

УДК 621.313.292-53

ВЕНТИЛЬНИЙ РЕАКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У РЕЖИМІ ТЯГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Є. В. Польовий, О. В. Садовой

Дніпродзержинський державний технічний університет
вул. Дніпростроевська, 2, м. Дніпродзержинськ, 51918, Україна. E-mail: polevoyev@i.ua

Запропоновано спосіб формування форми струму тягового електропривода на базі вентильного реактивного двигуна з пасивним ротором. Спосіб реалізує керування величиною і тривалістю форсуючого впливу, який подається на кожну фазу. Надана система керування дозволяє отримати тягові механічні характеристики з дільницею постійної потужності. Отримані залежності дозволяють підвищити техніко-економічні й експлуатаційні показники вентильного реактивного електропривода. Розроблено високонадійний тяговий електропривод, який задовольняє основним вимогам електротранспорту.

Ключові слова: вентильний реактивний двигун, регулювання струму, механічна характеристика.

ВЕНТИЛЬНИЙ РЕАКТИВНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В РЕЖИМЕ ТЯГОВОЙ НАГРУЗКИ

Е. В. Полевой, А. В. Садовой

Днепродзержинский государственный технический университет
ул. Днепростроевская, 2, г. Днепродзержинск, 51918, Украина. E-mail: polevoyev@i.ua

Предложен способ формирования формы тока тягового электропривода на базе вентильного реактивного двигателя с пассивным ротором. Способ реализует управление величиной и длительностью форсирующего воздействия, подаваемого на каждую фазу. Предложенная система управления позволяет получить тяговые механические характеристики с участком постоянной мощности. Полученные зависимости способствуют улучшению технико-экономических и эксплуатационных показателей вентильного реактивного электропривода. Разработан высоконадёжный тяговый электропривод, который удовлетворяет основным требованиям электротранспорта.

Ключевые слова: вентильный реактивный двигатель, управление током, механические характеристики.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Останні роки спостерігається значна зацікавленість у створенні відносно нового типу електроприводу на базі вентильного реактивного двигуна (ВРД). Отримання якісних енергетичних і електротехнічних показників його залежить, з одного боку, від алгоритму комутації [1] і застосованого вентильного комутатора [2], а з іншого – від запропонованої системи керування [3].

Як зазначено в [2], ВРД має значні пускові моменти й перевантажувальну здатність порівняно з класичними типами електричних двигунів, що підвищує перспективність їх застосування в тягових електроприводах, а створення систем керування цими приводами є актуальною задачею.

Однією з основних вимог до тягових електроприводів є отримання тягової механічної характеристики, наближеної до гіперболічної, внаслідок чого миттєве значення спожитої потужності залишається незмінним. Метою роботи є визначення алгоритмів керування вентильним реактивним електроприводом (ВРЕП), які задовольняють вимогам до тягових електроприводів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Рух об'єкта керування (ОК) описується наступними диференціальними рівняннями, що покладені в основу досліджень ВРЕП:

$$\begin{cases} p\varphi = \omega; \\ p\omega = -\frac{D}{J}\omega + \frac{1}{J}\sum_n^k i_n^2 \frac{\partial L_n}{\partial \varphi}; \\ pi_n = -\frac{i_n}{Te_n} - \frac{\partial L_n}{\partial \varphi} \frac{\omega i_n}{R_n Te_n} + \frac{u_{yn}}{R_n Te_n}, \end{cases} \quad (1)$$

де φ і ω – кутове положення і швидкість обертання ротора двигуна, D – коефіцієнт в'язкого тертя, J – момент інерції двигуна, i_n , R_n , L_n , u_{yn} – струм, опір, індуктивність, напруга живлення n -ої фази двигуна, Te_n – електромагнітна стала часу n -ої фази двигуна.

Складання математичної моделі ВРД відбувається з наступними припущеннями:

- магнітна система двигуна ненасичена;
- фази статора двигуна магнітно відокремлені;
- вплив контуру вихрових струмів і нагріву на електромеханічні характеристики ВРД відсутній;
- вентильний перетворювач є безінерційним.

Як об'єкт дослідження використано чотирифазний ВРД, який має відношення полюсів статор/ротор 8/6, з вентильним перетворювачем, алгоритм якого забезпечує симетричний зсув зони комутації в бік випередження вмикання обмоток. Основні паспортні дані дослідного двигуна наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані вентильного реактивного двигуна

Номінальна потужність, Вт	23
Напруга живлення, В	24
Опір обмотки, Ом	0,4
Номінальний момент, Н·м	0,05
Момент інерції ротора, кг·м ²	5,5·10 ⁻⁶

У кожному каналі ОК використовуються релейні регулятори струму (РС) зі зворотним зв'язком за струмом цього каналу. Згідно з [3] напруги живлення відповідних фаз визначаються виразом:

$$U_n = U_{\max} \text{sign}(i_n^* - i_n + \Delta i_n), \quad (2)$$

де U_{\max} – максимальна напруга джерела постійного струму; i_n^* – сигнал завдання релейного регулятора струму; i_n – миттєве значення діючого струму n -ої

фази; Δi_n – необхідна величина форсуючого впливу n-ї фази.

Як показано в [3], дія форсуючого впливу на фазу обмежена величиною перекриття суміжних фаз. Такий підхід не дозволяє отримати бажаний кут дії форсуючого впливу в усьому діапазоні роботи фази, а використання класичного релейного регулятора струму погіршує динаміку розгону ВРЕП порівняно з прямим пуском.

Для усунення вказаних недоліків обмежимо дію форсуючого впливу на фазу залежно від швидкості обертання ротора ВРД. Для отримання такої залежності виконаємо процедуру нормування координати швидкості обертання. Тоді кутове положення ротора, на якому до фази двигуна прикладений форсуючий вплив, можна знайти з виразу:

$$\phi_f = \Delta\phi + \left(1 - \frac{\omega}{\omega_{nom}}\right)\phi_p, \quad (3)$$

де ϕ_f – кутове положення, на якому подається форсуючий вплив; $\Delta\phi$ – мінімальний кут подачі форсуючого впливу; ϕ_p – кут повороту ротора, на якому відбувається робота фази; ω – миттєве значення кутової швидкості; ω_{nom} – номінальна кутова швидкість.

Аналіз отриманої залежності вказує на зменшення кута, при якому подається форсуючий вплив, з підвищенням швидкості обертання ротора.

Тоді алгоритм подачі форсуючого впливу на фазу ВРД у загальному вигляді можна надати наступними виразами:

$$\Delta i_n = \begin{cases} \Delta i, & \text{якщо } \phi_{s,n} \leq \phi \leq \phi_{s,n} + \phi_f; \\ 0, & \text{якщо } \phi_{s,n} + \phi_f < \phi \leq \phi_{f,n}, \end{cases} \quad (4)$$

де Δi – необхідна величина форсуючого впливу, яка знаходиться відповідно до методики, наведеній у [3]; $\phi_{s,n}$ – кутове значення, при якому відбувається вмикання n-ї фази; $\phi_{f,n}$ – кутове значення, при якому відбувається вимкання n-ї фази.

Функціональна схема ВРЕП, яка містить релейний регулятор струму (2) і форсуючий пристрій, побудований на основі рівнянь (3) і (4), наведена на рис. 1.

Отримана функціональна схема реалізує принцип багатоканального керування ВРЕП.

Результати математичного моделювання й експериментальні дослідження в режимі пуску синтезованого електроприводу зображені на рис. 2, 3.

Аналіз перехідних процесів, зображених на рис. 2, показує, що розрахункові (рис. 2,а) й експериментальні (рис. 2,б) криві швидкості ідентичні, їх характер і форма збігаються. Присутність пульсацій на експериментальній кривій швидкості викликана колекторними пульсаціями давача швидкості.

Порівняльний аналіз експериментальних (рис. 3,а) і розрахункових (рис. 3,б) струмів показує, що форми кривих струмів збігаються, а розбіжність амплітуд пульсацій не перевищує 10 %. Різниця частот і амплітуд пульсацій струмів виникає за рахунок обмеження частоти перемикання транзисторних ключів і швидкодії АЦП, затримки в часі при обробці алгоритму керування мікропроцесором.

У режимі пуску струм досягає двократного значення від номіналу, а форсуючий вплив максимальний. Це дозволяє отримати більший пусковий мо-

мент порівняно з пусковим моментом, який отримано в [3].

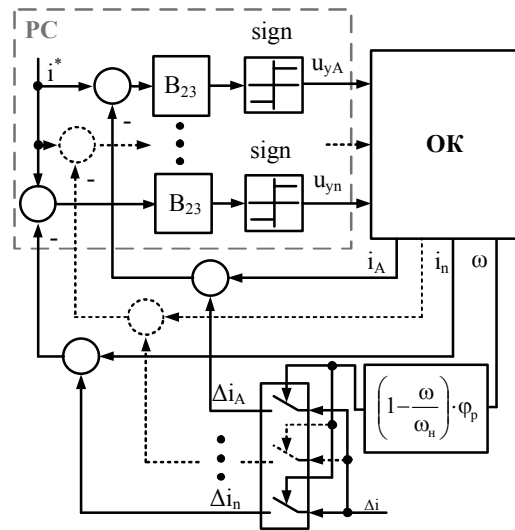


Рисунок 1 – Функціональна схема ВРЕП

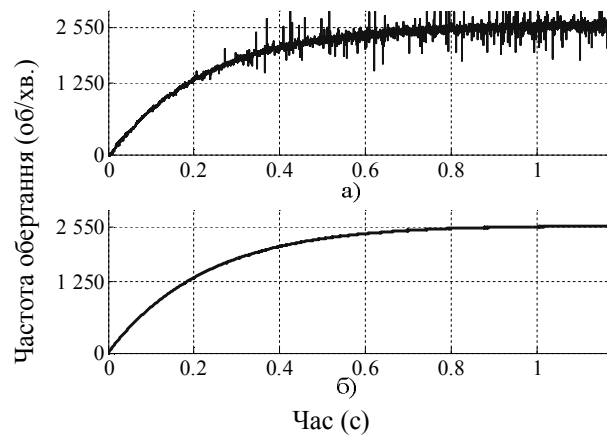


Рисунок 2 – Перехідний процес режиму пуску ВРЕП при двократному навантаженні

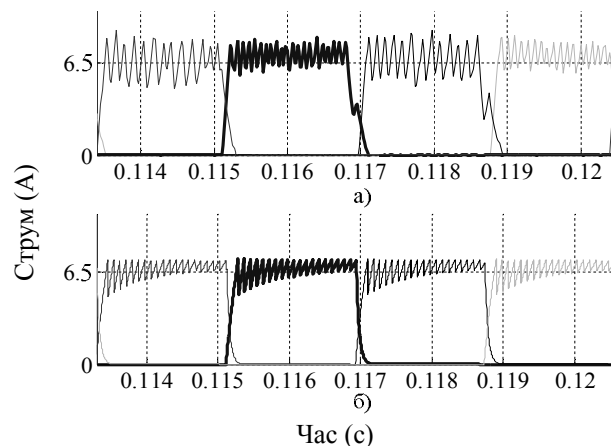


Рисунок 3 – Фрагменти перехідного процесу струму в режимі пуску ВРЕП

Дослідимо реакцію електроприводу з ВРД на зміну моменту навантаження. В ході експерименту отримані криві перехідних процесів струмів фаз

ВРД при двократному й номінальному моментах опору, які зображені на рис. 4,а і 4,б.

Наведені на рис. 4,б залежності ілюструють обмеження мінімального кута подачі форсуючого впливу $\Delta\phi$. Додавання моменту навантаження призведе до зменшення швидкості обертання ВРЕП і зростання інтегрального значення форсуючого впливу згідно із залежностями (3) і (4), про що свідчать форми кривих, наведених на рис. 4,а.

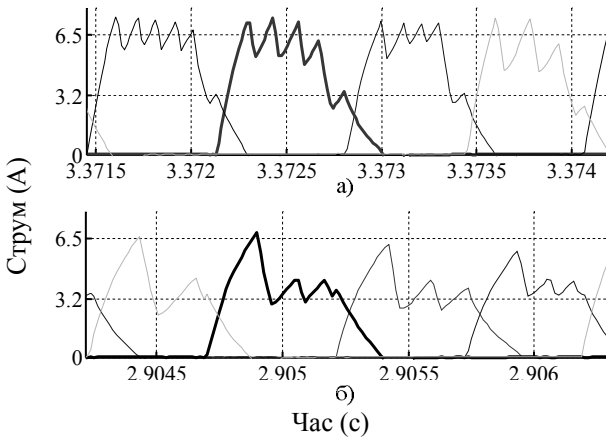


Рисунок 4 – Фрагменти перехідних процесів струму при зміні навантаженнях ВРЕП

Для оцінювання ефективності запропонованого методу експериментально отримано механічні характеристики ВРЕП, зображені на рис. 5.

Перехідні процеси струмів фаз ВРД, наведені на рис. 4, відповідають точкам А і Б на механічній характеристиці 2 (рис. 5).

Порівняльний аналіз механічної характеристики, яка отримана при використанні запропонованого підходу (крива 2), і базової [1] (крива 1) показує, що запропонована зміна форсуючого впливу дозволяє підвищити частоту обертання ВРЕП в 1,2 рази з номінальним і в 1,35 рази з подвійним моментами навантаження.

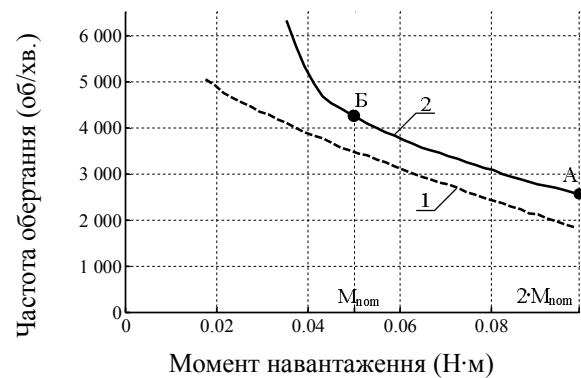


Рисунок 5 – Механічні характеристики ВРЕП

ВИСНОВКИ. Отримана механічна характеристика (рис. 5, крива 2) має наближену до гіперболічної форму й дозволяє сформуванню дільниці постійної потужності. Використання запропонованого алгоритму керування дозволяє зменшити час розгону й підвищити пусковий момент ВРЕП.

Запропонована система керування адаптує ВРД до тягових агрегатів і створює високонадійні електроприводи з тяговими характеристиками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гулий М.В., Проципан З.П., Радимов И.Н., Рымша В.В. Влияние зоны коммутации на характеристики вентиляно-реактивного электропривода // 36. наук. пр. ДГТУ (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Днепродзержинск, 2007. – С. 94–96.
2. Ткачук В.І. Електромеханотроніка: навчальний посібник – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2006. – 440 с.
3. Садовой О.В., Сохіна Ю.В., Польовий Є.В. Вентильный реактивный электропривод с использованием позитивных обратных зв'язків // Електромеханічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2011. – № 03 (79). – С. 82–84.

SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DRIVE IN TRACTION TORQUE LOAD MODE

E. Polevoy, A. Sadovoy

Dniprodzerzhinsk State Technical University

ul. Dneprostroevskaya, 2, Dneprodzerzhinsk, 51918, Ukraine. E-mail: polevoyev@i.ua

The method of forming a current form of traction switched reluctance motor drive with passive rotor has been to consider in this paper. The method realizes control of the magnitude and duration of the impact of forcing applied to each phase. This control system provides a traction mechanical characteristic of the area constant power. The dependences obtained allow improving technical, economical and exploitation values of switched reluctance motor drive. The highly reliable traction electric drive, which satisfies the basic requirements of electric vehicles developed.

Key words: switched reluctance motor, control current, mechanical characteristics.

REFERENCES

1. Guliy M.V., Procina Z.P., Radimov I.N., Rimsha V.V. Influence vertical current the converter at the control of the mechanical moment // *Journal « Problem of automated electrodriver. Theory and practice»*. – Dniprodzerzhinsk, 2007. – PP. 94–96. [in Russian]
2. Tkachuk V.I. *Elektromehanotronika: tutorial*. – Lviv: National university «Lviv polytechnic», 2006. – 440 p. [in Ukrainian]
3. Sadovoy A.V., Sokhina J.V., Polevoy E.V. Switched reluctance motor with positive feedback // *Electrotechnic and computer systems*. – K.: Tekhnika, 2011. – № 03 (79). – PP. 82–84. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 16.07.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Кореньковою Т.В.