

ВІДГУК

офіційного опонента Соскова Анатолія Георгійовича
на дисертаційну роботу Байди Євгена Івановича
**«Мультифізичні моделі високовольтних вакуумних
вимикачів з бістабільними поляризованими актуаторами
в динамічних режимах»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.09.01 – електричні машини і апарати

Актуальність теми.

На сьогоднішній день в електроенергетиці широко застосовуються вакуумні вимикачі середньої напруги (напругою до 52 кВ), які займають близько 85 % ринку електричних апаратів середніх напруг і цей відсоток безперервно збільшується. Причому, найбільш перспективними є конструкції вимикачів концерну АББ, в привідних електромагнітах яких у якості утримуючих елементів використовуються постійні магніти. Такі вимикачі відрізняються від інших простотою конструкції, надійністю в роботі та незначним споживанням електричної енергії. Але дані по дослідженню роботи таких електромагнітів, вплив характеристик цих електромагнітів на елементи конструкції вимикача в статичних та динамічних режимах, дослідження схем кіл керування такими електромагнітами практично відсутні. Тому важливим є наукове дослідження процесів у таких вимикачах та практична перевірка отриманих результатів з метою створення нових конструкцій, які не поступаються по характеристикам закордонним аналогам та удосконаленню наявних конструкцій. Виходячи з цього, розробка і дослідження математичних моделей складних фізичних процесів, що відбуваються у вакуумних вимикачах і які спрямовані на вирішення і розробку науково-технічних заходів та рекомендацій щодо створення нових та модернізації існуючих вакуумних вимикачів є актуальним.

Актуальність роботи також 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 наукових досліджень впроваджені також в навчальному процесі НТУ «ХП» та на кафедрі електричних апаратів. Всі положення підтверджені відповідними актами впровадження.

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

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій в дисертаційній роботі Байди Є. І. базується на ретельному аналізі науково-технічної літератури, коректній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників та експериментальними даними, якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано з використанням найсучаснішого математичного апарату для опису складних взаємно пов'язаних електромагнітних, теплових та міцнісних явищ, які мають місце в об'єктах дослідження.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність дисертаційної роботи досягається за рахунок коректної постановки математичних задач, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й методів математичної фізики, відповідністю змісту математичних моделей фізичній суті описуваних процесів. Отримані теоретичні результати перевірені шляхом порівняння з експериментальними даними, що є підтвердженням обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. Результати, отримані в роботі Байди Є. І. були використані під час створення дослідних та макетних зразків вакуумних вимикачів.

Основні нові наукові результати дисертації.

1. Розроблена унікальна математична модель з розрахунку нестационарного електромагнітного поля в неоднорідному нелінійному провідному середовищі з високоерцитивними постійними магнітами, яка враховує нелінійні процеси руху механізму вакуумного вимикача та нелінійні процеси, що відбуваються в електричному колі керування вимикачем.

2. Вперше науково обґрунтовано процеси, які відбуваються у бістабільних по-

ляризованих актуаторах при їх форсованому вмиканні.

3. Подальший розвиток отримали методи розрахунку впливу динамічних характеристик актуаторів на механічні процеси в контактній системі вимикача, які відрізняються від існуючих вирішенням паралельних та послідовних мультифізичних задач з урахуванням нелінійних стаціонарних та нестаціонарних рівняннях теорії пружності та теплопередачі.

4. Унікальність методу розрахунку здатності вимикача до вмикання базується на мультифізичному підході, а саме: розв'язанні рівнянь теорії пружності та теплопередачі з урахуванням прихованої теплоти та руху границь фазових переходів.

5. Вперше під час вмикання контактів, визначена динаміка рухомих границь фазових переходів з урахуванням параметрів вібрації контактів, а саме: тривалості горіння електричної дуги, кількості відскоків та електричної фази початку процесу вмикання.

6. Удосконалено розрахунок термічної стійкості вимикача, який базується на нелінійних рівняннях теорії теплопередачі і теорії пружності, що є відмінним від наявних методів (мультифізичний підхід).

7. Отримали подальший розвиток методи імітаційного моделювання роботи електричних схем кіл керування актуаторів при підключенні їх до різних джерел енергії, що дозволяє розраховувати параметри схем та глибше усвідомити фізичні процеси, що відбуваються в складних нелінійних електричних ланцюгах.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Розроблені моделі бістабільних поляризованих електромагнітних актуаторів дозволили глибше зрозуміти процеси, що відбуваються у вакуумних вимикачах та створити дослідні зразки актуаторів, що не поступаються по характеристиках закордонним аналогам.

По результатам розробленої мультифізичної моделі контактної системи були отримані рекомендації, що дозволили намітити шляхи підвищення здатності до вмикання вимикача, а також виявити причини й шляхи усунення такого явища як «вторинна» вібрація контактів.

Рекомендації щодо конструкції контактної системи отримані завдяки розробленої удосконаленої мультифізичної моделі термічної стійкості вимикача дозволили глибше усвідомити причини явища та намітити шляхи підвищення термічної стійкості конструкції.

Дослідження і аналіз математичних імітаційних моделей схем керування атуатором дозволило 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 24 – одноосібно. З них у наукових фахових виданнях України – 26 робіт та 5 робіт опубліковано в іноземних виданнях. З загальної кількості робіт: 5 входять до міжнародних науковометричних баз даних Scopus та Web of Science; 7 входять до міжнародної науковометричної бази даних Index Copernicus.

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

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 та задачі дослідження, розкриті наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок здобувача у виконанні дисертаційної роботи і її практична апробація.

У *першому розділі* проведено огляду літератури і 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 і надійністю роботи. Проаналізовано вимоги до конструкції таких вимикачів, визначені основні невирішені проблеми, обґрунтовано напрямок дослідження.

В *другому розділі* розглянуто методи розрахунку та розроблені мультифізичні моделі бістабільних поляризованих актуаторів на базі рівнянь нестационарного елек-

тромагнітного поля в неоднорідному нелінійному провідному середовищі, що рухається, з урахуванням постійних магнітів та урахуванням 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 при його форсованому вмиканні, проведені розрахунки динаміки спроектованого актуатора та наведені порівняльні характеристики макетних зразків з теоретичними розрахунками.

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

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

В п'ятому розділі дослідженню та проаналізовано моделі схем підключення актуаторів до різних джерел електричної енергії. На підставі розроблених моделей бу-

ли підібрані параметри схем, що забезпечують їхню роботу і усувають неприпустимі перенапруги, що виникають на елементах під час комутації, проаналізовано можливість імпульсного живлення схем кіл керування вимикачем та показана його недоцільність.

Висновки до розділів та 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 із 309 найменувань.

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

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження.

1. Пункт 7 наукової новизни варто перенести в розділ практичного значення отриманих результатів.

2. У роботі йдеться мова про підвищення надійності та працездатності конструкції, але розрахунки на втомну витривалість проведено тільки для вакуумного сильфона.

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

4. В якості недоліку роботи можна відзначити відсутність патентів.

5. В якості елемента живлення котушок розглядається (як один з варіантів) електролітичний конденсатор, параметри якого можуть мати значні відхилення від номінальних, що не розглядається в роботі.

6. Розглядається наближена модель електромагнітного поля в якій не враховуються струми зміщення. Як це відіб'ється на точності розрахунків?

7. З розрахунків випливає, що вихрові струми магнітопроводу досить значні (30% від магніторушійної сили котушки). Було б корисно розглянути вплив шихтовки на значення цих струмів.

8. Недостатньо ображені роботи інших авторів по розрахункам електромагнітів.

9. Бажано привести данні по процентному співвідношенню випуску вакуумних вимикачів в даний час.

10. Недостатньо чітко вказані критерії оцінки якості при перестоюванні координатної сітки в процесі електромагнітних розрахунків бістабільного актуатора.

11. Схему рис. 5.11 необхідно доповнити шунтуючими R-C ланцюжками для виключення помилкового спрацьовування GTO тиристорів за рахунок високої швидкості наростання напруги на варисторах.

Але вказані 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 своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.01 – електричні машини і апарати. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову задачу, суть якої полягає в уточненні характеру протікання динамічних процесів в вакуумних вимикачах за допомогою мультифізичних моделей на підставі аналізу яких були розроблені і обґрунтовані технічні рішення, спрямовані на удосконалення і 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 і апарати.

Офіційний опонент професор
кафедри альтернативної
електроенергетики та електротехніки
Національного університету міського
господарства ім. О.М. Бекетова
м. Харків.

16.10.2018 р.

Завірю
Великий секретар



Сосков А. Г.

Т. Г. Д. В.