

ливо це актуально для тягового перетворювача підвищеної частоти, оскільки всі його складові частини мають відносно значні робочі частоти.

## Аналіз динамічних характеристик системи автоматичного регулювання струму в режимі електричного гальмування

Нерубацький В.П.

Українська державна академія залізничного транспорту

In this paper an analysis and synthesis of dynamic processes in the system of automatic control of the electric braking are executed. The terms of process of eventual duration are got for this system. Taking into account the parameters of hauling electric motor ED141AY1 is expected transitional process in the system, which is closed for the number of time intervals latitudinal to impulsive modulation, equal to the order of characteristic equalization of the system.

В результаті електричного гальмування живлення обмотки збудження тягового електродвигуна виконується або від керованого випрямляча, або від перетворювача постійної напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Структурно імпульсні моделі керованого випрямляча і широтно-імпульсного перетворювача з односторонньою ШІМ є загальними. Відмінність між ними викликається різними законами зміни фактору пульсацій, що викликається впливом пульсаційної складової вихідної напруги на систему керування. Дана обставина дозволяє з загальних позицій виконувати аналіз і синтез динамічних процесів в системі автоматичного регулювання електричного гальмування.

Узагальнена структурна схема аналізованої системи автоматичного регулювання представлена на рис. 1.

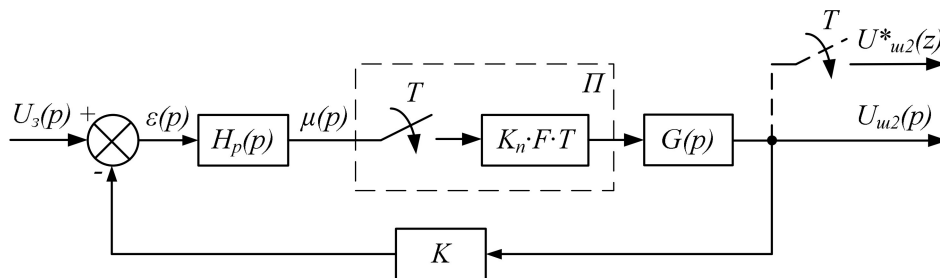


Рис. 1

Імпульсна модель перетворювача, що живить обмотку збудження тягового електродвигуна, представлена у вигляді послідовного з'єднання ідеального імпульсного елемента та приведеної неперервної частини. На рис. 1 прийняті наступні позначення:  $T$  – період квантування імпульсного елемента;  $K_n$  – статичний коефіцієнт передачі перетворювача;  $F$  – фактор пульсацій. Синтез передавальної функції  $H_p(p)$  регулятора виконано по методу параметричного формування процесу кінцевої тривалості.

Виконавши перетворення структурної схеми, що зображена на рис. 1, направлені на заміну операцій диференціювання операцією інтегрування, було отримано двуконтурну структуру, яка наведена на рис. 2. Внутрішній контур отриманої структурної схеми служить для демпфування впливу сталої часу  $T_z$  на динамічні процеси в обмотці збудження тягового електродвигуна. Зовнішній контур забезпечує динамічні процеси в якірному колі електродвигуна та астатизм системи в статичному режимі.

Для зручності синтезу передавальної функції  $H_1(p)$  регулятора контуру якірного кола та визначення умов процесу кінцевої тривалості структурну схему, що зображена на рис. 2, було перетворено до одноконтурної.

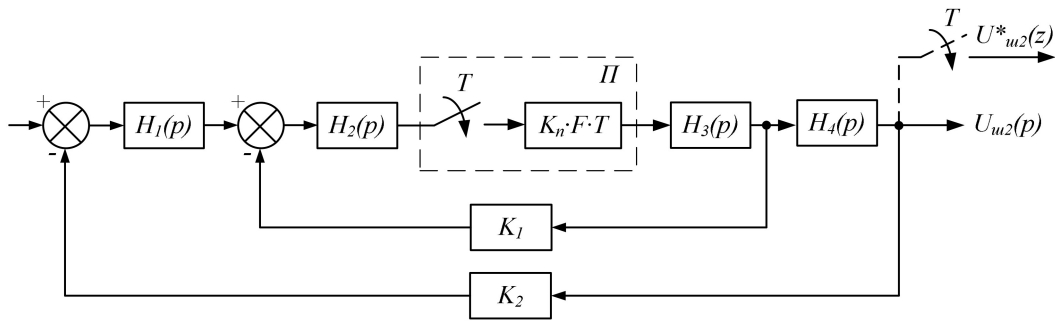


Рис. 2

Зв'язок між вхідним та вихідним сигналами системи регулювання, записаний у вигляді модифікованого  $z$ -перетворення, має вигляд

$$U_{u2}^*(z, \varepsilon) = \frac{U_3 \cdot H_1^*(z) \cdot z^{-1} \cdot K_p \cdot K_0 \cdot H_3 H_4^*(z, \varepsilon)}{1 + z^{-1} \cdot K_p \cdot K_0 \cdot K_3 \cdot H_1 H_3 H_4 G_0^*(z, 1)}. \quad (1)$$

Характеристичне рівняння системи:

$$1 + z^{-1} \cdot K_p \cdot K_0 \cdot K_n \cdot F \cdot T \cdot H_1 H_3 H_4 G_0^*(z, 1) = 0, \quad (2)$$

Умови процесу кінцевої тривалості мають вигляд:

$$K_p \cdot K_3 \cdot K_n \cdot F \cdot K_1 \cdot \frac{T}{T_3} = 1; \quad (3)$$

$$T_1 = T_3 \cdot \frac{K_2 \cdot K_4}{K_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T_H}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T_3}}\right)}; \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{T_H \cdot \left[ e^{-\frac{T}{T_H}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T_H}}\right) - e^{-\frac{T}{T_3}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2T}{T_H}}\right) \right] + T_3 \cdot e^{-\frac{2T}{T_H}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T}{T_3}}\right)}{e^{-\frac{T}{T_H}} - e^{-\frac{T}{T_3}}}. \quad (5)$$

Розрахунок перехідного процесу було виконано з урахуванням параметрів тягового електродвигуна ЕД141АУ1. Було встановлено, що перехідний процес в системі завершується за число тактових інтервалів широтно-імпульсної модуляції, що дорівнює порядку характеристичного рівняння системи.

Таким чином, представлення напівпровідникового перетворювача електричної енергії, що застосовується для живлення обмотки збудження тягового електродвигуна в режимі електричного гальмування, у вигляді амплітудно-імпульсного модулятора другого роду дозволяє синтезувати структуру і параметри регулятора для отримання граничної швидкодії. Аналіз умов процесу кінцевої тривалості показує, що на однозначність перехідних процесів впливають:

- зміна регулюємого параметру перетворювача;
- зміна навантаження тягового електродвигуна під час електричного гальмування;
- нелінійність магнітної системи тягового електродвигуна.

Для отримання інваріантності динамічних процесів до перерахованих дестабілізуючих факторів необхідно застосування методів адаптивного регулювання.