

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДЕСЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Анотація: У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з десятизонним регулюванням вихідної напруги для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

Ключові слова: напівпровідниковий перетворювач, десятизонне регулювання напруги, електромагнітні процеси.

Вступ

Перетворення електричної енергії, дозволяє використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі [1-4]. У роботах [1-4] 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 структури ПЧ для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при десятизонному керуванні. Широке використання напівпровідникових перетворювачів у електричних колах сучасних перетворювачів параметрів електроенергії значно ускладнюються задачі аналізу електромагнітних процесів. Найбільші ускладнення виникають при необхідності моделювання усталених і перехідних процесів у розгалужених колах змінної структури, в ланках з реактивними елементами якої виникають синусоїдні, постійні та імпульсні напруги. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури напівпровідникових перетворювачів (НПП) в якості ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при десятизонному керуванні.

Метою роботи є створення математичної моделі напівпровідниковими перетворювачами з електромеханічним навантаженням вихідної напруги.

Аналіз електромагнітних процесів

У даній роботі використано метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому прийнято 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.

Узагальнена структурна схема перетворювача показана на рисунку. 1. На структурній схемі позначені: CM_{AB} , CM_{BC} , CM_{CA} – силові модулятори (СМ) лінійних АВ, ВС і СА відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, D – двигун постійного струму. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, представляє собою ланку високої частоти перетворювача. Кожний з блоків СМ має у своєму складі випрямлячі та інвертори, навантажених на узгоджувальні трансформатори.

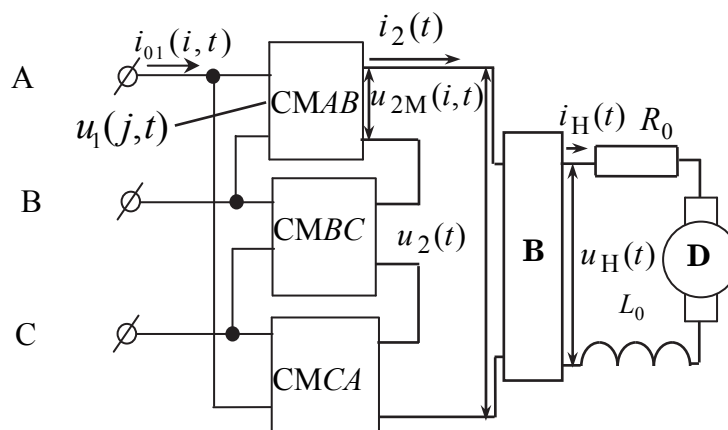


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином кожен СМ має в своєму складі N ІВН, де N – це число інверторів. Створення математичної моделі перетворювача передбачає розробку математичного забезпечення, спроможного провести аналіз відносно енергії, яка генерується, з урахуванням навантаження, енергії, яка споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і в окремими елементами.

Дослідження техніко-економічних 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 [4], 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.

У роботі прийняті 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.

Проведення системного аналізу електромагнітних процесів у модуляційному НПП з багатозонним регулюванням вихідної напруги з навантаженням у вигляді ДПС з послідовним збудженням, з урахуванням таких ознак системного підходу до аналізу [4], як цілісність та вплив під час її руху зовнішніх і внутрішніх факторів.

Напругу на навантаженні НПП знаходимо з виразу виду

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} i_{H_k}(t) \sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^{N=10} u_1(t) \psi_B(j,t) \psi(n,N,t) \psi_{BB}(t), \quad (1)$$

де $u_1(j,t)$ – миттєві значення лінійних напруг мережі, $\psi_B(j,t)$ – функції прямокутного синуса, що співпадають за часом з положенням відповідних лінійних напруг, $n = 1, 2, \dots, N=10$ – номери зон регулювання; $\psi(n,N,t)$ – множина еквівалентних модулюючих впливів j -х інверторів СМ; $\psi_{BB}(t)$ – функція прямокутного синуса, що співпадає за часом з положенням напруги $u_2(t)$; k_T – коефіцієнт трансформації.

ДПС, що задає вихідний струм НПП, описується системою алгебраїчних рівнянь [4]

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

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 вихід-

ної 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 – еле-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018
 ктромагнітна та механічна постійні часу двигуна, Δt – інтервали часу, за якими прово-
 дяться розрахунки.

Система (2) вирішується за допомогою методу припасовування з попере-
 днім записом початкових умов при $t = 0$ та припущеннями відносно лінійної за-
 лежності моменту опору на валу двигуна від швидкості обертання [3]. Діаграми
 струмів кола якоря ДПС для випадку десятизонного регулювання вихідної на-
 пруги НПП наведені на рис. 2.

Вихідний струм знаходимо з співвідношення

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

Вхідні струми $i_1(n, j, t)$ знаходимо з виразу

$$i_1(n, j, t) = \frac{i_2(t) \psi_B(j, t) \psi(n, N, t)}{k_T}, \quad (4)$$

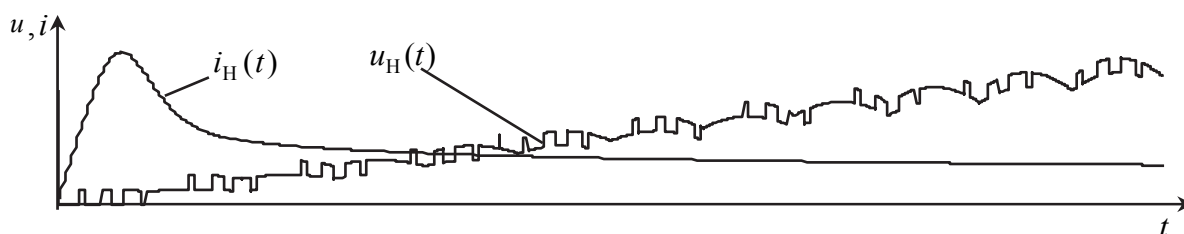


Рис. 2. Діаграми струму та напруги навантаження

Лінійні струми $i_1(j, t)$ знаходимо з виразу виду

$$i_1(j, t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=10} i_H(t) \psi_{B2}(j, t) \psi_2(j, t) v_2(t)}{k_T}. \quad (5)$$

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

$$i_{01}(1, t) = i_1(1, t) - i_1(3, t); \quad i_{01}(2, t) = i_1(2, t) - i_1(1, t); \quad i_{01}(3, t) = i_1(3, t) - i_1(2, t). \quad (6)$$

Діаграми вхідних фазних струмів перетворювача в координатах напруг енергетичної мережі, побудовані за (6), представлені на рисунку 3.

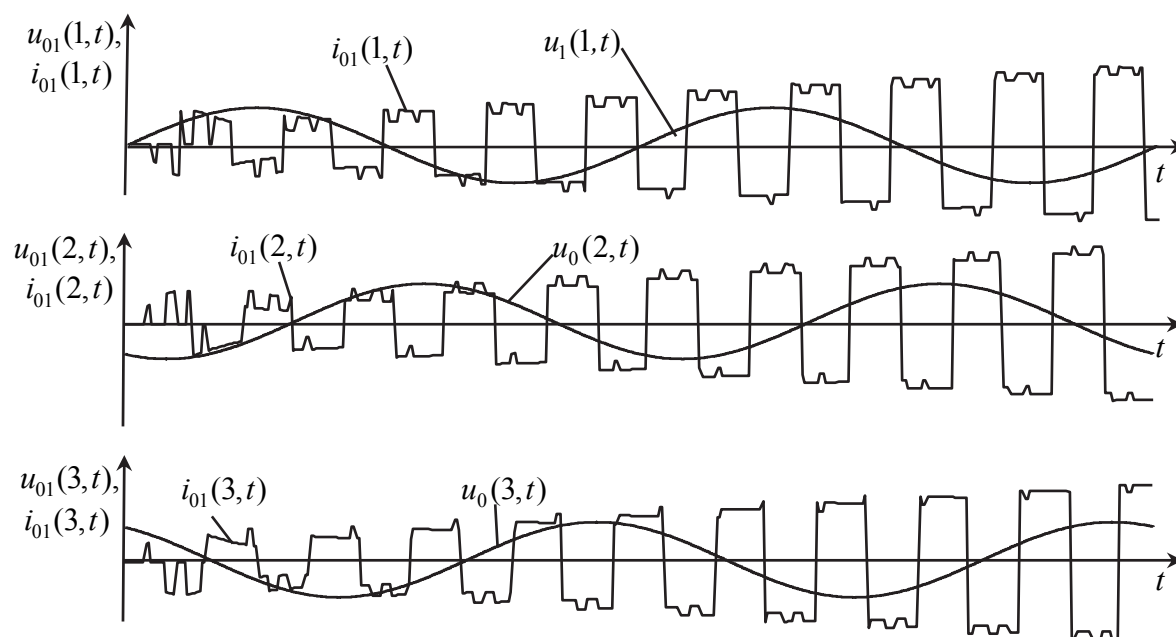


Рис. 3. Діаграми вхідних струмів i -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Висновки

У данні роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. 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 і електромеханічним навантаженням та визначення модулюючих функцій для аналізу за підсистемними складовими структури електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

Також формалізовано можна визначати алгоритми управління комутаторами в колах силових модуляторів фазних і лінійних напруг трифазної мережі електроживлення, що спрощує підвищення якості знакопостійних напруг у процесі формування та багатозонного регулювання вихідних синусоїдних і знакопостійних 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.

Список використаних джерел

1. Макаренко М.П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // *Електроника и связь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. Патент 20985. України. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко, Заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” – Завл. 18.09.2006, опубл. 15.02.2007. Бюл. № 2.
3. 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.
4. Макаренко Н. П. Анализ электромагнитных процессов в двенадцатипульсном преобразователе 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.