

УДК 621.314.26

Е. А. ЛЕВОН, И. Ф. ДОМНИН**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКАНАЛЬНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ С FUZZY-РЕГУЛЯТОРОМ**

Осуществлена микропроцессорная реализация системы управления двухканальным компенсатором неактивных составляющих полной мощности с fuzzy-регулятором на базе микроконтроллера нечеткой логики Motorola 68HC12. Показана возможность программной реализации цифрового fuzzy-регулятора системы управления двухканальным компенсатором в программе fuzzyTECH.

Ключевые слова: fuzzy-регулятор, микропроцессор, система управления, двухканальный компенсатор.

Введение. В работе [1] представлена многоконтурная система управления двухканальным компенсатором для формирователей мощных зондирующих импульсов ФМЗИ с fuzzy-регулятором, применение которого дает возможность в процессе компенсации реактивной мощности уменьшить генерирование в сеть высших гармоник тока, не превышая при этом установленный уровень коммутационных перенапряжений. Метод проектирования нечеткого регулятора в составе системы управления устройством компенсации неактивных составляющих полной мощности на основе пакета нечеткой логики системы MATLAB достаточно подробно изложен в работах [2, 3]. В данной статье поставлена задача микропроцессорной реализации системы управления двухканальным компенсатором неактивных составляющих полной мощности с fuzzy-регулятором, при решении которой существуют следующие возможные варианты. Первый – аппаратная реализация нечеткого микроконтроллера, входящего в состав fuzzy-регулятора, второй – его программно-аппаратная реализация.

Анализ состояния вопроса. Аппаратная реализация нечеткого микроконтроллера fuzzy-регулятора может быть выполнена с использованием:

- микроконтроллеров специального назначения;
- микроконтроллеров общего назначения с аппаратной поддержкой нечеткой логики.

Ниже приведены аппаратные процессоры нечеткой логики, возможные для использования в составе fuzzy-регулятора системы управления двухканальным компенсатором:

ST52 Dualogic (STMicroelectronics) – семейство 8-битовых микроконтроллеров, содержащих в одном корпусе традиционное вычислительное ядро, ядро для fuzzy-вычислений и периферийные схемы. Поддерживает специальный набор инструкций для работы с нечеткой логикой и позволяет определять несколько независимых наборов правил для нескольких различных алгоритмов.

ST62 (STMicroelectronics) – 8-битовый микроконтроллер со встроенной, однократно программируемой памятью для автомобильной промышленности, продолжение семейства Dualogic. Расширенный температурный диапазон (от -40° до

$+125^{\circ}$ С), гарантированный срок хранения данных для памяти EPROM и EEPROM не менее 20 лет.

68HC12 (Motorola) – fuzzy-микроконтроллер, базирующийся на ядре Motorola 68HC11 и содержащий специальные функции нечеткой логики. Предназначен для использования с программным пакетом fuzzyTECH и позволяет увеличить скорость выполнения приложений, созданных в этом пакете, до 15 раз и компактность кода до 6 раз по сравнению с реализацией на обычном ядре 68HC11.

VY86C570 (Togai InfraLogic) – fuzzy-сопроцессор, 12-битовое ядро FCA (Fuzzy Computational Acceleration), 4Kx12 бит памяти OCTD (Observation, Conclusion, & Temporary Data), память RB (Rule Base) и интерфейсная логика в одном корпусе.

SAE 81C99 (Siemens) – fuzzy-процессор, способный выполнять восемь программируемых алгоритмов, обрабатывать 256 входных переменных и формировать до 64 выходных значений максимум по 16384 правилам. Может использоваться как отдельное устройство или в качестве сопроцессора для 8 и 16-разрядных микроконтроллеров. Скорость работы – 10 миллионов правил в секунду.

В силу того, что аппаратная реализация, при наличии таких преимуществ как скорость и удобство работы, не всегда может быть доступна (из-за малой распространенности и высокой цены), возможна также программная реализация fuzzy-регулятора системы управления двухканальным компенсатором на основе микроконтроллеров общего назначения (AVR, PIC, MSP, ARM). В данном случае, возможно использование следующих программных средств:

- использование специальной «нечеткой» библиотеки, предоставляющей необходимый «нечеткий» API (нечеткий язык) (Free Fuzzy Logic Library, fuzzyCLIPS);

- использование специальных «конструкторов» нечетких систем и последующая трансляция в код программы микроконтроллера (Matlab, Matematica, CubiCalc, RuleMaker, FuziCalc, FuzzyTech);

- использование специализированных программных средств, позволяющих сразу генерировать код с нечеткой системой под любой микроконтроллер.

© Е. А. Левон, И. Ф. Домнин, 2015

К общим достоинствам программной реализации можно отнести простоту использования и высокую доступность (из-за высокой распространенности микроконтроллеров общего назначения), гибкость создаваемых решений. Недостатки программной реализации – скорость работы нечетких операций (в отличие от аппаратной реализации) и погрешность в вычислениях (из-за вынужденной дискретизации).

Решение поставленной задачи. Структура цифровой системы управления и регулирования

двухканальным компенсатором для ФМЗИ, при аппаратной реализации fuzzy-регулятора на основе микроконтроллера специального назначения, приведена на рис. 1. Микроконтроллер общего назначения сопряжен с микроконтроллером специального назначения через интерфейс внешней памяти.

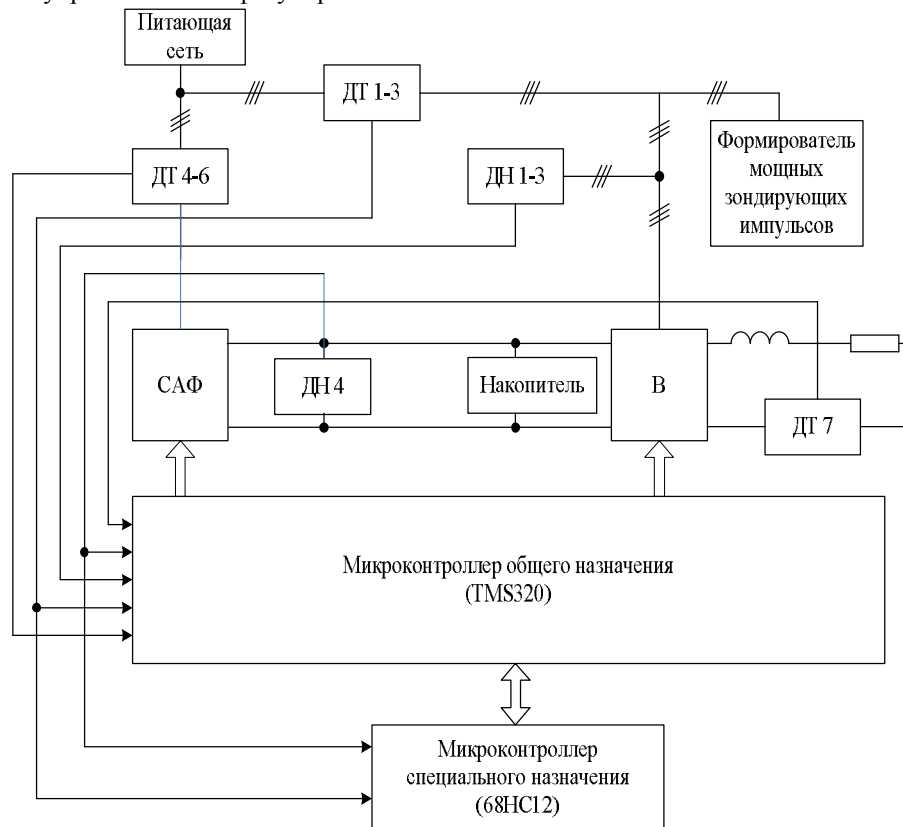


Рис. 1 – Структура цифровой системы управления и регулирования двухканальным компенсатором

Непосредственно управление высокочастотным (САФ) и низкочастотным (В) каналами компенсатора осуществляет микроконтроллер общего назначения TMS320C2812 фирмы «Texas Instrumentals», относящийся к классу сигнальных процессоров.

Микропроцессорная реализация алгоритма управления двухканальным компенсатором с контуром регулирования гармоник тока питающей сети изображена на рис. 2.

После инициализации микропроцессора общего назначения и АЦП, микропроцессор работает в основном цикле программы: получение данных – расчет параметров – выдача управляющих воздействий. Микропроцессор TMS320C2812 имеет тактовую частоту 150 МГц. Основная часть процессорного времени отводится на управление инвертором компенсатора, частота управления

ключами которого находится в диапазоне 15 кГц – 30 кГц. Расчет токов заданий для работы инвертора двухканального полупроводникового компенсатора выполняется на основе р-р или р-р-г теорий мощности.

Управление ключами выпрямителя двухканального компенсатора выполняется с частотой, равной частоте питающей сети. После инициализации микропроцессора общего назначения и АЦП, микропроцессор работает в цикле управления ключами инвертора компенсатора. Переход на управление ключами выпрямителя выполняется по прерыванию каждые 20 мс.

В качестве микроконтроллера специального назначения, с аппаратной поддержкой нечеткой логики, был выбран микроконтроллер 68HC12 фирмы Motorola.

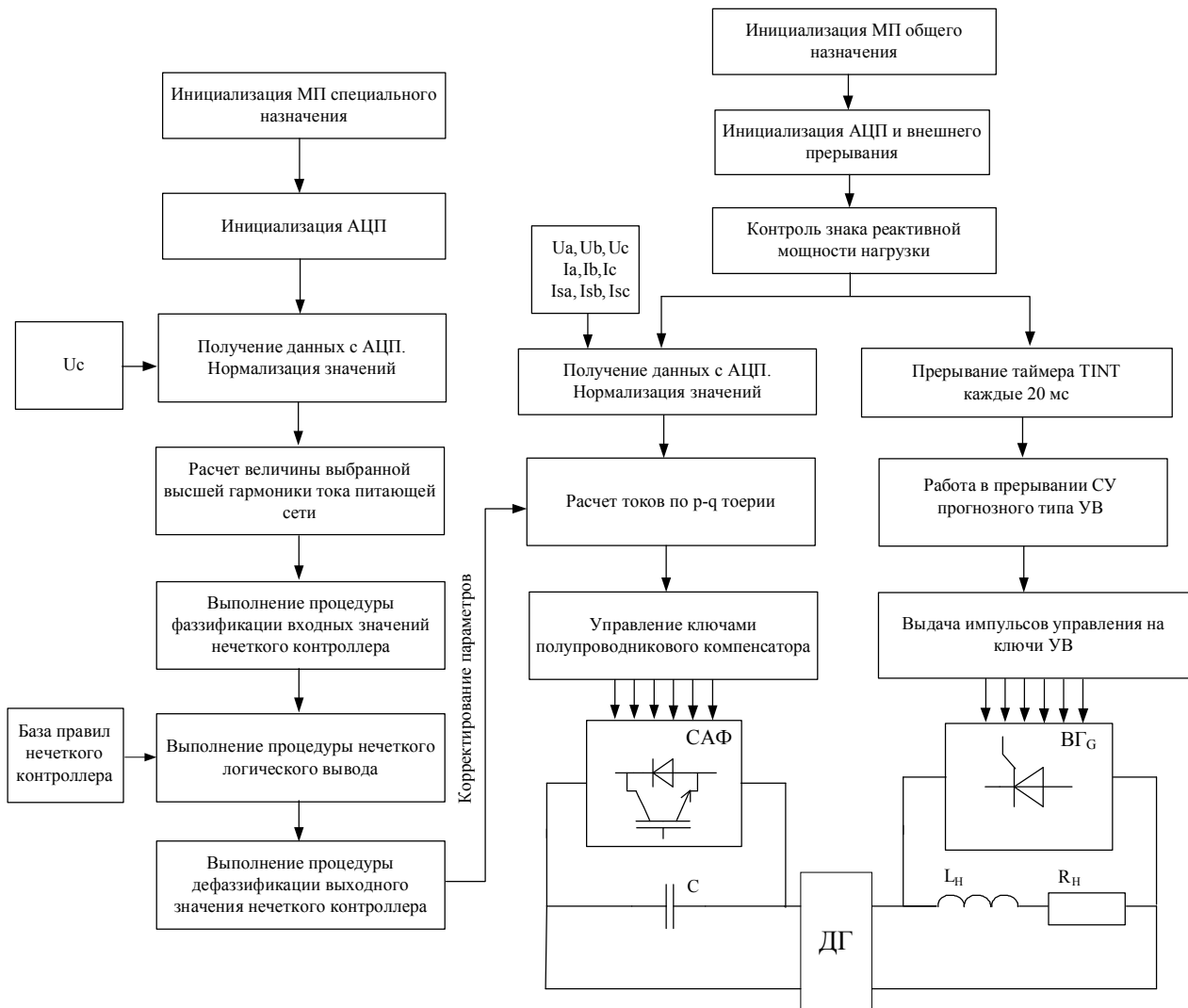


Рис. 2 – Микропроцессорная реализация алгоритма управления двухканальным компенсатором с контуром регулирования гармоник тока питающей сети

Команды нечеткой логики микроконтроллеров семейства 68HC12/912 обеспечивают выполнение ряда специфичных операций, которые позволяют реализовывать на базе выбранного микроконтроллера дополнительный контур регулирования уровня отдельно взятой высшей гармоники тока питающей сети.

На рис. 3 представлена реализация структуры системы нечеткого вывода fuzzy-регулятора дополнительного контура регулирования по уровню отдельно взятой высшей гармоники тока питающей сети в программе fuzzyTECH. В отличие от системы Matlab, программа fuzzyTECH является специализированным средством, которое позволяет разрабатывать и исследовать разнообразные нечеткие модели в графическом режиме, а также

преобразовывать их в программный код на одном из языков программирования с возможностью последующей реализации в программируемых микроконтроллерах. В центре графического интерфейса находится окно редактора проекта (ProjectEditor), в котором отображается структура системы нечеткого вывода в форме прямоугольников переменных и блоков правил. Редактор проекта является основным средством, которое используется для визуализации общей структуры и быстрого доступа к различным инструментам редактирования свойств систем нечеткого вывода в графическом режиме. Редактор проекта программы fuzzyTECH позволяет визуализировать структуру всего проекта и графически представить отношения между компонентами проекта.

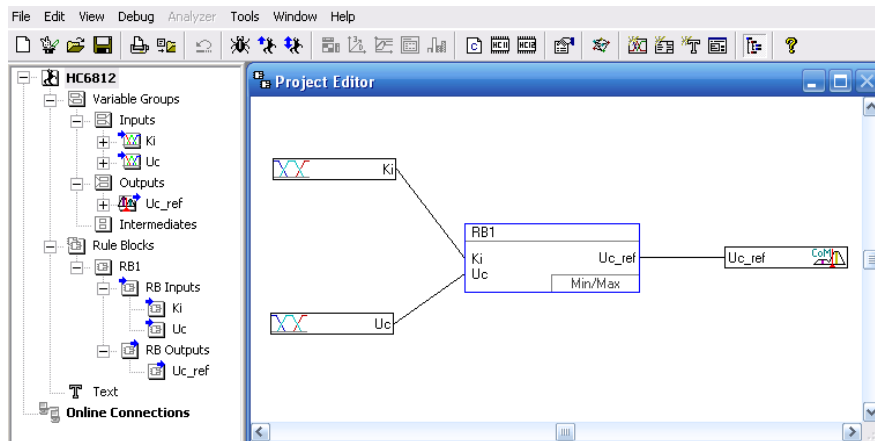


Рис. 3 – Структура системы нечеткого вывода в программе Fuzzy Tech

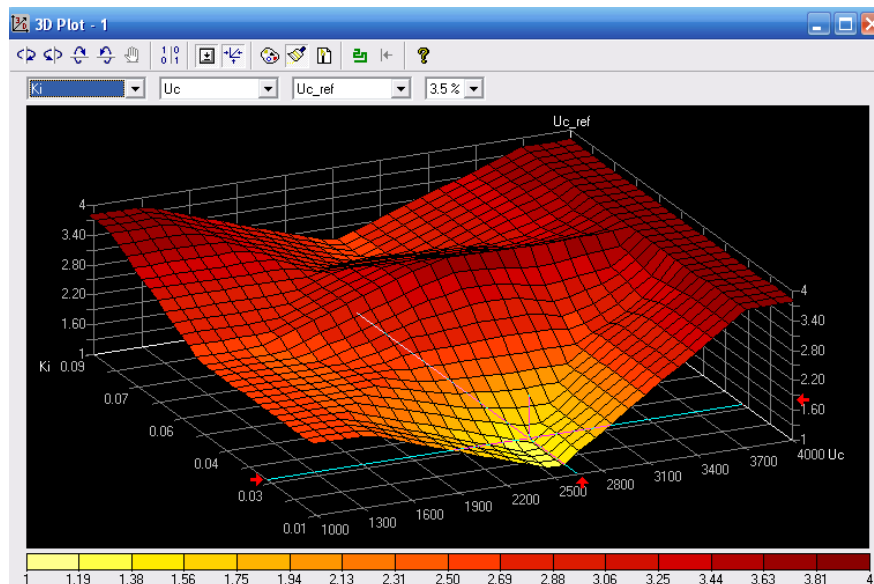


Рис. 4 – Трехмерная поверхность нечеткого вывода

Для общего анализа рассматриваемой нечеткой модели можно воспользоваться графическим окном просмотра поверхности нечеткого вывода на плоскости и графическим окном просмотра трехмерной поверхности нечеткого вывода, показанным на рис. 4.

Данная поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных нечеткой модели контура регулирования. Эта зависимость может послужить основой для программирования контроллера или аппаратной реализации соответствующего нечеткого алгоритма управления в форме соответствующей таблицы решений.

Программа fuzzyTECH позволяет осуществить программную реализацию fuzzy-регулятора контура регулирования гармоник тока питающей сети, на основе микроконтроллера нечеткой логики Motorola 68HC12.

Используя лежащую в памяти нечеткую базу знаний, приведенную в [2, 3], микропроцессор решает задачи управления с внедрением нечеткой логики, выполняя 3 главные процедуры:

- фаззификацию - преобразование поступивших данных в значения нечетких входных переменных при помощи соответствующих треугольных функций, характеристики которых выбираются из базы знаний;
- обработку нечетких входных переменных при помощи комплекта логических правил, избираемых из базы знаний;

– дефазифікацію - преобразование нечетких выходных переменных в двоичные значения результатов обработки.

Нижче приведено фрагмент отриманого коду с объявлением переменных и процедурой дефазифікації на мові Assembler:

```
;----- RAM i/o-vars -----
fuzvals:                ;6 + 3 + 0
fvs:
_t_Ki_hc6812:   ds.b 3
_t_Uc_hc6812:   ds.b 3
_t_Uc_ref_hc6812: ds.b 3
crispio:                ;3
_Ki_hc6812:     ds.b 1
_Uc_hc6812:     ds.b 1
_Uc_ref_hc6812: ds.b 1
;----- defuzzification -----
clr  _invalidflags
ldy  #fuzvals + $6
ldx  #xcom + $0
ldab #$3
stab otcnt
jsr  com()
bcc  out0valid
ldab #$80
out0valid:  stab  _Uc_ref_hc6812
ldab  _invalidflags
rts                ;end of fuzzy controller.
```

Таким образом с помощью программы fuzzyTECH был получен и дополнительно обработан, с целью минимизации времени выполнения

программы, специальный программный код для реализации fuzzy-регулятора контура регулирования гармоник тока питающей сети, на основе микроконтроллера нечеткой логики Motorola 68HC12 на языках C и Assembler.

Выводы. Осуществлена микропроцессорная реализация системы управления двухканальным компенсатором с fuzzy-регулятором. Показана возможность программной реализации цифрового fuzzy-регулятора системы управления двухканальным компенсатором в программе fuzzyTECH.

Список литературы. 1. Домнин И.Ф. Многоконтурная система управления фильтрокомпенсирующим устройством / И.Ф. Домнин, Е.А. Кайда // Техническая электродинамика. – Київ: ІСДНАНУ. – 2010. – Ч. 2, Тематичний вип. – С. 44-47. 2. Domnin I.F. Fuzzy logic based control system of converter for powerful sounding pulses generator / I.F. Domnin, O.O. Levon, V.V. Varyanskaya // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 47 (1089). – Р. 22-27. 3. Кайда Е.А. (Левон Е.А.) Нечеткое регулирование устройством компенсации неактивных составляющих полной мощности / Е.А. Кайда // Техническая электродинамика. – Київ: ІСДНАНУ. – 2011. – Ч. 1, Тематичний вип. – С. 184-188.

Bibliography (transliterated): 1. Domnin I. F., Kaida E. A. Mnogokonturnaya sistema upravleniya filtrokompensiruyushim ustroystvom // Tekhnicheskaya elektrodinamika. – 2010. – Part 2. – P. 44–47. (Rus.) 2. Domnin I. F. Fuzzy logic based control system of converter for powerful sounding pulses generator / I. F. Domnin, O. O. Levon, V. V. Varyanskaya // Visnyk NTU "KhPI" – 2014. – № 47 (1089). – P. 22–27. 3. Kaida E. A. Nechetkoe regulirovanie ustroystvom kompensatii neaktivnykh sostavlyayushih polnoi moshnosti // Tekhnicheskaya elektrodinamika. – 2011. – Part 1. – P. 184 – 188. (Rus.)

Поступила (received) 05.07.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Левон Олена Олександрівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач; тел.: (057) 707-62-15; e-mail: elena_levon@ukr.net

Левон Елена Александровна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель; тел.: (057) 707-62-15; e-mail: elena_levon@ukr.net

Levon Olena Oleksandrivna – candidate of technical science, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», senior lecturer; tel.: (057) 707-62-15; e-mail: elena_levon@ukr.net

Домнин Игорь Феликсович – доктор технічних наук, професор, директор Інституту іоносфери НАН і МОН України, м. Харків; тел.: (057) 706-25-99; e-mail: domninpro@mail.ru

Домнин Игорь Феликсович – доктор технических наук, профессор, директор Института ионосферы НАН и МОН Украины, г. Харьков; тел.: (057) 706-25-99; e-mail: domninpro@mail.ru

Domnin Igor Feliksovich – doctor of technical sciences, professor, director of the Institute of ionosphere NAS and MES of Ukraine, Kharkiv; tel.: (057) 706-25-99; e-mail: domninpro@mail.ru