

Д.О. Кулагін, аспірант

О.С. Качур, аспірант

П.Д. Андрієнко, д-р техн. наук

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕГУЛЯТОРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТРУМОМ ТЯГОВОГО ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДЕЛ-02

*Наведено результати імітаційного моделювання роботи тягового електроприводу дизель-поїзда ДЕЛ-02 з використанням модернізованої системи керування автономним інвертором напруги при керуванні з цифровим модальним регулятором активної складової струму.*

*Приведены результаты имитационного моделирования работы тягового электропривода дизель-поезда ДЭЛ-02 с использованием модернизированной системы управления автономным инвертором напряжения при управлении с цифровым модальным регулятором активной составляющей тока.*

*The results of imitation design working of hauling electromechanic drive of diesel-train DEL-02 are resulted with the use of modernized control system by the autonomous negator of tension at a management with the digital modal regulator of active constituent of current.*

### Вступ

При проектуванні систем керування частотно-керованими тяговими електроприводами (ЧКТЕ) повинні бути враховані питання вимог до показників якості перехідних процесів при дії керуючого та обурюючого сигналів, забезпечення необхідного порядку астатизму та точності, нечутливість до впливу зовнішніх параметрів [6]. При використанні стандартних методів синтезу регуляторів систем керування до складних систем тягових електроприводів, що описуються диференціальними рівняннями вищих порядків, не завжди маємо задовільний результат якості перехідних процесів [10] та тягових характеристик поїздів [8].

Широко впроваджується практика поєднання методів синтезу систем підпорядкованого регулювання та систем модального керування з використанням характеристичних поліномів [11].

Дослідження які проводяться в даний час науковими організаціями, що займаються залізничним рухомим складом,

напрявлені на вирішення наступних актуальних завдань:

- зменшення витрат енергоносіїв;
- побудова систем керування, що забезпечують зменшений динамічний вплив тягових одиниць на залізничну колію;
- мінімізація маси тягових одиниць за рахунок використання приводу безмеханічних передач;
- втілення ефективних систем гальмування тягових одиниць;
- заміна аналогових регуляторів та електричних систем на мікропроцесорні цифрові системи розподілу електроенергії та сигналів [9].

### Аналіз попередніх досліджень

Перевезення пасажирів на 50% залізниць України здійснюється дизель-поїздами [9]. Передовою розробкою вітчизняних розробників є дизель-поїзд ДЕЛ-02, що втілює в собі ряд новітніх технічних досягнень сьогодення. Проте, практика використання даної моделі дизель-поїзда показує можливість покращення його тягових властивостей за рахунок використання модернізованої системи

керування тяговим автономним інвертором напруги (АІН) [8].

Вдосконалення системи керування включає в себе оптимальне узгодження режимів роботи дизеля, синхронного генератора, тягових асинхронних двигунів з урахуванням режимів тяги, дії пружних мас вагонів та коефіцієнта зчеплення колісної пари з рейками. Оптимальне узгодження цих процесів можливе мікропроцесорною системою керування, яка повністю контролює енергетичні та механічні показники руху дизель-поїзда [2].

Створення такої системи можливе на базі регуляторів, синтезованих методами поліноміальної алгебри [3]. Використання таких регуляторів у системах електроприводів апробовано, та обґрунтовано з точки зору отриманих перехідних характеристик [5].

### Мета роботи

1. Отримання перехідних характеристик системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 з використанням цифрового регулятора активної складової струму, синтезованого методом поліноміальних коефіцієнтів.

2. Порівняння отриманих тягових характеристик з характеристиками системи, синтезованої методом підпорядкованого керування.

### Матеріал і результати дослідження

Об'єкта керування задано формою:

$$W(p) = \frac{k_i}{R_d \cdot X_c \cdot T_d \cdot p^2 + R_d \cdot X_c \cdot p + 1}, \quad (1)$$

де  $k_i = \frac{2}{\pi}$  – модуль комутаційної функції

АІН;

$X_c$  – ємнісний опір фільтра ланки постійного струму у відносних одиницях;

$R_d$  – активний опір фільтра ланки постійного струму та ошиновки у відносних одиницях.

$$T_d = \frac{L_d}{R_d}, \quad (2)$$

де  $L_d$  – індуктивність ланки постійного струму дизель-поїзда.

Матриця характеристичного поліному регулятора знаходиться відповідно до виразу:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -k_i & 0 \\ R_d \cdot X_c & 0 & k_i \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$X = \text{col}[\beta_0; \alpha_0; \alpha_1], \quad (4)$$

$$d = \text{col}[a_0^e; a_1^e - 1; a_2^e - R_d \cdot X_c], \quad (5)$$

$$CX = d. \quad (6)$$

де  $a_0^e, a_1^e, a_2^e$  – коефіцієнти еталонного характеристичного полінома передаточної функції об'єкта керування.

Щоб забезпечити оптимальне протікання реакції системи на ступінчастий одиничний вхідний сигнал в літературі пропонувалися різні способи розподілу коренів характеристичного рівняння на комплексній площині. Кожний такий стандартний розподіл відповідає певному вигляду передаточної функції системи, яка вийде в результаті розташування коренів характеристичного рівняння відповідно до цього вибраного стандартного розподілу [4,7].

Отримані перехідні характеристики регуляторів показали, що найкраща швидкодія виявляється при використанні схеми Баттерворта. Інші способи синтезу показали проміжний результат за швидкодією.

При синтезі методом підпорядкованого керування передаточна функція подвійного регулятора струму, що налаштовано на технічний оптимум, має вигляд:

$$W_{p.c1}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu p}}, \quad (2)$$

$$W_{p.c2}(p) = \frac{(1 + T_s p) \cdot [(X_c R_d T_d)^2 p^2 + X_c R_d T_d p + 1] \cdot R_s}{2k_T k_i k_{в.п.} T_{\mu p}} \quad (3)$$

де  $R_d, X_c$  – активний та ємнісний опір фільтра у ланці постійного струму;  $T_s, T_d$  – сталі часу обмотки статора та згладжувального реактора;  $k_i$  – модуль комутаційної функції автономного інвертора напруги;  $k_{в.п.}$  – коефіцієнт передачі вентильного перетворювача за напругою [1].

Моделювання розглянутих двох типів регуляторів проводилося на основі тягового двигуна типу АД906У1 ( $P_{ном}=240$  кВт,  $n_{ном}=982$  об/хв,  $I_{ном}=135$  А,  $f_{ном}=33,8$  Гц,  $f_{max}=95$  Гц). На рис. 1-4 наведено результати моделювання електромеханічних процесів ЧКТЕ.

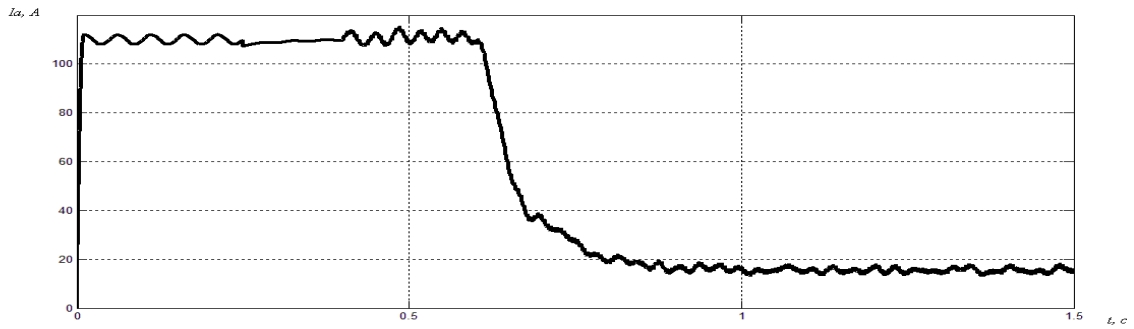


Рис. 1 Осцилограма активної складової струму (регулятори отримано методом підпорядкованого регулювання, масштаб осі часу 0,5 с/под., осі струму 20 А/под.)

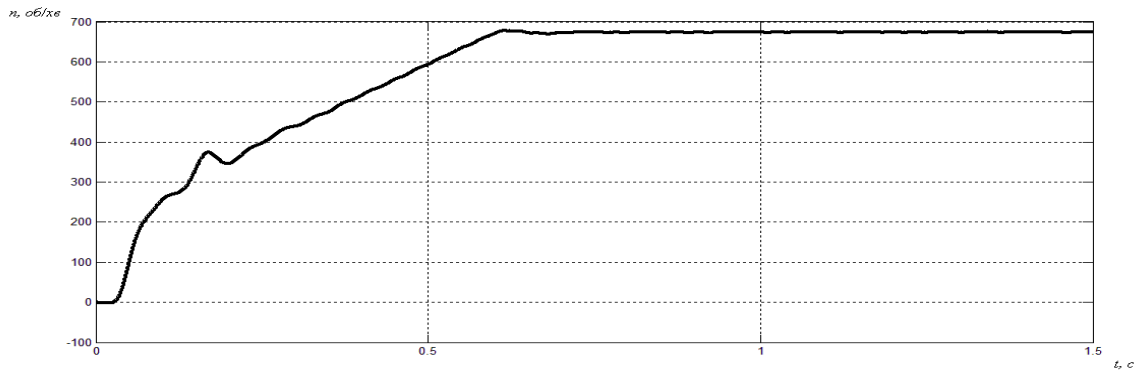


Рис. 2 Осцилограма швидкості обертання вала двигуна дизель-поїзда (регулятори отримано методом підпорядкованого регулювання (масштаб осі часу 0,5 с/под., осі швидкості обертання вала двигуна 100 хв<sup>-1</sup>/под.)

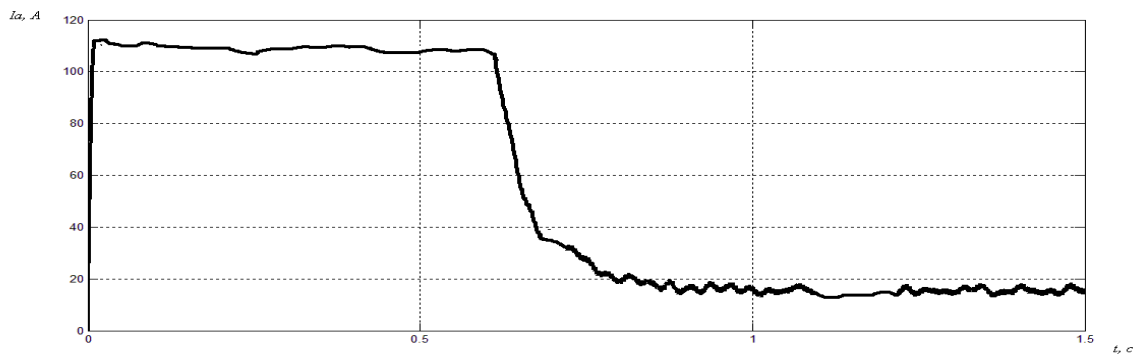


Рис. 3 Осцилограма активної складової струму (регулятори отримано методом поліномів, масштаб осі часу 0,5 с/под., осі струму 20 А/под.)

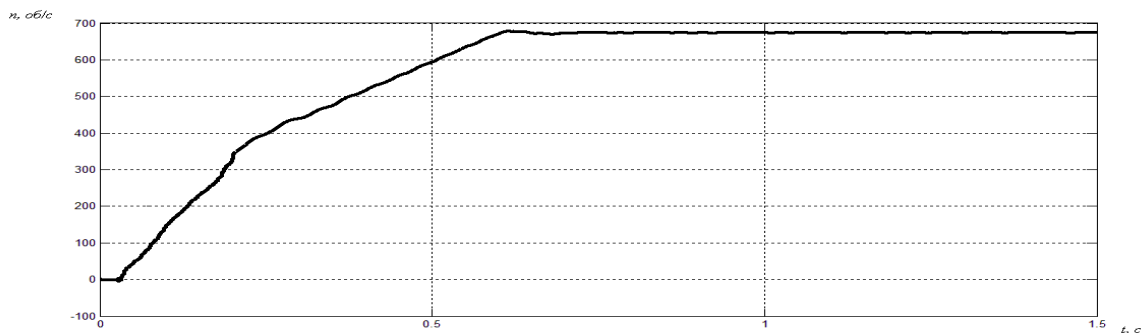


Рис. 4 Осцилограма швидкості обертання вала двигуна дизель-поїзда (регулятори отримано методом поліномів (масштаб осі часу 0,5 с/под., осі швидкості обертання вала двигуна 100 хв<sup>-1</sup>/под.)

## Висновки

1. Впроваджено цифровий регулятор струму до каналу керування АІН дизель-поїзда ДЕЛ-02 та порівняно отримані перехідні процеси розгону двигуна дизель-поїзда з даним регулятором, та з регулятором що було синтезовано методом підпорядкованого керування.

2. Наведені перехідні процеси свідчать, що при використанні цифрового регулятора струму, синтезованого методом поліноміальних рівнянь якість перехідних процесів (рис. 2) поліпшується в порівнянні з характеристикою процесів при використанні регулятора, синтезованого методом підпорядкованого регулювання (рис. 1). Це призвело до стабілізації процесу набору швидкості тяговим двигуном (рис. 4 та рис. 3).

## Список використаної літератури

1. Андриенко П.Д. Динамика двухконтурной системы регулирования скорости асинхронного двигателя с обратной связью по частоте / Андриенко П.Д., Шрейнер Р.Т., Волков А.В. // ЭП. Электропривод. – 1982. – №9. – С. 5-8.

2. Андриенко П.Д. Преобразователи частоты для электропередачи железнодорожного транспорта / Андриенко П.Д., Лобода В.Д., Мищенко А.В. // Електротехніка та електроенергетика. – 2001. - №1. – С. 55-58.

3. Волгин Л.Н. Элементы теории управляющих машин / Л.Н. Волгин. – М.: «Советское радио», 1962. – 164 С.

4. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Л. Н. Волгин. – М.: «Наука», 1986. – 239 С.

5. Залялеев С.Р. О применении метода полиномиальных уравнений для синтеза непрерывных систем электропривода / Залялеев С.Р. // Электротехника.-1998.- №2.- С.48-53.

6. Ишматов З.Ш. Использование метода полиномиальных уравнений для синтеза микропроцессорных систем управления электроприводами / Ишматов З.Ш. // Электротехника. – 2003. - №6. – С. 33-39.

7. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Кузовков Н.Т. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 С.

8. Кулагін Д.О. Розробка моделі модернізованого частотно-керованого тягового електропривода зі змінним алгоритмом керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 / Кулагін Д.О., Качур О.С., Андрієнко П.Д. // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя. – 2010. – №1. – С. 30-34.

9. Носков В.И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. Научное издание / Носков В.И., Дмитренко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю. – Х.: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 С.

10. Паршуков А.Н. Методы синтеза модальных регуляторов / Паршуков А.Н. – Тюмень: ТГНУ, 2008. – 59 С.

11. Потапенко Е.М. Робастные алгоритмы векторного управления асинхронным приводом / Е.М. Потапенко, Е.Е. Потапенко. – Запорожье: ЗНТУ, 2009. – 353 С.



Отримано

Кулагін Дмитро  
Олександрович,  
аспірант Запорізького  
національного технічного  
університету,  
69063, м. Запоріжжя,  
вул. Жуковського, 64  
E-mail: nemix123  
@rambler.ru



Качур Олександр  
Сергійович, аспірант  
Запорізького національного  
технічного університету,

E-mail: aleksandrkachur  
@rambler.ru



Андрієнко Петро Дмит-  
рович,  
д-р тех.наук,  
НДІ «Перетворювач»,  
69041, м. Запоріжжя,  
вул. Кремлівська, 63А