

Направление подготовки 13.03.02 (140400.62) –
Электроэнергетика и электротехника, профили:
Электроснабжение

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И

Общие сведения

Проблема качества электроэнергии относится к наиболее значимым в электроэнергетике. Это обусловлено отрицательными последствиями низкого качества электроэнергии (КЭ), такими как:

- увеличение потерь электроэнергии;
- сокращение срока службы изоляции электроустановок, технологического оборудования;
- сбои, ошибки и отказы в работе релейной защиты и автоматики, телемеханики и связи, микропроцессорной техники;
- увеличение капитальных вложений в электрические сети и системы электроснабжения;
- рост эксплуатационных издержек в сетях энергосистем и их потребителей;
- снижение надежности и устойчивости систем;
- нарушение нормального функционирования электроприемников и потребителей электроэнергии;
- возрастание рисков для здоровья и жизни людей, окружающей среды.

Общие сведения

Качество электроэнергии – это совокупность ее свойств, определяющих воздействия на электрооборудование, приборы и оцениваемых параметрами качества описывающими особенности процесса передачи электроэнергии для ее использования в нормальных условиях эксплуатации. Нормальные условия эксплуатации предусматривают непрерывность электроснабжения при обеспечении промышленной частоты напряжения питания требуемой величины, формы волны, его одинаковости по фазам (симметрии).

К параметрам качества электроэнергии относят следующие: отклонение напряжения, колебание напряжения, несинусоидальность кривой напряжения, несимметрию напряжения, отклонение частоты, электромагнитные помехи.

Отклонение напряжения – это медленное изменение его значений относительно номинального.

Колебание напряжения – это быстрые изменения его текущих значений относительно друг друга.

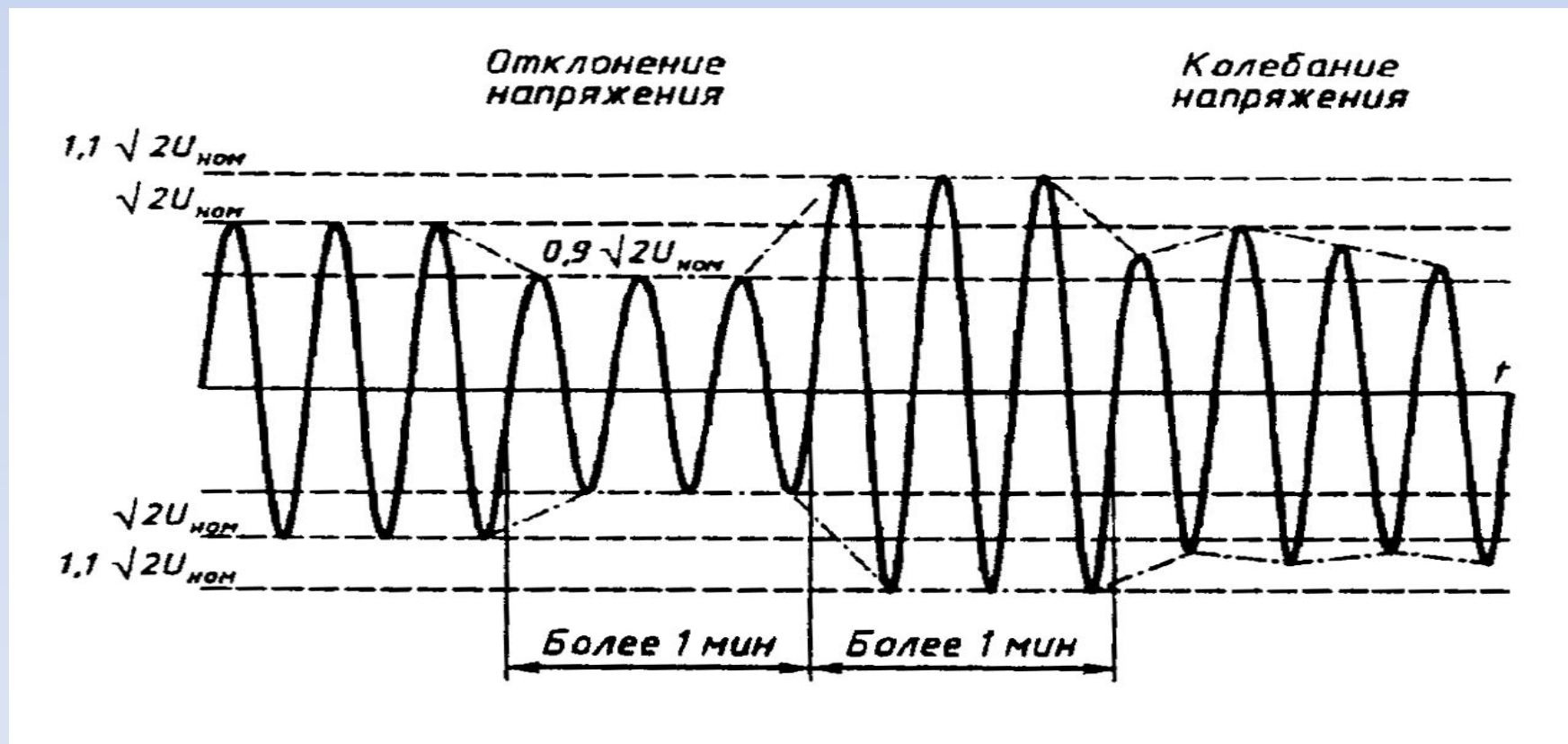
Несинусоидальность кривой напряжения – это искажение формы волны, т.е. отличие формы кривой напряжения от синусоиды.

Несимметрия напряжения – это неравенство фазных и линейных напряжений как по амплитуде, так и аргументу (углу).

Отклонение частоты – это изменение текущих значений частоты относительно номинального.

Электромагнитные помехи – это выбросы (импульсы) и провалы напряжения длительностью не более 30 с, кратковременные перенапряжения.

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



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

или, %

$$\delta U = U - U_{ном}$$

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

Установившееся отклонение напряжения δU_y равно, %:

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

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

Влияние отклонения напряжения на потребителей:

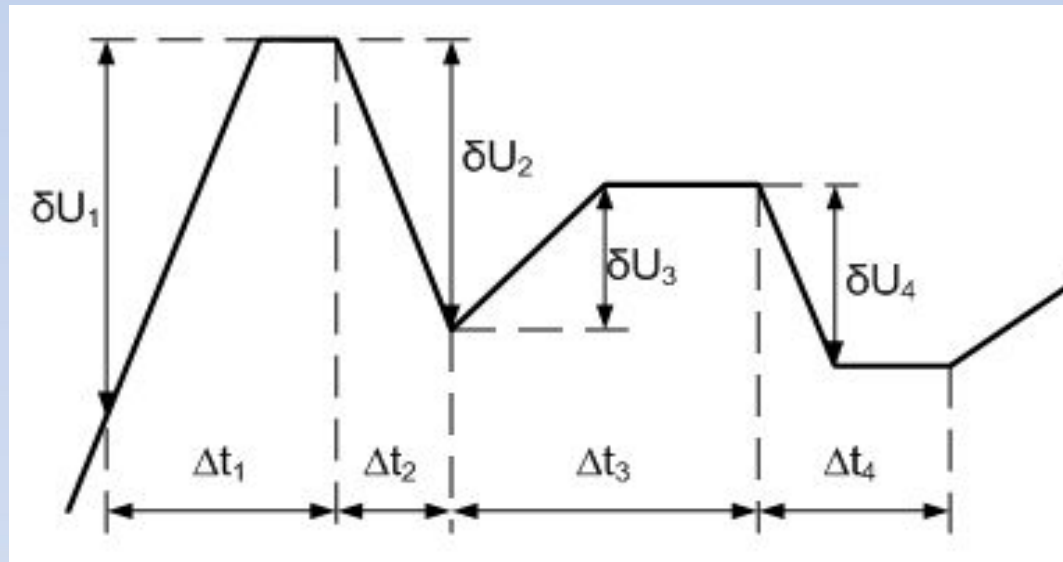
Технологические установки:

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



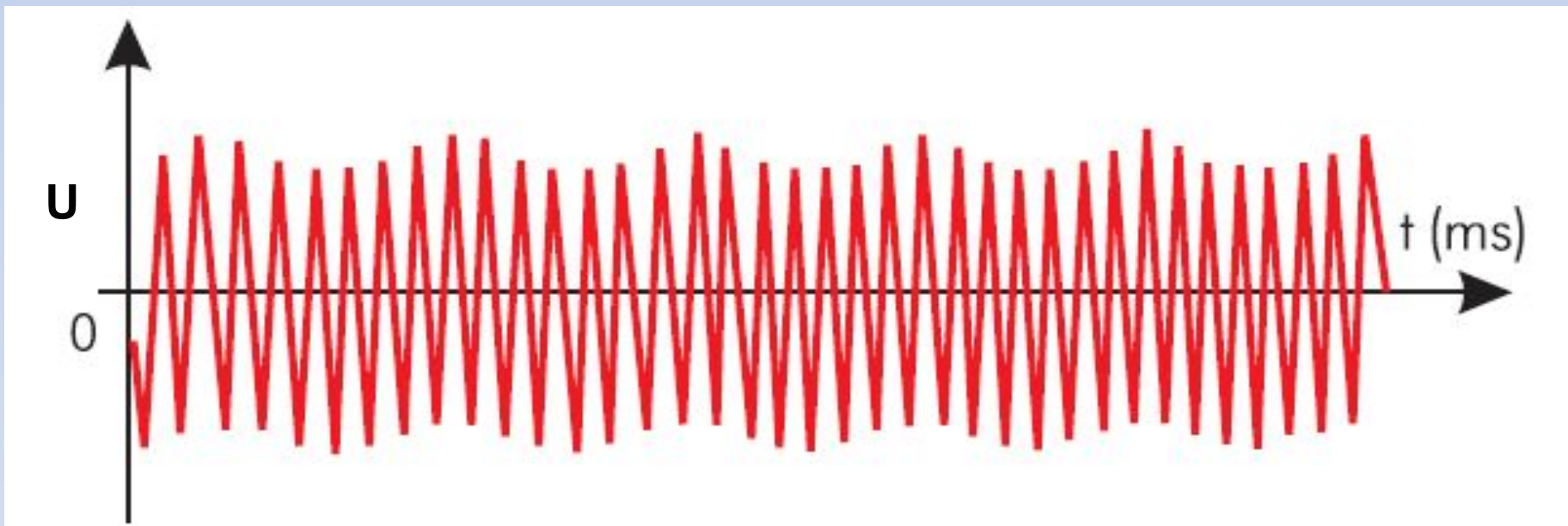
Колебания напряжения характеризуются двумя показателями :

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

Размах изменения напряжения U_t 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



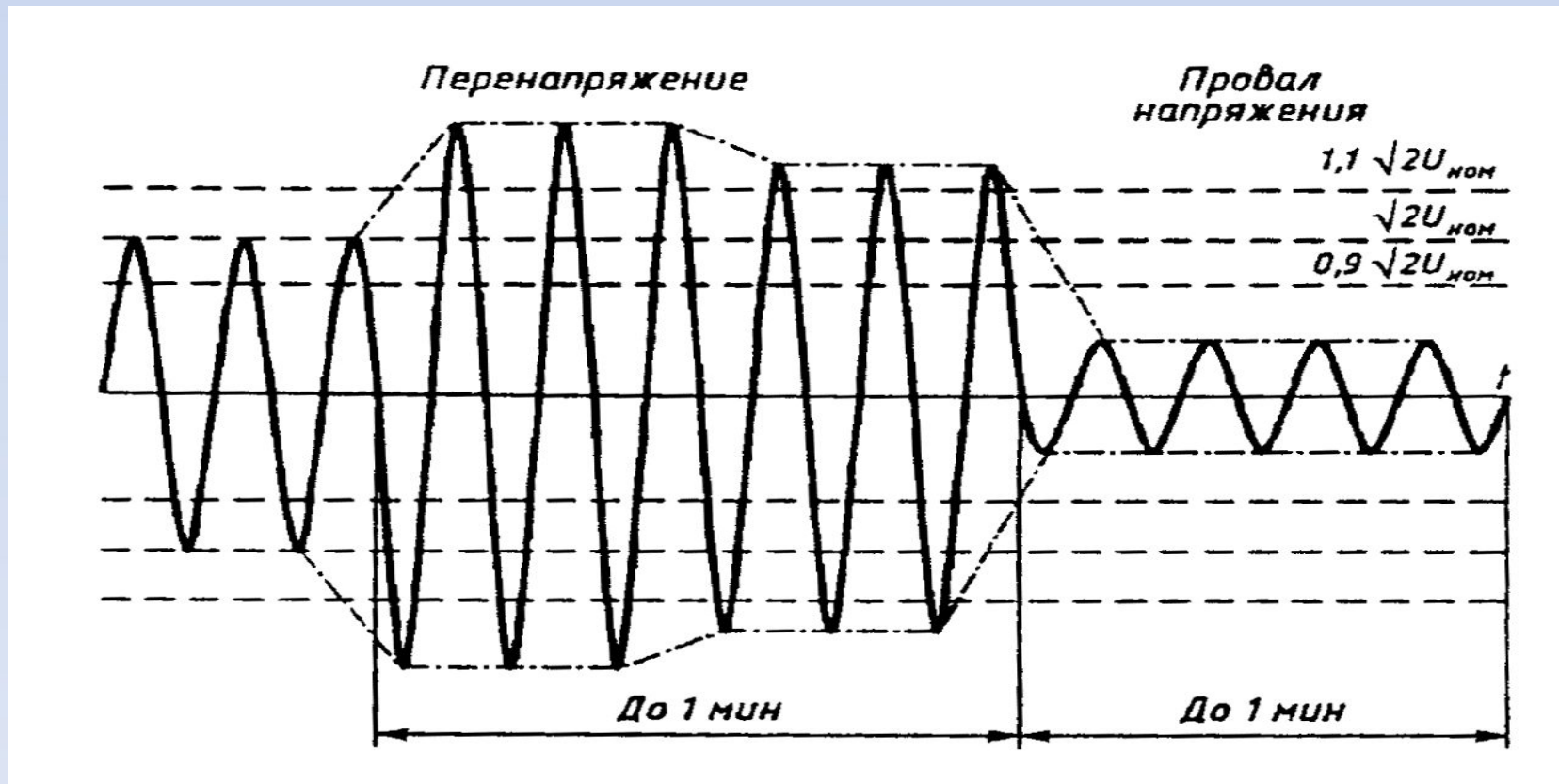
Быстрые флуктуации напряжения (фликер)

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

или, %

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

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

Влияние провалов напряжения на потребителей:

Технологические установки:

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

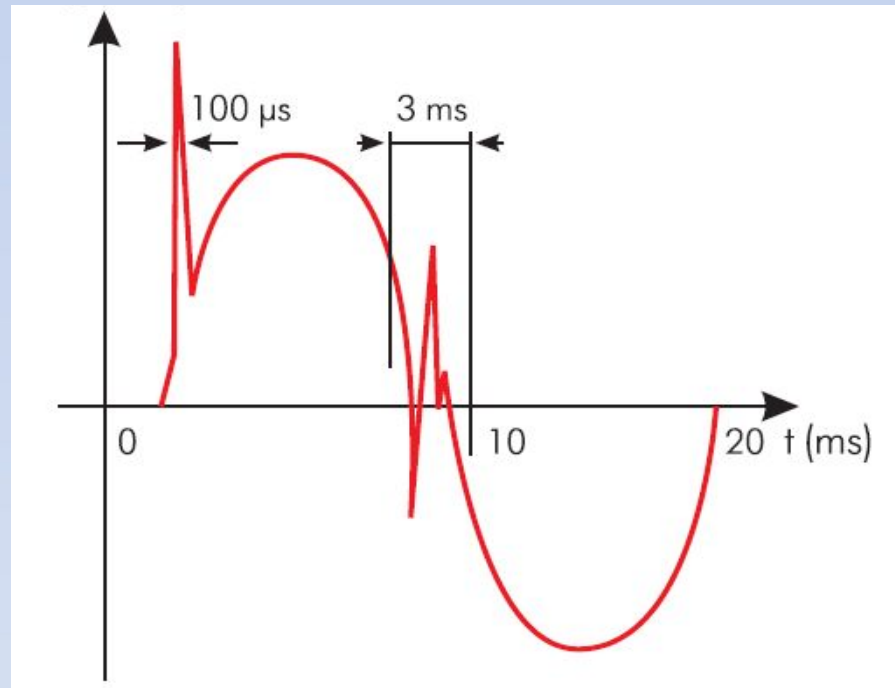
Электропривод:

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.



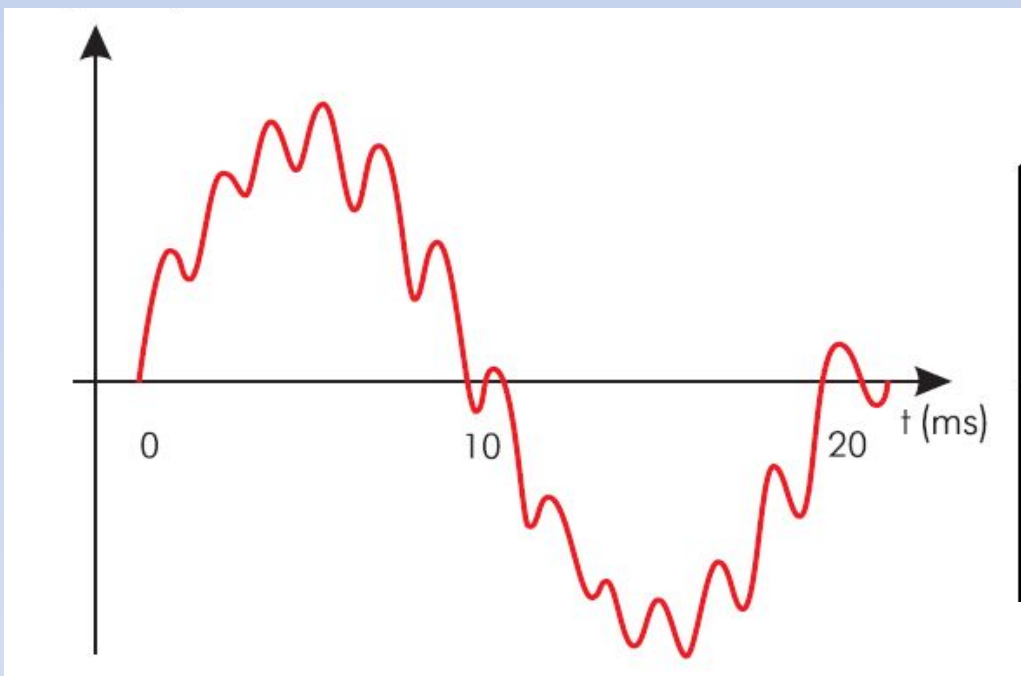
Импульс напряжения - резкое повышение напряжения длительностью менее 10 миллисекунд.



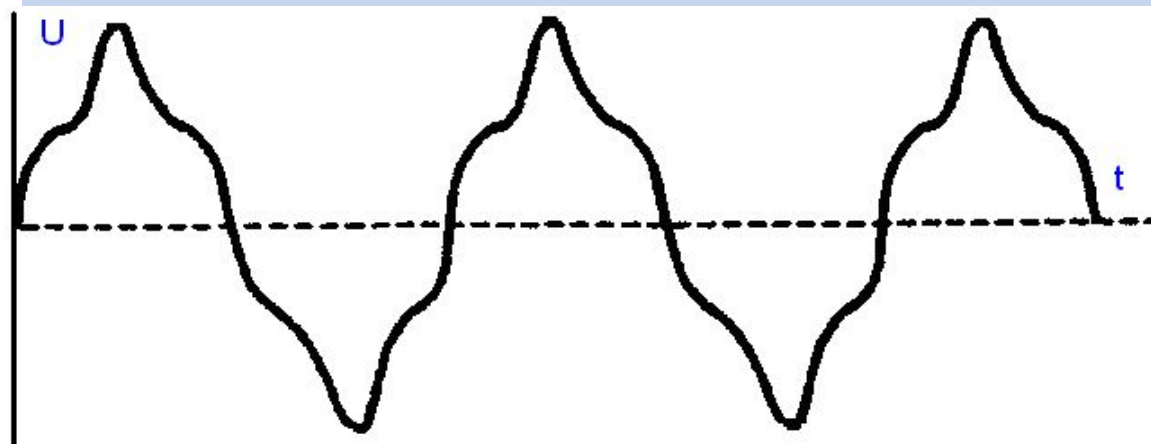
Характеризуется параметрами:

- 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

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.

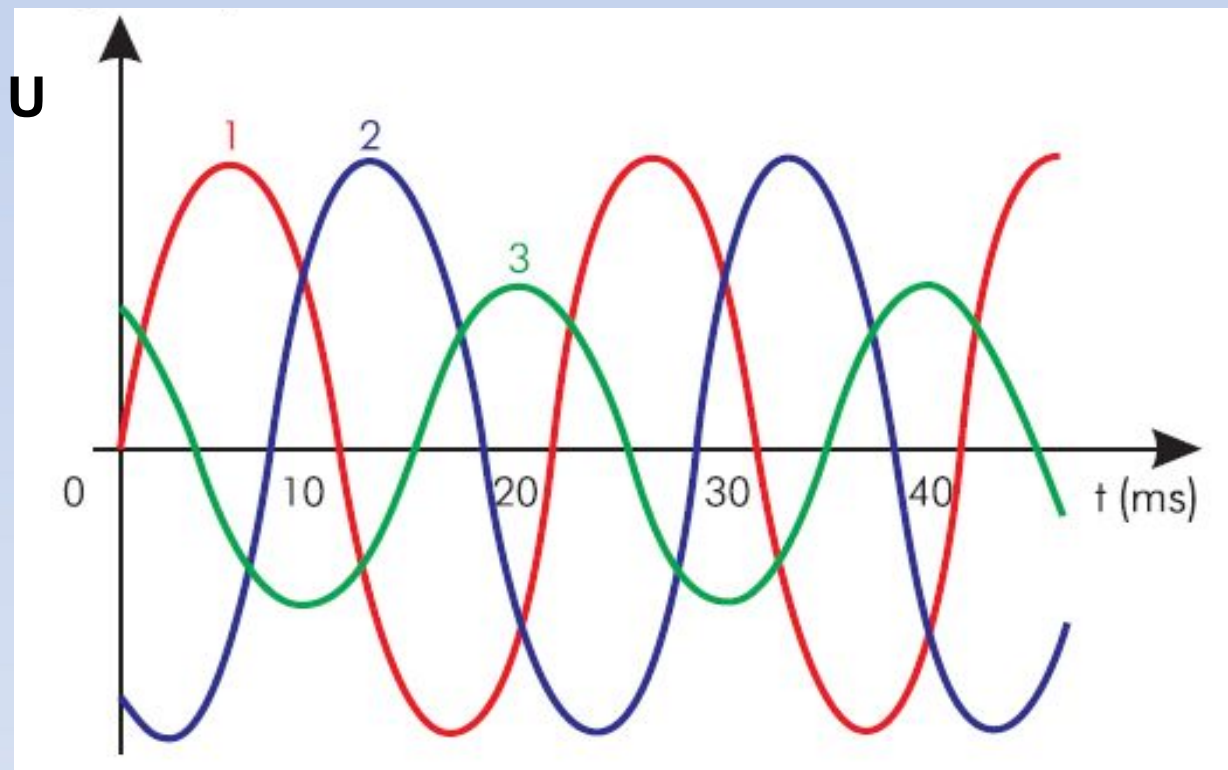
Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования

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:

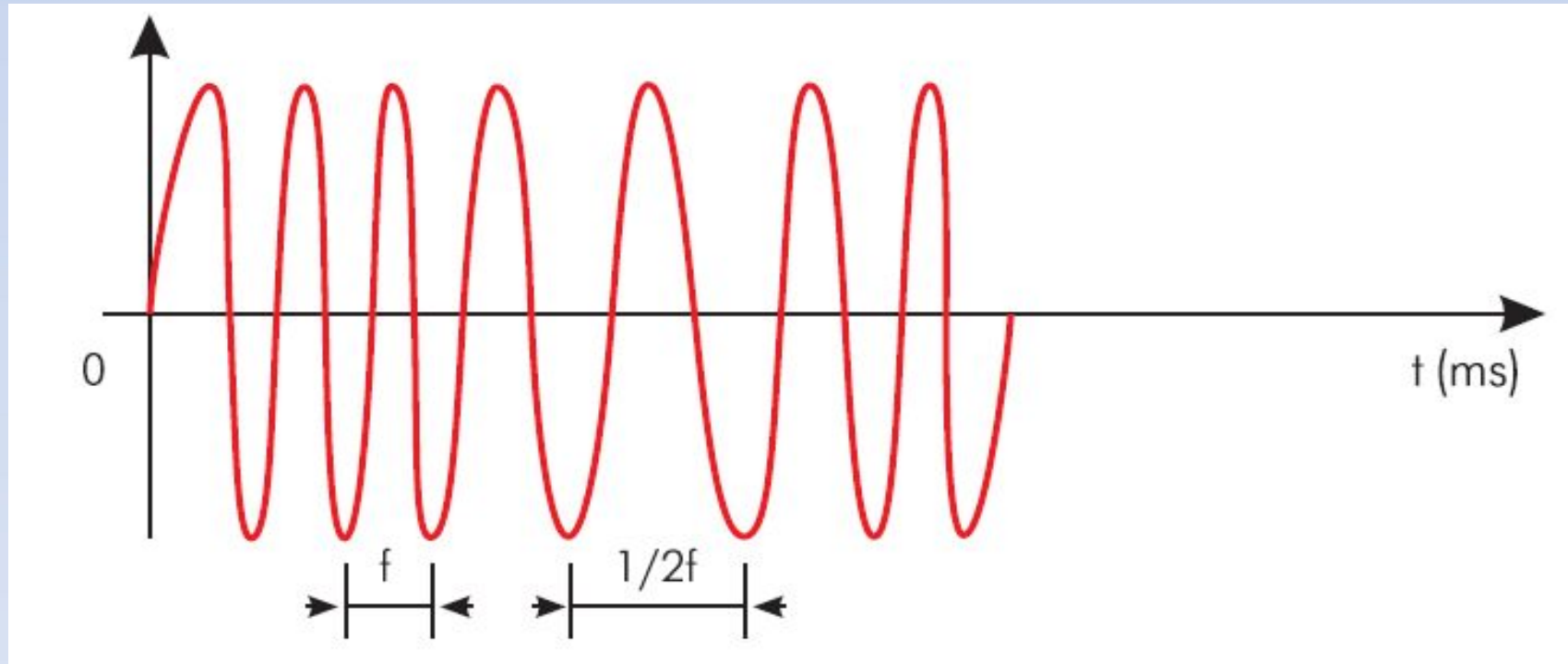
Возрастают потери электроэнергии в сетях от дополнительных потерь в нулевом проводе.

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 $K2U = 2...4 \%$, 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

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 станков). Активная мощность этих приемников изменяется от нуля до максимального значения за время менее 0,1с, 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.

Управление качеством электроэнергии

Под управлением КЭ понимают проведение методических, организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение КЭ в системах электроснабжений в пределах установленных норм и правил.

Методические мероприятия направлены на: ограничение уровней ПКЭ, источником искажения качества электроэнергии при этом является как электрооборудование и отдельные ЭП потребителя, так и технологическое оборудование энергосистемы; управление нормальными, аварийными и послеаварийными режимами путем регулирования напряжения и частоты; контроль и анализ ПКЭ; обеспечение надежности функционирования систем электроснабжения в условиях нормального качества электроэнергии.

К **организационным мероприятиям** относится правовое и нормативное обеспечение КЭ, включающее юридическую, экономическую и финансовую базу и направленное на укрепление на оптовых и розничных рынках энергии и мощности договорной основы в части требований к КЭ.

Технические мероприятия включают в себя: применение схемных и технических решений, технических средств, направленных на обеспечение КЭ в нормируемых пределах; мониторинг КЭ; производство средств измерения для учета и контроля КЭ, систем управления КЭ, в т.ч. и автоматизированных.

**Влияние качества электроэнергии на электрические сети и
электроприемники Отклонение напряжения**

Асинхронные двигатели: при отклонении напряжения изменяются частота вращения ротора, значения потерь активной мощности, потребляемой реактивной мощности, срок службы изоляции, экономические показатели, характеризующие работу двигателя.

Потери активной мощности в полностью загруженных двигателях возрастают при снижении напряжения вследствие увеличения тока, потребляемого из сети; при повышении напряжения эти потери соответственно уменьшаются. При малых нагрузках двигателя характер зависимости меняется, т.е. увеличение напряжения приводит к росту потерь.

Изменения активных потерь в асинхронном двигателе при отклонениях напряжения в пределах 5 – 10 % номинального значения, $U_{НОМ}$ невелики: не более $0,03 \Delta P_{НОМ}$ ($\Delta P_{НОМ}$ – номинальные потери активной мощности), но и они оказываются того же порядка, что и потери в питающих их электрических сетях. Отклонение напряжения приводит к изменению потребляемой реактивной мощности. Например, для двигателей серии А мощностью 20 – 100 кВт в диапазоне допустимых отклонений напряжения изменение напряжения на 1 % влечет за собой изменение потребляемой реактивной мощности на 3 %.

При положительных отклонениях напряжения усиливается электромагнитная связь между полями статора и ротора, что приводит к увеличению частоты вращения ротора. Для механизмов с вентиляторным моментом сопротивления, пропорциональным квадрату частоты вращения, изменение частоты сопровождается изменением производительности.

При положительных отклонениях напряжения срок службы изоляции, определенный при номинальном напряжении, T_H изменяется обратно пропорционально квадрату коэффициента загрузки, $k_{загр}$:

27

$$T = T_H / k_{загр}^2$$

Влияние качества электроэнергии на электрические сети и электроприемники

Отклонение напряжения

Синхронные двигатели: при отклонении напряжения изменяется генерируемая реактивная мощность, потери мощности, запас статической устойчивости.

Максимальный электрический момент двигателя при постоянном токе возбуждения изменяется пропорционально напряжению; это вызывает соответствующее изменение запаса статической устойчивости двигателя. При наличии отклонений напряжения в сети также изменяется генерируемая двигателем реактивная мощность. Чем выше напряжение, тем ниже реактивная мощность для синхронных двигателей с высокими значениями ОКЗ (1,25 и более) и малым коэффициентом загрузки. Для двигателей с ОКЗ меньшим 1,25 снижение напряжения вызывает уменьшение генерируемой им реактивной мощности.

Потери активной мощности в синхронном двигателе возрастают с увеличением напряжения в сети и его загрузки по реактивной мощности.

Вентильные и тиристорные преобразователи: при соблюдении постоянства выпрямленного тока отклонение напряжения приводит к изменению коэффициента мощности преобразователя и потребляемой реактивной мощности. Если преобразователи неуправляемые, то отклонение напряжения влияет на производительность механизмов и расход электроэнергии.

В современном производстве применяются управляемые вентильные преобразователи, коммутируемые в основном по трехфазной мостовой схеме. В ряде технологических процессов (например, электролиз) требуется обеспечить постоянство выпрямленного тока, которое можно получить с помощью системы автоматического регулирования преобразователей. Соблюдение этого требования при отклонениях напряжения сети приводит к изменению коэффициента мощности преобразователя. Повышение напряжения приводит к уменьшению коэффициента мощности и повышенному потреблению реактивной мощности. При поддержании постоянства выпрямленного тока влияние отклонений напряжения на технологический процесс не обнаруживается.

Влияние качества электроэнергии на электрические сети и электроприемники

Отклонение напряжения

Отклонения напряжения приводят к снижению производительности и повышенному расходу электроэнергии.

Электротермические установки: отрицательные отклонения напряжения приводят к снижению производительности и повышенному расходу электроэнергии.

Осветительные установки: положительные отклонения напряжения увеличивают производительность и сокращают срок службы ламп.

Качество работы осветительных установок существенно влияет на производственный процесс. Так, увеличение освещенности рабочего места на 10 % приводит к увеличению производительности труда на 14 %. Но при повышении напряжения срок службы ламп сокращается. Например, при отклонении напряжения равном 10 %, срок службы ламп сокращается в 3 раза.

Несимметрия напряжения

Источники несимметрии – мощные однофазные и двухфазные электроприемники, трехфазные электроприемники, работающие в несимметричном режиме, неполнофазные режимы сети.

При несимметрии напряжения в сети появляются дополнительные потери в ее элементах, сокращается срок службы изоляции, ламп, оборудования, снижается генерируемая реактивная мощность синхронных машин, экономические показатели оборудования.

Влияние качества электроэнергии на электрические сети и электроприемники

Несимметрия напряжения

При несимметрии напряжения в электрических машинах переменного тока возникают магнитные поля, вращающиеся не только с синхронной скоростью в направлении вращения ротора, но и с двойной синхронной скоростью в противоположном направлении. В результате возникает дополнительный нагрев активных частей машин, главным образом – ротора, а следовательно, сокращение срока службы изоляции. В синхронных машинах это приводит к снижению тока возбуждения, чтобы снизить местный нагрев обмотки, а следовательно, и к снижению генерируемой реактивной мощности.

Несимметрия напряжения не оказывает заметного влияния на работу линий электропередачи, но оказывает существенное влияние на нагрев силовых трансформаторов и сокращение срока их службы. Так, например, при номинальной нагрузке силового трансформатора и коэффициенте несимметрии напряжения по обратной последовательности равном 0,1 срок службы изоляции сокращается на 16 %.

При несимметрии напряжения изменяется генерируемая реактивная мощность батарей конденсаторов, а также за счет местных перегревов у них снижается срок службы изоляции.

Влияние колебаний и несинусоидальности напряжения, электромагнитные помех на электроприемники и технологические установки.

Цель лекции: раскрыть зависимость технико-экономических параметров элементов систем электроснабжения и технологических установок от показателей качества электроэнергии, характеризующих колебания, несинусоидальность напряжения, электромагнитные помехи (ЭМП).

Задачи:

- показать влияние колебания напряжения на систему электроснабжения, человека, технологические установки;
 - раскрыть влияние несинусоидальности напряжения на электроэнергетическую систему и ее подсистемы;
- ввести понятие электромагнитные помех и выявить их воздействие на элементы электроэнергетической системы;
- показать каким образом формируется ущерб от низкого качества электроэнергии.

План лекции

1. Колебания напряжения и их воздействия на систему электроснабжения, технологию.
2. Несинусоидальность напряжения и ее влияние на электроэнергетическую систему.
3. Электромагнитные помехи и их негативные последствия.
4. Ущерб от низкого качества электроэнергии.

Колебание напряжения

Колебания напряжения возникают главным образом при работе резкопеременных нагрузок: управляемых вентильных или тиристорных преобразователей с широким диапазоном и большой скоростью регулирования, дуговых сталеплавильных печей (ДСП), сварки.

Колебания напряжения отрицательно складываются на зрении и на производительности технологических процессов. При размахах изменений напряжения более 10% наблюдается погасание газоразрядных ламп; при размахах более 15% отпадают контакты магнитных пускателей, выходят из строя батареи конденсаторов (БК) и вентили преобразовательных агрегатов.

Колебания напряжения отрицательно сказываются на работе большого числа потребителей: на работе индукционных печей; синхронных двигателей высокочастотных преобразовательных агрегатов; сварки; систем автоматического регулирования, в большинстве случаев выводя их из строя. Колебания напряжения отрицательно сказываются на зрении и на производительности технологических процессов. При размахах изменений напряжения более 10 % наблюдается погасание газоразрядных ламп; при размахах более 15 % отпадают контакты магнитных пускателей, выходят из строя батареи конденсаторов (БК) и вентили преобразовательных агрегатов.

При колебаниях напряжения снижается производительность электролизных установок, сокращается их срок службы, на заводах химического волокна рвутся нити или становятся разнотолщинными, а это брак. Колебания амплитуды и фазы напряжения, вызываемые работой прокатных станов, приводят к колебаниям электромагнитного момента, активной и реактивной мощности синхронных генераторов ТЭЦ предприятий, что отрицательно сказывается на экономичности работы всей станции в целом, может вызвать неустойчивую работу систем автоматического регулирования возбуждения и реактивной мощности синхронных генераторов, а также ложную работу устройств форсировки тока возбуждения.

Несинусоидальность напряжения

Несинусоидальные режимы возникают в сетях с нелинейными нагрузками: вентильными преобразователями, ДСП, мощными магнитными усилителями, люминесцентными и ртутными лампами и т.д.

Высшие гармоники напряжения и тока неблагоприятно влияют на электрооборудование, системы автоматики, релейной защиты, телемеханики и связи: появляются дополнительные потери в электрических машинах; силовых трансформаторах и сетях; затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов, так как они вспучиваются и взрываются из-за перегрева токами высших гармоник; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; возникает аварийность в кабельных сетях; появляются сбои в работе релейной защиты и автоматики, телемеханики и связи.

Высшие гармоники напряжения и тока также сказываются на значениях коэффициентов мощности и вращающего момента электродвигателей. Однако, снижение этих величин оказывается небольшим. Уровень дополнительных активных потерь от высших гармоник в сетях энергосистем и в сетях предприятий, электрифицированного железнодорожного транспорта варьируется в зависимости от структуры электропотребления и может достигать 30-40% от потерь при синусоидальных токах и напряжениях.

Наибольшему воздействию высших гармоник подвергаются батареи конденсаторов.

Электромагнитные помехи (ЭМП)

Причины возникновения ЭМП: однофазные короткие замыкания на ЛЭП, которые либо самоликвидируются, либо устраняются при кратковременном отключении с последующим АПВ; междуфазные замыкания в результате атмосферных явлений; отключение компенсирующих устройств; перенапряжения при оперативных и аварийных коммутациях, при коммутациях батарей конденсаторов и резонансных фильтров, отключении ненагруженных линий и силовых трансформаторов, одновременной коммутации контактов коммутационной аппаратуры, феррорезонансные явления.

Количество посадок напряжения с глубиной до 20 % достигает в распределительных сетях 60 %. Свыше 2/3 остановов механизмов приходится на посадки с глубиной более 20 %.

Увеличение мощности энергосистем и количества ВЛ, применяемых для надежности электроснабжения, приводит к снижению надежности функционирования электронных систем управления и возрастанию числа отказов помехочувствительных электроприемников.

Восприимчивость электронного оборудования и вычислительной техники к ЭМП зависит от амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) электроприемников и от АЧХ помех. Крутизна фронта посадки напряжения оказывает существенное влияние на вероятность отказов помехочувствительных электроприемников.

Несинусоидальность, колебания и отклонения напряжения усиливают восприимчивость электронных систем к ЭМП. Анализ сбоев персональных компьютеров показал, что основной причиной их возникновения являются электромагнитные помехи при наличии колебания и несимметрии питающего напряжения. При этом чувствительность их отдельных блоков к помехам различна.

Качество электроэнергии существенным образом влияет и на надежность электроснабжения: возрастает число отказов элементов, число ложных срабатываний релейной защиты (в том числе и микропроцессорной), наблюдается аварийный выход из строя некоторых видов оборудования.

**НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГОСТ Р 54149-2010**

**Электрическая энергия.
Совместимость технических средств электромагнитная**

**Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения
общего назначения**

Дата введения – 01.01.2013 г.

Область применения: настоящий стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжений систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц.

Требования настоящего стандарта применяют при установлении норм КЭ в электрических сетях:
- систем электроснабжения общего назначения, присоединенных к Единой энергетической системе России;
- изолированных систем электроснабжения общего назначения.

Основные определения

Система электроснабжения общего назначения – совокупность электроустановок и электрических устройств, предназначенных для обеспечения электрической энергией различных потребителей электрических сетей.

Пользователь электрической сети - сторона, получающая электрическую энергию от электрической сети либо передающая электрическую энергию в электрическую сеть. К пользователям электрических сетей относят сетевые организации и иных владельцев электрических сетей, потребителей электрической энергии, а также генерирующие организации.

Распределительная электрическая сеть - совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии между пользователями электрической сети, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Сетевая организация - организация, владеющая на праве собственности или на ином установленном федеральными законами основании объектами электросетевого хозяйства, с использованием которых оказывающая услуги по передаче электрической энергии и осуществляющая в установленном порядке технологическое присоединение энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям, а также осуществляющая право заключения договоров об оказании услуг по передаче электрической энергии с использованием объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих другим собственникам и иным законным владельцам и входящих в единую национальную (общероссийскую) электрическую сеть.

Потребитель электрической энергии – юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью) на основании заключенного договора.

Точка передачи электрической энергии – точка электрической сети, находящаяся на линии раздела объектов электроэнергетики между владельцами по признаку собственности или владения на ином предусмотренном федеральными законами основании, определенная в процессе технологического присоединения.

Точка общего присоединения – электрически ближайшая к конкретной нагрузке пользователя сети точка, к которой присоединены нагрузки других пользователей сети.

Напряжение электропитания – среднеквадратическое значение напряжения в определенный момент времени в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, измеряемое в течение установленного интервала времени.

Согласованное напряжение электропитания U_c - напряжение, отличающееся от стандартного номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 29322, согласованное для конкретного пользователя электрической сети при технологическом присоединении в качестве напряжения электропитания.

Низкое напряжение - напряжение, номинальное среднеквадратическое значение которого не превышает 1 кВ.

Среднее напряжение - напряжение, номинальное среднеквадратическое значение которого превышает 1 кВ, но не превышает 35 кВ.

Высокое напряжение - напряжение, номинальное среднеквадратическое значение которого превышает 35 кВ, но не превышает 220 кВ.

Частота напряжения электропитания – частота повторения колебаний основной гармоники напряжения электропитания, измеряемая в течение установленного интервала времени.

Кондуктивная электромагнитная помеха - электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам электрической сети. В некоторых случаях электромагнитная помеха распространяется через обмотки трансформаторов и может действовать в электрических сетях с разными значениями напряжения. Кондуктивные электромагнитные помехи могут ухудшить качество функционирования устройств, электроустановок или систем или вызвать их повреждение.

Уровень электромагнитной совместимости в системе электроснабжения - регламентированный уровень кондуктивной электромагнитной помехи, используемый в качестве опорного для координации между допустимым уровнем помех, вносимым техническими средствами пользователей электрических сетей, и уровнем помех, воспринимаемым техническими средствами, подключенными к электрической сети, без нарушения их нормального функционирования.

Напряжение гармонической составляющей - среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого является кратной основной частоте напряжения электропитания.

Напряжение интергармонической составляющей - среднеквадратическое значение синусоидального напряжения, частота которого не является кратной основной частоте напряжения электропитания.

Напряжение сигналов в электрической сети - напряжение сигналов, добавляемое к напряжению электропитания при передаче информации в распределительных электрических сетях и электроустановках потребителей электрической энергии.

Быстрое изменение напряжения - быстрое изменение среднеквадратического значения напряжения между двумя последовательными уровнями установившегося напряжения.

Опорное напряжение (используется при оценке провалов, прерываний напряжения и перенапряжений) - значение напряжения, применяемое в качестве основы при установлении остаточного напряжения, пороговых значений напряжения и других характеристик провалов, прерываний напряжения и перенапряжений, выраженное в вольтах или в процентах номинального напряжения.

Опорное напряжение (при оценке провалов, прерываний напряжения и перенапряжений) считают равным номинальному или согласованному напряжению электропитания.

Прерывание напряжения - ситуация, при которой напряжение в точке передачи электрической энергии **меньше 5 %** опорного напряжения.

Импульсное напряжение - перенапряжение, представляющее собой одиночный импульс или колебательный процесс (обычно сильно демпфированный), длительностью до нескольких мс.

Провал напряжения - временное уменьшение напряжения в конкретной точке электрической системы ниже установленного порогового значения.

Длительность провала напряжения - интервал времени между моментом, когда напряжение в конкретной точке системы электроснабжения падает ниже порогового значения начала провала напряжения, и моментом, когда напряжение возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.

Пороговое значение окончания провала напряжения - среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения окончания провала напряжения.

Остаточное напряжение провала напряжения - минимальное среднеквадратическое значение напряжения, отмеченное в течение провала напряжения.

Остаточное напряжение провала напряжения выражают³⁹ в процентах опорного напряжения.

Пороговое значение начала провала напряжения - среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения начала провала напряжения.

Перенапряжение - временное возрастание напряжения в конкретной точке электрической системы выше установленного порогового значения.

Длительность перенапряжения - интервал времени между моментом, когда напряжение в конкретной точке системы электроснабжения возрастает выше порогового значения начала перенапряжения, и моментом, когда напряжение падает ниже порогового значения окончания перенапряжения.

Пороговое значение окончания перенапряжения - среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения окончания перенапряжения.

Пороговое значение начала перенапряжения - среднеквадратическое значение напряжения в системе электроснабжения, установленное для определения начала перенапряжения.

Фликер - ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяется во времени.

Среднеквадратическое значение - корень квадратный из среднеарифметического значения квадратов мгновенных значений величины, измеренных в течение установленного интервала времени и в установленной полосе частот.

Усреднение по времени - усреднение нескольких последовательных значений конкретного показателя КЭ, измеренных на одинаковых интервалах времени, для получения значения показателя при большем интервале времени.

Маркированные данные - обозначение результатов измерений показателей КЭ и результатов их усреднения на временных интервалах, в пределах которых имели место прерывания, провалы напряжения или перенапряжения.

Примечания

1. При оценке соответствия электрической энергии нормам КЭ, установленным в настоящем стандарте, маркированные данные не учитывают.
2. В ряде случаев сведения о маркировании результатов измерений показателей КЭ могут учитываться при анализе качества электрической энергии (см. ГОСТ Р 51317.4.30).

Качество электрической энергии (КЭ) - степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей КЭ.

Несимметрия напряжений - состояние системы энергоснабжения трехфазного переменного тока, в которой среднеквадратические значения основных составляющих междуфазных напряжений или углы сдвига фаз между основными составляющими междуфазных напряжений не равны между собой.

КАТЕГОРИИ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯЖЕНИЯ

Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электроэнергии пользователю электрической сети, относящиеся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазной системе, подразделяются на две категории:

Продолжительные изменения характеристик напряжения , которые представляют собой длительные отклонения характеристик от номинальных значений . Они обусловлены в основном изменениями нагрузки и влиянии нелинейных нагрузок.

Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к ее отклонению от номинальной формы. Вызываются, как правило, непредсказуемыми событиями(например, повреждениями оборудования электрической сети) или внешними воздействиями (погодными условиями, действиями людей и тд).

Показатели и нормы качества электрической энергии

Продолжительные изменения характеристик напряжения

Продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены, в основном, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок.

Отклонение частоты, δf , Гц

$$\delta f = f_m - f_{\text{nom}},$$

где f_m — значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени **10 с** в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51317.4.30, подраздел 5.1;

f_{nom} — номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц.

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.

Медленные изменения напряжения (продолжительность более 1 минуты) ПКЭ определяются в точке передачи электрической энергии:

отрицательное отклонение напряжения электропитания, $\delta U_{(-)}$, %

U_0 ; положительное отклонение напряжения электропитания, $\delta U_{(+)}$, % U_0 ;

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

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

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 Р 51317.4.30, подраздел 5.12;

U_0 — напряжение, равное стандартному номинальному напряжению U_{nom} или согласованному напряжению электропитания U_c .

Нормы:

Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные

отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать **10 %** номинального или согласованного значения напряжения в течение **100 %** времени интервала в одну неделю.

Установленные нормы медленных изменений напряжения электропитания относятся к интервалам времени измерений по 10 мин каждый.

Допустимые значения положительного и отрицательного отклонений напряжения в точках общего присоединения должны быть установлены сетевой организацией с учетом необходимости выполнения норм настоящего стандарта в точках передачи электрической энергии.

Колебания напряжения и фликер (продолжительность менее 1 мин)

ПКЭ:

кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин;

длительная доза фликера P_{lt} , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии.

Нормы:

кратковременная доза фликера P_{st} не должна превышать значения 1,38, длительная доза фликера P_{lt} не должна превышать значения 1,0 в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Одиночные быстрые изменения напряжения

вызываются, в основном, резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому.

Обычно одиночные быстрые изменения напряжения не превышают 5 % в электрических сетях низкого напряжения и 4 % — в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10 % U_{nom} и до 6 % U_c соответственно могут происходить несколько раз в день.

Если напряжение во время изменения пересекает пороговое значение начала провала напряжения или перенапряжения, одиночное быстрое изменение напряжения классифицируют как провал напряжения или перенапряжение.

Несинусоидальность напряжения

Гармонические составляющие напряжения в точке передачи электрической энергии учитываются до 40-го порядка.

ПКЭ:

коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения, $K_{U(n)}$, % U_1 ,

где U_1 — значение основной гармонической составляющей напряжения, В, кВ;

n — номер гармонической составляющей напряжения;

суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, K_U , % - это отношение среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей в точке передачи электрической энергии.

Нормы:

а) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, усредненные в интервале времени **10 мин**, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1—3, в течение **95 %** времени интервала в одну неделю;

Т а б л и ц а 1 — Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения, не кратных трем

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

Т а б л и ц а 2 — Значения коэффициентов нечетных гармонических составляющих напряжения, кратных трем

Порядок гармонической составляющей n	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, % U_1 , для напряжения электрической сети			
	0,38 кВ	6—25 кВ	35 кВ	110—220 кВ
3	5	3	3	1,5
9	1,5	1	1	0,4
15	0,3	0,3	0,3	0,2
21	0,2	0,2	0,2	0,2
>21	0,2	0,2	0,2	0,2

Т а б л и ц а 3 — Значения коэффициентов напряжения четных гармонических составляющих

Порядок гармонической составляющей n	Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, % U_1 , для напряжения электрической сети			
	0,38 кВ	6—25 кВ	35 кВ	110—220 кВ
2	2	1,5	1	0,5
4	1	0,7	0,5	0,3
6	0,5	0,3	0,3	0,2
8	0,5	0,3	0,3	0,2
10	0,5	0,3	0,3	0,2
12	0,2	0,2	0,2	0,2

б) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, 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 K_U , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 4, в течение **95 %** времени интервала в одну неделю;

Т а б л и ц а 4 — Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U для пункта в)

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

г) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , усредненные в интервале времени **10 мин**, не должны превышать значений, установленных в таблице 5, в течение **100 %** времени интервала в одну неделю.

Т а б л и ц а 5 — Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U для пункта г)

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

Несимметрия напряжений в трехфазных системах

ПКЭ:

коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} , %

коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} , %

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} 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 K_{2U} несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени **10 мин**, не должны превышать **4 %** в течение **100 %** времени интервала в одну неделю.

Случайные события

Прерывания напряжения

Прерывания напряжения относят к создаваемым преднамеренно, если пользователь электрической сети информирован о предстоящем прерывании напряжения, и к случайным, вызываемым длительными или кратковременными неисправностями, обусловленными, в основном, внешними воздействиями, отказами оборудования или влиянием электромагнитных помех.

Создаваемые преднамеренно прерывания напряжения, как правило, обусловлены проведением запланированных работ в электрических сетях.

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

Ежегодная частота длительных прерываний напряжения (длительностью более 3 мин) в значительной степени зависит от особенностей системы электроснабжения (в первую очередь, применения кабельных или воздушных линий) и климатических условий. Кратковременные прерывания напряжения наиболее вероятны при их длительности менее нескольких секунд.

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.

Характеристики кратковременных прерываний напряжения приведены в приложении А.

Провалы напряжения

Провалы напряжения обычно происходят из-за неисправностей в электрических сетях или в электроустановках потребителей, а также при подключении мощной нагрузки.

Провал напряжения, как правило, связан с возникновением и окончанием короткого замыкания или иного резкого возрастания тока в системе или электроустановке, подключенной к электрической сети. В соответствии с требованиями настоящего стандарта провал напряжения рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью.

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.

Длительность провала напряжения может составлять от 10 мс до 1 мин.

Провалы и прерывания напряжения классифицируют в соответствии с таблицей А.1.

Цифры, помещаемые в ячейки таблицы, отражают число соответствующих событий.

Провалы и прерывания напряжения измеряют в соответствии с ГОСТ Р 51317.4.30 на основе измерений среднеквадратических значений напряжения, обновляемых для каждого полупериода.

Параметры провалов, прерываний напряжения:

остаточное напряжение (максимальное действующее напряжение для провалов и прерываний); длительность провала (прерывания) напряжения, $\Delta_{\text{пр}}$, с;

В электрических сетях низкого напряжения, четырехпроводных трехфазных системах учитывают фазные напряжения; в трехпроводных трехфазных системах учитывают линейные напряжения; в случае однофазного подключения учитывают питающее напряжение (фазное или ⁵¹линейное в соответствии с подключением потребителя).

Пороговое напряжение начала провала и прерывания принимают равным 90 % опорного напряжения.

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 перенапряжения рассматриваются как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью.

Перенапряжения измеряют в соответствии с ГОСТР 51317.4.30, подраздел 5.4, на основе измерений среднеквадратических значений напряжения, обновляемых для каждого полупериода.

Пороговое напряжение начала перенапряжения принимают равным 110 % опорного напряжения.

В среднем за год в точке присоединения возможны около **30 перенапряжений**. При обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ, работающих с глухо заземленной нейтралью, возникают временные перенапряжения между фазой и землей. Уровень таких перенапряжений при значительной несимметрии фазных нагрузок может достигать значений линейного напряжения, а длительность — нескольких часов.

В системах низкого напряжения, при определенных обстоятельствах, неисправность, произошедшая электрически выше трансформатора, может породить временные перенапряжения на стороне низкого напряжения на время, в течение которого протекает ток, вызванный неисправностью. Такие перенапряжения в общем случае не превышают 1,5 кВ.

Для систем среднего напряжения ожидаемое значение такого перенапряжения зависит от типа заземления в системе. В системах с жестко заземленной нейтралью или с заземлением нейтрали через сопротивление значение перенапряжения обычно не превышает $1,7U_c$. В системах с изолированной нейтралью или с заземлением нейтрали через реактор значение перенапряжения обычно не превышает $2,0U_c$. Тип заземления указывается оператором сети.

Определение и оценка провалов напряжения и перенапряжений

Оба явления — провалы и перенапряжения — непредсказуемы и в значительной степени случайны. Частота возникновения их зависит от типа системы электроснабжения, точки наблюдения, времени года.

Характеристики провалов напряжения и перенапряжений, а также данные об определении и оценке их приведены в приложении А.

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 мкс** до нескольких **мс**).

Импульсные напряжения, вызванные молниевыми разрядами, в основном имеют бóльшие амплитуды, но меньшие значения энергии, чем импульсные напряжения, вызванные коммутационными процессами, характеризующимися, как правило, большей длительностью.

Благодарю за внимание