

УДК 621.313.292-53

О.В. Садовой, д-р техн. наук,
Ю.В. Сохіна, канд. техн. наук,
Є.В. Польовий

ВЕНТИЛЬНИЙ РЕАКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЗИТИВНИХ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Анотація. Запропоновано спосіб зменшення пульсації швидкості обертання ротору вентильного реактивного двигуна шляхом використання додаткових зворотних зв'язків в релейному регуляторі струму. Знайдене рівняння гіперплощини перемикання релейного регулятора струму, яке дає можливість зменшити шумові показники такого двигуна.

А.В. Садовой, д-р техн. наук, професор
Ю. В. Сохіна, канд. техн. наук
Е.В. Полевой

ВЕНТИЛЬНЫЙ РЕАКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Аннотация. Предложен способ уменьшения пульсации скорости вращения ротора вентильного реактивного двигателя путем использования дополнительных обратных связей в релейном регуляторе тока. Найдено уравнение гиперплоскости переключения релейного регулятора тока, дающее возможность уменьшить шумовые показатели такого двигателя.

A. V. Sadovoy, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Sohina J. PhD
E. V. Polevoj

SWITCHED RELUCTANCE ELECTRIC USING POSITIVE FEEDBACK

Abstract. The way of additional compensation of rotor speed ripple the switched reluctance motor by use of additional feedback in the discontinuous current controller has been offered. The equation of a switching hyperplane of the discontinuous current controller giving the chance to reduce noise indicators of such engine was found.

Вступ. Останнім часом вентильні реактивні двигуни (ВРД), в англійській інтерпретації Switched Reluctance Motor (SRM), знаходять своє застосування в електроприводах, де необхідно забезпечити надійне перетворення енергії з можливістю регулювання швидкості обертання і мінімальними витратами на відповідну систему керування [3]. Основним недоліком таких двигунів є пульсація електромагнітного моменту та швидкості обертання.

Відповідне налагодження параметрів комутації вентильного перетворювача з розширенням і зсувом зони комутації в бік випередження кута вмикання дозволяє значною мірою впливати на пульсацію електромагнітного моменту та швидкості обертання [1]. Використання релейного регулятора струму [2] в складі вентильного реактивного електропривода (ВРЕП) дає можливість стабілізувати струм на заданому рівні, що дозволяє усунути піки струмів в фазах двигуна. Проте такі заходи не в змозі повною мірою усунути основний недолік ВРД.

Постановка задачі. Метою даної роботи є зменшення пульсації швидкості обертання ротора ВРД шляхом використання додаткових зворотних зв'язків в релейному регуляторі струму.

© Садовой О.В., Сохіна Ю.В., Польовий Є.В., 2011

Результати роботи. В основу досліджень ВРД покладені наступні диференціальні рівняння, які описують рух об'єкта керування (ОК):

$$\left\{ \begin{array}{l} p\varphi = \omega \\ p\omega = -\frac{D}{J}\omega + \frac{1}{J}\sum_n^k i_n^2 \frac{\partial L_n}{\partial \varphi} \\ pi = -\frac{1}{T_n'} i_n - \frac{\partial L_n}{\partial \varphi} \frac{1}{R_n \cdot T_n'} \omega \cdot i_n + \frac{1}{R_n \cdot T_n'} u_y \end{array} \right. , \quad (1)$$

де φ – кутове положення вала двигуна, ω – кутова швидкість обертання ротора двигуна, D – коефіцієнт в'язкого тертя, J – момент інерції двигуна, i_n , R_n , L_n , U_n – струм, опір, індуктивність, напруга живлення n -ої фази двигуна, T_n – електромагнітна стала часу n -ої фази двигуна.

Представлена математична модель ВРД має наступні припущення: магнітна система двигуна ненасичена; фази статора двигуна є магнітно відокремлені, вплив контуру вихрових струмів і нагріву на електромеханічні характеристики ВРД відсутній; вентильний перетворювач є безінерційним.

В якості об'єкта дослідження використано трифазний ВРД, який має відношення полюсів статор/ротор 6/4, з вентильним перетворювачем, алгоритм якого забезпечує розширення зони комутації в бік випередження вмикання обмоток. Основні паспортні дані наведені в таблиці.

Основні технічні дані ВРЕП

Кількість фаз	3
Кількість полюсів статора	6
Кількість зубців ротора	4
Напряга живлення, В	150
Активний опір обмотки, Ом	1,3
Максимальна індуктивність, мГн	60
Мінімальна індуктивність, мГн	8
Момент інерції, кг·м ²	0,0013
Коефіцієнт в'язкого тертя, Н·м·с	0,0183

Робота вентиляного комутатора (ВК) згідно з зазначеними припущеннями і параметрами ОК відбувається за наступними алгоритмами:

$$U_A = \begin{cases} U_A = U_{\hat{A}\hat{E}}, \hat{y}\hat{e}\hat{u}\hat{i} & (0 \leq \varphi \leq 30) \text{ \â } \\ & (90 - \varphi_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}} \leq \varphi \leq 90) \\ U_A = 0, \hat{y}\hat{e}\hat{u}\hat{i} & (30 < \varphi < 90 - \varphi_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}}) \end{cases}, \quad (2)$$

$$U_{\hat{A}} = \begin{cases} U_{\hat{A}} = U_{\hat{A}\hat{E}}, \hat{y}\hat{e}\hat{u}\hat{i} & (30 - \varphi_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}} \leq \varphi \leq 60) \\ U_{\hat{A}} = 0, \hat{y}\hat{e}\hat{u}\hat{i} & (0 \leq \varphi < 30 - \varphi_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}}) \text{ \â } \\ & (60 < \varphi \leq 90) \end{cases}, \quad (3)$$

$$U_{\hat{N}} = \begin{cases} U_{\hat{N}} = U_{\hat{A}\hat{E}}, \hat{y}\hat{e}\hat{u}\hat{i} & (60 - \varphi_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}} \leq \varphi \leq 90) \\ U_{\hat{N}} = 0, \hat{y}\hat{e}\hat{u}\hat{i} & (0 \leq \varphi < 60 - \varphi_{\hat{a}\hat{e}\hat{r}}) \end{cases}, \quad (4)$$

де $\varphi_{\text{вип.}}$ – кут випередження комутації обмоток статора; U_{BK} – напруга на виході ВК; U_A, U_B, U_C – фазні напруги ВРД.

У кожному каналі ОК використовуються релейні регулятори струму зі зворотним зв'язком за струмом цього каналу. Згідно з [2] напруги живлення відповідних фаз

$$U_{BK} = U_{\text{max}} \text{sign}(i^* - i_n), \quad (5)$$

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

Зменшити пульсацію швидкості обертання і усунути «провали» електромагнітного моменту можливо за рахунок додаткового форсування струму в кожній фазі. Зазначений спосіб впливу досягається шляхом зміни величини напруги живлення обмоток ВРД в початковий час роботи кожної фази.

Використання алгоритмів (2)–(4) і (5) приведенне до двоканального керування ВРЕП, тобто до накладання струмів суміжних фаз в часі за двома каналами ОК. В такому разі величина кута випередження комутації обмоток статора буде визначати час дії форсування струму фази.

Для визначення величини форсуючих впливів на фази розглянемо еквівалентне значення струмів суміжних фаз А і С (рис. 1). Аналіз перехідних процесів (рис. 1,а) показує, що крива зміни величини струму суміжних фаз i_{AC} має ділянку t_n , де збільшення струму в два рази обумовлене перекриттям роботи двох фаз.

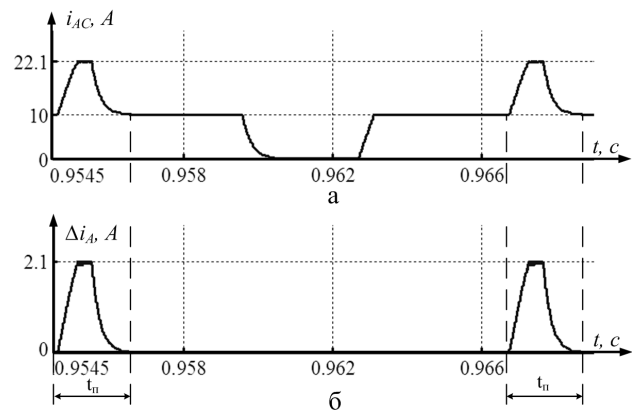


Рис.1. Зміна величин струмів

Вилучимо піки струму в момент одночасної роботи двох фаз

$$i_{kn} = (i_k + i_n) - i^*, \quad (6)$$

де i_{kn} – миттєві значення піку струмів в момент часу t_n ; i_n, i_k – миттєві значення струмів двох суміжних фаз.

Тоді з урахуванням масштабування величини i_{kn} отримаємо

$$\Delta i_n = [(i_k + i_n) - i^*]k, \quad (7)$$

де $0 < k < 1$ – коефіцієнт, який враховує величину форсуючого впливу струму при вмиканні фази ВРД, Δi_n – необхідна величина форсуючого впливу (рис. 1,б).

Таким чином рівняння напруги живлення з урахуванням форсуючого впливу

$$U_{BK} = U_{\text{max}} \text{sign}(i^* - i_n + \Delta i_n). \quad (8)$$

Відповідно до рівнянь об'єкта керування (1), запропонованої дії форсування (7) і рівняння закону керування релейного регулятора струму з урахуванням форсуючого впливу (8) отримана функціональна схема ВРЕП, наведена рис.2.

Реалізація використання форсуючих впливів на фази ВРД відбувається за рахунок позитивних зворотних зв'язків, які враховують дію двох суміжних каналів ОК.

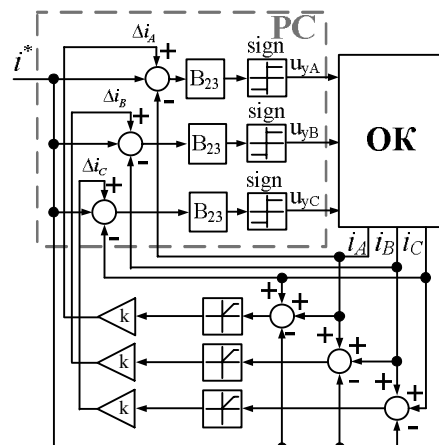


Рис.2. Функці-

ональна схема ВРЕП з використанням додаткових зворотних зв'язків

Математичне моделювання ВРЕП відбувається з урахуванням двоканального керування і релейного регулятора струму.

Перехідні процеси ВРЕП в квазиусталеному режимі роботи ВРД представлені на рис.3.

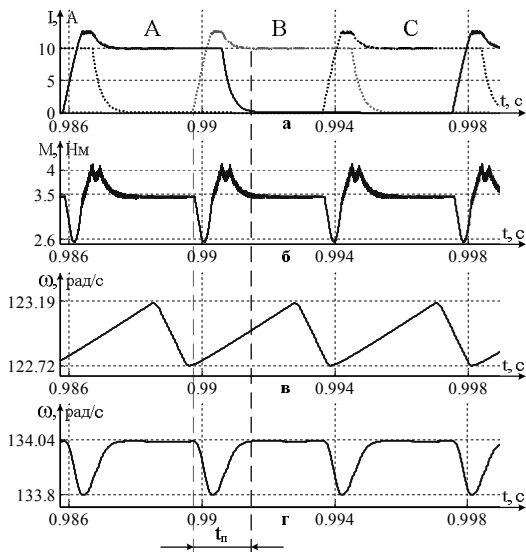


Рис.3. Перехідні процеси в квазиусталеному режимі роботи ВРЕП

З аналізу кривих перехідних процесів, представлених на рис.3,а, видно, що сигнал завдання разом з додатковим зворотним зв'язком формує струм в обмотках фаз статора згідно з форсуючим впливом (7) і рівнянням закону керування релейного регулятора струму (8). Введення додаткового позитивного зворотного зв'язку в кожний канал ОК дозволяє додатково форсувати струм в межах накладання поданої напруги живлення в часі, тобто на інтервалі t_n . Форсування фаз дозволяє частково заповнити «провал» електромагнітного моменту на ділянках комутації t_n двох суміжних обмоток А і В, В і С, С і А (рис.3,б) в порівнянні з електромагнітним моментом, наведеним в [3], який відповідає закону керування релейного регулятора струму – рівнянню (5).

Графіки на рисунках 3,в і 3,г ілюструють квазиусталені перехідні процеси швидкості обертання ротора при використанні законів керування (5) і (8) відповідно. Їх аналіз показує, що використання додаткових зворотних зв'язків в контурі регулювання струму зменшує пульсації швидкості обертання ротора ВРД (рис.3,г) в порівнянні з використанням закону керування (5) (рис.3,в). Пульсації швидкості обертання двигуна при використанні і без додаткових позитивних зворотних зв'язків за дією суміжних каналів, як видно з рисунків 3,в і 3,г, становить від 122,72 рад/с до 123,19 рад/с і від 133,8 рад/с до 134,04 рад/с відповідно.

Висновки. Введення додаткових позитивних зворотних зв'язків в контур регулювання струмом дозволяє змінити гіперплощину ковзання на ділянках перекриття фаз в часі, що дає можливість коригувати площину «провалу» електромагнітного моменту. Запропонований метод дозволив зменшити коливальність і збільшити швидкість обертання ротора на 48,94 % і 8,09 % відповідно по відношенню до ВРЕП з законом керування (5) релейного регулятора струму.

Список використаної літератури

1. Влияние параметров коммутации на характеристики вентиляно-реактивного электропривода / И.Н. Радимов, В.В. Рымша, З.П. Процина, М.В. Гулый // *Електромашинобуд. та електрообладн.* – 2006. – Вип. 67. – С. 82-87.

2. Польовий Є.В. Дослідження релейного регулятора струму вентиляно-реактивного електропривода з розширеною зоною комутації / Є.В. Польовий, О.В. Садовой // *Вісн. Кременчуцького держ. ун-ту ім. М.Остроградського.* – Кременчук: КДУ. – 2010. – Вип. 3/2010 (62). – Ч. 1. – С. 37-40.

3. Ткачук В.І. Електромеханотроніка: навчальний посібник / В. І. Ткачук – Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2006. – 440 с.

Отримано 12.07.2011



Садовой Олександр Валентинович, д.т.н., проректор з наукової роботи ДДТУ, м. Дніпродзержинськ, вул. Дніпростроєвська 2, тел. 8 (0569) 55-12-87 e-mail: sadovoy@dsty.dp.ua



Сохіна Юлія Віталіївна, к.т.н., доцент ДДТУ, м. Дніпродзержинськ, вул. Москворецька, б. 22, кв.17, тел. (05692)3-79-54



Польовий Євген Віталійович, аспірант ДДТУ, м. Дніпродзержинськ, вул. Дніпростроєвська 2, e-mail: polevoyev@i.ua.