

УДК 621.314

Е.Е. Миргородская, Н.П. Митяшин, Ю.Б. Томашевский, М.В. Радионова

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ «SMART GRID»

Рассмотрено управление структурой преобразовательного комплекса, обеспечивающего оптимальное взаимодействие электрической нагрузки с питающей сетью в рамках технологии Smart Grid. Представлены две стратегии управления на базе искусственных нейронных сетей. Приведены результаты моделирования при изменении структуры комплекса.

Преобразовательный комплекс, инвертор тока, конденсаторная батарея, перцептрон, нечеткая нейронная сеть

E.E. Mirgorodskaya, N.P. Mityashin, Y.B. Tomashevskiy, M.V. Radionova

CONTROL OF STRUCTURE OF THE POWER CONVERTING COMPLEX AT TECHNOLOGY REALIZATION «SMART GRID»

Control of structure of the power converting complex providing optimum interaction of electric loading with a power line within the limits of technology Smart Grid is considered. Two strategy of control on the basis of artificial neural networks are presented. Results of modeling are resulted at alteration of structure of a complex.

Power converting complex, current inverter, capacity module, perceptron, fuzzy neural network

Технология Smart Grid («Умные сети») представляет развитие идей и технологий энергосбережения, энергоэффективности, альтернативных источников энергии на основе повышения интеллектуального уровня всей сети [1]. Современные силовые преобразовательные комплексы (ПК) являются основой для оптимального взаимодействия питающей сети и нагрузки. По сути, это третий активный субъект «умной» сети, позволяющий создавать адаптивную сетевую инфраструктуру. В частности, в условиях нестабильности напряжения питающей сети и изменения нагрузки в широких пределах ПК осуществляет стабилизацию выходного напряжения.

Отметим две характерные особенности современных ПК. Первая заключается в том, что с переходом систем силовой электроники на блочно-модульный принцип построения появляется возможность повышения эффективности ПК за счет их структурной гибкости. Под этим понимается придание комплексам новых полезных свойств изменением структуры на базе имеющегося состава модулей, либо с минимальным привлечением дополнительного оборудования. Вторая связана с

реализацией управляющих стратегий. Чтобы время реакции системы было соизмеримо с текущим процессом, необходима разработка специальных алгоритмов обработки информации, основанных на методах искусственного интеллекта (искусственные нейронные сети, нечеткие системы вывода и др.). Таким образом, ускорение алгоритмов осуществляется на основе повышения уровня интеллектуализации системы, что органично связывает это направление исследований с технологией «Smart grid».

При реализации ПК относительно часто используют структуру с явным звеном постоянного напряжения и инвертором тока в выходном звене. В [2, 3] показано, что эта структура обладает гибкостью, и приведены примеры построения адаптивных систем электроснабжения на ее основе. Использование подобных ПК в технологии «Smart grid» требует дальнейшего их развития, как в плане схемотехники, так и алгоритмов управления, что определило цель этой статьи.

Структурная схема разработанного ПК представлена на рис. 1 [4] и содержит преобразователь частоты с явным звеном постоянного тока, основным звеном которого является инвертор тока (ИТ) с многосекционной конденсаторной батареей (КБ) коммутирующих конденсаторов, которая состоит из $N+1$ секций: основной и N дополнительных, подключаемых коммутаторами при увеличении и изменении характера нагрузки параллельно основной. Управление коммутаторами осуществляется системой управления (СУ), на вход которой поступают показания о величине выходного напряжения \bar{U}_H комплекса и величине тока \bar{I}_H нагрузки, снимаемые с датчиков напряжения и датчиков тока соответственно.

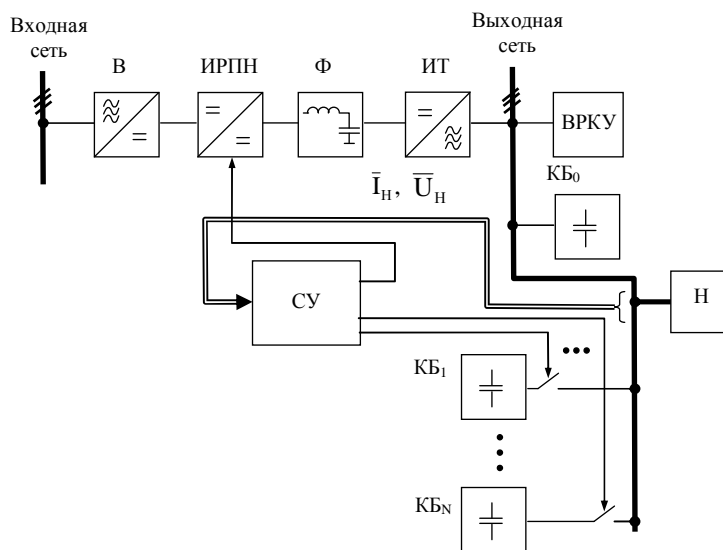


Рис. 1. Структурная схема ПК:

В – выпрямитель; ИРПН – импульсный регулятор постоянного напряжения; Ф – фильтр; ИТ – инвертор тока; СУ – система управления; Н – нагрузка; КБ – конденсаторная батарея

Стабилизация выходного напряжения в периоды постоянства структуры осуществляется с помощью импульсного регулятора постоянного напряжения (ИРПН).

На величину выходного напряжения существенно влияет изменение в широких пределах коэффициента передачи ИТ по напряжению в соответствии с изменением нагрузки, причиной которого является некомпенсированная часть реактивной мощности КБ. Для решения этой проблемы к выходу инвертора обычно подключают вентильно-реакторное компенсирующее устройство (ВРКУ). Основным недостатком их использования является то, что одновременно с компенсацией избыточной реактивной мощности ВРКУ, потребляя несинусоидальный ток от инвертора, ухудшает качество кривой выходного напряжения. Кроме того, использование компенсатора приводит к

дополнительным потерям мощности при прохождении значительных токов через реакторы компенсатора.

Секционирование КБ позволяет выбрать модуль ВРКУ минимальной установленной мощности, сведя тем самым к минимуму негативные последствия указанных тенденций. Выбор мощности ВРКУ определяется величиной $КБ_0$, которая, в свою очередь, является результатом решения задачи оптимизации шага секционирования КБ в зависимости от процессов изменения нагрузки.

В рамках отдельной ступени с целью улучшения качества кривой выходного напряжения используются сложно-мостовые ИТ с многоэлементной КБ, обеспечивающие уничтожение в кривой выходного напряжения преобразователя нежелательных гармоник. Остальные секции $КБ_1 \dots КБ_N$ подключаются параллельно основной при изменении нагрузки, оставляя качество кривой выходного напряжения в тех пределах, которые обеспечиваются схмотехническим решением основной ступени ИТ+КБ₀+ВРКУ.

Таким образом, величина реактивной мощности КБ является функцией величины нагрузки, что при ступенчатом управлении обеспечивает приемлемую величину избыточной реактивной мощности, исключая изменение коэффициента передачи ИТ по напряжению в широких пределах.

Для управления структурой ПК построим искусственную нейронную сеть (ИНС). Например, с поставленной задачей успешно справляется однослойный персептрон [5] с двумя входами и N выходами. На входы сети поступают соответственно значение выходного напряжения \bar{U}_H и значение тока нагрузки \bar{I}_H . В этом случае ИНС используется для определения состояния КБ, адекватного нагрузке. При этом каждому состоянию S_k , где для однотипных секций $k = 1, \dots, N$, соответствует некоторая область \hat{S}_k в прямоугольнике $[z_{\min}, z_{\max}] \times [\cos \varphi_{\min}, \cos \varphi_{\max}]$. Здесь z_{\min}, z_{\max} – минимальное и максимальное значения сопротивления нагрузки соответственно, а $\cos \varphi_{\min}, \cos \varphi_{\max}$ – $\cos \varphi$ нагрузки, соответствующий минимальному и максимальному углу сдвига фаз φ между током и напряжением.

При этом необходимо предпринимать меры по исключению автоколебаний структуры КБ при нахождении вектора с координатами $z, \cos \varphi$ на границе между двумя или несколькими областями \hat{S}_k . На рис. 2 представлена схема персептрона, в которой новыми элементами, введенными для этой цели, являются триггер памяти текущего состояния (ТгП), блок порогового значения ε (БПЗ ε) и блока выбора максимума (БВМ). БПЗ ε увеличивает пороги невозбужденных нейронов на положительное значение ε , что позволяет сохранять текущее состояние до тех пор, пока входной сигнал, соответствующий новому состоянию, не превысит один из этих порогов.

Этот прием аналогичен характеристике типа гистерезис для системы с двумя состояниями. Введение новых элементов предотвращает появление резких «всплесков», то есть изменения структуры объекта при однократном нахождении вектора входных переменных на границе между несколькими областями распознавания.

Нейронная сеть, распознавая область в пространстве параметров, определяет состояние управляемых ключей, изменяя, таким образом, емкость коммутирующих конденсаторов, при этом стабилизация напряжения при нестабильности питающей сети осуществляется традиционными методами с использованием ИРПН.

Объединить два контура управления представляется возможным при использовании системы нейронечеткого вывода [6]. Нечеткие нейронные сети или гибридные сети по замыслу их разработчиков призваны объединить достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода. С одной стороны, они позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной интерпретации. С другой стороны, для построения правил нечетких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом для разработчиков.

На входы гибридной сети поступают отклонение выходного напряжения от номинального значения $\bar{U}_H - \bar{U}_0$ и значение тока нагрузки \bar{I}_H .

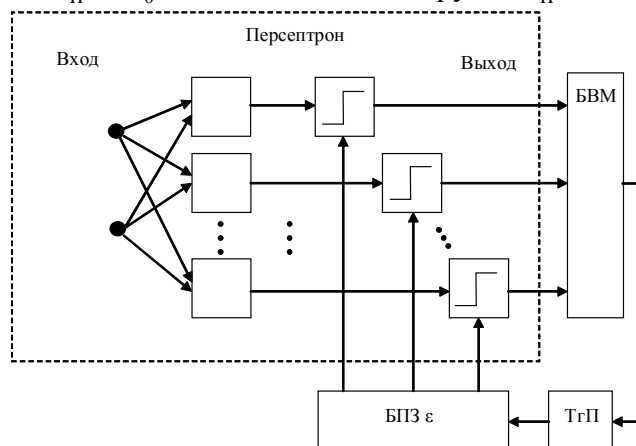


Рис. 2. Однослойный перцептрон для управления структурой КБ

Нейронная сеть, распознавая область в пространстве параметров, определяет состояния импульсного преобразователя постоянного тока и управляемых ключей, изменяя соответствующим образом емкость коммутирующих конденсаторов и стабилизируя напряжение при нестабильности питающей сети. При разбиении области изменения каждой из переменных, например, на три интервала, потребуется введение девяти классов распознавания нейронной сети – подобластей изменения входных переменных и соответствующего числа правил управления ИРПН и ключами.

Разработанная схема преобразователя и алгоритм нейронечеткого управления исследованы на компьютерных моделях. На рис. 3 представлены результаты компьютерного моделирования процесса изменения трехфазной системы напряжений ИТ в процессе отключения 20% емкости КБ. Для представления используется следующая функция напряжений трехфазной системы: $\Phi(t) = u_A^2(t) + u_B^2(t) + u_C^2(t)$, где $u_A(t)$, $u_B(t)$, $u_C(t)$ – фазные напряжения.

Для идеальной трехфазной системы она представляет собой константу, а в полярных координатах за период – окружность. Для выходной системы напряжений трехфазного ИТ в симметричном режиме период представляется симметричной кривой, показанной, например, на рис. 3 а. Из графиков следует, что переходный процесс затухает за несколько периодов при незначительном искажении выходного напряжения.

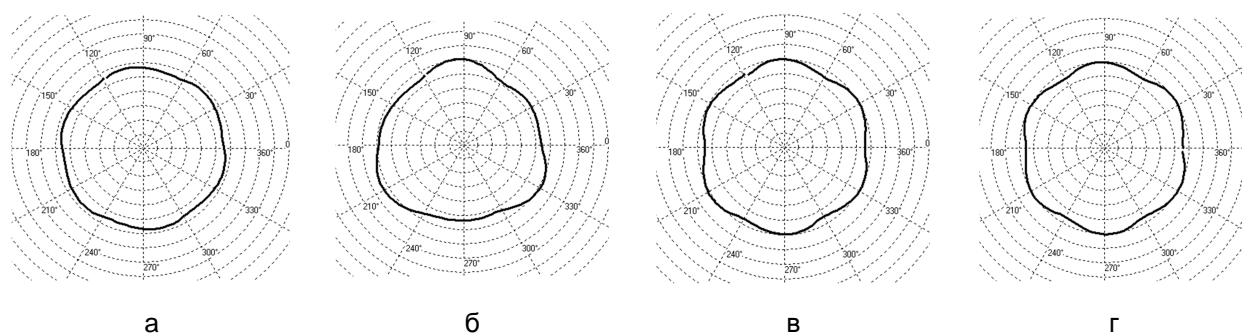


Рис. 3. Изменение трехфазной системы напряжений ИТ в процессе сброса 20% емкости КБ:
 а) система за период до отключения; б) первый период после отключения;
 в) второй период после отключения; г) 15-й период после коммутации (новое установившееся состояние)

Дальнейшие исследования показали, что в диапазоне нагрузки от номинальной до десятикратной разгрузки обеспечивается не более чем 5-7 % отклонение напряжения от номинального значения. Полученные результаты позволяют считать целесообразным

применение ПК для оптимального взаимодействия нагрузок с питающей сетью в рамках технологии Smart Grid.

Выводы

1. Современные силовые ПК необходимы в технологии Smart Grid как третий активный субъект «умной» сети, позволяющий создавать адаптивную сетевую инфраструктуру. Например, в условиях нестабильности напряжения питающей сети и изменения нагрузки в широких пределах ПК осуществляет стабилизацию выходного напряжения.

2. Разработан ПК, содержащий выпрямитель, импульсный регулятор постоянного напряжения, фильтр, а также инвертор тока с многосекционной КБ коммутирующих конденсаторов. Ступенчатое изменение емкости КБ обеспечивает приемлемую величину избыточной реактивной мощности, исключая изменение коэффициента передачи инвертора тока по напряжению в широких пределах.

3. Описаны две стратегии управления ПК на базе искусственных нейронных сетей. Для реализации первой использован персептрон, для которого разработаны меры по исключению автоколебаний структуры ПК. Вторая стратегия реализована с помощью нейро-нечеткого управления.

4. Приведенные результаты моделирования режимов работы ПК позволяют рекомендовать его для организации оптимального взаимодействия нагрузок с питающей сетью в рамках технологии Smart Grid.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобец Б.Б. Возможные подходы к развитию концепции Smart Grid в России / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова // Энергетическая политика. 2010. №2. С. 34-42.

2. Митяшин Н.П. Гибкие преобразовательные комплексы / Н.П. Митяшин, Ю.Б.Томашевский. Саратов: СГТУ, 2002. 128 с.

3. Томашевский Ю.Б. Системный анализ адаптивных электротехнических комплексов / Ю.Б. Томашевский, Н.П. Митяшин. Саратов: СГТУ, 2006. 132 с.

4. Патент РФ на полезную модель № 98079. Преобразователь частоты на базе инвертора тока с изменяемой структурой конденсаторной батареи / Н.П. Митяшин, Ю.Б. Томашевский, Е.Е. Миргородская, М.В. Радионова. Опубл. 27.09.10. Бюл. №27

5. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссерман. М.: Мир, 1992. 256 с.

6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

Миргородская Екатерина Евгеньевна –
аспирантка кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета

Митяшин Никита Петрович –
доктор технических наук, профессор кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета

Томашевский Юрий Болеславович –
доктор технических наук, профессор кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета

Радионова Мария Валентиновна –
аспирантка кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 01.11.10, принята к опубликованию 15.11.10