

## АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

Кулагін Дмитро Олександрович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Запорізький національний технічний університет, enetix123@rambler.ru

***В статті показано можливості забезпечення раціонального режиму перерозподілу енергетичних потоків тягового перетворювача частоти моторвагонного поїзда за рахунок використання різних типів накопичувачів та врахування даних особливостей в процесі проектування системи керування тяговою електропередачею.***

Ключові слова – енергія, рекуперація, тяговий автономний інвертор, двигун.

### 1 ВСТУП

Зазвичай профіль ділянок залізничних шляхів, на яких є обмеження щодо використання потужності поїздів за зчепленням з рейками, характеризується наявністю підйомів великої крутизни, проте відносно невеликої довжини [1]. Тому при розробці та реалізації раціональних режимів ведення моторвагонних поїздів на таких ділянках на ряду з реалізацією найбільшої сили тяги необхідно забезпечувати використання кінетичної енергії рухомого поїзда. При наближенні моторвагонного поїзда до складної частини профілю залізничного шляху машиніст повинен надати поїзду якомога більшу швидкість в межах припустимого значення швидкості руху поїзда на даній ділянці шляху [1-4]. Такий режим ведення поїзда дає можливість долати частину підйому за рахунок накопиченої на попередніх ділянках профілю шляху кінетичної енергії і переході її у потенціальну енергію під час руху по підйому. При цьому існує також можливість накопичення частини енергії в конденсаторних установках.

Окремим питанням встановлення раціональних режимів ведення є також забезпечення накопичення енергії або її рекуперації при русі на вибігу. В наслідок цього виникає задача керування енергетичними потоками тягового перетворювача частоти для оптимального розподілу та накопичення енергії.

### 2 АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питанням раціонального розподілу енергетичних потоків тягового процесу присвячено багато робіт як українських [5,6], так і закордонних вчених [7-9]. В даних роботах підкреслюється важливість оптимального розподілу енергії та можливості її накопичення в активних чи пасивних накопичувачах.

Метою роботи є аналіз енергетичних потоків тягового перетворювача частоти моторвагонного поїзда.

### 3 МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ

В системі тягової електропередачі тяговий перетворювач може виконувати роль джерела напруги або струму. Надання тяговому перетворювачу властивостей, близьких до властивостей ідеальних джерел напруги (струму) забезпечується введенням до внутрішніх контурів регулювання зворотних зв'язків за напругою або струмом перетворювача. При цьому якість перетворення параметрів електричної енергії можна оцінювати здатністю тягового перетворювача відтворювати зміну керуючих впливів з мінімальними викривленнями [10].

Тяговий перетворювач є основним перетворювальним елементом системи регулювання тягової електропередачі. Він разом із зворотнім зв'язком, що охоплює його, структурно утворює найбільш швидкодіючий внутрішній контур

регулювання тягової електропередачі та визначає статичні і динамічні характеристики останньої.

В залежності від місця підключення тяговий перетворювач виконує перетворення як всього потоку енергії (для випадку живлення статорних кіл тягового електродвигуна), так і часткове перетворення (у разі живлення з боку ротора асинхронної машини). Причому, перетворення енергії може забезпечуватись як в одну, так і в декілька ступенів.

При побудові структур та систем регулювання тяговими перетворювачами частоти необхідно враховувати особливості електромагнітних перехідних процесів, характер яких визначається режимом, в якому працює тяговий перетворювач [11].

На холостому ході асинхронний двигун споживає струм, що умовно розділяється в теорії електричних машин на реактивну складову, яка визначається, в основному, струмом намагнічування і активну складову, яка визначається моментом холостого ходу та втратами в двигуні. Реактивна складова в системі автономний інвертор напруги – асинхронний двигун замикається по контуру: ємність фільтра перетворювача і обмотки двигуна, або, у відповідності до обраної схеми заміщення, по контуру намагнічування. При цьому активна складова струму протікає через випрямляч. Окрім того, випрямляч забезпечує підзарядку конденсатора фільтра, компенсуючи втрати від протікання через фільтр реактивної складової струму та струмів витоку. Тобто, через випрямляч протікає сумарний струм, що визначається навантаженням та втратами в перетворювачі.

В генераторному режимі асинхронного двигуна змінюється напрямок активної складової струму, що визначає наступні режими при гальмуванні, які визначаються швидкістю зміни частоти інвертора (ковзання двигуна), величиною махових мас та статичного моменту на валу двигуна:

- енергія, що накопичена в роторі двигуна та елементах тягової електропередачі, в процесі гальмування повністю розсіюється в активних опорах обмоток двигуна та елементах тягового перетворювача без перевищення значень струмів та напруг понад припустимі;

- енергія, що накопичена в роторі двигуна та елементах тягової електропередачі, повертається до джерела живлення, викликаючи збільшення напруги на конденсаторі фільтра та струмів через ключі тягового інвертора напруги понад припустимі значення [11]. Перший режим є характерним для випадку повільної зміни частоти статора при значному статичному моменті, приведеному до вала двигуна. Другий режим, як правило, аварійний та потребує прийняття спеціальних заходів для попередження виходу з ладу елементів схеми. Даний режим виникає при значних махових масах та швидкій зміні частоти інвертора, що викликає різке збільшення ковзання [11]. Активна складова струму статора, що є пропорційною ковзанню [11], збільшує заряд конденсатора фільтра, що призводить до насичення двигуна і подальшого зростання реактивної складової струму статора.

Для виключення перевищення напруги на конденсаторі фільтра та попередження виходу з ладу елементів схеми в другому режимі необхідно використовувати схему з підключення до ланки постійного струму тягового перетворювача частоти додаткового елемента схеми для поглинання енергії.

В якості активного поглинач енергії можна використати додатковий перетворювач для використання можливості рекуперації енергії.

В якості пасивного поглинача енергії можна використовувати резистор, що підключається до конденсатора фільтра через додатковий керований ключ. При цьому, енергія, що розсіюється в резисторі, забезпечує контрольований гальмівний процес шляхом зміни активної складової струму, пропорційно до ковзання.

#### 4 ВИСНОВКИ

Проведено аналіз енергетичних потоків тягового перетворювача частоти моторвагонного поїзда, в наслідок чого виявлено резерви щодо збільшення раціонального використання енергії рухомого складу за рахунок:

- використання активних та пасивних накопичувачів енергії в колі постійного струму тягового перетворювача;
- керованого процесу перетворення енергії гальмування.

#### 5 ЛІТЕРАТУРА

- [1] Цукало П. В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе / П. В. Цукало. – М. : Транспорт, 1983. – 174 С.
- [2] Черепашенц Р. Г. Вождение поездов / Р. Г. Черепашенц, В. А. Бирюков, В. Т. Понкрашов, А. Н. Судаловский; под ред. Р. Г. Черепашенца. – М. : Транспорт, 1994. – 304 С.
- [3] Дубровский З. М. Электровоз. Управление и обслуживание / Дубровский З. М., Курчатова В. А., Томфельд Л. П. – М. : Транспорт, 1979. – 231 С.
- [4] Калько В. А. Тепловоз. Иллюстрированное пособие машинисту / Калько В. А., Медведев Г. Г., Рукавишников Ю. А. – М. : Транспорт, 1967. – 223 С.
- [5] Гетьман Г. К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта : монография / Г. К. Гетьман. – Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп., 2008. – 444 С.
- [6] Энергоэффективность высокоскоростного движения // Железные дороги мира. – 2010. – №12. – с. 61-65.
- [7] Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств. Библиотека по автоматике выпуск 373 / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия, 1969. – 96 С.
- [8] Мугинштейн Л. А. Энергооптимальный тяговый расчет движения поездов / Мугинштейн Л. А., Виноградов С. А., Яблоко И. А. // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 2. – с. 24-29.
- [9] Баранов Л. А. Оптимизация управления движением поездов. Учебное пособие / Баранов Л. А., Ерофеев Е. В., Мелешин И. С., Чинь Л. М.; под ред. Л. А. Баранова. – М. : МИИТ, 2011. –164 С.
- [10] Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Шрейнер Р. Т. – Екатеринбург : Изд-во УРО РАН, 2000. – 654 С.
- [11] Кулагін Д. О. Розробка моделі модернізованого частотно-керованого тягового електроприводу зі змінним алгоритмом керування дизель-потяга ДЕЛ-02 / Кулагін Д. О., Качур О. С., Андрієнко П. Д. // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 1. – С. 30–34.