

**УДК 621.314**

**DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.153.2015.64333>**

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ З ІМПУЛЬСНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ**

**Асп. Ю.О. Семененко**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТИПА С ИМУЛЬСНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ**

**Асп. Ю.А. Семененко**

**SIMULATION OF WORK ACTIVE FILTER SEQUENCES OF TYPE C IMULSNOY MANAGEMENT SYSTEM**

**Postgraduate Y.O. Semenenko**

*У статті приведені результати дослідження процесів роботи активного фільтра послідовного типу з імпульсною системою керування за допомогою комп'ютерної моделі в*

середовищі MATLAB. Запропонована структура активного фільтра, що входить до складу комбінованого, може використовуватися на тягових підстанціях постійного струму, як фільтрокомпенсуючий пристрій для придушення змінної складової вихідної напруги, а також для покращення якості електричної енергії контактної мережі постійного струму.

**Ключові слова:** активний фільтр, спектральний склад, імпульсна система керування, змінна складова, тягова підстанція, гармонійні складові.

В статье приведены результаты исследования процессов работы активного фильтра последовательного типа с импульсной системой управления с помощью компьютерной модели в среде MATLAB. Предложенная структура активного фильтра, входящего в состав комбинированного, может использоваться на тяговых подстанциях постоянного тока, как фильтрокомпенсирующее устройство для подавления переменной составляющей выходного напряжения, а также для улучшения качества электрической энергии контактной сети постоянного тока.

**Ключевые слова:** активный фильтр, спектральный состав, импульсная система управления, переменная составляющая, тяговая подстанция, гармонические составляющие.

The paper presents the results of research work processes active filter series type with pulse control system with the help of computer models in an environment MATLAB. It is advisable to apply for DC traction substations to suppress the variable component of the rectified voltage, which is the source of interfering effects on circle rail robot, automation and communication. In practice, the operation of electric power systems of transport, the use of passive filtration method has some significant drawbacks, which requires finding more effective methods. Increasing the degree of filtering ripple is achieved by using combined systems, which are connected by a combination of a specific pattern of passive and active filters. The proposed structure of the active filter, which is part of the combination, can be used for traction substations DC filter-like device to suppress the variable component of the output voltage, as well as to improve the quality of electric power catenary DC.

**Keywords:** active filter, spectral composition, impulse control system, the variable component, traction substation, the harmonic components.

### Вступ

На діючих тягових підстанціях постійного струму в даний час у більшості випадків використовуються шестипульсні випрямні агрегати, виконані за трифазною мостовою схемою чи схемою «дві зворотні зірки з зрівняльним реактором». При модернізації підстанцій або на нових споруджуваних підстанціях встановлюються більш сучасні дванадцятипульсні випрямлячі. Однак ні один з цих випрямлячів не дає високих показників постійної напруги на своєму виході. Випрямлена напруга тягової підстанції постійного струму характеризується наявністю постійної та пульсуючої складових з гармоніками в широкому діапазоні частот. Дані гармонійні складові викликають додаткові втрати електричної енергії в тяговій мережі, погіршують електромагнітну сумісність тягової

підстанції з електричним рухомим складом, а також являються джерелом небезпечних та заважають перешкод, здатних викликати нестабільну роботу пристроїв залізничної сигналізації, централізації, блокування, автоматики, телемеханіки та зв'язку.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [1,2] для підвищення якості напруги контактної мережі пропонується використовувати активні фільтри. Підвищення ступеню фільтрації пульсації досягається застосуванням комбінованих систем, які представляють собою комбінацію з'єднаних за певною схемою пасивного та активного фільтра [3-5]. В роботі [6] подано теоретичні дослідження і розробки системи автоматичного управління для стабілізації напруги безпосередньо на струмоприймачах рухомого складу. При цьому залишається невирішеною проблема компенсації

низькочастотних гармонік напруги і струму в контактній мережі частотою нижче 300 Гц.

### Визначення мети та задачі дослідження

Метою даної роботи є дослідження ефективності роботи активного фільтра послідовного типу, побудованого на базі високочастотного інвертора напруги, за

допомогою комп'ютерної моделі розробленої в середовищі MATLAB.

### Основна частина дослідження

Вихідна напруга  $m$ -пульсного перетворювача характеризується широким спектром гармонійних складових з частотами:

$$f_q = f_c \cdot m \cdot q, \quad (1)$$

де  $f_c$  – частота мережі, що живить випрямляч;

$m$  – еквівалентна пульсність схеми випрямлення;

$q = 1, 2, 3, \dots$  - порядковий номер гармоніки.

Спектральний склад гармонійних складових вихідної напруги випрямляча залежить від наступних джерел несиметрії [6-10]:

- несиметрія мережі, яка живить силову схему, що оцінюється величиною коефіцієнта несиметрії  $\varepsilon$ ;

- власна несиметрія системи імпульсно-фазового управління, найбільш характерна для багатоканальних СІФУ;

- несиметрія напруг мережі, синхронізуючих систему управління перетворювача.

При впливі перерахованих факторів випрямлячем в вихідну напругу генеруються неканонічні гармоніки, кратні частоті живильної мережі (50, 100, 150, 200 Гц і т.д.), що майже не придушуються пасивним фільтром. Дані гармонійні складові збільшують коефіцієнт пульсацій напруги і створюють значний заважаючий вплив на пристрої системи автоблокування [2].

В роботі [1] авторами проведено дослідження динамічних характеристик комбінованого фільтра з активним фільтром послідовного типу неперервної дії. Основою такого активного фільтра є підсилювач, що формує напругу компенсації змінної складової вихідної напруги тягової підстанції постійного струму. Для підвищення коефіцієнта корисної дії системи активної фільтрації пропонується використати імпульсний спосіб формування напруги компенсації змінної складової шляхом застосування інвертора напруги на

IGBT, що працює з підвищеною частотою широтно-імпульсної модуляції порядку 20 кГц. Завдяки цьому досягається висока якість формування гармонік напруги компенсації в широкому діапазоні частот. Схема активного фільтра послідовного типу імпульсної дії, що пропонується для зниження величини пульсацій змінної складової у вихідній напрузі тягової підстанції постійного струму, представлена на рис. 1.

Запропонований фільтр має пасивну та активну ланки. Пасивна ланка фільтра складається з дроселя  $L$  та конденсатора  $C$ . Активна ланка складається з інвертора  $I$ , вихідний сигнал якого через трансформатор  $T$  подається в коло пасивної ланки. Із вихідного сигналу датчика напруги  $ДН$  датчиком пульсацій  $ДП$  виділяється змінна складова, яка несе інформацію про пульсації напруги активно-індуктивного навантаження. Вихідний сигнал датчика пульсацій являє собою сигнал зворотного зв'язку, який подається на вхід суматора, на другий вхід якого подається напруга завдання  $U_z$ . Вихідний сигнал суматора передається на корегуючу ланку  $G(p)$ , яка формує сигнал керування, далі на інвертор  $I$ , трансформатор  $T$  та дросель  $L$  і врешті решт подається в протифазу з напругою пульсацій, що діє на навантаженні. Компенсація змінної складової здійснюється внесенням в ланцюг пасивної ланки напруги компенсації пульсацій, яка формується каналом зворотного зв'язку.

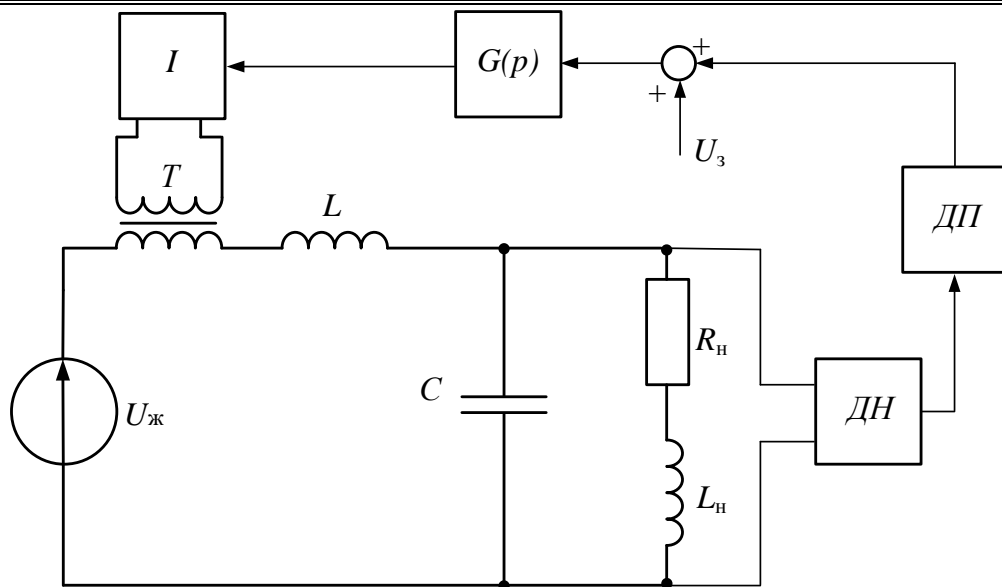


Рис. 1 Структурна схема активного фільтра послідовного типу з імпульсною системою керування

Для аналізу ефективності роботи активного фільтра послідовного типу з імпульсною системою керування (рис. 1) була розроблена коп'ютерна модель даного активного фільтра в середовищі MATLAB (рис. 2).

В даній комп'ютерній моделі блок Substation імітує роботу трифазної мережі живлення. Сигнал струму активно-індуктивного навантаження  $R_n$ ,  $L_n$

вимірюється блоком  $I_n$ , і через послідовно з'єднані два блоки  $G_0(p)$  та  $G_1(p)$ , та підсилювачі  $K1$  і  $K2$ , надходить на вхід блока *Inverter*, який у свою чергу формує компенсуючий сигнал. Розділяючий трансформатор  $T$  служить для гальванічної розв'язки силової частини схеми та блока *Inverter*. Детермінований Г-подібний LC-фільтр представлений згладжувальним реактором  $L$  та конденсатором  $C$ .

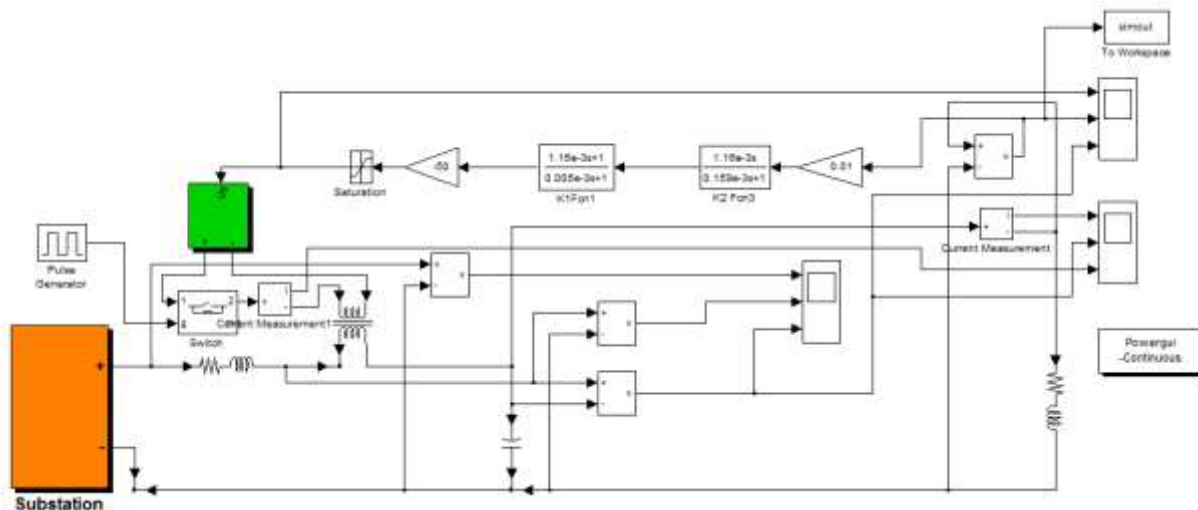


Рис. 2 Комп'ютерна модель активного фільтра послідовного типу з імпульсною системою керування в середовищі MATLAB

Досліджуємо схему (рис. 2) при симетричній трифазній вхідній напрузі та активно-індуктивному навантаженні  $R_n = 1$

Ом та  $L_n = 10^{-3}$  Гн (рис. 3) та  $R_n = 10$  Ом та  $L_n = 10^{-3}$  Гн (рис. 4).

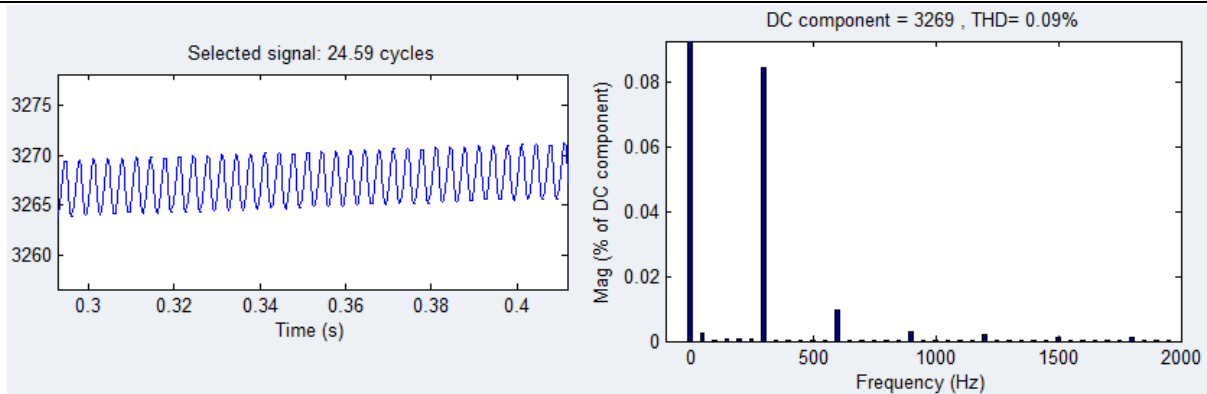


Рис. 3 Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з активним фільтром послідовного типу та діаграма спектрального складу при  $I_{n0} = 3264$  А

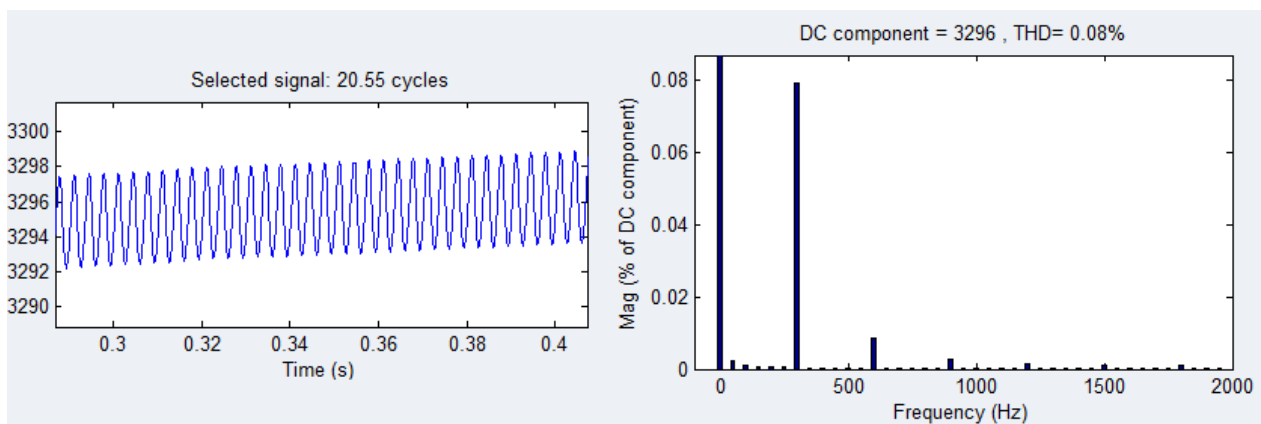


Рис. 4 Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з активним фільтром послідовного типу та діаграма спектрального складу при  $I_{n0} = 330$  А

За результатом аналізу одержані часові діаграми схеми при симетричній трифазній вхідній напрузі та активно-індуктивному навантаженні, необхідно зазначити наступне, що отриманий спектральний склад відображає наявність найбільш суттєвої основної гармоніки випрямленої напруги (300 Гц) її відносна амплітуда при  $I_{n0} = 3264$  А дорівнює 0,09%; а при  $I_{n0} = 330$  А дорівнює 0,08% та про зростання коефіцієнта

пульсацій вихідної напруги при збільшенні струму навантаження.

Далі досліджуємо схему активного фільтра послідовного типу при несиметрії трифазної вхідної напруги та активно-індуктивному навантаженні  $R_n = 1$  Ом та  $L_n = 10^{-3}$  Гн (рис. 5) та  $R_n = 10$  Ом та  $L_n = 10^{-3}$  Гн (рис. 6). Несиметрія створювалась зменшенням на 2,5 % напруги фази С відносно напруг інших двох фаз.

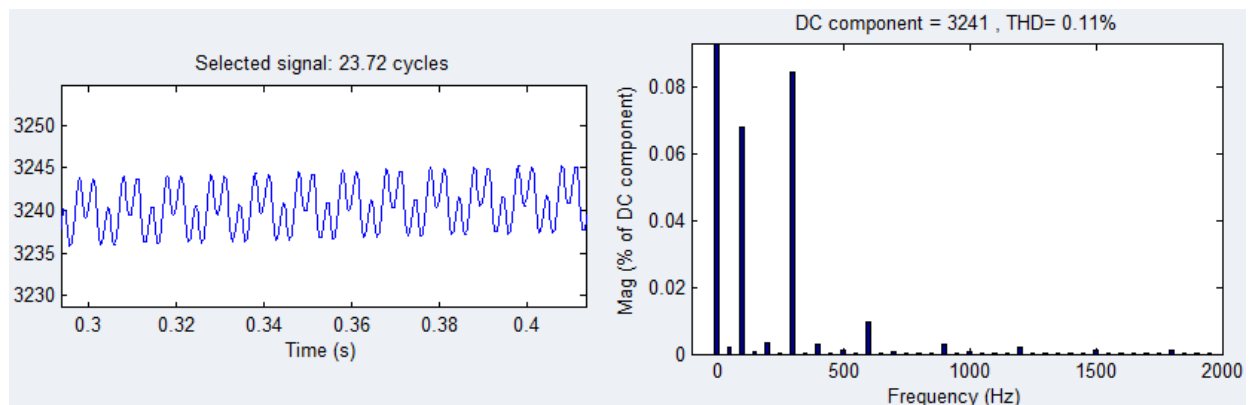


Рис. 5 Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з активним фільтром послідовного типу та діаграма спектрального складу при несиметрії вхідної напруги 2,5 % по одній із фаз та при  $I_{n0} = 3242$  А

Із рис. 5 слідує, що наявність несиметрії вхідної напруги випрямляча, як і в випадку з активним навантаженням, призводить до появи неканонічних гармонік.

Відносна амплітуда неканонічної гармоніки частотою 100 Гц дорівнює 0,07 %, а коефіцієнт пульсацій – 0,11 %.

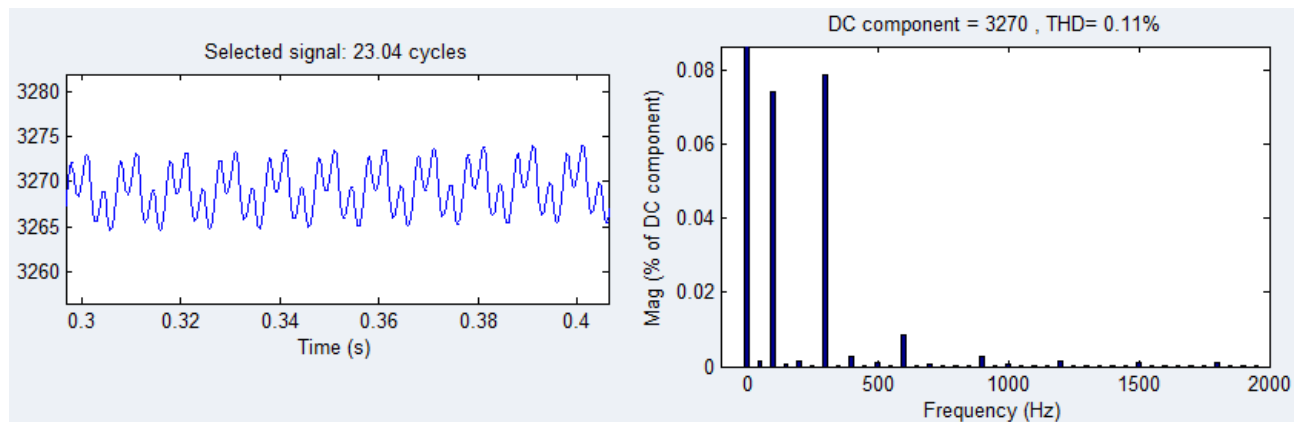


Рис. 6 Пульсації вихідної напруги тягової підстанції з активним фільтром послідовного типу та діаграма спектрального складу при несиметрії вхідної напруги 2,5 % по одній із фаз та при  $I_{n0} = 327$  А

З діаграми спектрального складу рис. 6 зниження струму навантаження при наявності такої ж несиметрії вхідної напруги випрямляча призводить до збільшення неканонічних гармонік, а також ніяк не вплинуло коефіцієнт пульсацій вихідної напруги. Відносна амплітуда неканонічної гармоніки частотою 100 Гц дорівнює 0,07 %, а коефіцієнт пульсацій – 0,11 %, що не виходить за межі допустимого значення [11].

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку**

Проведене дослідження роботи активного фільтра послідовного типу з

імпульсною системою керування за допомогою комп'ютерної моделі в середовищі MATLAB показало, що застосування такої схеми фільтра дозволить підвищити якість електричної енергії в контактній мережі постійного струму за рахунок замкнутої структури автоматичного регулювання, що забезпечує компенсацію гармонік напруги та струму контактної мережі в широкому діапазоні частот. Таким чином досягається необхідний рівень електромагнітної сумісності із суміжними електроустановками.

### Список використаних джерел

1. Щербак, Я.В. Аналіз динамічних характеристик комбінованого фільтра тягової підстанції [Текст] / Я.В. Щербак, Ю.О. Семененко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, №142. – 2013 р. – С. 137-143.
2. Щербак, Я.В. Активна фільтрація вихідної напруги тягової підстанції постійного струму [Текст] / Я.В. Щербак, Ю.О. Семененко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, №127. – 2011 р. – С. 146-151.
3. Губаревич, В.Н. Основы проектирования активных энергетических фильтров [Текст] / В.Н. Губаревич, В.М. Рябенский, А.А. Шерман // АН УССР. – К.: ИЭД, 1979. – №192. – 44 с.
4. Design considerations for maintaining DC side voltage of hybrid active power filter with injection circuit/ A.Luo, Z.Shuai, J.Shen [et. al.]// Power Electronics, IEEE Transactions.- 2009.- vol. 24.- P. 75-84.

5. Гусев, И.И. Активный фильтр компенсационного типа для мощных вентильных преобразователей [Текст] / И.И. Гусев, А.А. Шерман, Г.В. Ахвердян [и др.] // ЭП. Преобразовательная техника. – 1980. – №4. – С. 15-18.
6. G.T. Heydt, Y. Liu, “Second harmonic components in power system voltages and currents”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January 2006, pp. 521-523.
7. Johan Lundquist, On Harmonic Distortion in Power Systems, Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Technical report no 371L, Göteborg, Sweden, P.147. – 2001.
8. Dán A. Filtering of harmonics generated by thyristor controlled AC traction systems/ A. Dán, J. Kisvölcsy, Gy. Varjú// In Proc. II. International Conference on Harmonics in Power Systems, pp.404-413., Winnipeg, 6-7.- October, 1986.
9. Ludbork Allan Harmonic filtered for notch reduction // IEEE IAS 21-th Annu. Denver. – P. 1043 – 1047.
10. Stephen M. Williams, Richard G. Hoff. Discrete controlled harmonic and reactive power compensator // IEEE/ IAS 23-th Annu Mact. Pittsburgh (Pennselvania). – Oct. 1988. – P. 881 – 887.
11. ЦЕ-0024 Інструкція з технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення та секціонування електрифікованих залізниць, затверджена наказом Укрзалізниці [Текст] від 21.12.2007 року № 618-Ц.

Рецензент д-р техн. наук, професор Я.В.Щербак

---

Семененко Юрій Олександрович, аспірант кафедри автоматизованих систем електричного транспорту  
Українського державного університету залізничного транспорту.  
Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: [slider2012@i.ua](mailto:slider2012@i.ua)

Semenenko Yuriy Oleksandrovich, Postgraduate Department automated electric vehicle Ukrainian State  
University of Railway Transport  
tel.: (057) 730-10-74. E-mail: [slider2012@i.ua](mailto:slider2012@i.ua)

*Стаття постуила 21.04.2015*