

УДК 621.314.58

С. В. Король, канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ АКТИВНИМ КОРЕКТОРОМ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ ПРИ ЗМЕНШЕННІ ЄМНОСТІ В ЛАНЦІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Анотація. Виконано порівняльне тестування двох алгоритмів керування активним коректором коефіцієнта потужності. Встановлено, що алгоритм керування, оснований на формуванні повної енергії перетворювача, забезпечує стійку роботу при ємності в ланці постійного струму у три рази меншій порівняно із стандартним алгоритмом.

Ключові слова: активний коректор, коефіцієнт потужності, гармонічні спотворення, реактивна потужність, широтно-імпульсна модуляція, ланка постійного струму, керований перетворювач, векторне керування, ємність, якість енергії, мостовий перетворювач

S. Korol, PhD.

RESEARCH OF CONTROL ALGORITHMS FOR ACTIVE POWER FACTOR CORRECTOR ON DECREASING OF DIRECT CURRENT LINK CAPACITANCE

Abstract. A comparative test of two control algorithms for active power factor corrector is fulfilled. Established that the control algorithm based on forming of converter full power provides the stable operation with capacity of direct current link three times smaller comparatively to the standard algorithm.

Keywords: active corrector, power factor, harmonic distortion, reactive power, pulse-width modulation, direct current link, controlled converter, vector control, capacity, quality of energy, bridge converter

С. В. Король, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ КОРРЕКТОРОМ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ЁМКОСТИ В ЗВЕНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Аннотация. Выполнено сравнительное тестирование двух алгоритмов управления активным корректором коэффициента мощности. Установлено, что алгоритм управления, основанный на формировании полной энергии преобразователя, обеспечивает устойчивую работу при емкости в звене постоянного тока в 3 раза меньше по сравнению со стандартным алгоритмом.

Ключевые слова: активный корректор, коэффициент мощности, гармонические искажения, реактивная мощность, широтно-импульсная модуляция, звено постоянного тока, управляемый преобразователь, векторное управление, емкость, качество энергии, мостовой преобразователь

Вступ. Зростаючі вимоги з боку енергогенеруючих компаній до споживачів електричної енергії надають актуальності корекції коефіцієнту потужності чи компенсації реактивної потужності, що споживається з мережі [1 – 3]. В той же час більшість споживачів електричної енергії на даний час не мають технічних засобів для мінімізації споживання реактивної потужності. В таких умовах корекція коефіцієнту потужності можлива за рахунок повної заміни перетворювачів і модернізації систем живлення споживачів, які підключаються безпосередньо до мережі, або за рахунок паралельного підключення активного коректора коефіцієнта потужності (АККП). Однією з перспективних силових топологій для промислової реалізації корекції коефіцієнта потужності є трифазна мостова схема з шістьма транзисторами і з конденсатором у ланці постійного струму [4]. Найбільш часто керування такими перетворювачами базується на лінеаризованій моделі із застосуванням двоконтурної системи керування в якій зовнішній контур регулювання напруги в ланці постійного струму формує задання для внутрішнього контуру регулювання актив-

ного струму [5 – 8]. Величина реактивної компоненти вхідного струму перетворювача регулюється за допомогою окремого регулятора II чи III типу. Застосування лінеаризованих моделей призводить до зменшення області стійкості алгоритмів керування. Запас стійкості зазвичай забезпечують збільшенням ємності конденсатора в ланці постійного струму, яка зменшується протягом експлуатації, а швидкість зменшення суттєво залежить від температури конденсатора. Тому дослідження роботи алгоритмів при зменшенні ємності в ланці постійного струму є актуальним.

Мета роботи. Виконати повномасштабне дослідження алгоритмів керування активним коректором коефіцієнта потужності в номінальних умовах та при зниженні ємності в ланці постійного струму.

Результати досліджень. На основі концепції формування повної енергії перетворювача [9], запропоновано лінеаризуючий зворотнім зв'язком нелінійний алгоритм керування АККП [10]. Для порівняння обрано типовий алгоритм з III регулятором напруги та покращеним векторним алгоритмом керування вхідними струмами, що наведено у [11]. Дослідження виконувалося з використанням моделі представленої на рис. 1, яка розроблена в Matlab / (Simulink + SimPowerSystems).

© Король С.В., 2014

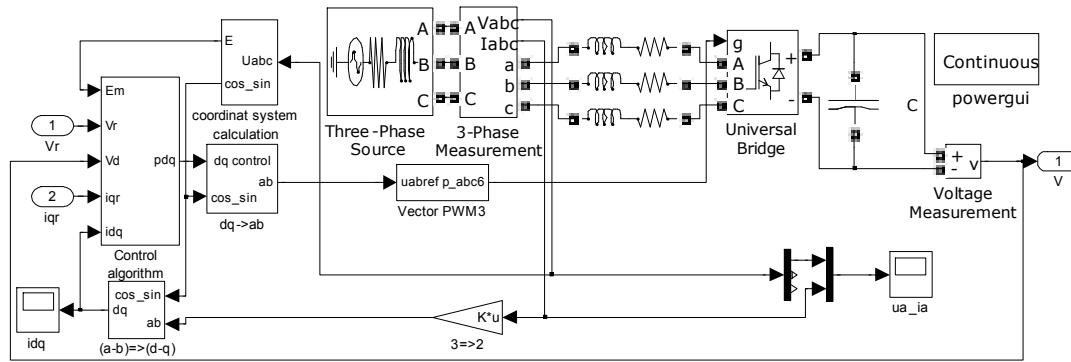


Рис. 1. Модель системи для дослідження алгоритмів керування АККП

Розроблена модель враховує перехідні процеси в електричних колах, процеси викликані комутацією силових ключів, дискретний принцип формування напруги на вході перетворювача та реалізує векторний принцип формування ШІМ. Силова частина складається з трифазного джерела з амплітудою напруги $E = 310$ В, частотою 50 Гц; вхідного фільтра з індуктивністю $L = 0,01$ Гн і активним опором $R = 1$ Ом, повністю керованого перетворювача на IGBT ключах IRF IRG4PH40KD з векторною ШІМ на частоті 10 кГц, і конденсатора $C = 1000$ мкФ, який на початку заряджений до 540 В.

Налаштувальні параметри у алгоритмі [10] мали значення: $k_x = 82600$; $k_{xi} = 4.5 \cdot 10^6$; $k_y = 500$, а у алгоритмі [11] $k_{ui} = 0,3$; $k_{uii} = 20$; $k_{id} = 800$ і в обох алгоритмах $k_{iq} = 800$; $k_{iqi} = 2,5 \cdot 10^5$. Параметри обох алгоритмів підбрані так, щоб забезпечити однакову швидкодію. Досліджувалася робота двох алгоритмів керування АККП при завданнях реактивної компоненти вхідного струму 20 А і -20 А, які подаються в 0,2 с і 0,4 відповідно, як показано на рис. 2.

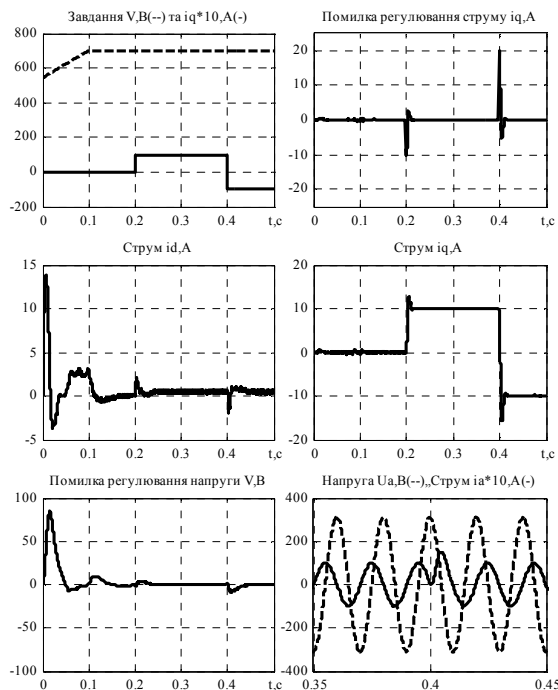


Рис. 2. Тест алгоритму [10] при $C = 1000$ мкФ

При роботі з ємністю 1000 мкФ алгоритми забезпечують співвимірну швидкодію і точність керування реактивною компонентою вхідного струму, тому на рис. 2

наведено результат тільки для алгоритму [10]. Дослідження впливу зменшення ємності в ланці постійного струму виконувалось шляхом зміни значення C в електричній схемі без корегування його значення в алгоритмі. В результаті виявлено поступове погіршення гармонічного складу вхідного струму при наближенні до межі стійкості, рис.3. Точність регулювання реактивної компоненти струму суттєво не змінюється. Мінімальне значення ємності для алгоритму [11] визначено на рівні 200 мкФ, а для алгоритму [10] – 60 мкФ.

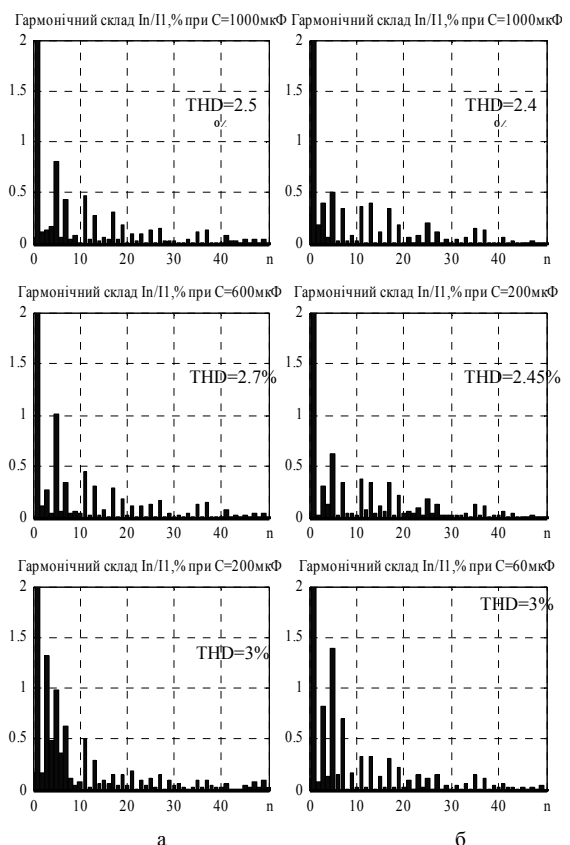


Рис. 3. Гармонічний склад струму при зменшенні ємності:

а) типовий алгоритм [11]; б) запропонований [10]

Висновки. В результаті дослідження з використанням розробленої деталізованої моделі АККП встановлено, що запропонований алгоритм зберігає стійкість при ємності в ланці постійного струму в три рази меншій ніж необхідна для стійкої роботи алгоритму на основі лінеаризованої моделі.

Список використаної літератури

1. Kolar J.W., and Friedli T., (2013), The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems, Part I, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 28, pp. 176 – 198.
2. Singh B., Singh B.N., Chandra A., Al-Haddad K., Pandey A., and Kothari D.P., (2014), Review of Three-Phase Improved Power Quality AC–DC Converters, Singh B., *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 51, No. 3, pp. 641 – 660.
3. Qiao C., and Smedley K.M., (2002), A General three-phase PFC Controller for Rectifiers with a parallel-connected Dual Boost Topology, *IEEE Trans Power Electronics*, Vol.17, No. 6, pp. 925 – 934, doi: 10.1109/TPEL.2002.805582
4. Friedli T., Hartmann M., and Kolar J.W., (2014), The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems, Part II, *IEEE Trans. Power Electr.*, Vol.29, pp. 543 – 560.
5. Draou A., Sato Y., and Kataoka T., (1994), New Approach to Current Control of AC-to-DC Voltage-Type Converters, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 141, No. 6, pp. 275 – 283.
6. Veas D.R., Dixon J.W., and Ooi B.T., (1994), A Novel Load Current Control Method for a Leading Power Factor Voltage Source PWM Rectifier, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 9, No. 2, pp. 153 – 159.
7. Guo J., Zhang L., and Deng F., (2007), Decoupled Control of the Active and Reactive Power in Three-Phase PWM Converter Based on Inverse System Theory, *Automation and Logistics IEEE Inter. Conference on 2007*, pp. 714 – 718.
8. Краснов И. Ю., Проектирование активного корректора коэффициента мощности и имитационное моделирование его работы / И. Ю. Краснов, В. Н. Черемисин // Известия Томского политехнического университета. Томск : – 2009. – Т. 314. – № 4 – С. 92 – 97.
9. Пересада С. М. Новая концепция управления входным преобразователем: формирование полной энергии преобразования / С. М. Пересада, С. В. Король // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2002. – Ч. 1. – С. 66 – 70.
10. Король С. В. Управление активным корректором коэффициента мощности путем формирования энергии преобразования / С. В. Король // Вісник Нац. технічного ун-ту «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія : Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Харків : – 2013. – № 36 (1009). – С. 396 – 397.
11. Король С. В. Сравнительное исследование алгоритмов управления входным преобразователем / С. В. Король, О. В. Сергиенко // Тематичний вип. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». Науково-технічний журнал «Електротехніческие и компьютерные системы» – Одесса : Техника. – 2011. – № 03(79). – С. 317 – 318.

Отримано 14.07.2014

References

1. Kolar J.W., and Friedli T., (2013), The Essence of three-phase PFC Rectifier Systems, Part I, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 28, pp. 176 – 198.
2. Singh B., Singh B.N., Chandra A., Al-Haddad K., Pandey A., and Kothari D.P., (2014), Review of Three-Phase

Improved Power Quality AC–DC Converters, Singh B., *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 51, No. 3, pp. 641 – 660.

3. Qiao C., and Smedley K.M., (2002), A General three-phase PFC Controller for Rectifiers with a Parallel-connected Dual Boost Topology, *IEEE Trans Power Electronics*, Vol.17, No. 6, pp. 925 – 934, doi: 10.1109/TPEL.2002.805582

4. Friedli T., Hartmann M., and Kolar J.W., (2014), The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems, Part II, *IEEE Trans. Power Electr.*, Vol.29, pp. 543 – 560.

5. Draou A., Sato Y., and Kataoka T., (1994), New Approach to Current Control of AC-to-DC voltage-type Converters, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 141, No. 6, pp. 275 – 283, doi: 10.1049/ip-epa:19941477.

6. Veas D.R., Dixon J.W., and Ooi B.T., (1994), A Novel Load Current Control Method for a Leading Power Factor Voltage Source PWM Rectifier, *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 9, No. 2, pp. 153 – 159.

7. Guo J., Zhang L., and Deng F., (2007), Decoupled Control of the Active and Reactive Power in Three-phase PWM Converter Based on Inverse System Theory, *Automation and Logistics IEEE Inter. Conference on 2007*, pp.714 – 718, doi:10.1109/ICAL.2007.4338657.

8. Краснов И.Ю., and Черемисин В.Н. Проектирование активного корректора коэффициента мощности и имитационное моделирование его работы [Design Active Power Factor Corrector and Simulation of its Work], 2009, *Izvestija Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta*. Tomsk, Russian Federation, Vol. 314, No. 4, pp. 92 – 97 (In Russian).

9. Peresada S.M., and Korol' S.V. Novaya kontseptsiya upravleniya vhodnym preobrazovatelem: formirovanie polnoy energii preobrazovaniya, [New Concept of Input Converter Control: the Formation of the total Energy Conversion], (2002), *Tehnichna Elektrodinamika. Temat. Vipusk „Silova Elektronika ta Energoefektivnist”*, Vol. 1, pp. 66 – 70 (In Russian).

10. Korol' S.V. Upravlenie aktivnym korrektorom koeficienta moshhnosti putem formirovaniya jenerгии preobrazovaniya [Active Power Factor Corrector Control by Formation of Conversions Energy], (2013), *Visnyk NTUU “KhPI”, Ceriya: Problemy Avtomaty-zovanoho Elektropyvoda Teoriya and Praktyka*, Kharkiv, Ukraine, No. 36 (1009), pp. 396 – 397 (In Russian).

11. Korol' S.V., and Sergienko O.V. Sravnitel'noe issledovanie algoritmov upravleniya vhodnym preobrazovatelem [Comparative Test of Control Algorithms for the Input Converter], (2011), *“Problemy Avtomatizovanogo Elektropyvoda. Teorija i Praktika” Zhurnalu “Jeletrotehnicheskie and Komp'juternye Sistemy”*, Odessa, Ukraine, *Tehnika*, No. 03(79), pp. 317 – 318 (In Russian).



Король
Сергій Вікторович, канд. техн. наук,
доц. каф. автоматизації електромеханічних систем та електроприводу Нац. технічного ун-ту України «Київський політехнічний ін-т».
(03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37),
Тел. 380949249782.
E-mail: svkorol@ukr.net