

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Ярошевич А. В.

Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь

Статья посвящена построению модели системы компенсации реактивной мощности в структуре адаптивной системы автоматического управления. Для решения задачи синтеза системы выбрана схема компенсатора реактивной мощности с аналоговым вычислением ёмкости конденсаторов. В статье рассмотрены следующие задачи:

- проведён анализ и сформулированы требования к схеме компенсатора;
- разработана графическая информационная модель компенсатора реактивной мощности с аналоговым вычислением ёмкости конденсаторов как системы автоматического управления (САУ);
- разработана структурная схема устройства как САУ;
- предложены пути построения модели компенсатора.

Для обоснования актуальности проблемы важны два вопроса.

Первый вопрос: создаётся ли реактивная мощность в бытовых и офисных нагрузках? Статистика отвечает: около половины потребляемой мощности связано с появлением индуктивной составляющей [1].

Второй вопрос: где лучшее место для устройства компенсации индуктивной нагрузки? Компенсатор должен находиться как можно ближе к индуктивной нагрузке [2]. В нашем случае таким местом может быть распределительный щиток потребителя, где устанавливается сегодня счётчик электроэнергии.

Отсюда требования к такому устройству: невысокая стоимость и небольшие габариты. Что в этой области имеем сегодня. Предприятия энергоснабжения ориентируются на решение проблемы для больших промышленных нагрузок. Отсюда большие габариты и стоимость не для массового применения.

С другой стороны, на рынке появляются небольшие и недорогие коробочки с заявленными функциями экономии электроэнергии при включении их рядом с вентилятором или холодильником. То, что внутри коробочки только конденсатор 5МкФ и светодиод и потребитель никакого эффекта для себя от использования такого устройства не имеет – ясно только для профессионалов.

Вывод: проблема есть и требует решения. Для решения проблемы предложено, используя свойства математических соотношений для расчёта управляющих устройством компенсации сигналов [3], реализовать алгоритм управления компенсатором реактивной мощности (КРМ) на аналоговых элементах электроники.

Построение компенсатора на аналоговых элементах для выполнения основных функций преобразования сигналов позволяет создать модель в понятиях теории автоматического управления (ТАУ). Рассмотрение модели как системы автоматического управления позволяет исследовать параметры компенсатора

методами ТАУ с использованием компьютерных средств моделирования, например MatlabControlSystemToolbox и Simulink.

Анализ многообразия методов управления компенсацией реактивной мощности позволяет сделать следующие выводы:

1. Все методы базируются на косвенной оценке величины реактивной мощности и не обеспечивают требуемое значение $\cos \varphi$ сети.
2. Оценка компенсируемой мощности требует изучения специфических особенностей нагрузки и технологии производственных процессов.
3. Схемы управления компенсацией требуют индивидуального подхода в проектировании и наладке под конкретную ситуацию.
4. Схемы управляющих устройств компенсаторов не отличаются простотой и надёжностью.

На основе этих выводов можно сделать заключение о том, что исключить названные недостатки можно при использовании автоматического управления компенсацией реактивной мощности на основе измерения величины реактивной мощности в нагрузке или электрических параметров нагрузки, по которым можно вычислить величину компенсируемой реактивной мощности.

Исходя из этого, можно сформулировать основные требования к вычислителю компенсатора реактивной мощности для бытовых нагрузок.

1. Для эффективной компенсации реактивной мощности ёмкость конденсаторной батареи должна регулироваться в зависимости от фактического значения реактивной составляющей нагрузки.
2. Использование простых асимптотических формул для расчёта ёмкости позволяет построить простую надёжную схему управления ключами с аналоговым вычислителем для коммутации конденсаторов.
3. Компьютерное моделирование фазового детектора позволило выбрать схему и определить параметры сигнала для управления коммутацией компенсирующих конденсаторов.
4. Использование простой и недорогой схемы в цепях бытовой нагрузки позволит получить существенную экономию за счёт сокращения потерь при передаче электроэнергии.

Для обеспечения экономической целесообразности применения решающим параметром должна быть стоимость устройства. Стоимость определяется построением электрических схем из простых и надёжных элементов, количество которых должно быть невелико. Такой подход позволит обеспечить другое важнейшее требование – небольшие габариты, позволяющие встраивать компенсаторы реактивной мощности в квартирные щиты энергоснабжения.

Способ решения этой задачи и некоторые требования к устройствам предложены в [4] путём применения аналоговой схемы вычислителя для компенсатора реактивной мощности.

При реализации схемы компенсации реактивной мощности необходимо решить следующие проблемы:

- измерение величины реактивных потерь в реальном времени;
- определение ёмкости компенсирующего конденсатора;
- коммутация к сети ёмкости из конденсаторной батареи.

Общая схема предлагаемого устройства для компенсации реактивной мощности бытового потребителя электрической энергии представлена на рис. 1.

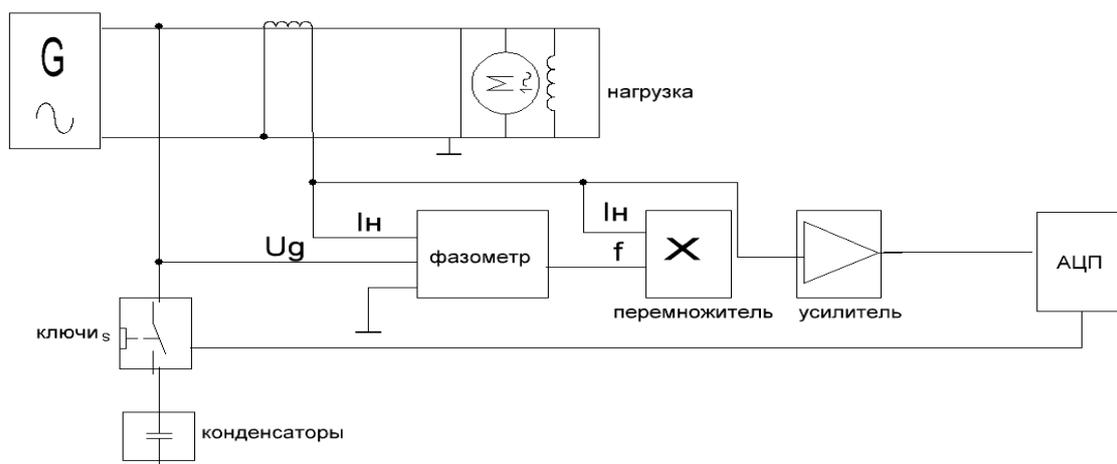


Рисунок 1 – Блок-схема компенсатора

Схема компенсации реактивной мощности подключается между счётчиком электроэнергии и нагрузкой потребителя. Основными узлами схемы являются:

- схема измерения разности фаз сетевого напряжения и потребляемого тока, отражающих долю РМ в нагрузке;
- схема управления симисторными ключами для коммутации компенсирующей ёмкости. Схема включает перемножитель параметров тока нагрузки и разности фаз для реализации формулы определения ёмкости конденсаторов для компенсации реактивной мощности и усилитель для масштабирования полученного произведения;
- линейка симисторных ключей между конденсаторами батареи и фазным проводом;
- компенсаторная батарея конденсаторов.

В качестве измерителя тока может использоваться измерительный трансформатор или резисторный шунт.

Структурная схема адаптивной САУ компенсацией реактивной мощности приведена на рис. 2.

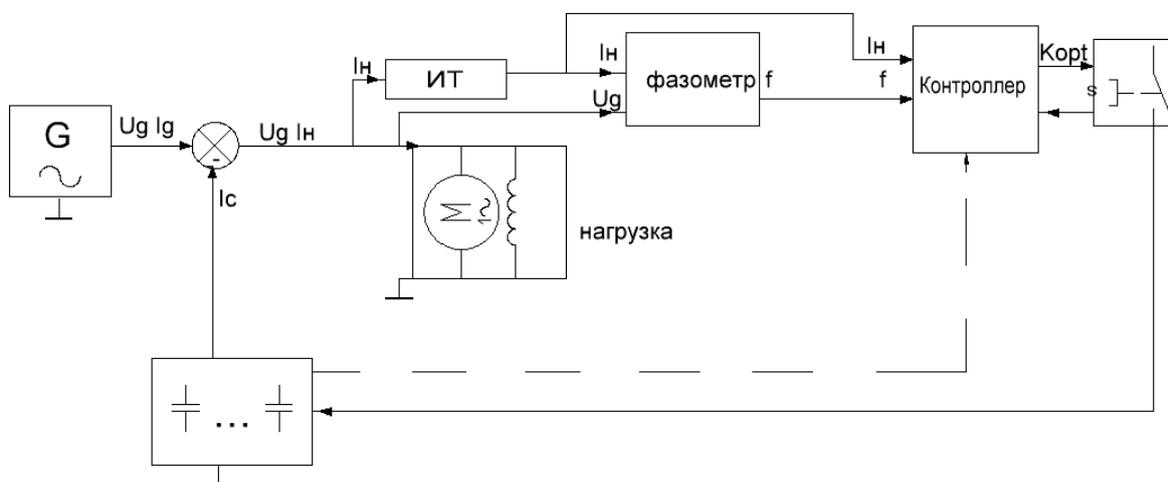


Рисунок 2 – Структурная схема САУ КРМ

Генератор G питает нагрузку системы синусоидальным напряжением 220В 50Гц. Сигналы U_g , I_g поступают на вход элемента сравнения. В данном случае элемент сравнения выполняет функции векторной алгебры, создавая векторные суммы комплексных токов. Нагрузка меняет параметры сигнала тока на $I_n = I_g - I_c$, где конденсаторный ток создается из условия резонанса токов индуктивной нагрузки и компенсирующих конденсаторов.

Измеритель тока ИТ формирует сигнал I_n , который с сигналом U_g подается на фазометр, на выходе которого напряжение f , пропорциональное разности фаз питающего напряжения и тока нагрузки.

Контроллер принимает на себя функции блока умножения, усилителя и АЦП. Блок умножения перемножает сигналы тока и разности фаз в соответствии с формулой для расчёта емкости конденсаторов. Сигнал S на выходе блока определяет компенсирующую ёмкость. Усилитель масштабирует сигнал до уровня, требуемого аналогово-цифровым преобразователем АЦП для формирования кода K управления ключами коммутации конденсаторов компенсирующей батареи.

Коммутация в соответствии с кодом K приведёт к неравномерной нагрузке на ключи и работающие конденсаторы, что существенно снизит надёжность элементов. Кроме того, при ограниченной долговечности элементов важно контролировать их состояние и учитывать его при управлении коммутацией. С этой целью в контур управления введён микропроцессорный контроллер. Функции контроллера состоят в анализе состояния симисторов коммутатора и конденсаторов, выборе алгоритма коммутации по многим критериям и информирования о потере работоспособности устройства. На выходе контроллера формируется сигнал управления ключами K_{opt} .

Блок коммутаторов создаёт электрическую цепь для тока через блок компенсирующих конденсаторов.

Представление компенсатора реактивной мощности адаптивной системой автоматического управления позволяет построить модель в терминах теории автоматического управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Компания «Матик-электро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.matic.ru, – 2011 г.
2. Шишкин, С. А. Реактивная мощность потребителей и сетевые потери электроэнергии / С. А. Шишкин // Энергосбережение. – № 4. – 2004.
3. Регулятор реактивной мощности с аналоговым вычислителем. Республика Беларусь / ПАТЭНТ на карысную мадэль № 8066 / Аутар Ярошевич А.В. / Зарэгістравана у Дзяржауным рээстры карысных мадэляў 2011.12.15.
4. Ярошевич, А. В. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях / А. В. Ярошевич // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест: БрГТУ. 2011. – Вып.5(71): Физика, математика, информатика. – С. 66–67.