

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Бедерака Ярослава Семеновича
«Оптимізація перетікань реактивної потужності
в системах електропостачання промислових підприємств
з урахуванням якості електроенергії»,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Актуальність роботи. Головним призначенням систем електропостачання є ефективне забезпечення потреб об'єктів національного господарства в енергії за мінімальних витрат, відповідної якості і достатнього рівня надійності. Принципи побудови, розвитку сучасних й перспективних систем енергопостачання повинні відповідати рівню й темпу загального прогресу техніки і технологій. Цього можна досягти лише на основі впровадження результатів нових теоретичних досліджень режимів систем електропостачання, які мають бути виконані з урахуванням наявного інформаційного та програмного забезпечення.

Одним з головних резервів для зниження втрат електричної енергії при її транспорті (до 80% від загальної цифри) в електричних мережах є оптимізація розподілу перетікань реактивної потужності. В той же час, слід відзначити, що в зв'язку з появою й поширенням нових технологічних процесів і, як наслідок, безперервним зростанням питомої ваги нелінійних і динамічних споживачів електроенергії, умови функціонування систем електропостачання все в більшому ступені відрізняються від нормальних. Для отримання достовірної інформації про ефективність електроспоживання необхідна реалізація результатів теоретичних досліджень в системах обліку електричної енергії з урахуванням її якості, оскільки відомо, що низька якість електричної енергії в електричних мережах суттєво спотворює вихідну інформацію цих систем. Крім того, наявність індуктивних та ємнісних елементів в системах електропостачання створює необхідні передумови для виникнення небезпечних резонансних процесів, а поява вищих гармонійних складових в струмі може викликати появу і достатніх умов для аварійних відключень.

Враховуючи сказане вище, а також те, що виконані автором дослідження дозволяють одержати оптимальні значення перетікань реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств як при відсутності джерел вищих гармонійних складових, так і при їх наявності, можна зробити висновок про актуальність дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Теоретичні дослідження дисертаційної роботи пов'язані з виконанням державної науково-технічної програми напряму «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», та комплексної програми Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», - «Енергетика сталого розвитку». Практичні результати отримані в рамках договірних науково-дослідних робіт «Виконання проектних робіт по модернізації та розвитку АСКОЕ ПАТ «Хмельницькобленерго» на межі з учасниками ОРЕ» та «Виконання проектно-кошторисної документації на інтегровану АСДТУ та АСКОЕ ПАТ «Хмельницькобленерго» (ПАТ «Хмельницькобленерго», м. Хмельницький), у яких автор був виконавцем окремих розділів.

Ступінь обґрунтованості висновків, рекомендацій та наукових положень. В представленій до захисту дисертаційній роботі основними результатами досліджень автора є нові моделі та методи аналізу перетікань реактивної потужності в системах електропостачання. Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується коректними постановками завдань, використанням сучасного апробованого математичного апарату та адекватних математичних моделей. Ступінь складності методів математичного моделювання, що застосовані в дисертаційній роботі, відповідають складності поставлених задач.

В дисертації отримані такі результати, що мають наукову новизну:

1) вперше розроблено метод розрахунку в режимі реального часу фактичних значень перетікань реактивної потужності для систем

електропостачання з різнохарактерним навантаженням при різній номінальній напрузі на межі балансової належності та місцях встановлення приладів обліку, що дозволило підвищити точність та обґрунтованість розрахунків за перетікання реактивної потужності;

2) вдосконалено методи аналізу режимів роботи системи електропостачання з конденсаторною установкою при наявності джерел вищих гармонійних складових, що дозволило забезпечити захист обладнання від резонансних явищ;

3) вперше розроблено метод визначення еквівалентного індуктивного опору асинхронних електродвигунів за рахунок обробки даних систем обліку електроенергії, що дало можливість виконувати аналіз режиму системи електропостачання в режимі реального часу;

4) вперше визначені локальні критерії оптимізації перетікань реактивної потужності для окремих джерел, які можуть бути застосовані для вибору оптимальної кількості включених в роботу компенсуючих пристроїв.

5) запропоновано удосконалений метод проведення статистичного аналізу даних, які зібрані автоматизованою системою контролю і обліку електроенергії, в частині визначення інтервалів стаціонарності та організації проведення обробки даних в режимі реального часу.

Достовірність основних результатів досліджень підтверджується коректністю використання математичного апарату та наукових положень. Робота проводилась на основі фундаментальних принципів теорії потужності та електроспоживання при наявності в електричній мережі вищих гармонік. Для розв'язання поставлених задач використовувались постулати та теореми теоретичної електротехніки, були застосовані методи математичного моделювання. Достовірність основних результатів досліджень також підтверджена коректними числовими експериментами за допомогою стандартного та розробленого програмного забезпечення.

Значення отриманих результатів для теорії і практики. Дисертаційне дослідження включає сукупність теоретичних та практичних результатів, які

полягають, зокрема, в удосконаленні методу розрахунку перетікань реактивної потужності в умовах різної номінальної напруги на межі балансової належності та на місцях підключення приладів обліку. Розроблені здобувачем методи моделювання становлять теоретичну основу для оперативного управління електропостачанням промислових підприємств.

Дослідження, проведені в дисертаційній роботі, стали основою програмного забезпечення, розробленого НВП «Енергія+» м. Київ для виконання комерційних розрахунків між ПАТ «АЗОТ» м. Черкаси та ПАТ «Черкасиобленерго», які проводяться з 2007 року. Знайшов практичне використання також метод розрахунку резонансної частоти в мережі, що складається з конденсаторної установки та активно-індуктивного навантаження, який дозволяє попередити резонансні явища при наявності джерел вищих гармонік (ТОВ «ТЕССА» м. Харків). Вдосконалена послідовність статистичного аналізу даних електричних навантажень використовується проектним інститутом ТОВ «Промелектропроект» (м. Київ) при проектуванні електричних мереж промислових споживачів.

Здобувачем розроблений метод розрахунку несинусоїдального режиму, який дає можливість оцінити внески основної та вищих гармонік в енергетичні втрати, що обумовлені спектральним складом напруги живлення. Запропоновано при обліку електричної енергії виконувати розрахунки неактивних складових повної потужності локальних режимів електричних мереж згідно спектрального складу (у відповідності з вимірюваннями значень струму і напруги в кожній фазі). Практична цінність для електроенергетичної галузі полягає в виявленні резервів підвищення якості постачання та споживання електроенергії.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 9 додатків.

У вступі обґрунтована необхідність подальшого розвитку методів аналізу перетікань реактивної потужності в системах електропостачання промислових

підприємств. Також розглянута задача запобігання резонансним явищам.

У першому розділі виконано аналіз сучасних наукових публікацій та досліджень з аналізу перетікань реактивної потужності в мережах промислових підприємств зі складною структурою та різнохарактерним навантаженням, при встановленні приладів розрахункового обліку електроенергії на нижчій напрузі. Автором доведено, що для такого випадку характерним є завищення оплати за перетікання реактивної потужності. Це впливає на оцінку ефективності застосування пристроїв компенсації реактивної потужності. Також слід пам'ятати, що підключення пристроїв компенсації паралельно асинхронному навантаженню при наявності джерел вищих гармонік може призвести до аварійних відключень обладнання.

Другий розділ присвячений розробці методів розрахунку перетікань реактивної потужності в режимі реального часу в системах електропостачання промислових підприємств зі складною структурою у випадку, коли облік електроенергії здійснюється на стороні нижчої напруги понижуючого силового трансформатора, а межа балансової належності з енергопостачальною організацією знаходиться на стороні вищої напруги.

Третій розділ розглядає питання інформаційного забезпечення аналізу перетікань реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. Розглянуті питання верифікації, відновлення та прогнозування облікових даних електроспоживання.

У четвертому розділі розроблено алгоритми програми з аналізу перетікань реактивної потужності за ретроспективними даними графіків навантажень розрахункового періоду та програми, яка в режимі реального часу за обліковими даними розраховує значення резонансної частоти. Визначені також заходи для захисту конденсаторної установки в момент включення нелінійного навантаження.

У додатках наведені: приклад звіту про перетікання реактивної електроенергії на ПАТ «АЗОТ» м. Черкаси; приклад практичного дослідження режиму роботи конденсаторної установки, підключеної через одну вітку

здвоєного струмообмежувального реактора за наявності джерел вищих гармонік та активно-індуктивного навантаження; алгоритм методу визначення імпедансу та резонансної частоти в контурі, що складається з конденсаторної установки та активно-індуктивного навантаження при наявності джерел вищих гармонік; список публікацій здобувача за темою дисертації; відомості про апробацію результатів дисертації; акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Структура дисертації, послідовність викладення матеріалу та його обсяг відповідають встановленим вимогам. Назва теми дисертації відповідає змісту останньої. Дисертація написана в зрозумілій, доступній формі. Стиль викладення матеріалу логічний, основні положення достатньо аргументовані, в тому числі посиланнями на літературні джерела. В цілому можна зробити висновок про завершеність даної дисертаційної роботи. Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і повно та відповідають змісту дисертаційної роботи. Загальні висновки по дисертації є коректними та відображають наукові й практичні результати, отримані автором.

Список використаних джерел достатньо повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 151 найменування.

Повнота викладу результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях. Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 28 наукових працях: у одній монографії, 13 публікаціях в наукових фахових виданнях України, 4 – у матеріалах наукових конференцій. Їх зміст та повнота викладення матеріалів роботи відповідають вимогам, що встановлені директивними документами.

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

Основні зауваження по роботі

1. У математичних виразах, що використані під час опису моделі, автор використовує коефіцієнти для врахування кратності фізичних величин (стор.

50). Це зручно на практиці, але, на мою думку, не є доцільним в науковій роботі. А якщо не вказувати використану кратність значень величин в формулах, то взагалі не має сенсу.

2. Автор у роботі одночасно використовує дві характеристики, для оцінки рівня компенсації реактивної потужності: коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) та коефіцієнт реактивної потужності ($\tan \varphi$). Через це в тексті інколи виникає плутанина. Так на сторінці 51 $\tan \varphi$, записаний зі знаком, чомусь по модулю не перевищує 1 і причому називається коефіцієнтом потужності. А на сторінці 53 те саме написано вже відносно $\cos \varphi$. Щоправда, в подальшому викладі, наприклад на сторінці 84, запис характеристики вже є коректним та загальноприйнятим: $\cos \varphi$ (ємнісний)=0,9 .

3. В роботі детально розглянута задача оптимізації реактивних потужностей в експлуатаційній постановці (стор. 82, вираз 2.5). В той же час, значна частина вирішуваних автором проблем, як і впровадження результатів у практику, відноситься до проектної постановки. Враховуючи те, що для розв'язку такої задачі необхідно тільки відповідно модифікувати цільову функцію і використовувати ті самі методи, доцільно було б більш детально розглянути і проектну задачу оптимізації перетікань реактивних потужностей.

4. Автор розглядає задачу визначення оптимального рівня компенсації як багатокритеріальну, з використанням значення глобального критерія у вигляді адитивної чи мультиплікативної функції локальних критеріїв (стор. 147). Але якщо при експлуатаційній постановці задач за критерій використовується мінімум витрат електроенергії на її транспорт, то слід відзначити, що він має квадратичну залежність від перетікань реактивної потужності, тобто обидва критерії не є повністю адекватними.

5. Для попередження виникнення резонансного процесу автор пропонує інтерактивну систему, з використанням світло-шумової сигналізації (стор. 124). Але рекомендоване упередження при оперативному прогнозуванні даних на один-два періоди, не можна вважати достатнім, враховуючи час, необхідний для реагування персоналу.

6. Автор значну частину розроблених алгоритмів через брак місця в основному тексті виніс в додатки. Зокрема, це стосується оригінального алгоритму визначення імпедансу та резонансної частоти в контурі (Додаток Д). Тому дивує рис. 4.4, на якому наведено тривіальний алгоритм визначення найбільшого значення в масиві чисел.

7. Незважаючи на високу в цілому якість написання тексту дисертаційної роботи, в ній наявні надто складні підрядні речення, які затрудняють розуміння змісту роботи, наприклад (стор.124): " За формулами, наведеними в підрозділі 2.4 розроблений алгоритм розрахунку резонансної частоти в контурі з різнохарактерним навантаженням, за яким розроблена спеціалістами ТОВ «ТЕССА» м. Харків програма, яка застосовується для захисту електроприймачів від резонансу струму на ПП. Або речення, яке займає половину сторінки 118 і починається словами: " За алгоритмом розроблений спеціалістами...".

8. В тексті роботи наявні описки та окремі помилки, в деяких реченнях не вистачає синтаксичних знаків, а в деяких вони є зайвими. Так у виразі на сторінці 84 (третій рядок) дужка, що закривається, розміщена невірно, в слові "проведення" на стор. 93 пропущена літера "р", "перевірявана" лінія на стор. 97 та інші.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру, не ставлять під сумнів наукову новизну або достовірність одержаних в дисертації результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Бедерака Ярослава Семеновича "Оптимізація перетікань реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств з урахуванням якості електроенергії" є закінченою науковою працею, що виконана автором особисто. За отриманими науковими результатами та змістом дана дисертаційна робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.14.02 - «Електричні станції, мережі і системи». У

дисертації за результатами виконаних автором досліджень вирішено важливе науково-практичне завдання, яке полягає в оптимізації перетікань реактивної потужності на промислових підприємствах при різній номінальній напрузі на межі балансової належності та на місцях підключення приладів обліку електроенергії і при можливій наявності в системі електропостачання джерел вищих гармонійних складових.

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 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника” щодо кандидатських дисертацій. Її автор, Бедерак Ярослав Семенович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент,
завідувач відділу оптимізації систем електропостачання
Інституту електродинаміки НАН України,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

Ю.І.Тугай

11.08.2017

