

УДК 621.314

Михайленко В. В.¹, Чибеліс В. І.², Орлиця Ю. П.³, Трофименко О. Р.⁴¹Канд. техн. наук, старший викладач кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, E-mail:VladislavMihailenko@i.ua.²Канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна³Студ. гр. ЕТ-21, кафедра електричних станцій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна⁴Студ. гр. ТЯ-31, кафедра атомних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ДВНАДЦЯТИПУЛЬСНОМУ НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З П'ЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в дванадцятипульсному напівпровідниковому перетворювачі. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах. При розрахунках використовувався метод багатопараметричних функцій. Навантаження мало активно-індуктивний характер.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, струм навантаження, метод багатопараметричних модулюючих функцій.

ВСТУП

Зміна комутаторів у напівпровідникових пристроях дозволяє використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі [1]. У роботах [2–5] 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 ПЧ для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШПР) постійної напруги при п'ятизонному керуванні.

Метою роботи є створення математичної моделі дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги.

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ

Узагальнена структурна схема напівпровідникового перетворювача (НПП) показана на рис. 1. На структурній

схемі позначено: СМ1 і СМ2 – блоки силових модуляторів фазних і лінійних напруг відповідно; ВВ1 і ВВ2 – високочастотні випрямлячі фазних і лінійних напруг; СК – система керування і Н – навантаження, яке має активно-індуктивний характер. Кожний з блоків СМ має у своєму складі випрямлячі та інвертори, навантажених на узгоджувальні трансформатори.

При складанні математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використовується метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інвертора випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

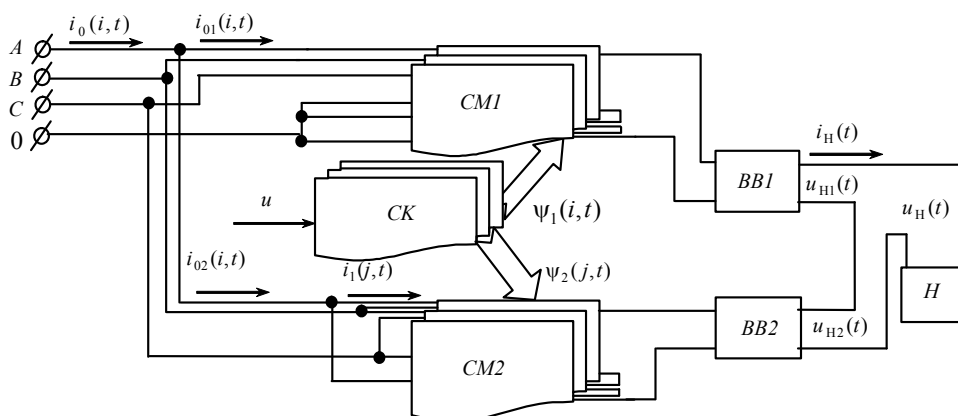


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема НПП

©Михайленко В. В., Чибеліс В. І., Орлиця Ю. П., Трофименко О. Р., 2014

Алгоритмічне рівняння перетворювача записано у публікації [2]:

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \left(\sum_{n=1}^{N=2} \sum_{i=1}^3 u_{11}(i,t) \phi_1(i,t) \psi_1(i,t) v_1(t) + \sum_{n=1}^{N=3} \sum_{j=1}^3 u_{12}(j,t) \phi_2(j,t) \psi_2(j,t) v_2(t) \right) \quad (1)$$

де $i = 1, 2, 3$ і $j = 1, 2, 3$ – номери фазних і лінійних напруг енергетичної мережі відповідно; k_T – коефіцієнт трансформації трансформаторів; $\psi_{B1}(i,t)$ і $\psi_{B2}(j,t)$ – модулюючі функції, які співпадають за часом з фазними і лінійними напругами; $u_{11}(i,t)$ і $u_{12}(j,t)$ – миттєві значення лінійних напруг; $v_1(t)$ і $v_2(t)$ – еквівалентні модулюючі впливи ВВ1 і ВВ2.; $n = 1, 2, 3, \dots, N$ – номери зон регулювання вихідної напруги; N – кількість ІВН в кож-

ному СМ; $\psi_{B1}(i,t) = \text{sign} \left[\sin \left(\omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right]$ –

модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі живлення;

$\psi_{B2}(j,t) = \text{sign} \left[\sin \left(\omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right]$ – модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних лінійних напруг мережі живлення;

$u_{01}(i,t) = E_m \sin \left(\omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right)$ – миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення,

$u_{02}(j,t) = E_m \sin \left(\omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right)$ – миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення, E_m – амплітудне значення фазної напруги; $\omega_1 = 2\pi f_1$ і φ – відповідно кругова частота і початкова фаза напруги живлення; $\psi_1(i,t)$ – множина еквівалентних модулюючих впливів j -х СМ, $\psi_2(j,t)$ – множина еквівалентних модулюючих впливів j -х СМ.

Струм на навантаженні перетворювача знайдемо, як реакцію одноконтурного RL-ланцюга на дію напруги $u_H(t)$

$$i_H(t)R + L \frac{di_H(t)}{dt} = u_H(t), \quad (2)$$

де R і L – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення (2) відносно струму навантаження визначимо числовим методом за допомогою функції `odesolve` математичного процесора `MATHCAD`

$$i_H(t) = \text{odesolve}(t, k, p), \quad (3)$$

де t – час; k – часовий інтервал; p – кількість точок на часовому інтервалі.

Діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за (3) для п'ятизонного регулювання представлені на рис. 2.

Фазні струми $i_{01}(i,t)$ знаходимо з виразу

$$i_{01}(i,t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=2} i_H(t) \psi_{B1}(i,t) \psi_1(i,t) v_1(t)}{k_T}, \quad (4)$$

а лінійні струми $i_{12}(j,t)$ знаходимо з виразу виду

$$i_{12}(j,t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=3} i_H(t) \psi_{B2}(j,t) \psi_2(j,t) v_2(t)}{k_T}. \quad (5)$$

Фазні струми $i_{02}(i,t)$ знаходимо з співвідношень

$$\begin{aligned} i_{02}(1,t) &= i_{12}(1,t) - i_{12}(3,t); \\ i_{02}(2,t) &= i_{12}(2,t) - i_{12}(1,t); \\ i_{02}(3,t) &= i_{12}(3,t) - i_{12}(2,t). \end{aligned} \quad (6)$$

Вхідні фазні струми енергетичної мережі у кожній i -й фазі знаходимо з виразу:

$$i_0(i,t) = i_{01}(i,t) + i_{02}(i,t). \quad (7)$$

Діаграми вхідних фазних струмів перетворювача в координатах напруг енергетичної мережі, побудовані за (7), представлені на рисунку 3.

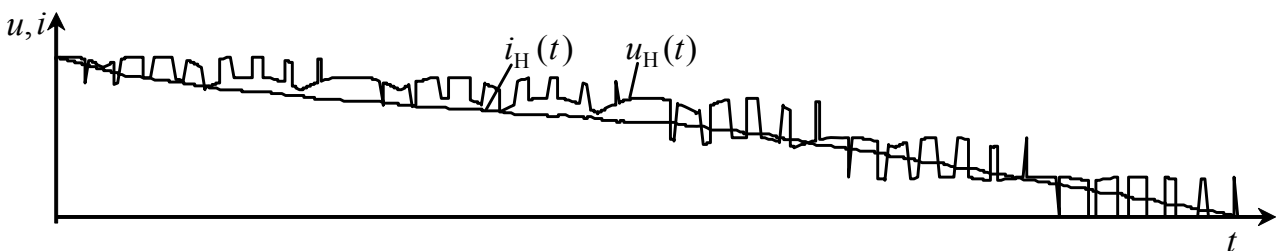
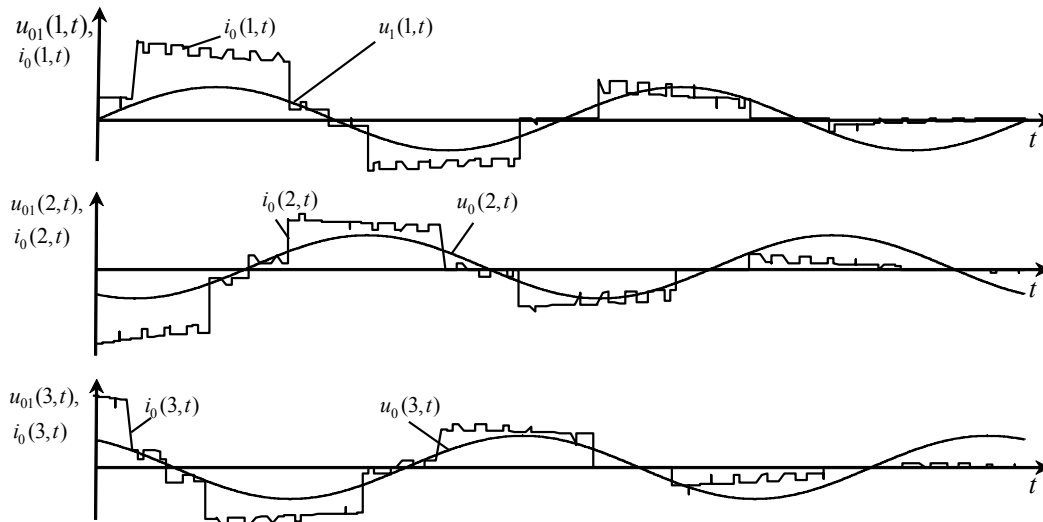


Рисунок 2 – Діаграми струму та напруги навантаження

Рисунок 3 – Діаграми вхідних струмів i -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Таким чином, наведені результати досліджень показують ефективність подання математичної моделі перетворювача відносно напруги навантаження, струму навантаження і струмів, що споживаються з вхідної мережі узагальнюючими функціями багатопараметричного виду. Окрім наведених співвідношень і діаграм розроблена модель дозволяє аналізувати форми напруг і струмів на виході окремих СМ, а також їх елементів у процесі зонного регулювання вихідної напруги перетворювача.

Для того, щоб знайти амплітудні значення струмів через силові транзистори ІВН, достатньо проаналізувати струми $i_{1T}(P, j, t)$ первинних обмоток узгоджувальних трансформаторів, котрі знаходяться в колах протікання струмів через силові транзистори.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювача. У роботі розвинуто метод багатопараметричних функцій в частині розробки нової математичної моделі з багатозонним регулюванням вихідної напруги та визначення модулюючих функцій для аналізу за підсистемними складовими структури електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Макаренко М. П. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Тем. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2002. – Ч. 1. – С. 19–22.
3. Макаренко Н. П. Аналіз електромагнітних процесів в двенадцятипульсному преобразователі с зонным регулированием выходного напряжения / Н. П. Макаренко, В. В. Михайленко, Н. Н. Юрченко // Вестник НТУ «Харьковский политехнический институт». «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – 2002. – Т. 1. – С. 233–234.
4. Макаренко М. П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Електроніка і зв'язь. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
5. Макаренко М. П. Моделювання електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії з урахуванням параметрів мережі живлення / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Тем. вип. «Силовая електроніка та енергоефективність». – 2005. – Ч. 2. – С. 48–51.

Стаття надійшла до редакції 17.11.2014.

Михайленко В. В.¹, Чибелис В. И.², Орлиця Ю. П.³, Трофименко А. Р.⁴

¹Канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры теоретической электротехники Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина,

²Канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической электротехники Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

³Студ. гр. ЕТ-21, кафедра электрических станций Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

⁴Студ. гр. ТЯ-31, кафедра атомных станций и инженерной теплофизики Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВЕНАДЦАТИПУЛЬСНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ПЯТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В этой статье проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создано математическую модель двенадцатипульсного преобразователя 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 пятизонного регулирования выходного напряжения.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток, ток нагрузки, метод многопараметрических модулирующих функций.

Mihaylenko V. V.¹, Chibelis V. I.², Orlytsa Y. P.³, Trofimenko O. P.⁴

¹Ph. D in Technical Sciences, senior teacher of the pulpit theoretical electrical engineers National technical university of the Ukraine «Kiev polytechnic institute», city Kiev, Ukraine

²Ph. D in Technical Sciences, assistant professor of the pulpit theoretical electrical engineers National technical university of the Ukraine «Kiev polytechnic institute», city Kiev, Ukraine

³Student group ET-21, pulpit electric station National of the technical university of the Ukraine «Kiev polytechnic institute», city Kiev, Ukraine

⁴Student group TYA-31, pulpit atomic station and engineering heat physicists of the National technical university Ukraine «Kiev polytechnic institute», city Kiev, Ukraine

ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN TWELVE-POLE CONVERTER WITH FIVE-ZONE REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE

This article presents the analysis of the electromagnetic processes in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model with twelve pulses of the converter is created for analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter with width-pulse regulation of the output voltage. The graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit, are given. The calculation is performed by the method of multivariable function. The mathematical model of the converter is created for five zoned regulations of the output voltage. Using method of multivariable function, current and voltage of the load as well as input current of the converter are found. The converter load has active inductive nature. For the analysis of the converter functioning the algebraic equation for load voltage is used.

Keywords: electromagnetic processes, output voltage and current, current of the load, method of multivariable modulating function.

REFERENCES

1. Makarenko M. P., Senko V. I., Yurchenko M. M. Sistemniy analiz elektromagnitnyh procesiv u napivprovidnykovykh peretvoruvachah electroenergii modulaciyonogo typu. Kyjv, National academy of the sciences of the Ukraine, Institute of electrodinamiks, 2005, 241 p.
2. Makarenko M. P. Mihaylenko V. V. Analiz elektromagnitnyh procesiv u peretvoruvachah z bagatozonnym reguljuvannjam vuhidnoji naprugi funkciyamy bagatoparametruchnogo vydu, *Technicheskaia electrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist. Thematic vypusk*, 2002, Part 1, pp. 19–22.
3. Makarenko N. P., Mihaylenko V. V., Yurchenko N. N. Analiz elektromagnitnyh procesov v dvenadcatipulsnom preobrazovatele s zonnym regulirovaniem vyhodnogo, *Herald national technical «Harikovskiy polytechnic institute». «Problems automated electrodrive. Theory and practice» Publ.*, Kharkov, Ukraine, 2002, Part 1, pp. 233–234.
4. Makarenko M. P., Mihaylenko V. V. Matematychna model peretvoruvacha tryfaznoj naprugi v postinyj naprugi, *Electronics i svjaz*, 2002, No. 14, pp. 73–75.
5. Makarenko M. P., Mihaylenko V. V. Modelyuvannya elektromagnitnyh procesiv u napivprovidnykovykh peretvoruvachah electroenergii z urahuvannjam parametriv meregi guvlennya, *Technicheskaia electrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist. Thematic vypusk*, 2005, Part 2, pp. 48–51.