частности, это ведёт к снижению усталостной прочности аппаратов и снижению срока их службы.

Провал напряжения - внезапное и значительное снижение напряжения (менее 90 % $U_{ном}$) длительностью от полупериода до нескольких десятков секунд с последующим восстановлением напряжения.



Характеристикой **провала напряжения** является его длительность - Δt_n , равная:

$$\Delta t_n = t_k - t_n$$

где t_n и t_k - начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

Провал напряжения характеризуется также глубиной провала напряжения δU_n . Провал напряжения вычисляется по выражениям

$$\delta U_n = U_{\text{ном}} - U_{\text{мин}}$$

или, %

$$\delta U_n = \frac{U_{\text{ном}} - U_{\text{мин}}}{U_{\text{ном}}} 100$$

Влияние провалов напряжения на потребителей:

Технологические установки:

- При провалах напряжения может произойти **срыв технологического процесса.**

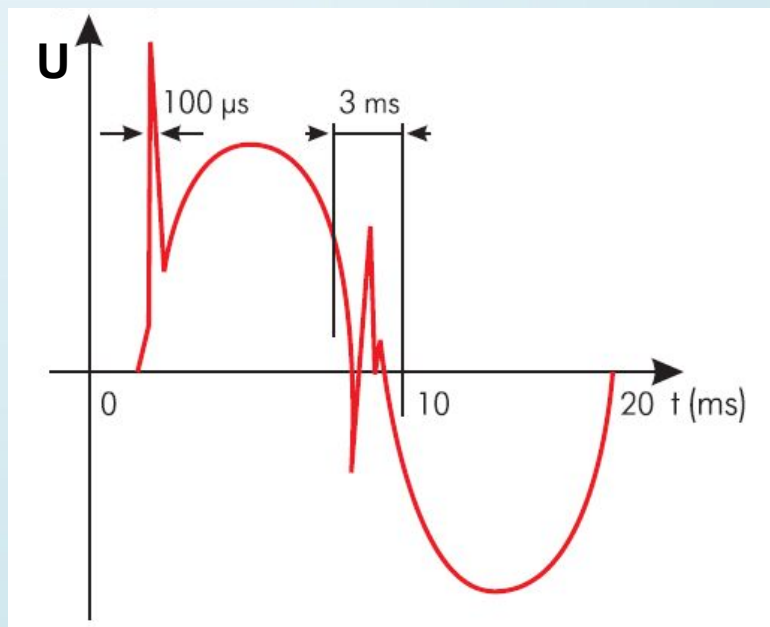
Электропривод:

- При снижении напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя на 15 % момент снижается на 25 %. **Двигатель может не запуститься или остановиться.**

При значительном снижении напряжения на выводах двигателей, работающих с полной нагрузкой, момент сопротивления механизма может превысить вращающий момент, что приводит к “опрокидыванию” двигателя, т.е. к его остановке.



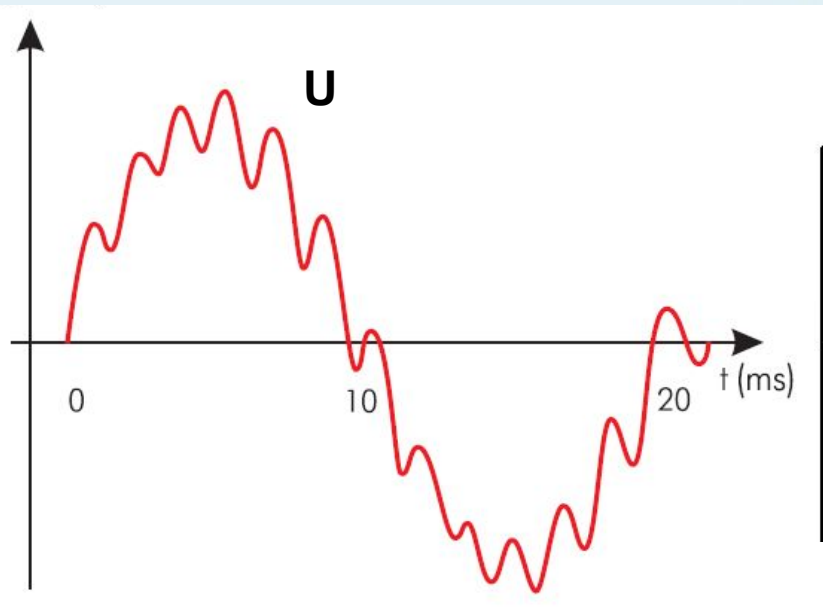
Импульс напряжения - резкое повышение напряжения длительностью менее 10 миллисекунд.



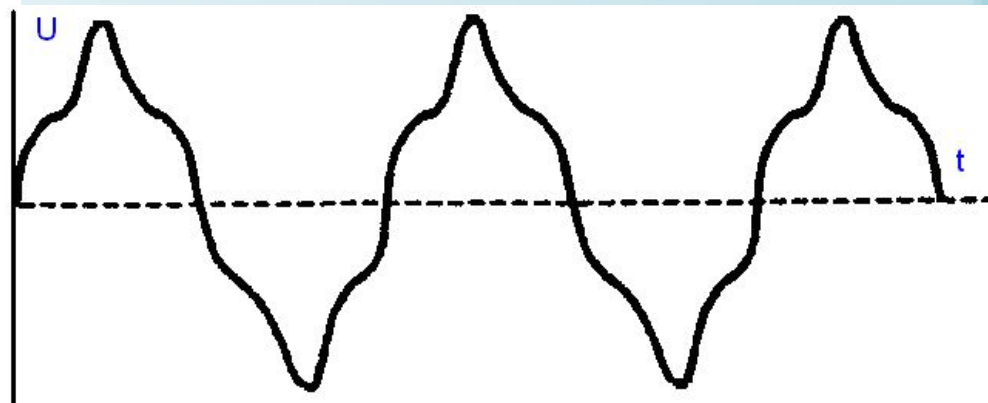
Характеризуется параметрами:

- амплитуда импульса - максимальное мгновенное значение импульса напряжения;
- длительность импульса - интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального уровня;

Несинусоидальность напряжения — искажение синусоидальной формы кривой напряжения.



Гармоника высокого порядка (>10)



Третья гармоника

Наличие гармоник в питающем напряжении

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются: - значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка K_{un} в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии; - значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к средне- квадратическому значению основной составляющей) K_U , % в точке передачи электрической энергии.

Несинусоидальность напряжения характеризуется следующими показателями :

- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения.

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U определяется по выражению, %

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} 100$$

где $U(n)$ — действующее значение n -ой гармонической составляющей напряжения, В;

$U(1)$ — действующее значение напряжения основной частоты, В.

Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения равен, %

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} 100$$

Для вычисления K_U необходимо определить уровень напряжения отдельных гармоник, генерируемых нелинейной нагрузкой.

- Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы: а) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $KU(n)$, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, в течение 95 % времени интервала в одну неделю; б) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $KU(n)$, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, увеличенных в 1,5 раза, в течение 100 % времени каждого периода в одну неделю; в) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения KU , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 4, в течение 95 % времени интервала в одну неделю; г) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения KU , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 5, в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих

ГОСТ 32144—2013

Т а б л и ц а 1 — Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения не кратных трем $K_{U(n)}$ [см. 4.2.4.1, перечисления а), б)]

Порядок гармонической составляющей n	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, % U_1			
	Напряжение электрической сети, кВ			
	0,38	6—25	35	110—220
5	6	4	3	1,5
7	5	3	2,5	1
11	3,5	2	2	1
13	3,0	2	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1	0,5
19	1,5	1	1	0,4
23	1,5	1	1	0,4
25	1,5	1	1	0,4
>25	1,5	1	1	0,4

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих

ГОСТ 32144—2013

Т а б л и ц а 4 — Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U [см. 4.2.4.1, перечисление в)]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0,38	6—25	35	110—220
8,0	5,0	4,0	2,0

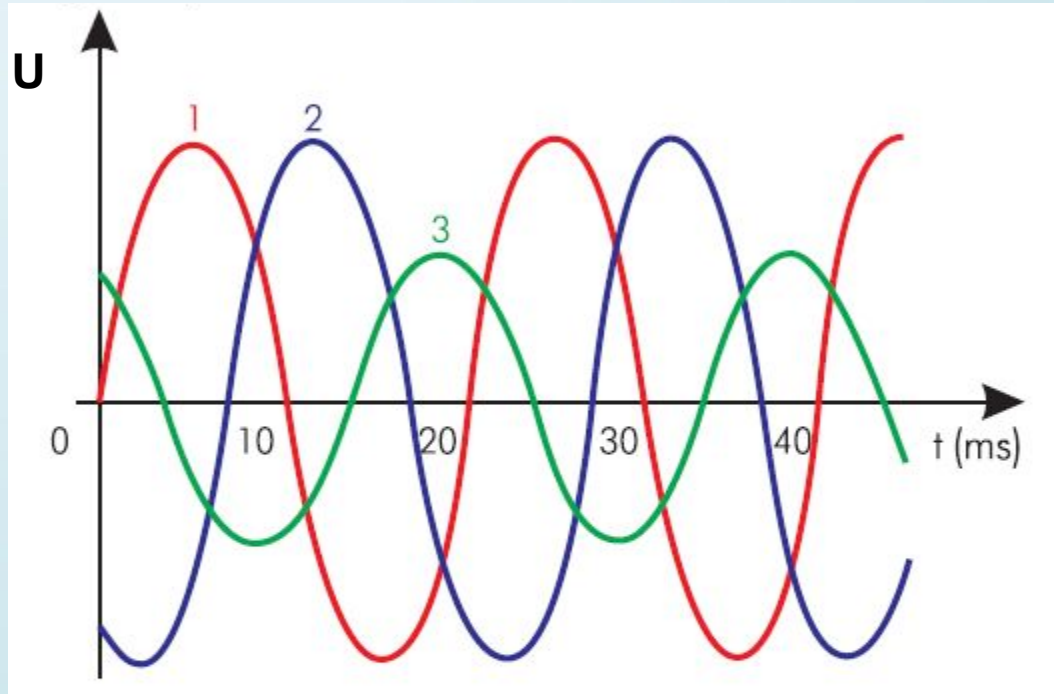
Т а б л и ц а 5 — Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U [см. 4.2.4.1, перечисление г)]

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0,38	6—25	35	110—220
12,0	8,0	6,0	3,0

Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования

- Фронты несинусоидального напряжения воздействуют **на изоляцию линий** электропередач - учащаются однофазные короткие замыкания на землю.
- В электрических машинах, включая трансформаторы, **возрастают суммарные потери**. Так, при коэффициенте искажения синусоидальной формы кривой напряжения $KU = 10\%$ суммарные потери в сетях предприятий, крупных промышленных центров, сетях электрифицированного железнодорожного транспорта могут достигать 10...15 %.
- Возрастает **недоучёт электроэнергии**, вследствие тормозящего воздействия на индукционные счётчики гармоник обратной последовательности.

Несимметрия напряжений — несимметрия трёхфазной системы напряжений



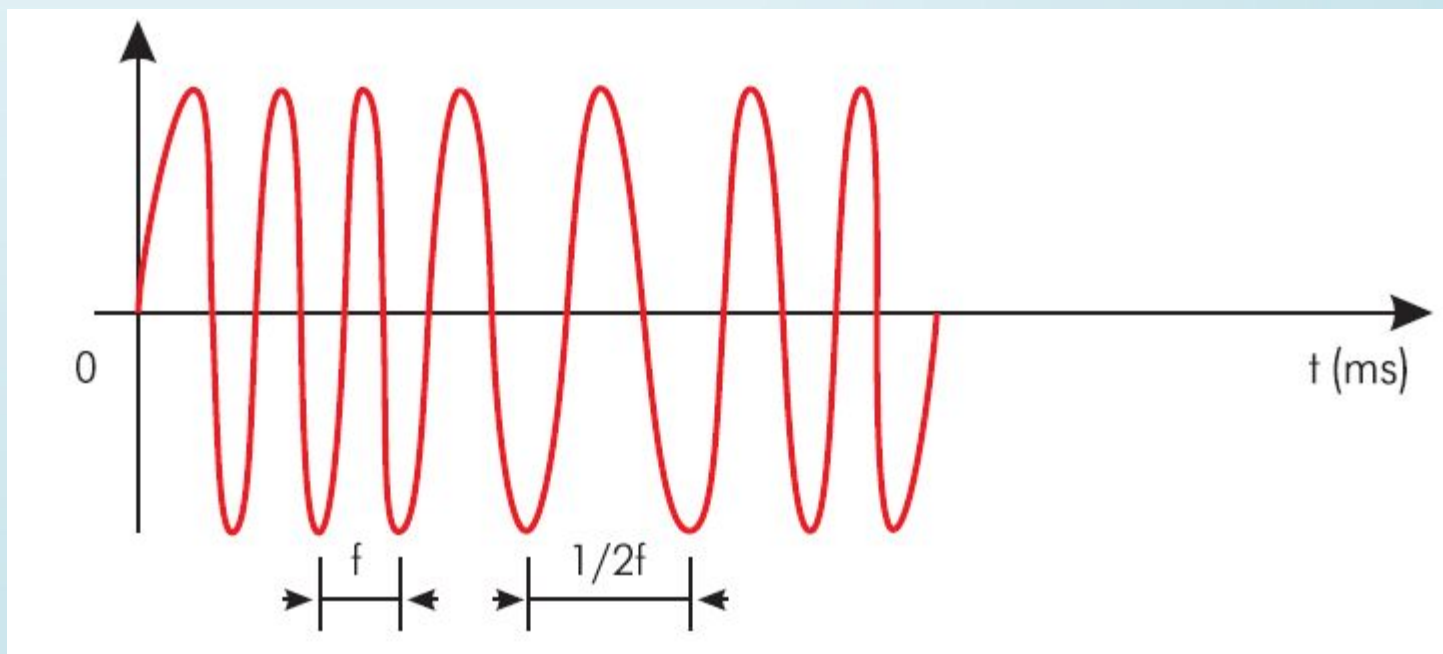
Несимметрия напряжений характеризуется следующими показателями:

- коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Влияние несимметрии напряжений на работу электрооборудования:

- **Возрастают потери электроэнергии** в сетях от дополнительных потерь в нулевом проводе.
- Однофазные, двухфазные потребители и разные фазы трёхфазных потребителей электроэнергии **работают на различных не номинальных напряжениях**, что вызывает те же последствия, как при отклонении напряжения.
- В электродвигателях, кроме отрицательного влияния несимметричных напряжений, возникают **магнитные поля, вращающиеся встречно** вращению ротора.
- Общее влияние несимметрии напряжений на электрические машины, включая трансформаторы, выливается в **значительное снижение срока их службы**. Например, при длительной работе с коэффициентом несимметрии по обратной последовательности $K_{2U} = 2...4 \%$, срок службы электрической машины снижается на 10...15 %, а если она работает при номинальной нагрузке, срок службы снижается вдвое.

Отклонение фактической частоты переменного напряжения от номинального значения в установившемся режиме работы системы электроснабжения.



$$\Delta f = f_y - f_{\text{ном}},$$

f_y – усредненное значение частоты

Отклонение частоты

- Для указанного показателя КЭ установлены следующие нормы: - отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю;

Виновники ухудшения качества электроэнергии

Виновники ухудшения качества электроэнергии

Отклонение напряжения

в той или иной точке сети происходит под воздействием медленного изменения нагрузки в соответствии с её графиком - изменения режимов работы приемников электроэнергии и изменения режимов питающей энергосистемы.

Колебание напряжения

При работе электроприемников с резкопеременной ударной нагрузкой в электросети возникают резкие изменения потребляемой мощности, что вызывает изменения напряжения сети.

Виновники ухудшения качества электроэнергии

Отклонения и колебания частоты

Нарушение баланса между мощностью, вырабатываемой генератором электростанции или энергосистемы, и мощностью требуемой промышленными предприятиями, приводит к изменению частоты тока электросети.

Основной причиной возникновения колебаний частоты являются мощные приемники электроэнергии с резкопеременной активной нагрузкой (тиристорные преобразователи главных приводов прокатных станов). Активная мощность этих приемников изменяется от нуля до максимального значения за время менее 0,1 с, вследствие чего колебания частоты могут достигать больших значений.

Виновники ухудшения качества электроэнергии

Несинусоидальность формы кривой напряжения и тока

Значительное распространение получили нагрузки, вольтамперные характеристики которых нелинейны. К их числу относятся :

- тиристорные преобразователи,
- установки дуговой и контактной сварки,
- электродуговые сталеплавильные и руднотермические печи,
- газоразрядные лампы и др.

Эти нагрузки потребляют из сети ток, кривая которого оказывается несинусоидальной, в результате возникают нелинейные искажения кривой напряжения сети или, несинусоидальные режимы.

Виновники ухудшения качества электроэнергии

Импульс напряжения

Импульсные перенапряжения возникают при грозовых явлениях и при коммутациях оборудования (трансформаторы, двигатели, конденсаторы, кабели), в том числе при отключении токов КЗ.

Контроль качества электроэнергии

ГОСТом установлена **периодичность контроля качества электроэнергии** - один раз в два года для всех ПКЭ, и два раза в год для отклонения напряжения.

Местом контроля качества электрической энергии являются точки общего присоединения потребителей к сетям общего назначения. В них выполняют измерения энергоснабжающие организации. Потребители проводят измерения в собственных сетях в местах ближайших к этим точкам.

Контроль качества электрической энергии подразумевает оценку соответствия показателей установленным нормам, а дальнейший анализ качества электроэнергии - определение стороны, виновной в ухудшении этих показателей.

Проблема комплексного определения ПКЭ

Большинство процессов, протекающих в электрических сетях - быстротекущие, поэтому все нормируемые показатели качества электрической энергии не могут быть измерены напрямую - их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам.

Поэтому, **для определения показателей качества электрической энергии**, необходимо выполнить большой объём измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений.

Наибольший поток измерений необходим для определения несинусоидальности напряжения. Для определения всех гармоник до 40-й включительно и в пределах допустимых погрешностей, требуется выполнять измерения мгновенных значений трёх междуфазных напряжений 256 раз за период ($3 \cdot 256 \cdot 50 = 38\,400$ в секунду).

Приборы для контроля качества электрической энергии

Контролировать качество электрической энергии следует с применением сертифицированных приборов, обеспечивающих измерение и расчёт всех параметров, необходимых для определения и анализа качества электрической энергии.

Анализаторы качества электроэнергии



Анализаторы качества электроэнергии



Вопросы к зачету

1. Качество электроэнергии. Показатели качества электроэнергии и их влияние на потребителей электроэнергии.
2. Виновники ухудшения качества электроэнергии. Контроль качества электроэнергии.

Спасибо за внимание !