

Обоснование выбора устройств и параметров для мониторинга, контроля и анализа качества электрической энергии в современной энергетике

© Инженер Борис Гендельман, проф. Мендель Кричевский, 2012.

SATEC LTD, 2012

Актуальность контроля качества электроэнергии (КЭ)

Сегодня необходимые требования к контролю КЭ подразумевают в первую очередь контроль параметров напряжения, в соответствии со стандартом ГОСТ 13109-97, включая сбор статистики и выдачу отчётов, что должно обеспечиваться любым анализатором качества электроэнергии.

Одновременно с этим в последние 15 лет происходит изменение характера нагрузки электросетей. Повсеместное внедрение инверторов (компьютеры, медтехника, большая часть бытовой электроники, производственное оборудование), внедрение частотных преобразователей, электронных регуляторов скорости двигателя, регулируемого освещения (диммеров), использование люминисцентных светильников, имеющих вместо индуктивного электронный балласт, ведет к увеличению энергетической эффективности аппаратуры. Снижается полная *электрическая* мощность источников света, уменьшаются внутренние потери и масса приборов, используемых в быту и на производстве. Но вместе с этим не падает, а растёт абсолютная величина высших гармоник тока, которые массово создают всё более распространенные электронные преобразователи внутри самой электросети. Потребляемая нагрузкой полная мощность по мере вывода из эксплуатации устаревшего оборудования может уменьшиться в отдельных кластерах. Но мощность гармоник, выбрасываемых обратно в электросеть, в ближайшие годы будет только возрастать. В связи с этим, возникла необходимость комплексного контроля качества электроэнергии.

Необходимость контролировать качество токов

Ввиду очень высокого импеданса нелинейных нагрузок, когда они рассматриваются на эквивалентной схеме электросети в качестве источника гармоник тока и низкого импеданса электросети, сгенерированные нелинейной нагрузкой высокие гармоники тока почти не создают в сети падения напряжения. Форма осциллограммы напряжения поэтому искажается на порядок слабее, чем форма токовых осциллограмм.

С целью диагностики влияния возникающего режима гармонических токов на трансформаторы и кабели измеряется параметр TDD в *точке электросети* – оценка фактического тока гармонического загрязнения *как доли* от максимального продолжительно потребляемого тока оборудования (линий) I_L .

$$TDD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_L} \quad (\text{стандарт IEEE 519})$$

Если за I_L принять номинальный ток, TDD по току более 6% приведет к ускоренному расходу ресурса трансформаторов и потерям, TDD > 10% может вызвать критический перегрев или возгорание аппаратуры и кабелей. Для расчёта тепловых потерь в обмотках используется коэффициент роста потерь от вихревых токов K-factor (см. ниже). Мониторинг всего комплекса коэффициентов в измерительных приборах позволяет грамотно оценить ситуацию и выявить приоритеты для работы с электросетью и её оборудованием. При необходимости, в приборах предусматривается формирование пользовательских отчетов по индивидуальным гармоникам, гармоникам в группах по определенному признаку, либо по всем гармоникам, а так же статистика событий КЭ.

Для выявления фактической ситуации с формой осциллограмм напряжения и тока используются параметры THDV (КИС напряжения), THDI (КИС токов) – мера отклонения формы графика напряжения и тока от синусоиды. КИС отличается от TDD тем, что сравнение тока высших гармоник идет с *первой гармоникой тока*. Так возможно оценить только степень искажения графика, его внешнее, визуальное отличие от синусоиды.

$$THDI = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (\text{стандарт IEEE 519})$$

Как показывает определение, высокое значение THDI (КИС тока) при малой нагрузке не даёт представления о загруженности аппаратуры гармониками, в отличие от TDD, а лишь указывает на изменение формы графика кривой тока.

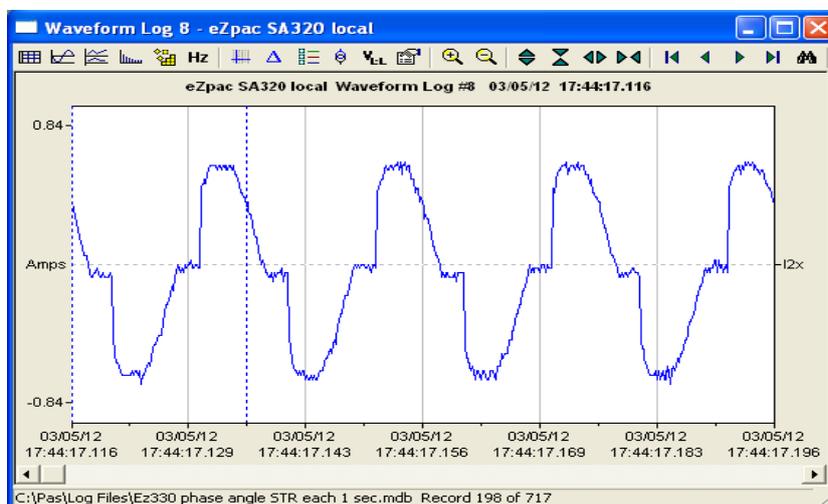


Рис. 1. Форма графика тока: THDI (КИС тока) = 25.7 %. Ток цепи мал.

По сравнению с ситуацией десятилетней давности, на сегодня приспособленность оборудования в энергосистемах к протеканию в них интенсивных гармонических токов на частотах 150, 250, 550 Гц и выше приобретает значение в смысле сохранения ресурса трансформаторов и необходимости пересчёта их реального ресурса с учетом теплового износа от нового вида паразитных потерь на гармониках тока, под которые оборудование не проектировалось. Потери отдельно взятого силового трансформатора под гармониками тока в реальных ситуациях растут обычно на 15-60% по сравнению с его работой на такой же мощности, но при синусоидальном токе.

Потери в обмотке на вихревые токи будут расти пропорционально квадрату частоты. В качестве примера: присутствие тока 5-й гармоники, который равен всего лишь 4% тока первой гармоники, удвоит потери на вихревые токи. Ток 11-й гармоники, равный 0.8 % тока первой гармоники, произведет тот же эффект.

Кратность электрических потерь в обмотках из-за присутствия гармоник тока, по отношению к тем потерям, которые были бы при том же RMS токе (в амперах), какой протекает в данный момент с учетом гармоник, дается выражением

$$K - factor = \frac{\sum I_n^2 n^2}{\sum I_h^2}$$

Интенсивные гармонические токи в реальных трансформаторах часто приводят к тому, что потери на вихревые токи вырастают до величины активных потерь, что почти удваивает общие потери трансформатора, доводя их до 2% (и более) от номинальной мощности. Проблема может быть устранена либо сменой трансформаторов на специальные K-Rated трансформаторы, как делают в Европе, либо выявлением и анализом состава и графика гармоник и применением компенсирующих мер для восстановления "чистой" сети.

Разные гармоники по-разному проходят трансформатор. При наличии обмотки по схеме "ТРЕУГОЛЬНИК", гармоники с номерами 3, 9, 15, 21, 27 ... "оседают" в этой обмотке, токи остальных гармоник проходят через нее и подвергаются трансформации. При наличии обмотки по схеме "ЗВЕЗДА", трансформации подвергнутся все гармоники. Дополнительные потери энергии суммируются на разных уровнях напряжения на нескольких трансформаторах. В обмотках одного и того же трансформатора значение K-factor обычно выше на низкой ступени напряжения. На рисунке 2 приведен график недельных замеров K-factor на обмотках реального трансформатора 22/0.4 кВ на входе большого пивоваренного завода. Именно K-factor определяет дополнительные потери в трансформаторе.

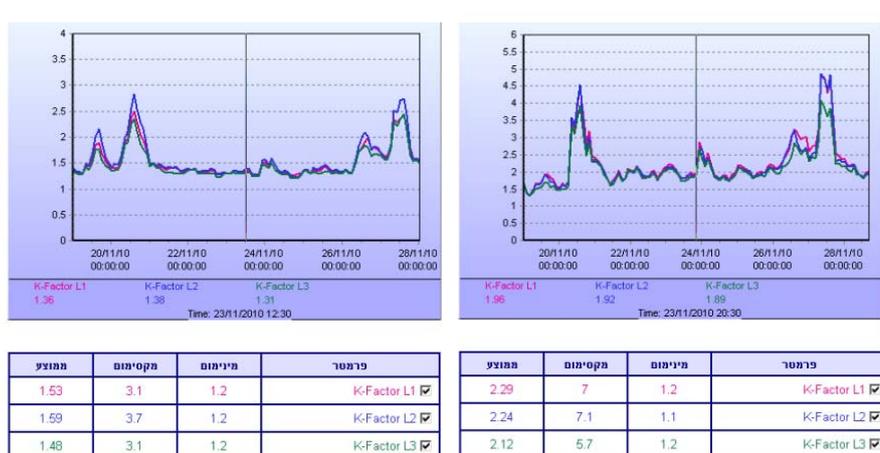


Рис. 2. K-factor = 3.7, обмотка 22 kV

K-factor = 7.1, обмотка 0.4 kV

Эксплуатация – продолжительный и динамический процесс. Контроль режима потерь трансформатора по гармоникам не производят обычные приборы учета и контроля. Эту возможность дает только измерительная аппаратура с разработанным комплексом анализируемых параметров по таким стандартам, как IEEE 519 и G5/4, в дополнение к стандартным функциям учета.

Если гармоники циркулируют по звезде с заземленной нейтралью, они не компенсируются взаимно даже при нагрузке, которая сбалансирована по первой гармонике мощности. Это приводило к ложным срабатываниям защит из-за небаланса высоких гармоник, чрезмерной нагрузке на провод нейтрали от суммы токов гармоник, номер которых кратен трём, неправильной работе приборов по определению мест повреждений линий, неприемлемой погрешности в учете электроэнергии приборами, спроектированными для работы в чистой энергосети. Нагрузка на провод нейтрали на нескольких объектах, где мы проводили мониторинг потерь, превышала 250% от разрешенной по сечению. Непринятие мер по выявлению и снижению уровня гармоник может вылиться в затраты на слишком частый дорогостоящий ремонт трансформаторов и кабелей, если токи высших гармоник в кабеле (линии) или трансформаторе превысят нормы стандартов. Потери энергии в сегменте электросети вырастают на 25-80%. При загрузке трансформатора более 70-75% работа обмоток под гармонической нагрузкой приводит к ускоренному расходу временного ресурса работы трансформатора. Более точные оценки возможны на основе мониторинга на объекте.

Необходимость постоянного контроля качества напряжений и токов.

Ущерб от присутствия нелинейных и электронных нагрузок, когда в отдельных сегментах сети сочетается гармонически "грязная" нагрузка с остальной частью нагрузки, состоит не только в повышенном износе компонентов распределительной сети и помехах в её работе. Кроме этого, происходят сбои и отказы остальной части нагрузки в сегменте, как то: сгорание электродвигателей, включенных под высокие гармоники тока, созданные другими нагрузками в сегменте; непредусмотренная вибрация и истирание подшипников электродвигателей; перегрев и сгорание провода нейтрали у потребителей; внешне "беспричинные" сбои в работе промышленных контроллеров, сбои и отказы оборудования, которые вызваны ложным срабатыванием защит.

В подобных случаях необходимо обнаружить суть проблемы: постоянный мониторинг электросети, состава гармоник и других отклонений ПКЭ. Параметры качества должны находиться в допустимых пределах согласно требованиям оборудования и требованиям стандартов.

Для подробного анализа различных гармонических выбросов и созданных ими резонансов токов и напряжений необходимо *автоматическое осциллографирование* в самом приборе напряжений и токов в моменты значительного отклонения от норм их гармонического состава и других параметров качества электроэнергии.

Примеры приборов для комплексного контроля КЭ

Примером устройств, выполняющих функции универсальных счетчиков энергии, регистрацию параметров ПКЭ и полного набора гармонических характеристик тока и напряжения, являются регистраторы ПКЭ SATEC PM175, SATEC EM720 класса точности 0.2S. Устройства выполняют функции программируемого автоматического осциллографа; полный анализ качества энергии согласно ГОСТ 13109-97, регистрацию событий, сбор статистики, автоматическое составление отчетов по ГОСТ 13109-97. Второе устройство премиум-класса сохраняет полную работоспособность до 6 часов при продолжительных тяжелых нарушениях КЭ (глубокие провалы напряжения), при

перегрузке по току до 10 крат устройство обеспечивает корректную регистрацию осциллограмм и запись импульсов напряжения относительно "земли". Оба устройства обеспечивают анализ полного набора гармонических параметров ТОКА (параметры TDD, THDI согласно определению IEEE 519; K-factor; индивидуальные гармоники и спектр гармоник тока).

ЗАКАЗАТЬ ПРИБОР SATEC PM175

Выводы

Для мониторинга, контроля и анализа качества электрической энергии и его влияния на сети, трансформаторы и нагрузку, прибор контроля должен обеспечить:

1. Анализ, регистрацию событий и автоматическое составление отчётов по качеству электроэнергии согласно ГОСТ 13109.
2. Осциллографирование форм токов и напряжений, *включая пре- и пост-триггеринг*, при превышениях значительных пороговых уровней, заданных в соответствии со стандартом (и/или уровней, допустимых по условиям эксплуатации оборудования).
3. Наряду с контролем качества напряжения по ГОСТ 13109, обеспечить контроль качества токов: измерение, вычисление и контроль TDD; измерение КИС тока, К-фактора и индивидуальных гармонических токов в самом приборе.
4. Сопоставление значений токов гармоник в Амперах RMS с пороговыми значениями, заданными по стандарту G5/4.