

М. В. Мезенцев, М. Й. Заполовський, М. В. Липчанський

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ

Розглянуті питання розробки та дослідження моделей систем автоматичного керування (САК) електропередачею дизель-поїзда з електроприводом змінного струму. Проведено огляд літературних джерел на задану тематику та аналіз існуючих підходів до розв'язання. Розглянуті як стандартні алгоритми керування окремих контурів системи управління так і варіанти з використанням методів цифрового управління. Побудовані математичні моделі, структурні схеми моделей контурів САК електропередачі, запропоновані рекурентні співвідношення для окремих контурів управління, проведене моделювання їхнього функціонування. Отримані аналітичні співвідношення, які можуть бути використані для розробки структури САК електропередачі дизель-поїзда і розрахунку її параметрів при забезпеченні певного критерію якості. Визначені параметри САК вихідної напруги інверторів (каналу формування струму) асинхронного електродвигуна, які забезпечують задану якість керування та допустимі межі зміни параметрів САК.

Ключові слова: системи автоматичного керування, електропередача, електропривод змінного струму, алгоритми управління, дизель-поїзд, математична модель, рекурентні співвідношення.

Вступ

Огляд робіт, присвячених задачі розробки систем керування електропередачами локомотивів та дизель-поїздів з електроприводом змінного струму показує, що в даний час значна увага приділяється створенню оптимальних систем управління на основі сучасних досягнень проектування з використанням методів оптимізації, нечіткої логіки, нейрокомп'ютерних технологій, орієнтованих на побудову не аналогових, а цифрових систем управління (ЦСУ), які забезпечують функціонування як його самого, так і підсистем окремо. Ця тенденція має місце не тільки в Україні, але і країнах ближнього і далекого зарубіжжя [1–4].

ЦСУ дозволяють реалізувати більш складні принципи керування згідно запропонованих алгоритмів – векторне керування, керування за нейронними мережами технологіями, реалізацію оптимальних законів керування і т. п. [4–6]. Крім того ЦСУ відрізняється перевагою цифрових елементів у порівнянні з аналоговими – великою завадостійкістю, простотою і зручністю в цифровому заданні програми функціонування тих чи інших регуляторів системи управління, тенденцією до зниження габаритів і вартості систем, до підвищення надійності і ступеня інтеграції цифрових вузлів.

Тому розробка систем керування на основі методів управління та моделей для їх дослідження є актуальною задачею.

Постановка задачі і аналіз відомих публікацій

Для рішення завдань розробки ЦСУ, зокрема алгоритмів управління, присвячено значне число публікацій [2, 5, 7–10] та зазвичай використовується математичне моделювання, сучасні методи теорії автоматичного керування та оптимізації, прогресивні інформаційні технології, технічні засоби реалізації на базі мікропроцесорної техніки компонент систем автоматичного керування.

Алгоритми управління зв'язані з формуванням певних законів керування окремих контурів електропередачі дизель-поїзда. Структура ЦСУ загалом аналогічна структурам аналогових систем керування, тому синтез регуляторів ЦСУ простіше проводити за методикою для аналогових систем, а результати використовувати для їхньої параметризації та розробки алгоритмів (рекурентних співвідношень). Показники якості синтезованих ЦСУ можливо визначити за допомогою моделювання [10].

Математичний опис (математичні моделі) цифрових (дискретних) систем проводиться в основному двома методами: рівняннями в кінцевих різностях; z -функціями (z -перетворенням Лапласа). Метод оцінки властивостей ЦСУ можливо проводити на основі загальної передавальної функції як аналогової системи та наступному z -перетворенні цієї функції і рішення отриманого рівняння (рекурентного співвідношення) методом моделювання.

Розглянутий підхід використано при розробці цифрової системи управління електропередачі дизель-поїзда з електроприводом змінного струму. На першому етапі – за допомогою моделювання з використанням пакету Mat Lab уточнені структура і параметри регуляторів контурів системи управління згідно заданих якісних показників щодо забезпечення умов функціонування об'єкта в цілому, на другому етапі – на основі z -перетворення отримані алгоритми (рекурентні співвідношення) для контурів системи управління. Детальний опис отримання рекурентного співвідношення в роботі приведено для контуру системи керування блоком зворотного зв'язку регулятора формування струму електродвигуна електроприводу дизель-поїзда, який є визначальним в структурі системи автоматичного керування електропередачі дизель-поїзда та визначає період дискретизації сигналів управління, виходячи з умов забезпечення стійкості функціонування системи та її реалізації засобами мікропроцесорної техніки.

Що до першого етапу, то за допомогою моделювання з використанням пакету MatLab уточнені

структура і параметри регуляторів контурів системи управління згідно заданих якісних показників, результати досліджень приведено в роботах [3, 8, 9].

Метою даної роботи є розробка математичних моделей, алгоритмів (рекурентних співвідношень) для реалізації контурів регуляторів системи управління електропередачі дизель-поїзда з електроприводом змінного струму, визначення періоду дискретизації сигналів управління за умов використання сучасних засобів мікропроцесорної техніки, визначення параметрів системи автоматичного управління, які забезпечують задану якість керування і допустимі межі зміни параметрів САР, проведення досліджень та отримання якісних характеристик роботи систем управління в процесі моделювання з використанням пакету MatLab.

Основна частина

З аналізу системи управління електропередачі дизель-поїзда виходить, що найбільш критичною системою в процесі функціонування являються регулятор вихідної напруги інверторів електроприводу. Його модель може бути представлена сукупністю моделей каналу струму і каналу потужності. Ці канали призначені для формування сигналу керуючого впливу по вихідній напрузі інверторів.

У режимі тяги без врахування процесів боксування сигнал управління регулятора вихідної напруги інверторів U_i формується відповідно до закону:

$$U_i = (\min (U_1, U_2)) / (T_1 p + 1), \quad (1)$$

де $U_1 = K_1 U_3 (1 + 1/T_2 p)$; $U_2 = K_2 U_4 (1 + 1/T_2 p)$; T_1, T_2, T_3, K_1, K_2 – відповідно постійні часу та коефіцієнти підсилення; U_3, U_4 – сигнали помилок (різностного сигналу завдання та сформованого сигналу зворотного зв'язку) відповідного каналу (струму або потужності). Формування сигналу завдання виконується на основі номера позиції контролера машиніста.

Співвідношення (1) визначає який з каналів формування струму або потужності функціонує в даний момент часу з використанням пропорційно-інтегрального закону управління. Можливо використання й інших законів управління.

Постільки структури каналів струму та потужності ідентичні, то алгоритми (рекурентні співвідношення) за умови використання аналогічних перетворень (методів інтегрування) також будуть мати однакові структури. Відрізнятися будуть тільки параметрами (коефіцієнтами підсилення та постійними часу) відповідних елементів структурних схем, які визначаються на етапі дослідження аналогових структур системи керування.

Структурна схема моделі електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму, приведена на рис. 1.

Значення вихідних параметрів структурної схеми (конструктивні параметри) наступні:

$$K_6=95; K_7=6.7; K_8=0.017; K_9=2; \\ T_1=0.1; T_2=1; T_3=0.016; T_4=0.007.$$

Величини K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – визначались в процесі дослідження. При цьому досліджувану структуру САР можна представити наступним чином. Вона складається з блоку завдання, формувача сигналу керування (пропорційно-інтегрального регулятора, фільтра й задатчика інтенсивності), об'єкта керування (моделі електроприводу), блоку формування сигналу зворотного зв'язку (датчики, масштабуючі підсилювачі, фільтри).

За допомогою блоку завдання формується сигнал управління, що відповідає певній позиції контролера машиніста й характеризується швидкістю його наростання.

Математичні моделі електропередачі по каналу формування струму представлені передавальними функціями $W_1(p) - W_6(p)$.

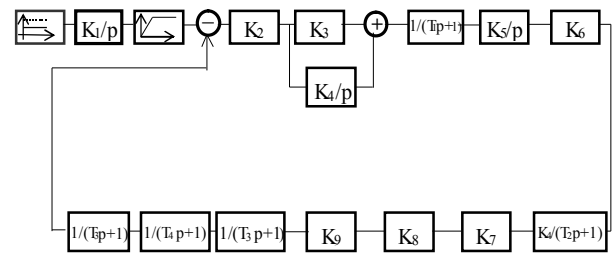


Рис. 1. Структурна схема моделі електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму

Блок формування завдання $W_1(p)$, в якого входним сигналом є значення номера позиції контролера машиніста:

$$W_1(p) = K_1 / p. \quad (2)$$

Блок пропорційно-інтегрального регулятора $W_2(p)$:

$$W_2(p) = K_2(K_3 + K_4 / p). \quad (3)$$

Блок фільтра сигналів пропорційно-інтегрального регулятора $W_3(p)$:

$$W_3(p) = 1 / (T_1 p + 1). \quad (4)$$

Блок задавальника інтенсивності $W_4(p)$:

$$W_4(p) = K_5 / p. \quad (5)$$

Особливістю блока задавальника інтенсивності є те, що він має перемінну структуру в процесі функціонування. В залежності від знаку похідної входного сигналу – різні значення коефіцієнта K_5 , який впливає на якісні показники об'єкта управління.

Блок об'єкта управління (електроприводу дизель-поїзда) $W_5(p)$:

$$W_5(p) = K_6 / (T_2 p + 1). \quad (6)$$

Блок датчиків та фільтра сигналів елементів зворотного зв'язку $W_6(p)$:

$$W_6(p) = K_7 K_8 K_9 / ((T_3 p + 1)(T_4 p + 1)(T_5 p + 1)). \quad (7)$$

Моделі блоків, які описуються передавальними функціями (2)–(7), з однієї сторони використовувались для уточнення структури та визначення параметрів елементів схеми моделі електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму, з іншої –

для отримання алгоритмів (рекурентних співвідношень).

У процесі досліджень використовувався метод багаторазового прогону моделі (зміна визначених параметрів) і отримання перехідних процесів з наступним їхнім аналізом.

На першому етапі проводилися дослідження САР з метою уточнення структури та визначення параметрів регулятора каналу формування струму, відповідно до схеми, приведеної на рис. 1. Основна увага приділялася питанням, пов'язаними з адекватністю розроблених моделей і визначенням параметрів САР, що забезпечують задану якість регулювання. При цьому показниками якості виступали величина перерегулювання, час перехідного процесу, число перерегулювання, значення швидкодії.

В результаті досліджень уточнені структурні схеми каналів формування струму, підтримки сталості потужності, обмеження максимального значення напруги живлення та визначені параметри контурів керування. Значення параметрів для САР каналу формування струму, які задовольняють критерію якості та блоку формування сигналу зворотного зв'язку (блок фільтрів) безпосередньо приведені на структурній схемі моделі (рис. 2).

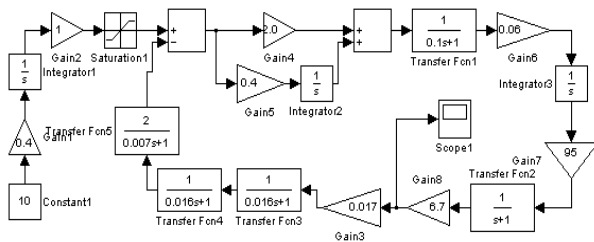


Рис. 2. Структурна схема моделі електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму

Питання, які розглядаються в даній роботі, спрямовані безпосередньо на розробку алгоритмів (рекурентних співвідношень) функціонування складових системи управління електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму.

Як було відмічено раніше, детальний опис отримання рекурентного співвідношення приведено для контуру системи керування блока зворотного зв'язку регулятора формування струму електроприводу, який є загальним для каналів САР, найбільш складним за структурою та визначальним в системі автоматичного керування електропередачі дизель-поїзда. Крім того визначено період дискретизації сигналів управління, виходячи з умов забезпечення стійкості функціонування системи та її реалізації засобами мікропроцесорної техніки.

Структурна схема блоку фільтрації, математична модель якого описується передавальною функцією $W_6(p)$ (вираз (7)) системи управління електропередачі дизель-поїзда, приведена на рис. 3.

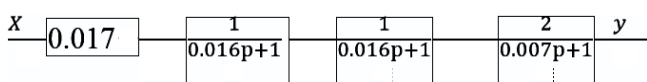


Рис. 3. Структурна схема блоку фільтрації сигналів

Позначимо: $k_1 = 0.017$; $k_2 = 2$; $T_1 = 0.016$; $T_2 = 0.016$; $T_3 = 0.007$. Тоді, відповідно до структурної схеми (рис. 3) та прийнятих позначень, отримаємо:

$$Y = k_1 k_2 / ((T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)) X; \quad (8)$$

$$Y(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) = k_1 k_2 X. \quad (9)$$

Перетворимо вираз (9):

$$Y[p^3 + T_{10} p^2 + T_{11} p + T_{12}] = k_3 / T_{13} X, \quad (10)$$

де $T_{10} = (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) / T_1 T_2 T_3$; $k_3 = k_1 k_2$.

$T_{11} = (T_1 + T_2 + T_3) / T_1 T_2 T_3$; $T_{12} = 1 / T_1 T_2 T_3$; $T_{13} = T_1 T_2 T_3$;

Можна записати:

$$Y p^3 + Y T_{10} p^2 + Y T_{11} p + Y T_{12} = k_4 X; \quad (11)$$

$$\text{або} \quad Y''' + T_{10} Y'' + T_{11} Y' + T_{12} Y = k_4 X. \quad (12)$$

де $k_4 = k_3 / T_{13}$.

Для знаходження рекурентного співвідношення використаємо поняття імпульсної передавальної функції $H[z]$ та методику використання операторів інтегрування (I) і диференціювання (D). Тоді із (12) отримаємо:

$$D^3 Y + T_{10} D^2 Y + T_{11} D Y + T_{12} Y = k_4 X. \quad (13)$$

Приведемо вираз (13) до оператора інтегрування (I). Отримаємо:

$$Y + T_{10} I Y + T_{11} I^2 Y + T_{12} I^3 Y = k_4 I^3 X. \quad (14)$$

Операцію інтегрування виконаємо за правилом прямокутників, для якого інтегрування в операторній формі запису має вид:

$$I = \tau / (z - 1), \quad (15)$$

де τ – крок інтегрування.

Тоді рівняння (14) прийме вид:

$$Y(1 + T_{10} \tau / (z - 1) + T_{11} \tau^2 / (z - 1)^2 + T_{12} \tau^3 / (z - 1)^3) = \tau^3 / (z - 1)^3 k_4 X. \quad (16)$$

Перетворимо рівняння (16). Отримаємо:

$$Y[z^3 + z^2(10\tau - 3) + z(T_{11} \tau^2 - 2T_{10} \tau + 3) + (1 + T_{10} \tau - T_{11} \tau^2 + T_{12} \tau^3)] = \tau^3 k_4 X. \quad (17)$$

В результаті імпульсна передавальна функція має вигляд:

$$H[z] = \tau^3 k_4 / [z^3 + z^2(10\tau - 3) + z(T_{11} \tau^2 - 2T_{10} \tau + 3) + (1 + T_{10} \tau - T_{11} \tau^2 + T_{12} \tau^3)]. \quad (18)$$

З рівняння (17) знайдемо рекурентне співвідношення для блоку фільтрації сигналів:

$$Y_n = \tau^3 k_4 X_{n-3} - [(10\tau - 3) Y_{n-1} + (T_{11} \tau^2 - 2T_{10} \tau + 3) Y_{n-2} + Y_{n-3} (1 + T_{10} \tau - T_{11} \tau^2 + T_{12} \tau^3)]. \quad (19)$$

Використовуючи дану методику знайдені рекурентні співвідношення і для інших елементів схеми електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму згідно структурної схеми, приведеної на рис. 2.

Блок формування завдання $W_1(p)$:

$$Y_n = \begin{cases} Y_{n-1} + 0.4\tau X_{n-1}, & \text{якщо } Y_n < N; \\ N, & \text{якщо } Y_n \geq N, \end{cases} \quad (20)$$

де N – величина вхідного сигналу блоку формування завдання.

Блок пропорційно-інтегрального регулятора $W_2(p)$:

$$Y_n = Y_{n-1} + k_2 (k_3 X_n - (k_3 - k_4 \tau) X_{n-1}), \quad (21)$$

де $k_2 = 2.5$; $k_3 = 1$; $k_4 = 0.2$.

Блок фільтру сигналів пропорційно-інтегрального регулятора $W_3(p)$:

$$Y_n = (1 - a\tau)Y_{n-1} + a\tau X_{n-1}, \quad (22)$$

де $a = 1/T_1$; $T_1 = 0.1$.

Блок задавальника інтенсивності $W_4(p)$:

$$Y_n = Y_{n-1} + k_5 \tau X_{n-1}, \quad (23)$$

де $k_5 = \begin{cases} 0.02, & \text{якщо } Y_n - Y_{n-1} \geq 0; \\ 0.2, & \text{якщо } Y_n - Y_{n-1} < 0. \end{cases}$

В рівняннях (19) – (23) невідомою величиною є значення періоду дискретизації (кроку інтегрування) τ . Знайти величину τ можливо виходячи з поняття стійкості дискретних систем управління (система стійка, якщо полюси імпульсної передавальної функції знаходяться в середині кола, радіус якого менше 1). Знайдемо значення τ для рекурентного співвідношення блоку фільтрації сигналів. Як показали дослідження в процесі моделювання, якщо виконати фільтр двохелементним з еквівалентними значеннями параметрів, то характер перехідного процесу в замкнутій системі регулювання практично не змінюється. Перевірку правильності розрахунку значення τ перевірено за допомогою моделювання при використанні трьохелементного фільтра в замкнутій системі регулювання, в відповідності до структурної схеми, яка приведена на рис. 1.

Для знаходження величини кроку інтегрування τ для двохелементного фільтра отримана імпульсна передавальна функція, яка в кінцевому варіанті має вигляд:

$$H(z) = C_3 \tau^2 / (z^2 - z(2 - C_1 \tau) + (1 - C_1 \tau + C_2 \tau^2)), \quad (24)$$

де $C_1 = T_4 / T_3$; $C_2 = 1 / T_3$; $C_3 = k_3 / T_3$.

Для конкретних значень k_i та T_i ($i \in \{1, 2, 3\}$) знайдені коефіцієнти C_i мають наступні значення:

$$C_1 = 205.36; C_2 = 8928.57; C_3 = 303.57.$$

Знаменник імпульсної передавальної функції має вигляд:

$$z^2 - z(2 - C_1 \tau) + (1 - C_1 \tau + C_2 \tau^2) = (z - \alpha_1(\tau))(z - \alpha_2(\tau)). \quad (25)$$

Забезпечення стійкості рекурентного співвідношення виконується за умови:

$$|\alpha_1(\tau)| < 1, |\alpha_2(\tau)| < 1.$$

Із (25) знайдемо корені полінома:

$$z^2 - z(2 - C_1 \tau) + (1 - C_1 \tau + C_2 \tau^2) = 0. \quad (26)$$

Рішення рівняння (26) дає корені:

$$\alpha_1(\tau) = (1 - 62\tau); \alpha_2(\tau) = (1 - 142\tau).$$

Тоді: $\tau_1 = 0.017$; $\tau_2 = 0.007$.

Обираємо: $\tau = \min(\tau_1, \tau_2) = 0.007$ с.

Результати моделювання підтвердили працездатність запропонованих рекурентних співвідношень та рекомендоване значення періоду дискретизації, що може бути використано при розробці цифрової системи управління електропередачі з електроприводом змінного струму локомотивів та ди-

зель-поїздів з використанням засобів мікропроцесорної техніки.

На рис. 4 приведені перехідні процеси, що відповідають струму ТАД при зміні одного з параметрів (коефіцієнта підсилення) САР (коефіцієнта К3 інтегральної складової пропорційно-інтегрального закону управління) за умови використання операції інтегрування за правилом прямокутників (методом Ейлера) при значенні кроку інтегрування $\tau = 0.007$ с. Процес носить стійкий характер і не суперечить поняттям теорії управління щодо характеру поведінки якісних показників в залежності від коефіцієнту підсилення. Критичне значення кроку інтегрування $\tau = 0.015$ с., при якому процес носить явно нестійкий характер.

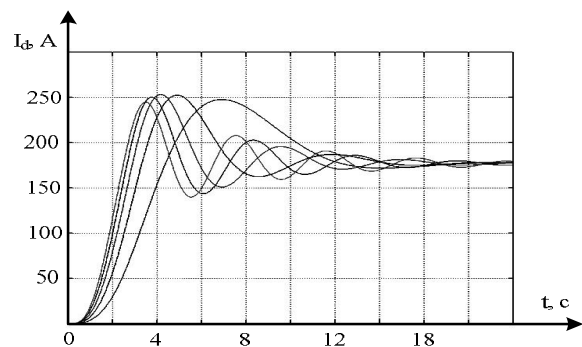


Рис. 4. Залежності струмів ТАД при зміні коефіцієнта K_3

Висновки

1. На основі аналітичного огляду існуючих алгоритмів та систем автоматичного керування електропередачі дизель-поїзда з тяговим електроприводом змінного струму запропоновані структурні схеми регуляторів контурів САР електропередачі та їх математичні моделі для дослідження системи управління з метою визначення параметрів регуляторів за умови забезпечення певних критеріїв якості та розробки алгоритмів (рекурентних співвідношень).

2. Отримані аналітичні співвідношення у вигляді рекурентної форми для реалізації алгоритмів управління (регулятора вихідної напруги інверторів (каналу формування струму)) можуть бути використані при побудові системи управління за допомогою засобів мікропроцесорної техніки, що дозволить створення цифрової системи управління електропередачею дизель-поїзда згідно сучасних тенденцій.

3. Запропоновані математичні моделі, які реалізовані у вигляді машинної моделі і проведені за її допомогою дослідження, розроблені алгоритми (рекурентні співвідношення) показали перспективність такого підходу при проектуванні сучасних систем управління електропередачі локомотивів та дизель-поїздів з тяговими електроприводами змінного струму.

4. Визначені параметри системи автоматичного управління вихідної напруги інверторів (каналу формування струму) асинхронного електродвигуна, які забезпечують задану якість керування (час пе-

рехідного процесу, величину перерегулювання, число перерегулювання, значення швидкодії), допустимих меж зміни параметрів САР та значення періоду дискретизації (кроку інтегрування) за умови реалізації отриманих рекурентних співвідношень засобами мікропроцесорної техніки.

5. На підставі досліджень, які проведені шляхом моделювання показано, що структури регуляторів із значеннями параметрів, що пропонуються, задовольняють вимогам щодо працездатності в робочому проміжку швидкостей та можливих навантажень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Horstmann D. 100 Jahre Entwicklung der Antriebsstechnik für elektrische Bahnen. Teil 2 / D. Horstmann, R. Wagner, W-D. Weigel // Elek. Bahnen. – 2003. – No 7. – P. 338 – 345.
2. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / [Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю.]. – Х.: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.
3. Заполовський М.Й. Синтез управлiнь для оптимiзацiї динамiчних процесiв електроприводу змiнного струму / М.Й. Заполовський, В.В. Скороделов, М.В. Мезенцев // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 4(50). Полтава. 2018. С. 38-41.
4. Грибко В.В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами / В.В. Грибко, В.Ю. Кучерук, О.М. Возняк – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
5. Isermann R. Digital Control Systems: Volume 1: Fundamentals, Deterministic Control / R. Isermann – Springer Science & Business Media, 2013. – 336 p.
6. Dressler Helmuk MICAS – Microcomputer für Fahrzeuge // Elektrische Bahnen. – 1981. – Vol. 79. – №12. – P. 411 – 417.
7. Поповіч М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / М.Г. Поповіч, О.Ю. Лозинський. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
8. Заполовський М.Й. Розробка та дослідженн алгоритмів цифрової системи автоматичного регулювання (САР) електропередачі дизель-поїзда / М.Й. Заполовський, О.К. Пермяков //Тези доповідей шостої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації» - Черкаси-Баку-Бельсько-Бяла-Харків-2018. – С. 60.
9. Заполовский Н.И. К вопросу разработки цифровой системы автоматического регулирования электропередачи дизель-поезда / Н.И. Заполовский, О.К. Пермяков // «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» - Полтава-Баку-Харків-Жиліна - 2018. – С. 10.
10. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления / А.А. Ерофеев – СПб.: Политехника, 2001. – 302 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», Харків
Received (Надійшла) 11.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.04.2019

Разработка и исследование системы управления электропередачи дизель-поезда на основе методов цифрового управления

Н. И. Заполовский, Н. В. Мезенцев

Рассмотрены вопросы разработки и исследования моделей систем автоматического управления (САУ) электропередачей дизель-поезда с электроприводом переменного тока. Проведен обзор литературных источников по заданной тематике и анализ существующих подходов к решению. Рассмотрены как стандартные алгоритмы управления отдельных контуров системы управления так и варианты с использованием методов цифрового управления. Построенные математические модели, структурные схемы моделей контуров САУ электропередачи, предложены рекуррентные соотношения для отдельных контуров управления, проведено моделирование их функционирования. Полученные аналитические соотношения, которые могут быть использованы для разработки структуры САУ электропередачи дизель-поезда и расчета ее параметров при обеспечении определенного критерия качества. Определены параметры САУ выходного напряжения инверторов (канала формирования тока) асинхронного электродвигателя, обеспечивающих заданное качество управления и допустимые пределы изменения параметров САУ.

Ключевые слова: системы автоматического управления, электропередача, электропривод переменного тока, алгоритмы управления, дизель-поезд, математическая модель, рекуррентные соотношения.

Development and research of diesel power train transmission control system based on digital control methods

M. Zapolovsky, M. Mezentsev

The questions of development and research of models of automatic control systems (ACS) of electric power transmission of a diesel train with electric actuator of an alternating current are considered. A review of literary sources on a given topic and an analysis of existing approaches to the decision is made. Both standard control algorithms for separate control system contours and variants using digital control methods are considered. The constructed mathematical models, structural schemes of the models of circuits of ACS, proposed recurrence ratios for the individual control loops, carried out the modeling of their functioning. The obtained analytical relations which can be used for the development of the structure of the electric power transmission line of the diesel train and the calculation of its parameters when providing a certain quality criterion. The parameters of the ACS of the output voltage of the inverters (current generation channels) of the asynchronous electric motor are determined, providing the specified quality of control and allowable limits of change of parameters of the ACS.

Keywords: automatic control systems, power transmission, AC electric drive, control algorithms, diesel train, mathematical model, recurrence relations.