

Левон Елена Александровна, канд. техн. наук, кафедра радіоелектроніки;

E-mail: elena_levon@ukr.net. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9824-4403>

Козлов Сергей Сергеевич, кафедра радіоелектроніки;

E-mail: ksser300@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9638-5897>

Римарь Сергей Иванович, кафедра радіоелектроніки;

E-mail: sergeyumar@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

Кузьменко Наталья Алексеевна, к.и.наук., кафедра радіоелектроніки;

E-mail: nkuzmenk@i.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1337-6421>

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕНСАТОРОМ НЕАКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье представлена модель полупроводникового компенсатора с дополнительным контуром нечеткого регулирования по уровню высших гармоник тока питающей сети. Модель создана и апробирована в пакете MATLAB 7.0.1. Исследованы зависимости уровня коммутационных перенапряжений, а также уровня амплитуды отдельно взятой гармоники тока питающей сети от относительного напряжения на конденсаторе накопителя. Показана возможность эффективного управления уровнем амплитуды отдельно взятой гармоники тока питающей сети. Получены с помощью моделирования графические зависимости, произведен их анализ, что подтвердило теоретические выводы, которые необходимо учитывать при настройке параметров нечеткого контроллера. Доказана возможность адаптации предложенной цифровой системы управления в переменных условиях энергосистемы, благодаря применению дополнительного контура регулирования уровня отдельно взятой гармоники.

Ключевые слова: полупроводниковый компенсатор, система управления, моделирование, гармоники тока.

Левон Олена Олександрівна, к. техн. наук, кафедра радіоелектроніки;

E-mail: elena_levon@ukr.net. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9824-4403>

Козлов Сергій Сергійович, кафедра радіоелектроніки;

E-mail: ksser300@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9638-5897>

Римарь Сергій Іванович, кафедра радіоелектроніки;

E-mail: sergeyumar@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

Кузьменко Наталія Олексіївна, к. і. наук., кафедра радіоелектроніки;

E-mail: nkuzmenk@i.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1337-6421>

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, 61002, м Харків, Україна.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОМПЕНСАТОРОМ НЕАКТИВНИХ СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Анотація. У статті представлена модель напівпровідникового компенсатора з додатковим контуром нечіткого регулювання по рівню вищих гармонік струму мережі живлення. Модель створена і апробована в пакеті MATLAB 7.0.1. Досліджено залежності рівня комутаційних перенапруг, а також рівня амплітуди окремо взятої гармоніки струму мережі живлення від відносного напруги на конденсаторі накопичувача. Показана можливість ефективного управління рівнем амплітуди окремо взятої гармоніки струму мережі живлення. Отримані за допомогою моделювання графічні залежності, проведений їх аналіз, що підтвердило теоретичні висновки, які необхідно врахувати при налаштуванні параметрів нечіткого контроллера. Доведено можливість адаптації запропонованої цифрової системи управління в змінних умовах енергосистеми, завдяки застосуванню додаткового контуру регулювання рівня окремо взятої гармоніки.

Ключові слова: напівпровідниковий компенсатор, система керування, моделювання, гармоніки струму.

Olena Levon, Ph. D, Department of Radioelectronics;

E-mail: mozhaev57@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9824-4403>

Sergey Kozlov, Department of Radioelectronics;

E-mail: ksser300@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9638-5897>

Sergey Rumar, Department of Radioelectronics;

E-mail: sergeyrumar@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

Nataliya Kuzmenko, Ph. D, Department of Radioelectronics;

E-mail: nkuzmenk@i.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1337-6421>

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kyrpychova str., 61002Kharkiv, Ukraine.

RESEARCH OF THE OPERATION OF A TWO-CIRCUIT CONTROL SYSTEM OF THE COMPENSATOR OF INACTIVE COMPONENTS OF THE FULL POWER

***Annotation.** The article presents a model of a semiconductor compensator with an additional fuzzy control loop for the level of higher harmonics of the supply network current. The model was created and tested in the MATLAB 7.0.1 package. The dependences of the level of switching overvoltages, as well as the level of the amplitude of a single harmonic of the current of the supply network, on the relative voltage across the storage capacitor are investigated. The possibility of effective control of the amplitude level of a separate harmonic of the supply network current is shown. Graphical dependencies were obtained by means of modeling, their analysis was carried out, which confirmed the theoretical conclusions that must be taken into account when setting the parameters of a fuzzy controller. The use of an additional control loop for the level of a single harmonic makes it possible to adapt the proposed digital control system to varying conditions of the power system. The ability to adapt the pro-proponated digital control system in the energy system's minus has been brought to the table, and the additional contour to regulate the level of the taken harmonic system has been added.*

***Keywords:** semiconductor compensator, control system, simulation, current harmonics.*

Постановка проблеми. Метод проектування нечіткого регулятора в складі системи управління пристроєм компенсації неактивних складових повної потужності, описаного в [1,2,6,7] достатньо детально викладено в роботах [3-5]. В пропонуваній системі управління на базі нечіткої логіки входні сигнали fuzzy-регулятора і управляючі на виході розглядаються як лінгвістическі змінні, які якісно характеризуються терм-множествами. Кожен терм розглядається як нечітке множество і формалізується з допомогою функції приналежності. Формування управляючого впливу здійснюється на основі лінгвістических правил управління, які з допомогою засобів природнього мови встановлюють зв'язок між станом динамічної системи і управляючим впливом в системі управління компенсатором.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 представлена MATLAB модель напівпровідникового компенсатора, підключеного до живильної мережі паралельно нелінійній навантаженню, створена і апробована в пакеті MATLAB 7.0.1 з додатковим контуром нечіткого регулювання по рівню вищих гармонік струму живильної мережі. Модель, включає контур регулювання рівнем амплітуди окремо вибраної гармоніки струму живильної мережі. Вказаний контур керує рівнем напруги на ємкісному накопичувачі компенсатора з допомогою нечіткого Fuzzy – контролера. На перший вхід нечіткого контролера поступає сигнал з датчика напруги на конденсаторі накопичувача. На другий вхід контролера поступає сигнал, відповідний поточному рівню амплітуди вибраної гармоніки струму живильної мережі (в даному випадку сьомої гармоніки), отриманий з допомогою блоку вимірювача амплітуд і віднесений до значення рівню амплітуди першої гармоніки живильної мережі, або поточному рівню коефіцієнта гармонік струму живильної мережі. Вихідний сигнал регулятора, сформований за допомогою процедури нечіткого виводу, визначає потрібний рівень напруги на конденсаторі накопичувача для забезпечення потрібного рівня амплітуди вибраної гармоніки живильної мережі, або коефіцієнта гармонік в цілому.

На рис. 2 приведены 5–ая, 7–ая и 11–ая гармоники тока, генерируемые формирователем в питающую сеть, без подключения компенсатора (до момента времени t_1) и с подключением компенсатора (после момента времени t_1).

При подключении компенсатора амплитуда 5–ой гармоники снизилась на 60 %, 7–ой и 11–ой – на 50 %. Коэффициент гармоник тока питающей сети снизился и поддерживается на уровне 0,15.

На рис. 3, а) приведена диаграмма изменения напряжения на конденсаторе инвертора, диаграмма на рис. 3 б) соответствует изменению амплитуды седьмой гармоники тока питающей сети. Управление уровнем амплитуды отдельно взятой седьмой гармоники тока питающей сети, а также приведение ее к установленному уровню, в данном случае это 5%, происходит при изменении напряжения на конденсаторе инвертора за счет управляющих сигналов на выходе дополнительного контура регулирования.

На рис. 4 представлена MATLAB модель компенсатора, дополненная контуром нечеткого регулирования уровня коммутационных перенапряжений.

В данном случае, входными параметрами Fuzzy – регулятора являются уровень коммутационных перенапряжений с выхода блока фиксатора перенапряжений, уровень напряжения на конденсаторе накопителя, а также уровень амплитуды выбранной гармоники тока питающей сети.

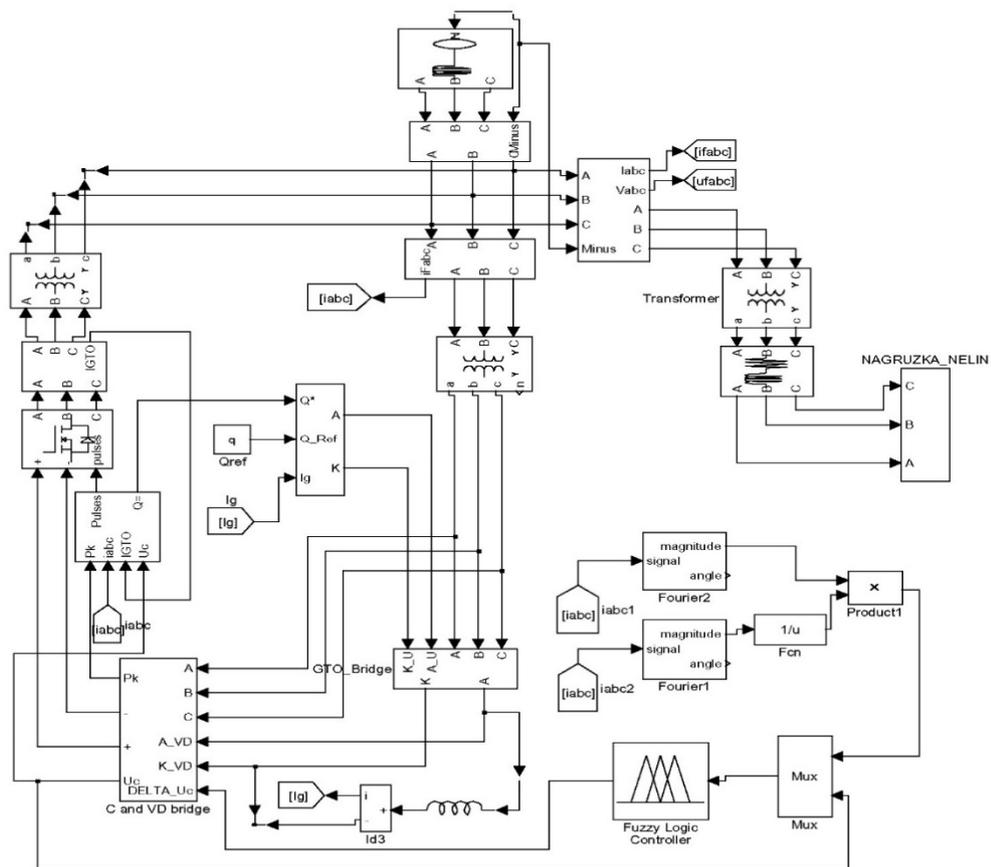


Рис. 1. MATLAB модель компенсатора с контуром нечеткого регулирования высших гармоник тока

С помощью приведенной модели исследовалась зависимость уровня коммутационных перенапряжений, а также уровня амплитуды отдельно взятой гармоники тока питающей сети от относительного напряжения на конденсаторе

накопителя напряжения на конденсаторе вторичной обмотке трансформатора питания выпрямительного блока. U_c^* , которое определяется как отношение величины на конденсаторе к амплитуде линейного напряжения на вторичной обмотке трансформатора питания выпрямительного блока.

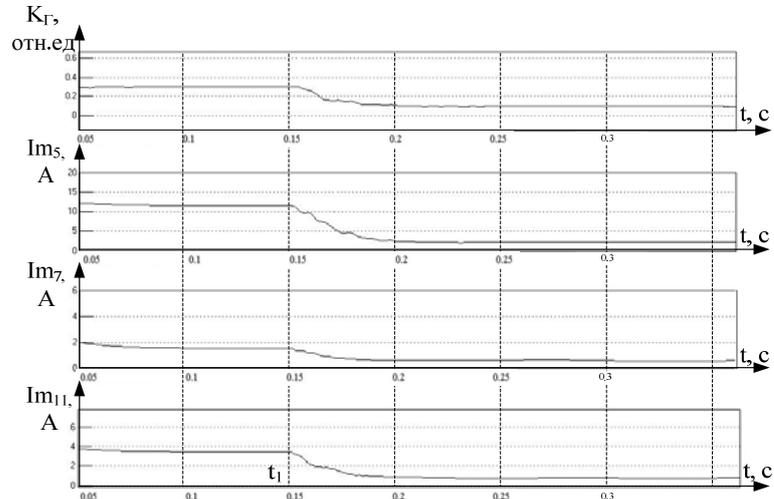


Рис. 2. Управление уровнями амплитуд высших гармоник тока питающей сети

Полученные с помощью моделирования графические зависимости, а также их анализ, подтверждают сделанные теоретические выводы о наличии диапазона, при котором не целесообразно дальнейшее повышение значения напряжения на конденсаторе накопителя U_c , с целью уменьшения величин отдельных гармоник тока питающей сети, из-за превышения установленной границы коммутационных перенапряжений U_{pmax} , что необходимо учитывать при настройке параметров нечеткого контроллера.

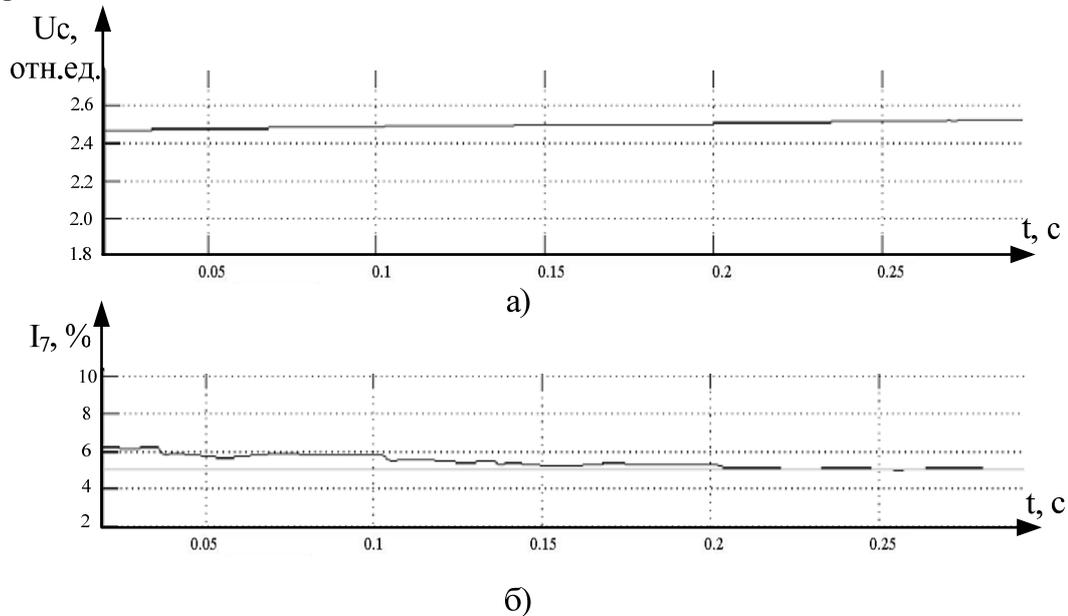


Рис. 3. Управление уровнем амплитуды седьмой гармоники тока питающей сети

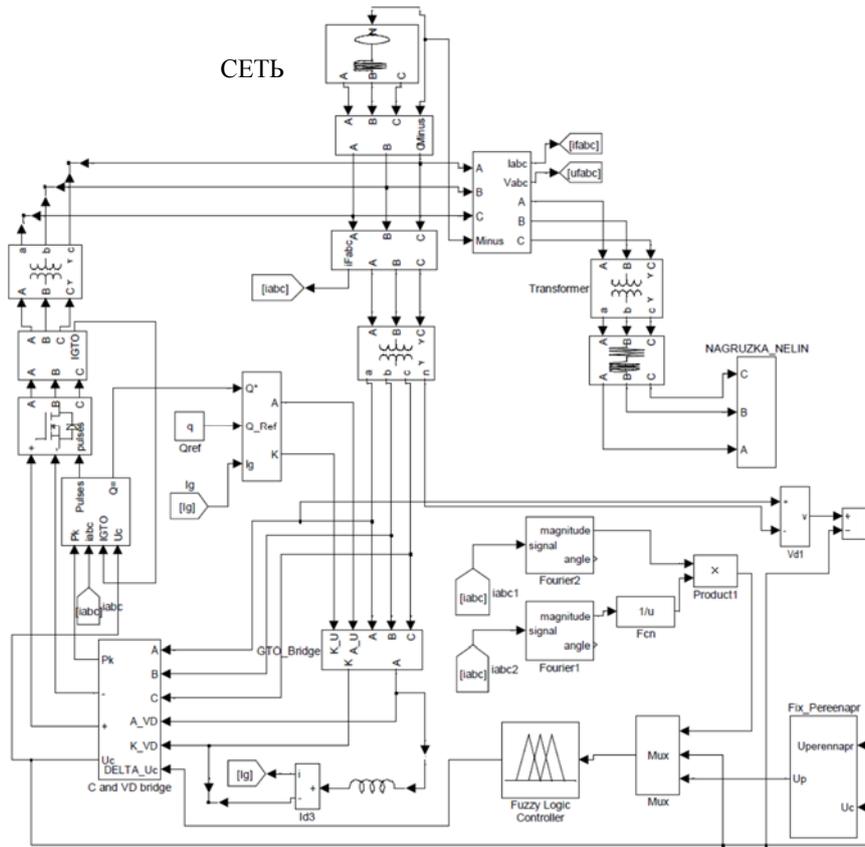


Рис. 4. MATLAB модель компенсатора с контуром нечеткого регулирования высших гармоник тока и коммутационных перенапряжений

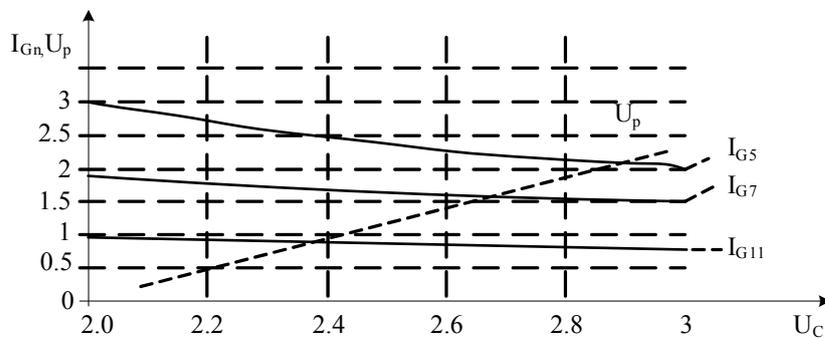


Рис. 5. Зависимость амплитуд высших гармоник сетевого тока и уровня коммутационных перенапряжений от напряжения на конденсаторе накопителя

Предложенная система управления полупроводниковым компенсатором с дополнительным контуром нечеткого регулирования по уровню коммутационных перенапряжений дает возможность в процессе компенсации реактивной мощности уменьшить генерирование в сеть высших гармоник тока в 3-5 раз, не превышая при этом установленный уровень коммутационных перенапряжений, равный 0.1 от амплитудного значения линейного напряжения на вторичной обмотке трансформатора выпрямителя (рис.5).

Висновки з проведеного дослідження. Результати моделювання підтвердили целесообразность использования двухканального полупроводникового компенсатора с дополнительным контуром нечеткого регулирования при решении задач улучшения

электромагнитной совместимости нелинейных нагрузок с питающей сетью, улучшения качества потребляемой электроэнергии, уменьшения потерь и увеличения надежности работы преобразователя.

Применение дополнительного контура регулирования уровня отдельно взятой гармоники дает возможность адаптации предложенной цифровой системы управления в переменных условиях энергосистемы.

Список использованной литературы:

1. Домнин И. Ф., Кайда Е. А. “Динамические характеристики двухмостового низкочастотного канала компенсатора неактивной мощности”. Технічна електродинаміка. Київ: ІЄДНАНУ. 2009. Ч. 4, Тематичний вип. С. 63-67.
2. Домнин И. Ф., Кайда Е. А. “Многоконтурная система управления фильтрокомпенсирующим устройством”. Технічна електродинаміка. Київ: ІЄДНАНУ. 2010. Ч. 2, Тематичний вип. С. 44-47
3. Кайда Е. А. “Нечеткое регулирование устройством компенсации неактивных составляющих полной мощности”. Технічна електродинаміка. Київ: ІЄДНАНУ. 2011. Ч. 1, Тематичний вип. С. 184-188.
4. Левон Е. А., Домнин И. Ф., Северин В. П. “Оптимизация параметров цифрового нечеткого регулятора”. Технічна електродинаміка. Харків: НТУ «ХПІ». 2012. Ч.2, Тематичний вип. С. 91-94.
5. Domnin I. F., Levon O. O., Varvyanskaya V. V. “Fuzzy logic based control system of converter for powerful sounding pulses generator”. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків: НТУ «ХПІ». 2014. № 47 (1089). – С. 22-27.
6. Домнин И. Ф. “Система управления фильтрокомпенсирующим устройством”. Технічна електродинаміка. 2004. № 4. С. 25-29.
7. Домнин И.Ф., Жемеров Г.Г., Сокол Е.И. “Перспективы применения полупроводниковых компенсаторов реактивной мощности в сетях электроснабжения промышленных предприятий”. Технічна електродинаміка. Київ: ІЄДНАНУ. 2009. Ч. 2, Тематичний вип. С. 37-41.

References:

1. Domnin, I. F., Kaida, E. A. (2009) Dinamicheskie harakteristiki dvuhmostovogo nizkochastotnogo kanala kompensatora neaktivnoi moshnosti. Tehnichna electrodyynamika. Kiev. IEDNANU. P. 4. Tematchnui vup. Pp. 63-67.
2. Domnin, I. F., Kaida, E. A. (2010) Mnogokonturnaya Sistema upravleniya philtrokompensiruyushim ustroystvom. Tehnichna electrodyynamika. Kiev. IEDNANU. P. 2. Tematchnui vup. Pp.44-47.
3. Kaida, E. A. (2011) Nechetkoe regulirovanie ustroystvom kompensacii neaktivnuh sostavlyaushih polnoi moshnosti. Tehnichna electrodyynamika. Kiev. IEDNANU. P. 1. Tematchnui vup. Pp.184-188.
4. Domnin, I. F., Levon, O. O., Severin V.P. (2012) Optimizaciya parametrov cifrovogo nechetkogo regulyatora. Tehnichna electrodyynamika. Kharkiv: NTU«KHPII». P.2, Tematchnui vup. Pp.91-94.
5. Domnin, I. F., Levon O. O., Varvyanskaya, V. V. (2014) Fuzzy logic based control system of converter for powerful sounding pulses generator. Visnuk Nacionalnogo Tehnichnogo Universitetu «Kharkivskiy politechnichnuy institut». Kharkov: NTU«KHPII». № 47 (1089). Pp. 22-27.
6. Domnin, I. F. (2004) Sistema upravleniya philtrokompensiruyuchim ustroystvom Tehnichna electrodyynamika. № 4. Pp. 25-29.
7. Domnin, I. F., Gemerov, G.G., Sokol, Y.I. (2009) Perspektivu primineniya poluprovodnicovuh kompensatorov reaktivnoi mochnosti v setyah electrosnabgeniya promushlennuh predpriyatiy. Tehnichna electrodyynamika. Kiev. IEDNANU. P. 2. Tematchnui vup. Pp. 37-41.