

УДК 629.4

КОМБІНОВАНІ НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ У СИЛОВОМУ ЛАНЦЮГУ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ

Яровий Р.О.

COMBINED ENERGY STORAGE IN THE POWER CIRCUIT SHUNTING LOCOMOTIVES

Yarovoy R.

Розглянута можливість і зроблено оцінку енергоефективності використання комбінованих накопичувачів енергії як буферних накопичувачів енергії при електродинамічному гальмуванні маневрових локомотивів. Розглядається принцип дії комбінованих накопичувачів енергії, режими його роботи, наводяться структурна схема для опису силових частин комбінованих накопичувачів енергії. Наведено розрахунок параметрів накопичувача. У заключній частині статті наводяться результати моделювання.

Ключові слова: рухомий склад, електродинамічне гальмування, накопичення енергії, комбіновані накопичувачі, гібридний привід.

Вступ. В сучасних умовах, поряд з підвищенням продуктивності локомотивів все більшу важливість набуває економія паливно-енергетичних ресурсів, підвищення надійності та екологічної ефективності. Розробка нового рухомого складу і заміна їм застарілих локомотивів пов'язана зі значними матеріальними витратами, тому особливого значення набуває вдосконалення існуючих локомотивів. Основною метою модернізації експлуатованих і створення нових локомотивів є підвищення їх продуктивності і енергетичної ефективності, що сприяють скороченню витрати палива на тягу поїздів і при простой з працюючою силовою установкою.

Одним із способів досягнення цієї мети є застосування комбінованих силових установок, до складу яких входять накопичувачі енергії. Застосування накопичувачів енергії, здатних сприймати різко змінні навантаження при одночасній стабілізації режиму роботи теплового двигуна, дозволять підвищити його надійність та екологічні показники.

З огляду на чималі витрати, необхідні при розробці та створенні систем накопичення та рекуперації енергії, починати практичні роботи по їх впровадженню на локомотивах слід після всебічного аналізу можливих вигод від їх застосування в співвідно-

шенні з додатковими витратами по устаткуванню ними рухомого складу. При цьому одним з важливих якостей тепловозів з електропередачею в підвищенні безпеки руху - можливість застосування електродинамічного гальмування, яке володіє рядом переваг в порівнянні з пневматичним. Завдяки кращим противоюзним властивостям електродинамічний гальмо дозволяє реалізувати більш високі гальмівні зусилля, обмежені за умовами зчеплення коліс з рейками. Завдяки великій потужності електродинамічного гальма в ряді випадків можливе виконання службового гальмування одним лише локомотивом, без включення пневматичного гальма складу або з використанням її в мінімальному ступені.

Використання комбінованих накопичувачів енергії в силових ланцюгах маневрових локомотивів дозволить не тільки скоротити витрату палива, зменшити шкідливі викиди та збільшити ресурс обладнання, а також зменшити ціну накопичувача.

Постановка проблеми.

Робота накопичувача енергії у силовому ланцюгу відбувається в перехідних режимах під час рекуперативного гальмування та під час розгону тягових двигунів. Ці режими обумовлені великими значеннями струмів у силовому ланцюгу.

Практична реалізація рекуперативних та розгінних режимів пов'язана з певними складнощами. Силкові конденсаторні зборки, здатні сприймати великі зарядні струми, досить дорогі. Використання комбінованих накопичувачів здешевлює модернізацію маневрових локомотивів але потребує розробки схем підключення та систем керування процесом накопичення та звільнення накопиченою енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомі публікації [1-3], в яких відзначається економічна доцільність застосування накопичувачів енергії на рухомому складі. В [1] згадані конденсатори загальною ємністю.

Однак в літературі відсутні рекомендації по вибору необхідної ємності накопичувача і схемної реалізації. Також не приведена система управління та алгоритм управління накопичувачем енергії.

Мета. Метою цієї роботи є оцінка енергоефективності і доцільності модернізації маневрових локомотивів, встановленням комбінованого накопичувача енергії у силовому ланцюгу.

Результати досліджень.

Безпосереднє підключення силових конденсаторів до хімічного джерела з малої ємністю, призведе до величезних пусковим струмів, що рівносильно короткого замикання. Крім того, застосування суперконденсаторів, спільно з акумуляторними батареями може привести до гігантських імпульсним викидів потужності при випадкових коротких замикань.

Результати випробувань комбінованої системи запуску показали, що при використанні великих значень ємності (більше 10Ф) суперконденсатора, виникає необхідність застосування системи контролю напруги заряду, так як перезарядка суперконденсаторів призводить його до підвищення температури, що призводить до вибуху і виходу з ладу.

У зв'язку з цим, розроблена електрична схема пристроїв підвищення надійності комбінованих систем накопичення електроенергії.

На рис. 1 представлена спрощена електрична схема, з поділом зарядних і розрядних струмів, містить зарядний і розрядний ланцюг, паралельно з'єднаних хімічного джерела і суперконденсатора.

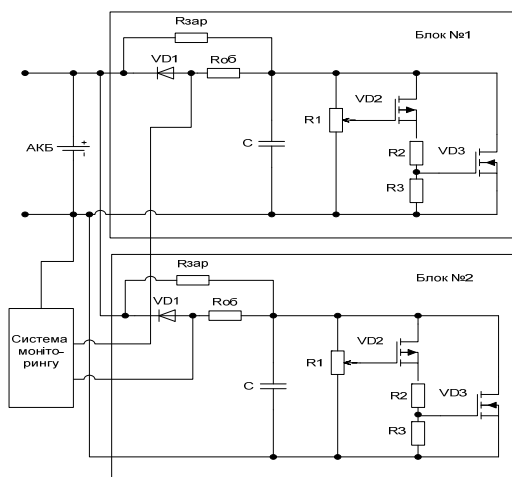


Рис. 1. Спрощена схема комбінованого накопичувача

Для підвищення ємності силових конденсаторів використовують конденсаторні збірки.

Для різних електроустановок потрібне забезпечення оптимальних режимів заряду і розряду суперконденсаторів. З метою підвищення надійності та безпеки доцільно використовувати високоточні стабілізатори на базі польових транзисторів.

Система моніторингу здійснює поточний контроль напруги, здійснює діагностику та статистичний контроль не штатних експлуатаційних режимів накопичувача.

Для забезпечення суттєвих результатів при використанні накопичувача енергії і збереження максимальної кількості енергії при гальмуванні необхідно, визначити параметри акумуляторної батареї та блоку суперконденсаторів.

Для визначення необхідного значення ємності блоку суперконденсаторів та акумуляторної батареї розглянемо процес перетворення кінетичної енергії в електричну енергію при гальмуванні. Відомо, що кінетична енергія масою m , яка переміщується з лінійною швидкістю V визначається виразом

$$E_{\text{зал}} = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ (Дж)}$$

де η – сумарний ККД механічної та електричної частини.

Енергія конденсаторних блоків може бути оцінені за формулами:

$$E_C = \frac{CU^2}{2} \text{ (Дж)}$$

де: C - ємність силового конденсатора, U - напруга на електродах силового конденсатора.

Коефіцієнт використання силових конденсаторів розраховуємо за формулою

$$K_u = \frac{E_{C_{\text{max}}} - E_{C_{\text{min}}}}{E_{C_{\text{max}}}} = 1 - \left(\frac{U_{C_{\text{min}}}}{U_{C_{\text{max}}}} \right)^2$$

Відповідно до виразом на рис.2. побудований графік залежності коефіцієнта використання енергії конденсатора від співвідношення мінімального і максимального значення напруги заряду C . Як видно з представленої залежності, доцільно розряджати C до мінімальної напруги $\leq 20\%$ від максимальної. При цьому коефіцієнт використання енергії конденсаторної батареї буде максимальним.

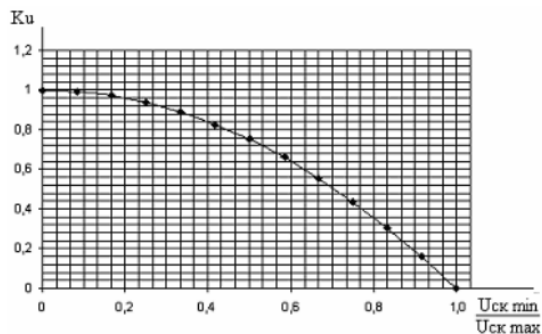


Рис. 2. Залежність коефіцієнта використання енергії конденсатора від співвідношення мінімального і максимального значення напруги заряду

Значення ємності конденсаторного блоку з урахуванням коефіцієнту використання

$$C = \frac{2,1A_C}{U_{C_{\max}}^2} = \frac{2,1A_{\text{зал}}}{U_{C_{\max}}^2} \eta$$

де η – сумарний ККД механічної та електричної частини.

Таким чином ємність конденсаторного накопичувача при електродинамічному гальмуванні тільки локомотива повинна бути не менше 50Ф, тому необхідно використовувати комбіновані накопичувачі.

Важливим параметром для накопичувача енергії та системи перетворення є струм. Для його дослідження використовуємо імітаційну модель.

У середовищі математичного моделювання Matlab-Simulink з використанням пакета SimPowerSystems була розроблена математична модель приводу з комбінованим накопичувачем енергії яка показана на рис. 3. Ця модель використовується для дослідження струму в режимах розгону і рекуперативного гальмування.

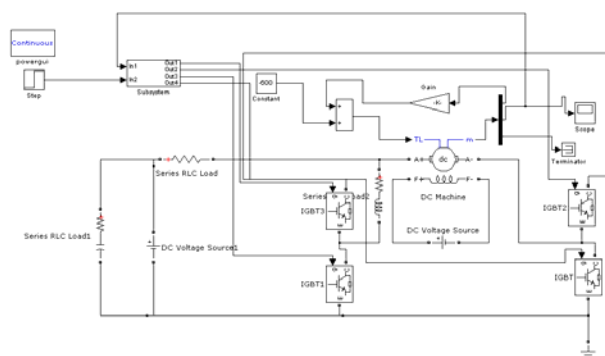


Рис. 3. Блок-схема математичної моделі

Таким чином, впровадження комбінованої системи накопичення енергії у силовому ланцюгу маневрових тепловозів забезпечує наступні функції:

- Суперконденсаторна установка, працюючи в парі зі акумуляторною батареєю, бере на себе всі потужності функції в період максимального струму;
- Глибина розряду акумуляторної батареї при роботі в парі з суперконденсатором зменшується в кілька разів, режим її експлуатації стає більш м'яким, при цьому зростає її термін служби;
- Суперконденсаторна установка зменшує коливання струму у перехідних режимах;
- Забезпечується максимальне накопичення енергії під час електродинамічного гальмування;

Висновок. Запропонована методика розрахунку параметрів комбінованого накопичувача енергії. Однак вибір між різними варіантами підключення суперконденсаторів та акумуляторних батарей виявляється непростим завданням і вимагає подальших досліджень і оцінки техніко економічної ефективності. Попередньо можна зробити висновок, що використання запропонованої схеми дозволяє підвищити ефективність використання ємності дорогих супер-

конденсаторів і відповідно на 15-30% знизити їх вартість.

Л і т е р а т у р а

1. Устенко А. В. Использование накопителей энергии для повышения параметров локомотивов / А. В. Устенко, О. В. Пасько // Электромеханичні і енергозберігаючі системи. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 293–296.
2. Ayers C.W., Hsu J.S. Evaluation of 2004 Toyota Pruis Hybrid Elektric Drive System Interun Report. OaK Ridge National Laboratory/TM-2004/247.
3. Imanyagita A., Kiriya T., M. Arimura M, M. Navamura M. Development of Inwheel Motor System for Large-size Bus using 22.5 inch Wheel Mounted Motor. 2006.- p. 9-13
4. Marian K. Kazimierczuk. Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters. Wright State University, Dayton, Ohio, USA, 2008, 808 p.
5. Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Запловский Н.И., Леонов С.Ю. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с.
6. Коссов Е.Е. Влияние эффективности накопителя энергии на топливную экономичность локомотива Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, А.Н. Корнев, М.М. Комарнический // Локомотивинформ. – Харьков: Техностандарт. - №3, 2008. – С. 44 – 45.
7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, H. Nozhenko // Coll. of scientific labours. - 2007. – Issue 69. – P. 147 - 153
8. Могила В. И. Использование бросовой энергии торможения тепловоза для повышения эффективности тепловозных дизелей / В.И. Могила, Е.С. Ноженко // Сб. науч. трудов. УкрГАЗТ – Харьков: Из- во УкрДАЗТ, 2007. – Вып.82. – С. 153-157.
9. Sutula R.A. Progress Report for the Electric Venicle Battery Reseach and Development Program Energy Management Team Leader. Desember 2001
10. Hrach D., Cifrain M. Batterietechnik und – management im Elektrofahrzeug // Elektrotechnik & Informationstechnik. – 2011. – 128/1–2. – PP. 16–21.
11. P. W. Franklin, "Theory of the D.C. Motor Controlled by Power Pulses-Part II-Braking Methods, Commutation and Additional Losses", pp. , 256-262

References

1. Ustenko A. The use of energy storage to increase the locomotive parameters / AV Tro-Tenko, OV // Pasko Elektromehanični i energozberigayuchi system. - 2012. - Vip. 3 (19). - S. 293-296.
2. Ayers C.W., Hsu J.S. Evaluation of 2004 Toyota Pruis Hybrid Elektric Drive System Interun Report. OaK Ridge National Laboratory / TM-2004/247.
3. Imanyagita A., Kiriya T., M. Arimura M, M. Navamura M. Development of Inwheel Motor System for Large-size Bus using 22.5 inch Wheel Mounted Motor. 2006.- p. 9-13
4. Marian K. Kazimierczuk. Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters. Wright State University, Dayton, Ohio, USA, 2008, 808 p.
5. VI Noskov, Dmitrienko VD Zapolvsky NI Leonov SY Modelling and optimization of control systems and locomotive control. - Kharkov: KhPhI "Transport of Ukraine", 2003. - 248 p.

6. Kossov EE The impact of energy efficiency on the storage of locomotive fuel efficiency EE Koss, VA Azarenka, AN Kornev, MM Komarnicki // Lokomotivinform. - Kharkov: Technostandart. - №3, 2008. - S. 44 - 45.
7. Golubenko A. Energy of diesel locomotive's electrodynamic braking for increase of efficiency of diesel locomotive engines / A. Golubenko, V. Mogila, H. Nozhenko // Coll. of scientific labours. - 2007. - Issue 69. - P. 147 - 153
8. Grave VI Using junk locomotive braking energy to improve the efficiency of those plovoznyh-diesel / VI Tomb, ES Nozhenko // Coll. on-account. works. Ukr-GAZhT - Kharkiv: Due to UkrDAZT, 2007 - Vyp.82. - S. 153-157.
9. Sutula R.A. Progress Report for the Electric Vehicle Battery Reseach and Development Program Energy Management Team Leader. Desember 2001
10. Hrach D., Cifrain M. Batterietechnik und - management im Elektrofahrzeug // Elektrotechnik & Informationstechnik. - 2011. - 128 / 1-2. - PP. 16-21.
11. P. W. Franklin, "Theory of the D.C. Motor Controlled by Power Pulses-Part II-Braking Methods, Commutation and Additional Losses", pp. , 256-262

Яровой Р.А. Комбинированные накопители энергии в силовых цепях маневровых локомотивов.

Рассмотрена возможность и произведена оценка энергоэффективности использования комбинированных накопителей энергии как буферных накопителей энергии при электродинамическом торможении маневровых локомотивов. Рассмотрен принцип действия комбинированных накопителей энергии, режимы его работы, приво-

дятся структурная схема для описания силовой части комбинированных накопителей энергии. Приведен расчет основных параметров накопителя. В заключительной части статьи приводятся результаты моделирования.

Ключевые слова: подвижной состав, электродинамическое торможение, накопление энергии, гибридный привод.

Yrovoy R. O. Combined energy storage in power circuits shunting locomotive Islands.

The possibility of energy efficiency assessment and made use of combined energy storage as a buffer energy storage with electrodynamic braking, shunting locomotives. The principle of action of combined energy storage, its operating modes, provides a block diagram to describe the combined power of the energy storage. The calculation of the basic parameters of the drive. In the final part of the article provides the simulation results. The technique of calculating the parameters of combined energy storage. However, the choice between different options for connecting supercapacitors and batteries appears daunting task and requires further research and evaluation of technical and economic efficiency.

Keywords: rolling stock, electrodynamic braking energy storage, hybrid drive.

Яровой Р.О. – ст. викладач кафедри "Обчислювальної техніки та систем управління", УкрДУЗТ, м. Харків, Україна, e-mail: kzf_limam@bigmir.net.

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 12.03.2016