

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Бібік Олени Василівни «Розвиток теорії та розроблення засобів підвищення енергоефективності вентильно-індукторних і асинхронних двигунів із змінним навантаженням», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.01 – електричні машини і апарати

Актуальність теми. При проектуванні систем електроприводу створенні систем керування, розроблення заходів з підвищення їх енергоефективності в робочих режимах завжди виходять з характеру навантаження. В кожному конкретному випадку дослідники розв'язують такі питання для конкретних об'єктів, механізмів, двигунів. Тому по-перше, є актуальною проблема розроблення концепції оптимального проектування для широкого класу двигунів. Що потребує розвитку теорії електричних машин в напрямку розроблення математичних моделей, уточнення характеру протікання електромагнітних і електромеханічних процесів і принципів керування. По-друге, з урахуванням тенденцій розвитку машинобудування, використання енергоефективних електромеханічних перетворювачів – розроблення заходів з підвищення їх енергоефективності в робочих режимах двигунами з врахуванням особливостей навантаження може бути виконане з використанням вентильно-індукторних двигунів (ВІД) з розвиненими відповідними принципами керування. В роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема розвитку теорії електричних машин в напрямку розроблення математичних моделей, уточнення характеру протікання електромагнітних і електромеханічних процесів, розроблення концепції оптимального проектування, принципів керування вентильно-індукторними і асинхронними двигунами з врахуванням особливостей навантаження.

Таким чином дисертаційна робота Бібік Олени Василівни присвячена розв'язку такої науково-прикладної проблеми – розроблення математичних моделей, концепцій оптимального проектування, принципів керування частотою обертання та уточнення електромеханічних процесів, формування робочих характеристик ВІД і АД, при роботі в умовах змінного навантаження. Вирішення цієї проблеми дозволяє задовольнити вимоги більшості

технологічних застосувань АД і ВІД до показників якості керування механічними координатами.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає у розвитку розроблення математичних моделей, уточнення характеру протікання електромагнітних і електромеханічних процесів, розроблення концепції оптимального проектування, принципів керування вентильно-індукторними і асинхронними двигунами з врахуванням особливостей навантаження.

До основних наукових результатів слід віднести:

1. Розвинуто концепцію оптимального проектування асинхронних двигунів з врахуванням перехідних процесів за умови змінного навантаження, яка базується на отриманих вперше аналітичних залежностях коефіцієнта корисної дії у квазісталих режимах від конструктивних параметрів та дозволяє підвищити ККД до 10 % за зміни довжини пакета статора і числа ефективних провідників обмотки у пазу статора АД у порівнянні з оптимальним проектуванням у сталих режимах.

2. Розвинуто концепцію проектування ВІД, яка базується на пропорційному перерахунку, з використанням зв'язку енергетичних показників, машин базової та нової, яка розробляється і геометрично їй подібна, з їх лінійними розмірами, числом витків і активним опором обмотки, для визначення конструктивних параметрів нової машини заданих потужності і частоти обертання, а також вперше отриманих аналітичних залежностях максимальних і середніх значень статичного електромагнітного моменту двигуна та його пульсацій від діаметра розточення статора та кутових величин полюсів статора й ротора, що дозволяє підвищити ефективність проектування ВІД та зменшити час вибору його оптимального варіанту з забезпеченням мінімальних пульсацій електромагнітного моменту.

3. Вперше розроблено математичні моделі для комплексного дослідження частотно-регульованих асинхронних двигунів з врахуванням періодичного навантаження, нелінійності електромагнітних параметрів,

несиметрії та несинусоїдності процесів, що дозволяє проводити аналіз робочих режимів поршневих компресорів за зміни частоти і напруги живлення та ступеня їх завантаження.

4. Удосконалено динамічні математичні моделі для дослідження квазісталих режимів трифазних і двофазних з фазозсуваючими елементами у колі статора асинхронних двигунів шляхом врахування характеру навантаження, інтегральних значень струмів, моментів, частоти обертання та їх пульсацій, втрат і енергетичних показників на періоді повторення, які більш адекватно відображають реальні робочі режими, ніж відомі моделі, і дозволяють проводити їх аналіз за зміни моментів опору і параметрів двигунів.

5. Розроблено математичні моделі вентиляно-індукторних двигунів, в яких враховується взаємний вплив індукторної машини, комутатора, системи керування, періодичного характеру навантаження, з використанням нелінійних залежностей індуктивності фази статора від струму та кута повороту ротора та розроблених алгоритмів регулювання частоти обертання ВІД, що дозволяють проводити уточнений аналіз динамічних режимів та формувати ефективні робочі характеристики двигунів за зміни напруги живлення і кутів комутації та навантаження.

6. Вперше виявлено з використанням критерію інтенсивних квазісталих режимів, який запропоновано для оцінки протікання електромагнітних і електромеханічних процесів та ефективності цих режимів, області критичного зниження ККД (більш ніж на 10%) нерегульованих і частото-регульованих асинхронних двигунів поршневих одноциліндрових компресорів, що науково обґрунтовує необхідність розробки заходів з підвищення енергоефективності.

Практична цінність результатів роботи полягає у розробці структур, алгоритмів та принципових схем для реалізації систем керування ВІД, підходів до проектування, математичних моделей і методик дослідження режимів роботи ВІД і АД та їх програмних реалізацій при розробці енергоефективних і надійних приводів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність. Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім та підтверджується проведенням досліджень із застосуванням відомих теоретичних аналітичних та чисельних методів, збігом теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання. Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на чисельних методах розв'язку систем диференційних рівнянь, методах апроксимації одно- та двовимірних залежностей, методі скінчених елементів для розрахунку електромагнітного поля у двомірній постановці задачі, методі просторових комплексів узагальненої теорії АД та матричних перетворень, методах планування експерименту і оптимізації для задач проектного синтезу, а також методів математичного та фізичного моделювання.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота є завершеною працею. Повний обсяг дисертації складає 347 сторінок друкованого тексту та містить вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел з 256 найменувань і 12 додатків. Основний зміст викладений на 270 сторінках друкованого тексту.

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність роботи, відзначено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення результатів роботи, а також подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У першому розділі «Проблема створення і основні тенденції розвитку електромеханічних перетворювачів енергії із змінним навантаженням» виконано аналіз стану науково-прикладної проблеми зі створення електромеханічних перетворювачів енергії підвищеної енергоефективності для умов змінного навантаження. Розглянуто особливості режимів систем зі змінним навантаженням та визначено їх вимоги до технічних характеристик

ЕМПЕ, окреслено перспективи розвитку регульованих ЕМПЕ та сформульовано актуальні задачі досліджень вентильно-індукторних і асинхронних двигунів. Сформульовано задачі щодо створення електромеханічних перетворювачів енергії підвищеної енергоефективності для умов змінного навантаження, які полягають у розвитку теорії електричних машин в напрямку уточнення характеру протікання електромагнітних і електромеханічних процесів, розробки принципів керування та оптимального проектування вентильно-індукторних і асинхронних двигунів з врахуванням особливостей навантаження за допомогою математичних засобів і методів аналізу та експериментальних досліджень, а також розроблення заходів із забезпечення ефективних режимів двигунів у складі ЕМС з періодичним навантаженням.

Другий розділ «Вдосконалення і розроблення математичних моделей для дослідження і оптимального проектування асинхронних двигунів із змінним навантаженням» присвячений розробці засобів математичного моделювання для дослідження, аналізу і оптимального проектування асинхронних двигунів у квазісталих режимах з урахуванням особливостей навантаження. Запропоновано загальну структуру математичної моделі для дослідження квазісталих режимів електромеханічних перетворювачів енергії зі змінним навантаженням, яка включає динамічні математичні моделі двигунів, навантаження та базується на методі аналізу квазісталих режимів з використанням алгоритму розрахунку інтегральних (середніх) значень частоти обертання, струмів, моментів та їх відносних пульсацій, втрат, коефіцієнтів корисної дії на періоді повторення – часовому інтервалі збігу максимальних значень електромагнітного моменту і моменту опору. Для комплексного дослідження і визначення оптимальних режимів роботи ЕМПЕ у складі ЕМС зі змінним навантаженням з метою розроблення заходів по підвищенню їх енергоефективності та систем у цілому із забезпеченням технічних і технологічних вимог розроблено критерії оцінки; математичні

моделі регульованого асинхронного приводу які враховують характер навантаження та алгоритми регулювання частоти обертання двигунів.

Третій розділ «Розроблення магнітних систем і математичних моделей від для комплексного дослідження і проектування зі змінним навантаженням» присвячено проектуванню і математичному моделюванню вентильно-індукторних двигунів зі змінним навантаженням. Моделі дозволяють досліджувати особливості квазісталих режими ВІД за зміни напруги живлення, кутів комутації і навантаження, розраховувати згідно режиму втрати (втрати обмотках, магнітні втрати, механічні втрати і в комутаторі та системі керування) та ККД двигунів. Для розрахунку втрат у сталі від вихрових струмів в магнітопроводі вентильно-індукторних двигунів запропонована методика, яка, при розв'язанні одновимірної польової задачі, встановлює зв'язок миттєвих значень напруженості магнітного поля на поверхні листа статора та середніх в просторі індукцій в листі для кожного елементу ярма статора та зубців статора і ротора, що дозволяє підвищити адекватність оцінки їх енергетичних показників.

У четвертому розділі «Дослідження режимів роботи асинхронних двигунів зі змінним навантаженням» на основі загальних принципів досліджено і проведено аналіз режимів роботи нерегульованих асинхронних двигунів і АД з перетворювачами частоти з періодичним і пульсуючим навантаженням. Проведені дослідження підтвердили необхідність оптимального проектування нерегульованих АД та розробки заходів з підвищення енергоефективності в робочих режимах АД з перетворювачами частоти з врахуванням періодичного навантаження або використання регульованих енергоефективних вентильно-індукторних двигунів.

П'ятий розділ «Дослідження режимів роботи вентильно-індукторних двигунів зі змінним навантаженням» присвячено чисельним дослідженням і аналізу особливостей режимів вентильно-індукторних двигунів зі змінним

навантаженням, порівнянню результатів моделювання і експериментальних досліджень та формуванню ефективних характеристик ВІД.

Шостий розділ «Оптимальне проектування асинхронних і вентиляно-індукторних двигунів для систем зі змінним навантаженням» присвячено оптимальному проектуванню асинхронних і вентиляно-індукторних двигунів за умов змінного навантаження з забезпеченням технічних і технологічних вимог. Доведена необхідність оптимального проектування з урахуванням характеру навантаження асинхронних двигунів, розробки оптимальної геометрії ВІД та формування їх характеристик із забезпеченням технічних і технологічних вимог.

Розвинута концепція оптимального проектування асинхронних двигунів у квазісталих режимах, яка дозволяє визначити резерв підвищення ефективності (підвищення ККД, зниження пульсацій частоти обертання тощо) асинхронних двигунів. Запропонована концепція оптимального проектування геометрії статора і ротора ВІД із забезпеченням необхідного середнього значення електромагнітного моменту і мінімальних його пульсацій з використанням відповідних аналітичних залежностей.

У сьомому розділі «Підвищення ефективності роботи електромеханічних систем зі змінним навантаженням на основі вентиляно-індукторних і асинхронних двигунів» представлено заходи і рекомендації щодо підвищення енергоефективності регульованих асинхронних і вентиляно-індукторних двигунів в експлуатаційних режимах. Запропонована методологія оцінки енергоефективності системи дозволяє визначати оптимальні режими роботи АД за зміни напруги і частоти живлення.

У додатках наведено перелік публікацій автора за темою дисертації, результати розрахунків та експериментальних досліджень, акти впровадження та використання результатів роботи.

Повнота викладу в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 38 наукових працях, серед яких 30

статей у наукових фахових виданнях України, одна стаття у науковому виданні, 5 матеріалів доповідей у збірниках конференцій, два патенти на корисну модель.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Важливість одержаних в дисертаційній роботі результатів для науки і промисловості полягає у розвитку теорії електричних машин в напрямку розроблення математичних моделей, концепцій оптимального проектування, принципів керування частотою обертання та уточнення електромеханічних процесів, формування робочих характеристик вентильно-індукторних і асинхронних двигунів, спрямованих на підвищення їх енергоефективності при роботі в умовах змінного навантаження із забезпеченням технічних і технологічних вимог.

Недоліками дисертаційної роботи вважаю наступне.

1. Автор розглядає механізми зі змінним навантаженням, які класифікує за видами: періодичне, циклічне, пульсуюче, однак в роботі розглядає лише компресорні, насосні навантаження та приводу верстату-гойдалки з видобування нафти. Але залишається поза увагою механізми циклічної дії у яких момент на початку циклу наближений до ударного, на кшталт, металорізальні верстати або летючі ножиці.
2. Суттєва частина досліджень присвячена дослідженням АД зі змінним навантаженням з використанням математичних моделей (розділ 2). Однак структура моделей показана на рівні структурних схем (рис. 2.3, рис. 2.5), де головна увага зосереджена на формуванні моменту навантаження. Тому, незрозуміло яким чином в моделях враховується полюсність АД, результати досліджень, з урахуванням якої, показані у розділі 4.
3. При моделюванні ВІД прийнято припущення: фази двигунів не мають магнітного зв'язку. Відомо, що в залежності від конструкції магнітної

системи ВІД взаємна індуктивність фаз може досягати значення 5-10% від власної індуктивності фази, тому врахування магнітного зв'язку між фазами може суттєво впливати на точність розрахунку характеристик машини, зокрема у випадку перекриття струмових хвиль суміжних фаз.

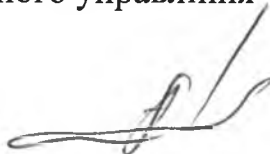
4. Основні розрахунки ВІД, виконані у дисертаційній роботі, виконано за припущення, що комутація фаз одинична симетрична. На практиці часто застосовують парну або несиметричну комутацію, тому використана математична модель не є достатньо повною.
5. Методика розрахунку втрат в сталі ВІД має ряд спрощень, зокрема, припускається, що розподілення індукції в межах умовно виділеної елементарної ділянки магнітопроводу рівномірне. При цьому розрахунок поля не враховує вихрові струми в якості вторинних джерел поля, вихрові струми розраховані як наслідок зміни індукції у межах певної ділянки магнітопроводу, що може суттєво впливати на точність отриманих результатів.
6. З матеріалів розділу 2 дисертаційної роботи неясно, які саме зміни мають бути внесені до конструкції асинхронного двигуна з пульсуючим навантаженням порівняно з даними, отриманими за відомими класичними методиками проектування.
7. Автор повсякчас стверджує і доводить забезпечення високих техніко-економічних показників електромеханічних систем на основі ВІД, але в роботі відсутні будь які вартісні оцінки економічної ефективності, хоча б для технологічних об'єктів, які розглядаються.

Висновок. Аналізуючи виконані в дисертаційній роботі дослідження та отримані в ній висновки і результати з урахуванням повноти публікацій, можна відзначити, що наведені вище зауваження не знижують цінності роботи.

Дисертаційна робота «Розвиток теорії та розроблення засобів підвищення енергоефективності вентиляно-індукторних і асинхронних двигунів із змінним навантаженням» є завершеною науковою працею, яка за актуальністю обраної

теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків, а також за змістом поданого в ній матеріалу, відповідає паспорту спеціальності 05.09.01 – електричні машини і апарати, та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого КМУ від 24.07.2013р №567 щодо докторських дисертацій, а її автор Бібік Олена Василівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Директор Інституту електромеханіки,
енергозбереження і систем управління
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського,
професор кафедри систем автоматичного управління
та електропривода,
професор, доктор технічних наук



О.П. Чорний

Підпис О.П. Чорного засвідчую

Проректор КрНУ



С.А. Сергієнко

Твост. до СВР
30.10.2020
СН