

2. Пересада С.М., Дымко С.С. Прямое векторное управление моментом асинхронных двигателей с максимизацией соотношения момент-ток // Электромеханические и энергосберегающие системы. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вып. 3, 2011, С. 16-20.

3. Козакевич І.А., Шкурко Д.О. Дослідження адаптивних систем з задаючою моделлю для бездатчикового векторного керування асинхронним двигуном при роботі на низькій швидкості // Вісник Криворізького технічного університету, Вип. 29, 2011 р.

4. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Бовкунович В.С. Экспериментальное тестирование адаптивного к вариациям активного сопротивления роторной цепи наблюдателя потокоцепления асинхронного двигателя // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2010, №25, С. 68-71.

5. Stojic D., Milinkovic M., Veinovic S., Klasnic I. Improved stator flux estimator for speed sensorless induction motor drives // IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 30, Iss. 4, 2015, pp. 2363-2371.

6. Hu J., Wu B. New integration algorithms for estimating motor flux over a wide speed range // IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 13, 1998, pp. 969-977.

7. Hinkkanen M., Luomi J. Modified integrator for voltage model flux estimation of induction motor // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 50, 2003, pp. 818-820.

8. Orłowska-Kowalska T., Dybkowski M. Stator-current-based MRAS estimator for a wide range speed-sensorless induction-motor drive // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, 2004, pp. 1296-1308.

9. Lascu C., Andreescu G.D. Sliding-mode observer and improved integrator with DC-offset compensation for flux estimation in sensorless-controlled induction motor // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, 2006, pp. 785-794.

10. Barut M., Bogosyan S., Gokasan M. Speed-sensorless estimation for induction motors using extended Kalman filters // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, 2007, pp. 272-280.

Рукопись поступила в редакцию 28.03.14

УДК 621.313.2

В.А. ВЛАСЕНКО, асистент, О.В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ВЗАЄМОІНДУКЦІЇ ФАЗ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Здійснено якісний та кількісний аналіз впливу явища взаємоіндукції фаз вентильно-індукторного двигуна на його електромеханічні характеристики на основі математичного моделювання із застосуванням програмного пакету Matlab. Розроблено рекомендації щодо ефективної схеми ввімкнення фаз обмотки вентильного індукторного двигуна.

Ключові слова: взаємоіндукція, вентильно-індукторний двигун, схема ввімкнення

Актуальність роботи. За останній час вентильно-індукторні двигуни (ВІД) набувають активного розвитку, що передбачає здійснення поглиблених досліджень складних електромагнітних та механічних процесів при їх роботі.

Отримані результати теоретичних досліджень мають прикладне значення, так як дозволяють підвищити енергетичні та експлуатаційні характеристики машин.

Один з мало досліджених процесів роботи ВІД обумовлений явищем взаємоіндукції, яке проявляється як вплив магнітного потоку котушки однієї фази на потокозчеплення іншої фази.

Мета роботи. Метою даної роботи є виявлення характеру впливу взаємної індуктивності фаз на електромеханічні властивості індукторного двигуна, а також розробка відповідних рекомендацій для ефективного використання цього явища в процесі експлуатації машини.

Матеріали дослідження. У роботі [1] виконано дослідження явища взаємної індуктивності фаз вентильно-індукторної машини на основі польового підходу.

Під час даного дослідження встановлено ряд положень: найбільше значення взаємної індуктивності мають суміжні фази; взаємоіндукція проявляється більшою мірою при збільшенні числа полюсів статора; значення взаємної індуктивності складає 5-12 % відносно власної індуктивності фази залежно від конфігурації магнітної системи машини.

Взаємоіндукція суміжних фаз може бути представлена аналітичною залежністю у вигляді ряду Фур'є

$$M_{kj} = \sum_{i=0}^N M_i \cos \left[ipz_2 \theta - \frac{\pi(2k-1)}{m} + (k-j) \frac{\pi(z_1 - z_2)}{z_1} \right] \quad (1)$$

де k, j - номери фаз, причому $j = k \pm 1$, так як розглядаються суміжні фази; N - кількість гармонік ряду Фур'є; i - номер гармоніки; p - кількість пар полюсів на фазу; θ - кут положення ротора; m - кількість фаз; z_1, z_2 кількість полюсів статора і ротора відповідно; M_i - амплітуда i -ї гармоніки.

Система диференціальних рівнянь [2], що описують електромеханічні процеси індукторного двигуна, з урахуванням взаємоіндукції суміжних приймає вигляд

$$\begin{cases} u_k = Ri_k + L_k(\theta, i_k) \frac{di_k}{dt} + \omega \frac{\partial L_k(\theta, i_k)}{\partial \theta} i_k \pm M_{kj}(\theta, i_j) \frac{di_j}{dt} \pm \omega \frac{\partial M_{kj}(\theta, i_j)}{\partial \theta} i_j; \\ M_e = \frac{\partial L_k(\theta, i_k)}{\partial \theta} \cdot \frac{i_k^2}{2} \pm \frac{\partial M_{kj}(\theta, i_j)}{\partial \theta} \cdot \frac{i_j^2}{2}; \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_e - M_c); \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega, \end{cases} \quad (2)$$

де $k=1 \dots m$ - номер фази; $j = k \pm 1$ - номери фаз, суміжних з k -ю фазою; u_k, i_k - відповідно напруга та струм k -ї фази; R - активний опір обмотки; L_k - власна індуктивність k -ї фази; M_{kj} - взаємоіндукція між фазами k та j ; M_e - електромагнітний момент двигуна; M_c - статичний момент навантаження; J - момент інерції; ω - кутова частота обертання ротора.

У наведеній системі рівнянь знак «+» перед останніми двома доданками першого рівняння та останнім доданком другого відповідає узгодженому з'єднанню суміжних фаз, тобто такому їх взаємному включенню при якому їх магнітні потоки направлені в одному напрямі.

Реалізувати такий режим роботи, при якому власний магнітний потік фази та створений суміжною фазою потік співпадають за напрямом в полюсі статора, можливо у випадку різноіменного ввімкнення суміжних фаз до джерела живлення.

На рис. 1 схематично показано при такому з'єднанні фазних обмоток напрями власних потоків фаз (суцільні лінії) та потоків наведених суміжними фазами (штрихові лінії) на прикладі трифазної машини конструкції $6/4$.

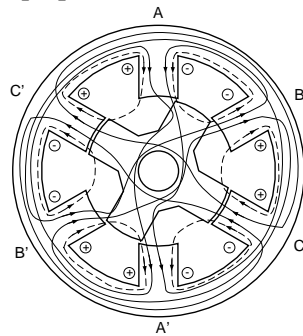


Рис. 1. Власні та наведені від суміжних фаз магнітні потоки

Відповідно до наведеної вище системи рівнянь розроблена та побудована імітаційна модель індукторного двигуна конфігурації $6/4$ у віртуальному середовищі **Simulink** програмного пакету **Matlab**, зображення якої показано на рис. 2.

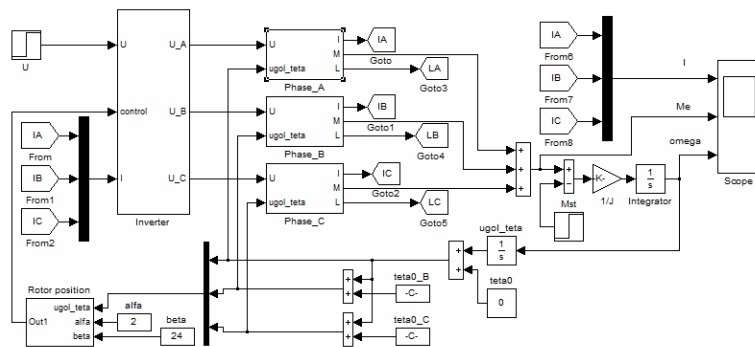


Рис. 2. Імітаційна модель ВІД з урахуванням взаємоіндукції фаз

Параметри зразка двигуна відповідають представленим у джерелі [3].

На рис. 3 наведено структуру блоку, що виконує функцію однієї фази машини.

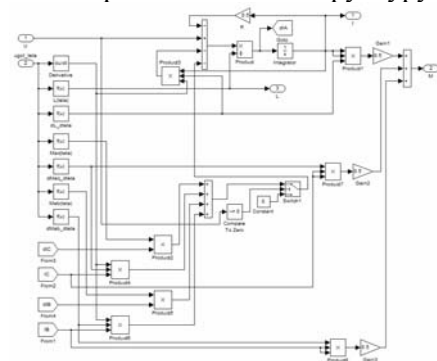


Рис. 3. Модель фази індукторного двигуна

У результаті обчислювального експерименту за допомогою розробленої моделі знято механічні характеристики індукторного двигуна для зустрічного та узгодженого ввімкнення суміжних фаз.

Отримані результати наведено на рис. 4.

Крива 1 відповідає узгодженому ввімкненню суміжних фаз, тобто різноіменному приєднанню обмоток до джерела, крива 2 - зустрічному, при якому обмотки ввімкнені одночасно.

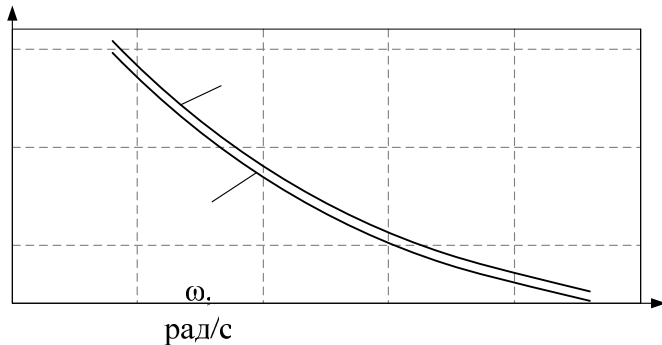


Рис. 4. Механічні характеристики ВІД

У більшості джерел, наприклад [4], представлено схему ввімкнення фаз індукторного двигуна, за якої фази з'єднуються з джерелом живлення одночасно, тобто полярність обмоток усіх фаз однакова.

Аналізуючи вплив взаємоіндукції на характеристики двигуна, можна зробити висновок, що така схема являється менш ефективною, ніж різнофазне з'єднання фаз, при якому потужність на валу двигуна збільшується на 4-5 %.

Висновки. У даній роботі розроблено математичну модель вентильного індукторного двигуна з урахуванням взаємної індуктивності фаз. За допомогою імітаційного моделювання доведено ефективність різнофазного вмикання до джерела живлення суміжних фаз з точки зору врахування явища взаємоіндукції.

Список літератури

1. Власенко В.А. Дослідження взаємоіндукції фаз вентильно-індукторного двигуна // Вісник НТУ ХП. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів, 2010 – №55, с. 3-8.
2. Голландцев Ю.А. Вентильные индукторно-реактивные двигатели. - СПб.: ГНЦ РФ - ЦНИИ «Электроприбор», 2003. - 148 с. 150
3. Krishnan Ramu. Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications. - Boca Raton London New York Washington, D.C., 2001. – 416 p.
4. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 70 с.

Рукопис подано до редакції 18.03.14

5

10

15

20

УДК 658.011.56

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, канд. техн. наук, проф., О.М. СЕРБУЛ, канд. техн. наук, доц.
Кіровоградський національний технічний університет

СТОХАСТИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯМ ТВЕРДЕ/РІДКЕ ПРИ ПОДРІБНЕННІ РУДИ З ЦИРКУЛЮЮЧИМИ ПІСКАМИ

Розглянуто умови забезпечення необхідної точності ідентифікації співвідношення тверде/рідке у стохастичній системі автоматичного керування цим параметром.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна належить до розвинутих країн по виробництву залізорудної сировини для металургійної промисловості.

Особливістю залізних руд є низький вміст корисного компоненту, що передбачає їх збагачення. Одним з енерго- і матеріалоемних процесів при цьому є подрібнення руд, на яке приходить до 50 % всіх енергетичних витрат. Найвища ефективність подрібнення руди в кульових млинах досягається лише при підтриманні певного значення співвідношення тверде/рідке.

З розгляду вирішення даної задачі видно, що вона залишається до кінця не розв'язаною. Тому не виконуються умови напрямку “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі”, передбаченого Законом України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”.

Зважаючи на це в Кіровоградському національному технічному університеті була започаткована наукова тема “Комп'ютерно-інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням” (0105U008334), матеріали виконання якої покладені в цю публікацію.

Оскільки дану статтю спрямовано на розв'язання поставлених задач, її тема є актуальною.