

# РЕЖИМИ РОБОТИ ТА АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ З МАШИНОЮ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА РІЗНИМИ ТИПАМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

<sup>1</sup>Інститут електродинаміки НАН України, Київ

Наведено огляд електромеханічних систем з машиною подвійного живлення (МПЖ) та різними типами перетворювачів частоти (ПЧ). Показано переваги та недоліки застосування різних типів ПЧ з МПЖ. Розглянуто схеми керування МПЖ з ПЧ та області їх застосування. Проаналізовано сучасні методи векторного керування, використовувані для побудови алгоритму керування МПЖ з різними типами ПЧ.

**Ключові слова:** машина подвійного живлення (МПЖ), перетворювач частоти (ПЧ), алгоритм векторного керування, електромеханічна система.

## Вступ

Машина подвійного живлення (МПЖ) є перспективним об'єктом дослідження, що знаходить широке застосування в електромеханічних системах, де вимагається використання високодинамічного керуваного електропривода. Останнім часом МПЖ посідає провідну роль в галузі альтернативної енергетики з використанням вітрових установок і поступово витісняє застосування синхронних генераторів. До основних переваг МПЖ слід віднести одночасну наявність двох каналів керування: керування по колу статора та колу ротора, внаслідок чого МПЖ може поєднати властивості синхронної та асинхронної електричних машин.

Метою роботи є визначення актуальності, доцільності та перспектив застосування МПЖ в електромеханічних системах з різними типами перетворювачів частоти (ПЧ).

## Матеріали та результати дослідження

Режими роботи МПЖ досить легко аналізувати, використовуючи енергетичні діаграми розподілу потужності [1], серед яких розрізняють: режим двигуна за швидкості нижче синхронної; режим двигуна за швидкості вище синхронної; режим гальмування противмиканням; режим генераторного гальмування за швидкості вище синхронної; режим генераторного гальмування за швидкості нижче синхронної; режим динамічного гальмування.

Серед принципових схем застосування МПЖ з ПЧ виділяють: схему електропривода на базі МПЖ з перетворювачем частоти в колі ротора (рис. 1); схему електропривода на базі МПЖ з перетворювачами частоти в колі ротора та колі статора одночасно (рис. 2).

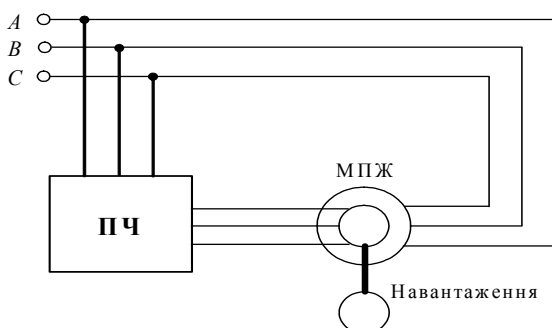


Рис. 1. Схема електропривода МПЖ з ПЧ в колі ротора

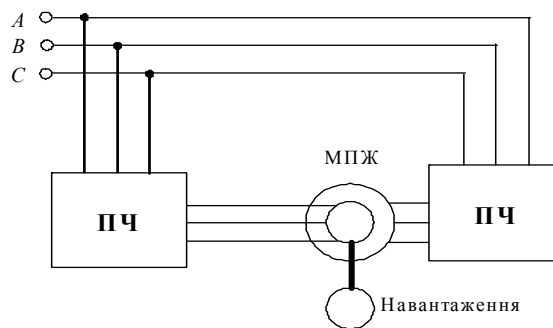


Рис. 2. Схема електропривода МПЖ з ПЧ в колі статора та колі ротора

Схема електропривода на базі МПЖ з ПЧ тільки в колі ротора знаходить широке застосування в системах відновлюваної енергетики [2], системах мережевого регулятора потужності [3], а також в насосних і вентиляторних системах електропривода. Головною особливістю схеми тако-

го типу є застосування перетворювача частоти, усталена потужність якого може бути в декілька разів меншою від номінальної потужності електричної машини, при цьому потужність перетворювача частоти визначається глибиною діапазону регулювання швидкості. Схема електропривода МПЖ з ПЧ в колі статора та колі ротора використовується в транспортному обладнанні, металургійній галузі тощо [4]. Така схема забезпечує роботу електропривода як в чотирьох квадрантах електромеханічної характеристики, так і в зоні надсинхронних швидкостей за номінального моменту на валу двигуна.

В сучасних електромеханічних системах на базі МПЖ використовують такі типи перетворювачів частоти: перетворювач частоти типу back-to-back [3]; матричний перетворювач частоти (МП) [5]; двоступеневий матричний перетворювач частоти (ДМП) [2]. Тип перетворювача частоти в електромеханічній системі з МПЖ визначається режимами роботи установки, глибиною регулювання швидкості, цільовим призначенням привода та показниками якості споживання або генерування електричної енергії.

Найчастіше в електромеханічних системах з МПЖ використовуються перетворювачі частоти типу back-to-back, що обумовлено відносно простою конструкцією та серійним виробництвом ПЧ такого типу. До недоліків застосування ПЧ типу back-to-back слід віднести: наявність значних накопичувачів енергії в силовій ланці постійного струму, що зменшує термін експлуатації та збільшує масогабаритні розміри; споживання несинусоїдальних струмів, що вимагає використання силових фільтрів гармонік.

МП має низку переваг у порівнянні з ПЧ типу back-to-back, а саме: можливість формування кривих вхідних і вихідних струмів зі сприятливим гармонічним складом (в т. ч. відсутністю субгармонік); відсутність в силовій схемі перетворювача значних накопичувачів енергії, здатність забезпечення «м'якого» переходу МПЖ через синхронну швидкість [5]. До недоліків застосування МП відносять: складність алгоритму керування, що зумовлено необхідністю застосування спеціальних методів комутації струму; більша кількість силових напівпровідникових ключів в порівнянні з back-to-back-перетворювачем.

В останні роки спостерігається зростання інтересу до перетворювачів з безпосереднім перетворенням енергії з синусоїдальними вхідними і вихідними струмами без пасивних компонентів у колі постійного струму. Одним з таких перетворювачів є ДМП [2]. Він складається з вхідного випрямляча з двонаправленими силовими ключами і вихідного інвертора напруги. ДМП має характеристики, аналогічні характеристикам традиційного МП, але наявність ланки постійного струму надає йому деякі переваги, наприклад, можливість зміни напруги в колі постійного струму, застосування різних частот комутації у випрямлячі та інверторі з метою зменшення втрат, більш проста організація безпечних комутацій ключів тощо. До недоліків застосування ДМП відносять: більшу кількість силових напівпровідникових ключів в порівнянні з back-to-back-перетворювачем; необхідність використання силового фільтра з боку блока випрямляча ДМП.

Сучасна промисловість потребує застосування високодинамічних електромеханічних установок з жорсткими вимогами до статичних та динамічних режимів роботи. Це вимагає від світової наукової спільноти створення нових алгоритмів керування електричними машинами, перетворювачами частоти, що забезпечать технологічні потреби виробництва та відповідні показники якості не лише продукту виробництва, але й електричної енергії, що споживається або генерується. Сучасні алгоритми керування електромеханічними системами на базі МПЖ з ПЧ будуються на основі векторних алгоритмів керування орієнтацією поля електричної машини [6], найпоширенішими серед яких є алгоритм прямого керування потужністю та алгоритм прямого керування моментом. Метод прямого керування потужністю знаходить широке застосування в електромеханічних системах альтернативних джерел енергії, де МПЖ працює в режимі керованого генератора вітрової турбіни. Цей алгоритм забезпечує роздільне керування активною та реактивною потужностями, що генеруються до мережі [7]. Алгоритм прямого керування моментом знаходить застосування в електроприводах з МПЖ, де вихідною координатою регулювання є момент або швидкість на валу двигуна [4].

## Висновки

Огляд електромеханічних систем з МПЖ підтверджує актуальність цієї тематики на сьогоднішній день, з огляду на активне впровадження джерел відновлювальної енергетики та жорстких вимог, що диктуються сучасними високодинамічними системами електроприводу. Порівняльний аналіз переваг та недоліків різних топологій ПЧ в МПЖ показує доцільність застосування двосту-

пневних матричних перетворювачів частоти. Впровадження сучасних напівпровідникових перетворювачів частоти в поєднанні з новітніми алгоритмами керування гарантує споживання та генерування електричної енергії із задовільними показниками якості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Онищенко Г. Б. Асинхронный вентильный каскад / Г. Б. Онищенко. — М. : Энергия, 1967. — 152 с.
2. Pena R. A Topology for Multiple Generation System with Doubly Fed Induction Machines and Indirect Matrix Converter / R. Pena, R. Cardenas, E. Reyes, J. Clare, P. Wheeler // IEEE Trans. on Industrial Electronics. — Vol. 56. — No. 10. — October 2009. — P. 4181—4193.
3. Akagi H. Control and performance of a flywheel energy storage system based on a doubly-fed induction generator-motor for power conditioning / H. Akagi, H. Sato // IEEE Transactions on Power Electronics. — Vol. 1. — 1999. — P. 32—39.
4. Bonnet F. Direct Torque Control of Doubly Fed Induction Machine / F. Bonnet, P. E. Vidal, M. Pietrzac-David // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences — Vol. 54. — No. 3. — 2006. — P. 307—314.
5. Sunter S. Slip energy recovery of a rotor-side field oriented controlled wound rotor induction motor fed by matrix converter / S. Sunter // Journal of the Franklin Institute. — 2008. — P. 419—435.
6. Werner Leonhard. Control of Electrical Drives / Werner Leonhard. — Berlin : Springer-Verlag, 2001. — 460 s. — ISBN 3-540-41820-2.
7. Pena R. A doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters supplying an isolated load from a variable speed wind turbine / R. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher // IEE Proc.-Electr. Power Appl. — Vol. 143. — No. 5. — September 1996. — P. 380—387.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 17.12.2013

**Дорошенко Андрій Леонідович** — аспірант, провідний інженер відділу перетворення та стабілізації електромагнітних процесів, e-mail: DFIM@ukr.net.

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

**A. L. Doroshenko**<sup>1</sup>

## Operating modes and control algorithms of electromechanical systems with a double fed induction machine and various types of frequency converters

<sup>1</sup>Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

*An overview of electromechanical systems with a double-current induction machine (DCIM) and various types of frequency converter (FC) is presented in this paper. Advantages and disadvantages of applying various types of FC with DCIM are examined. Control schemes of DCIM with FC and their field of application are considered. Modern methods of vector control used for constructing control algorithms of the DFIM with various types of FC are presented.*

**Keywords:** double-current induction machine (DCIM), frequency converter (FC), vector control algorithm, electromechanical system.

**Doroshenko Andrii L.** — Post-Graduate Student, Senior Engineer of the Department of Transformation and Stabilizing of Electromagnetic Processes, e-mail: DFIM@ukr.net.

**A. Л. Дорошенко**<sup>1</sup>

## Режимы работы и алгоритмы управления электромеханическими системами с машиной двойного питания и разными типами преобразователей частоты

<sup>1</sup>Институт электродинамики НАН Украины, Киев

*Представлен обзор электромеханических систем с машиной двойного питания (МДП) и разными типами преобразователей частоты (ПЧ). Показаны преимущества и недостатки использования разных типов ПЧ с МДП. Рассмотрены схемы управления МДП с ПЧ и области их применения. Представлены современные методы векторного управления, используемые для построения алгоритмов управления МДП с разными типами ПЧ.*

**Ключевые слова:** машина двойного питания (МДП), преобразователь частоты (ПЧ), алгоритм векторного управления, электромеханическая система.

**Дорошенко Андрей Леонидович** — аспірант, ведучий інженер отдела преобразования и стабилизации электромагнитных процессов, e-mail: DFIM@ukr.net.