

# Компенсация реактивной мощности «три в одном» или панацея от всех бед – 2

Цель этой статьи: собрать воедино разрозненную общую информацию о влиянии реактивной мощности (РМ) на качество электроэнергии, проанализировать ее и представить на суд читателей для более полного понимания сути этой проблемы. Статья обращена прежде всего к тем, кто не знает об огромном влиянии РМ на качество электроэнергии, либо недооценивает этого влияния. Основной принцип, который необходимо знать и применять для решения проблем качества электроэнергии, заключается в том, что даже самые дорогие инвестиции не дадут ожидаемых результатов, если перед этим не провести точного технико-экономического анализа. Почему «три в одном»? По нашему мнению существуют следующие аспекты компенсации реактивной мощности (РМ):

- РМ как фактор качества электроэнергии;
- РМ как фактор энергосбережения;
- РМ как фактор экономии денежных ресурсов.

В продолжение ранее начатой темы (№11 (17) ноябрь 2007 года) мы рассмотрим РМ, как фактор, влияющий на качество электроэнергии.

По данным Комитета по стандартизации в области электромагнитной совместимости, из **150** крупных промышленных потребителей в различных регионах России **30%** потребителей связывают выход из строя электрооборудования с некачественной электроэнергией. **28%** опрошенных потребителей отмечали снижение производительности механизмов, а **25%** – ухудшение качества выпускаемой продукции. Кроме того, более **40%** связывали сбои в средствах автоматики, телемеханики, связи, компьютерной техники с плохим качеством электроэнергии в сети.

**ГОСТ 13109-97** «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» устанавливает нормы и показатели качества электроэнергии в сетях общего назначения в точках, к которым присоединяются электросети потребителей.

По мнению одних специалистов, основной причиной несоответствия показателей КЭ в сетях потребителей требованиям стандарта является **невысокий уровень технической и организационной подготовленности персонала** по управлению КЭ. Значительная часть энергосистем (**около 37%**) имеет низкий уровень оснащенности устройствами автоматической регулировки напряжения под нагрузкой (**АРПН**), что не позволяет обеспечивать поддержание напряжения в пределах, необходимых для нормаль-

ной работы потребителей электроэнергии. Большинство АО-энерго не располагают средствами измерения КЭ, а имеющиеся приборы, там, где они есть, не позволяют создать эффективную систему контроля за КЭ, поставляемой потребителям.

По мнению других, проблема – в воздействии кратковременных нарушений электроснабжения (КНЭ) на работу потребителей электрической энергии, которая становится все более острой по мере усложнения технологических процессов предприятий и использования средств автоматизации [1].

Работа низковольтных электродвигателей приводов гидронасосов, вентиляторов и других механизмов, включенных в технологические процессы, микропроцессорную технику, систем телекоммуникаций, АСУ ТП и АСУ ПП, дорогого медицинского оборудования, Интернета часто прерываются короткими по продолжительности (несколько мСек) провалами и перегрузками питающего напряжения, которые происходят 20-40 раз в год и ведут к дорогостоящему экономическому ущербу. К примеру, провал напряжения в десятые доли секунды может привести к частичной или полной остановке сложного автоматизированного производства. Прямой и косвенный ущерб в таких случаях достигает несколько миллионов долларов в год. Причем полные исчезновения напряжения составляют меньше 10% от общего числа

нарушений электроснабжения, а отключения продолжительностью более 1-2 сек. в 2-3 раза реже отключений длительностью менее 1 сек. [2].

К сожалению, существующие сегодня технические решения по улучшению качества электрической энергии базируются на старой системе взглядов и норм проектирования по защите предприятий от 2-3 отключений электроэнергии в год, хотя в разных регионах в настоящее время их происходит до 40 раз в год.

## **РЕМАРКА:**

*Во второй половине 90-х годов в США и Канаде после оценки надвигающихся последствий от провалов напряжений были проведены общенациональные энергетические обследования большого числа промышленных предприятий, результаты которых были использованы для разработки новых концепций защиты промышленного электрооборудования от нарушений электроснабжения. Стоимость ущерба от плохого качества электрической энергии в американской экономике оценили более чем в 150 миллиардов долларов в год [2].*

*А как оценивается ущерб от плохого качества электроэнергии в экономике России?*

*Официальная статистика по степени серьезности и распределению падений напряжения отсутствует, но в настоящее время проводятся некоторые измерения регионального масштаба,*

которые могут дать информацию к размышлению. Например, в исследовании, проводимом одним из основных производителей электроэнергии в Северо-Западном регионе России, замерялись перепады напряжения на 12 участках мощностью от 5 до 30 МВА. За 10 месяцев было зафиксировано 858 перепадов, 42 из которых привели к сбоям и финансовым потерям. Хотя на всех этих 12 участках потребителями были производители с несложной технологией, финансовые потери составили 600 тыс. евро, а максимальная сумма убытков на один участок составила 165 тыс. евро.

Энергосистемы, не имея порой полной информации о режимах работы потребительских электроустановок, и не имея возможности влиять на них, не могут добиться полного контроля над процессом управления реактивной мощностью. Это приводит к совершенно негативным последствиям, как для энергосистемы, так и для потребителей.

Во-первых, несоблюдение потребителями установленных норм по коэффициенту реактивной мощности создает дополнительные потери для энергосистемы, а во-вторых, снижение пропускной способности сетей ухудшает технические показатели работы сетевой компании и создает риск прекращения электроснабжения для потребителей.

**Наглядным примером серьезности проблемы компенсации РМ является отчет Рабочей группы Госдумы РФ по расследованию причин московской аварии, произошедшей 25 мая 2005 г.** В нем сделан вывод о том, что одной из главных причин аварии на подстанции «Чагино» явился дефицит источников реактивной мощности в электрической сети Москвы и Подмосковья.

Тогда локальная авария на трансформаторной подстанции повлекла за собой каскадное отключение электроэнергии, вызванное неспособностью сетей пропускать повышенные нагрузки, несмотря на вполне допустимые расчетные режимы. Конечно, не сама реактивная мощность в сети стала причиной массовых отключений, но своевременная ее компенсация и оптимизация могли бы предотвратить столь тяжелые последствия.

## Качество электроэнергии и ее учет

Влияние РМ на качество электроэнергии рассмотрено в [5].

В условиях пониженного качества электроэнергии (повышенное содержание гармоник и низкий коэффициент мощности) снижается достоверность показаний электросчетчиков (см. рисунок 1).

Из графика видно, что при низком к-те мощности CosF погрешность электросчетчиков увеличивается до 10% и выходит за существующий нормативный уровень погрешности.

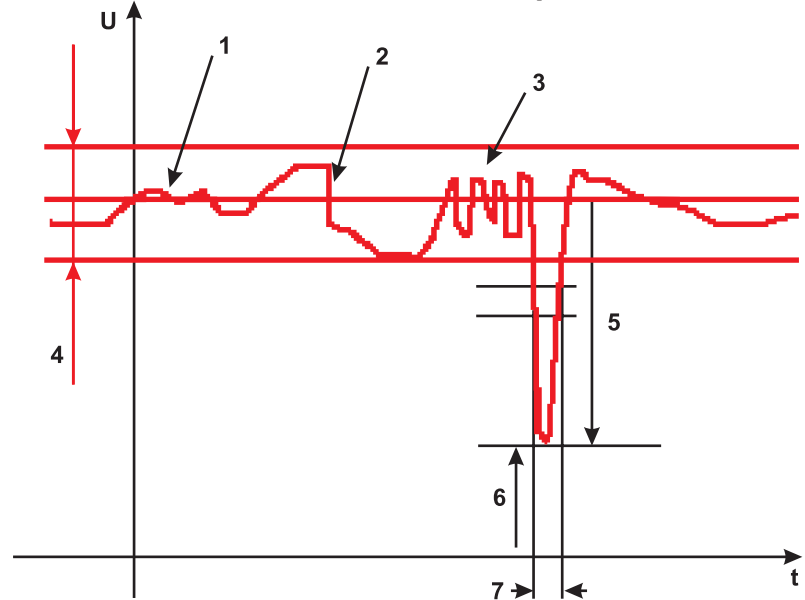
То же самое говорят и результаты исследований [5]. При выборе счетчиков для нелинейных нагрузок (тяговых подстанций электрифицированного транспорта, дуговых сталеплавильных электропечей, установок электролиза алюминия и т.п.) требуется учитывать не только гармонический состав сети, но и мероприятия по компенсации РМ, поскольку при низких CosF погрешность средств измерения вырастает до 10-15%. **Предприятия элементарно переключаются за то, что они не потребляют.**

За последние годы характер потребления электроэнергии сильно изменился. Это обусловлено увеличением мощности нелинейных потребителей (рисунок 2), а также опережающим ростом потребления РМ по отношению к активной вследствие уменьшения загрузки силовых трансформаторов. Это является **характерной чертой современной электроэнергетики**, отрицательно влияющей на качество и потери электроэнергии.

Поэтому основная задача оптимизации электропотребления, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации системы электроснабжения, состоит в том, чтобы наиболее полно обеспечить компенсацию РМ в сети.

**Рисунок 1**

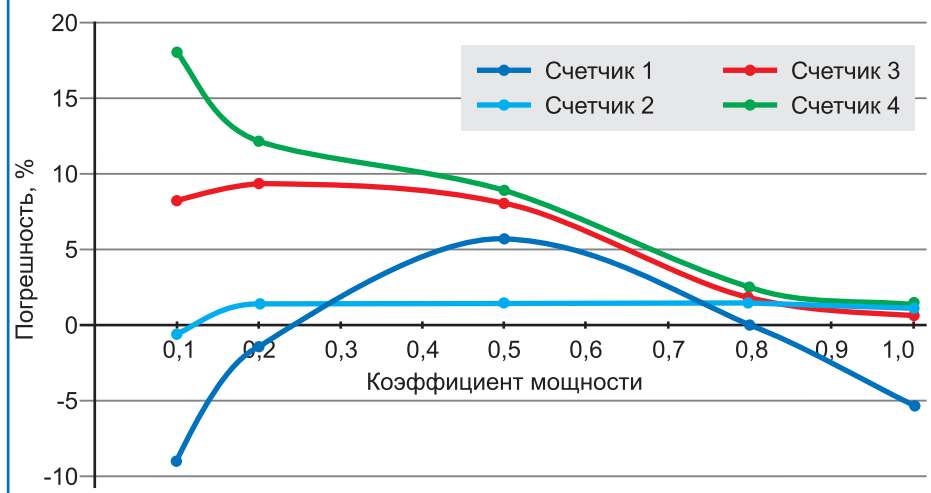
### Различные виды искажений напряжения сети



1 — отклонения напряжения; 2 — скачок напряжения; 3 — колебания напряжения; 4 — допустимые снижения напряжения; 5 — глубина провала; 6 — остаточное напряжение провала; 7 — длительность провала.

**Рисунок 2**

### Зависимость погрешности измерения активной мощности трехфазными счетчиками при изменении коэффициента мощности и наличии 12% нечетных, кратных трем гармоник в спектре напряжений и токов



**Таблица 1** Первопричины и вызываемые ими помехи в сети

Первопричины и вызываемые ими помехи в сети	Колебания напряжения в сети	Несимметрия напряжения в сети	Высшие гармоники	Промежуточные гармоники
Мощные регуляторы напряжения			•	
Генераторы электроэнергии (ветровые станции, фотоэлектрические установки...)	•		•	
Медицинские электроприводы (рентгеновские станции, магнитные диагностические аппараты...)	•			
Эксцентрикковые приводы (пилорамы...)	•			•
Частотные преобразователи (преобразователи числа фаз, несинхронные преобразователи тока...)			•	•
Газоразрядные лампы (мощные осветительные установки)			•	
Пульсирующая нагрузка (напр. от терморегуляторов...)	•			
Выпрямители переменного тока (напр. для питания ж/д. транспорта, для узлов связи...)			•	
Мощные потребители (переходные процессы при вкл./выкл.)	•			
Индукционные нагревательные установки		•		
Дуговые сталеплавильные печи			•	•
Дуговые сварочные агрегаты	•			
Светомузыкальные установки	•			
Среднечастотные индукционные печи			•	•
Электродвигатели большой мощности (лифты, вентиляторы, насосы...)	•			
Индукционные печи промышленной частоты		•		
Вентильные преобразователи			•	
Кузнечные прессы	•			•
Агрегаты и блоки резервного питания			•	
Электроды для производства электродов		•		
Плавильные электроды		•		
Автоматы контактной сварки	•	•		•

## С чего начать? Мониторинг параметров КЭЭ

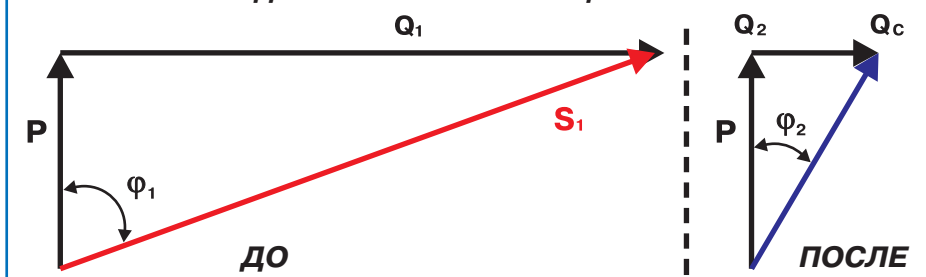
Чтобы понять суть процессов, протекающих в конкретной электросети, нужна достоверная техническая информация. Для этого необходимо проводить мониторинг параметров электросети, снимая и фиксируя специальными приборами одновременно несколько десятков характеристик электросети с интервалом в доли секунды (токи, напряжения, активные, реактивные и полные мощности по каждой фазе,  $\cos\Phi$ , гармонический состав сети и

т.д.). Полученную информацию необходимо обрабатывать, анализировать, и только после этого можно будет с уверенностью сказать, что за процессы протекают в вашей электросети, самое главное, где, каким образом и сколько нужно компенсировать реактивной мощности, чтобы электроэнергия, получаемая от поставщика, имела бы необходимые показатели качества, и расходовалась самым экономичным образом на нужды предприятия, без потерь, а вы бы еще и сэкономили эту самую электроэнергию.

Отрицательное влияние РМ на электрическую сеть несоизмеримо больше, чем положительное (рис. 3).

**Рисунок 3**

### Векторная диаграмма полной мощности до и после компенсации РМ



Недаром еще во времена заката СССР в конце 80-х годов директивно на всех промышленных предприятиях были установлены конденсаторные батареи. К сожалению, в дальнейшие 90-е годы многие предприятия-потребители электроэнергии отключали имевшиеся у них компенсирующие устройства, а некоторые – вовсе демонтировали, не занимались поддержанием их работоспособности по причине отсутствия финансирования.

Все изменилось после опубликования Приказа Минпромэнерго от 22 февраля 2007 года №49, утверждающего «Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договоры энергоснабжения)» энергосистемам следует начать подготовку к переходу на новый уровень взаимоотношений с потребителями и новую организацию работ по управлению реактивной мощностью.

Многие энергосистемы уже приступили к этой работе, не дожидаясь указания сверху, на особо проблемных участках электрических сетей устанавливая компенсирующие устройства.

Важно, чтобы положительные результаты этой работы в локальных энергосистемах тиражировались на другие регионы.

После выхода в свет новой методики применения скидков и надбавок к тарифам на электроэнергию, которая готовится в недрах Минпромэнерго, потребителю будет дана возможность получить скидку за поддержание требуемого коэффициента реактивной мощности за регулирование реактивной мощности у себя в электросети предприятия в часы max/min нагрузок.

## Пути решения. Новые подходы

Сегодня проектировщикам и эксплуатационным службам пром. предприятий следует обращать особое внимание решению проблемы качества электроэнергии. Все мощные потребители на предприятии должны оснащаться фильтро-компенсирующими устройствами (ФКУ), а потребители с большой единичной мощностью и резко-переменной нагрузкой (дуговые печи с электропечными трансформаторами 100 МВА и выше) – статическими тиристорными компенсаторами (СТК). Это позволит обеспечить высокую степень стабилизации требуемой реактивной мощности при по-фазной регулировании, а также

снизить уровень высших гармоник в сети за счет фильтро-компенсирующих цепей (ФКЦ). Применение СТК даст также дополнительный технологический эффект.

К примеру, их использование в сетях, питающих дуговые сталеплавильные печи (ДСП), поможет повысить стабильность горения дуги и почти на 10% поднять производительность печи. Кроме того, в остальных менее ответственных участках электросети предприятия необходимо устанавливать регулируемые УКРМ с электромеханическим переключением ступеней.

В системах промышленного электропитания 6-10 кВ устройства компенсации РМ служат для поддержания напряжения на шинах 6(10) кВ при провалах напряжения, вызванных КЗ в цепях 110(35) кВ. Они ограничивают колебания напряжения на шинах 6(10) кВ, а гармонические составляющие снижаются фильтро-компенсирующими устройствами ФКУ, состоящими из емкостей и реакторов, при этом улучшается и  $\cos\phi$ .

На трансформаторных подстанциях (ГПП) рекомендуется применять устройства компенсации реактивной мощности, например такие как управляемые шунтирующие реакторы с вакуумными (элегазовыми) выключателями с повышенным коммутационным ресурсом и устройством синхронной коммутации в сетях до 110 кВ включительно.

В электроустановках потребителей 0,4-10 кВ наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение регулируемых конденсаторных установок УКРМ непосредственно на шинах РУНН-0,4 кВ трансформаторных подстанций.

Преимущества УКРМ перед другими техническими средствами – синхронными компенсаторами и синхронными двигателями, в том, что последние имеют большие потери активной электрической мощности и вращающиеся части, подверженные механическому износу.

В качестве примера снижения электропотребления системы электропитания коммунальных однофазных потребителей представляется интерес опыт применения УКРМ в низковольтных городских распределительных сетях при минимальном удалении от потребителей, предприятий, входящих в группу Endesa (Испания). По данным Edeinor S.A.A. [6], установка конденсаторов суммарной мощностью 37 000 кВАр в 114 000 домовладений района Инфантас северной части Лимы (Перу), повысила средне-взвешенный  $\cos\phi$  распределительной сети с 0,84 до 0,93, что позволило ежегодно экономить примерно **280 кВт/ч** на каждый установленный кВАр

реактивной мощности или всего около **19 300 МВт/ч** в год.

## Заключение

Сегодня, когда промышленное производство восстановило свой доперестроечный уровень потребления электроэнергии, а кое-где и превысило его, необходимо проводить просветительскую работу по разъяснению важности компенсации РМ на предприятиях, заинтересовать потребителя, довести до него нормативные документы, которые уже вышли, которые ожидаются в ближайшее время, показать потребителю, что соблюдение режимов компенсации реактивной мощности, позволит потребителю улучшить надежность своих сетей и увеличить пропускную способность оборудования, снизить потери электрической энергии, в конечном счете – улучшить свои экономические показатели.

По нашему мнению эту работу должны прежде всего проводить местные органы Ростехнадзора совместно с техническими службами местных сетевых компаний. К этой работе могли бы подключиться и профильные ВУЗы, имеющие солидный интеллектуальный багаж, и вооруженные передовыми теоретическими знаниями в этой области. Я думаю, что свою лепту в эту работу могут внести и некоммерческие объединения электротехников, например такие, как МОСЭП. И конечно, эта работа невозможна без участия инжиниринговых компаний, продвигающих на рынке устройства компенсации РМ, которые владеют технологическим аспектом внедрения этого оборудования на различных предприятиях и наработанной аналитикой.

В рекомендациях научно-технического семинара «Распределительные электрические сети России-21 век», проходившего в г. Великие Луки в октябре 2007г, одним из организаторов которого выступила ОАО «ФСК ЕЭС», говорится:

п. 5. Считать целесообразным... для компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ подстанций применять конденсаторные установки или конденсаторные батареи.

## Послесловие

В данной статье мы рассмотрели второй аспект компенсации РМ – ее влияние на качество электроэнергии. Как показала практика, этот вопрос достаточно сложен. При его решении выбор правильного решения конкретной проблемы должен быть за специалистами.

Если вы планируете установить систему компенсации РМ на своем

предприятии или модернизировать существующую, мы рекомендуем проанализировать поступившие вам предложения от разных фирм и дать ответы на следующие вопросы:

- Решает ли данная фирма проблему компенсации РМ в комплексе?
- Предлагает ли услуги проектирования и монтажа УКРМ?
- Вводит ли в эксплуатацию поставляемые ей установки УКРМ?
- Предлагает ли гарантийное и послегарантийное обслуживание?
- Имеет ли фирма свою техническую и сервисную базу?
- Имеет ли продолжительный опыт в этой области и квалифицированный персонал? Ответив на эти вопросы, можете выбирать фирму, с которой вам предстоит решать сложную, но очень важную задачу-повышение качества электроэнергии в вашей электросети.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. С. Гамазин, В. Пупин, О. Ивкин. Новые устройства обеспечения надежности электроснабжения и качества электроэнергии потребителей. / Рынок электротехники. 2006. № 2.
2. Taylor, C. W., Power System Stability, McGraw Hill, Inc., 1994. Performance of AC Motor Drives During Voltage Sags and Momentary Interruptions, EPRI PQ Commentary № 3, December 1998.
3. А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. Повышение качества энергии в электрических сетях. / Киев. Наукова думка. 1985.
4. Ю. С. Железко. Влияние потребителя на качество электроэнергии в сети и технические условия на его присоединение. / Пром. Энергетика. 1991. № 6.
5. В. Тубинис. Как выбрать электросчетчик. / Новости электротехники. 2005. №5.
6. Коррекция коэффициента мощности в электросетях Перу. / Компоненты Epcos AG. 2006. №1.
7. Ю. С. Железко. О нормативных документах в области качества электроэнергии и условий потребления реактивной мощности. / Электрика. 2003. №1. 9-16 с.
8. В. С. Иванов, В. И. Соколов. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1987. 336 с.
9. О. Кухта, Е. Симонова. К вопросу об эффективности компенсации реактивной мощности. / Энергетическая политика Украины. 2004. №9. 90-93 с.
10. В. Кочкин. Реактивная мощность в эл. сетях. / Технологии управляемой компенсации. Новости электротехники. 2007. №3.

**А. В. СИНЕЕВ,**  
член правления МОСЭП,  
(г. Барнаул).