

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Степури Олександра Васильовича

“Виявлення та оцінювання джерел спотворень якості електроенергії в розподільчих електричних мережах”,

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

### 1. Актуальність теми

Однією із найважливіших проблем економіки України є енергозаощадження. Ця проблема є багатогранною, має різні напрямки вирішення, кожний із яких не повинен залишитися поза увагою. Один із аспектів енергозаощадження, пов'язаний зі зменшенням втрат електроенергії, зумовлений низькою якістю електроенергії (ЯЕ). Відхилення показників якості електроенергії (ПЯЕ) від допустимих значень спричиняють зменшення терміну служби електротехнічного устаткування, його ефективності, а у деяких випадках – порушення технологічного процесу споживачів.

В умовах ринкової економіки енергопостачальне підприємство і споживач виступають як рівні комерційні партнери, суб'єкти єдиного процесу розподілу і споживання електроенергії. Для створення зацікавленості у підвищенні ЯЕ необхідно забезпечити такі умови, за яких збитки, що зазнають суб'єкти через низьку ЯЕ, оплачували б фактичні винуватці.

Аналіз стану наукових розробок виявлення нелінійних споживачів, виконаний автором, показав недостатню ефективність методів виявлення джерел спотворень, зокрема їх низьку чутливість за наявності сторонніх гармонічних спотворень.

У зв'язку з цим, питання, що пов'язані з підвищенням ефективності виявлення джерел спотворень в розподільчих електричних мережах є актуальним.

Крім того, актуальність роботи підтверджується її зв'язком з державними програмами, держбюджетними та господарсько-договірними науково-дослідними роботами. Зокрема, робота є складовою частиною науково-дослідних робіт, які проводились відповідно до наукового напрямку кафедри „Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент” Вінницького національного технічного університету (ВНТУ). Дисертаційна робота виконувалася відповідно до „Програми наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки України за пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки” у рамках науково-дослідної роботи № 22 К „Розробка методів та пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності”. Автор брав участь у виконанні науково-дослідних робіт як виконавець.

### 2. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, їх достовірність

Наукові положення, результати і висновки досліджень, що отримані в дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими та достовірними.

В дисертаційній роботі для вирішення поставлених науково-практичних задач використовувались методи досліджень, які базувалися: на теорії електротехніки – при отриманні аналітичних виразів методів виявлення та оцінювання впливу нелінійних і несиметричних споживачів на погіршення якості електроенергії в мережах; на теорії математичної статистики – при проведенні статистичної обробки результатів експериментальних досліджень.

Отриманні результати не суперечать вищезгаданим теоріям та методам, що не викликає сумніву у достовірності отриманих результатів.

### **3. Важливість результатів, що отримані в роботі для науки та практичного використання**

Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, є подальшим розвитком методів підвищення якості електричної енергії в розподільчих електричних мережах і полягає у вдосконаленні процесу виявлення та оцінювання джерел спотворень якості електроенергії в розподільчих електричних мережах шляхом використання умовних потужностей зворотної та нульової послідовностей.

В роботі отримано такі наукові результати:

1. Вперше обґрунтовано інформативні величини для оцінювання впливу нелінійних і несиметричних споживачів на погіршення якості електроенергії в розподільчих мережах з використанням миттєвих симетричних складових зворотної та нульової послідовностей, що забезпечує виокремлення спотворень, які зумовлені канонічними гармоніками, а також гармоніками, що кратні трьом.

2. Удосконалено метод виявлення нелінійних і несиметричних споживачів, який, на відміну від відомих методів, оснований на використанні умовних потужностей зворотної та нульової послідовностей, який забезпечує можливість кількісного оцінювання їх впливу на погіршення якості електроенергії.

3. Дістав подальшого розвитку метод аналізу чутливості виявлення нелінійних споживачів, який, на відміну від відомих методів, використовує відношення приросту умовної потужності зворотної та нульової послідовностей до приросту потужності гармонічної складової, що викликає цей вид спотворення. Це дало змогу оцінювання можливості виявлення нелінійних споживачів за наявності сторонніх гармонічних спотворень.

**Практичне значення отриманих результатів** роботи полягає у розробці АСКОВЕ з виявленням та оцінюванням впливу нелінійних і несиметричних споживачів на погіршення якості електроенергії. Їх впровадження сприятиме покращенню якості електроенергії, зокрема зменшенню несинусоїдності та несиметрії напруги в розподільчих мережах.

Одержані наукові результати а саме: метод виявлення та оцінювання впливу нелінійних і несиметричних споживачів на погіршення якості електроенергії впроваджено в ПП „Промавтоматика”, що підтверджено актом

про впровадження від 07.02.2019 р. Результати роботи також використовуються у ВНТУ на кафедрі “Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент” для підготовки фахівців за спеціальністю 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”, довідка про впровадження від 17.06.2019 р.

#### **4. Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях, апробація роботи**

Наукові положення та отримані результати достатньо повно представлені в опублікованих автором наукових працях та апробовані на науково-технічних конференціях.

За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, в тому числі 6 статей в наукових фахових виданнях України (з них одна – входить у науково-метричну базу SCOPUS), 1 – у виданні, що не внесене до переліку фахових для захисту дисертацій з технічних наук, 2 – у матеріалах іноземних конференцій та семінарів.

#### **5. Оцінка змісту дисертації**

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку і списку використаних джерел та посилань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мета та задачі, визначені предмет та об'єкт дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію результатів роботи та публікації за темою дослідження.

У першому розділі автором виконаний критичний аналіз літературних джерел, висвітлено результати попередніх досліджень, окреслено коло невирішених завдань, що потребують подальших наукових досліджень для їх практичного використання.

Проведений аналіз дозволив зробити висновки про те, що методи визначення дольового внеску, що оснований на проведенні активного експерименту з використанням увімкнення або вимкнення конденсаторної батареї, тощо мають недостатню метрологічну надійність. Недоліком методів виявлення джерел спотворення, які оснований на різниці реактивних потужностей за С. Фрізе і К. Будаану, є те, що вони не дозволяють розрізнити гармонічні складники, які зумовлюють струми зворотної та нульової послідовностей, а також виявити несиметрію навантажень за зворотною та нульовою послідовностями. З практичної точки зору важливо розробити АСКОЕ з функцією виявлення впливу споживачів, які спотворюють якість електроенергії.

У другому розділі показано, що в несиметричних несинусоїдних режимах електричних мереж пульсуюча потужність містить два складники, які зумовлені несиметрією та несинусоїдністю напруг і струмів. Складники, що зумовлені несиметрією, представлено миттєвими умовними потужностями зворотної послідовності. Миттєві потужності, що зумовлені несинусоїдністю, визначено

як різницю пульсуючої потужності та миттєвої умовної потужності зворотної послідовності.

Запропоновано вирази для оцінювання складників пульсуючої потужності в несиметричному несинусоїдному режимі в інтегральній та спектральній формах запису.

Проаналізовано можливість виявлення джерел спотворень за складниками пульсуючої потужності в несинусоїдному режимі, для якого струм навантаження містить п'яту та сьому гармоніки, амплітуди яких становлять відповідно 5 % та 4 % від амплітуди основної гармоніки, і показано, що складники пульсуючої потужності складають при цьому 5...10 % від активної та реактивної потужностей.

У третьому розділі обґрунтовано доцільність застосування системи миттєвих симетричних складових. На основі теорії миттєвої потужності введено миттєві умовні потужності, що пропорційні струму зворотної послідовності, які дозволяють характеризувати вплив нелінійних споживачів на погіршення якості електроенергії, а для оцінювання вини електропостачальної організації, яка полягає в неефективній побудові розподільчої мережі – миттєві умовні потужності, що пропорційні напрузі зворотної послідовності. Проаналізовано можливість виявлення та оцінювання впливу джерел спотворень (несиметрії та вищих гармонік) на якість електроенергії трифазних мереж з використанням миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності. Показано, що за наявності гармонічних спотворень середньоквадратичні значення умовних потужностей зворотної послідовності зростають і становлять від 5...10 % від основної потужності, що створюється напругою та струмом основної частоти прямої послідовності.

Для оцінювання впливу нелінійних та несиметричних споживачів на незрівноваженість в мережі, доцільно використовувати миттєві умовні потужності, що пропорційні струму нульової послідовності, а для оцінювання вини електропостачальної організації, яка полягає в неефективній побудові розподільчої мережі – миттєві умовні потужності, що пропорційні напрузі нульової послідовності. Формування цих величин здійснюється з використанням системи  $\alpha, \beta, 0$ -координат, що істотно спрощує побудову вимірювальних пристроїв. Показано, що за наявності гармонічних спотворень середньоквадратичні значення умовних потужностей нульової послідовності зростають і становлять від 5...10% від основної потужності, що створюється напругою та струмом основної частоти прямої послідовності.

У четвертому розділі проаналізовано чутливість виявлення нелінійних споживачів, які спотворюють якість електроенергії, методом умовних потужностей зворотної та нульової послідовностей. Для оцінювання чутливості пропонується використати відношення середньоквадратичних значень умовних активної та реактивної потужностей зворотної та нульової послідовностей до значення повної потужності гармонічного складника, який є основою для формування струмів відповідних послідовностей. Показано, що метод умовних потужностей зворотної та нульової послідовностей забезпечує надійне виявлення споживачів, струм спотворення яких складає 10% і більше від

сумарного струму спотворення усіх споживачів (системи). Несиметрія навантажень не знижує чутливості методу. Використання середніх значень умовних потужностей зворотної та нульової послідовностей дозволяє виявити споживачів, які мають несиметрію навантажень за зворотною та нульовою послідовностями. Збільшення вмісту вищих гармонік сторонніх споживачів (системи) не впливає на чутливість для споживачів з різним характером спотворень.

У п'ятому розділі описано практично реалізоване АСКОЕ з функцією виявлення та оцінювання впливу нелінійних і несиметричних споживачів на погіршення якості електроенергії.

## 6. Зауваження щодо змісту і результатів роботи

1. В авторефераті та в тексті дисертаційної роботи при розгляді актуальності наукових досліджень бажано було б вказати прізвища вчених та наукові школи, які займаються даним науковим напрямком.

2. Доцільно було б більше уваги приділити нормуванню допустимого впливу споживачів та електропостачальних організацій на зниження показників якості електроенергії в розподільчій мережі. Твердження "Потужності, які пропорційні струму нульової послідовності, характеризують спотворення, що виникають з вини споживачів, а потужності, які пропорційні напрузі нульової послідовності, характеризують спотворення, що виникають в мережі живлення. Якщо останні потужності перевищують деяке нормативне значення, то за перевищення має відповідати електропостачальна компанія" є декларативним.

3. Незрозуміло, яким чином «використання запропонованих інформативних параметрів  $P_{u_2}, Q_{u_2}$  та  $P_{u_0}, Q_{u_0}$  одночасно стимулює електропостачальні організації до встановлення більш потужних трансформаторів, що сприятиме покращенню оцінки якості електроенергії».

4. Бажано було б в більшій мірі показати практичну цінність роботи, який технічний чи економічний ефект отримано.

5. Суть економічного критерію ефективності контролю якості електроенергії викладено не чітко, а в авторефераті дисертації – про це лише згадано.

6. Дещо сумбурно подано висновки дисертації. Зокрема, висновок 3 логічно повинен знаходитись після висновку 6.

7. Рисунки мають різне позначення по осях. Наприклад на рис. 1 автореферату дисертації по осі абсцис відкладено час: 0,01, 0,02, ... с, а на рис. 2 – графіки побудовано з частотою дискретизації 2000 точок на періоді.

8. Інформативність графіків, перенесених з середовища Mathcad, недостатня. Наприклад, потужності на рис. 8 і рис. 9 (див., наприклад, автореферат дисертації) відрізняються амплітудними значеннями, які за зовнішнім виглядом оцінити не можна.

9. Автореферат дисертації містить низку неточностей: 4 стор, 10-ий ряд зверху – «огляд». Чому не аналіз? 4 стор. 11 рядок зверху «дольового внеску...». Внеску чого і куди? В тексті 1-го розділу мова йде про процеси і явища в

розподільчих мережах. Але про це в трьох пунктах висновків до першого розділу не сказано. Не розкрита суть величин  $p$ ,  $P$  у формулі (1).

## 7. Висновки про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, практичним значенням, особистим внеском автора, обсягом і рівнем публікацій, достовірністю відповідає встановленим вимогам до дисертацій та авторефератів.

Результати роботи викладено чітко, послідовно та логічно, висновки за розділами та загальні висновки дисертації містять якісні і кількісні наукові та практичні результати.

За поставленою метою та вирішеними задачами, об'єктом та предметом досліджень, отриманими результатами робота Степури Олександра Васильовича відповідає паспорту спеціальності 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. Автореферат достатньо повно відображає основний зміст дисертації і відповідає вимогам щодо його обсягу й оформлення.

Основні результати дисертації мають практичне впровадження.

## 8. Висновки щодо дисертації в цілому

За результатами аналізу змісту дисертації та її автореферату вважаю, що дисертація Степури Олександра Васильовича є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішена важлива науково-технічна задача щодо підвищення чутливості виявлення та оцінювання джерел спотворень якості електроенергії в розподільчих електричних мережах, отримані нові науково обґрунтовані результати.

Враховуючи актуальність, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, вважаю, що дисертаційна робота «Виявлення та оцінювання джерел спотворень якості електроенергії в розподільчих електричних мережах», відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Степура Олександр Васильович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри автоматизації  
та кібербезпеки енергосистем  
Національного технічного університету  
„Харківський політехнічний інститут”,  
доктор технічних наук, професор,  
лауреат Державної премії України  
в галузі науки і техніки

«25» листопада 2019 р.



О. Г. Гриб

ДЧУЮ:  
СЕКРЕТАР

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Заковоротний О.Ю.

25

11

20 19