

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ДРУБЕЦЬКОГО Антона Юхимовича «Удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

Дисертаційна робота Друбецького А. Ю. присвячена вирішенню актуальної задачі удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму шляхом науково обґрунтованого вибору її раціональної структури та режимів роботи.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Проведений здобувачем аналіз існуючих систем взаємного навантаження показує, що вони не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, а як відомо зменшення втрат електроенергії – задача державного значення.

Підвищити енергоефективність можливо наступними способами: впровадженням нових методів випробувань, впровадженням прогресивних з точки зору енергоефективності функціональних схем, впровадженням нових перетворювачів, раціональних з точки зору енергоефективності. Якщо розробка нових методів випробувань взагалі є відокремленою задачею, то задача розробки нових функціональних схем та перетворювачів може бути вирішена лише як комплексна задача складові якої є її невід'ємною частиною. Вирішенням такої комплексної задачі займався здобувач у своїй дисертаційній роботі.

У цьому зв'язку дисертаційна робота Друбецького А. Ю. є безумовно актуальною для електрорухомого складу з тяговими двигунами постійного та пульсуючого струму.

Актуальність дисертаційного дослідження підтверджується

відповідністю тематики проведених в ній досліджень до головних напрямків наступних державних програм: Постанови Кабінету Міністрів України від 23.04.1999 р. № 661 «Про заходи державної підтримки залізничного транспорту», Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 18.08.2017, № 605-р.

ОЦІНКА ОБГРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ І РЕКОМЕНДАЦІЙ, ЇХ ДОСТОВІРНІСТЬ, НОВИЗНА, ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Всі положення, висновки і рекомендації, які приведені в дисертації в достатній мірі науково обгрунтовані. Припущення та спрощування, що прийняті в дослідженнях, допустимі для розв'язання задач, які розглядалися в даній роботі.

В дисертаційній роботі з використанням системного підходу вирішено наступні завдання:

- виконано математичне моделювання роботи системи взаємного навантаження;
- проведено математичне моделювання енергетичних процесів, що виникають при випробуваннях тягових електродвигунів;
- розроблено універсальні методики визначення параметрів схеми заміщення тягових електродвигунів;
- виконано науково обгрунтований пошук та синтез раціональних схем джерела живлення для системи взаємного навантаження;
- на базі розробленої математичної моделі та проведеного моделювання енергетичних процесів розроблено та науково обгрунтовано раціональні режими роботи системи взаємного навантаження;
- експериментально підтверджено отримані результати.

В представленій дисертаційній роботі теоретичні розрахунки виконані на ПЕОМ з заздалегідь фіксованою похибкою, а результати

експериментальних досліджень одержані на випробувальній станції тягових двигунів, функціональна схема якої та джерело живлення були виконані у основі отриманих результатів у роботі.

Наукова новизна результатів дисертації полягає в наступному:

1. Вперше:

- науково обґрунтовано доцільність використання в якості джерела живлення схеми взаємного навантаження двофазного імпульсного перетворювача постійної напруги із нульовою точкою що дає можливість покращити енергоефективність та достовірність випробувань;
- науково обґрунтовано методику вибору раціональних параметрів системи регулювання збудження вибраної для дослідження силової схеми системи взаємного навантаження, що дозволяє підвищити достовірність результатів випробувань;
- отримано вирази для розрахунку індуктивностей обмоток довільного типу тягових електричних двигунів, які враховують насичення та дію реакції якоря, що дає змогу більш точно вибрати параметри перетворювачів для живлення системи взаємного навантаження, тим самим підвищуючи їх енергоефективність.

2. Отримав подальший розвиток аналітичний вираз для апроксимації універсальної магнітної характеристики, в якому враховано дію реакції якоря у некомпенсованих машин, що дало змогу виконати розрахунок магнітних характеристик некомпенсованих ТЕД для довільного ступеня ослаблення збудження й тим самим дає змогу оцінювати магнітні характеристики для довільного ступеня ослаблення збудження при проектуванні ТЕД, а також з більшою точністю виконувати моделювання системи автоматичного управління СВН.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що:

- розроблено метод вибору та синтезу раціональної схеми джерела живлення, що відповідає вимогам, які висуваються до джерел

живлення силових схем взаємного навантаження, що дає можливість підвищити енергоефективність випробувань.

- розроблено методику для розрахунку індуктивностей обмоток довільного типу тягових електродвигунів за допомогою лише довідкових даних, яка враховує насичення магнітопроводу та дію реакції якоря, і тим самим дає можливість більш точно вибирати параметри перетворювачів для живлення СВН, підвищуючи їх енергоефективність.
- розроблено методику для розрахунку раціональних режимів роботи блоку регулювання збудження системи взаємного навантаження. Отримані вирази для точного та приблизного визначення даних параметрів, що дозволяє підвищити достовірність результатів випробувань.
- розроблено методику розрахунку магнітних характеристик тягових електродвигунів, при довільному значенні ступеня ослаблення збудження за допомогою вдосконаленої універсальної магнітної характеристики, що дає можливість виконувати розрахунок магнітних характеристик некомпенсованих ТЕД для довільного ступеня ослаблення збудження й тим самим дає змогу оцінювати магнітні характеристики для довільного ступеня ослаблення збудження при проектуванні ТЕД, а також з більшою точністю виконувати моделювання системи автоматичного управління СВН

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури й двох додатків. Основний текст роботи викладено на 147 сторінках. Дисертація містить 54 рисунків і 8 таблиць; таблиці й рисунки, розміщені на окремих сторінках, займають 10 сторінок.

Повний обсяг дисертації 176 сторінок.

У вступі формулюються: мета роботи – удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму та основні задачі дослідження:

- виконати математичне моделювання роботи системи взаємного навантаження;
- провести математичне моделювання енергетичних процесів, що виникають при випробуваннях тягових електродвигунів;
- розробити універсальні методики визначення параметрів схеми заміщення тягових електродвигунів;
- виконати науково обґрунтований пошук та синтез раціональних схем джерела живлення для системи взаємного навантаження;
- на базі розробленої математичної моделі та проведеного моделювання енергетичних процесів розробити та науково обґрунтувати раціональні режими роботи системи взаємного навантаження;
- експериментально підтвердити отримані результати.

Також обґрунтовуються актуальність, наукова новизна проведених досліджень; показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, методи досліджень, практичне значення одержаних результатів, їх апробація; дається інформація про публікації.

У першому розділі виконано аналіз існуючих схемотехнічних рішень випробувальних станцій (систем взаємного навантаження). Проведено аналіз фундаментальних та сучасних робіт в області удосконалення та автоматизації випробувань тягових електричних машин. Проаналізовано методи моделювання електричних машин постійного та пульсуючого струму. Розглянуто основні типи перетворювачів, що можуть використовуватись в якості джерела живлення для системи взаємного навантаження. У висновках сформовано основні задачі та мету дослідження.

У другому розділі виконано вибір методу моделювання машини

постійного струму. Вибраний метод базується на системі рівнянь Фетісова-Сидельникова, що дозволяє враховувати дію вихрових струмів, а також визначати додаткові пульсаційні втрати у обмотках та елементах магнітопроводу тягового двигуна. В якості предмета дослідження вибрано систему взаємного навантаження, раціональну з точки зору енергоефективності. Далі проведено моделювання прямого пуску та реостатного гальмування тягового двигуна для перевірки працездатності моделі. Також на моделі системи взаємного навантаження із загальмованими машинами проведено моделювання пульсацій для перевірки достовірності параметрів моделі. Визначені пульсації порівняно із отриманими за результатами експериментальних досліджень, що виявило їх розбіжність не більше 6%.

За результатами моделювання додаткових втрат було визначено раціональну частоту роботи однофазного імпульсного перетворювача постійної напруги.

У третьому розділі виконано аналіз існуючих схем перетворювачів, визначено їх базові складові частини. На базі визначених складових частин проведено синтез можливих схем перетворювачів. За допомогою методів кореляційно-регресійного аналізу виконано ранжування показників вибору за ступенем важливості. За допомогою методів кластерного аналізу по пронранжованим показникам виконано розподіл множини можливих схем на кластери. В результаті вирішення задачі оптимізації отримано дві схеми незрівняні по Парето. Для остаточного вибору раціональної схеми було сформовано додаткові показники вибору. В результаті вибрано схему, яка отримала назву «двофазний імпульсний перетворювач постійного струму із нульовою точкою». Також дано короткий опис особливостей роботи даної схеми.

У четвертому розділі розроблено методики розрахунку магнітних характеристик та індуктивностей обмоток тягових двигунів на базі вдосконаленої універсальної магнітної характеристики. Розроблено метод визначення раціональних параметрів системи регулювання збудження

вибраної схеми випробувального стенду. Визначено раціональне співвідношення частот роботи імпульсного джерела живлення та системи регулювання збудження.

ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертація становить собою завершену науково-дослідну роботу, в якій вирішена задача удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму.

Зміст дисертації відповідає поставленій меті. Отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності є суттєвими для розвитку електричного транспорту.

Анотеза повністю відповідає основним положенням дисертації.

Основні результати дисертації достатньо повно опубліковані в наукових зарубіжних виданнях та фахових виданнях України.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

За результатами роботи можна сформулювати наступні зауваження та пропозиції:

1. Не зрозуміло, яким чином дисертаційна робота пов'язана з постановами Кабінету Міністрів (стор. 17, відсутні номери бюджетних тем)?
2. Не зрозуміло, чому прийняте двофазне джерело живлення з нульовою точкою (стор. 18)? Які його переваги перед схемою з одним ключем?
3. При моделюванні динамічних режимів в схемах моделей не враховані індуктивність і активний опір, що може суттєво впливати на отримані результати (стор. 67, 68, 73, 144).
4. В п. 3.2 визначення множини можливих схем джерел живлення відсутня прив'язка цих схем до потужностей двигунів, що випробовуються, оскільки струм і напруга визначають схемне рішення перетворювача.
5. На наш погляд, в таблиці 3.2 необхідно було б визначити також показник «Ступінь впливу на мережу живлення».

вибраної схеми випробувального стенду. Визначено раціональне співвідношення частот роботи імпульсного джерела живлення та системи регулювання збудження.

ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертація становить собою завершену науково-дослідну роботу, в якій вирішена задача удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму.

Зміст дисертації відповідає поставленій меті. Отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності є суттєвими для розвитку електричного транспорту.

Автореферат повністю відповідає основним положенням дисертації.

Основні результати дисертації достатньо повно опубліковані в наукових зарубіжних виданнях та фахових виданнях України.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

За результатами роботи можна сформулювати наступні зауваження та пропозиції:

1. Не зрозуміло, яким чином дисертаційна робота пов'язана з постановами Кабінету Міністрів (стор. 17, відсутні номери бюджетних тем)?
2. Не зрозуміло, чому прийняте двофазне джерело живлення з нульовою точкою (стор. 18)? Які його переваги перед схемою з одним ключем?
3. При моделюванні динамічних режимів в схемах моделей не враховані індуктивність і активний опір, що може суттєво впливати на отримані результати (стор. 67, 68, 73, 144).
4. В п. 3.2 визначення множини можливих схем джерел живлення відсутня прив'язка цих схем до потужностей двигунів, що випробовуються, оскільки струм і напруга визначають схемне рішення перетворювача.
5. На наш погляд, в таблиці 3.2 необхідно було б визначити також показник «Ступінь впливу на мережу живлення».

6. Для перетворювачів середньої та великої потужності нульовий провід не використовується.
7. Для тиристорного перетворювача, що живить машини постійного струму випробувального стенду, слід було б передбачити регулятор вихідної напруги для забезпечення її стабілізації.
8. Не зрозуміло, з яких причин автор двічі наводить схеми перетворювачів. Наприклад, рис. 3.7 повністю відповідає за змістом рис. 1.12, рис. 3.8 – рис. 1.13, рис. 3.9 – 1.14 і т.д.
9. На рисунку 2.10 наведено результати моделювання пуску двигуна, що містить значне перевищення струму. Чому автор не використовує можливості перетворювача, що включений у структуру електромеханічної системи для обмеження величини струму при пуску, як це використовується у реальних системах. Подальша оцінка пульсацій струму виконувалась для усталеного режиму? З якою метою автор демонструє динаміку процесів?
10. У п. 3.4.1 автор наводить ціни на типові перетворювальні пристрої. Проте відсутність інформації щодо номінальної потужності даних перетворювачів ускладнює аналіз достовірності наведеної інформації.
11. Першим показником, за яким виконується порівняння схем живлення, є рівень пульсацій випрямленої напруги, (стор. 78). Проте, для імпульсних перетворювачів цей показник буде складати 100% (напруга змінюється в межах від нульової до максимальної), що відразу знизить відповідну експертну оцінку таких схем. В той же час автор включив в список показників рівень пульсації струму, що відображає не тільки пульсації напруги, а й частоту комутації ключів і є набагато більш комплексним та важливим критерієм при аналізі схем перетворення енергії. На думку опонента, включення в список критеріїв показника пульсації напруги не відповідає задачі вибору раціональної схеми живлення.
12. У списку критеріїв (стор. 78) є ступінь використання трансформатора. Це залежить від типу схеми чи від потужності трансформатора, обраного для конкретного навантаження?

13. У розділі 3 виконується вибір раціональної схеми живлення. Проте, ніде не наведено інформації щодо частоти комутації повністю керованих ключів схеми, а саме цей показник значною мірою впливає на якість вихідних електричних сигналів перетворювачів енергії.
14. У роботі виконується аналіз схем при зміні частоти джерела живлення. Для яких умов є адекватною варіація частоти живлення?
15. В роботі не наведені матеріали експериментальної перевірки розроблених методик розрахунків параметрів і характеристик на стенді з перетворювачем і машинами постійного струму.
16. У додатку А в таблиці А.1 не наведені такі параметри, як втрати короткого замикання і напруга короткого замикання.
17. На рисунку А.2 наведена схема з одним транзисторним ключем замість схеми з двома ключами і нульовим виводом.

Вказані недоліки не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

В цілому дисертаційна робота **«Удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму»** відповідає п.1,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів....», а її автор Друбєцький Антон Юхимович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 - електротранспорт.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри автоматизованих
електромеханічних систем в
промисловості та транспорті,

ДВНЗ «Криворізький національний університет»



ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
ДРУБЕЦЬКОГО Антона Юхимовича
на тему «Удосконалення системи взаємного навантаження тягових
двигунів постійного та пульсуючого струму»,
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних
наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт

На розгляд представлені: дисертаційна робота, автореферат та копії друкованих робіт автора за темою досліджень. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел з 134 найменувань (17 сторінок), трьох додатків (16 сторінок). Основний текст роботи викладено на 138 сторінках та містить 4 розділи, 60 рисунків, 12 таблиць. Повний обсяг дисертації складає 184 сторінки.

Актуальність теми.

В умовах обмежених енергоресурсів, способи їх економії набувають дуже важливе значення як на місцевому так і на загальнодержавному рівні. Як відомо, одним із споживачів електроенергії на залізничному транспорті є післяремонтні випробування тягових електричних машин.

Вимоги відповідних стандартів і правил ремонту тягового та мотор-вагонного рухомого складу магістрального та промислового транспорту передбачають проведення приймально-здавальних випробувань кожного виготовленого або відремонтованого тягового електродвигуна. Ці випробування є невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення або ремонту тягових електродвигунів, матеріальні витрати на яку входять в собівартість кінцевої продукції. Випробування на нагрівання, перевірка частоти обертання і реверсування, а також перевірка комутації вимагають обов'язкового навантаження тягових двигунів.

Високу енергетичну ефективність при відносно невисокій сумарної потужності джерел живлення забезпечують системи взаємного навантаження, в яких відбувається енергообмін між піддослідними електричних машин. Джерела зовнішнього живлення в таких системах навантаження потрібні тільки для покриття втрат потужності в досліджуваних електромашин. Покриття окремих видів втрат потужності в системах взаємного навантаження може здійснюватися як прямими, так і непрямыми методами, при використанні непрямих способів

покриття втрат забезпечується за рахунок небалансних електромагнітної потужності випробовуваних електромашин, яка може створюватися за рахунок різниці або електрорухомий сил електромашин, або різниці їх електромагнітних моментів.

Відомо, що на теперішній час на випробувальних станціях для тягових двигунів постійного та пульсуючого струму досить широко застосовуються системи взаємного навантаження. Стан цих систем не дозволяє їм відповідати сучасним вимогам енергоефективності. Таким чином, виникає задача їх удосконалення.

Для підвищення енергоефективності післяремонтних випробувань необхідне вирішення комплексної задачі, яка включає в себе: розробку енергоефективних методів випробувань та розробку нових (раціональних з точки зору енергетичної ефективності) структур систем взаємного навантаження. Разом з цим постає задача вибору раціонального джерела живлення для нових структур систем взаємного навантаження, визначення раціональних режимів роботи цих джерел, а також визначення раціональних режимів роботи інших силових елементів системи взаємного навантаження. Також, задача вибору раціональних режимів роботи джерела живлення та інших силових елементів системи взаємного навантаження включає в себе підвищення достовірності випробувань, шляхом приведення їх вихідних параметрів до вимог сучасного стандарту ДСТУ ГОСТ 2582:2017.

Таким чином, дисертаційна робота Друбецького А. Ю., спрямована на вирішення наукової задачі яка полягає у вдосконаленні системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму шляхом науково обґрунтованого вибору її раціональної структури та режимів роботи і відповідає за критерієм актуальності п. 9 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 року

Дисертація виконувалась відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 23.04.1999 р. № 661 "Про заходи державної підтримки залізничного транспорту"; Енергетичної стратегії України та НДР "Дослідження і аналіз показників експлуатаційної роботи та надійності електропоїздів подвійного живлення".

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Наукові результати та їх новизна. Автором роботи науково обґрунтовано:

- доцільність використання в якості джерела живлення системи взаємного навантаження тягових електричних двигунів двофазного імпульсного перетворювача постійної напруги із нульовою точкою, що надає можливість підвищити енергоефективність та якість випробувань;
- метод вибору раціональних параметрів системи регулювання збудження випробуваних шляхом взаємного навантаження тягових електродвигунів, що дозволяє підвищити достовірність результатів випробувань.

Також автором отримано універсальні вирази для розрахунку індуктивностей обмоток тягових електричних двигунів постійного та пульсуючого струму з врахуванням насичення їх магнітної системи та дії реакції якоря, використання яких дозволило розробити методику вибору раціональних параметрів джерел живлення системи взаємного навантаження тягових електродвигунів.

Крім того удосконалено аналітичний вираз апроксимації магнітної характеристики тягових електродвигунів постійного та пульсуючого струму, який враховує дію реакції якоря в електромашинах без компенсаційної обмотки, що дає змогу виконувати розрахунок магнітних характеристик та моделювання роботи таких електродвигунів в режимах з будь-яким ступенем ослаблення збудження.

Отримав подальший розвиток аналітичний вираз для апроксимації універсальної магнітної характеристики, в якому враховано дію реакції якоря у некомпенсованих машин, що дало змогу виконати розрахунок магнітних характеристик некомпенсованих тягових електродвигунів для довільного ступеня ослаблення збудження й тим самим дає змогу оцінювати магнітні характеристики для довільного ступеня ослаблення збудження при проектуванні тягових електродвигунів, а також з більшою точністю виконувати моделювання системи автоматичного управління системою взаємного навантаження.

Ступінь складності математичних методів та моделей, що застосовувалися в роботі, відповідають складності поставлених задач. Автор виявив наукову ерудицію, що виражена в достатньо вичерпних характеристиках та аналізах різних методів досліджень.

Практична цінність результатів роботи. Дослідження включає сукупність наукових і практичних результатів, які полягають у визначенні раціональної, з точки зору зменшення додаткових пульсаційних втрат, частоти роботи імпульсного перетворювача для живлення системи взаємного навантаження та блоку ослаблення збудження, вибору раціональної схеми джерела живлення у вигляді двофазного імпульсного перетворювача із нульовою точкою, а також розробці методів визначення раціональних параметрів блоку ослаблення збудження та методик розрахунку магнітних характеристик і індуктивностей для підвищення точності моделювання роботи системи взаємного навантаження.

При практичному застосуванні результатів дисертаційної роботи можливо зменшення втрат у джерелі живлення у 5-10 разів в порівнянні із звичайним імпульсним перетворювачем. Методика розрахунку магнітних характеристик дозволяють покращити точність моделювання на 15-20%.

Результати роботи рекомендуються для використання на підприємствах Укрзалізниці та на заводах з ремонту тягового рухомого складу при проектуванні енергоефективних систем взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність підтверджуються коректністю постановки і розв'язання завдань досліджень, застосуванням загальновідомих положень фундаментальних законів електротехніки, теорії електричних машин, напівпровідникових перетворювачів, динаміки електромеханічних систем, імітаційним моделюванням та експериментальними даними.

Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі при викладанні дисципліни "Теорія тягового електроприводу", що підтверджується відповідним актом. За результатами виконання дисертаційної роботи автором зареєстрований патент на корисну модель, отримано свідоцтва про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму та про реєстрацію авторського права на методику розрахунку.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертація є завершеною науковою роботою. У вступі обґрунтована актуальність досліджень і сформульовані: наукове завдання та мета досліджень; наукові положення, що виносяться на захист; показана наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано програму приймально-здавальних випробувань, існуючі системи взаємного навантаження загальнопромислових та тягових електричних машин. Виконано аналітичний огляд робіт в області автоматизації та удосконалення систем взаємного навантаження. Розглянуто роботи в області математичного моделювання електричних машин постійного струму та систем взаємного навантаження. Також було дано стислий огляд існуючих видів джерел для живлення силової частини системи взаємного навантаження. Чітко сформульовані основні задачі дослідження та мета дисертаційної роботи.

У другому розділі на підставі порівняння підходів для дослідження електромагнітних процесів у колекторних машинах постійного струму. обґрунтовано вибір математичної моделі машини постійного струму для моделювання різних режимів роботи системи взаємного навантаження. Виходячи із аналізу розглянутих методів розрахунку вихрових струмів зроблено висновок, що моделлю машини постійного струму, найбільш доцільною для дослідження електромеханічних процесів у системах взаємного навантаження є модель машини постійного струму, яка базується на системі рівнянь Фетісова-Сидельникова. Складено розрахункову схему для дослідження електромеханічних процесів тяговому двигуні та визначено параметри елементів розрахункової схеми заміщення тягового електродвигуна постійного струму. Виконано математичне моделювання роботи системи взаємного навантаження та додаткових пульсаційних втрат з метою перевірки працездатності вибраної математичної моделі машини постійного струму та визначення раціональної частоти роботи імпульсного перетворювача. Дані моделювання були порівняні із експериментальними даними, отриманими в лабораторії кафедри ЕРС. Розходження між експериментальними даними та моделюванням становить не більше 6%.

В третьому розділі для вирішення задачі вибору раціональної схеми джерела живлення сформульовано визначення раціональної схеми джерела живлення для системи взаємного навантаження. Спираючись на об'єктивні чинники з застосуванням методу експертних оцінок визначені основні показники вибору раціональної схеми. Для показників, що представляють собою значення номінальної та максимальної вихідної напруги перетворювача, були визначені їх кількісні значення. За результатами розрахунків для відомих типів тягових двигунів електрорухомого складу було встановлено середнє значення напруги при випробуваннях із пусковим та подвійним пусковим струмом. Було

досліджено існуючі схеми джерел постійної напруги і на їх базі виконано побудову множини можливих схем джерел живлення для системи взаємного навантаження. Виконано синтез можливих джерел живлення, ранжування показників вибору за ступенем важливості та розбиття множини можливих схем на кластери для подальшого вирішення задачі вибору раціональної схеми. Виконано вибір раціональної схеми, якою стала схема двофазного імпульсного перетворювача із нульовою точкою та проаналізовано особливості її роботи.

У четвертому розділі дисертації автором розроблено методики розрахунку магнітних характеристик та індуктивностей обмоток тягових двигунів на базі вдосконаленої універсальної магнітної характеристики. Розроблений метод визначення раціональних параметрів блоку ослаблення збудження вибраної для дослідження системи взаємного навантаження. Визначені раціональні параметри вихідних величин блоку ослаблення збудження та раціональна величина опору шунтуючого резистора блока ослаблення збудження.

Задача вибору раціональної частоти роботи блоку ослаблення збудження була вирішена за допомогою імітаційного моделювання роботи системи взаємного навантаження при різних значеннях частоти електронного комутатора для двох варіантів джерел живлення: імпульсного перетворювача та трифазного керованого мостового випрямляча. Було визначено ступінь впливу роботи блоку ослаблення збудження на гармонійний склад струму.

У результаті моделювання було визначено, що оптимальною частотою є частота роботи блоку ослаблення збудження, що дорівнює частоті роботи джерела живлення системи взаємного навантаження.

Також було проведено аналіз впливу роботи блоку ослаблення збудження на роботу каналу регулювання частоти обертання випробовуваних машин.

Висновки по розділам та за результатами роботи в цілому добре продумані та чітко сформульовані і відповідають змісту дисертації.

У **додатках** наведено результати досліджень роботи перетворювача для живлення схеми взаємного навантаження, патенти та авторські свідоцтва та акти впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес та впровадження результатів роботи у локомотивному депо "Нижньодніпровськ-Вузол".

Зміст дисертації відповідає обраній темі та спеціальності, характеризується логічністю та комплексністю. Дисертація оформлена відповідно до вимог, встановлених для дисертаційних робіт.

Аналіз структури, змісту та обсягу дисертації дозволяє зробити висновок про її відповідність положенням п.9, п.11 та п.12 «Порядку присудження наукових ступенів ...».

Оцінка мови, стилю, оформлення дисертації та ступеню опублікування наукових результатів.

Назва дисертаційної роботи відповідає її змісту. Стиль висвітлення – послідовний, лаконічний. Ілюстрації інформативні і за своїм оформленням відповідають діючим нормативам. Робота написана технічно грамотно, оформлена в цілому акуратно.

Результати дисертаційних досліджень опубліковані в 17 наукових працях, з них 6 - в фахових наукових виданнях України, 1 - у зарубіжному виданні, яке індексовано в Index Copernicus, 1 патент та 3 авторських свідоцтва. Чотири роботи написані самостійно. Робота апробована на 5 конференціях, що підтверджується тезами.

Обсяг і рівень висвітлення отриманих наукових результатів у фахових публікаціях, а також в інших наукових виданнях відповідає «Порядку присудження наукових ступенів...». Текст автореферату відповідає змісту дисертації і достатньо розкриває внесок дисертанта в науковий напрям та практичну цінність роботи. Структура, обсяг, ілюстрації і мова викладення дисертаційного матеріалу і автореферату відповідають вимогам Атестаційної колегії МОН України.

Важливість одержаних в дисертаційній роботі результатів для науки й народного господарства полягає у тому, що на основі теоретичних і експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача покращення характеристик системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму. Отримані результати в сукупності мають суттєве значення для галузі електричного транспорту, зокрема - для системи післяремонтних випробувань тягових електродвигунів.

Недоліками дисертаційної роботи вважаю наступне:

1. В пункті 1.1.1 йде мова про відмову тягового рухомого складу та вказується що ці відмови пов'язані з відмовами апаратури у силових схемах, в тому числі тягових двигунів та допоміжних електромашин. Проте в роботі немає посилань на будь-які статистичні дані

2. У розділі 2.1 і далі по тексту автором приймаються значення деяких величин (напруги, коефіцієнту заповнення імпульсів, частоти джерела). При цьому автор не обґрунтовує ці значення.

3. Рисунок 2.15. Чим обумовлена лінійна залежність додаткових пульсаційних втрат від частоти і струму якоря при живленні схеми взаємного навантаження від ІППН при струмі 100 А. Що відкладено по осі ординат?

4. У розділі 2 йшла мова про схему, зображену на рисунку 2.3. Чому у розділі 3 виконано перехід до схеми, яка зображена на рисунку 1.6?

5. Чому у таблиці 3.1 для деяких типів машин не наведено значень напруги джерела живлення?

6. Чому у пункті 3.1.2 для напруги джерела живлення приймаються значення тільки 536 та 257 В? Проте, вище вказано, що можливо отримати значення напруги джерела живлення 257, 309 та 536 В.

7. У роботі наводяться комбінації по п'яти кластерам схем, при цьому детальний аналіз проводиться тільки для першої комбінації? Незрозуміло, чому автор не розшифровує описання інших кластерів?

8. Наскільки адекватно проводиться використання методики приведеної у роботі [79] стосовно до тягових двигунів? Бо в цій роботі розглядаються питання перехідних процесів у мікродвигунах постійного струму при імпульсному живленні.

9. У розділі 4.1 для середнього значення відношення числа витків обмотки якоря до числа витків обмотки збудження прийнято на рівні 0,316. Звідкіля це значення?

10. У роботі є три коефіцієнти апроксимації p_1 , p_2 , p_3 . Однак, ніде не приводяться ані вирази для цих коефіцієнтів, ані джерело, де вони приведені, але при розрахунку магнітних характеристик приводяться їх значення.

11. На мій погляд висновок № 4, наведений на стор. 150 не є достатньо обґрунтованим.

12. Зауваження до автореферату. На стор. 3, де автор наводить дані по структурі та обсягу роботи (дисертації) не досить точно вказав дані. Так, основний текст роботи викладений на 140 сторінках а не на 143 сторінках, як вказано в авторефераті. Основний текст роботи (без додатків) містить 60 рисунків (вказано 54) та 12 таблиць (вказано 8). Робота містить 3 а не 2 додатки, які займають 16 а не 14 сторінок.

Висновок

Не зважаючи на ряд зауважень, вважаю, що робота виконана на високому науковому рівні. Зауваження, які висловлені, стосуються окремих моментів дисертаційної роботи та не знижують її загальної високої оцінки.

Дисертація Друбецького А. Ю. є цілісним завершеним науковим дослідженням, виконаним особисто автором. Вона містить раніше не захищені наукові положення і нові науково обгрунтовані результати в напрямку визначення оптимальних параметрів вихідних величин та вибору раціональних схем джерел живлення системи взаємного навантаження, визначенню раціональних вихідних параметрів блоку ослаблення збудження, розробці методик розрахунку магнітних характеристик та індуктивностей обмоток тягових двигунів на базі універсальної магнітної характеристики, які у сукупності розв'язують важливу науково-технічну задачу удосконалення системи взаємного навантаження тягових двигунів постійного та пульсуючого струму.

Аналіз структури, змісту та обсягу дисертації дозволяє зробити висновок про її відповідність положенням п.9, п.11 та п.12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 року, а її автор – Друбецький Антон Юхимович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт.

Офіційний опонент,

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри

«Відновлюваних джерел енергії»

Державного вищого навчального закладу

«Національний гірничий університет»,



Д.В. Ципленков

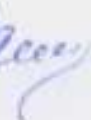
Підпис засвідчую:

вчений секретар Вченої ради

Державного вищого навчального закладу

«Національний гірничий університет»,



 О.А. Данилова