

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

**© 2007 г. М.Н. Полуянович, Н.К. Полуянович
Таганрогский технологический институт
Южного федерального университета**

Одним из основных вопросов, решаемых на стадии проектирования и эксплуатации систем промышленного электроснабжения, является вопрос о компенсации реактивной мощности. В настоящее время прирост потребления реактивной мощности превышает рост потребления активной мощности (бурное развитие новых частотных преобразователей электроприводов, использующих для работы нелинейные элементы).

По оценкам отечественных и ведущих зарубежных специалистов, доля энергоресурсов, и в частности электроэнергии занимает величину порядка 30–40% в стоимости продукции. Это достаточно веский аргумент, чтобы руководителю со всей серьезностью подойти к анализу и аудиту энергопотребления и выработке методики компенсации реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности – вот ключ к решению вопроса энергосбережения. Задача компенсации реактивной мощности касается в первую очередь крупных предприятий с большим энергопотреблением. Большинство потребителей электроэнергии таких предприятий представляют собой электрические машины, трансформаторы, оборудование для дуговой сварки, в которых переменный магнитный поток связан с обмотками. Вследствие этого в обмотках при протекании переменного тока индуктируются реактивные э.д.с. обуславливающие сдвиг по фазе (φ) между напряжением и током. Этот сдвиг по фазе обычно увеличивается, а $\cos(\varphi)$ уменьшается при малой нагрузке. Например, если $\cos(\varphi)$ двигателей переменного тока при полной нагрузке составляет 0,75–0,80, то при малой нагрузке он уменьшится до 0,20–0,40. Малонагруженные трансформаторы также имеют низкий $\cos(\varphi)$. Результирующий $\cos(\varphi)$ энергетической системы будет низок и ток нагрузки электрической, без компенсации реактивной мощности, будет увеличиваться при одной и той же потребляемой из сети активной мощности. Соответственно при компенсации реактивной мощности (применении автоматических конденсаторных установок КРМ) ток потребляе-

мый из сети снижается, в зависимости от $\cos(\varphi)$ на 30-50%, соответственно уменьшается нагрев проводящих проводов и старение изоляции.

На современном этапе развития отечественной энергетики необходим форсированный переход к энергосберегающим технологиям - различным способам снижения потерь электрической энергии, сокращающим потребность введения новых генерирующих мощностей.

Компенсировать реактивную мощность возможно:

синхронными компенсаторами;

синхронными двигателями;

косинусными конденсаторами (конденсаторными установками).

Преимуществами использования конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности являются:

1. малые удельные потери активной мощности (собственные потери современных низковольтных косинусных конденсаторов не превышают 0,5 Вт на 1 квар);
2. отсутствие вращающихся частей;
3. простой монтаж и эксплуатация (не нужно фундамента);
4. относительно невысокие капиталовложения;
5. возможность подбора практически любой необходимой мощности компенсации;
6. возможность установки и подключения в любой точке сети;
7. отсутствие шума во время работы;
8. небольшие эксплуатационные затраты.

Конденсаторные установки используемые в промышленности должны быть автоматизированными при этом:

автоматически отслеживается изменение реактивной мощности нагрузки в компенсируемой сети и, в соответствии с заданным, корректируется значение коэффициента мощности – $\cos \varphi$;

исключается генерация реактивной мощности в сеть;

исключается появление в сети перенапряжения, т. к. нет перекомпенсации, возможной при использовании нерегулируемых конденсаторных установок; визуально отслеживаются все основные параметры компенсируемой сети;

контролируется режим эксплуатации и работа всех элементов конденсаторной установки;

предусмотрена система аварийного отключения конденсаторной установки и предупреждения обслуживающего персонала;

возможно автоматическое подключение принудительного обогрева или вентиляции конденсаторной установки.

Таким образом, конденсаторные установки применяются не только для того, чтобы замедлить вращение счетчика реактивной энергии, их применение позволяет решить ряд других проблем, возникающих на производстве:

снизить загрузку силовых трансформаторов (при снижении потребления реактивной мощности снижается потребление полной мощности);

обеспечить питание нагрузки по кабелю с меньшим сечением (не допуская перегрева изоляции);

за счет частичной токовой разгрузки силовых трансформаторов и питающих кабелей подключить дополнительную нагрузку;

позволяет избежать глубокой просадки напряжения на линиях электропитания удаленных потребителей (водозаборные скважины, карьерные экскаваторы с электроприводом, стройплощадки и т. д.);

максимально использовать мощность автономных дизель-генераторов (судовые электроустановки, электроснабжение геологических партий, стройплощадок, установок разведочного бурения и т. д.);

облегчить пуск и работу двигателя (при индивидуальной компенсации).

Целью работы является разработка и модернизации систем компенсации реактивной мощности с экономической и технической точки зрения.

Актуальность работы заключается в том, что промышленные предприятия используют индуктивную составляющую реактивной мощности, и она должна быть компенсирована, чтобы обеспечить экономичность производства и качество потребляемой электроэнергии. Задача минимизации потерь электроэнергии является одной из главных при оптимизации энергетических режимов.

Электрическая энергия характеризуется тремя показателями: напряжением, частотой и формой кривой электрического тока. Частота электрического тока или напряжения является характеристикой баланса активной мощности. Если активная мощность, которую вырабатывают источники, не менее требуе-

мой приемниками электрической энергии, то частота тока в электроэнергетической системе будет равна 50 Гц. В случае недостатка активной мощности частота тока в системе уменьшается и наступает установившийся режим на пониженной частоте.

Напряжение в системе является показателем баланса реактивной мощности. Если в системе существует нехватка реактивной мощности, то напряжение у потребителей становится ниже номинального.

При избытке реактивной мощности напряжение у потребителей превышает номинальное значение.

Реактивную мощность условно считают генерируемой и потребляемой. Генерируемая реактивная мощность – реактивная мощность конденсаторов, перевозбужденных синхронных двигателей или перевозбужденных синхронных генераторов. Потребляемая реактивная мощность – реактивная мощность асинхронных электродвигателей или недовозбужденных синхронных машин, а также силовых трансформаторов.

Напряжение и форма его кривой в соответствии со стандартом на качество электрической энергии (ГОСТ 13109–97) характеризуется следующими показателями: установившееся отклонение напряжения, $U\%$; колебания напряжения; несинусоидальность напряжения; несимметрия напряжения; отклонение частоты, f ; перенапряжения.

Существующая установка компенсации реактивной мощности трубокатного цеха представляет собой батареи конденсаторов и представляет следующие эксплуатационные недостатки:

регулирования мощности конденсаторных батарей производится с помощью разъединителей;

регулирование производится вручную, обслуживающим персоналом, при помощи изолирующей штанги.

К технико-экономическим недостаткам используемых на предприятиях компенсаторной установки можно отнести:

1. возникновение в процессе работы предприятия режимов недокомпенсации и перекомпенсации реактивной мощности;
2. полное отсутствие режима контроля $\cos(\varphi)$;
3. и как следствие большие потребляемые токи нагрузкой, не эффективное использование электрической энергии, экономические затраты.

Встает вопрос в разработке эффективной автоматизированной установки компенсации реактивной мощности.

Анализ существующих систем компенсации реактивной мощности, позволяет сделать следующий вывод: что, конденсаторные установки компенсации реактивной мощности с плавным регулированием мощности конденсаторной батареи наиболее экономически выгоднее, чем использование конденсаторных установок с постоянной мощностью. Так как, оставление в работе конденсаторных установок с постоянной мощностью при уменьшении нагрузки промышленного предприятия является неэкономичным, так как приводит к увеличению электрических потерь. Кроме того, оставление конденсаторов в работе в ночное время на предприятиях, работающих в две смены, повышает и без того высокое напряжение в сети, что может привести к сокращению срока службы как самих конденсаторов, так и другого электрооборудования.

В описываемой установке используется микроконтроллерная система управления. Компенсации реактивной мощности содержит силовой блок, датчики напряжения и тока, микроконтроллерную систему управления и интегральный стабилизатор напряжения, рис. 1. Силовой блок представляет собой тиристорный регулятор напряжения (ТРН) выполненный на силовых тиристорах ТО 125-12.5. Нагрузкой регулятора является компенсационный конденсатор Скомп. В результате анализа различных схемных решений и сопоставления с поставленной задачей была разработана принципиальная электрическая схема силовой и управляющей части устройства, рис. 2. Штрих линией на принципиальной схеме выделены: блок управления и измерения; формирователи сигналов; тиристорный регулятор напряжения; датчик напряжения и тока; блок компенсирующей емкости; блок подключения промышленной нагрузки.

Установка имеет ряд преимуществ, выгодно отличающих ее от аналогичных изделий рассмотренных в приведенном обзоре: отсутствие ступенчатого регулирования $\cos(\varphi)$; возможность регулировать значение $\cos(\varphi)$ с большей точностью; структура принципиальной схемы позволяет наращивать мощность установки (исходя из мощности приемника, требования заказчика, и т. д.); установка позволяет работать в двух режимах: режим измерения значение $\cos(\varphi)$; режим компенсации $\cos(\varphi)$.

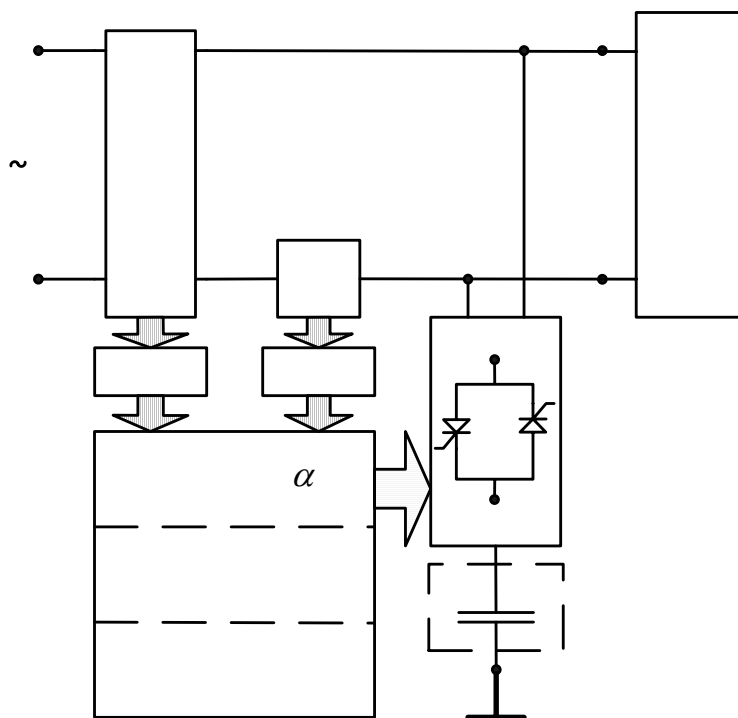


Рис. 1. Структурная схема установки КРМ

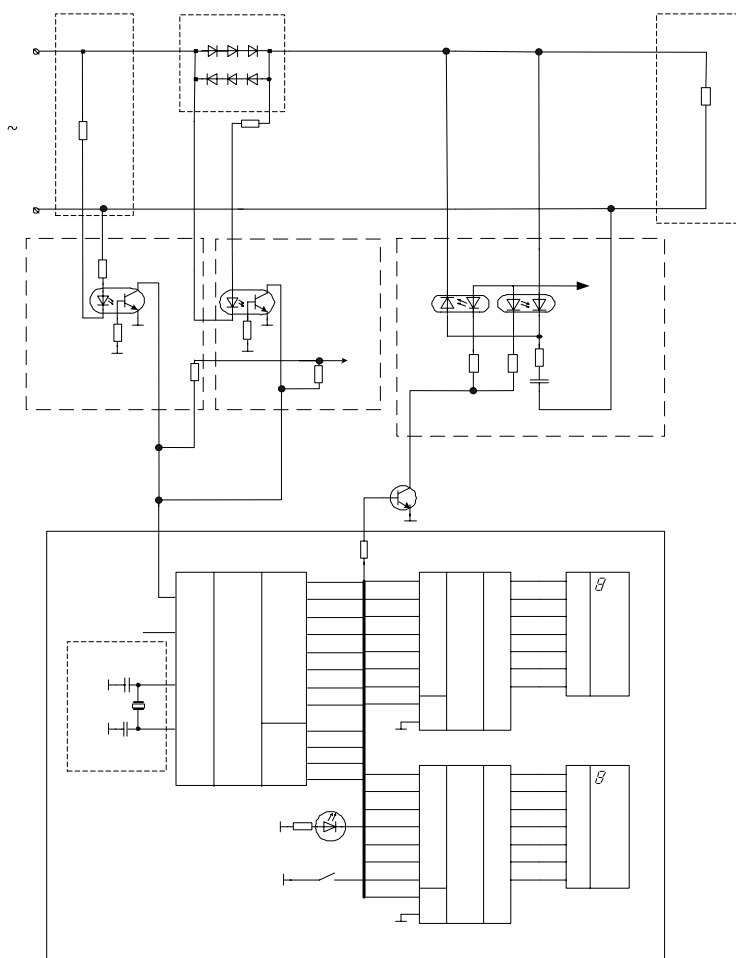


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема проектируемого устройства

Уф

Результаты работы опытного образца установки в широком диапазоне изменения нагрузки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Режим измерения		Режим компенсации	
Нагрузка, Ом.	Значение φ	Нагрузка, Ом.	Значение φ
X X	77°	X X	20°
1100	52°	1100	18°
400	33°	400	17°
200	21°	200	16°
100	15°	100	15°
80	13°	80	13°
50	11°	50	11°

Таким образом, применение нового схемного решения, в решении задачи регулирования величины емкости конденсаторной установки, позволило получить хорошие результаты. Основным достоинством описанного устройства является возможность плавного регулирования величины емкости компенсационного конденсатора при помощи силового ключа (оптотиристора), управляемого микроконтроллером, в отличие от существующих систем компенсации реактивной мощности со скачкообразным изменением емкости конденсаторной установки. Работа устройства, благодаря плавной регулировке, полностью исключает явления перекомпенсации или недокомпенсации реактивной мощности в питающей сети.

Разработанный образец однофазного компенсатора реактивной мощности является аналогом для создания промышленного КРМ. Он может быть применен как в однофазных так и в промышленных трехфазных сетях. В зависимости от типа и мощности потребителя (прокатного стана) использование разработанного однофазного образца установки в трехфазной сети может иметь следующие соединения в звезду или в треугольник.

Разработанная принципиальная электрическая схема позволяет наращивать мощность конденсаторной установки для использования в промышленных цехах с целью компенсации большой реактивной мощности. На рис. 3 показано новое схемное решение позволяющее существенно увеличить мощность компенсирующей установки. Для этого предлагается использовать силовые тиристоры типа T253-1000, вместо указанных на рис. 2, схемы тиристорного регуля-

тора, ТО 125-12.5. Принципиальная схема тиристорного регулятора (силовая часть) приведена на рис. 3.

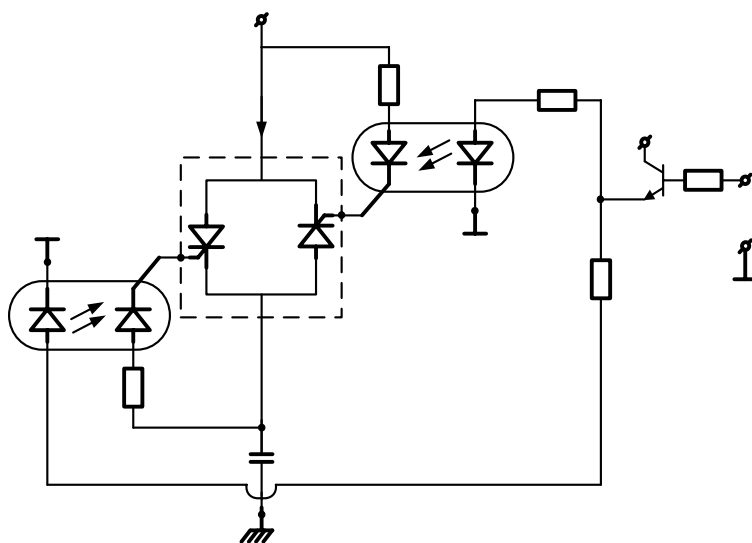


Рис. 3. Электрическая схема силовой части установки

Было проведено моделирование тиристорного регулятора напряжения в программе Simulink.

Основными характеристиками исследуемого тиристорного регулятора напряжения являются нагрузочная характеристика $U_{R_N} = f(I_N)$, временная характеристика $U_{R_N}(t)$ при заданном входном напряжении питания регулятора $U_{ex}(t)$ и системы управления с ШИМ-регулятором U_{G1}, U_{G2} . Все эти зависимости рассчитываются на основании принципиальной схемы (рис. 2) тиристорного регулятора напряжения.

Расчет характеристик тиристорного регулятора напряжения (рис. 1) произведем с помощью пакета Matlab (библиотека Simulink, раздела SymPowerSystem, подраздела Power Electronics).

В библиотеке PowerLib2/Elements пакета Matlab в разделе SimPowerSystem нет модели тиристорного регулятора напряжения, поэтому виртуальная модель регулятора напряжения была смоделирована в физическом разделе пакета Matlab вручную.

Модель регулятора состоит из силовой части и управляющих элементов (рис. 4).

PC

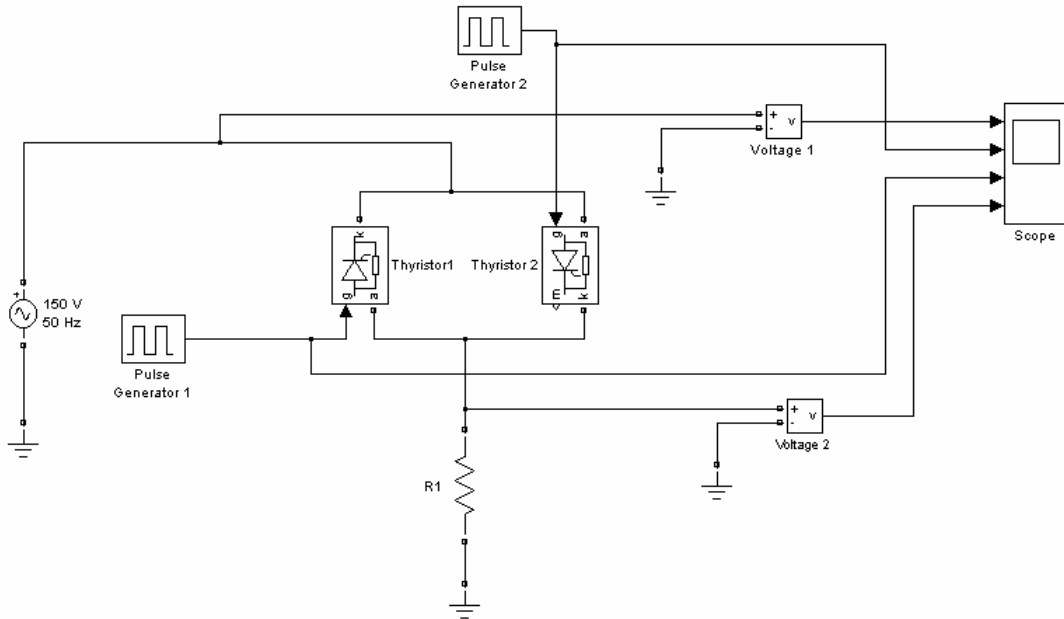


Рис.4. Matlab-модель тиристорного регулятора напряжения

В процессе моделирования были получены следующие зависимости напряжений (рис.5):

- а) от источника питания переменного тока;
- б, в) ШИМ-генераторов, которые управляют двумя тиристорами;
- г) выходного сигнала на нагрузке.

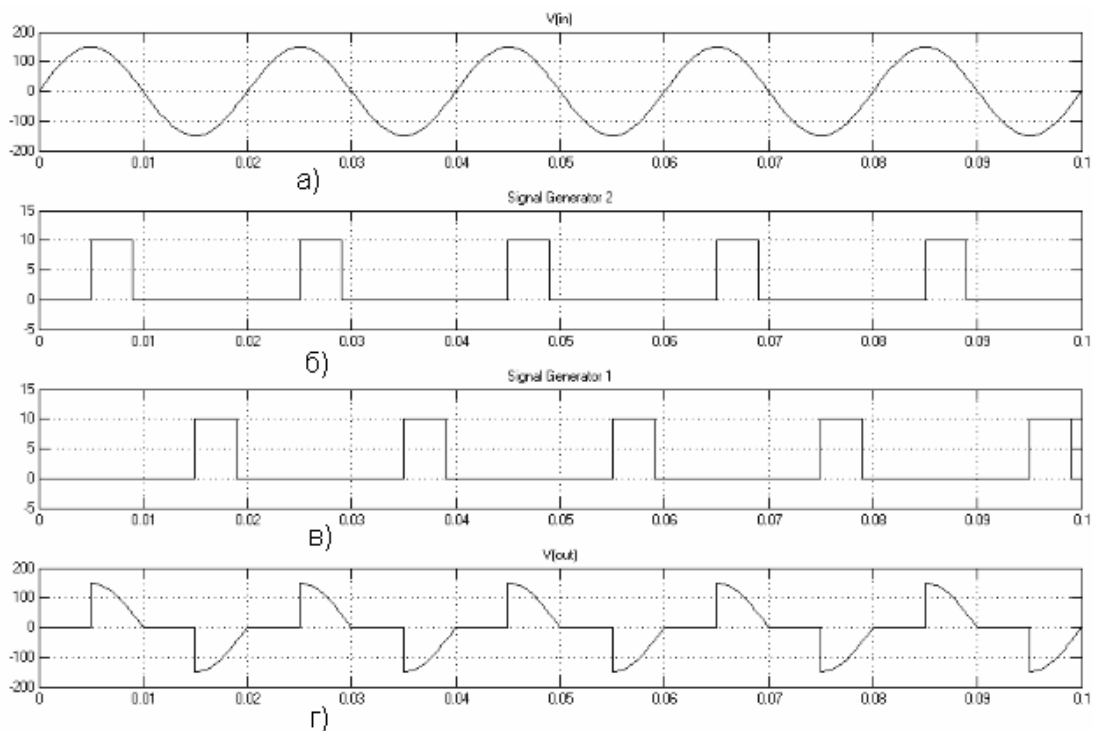


Рис. 5. Графики зависимостей: а- источника входного напряжения, б, в- сигналы ШИМ-управления с генераторов; г- переходная характеристика напряжения на нагрузке

Литература

1. *Куроедов В.И.* Компьютерная реализация методов теории автоматического управления: Учебное пособие / Кубан. Гос. технол. Ун-т. – Краснодар. Изд-во КубГТУ, 2002. – 88 с.
2. *Казначеев В.А., Кирюхин И.С.* Интегральные микросхемы справочник. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. – М: ДОДЭКА, 2000. – 608 с.