

Установки производства компании Electronicon для компенсации реактивной мощности

Алексей ЮШКОВ
yushkov_alexei@argussoft.ru

Настоящая статья посвящена применению регулируемых и нерегулируемых установок компенсации реактивной мощности производства компании Electronicon Kondensatoren GmbH в электрических распределительных трехфазных сетях промышленных предприятий и других объектов напряжением до 400 В и частотой 50 Гц. Прочитав статью, вы узнаете, какие реальные преимущества можно получить благодаря их использованию.

Введение

Появление проблемы компенсации реактивной мощности совпало с началом практического использования переменного тока, так как передача необходимой для работы электроустановок реактивной мощности является одной из основных составляющих технологических потерь электроэнергии в сетях электроснабжения. Сегодня, с учетом собственного электропотребления энергосистемы, примерно шестая часть производимой электроэнергии не доходит до потребителя. Значительная часть потерь активной энергии обусловлена сетевыми потоками реактивной мощности, а их снижения можно достигнуть за счет увеличения степени компенсации реактивной мощности, потребление которой определяется двумя составляющими:

1. Потерями в трансформаторах и линиях электрических сетей;
2. Реактивной нагрузкой потребителей.

Следует также учитывать изменение характера электропотребления, обусловленное увеличением мощностей нелинейных потребителей, а также опережающим ростом потребления реактивной мощности по отношению к активной вследствие уменьшения загрузки силовых трансформаторов (характерная черта современной электроэнергетики, отрицательно влияющая на показатели качества и потери электроэнергии).

Таким образом, общая задача оптимального электропотребления как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации систем электроснабжения включает в себя вопрос обеспечения компенсации реактивной мощности нагрузки. Последний нормативный документ, связанный с компенсацией реактивной мощности, был утвержден Главгосэнергонадзором РФ в 1994 г. (изменения

вносились в 1995 и 1997 гг.). Это «Правила применения скидок и надбавок к тарифам на электрическую энергию за потребление и генерацию реактивной энергии», в которых были рассмотрены рекомендуемые методы расчета экономических значений и технических пределов потребления и генерации реактивной мощности и энергии.

Качество сетей и надежность электроснабжения

80% всех проблем при эксплуатации телекоммуникационных установок, вычислительной техники и микропроцессорных систем управления, как и других чувствительных электронных аппаратов, возникают из-за сетевых

проблем (табл. 1), поэтому затраты на улучшение качества сетей быстро окупаются.

Сравнение технических решений регулирования

Требования к регулированию

К регулированию компенсации реактивной мощности в области качества потребления электроэнергии предъявляются следующие требования:

1. Переключение конденсаторов должно вызывать минимальное обратное воздействие на сеть;
2. Реакция на изменение реактивной нагрузки должна быть максимально быстрой (в идеальном случае мгновенной); это осос-

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 электроприборы (рентгеновские, магнитные диагностические аппараты...)	•			
Эксцентриковые 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 электропечи		•		
Автоматы контактной сварки	•	•		•

бенно важно при преобладании емкостной нагрузки.

Требования к регуляторам

При конструировании регуляторов реактивной мощности необходимо принимать во внимание соответствие требованиям п. 1 и п. 2 и учитывать, что достижение целевого коэффициента мощности $\cos(\varphi)$ должно сопровождаться минимальным числом переключений и, соответственно, наименьшим износом конденсаторов и переключающих устройств.

Кроме того, важно, чтобы даже неспециалист мог получить ответы на следующие вопросы:

- Какой целевой коэффициент мощности $\cos(\varphi)$ требуется?
- Стабилизируется ли требуемый $\cos(\varphi)$?
- $\cos(\varphi)$ имеет значение выше или ниже заданного?
- Работает ли установка в автоматическом режиме?
- Какой канал регулятора и какой мощности конденсаторы включены в работу?
- Имеются ли неисправности или сбои?

Чтобы удовлетворять всем этим требованиям, необходимо иметь надежную управляющую электронику и наглядную функционально-символическую светодиодную индикацию. Применение многопозиционного прибора с мультифункциональной табулой в качестве регулятора мощности исключается, так как в большинстве случаев он монтируется жестко с компенсационной установкой и предназначен для различных задач компенсации. С ростом числа функций возрастает возможность ошибки или сбоев в управлении, особенно если управляющие элементы свободно доступны. Мультифункциональные измерительные приборы не должны иметь добавочных регулирующих функций — их место на главных щитах управления, где они с полным на то основанием используются для измерения и контроля электрических величин и, соответственно, коэффициента мощности $\cos(\varphi)$.

Ряд регулирования — каналы регулирования

Рядом регулирования называется пропорциональное соотношение мощности ответвлений (переключаемая одним из выходов регулятора включенная мощность конденсаторов). Ряд регулирования должен иметь возможность свободно выбираться и в дальнейшем позволять адаптацию и внесение изменений без переналадки программы. Рационально иметь 5–6 каналов регулирования, чтобы иметь возможность точного регулирования малыми ступенями, например, 15-ю ступенями по ряду регулирования 1:2:2:3:3:4 без крутого подъема пропорции регулирования. Слишком крутой подъем ряда регулирования как, например, 1:2:4:8 = 15 ступеней может самостоятельно при относительно малых изменениях нагрузки привести к нежелательным переключениям и к длительным переходным процессам.

Какой же использовать — арифметический, геометрический или смешанный ряд регулирования (на примере 6-канального регулятора)?

Арифметический ряд регулирования

Пропорция регулирования 1:1:1:1:1:1 = 6 ступеней.

Преимущества: относительно короткие переходные процессы, поскольку мощность каждой ступени выбрана небольшой.

Недостатки: большие расходы на коммутационные аппараты специально для чувствительного регулирования. Для большинства обычных случаев регулирования вверх или вниз последняя ступень конденсаторов используется очень редко или вообще не используется. При больших изменениях нагрузки процесс длится сравнительно долго, пока не включатся все необходимые ступени. Свободное изменение и наращивание мощности, как правило, невозможно.

Геометрический ряд регулирования

Пропорция регулирования 1:2:4:8:16:32 = 63 ступени.

Преимущества: точного и чувствительного регулирования можно достичь при относительно низких расходах на коммутационные аппараты.

Недостатки: при значительных изменениях нагрузки необходимые переключающие процессы (от ступени к ступени) ведут к значительному числу циклов переключений, длительным переходным процессам и длительному времени регулирования системы и, как правило, сопровождаются дополнительными расходами на программирование при вводе в эксплуатацию и изменении или расширении установки.

Смешанный ряд регулирования

Пропорция регулирования 1:2:2:2:2:2 = 11 ступеней.

Преимущества: компромиссное решение между предыдущими двумя способами регулирования; оправданные затраты на коммутационные приборы; продолжительность переходных процессов держится в допустимых пределах.

Недостатки: поскольку на каждом шагу промежуточных переключений неизбежно включение низких ступеней, необходимо учитывать значительный износ переключающей их аппаратуры и конденсаторов. Длительность процесса регулирования при наличии избыточной реактивной нагрузки может при известных условиях быть выше, чем при использовании арифметического ряда. Как правило, требуются дополнительные расходы на программирование при вводе в эксплуатацию, изменении и расширении установки.

Переключающая схема

Переключающая схема должна гарантировать равномерное использование всех ответвлений конденсаторов. Это преимущество может быть полностью реализовано только при использовании арифметического ряда регулирования. В основном на практике применяются аналогичные пропорции, как описа-

но в арифметическом ряду. Но в этом случае дальнейшее свободное изменение или наращивание мощности невозможно.

Непосредственное управление включениями ответвлений

С помощью программируемого процессора выбраны все оптимальные комбинации для прямого включения имеющихся ответвлений мощности, а также для достижения равномерной продолжительности использования их в работе. Наибольший эффект такого регулирования естественно достигается при геометрическом ряде, со всеми вытекающими достоинствами и недостатками использования этого ряда регулирования. В данной системе возможны сложные переключения, связанные с переходными процессами, если необходимую мощность нельзя включить непосредственно ответвлением.

Пример:

Установленная мощность: 325 кВАр.

Переключаемые ответвления (каналы): 25:50:100:150 кВАр (пропорция регулирования 1:2:4:6).

Уже включено 175 кВАр (25:50:100 кВАр). Требуется дополнительно включить 25 кВАр. Для этого необходимо отключить ступени 100 и 25 кВАр и включить ступень 150 кВАр.

Как правило, для такой системы требуются дополнительные затраты на программирование при вводе в эксплуатацию, изменении или расширении установки, также неизбежны частые пробные включения при самоадаптирующемся исполнении установки.

Выводы

Принципиальная возможность регулирования ступенями достигается за счет использования специального регулятора. Идея регулятора PFR-X производства компании Electronicon Kondensatoren GmbH проста — надежность в работе и легкость в применении. PFR-X — регулятор, представляющий собой удачный компромисс различных систем регулирования (рис. 1).

Отличительные особенности:

- 6 каналов позволяют обеспечить свободную организацию ряда регулирования и возможность наращивания мощности без дополнительных затрат на перепрограммирование;
- точное регулирование без крутых подъемов ряда регулирования при отсутствии непропорциональной нагрузки на низшие ступени;
- быстрое регулирование при больших разбросах нагрузки, автоматическая коррекция нагрузочной пропорции при большом количестве ступеней, например, при использовании 31-й ступени требуется максимум 6 шагов переключений;
- при регулировании вверх есть возможность выбрать одну из двух скоростей регулирования;
- ступени большой мощности работают как основные, что снижает обратное воздействие на сеть и число переходных процессов;

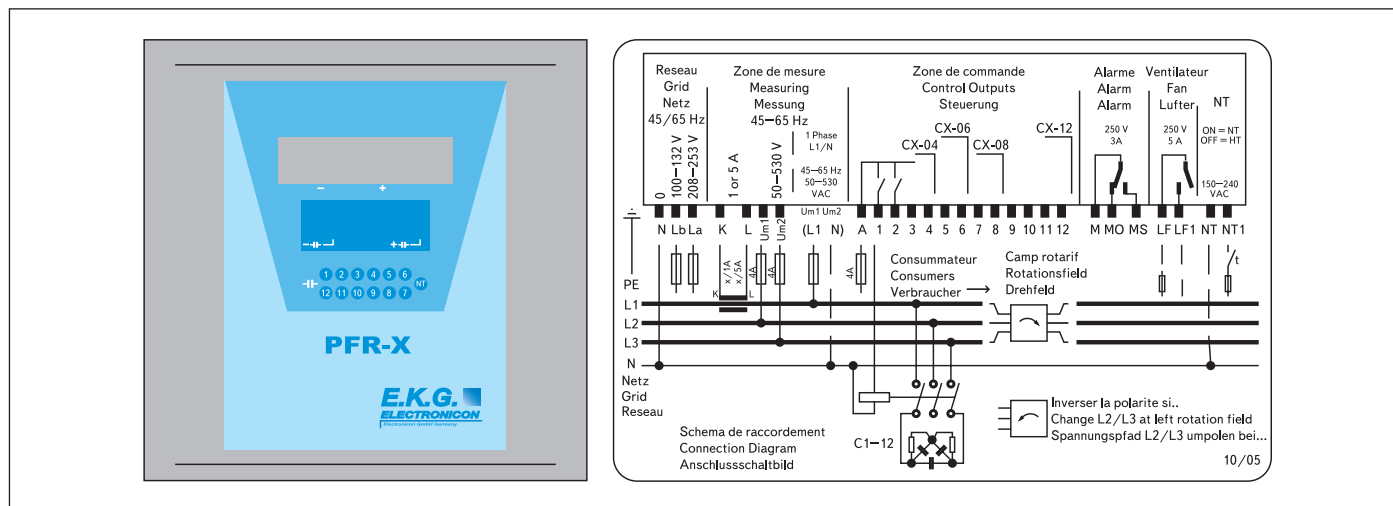


Рис. 1. Конструктивное исполнение и принципиальная схема регулятора PFR-X

- критическая емкостная перекомпенсация при внезапных спадах реактивной нагрузки регулируется особенно быстро;
 - релейный выход для аварийной сигнализации;
 - автоматический режим, тенденция регулирования (емкостная, индуктивная), достигнутый $\cos(\varphi)$, общая мощность включенных конденсаторов (кВАр) и неполадки отображаются на постоянно включенном индикаторе (рис. 1);
 - элементы управления (кнопки и переключатели) защищены от механических повреждений прозрачной крышкой;
 - не требует много места, удобен для монтажа благодаря плоской форме (глубина 55 мм), быстросъемному крепежу и штекерному разъему;
- При использовании 6 каналов регулирования и ряде регулирования 1:2:4:8:16:32 максимальное количество управляемых ступеней может достигать 63. Практика показала, что при количестве ступеней от 8 до 12 достигается оптимальное регулирование, удовлетворяющее всем требованиям качественного и надежного регулирования, число каналов регулятора обычно 5–6.

Ввод в эксплуатацию, выбор и рекомендации по планированию

Вводу в эксплуатацию мощных компенсационных установок должен предшествовать анализ сети. Температуру окружающей среды следует учитывать с перспективой на летние месяцы.

Компания Electronicon Kondensatoren GmbH предлагает как отдельные компоненты, так и готовые решения для компенсации реактивной мощности и улучшения качества сети. Рассмотрим некоторые из них.

- Силовые конденсаторы и установки компенсации реактивной мощности с дросселями (с рассогласованными фильтрами),

без и с заграждающими фильтрами звуковых частот.

Область применения: повышение $\cos(\varphi)$, разгрузка сети и снижение влияния высших гармоник в электроустановках потребителя.

- Быстропереключаемые конденсаторы с дросселями и быстродействующие установки компенсации реактивной мощности (с рассогласованными и согласованными фильтрами).

Область применения: улучшение $\cos(\varphi)$, быстрая разгрузка сети и снижение влияния высших гармоник в электроустановках потребителя.

- Регуляторы реактивной мощности, модули, контакторы, вентиляционные системы, трансформаторы тока, предохранители, арматура.

Область применения: переоснащения и ремонт уже действующих установок компенсации реактивной мощности, подключение и ввод в эксплуатацию новых.

Бездроссельные компенсационные установки реактивной мощности, монтируемые из встраиваемых конденсаторных модулей мощностью 100 кВАр

Применение: автоматические, готовые к подключению компенсационные установки реактивной мощности для централизованной компенсации в сетях трехфазного тока не нагруженных высшими гармониками.

Исполнение: компенсационные установки собираются из модулей. Переключаемые конденсаторные модули мощностью 2×25, 3×25 или 2×50 кВАр особенно удобны при монтаже, просты в обслуживании и надежны в эксплуатации (табл. 2).

Комплектация:

- самовосстанавливающиеся, безопасные для окружающей среды МКР/МКРg-конденсаторы с высокой электрической прочностью и защитой от перегрузки;

- сборные шины с NH-элементами для предохранителей (единичная защита);
- контакторы специального исполнения с устройством для быстрого разряда конденсаторов и предварительной ступенью для гашения тока запуска;
- электронный самопрограммируемый регулятор реактивной мощности (PFR-X) с функциональной индикацией состояния компенсации, типа регулирования (индуктивное или емкостное), подключенной мощности конденсаторов и аварийного состояния, оптимизирующий последовательность включения конденсаторов;
- цепи контроля температуры;
- подготовленные цепи управления для расширения компенсационной установки;
- в случае необходимости доукомплектовываются заграждающими фильтрами.

Таблица 2. Технические данные переключаемых конденсаторных модулей

Номинальное напряжение	400–690 В, 50/60 Гц
Исполнение	внутри помещения
Температура окружающей среды	+35 °С среднесуточная +20 °С среднегодовая –10 °С минимальная
Нагруженность высшими гармониками	5 гарм. (250 Гц) макс. 2% 7 гарм. (350 Гц) макс. 1,6%
Высота монтажа	до 2000 м над уровнем моря
Соответствие	всем российским и международным требованиям, включая IEC 439 и 831

Установки компенсации реактивной мощности с дросселями, монтируемые из встраиваемых конденсаторных модулей мощностью 25 кВАр (УКРМ 25) и 50 кВАр (УКРМ 50)

Применение: автоматические, готовые к подключению компенсационные установки реактивной мощности для централизованной компенсации в сетях трехфазного тока, нагруженных высшими гармониками.

Исполнение: компенсационные установки собираются из модулей. Переключаемые конденсаторные модули мощностью 2×6,25; 3×6,25 или 2×12,5 кВАр для УКРМ 25 и 2×12,5;

3×12,5 или 2×25кВАр для УКРМ 50 особенно удобны при монтаже, просты в обслуживании и надежны в эксплуатации (табл. 3).

Комплектация:

- безопасные для окружающей среды самовосстанавливающиеся МКР/МКРg-конденсаторы с высокой электрической прочностью и защитой от перегрузки;
- сборные шины с NH-элементами для предохранителей (групповая защита);
- контакторы специального исполнения с устройством для быстрого разряда конденсаторов;
- самопрограммируемый электронный регулятор реактивной мощности (PFR-X) с функциональной индикацией состояния компенсации, типа регулирования (индуктивное или емкостное), подключенной мощности конденсаторов и аварийного состояния, оптимизирующий последовательность включения конденсаторов;
- устройства контроля температуры;
- система принудительной вентиляции;
- подготовленные цепи управления для расширения компенсационной установки;

Таблица 3. Технические данные конденсаторных модулей УКРМ 25 и УКРМ 50

Номинальное напряжение	400–690 В, 50/60 Гц
Исполнение	внутри помещения
Температура окружающей среды	+35 °С среднесуточная +20 °С среднегодовая –10 °С минимальная
Нагруженность высшими гармониками	5 гарм. (250 Гц) макс. 5% 7 гарм. (350 Гц) макс. 4%
Высота монтажа	до 2000 м над уровнем моря
Соответствие	всем российским и международным требованиям, включая IEC 439 и 831

Выбор и рекомендации по планированию

- Часть нелинейных потребителей max 50%.
- Максимальная нагрузка гармониками $U_5 = 5\%$; $U_7 = 4\%$.
- Если хотя бы одно из этих требований не выполняется, следует устанавливать компенсационную установку специального исполнения, либо установку с использованием специальных сглаживающих фильтров. В таких случаях необходим точный расчет с использованием всех данных электросети.
- При частотах централизованного управления >350 Гц и в промышленных сетях без высокочастотных установок следует выбирать дросселирование с коэффициентом $p = 5,67\%$. Вырабатываемая собственной сетью 5 гармоника может быть снижена на 50%.
- При частотах централизованного управления от 250 до 350 Гц следует выбирать $p = 7\%$. Уровень 5 гармоника в сети может быть снижен на 20%.
- При частотах централизованного управления от 180 до 250 Гц следует выбирать $p = 14\%$. Уровень 5 гармоника в сети не может быть снижен. В случае необходимости снижения уровня 5 гармоника следует выбирать коэффициент дросселирования

$p = 7\%$ плюс заградительный фильтр звуковой частоты (возможно только для потребителей с собственной трансформаторной подстанцией).

- При частотах централизованного управления <180 Гц рекомендуется дросселирование с коэффициентом $p = 14\%$ плюс резервное место для заградительного фильтра звуковой частоты или спецдросселирование.
- Компенсационную установку с дросселями следует тщательно рассчитывать (целевой $\cos(\varphi) > 0,93$). Это особенно критично при коэффициенте дросселирования $p = 5,67\%$.
- Компенсационную установку с дросселями и без них не следует подключать к одному и тому же трансформатору. Это требование также необходимо соблюдать для установок с различным коэффициентом дросселирования «р».
- Компенсационную установку рекомендуется выбирать с резервным местом для заградительного фильтра, если нет исчерпывающей информации о частотах централизованного управления.
- Следует выбирать установки модульной конструкции с резервом для дальнейшего расширения установки.
- Нормативный показатель для ожидаемой общей мощности (кВАр) можно получить, если активную мощность компенсируемых электроустановок, согласно целевому $\cos(\varphi)$, умножить на коэффициент 0,7–0,9.
- При выборе компенсационной установки рекомендуется пользоваться следующим рядом реактивной мощности: 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 кВАр и т. д. Эти значения имеют наилучшие соотношения «стоимость/мощность» и упрощают дальнейшее наращивание мощности.
- Мощность ступени следует выбирать из следующего ряда: 3,1; 6,2; 12,5; 25; 50; 75; 100; 125; 150 кВАр. Для компенсационной установки с дросселями желательно иметь число ступеней регулирования от 6 до 12. Для установок малой мощности — от 5 до 8.
- Монтаж установки рекомендуется осуществлять в прохладном месте (максимальная температура +35 °С, среднегодовая не более +20 °С). Это позволяет значительно продлить срок службы установки. Следует также позаботиться об отводе тепловых потерь.

Конструктивное исполнение типа КРМ-0,4 (наиболее часто встречающаяся аббревиатура у российских производителей)

Регулируемые установки компенсации реактивной мощности КРМ-0,4 предназначены для поддержания постоянным заданного значения коэффициента мощности $\cos(\varphi)$ в электрических распределительных трехфазных сетях промышленных предприятий и других объектов напряжением до 400 В частотой 50 Гц. Установки типа КРМ-0,4 обеспечивают заданный $\cos(\varphi)$ в периоды максимальных и минимальных нагрузок, а также исключают режим генерации реактивной

мощности. Для компенсации постоянной (неизменяемой) реактивной мощности выпускаются нерегулируемые установки типа КРМ-0,4 (табл. 4, рис. 2).

- установки мощностью от 35 до 150 кВАр монтируются в навесных корпусах;
- установки мощностью от 200 до 600 кВАр монтируются в напольных шкафах, состоящих из одной, двух секций одного габарита и конструктивного исполнения.

Таблица 4. Размеры установок КРМ-0,4

Тип	Ширина, мм	Глубина, мм	Высота, мм
КРМ-04-35	520	350	100
КРМ-04-50			1310
КРМ-04-75			
КРМ-04-100			
КРМ-04-112,5			1510
КРМ-04-150	660	475	2075
КРМ-04-200			
КРМ-04-300			
КРМ-04-400	1290		2275
КРМ-04-600			

УКРМ - 04 - X



Рис. 2. Структура условного обозначения

Заключение

Для энергосистем, особенно крупных предприятий, реактивная энергия всегда была и остается неизбежным атрибутом технологического оборота электроэнергии, влияющим на его экономическую эффективность. В последнее время, в связи со значительным ростом цен на энергоносители, повысился приоритет вопросов энергосбережения. Использование конденсаторных установок компенсации реактивной мощности — один из наиболее простых и эффективных способов энергосбережения в промышленных и коммунально-бытовых распределительных сетях.

Применение компонентов производства Electronicon (конденсаторов, дросселей, регуляторов, пускателей, разрядников) и установок типа КРМ позволяет:

- поддерживать необходимый коэффициент мощности установок потребителя;
- повысить качество электроэнергии непосредственно в сетях предприятия;
- снизить общие расходы на электроэнергию;
- уменьшить нагрузку элементов распределительной сети, увеличить их срок службы.

Более подробную информацию о компонентах производства компании Electronicon Kondensatoren GmbH можно найти на сайте <http://www.argussoft.r.u> и <http://www.electronicon.com>.