



Дмитрий Чайка

## Повышение энергоэффективности за счёт улучшения качества электроснабжения

Мировой рост цен на энергоносители, увеличение расхода электричества, постоянно повышающиеся требования к надёжности систем электроснабжения ставят задачи по поиску технических решений, которые направлены на повышение энергоэффективности всего процесса, от генерации и до потребления энергии. Одним из возможных способов снижения потерь является улучшение качества энергии (КЭ). В статье рассмотрены проблемы, связанные с КЭ, и способы их решения.

Качество энергии (КЭ) – это совокупность её свойств, определяющих воздействие на электрооборудование, приборы и аппараты. КЭ оценивается такими показателями, как уровни электромагнитных помех в системах электроснабжения по частоте, действующему значению напряжения, форме его кривой и др.

Плохие показатели качества энергии приводят ко многим негативным последствиям, например отключению и простою технологического оборудования, а значит, убыткам из-за недопуска продукции и ремонтных работ.

### НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В России действует ряд законов в области энергосбережения.

1. Федеральный закон об энергосбережении и повышении энергетической эффективности от 23.11.2009 № 261-ФЗ.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утв. РП РФ 13.11.2009 № 1715-р).
3. План мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в РФ (утв. РП РФ 01.12.2009 № 1830-р).

4. Государственная программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности на период до 2020 года (утв. РП РФ 27.12.2010 № 2446-р).

В нашей стране также принята Государственная программа, согласно которой планируется к 2020 году снижение энергоёмкости ВВП РФ на 40%. Согласно информации, размещённой на сайте Министерства энергетики Российской Федерации, «энергоёмкость ВВП России примерно в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5–3,5 раза выше, чем во многих других странах. Сохранение высокой энергоёмкости российской экономики приводит к снижению энергетической безопасности России и сдерживанию экономического роста. Выход России на стандарты благосостояния развитых стран на фоне усиления глобальной конкуренции и истощения источников экспортно-сырьевого типа развития требует кардинального повышения эффективности использования всех видов энергетических ресурсов.

В связи с этим Указом Президента Российской Федерации от 04.06.2008 № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической

эффективности российской экономики» поставлена глобальная задача снижения энергоёмкости ВВП России к 2020 году не менее чем на 40% по сравнению с 2007 годом».

У компаний есть возможность получить инвестиционный налоговый кредит. Он выдаётся в случае осуществления вложений в создание объектов:

- имеющих наивысший класс энергетической эффективности, в том числе многоквартирных домов, и (или) относящихся к возобновляемым источникам энергии;
- относящихся к объектам по производству тепловой энергии, электрической энергии, которые имеют коэффициент полезного действия более чем 57%;
- имеющих высокую энергетическую эффективность, в соответствии с перечнем, утверждённым Правительством Российской Федерации (пп. 5 п. 1 ст. 67 НК РФ). Этот перечень утверждён Постановлением Правительства РФ от 12.07.2011 № 562.

### РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

Электрическая энергия, вырабатываемая генераторами электростанций, характеризуется их активной и реактив-

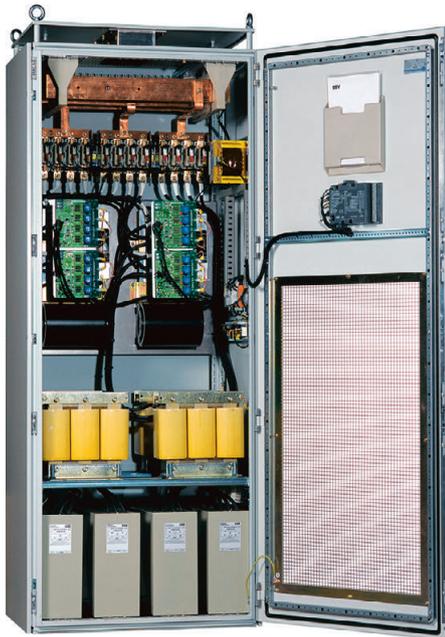


Рис. 1. Фильтракомпенсирующее устройство серии Dynacomr

ной мощностью. Активная мощность потребляется электроприёмниками, она переходит в механическую работу, тепловую и другие виды энергии. Реактивная мощность характеризует электроэнергию, преобразуемую в энергию электрических и магнитных полей в элементах сети.

Качество электрической энергии напрямую зависит от активной составляющей нагрузки, которая выражается в значении так называемого коэффициента мощности, или  $\cos \phi$ <sup>1</sup>.

Как правило, из-за наличия реактивной составляющей активная мощность не равна полной, поэтому  $\cos \phi$  обычно меньше единицы.

На предприятиях, где используются станки, компрессоры, насосы, сварочные трансформаторы, электропечи, электролизные установки и прочие потребители энергии с резко переменной нагрузкой,  $\cos \phi$  постоянно колеблется от 0,5 до 0,8. Для компенсации реактивной мощности в таких условиях, устранения просадок напряжения, вызванных пусковыми режимами мощной нагрузки, и устранения фликера<sup>2</sup> необходимо применять установки компенсации реактивной мощности, например быстродействующие фильтракомпенсирующие устройства (ФКУ). Они представляют собой конденсаторные батареи, последовательно соединённые с фильтровыми реакторами с резисторами или без них.

Примером использования фильтракомпенсирующих устройств являются автономные системы электроснабжения буровых установок от дизель-генераторов. Внедрение ФКУ Dynacomr в этом случае позволяет существенно снизить потери и, как следствие, уменьшить потребление дизельного топлива за счёт компенсации реактивной составляющей тока нагрузки, стабилизации напряжения и частичного снижения токов высших гармоник.

На рис. 1 показано ФКУ Dynacomr. Его основные характеристики:

- номинальная мощность от 100 квар до 12,8 Мвар;
- номинальное напряжение 400–690 В;
- максимальное число ступеней 32.

### ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ В СЕТИ

Качество электроэнергии определяется амплитудой, частотой и наличием искажения формы сигнала, идущего от системы электроснабжения. В то время как первые две характеристики в значительной мере зависят от электроснабжающей компании, форма волны (напряжения или тока) искажается потребителями, поскольку в настоящее время большинство типовых нагрузок на предприятиях являются нелинейными, например, работа частотно-регулируемых приводов, выпрямителей, ИБП, компьютеров, энергосберегающих ламп и т.д. Перечисленные устройства потребляют ток источника, не соответствующий форме волны напряжения, в итоге она искажается высшими гармониками. Высшие гармоники являются растущей проблемой для поставщиков и потребителей электроэнергии, так как ведут:

- к снижению эффективности и увеличению энергопотребления;
- к перегреву кабелей, электродвигателей и трансформаторов;
- к повреждению чувствительного оборудования;
- к срабатыванию автоматических выключателей;
- к выгоранию предохранителей;
- к преждевременному износу оборудования;
- к перегреву и выходу из строя конденсаторов;
- к отказу в подключении к электроснабжающим сетям в случае слишком высокого уровня гармоник.

На сегодняшний день самым современным и эффективным решением по

компенсации высших гармонических составляющих является использование активных фильтров гармоник (АФГ). Они строятся, например, на модулях IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором) и на цифровых сигнальных процессорах (ЦСП).

Принцип применения АФГ прост: устройства силовой электроники используются для генерирования гармонических токов, в противофазе тока гармоник, вызванных работой нелинейных нагрузок, таким образом, чтобы синусоида сохраняла максимально правильную форму.

На рис. 2 приведена схема подключения активного фильтра гармоник. При помощи трансформаторов тока измеряется ток нагрузки, который анализируется ЦСП для определения картины спектра гармоник. Полученные данные используются генератором тока для производства и инъекции в сеть именно такой гармонической величины (по амплитуде, форме и фазе), которая необходима для компенсации искажений нагрузки в следующем цикле синусоиды тока.

Так как активный фильтр работает на основе данных, получаемых от трансформатора, оборудование динамически адаптируется к изменениям в гармониках нагрузки. В связи с тем что процессы анализа и генерирования контролируются программным обеспечением, устройство легко программируется на компенсацию только отдельных гармоник.

Помимо своих основных функций активные фильтры могут выполнять и другие задачи. Например, устройства PQF, показанные на рис. 3, устраняют пофазную несимметрию и снижают воздействие токов нулевой последовательности. Эти функции особенно полезны там, где используются четырёхпроводные системы, например, в центрах обработки данных, гостиницах, банках и т.п. Также активные фильтры обладают способностью плавной компенсации реактивной мощности.

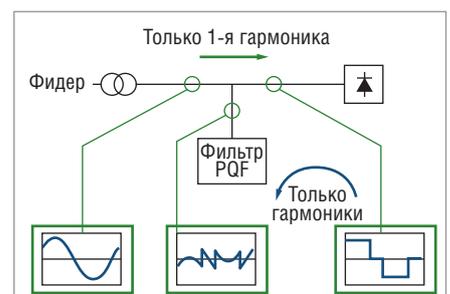


Рис. 2. Схема подключения активного фильтра гармоник

<sup>1</sup> Отношение активной и полной мощности нагрузки расчётного участка.

<sup>2</sup> Колебание светового потока искусственных источников излучения.



Рис. 3. Активные фильтры гармоник серии PQF

Основные характеристики активных фильтров серии PQF:

- фильтрация высших гармоник до 50-й;
- коэффициент затухания >97%;
- номинальное напряжение 208–690 В;
- номинальный ток от 30 до 3600 А;
- возможность задания уровня фильтрации для каждой гармоники индивидуально;
- автоматическая адаптация работы фильтра при изменениях нагрузки;
- возможность хранения настроек для двух режимов работы, от основного и резервного источника электроснабжения, с безударным переключением между режимами;
- возможность работы как в трёхпроводных, так и в четырёхпроводных сетях (в зависимости от модели);
- устранение несимметрии напряжения;
- безударная компенсация реактивной мощности.

### КОЛЕБАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ (ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЕ, ПРОСАДКА, ФЛИКЕР)

Самой распространённой причиной низкого качества электроэнергии являются провалы напряжения глубиной 30–40% и длительностью 5–50 периодов сетевого напряжения (1–2 с). Они могут возникать из-за природных явлений, таких как гроза, ураган, и технических мероприятий, проводимых на высокой стороне линий электропередач.

Такие явления сказываются прежде всего на надёжности и бесперебойности систем электроснабжения и приводят к существенным убыткам на предприятиях с непрерывным процессом производства. Часто колебания напряжения служат причиной отключения низковольтной пускорегулирующей аппаратуры, что вызывает остановки и сбои в работе технологического оборудования.

Существуют два решения данной проблемы: использование источников бесперебойного питания (ИБП) и применение динамических компенсаторов искажения напряжения (ДКИН).

**Решение 1.** ИБП позволяет поддерживать электроснабжение наиболее важных технологических процессов на предприятии в течение некоторого промежутка времени. Таким образом, можно успеть, например, сохранить программу станка, выключить чувствительное оборудование и т.д.

Фактически рабочее время аварийного питания зависит от нагрузки и ёмкости накопителей энергии. Например, в источниках бесперебойного питания PCS100 UPS-I (рис. 4) в роли накопителей энергии используются суперконденсаторы или свинцовые аккумуляторные батареи со спиральными электродами, а в качестве связующего устройства в установке применяется инвертор. Это позволяет подключённой нагрузке в случае провалов или пропадания напряжения оставаться в рабочем режиме в течение 30 секунд. В таблице 1 приведены характеристики основных накопителей энергии.

Промышленный ИБП хорошо подходит для использования в системах, где существуют проблемы крайне сильного падения напряжения или кратковременного отключения электроэнергии. Данное устройство полностью автономно и имеет высокий КПД (99%). PCS100 UPS-I не начинает работу до тех пор, пока напряжение не падает до 10–13%.

**Решение 2.** ДКИН представляет собой устройство с двукратным преобразова-

нием напряжения, вход которого подключён к системе электроснабжения. Выход ДКИН через управляемый инвертор и через вольтодобавочный трансформатор (ВДТ) подключён к нагрузке. Вторичная обмотка ВДТ включена последовательно с нагрузкой, и в ней наводится напряжение, компенсирующее колебания и провалы в системе электроснабжения.

Динамические компенсаторы искажения напряжения, так же как и ИБП, имеющие в своей основе инвертор, обладают высоким коэффициентом полезного действия (до 99%) и быстродействием. Но в сравнении с источниками бесперебойного питания компенсаторы искажения напряжения занимают гораздо меньшую площадь. Максимальный размер установки PCS100 AVC мощностью 3000 кВ·А всего 2145×2408×2409 мм (В×Г×Ш), в то время как источник бесперебойного питания с аккумуляторными батареями займёт в пять раз больше места. Кроме того, из-за отсутствия накопителей энергии компенсаторы значительно дешевле, чем ИБП, поэтому чаще всего оказываются предпочтительнее для потребителей.

ДКИН PCS100 AVC представлен на рис. 5. Его основные характеристики:

- компенсация кратковременных провалов напряжения и перенапряжений;
- номинальная мощность от 160 кВ·А до 30 МВ·А;
- КПД 98–99%;
- коррекция провалов напряжения по трём фазам до уровня 40% и однофазных до 55%;
- модульность конструкции;
- высокая перегрузочная способность;
- отсутствие батарей и других обслуживаемых накопителей.



Рис. 4. Источник бесперебойного питания PCS100 UPS-I



Рис. 5. Динамический компенсатор искажения напряжения PCS100 AVC

Таблица 1

Характеристики основных накопителей энергии

Группа изделий	Суперконденсаторы	Свинцовые аккумуляторные батареи со спиральными электродами
Характеристики	Защита на 3 с	Защита до 30 с
	Номинал одного ряда 300 кВт в течение 1 с или 240 кВт (3000 кВт·А, $\cos \phi = 0,8$ ) в течение 3 с	Номинал одного ряда 250 кВт в течение 30 с (300 кВт·А, $\cos \phi = 0,8$ )
	Расчётный срок службы 10 лет	Расчётный срок службы 10 лет
	Циклический ресурс > 500 000	Циклический ресурс > 1200
	24 блока по 32 В в ряду (корпуса для одиночных или двойных рядов)	56 элементов по 12 В в ряду (1 ряд на корпус)
	$\pm 375$ В постоянного тока	–
	Высокая эффективность разряда	Крайне высокая эффективность разряда
Преимущества для пользователя	Безопасный и компактный блок согласования	–
	Снижение объёмов требуемого технического обслуживания	Простота обслуживания
		Доступность запасных частей
		Герметичность
Малая занимаемая площадь	Малая занимаемая площадь	

**Накопление энергии**

ГРЭС всегда должны держать в резерве мощности для случаев бросков нагрузок или аварийных отключений генераторов. Решением могут стать устройства хранения энергии (УХЭ), работа которых координируется внешней системой управления электростанции.

Резерв мощности выгодно иметь и предприятиям – он позволяет при крупных авариях избежать простоя технологических линий, а также повысить энергоэффективность производства. В качестве примера устройства хранения энергии можно назвать оборудование PCS100 ESS. Устройство рассчитано на широкий диапазон мощностей (от 25 кВт·А до 20 МВ·А переменного тока). Такие УХЭ подключаются на разных уровнях напряжения. Кроме того, система PCS100 ESS имеет возможность работы в режиме динамического контроля потока мощности, когда генерируется требуемый уровень активной и реактивной мощности. На рис. 6 показано, что такой режим позволяет выравнять график среднесуточного потребления за

счёт сглаживания пиковых нагрузок, что в конечном итоге ведёт к сокращению платы за электроэнергию на предприятиях. Если учесть, что стоимость электроэнергии для промышленных потребителей растёт, необходимость применения устройств хранения энергии становится очевидной.

Использование УХЭ выгодно и гарантированным поставщикам электроэнергии, так как внедрение подобного оборудования ведёт к снижению инвестиционных затрат при строительстве новых объектов за счёт компенсации пикового потребления, а также повышает эффективность работы трансформаторных подстанций (ТП). Например, при строительстве ТП по заявленной мощности потребителей и последующем внедрении со стороны нагрузки, то есть предприятия, собственной распределённой генерации увеличиваются потери поставщика (теряется выгода, не окупаются эксплуатационные затраты). Применение УХЭ в пунктах распределения энергии ведёт к снижению доли вынужденной генерации, замене ре-

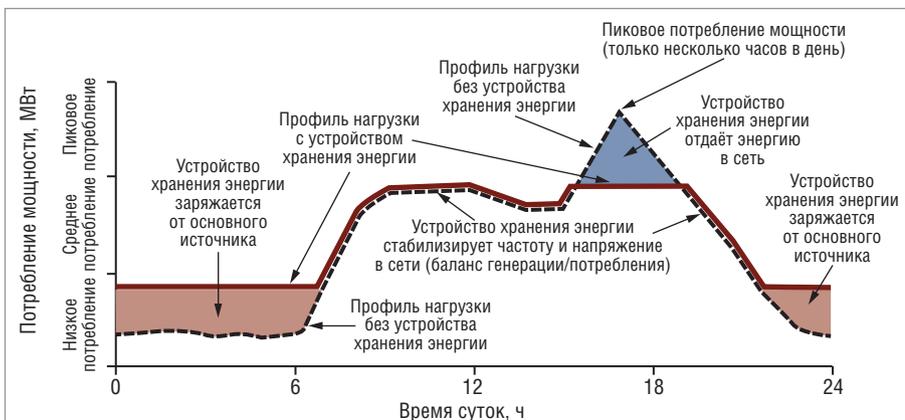


Рис. 6. Выравнивание графика среднесуточного потребления при помощи устройства хранения энергии

зервных/пиковых традиционных энергоблоков малой и средней мощности (до 50 МВт) и уменьшению стоимости владения. Так, эксплуатационные затраты систем газовой генерации составляют 87 320 руб. в месяц, угольной генерации – 43 660 руб., а УХЭ – 0 руб. (без учёта заработной платы обслуживающего персонала).

**Области применения устройств хранения энергии**

- Улучшение параметров качества электроэнергии, стабилизация частоты и напряжения в системе электроснабжения.
- Увеличение пропускной способности линий при передаче и распределении энергии.
- Выравнивание графиков среднесуточного энергопотребления за счёт параллельной работы с сетью в период пиковых нагрузок.
- Резервирование традиционных централизованных генерирующих мощностей.
- Интеграция возобновляемых источников энергии в существующие системы электроснабжения.
- Реализация гибридных микросетей и автономного электроснабжения с возможностью интеграции в одной системе как традиционных источников энергии (дизельные, газопоршневые электростанции), так и возобновляемых (солнечные панели, ветрогенераторы).

**Зачем улучшать качество энергии**

К сожалению, нужно признать, что на сегодняшний день предприятия неохотно внедряют у себя технологии, способствующие повышению эффективности производства за счёт улучшения качества энергии. Но сэкономяв на установке инновационных приборов, повышающих КЭ, придётся закладывать немалые расходы на ремонт технологического оборудования производственных линий. Может снизиться качество выпускаемой продукции, а соответственно, и спрос. Если задуматься обо всех перечисленных факторах, становится очевидным – повышать эффективность и успешность производства необходимо одновременно с улучшением показателей качества поступающей электроэнергии и совершенствованием надёжности системы электроснабжения. ●

E-mail: lenavoinovich@mail.ru