

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Соломахи Олександра Вікторовича «Вдосконалення системи керування асинхронним електроприводом в системах зрошення», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Актуальність теми дисертації. У сільському господарстві широко застосовуються системи зрошення для отримання високого вихідного валового продукту. Для приводу насосних установок в цих системах в основному використовуються асинхронні двигуни, переважна більшість з яких застосовуються в нерегульованому приводі, який має низькі експлуатаційні показники. При застосуванні векторно-керованого асинхронного електропривода є можливість покращити енергозаощадження, значно знизити пусковий та робочий струми, усунути падіння напруги, коливання швидкості, обмежити можливі гідродари, а також зменшити непродуктивні втрати води.

Саме тому дана дисертаційна робота, що присвячена розв'язанню наукового завдання з підвищення енергозаощадження та експлуатаційних показників систем зрошення на основі регульованого асинхронного електропривода насосних установок, є актуальною та своєчасною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводились відповідно до наукового напрямку кафедри електропривода та автоматизації промислових установок Запорізького національного технічного університету в ході виконання держбюджетної роботи № ДР 0105U005049 «Дослідження і розробка електромеханічних систем і засобів автоматизації технологічних процесів». Дисертація виконана відповідно до Комплексної Державної програми енергозбереження України, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 05.02.97 р. № 148. Тематика роботи відповідає Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», зокрема, п. 3 «Енергетика та енергоефективність» статті 3 «Пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням комплексних досліджень із застосуванням відомих теоретичних та експериментальних методів, співпадінням теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання та експериментального дослідження. Основні наукові положення, висновки та рекомендації

дисертаційної роботи базуються на результатах вирішення задачі підвищення енергозаощадження та експлуатаційних показників систем зрошення шляхом застосування векторно-керованого асинхронного електропривода насосних установок. Висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані коректністю постановки та розв'язання задач досліджень, застосуванням загальновідомих положень фундаментальних законів фізики, електротехніки, теорії електроприводу, теорії автоматичного керування, математичного моделювання та експериментальних досліджень для перевірки теоретичних положень і наукових результатів.

Достовірність та новизна висновків та рекомендацій. Достовірність результатів, отриманих аналітичними методами, підтверджується результатами математичного моделювання та експерименту. Достовірність висновків забезпечується коректною математичною постановкою важливого науково-прикладного завдання з підвищення енергозаощадження та експлуатаційних показників систем зрошення шляхом застосування векторно-керованого асинхронного електропривода насосних установок. Одержані нові теоретичні та практичні результати, які у сукупності обумовили розв'язання задачі – підвищення енергозаощадження систем зрошення. Усі методи, що запропоновані в дисертаційній роботі обґрунтовані строгими математичними викладками і підтверджуються результатами моделювання на ЕОМ та експериментів. Результати досліджень, наукові положення і висновки дисертації пройшли ґрунтовну апробацію при обговоренні на науково-технічних конференціях і семінарах найвищого рівня.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні невідомих раніше закономірностей динаміки асинхронного електропривода при формуванні траєкторії швидкості при гальмуванні, впритул до нульової та підтриманням відповідного моменту, яке виключає різке змінювання витрат води, що може породжувати хвилі тиску і гідравлічні удари в трубах, запірній арматурі, забезпечуючи підтримку високого ККД двигуна, використання яких дозволило значно підвищити експлуатаційні показники систем зрошення; в розробленні наукових основ створення систем з попереджувальною компенсацією спотворень вихідної напруги силового пасивного LC-фільтра на виході перетворювача частоти, яка коригує програмні сигнали блока широтно-імпульсної модуляції для забезпечення на виході LC-фільтра напруги без спотворення за фазою і без зменшення амплітуди, відносно напруги програмних сигналів блока широтно-імпульсної модуляції, які відрізняються від аналогічних суттєвою алгоритмічною простотою; у вдосконаленні моделі асинхронного електропривода з векторним керуванням, яка відрізняється від відомих сукупністю пасивного LC-фільтра на

виході перетворювача частоти та наявністю інжектованої складової в намагнічуючу складову струму статора, що дозволило вибрати енергозощаджуючі режими за рахунок підвищення точності керування швидкістю ротора в робочому діапазоні і швидкодії енергоємних виконавчих механізмів в системах зрошення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в сформульованих рекомендаціях щодо використання методу попереджуючої компенсації при розробці систем керування перетворювачів частоти з вихідним LC-фільтром та алгоритмів векторного керування, що реалізовані на процесорі LPC4357 (сімейства ARM Cortex-M4/M0 фірми NXP Semiconductors) для перетворювачів частоти серії ПЧ5, які виготовляються на «НВП Перетворювач-комплекс» (м. Запоріжжя). Практична ефективність результатів запропонованих науково-технічних рішень підтверджена експериментальними випробуваннями на агропідприємстві СФГ «Міраж» в системі крапельного зрошення площею 15 га. Результати роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі електропривода та автоматизації промислових установок Запорізького національного технічного університету при підготовці студентів за спеціальністю «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» при викладанні дисциплін «Автоматизація технологічних процесів», «Моделювання електромеханічних систем», «Спецзавдання моделювання», «Комп'ютерні технології автоматизації», «Типовий електропривод».

Оцінка, змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота є завершеною працею, що акуратно оформлена і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та дев'яти додатків. Загальний обсяг дисертації становить 216 сторінок, обсяг основного тексту – 163 сторінки, рисунків – 60, таблиць – 4, перелік використаних джерел – 109 найменувань.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено дані про публікації та апробацію матеріалів дисертації.

У першому розділі окреслено задачу з підвищення енергозощадження в асинхронних електроприводах насосів систем зрошення за рахунок використання векторного керування асинхронним двигуном, наведено аналітичний огляд і аналіз існуючих методів. Наприкінці розділу сформульовано задачі наукового дослідження.

Другий розділ присвячено розробці рішень для оцінювання вектора потокозчеплення, синхронної швидкості, кутової швидкості та постійної часу кола ротора. Розглянуто такі характерні для електропривода режими роботи, як

початкове намагнічування, розгін до заданої швидкості, реверс, гальмування. Наведена та розглянута функціональна схема векторно-керованого електропривода з використанням інжекції для ідентифікації активного опору кола ротора.

У третьому розділі розроблено попереджувальний компенсатор скривлень статорної напруги, які вносяться вихідним пасивним силовим LC-фільтром, а також блоків виділення постійних та гармонічних складових з однофазних та двофазних сигналів. Розроблено два блоки оцінювання головних гармонік і постійних складових двофазних зашумлених сигналів у реальному часі.

У четвертому розділі досліджено шляхом моделювання роботу запропонованої системи векторного керування асинхронним електроприводом з використанням інжекції для ідентифікації параметрів. Результати моделювання системи при наявності пасивного LC-фільтру на виході перетворювача частоти підтвердило тезу, що без використання попереджувального компенсатора система стає нестійкою при швидкості ротора більшій від 60% за номінальну. Це пояснюється тим, що з ростом частоти фазовий зсув напруги двигуна відносно програмного стає недопустимим для стійкої роботи системи керування. При застосуванні попереджувального компенсатора система стабільно працює у всьому діапазоні змінення кутової швидкості ротора в зазначених режимах.

У п'ятому розділі проведено лабораторно-промислові дослідження та польові випробування запропонованої системи векторного керування асинхронним електроприводом насосних установок з використанням розроблених алгоритмічних блоків. Проведено окреме експериментальне дослідження аналого-цифрових адаптивних фільтрів трифазних сигналів з метою прямого виміру статорної напруги з подальшим виділенням її першої гармоніки без змінювання фази і амплітуди, що вносяться аналоговими фільтрами в каналах вимірювання. Результати лабораторно-промислових та польових досліджень підтвердили високі динамічні характеристики системи векторного керування асинхронним електроприводом.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Повнота викладу в опублікованих працях. Основні наукові результати дисертації повно відображені у 18 публікаціях, в т.ч. в 14 статтях у фахових виданнях України та статті у закордонному виданні.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. В роботі поставлено для вирішення шість задач досліджень, що є забагато для кандидатських дисертацій. Зазвичай у кандидатській дисертації вирішується три-чотири, а у докторській п'ять-сім задач. Більш раціональним було б узагальнення декількох зв'язаних задач.
2. Висвітлення кожної задачі дослідження чітко не відображено у змісті

роботи. Було б доцільним назву розділу чи підрозділу дисертації назвати та присвятити відповідній задачі дослідження.

3. З функціональної схеми запропонованого векторно-керованого асинхронного електропривода системи зрошення, що зображена на рис. 2.1, не зовсім зрозуміло, що є вихідною координатою регулювання – момент двигуна, кутова швидкість двигуна чи тиск у гідравлічній мережі.
4. При формулюванні наукової новизни отриманих результатів допущено декілька неточностей. Зокрема, в кінці першого пункту новизни вказується, що похибка не перевищує 3 %, проте не зрозуміло до якої координати електропривода чи показника якості це відноситься. У другому пункті новизни йдеться про підвищення точності швидкості ротора не більше 2,7 %. Мабуть мова йде про підвищення точності регулювання швидкості.
5. При дослідженні системи зрошення з розробленим векторно-керованим асинхронним електроприводом не враховувалась динамічна модель насосної установки. Зокрема, дослідження системи шляхом моделювання проводилися на основі статичних залежностей, що є адекватним при роботі в усталеному режимі.
6. Момент навантаження електропривода насосних установок залежить від квадрату швидкості обертання. Тому раціональним з точки зору енергоефективності є зменшення струму намагнічування при зменшенні швидкості, а не підтримувати його сталим у всьому діапазоні керування швидкості. До речі такий спосіб реалізовано в одному з скалярних (частотних) законів керування при підтримці сталим відношення амплітуди до квадрату частоти напруги живлення.
7. При моделюванні роботи електропривода зміна навантаження здійснювалася стрибком. Це справедливо для оцінки якості керування електроприводу з точки зору теорії автоматичного керування. Проте в насосних установках систем зрошення реальний момент навантаження електропривода змінюється плавно і залежить від квадрату кутової швидкості, що впливає на кількісні показники якості керування електроприводом.
8. Номінальне значення потокозчеплення ротора асинхронного двигуна, на якому проводилися дослідження запропонованої системи векторного керування, становить 1,4 Вебера (додаток В, а також рис. 2.5, рис. 2.6, рис. 4.3). З дисертаційної роботи не зрозуміло, на підставі яких розрахунків отримано саме таке значення потокозчеплення.
9. Присутні деякі незначні порушення правил оформлення дисертаційної роботи та несуттєві неточності на рисунках, зокрема на рис. 2.1.

Зазначені зауваження не є суттєвими, частина з них носить рекомендаційний характер, тому не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок. Дисертаційна робота Соломахи Олександра Вікторовича на тему «Вдосконалення системи керування асинхронним електроприводом в системах зрошення» є завершеною працею, в якій вирішено актуальне наукове завдання з підвищення енергозаощадження в асинхронних електроприводах насосів систем зрошення за рахунок використання векторного керування асинхронним двигуном з силовим LC-фільтром на виході перетворювача частоти та інжекції для ідентифікації активного опору кола ротора.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків дисертаційна робота відповідає вимогам, які ставляться до кандидатських дисертацій, а за змістом поданого в ній матеріалу – паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Представлена дисертаційна робота відповідає п.п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор Соломаха Олександр Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри теоретичної
електротехніки НТУУ "Київський
політехнічний інститут"



М.Я. Островерхов

Підпис Островерхова М.Я. засвідчую.

Учений секретар
Національного технічного
університету України
"Київський політехнічний інститут"



А. А. Мельниченко