

УДК 681.5

Вабищевич Л. И., Ярошевич А. В.

ФУНКЦИИ КОНТРОЛЛЕРА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

*Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь*

Статья посвящена построению алгоритма контроллера в составе адаптивной системы компенсации реактивной мощности.

Для построения структуры системы с контроллером выбрана схема компенсатора реактивной мощности с аналоговым вычислением емкости конденсаторов.

В статье отражены следующие вопросы:

– представлена структурная схема компенсатор реактивной мощности на городских электрических сетях системой автоматического управления, что позволило построить модель в терминах теории автоматического управления;

– приведена графическая информационная модель компенсатора реактивной мощности с аналоговым вычислением емкости конденсаторов;

– выбран набор параметров системы для контроля и оптимизации программным путем;

– выбраны числовые значения параметров элементов для построения модели.

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 надежностью.

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.

Такой компенсатор должен быть построен с использованием микропроцессорного контроллера для управления коммутацией компенсирующих конденсаторов секционной батареи. Для расчета текущей емкости компенсирующего конденсатора используется величина тока в нагрузке, измеренная токовым трансформатором и угол сдвига фаз напряжения и тока от электронного фазометра.

Алгоритм управления разработан в виде блок-схемы, являющейся основой для программирования контроллера. Алгоритм предусматривает возможность варьировать предельную мощность нагрузки и число секций конденсаторной батареи. При этом используется минимальное число портов ввода-вывода.

При выборе контроллера необходимо учитывать требования алгоритма, форму входных и выходных сигналов, требования к электропитанию и стоимость.

Для построения модели получена структурная схема дискретной системы автоматического управления с возможностью оптимизации параметров элементов для обеспечения равномерной нагрузки и с учетом работоспособности компонентов.

Представление компенсатора реактивной мощности на городских электрических сетях системой автоматического управления позволяет построить модель компенсатора реактивной мощности в терминах теории автоматического управления. Для создания модели можно использовать программные средства, созданные для исследования систем автоматического управления (Matlab, Simulink и др.).

Модель компенсатора реактивной мощности позволит исследовать погрешности компенсации индуктивной мощности, вызванные рядом аппроксимаций, принятых для построения схем расчета величины компенсирующей емкости. Во-первых, это представление значений тригонометрических функций $f = tg(\varphi)$ линейной зависимостью $f = \varphi$ при выражении φ в радианах для небольших значений угла разности фаз. Во-вторых, это квантование по уровню сигнала аналого-цифровым преобразователем и соответственно ступенчатое подключение емкостей компенсирующей батареи.

В основе модели находится структурная схема компенсатора реактивной мощности с аналоговым определением емкости для компенсации индуктивной нагрузки [1]. Модель позволяет избежать программного вычисления значений $f = tg(\varphi)$. Последняя операция использует достаточно сложный алгоритм вычислительной математики, требующий существенного интервала времени для реализации. В структуре системы автоматического управления это представляется звеном чистого запаздывания, ухудшающим показатели качества системы автоматического управления.

Предлагаемая структурная схема компенсатора реактивной мощности с включением в контур управления контроллера на базе микропроцессора представлена на рис. 1.

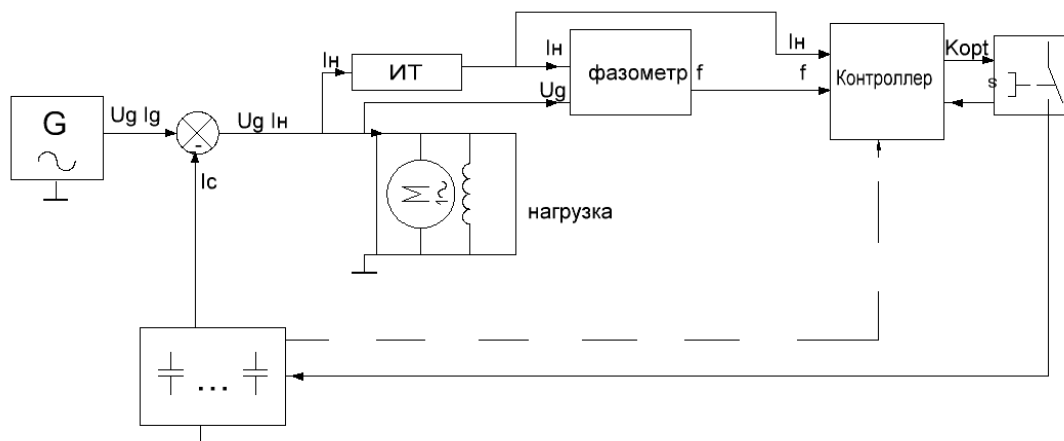


Рис. 1. Структурная схема компенсатора реактивной мощности

Контроллер выполняет только функции, требующие несколько циклов работы процессора, и не вносит в контур системы автоматического управления существенного запаздывания сигнала.

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 создается из условия резонанса токов индуктивной нагрузки и компенсирующих конденсаторов.

Измеритель тока 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 аналого-цифрового преобразователя. Блок умножения перемножает сигналы тока и разности фаз в соответствии с формулой для расчета емкости конденсаторов. Сигнал C на выходе блока определяет компенсирующую емкость. Усилитель масштабирует сигнал до уровня, требуемого аналого-цифровым преобразователем для формирования кода K управления ключами коммутации конденсаторов компенсирующей батареи.

Основные этапы формирования управляющего кода представлены блок-схемой алгоритма контроллера (рис. 2)

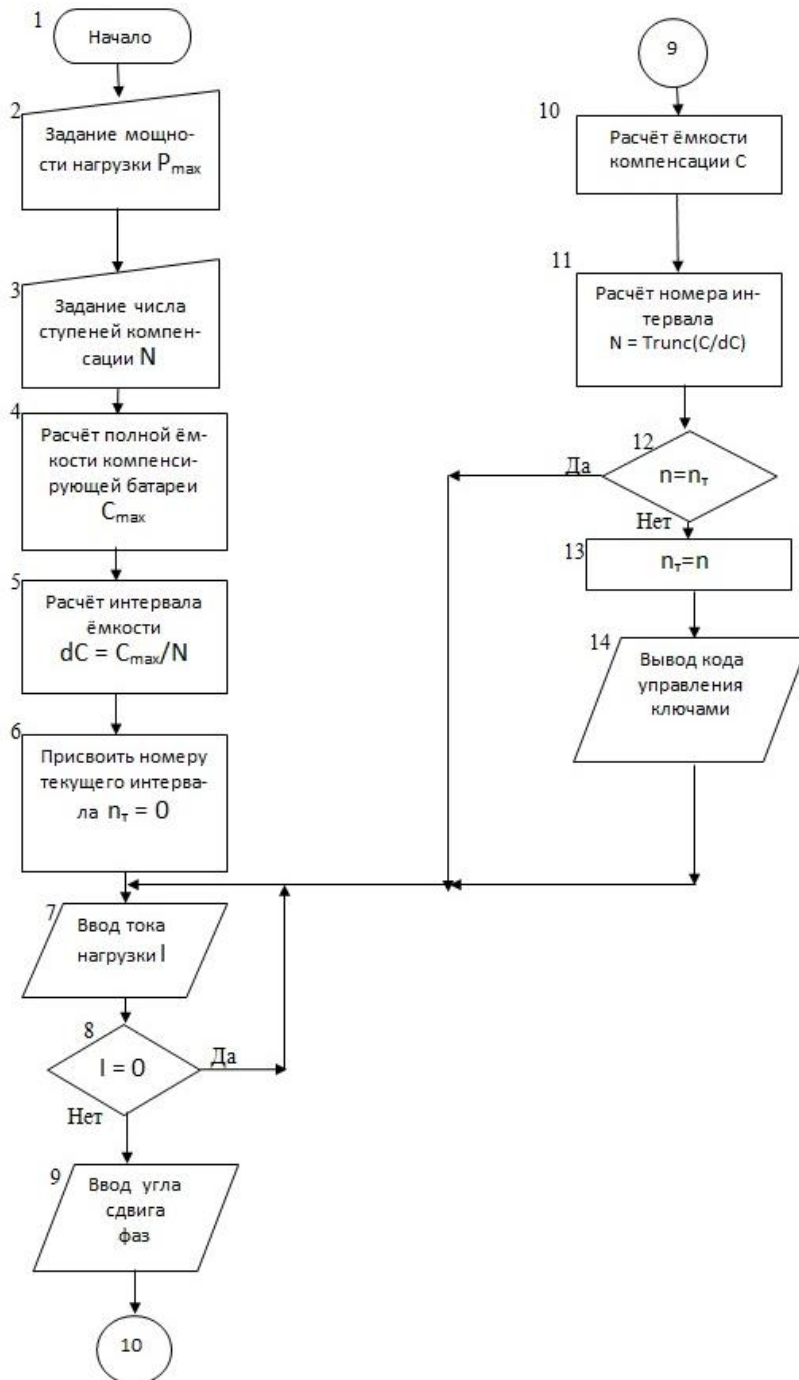


Рис. 2. Блок-схема алгоритма контроллера

Функции блоков:

Блок 2. Задание мощности нагрузки. Мощность нагрузки определяет максимальный ток, потребляемый из сети. По величине этого тока рассчитывается полная емкость компенсаторной батареи.

Блок 3. Задание числа ступеней компенсации. Емкость для компенсации индуктивной нагрузки подключается ступенями. Число ступеней определяется из экономических и конструктивных требований, а так же требований точности компенсации. Семиступенчатый компенсатор можно реализовать тремя конденсаторами, управляемыми трехразрядным двоичным кодом.

Блок 4. Расчет полной емкости компенсирующей батареи. Исходными данными для расчета являются максимальный ток нагрузки, определенный по мощности потребителя и напряжению питающей сети и максимальный угол сдвига фаз напряжения и тока. Этот угол выбран из статистически установленного в реальных сетях $\cos\varphi_{max} = 0,65$;

$$\varphi_{max} \approx 50^\circ \approx 0,87 \text{ рад.}$$

Блок 5. Расчет интервала емкости. Интервал емкости определяется полной емкостью батареи и числом ступеней регулирования.

Блок 6. Присвоение номеру текущего интервала значения нуля. Номер текущего интервала является множителем при емкости ступени конденсаторной батареи для определения текущей компенсационной емкости. Номер текущего интервала является двоичным дискретным кодом управления ключами конденсаторной батареи.

Блок 7. Ввод тока нагрузки. Ток нагрузки получается в виде аналогового сигнала выпрямлением выхода измерительного трансформатора тока. Ввод в контроллер производится через блок АЦП.

Блок 9. Ввод угла сдвига фаз. Угол сдвига фаз измеряется фазометром в виде аналогового сигнала. Ввод в контроллер производится через блок АЦП.

Блок 10. Расчет емкости компенсации. Исходными данными для расчета являются ток нагрузки и угол сдвига фаз напряжения и тока.

Блок 11. Расчет номера интервала емкости батареи конденсаторов. Номер интервала рассчитывается как целая часть от деления расчетной емкости конденсатора на емкость интервала секции.

Блок 12. Анализ: интервал изменился?

Блок 13. Присваивание текущему номеру интервала нового значения.

Блок 14. Вывод номера интервала емкости для управления ключами коммутации батареи конденсаторов.

Коммутация в соответствии с кодом К приведет к неравномерной нагрузке на ключи и работающие конденсаторы, что существенно снизит надежность элементов. Кроме того, при ограниченной долговечности элементов важно контролировать их состояние и учитывать его при управлении коммутацией. С этой целью в контур управления введен 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 создает электрическую цепь для тока через блок компенсирующих конденсаторов.

Особенности функционирования системы автоматического управления компенсатора реактивной мощности определяются случайным характером формирования индуктивной составляющей нагрузки. Эта неопределенность приводит к неравномерному использованию ключей коммутатора и конденсаторов компенсирующей батареи. Вследствие неравномерности возрастает вероятность потери работоспособности элементов.

В такой ситуации необходимо контролировать состояние коммутаторов и конденсаторов и обеспечивать равномерность нагрузки на элементы.

Случайный характер нагрузки вынуждает строить сложные детерминированные алгоритмы для обеспечения равномерной нагрузки работоспособных элементов, которые не всегда дают надежные безошибочные результаты. Задачу можно отнести к синтезу адаптивных систем управления. Адаптивность предполагает настройку параметров системы на оптимальный режим работы в условиях случайного изменения нагрузки и возмущающих воздействий. Такая задача может быть решена с использованием микропроцессорного контроллера в контуре системы автоматического управления с алгоритмом формирования команд по алгоритмам искусственного интеллекта.

Контроллер выполняет ряд функций:

- контроль состояния ключа и учет статистики коммутаций;
- обеспечение равномерной загрузки работоспособных конденсаторов и ключей;
- оценка работоспособности элементов;
- учет температуры конденсаторов;
- расчет приоритетов элементов для формирования управляющего кода;
- информирование оператора о потере работоспособности системы.

Параметры элементов для учета работоспособности:

- состояние ключа $i - K_i = 1$ (замкнут) или 0 (разомкнут);
- число команд на замыкание ключа $i - k_i, i = 1 \dots 7$;
- число замыканий ключа $i - s_i, i = 1 \dots 7$;
- среднее число замыканий ключа $i - S_{cp} = \sum s_i / 7$;
- состояние конденсатора $C_i = 1$ (при $U_c \neq 0$) или 0 (при $U_c = 0$) при $K_i = 1$;
- температура конденсатора $T_i = 1$ (при $t^\circ C < T_{max}$) или 0 (при $t^\circ C > T_{max}$).

Основные расчетные соотношения для выбора числовых значений параметров модели исходят из следующих параметров сети.

Максимальный ток в нагрузке $I_n^{max} = 50 \text{ A}$.

Мощность, потребляемая в сети $P_n^{max} = 11 \text{ кВт}$.

Число ступеней регулирования $n = 7$. Максимальная погрешность ступенчатого подключения компенсирующей мощности составляет 14 %.

Максимальный компенсируемый сдвиг фаз напряжения и тока $\varphi = 0,5 \text{ рад}$ ($\varphi \approx 30^\circ$). При этом $tg\varphi = 0,55$. Погрешность асимптотического представления составляет 10 %.

Для расчета емкости батареи конденсаторов используется следующее соотношение [2]:

$$C = 15 I_n \varphi \text{ (}\mu\text{F)}$$

Емкость батареи конденсаторов $C = 15 \cdot 50 \cdot 0,55 = 412 \text{ мкФ}$. Тогда емкость одной ступени (конденсатора) батареи $C_1 = 412/7 = 58,9 \approx 60 \text{ мкФ}$.

Основным параметром для выбора конденсаторов является величина компенсированной реактивной мощности P_c (вар). Эту мощность можно рассчитать по величине тока в компенсирующей батарее.

Для режима полной компенсации индуктивной мощности следует $I_c / I = tg\varphi$, где I_c – ток конденсаторов, I – полный ток питающей сети, φ – сдвиг фаз напряжения и тока в сети без компенсации реактивной мощности. Для максимального тока $I = 50 \text{ A}$ и $\varphi = 30^\circ$ ток конденсаторов $I_c = 50 \cdot 0,55 = 27,3 \text{ A}$.

Мощность батареи компенсации при емкости $C = 420 \text{ мкФ}$ составляет:

$$P_c = I_c^2 \cdot X_c = I_c^2 / 2\pi \cdot f \cdot C = 27,3^2 / (2\pi \cdot 50 \cdot 420 \cdot 10^{-6}) = 5650 \text{ (вар)}.$$

Параметры сигналов электронных элементов в структуре САУ определяются выбором элементной базы для реализации схем.

Таким образом, представленная модель адаптивной системы компенсации реактивной мощности и разработанный алгоритм контроллера, не имеющие аналогов в построении компенсаторов реактивной мощности, позволяют исследовать погрешности компенсации и повысить надежность устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Ярошевич. Схема компенсации реактивной мощности в квартирных электрических сетях // Вестник Брестского государственного технического университета. – Физика, математика, информатика. Вып. 5 (71). – Брест: БрГТУ, 2011. – С. 66–67.

2. Регулятор реактивной мощности с аналоговым вычислителем. Рэспубліка Беларусь / ПАТЭНТ на карысную мадэль № 8066 / Аутар Ярошевич А. В. / Зарэгістравана у Дзяржауным рэестры карысных мадэляў 2011.12.15.

Поступила 29.04.2022

УДК 629.113.073

Гурвич Ю. А., Демко А. Ю., Порожняк О. С.

РАЦИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР В КУРСЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА» РАЗДЕЛ «СТАТИКА»

*Белорусская государственная академия авиации,
Минск, Беларусь*

В статье описываются методы рационального решения, многокритериальной идентификации и многокритериального выбора, реализованные в различных по сложности многоэлементных статически определимых составных конструкциях.

Метод рационального решения позволяет для каждого вида многоэлементной составной конструкции выполнить расчет по критерию – минимум вычислительных процедур или действий.

Применение в учебном процессе методов рационального решения, идентификации и выбора составных конструкций способствует: формированию у студентов навыков многокритериального мышления и сокращению разрыва между современными методами проектирования машин и их узлов в виде расчетно-методических многокритериальных аппаратов – РММА и знаниями обучающихся по учебной дисциплине «Теоретическая механика» раздел «Статика».

Хорошо известно, что все задачи проектирования машин их узлов и механизмов всегда многокритериальные. Однако, многие задачи проектирования, например, управляемых осей и мостов различных колесных машин до сих пор рассматриваются как однокритериальные.

Правда, в последнее время для ускорения разработки и постановки на производство новых поколений автобусов, грузовых автомобилей, самосвалов, тракторов, в конструкторских бюро заводов Республики Беларусь стали успешно применять различные по сложности и объему расчетно-методические многокритериальные аппараты – РММА, базирующихся на методах векторной оптимизации параметров колесной техники [1–3].

При формировании РММА используются отдельные положения некоторых теорий: механики неголономных систем, устойчивости движения, стационарного и нестационарного качения колеса с шиной по твердой поверхности, математического моделирования,