

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРА ПУЛЬСАЦІЙ НА ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ  
В СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ  
ГАЛЬМУВАННЯМ

V. Nerubatskyi

RESEARCH INFLUENCE OF THE FACTOR PULSATIONS AT DYNAMIC PROCESSES  
OF SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL BY ELECTRIC BRAKING

У відомих роботах аналіз динамічних характеристик виконано при поданні перетворювача у вигляді безперервної ланки. Урахування дискретності перетворювача дає змогу отримати граничну швидкодію в системі з урахуванням впливу на перехідні процеси пульсаційної складової, що міститься в регульованій координаті системи. Цей підхід покладено в основу дослідження динамічних процесів у системі автоматичного керування електричним гальмуванням.

Вихідна напруга керованого випрямляча або перетворювача постійної напруги у своєму складі має пульсаційну складову [1]. При включенні таких перетворювачів електричної енергії до

складу замкнутої системи автоматичного регулювання пульсаційна складова по колу зворотного зв'язку потрапляє на вхід системи керування перетворювачем. Це викликає в перетворювачі зміни коефіцієнта передачі. Ці динамічні зміни прийнято враховувати фактором пульсацій [2]. Одержання виразу для фактора пульсацій пов'язано з одержанням лівостороннього значення похідної приведені неперервної частини системи регулювання відносно моментів переключення в перетворювачі.

Для визначення фактору пульсацій у режимі неперервного струму в колі навантаження перетворювача розглянемо наведену на рисунку структурну схему.

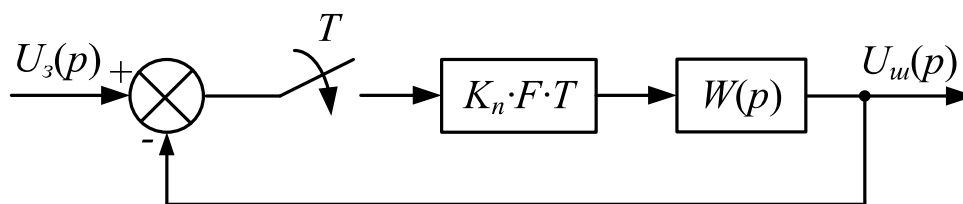


Рис. Узагальнена структурна схема системи автоматичного регулювання струму

На структурній схемі зроблено такі позначення:  $K_n$  – статичний коефіцієнт передачі перетворювача;  $F$  – фактор пульсацій;  $T$  – період дискретності перетворювача;  $W(p)$  – передавальна функція неперервної частини. Передавальна

функція приведені неперервної частини системи автоматичного регулювання струму тягового двигуна в режимі електричного гальмування, яка відповідає умовам процесу кінцевої тривалості, має вигляд [3]

$$W(p) = K_n \cdot K_0 \cdot \left[ \frac{K_1}{T_3 \cdot p + 1} + K_2 \cdot \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_1 \cdot p \cdot (T_H \cdot p + 1) \cdot (T_3 \cdot p + 1)} \right], \quad (1)$$

де  $K_n$  – статичний коефіцієнт передачі перетворювача;  $K_0, K_1, K_2$  – статичні коефіцієнти передачі динамічних ланок системи автоматичного регулювання.

Відомо, що передавальну функцію приведеної неперервної частини системи на основі теореми розкладання можна подати у вигляді суми  $n$ -аперіодичних ланок зі сталими часу  $T_i$  та коефіцієнтами передачі  $K_i$

$$W(p) = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{T_i \cdot p + 1}. \quad (2)$$

У системах електричного гальмування для регулювання струму збудження тягового двигуна застосовують тиристорний випрямляч або широтно-імпульсний перетворювач [4]. Для перетворення передавальної функції приведеної неперервної частини (1) до виду (2) виконаємо розкладання її другого доданка на елементарні аперіодичні ланки. У результаті виконаних перетворень одержимо:

$$W(p) = K_n \cdot K_0 \cdot \left\{ \frac{K_1}{T_3 \cdot p + 1} + \frac{K_2}{T_1 \cdot (T_H - T_2)} \times \left[ \frac{T_H \cdot (T_2 - T_H)}{T_H \cdot p + 1} + \frac{T_3 \cdot (T_3 - T_2)}{T_3 \cdot p + 1} \right] + \frac{K_2}{T_1 \cdot p} \right\}. \quad (3)$$

Одержаний вираз дає можливість отримати вирази для фактора пульсацій системи автоматичного регулювання електричним гальмуванням при живленні обмотки збудження тягового двигуна від

тиристорного випрямляча або широтно-імпульсного перетворювача. Так, для системи з тиристорним випрямлячем фактор пульсацій визначається виразом

$$F^{-1} = 1 + K_n \cdot K_0 \cdot \left\{ \frac{K_1 \cdot T}{2 \cdot T_3} + \frac{K_2 \cdot T}{T_1} \cdot \frac{K_2}{T_1 \cdot (T_H - T_2)} \times \left[ T \cdot (T_3 - T_H) + T_H \cdot (T_2 - T_H) \cdot \frac{\omega_0 \cdot T_H \cdot \text{ctg} \alpha_0 - 1}{1 + \omega_0^2 \cdot T_H^2} \cdot \left( \frac{T}{2 \cdot T_H} \cdot \text{cth} \frac{T}{2 \cdot T_H} - \frac{\pi}{m} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m} \right) \right] + \left[ \frac{K_2 \cdot T_3 \cdot (T_3 - T_2) + K_1 \cdot T_1 \cdot (T_H - T_2)}{T_1 \cdot (T_H - T_2)} \right] \cdot \frac{\omega_0 \cdot T_3 \cdot \text{ctg} \alpha_0 - 1}{1 + \omega_0^2 \cdot T_3^2} \times \left( \frac{T}{2 \cdot T_3} \cdot \text{cth} \frac{T}{2 \cdot T_3} - \frac{\pi}{m} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m} \right) + \frac{\text{ctg} \alpha_0}{\omega_0 \cdot T_1} \cdot \left( 1 - \frac{\pi}{m} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m} \right) \right\}. \quad (4)$$

Аналіз виразу (4) показує, що на фактор пульсацій, окрім кута керування  $\alpha_0$ , впливають зміни коефіцієнта підсилення, який є складовою частиною  $K_2$  тягового двигуна в генераторному

режимі під час електричного гальмування. Фактор пульсацій системи автоматичного регулювання з широтно-імпульсним перетворювачем визначається таким чином:

$$F^{-1} = 1 + K_n \cdot K_0 \cdot \left[ \frac{K_1 \cdot T}{T_3} \cdot \frac{e^{-\gamma \frac{T}{T_3}} - e^{-\frac{T}{T_3}}}{1 - e^{-\frac{T}{T_3}}} + \frac{K_2 \cdot T}{T_1} \cdot (1 - \gamma) + \frac{K_2 \cdot T \cdot (T_2 - T_H)}{T_1 \cdot (T_H - T_2)} \times \right. \\ \left. \times \frac{e^{-\gamma \frac{T}{T_H}} - e^{-\frac{T}{T_H}}}{1 - e^{-\frac{T}{T_H}}} + \frac{K_2 \cdot T \cdot (T_3 - T_2)}{T_1 \cdot (T_H - T_2)} \cdot \frac{e^{-\gamma \frac{T}{T_3}} - e^{-\frac{T}{T_3}}}{1 - e^{-\frac{T}{T_3}}} \right]. \quad (5)$$

Одержані аналітичні залежності для фактору пульсацій дають змогу аналізувати вплив його змін на якість електричного гальмування. Показано, що в системі з тиристорним випрямлячем вплив змін режимів електричного гальмування на динамічні процеси є меншим, ніж у системі з широтно-імпульсним перетворювачем.

#### Список використаних джерел

1. Булгаков, А. А. Основы динамики управляемых вентильных систем [Текст] / А. А. Булгаков. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1963. – 220 с.

2. Bjaresten, N.A. The Statik Converter as a High-Speed Power Amplifier [Text] / N.A. Bjaresten // Direct Current. – 1963. – Vol. 6. – P. 154-165.

3. Щербак, Я. В. Динамічні характеристики системи автоматичного регулювання струму в режимі електричного гальмування [Текст] / Я.В. Щербак, В.П. Нерубацький // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – №1. – С. 58-63.

4. Щербак, Я. В. Динамічні характеристики випрямляча з широтно-імпульсною модуляцією [Текст] / Я.В. Щербак, Е.Я. Івакіна // Технічна електродинаміка. – 2013. – №3. – С. 47-51.

УДК 621.314.25

К. В. Ягуп

### ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ НЕСИМЕТРИЧНОЇ ТРИФАЗНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА І МОДИФІКОВАНОГО АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ

Е. Yagup

### OPTIMIZATION OF MODE OF UNBALANCED THREE-PHASE SYSTEM USING ACTIVE FILTER AND MODIFY CONTROL ALGORITHM

Несиметричний режим роботи систем електропостачання поширений у системах залізничного транспорту, де переважає

навантаження однієї із фаз. Це викликає такі негативні наслідки, як виникнення реактивної потужності, збільшення