

УДК 621.314

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ВОСЬМИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ АВАНТАЖЕННЯМ

В. І. Сенько, В. В. Михайленко, К. В. Трубіцин

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
просп. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна. E-mail: VladislavMihailenko@i.ua

М. М. Юрченко, О. М. Юрченко

Інститут електродинаміки Національної академії наук України
просп. Перемоги, 56, Київ, 03056, Україна

Виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах із напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель напівпровідникового перетворювача з електромеханічним навантаженням. Розроблено нові математичні моделі електромагнітних процесів у трифазних електричних колах напівпровідникових перетворювачів із багатоканальним зонним регулюванням фазних напруг без урахування енергетичних втрат у напівпровідникових комутаторах для швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на рівень і форму вихідної напруги. Розвинуто метод багатопараметричних функцій, які входять до алгоритмічних рівнянь аналізу усталених і перехідних процесів у розгалужених електричних колах із напівпровідниковими комутаторами й реактивними елементами в напрямку врахування особливостей використання фазних напруг мережі електроживлення. Для структурної організації напівпровідникових перетворювачів із високочастотним широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги доцільно використовувати інвертори випрямленої напруги для формування проміжної високочастотної напруги. При цьому для моделювання та аналізу процесів регулювання напруги в силовому тракті попереднього формування постійної напруги ефективним є застосування математичної моделі процесу формування вихідної напруги, розробленої на основі методу багатопараметричних модулюючих функцій. Розроблено методики підвищення швидкості регулювання та визначення енергоефективних режимних параметрів напівпровідникових комутаторів електромеханічних систем.

Ключові слова: електромагнітні процеси; вихідні напруга та струм; двигун постійного струму; метод багатопараметричних модулюючих функцій.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Якісне перетворення електричної енергії, а також успіхи в розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частою перемикання вентилів значно більшою від частоти змінної напруги промислової мережі [1]. 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 при восьмизонному керуванні.

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

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Структурну схему перетворювача наведено на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних напруг A , B і C відповідно; ВВ – високочастотний випрямляч; навантаження D – двигун постійного струму (ДПС). Сукупність СМ, підімкнених до енергетичної мережі паралельно й з'єднаних на виході послідовно, є ланкою високої частоти перетворювача.

При складанні математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використовуємо метод багатопараметричних модулюючих функцій, який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймаємо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інверторів випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат.

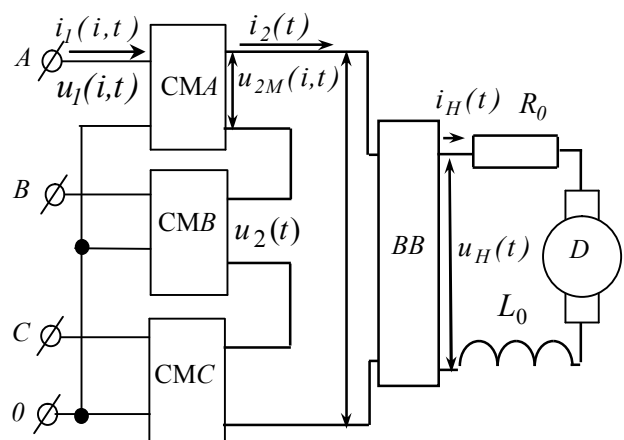


Рисунок 1 – Структурна схема напівпровідникового перетворювача

Вихідну напругу НПП знаходимо з виразу виду

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^3 u_i(i,t) \psi_B(i,t) \psi(n,N,t) \psi_{BB}(t), \quad (1)$$

де $u_i(i,t)$ – миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення; $\psi_B(i,t)$ – функції прямокутного синуса, що співпадають за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі; $n = 1, 2, 3, \dots, N$ – номери зон регулювання вихідної напруги; $\psi(n, N, t)$ – множина еквівалентних модулюючих впливів i -х інверторів CM ; $\psi_{BB}(t)$ – функція прямокутного синуса, що співпадає за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти напівпровідникового перетворювача (НПП); k_T – коефіцієнт трансформації вихідних трансформаторів CM .

Двигун постійного струму (ДПС), що задає вихідний струм НПП, описується системою алгебраїчних рівнянь, яка подає миттєві значення струму кола якоря та його кутової швидкості з урахуванням пускового режиму у вигляді

$$\begin{pmatrix} i_{H_k}(t) + \frac{2(c(t) - \varepsilon_{ch})}{a_1} - \frac{2\varepsilon_a}{a_1} i_{H_k}(t) - \frac{2}{a_1} n_k(t) i_{H_k}(t) - \frac{2}{a_1 a_3} i_{H_k}^3(t); \\ i_{H_{k+1}}(t) \\ n_{k+1}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_k(t) + \frac{4(c(t) - \varepsilon_{ch}) i_{H_k}(t)}{a_1 a_3} - \frac{2\varepsilon_M}{a_3} n_k(t) + \frac{2}{a_3} i_{H_k}^2(t) - \frac{2}{a_1 a_3} i_{H_k}^2(t) n_k(t) - \frac{2\varepsilon_{M0}}{a_3}, \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де $i_{H_k}(t)$, $i_{H_{k+1}}(t)$, $n_k(t)$, $n_{k+1}(t)$ – струм якоря та кутова швидкість обертання ДПС на k -ому та в $k+1$ -ому інтервалі відповідно; ε_{ch} , ε_a – відносні падіння напруги на щітках і обмотці якоря; ε_M , ε_{M0} – відносні моменти опору на валу; $c(t) = \frac{u_H(t)}{E}$ – відносне значення напруги на якорі; $u_H(t)$ та E – відповідно миттєві значення вихідної напруги НПП та проти-ЕРС; $a_1 = \varepsilon_a + \frac{2T_{ab}}{\Delta t}$, $a_3 = \varepsilon_M + \frac{2T_M}{\Delta t}$; T_{ab} та T_M – електромагнітна та механічна постійні часу двигуна; Δt – інтервали часу, за якими проводяться розрахунки процесів.

Система (2) вирішується за допомогою методу припасовування з попереднім записом початкових умов при $t = 0$ та припущеннями відносно лінійної залежності моменту опору на валу двигуна від шви-

дкості обертання й лінеаризованої кривої намагнічування.

Діаграми струмів кола якоря ДПС для випадку восьмизонного регулювання вихідної напруги НПП наведені на рис. 2. Крива 1 відображає струм кола якоря в процесі пуску ДПС під дією максимальної величини напруги (3), а крива 2 – струм кола якоря в процесі пуску ДПС під дією напруги (3) з восьмизонним широтно-імпульсним регулюванням (ШІР).

Вихідний струм $i_2(t)$ визначаємо із співвідношення

$$i_2(t) = i_{H_k}(t) \psi_{BB}(t). \quad (3)$$

Вхідні струми $i_j(n,i,t)$ знаходимо з виразу

$$i_j(n,i,t) = \frac{i_2(t) \psi_B(i,t) \psi(n,N,t)}{k_T}. \quad (4)$$

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. Загальний вираз для струмів i -х фаз мережі подамо у вигляді

$$i_l(i,t) = i_l(1,i,t) + i_l(2,i,t) + \dots + i_l(N,i,t), \quad (5)$$

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

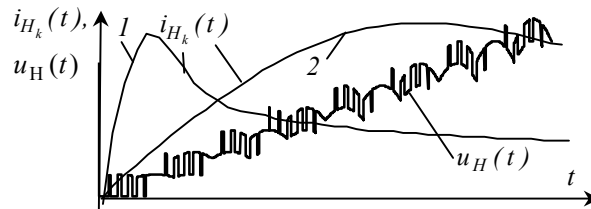


Рисунок 2 – Діаграми струмів і напруг кола якоря ДПС

Діаграми вхідних струмів та напруг, побудовані за (5), зображено на рис. 3.

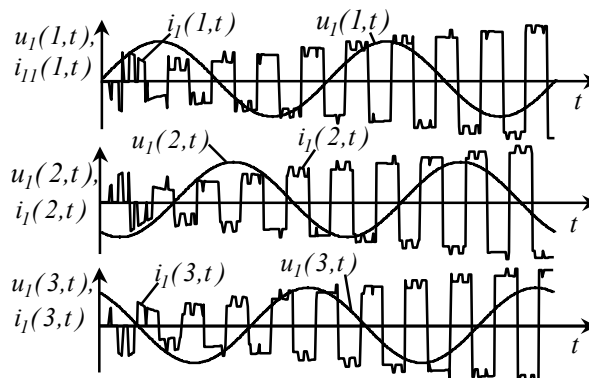


Рисунок 3 – Діаграми вхідних струмів i -х фаз мережі в координатах фазних напруг

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

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. Узагальнюючі функції багатопараметричного виду ефективні й для інших перетворювачів модуляційного типу.

ANALYSIS OF ELEKTROMAGNETIC PROCESSES IN THE SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH EIGHTZONE REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE AND ELECTROMECHANICAL LOAD

B. Senko, V. Mihaylenko, K. Trubitsyn

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056. Ukraine. E-mail: VladislavMihailenko@i.ua

N. Yurchenko, O. Yurchenko

Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine
prosp. Peremohy, 56, Kyiv, 03056. Ukraine

It is competed analysis of electromagnetic processes in electric circuit with semiconductor commutators. For this purpose, it created a mathematical model of the semiconductor converter with an electromechanical load. New mathematical models of electromagnetic processes were designed in a three-phase electric circuit of semiconductor converters with multi-channel zone regulation phase voltages disregarding losses in the semiconductor commutator for a quick estimation of load parameters, influence on the level and shape of the output voltage. It is developed a method of multivariable function, which is a part of algorithmic equations for steady-state and transient processes analysis in networks with semiconductor commutators and reactive elements for using of phase voltage. For the structured organization of semiconductor converters with high-frequency pulse-width regulation of the output voltage it is reasonable to use rectified voltage inverters for creating the intermediate high-frequency voltage what which, in turn, forms the intermediate radio-frequency voltage. For modeling and analysis processes of voltage regulation in power circuit of the preliminary shaping the DC voltage it is efficient to use a mathematical model of the shaping the output voltage, is process based on the method of multiparametrical modulating functions. It is worked out methods of regulation speed rising and determination energy-effective regime parameters of semiconductor commutators of the electromechanical systems.

Key words: electromagnetic processes; the output voltage and current; the engine of the direct current; method of multivariable modulating function.

REFERENCES

1. Makarenko, N.P. and Abarka G. (1999), "Mathematical model process of the shaping the output voltages of the converters of the frequency", *Elektronika i svyaz*, vol. 2, no. 6, pp. 60–64. (in Russian)

2. Makarenko, M.P., Senko, V.I. and Yurchenko, M.M. (2005), *Systemnyy analiz elektromagnitnyh procesiv u napivprovodnycovykh peretvoryuvachah electroenergii moduljatsiynogo typu* [System analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter of the electric powers inflexion type], IED NAN of Ukraine, Kyiv. (in Ukrainian)

- ЛІТЕРАТУРА
1. Макаренко Н.П., Абарка Г. Математическая модель процесса формирования выходных напряжений преобразователей частоты // *Электроника и связь*. – 1999. – Вып. 6. – Т. 2. – С. 60–64.
 2. Макаренко М.П., Сенько В.І., Юрченко М.М. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу. – К.: ІЕД НАН України, 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. – Iss. 58/2011 (3). – PP. 949–959.