

## КОМПЕНСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В БЫТОВЫХ НАГРУЗКАХ

Традиционно считалось, что бытовые нагрузки потребляют в основном активную мощность (АМ). Распространение бытовых приборов с трансформаторами, электродвигателями и сложными электронными схемами привело к увеличению реактивной (индуктивной) мощности (РМ). При значении  $\cos \varphi = 0,85$  РМ составляет 60 % от АМ. Вследствие этого возрастают и активные потери от передачи электроэнергии, которые при  $\cos \varphi = 0,85$  составляют 15 % от полезной активной мощности у потребителя при 10 % в случае чисто активной нагрузки.

Учитывая значительную долю бытового потребления электроэнергии, составляющую 20 % от общего, задача разработки управляемого компенсатора реактивной мощности (КРМ) непромышленных нагрузок является актуальной. Промышленные устройства ступенчатого регулирования реактивной мощности построены с применением микропроцессорного контроллера и являются сложными и дорогими для массового использования в квартирных и других электрических сетях до 400 В с нагрузками до 50 кВт.

Для передачи мощности от генераторов электростанции до потребителя используют сначала повышающий трансформатор, распределительную подстанцию, а затем понижающую подстанцию. При прохождении мощности через трансформатор понижающей подстанции, из-за обмотки трансформатора и индуктивного элемента проводов до потребителя в сети возникают затраты активной мощности в виде потерь.

Реактивная составляющая необходима для создания магнитных и электрических полей в элементах электрической сети. Практически она не потребляется, а перетекает от источника питания (генератора) к электроприемнику и обратно.

Передача значительного количества реактивной мощности по линиям и через трансформаторы сети электроснабжения не выгодна по следующим причинам [1]:

1) Возникают дополнительные потери активной мощности в проводах, связанные с увеличением тока из-за реактивной мощности.

2) Возникают искажения формы переменного напряжения.

3) Загрузка реактивной мощностью линий электропередачи и трансформаторов уменьшает пропускную способность сетей электроснабжения, что в ряде случаев не позволяет использовать полную установленную мощность электрооборудования.

4) Загрузка РМ трансформаторов снижает их коэффициент полезного действия.

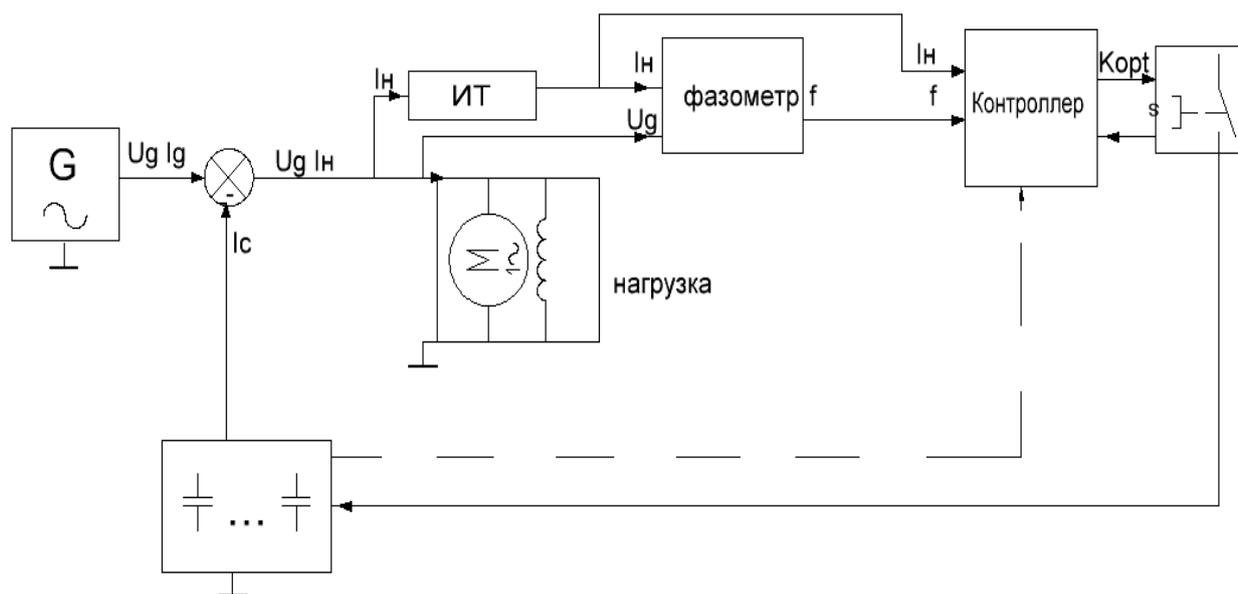
Для эффективного использования электрических машин и аппаратов желательно иметь более высокий коэффициент мощности или меньший сдвиг по фазе

тока относительно напряжения, т. е.  $\cos \varphi \rightarrow 1$ ,  $\varphi \rightarrow 0$ . Высокий коэффициент мощности также желателен для уменьшения потерь при передаче энергии по линиям электропередачи.

В данный момент компании из разных сфер экономики сталкиваются с такой проблемой, как рост реактивной мощности в электрических сетях. Использование устройств для компенсации позволяет не только увеличить срок службы дорогой техники, но и снизить энергопотребление.

Целью данной работы является разработка устройства, способного компенсировать реактивную мощность.

Предлагаемая структурная схема КРМ с включением в контур управления контроллера на базе микропроцессора представлена на рисунке 1 [2].



*Рисунок 1 – Структурная схема компенсатора реактивной мощности*

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 комплексов токов. Нагрузка меняет параметры сигнала тока на  $I_n = I_g - I_c$ , где конденсаторный ток создаётся из условия резонанса токов индуктивной нагрузки и компенсирующих конденсаторов.

Измеритель тока ИТ формирует сигнал  $I_n$ , который с сигналом  $U_g$  подаётся 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  $C$  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 Корт.

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

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

- схема измерения разности фаз сетевого напряжения и потребляемого тока, отражающей долю РМ в нагрузке;

- схема управления ключами для коммутации компенсирующей ёмкости;

- линейка ключей между конденсаторами батареи и фазным проводом;

- компенсаторная батарея конденсаторов.

Для перемножения тока на разность фаз сигнал, пропорциональный току, выпрямляется диодным мостом со сглаживающим конденсатором.

Для расчёта ёмкости подключаемой секции батареи конденсаторов используются основные соотношения [3] для расчёта мощности в цепях синусоидального тока и векторная диаграмма напряжений и токов в RLC-цепи.

Активная мощность, потребляемая в нагрузке, рассчитывается по формуле (1)

$$P = U * I * \cos\varphi, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение питания нагрузки (220 В);

$I$  – ток нагрузки;

$\varphi$  – разность фаз напряжения и тока.

Реактивная (индуктивная) мощность нагрузки находится из уравнения

$$Q_L = U * I * \sin\varphi. \quad (2)$$

При подключении конденсаторов для полной компенсации индуктивной нагрузки ёмкостная мощность определяется выражением (3)

$$Q_C = I_C^2 / (2\pi fC), \quad (3)$$

где  $I_C$  – ток через конденсаторы;

$f$  – частота сети (50 Гц);

$C$  – искомая компенсирующая ёмкость.

Из векторной диаграммы

$$I_C / I_H = \sin\varphi; I_C = I_H \sin\varphi.$$

Приравняв  $Q_L = Q_C$ , получим

$$U I_H \sin\varphi = I_H^2 \sin^2\varphi / (2\pi fC).$$

Отсюда

$$C = I_H \sin\varphi / (2\pi f U).$$

Подставив в последнюю формулу  $U = 220\text{В}$ ,  $f = 50\text{Гц}$ , получим финальную формулу для расчёта компенсирующей ёмкости

$$C = 15 I_H \sin\varphi. \quad (4)$$

### **Вывод**

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, Matlab с ControlSystemToolbox и Simulink. Использование компенсатора реактивной мощности является целесообразным и актуальным.

### **Список цитированных источников**

1. Кабышев, А. В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие / А. В. Кабышев. Томск: издательство Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.
2. Ярошевич, А. В. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях / А. В. Ярошевич // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест : БрГТУ. – 2011. – № 5 (71): Физика, математика, информатика. – С.66–67.
3. Регулятор реактивной мощности с аналоговым вычислителем. Рэспубліка Беларусь / ПАТЭНТ на карыснуюмадэль № 8066 / Аутар Ярошевич А. В. / Зарэгістравана у Дзяржауным рээстры карысных мадэляу 2011.12.15.

УДК 681.5

*Терещук Г. В.*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Прокопеня О. Н.*

## **ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ**

Использование наблюдателя состояния позволяет существенно уменьшить количество измерительных устройств при построении системы регулирования [1. 2]. Это особенно актуально, если система имеет высокий порядок. При построении системы позиционного управления на основе двигателя постоянного тока требуется датчик положения, датчик угловой скорости и датчик тока двигателя. При использовании наблюдателя требуется только датчик положения, что существенно упрощает привод.

Однако, вследствие того, что постоянные времени двигателя постоянного тока очень малы (сотые доли секунды), можно предположить, что при цифровой реализации наблюдателя потребуется очень малое время дискретизации (период квантования). Это, в свою очередь, потребует высокого быстродействия вычислительного устройства, на котором реализуется наблюдатель. Таким образом, возникает задача определения требований по быстродействию к программируемому контроллеру при построении привода постоянного тока с