

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З П'ЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Михайленко В.В., к.т.н., ст. викладач

НТУУ «КПІ», кафедра теоретичної електротехніки

Бабенко А.А., студентка

НТУУ «КПІ», кафедра відновлювальних джерел енергії

Баширова І.О., Вдов Т.С., студенти

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Дослідження техніко-економічних показників різного виду виконавчих елементів слідкуючих систем на основі високомоментних двигунів постійного струму (Д) серій 2П та ПВ і трифазних асинхронних двигунів серії 4А, які випускаються промисловістю серійно [1], показують, що за умови однакових показників за масою в діапазоні потужностей від 100 Вт до 500 кВт, у слідкуючих системах доцільніше використовувати Д, що дозволяє підвищити продуктивність технологічних процесів. Якщо електромагнітні процеси і можливості систем “напівпровідникових перетворювачів (НПП) послідовного типу – тягові Д” достатньо вивчені [2], то системним дослідженням електромагнітних процесів у НПП з багатозонним регулюванням вихідних напруг, навантажених на Д, в сучасній літературі приділена не достатня увага.

**Метою роботи** є розробка математичної моделі напівпровідникового перетворювача з електромеханічним навантаженням.

**Матеріали і результати досліджень.** На структурній схемі НПП (рисунок 1) умовно позначено:  $СМ_A$ ,  $СМ_B$  та  $СМ_C$  – силові модулятори фаз А, В та С,  $ВЧВ$  – високочастотний випрямляч,  $Д$  – двигун постійного струму.

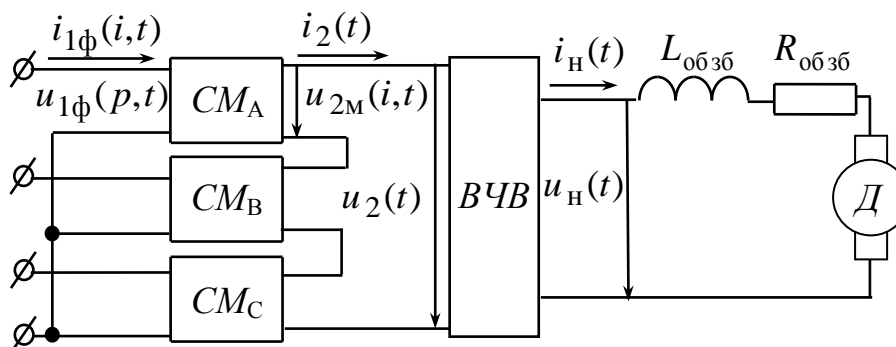


Рисунок. 1 – Структурна схема

При складанні математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [3], 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 інверторів випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат.

Вихідну напругу НПП знаходимо з виразу виду [3]:

$$u_H(t) = \sum_{n=1}^{N=5} \sum_{i=1}^3 \frac{u_{1\phi}(p,t) \psi_{B\phi}(i,t) \psi_{\phi}(n,N,t) \psi_{BЧВ}(t)}{k_{тр}}, \quad (1)$$

де  $u_{1\delta}(i,t)$  – миттєві значення вхідних напруг,  $\psi_{\hat{A}\delta}(i,t)$  – функції прямокутного синуса;  $n=5$  – кількість зон регулювання;  $N$  – номер зони регулювання;  $\psi_{\delta}(n,N,p,t)$  – множина модулюючих впливів  $i$ -х інверторів  $СМ$ ;  $\psi_{\hat{A}\times\hat{A}}(t)$  – функція прямокутного синуса, що співпадає за часом з положенням напруги  $u_2(t)$ ;  $k_{\delta\delta}$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів  $СМ$ .

ДПС, що задає вихідний струм НПП, описується системою рівнянь [1]:

$$\begin{pmatrix} i_{1k}(t) \\ i_{1k+1}(t) \\ n_{k+1}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{1k}(t) + \frac{2(c(t) - \varepsilon_{\hat{u}})}{a_1} - \frac{2\varepsilon_{\hat{a}}}{a_1} i_{1k}(t) - \frac{2}{a_1} n_k(t) i_{1k}(t) - \frac{2}{a_1 a_3} i_{1k}^3(t); \\ n_k(t) + \frac{4(c(t) - \varepsilon_{\hat{u}}) i_{1k}(t)}{a_1 a_3} - \frac{2\varepsilon_{\hat{1}}}{a_3} n_k(t) + \frac{2}{a_3} i_{1k}^2(t) - \\ - \frac{2}{a_1 a_3} i_{1k}^2(t) n_k(t) - \frac{2\varepsilon_{\hat{1}0}}{a_3}, \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де:  $i_{1k}(t)$ ,  $i_{1k+1}(t)$ ,  $n_k(t)$ ,  $n_{k+1}(t)$  – струм якоря та кутова швидкість обертання ДПС;  $\varepsilon_{\hat{u}}$ ,  $\varepsilon_{\hat{a}}$  – відносні падіння напруги на щітках та обмотці якоря;  $\varepsilon_{\hat{1}}$ ,  $\varepsilon_{\hat{1}0}$  – відносні моменти опору на валу;  $c(t)$  – відносне значення напруги на якорі ДПС;  $a_1 = \varepsilon_a + \frac{2T_{a\hat{a}}}{\Delta t}$ ,  $a_3 = \varepsilon_1 + \frac{2T_{\hat{1}}}{\Delta t}$ ;  $T_{a\hat{a}}$  та  $T_{\hat{1}}$  – електромагнітна та механічна постійні двигуна,  $\Delta t$  – інтервали часу.

Вхідні струми випрямлячів  $СМ$   $i_{1\delta}(n,i,t)$  можуть бути визначені з виразу

$$i_{1\delta}(N,p,t) = \frac{i_{1k}(t) \psi_{\hat{A}\delta}(i,t) \psi_{\delta}(n,N,t) \psi_{\hat{A}\times\hat{A}}(t)}{k_{\delta\delta}}. \quad (3)$$

Визначаємо струми  $i$ -х фаз мережі

$$i_{1\delta}(n,p,t) = i_{1\delta}(1,p,t) + i_{1\delta}(2,p,t) + i_{1\delta}(3,p,t) + i_{1\delta}(4,p,t) + i_{1\delta}(5,p,t), \quad (4)$$

де:  $i_{\delta}(1, p, t)$ ,  $i_{\delta}(2, p, t)$ ,  $i_{\delta}(3, p, t)$ ,  $i_{\delta}(4, p, t)$  і  $i_{\delta}(5, p, t)$  – вхідні струми інверторів  $i$ -х фаз першої, другої, третьої, четвертої та п'ятої зон регулювання.

Діаграми струму та напруги перетворювача і вхідних струмів та напруг представлені на рисунку 2.

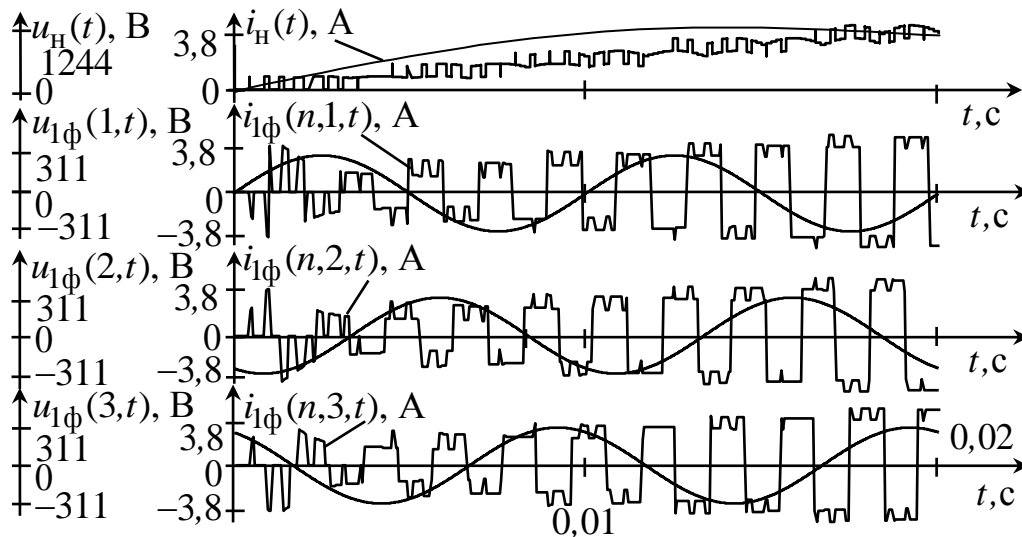


Рисунок 2 – Діаграми струму та напруги навантаження і вхідних струмів та напруг НПП

**Висновки:** Системний аналіз електромагнітних процесів у НПП модуляційного типу дозволяє проведення моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи НПП. Розвинуто метод багатопараметричних модулюючих функцій в частині розробки нових математичних моделей і алгоритмічних рівнянь відносно функцій з системними дискретними параметрами напівпровідникових комутаторів, напруг і кутів управління, фаз мережі живлення і часу для аналізу електромагнітних процесів у електричних колах змінної структури з напівпровідниковими комутаторами

#### Перелік посилань

1. Кочергин В.В., Следящие системы с двигателем постоянного тока. Л.: Энергоатомиздат, 1988.- 171 с.
2. Резцов В.Ф., Павлов В.Б., Юрченко О.М. Аналіз системи тягового електропривода електромобіля з урахуванням нелінійних елементів // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2003. – № 1 (4) – с. 73-78.
3. 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.