

РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ДЕЛ-02

Кулагін Д.О., аспірант

Запорізький національний технічний університет

69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64

E-mail: nemix123@rambler.ru

Вступ. Проаналізувавши досвід використання дизель-поїздів ДЕЛ-02 [1, 2] зроблено висновок про високу надійність даної вітчизняної розробки та перспективи використання дизель-поїздів ДЕЛ, проте цей досвід свідчить про низку не вирішених технічних проблем в конструкції частотно-керованої асинхронної тягової електропередачі (ЧКАТЕП) дизель-поїздів ДЕЛ:

- незадовільні показники регулювання та підтримки сталого значення струму системи ЧКАТЕП, що пояснюється відсутністю якісного регулятора струму в системі автоматичного керування (САК) і призводить до погіршення характеристик роботи дизель-поїзда під час зміни навантаження (проковзування колісної пари, рух поїзда в гору та згори, наїзд на стики рейок з великим зазором, зміна моменту опору);

- завищені значення робочих та максимальних струмів елементів ЧКАТЕП на стадії проектування та налаштування дизель-поїзда через відсутність в швидкодіючого струмообмеження і якісних перехідних характеристик струмового контуру;

- незадовільні гальмівні характеристики, що пояснюються неефективною системою керування ЕП;

- необхідність покращення динаміки розгону, усталеного руху та гальмування з контролем змін прискорення, швидкості та ривка за рахунок створення комбінованого задатчика цих величин;

- пульсації тягового моменту [3 - 5].

Вирішення даних технічних проблем шляхом комплексної модернізації на основі досвіду синтезу та використання загальнопромислових та транспортних приводів дає змогу створити нову серію технічно більш досконалих дизель-поїздів ДЕЛ. Це дозволить прискорити повний перехід «Укрзалізниці» на тягові системи вітчизняного виробництва, та, в перспективі, створити умови для експорту даної тягової одиниці (що є реальним з огляду на конкурентоспроможну ціну, потреби багатьох держав у дизель-поїздах та високу технічну якість дизель-поїздів ДЕЛ за умови вирішення вказаних проблем).

Аналіз попередніх досліджень. Українськими вченими досліджуються питання проведення модернізації дизель-поїздів ДЕЛ [4-6], зокрема загальнотеоретичні питання побудови інформаційних систем керування на основі нейронних мереж та штучного інтелекту, оптимізації руху та режимів роботи поїзда, побудови математичних моделей складових САК. Дані дослідження сприяють значному покращенню якостей руху дизель-поїздів ДЕЛ, допомогли

вирішити значну кількість технічних задач, що існували на початкових стадіях впровадження у виробництво дизель-поїздів ДЕЛ, проте вказані вище проблеми залишилися не розв'язаними запропонованими засобами.

Модернізована САК повинна містити наступні елементи керування:

- регулятор струму;

- регулятор частоти;

- комбінований задатчик руху поїзда з можливістю обмеження швидкості наростання струму;

- блоки обмеження потужності споживання ТЕП в залежності від рівня завантаження дизеля;

- блоки, що враховують пружні зв'язки, деформацію між елементами ЧКАТЕП, зазори в кінематичному зв'язку АД та елементах візка і вагона, екіпажної частини, фізичний знос колісних пар [1, 2].

Мета роботи полягає у розробці регуляторів струму та частоти САК ЧКАТЕП дизель-поїзда ДЕЛ-02.

Матеріал і результати дослідження. Використання класичних форм регуляторів струму не завжди дозволяє отримати якісні перехідні процеси в контурі струму [7]. При аналізі роботи [7] виявлено якісний універсальний спосіб компенсації електроімпульсної сили (ЕРС) обертання асинхронного двигуна (АД), який разом з цим дозволяє в більшості випадків знехтувати внутрішніми перехресними зв'язками АД [7]. Він полягає у застосуванні подвійного регулятора струму, який синтезовано за відомою структурною схемою регулювання [7] методами підпорядкованого регулювання.

До недоліків методу підпорядкованого регулювання слід віднести:

- складність та відсутність наглядності процесу синтезу регуляторів;

- необхідність проведення громіздких структурних перетворень в процесі синтезу;

- нестабільна робота отриманих регуляторів при відхиленні фактичних значень величин, що входять до складу регулятора, в процесі роботи.

Для синтезу нового регулятора струму скористаємося методом поліномів, основи якого розглядаються багатьма авторами [8-11]. Це дозволить отримати САК, установки параметрів якої залишаться незмінними в процесі експлуатації системи незалежно від змін її параметрів [9-11], яка в порівнянні з традиційними системами буде мати мінімальні ускладнення, високу швидкодію та стандартні налаштування [10] і за дослідженнями [8, 10] робить

отриману САК стійкою до варіації параметрів об'єкта керування та похибок налаштування зворотних зв'язків.

На підставі проведеного автором синтезу регулятора отримано передаточну функцію першого регулятора струму:

$$W_{\text{дн1}}(p) = \frac{R_s(T_s p + 1)(m_2 p^2 + m_1 p + m_0)}{(n_2 p^2 + n_1 p + n_0) p k_0}, \quad (1)$$

та другого регулятора струму:

$$W_{\text{дн2}}(p) = \frac{1}{4T_\mu p}, \quad (2)$$

де T_s, T_μ - малі постійні часу відповідно статора АД та перетворювача частоти ЧКАТЕП;

$m_2, m_1, m_0, n_2, n_1, n_0$ - коефіцієнти регулятора, що отримуються методом поліномів для об'єкта керування;

k_0 - коефіцієнт підсилення об'єкта керування.

Для оцінки швидкодії отриманої передаточної функції регулятора порівняємо його перехідну характеристику з характеристикою відомого класичного подвійного регулятора струму [7].

На основі даних про тяговий двигун дизель-поїзда ДЕЛ-02 побудуємо перехідні характеристики (реакція на одиничний східчастий сигнал) синтезованого подвійного регулятора (1)-(2) та відомого подвійного регулятора струму [7], що представлені на рис. 1.

Також на рис. 1 наведено характеристику синтезованого регулятора з врахуванням множника при другій степені чисельника передаточної функції (1) в передаточній функції ПЧ з фільтром – крива 4. Як видно з наведеного графіку спрощення даного множника є припустимим з огляду на ідентичну поведінку регулятора як з даним множником, так і без нього.

Побудова характеристик здійснюється автоматично за допомогою математичної програми ЦУМПУ [12] на основі вводу отриманих залежностей, що описують регулятор.

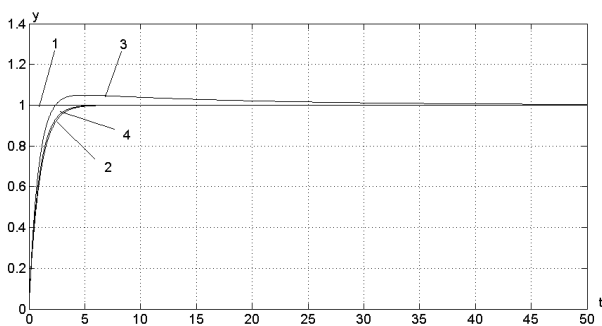


Рис. 1. Характеристики синтезованого подвійного регулятора (2) та відомого подвійного регулятора струму (3) при реакції на одиничний сигнал завдання (1)

З рис. 1 видно, що відомий подвійний регулятор швидше досягає необхідного рівня сигналу завдання завдяки наявності перерегулювання на рівні близько

5%, яке відсутнє у синтезованого регулятора (через розподіл його коефіцієнтів за стандартними оптимальними методиками, в яких не закладено перерегулювання, для забезпечення стійкості перехідних процесів до зміни параметрів кіл регулювання).

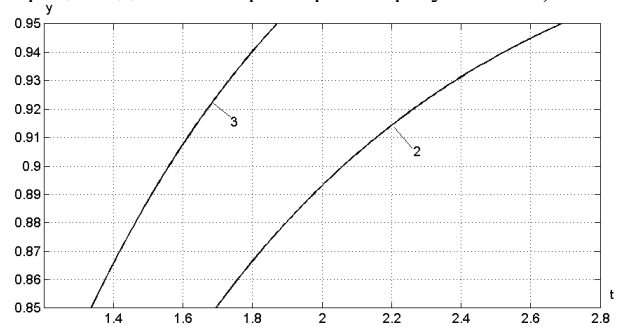


Рис. 2. Характеристики синтезованого подвійного регулятора (2) та відомого подвійного регулятора струму (3) при реакції на одиничний сигнал завдання на рівні 0,9 від досягнення сигналу завдання

На рис. 2 наведено збільшення масштабу ділянки часу графіків рис. 1 на рівні досягнення сигналу завдання 0,9 від встановленого. Різниця в часі досягнення складає 1,34 разу на користь відомого подвійного регулятора. Проте, час досягання заданого сигналу синтезованим регулятором вкладається в межі 9-12 мс, що є припустимим показником для тягових електропередач.

Варіація значень активного опору статорного кола тягового АД для роботи тягової електропередачі в межах від -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ зміни температури її елементів складає 1,5 кратну зміну (при початку роботи дизель-поїзда взимку за від'ємної температури та подальшому нагріванні елементів тягової електропередачі в процесі роботи), проте САК, синтезовані традиційними підходами, на відміну від синтезованих методом поліномів, не можуть при цьому забезпечити необхідної якості керування.

Перевіримо якість перехідної характеристики синтезованого регулятора струму при збільшенні та зменшенні опору статорного кола АД в 1,5 рази від номінального значення (рис. 3).

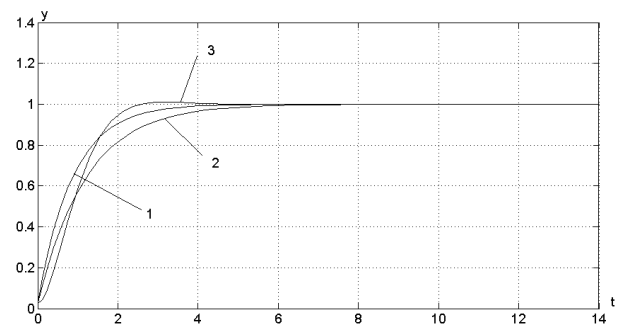


Рис. 3. Характеристики синтезованого подвійного регулятора струму при номінальному значенні опору статорного кола (1), при збільшенні в 1,5 рази від номінального значення (2) та зменшенні в 1,5 рази опору статорного кола від номінального (3)

Перевіримо також роботу відомого подвійного регулятора струму при аналогічній зміні опору ста-

торного кола АД в 1,5 рази від номінального значення (рис. 4).

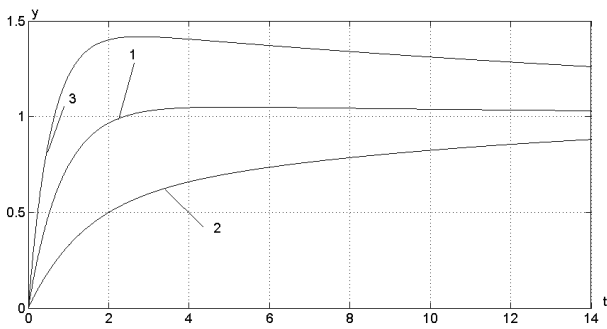


Рис. 4. Характеристики відомого класичного подвійного регулятора струму при номінальному значенні опору статорного кола (1), при збільшенні в 1,5 рази від номінального значення (2) та зменшенні в 1,5 рази опору статорного кола від номінального (3)

З наведених перехідних процесів (рис. 4) видно, що регулятор, синтезований методом підпорядкованого регулювання при аналогічній зміні опору статорного кола АД в 1,5 рази від номінального значення показує нестабільні перехідні характеристики: при зменшенні опору статорного кола з'являється значне перерегулювання на рівні 44%, а при збільшенні опору статорного кола значно зменшується швидкість регулятора. Це доводить не оптимальну роботу регуляторів, синтезованих класичними підходами при варіації параметрів об'єкта регулювання.

Наведені перехідні характеристики показують стабільність роботи отриманого регулятора при варіації активного опору статорного кола АД в 1,5 рази.

Висновки. 1. Синтезовано регулятори САК ЧКАТЕП дизель-поїзда ДЕЛ-02 методом поліномів.

2. Отримано оптимальну роботу контуру регулювання струму в межах 1,5 разів відхилення активних опорів кіл системи від номінального значення.

3. Зменшено перерегулювання перехідного процесу за струмом на 5 % в порівнянні з класичним подвійним регулятором струму.

4. Наведений підхід синтезу дозволив значно спростити процес синтезу та налаштування в порівнянні з класичними методами синтезу САК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулагін, Д. О. Моделювання квазівекторної системи частотно-регульованого електроприводу асинхронного двигуна без давача швидкості [Текст] / Кулагін Д. О., Качур О. С., Андриєнко П. Д. // Вісник НТУ «ХПІ». – 2008. – № 30. – С. 168–170.

2. Кулагін, Д. О. Двוזонне квазівекторне регулювання швидкості обертання тягового двигуна дизель-поїзда ДЕЛ-02 [Текст] / Кулагін Д. О., Качур О. С., Андриєнко П. Д. // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – № 4 (63). – С. 15–18.

3. Протоколи випробувань № 80-85/2005. О результатах поездных испытаний электропередачи дизель-поезда ДЭЛ-02 [Текст]. – Холдинговая компания «Лугансктепловоз», ЦКБ ИЦ «ТРАНССЕРТ». – 2005. – 157 С.

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

5. Басов, Г. Г. Прогнозування розвитку дизель-поїздів для залізниць України : Монографія. Ч. 1 [Текст] / Басов Г. Г. – Х. : Апекс+, 2004. – 240 С.

6. Орловский, И. А. Учет упругих связей и распределенной нагрузки при векторном управлении асинхронным тяговым приводом дизель-поезда [Текст] / Орловский И. А., Кулешов А. Н. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна. – 2007. – № 19. – С. 209–213.

7. Андриєнко, П. Д. Тиристорные преобразователи частоты с автономными инверторами для регулируемых электроприводов. Дис. на соискание ученой степени доктора технических наук [Текст] / Андриєнко П. Д. – ВНИИ Преобразователь. – Запорожье. – 1982. – 341 С.

8. Акимов, Л. В. Синтез упрощенных структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой [Текст] / Акимов Л. В., Долбня В. Т., Клепиков В. Б., Пирожок А. В. – Х. : НТУ «ХПИ», Запорожье : ЗНТУ, 2002. – 160 С.

9. Толочко, О. И. Применение метода стандартных полиномов при синтезе систем подчиненного регулирования [Текст] / Толочко О. И. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ. – 2003. – № 4 (62). – С. 114–120.

10. Гурентьев, Е. А. Разработка и исследование робастной системы управления частотно-регулируемым асинхронным электроприводом на основе полиномиальных методов. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. технических наук [Текст] / Гурентьев Е. А. – Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург. – 2010. – 23 С.

11. Porter, B. Modal Control : Theory and Applications [Text] / B. Porter, R. Crossley. – New York : Barnes and Noble, 1972. – 233 P.

12. Автоматизированное схемотехническое проектирование силовых преобразовательных устройств ЦУМПУ - ЕС-2.0 - Комплекс программ [Текст]. – К. : Реклама, 1987. – 4 С.

Розроблено регулятори системи керування тяговою передачею дизель-поїзда ДЕЛ-02 методом поліномів.

Ключові слова: метод поліномів, система керування, активна складова струму, регулятор, частота.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДЭЛ-02

Кулагин Д.А., аспирант

Запорожский национальный технический университет

69063, г. Запорожье, ул. Жуковського, 64

E-mail: nemix123@rambler.ru

Разработаны регуляторы системы управления тяговой передачей дизель-поезда ДЭЛ-02 методом полиномов.

Ключевые слова: метод полиномов, система управления, активная составляющая тока, регулятор, частота.

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF CONTROL SYSTEM BY THE HAULING TRANSMISSION OF A DIESEL-LOCOMOTIV DEL-02

Kulagin D., post-graduate student

Zaporozhye National Technical University

Zaporozhye, 69063, st. Zhukovskogo, 64

E-mail: nemix123@rambler.ru

The regulators of control system are worked out by a hauling transmission of diesel-train DEL-02 by the method of polynomials.

Keywords: the method of polynomials, a control system, an active component of a current, a regulator, frequency.