

УДК 62-52:629.423

КУЛАГІН Д.О., к.т.н., доцент, докторант (Запорізький національний технічний університет)

Аналіз роботи керуючої системи тягового перетворювача частоти моторвагонного рухомого складу

Робота присвячена описанню енергетичних потоків крізь тяговий перетворювач частоти. Метою роботи є алгоритмізація роботи керуючої системи тягового перетворювача частоти моторвагонного рухомого складу. В результаті проведеного дослідження отримано якісний фізичний аналіз процесів, що відбуваються в системі тягового перетворювача частоти.

Ключові слова: тяговий перетворювач, керування, моторвагонний рухомий склад, оптимальні енерговитрати, накопичувач, контур регулювання.

Вступ

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 [1 - 4].

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 [6 - 8].

З огляду на приведені аргументи дослідження систем керування тягою для забезпечення подолання відхилення від графіка руху що є актуальною науково-практичною задачею.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

Згідно зі змістом Постанови Кабінету міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р «Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту» та змістом державної програми «Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства», що введена в дію Постановою Кабінету Міністрів України від 2 червня 1998 р. № 769 побудова інформаційно-керуючих систем для приміського транспорту на основі накопиченого досвіду експлуатації вітчизняних тягових одиниць моторвагонного транспорту та досвіду і наукових розробок українських вчених є однією з основних задач, вирішення яких вносить вклад у реалізацію мети та завдань програм розвитку та реформування залізничного транспорту і, таким чином, дозволяють зменшити імпорту залежність України від постачання тягових агрегатів та поїздів з країн Європи та СНД, а також створюють перспективи для експорту вітчизняних розробок до інших країн світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням побудови керуючих систем тягових електропередач змінного струму присвячено значну кількість робіт [1-10], що підтверджує актуальність даного напрямку. Так на сьогодні відсутня чітка математична алгоритмізація роботи керуючої системи тягового перетворювача частоти моторвагонного рухомого складу, що могло б значно спростити побудову інформаційно-керуючих систем для моторвагонного транспорту.

Визначення мети та задачі дослідження

Мета роботи – алгоритмізація роботи керуючої системи тягового перетворювача частоти моторвагонного рухомого складу.

Основна частина дослідження

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 [2, 3].

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. Активна складова струму статора, що є пропорційною ковзанню, 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 [10].

В якості активного поглинача 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.

При рекуперації в тяговій системі на основі автономного інвертора напруги можна виділити чотири характерних фази, що показано на рис. 1.

В даному випадку будемо вважати, що зміна ковзання відбувається стрибком в момент часу t_1 . При цьому, активна складова струму статора (струму тягового інвертора) i_a змінює знак. Тоді конденсатор фільтра, ємністю C_ϕ , заряджається спадним струмом випрямляча i_d та струмом інвертора i_a .

На ділянці від моменту часу t_1 до моменту часу t_2 справедливою є наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{di_d}{dt} + \frac{i_d}{T_d} = \frac{1}{L_d} \cdot [U_1(t) - U_\phi(t)]; \\ U_\phi(t) = \frac{1}{C_\phi} \int_{t_1}^{t_2} (i_d + i_a) dt, \end{cases} \quad (1)$$

де T_d - постійна часу фільтра ланки постійного струму тягового перетворювача з індуктивністю L_d ;

$U_\phi(t)$ - функція зміни напруги на конденсаторі фільтра з часом;

$U_1(t)$ - функція зміни напруги на виході тягового випрямляча з часом.

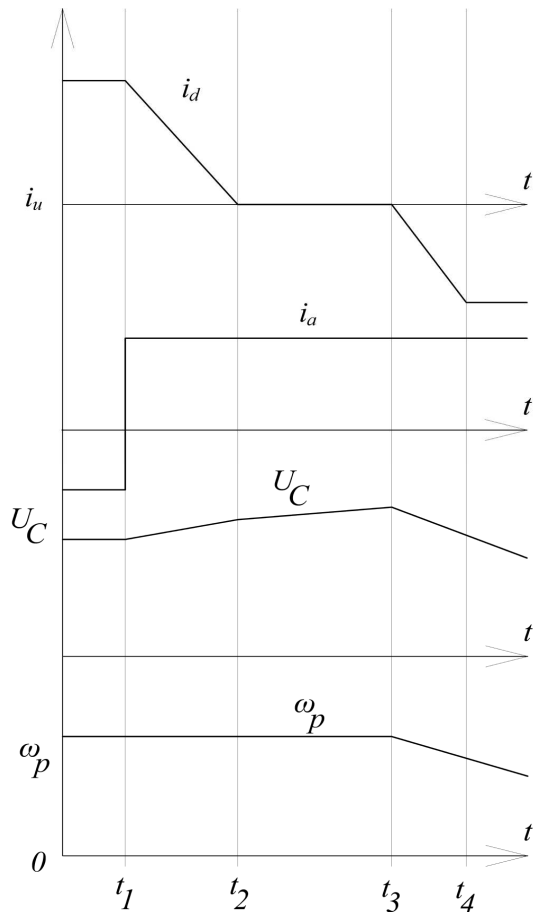


Рис. 1. Виділення характерних ділянок роботи тягової електропередачі в процесі рекуперації енергії

В більшості випадків частиною участі випрямляча в підзарядці конденсатора для практичних розрахунків можна знехтувати з огляду на те, що час спадання струму від моменту часу t_1 до моменту часу t_2 є значно меншим часу безструмової паузи від моменту часу t_2 до моменту часу t_3 .

На ділянці від моменту часу t_2 до моменту часу t_3 конденсатор заряджається струмом тягового інвертора. При цьому вважаємо, що ковзання двигуна є незмінним, тоді струм підзарядки конденсатора є постійною величиною. Впливом пульсацій струму, що викликані обміном реактивною енергією між обмотками тягового асинхронного двигуна та конденсатором, на величину напруги на конденсаторі нехтуємо з огляду на їх малість.

З урахуванням вище сказаного та на основі системи виразів (1) запишемо наступне:

$$U_{\phi}(t) = \frac{I_a}{C_{\phi}} t + U_{C0}, \quad (2)$$

де U_{C0} - початкове значення напруги на конденсаторі.

З виразу (2) можна визначити умову для визначення припустимої величини безструмової паузи

$$T_{б.н.макс}$$

$$T_{б.н.макс} \leq \frac{U_{\phi}^{max} - U_{C0}}{I_a^{max}}, \quad (3)$$

де U_{ϕ}^{max} - максимальне припустиме значення напруги на конденсаторах фільтра;

I_a^{max} - максимальне значення струму інвертора при рекуперації.

На ділянці від моменту часу t_3 до моменту часу t_4 вмикається тяговий інвертор і починається рекуперація енергії.

При встановленні на борту моторвагонного поїзда накопичувача енергії можна регулювати величину струму поїзда, що споживається від тягового синхронного генератора, забезпечуючи роботу накопичувального пристрою в наступних режимах:

- режим, за якого накопичувальний пристрій розряджається в тягову електромережу з моменту запуску дизеля;

- режим згладжування струму, що споживається від тягового синхронного генератора. В даному режимі накопичувач заряджається при гальмуванні моторвагонного поїзда, та при русі на вибігу. Розряд накопичувача відбувається по мірі досягнення поїздом певної струмової уставки, забезпечуючи більш рівномірну форму струму в тяговій мережі живлення.

При усталеному режимі роботи потужність тягового генератора може бути отримана через так звану вільну потужність дизеля [4]

$$P_G = (N_e - N_{дон}) \cdot \eta_G, \quad (4)$$

де P_G - потужність тягового генератора;

N_e - ефективна потужність дизеля;

$N_{дон}$ - потужність, що витрачається на роботу приводів допоміжних машин та обладнання;

η_G - ККД тягового генератора.

В процесі роботи поїзда кожна з вказаних величин безперервно змінюється. Додаткове автоматичне керування дизелем за потужністю при відхиленні хоча б однієї з трьох величин (потужності тягового генератора, ефективної потужності дизеля чи потужності, що витрачається на роботу приводів

допоміжних машин та обладнання), забезпечує зміну збудження тягового генератора таким чином, щоб встановити відповідність вказаних потужностей до встановленого експлуатаційного режиму роботи моторвагонного поїзда.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Додаткове автоматичне керування дизелем за потужністю забезпечує встановлення раціонального експлуатаційного режиму роботи моторвагонного поїзда, завдяки чому досягається повне використання потужності дизеля та не допускається його перевантаження.

2. При рушанні моторвагонного поїзда з місця ним від тягового генератора споживається значний струм. В такому процесі для зменшення навантаження на генератор та забезпечення певної форми струму в тяговій мережі доцільним є підключення накопичувача енергії.

Список використаних джерел

1. Аранчий Г.В. Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов / Аранчий Г. В., Жемеров Г. Г., Эпштейн И. И. – М.: Энергия, 1968. – 128 с.
2. Башарин А.В. Управление электроприводами / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.
3. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электроприводами / Булгаков А. А. – М. : Энергоиздат. – 1982. – 216 с.
4. Кулагін Д.О. Проектування систем керування тяговими електропередачами моторвагонних поїздів : монографія / Д. О. Кулагін. – Бердянськ: ФО-П Ткачук О. В., 2014. – 154 с.
5. Кулагін Д. О. Спосіб апроксимації кривої намагнічування тягового асинхронного двигуна / Кулагін Д. О. // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – №2. – С. 66-70.
6. Рудаков В. В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / Рудаков В. В., Столяров И. М., Дартау В. А. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение. – 1987. – 136 с.
7. Слежановский О. В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / Слежановский О. В. [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
8. Столяров И. М. Электромеханические преобразователи / И.М. Столяров, В.В. Рудаков. – Л. : ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1978. – 462 с.
9. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе / [А.Я. Бернштейн и др.] ; Под ред. Р.С. Сарбатова. – М. : Энергия, 1980. – 328 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.

Кулагин Д.А. Анализ работы управляющей системы тягового преобразователя частоты моторвагонного подвижного состава. Работа посвящена описанию энергетических потоков тягового преобразователя частоты. Целью работы является алгоритмизация работы управляющей системы тягового преобразователя частоты моторвагонного подвижного состава. В результате проведенного исследования получен качественный физический анализ процессов, происходящих в системе тягового преобразователя частоты.

Ключевые слова: тяговый преобразователь, управление, моторвагонный подвижной состав, оптимальные энергосатраты, накопитель, контур регулирования.

Kulagin D.O. The operational analysis of a control system of a multiple unit frequency traction converter.

The work is devoted to the description of frequency traction converter power flows. The aim of the given work is algorithmization of a control system of a multiple unit frequency traction converter operation. Qualitative physical analysis of the processes taking place in the system of frequency traction converter has been obtained as a result of the conducted research. Additional automatic control of diesel engine with a power output ensures the establishment of rational operating conditions of EMU-train, thus achieving full use of diesel engine power and cannot be overloaded. When starting EMU-train from the place they from traction generator is consumed considerable current. In this process to reduce the load on the generator and provide some form of current in traction network is expedient connecting the drive energy.

Key words: traction converter, control, multiple unit, optimal energy consumption, storage, control loop.

Рецензент Андрієнко П.Д., д.т.н., професор, академік Транспортної академії України, заступник директора з науки ВАТ «НДІ Перетворювач».

Поступила 25.06.2014г.