

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Ягуп Катерини Валеріївни «Покращання енергетичних показників електротехнічних систем із застосуванням пошукової оптимізації на комп'ютерних моделях», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

### *Актуальність обраної теми дисертаційної роботи*

Електропостачання споживачів електричної енергії традиційно здійснюється трифазними електричними мережами. При проектуванні електричних мереж виходять із забезпечення потрібними рівнями електричної потужності у припущенні, що всі три фази електричної мережі завантажені рівномірно синусоїдальними струмами. Однак на практиці, внаслідок довільного характеру навантажень, умови споживання електричної енергії порушуються. Сільськогосподарські та побутові навантаження часто підключаються до одної фази, що викликає несиметрію струмів і напруг і порушує рівномірність навантажень на джерела енергії та самі мережі. При цьому виникають потоки реактивної потужності, обумовлені зсувами струмів відносно живильних напруг. Крім того, пристрої з використанням електромагнітних полів, до яких відносяться трансформатори і асинхронні двигуни, також викликають зсуви струмів і потоки реактивних потужностей. Споживачі з нелінійними приладами обумовлюють також негативні явища, пов'язані з викривленням синусоїдальної форми струмів в системах електропостачання. Ці явища особливо небезпечно проявляються в останнє десятиліття завдяки значному розширенню номенклатури електроспоживачів. Несиметрія, нелінійність і «реактивність» навантажень в трифазних мережах можуть різко погіршувати енергетичні показники електропостачання і якість електричної енергії в системі. Тому дисертаційна робота Ягуп К. В., що присвячена питанням поліпшення енергетичних показників електротехнічних систем, є актуальною, оскільки, в решті решт, завдяки цьому забезпечується зниження втрат електричної енергії в мережах, підвищується коефіцієнт корисної дії системи електропостачання і забезпечується економія палива при генерації електричної енергії. Актуальність обраної теми пов'язана з її відповідністю низці урядових постанов, спрямованих на підвищення енергоефективності електроенергетики, таких, як «Енергетична стратегія України на період до 2030 року», що схвалена розпорядженням Кабінету міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р; «Енергетична стратегія України на період до 2030

р.», що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071 від 24.07.2013; «Програма енергозбереження на залізничному транспорті України в 2007 році», що затверджена 16.02.2007 року №ЦЗТ-12/112) та інших. Робота виконувалась також в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України «Розробка наукових основ вдосконалення електромеханічних транспортних систем», (ДР № 0117U000659), де здобувач була виконавцем окремих розділів та співавтором звіту з науково-дослідної роботи. Позитивним моментом, що підкреслює актуальність дисертаційної роботи, є зацікавленість низки організацій, що спеціалізуються в постачанні електроенергії і розробці систем електропостачання, і які прийняли результати роботи до використання в своїй діяльності, що підтверджено відповідними актами про впровадження.

***Ступінь обґрунтованості наукових положень,  
висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації***

В дисертації представлено докладний аналіз відомої технічної інформації з питань ефективності електропостачання електротехнічних систем, ступеню впливу факторів несиметрії і несинусоїдальності струмів та напруг на енергетичні показники систем електропостачання, а також шляхів вирішення проблеми підвищення енергетичних показників електротехнічних систем. На основі аналізу зроблено висновок про перспективність розробки науково обґрунтованих методів аналізу оптимальних режимів і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв для поліпшення енергетичних показників і якості електроенергії в системах електропостачання несиметричних і нелінійних навантажень. Перспективність застосування методів для розв'язання вказаних задач не викликає сумнівів, оскільки вони знайшли застосування в різних галузях науки і техніки.

Через те що відомі методи аналізу оптимальних режимів і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв в системах електропостачання не є універсальними і точними, обґрунтовано була поставлена задача розробки методів аналізу оптимальних режимів і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв для схем різної складності з урахуванням живильних ліній енергосистем з використанням імітаційних моделей систем електропостачання і оптимізаційних методів.

Запропоновано наукові положення поліпшення енергетичних показників в електричних системах з несиметричними і нелінійними навантаженнями. В основу положень покладено оптимізаційні методи для компенсації реактивної потужності і симетрування струмів, а також для синтезу симетро-компенсуючих пристроїв. Всі положення, висновки і

рекомендації обґрунтовано достатньо переконливо з позицій загальної теорії електротехніки, і, зокрема, з урахуванням наукових праць в галузі симетрування і компенсації реактивної потужності в електротехнічних системах. Сказане підтверджується також численними прикладами застосування запропонованого метода пошукової оптимізації з використанням комп'ютерних моделей для знаходження оптимальних режимів і підвищення енергетичних показників в електротехнічних системах різного призначення.

Автором коректно обґрунтована необхідність розробки нових методів пошуку оптимальних режимів при несиметрії і порушенні синусоїдальності живильних струмів із широким застосуванням сучасних програмних засобів комп'ютерної математики, що дозволяє автоматизувати розрахунки і підвищити їх точність. Подальша перевірка теоретичних результатів шляхом математичного моделювання та розв'язання з їхньою допомогою реальних практичних задач є обґрунтованими.

Основні допущення, прийняті в основу теоретичних досліджень, є коректними, а отримані результати не суперечать відомим уявленням в галузі поліпшення енергетичних показників електротехнічних систем. Міра обґрунтованості методів математичного моделювання, що застосовуються в роботі, відповідає вимогам поставлених задач.

### ***Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації***

Достовірність основних положень, висновків і рекомендацій, що наведені в роботі є досить високою, тому що усі головні результати засновані на чіткій і логічній постановці задач та коректному застосуванні фундаментальних положень: теорії електротехніки; теорії графів, матричних методів для розрахунку та моделювання режимів роботи систем електропостачання з несиметричними і нелінійними навантаженнями; системного підходу при програмній реалізації пошукових методів оптимізації; методу декомпозиції при знаходженні оптимальних режимів в системах з декількома несиметричними та нелінійними навантаженнями і синтезом симетро-компенсуючих пристроїв з урахуванням вкладу кожного навантаження в створення реактивної потужності і несиметрію.

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується також узгодженістю теоретичних даних з даними, що отримані при моделюванні, співставленням розв'язань задач в різних програмних засобах комп'ютерної математики, а також при впровадженні результатів дисертаційної роботи.

### ***Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації***

Аналіз дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок, що автором у процесі досліджень отримані такі нові основні результати досліджень:

- вперше задача визначення оптимального режиму і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв поставлена як задача пошукової оптимізації, що дозволяє одночасно знаходити параметри оптимального режиму і параметри симетро-компенсуючих пристроїв, запропоновані критерії оптимізації, розроблена програмна реалізація процесів пошукової оптимізації з використанням комп'ютерних моделей при розв'язанні задач поліпшення енергетичних показників систем електропостачання;
- вперше запропоновано звільнення змінних оптимізації шляхом збільшення їх кількості, що дозволяє прискорити процес знаходження локального мінімуму, а перехід до дійсних параметрів глобального мінімуму здійснити перерахунком величин змінних оптимізації на основі фундаментальних законів електротехніки;
- вперше запропоновано обертання прямої симетричної складової струмів джерел, за допомогою якого на моделі можна отримати параметри симетро-компенсуючого пристрою для будь якого симетричного режиму, що дозволило вперше виявити неоднозначність режиму повної компенсації реактивної потужності в трипровідній системі електропостачання;
- вперше, із застосуванням запропонованого методу пошукової оптимізації на комп'ютерних моделях, здійснено аналіз оптимальних режимів і синтез симетро-компенсуючих пристроїв для трипровідної і чотирипровідної узагальнених трифазних систем електропостачання з несиметричними навантаженнями;
- вперше запропоновано метод декомпозиції системи електропостачання для знаходження параметрів оптимального режиму такої системи при відсутності симетро-компенсуючого пристрою з подальшим їх структурним і параметричним синтезом, який дозволяє спростити математичні моделі та підвищити збіжність процесів пошукової оптимізації.

*Наукова новизна роботи* полягає в тому, що у дисертаційній роботі запропоновано якісно новий підхід до розв'язання задач визначення оптимальних режимів і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв в системах енергопостачання електротехнічних систем і комплексів з нелінійними і несиметричними споживачами, заснований на широкому використанні комп'ютерних моделей систем у сукупності з оптимізаційними методами і з

програмною реалізацією в сучасних пакетах прикладних програм комп'ютерної математики. Це дозволяє, як переконливо показано в дисертаційній роботі, максимально завантажити обчислювальну техніку при вирішенні таких завдань, скоротити час на отримання результатів, підвищити точність визначення параметрів симетро-компенсуючих пристроїв і автоматизувати процеси їх структурного і параметричного синтезу. Суттєво новими є і рекомендації для побудови систем управління напівпровідниковими пристроями для активної фільтрації, які автор отримав на основі запропонованих оптимізаційних методів. Представляють безсумнівний інтерес, з точки зору новизни, і рекомендації та результати розв'язання поставлених завдань для випадків живлення декількох несиметричних або нелінійних навантажень з урахуванням вкладу кожного з них у створенні несиметрії і несинусоїдальності струмів і напруг в електротехнічній системі. Все назване в сукупності представляється значним досягненням для розвитку теорії симетрування і компенсації реактивної потужності і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв.

### ***Практичне значення результатів дисертації.***

Практичне значення одержаних результатів в галузі поліпшення енергетичних показників електротехнічних систем полягає у тому, що запропоновані, теоретично розроблені і шляхом комп'ютерного експерименту підтверджені методи і алгоритми з використанням комп'ютерних моделей для визначення режимів повної компенсації реактивної потужності, симетрування струмів та поліпшення гармонійного складу у трифазних трипровідних та чотирипровідних системах електропостачання із несиметричними реактивними та нелінійними навантаженнями дозволяють забезпечити оптимальні режими, завдяки чому досягається значне скорочення втрат електричної енергії та підвищення коефіцієнтів потужності та корисної дії електротехнічних комплексів та систем. Практична цінність роботи підтверджена актами про впровадження результатів дисертаційної роботи в Міжнародний консорціум «Енергозберігання» (м. Харків), ДП «Проектно-вишукувальний інститут «Укрзалізничпроект» залізничного транспорту України» (м. Харків), в Регіональній філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» (м. Харків), у АК «Харківобленерго» (м. Харків), у навчальні процеси в ХНУМГ імені О.М.Бекетова на кафедрі електротранспорту та в НТУ «ХПІ» на кафедрі автоматизації та кібербезпеки енергосистем.

### ***Рекомендації щодо використання результатів дисертації***

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при дослідженні, проектуванні та впровадженні електротехнічного обладнання пристроїв для симетрування та компенсації реактивної потужності в системах енергопостачання електротехнічних комплексів з метою поліпшення енергетичних показників, підвищення якості електричної енергії та електромагнітної сумісності систем електропостачання в цілому.

### ***Висновки про відповідність дисертації вимогам Порядку присудження наукових ступенів***

Вважаю, що дисертаційна робота Ягуп Катерини Валеріївни є завершеною самостійною науково-дослідною роботою.

*Основні результати дисертації достатньо повно викладені у 41 науковій праці в спеціалізованих наукових виданнях (12 праць одноосібно), в тому числі 2 монографії, 7 статей у виданнях що належать до науково-метричних баз SCOPUS та WEB of Science, 32 наукові праці у фахових виданнях, а також у 5 наукових працях, які додатково відображають результати дисертації, в тому числі 2 праці в зарубіжних виданнях і патент на корисну модель.*

*Апробація результатів дисертації.* Основні наукові положення і одержані результати роботи доповідалися і обговорювалися на 23 міжнародних науково-практичних конференціях в 2009 – 2017 роках.

*Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.* Оформлення автореферату за своїм обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам. Основний зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

*Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень, на основі яких захищена кандидатська дисертація.* Здобувач на захист не виносить положення, за якими була захищена кандидатська дисертація.

*Оформлення дисертації.* Дисертація і автореферат викладені логічно, послідовно, грамотно, математично коректно, оформлені достатньо ретельно.

## Зауваження за змістом дисертації.

1. В назві дисертації використане слово **покращання**, що означає - стати кращим (переважно про стан здоров'я). Стати вродливішим, гарнішим, набути кращого вигляду (Тлумачний словник української мови). На мою думку треба використовувати слово **поліпшення** або **покращення**, що означає - робити більш досконалим що-небудь; удосконалювати. Підвищувати показники (в роботі, змаганні і т. ін.).

2. На мою думку, восьмий пункт наукової новизни, в якому представлені структури систем керування тиристорними компенсаторами реактивної потужності та транзисторними силовими активними фільтрами (САФ) слід би було віднести до практичної новизни

3. В дисертаційній роботі для вирішення задач симетрування і компенсації реактивної потужності використовуються методи оптимізації, які реалізуються в пакетах прикладних програм Mathcad і Matlab, і в той же час прямого співставлення використання цих пакетів в дисертації окремо не наведено, тому залишається невизначеним, якими засобами в яких випадках краще користуватися при розв'язанні поставлених завдань, які переваги і недоліки присутні в кожному випадку.

4. Автор обмежується в своїх дослідженнях інтегральним енергетичним показником у вигляді коефіцієнта потужності, який визначається так, як це прийнято у теорії перетворювальної техніки, добутком коефіцієнта спотворень на коефіцієнт зсуву. Хоча такий підхід є достатньо обґрунтованим, однак було б цікаво оцінити поліпшення умов енергопостачання також і за таким загальним показником, як коефіцієнт корисної дії. Адже за результатами пошукової оптимізації у кожному випадку, проаналізованому в дисертаційній роботі, цей показник досить нескладно було б обчислити, а для фахівців цей показник більш наочно може показати переваги роботи систем в симетричному і врівноваженому режимі.

5. У зв'язку із застосуванням пошукової оптимізації для аналізу режимів систем електропостачання з силовими транзисторними активними фільтрами, де показано порушення періодичності напруги на накопичувальному конденсаторі при недостатньому і надлишковому еталонному сигналі, для останнього випадку виникає питання, чи існує межа напруги, до якої буде заряджатися накопичувальний конденсатор в асимптоті, і чим ця межа обумовлена при відсутності стабілізації цієї напруги.

6. Не знайшло в дисертаційній роботі відображення питання щодо динамічних властивостей силових активних фільтрів, що керуються за принципом пошукової оптимізації, який запропоновано дисертантом, у порівнянні з традиційно керованими силовими активними фільтрами, які використовують перетворення Кларк в системах управління. В цьому аспекті виникає питання щодо порівняння швидкодії силових активних фільтрів і визначення областей застосування при вирішенні завдання поліпшення якості електроенергії в системах електропостачання.

7. Неясно, що означає с фізичної точки зору сенс фрази на стор.106 дисертації «.. вважаючи, що  $C_{ca} = 0$  еквівалентно увімкненню індуктивного елемента з нескінченно великою індуктивністю..».

8. Неясно, у чому полягає новизна запропонованого алгоритму керування (п.п.6.6) силовим активним фільтром за критерієм балансу активних потужностей джерел і споживачів при урахуванні коливань напруги на його накопичуючому конденсаторі від аналогічного способу керування САФ, розглянутого раніше в працях Бенишека Г., Стржелецки Р. та ін..

9. В роботі не наведені необхідні умови для фізичної реалізації симетрокомпенсуючих пристроїв, які синтезовані на основі проведеної пошукової оптимізації, що є важливим для практичного використання результатів дисертації в системах електропостачання.

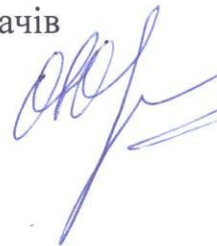
10. У дисертації та авторефераті є друкарські, синтаксичні і редакторські помилки.

### **Висновок.**

Дисертаційна робота Ягуп Катерини Валеріївни «Покращання енергетичних показників електротехнічних систем із застосуванням пошукової оптимізації на комп'ютерних моделях» є завершеною самостійною науковою працею, у якій на основі виконаних досліджень розв'язана науково-прикладна проблема визначення оптимальних режимів і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв для систем електропостачання електротехнічних об'єктів, які викликають несиметрію та нелінійні спотворення струмів і напруг в електротехнічній системі. Розроблені оптимізаційні алгоритми надають можливість виконувати з високою точністю аналіз та синтез симетро-компенсуючих пристроїв, а також керувати силовими активними фільтрами забезпечуючи належну електромагнітну сумісність, підвищити якість електричної енергії та енергетичні показники електропостачання в живильних мережах.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, щодо докторських дисертацій, а її автор Ягуп Катерина Валеріївна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,  
завідувач відділу транзисторних перетворювачів  
Інституту електродинаміки  
Національної академії наук України

 Юрченко О.М.

Підпис О.М. Юрченко засвідчую.  
Вчений секретар ІЕД НАН України, к.т.н.



 Кофто О.Г..