

УДК 621.313

**ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ЗМІННОГО СТРУМУ
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ НА ЇХ ОСНОВІ**

Л.І. Мазуренко¹, докт. техн. наук, **О.М. Попович²**, канд. техн. наук, **В.В. Гребеніков³**, канд. техн. наук, **О.В. Бібік⁴**, канд. техн. наук, **І.В. Головань⁵**, канд. техн. наук, **О.В. Джура⁶**, канд. техн. наук, **Ю.В. Шуруб⁷**, канд. техн. наук, **А.П. Вербовий⁸**, канд. техн. наук, **В.І. Романенко⁹**, аспірант

1–9 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Наведено основні наукові та практичні результати відділу електромеханічних систем за 2010 рік, пов'язані з розробкою математичних моделей і методик розрахунку режимів, експериментальними та розрахунковими дослідженнями асинхронних генераторів з мікропроцесорним керуванням для автономних зварювальних мультисистем, асинхронних двигунів, машинно-вентильних комплексів на їх основі та електричних машин з постійними магнітами і вентильно-індукторних машин. Бібл. 17, рис. 4.

Ключові слова: асинхронний генератор, асинхронний двигун, машини з постійними магнітами, вентильно-індукторні машини, математичні моделі.

Роботи 2010 року були спрямовані на створення і дослідження експериментального зразка асинхронного генератора (АГ) з вентильно-ємнісним збудженням (ВЄЗ) автономної зварювальної мультисистеми з мікропроцесорним керуванням, на розробку нових схемотехнічних рішень багатофункціональних автономних джерел живлення зварювальної дуги (ДЖЗД), розробку та дослідження зварювального АГ з вентильним збудженням (ВЗ), подальше дослідження асинхронних двигунів (АД), вентильно-індукторних машин, електричних машин з постійними магнітами для електромеханічних систем різного призначення, що забезпечило подальший розвиток теорії електричних машин і машинно-вентильних комплексів, дозволило виробити рекомендації щодо проектування та розширити галузі їх можливого впровадження.

Асинхронні генератори. *Розробка та дослідження експериментального зразка АГ з ВЄЗ автономної зварювальної мультисистеми та нових схемотехнічних рішень багатофункціональних автономних ДЖЗД.*

Проведення експериментальних досліджень автономних ДЖЗД на основі багатообмоткових АГ з вентильними перетворювачами в колах статора, враховуючи складність їх математичних моделей (ММ) [4], надзвичайно важливе для перевірки адекватності моделей, правильності висунутих наукових положень і підходів, ефективності розроблених алгоритмів керування та схемотехнічних рішень тощо.

Тому створено експериментальний зразок ДЖЗД, виконаний на базі АГ з двома статорними обмотками (рис. 1 а), одна з яких – робоча обмотка (РО), а інша з батареєю конденсаторів (БК) паралельного збудження – обмотка збудження (ОЗ). Генератор спроектований на базі асинхронного двигуна 4А160М4УЗ. Його блок формування зварювальних характеристик виконано за схемою знижувального прямоходового широтно-імпульсного регулятора (ШПР) зі зворотними зв'язками за струмом і напругою на дузі. Дане схемне рішення (рис. 1 а) може бути використане для двох та більше постових структур. Для зниження впливу одного зварювального поста (ЗП) на інший їх доцільно жити також і від різних силових РО генератора (рис. 1 б).

При проектуванні експериментального зразка було розроблено методику розрахунку силових елементів ДЖЗД [5], мікропроцесорну систему керування (СК) і керуючу програму

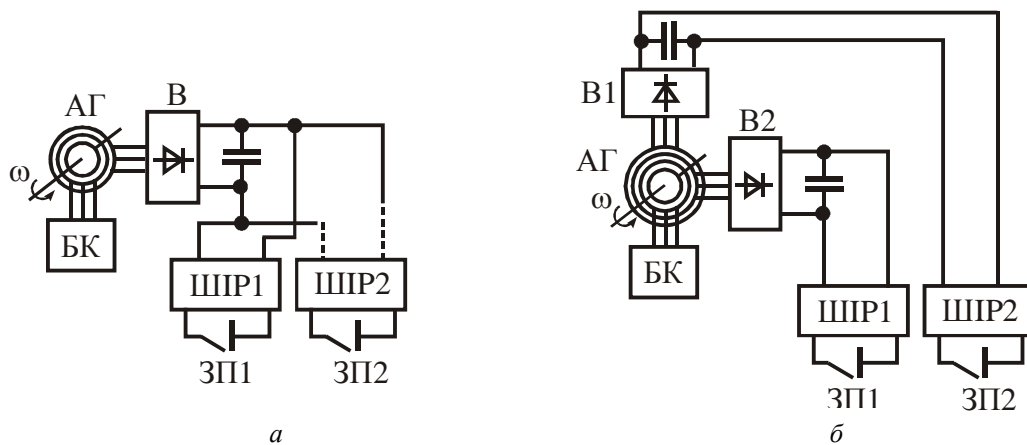


Рис. 1

з інтерфейсом користувача, що забезпечує надійне запалювання дуги і стабільний процес її горіння.

За прийнятних для ручного дугового електрозварювання зовнішніх характеристик ШП експериментально підтверджено дані теоретичних досліджень стосовно того, що ДЖЗД має гіперболічні з гістерезисом графіки зміни коефіцієнта корисної дії (ККД) та параболічні з гістерезисом графіки зміни втрат в електромашинній і перетворювальній частинах у функції потужності, що виділяється в місці зварювання. За допомогою експериментального зразка ДЖЗД було отримано дані для розрахунку його робочих характеристик, досліджено квазісталі і перехідні процеси в окремих елементах, взаємний вплив постів у разі живлення їх від РО.

Розрахунковими дослідженнями визначено типорозміри АД для проектування АГ з двома статорними обмотками і блоками формування зварювальних характеристик на основі ШП для різних струмів зварювання одно- і двопостового виконання.

Враховуючи недоліки існуючих зварювальних комплексів, які виконані на основі АГ, були розроблені перспективні технічні рішення ДЖЗД на основі АГ з двома [16] і трьома [17] статорними обмотками. Одне з ДЖЗД, зокрема, спроможне працювати в режимах двопостового зварювання постійним струмом, однопостового зварювання змінним струмом та однопостового зварювання постійним струмом підвищеного значення (паралельна робота постів) [17]. При цьому ДЖЗД при відповідному проектуванні ОЗ також придатне для живлення споживачів одно- чи трифазної напруги 220/380 В.

Запропоновано технічне рішення і розроблено математичну модель електромеханотронного перетворювача [6], який може бути використано як зварювальний генератор, а також і в складі автономних водонасосних установок з приводним двигуном обмеженої потужності (вітро- і гідротурбіна). Його особливістю є використання в складі регулятора постійної напруги конденсатора з подвійним електричним шаром (суперконденсатор, іонізатор) з елементами формування траєкторії його зарядно-розрядного струму, що робить автономне джерело енергії менш критичним до коливань потужності навантаження і потужності привода.

Розробка та дослідження зварювального АГ з ВЗ [7, 8, 9, 15]. Вперше розроблено та створено експериментальний зразок АГ з ВЗ і від'ємними зворотними зв'язками за напругою і струмом, зовнішні характеристики якого придатні для живлення зварювальної дуги. При цьому вентиляційний перетворювач забезпечує АГ необхідною реактивною потужністю, працює випрямлячем, регулятором ковзання і зварювального струму. Можлива робота АГ з ВЗ при змінній частоті обертання приводного двигуна.

Розроблено методику розрахунку робочих характеристик зварювального АГ з ВЗ, яка базується на його схемі заміщення. Методика враховує особливості роботи генератора в режимі електрозварювання. При розрахунку використовуються дійсні зовнішні характеристики, а також запропонована залежність, яка відображає зв'язок між навантаженням і ковзанням генератора, що дозволяє визначити як робочий діапазон ковзання, так і мінімальний опір у колі постійного струму для забезпечення роботи АГ в області самозбудження.

Електромеханічні системи на основі асинхронних двигунів. *Електромеханічні системи (ЕМС) турбоустановок та підвищення їх надійності.* Для свердловинних насосів вертикальне розміщення вала потребує застосування упорного підшипника АД, розрахованого на вагу роторів двигуна, насоса, величину осьової сили насоса. Надійність цього підшипникового вузла є вагомим стримуючим чинником при збільшенні потужності обладнання та частоти обертання ротора.

З метою розробки засобів покращення техніко-економічних характеристик свердловинних насосних установок із зануреними АД проведено дослідження можливостей зменшення навантаження на упорний підшипник при створенні електромагнітних осьових зусиль на ротор АД за рахунок пилкоподібної зміни величини повітряного проміжку в осьовому напрямку. Дослідження характеристик електромагнітного поля виконано методом кінцевих елементів за допомогою розробленої розрахункової моделі.

Отримані вперше результати свідчать, що необхідно мати таку конфігурацію повітряного проміжку, яка забезпечить перерозподіл електромагнітних зусиль з радіального на осьовий напрямок. При цьому утворена осьова сила компенсує вагу ротора і зменшується навантаження на упорний підшипник.

Електротепломеханічна система (ЕТМС) транспортування нафти нафтопроводом при застосуванні вбудованого суміщеного мотор-насоса. Розроблено алгоритм визначення необхідної корисної потужності двигуна нафтового насоса на одиницю довжини нафтопроводу в функції температури нафти для різних значень діаметрів трубопроводу та швидкостей її руху. З врахуванням розрахованої величини оптимальної температури нафти визначено ККД електродвигуна вбудованого мотор-насоса, який є вихідним при його проектуванні.

Електромеханічна система з застосуванням АД з масивними феромагнітними елементами в колі ротора для пуску (розгону) газотурбінного двигуна (ГТД). Розроблено уточнену математичну модель електромеханічної системи пуску ГТД, що включає моделі таких структурних елементів: асинхронного двигуна; навантаження; тиристорного перетворювача напруження. Модель асинхронного двигуна дозволяє враховувати як параметри короткозамкнутого ротора, так і параметри ротора з нелінійними масивними елементами. Всі складові моделі розроблені в системі імітаційного моделювання MATLAB-Simulink.

Електромеханічні системи насосних установок при регулюванні швидкості обертання ротора АД. Метою дослідження таких ЕМС є розробка рекомендацій для підвищення їх енергоефективності. Дослідження повинно виконуватись з використанням адекватних математичних моделей всіх складових системи. Тому було розроблено модель, алгоритм розрахунку та їх програмну реалізацію для визначення залежностей зміни напору (H) та ККД відцентрових насосів при зміні швидкості обертання ротора в функції витрат (Q) [12]. Вихідною інформацією є каталогові залежності зміни напору, ККД насоса і спожитої потужності при номінальній швидкості та інформація про максимум ККД при деякій неномінальній потужності. Дослідження насосних установок показали високу ефективність розробленої моделі. Як приклад на рис. 2 показано результати моделювання характеристик нафтового насоса НМ3600-230 при частотах обертання 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 об/хв.

Математичні моделі АД електромеханотронних систем (ЕМТС) з урахуванням нелінійності електромагнітних параметрів. Специфіка режимів роботи і конструкції АД як складової ЕМТС обумовлена особливостями роботи електричної машини в комплексі з перетворювачами параметрів електричної енергії та широким діапазоном зміни як цих параметрів, так і параметрів навантаження [10, 11].

При дослідженні та проектуванні АД ЕМТС математичні моделі повинні адекватно враховувати особливості процесів і конструкцій, нелінійність електромагнітних параметрів АД. Їх врахування дозволяє підвищити точність визначення енергетичних показників, забезпечити якість проектування ЕМТС, а також підвищити достовірність результатів математичного моделювання при зміні параметрів у робочих режимах.

Розроблено моделі, в яких визначення електромагнітних параметрів АД спирається на результати моделювання електромагнітного поля машини методом кінцевих елементів. При цьому враховуються специфічні особливості АД ЕМТС, зокрема, взаємна індуктивність фаз за шляхами потоку розсіювання. Величина цього параметра для деяких типів серійних обмоток сягає 30...40 % від власної індуктивності розсіювання фази, і його неврахування призводить до похибок при розрахунках режимів роботи за каталоговими даними з використанням заступної схеми АД. Для його врахування розроблено методику та отримано вирази для формування матриці власних та взаємних індуктивностей віток (фаз) обмотки статора за потоками розсіювання $[m_{ss}]$ [10]. Для симетричної машини ця квадратна матриця розмірності кількості фаз має вигляд

$$[m_{ss}] = \frac{x_1}{\omega_0} \frac{\{\lambda_l [1] - \lambda_n k_{ml} ([On] - [1]) + k_l(i) \lambda_n [1] - k_l(i) \lambda_n k_{mln}(i) ([On] - [1])\}}{k_l(i) \lambda_n (k_{mln} + 1) + \lambda_l (k_{ml} + 1)},$$

де $[1]$ – одинична матриця; $[On]$ – квадратна матриця з одиничними елементами; $k_{mln} = |m_{sn}|/I_{sn}$, $k_{ml} = |m_{sl}|/I_{sl}$ – коефіцієнти співвідношення взаємної та власної індуктивностей розсіювання: пазової та лобової у номінальному режимі роботи; λ_l, λ_n – провідності лобового розсіювання та пазових частин; $k_l(i)$ – величина, зворотна коефіцієнту насичення магнітного кола за шляхами потоків розсіювання.

Для визначення величин k_{ml} , $k_l(i)$ і $k_{mln}(i)$ проведено дослідження і одержано відповідні їх залежності. Співвідношення для пазових параметрів визначено з аналізу характеристик електромагнітного поля.

Підвищення надійності електромеханічних систем при реалізації енергозберігаючого режиму зниження напруги малоавантажених АД зі зміною схеми з'єднання фаз "трикутник – зірка". Застосування даного способу, зокрема в електроприводі ескалятора метрополітену, обмежується значними динамічними навантаженнями в механічних ланках ЕМС. Дослідження можливостей зменшення динамічних навантажень та розробка необхідного алгоритму керування комутаторами спирались на запропоновану математичну модель АД із довільною схемою з'єднання фаз статора [10].

Досліджено режим АД (4А355S8), який складається із етапів пуску та роботи при з'єднанні обмотки фаз статора в трикутник, режиму затухання струмів ротора при розімкнутих контакторах у колах статора, режиму при з'єднанні фаз статора за схемою "зірка". На

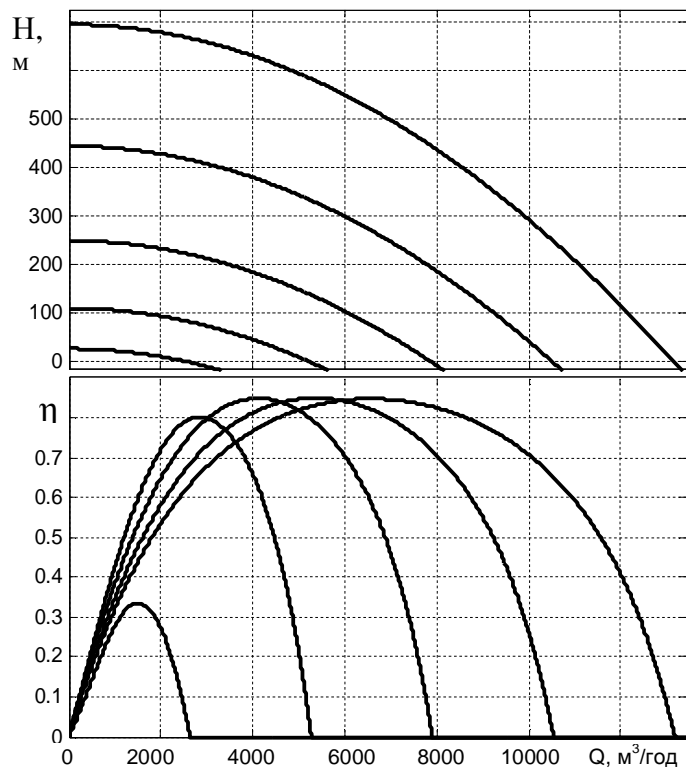


Рис. 2

рис. 3 наведено розрахункові залежності зміни за часом електромагнітного моменту та частоти обертання ротора при несприятливих співвідношеннях часових проміжків між моментами комутації. Видно, що кидки електромагнітного моменту при замиканні контакторів у статорних колах ставлять під сумнів працездатність даної схеми без додаткових заходів по їх зниженню. Чисельний експеримент дозволив сформувавши доцільний алгоритм комутації. Встановлено можливість на порядок знизити кидок моменту. Це ілюструє фрагмент динамічних характеристик, показаний на рис. 4.

Формування енергоефективних режимів роботи однофазних асинхронних конденсаторних двигунів (ОКАД) електромеханічних систем. Електроприводи поршневих компресорів повинні мати високі енергетичні показники, достатні кратності пускових і максимальних

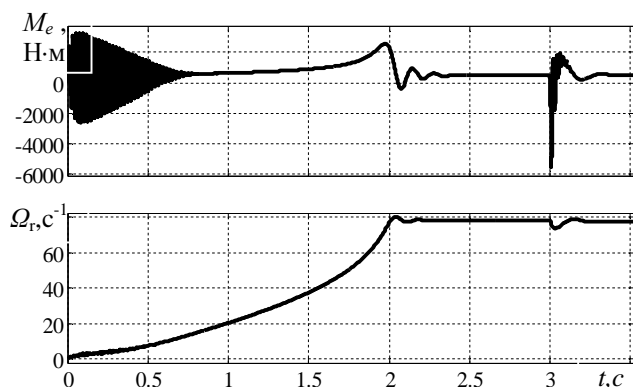


Рис. 3

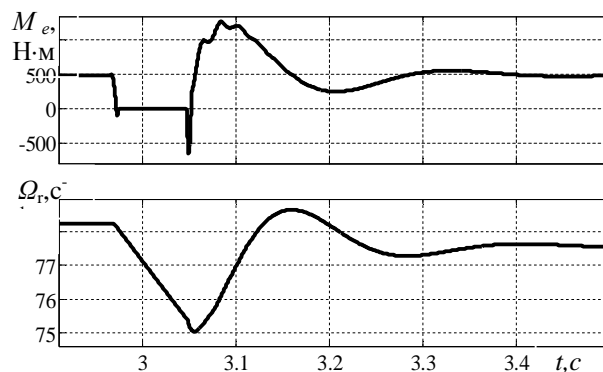


Рис. 4

моментів та низький рівень пульсацій частоти обертання ротора. Проведено дослідження і аналіз квазістатичних режимів роботи однофазних чотириполюсних асинхронних конденсаторних двигунів малої потужності (30 і 200 Вт) з двофазною обмоткою статора для поршневих компресорів з періодичним навантаженням з метою формування енергоефективних режимів за критерієм максимального експлуатаційного ККД. У допоміжну фазу двигунів, що розташована під кутом 90° щодо основної обмотки, послідовно включений робочий конденсатор номінальною ємністю $C_p = 1,5 \text{ мкФ}$ для двигуна потужністю 30 Вт і $C_p = 12 \text{ мкФ}$ – для двигуна потужністю 200 Вт.

При аналізі квазістатичних режимів ОКАД потужністю 30 Вт компресора одинарної дії, сумарний момент інерції якого $J = 3 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, встановлено оптимальну ємність робочого конденсатора ($C_p = 2,5 \text{ мкФ}$), при якій ККД має значення 29 %, що на 6 % більше, ніж при номінальній ємності.

Дослідження квазістатичних режимів ОКАД компресора подвійної дії потужністю 200 Вт і сумарним моментом інерції $J = 3 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ також дали змогу визначити оптимальну ємність робочого конденсатора (8 мкФ). Дана ємність забезпечує збільшення ККД на 3,5 % (максимальний ККД 80 %) і зниження рівня пульсацій частоти обертання ротора ($\delta\omega_r$) на 5 % у порівнянні з режимом при номінальній ємності. Однак при цьому рівень пульсацій частоти обертання ротора залишається на рівні 14 %, що не задовольняє вимогам щодо привода компресорів. Збільшенням сумарного моменту інерції до $J = 4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ при $C_p = 8 \text{ мкФ}$ можна знизити $\delta\omega_r$ до 8 %. При цьому ККД зменшується на 1 %.

Таким чином, визначено залежності експлуатаційних коефіцієнтів корисної дії від величини ємності робочих конденсаторів ОКАД малої потужності у квазістатичних режимах. Використання оптимальних ємностей дозволяє підвищити ККД двигунів з урахуванням робочого режиму на 4...6 % у порівнянні з режимом при номінальній ємності. Визначено параметри електроприводів, які дозволяють зменшити рівень пульсацій частоти обертання ротора.

Моделювання та розробка алгоритмів керування електромеханічними системами з випадковим навантаженням. Для аналізу та синтезу електроприводів за зовнішнім збуренням (моментом опору робочої машини) розроблено методику моделювання навантажень, що мають стохастичний характер, та проведено класифікацію таких навантажень за частотним спектром [13].

Відтворення навантаження у динамічному режимі здійснюється за допомогою програми MATLAB. Відомо, що стаціонарний випадковий процес можна розглядати як результат проходження білого шуму через стійку стаціонарну лінійну систему, що отримала назву формуючого фільтра. Спектральну густину стаціонарної ділянки, яка є відношенням поліномів від частоти ω , представлено у такому вигляді:

$$S(\omega) = \frac{P(\omega)}{Q(\omega)} = \frac{|H(j\omega)|}{|F(j\omega)|}.$$

Тоді передаточна функція формуючого фільтра дорівнює

$$W(s) = \frac{H(s)}{F(s)}.$$

Сумісна модель електропривода, що розроблена вперше, та навантаження дали змогу визначити структуру системи керування трифазно-однофазних електроприводів при дії стохастичних збурень.

Розглянуто два способи керування режимами симетрування трифазно-однофазних асинхронних електроприводів, навантаження яких змінюється в широкому діапазоні за випадковими законами: перший пов'язаний з регулюванням ємностей фазозсувних конденсаторів залежно від навантаження, а другий – із регулюванням напруги живлення [14]. Оскільки навантаження електроприводів має різко змінний характер, то система керування через наявність електромагнітної та механічної інерційності в замкнутому контурі не дозволяє отримати оптимальний режим без відповідної фільтрації випадкової складової навантаження. Для розробки алгоритму оптимальної фільтрації використано критерій мінімуму середньоквадратичної похибки відтворення корисного сигналу.

Встановлено, що при навантаженні, яке має експоненціальний спектр, передаточною функцією оптимального фільтра буде інерційна ланка, а при навантаженні з експоненціально-косинусним спектром – послідовне з'єднання аперіодичної ланки другого порядку та форсуючої ланки.

Технічна реалізація фільтра може бути здійснена як аналоговими, так і цифровими засобами. З точки зору мінімізації габаритних показників і універсальності більш перспективним є синтез цифрового фільтра за допомогою математичного апарату Z-перетворення передаточних функцій фільтра та визначення відповідного алгоритму фільтрації у вигляді різницевого рівнянь.

Використання алгоритму оптимальної фільтрації в замкнутих системах трифазно-однофазних асинхронних електроприводів дозволяє забезпечити мінімальну дисперсію коефіцієнта несиметрії як при регулюванні ємності, так і при регулюванні напруги при зміні навантаження в широкому діапазоні за випадковими законами.

Електричні машини з постійними магнітами. Велика кількість досліджень, представлених в технічній літературі, присвячена електричним машинам з постійними магнітами як з класичними зубцевими, так і гладкими (безпазовими) структурами.

Перевагами машин з гладким статором є відсутність зубцевих пульсацій у кривій магнітної індукції, плавний характер зміни залежності електромагнітного моменту від кута повороту ротора відносно статора, зменшена величина електромагнітної постійної часу.

Для зниження пульсацій електромагнітного моменту в зубцево-пазових магнітних системах доцільно застосовувати профілювання феромагнітних полюсів на роторі за певним законом або застосовувати в області пазів магнітні клини з певною величиною магнітної проникності, яка повинна вибиратися на основі результатів комп'ютерного моделювання, або виконувати скіс полюсів на роторі [1, 2].

Встановлено, що перспективним типом електричної машини з постійними магнітами є машина з полюсами на статорі. Така електрична машина має просту конструкцію статора. Обмотки статора виготовляються окремо, а потім розміщуються на полюсах статора. Тепловідлення відбувається в основному тільки на статорі. При цьому легко забезпечуються герметична конструкція, повітряне або водяне охолодження. Ротор має постійні магніти з тангенціальним намагнічуванням. Магніти розташовуються по радіусу і примикають до феромагнітних концентраторів. Для зменшення пульсацій електромагнітного моменту концентратори магнітного поля в роторі закруглені.

Розроблено математичну модель такої електричної машини та виконано моделювання її магнітного поля. Встановлено розподіл магнітного поля та проаналізовано залежності електромагнітного моменту від кута повороту ротора при зміні густини струму в фазах статора.

Проведені дослідження показали, що оскільки електрична машина з постійними магнітами і явнополюсним статором характеризується поліпшеними масогабаритними та енергетичними показниками, то її застосування в промисловості є доцільним для створення прогресивного привода на основі синтезу сучасних досягнень у галузі електромеханіки, електроніки та комп'ютерного керування.

Вентильно-індукторні машини. Розглянуто сучасний стан вентильно-індукторних машин (ВІМ) та встановлено, що на сьогоднішній день іноземними та вітчизняними вченими створено наукові основи проектування вентильно-індукторних машин, виявлено їх особливості, проведено порівняння з альтернативними рішеннями, представлено шляхи усунення недоліків. Однак розробка і впровадження ВІМ вимагає подальшого більш глибокого вивчення процесів у таких машинах, їх аналізу, моделювання та оптимізації не тільки конструкцій, але й оптимізації режимів роботи відповідно до умов експлуатації.

Тому актуальними є такі задачі: створення методик розрахунку втрат у сталі; вирішення практичних питань з реалізації ВІМ з використанням вузлів класичних електричних машин та електроніки; оптимізація режимів роботи ВІМ з метою зниження енерговитрат; вибір найбільш ефективного алгоритму керування і формування енергоефективних режимів роботи з урахуванням конкретного навантаження. При цьому необхідно обрати і обґрунтувати критерії оптимізації, у якості яких можуть бути використані узагальнені критерії, що базуються на масогабаритних, енергетичних та економічних показниках, максимумі електромагнітного моменту, мінімумі електричних втрат в обмотках статора [3].

Таким чином, у 2010 році отримано такі наукові результати.

1. Набула подальшого розвитку теорія автономних зварювальних машинно-вентильних комплексів на основі АГ:

– вперше теоретично визначено і експериментально підтверджено характер зміни енергетичних показників (ККД і коефіцієнта потужності) та втрат в електричній машині та вентильній частині блока формування зварювальних характеристик у функції потужності в області зварювання;

– розвинуто метод еквівалентних схем заміщення по відношенню до зварювальних АГ з ВЗ. При цьому одержано залежність, що відображає зв'язок між ковзанням електричної машини і навантаженням, що дозволило розробити методіку розрахунку робочих характеристик АГ з ВЗ;

2. Розроблено нові універсальні математичні моделі та програмні засоби дослідження та проектування АД електромеханотронних систем при довільних схемах з'єднання віток обмотки статора АД між собою та з елементами перетворювача;

3. Розроблено нові математичні моделі АД із залученням методу кінцевих елементів з врахуванням нелінійних властивостей магнітного кола та визначено закономірності зміни взаємної індукції фаз АД за шляхами потоків розсіювання.

4. Одержано аналітичні залежності зміни експлуатаційних ККД однофазних конденсаторних двигунів малої потужності в функції зміни ємності та моменту інерції при періодичному навантаженні, визначено оптимальні значення параметрів, які забезпечують підви-

щення ККД двигунів з урахуванням робочого режиму при задовільному рівні пульсацій частоти обертання в квазістатичних режимах.

5. Науково обґрунтовано перспективність використання електричних машин з постійними магнітами і ферромагнітними концентратами на роторі та зосередженими обмотками на полюсах статора.

6. Визначено шляхи подальшого вдосконалення вентильно-індукторних машин.

Потенційні споживачі одержаних наукових і науково-технічних результатів: електромашинобудівні підприємства, що виготовляють електричні машини та електромеханічні комплекси на їх основі для застосування в енергетиці і автоматиці, транспорті, будівництві, сільському господарстві тощо, а також підприємства зварювального обладнання.

За звітний період опубліковано 15 статей і доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, одержано один патент на винахід.

Підготовлено до друку сім статей. Окрім цього подано дві заявки на винахід.

У 2011 році планується розробити принципи та наукові засади створення автономних енергосистем на основі АГ з ВЗ з різними первинними двигунами, розробити засоби для комплексного оптимального проектування електромеханічних систем із залученням системного підходу, створити більш досконалі математичні моделі та методики визначення параметрів електричних машин з постійними магнітами та вентильно-індукторних машин.

1. Гребеников В.В., Прыймак М.В. Способы уменьшения пульсаций электромагнитного момента в электрических машинах с постоянными магнитами и зубцово-пазовым статором // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 27. – С. 52–58.
2. Гребеников В.В. Электрогенераторы с постоянными магнитами для ветроустановок и микроГЭС // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 43–48.
3. Мазуренко Л.І., Бібік О.В. Стан і перспективи розвитку вентильно-індукторних машин // Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах": Київ, Україна, 14 – 15 жовтня 2010 р. – С. 19–21.
4. Мазуренко Л.І., Джура О.В., Диннік Л.М., Соловійов В.В. Моделирование асинхронных генераторов с двумя обмотками статора при работе на выпрямляч з РС-навантаженням // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 25. – С. 81–88.
5. Мазуренко Л.І., Джура О.В., Диннік Л.М., Соловійов В.В. Розрахунок широтно-імпульсного регулятора струму для зварювальних комплексів на основі двообмоткових асинхронних генераторів // Вісн. Кременчуцького держ. політехн. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 4/2010(63). – Ч. 1. – С. 11–15.
6. Мазуренко Л.І., Джура О.В., Романенко В.І., Диннік Л.М. Електромеханотронний перетворювач енергії автономних енергоустановок постійного струму // Міжнар. наук.-техн. конф. "Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах": Київ, Україна, 14 – 15 жовтня 2010 р. – С. 53–59.
7. Мазуренко Л.І., Романенко В.І. Асинхронний вентильний генератор в якості керованого джерела струму // Вісн. Нац. техн. ун-ту "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 28. – С. 66–67.
8. Мазуренко Л.І., Романенко В.І. Асинхронний генератор з вентильним збудженням як джерело живлення зварювальної дуги // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 35–39.
9. Мазуренко Л.І., Романенко В.І. Математична модель асинхронного генератора з вентильним збудженням з використанням методу припасування // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 19–24.
10. Попович О.М. Математична модель асинхронної машини електромеханотронної системи для імітаційного та структурного моделювання // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. праць. – К.: ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 25. – С. 89–97.
11. Попович О.М. Математична модель для дослідження режимів асинхронних машин електромеханотронних систем // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 25–32.
12. Шевчук С.П., Попович О.М., Світлицький В.М. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: Підруч. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 308 с.
13. Шуруб Ю.В. Моделирование асинхронных электроприводов при случайной нагрузке // Електротехніка і електромеханіка. – 2010. – № 2. – С. 24–26.
14. Шуруб Ю.В. Порівняльний аналіз алгоритмів оптимізації енергоспоживання асинхронного конденсаторного двигуна при змінному навантаженні // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – К., 2010. – Вип. 153. – С. 217–221.
15. Пат. UA 51704 Україна. МПК H02P 9/00. Спосіб керування автономним асинхронним генератором з короткозамкненим ротором / Л.І Мазуренко, В.І. Романенко. Заявл. 17.02.2010 р. Опубл. 26.07.2010 р. Бюл. № 14.

16. Заявка на выдачу патенту України U201010306 від 25.08.2010р. МПК H02K 17/00, B23K 9/10 Багатофункціональне джерело живлення зварювальних постів / Л.І Мазуренко, О.В. Джура, Л.М. Диннік.
17. Заявка на выдачу патенту України U201010960 від 13.09.2010 р. МПК H02K 17/00, B23K 9/10. Л.І Універсальне джерело живлення зварювальної дуги / Мазуренко, О.В. Джура, Л.М. Диннік.

УДК 621.313

Л.І. Мазуренко¹, докт. техн. наук, **А.Н. Попович**², канд. техн. наук, **В.В. Гребеников**³, канд. техн. наук, **Е.В. Бибик**⁴, канд. техн. наук, **І.В. Головань**⁵, канд. техн. наук, **А.В. Джура**⁶, канд. техн. наук, **Ю.В. Шуруб**⁷, канд. техн. наук, **А.П. Вербовой**⁸, канд. техн. наук, **А.І. Романенко**⁹, аспірант
1–9 – Інститут електродинамики НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Приведены основные научные и практические результаты отдела электромеханических систем за 2010 год, связанные с разработкой математических моделей и методик расчета режимов, экспериментальными и расчетными исследованиями асинхронных генераторов с микропроцессорным управлением для автономных сварочных мультисистем, асинхронных двигателей, машинно-вентильных комплексов на их основе, электрических машин с постоянными магнитами и вентильно-индукторных машин. Библ. 17, рис. 4.

Ключевые слова: асинхронный генератор, асинхронный двигатель, машины с постоянными магнитами, вентильно-индукторный машины, математические модели.

L.I. Mazurenko¹, **O.M. Popovych**², **V.V. Grebenikov**³, **O.V. Bibik**⁴, **I.V. Holovan**⁵, **O.V. Dzhura**⁶, **Yu.V. Shurub**⁷, **A.P. Verbovyi**⁸, **A.I. Romanenko**⁹

1–9 – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

ALTERNATIVE CURRENT ELECTRIC MACHINES AND ELECTROMECHANICAL SYSTEMS ON THEIR BASE

The article covers some main scientific and practical results obtained in electromechanical systems department for the time of 2011 year, which are having to do with development of mathematical models, methods of the modes calculation and both experimental and numerical investigations of induction generators with microprocessor control for autonomous welding multisystems, induction motors, based on them complexes with electric machines and switches, permanent-magnet machines and switch reluctance machines. References 17, figures 4.

Key words: induction generator, induction motor, permanent-magnet machines, switch reluctance machines, mathematical models.

Надійшла 06.03.2011

Received 06.03.2011