

В І Д Г У К

***офіційного опонента ГАПОНА Дмитра Анатолійовича
на дисертаційну роботу УДОВИКА Олександра Васильовича
«Електромагнітна сумісність промислових систем електропостачання в
умовах обмеженої потужності енергосистеми», подану на здобуття
наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 –
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»***

Актуальність теми. Енергетика України сьогодні функціонує в умовах надскладних викликів, пов'язаних із воєнною агресією росії, руйнуванням значної частки генеруючих потужностей та системоутворювальних підстанцій. До ключових викликів для української енергосистеми належать технічні й експлуатаційні обмеження генерації, забезпечення надійності та якості електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, максимальне впровадження відновлюваних джерел енергії, а також розвиток децентралізованих систем генерації електричної та теплової енергії для промисловості та міст. Зв'язок з європейською системою ENTSO-E дає змогу Об'єднаній енергетичній системі України підтримувати стійкість режимів та надійність електропостачання. Реальні електричні режими систем електропостачання підприємств характеризуються підвищеними втратами електроенергії, пов'язаними з переходом до схем післяаварійних режимів та процесами перетворення електроенергії. Високий рівень втрат в електричних мережах України зумовлений руйнуванням генеруючих потужностей і магістральних ліній електропередачі, недостатнім використанням інтелектуальних пристроїв FACTS (Flexible AC Transmission Systems) і засобів регулювання напруги, а також невирішеністю проблем якості електричної енергії, особливо в умовах обмеженої потужності енергосистеми. Зниження показників якості напруги призводить до погіршення енергетичної ефективності роботи електричних мереж за

комплексом показників — відхиленням, несиметрією та несинусоїдальністю напруги. Проблема якості електричної енергії є складовою комплексного поняття електромагнітної сумісності систем електропостачання. В умовах роботи пошкодженої енергосистеми або переходу до децентралізованого принципу побудови електричних мереж проблема якості електроенергії набуває особливого значення, насамперед для промислових об'єктів і віддалених від центрів живлення районів.

У зв'язку з цим удосконалення та розвиток концепцій і моделей забезпечення електромагнітної сумісності потужних електротехнологічних установок в умовах режимних і схемних обмежень є актуальною науковою задачею, вирішенню якої і присвячено дисертаційну роботу Удовика О.В.

Об'єкт дослідження — електромагнітні процеси передачі, перетворення та споживання електроенергії у системах електропостачання промислових підприємств за наявності нелінійних і несиметричних навантажень в умовах обмеження потужності енергосистеми.

Предмет дослідження — показники якості напруги при живленні різкозмінних, нелінійних та несиметричних навантажень, а також зв'язки цих показників з режимними особливостями технічних і технологічних обмежень потужності енергосистеми.

Ідея роботи — забезпечення електромагнітної сумісності систем електропостачання промислових підприємств шляхом урахування особливостей генерування вищих гармонік при збереженні оптимального перетоку реактивної потужності та контрольованому приєднанні джерел розподіленої генерації.

Наукова задача полягає у встановленні закономірностей реалізації енергоефективних режимів роботи систем електропостачання промислових підприємств з урахуванням режимних варіацій частотного складу вищих гармонік та інтергармонік, які відрізняються від існуючих можливістю врахування острівних режимів або режимів обмеження потужності енергосистеми.

Аналіз структури дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячено аналізу досліджень і публікацій у галузі електромагнітної сумісності промислових систем електропостачання. Показано, що потребують уточнення залежності для моделювання та прогнозування показників несиметрії, несинусоїдальності та коливань напруги. Для налагодження нормальної експлуатації систем електропостачання з відновлюваними джерелами енергії обґрунтовано необхідність перевірки вузлів навантаження на виникнення резонансних явищ. Результати аналізу дали змогу сформулювати етапи та завдання дослідження.

У другому розділі досліджено різноманітні електромагнітні завади у промислових системах електропостачання з несиметричними та нелінійними електричними навантаженнями. При аналізі систем електропостачання гірничих підприємств визначено характерні особливості формування максимального навантаження на енергосистему з урахуванням циклічних процесів потужних стаціонарних установок і підземних технологічних ланок. Показано, що можливі різні схеми приєднання нелінійних електромагнітних завод та зниження коефіцієнта потужності до незадовільних значень ($\cos \varphi = 0,4$). Стохастичний характер функції струму та вищих гармонік при роботі дугових і феросплавних печей зумовлює використання елементів теорії спектрального аналізу для визначення окремих показників якості напруги.

У третьому розділі особливу увагу приділено частотному складу первинного струму перетворювачів частоти при централізованому живленні у післяаварійних та острівних режимах. Порушення електромагнітної сумісності при цьому спостерігається у вигляді резонансних явищ на шинах з джерелами розподіленої генерації. Запропонована математична модель прогнозування резонансних явищ дає змогу визначати резонансні частоти при зміні конфігурації як схем внутрішнього електропостачання, так і зовнішніх електричних мереж. Показано, що пристрої FACTS у вигляді пасивних фільтрів та STATCOM беруть участь у створенні резонансного контуру і за певних співвідношень параметрів можуть впливати на

порушення електромагнітної сумісності. У роботі також запропоновано оригінальний підхід до симетрування «ослаблених» цехових електричних мереж, який полягає у врахуванні фазності приєднання несиметричного споживача та відрізняється від існуючих способів можливістю врахування потужності короткого замикання у вузлі навантаження й особливих режимів електроспоживання.

У четвертому розділі в середовищі Simulink / MATLAB створено моделі промислових електричних мереж з інтелектуальними регуляторами FACTS. У спеціалізованому програмному забезпеченні виконано розрахунки показників енергетичної ефективності при роботі дугових сталеплавильних печей. Визначено діапазон розбіжності цих показників при моделюванні та експериментальних дослідженнях. Сформульовано й представлено науково обґрунтований підхід до визначення показників якості напруги у розгалужених промислових системах електропостачання з використанням параметрів схем заміщення та урахуванням особливостей їх роботи у післяаварійних режимах. Отримані похибки при розрахунку показників електромагнітної сумісності перебувають у межах допустимих для подібних систем значень і можуть бути зменшені при раціональному виборі параметрів фільтро-компенсуючих пристроїв.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Удовика О.В., є високим і базується на аналізі наукових праць за темою дослідження, коректній постановці мети й завдань, використанні сучасного математичного апарату та прикладного програмного забезпечення, перевірці отриманих результатів і логічному формулюванні висновків.

Положення, висновки і рекомендації, наведені в дисертаційній роботі Удовика О.В., достатньою мірою обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів.

Достовірність результатів досліджень забезпечується коректністю використаного математичного апарату, методів статистичного аналізу та законів розподілу. Дослідження виконано з використанням комп'ютерного

моделювання. Отримані результати перевірено із застосуванням даних діючих промислових підприємств України, що підтверджує достовірність сформульованих у дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій.

Основні результати, отримані Удовиком О.В. в дисертаційній роботі, які мають суттєву наукову новизну:

1. Встановлено, що особливі режими електропічних установок, підйомних машин і прокатних станів, які визначаються викривленням форми напруги та порушенням її симетрії, в острівних режимах роботи енергосистеми призводять до суттєвого погіршення енергоефективності.

2. Для умов системи електропостачання промислового підприємства отримано закономірності, що пов'язують параметри резонансних процесів у вузлі навантаження 6-10-35 кВ з кількістю, потужністю та режимами роботи інтелектуальних пристроїв FACTS і відрізняються від існуючих можливістю прогнозувати ділянки амплітудно-частотних характеристик з резонансними явищами при приєднанні до вузлів навантаження сонячних електростанцій.

3. Вперше запропоновано метод прогнозування показників якості напруги при врахуванні режимних коливань потужності короткого замикання, що дозволяє оперативно коригувати уставки засобів захисту та інтелектуальних пристроїв корекції коефіцієнта потужності.

Основні наукові положення, що виносяться на захист:

1. Виконання вимог електромагнітної сумісності у промислових системах електропостачання забезпечується при зниженні потужності короткого замикання у вузлах технологічного навантаження не більше ніж на 30 % від значення нормального режиму потужності енергосистеми.

2. Джерела розподіленої генерації у вузлах потужного промислового навантаження з нелінійним та несиметричним характером призводять до виникнення резонансів напруги на частотах у діапазоні 100-3500 Гц, що перебуває поза межами стандартних налаштувань інтелектуальних пристроїв компенсації реактивної потужності.

Практична цінність роботи полягає у:

1. розробці методики, алгоритму та програмного забезпечення для моделювання втрат активної потужності й електроенергії у промислових системах електропостачання;
2. розробці моделі визначення резонансних явищ у вузлах навантаження 6-10-35 кВ з вентильними перетворювачами та сонячними інверторами;
3. розробці рекомендацій щодо вибору кількості та потужності пристроїв компенсації реактивної потужності з урахуванням можливості виникнення резонансних явищ.

Дисертація Удовика О.В. складається з анотації двома мовами, змісту, переліку умовних позначень і скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 80 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 188 сторінок.

Наукові та практичні результати роботи Удовика О.В. мають впровадження в умовах діючих підприємств, що підтверджується актами впровадження на АТ «Нікопольський завод феросплавів», сонячній електростанції «АЛЬФА ЕНЕРДЖІ ГРУП» та у навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи Удовика О.В. опубліковано у 11 наукових публікаціях, з яких 7 статей — у наукових фахових виданнях України; результати роботи апробовано на чотирьох міжнародних наукових конференціях та семінарах.

Академічна доброчесність.

Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі та наукових публікаціях, у яких висвітлено основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У працях, опублікованих у співавторстві,

використано лише ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків здобувача. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів супроводжується посиланнями на відповідні джерела.

Щодо дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. У першому розділі доцільно було б чіткіше окреслити, для яких саме груп промислових підприємств насамперед призначені запропоновані наукові та практичні результати роботи.

2. На стор. 94 зазначено: «Викликає науковий інтерес дослідження закономірностей зміни неактивних складових повної потужності при несинусоїдальності та несиметрії напруги у промислових електричних мережах при островних режимах енергосистеми та автономних системах електропостачання з відновлюваними джерелами енергії». Доцільно було б розкрити, чим саме зумовлений наведений науковий інтерес і яке практичне продовження має цей напрям дослідження.

3. Розділ 3.2 стосується моделювання показників несиметрії напруги. Варто було б детальніше пояснити, які саме джерела несиметрії враховувалися при моделюванні.

4. У тексті дисертації недостатньо чітко розкрито практичний зміст отриманих залежностей (розділ 3.3-3.4, стор. 104), що потребує додаткового обґрунтування.

5. У формулюванні другого наукового положення доцільно конкретизувати, які саме джерела розподіленої генерації враховано, оскільки така конкретизація полегшила б сприйняття отриманих результатів.

6. Потребують додаткового пояснення залежності 3.10-3.11 (розділ 3): бажано чітко зазначити, чи отримані вони розрахунковим, чи експериментальним шляхом.

7. У роботі трапляються окремі орфографічні, пунктуаційні та стилістичні неточності, однак їх кількість не є значною і не впливає на загальне позитивне сприйняття дисертації.

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Удовика О.В., її наукову новизну і практичну цінність.

Висновок

Дисертаційна робота Удовика Олександра Васильовича «Електромагнітна сумісність промислових систем електропостачання в умовах обмеженої потужності енергосистеми» є завершеною науководослідною працею, у якій розв'язано важливу наукову задачу, пов'язану з удосконаленням методів забезпечення електромагнітної сумісності в промислових системах електропостачання, що має істотне значення для підвищення енергетичної ефективності та надійності їх роботи у післяаварійних режимах.

За своїм змістом дисертаційна робота відповідає спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, зокрема вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44, а здобувач Удовик Олександр Васильович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем
Національного технічного університету «Харківський політехнічний
інститут»

д.т.н., доц.



Дмитро ГАПОН

Підпис
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
" " " 20__ р.

