

УДК 621.314

Д. О. Кулагін, канд. техн. наук

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

Анотація. Наведено результати дослідження енергетичних потоків, що циркулюють крізь тяговий перетворювач частоти. Отримані результати можливо використовувати при синтезі та розробці систем автоматичного керування тягових електропередач для типових транспортних та вантажопідійомних, а також загальнопромислових систем електроприводів.

Ключові слова: система автоматичного керування, тяговий інвертор, тягова електропередача, рекуперація

D. A. Kulagin, PhD.

ANALYSIS OF ENERGY FLOWS TRACTION FREQUENCY CONVERTER

Abstract. Results of research of energy flows circulating through the traction Converter of frequency. The results obtained can be used in the synthesis and development of systems of automated control of traction power for a typical transport and load-lifting, and General industrial systems of electric drives.

Keywords: automatic control system, traction inverter, traction transmission, recuperation

Д. А. Кулагин, канд. техн. наук

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ТЯГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Анотація. Приведены результаты исследования энергетических потоков, циркулирующих сквозь тяговый преобразователь частоты. Полученные результаты можно использовать при синтезе и разработке систем автоматического управления тяговых электропередач для типовых транспортных и грузоподъемных, а также общепромышленных систем электроприводов.

Ключевые слова: система автоматического управления, тяговый инвертор, тяговая электропередача, рекуперация

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 – 3]. При побудові структур та систем регулювання тяговими перетворювачами частоти необхідно враховувати особливості електромагнітних перехідних процесів, характер яких визначається режимом, в якому працює тяговий перетворювач [4 – 6]. Тому такі дослідження є актуальними.

Мета роботи – дослідження енергетичних потоків, що циркулюють крізь тяговий перетворювач частоти.

Матеріал дослідження. На холостому ході асинхронний двигун споживає струм, що умовно розділяється в теорії електричних машин [7] 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 [8].

Перший режим є характерним для випадку повільної зміни частоти статора при значному статичному моменті, приведеному до вала двигуна [9]. 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 [10]. Активна складова струму статора, що є пропорційною ковзання, збільшує заряд конденсатора фільтра, що призводить до насичення двигуна і подальшого зростання реактивної складової струму статора. При рекуперації в тяговій системі на основі автономного інвертора

© Кулагін Д.О., 2014

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 . 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.

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

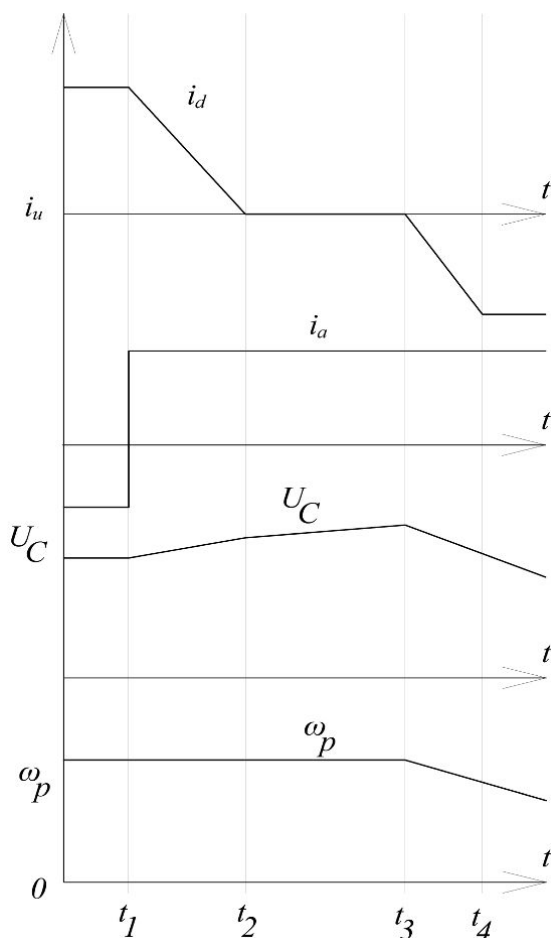


Рис. 1. Виділення характерних ділянок роботи тягової електропередачі в процесі рекуперації енергії

Висновки

1. Досліджено енергетичні потоки, що циркулюють крізь тяговий перетворювач частоти.
2. Отримані результати можливо використовувати при синтезі та розробці систем автоматичного керування тягових електропередач для типових транспортних та вантажопідйомних, а також загальнопромислових систем електроприводів.

Список використаної літератури

1. Аранчий Г. В. Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов [Текст] / Г. В. Аранчий, Г. Г. Жемеров, И. И. Эпштейн– М. : Энергия, 1968. – 128 с.
2. Башарин А. В. Управление электроприводами [Текст] / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1982. – 392 с.
3. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными электроприводами [Текст] / А. А. Булгаков – М. : Энергоиздат. – 1982. – 216 с.
4. Кулагін Д. О. Проектування систем керування тяговими електропередачами моторвагонних поїздів : монографія [Текст] / Д. О. Кулагін. – Бердянськ : ФО-П Ткачук О. В., 2014. – 154 с.
5. Кулагін Д. О. Спосіб апроксимації кривої намагнічування тягового асинхронного двигуна [Текст] / Д. О. Кулагін // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – № 2. – С. 66 – 70.
6. Рудаков В. В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением [Текст] / В. В. Рудаков, И. М. Столяров, В. А. Дартау. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, – 1987. – 136 с.
7. Слежановский О. В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями [Текст] / О. В. Слежановский [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
8. Столяров И. М. Электромеханические преобразователи [Текст] / И. М. Столяров, В. В. Рудаков. – Л. : ЛГИ им. Г.В. Плеханова, 1978. – 462 с.
9. Бернштейн А. Я. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе [Текст] / [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 [Текст] / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : Изд-во УРО РАН, 2000. – 654 с.

Отримано 13.06.2014

References

1. Aranchii G.V. Tiristornye preobrazovateli chastyoty dlya reguliruemykh elektroprivodov [Thyristor Frequency Converters for Speed Drives], (1968), Moscow, Russian Federation, *Energiya*, 128 p. (In Russian).

2. Basharin A. V., Novikov V. A., and Sokolovskii G.G. Upravlenie elektropriivodami [Control of Electrical Drives], (1982), Leningrad, Russian Federation, *Energoizdat. Leningradskoe Otdelenie*, 392 p. (In Russian).

3. Bulgakov A.A. Chastotnoe upravlenie asinkhronnymi elektropriivodami [Frequency Control of Asynchronous Electric Drives], (1982), Moscow, Russian Federation, *Energoizdat*, 216 p. (In Russian).

4. Kulagin D.O. Proektuvannya sistem keruvannya tyagovimi elektropredachami motorvagonnikh poyizdiv : monografiya [Designing of Control Systems of Traction Electrical Transmission EMU-Trains], (2014), Berdyans'k, Ukraine, *FO-P Tkachuk O V.*, 154 p. (In Ukrainian).

5. Kulagin D.O. Sposib aproksimatsiyi krivoyi namagnichuvannya tyagovogo asinkhronnogo dviguna [Method of Approximation of a Curve of Magnetization Asynchronous Traction Motor], (2013), *Elektrotehnika ta Elektroenergetika*, No. 2, pp. 66 – 70 (In Ukrainian).

6. Rudakov V.V., Stolyarov I.M., and Dartau V.A. Asinkhronnye elektropriivody s vektornym upravleniem [Asynchronous Electric Drives with Vector Control], (1987), Leningrad, Russian Federation, *Energoatomizdat, Leningradskoe Otdelenie*, 136 p. (In Russian).

7. Slezhanovskii O.V. Sistemy podchinennogo regulirovaniya elektropriivodov peremennogo toka s ventil'nymi preobrazovatelyami [Century System of Slave Control of AC Drives with Valve Converters], (1983), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 256 p. (In Russian).

8. Stolyarov I.M., and Rudakov V.V. Elektromekhanicheskie preobrazovateli [Electromechanical Converters], (1978), Leningrad, *LGI im. G.V. Plekhanova*, 462 p. (In Russian)

9. Bernshtein A. Ya., Tiristornye preobrazovateli chastoty v elektropriivode [Thyristor Frequency Converters in the Drive], (1980), Moscow, Russian Federation, *Energiya*, 328 p. (In Russian).

10. Shreiner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektropriivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty [Mathematical Modeling of AC Electric Drives with Semiconductor Frequency Converters], (2000), Ekaterinburg, Russian Federation, *Izd-vo URO RAN*, 654 p. (In Russian).



Кулагін
Дмитро Олександрович,
канд. техн. наук, доц., каф.
електропостачання промислових підприємств Запорізького нац. техн. ун-ту.
69063, м. Запоріжжя,
вул. Жуковського, 64.
E-mail: nemix123@rambler.ru