

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Гапона Дмитра Анатолійовича «Методи та засоби аналізу якості електропостачання та електромагнітної сумісності електротехнічних комплексів та систем», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи»

Актуальність обраної теми. Завдання систем живлення електротехнічних комплексів та систем полягають не тільки у безперервному і надійному забезпеченні електричною енергією, але і у реалізації раціональних і економічних режимів передачі енергії та її споживання. Як вітчизняними, так і зарубіжними вченими значна увага приділяється підвищенню енергоефективності процесів електропостачання і проблемам електромагнітної сумісності. Реактивна потужність та несиметрія сприяють підвищенню втрат електричної енергії у процесі її передавання. Такі явища як провали напруги, переривання, знижений або підвищений її рівень призводять до зупинки технологічних процесів, пошкодження або зниження ресурсу електротехнічного обладнання. Наявність вищих гармонік спричиняє додаткові втрати потужності у трансформаторах, погіршення метрологічних характеристик вимірювального обладнання енергосистем та порушення у роботі особливо чутливої апаратури. Флікер у мережі живлення світлотехнічних приладів здатен викликати додаткову втому та зниження працездатності персоналу. Відхилення частоти впливають на продуктивність насосів та вентиляційних систем і так далі. Головними факторами, що не дозволяють ефективно вирішувати цей спектр проблем є відсутність ефективних методів та нормативних документів визначення енергоефективності та відповідальності за спотворення якості електричної енергії, та засобів законодавчого або економічного впливу на порушників.

Тому обрана дисертантом тематика наукової роботи, що направлена на розробку методів та засобів аналізу якості електропостачання та електромагнітної сумісності електротехнічного обладнання, представляється

безумовно актуальною. Тим паче, що існуючі і викладені в технічній літературі методи є досить складними і неточними, а також не використовують в повній мірі усіх можливостей, які відкриваються у зв'язку з бурхливим розвитком апаратних і програмних засобів обчислювальної техніки. Дисертаційна робота в значній мірі заповнює прогалину в теорії і практиці покращення енергетичних показників та електромагнітної сумісності у електротехнічних системах і комплексах зі споживачами, які мають несиметричні, нелінійні властивості та характеризуються нестаціонарністю споживання у будь-яких комбінаціях.

Тематика дисертаційної роботи повною мірою узгоджується з директивними постановами Кабінету міністрів України, спрямованими на підвищення енергоефективності вітчизняної електроенергетики, зокрема з діями в рамках «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року», схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 15 березня 2006р. № 145-р, «Національного плану дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 року», що схвалений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2004 р. № 902-р; Державної Програми енергонезалежності, ухваленої Указом Президента України № 5/2015 Про стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» від 2 12.01.2015 р., в частині впровадження 100 відсотків обов'язкового комерційного обліку споживання енергоресурсів; Енергетичної стратегії України на період до 2030 р., що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071 від 24.07.2013, в частині: – розвитку електроенергетичної галузі; – розширення пропускної спроможності залізничних коридорів; Постанови Верховної Ради України «Про програму діяльності Кабінету Міністрів України» № 26-VIII від 11.12.2014 р. стосовно: розділу 7 «Нова політика енергетичної незалежності», а саме інтеграція української енергосистеми в мережу європейських енергосистем ENTSO-E та підвищення енергоефективності; «Програми енергозбереження на залізничному транспорті України в 2007 році» (затверджена 16.02.2007 року №ЦЗТ-12/112). Результати роботи використані при виконанні держбюджетної науково-дослідницької теми МОН України: «Розробка теоретичних основ проектування та регулювання гідротурбін» (№0119U002566),

та ініціативної теми «Розробка пріоритетних напрямів цифрової енергетики». (№0119U02071180) і, крім того, впроваджені у п'яти проектних і виробничих організаціях, а також у вищому навчальному закладі м. Харкова.

Достовірність результатів досліджень.

Надійність та достовірність результатів дослідження забезпечувалися адекватним методологічним і теоретичним обґрунтуванням основних положень роботи, системним та послідовним використанням комплексу методів дослідження, що відповідають меті, завданням, об'єкту та предмету дослідження; якісним і кількісним аналізом отриманих даних.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Основні наукові положення, висновки і рекомендації, які містяться в дисертаційній роботі, є обґрунтованими, так як вони відповідають основним законами теоретичної електротехніки, теорії систем електропостачання, математичному апарату, що використовується при дослідженнях і проектуванні електротехнічних систем.

Так, наприклад, для формування моделей електропостачання використовуються сучасні пакети моделювання та методи розрахунку параметрів схем заміщення. Для розрахунку графіків потужності еталонного реактивного споживача в дисертації застосований спеціальний скрипт, який дозволяє чисельно будувати тривимірні поверхні рішень, а для проведення загального експерименту розроблено спеціальний макет та програмне забезпечення. При моделюванні споживачів з нелінійними характеристиками адекватність розроблених візуальних моделей перевірена шляхом порівнянь із реальними осцилограмами отриманих у різних точках енергосистеми. Збіжність результатів розрахунків при використанні різних програмних пакетів також свідчить про обґрунтованість наукових положень дисертаційної роботи.

Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, наданих у дисертації.

Вивчаючи наукові праці дисертанта і саму дисертаційну роботу, можна зробити висновок про новизну і оригінальність запропонованого підходу до

розв'язання поставлених завдань на основі застосування нового математичного апарату та комп'ютерних моделей з метою визначення енергетичної ефективності режимів роботи навантаження та оцінки параметрів електромагнітної сумісності окремого споживача. Успішне вирішення в дисертації широкого спектру завдань визначення основних енергетичних показників систем електропостачання з розповсюдженими несиметричними і нелінійними споживачами підтверджує життєздатність й ефективність розроблених методів і алгоритмів. Оригінальність постановки завдань обумовлює в значній мірі і новизну наступних дій, що витікають з постановки завдань. Це стосується і розробки програмної реалізації рішення, яку дисертант втілює. Новизна характерна також і для запропонованого методу вимірювання параметрів режиму трифазної мережі. Нова ідея визначення джерела вищих гармонійних складових. Новий метод виділення окремих складових із загальних коефіцієнтів втрат. До речі, виявлення еталонного реактивного споживача до генерації вищих гармонік виглядає як абсолютно нетривіальний результат, який має бути розвинутий в наступних роботах дисертанта. Оригінальними і новими представляються і запропоновані способи обліку електричної енергії та її тарифікації. Реалізація запропонованих методів може представити інтерес при створенні систем обліку з контролем якості електроенергії, що прискорить їх впровадження в реальні системи електропостачання. Нарешті, досить складне і актуальне завдання визначення енергетичних показників в системах з декількома навантаженнями і урахуванням можливого вкладу кожного з них в створення несиметрії і вищих гармонік ефективно вирішено завдяки комплексному застосуванню запропонованих в дисертаційній роботі методів і підходів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що розроблені і перевірені на практиці методи визначення ефективності режимів у трифазних системах електропостачання з реактивними, несиметричними та нелінійними споживачами дозволяють зрештою забезпечити суттєве скорочення теплових втрат енергії в лініях електропередачі і підвищити коефіцієнт потужності та коефіцієнт корисної дії електротехнічних систем. Практична

значимість роботи підтверджується актами про впровадження результатів дисертаційної роботи у ТОВ «ТЕССА» (м. Харків) і ТОВ «Енергосервісне підприємство «Преобразователь» (м. Суми), при проведенні обстеження електроприймачів промислових підприємств, у ПАТ «Укргідропроєкт» під час роботи над проектом ГЕС, а також, окремі матеріали використані ТОВ «КиївПромЕлектроПроект» при розробці ДСТУ-Н Б В.2.80-2016 та у навчальному процесі НТУ «ХП» на кафедрі автоматизації та кібербезпеки енергосистем.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, в опублікованих працях. Вивчаючи опубліковані наукові праці і саму дисертаційну роботу, можна дійти до висновку, що в опублікованих 40 працях відображені усі основні наукові положення, висновки і рекомендації. Кількість опублікованих робіт досить рівномірно розподіляється по всім розділам. Розподіл робіт по рокам виконання дисертаційної роботи з 2013 р. по 2019 р. також досить рівномірний, що свідчить про систематичну роботу дисертанта над представленою кваліфікаційною роботою. Усі праці опубліковані у відомих фахових виданнях України, а 4 статті розміщені у виданнях, що індексуються в науково-метричній базі Web of Science. Це також позитивно характеризує намагання дисертанта донести основні результати дисертаційної роботи до широких кіл науковотехнічної спільноти.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Гапона Дмитра Анатолійовича складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, 2 додатків.

Дисертація є повністю завершеною науковою роботою, що містить усі необхідні елементи, розміщені й оформлені, в цілому, згідно з чинними нормами. Це стосується, зокрема, Вступу до дисертації.

У першому розділі виконано огляд сучасного стану контролю якості електропостачання. Виділено три головних існуючих напрямки досліджень – методи визначення відповідальності на основі статистичного аналізу,

детермінованого аналітичного підходу та методи з використанням теорії потужності. Зроблено висновки, щодо проблем їх практичного застосування.

У другому розділі проведено моделювання типової схеми електропостачання промислових об'єктів, що містять потужні нелінійні, реактивні та різкозмінні навантаження. Проведено аналіз впливу параметрів системи живлення, таких як довжина лінії електропередач та тип трансформатору на характеристики напруги у точці приєднання споживачів, а також вплив режимів роботи та параметрів споживача на ту ж напругу. Також проаналізовано сумісність сучасних стандартів EN 50160 та IEEE 591, що нормують характеристики напруги та струмів.

Третій розділ присвячений розробці математичних засад оцінювання енергетичної ефективності режиму електропостачання. Запропоновано математичне обґрунтування та фізичне тлумачення коефіцієнтів потужності та коефіцієнтів втрат у трифазних трипровідних та чотирьохпровідних мережах. Запропоновано визначення чисельної оцінки реактивності по співвідношенню обсягів енергії, що передається до споживача та від нього впродовж одного періоду мережі. Введені терміни еталонного реактивного та середньореактивного споживачів, визначені методи розрахунку їх параметрів. Запропоновано методи виділення окремих складових коефіцієнту втрат за несиметрією, нелінійністю, реактивністю та нестаціонарністю.

У четвертому розділі проаналізовано залежність частотної характеристики комплексного опору системи електропостачання від таких параметрів як довжина лінії, потужність трансформатору та характер навантаження. Зроблено висновки про необхідність нормування опору системи, як параметру системи електропостачання, в залежності від обмежень потужності споживання та розроблено емпіричну формулу оцінки цього опору. Також розвинуто метод вимірювання середньоквадратичних значень напруги та струму, їх гармонійного складу та частоти мережі за допомогою ітеративної чисельної процедури. До переваг методу відносяться робота з цифровими вхідними даними постійної частоти квантування та автоматичне підлаштування довжини вікна, за яким

обчислюються параметри струму та напруги. Запропоновано систему обліку електричної енергії, яка враховує коефіцієнти втрат, як показники енергетичної ефективності процесу електропостачання. Перевагами такого обліку є врахування обсягів енергії не тільки реактивної потужності, але й інших видів спотворень, таких як несиметрія та гармонічні спотворення. Також система обліку враховує стан показників якості електричної енергії та встановлює кількісну відповідальність за їх спотворення як для споживача, так і для постачальника. Запропоновано також тарифікацію даних обліку.

У п'ятому розділі проведено експериментальні дослідження розроблених методів оцінки енергетичної ефективності та визначення відповідальності за погіршення показників якості електричної енергії. Розроблено експериментальну установку на базі сучасної елементної бази. Показано коректність роботи визначення джерела вищих гармонік у системі з декількома споживачами за напрямками активної складової гармонік струму спотворення. Показано ефективність розроблених методів шляхом проведення аналізу осцилограм отриманих на тягових підстанціях залізниці, характерною рисою яких є високий рівень спотворень усіх видів - присутні нелінійність, несиметрія та реактивність. Проведено дослідження визначення відповідальності споживача за перевищення норм електромагнітної сумісності за такими показниками як несиметрія та нелінійність.

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

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 221 найменувань.

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

Зауваження за змістом дисертації. В ході вивчення змісту дисертації виникли зауважень, які можна сформулювати наступним чином:

1. У моделях, що використані у розділах 2 та 4 усі навантаження мають напругу живлення 10 кВ. Для підтвердження достовірності отриманих результатів та зроблених узагальнень слід було б провести моделювання і для інших класів напруг. Моделі, застосовані у розділі 4, слабо відрізняються від тих, що використані у розділі 2.

2. При проведенні дослідження сумісності стандартів EN50160 та IEEE 519 розрахунки наведені лише для 3, 9, 11 та 19 гармонік. Зроблене обґрунтування такого вибору є недостатнім, необхідно було зробити його більш розгорнутим або навести дані для характерного частотного спектру.

3. Автором запропоновано використання коефіцієнтів втрат, як показників енергетичної ефективності процесів електропостачання, які можуть бути отримані безпосередньо із коефіцієнтів потужностей. В свою чергу останні є відомими оцінками, які достатньо широко використовуються на практиці у теперішній час. Необхідно більш розгорнуте обґрунтування доцільності введення нових термінів та їх фізичного тлумачення.

4. Кількість наведених ілюстрацій екстремумів еталонного реактивного споживача у розділі 3 є надлишковою. Слід було обмежитися меншою кількістю, а решту винести у додатки. Крім того, на графіках відсутні позначення.

5. Не має повноцінного обґрунтування мета та значення запропонованої концепції середньореактивного споживача.

6. Так само необхідно більш розгорнуто пояснити метод обчислення коефіцієнту втрат від несиметрії, наведений у пункті 3.9 та визначити рівні похибок розрахунків.

7. П'ятий розділ містить у великій кількості одноманітний перерахунок отриманих експериментальних даних без будь-яких пояснень до них. Слід було вказувати лише найбільш значущі та вагомі для оцінки достовірності значення, а решту винести у додатки. Також необхідні більш розгорнуті пояснення отриманих результатів для читача.

8. Із висновків дисертації не зрозуміло, як саме забезпечується достовірність отриманих наукових результатів.

9. Скрипти розрахунку параметрів еталонного реактивного споживача, що використані у розділі 3 та комп'ютерну програму застосовану у розділі 5 доцільно було б навести в додатках дисертаційної роботи.

10. Дисертація та автореферат, на наш погляд, містить ряд орфографічних, пунктуаційних помилок, невдалих термінів і словосполучень: «атоматичне», «псує електроенергію», «кінцевий підсумок», «штрафний тариф» і т.д.

Незважаючи на похибки тексту, вони не впливають на розуміння змісту дисертаційної роботи.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження наукових ступенів». Розглядаючи відповідність дисертаційної роботи вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», можна зазначити наступне: Основні результати дисертації достатньо повно викладені у 40 наукових працях в спеціалізованих наукових виданнях, в тому числі 2 монографіях, 25 наукових працях у фахових виданнях, з яких 4 у виданнях, що належать до науково-метричної бази Web of Science, 13 наукових працях, які додатково відображають результати дисертації. Основні наукові положення і одержані результати дисертаційної роботи були представлені і обговорені на 10 міжнародних науковопрактичних конференціях достатньо високого науково-професійного рівня. Здобувач на захист докторської дисертації не виносить положення кандидатської дисертації (2012 р., спеціальність «Комп'ютерні системи та компоненти»). Усі наукові праці, що представляють докторську дисертацію, написані і опубліковані після захисту кандидатської дисертації. Дисертація і автореферат викладені логічно, послідовно, технічно грамотно, математично коректно. Автореферат дисертації за своїми обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам. Основний зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

Висновок. Дисертаційна робота Гапона Дмитра Анатолійовича «Методи та засоби аналізу якості електропостачання та електромагнітної сумісності електротехнічних комплексів та систем» є завершеною самостійною науковою працею. В ній отримані нові науково обґрунтовані результати і розв'язана важлива і актуальна науково-прикладна проблема підвищення енергетичної

ефективності та реалізації обліку електричної енергії з урахуванням її якості у системах електропостачання з вираженою несиметрією, несинусоїдальністю та нестационарністю. Запропоновані засоби та програмно реалізовані обчислення коефіцієнтів втрат та перевищення меж електромагнітної сумісності, направлені на підвищення якості електропостачання, коефіцієнтів потужності електротехнічних комплексів та систем. В цілому дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (із змінами), щодо докторських дисертацій, а її автор Гапон Дмитро Анатолійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – «Електротехнічні комплекси та системи».

Завідувач кафедри електроенергетики
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка», д.т.н.



Ю.А. Папаїка

Підпис Папаїки Ю.А.
засвідчено
внештатним секретарем



Галоченко Т.М.