

УРАХУВАННЯ ЗМІНИ КУТА ПОВОРОТУ РОТОРА ДЛЯ МОДЕЛІ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА

Істоміна Н.М., ас.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук Полтавської обл., Україна

E-mail: IstominaNM @yandex.ru

Проаналізовані принципи отримання сигналу кута повороту ротора вентильно-індукторного двигуна. На сьогоднішній день широке розповсюдження отримали бездатчикові методи. Одним із методів являється математичне обчислення кута повороту з електромагнітних або електромеханічних сигналів. Виведені математичні залежності безперервного і циклічного кутів повороту ротора. Розглянуті функції дозволяють отримати залежність індуктивності фази статора вентильно-індукторного двигуна від змінного кута повороту ротора.

Ключові слова: вентильно-індукторний двигун, безперервний кут повороту ротору, циклічний кут повороту ротора.

Вступ. Аналітичне представлення вентильно-індукторного двигуна (ВІД) вкрай складне через значні нелінійності, що характеризують його роботу. Особливу увагу варто звернути на зміну індуктивності фази. Ряд робіт присвячено одержанню залежності індуктивності фази від кута повороту ротора, однак їх недоліком є те, що вони не враховують швидкість зміни кута повороту і прийнятні лише для встановлених режимів роботи.

Аналіз попередніх досліджень. Згідно [1] ВІД являє собою складну електромеханотронну систему, що складається з системи керування (СК) імпульсами напруги живлення, перетворювача частоти (ПЧ), самої індукторної машини (ІМ) та датчика положення ротора (ДПР), за сигналами якого замикається система керування.

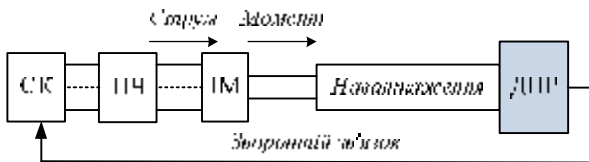


Рисунок 1 – Структурна схема ВІД як електромеханотронної системи

Відповідно [2], датчики положення поділяють на абсолютні (резистивні, індуктивні, ємнісні та цифрові кодові абсолютних значень) і відносні, контактні та безконтактні. У більшості ВІД у якості ДПР використовуються безконтактні датчики: фототранзистори і фотодіоди, елементи Холла, магнітні датчики, пристрої імпульсного керування та регульовані диференціальні трансформатори [3]. Відомі технічні рішення, що використовуються на сьогоднішній день на базі датчика Холла [4] та перетворення механічної координати кута повороту у цифровий код [5].

Наявність ДПР ускладнює конструкцію двигуна, зв'язок між ним і пристроєм керування, знижує надійність роботи в умовах електромагнітних перешкод та агресивних середовищ [6].

Тому на даному етапі розвитку вентильно-індукторного електропривода (ВІЕП) особлива увага приділяється розробці бездавачевих систем керування.

Практично всі відомі рішення бездавачевого контролю положення ротора ґрунтуються на контролі фазних струмів та напруг живлення при використанні визначених попередньо залежностей магнітного потоку від положення ротора [7]. Подібні системи докладно розкриті для наступних випадків:

- бездавачева комутація ґрунтується на контролі значень ЕРС (їх переходу через 0) та використанні естиматору [8];

- сигнал положення ротора визначається непрямым шляхом [6], через визначення миттєвих значень напруги, струму й обчислення поточного значення потокозчеплення за формулою:

$$\Psi(t) = \int_0^t (U - i \cdot R) dt ; \quad (1)$$

- за допомогою математичних перетворень отримана математична залежність, що дозволяє обчислювати значення швидкості обертання ротора через значення фазних потокозчеплень, яке є базовим сигналом для визначення положення ротора [9].

Тож серед існуючих систем керування (наприклад, [8, 9]) досить часто зустрічається використання бездавачевих засобів визначення положення ротора для обчислення сигналу, пропорційного кутовій швидкості.

Тому актуальною задачею являється розробка математичного опису отримання сигналу кута з ДПР.

Мета роботи. Розробка математичної моделі отримання сигналу кута положення ротора, що є базовим для системи керування ВІД.

Матеріал і результати дослідження. Відомо, що кутова швидкість обертання фізичного об'єкта і кут повороту пов'язані виразом:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} . \quad (2)$$

Якщо виразити з цього рівняння кут, отримаємо:

$$\varphi(t) = \int \omega dt ,$$

або в операторній формі

$$\varphi(p) = \omega \cdot \frac{1}{p} .$$

Згідно [10] перехідний процес кутової швидкості при пуску двигуна носить аперіодичний характер. За аналогією для загального вигляду аперіодичного

процесу [11] запишемо математичний вираз в операторній формі для перехідного процесу кутової швидкості:

$$\omega(p) = \frac{\omega_0}{T_m p + 1}, \quad (3)$$

де ω_0 – синхронна кутова швидкість обертання, rad/c ; T_m – стала часу перехідного процесу за швидкістю, c .

Відповідно кут обертання

$$\varphi(p) = \frac{\omega_0}{T_m p^2 + p}. \quad (4)$$

За правилами при переході від зображення функції $\omega(p)$ до її часового вигляду $\omega(t)$ отримаємо:

$$\omega(t) = \omega_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}} \right). \quad (5)$$

Після інтегрування отримаємо функцію кута обертання:

$$\varphi(t) = \omega_0 \left(t - T_m + T_m \cdot e^{-\frac{t}{T_m}} \right). \quad (6)$$

На робочій ділянці, за умови незмінності вхідних факторів, кутова швидкість залишається сталою. Тому при інтегруванні кутової швидкості обертання отримаємо перехідний процес за кутом обертання, що нескінченно зростає (рис. 2).

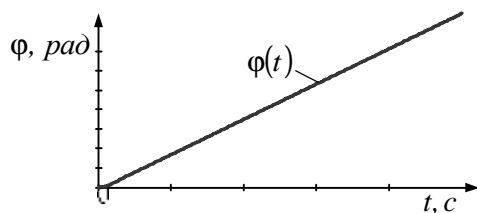


Рисунок 2 – Залежність кута повороту валу від часу

Для спрощення роботи системи утворення імпульсів напруги живлення необхідно відлік кута прив'язати до повного обороту двигуна і вести у діапазоні від 0 до $2 \cdot \pi$. Для цього було проведено інтегрування кута обертання з відсідкою згідно заданого рівня (рис. 3).

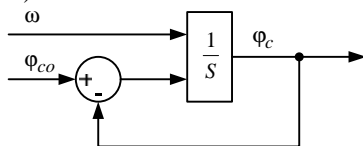


Рисунок 3 – Реалізація інтегрування кутової швидкості обертання з відсідкою

На рис. 3 прийняти наступні позначення:

φ_{co} – кут відсідки, у загальному випадку,

$$\varphi_{co} = 2 \cdot \pi.$$

φ_c – циклічний кут обертання.

У цьому випадку ми отримуємо квазіперіодичну залежність кута обертання від часу, що носить характер пилкоподібного сигналу (рис. 4).

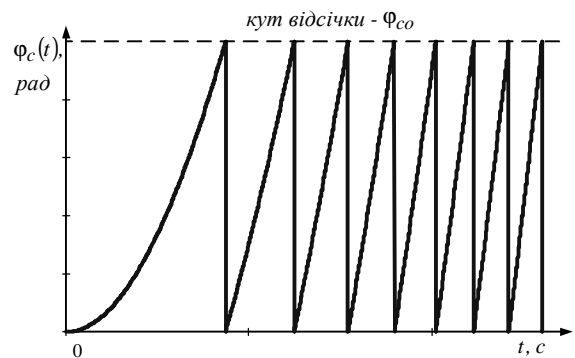


Рисунок 4 – Циклічна залежність кута обертання від часу

При використанні циклічного кута обертання є можливість регулювати ширину імпульсів напруги живлення за допомогою штучного обмеження кута відсідки. На рис. 5 зображені циклічні кути у відносних одиницях для кутів відсідки π , 2π , 3π .

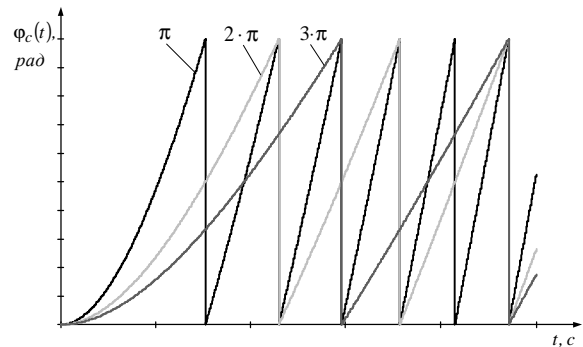


Рисунок 5 – Графіки циклічних кутів повороту ротора

Представлену вище залежність можна описати через умовну функцію:

$$\varphi(t + T_f) = if(0 \leq t \leq T_f, \varphi(t), 0), \quad (7)$$

де T_f – змінний період функції.

Якщо прийняти, що в нескінченності змінний період установиться на значенні

$$T_f = t1 - t2, \quad (8)$$

тоді

$$\varphi(t1) - \varphi(t2) = \varphi_{co}. \quad (9)$$

При підстановці в цю тотожність функції (6) отримаємо:

$$T_f + T_m \left(e^{-\frac{t1}{T_m}} - e^{-\frac{t2}{T_m}} \right) = \frac{\varphi_{co}}{\omega_0 \cdot T_m}. \quad (10)$$

За умови, що $t1 \rightarrow \infty$ та $t2 \rightarrow \infty$, при розв'язанні рівняння (10) відносно періоду, знаходимо його установлене значення:

$$T_{fs} = \frac{\varphi_{co}}{\omega_0 \cdot T_m}. \quad (11)$$

Отримавши перехідний процес для циклічного кута обертання, можна записати закони формування імпульсів напруги живлення.

Висновки. Отримані функції кута вентиляльно-індукторного двигуна у подальшому будуть використано для розробки математичного опису сигналів керування та отримання залежності індуктивності фази статора двигуна від положення ротора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. А. Вентильно-индукторные двигатели [Электронный учебник] / В. А. Кузнецов, В. А. Кузьмичев. – Режим доступа: <http://elmech.mpei.ac.ru>.
2. Как правильно выбрать датчик положения [Электронный ресурс] // Материалы журнала «Новости микроэлектроники», предоставленные Отделом реализации импортных компонентов фирмы «МЭЙ». – 1999. – № 6. – Режим доступа: <http://chipnews.gaw.ru>
3. Switched Reluctance Motor [Электронный ресурс] // Материалы з офіційного сайту University of Technology Sydney. Electrical Energy Technology. – Режим доступа: <http://services.eng.uts.edu.au/>
4. DiRenzo, Michael T. Switched Reluctance Motor Control – Basic Operation and Examples Using the TMS320F240 / Michael T. DiRenzo // Texas Instruments Incorporated. Application Report, SPRA420A. – February, 2000. – 62 p.
5. Балковой А. П. Прецизионный электропривод с вентиляльным двигателем [Электронный ресурс] / А. П. Балковой // Новостной и аналитический портал «Время электроники». – Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru>
6. Пат. 2182743 RU, МКИ Н 02 Р 6/18, Н 02 К 29/06. Способ управления вентиляльно-индукторным электроприводом и устройство для его осуществления / Бычков М. Г. – № 2000124565/09; заявл. 27.09.2000; опубл. 20.05.2002. – [Электронный ресурс] // Український інститут промислової власності. – Режим доступу: <http://www.ukrpatent.org>
7. Switched Reluctance Motor Drives [Электронный ресурс] // Стаття з офіційного сайту компанії «Fleadh Electronics. Specialists in Green Power Electronics». – Режим доступу: fleadh.co.uk/srm.htm
8. Щур І. З. Бездавачева комутація обмоток якоря безконтактного двигуна постійного струму в безредукторному електроприводі / І. З. Щур, М. Ф. Мандзюк // Офіційне видання української асоціації інженерів-електриків «ЕЛЕКТРО-інформ», 2010. – № 2-3. – С. 5 – 7.
9. Бездатчиковое вычисление скорости двигателя в электроприводе с вентиляльным двигателем [Электронный ресурс] // Информационно-справочный портал Obzor-electro. – Режим доступа: http://obzor-electro.ru/publ/electroprivod/bezdatchikovyj_ventilnyj_ehlektroprivod
10. Моделирование электромеханических систем / [Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й. та ін.] – Кременчук, 2001. – 410 с.
11. Юревич Е. И. Теория автоматического управления // Юревич Е. И. – Л.: Энергия, 1969. – 375 с.

Стаття надійшла 18.12.2010 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Чорним О.П.

УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА РОТОРА ДЛЯ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Истомина Н.Н., асс.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг Полтавской обл., Украина

E-mail: IstominaNM@yandex.ru

Проанализированы принципы получения сигнала угла поворота ротора вентиляльно-индукторного двигателя. На сегодняшний день широкое распространение получили бездатчиковые методы. Одним из методов является математическое вычисление угла поворота из электромагнитных или электромеханических сигналов. Получены математические зависимости непрерывного и циклического углов поворота ротора. Полученные зависимости позволяют получить зависимость индуктивности фазы статора вентиляльно-индукторного двигателя от переменного угла поворота ротора.

Ключевые слова: вентиляльно-индукторный двигатель, непрерывный угол поворота ротора, циклический угол поворота ротора.

ROTOR ANGLE VARIATION ACCOUNTING OF SWITCHED RELUCTANCE MOTOR MODEL

Istomina N., ass.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine

E-mail: IstominaNM@yandex.ru

Definition principles of switched reluctance motor rotor angle were analyzed. Sensorless methods got widespread. Rotor angle mathematical definition from electromagnetic or electromechanic signals is ones of this methods. The equations of continuous and cycle rotor angle were defined. This equation permit to receive switched reluctance motor stator phase inductance dependence on continuous rotor angle.

Key words: switched reluctance motor, continuous rotor angle, cycle rotor angle.