

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу 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 дисертації.** Надзвичайно актуальними є проблеми електромагнітної сумісності та забезпечення якості електроенергії для суднових електроенергетичних систем з потужними (десятки МВт) напівпровідниковими тиристорними перетворювачами: керованими випрямлячами та перетворювачами частоти. Порушення умов електромагнітної сумісності та зниження якості електроенергії в суднових системах обумовлено двома факторами: 1) наявністю вищих гармонік струму, що споживається напівпровідниковими перетворювачами від синхронних генераторів; 2) фазовим зсувом основної гармоніки цього струму відносно напруги мережі, внаслідок яких, енергетичні процеси в суднових системах характеризуються крім «корисної» активної потужності також потужністю спотворення та реактивною потужністю, наявність яких знижує якість електроенергії за рахунок підвищення встановленої потужності генераторів, виникнення збоїв та відмов у роботі відповідальних споживачів, створення загрози для безпеки автономного морського об'єкта в цілому.

Таким чином, розвиток теорії регульованих фільтрокомпенсуючих пристроїв, що одночасно забезпечують керовану компенсацію як реактивної потужності, так і потужності спотворень, є актуальною науково-практичною задачею.

Актуальність теми підтверджується тим, що дослідження проводились відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Енергетика та енергоефективність» згідно з Законом України про

пріоритетні напрями розвитку науки і техніки від 11.07.2001 № 2623-III та в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт «Розробка енергоефективних суднових систем автоматизації процесів генерування й перетворення електроенергії та їх моделей для покращення якості електроенергії та електромагнітної сумісності» (55.02.17.0839/0117U000346) та «Розробка засобів покращення енергоефективності, якості електроенергії та електромагнітної сумісності в суднових електроенергетичних системах з напівпровідниковими перетворювачами електроенергії» (45.03.19.0327/0119U002104).

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Сформульовані здобувачем наукові положення, висновки та рекомендації ґрунтуються на проведених в роботі дослідженнях і підтверджуються коректністю використаних методів теорії електричних кіл методу частотних характеристик, операторного методу окремих складових, методу гармонічного аналізу, методу змінних стану, а також результатами імітаційного моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Автором теоретично обґрунтована та створена нова удосконалена структура гібридного регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою на основі некерованого силового резонансного перешкодзахисного LC-фільтра та реакторного компенсатора з широтно-імпульсним регулюванням, яка дозволяє збільшити швидкодію пристрою, виключити генерування ним в мережу низькочастотних гармонік та виключає можливість виникнення резонансу струмів на вищих гармоніках.

2. На основі аналізу схем заміщення суднових електроенергетичних систем з використанням операторного методу окремих складових, гармонічного аналізу та рівності Парсеваля вперше отримані аналітичні вирази для знаходження коефіцієнта несинусоїдальності напруги мережі  $K_U$ , застосування яких дозволяє підвищити точність результатів аналітичних розрахунків.

3. Розроблено систему керування регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм з врахуванням збурюючих факторів, що дозволило знизити коефіцієнт несинусоїдальності напруги синхронного генератора майже у 3 рази.

#### **Практична цінність отриманих результатів.**

1. Удосконалення силової частини регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою за рахунок додавання до блоку комутації двоопераційних діодно-транзисторних ключів змінного струму дозволило підвищити швидкість компенсації реактивної потужності у 200 разів.

2. Підключення реакторного компенсатора до точки з'єднання реактора і конденсатора резонансного фільтра дозволило на 4% знизити несинусоїдальність напруги та струму синхронного генератора.

3. Запропонований алгоритм розрахунку параметрів силової частини регульованого фільтрокомпенсуючого пристрою, який дозволяє визначити його параметри з врахуванням особливостей конфігурації суднової електроенергетичної системи, має просту алгоритмічну і, відповідно, практичну реалізацію.

#### **Повнота викладу положень дисертації в опублікованих працях.**

Основні результати дисертації знайшли відображення у 8 наукових працях автора, у тому числі в: 3 статтях у наукових фахових виданнях України (в т.ч. 2 статті у виданнях України, які входять до міжнародної наукометричної бази Scopus); 2 статтях в одному номері наукового видання України; 3 тез доповідей, які включені до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Хоча остання стаття опублікована у 2018 році, наукові праці в достатній мірі висвітлюють результати роботи, що виносяться на захист. Кількість публікацій є достатньою для висвітлення результатів дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук та відповідає вимогам МОН, зокрема, Наказу МОН України від 23.09.2019 № 1220 “Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук”.

**Автореферат** повною мірою відображає основні положення дисертації. Зміст дисертації відповідає спеціальності 05.09. 03 – Електротехнічні комплекси та системи.

**Зміст роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (144 найменування) та 1 додатку. Загальний обсяг роботи складає 144 сторінки, в тому числі 112 сторінок основного тексту, 65 рисунків та 10 таблиць.

Обсяг та структура дисертації відповідають вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і задачі наукового дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, викладено наукову новизну і практичне значення результатів досліджень, визначено особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію результатів роботи та публікації.

У першому розділі автор проводить огляд питання покращення умов електромагнітної сумісності та якості електроенергії в суднових електроенергетичних системах з потужними напівпровідниковими перетворювачами, причому особлива увага приділяється засобам зниження рівня вищих гармонік струму і напруги. Зроблено висновок щодо актуальності поставлених в роботі задач.

У другому розділі розглянуто структури та наведено принципові схеми та часові діаграми напруг і струмів суднових електроенергетичних систем з фільтрокомпенсуючими перетворювачами. Наведені частотні характеристики опорів та коефіцієнтів гармонік для різних схем фільтрокомпенсуючих пристроїв. Показані залежності коефіцієнта несинусоїдальності напруги від параметрів резонансного фільтру. Зроблено висновок про недоцільність використання схеми фільтрокомпенсуючого пристрою з додатковим перешкодозахисним фільтром.

У третьому розділі автором визначені умови компенсації реактивної потужності в синхронному генераторі суднової системи, а також запропоновано структуру і принцип керування реакторним компенсатором фільтрокомпенсуючого пристрою. Зроблено висновок про схемну реалізацію системи керування регульованим фільтрокомпенсуючим пристроєм.

У четвертому розділі автором проведено імітаційне моделювання електричних процесів у регульованому фільтрокомпенсуючому пристрої суднової електроенергетичної системи. Результати моделювання підтвердили висновок щодо правочинності використання запропонованих у попередніх розділах моделей.

#### **Рекомендації щодо використання результатів дослідження.**

Дослідження, виконані дисертантом, доцільно продовжити у майбутньому у напрямку розширення кола задач, які можна вирішувати при використанні удосконалених схем та алгоритмів керування фільтрокомпенсуючими пристроями суднових електроенергетичних систем.

Розробки здобувача також можуть бути використані для підготовки або підвищення кваліфікації спеціалістів у галузі електроніки та електротехніки.

#### **Зауваження за змістом дисертації.**

1. У табл. 2.3 наведені значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги, отримані в результаті моделювання у середовищі Matlab Simulink®. Однак не вказано, яким чином виконувалось моделювання, якими є параметри моделювання та який метод вирішення диференціальних рівнянь використовувався.

2. Не зрозуміло, що автор вважає ефективним зниженням коефіцієнту несинусоїдальності (рис. 2.22).

3. У висновку до розділу 2 вказано підвищення швидкості компенсації реактивної потужності, однак в тексті розділу про це не йде мова.

4. При моделюванні електричних процесів у четвертому розділі не вказано з якою точністю вирішуються рівняння та з якою точністю працює система керування. Яка точність є необхідною і як вона забезпечується у

реальному процесі?

5. Не обґрунтовано представлення синхронного генератора трифазним джерелом напруги. Це спрощення не враховує особливості протікання процесів у генераторі. На рис. 4.9 час моделювання дорівнює 0,1 с при вказаній потужності генератора у 1000 кВА. Чи встигають за цей час закінчитися перехідні процеси?

6. З тексту дисертаційної роботи не зрозуміло:

- яким чином розраховується реактивна потужність за лінеаризованою моделлю;
- чому чисельно дорівнює коефіцієнт модуляції для напруг рис. 1.21;
- з яких міркувань реактивний опір індуктивності фільтра обирається рівним 0,05 реактивного опору індуктивного елемента компенсатора;
- який ітераційний метод використано при розрахунку реактивної потужності? Якою є величина кроку ітерації;
- що автор має на увазі під терміном «коефіцієнт зниження гармонік струмів»;
- якою є величина похибки лінійної апроксимації характеру комутації струму;
- якою є передавальна функція ШПР як нелінійного елемента;
- якою є кількість операцій мікроконтролера;
- з яких міркувань обрано коефіцієнт підсилення Gain2 рівний 1/57.8;
- що мається на увазі під оптимізацією параметрів регуляторів.

7. Наявні незначні зауваження:

- використовуються різні терміни для одного поняття: «коефіцієнт гармонійних складових за напругою» (стор. 19) та «коефіцієнт спотворення синусоїдальної напруги» (стор. 74), «коефіцієнт резерву компенсації» (стор. 77) та «кратність резерву компенсації» (стор. 78);
- на рис. 1.4 відсутні позначення а), б), в). Вони наявні лише у підрисунковому підписі;
- невдала назва підрозділу (стор. 27), оскільки розглянуто не «Способи

зниження рівня вищих гармонік струму і напруги...», а технічні засоби, що дозволяють знизити рівень гармонік;

- на стор. 33 наявний абзац «а) комбінація послідовного активного і паралельного пасивного фільтру...», який не має відношення до змісту тексту, викладеного на цій сторінці;

- рис. 1.10 а) повністю повторює рис. 1.9 а);

- на рис. 1.14 відсутні осьові підписи;

- відсутні роз'яснення позначок на рис. 1.17, 2.1, 2.2., 2.3;

- відсутні підписи до деяких блоків на рис. 1,9, 1.10, 1.18, 1.19, 1.20, 2.1, 2.2, 2.3.;

- нумерація рис. 4.11 на стор. 113 є невірною;

- об'єм підрозділу 2.5 складає 2 сторінки;

- недоречно завершувати розділи рисунками;

- посилання на рисунок та сам рисунок мають бути на одній сторінці;

- посилання на джерело [35] є некоректним, адже не вказано ні авторів, ні кількість сторінок, ні ISSN класифікатор.

- у роботі наявні лексичні, граматичні, орфографічні та пунктуаційні помилки.

**Висновок про відповідність дисертації вимогам.** Вказані зауваження дещо погіршують загальне позитивне сприйняття роботи, виконаної на достатньому науковому рівні і оформленої згідно з вимогами. Дисертація Криворучка Д.В. за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи, за якою вона представлена до захисту.

Оцінюючи дисертаційну роботу Криворучка Д.В. в цілому, слід зазначити, що вона є закінченою самостійною науково-дослідною роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-прикладну задачу розробки регульованого компенсатора неактивних складових повної потужності в суднових електроенергетичних системах з напівпровідниковими перетворювачами.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота «Регульований компенсатор неактивних складових повної потужності в судових електроенергетичних системах з напівпровідниковими перетворювачами» відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 656), а її автор Криворучко Дмитро Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

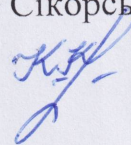
Офіційний опонент,

доцент кафедри електронних пристроїв та систем

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

кандидат технічних наук, доцент



Клен К.С.

Підпис Клен К.С. засвідчую.

декан факультету електроніки

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

доктор технічних наук, професор



Жуйков В.Я.