

ЛЕКЦИЯ № 6

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ЕГО ПОКАЗАТЕЛИ

Учебные вопросы:

- 6.1 Нормы качества электрической энергии и область их применения
- 6.2 Продолжительные изменения характеристик напряжения

Литература:

1. Фёдоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
2. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергоатомизда, 2005. – 413 с.
3. Герасименко А.Н. Передача и распределение электрической энергии. М.: Феникс, 2006. – 718 с.

Введение

Качество электрической энергии обеспечивается совместными действиями субъектов электроэнергетики, обеспечивающих снабжение электрической энергией потребителей, в том числе гарантирующих поставщиков, энергосбытовых организаций, энергоснабжающих организаций, сетевых организаций, системного оператора и иных субъектов оперативно-диспетчерского управления, а также производителей (поставщиков) электрической энергии во исполнение своих обязательств по договорам на оптовом и розничных рынках электрической энергии. Указанные субъекты отвечают перед потребителями за неисполнение или ненадлежащее исполнение обязательств по соответствующим договорам, в том числе за надежность снабжения их электрической энергией и ее качество в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными требованиями.

В договорах оказания услуг по передаче электрической энергии и энергоснабжения определяется категория надежности снабжения потребителя электрической энергией (далее – категория надёжности), обуславливающая содержание обязательств по обеспечению надежности снабжения электрической энергией соответствующего потребителя, в том числе:

- допустимое число часов отключения в год, не связанного с неисполнением потребителем обязательств по соответствующим договорам и их расторжением, а также с обстоятельствами непреодолимой силы и иными основаниями, исключающими ответственность гарантирующих поставщиков, энергоснабжающих, энергосбытовых и сетевых организаций и иных субъектов электроэнергетики перед потребителем в соответствии с законодательством Российской Федерации и условиями договоров;

- срок восстановления энергоснабжения.

В случаях ограничения режима потребления электрической энергии сверх сроков, определенных категорией надежности снабжения, установленной в соответствующих договорах, нарушения установленного порядка полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии, а также отклонений показателей качества электрической энергии сверх величин,

установленных техническими регламентами и иными обязательными требованиями, лица, не исполнившие обязательства, несут предусмотренную законодательством Российской Федерации и договорами ответственность. Ответственность за нарушение таких обязательств перед гражданами-потребителями определяется в том числе в соответствии с жилищным законодательством Российской Федерации.

6.1 Нормы качества электрической энергии и область их применения

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество.

Понятие качества электрической энергии (КЭ) отличается от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальных частоте, напряжении, токе и т.п., поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое КЭ. Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники (ЭП) могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения” устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения).

Нормы КЭ, установленные настоящим стандартом, являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных:

- исключительными погодными условиями и стихийными бедствиями (ураган, наводнение, землетрясение и т.п.);
- непредвиденными ситуациями, вызванными действиями сторон, не являющейся энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии (пожар, взрыв, военные действия и т.п.);
- условиями, регламентированными государственными органами управления, а также связанных с ликвидацией последствий, вызванных исключительными погодными условиями и непредвиденными обстоятельствами.

Нормы КЭ, установленные настоящим стандартом, подлежат включению в технические условия на присоединение потребителей электрической энергии и в договоры на пользование электрической энергией между электроснабжающими организациями и потребителями электрической энергии.

При этом для обеспечения норм стандарта в точках общего присоединения допускается устанавливать в технических условиях на присоединение потребителей, являющихся виновниками ухудшения КЭ, и в договорах на пользование электрической энергией с такими потребителями более жесткие нормы (с меньшими диапазонами изменения соответствующих показателей КЭ), чем установленные в настоящем стандарте.

По согласованию между энергоснабжающей организацией и потребителями допускается устанавливать в указанных технических условиях и договорах требования к показателям КЭ, для которых в настоящем стандарте нормы не установлены.

Нормы, установленные настоящим стандартом, применяют при проектировании и эксплуатации электрических сетей, а также при установлении уровней помехоустойчивости приемников электрической энергии и уровней кондуктивных электромагнитных помех, вносимых этими приемниками.

Нормы КЭ в электрических сетях, находящихся в собственности потребителей электрической энергии, регламентируемые отраслевыми стандартами и иными нормативными документами, не должны быть ниже норм КЭ, установленных настоящим стандартом в точках общего присоединения. При отсутствии указанных отраслевых стандартов и иных нормативных документов нормы настоящего стандарта являются обязательными для электрических сетей потребителей электрической энергии.

Показатели и нормы качества электроэнергии

Показателями качества электроэнергии являются:

- отклонение напряжения от своего номинального значения;
- колебания напряжения от номинала;
- несинусоидальность кривой формы рабочего напряжения;
- несимметрия 3-х фазной сети, а также смещение нейтрали (несимметрия напряжений);
- отклонение частоты от своего номинального значения;
- длительность провала напряжения;
- импульс напряжения;
- временное перенапряжение.

Стандартом устанавливаются следующие показатели качества электроэнергии (ПКЭ):

- установившееся отклонение напряжения δU_y ;
- размах изменения напряжения δU_t ;
- доза фликера¹ P_t ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- отклонение частоты Δf ;
- длительность провала напряжения Δt_n ;
- импульсное напряжение $U_{ei \bar{r}}$;

¹ Фликер-феномен – суть заключается в том, что под воздействием быстро пульсирующего света наступает баланс электрической активности коры головного мозга, проявляющийся в наступлении состояния транса, релаксации и возникновении ментальных образов. Явление фликера надо рассматривать как вредное и даже опасное для здоровья человека.

- коэффициент временного перенапряжения $K_{\text{вп}} \Delta U$.

При определении значений некоторых ПКЭ стандартом вводятся следующие вспомогательные параметры электрической энергии:

- интервал между изменениями напряжения $\Delta t_{i,i+1}$;
- глубина провала напряжения δU_n ;
- частота появления провалов напряжения F_n ;
- длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{0,5}$;
- длительность временного перенапряжения $\Delta t_{\text{вп}}$.

Основные показатели КЭ при условии нормальной работы электроприёмников должны в течении не менее 23 часов каждых суток не выходить за пределы своих номинальных значений, а в послеаварийных режимах – за пределы определенных максимальных значений.

В аварийных режимах допускают кратковременный выход показателей качества электроэнергии за установленные пределы (снижение напряжения вплоть до нулевого уровня; отклонение частоты до ± 5 Гц и др.) с последующим их восстановлением до уровня, требуемого в послеаварийном режиме.

Установлены два вида норм качества электроэнергии: нормально допустимые и предельно допустимые. Оценка соответствия показателей КЭ указанным нормам проводится в течение расчетного периода, равного 24 часам, в соответствии с требованиями раздела 4.

В таблице 6.1. приведены свойства электрической энергии, показатели их характеризующие и наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ.

Свойства электрической энергии	Показатель качества электроэнергии	Вероятный виновник ухудшения КЭ
Отклонение напряжения	Установившееся отклонение напряжения δU_y	Энергоснабжающая организация
Колебания напряжения	Размах изменения напряжения Доза фликера	Потребитель с переменной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения	Потребитель с нелинейной нагрузкой
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	Потребитель с несимметричной нагрузкой
Отклонение частоты	Отклонение частоты	Энергоснабжающая организация

Свойства электрической энергии	Показатель качества электроэнергии	Вероятный виновник ухудшения КЭ
Провал напряжения	Длительность провала напряжения	Энергоснабжающая организация
Импульс напряжения	Импульсное напряжение	Энергоснабжающая организация
Временное перенапряжение	Коэффициент временного перенапряжения	Энергоснабжающая организация

6.2 Продолжительные изменения характеристик напряжения

6.2.1. Отклонение напряжения от своего номинального значения

Отклонение номинального напряжения представляет собой относительную разность (выражаемой в процентах) между его номинальным $U_{ном}$ и фактическим U значениями, которая возникает при относительно медленном изменении своего режима. Могут быть допущены следующие пределы отклонения рабочего напряжения от номинального значения: на выводах электродвигателей и устройствах для их запуска и управления – от -5 до $+10$ %; на выводах электрических приборов освещения в общественных и производственных помещениях = от $-2,5$ до $+5$ %; на выводах прочих электрических приемников – ± 5 %.

6.2.2. Колебания напряжения от номинала

Колебания рабочего напряжения обуславливается размахом его изменения - то есть, относительной разностью между наименьшим U_{min} и наибольшим U_{max} действующими значениями электрического напряжения. На колебания рабочего напряжения также влияют и режимы технологических систем, пуски электрических двигателей, работа сварочных аппаратов, мощных дуговых печей, различных выпрямительных установок и т.д. Для уменьшения колебаний понижают сопротивление питающей электросети, используют конденсаторы, приближают электрические приемники к источникам электропитания и т.д.

Влияние колебаний напряжения на работу электрооборудования:

Отклонения напряжения, усугублённые резкопеременным характером, ещё более снижают эффективность работы и срок службы оборудования. Вызывают брак продукции. Способствуют отключению автоматических систем управления и повреждению оборудования. Так, например, колебания амплитуды и, в большей мере, фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателя, приводимых механизмов и систем. В частности, это ведёт к снижению усталостной прочности трубопроводов и снижению срока их службы. А при размахах колебаний более 15 % могут отключаться магнитные пускатели и реле.

Не менее опасна, вызываемая колебаниями напряжения, пульсация светового потока ламп освещения. Её восприятие человеком — 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.

Поэтому в ГОСТ 13109-97, размах изменения напряжения (δU_t) жёстче нормируется для помещений с лампами накаливания и повышенной освещённостью, а доза фликера (P_f) для помещений с лампами накаливания, работа в которых требует значительного зрительного напряжения.

В качестве вероятного виновника колебаний напряжения ГОСТ 13109-97 указывает потребителя с переменной нагрузкой.

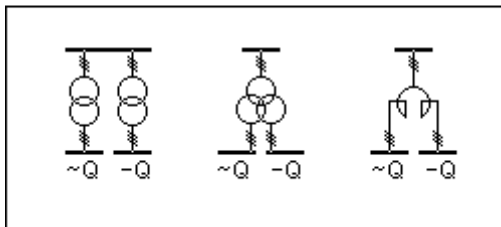
Мероприятия по снижению колебаний напряжения:

1. 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.

2. Подключение к мощной системе электроснабжения ($\equiv \uparrow S_{кз}$)

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



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

3. 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.

4. 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 $X \rightarrow 0$.

На практике не обоснованно, но активно применяют последние два мероприятия.

6.2.3. Несинусоидальность кривой формы рабочего напряжения

Несинусоидальность формы кривой рабочего напряжения обуславливается составом присутствующих высших гармоник (включительно по 13) и может допускаться в таких пределах: существующее значение всех высших гармоник на электрических выводах любого приемника не должно быть больше 5% имеющейся величины напряжения основной рабочей частоты. Высшие гармонические составляющие негативно действуют на работу электрических приемников и электросетей, систем связи и автоматики, различных измерительных устройств,

вычислительной техники и прочей электроники. Источники таких гармоник — это, прежде всего выпрямительные элементы у потребителей, электрической передачи постоянного тока, силовые электрические трансформаторы, сварочные аппараты, дуговые электрические печи и т.д.; которые значительно ухудшают качество электрической энергии в сетях.

6.2.4. Несимметрия 3-х фазной сети, а также смещение нейтрали (несимметрия напряжений)

Несимметрия 3х-фазной системы электроснабжения может появляться не только при аварийных ситуациях (отключении или обрыве одной фазы), но и в нормальных рабочих режимах (при работе единичных довольно мощных однофазных электрических нагрузок). В случае несимметричного режима сильно ухудшаются условия функционирования приемников и всех имеющихся элементов электросети (понижается качество электрической энергии): уменьшается экономичность и продолжительность срока службы устройств, снижается пропускная способность электросети и т.д. Данный режим обуславливается напряжением обратной последовательности, которое не должно превышать номинального значения на 2% на выводах трехфазного приемника.

6.2.5. Отклонение частоты от своего номинального значения

Отклонение рабочей частоты является разностью между ее номинальным ($f_{ном}$) и фактическим ($f_{ф}$) значениями, которая усреднена за 10 минут. В своём нормальном режиме работы отклонения частоты должны находиться в пределах около $\pm 0,1$ Гц. Колебания рабочей частоты обуславливается разностью между наименьшим и наибольшим значениями основной рабочей частоты за некоторый промежуток времени. Эти колебания и отклонения частоты напрямую влияют на качество электрической энергии. Снижение частоты происходит при дефиците мощности работающих в системе электростанций.

Для устранения этих явлений, необходимо ремонтировать или модернизировать существующие и строить новые электростанции. А пока их нет, активно применяется радикальная мера — автоматическая частотная разгрузка (АЧР), то есть отключение части потребителей при снижении частоты (гильотина, — как средство от головной боли). 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 очередности или иметь собственные резервные генерирующие мощности.

Повышение частоты происходит при резком сбросе нагрузки в системе электроснабжения, — ситуация аварийная и действие ГОСТ 13109-97 на неё не распространяется, а в установившемся режиме работы сети такое событие весьма редкое.

Следующие явления возникают в любой сети и зачастую являются случайными событиями. ГОСТ 13109-97 не нормирует эти явления, но их статистика по конкретной сети может помочь потребителю принимать решения по обеспечению бесперебойности электроснабжения собственного оборудования тем или иным способом.