

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Процини Зіновія Павловича

на тему: «**Автоматизований синтез вентильно-реактивних двигунів малої потужності**»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.01 – «Електричні машини і апарати»

Актуальність обраної теми. Відомо, що вентильний реактивний двигун (ВРД) не є електричною машиною в традиційному розумінні, оскільки його проблематика торкається питань пов'язаних як з теорією електричних машин, так і з теорією автоматизованого управління. ВРД – це відносно новий тип електричних машин у питаннях проектування якого ще немає загальноживаних методів та підходів. Для пришвидшення проведення досліджень та скорочення трудомісткості проектування необхідно використовувати системи автоматизованого проектування. Саме тому дисертаційне дослідження Процини З.П., предметом якого є автоматизований синтез вентильних реактивних двигунів малої потужності, актуальне.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з тематикою науково-дослідних робіт за темами № 560-51 «Розробка математичних моделей і дослідження процесів в електричних машинах і трансформаторах» (номер державної реєстрації 0107U001962) і № 625-51 «Розробка засобів автоматизованого синтезу високоефективних електромагнітних і електромеханотронних пристроїв» (номер державної реєстрації 0106U0113174).

Наукова новизна одержаних результатів не викликає сумнівів і полягає у удосконаленні математичної моделі на базі коло-польового підходу із високим ступенем деталізації для її подальшого використання в системі автоматизованого синтезу ВРД; дослідженні впливу коефіцієнтів полюсного перекриття статора і ротора ВРД малої потужності на динамічні та квазіусталені режими роботи на базі коло-польових математичних моделей; формуванні регресійних моделей середнього моменту та коефіцієнту пульсацій моменту на періоді комутації для дев'яти варіантів полюсної зони чотирифазних ВРД.

Практичне значення одержаних результатів. Основними практичними результатами є: розробка та реалізація спеціалізованого програмного забезпечення – системи автоматизованого синтезу вентильних реактивних двигунів SRM-CAD, яка побудована на основі польових математичних моделей; виконання порівняльного аналізу трифазних та чотирифазних ВРД з використанням коло-польових ММ високого ступеню деталізації, який дозволив виробити рекомендації щодо їх ефективного застосування; розробка рекомендації щодо вибору геометрії активної частини електромеханічного перетворювача ВРД – форми пазів і величин полюсного перекриття статора і ротора, які дозволяють отримати збільшення середнього електромагнітного моменту при мінімальному коефіцієнті пульсацій моменту в зоні комутації; запропонування та обґрунтування

рекомендацій щодо поліпшення енергетичних та динамічних характеристик ВРД за рахунок оптимізації кутів комутації фаз.

Впровадження результатів роботи. Результати використані при реалізації системи автоматизованого проектування ВРД SRM-CAD (свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30929). Отримані в дисертаційній роботі результати та рекомендації було впроваджено в інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України в автоматі для зварювання, наплавлення та різання металів під водою та при розробці і практичній реалізації ВРД SRM-80-215-IE і SRM-80-162-IE, які випускає ТОВ «Електротехніка – Нові технології». За результатами роботи підготовлено методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних і практичних робіт з дослідження властивостей ВРД на основі системи автоматизованого синтезу ВРД SRM-CAD, яка впроваджена в навчальний процес на кафедрі електричних машин Одеського національного політехнічного університету.

Ступінь обґрунтованості основних положень, висновків та результатів роботи. Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень, висновків та рекомендацій є достатнім завдяки коректному застосуванню методів дослідження. Достовірність сформульованих у дисертації висновків та наукових положень забезпечується коректністю прийнятих допущень та підтверджується збігом результатів відповідних теоретичних й експериментальних досліджень та впровадженнями результатів роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Основний зміст дисертації складає 143 сторінки друкованого тексту та містить вступ, чотири розділи та висновки.

У *першому розділі* наведено основні дані про можливі конструктивні виконання електромеханічних перетворювачів ВРД. Проведено аналіз існуючих методів аналізу та синтезу вентильних реактивних двигунів. Відмічено, що більшість робіт з оптимізації можна поділити на дві групи. Перша група – оптимізація геометричних розмірів електромеханічного перетворювача ВРД, а до другої групи відносяться роботи присвячені оптимізації параметрів системи керування. Також виконано аналіз існуючих систем комп'ютерного моделювання вентильних реактивних двигунів, розглянено сім систем. Отримані результати дозволили сформулювати основні задачі досліджень.

У *другому розділі* представлено математичну модель електромеханічного перетворювача вентильного реактивного двигуна на базі рівнянь магнітного поля. Окремо розглянено питання розрахунку втрат в сталі для ВРД. Для перевірки адекватності математичної моделі виконано порівняльний аналіз результатів математичного моделювання з експериментом на макетному взірці. Отримані результати свідчать про адекватність розробленої математичної моделі. Розглянено особливості розрахунку стаціонарного теплового поля вентильного реактивного двигуна з використанням методу кінцевих елементів, за допомогою якого можливо врахувати особливості реальної геометрії. Результати порівняння математичного моделювання з даними експерименту достатньо близькі, що свідчить про високу ефективність систем моделювання теплових полів.

У *третьому розділі* розглянено принципи побудови системи автоматизованого синтезу вентильних реактивних двигунів SRM-CAD. Наведено її структурну схему та перелік її основних підсистем. До основних компонентів системи SRM-CAD відносяться: підсистема попереднього розрахунку; підсистема параметризації геометрії та розрахунку магнітних і теплових полів; підсистема розрахунку динамічних та квазіусталених режимів роботи; підсистема оптимізації. Представлені програмні засоби симуляції електромеханічних процесів в ВРД дозволяють оперативно проводити дослідження впливу різних факторів на процеси в ВРД.

Матеріал *четвертого розділу* присвячено поліпшенню технічних характеристик ВРД. Серед виконаних досліджень є наступні: аналіз та вибір конфігурації зубцевої зони електромеханічного перетворювача для чотирифазного ВРД; аналіз та вибір коефіцієнтів полюсного перекриття ротора та статора трифазного електромеханічного перетворювача ВРД; аналіз впливу параметрів комутації на характеристики ВРД (розглянено дослідження для двох ВРД – SRM-115 та SRM-130); розглянено порівняльний аналіз три- та чотирифазних ВРД; виконано синтез ВРД для приводу масло бійки.

У *висновках* наведено основні отримані у роботі наукові та практичні результати. Висновки тісно пов'язані з дисертаційною роботою та основними висновками за окремими розділами.

Текст дисертації викладено ґрунтовно та послідовно. Оформлення тексту дисертації та автореферату відповідає діючим стандартам та чинним вимогам. В цілому дисертація є закінченою науковою роботою, що відповідає паспорту спеціальності 05.09.01 – електричні машини і апарати.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Повнота викладання результатів досліджень в опублікованих працях. Основний зміст дисертації достатньо повно відображено у восьми друкованих працях, опублікованих у спеціалізованих виданнях ДАК, в тому числі у виданнях, що входять до наукометричних баз, двох звітах з науково-дослідницької теми. Наявність двох одноосібних публікацій свідчить про високий рівень самостійності здобувача.

Важливість одержаних в дисертаційній роботі результатів для науки й народного господарства полягає у вирішенні актуальної наукової задачі автоматизованого синтезу вентильних реактивних двигунів. Зокрема це стосується наступного: розробки вдосконалених математичних моделей, що дозволяють підвищити точність моделювання; розробки системи автоматизованого синтезу ВРД SRM-CAD, яка суттєво допомагає при проведенні розрахункових досліджень; проведення досліджень характеристик ВРД, результати яких дозволяють покращити робочі властивості ВРД.

Зауваження й запитання щодо тексту дисертації.

Серед основних зауважень, які можна зробити по дисертації, слід виділити наступні.

1. Наведена на рис. 1.4 форма струмів в обмотках секцій ЕМП ВРД не відповідає схемі на рис. 1.1, так як інтенсивне наростання струму під час увімкнення свідчить про наявність у схемі буфера енергії (на рис. 1.1 він відсутній).
2. На стор. 44 вказано, що «повністю узгодженому положенню кут зміщення *осі ротора* відносно осі збудженої фази статора 30 град.». Тут варто виправити «... *осі **наза** ротора...*».
3. Для ВРД доцільно вживати термін «секція» замість «фаза».
4. В таблиці 4.4 представлені варіанти конфігурацій полюсів статора та ротора. Яким чином варіанти конструкцій 1, 4 та 7 полюсів статора утворюються від базового варіанту полюса, який звужується від краю до основи ?
5. В дисертаційній роботі є величина – середній статичний електромагнітний момент та середній електромагнітний момент при розрахунку квазіусталеного режиму роботи. Ці величини позначені однаково, що може призвести до деякого непорозуміння.
6. Розрахунок квазіусталених режимів роботи ВРД по запропонованій методиці потребує дуже багато розрахунків магнітного поля електромеханічного перетворювача ВРД. З роботи не зрозуміло, чи перевірялися ще якісь методи для зменшення кількості розрахунків.
7. Розроблена система автоматизованого синтезу ВРД SRM-CAD має підсистему розрахунку динамічних та квазіусталених режимів роботи. В дисертаційній роботі на рисунках 3.7 та 3.10 наведено процес пуску ВРД, який моделюється в системі SRM-CAD. Подальші дослідження наведені в четвертому розділі стосуються лише квазіусталених режимів роботи. Чи застосовувався аналіз динамічних режимів, зокрема процес пуску ВРД?
8. При стислому описі матеріалів четвертого розділу щодо аналізу та вибору конфігурації зубцевої зони електромеханічного перетворювача ВРД, в авторефераті, на відміну від дисертації не наведено інформацію про конфігурацію досліджуваного ВРД.
9. Незважаючи на те, що математична модель, яка покладена в основу системи автоматизованого синтезу ВРД SRM-CAD враховує втрати в сталі, в роботі не наведено досліджень з впливу різних марок сталі на характеристики ВРД.

Відзначені зауваження носять характер побажань автору при подальшій роботі й у цілому не знижують загальної позитивної оцінки дисертації як завершеного наукового дослідження, присвяченого вирішенню актуальної проблеми, пов'язаної з розробкою і дослідженням нових ефективних ВРД.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота *Процини З.П.* «**Автоматизований синтез вентильно-реактивних двигунів малої потужності**» є завершеною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, спрямовані на розвиток теорії та практики ефективного проектування ВРД.

Розглянена дисертаційна робота за науковим та практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам п.п. 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013, стосовно до кандидатських дисертацій, а її автор – **Процина Зіновій Павлович** – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.01 – «Електричні машини і апарати».

Офіційний опонент
завідувач кафедри „Електричні машини і апарати”
Національного університету „Львівська політехніка”,
доктор технічних наук, професор

В. І. Ткачук

Підпис професора Ткачука В.І. засвідчую:

Вчений секретар
Національного університету „Львівська
політехніка”, к.т.н., доцент



Р.Б. Брилинський