

УДК 621

Федоренко Д.С.

Науковий керівник: **Замулко А.І.** к.т.н., доцент
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
КПІ ім.Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ РЕКУПЕРАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація - В статті розглядається концепція використання системи накопичення рекуперативної енергії. Розглядається та описується основні сфери застосування даної концепції та принцип роботи. Основна увага сконцентрована на вирішенні проблеми використання рекуперативної енергії та повернення її в мережу енергопостачання. За результатами аналізу встановлено, що використання рекуперативної енергії є досить перспективним напрямом дослідження, а також проаналізовано переваги та недоліки даної системи. Подальші дослідження необхідно направити на обґрунтування раціонального типу накопичувача.

Ключові слова: частотний перетворювач, рекуперація, рекуперативна енергія, аналіз, живлення, накопичувач електричної енергії, генераторний режим, режим двигуна, електродвигун, рекуперативне гальмування.

Abstract - The article considers the problem of using the recuperative energy storage system. The main areas of application of this concept and the principle of work are considered and described. The main focus is on solving the problem of using regenerative energy and returning it to the energy supply network. According to the results of the analysis it is established that the use of recuperative energy is a very promising area of research, as well as analyzed the advantages and disadvantages of this system. Further research should be directed to substantiate the rational type of drive.

Keywords: frequency converter, recuperation, recuperative energy, analysis, power supply, electric energy storage, generator mode, motor mode, electric motor, recuperative braking.

Вступ. Традиційним способом позбавлення від зайвої енергії, що виділяється, в перетворювачах частоти під час гальмування керованих ними асинхронних двигунів, було розсіювання в формі тепла на резисторах. Гальмівні резистори застосовувалися всюди, де мала місце висока інерція навантаження, наприклад в центрифугах, на електротранспорті, на навантажувальних стендах і т. д.

Таке рішення було необхідністю, щоб обмежити максимальну напругу на затискачах перетворювачів в режимі гальмування. Інакше б частотні перетворювачі виходили з ладу, адже було б неможливо контролювати параметри розгону і гальмування.

Гальмівні резистори не обтяжували економічно обладнання, але деякі незручності за собою незмінно тягли. Резистори – габаритні, сильно розігріваються, потрібен захист від вологи і пилу. І все це пов'язано лише з тим, що потрібно розв'язати енергію впусту, за яку підприємство платить гроші, і гроші не малі, якщо тим більше мова про велике виробництво.

Влітку особливо небажаний додатковий нагрів навколишнього повітря, адже технологічне обладнання і так нагріте теплим повітрям, а тут ще й резистори, прогріті до 100 градусів і вище. Потрібна додаткова вентиляція - знову витрати.

Мета та завдання дослідження. Ознайомитись з концепцією повторного використання енергії рекуперації, яка утворюється в системі електропостачання, з метою

економії як ресурсів, так і коштів підприємства. Виконати аналіз принципів роботи системи рекуперативної енергії і як вона утворюється, а також принцип роботи явища рекуперативного гальмування.

Постановка завдання. Але є й інший шлях. Навіщо розсіювати енергію даремно? Можна повернути її в мережу назад, і таким чином заощадити енерговитрати. Ось тут і приходять на допомогу системи рекуперації електроенергії.

Безумовно, частотні перетворювачі сьогоdnішнього дня сильно скорочують споживання електрики обладнанням, завдяки оптимізації способу живлення двигунів різного технологічного устаткування, і це економить ресурси. Але застосування рекуперації ще більш збільшує економію. Енергія може не розсіюватися на резисторах при гальмуванні, а повертатися в мережу з урахуванням поточних параметрів мережі.

На сьогоднішній день провідні виробники промислових механізмів і обладнання вже впроваджують такі системи на електротранспорті: для тролейбусів, електропоїздів, ескалаторів, трамваїв, нарешті - для електрокарів[1].

Принцип роботи. Джерело змінного струму, що живить двигун або іншу установку, повинен прийняти енергію назад. Для цього замість звичайного випрямляча застосовується перетворювач з широтно-імпульсною модуляцією. Такий перетворювач в змозі направляти потоки потужності як від джерела до споживача, так і від споживача до джерела. Даний шлях дозволяє довести коефіцієнт потужності до одиниці.

Типовий IGBT-каскад частотного перетворювача, що працює в режимі рекуперації, спочатку представляється як випрямляч синусоїдального струму, однак при гальмуванні він генерує сигнал з широтно-імпульсною модуляцією, при якому напрямок струму, при напрузі на затискачах вище певного рівня, виявляється спрямованим не від мережі, а до мережі з ланцюга споживача.

Різниця напруг мережі живлення і ланцюга навантаження прикладається до рекуперації індуктора. Індуктивність блокує високочастотні гармоніки, і виходить майже чистий синусоїдальний струм, тут не потрібно синхронізуючого обладнання, достатньо подати три тестових імпульсів від ШІМ-модулятора в мережу, щоб визначити частоту і фазу напруги в поточний момент.

Прикладом можуть служити частотні перетворювачі з системою рекуперації фірми Control Techniques, які служать зокрема на заводах Lamborghini і Nissan для живлення стендів динамічних випробувань, а також на ескалаторах і в різних металургійних рішеннях.

Суть всюди одна і та ж - створюється двонаправлений потік енергії як до споживача з мережі, від джерела, так і з споживача до мережу. При проектуванні рекуперативних систем враховують ряд факторів: діапазон напруги, номінал обладнання і коефіцієнт потужності, максимальна потужність з урахуванням перевантаження, рівень втрат[2].

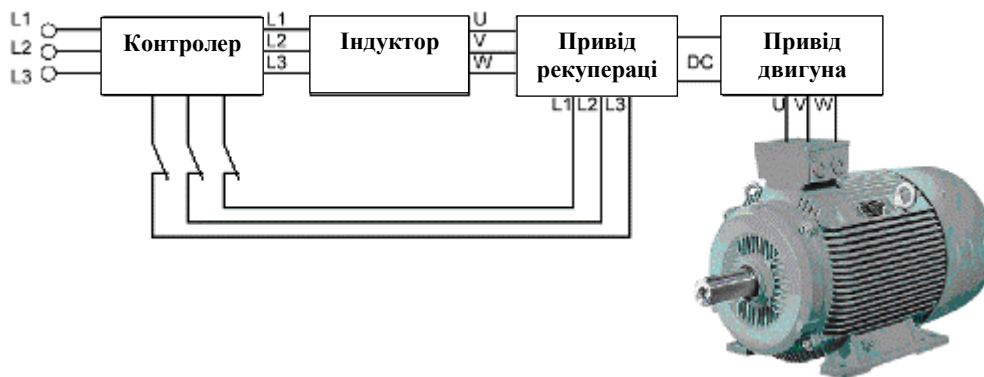


Рисунок 1 – Одномоторна схема підключення до мережі електропостачання

Схема, наведена на малюнку(рис. 1), демонструє одномоторне рішення, де привід двигуна і привід рекуперації представлені кожен в одному екземплярі, їх номінали рівні. Але часом трапляються перевантаження двигуна, і тоді потрібно більш потужний привід рекуперації, щоб покрити нижню межу по напрузі і втрати в двигуні.

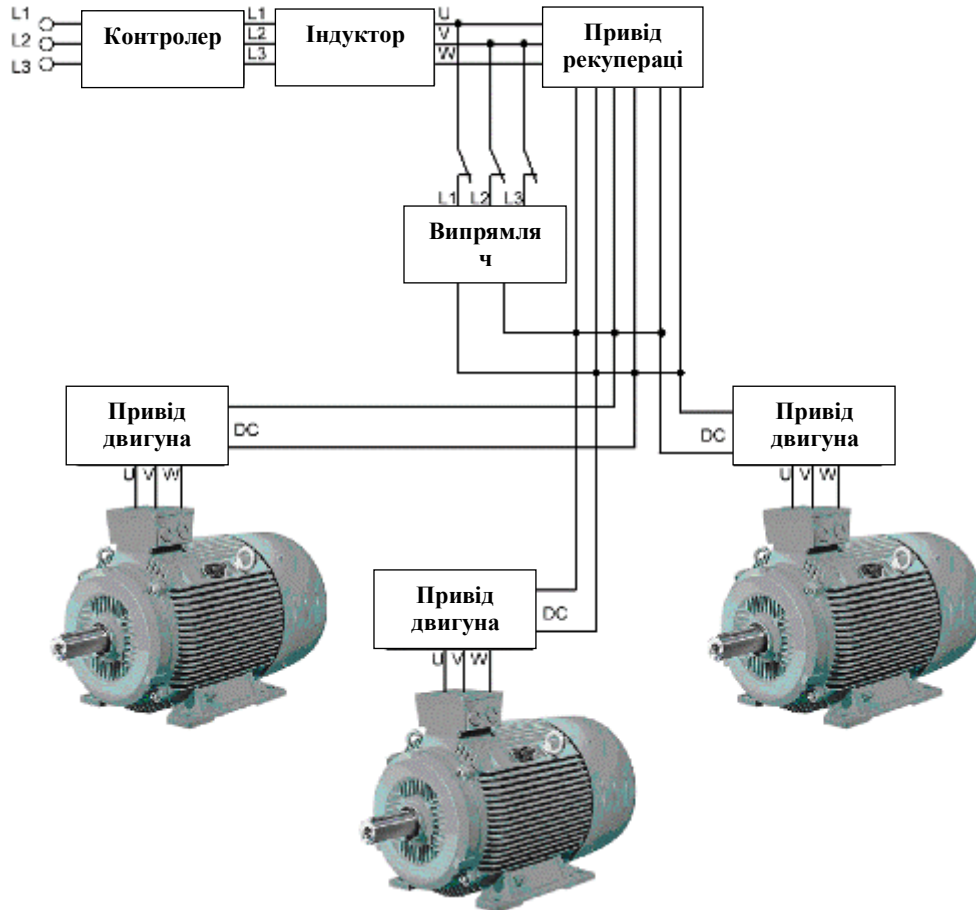


Рисунок 2 – Багатомоторне підключення до мережі електропостачання

За таким же принципом забезпечується робота декількох двигунів з декількома моторними приводами, при цьому ставиться один потужний привід рекуперації, здатний пропустити через себе сумарну потужність для всіх двигунів системи з урахуванням можливості одночасного гальмування всіх двигунів(рис. 2).

Для обмеження пускового струму в системах з декількома двигунами, коли шини постійного струму об'єднані, застосовують тиристорні модулі, що підключаються за допомогою контакторів до зарядженого постійним струмом конденсаторів перетворювача. Після заряду конденсаторів тиристорний модуль відключається. Очевидно, системи рекуперації конфігуруються по різному, і проектується індивідуально[3].

Застосування в електрокарах. Розглянемо приклад електрокарів, а саме рекупепативне гальмування. Воно застосовуються в сучасних гібридних двигунах автомобілів, де основою служить шлях електричної рекуперації кінетичної енергії.

Завжди, коли автомобіль рухається, з'являється кінетична енергія. Але при гальмуванні в традиційному вигляді, надлишок енергії просто втрачається у формі тепла, гальмівні колодки труться об гальмівні диски, витрачаючи кінетичну енергію даремно, нагріваючи фрикційний матеріал і метал, віддаючи тепло в кінцевому підсумку навколишньому повітрю. Це дуже марнотратний підхід.

Система рекуперативного гальмування не витрачає кінетичну енергію просто на тертя, щоб загальмувати. Замість цього використовується включений в трансмісію електродвигун, який починає при гальмуванні працювати як генератор, перетворюючи момент на валу в електроенергію, що заряджає акумуляторну батарею, а гальмуючий момент ротора, що виникає в генераторному режимі, як раз і дає автомобілю бажане гальмування. Запасена в акумуляторі, таким чином енергія через деякий час знову служить для руху автомобіля, тобто використовується повторно.

Рекуперативне гальмування дозволяє по максимуму використовувати доступний ресурс кожного заряду акумулятора, що дає змогу економити. Оскільки при гальмуванні 70% кінетичної енергії припадає на передню вісь, то і систему рекуперації монтують саме на передній осі, щоб більш ефективно зберігати енергію.

Найбільша ефективність рекуперативного гальмування досягається на високих швидкостях руху, а при низьких швидкостях ефективність системи падає. З цієї причини поряд з рекупераційним гальмуванням так чи інакше фрикційна гальмівна система присутня. Спільна робота двох систем забезпечується електронним контролером.

Контролер реалізує ряд функцій: контролює швидкість обертання коліс, підтримує правильний гальмуючий момент, розподіляє гальмівне зусилля між рекупераційним і фрикційним гальмом, підтримує прийнятний для оптимального заряду батареї крутний момент.

Зрозуміло, прямого механічного зв'язку між педаллю гальма і фрикційними колодками в таких автомобілях немає. Електронний блок забезпечує правильне взаємодія ABS, системи курсової стійкості, системи розподілу гальмівних зусиль і підсилювача екстреного гальмування між собою[4].

Застосування в метрополітені. На разі однією з ключових вимог при модернізації існуючого або створенні нового рухомого складу є впровадження на ньому енергоефективних та енергозберігаючих систем з метою заощадження енергоресурсів. Сказане особливо гостро відноситься до метрополітену, що пояснюється характером експлуатації його складу. Необхідність та актуальність впровадження енергозберігаючих систем також диктується постійним подорожчанням вартості енергоресурсів протягом останніх років.

В останні роки метрополітенами України з метою скорочення витрат електричної енергії на тягу поїздів поступово вводиться в експлуатацію модернізований та новостворений рухомий склад. Головними відмінностями даного рухомого складу є використання асинхронного електроприводу змінного струму, мікропроцесорної системи управління, а також впровадження іншого енергозберігаючого обладнання та технологій, насамперед систем рекуперацій. За результатами досліджень відомо, що модернізація існуючого рухомого складу у відношенні до п'ятивагонного зчепу дозволяє скоротити споживання електроенергії на тягу на 35–40 %. Таким чином, на даний час у українських метрополітенах виконуються заходи з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу.

При цьому особливої актуальності набувають питання визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії (структурну схему підключення бортового ЄНЕ до тягового електроприводу (рис. 3, а) та зовнішній вигляд бортового ЄНЕ (рис. 3, б), зображено рис. 3) для рухомого складу метрополітену.

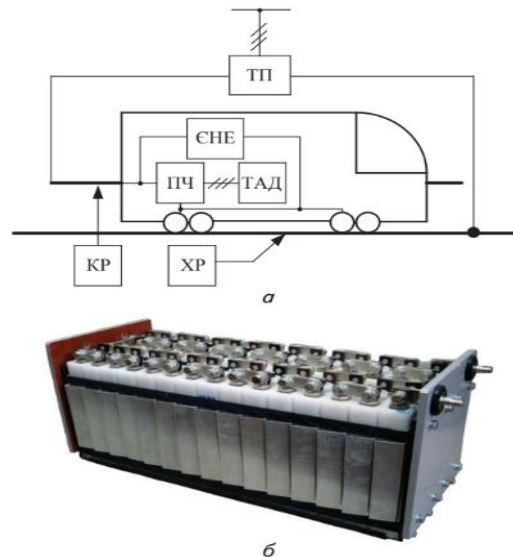


Рисунок 3 – Структурна схема підключення бортового ЄНЕ до тягового електроприводу (а) та зовнішній вигляд бортового ЄНЕ (б): ТП – тягова підстанція; ПЧ – перетворювач частоти; ТАД – тяговий асинхронний двигун; КР – контактна рейка; ХР – ходові рейки

Вищесказане пояснюється необхідністю визначення економічного оптимуму між витратами на накопичувачі та наступної енерговіддачі від них. Також про актуальність напрямку енергозбереження на транспорті шляхом впровадження накопичувачів енергії свідчать світові тренди з впровадження відповідних засобів[5].

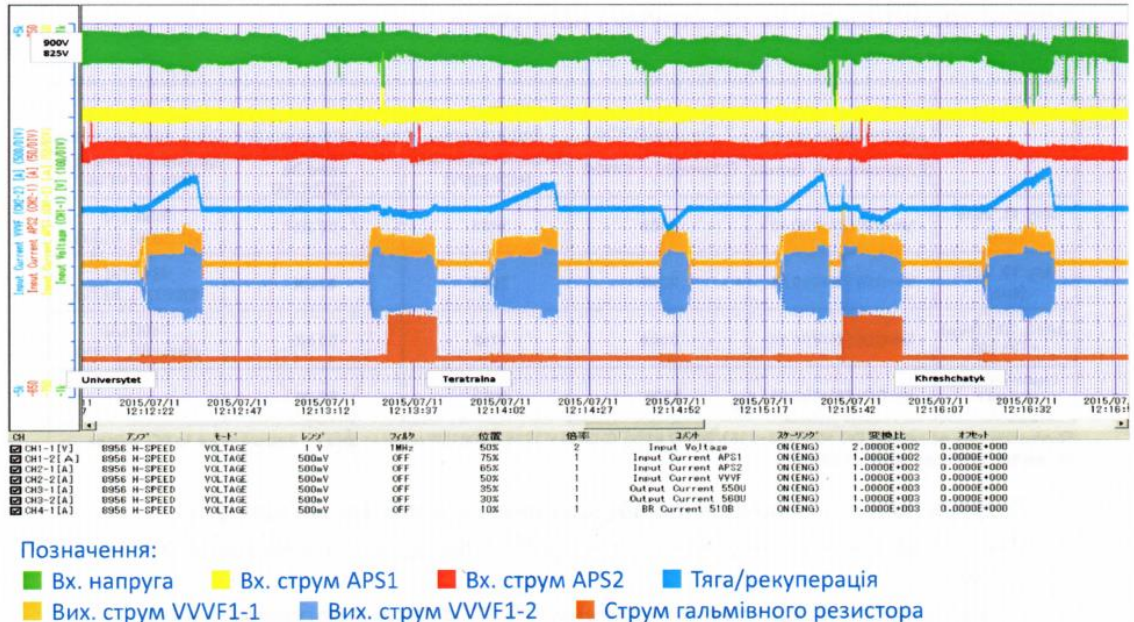


Рисунок 4 – Осцилограма вимірювань на поїзді струму і напруги на станціях Київського метрополітену

На даній осцилограмі вимірювань (рис. 4) маємо змогу побачити, що досить довгий гальмівний шлях при русі рухомого складу метрополітену, дозволяє отримати достатню кількість енергії рекуперації для того, щоб акумулювати її на накопичувачі електричної енергії. В подальшому таку енергію можна використовувати на власні потреби рухомого

складу, або віддавати цю енергію назад в мережу. Це показує, що дана технологія являється досить перспективною для технологій майбутнього, і має місце при виробництві рухомих складів метрополітенів.

Висновок. На основі запропонованого підходу виконано дослідження, за результатами яких встановлено, що рекуперативну енергію в системах з електродвигунами можливо використовувати задля повторного живлення електромережі, з якої живиться дана система. Показано, що концепція використання рекуперативної енергії є досить перспективною і досить потрібною технологією, з метою заощадження коштів підприємства, яке використовує дану технологію. Виявлено, що необхідною умовою ефективної роботи даної системи є правильний та раціональний підбір апаратури (перетворювачів, контролерів, акумуляторних накопичувачів).

Список використаних джерел

1. Астахов, Ю. Н. Накопители энергии в электрических системах [Текст]: учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высш. школа, 1989. – 159 с.
2. Колб, А. А. Аккумуляирование энергии рекуперации электрифицированного транспорта с помощью емкостных энергонакопителей [Текст] / А.А. Колб // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 89-94.
3. Родькин, Д. И. Особенности осуществления электропривода с накопителями энергии [Текст] / Д.И. Родькин, Т.В. Величко // Наукові праці Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – Кременчук: КДПУ, 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 124-132.
4. Костин, Н. А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока [Текст] / Н.А. Костин, А.В. Никитенко // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 3. – С. 15–23.
5. Фомін О. В. Визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії для рухомого складу метрополітену [Електронний ресурс] / О. В. Фомін, А. О. Сулим, П. О. Хозя // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://media.neliti.com/media/publications/307564-determining-rational-parameters-of-the-c-be59a91a.pdf>.