

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
**на дисертацію Криворучка Дмитра Вікторовича**  
**«Регульований компенсатор неактивних складових повної потужності**  
**в суднових електроенергетичних системах**  
**з напівпровідниковими перетворювачами»,**  
**подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук**  
**за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи**

*Актуальність теми дисертаційної роботи.* Підвищення електромагнітної сумісності регульованих потужних навантажень з живлячою мережею на сьогодні залишається проблемною задачею як для мережевих так і для автономних систем електропостачання. Незважаючи на значні наукові і практичні досягнення в цьому напрямку, не існує універсальних заходів щодо вирішення цієї проблеми. Звичайно, запропоновані в наукових публікаціях і апробовані на практиці рішення, як то використання статичних або динамічних фільтрокомпенсуючих пристроїв, потребують налаштування під конкретні режимні умови роботи регульованих навантажень з нелінійними характеристиками.

В автономних системах електропостачання де потужність генераторів сумірна з потужністю навантажень, задача підвищення електромагнітної сумісності набуває особливого значення, в наслідок того, що її вирішення пов'язано з надійністю електропостачання автономного об'єкта. До подібних об'єктів електропостачання відносяться суднові електроенергетичні системи, де значні відхилення якісних показників електроенергії від умов стандартів можуть становити певні загрози для нормального функціонування самого судна. В дисертаційній роботі Криворучка Д.В., як об'єкт для впровадження науково-практичних рішень, розглядаються саме суднові електроенергетичні системи, регулювання швидкістю гребних електродвигунів в яких здійснюється за допомогою тиристорного перетворювача.

В дисертації запропоновано використання регульованого компенсатора, реактивної потужності та вищих гармонік напруги й струму в судновій електроенергетичній системі, який можна віднести до гібридних схемотехнічних рішень щодо реалізації фільтрокомпенсуючого пристрою. Розподіленням завдання з компенсації електромагнітних спотворень на пасивну і активну частини компенсатора вирішується загальна задача підвищення електромагнітної сумісності в автономній системі електропостачання.

Зважаючи на вищесказане тема дисертаційної роботи «Регульований компенсатор неактивних складових повної потужності в суднових електроенергетичних системах з напівпровідниковими перетворювачами» є актуальною і спрямованою на вирішення важливої науково-практичної задачі – вдосконалення засобів поліпшення електромагнітної сумісності електротехнічного обладнання в автономних системах електропостачання.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.** Підтверджується коректністю постановки та вирішення задач, шляхом проведення теоретичних досліджень та імітаційного моделювання та співставленням їх результатів, використанням для створення математичних моделей елементів суднових електроенергетичних систем з регульованим компенсатором загальноприйнятих методів теорії електричних кіл (наприклад, гармонійного аналізу, операторного методу окремих складових для одержання аналітичного співвідношення щодо визначення коефіцієнту несинусоїдальності напруги мережі). Висновки і рекомендації, подані в дисертаційній роботі, з необхідним для наукових робіт ступенем обґрунтовані коректним використанням методів розв'язання алгебраїчних та диференціальних рівнянь під час визначення параметрів регульованого компенсатора.

Перевірка коректності запропонованих в роботі результатів здійснювалась із використанням пакету Matlab/Simulink, що дозволяє з високою ступеню оцінити точність теоретичних розрахунків.

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується аргументованістю останніх, однозначністю одержаних в роботі математичних співвідношень, збігом результатів моделювання з результатами теоретичних досліджень і розрахунків. Одержані в дисертаційній роботі наукові положення і рекомендації враховані під час впровадження результатів дослідження на підприємствах України, діяльність яких, в тому числі, пов'язана з проектування електроенергетичних суднових систем й комплексів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В результаті вирішення поставлених в дисертаційній роботі задач автором було отримано низку нових результатів, а саме:

– вперше запропоновано нове топологічне рішення удосконаленого регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою, при якому силовий резонансний фільтр одночасно є перешкодозахисним фільтром по

відношенню до реакторного компенсатору з ШІР та виключається можливість резонансу струмів на вищих гармоніках;

– вперше на основі аналізу схем заміщення суднової електроенергетичної системи з тиристорним перетворювачем та регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм, з використанням операторного методу окремих складових, гармонічного аналізу та рівності Парсеваля отримані аналітичні вирази для знаходження коефіцієнта несинусоїдальності напруги мережі в скінченній формі, які враховують весь гармонічний спектр та особливості електромагнітних процесів в системі і забезпечують підвищену точність результатів аналітичних розрахунків.

Деякі наукові результати, що було отримано здобувачем під час підготовки дисертаційної роботи вносять вклад у подальший розвиток методів побудови математичних моделей судових електроенергетичних систем з регульованими фільтрокомпенсуючими пристроями, що дозволяють покращити показники якості електричної енергії як в статичних, так і в динамічних режимах роботи.

Також набуло подальшого розвитку методологія узгодження частотних характеристик еквівалентного опору суднової електроенергетичної системи з регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм зі спектрами гармонік, що генеруються тиристорним перетворювачем та реакторним компенсатором. Запропонована методологія дозволяє одержати аналітичну умову виключення резонансного підвищення гармонік в системі електропостачання.

Здебільшого елементи наукової новизни сформульовані коректно, їх кількість та кваліфікаційні ознаки відповідають нормативним вимогам.

**Практична значимість результатів роботи** полягає в створенні оптимальної моделі параметрів регулятора з використанням спеціалізованих бібліотек Matlab/Simulink, що дозволяє скоротити тривалість перехідних процесів до 0,15 с. Окрім того, в дисертаційній роботі запропоновано ефективний алгоритм розрахунку параметрів силової частини регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою, що дозволяє проводити обчислення із врахуванням особливостей будь-яких судових електроенергетичних систем. Також автором дисертації запропоновано унікальний алгоритм роботи мікропроцесорної системи керування регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм, що враховує конфігурацію самого пристрою і дозволяє здійснювати підключення додаткових секцій фільтра в залежності від поточного значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги мережі.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи Криворучка Д.В. підтверджується наявністю двох патентів України на корисну модель, один з яких захищає авторське право на схемне рішення щодо реалізації регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою. Результати дослідження набули впровадження на профільних підприємствах України ТОВ «Інтерелектро», компанії «Електрім – 2000», ТОВ «Ксимекс-електро», ТОВ «SMG», а також використані для розробки електротехнічних комплексів, електротехнологічних систем електророзрядної обробки матеріалів в Інституті імпульсних процесів і технологій НАН України, й у навчальному процесі НУК ім. адм. Макарова.

**Оцінка змісту та завершеності дисертації.** В першому розділі розглянуто класифікацію перешкод, що погіршують якість електропостачання, виокремлено чинники, на які необхідно перш за все звертати увагу під час оцінки якості електропостачання в суднових електроенергетичних системах з потужними керованими напівпровідниковими перетворювачами електроенергії. Проаналізовано способи зниження рівня вищих гармонік напруги і струму в електроенергетичних системах, визначено умови компенсації реактивної потужності, показано основні переваги і недоліки щодо використання пасивних й активних фільтрокомпенсуючих пристроїв в суднових електроенергетичних системах (с. 27-49). Зроблено висновок, що для забезпечення необхідного рівня електромагнітної сумісності пристроїв в суднових електроенергетичних системах доцільно використання гібридних схем фільтрокомпенсуючих пристроїв.

У другому розділі проведено класифікацію суднових електроенергетичних установок, досліджено схеми й умови компенсації вищих гармонік струму і напруги, а також реактивної потужності з використанням гібридних схем. Досліджено характеристики опору, а також коефіцієнту несинусоїдальності суднової електроенергетичної системи з потужними напівпровідниковими перетворювачами та регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм (с. 66-80). Досліджено роботу регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою з додатковим перешкодозахисним фільтром та без нього, для подання рекомендації щодо доцільності використання цього фільтра. Запропоновано алгоритм розрахунку параметрів регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою, що враховує їх відповідність умовам електромагнітної сумісності електротехнічного обладнання в судновій системі електропостачання.

**В третьому розділі** проаналізовано особливості збудження синхронних генераторів суднової електроенергетичної системи для побудови систем керування регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм, визначено умови компенсації реактивної потужності. Розроблено структурну схему системи автоматичного керування регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм, що містить давачі випрямлено струму й кута керування тиристорним перетворювачем. Запропоновано альтернативну схему реалізації системи автоматичного регулювання досліджуванним компенсуючим пристроєм, що працює на основі вимірювальної інформації, яка надходить від трифазних давачів напруги і струму суднової електроенергетичної системи. Останню частину розділу присвячено розробці мікропроцесорної системи керування регульованим фільтрокомпенсованим пристроєм та забезпеченню умов високої швидкодії цієї системи (с. 92-97).

**Четвертий розділ** присвячений верифікації результатів дисертаційної роботи з використанням засобів імітаційного моделювання. Для підтвердження роботи досліджуваного регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою було створено детальну комп'ютерну модель суднової електроенергетичної системи, яка враховує основні параметри реальних потужних систем, що експлуатуються на судновому транспорті. Було проведено модельне дослідження режимів роботи суднової електроенергетичної системи з регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм та потужним керованим напівпровідниковим перетворювачем. Дослідження виконувались для двох значень кута керування випрямляча 30 і 60 ел. град. в сталому режимі й в перехідних динамічних режимах роботи. Результати дослідження дозволили оцінити показники якості

У загальних висновках сформульовані основні результати дослідження, які дозволили оцінити вклад в розвиток теорій створення ефективних фільтрокомпенсуючих пристроїв для судових електроенергетичних систем.

Результати дисертаційної роботи Криворучка Д.В. викладено у 18 наукових працях, 5 з яких опубліковані у періодичних наукових фахових виданнях України (3 з яких у наукометричних базах Scopus, Web of Science), 3 наукові праці у наукових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз (Scopus). Здобувач є співавтором двох патентів України на корисну модель, в одному з яких відображено нові наукові результати роботи. Аналіз опублікованих за темою дисертації наукових робіт дозволяє встановити відповідність результатів, представлених до захисту, з результатами наукових досліджень, виконаних здобувачем.

*Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.* Положення, винесені в автореферат дисертації, ідентичні основним положенням дисертаційної роботи. За своєю структурою та змістом автореферат відповідає вимогам, що ставляться МОН України до авторефератів дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук.

*Дискусійні положення та зауваження.* Позитивно оцінюючи здобутки дисертанта, необхідно звернути увагу на наступні дискусійні положення та зауваження до поданої дисертаційної роботи:

1. Твердження щодо практичної непридатності силових активних фільтрів для компенсації значної реактивної потужності в системах електропостачання мегаватної установленної потужності на стор. 14 виглядає дещо необґрунтованим з причини того, що воно не спирається на конкретні техніко-економічні порівняння різних систем компенсації, (яке не проводилося автором роботи), або посилання на інші джерела інформації.

2. Останній пункт наукової новизни, в якому йдеться про створення моделі параметрів регулятора з використанням бібліотек конкретного програмного продукту, навряд можна віднести до положень наукової новизни. В переробленому формулюванні цей пункт краще лягає в контекст практичних здобутків дисертанта.

3. В принципових електричних схемах активних фільтрів, що наведено на рисунку 1.7 на стор. 37 доцільно встановлення давачів фазних струмів в коло нелінійного навантаження.

4. Векторна діаграма на рис. 1.9, б, що демонструє розташування векторів напруг і струму системи електропостачання після застосування паралельної компенсації має зайві складові. Після компенсації кут зсуву між вектором напруги на навантаженні і вектором струму мережі повинен дорівнювати нулю.

5. Результати отримані здобувачем під час виконання дисертаційної роботи базуються на суднових електроенергетичних системах з потужним тиристорним перетворювачем, що застосовується в структурі перетворювача частоти для живлення гребних електродвигунів. Однак номенклатура сучасного перетворювального обладнання для електроприводу суден значно ширша. Вона включає й потужні транзисторні інвертори й активні випрямлячі. На багатьох сучасних суднах використовують валогенератори з мережевими перетворювачами. Було б доцільним співставлення енергетичних показників різних типів суднових електроенергетичних систем щоб підкреслити значимість отриманих в роботі результатів.

6. Регульований фільтрокомпенсуючий пристрій, запропонований в роботі, вирішує задачу компенсації реактивної потужності і вищих гармонік напруги і струму лише за умови повністю симетричної трифазної мережі. Не зрозуміло як асиметрія напруг чи струмів в суднової електроенергетичній системі вплине на ефективність роботи регульованого компенсатора?

7. Не зрозуміло навіщо в імітаційній моделі суднової електроенергетичної системи на рис. 4.1 трансформатор було замінено на еквівалентний індуктивний опір, якщо можливості Matlab дозволяють здійснювати детальне моделювання?

8. Блок *Power* зі стандартної бібліотеки *SimPowerSystems*, що використовувався в моделі на рис. 4.8, дозволяє знаходити миттєві значення активної й реактивної потужності лише для трифазних систем з лінійним навантаженням. Розрахункове співвідношення, що використовується в даному блоці для обчислення реактивної потужності дає помилку під час її розрахунку у випадку нелінійних систем. Тому результати моделювання потребують додаткової перевірки.

9. В тексті дисертації трапляються недбалості оформлення рисунків (стор. 27, 37, 42, 59, 65, 70, 78, 82, 97, 115), формул (2.31, 3.12) та деякі друкарські помилки (стор. 15, 23, 24, 32, 38, 40, 42, 47, 53, 55, 65, 66, 69, 72, 78, 88, 92, 96, 105, 114, 117). Подекуди в тексті трапляються некоректні вживання загальноприйнятих технічних термінів «реактивна потужність протікає», «напруга циркулює»; некоректно використовується термін «коефіцієнт потужності».

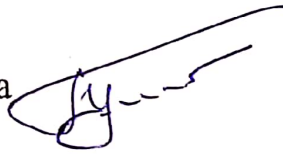
**Загальний висновок.** Незважаючи на зазначені зауваження дисертаційна робота Криворучка Д.В. представляє собою самостійно підготовлену завершену наукову працю, в якій отримані нові науково обґрунтовані і практично цінні результати, що роблять внесок в розвиток теорії фільтрокомпенсуючих пристроїв. Актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та повнота викладу в опублікованих працях повністю відповідають вимогам до кандидатських дисертацій.

Дисертаційна робота Криворучка Дмитра Вікторовича «Регульований компенсатор неактивних складових повної потужності в суднових електроенергетичних системах з напівпровідниковими перетворювачами», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»,

затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

**Офіційний опонент:**

доктор технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри альтернативної  
електроенергетики та електротехніки  
Харківського національного університету  
міського господарства імені О. М. Бекетова



Дмитро ТУГАЙ

Підпис Тугая Д.В. завіряю:  
Начальник відділу кадрів  
ХНУМГ імені О. М. Бекетова



Оксана РОМАНЕНКО