

Контроль и оценка качества электрической энергии как направление энергосбережения

Гиниятуллин Ильдар Ахатович, директор
Сергеев Сергей Ростиславович, заместитель директора по качеству
ООО «Научно – производственное предприятие Марс-Энерго»
190031, Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, 113 А,
Тел./факс (812) 327-2111, 315-13-68 E-mail: mail@[mars-energo.ru](mailto:mail@mars-energo.ru)

1. Качество электроэнергии и энергоэффективность процессов передачи электроэнергии

«Научно-производственное предприятие Марс-Энерго» около 10 лет занимается вопросами приборного, методического и метрологического обеспечения электрических измерений в сетях общего назначения 0,4 - 330 кВ. Выпущенные предприятием приборы и методики позволяют проводить энергоаудит, инспекцию приборного учёта и анализ качества электроэнергии.

Данная статья призвана прояснить существующую зависимость между качеством электроэнергии и энергоэффективностью процессов передачи электроэнергии, а также возможностями энергосбережения на предприятиях – потребителях электроэнергии.

Существенное влияние на эффективность, надежность и качество электроснабжения оказывают кондуктивные электромагнитные помехи, которые характеризуются показателями качества электроэнергии (ПКЭ). Элементы анализа качества электроэнергии, как правило, имеются в программах энергетического обследования предприятий (энергоаудита). Однако не всегда в полном объёме учитывается влияние ПКЭ на потери электроэнергии и, как следствие, в программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности не включаются мероприятия по приведению ПКЭ к нормативным значениям.

Выделим основные виды ущерба от несоответствия ПКЭ.

Для предприятий электроэнергетики:

- снижение эффективности процессов генерации, передачи и потребления электроэнергии за счет увеличения потерь в элементах сети;
- уменьшение срока службы и выход из строя электрооборудования из-за нарушения его нормальных режимов работы и старения изоляции;
- нарушение нормальной работы и выход из строя устройств релейной защиты, автоматики и связи.

Для промышленности:

- снижение производительности;
- остановку производства с затратами на его возобновление;
- порчу технологического оборудования;
- брак продукции.

Причём у крупных промышленных предприятий с разветвленной электросетью имеются как электромагнитный, так и технологический виды ущерба. Рассмотрим основные составляющие этих потерь, что позволит определить пути повышения энергетической эффективности.

2. Перегрев трансформаторов при умеренной нагрузке



Причиной дополнительных потерь энергии в силовых трансформаторах является поток гармонических составляющих. При нагрузке трансформатора, близкой к максимальной, эти потери могут вызвать отказы оборудования вследствие общего дополнительного нагрева и нагрева отдельных участков обмоток.

Гармоники увеличивают потери на вихревые токи при наличии обычной смешанной нагрузки в девять раз, т.к. возрастают пропорционально квадрату частоты, практически удваивая суммарные потери в нагрузке. Отсюда следует, что до расчета потерь в трансформаторе, должен быть определен спектр гармоник.

Дополнительные потери, вызывающие перегрев трансформаторов при наличии высших гармоник, возникают из-за скин-эффекта меди обмотки, а также в связи с увеличением потерь на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе трансформатора.

3. Перегрев проводников вследствие поверхностного скин-эффекта

Высшие гармоники являются причиной дополнительных потерь в проводниках. Действие скин-эффекта (увеличение активного сопротивления проводника с ростом частоты), которым можно пренебречь на частоте 50 Гц, уже значительно возрастает на частоте 350 Гц (7-ая гармоника) и выше. Например, полное сопротивление проводника сечением 20 мм на частоте 350 Гц возрастает на 60% по сравнению с его сопротивлением постоянному току. Рост сопротивления, особенно его реактивной составляющей (на высоких частотах), приводит к дополнительному падению напряжения и, соответственно, дополнительным потерям.

Дополнительные потери в кабелях силовой сети при наличии высших гармоник, вызываются следующими основными причинами:

- Увеличением действующего значения негармонического тока;
- Увеличением активного сопротивления проводника из-за скин-эффекта;
- Увеличением потерь в диэлектрике изоляции кабеля.

4. Перегрев цепи нейтрали

Одной из причин перегревания цепи нейтрали является эффект гармоник, кратных трем. Высшие гармоники тока, кратные трем, в трехфазных сетях вызывают специфический результирующий эффект. Гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали. В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи.

Другая причина перегрева – несимметрия фазных токов и напряжений, когда возникает ток нулевой последовательности. Этот эффект вызван неравномерным распределением однофазных нагрузок по фазам.

5. Нагрев конденсаторов

Дополнительные потери при наличии высших гармоник в конденсаторах обусловлены увеличением «угла потерь» в диэлектрике и ростом действующего значения тока конденсатора. Возникающий перегрев в конденсаторе может привести к пробое диэлектрика. И такие факты известны. Значительные токи высших гармоник генерируют нелинейные нагрузки, например, мощные частотно-регулируемые приводы, и их фильтры зачастую не обеспечивают достаточную защиту электросетей от гармоник.

Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности при несимметрии напряжений неравномерно загружаются реактивной мощностью по фазам, а в таком режиме невозможно использовать их на полную мощность.

6. Недостовверный учет электрической энергии и претензии к энергоснабжающим организациям

Влияние ПКЭ на погрешность измерения количества электроэнергии электросчётчиками хорошо изучено. Поэтому по новым стандартам с 2005 года устанавливается предельная дополнительная погрешность электросчётчика, возникающая от влияния ПКЭ.

Пока далеко не все предприятия выставляют претензии энергоснабжающим организациям к качеству электроэнергии. Но это неизбежно случится в будущем, т.к. при исполь-

зовании современной аппаратуры и методов анализа качества электроэнергии, становится возможен точный расчет экономического ущерба, нанесенного предприятию при недопоставке электроэнергии или ее недостаточном качестве, и соответственно, юридически обоснованные требования компенсации финансовых потерь.

Новый Федеральный закон "Об энергосбережении..." внес в закон "О государственном регулировании тарифов..." следующие изменения:

«Государственное регулирование цен (тарифов) на услуги по передаче электрической энергии осуществляется только в форме установления долгосрочных тарифов ... Долгосрочные тарифы подлежат изменению при недостижении показателей надежности и качества».

Надо полагать, что жалобы потребителей в надзорные органы на качество электроэнергии должны повлиять на установленные предельные долгосрочные тарифы.

Не проводя непрерывных измерений ПКЭ как по напряжению, так и по току, нет никакой возможности, во-первых, определить источник искажений (виновную сторону) – для учёта и последующих коммерческих расчётов, а во-вторых, знать параметры ПКЭ для выбора мероприятий по их компенсации. Гарантировать необходимое КЭ может только система, построенная:

- на непрерывной регистрации ПКЭ (по току и напряжению) в точках поставки и критических центрах питания (технический аспект);
- на договорных отношениях поставщика и потребителя ЭЭ (экономико-правовой аспект).

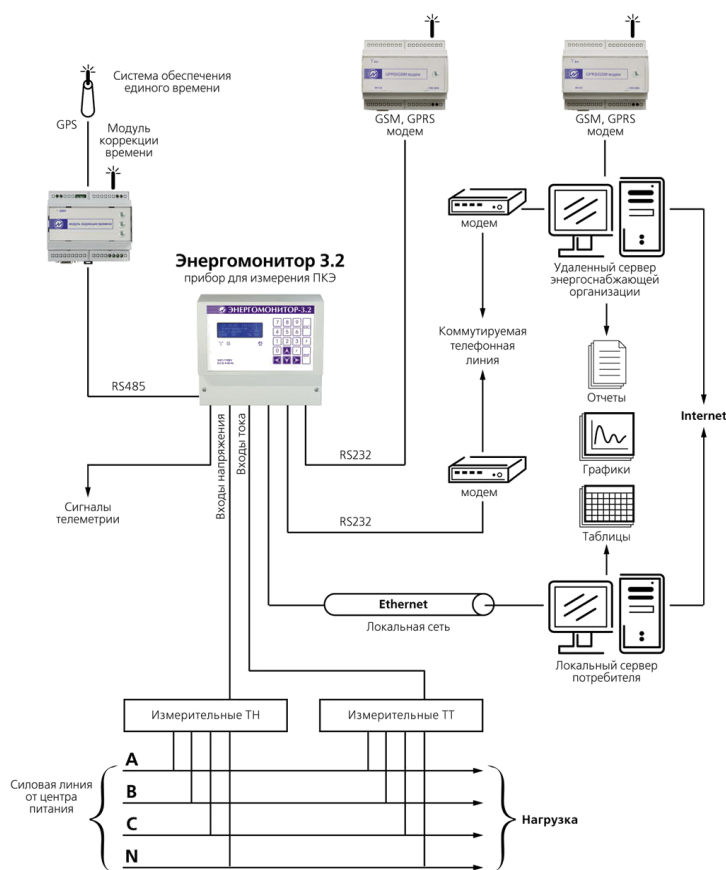


Рис.2. Схема АИИС-ПКЭ

Для решения технической задачи коммерческого учёта ПКЭ предлагается встроить АИИС-ПКЭ в действующую АИИСКУЭ. Вариант структурной схемы системы показан на рисунке 2. В ней применен прибор «Энергомонитор 3.2».

В перспективе необходимо устанавливать АИИС комплексного учёта количества и качества поставляемой электроэнергии. Такая АИИС базируется на многофункциональном счётчике, например, типа «МАРСЕН».

7..Оценка ущерба



Рис.3. Нефтехим. завод

Предприятием «НПП Марс-Энего» в 2007 году проводилась оценка экономической эффективности внедрения системы учёта показателей качества электроэнергии АИИС-ПКЭ на нефтехимическом заводе (рисунок 3). Измерения проводились переносным прибором «Энергомонитор 3.3Т» производства «НПП Марс-Энего». Основные характеристики предприятия:

- средняя мощность потребляемой электроэнергии – 16 МВт,
- категория электроснабжения - 1.

Наибольшее влияние несоответствие ПКЭ оказывает на такие экономические характеристики, как:

- уменьшение количества выпускаемой продукции,
- убыток от перерасхода электроэнергии,
- убыток от изменения срока службы токоприемников и электрооборудования.

Например, один провал напряжения на 90% длительностью более 0,5 с приводит к остановке непрерывного процесса производства продукции. Убытки (упущенная выгода) в связи с остановкой производства только по одному цеху – 931500 руб. Дополнительный расход энергоносителей, необходимый для возобновления технологического процесса, приводит к убыткам в 145500 руб. Итого по заводу - **1,7 млн. руб.** А зарегистрированный при экспресс-обследовании провал длительностью 0,08 с, глубиной 24,7% не привел к инциденту. При наличии длительной непрерывной регистрации можно определить критические параметры провалов и определить нормативы для договора, что позволит поставщику электроэнергии выбрать необходимое оборудование для АПВ и АВР.

Далее, из-за повышенного установившегося отклонения напряжения (на +4,8%), переплата по расчётному учёту электроэнергии составляет за год **7 млн. руб.** – это прямые коммерческие убытки. Упрощенно это означает, что оборудование потребляет энергии больше, чем отдает, и «лишняя» энергия расходуется на перегрев двигателей, трансформаторов и пр. То есть имеются повышенные технические потери и снижение энергоэффективности. К этому нужно добавить убытки из-за уменьшения срока службы оборудования.

8. Энергоаудит

Для проведения энергетических обследований (энергоаудитов) как у потребителей, так и у поставщиков электроэнергии должен иметься массив достоверной измерительной информации для выявления возможностей энергосбережения и путей повышения энергетической эффективности. В соответствии с типовой программой энергетического обследования, проверке подлежит эксплуатационное состояние электрической сети, баланс мощности по центрам питания, симметричность нагрузки по фазам, загрузка силовых трансформаторов, кабельных и воздушных линий электропередачи.

Обследование охватывает положение с компенсацией реактивной мощности и энергии: наличие согласованных режимов компенсации реактивной мощности и энергии и состояние их выполнения; наличие компенсирующих устройств.

Необходима проверка состояния схем и средств учета электроэнергии, включая:

- проверку соответствия класса точности счетчиков активной и реактивной энергии и измерительных трансформаторов;
- инструментальную проверку потерь в цепях напряжения счетчиков;
- проверку нагрузки вторичных обмоток измерительных трансформаторов.

Для значительной части промышленных предприятий стоит задача разработки обоснованных нормативов удельного расхода электроэнергии (НУРэ) по видам выпускаемой продукции. Имеющиеся на предприятиях даже высокоточные системы технического учета не охватывают всех технологических потребителей, а отслеживают либо мощный электропривод, либо совокупность электроприёмников, одновременно участвующих в выпуске нескольких видов продукции.



Рис. 4. Энерготестер ПКЭ

Для объективного анализа показателей эффективности электропотребления целесообразно использование современного приборного парка переносных средств измерения с поминутным режимом регистрации таких параметров, как активной, реактивной и полной мощности, частоты, фазных токов и напряжений, значения $\text{tg } \varphi$.

Для плановых энергоаудитов уже более 8 лет используются многофункциональные приборы - анализаторы качества электроэнергии (рис. 4 и 5) серий «Энергомонитор» и «Энерготестер» (производство НПП Марс-



Рис.5. Энергомонитор 3.3Т1

Энерго), позволяющие решать указанные задачи. Кроме того, они позволяют решать совершенно новые задачи:

- измерение и регистрация ПКЭ по ГОСТ 13109 -97;
- измерение и регистрация токов и мощностей искажений: гармоник, нулевой и обратной последовательностей - для выявления источников этих искажений;
- регистрация (осциллографирование) переходных процессов, например, пусковых режимов приводов - для выработки мер компенсации, защиты и фильтрации;
- измерение пиковых и амплитудных значений напряжений в точках сети – для оценки соответствия изоляции и защиты.

Выполнение всего комплекса измерений даёт совершенно объективную картину состояния энергоснабжения предприятия и позволяет выбрать оптимальные варианты решения проблем его надежности и эффективности.

ООО «Научно – производственное предприятие Марс-Энерго» www.mars-energo.ru

Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, 113 А, Тел. (812) 327-2111

E-mail: mail@[mars-energo.ru](mailto:mail@mars-energo.ru)