

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДОМ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи

КРМ.273.14.11.25.01 ПЗ

Розробив: студент групи 214-ЕЕ-Д24
спеціальності 273 «Залізничний транспорт»
освітньої програми «Електровози та
електропоїзди»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)
_____ Павло ПІДДУБКО

Керівник: к.т.н., доцент
Артем МАСЛІЙ

Рецензент: д.т.н., професор
Ольга АНАНЬЄВА

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 116 аркушів пояснювальної записки формату А4, у тому числі 39 рисунків, 10 таблиць, 48 літературних джерел.

Ключові слова: електропоїзд, система керування, тяговий електропривод, енергоефективність, автоматичне керування.

Об'єктом дослідження є електропоїзд як складна електромеханічна система.

Метою дослідження є розробка та дослідження системи керування електропоїздом на основі математичної моделі тягового електропривода, а також аналіз її динамічних та енергетичних характеристик у різних режимах руху.

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз сучасних систем керування електропоїздами, розроблено структуру системи керування, проведено розрахунок вихідного перетворювача та виконано оцінку економічної доцільності впровадження запропонованих рішень.

ABSTRACT

This qualification work includes 116 pages of explanatory notes in A4 format, including 39 figures, 10 tables, and 48 references.

Keywords: electric train, control system, traction electric drive, energy efficiency, automatic control.

The object of research is an electric train as a complex electromechanical system.

The purpose of the study is to develop and investigate an electric train control system based on a mathematical model of a traction electric drive, as well as to analyze its dynamic and energy characteristics in different modes of operation.

The thesis analyzes modern electric train control systems, develops a control system structure, calculates the output converter, and assesses the economic feasibility of implementing the proposed solutions.

Зміст

Вступ	7
1 Сучасний стан та напрями розвитку систем керування електропоїздами	9
1.1 Основні етапи розвитку систем автоматичного керування моторвагонним рухомим складом	9
1.2 Системи автоматичного регулювання та керування тяговим електроприводом електропоїздів	21
1.3 Сучасні проблеми та перспективи розвитку систем керування електропоїздами	48
2 Розробка та обґрунтування системи керування електропоїздом	53
2.1 Аналіз та обґрунтування структури системи керування електропоїздом	53
2.2 Вихідний перетворювач. Розрахунок характеристик	57
2.3 Технічне завдання	89
3 Охорона праці	100
4 Оцінка техніко-економічної ефективності впровадження системи керування	105
4.1 Вплив системи керування на енергоефективність електропоїзда	105
4.2 Економічна доцільність впровадження систем автоматичного керування	107
Висновки	115
Список використаних джерел	117

					КРМ. 273.14.11.25.01 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Піддубко				Розробка та дослідження системи керування електропоїздом	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Маслій						6	110
Рецензент	Ананьєва					УкрДУЗТ кафедра ЕТЕМ		
Н. Контр.	Маслій							
Затверд.	Бабаєв							

Вступ

Сучасний розвиток залізничного транспорту нерозривно пов'язаний із впровадженням високоефективних систем автоматичного керування рухомим складом, що зумовлено зростанням вимог до енергоефективності, безпеки руху, надійності та екологічності перевезень. Особливе місце у структурі залізничних перевезень займають електропоїзди, які широко використовуються в приміському та міському сполученні та характеризуються інтенсивними режимами розгону, гальмування і частими зупинками. За таких умов ключовим чинником забезпечення ефективної роботи електропоїзда є вдосконалення системи керування його тяговим електроприводом.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення техніко-економічних показників експлуатації електропоїздів шляхом розробки та дослідження сучасних систем керування, здатних адаптуватися до змінних умов руху, навантаження та зовнішніх збурень. Традиційні методи керування не завжди забезпечують оптимальні динамічні характеристики, мінімізацію енергоспоживання та зниження зносу тягового обладнання, що обумовлює потребу застосування математичного моделювання, методів автоматичного регулювання та інтелектуальних алгоритмів керування.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та дослідження системи керування електропоїздом на основі математичної моделі тягового електропривода, а також аналіз її динамічних та енергетичних характеристик у різних режимах руху. Для досягнення поставленої мети в роботі передбачається аналіз існуючих систем керування електропоїздами, побудова математичної моделі руху електропоїзда, синтез алгоритмів керування та оцінка їх ефективності за результатами моделювання.

Об'єктом дослідження є електропоїзд як складна електромеханічна система.

Предметом дослідження є процес керування тяговим електроприводом електропоїзда та її динамічні властивості.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання

отриманих результатів для вдосконалення існуючих або розробки перспективних систем керування електропоїздами з метою підвищення ефективності їх експлуатації, зниження енергоспоживання та покращення показників надійності і безпеки руху.

Список використаних джерел

1. Базюк Т. М., Блінов І. В., Буткевич О. Ф., Гончаренко І. С., Денисюк С. П. та ін. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Інститут електродинаміки НАН України. Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
2. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник / С. В. Панченко, М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Ч. 1. – 280 с.
3. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник / С. В. Панченко, М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Ч. 2. – 204 с.
4. Основи експлуатації локомотивів: навчальний посібник / О. Б. Бабанін, Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін, В. Г. Пузир. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 267 с.
5. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
6. Ернст В. В. Управління режимами розподільчих мереж із відновлюваними джерелами енергії. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. 109 с.
7. Журахівський А. В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник. КПІ ім. Ігоря Сікорського, «Політехніка», 2017. 456 с.
8. Любарський Б. Г. 3-17 Основи електричної тяги, режими роботи електрорухомого складу постійного струму з асинхронним тяговим двигуном. Для студентів спеціальності 6.050702 електричний транспорт усіх форм навчання: Навч.-метод. посібн. / Любарський Б. Г., Овер'янова Л. В., Якунін Д. І., Демидов О.В. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – 205 с.
9. Основи електричної тяги, режими роботи електрорухомого складу постійного струму з асинхронним тяговим двигуном. для студентів спеціальності 6.050702 електричний транспорт усіх форм навчання: Навч.-

метод. посібн. / Любарський Б.Г., Овер'янова Л.В., Якунін Д.І., Демидов О.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – 205 с.

10. Гончарова Л. Л. Методи інтелектуалізації інноваційних комп'ютерних технологій бортових систем моніторингу локомотивів. Електрифікація транспорту. 2017. № 13. С.85-91.

11. Інструкція з руху поїздів та маневрової роботи залізниць України. Київ: Транспорт України, 2005. 259 с.

12. Інструкція з сигналізації на залізницях України. Київ: Транспорт України, 2008. 158 с.

13. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. ЦШЕОТ 0012 – К.: Укрзалізниця, 1998. – 72 с.

14. Константинов Д. В. Формування актуальних напрямків розвитку пасажирських приміських перевезень залізниць України [Текст] / Д.В. Константинов, С.М. Ватраль // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 14-22.

15. Кошевий С. В., Ананьєва О. М., Бойнік А. Б. Вимоги до сучасних систем інтервального регулювання руху поїздів. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези LXVI Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДІПТ, 2006. – С. 321.

16. Кошевий С. В., Семелетів В. О., Соболев Ю. В. Інтеграція систем автоматичної ідентифікації рухомого складу в існуючі системи забезпечення безпеки руху поїздів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003, № 5. – С. 74-77.

17. Кошевий С. В., Соболев Ю. В., Ананьєва О. М. Основні напрямки розвитку засобів залізничної автоматики з урахуванням класу та категорії залізничних ліній. // Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: Тези 1 Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДІПТ, 2007. – С. 69.

18. Мойсеєнко В. І., Курцев М. С., Лазарєв О. В. Технології та технічні засоби систем керування рухом поїздів: Навч. посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 97 с.

19. Організація швидкісних та високошвидкісних перевезень: Конспект лекцій / А. В. Прохорченко, Т. Ю. Калашнікова, Д. В. Константинов, П. В. Долгополов. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Ч. 1. – 62 с.

20. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.Ф. Кустов; Укр. держ. акад. залізн. трансп. Ін-т перепідготов. та підвищ. кваліфікації кадрів. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – 216 с. – ISBN 966-7593-38-X.

21. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: Навч. посіб. / Є. І. Балака, О. І. Зоріна, Н. М. Колесникова та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.

22. Правила технічної експлуатації залізниць України. Київ: Транспорт України, 2003. 256 с.

23. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ/0042. – К.: Укрзалізниця, 2006. – 461 с.

24. Самсонін В. М. Безпека руху поїздів на залізничному транспорті: навч. посібник / В. М. Самсонін, А. Б. Бойнік, О. Й. Соколов. К.: КУЕТТ, 2004. – 170 с.

25. Самсонкін В. М., Бойнік А. А., Соколов О. Й., Удовіков О. О. Збірник нормативних документів з безпеки руху поїздів на магістральному залізничному транспорті України. Навчальний посібник. Харків: ХФВ: „Транспорт України”, 2002. – 124 с.

26. Системи диспетчерського управління [Текст]: навч. посіб. / О. В. Нейчев; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 289 с. – ISBN 978-617-654-040-3.

27. Організація швидкісних і високошвидкісних перевезень: Конспект лекцій / А. В. Прохорченко, П. В. Долгополов, Д. В. Константинов, Т. Ю. Калашнікова. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. Ч. 2. – 65 с.

28. An implementation of EURORADIO protocol for ERTMS/ETCS systems // XXXIV International Conference on Railway Engineering and Management. – ResearchGate, 2013. – P. 10

29. An overview of lesson learnt from ERTMS implementation in European railways. – P. Smith, A. Majumdar, and W. Y. Ochieng. – Journal of Rail Transport Planning & Management, 2012. – Vol 2. – P. 79-87.

30. Basic principles of odometry. In ETCS for engineers. – Apel, N., & Strahl, J. – Eurail Press, 2011. – P. 126-130.

31. Challenges and solutions for ensuring good driveability on ERTMS lines. – Kecklund, L., & Nordlöf, E. – London, 2015. – P. 14-17.

32. Challenges for ERTMS related to implementation, technology and railway capacity. – VAHID RANJBAR. – Stockholm, 2021. – P. 25.
33. Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations. – Aleksander Sniady. – Denmark, 2015. – P. 253.
34. ERTMS / ETCS radio block centre; method for establishing a connection with said radio block centre. – European Patent Office, 2014. – P. 16.
35. ERTMS // A guide for stakeholders. – EIM. – Brussels, 2020. – P. 30.
36. ERTMS REGIONAL AND NORTH AMERICAN DARK TERRITORY: A COMPARISON. – George Raymond, BA, MS, Independent Consultant, Railweb GmbH, Switzerland Ron Lindsey, BS, MBA, Independent Consultant, Communication Architecture, USA Jörn Pachl, PhD, Professor, Braunschweig Technical University, Germany. – IRSE, 2012. – P. 13.
37. ERTMS/ETCS Hybrid Train Detection. – EEIG ERTMS Users Group. – Brussels, 2022. – P. 60.
38. ETCS Implementation Handbook. – UIC, 2008. – P. 79.
39. Formalising the Hybrid ERTMS Level 3 specification in iUML-B and Event- B. – Dana Dghaym, Mohammadsadeqh Dalvandi, Michael Poppleton, Colin Snook – ABZ, 2018. – P. 17.
40. Is GSM-R the limiting factor for the ERTMS system capacity? – Gustaf Lindström. – Stockholm, 2012. – P. 50.
41. László Mosóczi. MÁV ERTMS Strategy and Rollout. – Brussels: Hungarian State Railway Co. Ltd. Infrastructure Business Unit, 2006. – P. 18.
42. Meldung ETCS Level 1 auf der Strecke Wien – Budapest // Eisenbahntechnische Rundschau. – Hamburg, 2005. – P. 592.
43. Non-Markovian performability evaluation of ERTMS/ETCS Level 3. – Laura Carnevali, Francesco Flammini, Marco Paolieri, and Enrico Vicario. – Florence, 2015. – P. 15.
44. Operational Concept for ERTMS. – RSSB – ERTMS – OC. – London: Rail Safety and Standards Board Limited, 2014. – Vol. 2. – P. 159.
45. Peter Eichenberger. Kapazitätssteigerung durch ETCS // Signal + Draht. – Hamburg: Tetzlaff Verlag GmbH, 2007. – H. 99, Nr. 3. – P. 6-14.
46. Peter Schmied. ETCS-System auf der Strecke Wien – Budapest erfolgreich getestet // Eisenbahntechnische Rundschau. – Hamburg, 2000. – P. 32.
47. Potential for moving blocks and train fleets to enable faster train meets

on single-track rail corridors. – Diaz de Rivera, A., Dick, C., & Evans, L. E. – Journal of Transport Engineering, Part A: Systems, 2020. – P. 1-13.

48. Theory of electric and magnetic circuits: Textbook / S.V. Panchenko, O.M. Ananieva, M.M. Babaiev et al. – 2nd ed., corrected. and add. – Kharkiv: UkrSURT, 2020. – 246 p.