

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ЧОТИРИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

В. В. Михайленко, Ю. М. Чуняк, О. С. Черняк

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

Проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах напівпровідниковими з комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів в напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах. Стаття присвячена розвитку метода багатопараметричних функцій шляхом розробки нових математичних моделей та визначення функцій і алгоритмічних рівнянь для аналізу за підсистемними складовими електромагнітних процесів у розгодуваних електричних колах з напівпровідниковими комутаторами і ланками з синусоїдальними, постійними і імпульсними напругами.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, багатопараметричні модулюючі функції, напівпровідникові комутатори, моделювання.

Вступ

Успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою перемикання вентилів значно більшою від частоти промислової мережі [1-14].

Дослідження показників різного виду виконавчих елементів слідкуючих систем на основі високомоментних двигунів постійного струму (ДПС) серій 2П та ПВ і трифазних асинхронних двигунів серії 4А, які випускаються промисловістю серійно, показують, що за умови однакових показників за масою та габаритами в діапазоні потужностей від 100 Вт до 500 кВт, у слідкуючих системах доцільніше використовувати ДПС, що дозволяє підвищити продуктивність технологічних процесів. При цьому швидкодія та динамічна точність слідкуючих систем в основному визначаються функціональними можливостями напівпровідникових перетворювачів (НПП) електроенергії у процесах формування та регулювання їхніх вихідних напруг.

У роботах [2,3] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних

пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги.

Метою роботи є виконання аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами та розробка математичної моделі напівпровідникового перетворювача з електромеханічним навантаженням.

Аналіз електромагнітних процесів Общие правила подготовки статей

При допущенні про відсутність статичних і динамічних втрат електроенергії в напівпровідникових комутаторах вони залишаються нелінійними елементами. Але у такому випадку аналіз усталених і перехідних процесів між комутаціями можна досліджувати як процеси у лінійних колах. Методи аналізу перехідних процесів ускладнюються при збільшенні кількості реактивних елементів в незалежних контурах. Використання класичних методів розрахунку перехідних процесів дуже ускладнюється, якщо кількість реактивних елементів стає більше двох, а при необхідності урахування комутаційних втрат електроенергії у колах з комутаторами таких розрахунків стає неможливим.

Метод БМФ [2] уявляє реальне подання алгоритмів функціонування більшості пристроїв перетворювальної техніки, коли процеси формування вихідних напруг можна подати алгоритмі-

© Михайленко В. В., Чуняк Ю. М., Черняк О.
С.2018

чними рівняннями, що відображають процеси одно- чи багатократною модуляції напруг системи електроживлення різного роду еквівалентними модулюючими впливами. БМФ своєю назвою відображає як специфіку його використання для цілого класу НПП з багаторозгалуженими структурами, так і фізичну суть перетворення енергії – саме за рахунок організації різного виду модуляційних процесів. Еквівалентні модулюючі впливи, як зовнішні впливи з боку систем управління, представляються БМФ, аргументами яких є системні параметри систем управління та час. БМФ подаються знаковими функціями одиничної амплітуди, які відображають у найпростішому випадку імпульси прямокутної форми, що реалізують в результаті різні види модуляції напруги мережі живлення. Процеси модуляції подаються операціями множення зовнішніх впливів з боку мережі живлення на відповідні зовнішні впливи з боку систем управління. Процеси регулювання вихідних напруг та перехідні режими роботи НПП моделюються за рахунок відповідного подання БМФ та напруг мережі живлення.

Для вирішення задач такого класу виникла потреба удосконалити (розвинути) метод багато параметричних функцій, які входять до алгоритмічних рівнянь усталених і перехідних процесів у розгалужених електричних колах напівпровідниковими комутаторами. Для цього треба було розробити нові математичні моделі для швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на характер перехідних процесів у колах перетворювачів, які можуть мати ємнісні накопичувачі енергії. Важливо було визначити вплив початкової енергії та кількості реактивних елементів в електричних колах на характер перехідних процесів та на вихідні параметри перетворювачів.

Використання різних методів розрахунку усталених і перехідних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами визначаються доцільністю їх використання для досягнення високих енергетичних, динамічних, технічних і експлуатаційних характеристик напівпровідникових перетворювачів (НПП). Такі перетворювачі модуляційного типу здатні без зміни централізованої структури силової частини, що формує високочастотну змінну напругу, формувати на навантаженні високочастотну широтно-імпульсну напругу.

Структурна схема перетворювача наведена на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних напруг A , B і C відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, який підключений на вихід СМ, навантаження D – двигун постійного струму потужністю 50 кВт, який підключений до широтно-

імпульсної випрямленої напруги 1760 В. Сукупність СМ, підімкнених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних на виході послідовно, представляє собою ланку високої частоти перетворювача.

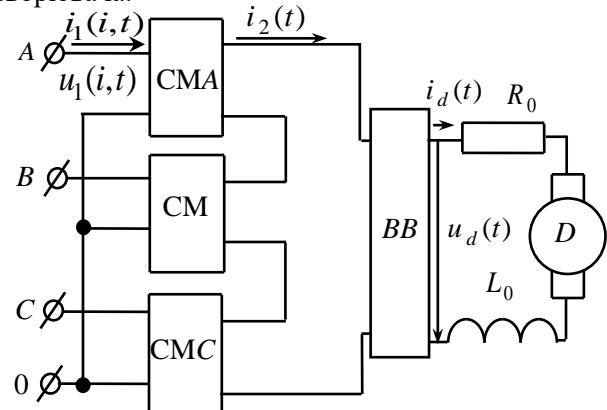


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Особливістю НПП з багатозонним регулюванням вихідної напруги є багаторозгалуженість внутрішніх структур їхніх силових частин (рис. 2). Так, силова частина НПП, навіть за умов однозонного регулювання вихідної напруги, має три мостових інвертори випрямлених напруг (ІВН) мережі живлення, кожний з яких містить по дві стійки на ключах постійного струму, що в сукупності складає дещо ціле і має межі, як система, яку можна виділити з середовища надсистеми. Середовище містить: первинну систему електроживлення, власне НПП, як систему перетворення енергії, СУ та ДПС, як систему, що має свої особливості. На першому етапі досліджень робимо припущення про ідеальність ключових елементів НПП, про необмежену потужність і симетрію ПСЕЖ, та про значно більшу вихідну потужність НПП відносно навантаження; транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат.

На структурній схемі СМ (рис. 2) позначено T – це узгоджувальні трансформатори, необхідні для розв'язки мережі і навантаження.

При реалізації ШПР вихідної напруги перетворювача силові ключі ІВН, які входять до складу СМ, за умов їхнього управління імпульсами напруги типу “меандр” приймають участь у двох процесах перетворення енергії, а саме: у споживанні енергії навантаженням (у провідному стані знаходяться відповідні пари транзисторів ІВН) та розсіянні енергії в контурі навантаження (у провідному стані знаходяться відповідні пари, що складаються з транзисторів та діодів ІВН). Величини напруг, що прикладаються до первинних обмоток узгоджувальних трансформаторів ІВН відрізняються від рівня напруги жи-

Діаграми струмів кола якоря ДПС НПП наведені на рис. 3.

Вихідний струм $i_2(t)$ визначаємо з співвідношення

$$i_2(t) = i_{d_k}(t) \psi_{BB}(t). \quad (5)$$

Враховуючи (5) вхідні струми $i_1(n, i, t)$ знаходимо з виразу

$$i_1(n, i, t) = \frac{i_2(t) \psi_B(i, t) \psi(n, N, t)}{k_T}, \quad (6)$$

Для визначення струмів i -х фаз мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги НПП підсумуємо вхідні струми ІВН, що беруть участь у процесі регулювання вихідної напруги в кожній з i -ї фази, згідно з виразом (6). Загальний вираз для струмів i -х фаз подамо у вигляді

$$i_1(i, t) = i_1(1, i, t) + i_1(2, i, t) + \dots + i_1(N, i, t), \quad (7)$$

де: $i_1(1, i, t)$, $i_1(2, i, t)$, $i_1(N, i, t)$ – вхідні струми інверторів i -х фаз на інтервалах першої, другої, та N -ї зони регулювання.

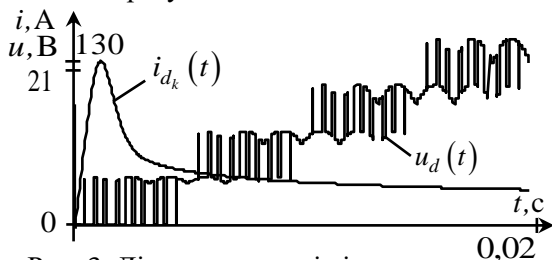


Рис. 3. Діаграми струмів і напруг кола якоря ДПС

Діаграми вхідних струмів та напруг, побудовані за (7), представлені на рисунку 4.

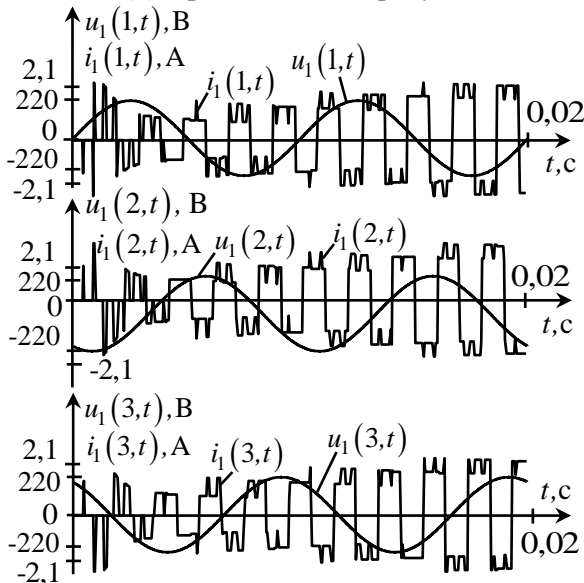


Рис. 4. Діаграми вхідних струмів i -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Використання багатопараметричних модулюючих функцій в математичних моделях електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами дозволяє формалізовано визначати струми в колах інверторів та інших напівпровідникових ланок кожного із силових модулів випрямлених напруг.

Для структурної організації НПП з високочастотним широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги доцільно використовувати ІВН для формування проміжної високочастотної напруги. При цьому для моделювання та аналізу процесів регулювання напруги у силовому тракті попереднього формування постійної напруги ефективним є застосування математичної моделі процесу формування вихідної напруги, розробленої на основі методу багатопараметричних модулюючих функцій, тому що без використання цього методу ми не можемо формалізовано знайти струми через транзистори ІВН.

Для узагальнення результатів досліджень електромагнітних процесів у НПП з високочастотним широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги доцільно проводити подання багатопараметричної модулюючої функції ІВН синхронно з множиною розгортаючих напруг, а також з координатами періодів високочастотної та низькочастотної комутації силових ключів і множини напруг управління.

Створено нові схемотехнічні рішення напівпровідникових комутаторів з високочастотним широтноімпульсним регулюванням їх вихідної напруги при зміні параметрів навантаження в широких межах, які дозволили підвищити швидкодю електротехнологічних систем.

Проведений системний аналіз електромагнітних процесів у електричних колах напівпровідникових перетворювачів дозволяє виконувати моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи напівпровідникові перетворювачі, як систему зі своєю структурною побудовою.

Однією з найбільш важливих науковоприкладних задач при розробці параметрів електроенергії для технологічних установок електроімпульсної обробки різних матеріалів є задача дослідження перехідних процесів в напівпровідникових перетворювачах (НПП) [1, 2, 6]. В зв'язку з необхідністю дослідження їх електромагнітних процесів доцільним є використання спеціалізованих математичних моделей.

Висновки

1. Розвинуто метод багатопараметричних функцій для системного аналізу усталених і перехідних процесів в електричних колах напівпровідникових перетворювачів з електромагнітних процесів у напівпровідникових

перетворювачах з високочастотним широтно-імпульсним регулюванням напруги мережі електроживлення на основі використання алгоритмічних рівнянь багатопараметричних функцій, аргументами яких є системні параметри напівпровідникових комутаторів (діодів, тиристорів та транзисторів), напруг управління, кутів управління, фаз мережі живлення і час.

2. Визначено функції, використання яких при дослідженнях усталених і перехідних процесів у розгалужених електричних колах відображає своїми дискретними параметрами побудову кіл за підсистемними складовими, що дозволило спростити процес моделювання за рахунок узагальнення отриманих рівнянь для множин цих складових та елементів при дії зовнішніх факторів.

Список использованной литературы

1. Макаренко, Н. П. Математическая модель процесса формирования выходных напряжений преобразователей частоты / Н. П. Макаренко, Г. Абарка // *Электроника и связь*. – 1999. – № 6, Т. 2. – С. 60–64.
2. Макаренко, М. П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М. П. Макаренко, В. І. Сенько, М. М. Юрченко – К. : НАН України, ІЕД, 2005. – 241 с.
3. Hossein Hojabri, Hossein Mokhtari and Luichen Chang. A Generalized Technique of Modeling, Analysis, and Control of a Matrix Converter Using SVD, *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, 2011, vol. 58, no. 3, pp. 949–959.
4. Розискулов, С. С., Михайленко В. В., Перетятко Ю. В. Змінення тривалості перехідних процесів розряду конденсатора для регулювання параметрів біполярних імпульсних струмів у навантаженні // *Техн. Електродинаміка*. – 2016. – № 4. – С. 41 – 43.
5. . Перетятко, Ю. В., Супруновська, Н. І., Розискулов, С. С., Михайленко, В. В., Чибеліс, В. І., Олійник, В. С. Змінення тривалості перехідних процесів у розрядних колах конденсатора змінення моментів включення напівпровідникових комутаторів у його зарядних колах // *Техн. Електродинаміка*. – 2017. – № 5. – С. 41–49.
6. Сенько, В. І., Михайленко, В. В., Юрченко, М. М., Юрченко, О. М., Чуняк, Ю. М. Аналіз електромагнітних процесів у колах з напівпровідниковими перетворювачами з сімнадцятизонним регулюванням вихідної напруги // *Техн. Електродинаміка*. – 2016. – № 5. – С. 23 – 25.
7. Hossein Hojabri, Hossein Mokhtari and Luichen Chang. Reactive power control permanent-magnet synchronous wind generator with matrix converter, *IEEE Trans. On Power Delivery*, vol. 28, no. 2, pp. 575–584.
8. Zarri, L., Mengoni, M., Toni, A. and Ojo, J.O. Range of the linear modulational in matrix converters, *IEEE Trans. On Power Electronics*, 2014, vol. 29, no. 6, pp. 3166-3178.
9. Щерба, А. А. Энергетические характеристики суперконденсаторов при их заряде от источника напряжения и разряде на резистивную нагрузку / А. А. Щерба, Н. И. Супруновская, О. А. Белецкий // *Пра-*

ці інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2014. – Випуск 39 – С. 65–73.

10. Пушкар, М. В. Регулювання напруги асинхронних генераторів з самозбудженням за допомогою сімісторно-комутованої конденсаторної батареї / М. В. Пушкар, С. О. Бур'ян, В. В. Михайленко // *Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України*. – 2014. – Випуск 39 – С. 52–56.

11. Shakweh, Y., Lewis, E. A. Assessment of medium voltage PWM VSI topologies for multi-megawatt variable speed drives applications, *Proc. IEEE-PESC'99 Conf.*, 1999, pp. 590–595.

12. Wheeler, P. W., Wheeler, P. W., Clare, J. C., Empringham L., Bland M. The Technology and Potential of Matrix Converters *Power Electronics Europe*, 2001, vol 5, pp. 25–28.

13. Sinha, G., Lipo, T.A. A four level inverter based drive with a passive front end. *Proc. IEEE-PESC'99 Conf.*, 1999, pp. 590–595.

14. Pena, R., Clare, J. C., Asher, G. M. A doubly-fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine. *Proc. IEE*, 1996, Part B, Vol. 143, № 5, pp. 380–387.

References

1. Makarenko, N. P., Abarca, G. (1999) Mathematical model process of the shaping the output voltages of the converters of the frequency [Matematicheskaya model processa formirovaniya vyhodnyh napryazheniy preobrazovateley chastoty], *Electronics and relationship*, vol. 6, part. 2, pp. 60–64.
2. Makarenko, M. P., Senko, V. I., Yurchenko M. M. (2005) System analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter of the electric powers inflexion type [Systemniy analiz elektromagnitnyh procesiv u napivprovodnycovykh peretvoryuvachah elektroenerгии moduljaciynogo typu]. Kyiv, National academy of the sciences of the Ukraine, Institute of electrodinamiks, 241 p.
3. Hossein Hojabri, Hossein Mokhtari and Luichen Chang (2011) A Generalized Technique of Modeling, Analysis, and Control of a Matrix Converter Using SVD, *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, vol. 58, no. 3, pp. 949–959.
4. Rozyskulov, S. S., Mykhailenko, V. V., Peretyatko, J. V. (2016) Change of Duration of Capacitor Discharge Transients for Regulation of Bipolar Pulse Current in Load [Zmineniya trivalosti perekhidnyh procesiv rozryadu kondensatora dlya regulyuvanya parametriv bipolyarnykh impulsnykh strumiv u navantazheni], *Tekhnichna elektrodynamika*, № 4, pp. 41 – 43.
5. Peretyatko, J. V., Suprunovska, N. I., Rozyskulov, S. S., Mykhailenko, V. V., Chybelis, V. I., Oliynyk, V. S. (2017) The Transient Processes Duration Decrease in Capacitor Discharge Circuits by EPY Change of the Switching-On Moments of the Thyristor Switches in its Charge Circuit [Zmineniya trivalosti perekhidnyh procesiv u rozryadnyh kolah

kondensatora zminennyam momentiv vklyuchennya napivprovodnykovykh komutatoriv u yogo zaryadnyh kolah], Tekhnichna electrodynamika, № 5, pp. 41–49.

6. Senko, V. I., Mykhailenko, V. V., Yurchenko, M. M., Yurchenko, O. M., Chuniyak, J. M. (2016) Analiz of the electromagnetic processes in circuit with semiconductor converter with seventeen zoned regulations of the output voltage [Analiz elektromagnitnyh procesiv u kolah napivprovodnykovykh peretvoryuvachamy z simnadcyyatyzonnym reguluyvannyam vyhidnoyi], Tekhnichna electrodynamika, № 5, pp. 23 – 25.

7. Hossein Hojabri, Hossein Mokhtari and Luichen Chang. Reactive power control permanent-magnet synchronous wind generator with matrix converter, IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 28, no. 2, pp. 575–584.

8. Zari, L., Mengoni, M., Toni, A. and Ojo, J.O. (2014) Range of the linear modulational in matrix converters, IEEE Trans. On Power Electronics, vol. 29, no. 6, pp. 3166-3178.

9. Scherba, A. A., Suprunovskaya, N. I., Beleckiy, O. A. (2014) Energy features super capacitor under their charge from source of the voltage and category on resistor load [Energeticheskie charakteristiki superkondensatorov pri ih zaryade ot istochnika napryadzeniya i rozryade na rezistivnyu nagruzku], Works of the institute electric speakers to National academy of the sciences of the Ukraine.

Issue 39, pp. 65–73.

10. Pushkar, M. V., Buryan, S. O., Mihaylenko, V. V. (2014) Regulation of the voltage anisochronous generator with independent excitement by means of simistor commutator to batteries [Regulyuvanya napruga asynhronykh generatoriv z samozbuddzenyem za dopomogoyu simistorno-komutovanoyi batareyi], Works of the institute electric speakers to National academy of the sciences of the Ukraine. Issue 39, pp. 52–56.

11. Shakweh, Y., Lewis, E. A. (1999) Assessment of medium voltage PWM VSI topologies for multi-megawatt variable speed drives applications, Proc. IEEE–PESC'99 Conf., pp. 590–595.

12. Wheeler, P. W., Wheeler, P. W., Clare J. C., Empringham, L., Bland, M. (2001) The Technology and Potential of Matrix Converters. Power Electronics Europe, vol 5, pp. 25–28.

13. Sinha, G., Lipo, T.A. (1999) A four level inverter based drive with a passive front end. Proc. IEEE–PESC'99 Conf., pp. 590–595.

14. Pena, R., Clare, J. C., Asher, G. M. (1996) A doubly-fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine. Proc. IEE Part B, Vol. 143, № 5, pp. 380–387.

MATHEMATICAL MODEL OF THE CONVERTER WITH FOUR ZONES BY REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE AND ELECTRIC MECHANICAL LOAD

V.V. Mykhailenko, Y.M. Chuniyak, O.S. Tcharniak

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract. Analysis of the electromagnetic processes is organized beside this article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis electro-magnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. The brought graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit. Method much parametric functions was used when performing calculation. The mathematical model of the converter is created for twenty zoned regulations of the output voltage. Article is devoted to the development of a method of multi-parametric modulating functions by means of working out of new mathematical models and definition of functions and the algorithmic equations for the analysis on sub-system components of electromagnetic processes in electric circuits of variable structure with sinusoidal, direct and pulsing voltage. Introduction of functions with discrete parameters in the algorithmic equations for analysis of processes in circuits with semiconductor commutators simplifies modeling on subsystem components. The mathematical model of steady-state processes and transients in electric circuits of semiconductor converters of modulation type with multi-channel zonal use of phase and line voltages of a three-phase network of power supplies is developed. The mathematical model of electric circuits of thyristor shapers of electro-discharge pulses for the analysis and the matching of capacitors charging modes with decrease several times of electric resistance of technological load is also created. The obtained results have a great value for development theoretical electrical engineering in a direction of simplification of calculations of electromagnetic processes in electric circuits with semi-conductor converters of the electric power. The Electromagnetic processes in electric circuit under width-pulse regulation possible to analyse with use the algorithmic equations multivariable function, which argument are a system parameters semiconductor commutator, signal of control, phases to network of the power supply and time. Introduction multivariable function with discrete parameter in algorithmic equations of the analysis formed and con-

necting processes in electric circuit of the variable structure allows to reflect change of this structure under system components, simplifying modeling and analysis of such processes to account of the generalization of the got equations. Except specified correlations and diagrams designed model allows to analyse forms of the output voltages and current of the separate power modules.

Keywords: electromagnetic processes, output voltage and current, multi parametric modulating functions, semi-conductor commutators, modeling.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЧЕТЫРЕХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

В. В. Михайленко, Ю. М. Чуняк, О. С. Чарняк

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Аннотация. В этой статье проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создано математическую модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведено графики, которые отражают электромагнитные процессы в электрических цепях. При выполнении расчетов использовался метод многопараметрических функций. Математическая модель преобразователя создана для восьмизонного регулирования выходного напряжения. Статья посвящена развитию метода многопараметрических модулирующих функций путем разработки новых математических моделей и определения функций и алгоритмических уравнений для анализа по подсистемным составляющим электромагнитных процессов в разветвленных электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами и звеньями с синусоидальными, постоянными и импульсными напряжениями.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток, структура, многопараметрические модулирующие функции, полупроводниковые коммутаторы, моделирование.

Отримано 22.03.2018



Михайленко Владислав Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Вул. Руденко, 7, кв. 101, Київ, Україна, E-mail: VladislavMihailenko@i.ua, тел. +38-098-317-93-74

Vladyslav Mykhailenko, PhD in Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of theoretical electrical engineers, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Street Rudenko, 7, Apartment 101, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-0973-4612



Чуняк Юлія Михайлівна, асистент кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, E-mail: J.chunyk@ukr.net, тел. +38-097-309-13-39

Julia Chunya, Assistant of the Department of theoretical electrical engineers, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Avenue Peremogy, 37, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-4506-9124



Чарняк Ольга Сергіївна, студентка кафедри автоматизації енергосистем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, E-mail: Olka_tcharniak@ukr.net, тел. +38-068-060-73-64

Olga Tcharniak, student of the Department of automation of the energy systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Avenue Peremogy, 37, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2793-8966