

ВІДГУК

офіційного опонента Загірняка Михайла Васильовича
на дисертаційну роботу Байди Євгена Івановича
**«Мультифізичні моделі високовольтних вакуумних
вимикачів з бістабільними поляризованими актуаторами
в динамічних режимах»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.09.01 – «Електричні машини й апарати»

Актуальність теми.

Застосування вакуумних вимикачів як найбільш перспективних комутаційних пристроїв у мережах середньої напруги набуло широкого поширення. Серед конструкцій таких вимикачів, вакуумні вимикачі, в яких як привідні електромагніти використовуються бістабільні поляризовані актуатори, є найперспективнішими. Вони характеризуються відсутністю споживання електричної енергії в кінцевих положеннях якоря, простотою конструкції та надійністю в роботі. Але, незважаючи на позитивні якості таких вимикачів, даних про статичні та динамічні розрахунки таких електромагнітів (поляризованих бістабільних актуаторів) в літературі немає. Не досліджені також вплив роботи електромагнітів на процеси, які відбуваються в самому вимикачі, і схеми кіл керування процесом вмикання–відмикання поляризованих бістабільних актуаторів.

Тому дослідження цих процесів на базі мультифізичних моделей і практична перевірка отриманих результатів, спрямованих на вирішення та розробку науково-технічних заходів і рекомендацій для удосконалення наявних конструкцій і створення нових на рівні закордонних аналогів, є актуальним.

Актуальність підтверджується науково-дослідною роботою «Вплив параметрів бістабільного актуатора вакуумного вимикача на його здатність до вмикання» (№ 33/98 – 2012 р.), ТОВ «АВМ Ампер», м. Кременчук (здобувач – виконавець); науково-дослідною та дослідно-конструкторською роботою, виконаною на замовлення ТОВ НПП «Укренергокомплекс-2», «Бістабільні актуатори в установках контролю та розподілу рідини», м. Харків, 2010 р. (здобувач – відповідальний виконавець). Результати досліджень упроваджені в НТУ «ХПІ» і використовуються в навчальному процесі на кафедрі електричних апаратів. Усі положення підтверджені

відповідними актами впровадження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій у дисертаційній роботі Байди Є. І. складається з: аналізу великої кількості науково-технічної літератури з теми дисертаційної роботи; коректної постановки мети і завдань дослідження; використання методів дослідження, які базуються на сучасному математичному апараті та новітніх програмних продуктах; критичного аналізу отриманих даних і зіставлення їх з результатами інших дослідників; коректного формулювання отриманих висновків.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність дисертаційної роботи обумовлена: коректною постановкою математичних задач, які використовують стандартні процедури математичного аналізу та методи математичної фізики; відповідністю мультифізичних моделей фізичним процесам, які відбуваються у вакуумних вимикачах. Отримані теоретичні результати перевірені методом порівняння з експериментальними даними, що є підтвердженням обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Результати роботи Байди Є. І. були використані під час створення дослідних і макетних зразків вакуумних вимикачів та вимикачів, що випускаються серійно.

Основні нові наукові результати дисертації.

1. Уперше розроблена мультифізична модель зі складними динамічними процесами у бістабільному поляризованому актуаторі, яка враховує рух механізму вакуумного вимикача та процеси, що відбуваються в електричному колі керування вимикачем.

2. Уперше науково обґрунтовано процеси, які відбуваються у бістабільних поляризованих актуаторах під час їх форсованого вмикання.

3. Набули подальшого розвитку методи спільного розрахунку динамічних характеристик актуаторів і механічних процесів у контактній системі вимикача з урахуванням нелінійних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь теорії пружності

та теплопередачі за допомогою розв'язання паралельних і послідовних мультифізичних задач.

4. Розроблено новий мультифізичний підхід до розрахунку здатності вимикача до вмикання, який полягає в сумісному розв'язанні рівнянь теорії пружності та теплопередачі з урахуванням прихованої теплоти фазових переходів і руху їх границь.

5. Розроблена мультифізична модель, що дозволяє визначити динаміку руху рухомих границь фазових переходів під час вмикання контактів з урахуванням тривалості горіння електричної дуги, кількості відскоків та електричної фази початку процесу вмикання.

6. Удосконалено метод розрахунку термічної стійкості вимикача, який базується на сумісному розв'язанні мультифізичної задачі нелінійних рівнянь теорії теплопередачі і теорії пружності, що є відмінним від наявних методів (мультифізичний підхід).

7. Розроблені імітаційні моделі роботи електричних схем кіл керування актуаторів під час підключення їх до різних джерел енергії, що дозволило глибше усвідомити фізичні процеси, що відбуваються у складних нелінійних електричних ланцюгах і розраховувати параметри схем відповідно до технічних вимог.

Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання.

Розроблені мультифізичні моделі бістабільних поляризованих електромагнітних актуаторів дозволили глибше зрозуміти процеси, що відбуваються у вакуумних вимикачах і створити дослідні зразки актуаторів, що відповідають закордонним аналогам.

З результатами розробленої мультифізичної моделі контактної системи разом з моделлю актуатора були отримані рекомендації, що дозволили проаналізувати вплив динаміки актуатора на здатність вимикача до вмикання та визначити способи підвищення здатності до вмикання, виявити причини та способи усунення такого явища, як «вторинна» вібрація контактів.

Завдяки розробленій удосконаленій мультифізичній моделі термічної стійкості вимикача були отримані дані, які дозволили уточнити характер процесів протікання

струму скрізь замкнуті контакти та вплив геометричних, механічних і теплофізичних параметрів на температуру контактної поверхні, визначити способи підвищення термічної стійкості конструкції та отримати рекомендації щодо конструкції контактної системи.

Дослідження і аналіз імітаційних моделей схем керування актуатором дозволили проаналізувати їх роботу та визначити параметри елементів схем, що забезпечують надійну роботу вимикача.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За матеріалами дисертації опубліковано 31 роботу. З них у наукових фахових виданнях України – 26 робіт і 5 робіт опубліковано в іноземних виданнях. Із загальної кількості робіт 5 належать до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 7 – до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus.

У цілому рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України щодо докторських дисертацій.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Байди Є. І. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, 4 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, показано її зв'язок з науковими програмами і темами, сформульовані мета і завдання дослідження, розкриті наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок здобувача у виконання дисертаційної роботи та її практична апробація.

У першому розділі проведено огляд літератури та проаналізована структура ринку вакуумних вимикачів середніх напруг. Доведено, що найбільш перспективними є вакуумні вимикачі з поляризованими бістабільними актуаторами на базі висококоерцитивних постійних магнітів, які характеризуються простотою конструкції та надійністю роботи. Проаналізовано вимоги до конструкції таких вимикачів, визначені основні нерозв'язані проблеми, обґрунтовано напрям дослідження.

У другому розділі розглянуто методи розрахунку та розроблені мультифізичні моделі бістабільних поляризованих актуаторів на базі рівнянь нестационарного електромагнітного поля в неоднорідному нелінійному провідному середовищі, що рухається, з урахуванням постійних магнітів і врахуванням нелінійних рівнянь електричного кола та динаміки руху приведеної маси механізму вимикача. У розділі наведені статичні та динамічні розрахунки актуатора, проаналізовано можливість форсованого підключення котушок до джерел електричної енергії, проведено оптимізаційні розрахунки параметрів актуатора під час його форсованого вмикання, проведені розрахунки динаміки спроектованого актуатора, наведені порівняльні характеристики макетних зразків з теоретичними розрахунками.

У третьому розділі розглянуто механічні напруги в контактній системі вимикача під впливом статичних і динамічних характеристик актуаторів, а також проведено оптимізаційні розрахунки вакуумного сильфона вимикача; показано вплив статичних і динамічних характеристик актуатора на механічні напруги як у сильфоні, так і в контактах вимикача; визначено втомну витривалість сильфона відповідно до технічних вимог за кількістю робочих циклів; показано та розраховано динамічну деформацію привідного вала вимикача та визначено її вплив на роботу контактної системи; проведено порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень з деформації привідного вала вимикача.

У четвертому розділі досліджено та проаналізовано здатність до вмикання та термічна стійкість вакуумного вимикача під впливом динамічних характеристик актуаторів. Аналіз базується на вирішенні нелінійної моделі механічної вібрації контактів вимикача, моделі теплового впливу параметрів електричної дуги на контакти з урахуванням руху границь фазових переходів, що надало можливість визначити параметри контактної системи за умови відсутності зварювання контактів під час вмикання. Проаналізовано та розраховано параметри термічної стійкості вимикача, які отримані в результаті сумісного розв'язання рівнянь теплопровідності та теорії пружності, що дозволило розробити рекомендації щодо її підвищення; проведено порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних даних з розрахунку брязкоту контактів.

У п'ятому розділі досліджено та проаналізовано моделі схем підключення актуаторів до різних джерел електричної енергії. На підставі розроблених моделей були підібрані параметри схем, що забезпечують їхню роботу і усувають неприпустимі перенапруження, що виникають на елементах під час комутації, проаналізовано можливість імпульсного живлення схем кіл керування вимикачем і показана його нецільність.

Висновки до розділів і за результатами роботи сформульовані достатньо чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел охоплює як сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації, так і основоположні роботи тематики, що розглядається. Список складається з 309 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та вказує на внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Щодо дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження.

1. На мій погляд робота повинна була б мати назву «Розвиток теорії високовольтних вакуумних вимикачів з бістабільними поляризованими актуаторами в динамічних режимах». У такому разі назва відображала би сутність дисертації, мету роботи і перший абзац висновків. Формулювання «Мультифізичні моделі...» не відображає «актуальної наукової проблеми».

2. Не наведено матеріалів про методи оптимізаційних розрахунків, які використовуються в роботі (вибір об'єму постійних магнітів, сталі магнітопроводу актуатора, геометрії сильфону).

3. Автором не вказані методи розрахунку електромагнітного поля та вихрових струмів, і ясна справа, доцільність використання саме цих методів.

4. У розділі 2 варто було б навести результати статистичної обробки експериментальних даних та показати їх у вигляді таблиці.

5. Якщо розрахунки на втомну витривалість проведено тільки для вакуумного сильфона, тоді незрозуміло, за рахунок чого було досягнуто підвищення надійності вимикача.

6. На сторінці 82 опис аналізу рисунку 2.5 не відповідає зображеним на ньому змінним і не є зрозумілим: “Як впливає з рис. 2.5, час удару “розтягується” на 0,4 мс, що цілком можна порівняти з часом удару, виходячи з розрахунків імпульсу сили початкового контактного натискання і коефіцієнта динамічності”.

7. У розділі 2 незрозумілим є обґрунтування переходу рівнянь Максвелла від повної до спрощеної форми: “В цьому випадку нехтують струмами зміщення в порівнянні зі струмами провідності (*при частотах, що застосовуються в радіолокації*, струми провідності в металах приблизно в мільйон разів більше струмів зміщення)”.

8. У рубриці «Методи дослідження» необхідно вказати, який метод для чого використовується.

9. П. 1. «Наукові новизни», що стосується моделей, варто перенести до «Практичного значення».

10. У «Наукових результатах дисертації» часто зустрічається термін «унікальна модель». У чому саме полягає їх унікальність (існують аналоги, прототипи)? Крім того «модель» – це зазвичай практична цінність.

11. Розмір основної частини (308 стор.) сильно виходить за межі вимог до докторських дисертацій (до 200 стор.). Слід було б вказати скільки повних сторінок займають рисунки і таблиць. Ці сторінки не входять до основної частини. Крім того, розшифровку символів із формул можна надавати, як і в авторефераті, а не кожен символ з нової строки. Все це скоротило б розмір основної частини.

12. Список праць здобувача, згідно з «Вимогами...», необхідно надавати за трьома рубриками: 1 – наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації; 2 – наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації; 3 – наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Крім того не зрозуміло, чи є у здобувача патенти за темою дисертації.

Література оформлена за старими вимогами.

13. У здобувача анотація – це зменшена «Загальна характеристика роботи» з усіма формальними рубриками, що не є реферативним відображенням суті роботи.

14. Робота не повністю відповідає наказу МОН №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог «До оформлення дисертацій», а саме:

- на другій сторінці обкладинки автореферату не вказано, що він виставлений на сайті спец. ради;
- формальні помилки на титульних листах дисертації та автореферату;
- букву «м.» перед назвою міста на пишуть;
- в «Анотаціях» не вказано, що це – «Кваліфікаційна наукова праця...»;
- останнім додатком повинен бути список публікацій здобувача. Він відсутній;
- у роботі багато орфографічних помилок і формальних неточностей (у змісті не ставиться крапка після останньої цифри номера підрозділів і пунктів; формули розділяються крапкою з комою і т. п.).

15. На сторінці 65 використана російськомовна калька “приватні похідні”.

16. На сторінках 82–85 зайвий надто детальний опис апроксимації кривої намагнічування.

17. На сторінках для наочності 152, 154 варто було б показати експериментальні криві крапками або іншим способом.

18. У роботі відсутні експериментальні дані підтвердження результатів імітаційного моделювання електричних схем вмикання вимикача.

19. Деякі блок-схеми додатків неінформативні та потребують додаткового описання.

20. У додатках А, Б не вказана мова програмування.

Указані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Байди Євгена Івановича «Мультифізичні моделі високовольтних вакуумних вимикачів з поляризованими бістабільними актуаторами в динамічних режимах» за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.01 – «Електричні машини і апарати». Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову проблему, суть якої полягає в уточненні характеру протікання динамічних процесів у вакуумних вимикачах за допомогою мультифізичних моделей, на підставі аналізу яких були розроблені й обґрунтовані технічні рішення, спрямовані на удосконалення та розробку конструкцій вакуумних вимикачів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а здобувач Байда Євген Іванович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.01 – «Електричні машини й апарати».

Офіційний опонент

ректор Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського,
дійсний член (академік) Національної академії
педагогічних наук України,
заслужений діяч науки і техніки України,
д. т. н., проф.

24.10.2018



М. В. Загірняк