

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ

О.В. БОЛЬШАКОВ (ОАО "ФСК ЕЭС")

Рассмотрена проблема учета электроэнергии в условиях нелинейного и импульсного потребления тока. Современные счетчики не обладают такими возможностями и требуют применения дополнительных приборов контроля качества электроэнергии с измерением мощности и энергии всех высокочастотных составляющих. Предлагается прибор, устанавливаемый в цепи питания нелинейного потребителя и показывающий распространение высших гармоник тока от потребителя к сети энергоснабжения.

В настоящее время значительная часть потребителей электроэнергии оснащена различными электронными источниками питания. Они стали меньше, легче, дешевле трансформаторных и по КПД не уступают последним. Мощные нагрузки и электродвигатели оснащаются тиристорными регуляторами. Такое включение исключает перегрузочные режимы и продлевает срок жизни оборудования. Многие бытовые устройства (компьютеры, телевизоры и т.д.) используют метод выпрямления питающего переменного напряжения в постоянное и представляют собой нелинейную нагрузку с импульсным потреблением тока. Даже освещение переводится на люминисцентные лампы с электронным блоком питания. Можно предположить, что количество устройств, представляющих собой импульсную нагрузку для силовой сети, велико, и их влияние на общий характер потребления может быть значительно.

Тенденция развития состоит в том, что КПД всех электронных источников питания, регуляторов и преобразователей растет. Это достигается уменьшением времени переключения электронных устройств и, следовательно, увеличением высших гармонических составляющих в токах потребления. Конечно, можно и нужно бороться с высшими гармониками применением фильтров и конструктивных решений, но тенденцию в целом это не меняет. Количество гармоник в силовой сети будет возрастать.

Гармонические искажения - самый сложно регистрируемый параметр качества, требующий от измерительного устройства высокого быстродействия и большой вычислительной мощности. Гораздо легче измерять установившееся отклонение напряжения или всплески и просадки напряжения. Если амплитудные отклонения приводят к выходу из строя оборудования потребителя, то по прецеденту возможно возмещение убытков виновной стороной. С гармониками все сложнее. Если у потребителя присоединение использует технологию импульсного или нелинейного регулирования, то при работе данного потребителя гармоники будут всегда, и это не вызовет мгновенного выхода оборудования из строя, а просто ускорит процесс износа. В этом случае требуется не прецедентный подход, например, по событию проверки качества, а включение в тариф постоянного повышающего коэффициента, учитывающего генерацию гармоник в питающую сеть данным потребителем. В этом случае наличие этого "сложного" параметра (измерителя гармоник) и приборов для его контроля будет оправдано.

Механизм влияния нелинейного потребления состоит в том, что потребитель потребляет из сети полную мощность $P_{\text{полн}}$, из которой часть $P_{\text{вч}}$ преобразуется в гармоники и другие высокочастотные составляющие. Затем часть K мощности $P_{\text{вч}}$

поступает обратно в силовую сеть и искажает напряжение в ней, а остальная мощность гармоник рассеивается на оборудовании потребителя. Если между силовой сетью и потребителем установить счетчик, то через него к потребителю пройдет мощность основной питающей частоты $P_{\text{полн}}$, а от потребителя в сеть $K * P_{\text{вч}}$ и счетчик, не различающий встречные потоки энергии на разных частотах, просто покажет разность $(P_{\text{полн}} - K * P_{\text{вч}})$. Так возникает недоучет отпускаемой электроэнергии основной частоты 50 Гц. Потребитель при этом реально получит меньше $P_{\text{полн}}$, а именно $(P_{\text{полн}} - K * P_{\text{вч}})$, но выигрывает в технологии регулирования и управления нагрузкой.

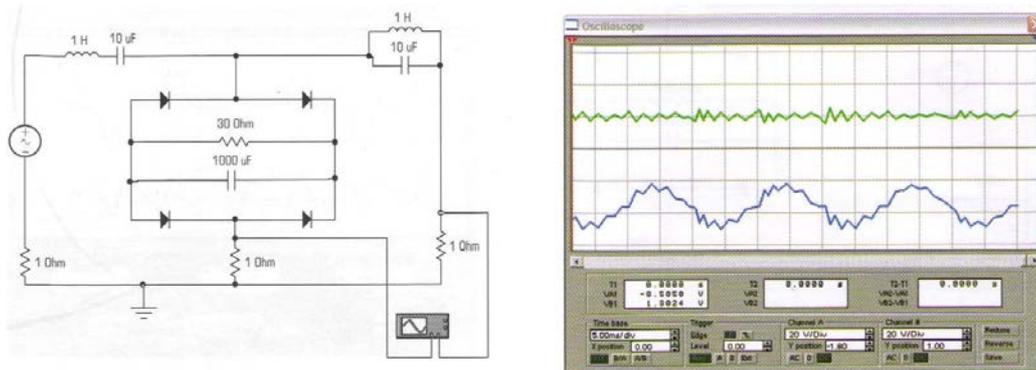


Рис. 1. Упрощенная эквивалентная схема присоединения нелинейного потребителя. Питающая сеть представлена генератором с выходным сопротивлением 1 Ом. Потребитель с бестрансформаторным источником питания 2 кВт.

Рассмотрим происходящие процессы на примере присоединения потребителя с нелинейной характеристикой к силовому трансформатору. На упрощенной эквивалентной схеме (рис. 1) питающий трансформатор показан как идеальный генератор напряжения частотой 50 Гц и амплитудой 300 В. Сопротивление 1 Ом ниже генератора имитирует внутреннее сопротивление трансформатора (*с оговорками*). Потребитель представлен нагрузкой с диодным мостом, нагрузочным резистором 30 Ом и сглаживающей емкостью 1000 мкФ. Диаграмму полного тока измеряем на шунте в 1 Ом (верхняя кривая на экране) и ток, за исключением основной гармоники 50 Гц, на шунте 1 Ом через фильтр пробку (нижняя кривая на экране).

Как видно из рисунка, амплитуда тока верхних гармоник значительна по сравнению с амплитудой основной гармоники 50 Гц при таком потреблении. Мощность для токов, кроме частоты 50 Гц, также может быть значительна. В реальной ситуации выручает то, что внутреннее сопротивление питающей сети значительно меньше внутреннего сопротивления потребителя, и паразитная мощность рассеивается в основном на потребителе и подводящих проводах. Однако рассмотренный эффект имеет место быть и его нужно учитывать при отпуске электроэнергии потребителям.

Избавиться от влияния этого эффекта можно двумя путями — попытаться развязать пути токов для основной частоты 50 Гц и всех остальных токов или учитывать обратный поток мощности в коммерческих приборах учета.

На эквивалентной схеме между питающей сетью и потребителем (рис. 2) показан последовательный контур, настроенный на частоту 50 Гц. Он имеет минимум сопротивления для частоты 50 Гц. Для остальных частот левый контур (относительно потребителя) оказывается разомкнут. В правом (относительно потребителя) контуре установлена фильтр-пробка на 50 Гц и нагрузочный резистор 1 Ом. Таким образом, все составляющие тока, кроме 50 Гц, замкнуты в правом контуре (верхняя диаграмма). Нижняя диаграмма показывает полный ток, являющийся суммой тока левого контура частоты 50 Гц и высших составляющих тока из правого контура.

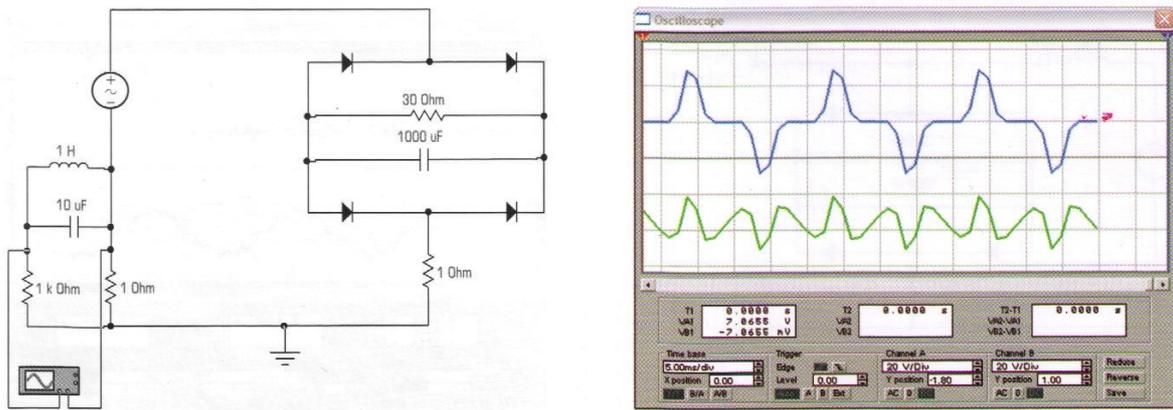


Рис. 2. Эквивалентная схема между питающей сетью и потребителем с последовательным контуром, настроенным на частоту 50 Гц.

Из показанного примера следует, что обратный поток энергии может быть значительным, и погрешность измерения энергии в процентном отношении превосходит допустимую погрешность для измерительного канала оптового и розничного рынков. Проблема правильного учета электроэнергии в условиях нелинейного и импульсного потребления тока должна решаться правильным измерением мощности и энергии, потребляемой на основной частоте сети. Современные счетчики не обладают такими возможностями и требуют применения дополнительных приборов *контроля качества* электроэнергии с измерением мощности и энергии всех высокочастотных составляющих. Приборы контроля качества электроэнергии регистрируют мощность и направление распространения гармоник. Такой прибор, установленный в цепи питания нелинейного потребителя, покажет распространение высших гармоник тока от потребителя к сети энергоснабжения. Коммерческий счетчик покажет разность прямой поставки энергии частотой 50 Гц к потребителю и всей энергии, относящейся к гармоникам и импульсному потреблению.

На основе предыдущих рассуждений можно сформулировать следующие выводы:

- Если товаром в электроэнергетике считать вырабатываемую и транспортируемую к потребителю энергию частоты 50 Гц, то счетчики коммерческих расчетов в случае нелинейной нагрузки измеряют не поставляемый товар,
- Недоучет измерения классическими счетчиками поставляемого товара может достигать единиц и десятков процентов.
- Тенденции развития технологий регулирования потребления не позволяют надеяться, что эта проблема "рассосется" сама в будущем. Острота будет возрастать.
- Решение проблемы возможно путем правильного учета энергии с использованием приборов контроля качества для коррекции финансовых показателей, затем с использованием счетчиков, измеряющих энергию основной гармоники 50 Гц, и с компенсацией высших составляющих тока реактивными устройствами на стороне потребителя.
- ГОСТ 13109-97 по качеству электроэнергии не разделяет параметров качества системного и случайного характера. Отклонения качества, причиной которых являются аварии и отказы оборудования носят случайный прецедентный характер и могут рассматриваться через суды. Недоучет поставляемой энергии из-за встречного потока энергии чисто коммерческий систематический фактор и должен учитываться в тарифе.

P.S. Для неспециалистов можно проиллюстрировать нынешний подход к учету электроэнергии на примере: потребитель из полученной электроэнергии частотой 50 Гц на своем оборудовании сгенерировал в сеть электроэнергию частотой 100 Гц, и мы

ему это оплатили, как будто это хорошая и качественная электроэнергия 50 Гц.

Может, пришла пора уделить внимание решению этих парадоксов учета?

Большаков Олег Вадимович — начальник отдела ТИАС (технологических информационных аналитических систем) Департамента ИТС и АСКУЭ (информационных технологических систем и автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии) ОАО «ФСК ЕЭС». Телефон 710-92-72. ovbolshakov@list.ru

*По материалам «Автоматизация & ИТ в энергетике», 2010, № 8, с. 24-26.
Опубликовано с согласия автора.*