

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кожана Дмитра Петровича

«Обґрунтування місць розташування та величин потужностей джерел генерації електричної енергії при територіально розподіленому навантаженні», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи»

Актуальність теми досліджень

Як і в усьому світі в Україні досить активно йде процес розвитку «зеленої» енергетики. Однак на відміну від багатьох країн, зокрема європейських, у нас основний акцент зроблено на великі генеруючі утворення. Частка ж установок потужністю до 1-2 МВт становить всього декілька відсотків і розвиток даного сегмента «зеленої» енергетики істотно відстає від практики інших країн, де акцент робиться не тільки на декарбонізації галузі, а й на її децентралізації. Зокрема, наприклад в Германії, передбачається, що до 2050 року більше третини всіх потужностей сонячної енергетики, які планують впровадити, буде розміщуватися у споживачів по, так званій, схемі «до лічильника».

У той же час переваги, які може дати локальна розподілена генерація, що інтегрується в енергосистеми на рівні розподільних мереж, добре вивчені і обґрунтовані.

Крім таких очевидних факторів як зниження втрат електроенергії на її транспорт, розвантаження мереж і мережевого устаткування, зниження використання викопного палива (а, відповідно, і викидів CO₂), на якому працюють ще багато великих електростанцій, окремо хотілося б підкреслити наступне.

Мала відновлювана генерація дозволяє більшою мірою диверсифікувати власність на енергетичні активи, що створить умови, за яких ринок буде менш монополізований. Мінлива за своєю природою «зелена» генерація при наявності малих розподілених джерел енергії (особливо в поєднанні з відносно невеликими засобами її накопичення) зменшить вплив на енергосистему, а, отже, на реалізацію процесів оптимального управління її режимами, спростить підтримку стандартів якості електропостачання, дозволить підвищити стійкість її роботи.

Разом з великими потенційними можливостями, які може надати локальна генерація, при її впровадженні виникає і ряд викликів як технічного, так і регуляторного характеру. Саме тому в світі активно розробляються, досліджуються і впроваджуються різні підходи, що

дозволяють з найбільшою ефективністю інтегрувати малу розподілену генерацію в енергетичні ринки та в максимальному ступені задіяти її потенціал.

Дисертаційна робота Кожана Д. П. спрямована на вирішення одного з таких завдань, пов'язаних з визначенням оптимальних місць приєднання та потужності малих джерел енергії, за яких забезпечується мінімум втрат потужності в розподільних мережах та стабілізується рівень напруг.

З огляду на зазначене, є усі підстави вважати, що дисертація «Обґрунтування місць розташування та величин потужностей джерел генерації електричної енергії при територіально розподіленому навантаженні» вирішує складне науково технічне завдання актуальне для сучасної електроенергетичної галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами

Дисертаційна робота виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України в рамках держбюджетної наукової теми: «Розробка теорії структурно-параметричного синтезу гібридних систем електроживлення та їх інтеграції до розподільних електричних мереж в сільських регіонах» (номер державної реєстрації 0113U003830, 2013–2017 рр.).

Обґрунтованість та достовірність положень, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертації

Обґрунтованість та достовірність отриманих в дисертаційній роботі автором результатів, висновків та рекомендацій підтверджується ретельно визначеними метою і завданнями досліджень, глибоким бібліографічним аналізом вітчизняних й зарубіжних періодичних фахових видань, логічною послідовністю вирішення окремих аспектів проблеми оптимального використання локальних джерел енергії, коректним використанням математичного апарату та теоретичних положень електротехніки, високим рівнем узгодженості теоретичних висновків з результатами моделювання, у тому числі з використання реальних схем електропостачання.

Аналіз змісту дисертації демонструє, що здобувач добре розуміє сутність проблеми моделювання усталених режимів електричних мереж, має здібність обґрунтовувати шляхи удосконалення існуючих методів з урахуванням особливості роботи мереж в умовах інтеграції в них локальних джерел енергії, аналізувати результати теоретичних та експериментальних досліджень, розробляти алгоритми та створювати програмне забезпечення з метою реалізації розроблених методів, формулювати висновки й визначати рекомендації щодо впровадження отриманих результатів.

Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів

Основні наукові результати отримані в дисертаційній роботі можуть бути сформульовані наступним чином:

1. Здійснено модифікацію методу Ньютона для розрахунку усталених режимів електричних мереж в напрямку використання матриці частинних похідних від небалансів активних та реактивних вузлових потужностей, що дозволило розширити його функціональність за рахунок отримання можливості визначення оптимальних параметрів локальних джерел енергії з метою мінімізації втрат потужності.

2. Проведено удосконалення моделі визначення питомих витрат активної потужності на її транспорт до місць споживання, що дало змогу обґрунтувати найбільш доцільні місця розташування джерел енергії для зменшення втрат потужності.

3. На підставі запропонованого та теоретично обґрунтованого підходу вперше доведено, що при рівності модулів та (або) кутів напруги у вузлах розташування усіх генеруючих об'єктів забезпечується мінімум втрат потужності та стабілізуються рівні напруги, що було використано для обґрунтування найбільш доцільних місць розміщення джерел розподіленої генерації.

Практична цінність отриманих результатів полягає в впровадженні у Шепетівському районі електричних мереж «Хмельницькобленерго» програмного продукту для обґрунтування місць розташування джерел генерації з метою зменшення втрат електричної енергії, розробленого на підставі виконаних автором досліджень, а також у використанні в учбовому процесі при підготовці бакалаврських та магістерських робіт на кафедрі електропостачання імені професора В. М. Синькова Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Повнота відображення матеріалів дисертації у наукових публікаціях

Окремі результати дисертаційної роботи були опубліковані в одній монографії, 5 статтях у наукових фахових виданнях України в період з 2014 по 2019 роки, в 11 тезах міжнародних науково-практичних конференцій, а також 2 статтях в інших виданнях. Одна з перелічених публікацій була представлена англійською мовою. Автор також має 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

В зазначених публікаціях автором були розглянуті та висвітлені наступні результати дисертаційної роботи:

- запропоновано механізм включення коефіцієнтів трансформації в матрицю провідностей для спрощення ітераційного розрахунку режимів електричних мереж;

- наведено методику визначення економічно доцільних місць розташування джерел локальної генерації в радіальних мережах на підставі показника питомих транспортних витрат потужності;

- представлено модифікований метод Ньютона для моделювання режимів частково замкнених розподільних мереж;

- запропоновано загальну методику пошуку оптимальних місць розміщення та визначення потужностей джерел генерації електричної енергії в розподільних системах з метою мінімізації втрат потужності в режимі максимальних навантажень;

- описано розроблений автором програмний комплекс, який поряд з моделюванням усталених режимів, дозволяє також визначати доцільні місця та потужності джерел генерації при їх інтеграції в електричні мережі напругою 6, ..., 35 кВ.

Таким чином, є підстави вважати, що перелічені публікації повністю відображають основні наукові положення та практичні результати дисертації. Особистий внесок здобувача в досягнутих результатах є вагомим та не викликає сумнівів.

Відповідність встановленим вимогам та оцінка змісту роботи

Представлена дисертаційна робота є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису, що складається з анотацій (українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 173 найменування, та 7 додатків загальним обсягом 197 сторінок.

Автором дотримано правил академічної доброчесності, зокрема, в плані посилань на джерела інформації, використання ідей методів та алгоритмів інших авторів.

Таким чином, дисертаційна робота Кожана Д. П. відповідає встановленим вимогам.

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, наведено зв'язок виконаної роботи з науковими програмами, сформульовано мету та завдання досліджень, висвітлені наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, подано інформацію щодо апробації результатів досліджень та наведено перелік наукових праць за темою дисертації з визначенням особистого внеску здобувача.

У **першому розділі** розглянуті питання пов'язані з узагальненням досвіду використання локальних джерел енергії в радіальних розподільних мережах, що повинно надати можливість підвищити ефективність організації електропостачання споживачів якісною електроенергією, а в перспективі, стати основою для формування, так званих, активних систем її розподілу. На підставі здійсненого аналізу зроблено висновок, що при вирішенні

зазначених завдань принциповим є питання визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтування потужності джерел генерації, які інтегруються в електричні мережі.

Підкреслюється, що першочерговим кроком дослідження має бути моделювання режимів електричних мереж, де, на думку автора, найбільш прийнятним є метод Ньютона, який дозволяє прискорити збіжність відповідних ітераційних розрахунків.

У **другому розділі** з метою можливості урахування впливу різноманітних джерел енергії пропонується певна модифікація методу Ньютона шляхом доповнення матриці частинних похідних відомих та пошукових вузлових характеристик похідними вектора поправок до пошукових змінних. При цьому різноманітні джерела енергії розглядаються з точки зору можливості генерації як тільки активної або реактивної потужності, так і одночасного генерування обох складових.

Наведено алгоритм ітераційного розрахунку режиму згідно модифікованого методу Ньютона, де здійснено приведення моделей трансформаторних ділянок до моделей ліній електропередавання, шляхом включення коефіцієнтів трансформації в елементи матриці провідностей, що дозволило спростити математичні вирази при моделюванні ustalених режимів.

Для підтвердження адекватності модифікованого методу Ньютона була проведена серія експериментальних розрахунків з використанням двох стандартних тестових схем IEEE, для чого автором було розроблено відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення з використанням мов програмування C++ та Visual Basic.

Результати тестування підтвердили адекватність розробленого автором модифікованого методу, що забезпечило можливість його використання у подальших дослідженнях.

У **третьому розділі** вирішується питання визначення найбільш доцільних місць розташування джерел генерації в електричних мережах напругою 6, ..., 35 кВ з територіально розподіленим навантаженням. Для цієї мети задіяний градієнтний метод, що спирається на розрахунок вузлових питомих транспортних витрат потужності, тобто її витрат на передачу одиниці активної або реактивної потужності до місця її споживання.

В роботі наведено математичну модель зазначеного розрахунку, що базується на розробленому у попередньому розділі модифікованому методі Ньютона. Доведено, що для радіальних розподільних мереж найбільші значення вузлових питомих транспортних витрат потужності вказують на найбільш доцільні місця розташування, відповідно, джерел активної та реактивної потужності з точки зору мінімізації їх витрат.

Отримані функціональні залежності щодо рівності кутів і (або) модулів вузлових напруг в точках приєднання джерел генерації розглядаються у якості критерію мінімізації втрат активної потужності та стабілізації рівнів напруги в розподільній системі.

З метою підтвердження отриманих висновків було проведено низку експериментальних розрахунків. У той же час отримані при цьому результати продемонстрували, що, якщо градієнтний метод у вигляді вектор-градієнта виявив певні недоліки при визначенні оптимального місця розташування локальних джерел енергії, то для методу, який базується на вузлових питомих транспортних витратах, вони були відсутні, що дозволило рекомендувати його для подальшого використання.

У **четвертому розділі** виконані тестові розрахунки щодо підтвердження ефективності визначення оптимальних місць розташування джерел розподіленої генерації, розрахованих за максимальними значеннями вузлових питомих транспортних витрат потужності, та обґрунтованих величин потужностей зазначених джерел, отриманих на підставі математичної моделі режиму електропостачання. Дослідження виконувалися з використанням трьох типів джерел, які передбачали одночасне виробництво активної та реактивної потужності та окремо активної або реактивної потужності.

У **висновках** сформульовані основні результати дисертації.

Ідентичність змісту автореферату та дисертаційної роботи

Автореферат ідентично розкриває основні положення дисертації, її наукові результати, які отримані особисто здобувачем.

Зауваження та питання щодо тексту дисертації

1. Для кращого розуміння теоретичних та практичних результатів отриманих автором, на початку дисертації було б доцільним визначити: мережі якої номінальної напруги розглядаються; де знаходяться потенційні місця встановлення локальних джерел генерації; який можливий діапазон потужностей цих джерел.

Мабуть є різниці між приєднанням генераторів до шин центрів живлення, шин н.н. ТП або використання їх споживачами мережі напругою 0,38 кВ (наприклад, дахові фотоелектричні панелі).

2. Не зрозуміло, що являють собою «трансформаторні ділянки» (стор. 59). Яким чином вони інтегруються в модель розрахунку режиму. Якщо мова йде відносно розподільних мереж, то трансформатори присутні майже в кожному вузлі мережі. Саме відносно шин н.н. цих трансформаторів і задається навантаження і, скоріш за все, до них різноманітним чином приєднуються локальні джерела генерації енергії.

3. У підрозділі 2.3 (стор. 62) мова йде щодо розробки алгоритму визначення економічно доцільних умов використання джерел генерації у «радіальних СЕП різного рівня напруги». У зв'язку з цим виникають питання:

- по-перше, що означає різні рівні напруги? Це 6(10) кВ та 0,38 кВ? Або щось інше;

- по-друге, не зрозуміло чому в цьому випадку розроблений алгоритм перевірявся на тестовій схемі IEEE для замкненої мережі з відносно невеликою кількістю вузлів та ділянок та й ще і напругою 220/110 кВ і тому відкритим залишається питання, як буде працювати розроблений алгоритм в умовах реальних СЕП, де кількість вузлів навантаження та гілок значно більша;

- по-третє, виконані тестові розрахунки демонструють лише адекватність запропонованого модифікованого методу, але жодним чином не свідчать щодо його ефективності, як це зазначено у висновку 3 по Розділу 2 (стор. 67).

4. Викладені у підрозділі 3.2 міркування відносно принципів визначення доцільних місць розташування доцільних джерел генерації суттєвих зауважень не викликають. У той же час, було бажано з'ясувати відносно якого режиму СЕП повинні виконуватися розрахунки, враховуючи, що у розподільних мережах максимальні навантаження окремих вузлів можуть не співпадати у часі, але ще в більший мірі це стосується максимуму генерації з боку переважної більшості відновлюваних джерел енергії.

5. Не викликає сумнівів, що з точки зору мінімізації втрат потужності й енергії оптимальне місце підключення локального джерела генерації, перш за все, буде залежати від його потужності. Яким чином це враховується, коли робиться висновок (Розділ 3), що «рівності кутів і (або) модулів вузлових напруг генеруючих об'єктів можна вважати критерієм мінімізації втрат активної потужності».

6. Має місце певне зловживання терміном «економічна доцільність», коли мова йде лише відносно зменшення втрат потужності. На мій погляд, це не зовсім тотожні поняття.

7. Текст дисертації містить певні стилістичні недоліки і окрім цього звертає на себе увагу не зовсім звична термінологія, наприклад, «радіальні СЕП» - стор. 62 або «радіальні розподільні СЕП» - стор. 75, «вузол системного живлення» та «джерело системного живлення» - стор. 80.

Наведені зауваження не знижують наукову цінність дисертації та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Кожана Дмитра Петровича «Обґрунтування місць розташування та величин потужностей джерел генерації електричної енергії при територіально розподіленому навантаженні» є цілісним завершеним науковим дослідженням присвяченим вирішенню важливої і актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності побудови та подальшого функціонування сучасних розподільних мереж з джерелами розосередженої генерації. Зміст дисертації відповідає як паспорту спеціальності 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» так і за своєю актуальністю, науковою новизною, теоретичними й практичними результатами вимогам п.п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 (зі змінами), а здобувач **Кожан Дмитро Петрович** заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,

професор кафедри електропостачання

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доцент



Володимир Попов

Підпис В. Попова засвідчую: Вчений секретар Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

к.т.н., доцент



Валерія Холявко

Бое №352
Від 09.09.2021р