

«Качество электроэнергии. Компенсация реактивной МОЩНОСТИ.»

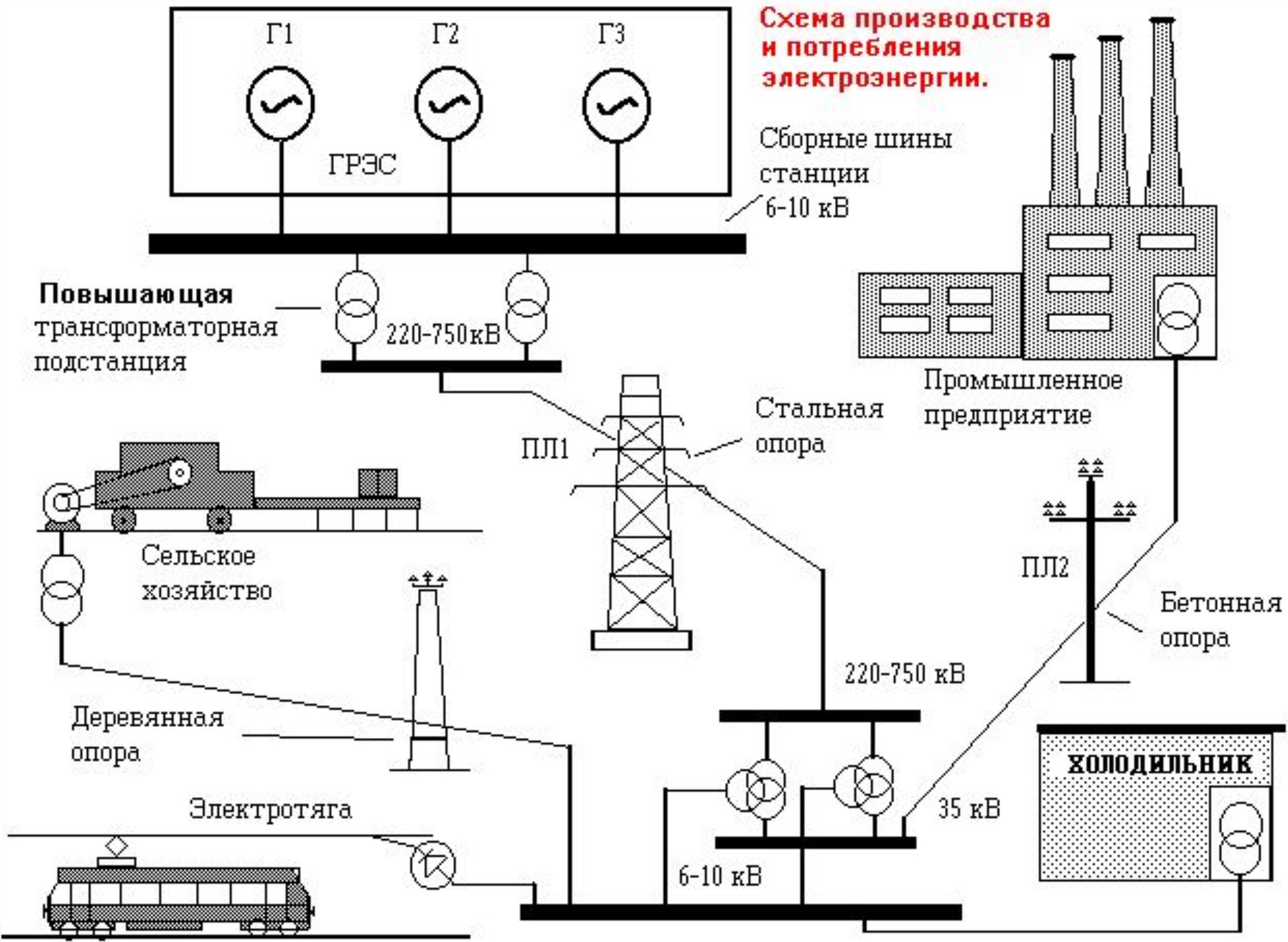
Работу выполнил студент 43 ЭлСС:

к

Руководитель работы:

Пашинцева Светлана Николаевна

Схема производства и потребления электроэнергии.



Качество электрической энергии

Качество электрической энергии — степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям.

Параметр электрической энергии — величина, количественно характеризующая какое-либо свойство электрической энергии:

- напряжение
- частота
- форма кривой электрического тока и т.п.

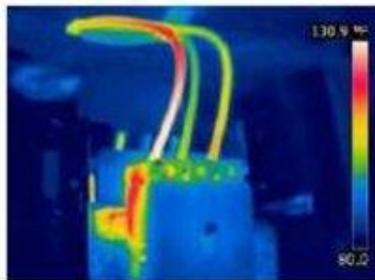
Снижение качества электрической энергии может привести к:

- заметным изменениям режимов работы электроприемников и в результате к уменьшению производительности рабочих механизмов;
- ухудшению качества продукции;
- сокращению срока службы электрооборудования;
- повышению вероятности аварий.

Качество электрической энергии

Причины проблем с качеством электроэнергии

- Раньше нагрузки были линейными
 - Индуктивные – двигатели, нагревательные устройства, лампы накаливания
 - Ток был линейно связан с напряжением – всего лишь несколько видов проблем
- В настоящее время – нагрузки преимущественно являются нелинейными
 - Компьютеры, системы управления двигателями, энергосберегающие лампы и т.д..
 - Ток имеет форму импульсов, в результате появляются гармоники
- Увеличилось количество источников нарушений
- Оборудование стало более чувствительным



В России показатели и нормы качества электрической энергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трёхфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети или электроустановки потребителей устанавливаются Межгосударственным стандартом **ГОСТ 32144-2013 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения"**(от 22 июля 2013 г. N 400-ст):

- 1 Продолжительные изменения характеристик напряжения
 - 1.1 Отклонение частоты
 - 1.2 Медленные изменения напряжения
 - 1.3 Колебания напряжения и фликер
 - 1.4 Несинусоидальность напряжения
 - 1.5 Несимметрия напряжений в трехфазных системах
 - 1.6 Напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям
- 2 Случайные события
 - 2.1 Прерывания напряжения
 - 2.2 Провалы напряжения и перенапряжения
 - 2.3 Импульсные напряжения

Медленные изменения напряжения

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

$$\delta U_{(-)} = \left[\left(U_0 - U_{m(-)} \right) / U_0 \right] \cdot 100;$$

$$\delta U_{(+)} = \left[\left(U_{m(+)} - U_0 \right) / U_0 \right] \cdot 100,$$

где

$U_{m(-)}$, $U_{m(+)}$ - значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0 соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12;

U_0 — напряжение, равное стандартному номинальному напряжению $U_{ном}$ или согласованному напряжению U_c .

Медленные изменения напряжения

Влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования:

- Технологические установки:

- При снижении напряжения существенно ухудшается технологический процесс, увеличивается его длительность, увеличивается себестоимость производства;

- При повышении напряжения снижается срок службы оборудования, повышается вероятность аварий;

- При значительных отклонениях напряжения происходит срыв технологического процесса.



Медленные изменения напряжения

Влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования:

• Освещение:

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

- При величине напряжения $0,9 \cdot U_{ном}$ снижается световой поток ламп накаливания на 40 % и люминесцентных ламп на 15 %.

- При величине напряжения менее $0,9 \cdot U_{ном}$ люминесцентные лампы мерцают, а при $0,8 \cdot U_{ном}$ просто не загораются.



Медленные изменения напряжения

Влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования:

• Электропривод:

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

- При снижении напряжения увеличивается потребляемый от сети ток, что влечёт разогрев обмоток и снижение срока службы двигателя. При длительной работе на напряжении $0,9 \cdot U_{ном}$ срок службы двигателя снижается вдвое.

- При повышении напряжения на 1 % потребляемая двигателем реактивная мощность увеличивается на 3...7 %. Снижается эффективность работы привода и сети.



Медленные изменения напряжения

Обеспечить требования стандарта можно двумя способами:

- ✓ Снижением потерь напряжения
- ✓ Регулированием напряжения

$$\Delta U = (P \cdot R + Q \cdot X) / U_{\text{цп}} (\text{тп})$$

1. Снижение потерь напряжения (ΔU) достигается:

- Выбором сечения проводников линий электропередач ($\equiv R$) по условиям потерь напряжения.
- Применением продольной емкостной компенсации реактивного сопротивления линии (X). Однако, это опасно повышением токов короткого замыкания при $X \rightarrow 0$.
- Компенсацией реактивной мощности (Q) для снижения ее передачи по электросетям, с помощью конденсаторных установок и синхронных электродвигателей, работающих в режиме перевозбуждения.

Кроме снижения потерь напряжения, компенсация реактивной мощности является эффективным мероприятием энергосбережения, обеспечивающим снижение потерь электроэнергии в электрических сетях.

Медленные изменения напряжения

Обеспечить требования стандарта можно двумя способами:

1. Снижением потерь напряжения
2. Регулированием напряжения

$$\Delta U = (P \cdot R + Q \cdot X) / U_{\text{цп}} \text{ (тп)}$$

2. Регулирование напряжения U:

- В центре питания регулирование напряжения ($U_{\text{цп}}$) осуществляется с помощью трансформаторов, оснащённых устройством автоматического регулирования коэффициента трансформации в зависимости от величины нагрузки — регулирование под нагрузкой (РПН). Такими устройствами оснащены ~ 10 % трансформаторов. Диапазон регулирования $\pm 16\%$ с дискретностью 1,78 %.

- Напряжение может регулироваться на промежуточных трансформаторных подстанциях ($U_{\text{тп}}$) с помощью трансформаторов, оснащённых устройством переключения отпаяк на обмотках с различными коэффициентами трансформации — переключение без возбуждения (ПБВ), т.е. с отключением от сети. Диапазон регулирования $\pm 5\%$ с дискретностью 2,5 %.

Колебания напряжения и фликер

Колебания напряжения — быстро изменяющиеся отклонения напряжения длительностью от полупериода до нескольких секунд. Колебания напряжения происходят под воздействием быстро изменяющейся нагрузки сети.

Одиночные быстрые изменения напряжения вызываются, в основном:

- резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей (источниками колебаний напряжения являются мощные электроприёмники с импульсным, резкопеременным характером потребления активной и реактивной мощности: дуговые и индукционные печи; электросварочные машины; электродвигатели при пуске)
- переключениями в системе либо неисправностями

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение **фликера**.



Колебания напряжения и фликер

Влияние колебаний напряжения на работу электрооборудования:

- Снижение эффективности работы и срока службы оборудования, брак продукции.
- Отключение автоматических систем управления и повреждению оборудования.
- Восприятие человеком вызываемой колебаниями напряжения пульсации светового потока ламп освещения — фликер — утомляет, снижает производительность труда и, в конечном счёте, влияет на здоровье людей.

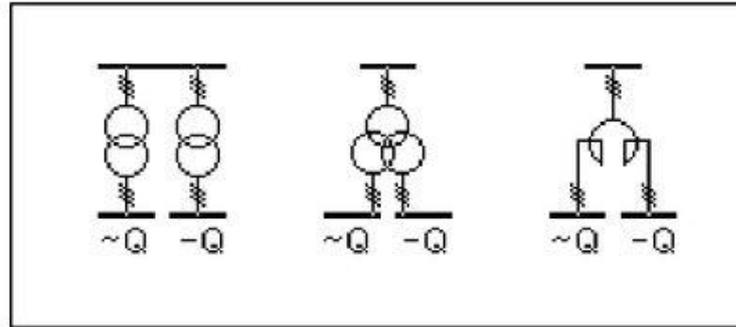
Мера восприятия человеком пульсаций светового потока — доза фликера. Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частоте колебаний 8,8 Гц и размахах изменения напряжения $\delta U_t = 29\%$. Причём, при одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем газоразрядных ламп.



Колебания напряжения и фликер

Мероприятия по снижению колебаний напряжения:

$$\delta U_t \approx 10 \frac{\Delta Q \cdot X_{кз}}{U_{ном}^2} \approx 10 \frac{\Delta Q}{S_{кз}}$$



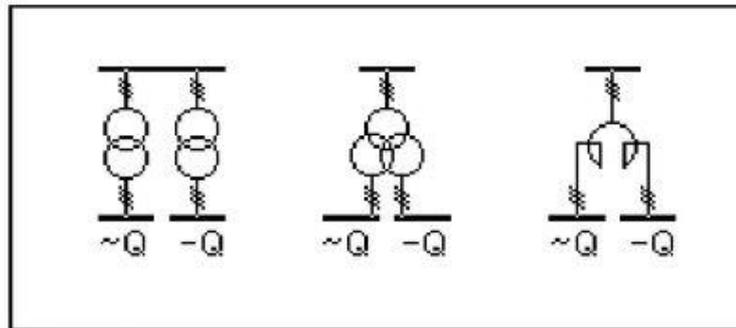
✓ Применение оборудования с улучшенными характеристиками ($\equiv \downarrow \Delta Q$).
 Применение электродвигателей со сниженным пусковым током и улучшенным $\cos \phi$ при пуске. Применение частотного регулирования электроприводов, или устройств плавного пуска-останова двигателя.

✓ Подключение к мощной системе электроснабжения ($\equiv \uparrow S_{кз}$)
 Распространение колебаний напряжения в сторону системы электроснабжения происходит с затуханием колебаний по амплитуде. Причём, коэффициент затухания тем больше, чем мощнее система электроснабжения ($\uparrow S_{кз}$).

Колебания напряжения и фликер

Мероприятия по снижению колебаний напряжения:

$$\delta U_t \approx 10 \frac{\Delta Q \cdot X_{КЗ}}{U_{НОМ}^2} \approx 10 \frac{\Delta Q}{S_{КЗ}}$$



✓ Разнесение питания спокойной и резкопеременной нагрузок на разные трансформаторы или секции сборных шин.

Размах изменения напряжения δU_t на шинах спокойной нагрузки ($-Q$) снижается на 50...60 %.

„Минусы“ — возрастают потери при неполной загрузке трансформаторов.

✓ Снижение сопротивления питающего участка сети.

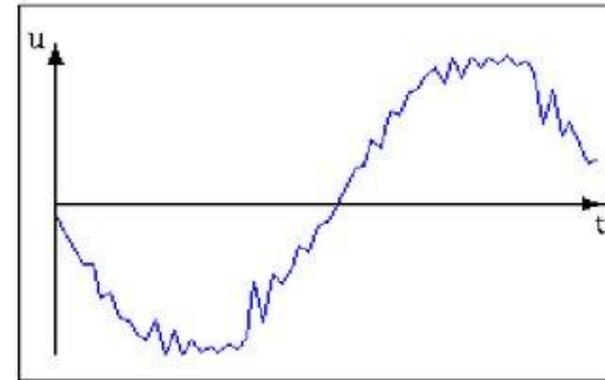
При увеличении сечения проводников линии снижается R , а применение устройств продольной компенсации снижает суммарное X .

„Минусы“ — увеличиваются капитальные затраты, а применение продольной компенсации опасно повышением токов короткого замыкания при $X \rightarrow 0$.

Несинусоидальность напряжения

Несинусоидальность напряжения — искажение синусоидальной формы кривой напряжения

Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования:



- Фронты несинусоидального напряжения воздействуют на изоляцию кабельных линий электропередач, — учащаются однофазные короткие замыкания на землю. Аналогично кабелю, пробиваются конденсаторы.

- 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.
- Неправильно срабатывают устройства управления и защиты.
- Выходят из строя компьютеры.

Несинусоидальность напряжения

Мероприятия по снижению несинусоидальности напряжения (аналогично мероприятиям по снижению колебаний напряжения):

✓ Применение оборудования с улучшенными характеристиками: «ненасыщающиеся» трансформаторы, преобразователи с высокой пульсностью и т.д.

✓ Подключение к мощной системе электроснабжения.

✓ Питание нелинейной нагрузки от отдельных трансформаторов или секций шин.

✓ Снижение сопротивления питающего участка сети.

✓ Применение фильтрокомпенсирующих устройств.

L-C цепочка, включенная в сеть, образует колебательный контур, реактивное сопротивление которого для токов определённой частоты равно нулю. Подбором величин L и C фильтр настраивается на частоту гармоники тока и замыкает её не пропуская в сеть. Набор таких контуров, специально настроенных на генерируемые данной нелинейной нагрузкой высшие гармоники тока, и образует фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ), которое не пропускает в сеть гармоники тока и компенсирует протекание реактивной мощности по сети.

Несимметрия напряжений в трехфазных системах

Несимметрия напряжений происходит только в трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам.

Источниками несимметрии напряжений являются:

дуговые сталеплавильные печи, тяговые подстанции переменного тока, электросварочные машины, однофазные электротермические установки и другие однофазные, двухфазные и несимметричные трёхфазные потребители электроэнергии, в том числе бытовые.

Показателями качества электроэнергии, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются:

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

Несимметрия напряжений в трехфазных системах

ГОСТ устанавливает следующие нормы:

□ значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности и несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2% в течение 95% времени интервала в одну неделю;

□ значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности и несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4% в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Несимметрия напряжений в трехфазных системах

Мероприятия по снижению несимметрии напряжений:

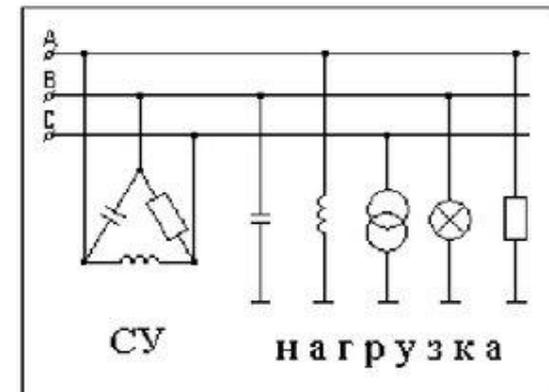
✓ Равномерное распределение нагрузки по фазам.

Это наиболее эффективное мероприятие, но оно требует творческого подхода при проектировании электроустановок и решительности при эксплуатации.

✓ Применение симметрирующих устройств.

Сопротивления в фазах симметрирующего устройства (СУ) подбираются таким образом, чтобы компенсировать ток обратной последовательности, генерируемый нагрузкой как источником искажения.

Применение симметрирующих устройств сопровождается дополнительными капитальными затратами на их приобретение и монтаж, затратами на обслуживание и эксплуатацию.



Отклонение частоты

ГОСТ устанавливает 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;

□ отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к синхронизированным системам передачи электрической энергии, не должно превышать ± 1 Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и ± 5 Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Мероприятия по устранению отклонения частоты:

✓ Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) - отключение части потребителей при снижении частоты. Это ещё называют веерными отключениями.

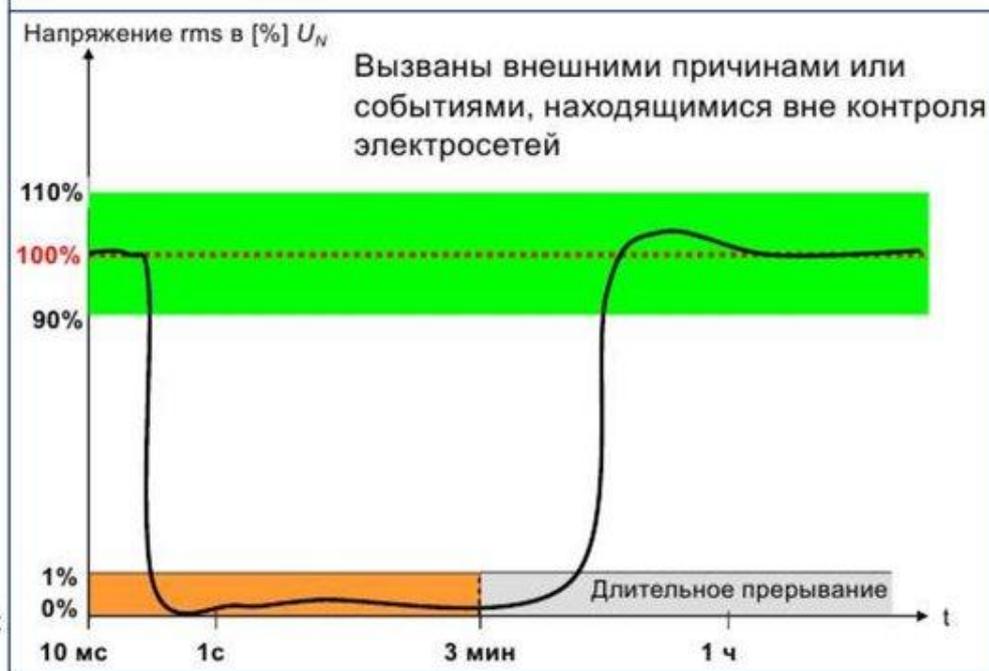
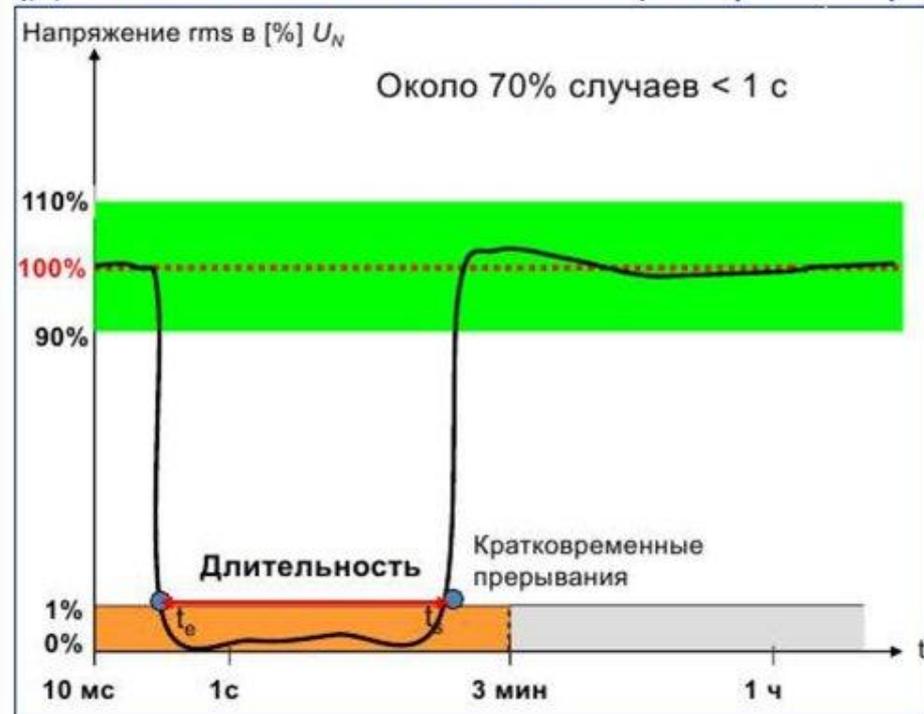
Для потребителя важно знать, в какую очередь отключат его оборудование от сети при таком развитии событий (указывается при заключении договора электроснабжения), аргументированно требовать изменения очерёдности или иметь собственные резервные генерирующие мощности.

Прерывания напряжения

Прерывания напряжения:

- создаваемые преднамеренно
- случайные

Случайные прерывания напряжения подразделяют на длительные (длительность более 3 мин) и кратковременные (длительность не более 3 мин).

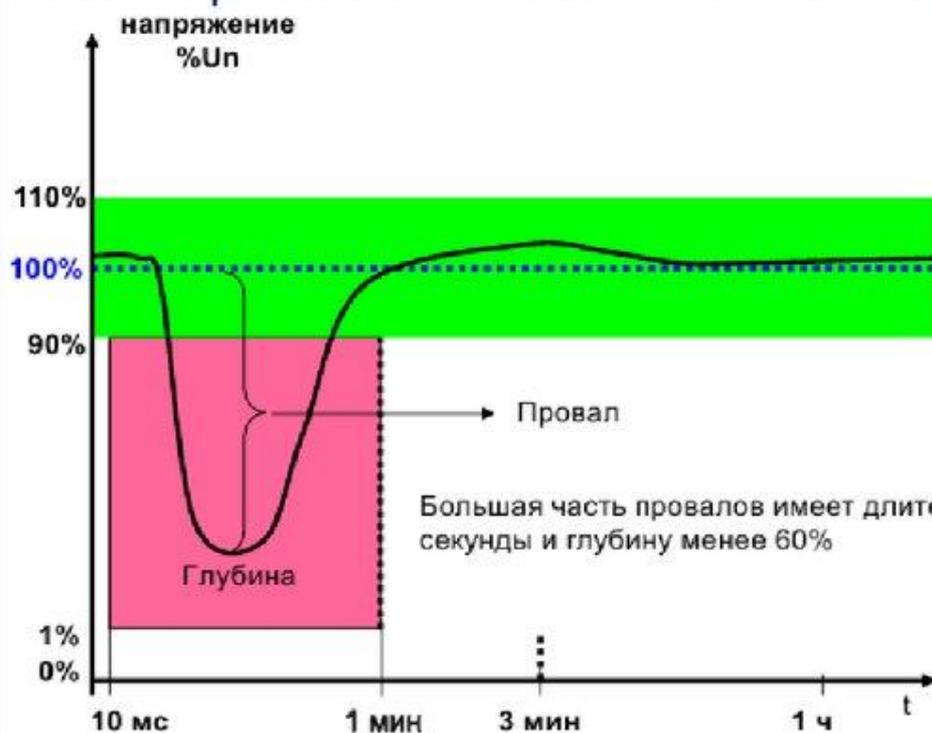


В трехфазных системах электроснабжения к прерываниям напряжения относят ситуацию, при которой напряжение меньше 5% опорного напряжения во всех фазах. Если напряжение меньше 5% опорного напряжения не во всех фазах, ситуацию рассматривают, как провал напряжения.

Провалы напряжения и перенапряжения

Провал напряжения - электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью. Длительность провала напряжения может быть до 1 мин.

В трехфазных системах электроснабжения за начало провала напряжения принимают момент, когда напряжение хотя бы в одной из фаз падает ниже порогового значения начала провала напряжения, за окончание провала напряжения принимают момент, когда напряжение во всех фазах возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.



Причины

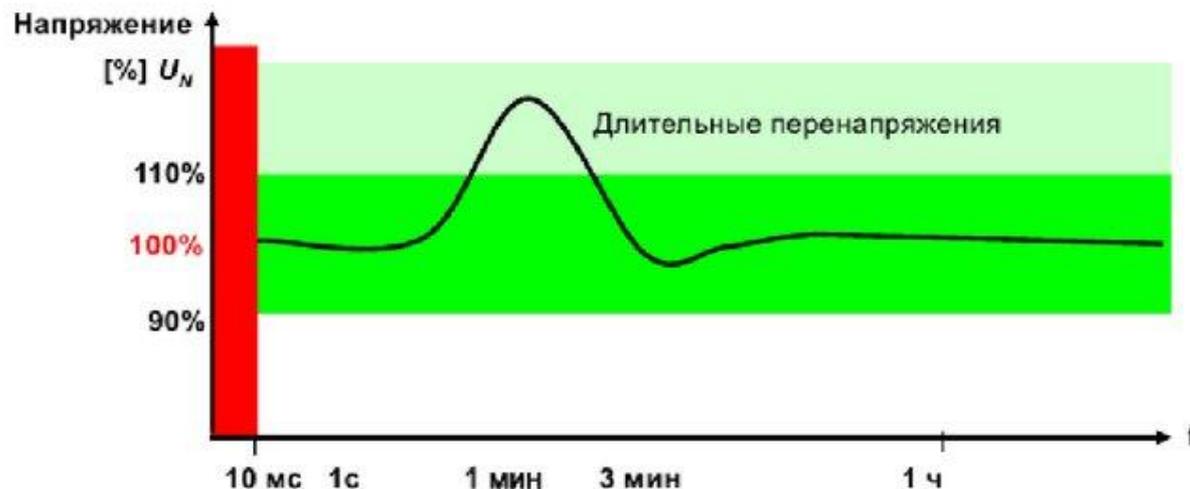
- Короткие замыкания
- Перегрузка
- Изменения нагрузки

Последствия

- Перезагрузка компьютеров и т.п.
- Потеря данных
- Мерцание ламп

Провалы напряжения и перенапряжения

Перенапряжения - как правило, вызываются переключениями и отключениями нагрузки. Перенапряжения могут возникать между фазными проводниками или между фазными и защитным проводниками. В зависимости от устройства заземления короткие замыкания на землю могут также приводить к возникновению перенапряжения между фазными и нейтральным проводниками. В соответствии с требованиями настоящего стандарта перенапряжение рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью. Длительность перенапряжения может быть до 1 мин.



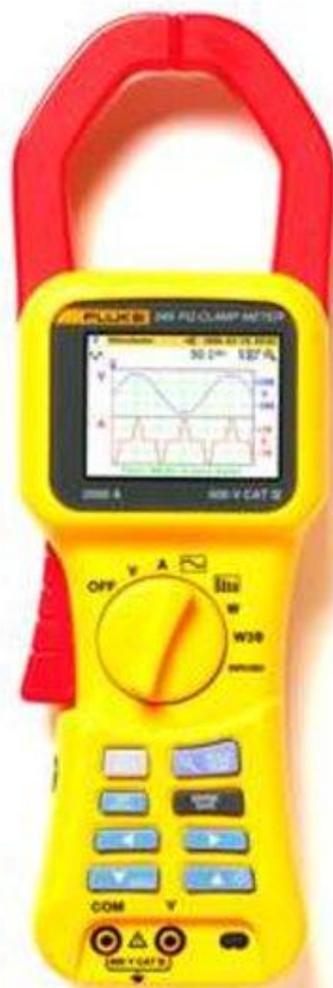
Импульсные напряжения

Импульсные напряжения в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети вызываются, в основном, молниевыми разрядами или процессами коммутации в электрической сети или электроустановке потребителя электрической энергии. Время нарастания импульсных напряжений может изменяться в широких пределах (от значений менее 1 микросекунды до нескольких миллисекунд).

Удары молний, переключение систем в электрических сетях и т.п. приводят к быстрому повышению напряжения, или к «переходным процессам» в линиях передачи. Такие переходные процессы могут распространяться по линиям передачи до устройств пользователя, приводя к различным проблемам, в зависимости от величины, мощности :

- повреждение полупроводниковых переходов в электронном оборудовании
- повреждение изоляции как на кабелях, так и на оборудовании (трансформаторы, двигатели)
- возникновение связи между близлежащими цепями из-за высоких частот (малое время нарастания)
- ошибки в линиях передачи данных
- возникновение дуговых разрядов в оборудовании

Приборы для определения параметров качества электроэнергии



Fluke-345 - клещи для измерения качества электроэнергии

Приборы для определения параметров качества электроэнергии



Fluke-43B - анализатор качества электроэнергии для однофазной сети



Fluke-434, Fluke-435 - анализаторы качества электроэнергии для трехфазной сети

Последствия в формулах

Повышенное потребление реактивной мощности электроприемниками или пониженный коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{S}$$

Возрастание тока, протекающего через сеть

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} U}$$

Снижается пропускная способность сетей

Увеличивается сечение проводов - удорожание

$$s = \frac{\rho l P^2}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi}$$

Увеличиваются потери активной мощности

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$$

Перерасходуется электроэнергия

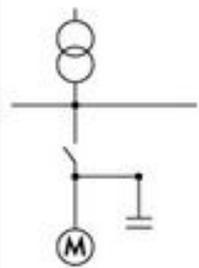
Необходимость прокладки новых сетевых магистралей – удорожание

Увеличиваются потери напряжения

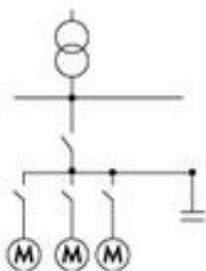
$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U}$$

Уменьшается напряжение на шинах электроприемников

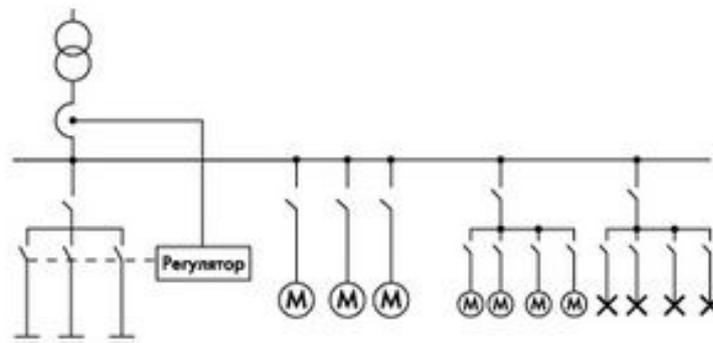
Дополнительное увеличение тока электрической сети



Индивидуальная



Групповая



Общая



Проблемы, которые помогут решить конденсаторные установки:

Конденсаторные установки применяются не только для того, чтобы замедлить вращение счетчика реактивной энергии; их применение позволяет решить ряд других проблем, возникающих на производстве:

- 1. Снизить установленную мощность силовых трансформаторов. (При снижении потребления реактивной мощности снижается потребление полной мощности).*
 - 2. Обеспечивать электропитание нагрузки по кабелю с меньшим сечением*
 - 3. Подключить дополнительно полезную нагрузку.*
 - 4. Позволяет избежать глубокой просадки напряжения на удаленных электропотребителях (Водозаборные скважины, карьерные экскаваторы с электроприводом, стройплощадки и т. д.)*
 - 5. Максимально использовать мощность автономных дизель-генераторов. (Корабельные установки, геологические партии, стройплощадки и т. д.)*
- Облегчить пуск двигателя. (При местной компенсации)*

Список используемой литературы