

ний результат перевірки устойчивості на контури п'ятого порядку з будь-якою структурою об'єктів управління, замкнуті по старшим производним помилки регулювання.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовой А.В. Параметрический синтез релейной системы подчиненного регулирования скорости электропривода с упругой связью / Садовой А.В., Дерез А.Л. // Вестник Кременчугского государственного политехнического университета. – Кременчуг: КГПУ. – 2008. – Вып. 3/2008(50). Часть 1. – С.83-87.
2. Садовой А.В. Анализ устойчивости скользящего режима оптимальной по быстродействию системы четвертого порядка / Садовой А.В., Дерез А.Л. // Вестник НТУ ХПИ. Серия «Электротехника, электроника и электропривод». – Харьков. – 2008. – Вып. 30. – с.91-93.
3. Дерез А.Л. Синтез параметров регулятора положения оптимальной по быстродействию релейной системы управления электроприводом с упругой связью методом N-i переключений / Дерез А.Л., Садовой А.В. // Электромеханические и энергосберегающие системы: науч.-произв. журнал. Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» – Кременчуг: КрНУ. – 2012. – Вып. 3/2012 (19). – С.81-85.
4. Юревич Е.И. Теория автоматического управления / Юревич Е.И. – Л.: «Энергия», 1969. – 375с.: ил.
5. Садовой А.В. Оптимизация по быстродействию режима малых перемещений двухмассовой электромеханической системы методом N-i переключений на подвижных границах области / Садовой А.В., Дерез А.Л. // Электротехнические и компьютерные системы: науч.-техн. журнал Одесского национального политехнического университета. – К.: «Техника». – 2011. – С.89-91.
6. Дерез А.Л. Анализ устойчивости скользящего режима системы пятого порядка, оптимизированной по быстродействию при подвижных границах области / Дерез А.Л., Садовой А.В. // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного техн. ун-та (технические науки). – Днепропетровск: ДГТУ. – 2012. – Вып. 1(18). – С.100-104.

Поступила в редколлегию 21.05.2012.

УДК 621.313.292-53

ПОЛЬОВИЙ Є.В., асистент

Дніпропетровський державний технічний університет

КОРЕКЦІЯ ФОРСУЮЧОГО ВПЛИВУ КОНТУРА КЕРУВАННЯ СТРУМОМ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Вступ. Сучасні технологічні процеси і механізми прямо чи опосередковано потребують забезпечення суворих вимог до якості керування електроприводами. Отримання специфічних, а деколи індивідуальних динамічних і (або) статичних характеристик потребує урахування можливостей і властивостей електродвигуна і системи керування. Останнім часом при створенні нових видів електроприводів все більше уваги приділяється вентильному реактивному двигуну (ВРД), в англійській інтерпретації Switched Reluctance Motor (SRM). Як вказано в [1], це пов'язано з такими специфічними властивостями цього електродвигуна в порівнянні з класичними асинхронними і синхронними, як високонадійне перетворення енергії, створення значних пускових моментів навіть на швидкостях, близьких до нульових, можливість роботи в агресивних середови-

шах та ін.

Тому створення електропривода на базі вентильного реактивного двигуна з покращеними динамічними та статичними характеристиками є актуальною задачею.

Постановка задачі. Розробка системи керування, яка з одного боку дозволяє сформулювати бажану величину і форму фазного струму, а з іншого – підвищити швидкодію вентильного реактивного електропривода (ВРЕП).

Результати роботи. В якості об'єкта дослідження використано чотирифазний ВРД, який має відношення полюсів статор/ротор 8/6 (рис.1), з вентильним перетворювачем, алгоритм якого забезпечує симетричний зсув зони комутації в бік випередження вмикання обмоток. Основні паспортні дані дослідного двигуна наведені в табл.1.

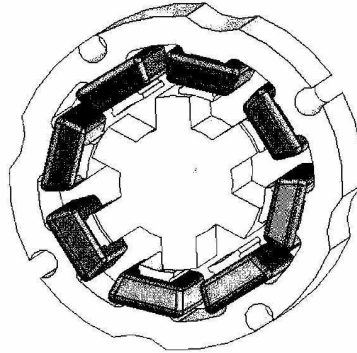


Рисунок 1 – Конструкція магнітної системи дослідного вентильного реактивного електродвигуна

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	$5,5 \cdot 10^{-6}$

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

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

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_{ynn} – струм, опір, індуктивність, напруга живлення n -ої фази двигуна; T_{e_n} – електромагнітна стала часу n -ої фази двигуна.

Складання математичної моделі ВРД відбувається з наступними припущеннями: магнітна система двигуна ненасичена; фази статора двигуна є магнітно відокремлені; вплив контура вихрових струмів і нагріву на електромеханічні характеристики ВРД відсутній; вентильний перетворювач є безінерційним.

У кожному каналі ОК використовуються релейні регулятори струму (РС) зі зворотним зв'язком за струмом цього каналу. Напруги живлення відповідних фаз визначаються виразом [2]:

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

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

Як показано в [3], корекція форсуючого впливу за кутом вмикання дозволяє керувати його дією на всьому діапазоні роботи фази. Вказаний підхід здійснюється шляхом використання координати швидкості відповідно до виразу

$$\varphi_f = \Delta\varphi + \left(1 - \frac{\omega}{\omega_{\text{nom}}}\right) \cdot \varphi_p, \quad (3)$$

де φ_f – кутове положення, на якому подається форсуючий вплив; $\Delta\varphi$ – 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.

Тоді алгоритм подачі форсуючого впливу на фази ВРД

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

де Δi – необхідна величина форсуючого впливу; $\varphi_{s,n}$ – кутове значення, при якому відбувається вмикання n -ї фази; $\varphi_{f,n}$ – кутове значення, при якому відбувається вимкання n -ї фази.

Основним недоліком такого підходу є використання усталеного значення величини форсуючого впливу, що унеможливорює зміну його величини в фазах ВРД. Зазначений недолік не дозволяє в достатній мірі зменшити час розгону електропривода до заданої швидкості і забезпечити необхідне значення пускового електромагнітного моменту.

Для усунення вказаних недоліків величину форсуючого впливу на фази ВРД будемо формувати в залежності від швидкості обертання ротора. Виконаємо процедуру нормування координати швидкості обертання. Тоді коефіцієнт, який враховує корекцію форсуючого впливу за величиною, можна знайти з виразу:

$$k_n = k_{\max} \frac{\omega}{\omega_{\text{nom}}}, \quad (5)$$

де k_{\max} – коефіцієнт, який враховує максимальне значення кратності струму під час пуску.

Після врахування значення додаткової корекції форсуючого впливу рівняння (2) буде мати вигляд

$$U_n = U_{\max} \operatorname{sign}(i^* - i_n + \Delta i_n \cdot k_n). \quad (6)$$

Спільна корекція форсуючого впливу за величиною і кутом вмикання дає змогу керувати струмом, як показано на рис.2. В якості базового прийнято струм, який відповідає номінальному моменту в розімкненій електромеханічній системі.

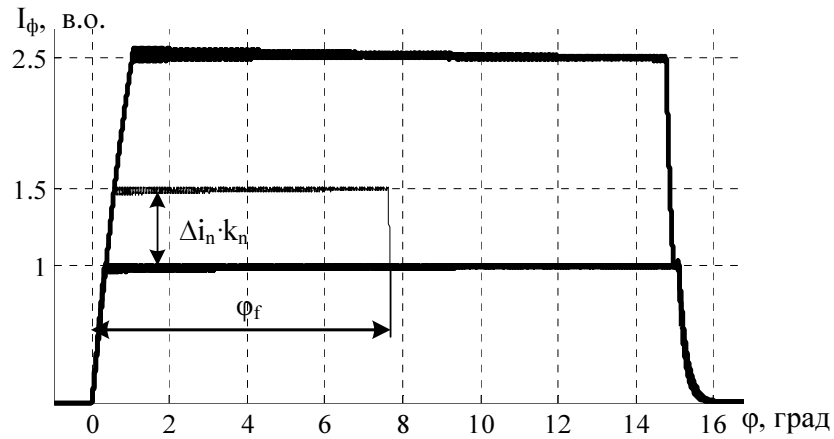


Рисунок 2 – Фазний струм ВРД в залежності від корекції форсуючої дії

Функціональна схема ВРЕП, яка містить релейний регулятор струму (6) і форсуючий пристрій, побудований на основі рівнянь (3)-(5), наведена рис.3.

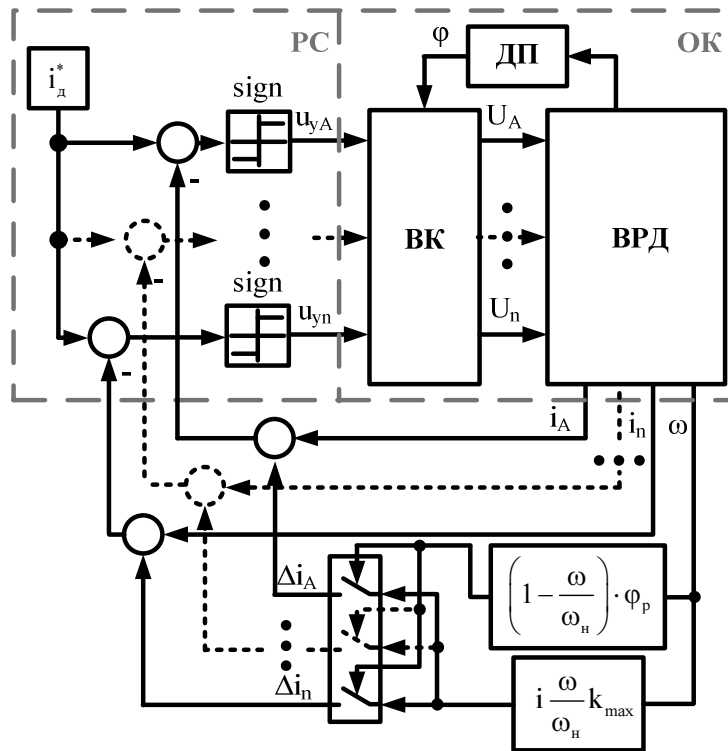


Рисунок 3 – Функціональна схема ВРЕП з контуром керування струмом і корекцією форсуючого впливу

Аналіз функціональної схеми показує, що реалізація форсуючого пристрою дозволяє здійснити корекцію форсуючого впливу за величиною і кутом вмикання. Це дає змогу впливати на сигнал завдання РС і формувати струм фаз ВРЕП необхідної форми і величини.

Результати математичного моделювання і експериментальні дослідження розробленого електропривода в режимі пуску та усталеної роботи з номінальним навантаженням і прикладанням в момент часу 1,65с двократного навантаження наведені на рис.4-7.

З аналізу перехідних процесів швидкості, представлених на рис.4, видно що розрахункові (рис.4, а) і експериментальні (рис.4, б) характер і форма кривих частоти обертання ідентичні, а їх розбіжність не перевищує 8%. Різниця частот обертання виникає за рахунок припущень при складанні математичної моделі.

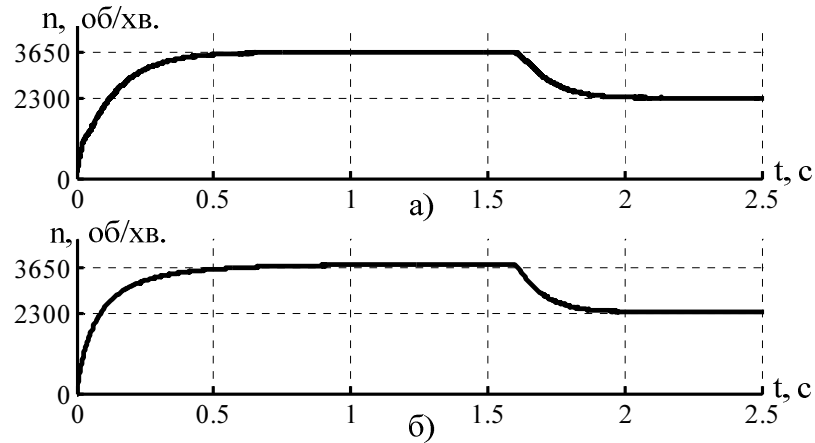


Рисунок 4 – Перехідні процеси частоти обертання ВРЕП з використанням змінного форсуючого впливу

Графіки кривих перехідних процесів частоти обертання ротора ВРЕП (рис.4) показують, що час пуску складає 0,75с, що в 2 рази менше в порівнянні з прямим пуском ВРД. Використання скоригованого форсуючого впливу зумовлює зростання частоти обертання ротора на 10,5% в порівнянні з прямим пуском ВРЕП.

Фрагмент перехідного процесу струму, який відповідає режиму пуску ВРЕП, показано на рис.5.

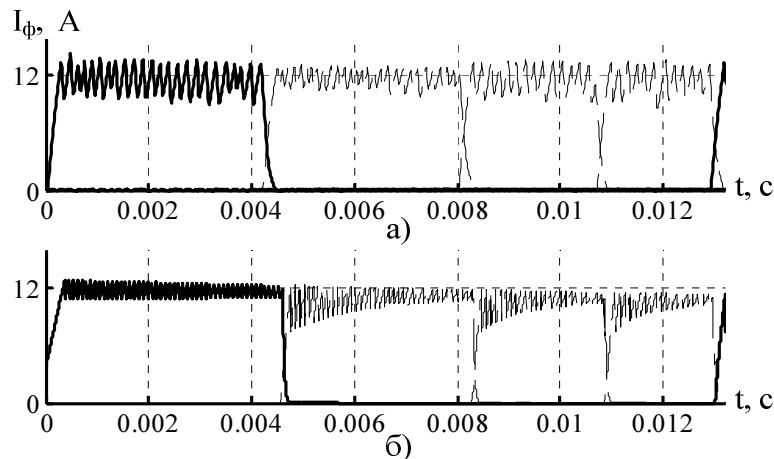


Рисунок 5 – Фрагмент перехідного процесу струму в режимі пуску ВРЕП

Порівняльний аналіз експериментальних (рис.5, а) і розрахункових (рис.5, б) струмів показує, що форми кривих струмів збігаються, а розбіжність амплітуд пульсацій не перевищує 5,5%. При цьому величина пускового струму досягає трьох базових, що визначається коефіцієнтом $k_{\max} = 3$. Зростання струму можливо за умови запасу енергії джерела живлення [4].

Розглянемо фрагмент перехідного процесу струму в усталеному режимі роботи ВРЕП при $M_c = M_n$, який зображено на рис.6.

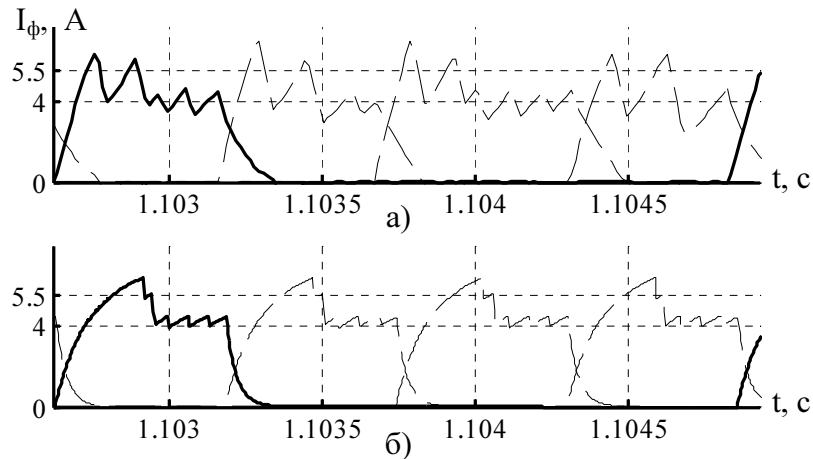


Рисунок 6 – Фрагмент перехідного процесу струму в усталеному режимі роботи ВРЕП при $M_c=M_n$

Порівняння фрагментів експериментальних (рис.6, а) і розрахункових (рис.6, б) струмів в усталеному режимі роботи показує, що розбіжність амплітуд пульсацій не перевищує 7%. Як видно з рис.5, зростання швидкості обертання призводить до зменшення форсуючого впливу як за величиною, так і за кутом вмикання, що відповідає рівнянням (3)-(6).

Дослідимо реакцію електропривода з ВРД на зміну моменту навантаження. Фрагмент перехідного процесу струму в усталеному режимі роботи ВРЕП при $M_c=2M_n$ представлено на рис.7.

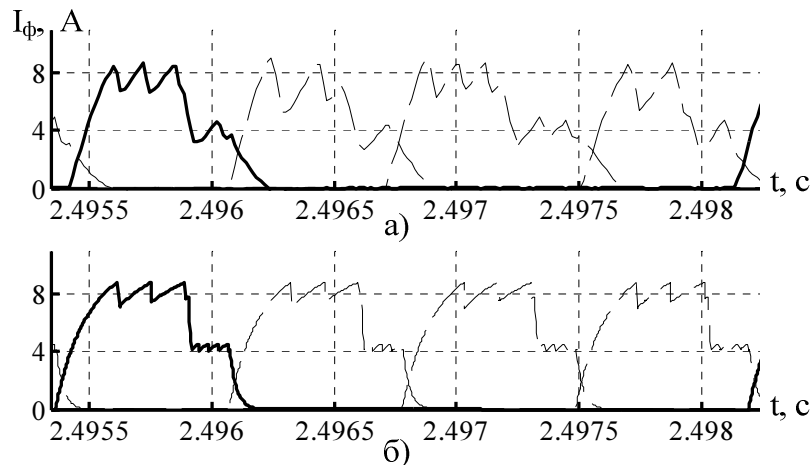


Рисунок 7 – Фрагмент перехідного процесу струму в усталеному режимі роботи ВРЕП при $M_c=2M_n$

Прикладення навантаження до значення $M_c=2M_n$ призводить до зменшення частоти обертання ротора (рис.4), що спричиняє збільшення форсуючого впливу і електромагнітного моменту ВРД. Це дає змогу підвищити жорсткість механічної характеристики ВРЕП з використанням релейного регулятора струму.

Аналіз кривих перехідних процесів експериментальних (рис.7, а) і розрахункових (рис.7, б) струмів в усталеному режимі роботи показує, що форми кривих струмів мають розбіжність амплітуд пульсацій на рівні 9,5%.

Розбіжність амплітуд пульсацій струмів у всіх фрагментах не перевищує 10%. Різниця частот і амплітуд пульсацій струмів виникає за рахунок обмеження частоти пе-

ремикання транзисторних ключів і швидкодії АЦП, затримки в часі при обробці алгоритму керування мікропроцесором. Невідповідність форм струмів виникає за рахунок ідеалізації математичного описання об'єкта керування.

Висновки. Результати теоретичних і практичних досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних результатів показав адекватність математичної моделі і справедливості висунутих теоретичних положень. Розбіжність теоретичних і практичних результатів не перевищує 10%.

2. Запропонований підхід до формування струму дозволяє підвищити швидкість у 2 рази і частоту обертання ВРЕП на 10,5% в усталеному режимі роботи при номінальному навантаженні в порівнянні з прямим пуском ВРД при живленні від номінальної напруги.

4. Корекція форсуючого впливу за величиною і кутом вмикання дозволяє формувати струм фаз ВРЕП, що знижує чутливість спроектованого електропривода до координатних збурень, які спричиняють зміну координати швидкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ткачук В.І. Електромеханотроніка: навчальний посібник / Василь Іванович Ткачук. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2006. – 440с.
2. Польовий Є.В. Корекція сигналу завдання релейного регулятора струму електропривода з вентильно-реактивним двигуном / Є.В.Польовий, О.В.Садовой, Ю.В.Сохіна // Вісник національного технічного університету «ХПІ»: тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – Вип. 28. – С.137-138.
3. Польовий Є.В. Вентильний реактивний електропривод у режимі тягового навантаження / Є.В.Польовий, О.В.Садовой // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» науково-виробничого журналу. – Кременчук: КрНУ. – 2012. – Вип. 3/2012(19). – С.78-80.
4. Садовой А.В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами / А.В.Садовой, Б.В.Сухинин, Ю.В.Сохіна; под рад. А.В.Садового. – К.: ИСИМО, 1996. – 298с.

Надійшла до редколегії 12.06.2012.

УДК 621.313.322

ХОМЕНКО В.І., аспірант
КОЛИЧЕВ С.В., к.т.н., доцент
НІЗІМОВ В.Б., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

АВТОНОМНА ГЕНЕРАТОРНА УСТАНОВКА З КОМПЕНСАЦІЄЮ ІНЕРЦІЙНОСТІ КОНТУРА ЗБУДЖЕННЯ

Вступ. У сучасних генеруючих установках синхронні машини (СМ) облаштовуються системами збудження (СЗ), в яких струм збудження формується одночасно від двох джерел: джерела напруги та джерела струму, струм якого пропорційний струму статора СМ. Суттєвими перевагами таких систем є висока швидкість каналів регулювання напруги збудження [1]. Однак, інерційність обмотки збудження СМ (стала часу 3...5с) призводить до значного погіршення таких систем.