

# КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ПОКАЗАТЕЛИ, ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И НА НАДЁЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Е.В. Тарасов, магистрант, Д.И. Олейник, магистрант  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
г. Томск, Россия  
[e.tarasov@inbox.ru](mailto:e.tarasov@inbox.ru)

Показатели качества электроэнергии (ПКЭ) – стандарты, устанавливающие допустимые уровни помех в электрической сети и характеризующие качество электроэнергии (КЭ). **Влияние КЭ на работу электроприемников** - важный показатель, который необходимо учитывать при проектировании электроэнергетических объектов. Рост электропотребления промышленностью и электрифицированным транспортом обуславливает увеличение доли электроприемников с толчковыми, несимметричными нагрузками, нагрузками с нелинейными характеристиками. Поэтому вопрос повышения КЭ играет важную роль в современной энергетике. [3] В [4] приведены основные ПКЭ.

К важнейшим показателям КЭ относят:

- Колебания напряжения
- Несимметрия напряжения
- Несинусоидальность напряжения
- Отклонение частоты переменного напряжения
- Провалы напряжения
- Временное перенапряжение
- Импульсное перенапряжение
- Электромагнитная совместимость
- Добавочные потери в линиях электропередачи

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

Влияние *несимметрии* напряжений также негативно сказывается на работу электрооборудования. В электрических сетях возрастают потери электроэнергии от дополнительных потерь в нулевом проводе. В электродвигателях, возникают магнитные поля, вращающиеся встречно вращению ротора. Общее влияние несимметрии напряжений на электрические машины 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.

При *несинусоидальности* напряжения в электрических машинах, включая трансформаторы, возрастают суммарные потери. Фронты несинусоидального напряжения воздействуют на изоляцию кабельных линий электропередач, — учащаются однофазные короткие замыкания на землю. Аналогично кабелю, пробиваются конденсаторы. [1]

*Отклонение фактической частоты* переменного напряжения ( $f_{ф}$ ) от номинального значения ( $f_{ном}$ ) в установившемся режиме работы системы электроснабжения. Снижение частоты происходит при дефиците мощности работающих в системе электростанций.

*Провалы напряжения* - внезапное и значительное снижение напряжения (менее 90 %  $U_{ном}$ ) длительностью от нескольких периодов до нескольких десятков секунд с последующим восстановлением напряжения. Причинами провалов напряжения является срабатывание средств защиты и автоматики при отключении грозовых перенапряжений, токов короткого замыкания (КЗ), а также при ложных срабатываниях защит или в результате ошибочных действий оперативного персонала.

*Временное перенапряжение* - внезапное и значительное повышение напряжения (более 110 %  $U_{ном}$ ) длительностью более 10 миллисекунд. Временные перенапряжения возникают при коммутациях оборудования (коммутационные, кратковременные) и при коротких замыканиях на землю (длительные). Коммутационные перенапряжения возникают при разгрузке протяженных линий электропередач высокого напряжения.

*Импульсное перенапряжение* - резкое повышение напряжения длительностью менее 10 миллисекунд. Импульсные перенапряжения возникают при грозовых явлениях и при коммутациях оборудования (трансформаторы, двигатели, конденсаторы, кабели), в том числе при отключении токов КЗ.[3]

*Электромагнитная совместимость* – способность электрической установки, или элемента, группы элементов, прибора или иного устройства, функционировать в заданной электромагнитной обстановке так, чтобы не вызывать недопустимого электромагнитного воздействия на окружающую среду. Электромагнитные помехи, излучаемые различными источниками, воздействуют на приборы, линии сигналов или данных, а также на системы электропитания, заземления устройств автоматизации отдельно или комбинированно при случайном наложении во времени. Внутри прибора они могут попасть совместно с полезными сигналами или с напряжением питания по проводам либо полевым путем, а также через антенны. В дополнении к этим помехам, вызванным внешними источниками, могут возникнуть и внутренние помехи, распространяющиеся по проводам или в виде поля внутри системы.[5]

*Добавочные потери.* В линиях электропередачи 110 кВ в условиях высокого искажения синусоидальности тока имеют место добавочные потери активной мощности и энергии от действия высших гармонических составляющих. Добавочные потери во многих случаях составляют значительную часть от основных потерь, но не учитываются в расчете технологических потерь электроэнергии. Учитываются потери только от первой гармоники (основной частоты 50 Гц). В [6] приведены расчеты потерь активной энергии за сутки, которые показывают, что основные и добавочные потери в данном случае составляют 378,2 и 49,7 кВтч, соответственно. Уровень добавочных потерь электроэнергии достигает 13,1 % от основных потерь энергии. Что является довольно значимой величиной.[6]

Ниже рассмотрены мероприятия по увеличению КЭ.

➤ Снижение *потерь напряжения* ( $\Delta U$ ) 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.[2]

➤ Мероприятия по снижению *колебаний* напряжения:

- Разделение нагрузок
- 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 ( $\uparrow S_{кз}$ ).

- Снижение сопротивления питающего участка сети.
  - Мероприятия по снижению *несимметрии* напряжений:

- Равномерное распределение нагрузки по фазам.

- Применение симметрирующих устройств.

➤ Мероприятия по снижению *несинусоидальности* напряжения:

- Применение фильтрокомпенсирующих устройств.

- 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. [1]

- Мероприятия для устранения *отклонений частоты*:

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.[2]

- Мероприятия по повышению *электромагнитной совместимости*:

- Подавление возникновения помех путем воздействия на источник помех.

- Подавление или ослабление помех в тракте распространения.

- Повышение помехозащищенности и устойчивости слабого звена.

- Разделение во времени режимов появления помехи и функционирования чувствительного элемента.

- Разделение во времени режимов появления помехи и функционирования чувствительного элемента.[5]

- Мероприятия по снижению *добавочных потерь*:

- Снижение инъекций высших гармонических составляющих токов в электрические сети энергосистем

- Оптимизация конструкций проектируемых ЛЭП с целью отстройки линий от развития резонансных процессов на частотах высших гармоник

- Оптимизация структуры и конфигурации электрической сети энергосистемы.

Актуальность проблемы повышения качества электроэнергии в России не вызывает сомнения. Должна быть разработана программа повышения качества электроэнергии в электрических сетях России до уровня норм, установленных ГОСТ 13109-97 и определены источники ее финансирования.

На этапе проектирования сети при нормальных режимах ее работы необходимо рассчитывать ПКЭ и выбирать наиболее экономичные средства приведения параметров режимов к допустимым пределам (нормам). В условиях эксплуатации в электрической сети должен осуществляться систематический контроль за ПКЭ и соответственно приниматься меры по приведению параметров к допустимым нормам.

### Список литературы:

1. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. — 2 е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 168 с: ил.
2. Качество электроэнергии //URL: <http://www.leonardo-energy.ru/wps/wp-content/2008/11/Показатели-качества-электроэнергии.pdf>
3. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников и электрических аппаратов // URL: <http://electric-zone.ru/vliyanie-kachestva-elektroenergii-na-rabotu-elektropriemnikov-i-elektricheskix-apparatov/>
4. Гост 13109-97 // <http://www.complexdoc.ru/scan/ГОСТ%2013109-97>
5. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. / И.П. Кужекин; Под ред. Б.К. Максимова. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 304 с.:ил.
6. В.С. Боровиков, Н.Н. Харлов, Т.Б. Акимжанов. О необходимости включения добавочных потерь от высших гармоник тока в технологические потери при передаче электрической

энергии/ В.С. Боровиков, Н.Н. Харлов, Т.Б. Акимжанов // Электроэнергетика.- 2013. – с.91–93.