

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Левонюка Віталія Романовича «Методи та засоби аналізу комутаційних перехідних процесів у лініях електропередачі надвисокої напруги на основі варіаційних підходів», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Актуальність теми

Основним призначенням ліній електропередач надвисокої напруги є об'єднання локальних електроенергетичних підсистем в єдину електроенергетичну систему. Цілком зрозуміло, що лінії електропередач в згаданих системах виступають ключовими елементами електричних мереж. Як проектування нових, так і експлуатація існуючих ліній не може здійснюватися без всеосяжного дослідження їх режимів роботи, як усталених так і перехідних. Відомо, що неврахування перехідних електромагнітних процесів у перехідних режимах роботи ліній електропередач призводить до виходу з ладу не лише самої лінії, але й інших елементів електричних мереж, що в кінцевому випадку призводить до додаткових матеріальних витрат на ремонт електротехнічного обладнання.

Слід відзначити, що в зв'язку з появою і поширенням нових технологічних процесів і, як наслідок, зростанням питомої ваги нелінійних і динамічних споживачів електроенергії, стійкість функціонування електричних мереж все більше зменшується, а електромагнітні процеси у лінії електропередачі стають все більше складнішими. Дослідження перехідних процесів в електричних мережах можна здійснювати шляхом проведення дорогих натурних експериментів, або ж використати апарат математичного моделювання, з допомогою якого змоделювати згадані процеси. Враховуючи той фактор, що лінії електропередач зазвичай виконуються на довжину, яка співмірна з довжиною електромагнітної хвилі промислової частоти, то їх

розглядають як системи із розподіленими параметрами. Відомо, що найадекватніше відтворення електромагнітних процесів у лінії електропередачі можливе лише з використанням польових підходів до побудови моделі лінії, зокрема використавши та без спрощень розв'язавши диференціальне рівняння довгої лінії. Розв'язання згаданого диференціального рівняння з частинними похідними можливе лише за наявності початкових та крайових умов. Якщо з першими проблема вирішується у звичайний спосіб (їх приймають нульовими, або розраховують із попередніх дослідів), то з другими проблема більш складна. Вони можуть бути завуальованими та нечітко заданими. Власне здобувачем у дисертаційній роботі запропоновано методологію пошуку крайових умов до рівняння довгої лінії, яка ґрунтується на використанні крайових умов другого та третього родів (крайові умови Неймана та Пуанкаре).

Ще один важливий момент, який розглянуто у роботі це урахування впливу перехідних механічних процесів у вимикачах надвисокої напруги на перехідні електромагнітні процеси в елементах електричних мереж, адже тривалість перебігу згаданих процесів є співмірною. Для цього здобувачем розроблено математичну модель вимикача надвисокої напруги, основний акцент у якій поставлено на урахування динаміки роботи дезаксіального кривошипно-шатунного механізму переміщення контактів вимикача надвисокої напруги.

Варто також відзначити уміло використаний у роботі інтегральний варіаційний принцип Гамільтона-Остроградського для побудови математичних моделей досліджуваних об'єктів. Використання варіаційних підходів дозволило претенденту побудувати математичні моделі електротехнічних пристроїв, фізичні процеси у яких описуються за допомогою прикладної фізики (електродинаміки та механіки).

Таким чином, удосконалення методів аналізу перехідних процесів в елементах електричних мереж є важливою науково-технічною задачею. Тема дисертаційної роботи Левонюка В. Р., що присвячена її вирішенню, є актуальною.

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

У представленій до захисту дисертаційній роботі основними результатами досліджень автора є покращення методів аналізу перехідних процесів в електричних мережах та створення математичних моделей досліджуваних об'єктів, зокрема фрагментів електричних мереж ключовими елементами яких є довгі лінії електропередач та вимикачі надвисокої напруги. Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується коректними постановками завдань, системним підходом при проведенні досліджень.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність основних результатів досліджень підтверджується коректністю використання апарату математичного моделювання та наукових положень. Робота виконувалася на підґрунті варіаційних підходів, зокрема, використано принцип Гамільтона-Остроградського з модифікованою функцією Лагранжа із заангажуванням фундаментальних принципів теорії електромагнітного поля та прикладної механіки. Для розв'язання поставлених задач використовувались фундаментальні положення теоретичної електродинаміки, математичного моделювання, теорії звичайних диференціальних рівнянь та диференціальних рівнянь з частинними похідними, числових методів інтегрування звичайних диференціальних рівнянь. Достовірність основних результатів досліджень підтверджена, отриманими результатами комп'ютерних симуляцій, які повністю підтверджуються теоретичними засадами електродинаміки та результатами верифікації.

В дисертації Левонюка В. Р. отримано такі результати, які мають суттєву наукову новизну:

- отримано подальший розвиток теорії математичного моделювання електротехнічних систем шляхом застосування модифікованого принципу Гамільтона-Остроградського для задач дослідження перехідних процесів, що

дозволило будувати моделі елементів електричних мереж надвисокої напруги виходячи виключно з єдиного енергетичного підходу.

- покращено метод пошуку крайових умов до рівняння довгої лінії як елемента електричної мережі шляхом застосування крайових умов другого та третього родів, що дозволило аналізувати хвильові електромагнітні перехідні процеси, зокрема, відтворювати картину поширення електромагнітної хвилі в лінії електропередачі.

- уперше побудовано математичну модель елегазового вимикача як елемента електричної мережі надвисокої напруги, у якій на противагу до відомих враховано динаміку руху дезаксіального механізму переміщення контактів, а дугові процеси між контактами зеквівалентовано нелінійним активним опором та ємністю, що дозволило досліджувати вплив коливних механічних процесів рухомого контакту на перехідні процеси в елементах електричних мереж.

Значимість отриманих результатів для теорії і практики

На основі проведених у дисертаційній роботі досліджень здобувачем отримано подальший розвиток теорії математичного моделювання елементів електричних мереж на основі модифікованого принципу Гамільтона-Остроградського.

Практична цінність отриманих результатів

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці математичної моделі вимикача, у якій основну увагу приділено динаміці руху дезаксіального механізму переміщення контактів, яка є придатною до використання під час аналізу причин зношування вимикачів. Окрім того створені на підґрунті розроблених математичних моделей програмні засоби придатні до використання як автономні продукти на етапах проектування та експлуатації електричних мереж. Результати досліджень впроваджено в навчальному процесі Львівського національного аграрного університету та на ПС 750 кВ «Західноукраїнська». Підтвердженням впровадження результатів дисертаційної роботи є наявність відповідних актів.

Короткий аналіз змісту дисертації і відповідність його поставленим задачам

У вступі викладено актуальність роботи, мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відомості про публікації автора за темою дисертації та апробацію результатів на наукових конференціях. Обсяг і форма вступу відповідають загальноприйнятим вимогам до кандидатської дисертації та є цілком достатніми для ознайомлення зі змістом положень, що виносяться автором на захист.

У першому розділі здійснено аналіз публікацій, які стосуються досліджень перехідних процесів в електротехнічних системах на основі варіаційних підходів. Окрім того, проведено аналіз публікацій у яких досліджуються перехідні комутаційні процеси та підходи до аналізу перехідних процесів у довгих лініях електропередач.

У другому розділі дисертаційної роботи наведено теоретичні засади отримання неконсервативного лагранжіана. Показано, яким чином, виходячи з єдиного енергетичного підходу, що ґрунтується на модифікованому інтегральному варіаційному принципі Гамільтона-Остроградського, можна отримати рівняння руху інерційних мас з податною трансмісією руху, рівняння електричних контурів із зосередженими параметрами та рівняння довгої лінії електропередачі із розподіленими параметрами.

Третій розділ присвячений дослідженню некомутаційних перехідних процесів у електричних мережах. Зокрема, тут виходячи з інтердисциплінарного методу математичного моделювання побудовано моделі лінії постійного струму та двох фрагментів електричних мереж змінного струму, ключовим елементом у яких є довга лінія електропередачі із розподіленими параметрами. Запропоновано для розв'язування рівняння довгої лінії використовувати крайові умови другого та третього родів (умови Неймана та Пуанкаре). Досліджено перехідні процеси для характерних фрагментів електричних мереж.

У четвертому розділі для врахування комутаційних процесів у електричних мережах, на основі теорії Лагранжа, розроблено математичну модель вимикача надвисокої напруги. Розроблено математичну модель дезаксіального кривошипно-шатунного механізму переміщення контактів вимикача, яка дозволила враховувати вплив механічних процесів у вимикачі на перехідні процеси в елементах електричних мереж. Представлено результати перевірки адекватності математичної моделі механізму переміщення контактів вимикача.

Загальні висновки по дисертації є коректними, відображають наукові й практичні результати, які отримано автором.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Структура дисертації, послідовність викладення матеріалу та його обсяг відповідають встановленим вимогам. Назва теми дисертації відповідає її змісту. Дисертація написана в зрозумілій, доступній формі. Стиль викладення матеріалу логічний, основні положення достатньо аргументовані, в тому числі посиланнями на літературні джерела. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені у 17 наукових працях, в тому числі 5 статей у наукових фахових виданнях України, в тому числі 1 стаття – у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних *Web of Science*, 3 статті – у закордонних періодичних виданнях, в тому числі 1 стаття – у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних *Scopus*, 4 статті – у наукових журналах і збірниках наукових праць, 5 тез доповідей.

Аналіз робіт дозволяє зробити висновок, що в них в повному об'ємі опубліковано матеріали дисертації. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Список використаних джерел із 152 найменувань охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації. У авторефераті розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкриті новизна розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень. Автореферат відповідає змісту роботи та документу «Основні вимоги до дисертацій та авторефератів дисертацій».

До змісту та оформлення дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:

1. У першому розділі під час аналізу підходів для дослідження перехідних електромагнітних процесів у довгих лініях електропередач з тексту до кінця не зрозуміло, який підхід використовується у програмному комплексі *EMTP-RV*.

2. Математичні терміни і формули не завжди наводяться з обґрунтуванням необхідності їх застосування. Наприклад, на сторінці 58 вираз (2.41) є досить тривіальним і відомим зі студентських курсів «Теоретичні основи електротехніки» та «Основи електропостачання».

3. У третьому розділі під час аналізу перехідних електромагнітних процесів у лінії електропередачі постійного струму її живлення враховується дещо спрощено, оскільки у реальних умовах при передачі по лінії постійного струму до неї під'єднано випрямлячі та інвертори, які здійснюють значний вплив на перехідні електромагнітні процеси.

4. В розділі 3 дисертаційної роботи представлено верифікацію запропонованої методології пошуку крайових умов до рівняння довгої лінії, яка ґрунтується на використанні крайових умов другого та третього родів. Тут необхідно було б здійснити порівняння отриманих перехідних процесів функціональних залежностей напруги та струму в лінії не лише під час увімкнення довгої лінії, але й у аварійних режимах роботи останньої.

5. У четвертому розділі під час побудови математичної моделі дезаксіального кривошипно-шатунного механізму переміщення контактів вимикача для апроксимації $\varphi(\Delta x)$ було використано поліном 6-го порядку. З

коефіцієнтів (4.20) видно (високий порядок, знакозмінні коефіцієнти), що відтворення вихідної функції є нестійким та чутливим до похибки. У дисертації не сказано чому взято такий високий порядок поліноміальної залежності.

6. У четвертому розділі наведено математичну модель спрощеної кінематичної схеми механізму переміщення контактів вимикача, але не представлено графічної інтерпретації відмінностей результатів отриманих з допомогою спрощеної та повної моделей.

7. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У дисертаційній роботі наведено відносно невелику кількість умовних скорочень, зокрема наведено лише загальноприйняті, але у список скорочень не включено такі словосполучення як «перехідний процес», «елементи електричних мереж» та ін., які дуже часто вживаються у тексті роботи.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру, не ставлять під сумнів наукову новизну та достовірність одержаних в дисертації результатів. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної праці Левонюка В. Р., її наукову новизну і практичну цінність.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Левонюка Віталія Романовича «Методи та засоби аналізу комутаційних перехідних процесів у лініях електропередачі надвисокої напруги на основі варіаційних підходів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальне науково-технічне завдання покращення методів аналізу перехідних процесів у електричних мережах надвисокої напруги.

Виходячи з актуальності теми, достатніх рівнів достовірності та наукової новизни результатів, теоретичного та практичного значень, повноти викладу в опублікованих працях, апробації основних положень, вважаю, що

дисертаційна робота цілком відповідає вимогам п.п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор, Левонюк Віталій Романович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент,
зав. кафедри електропостачання
та енергетичного менеджменту
Харківського національного
технічного університету сільського
господарства ім. Петра Василенка,
д.т.н., доцент

О. О. Мірошник



Мірошник О.О.
дочую
господства АНТУСТ
Мірошник