

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кожушко Юлії Віталіївни «Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів для систем з імпульсним навантаженням», що подана на здобуття наукового ступеня доктор філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 171 Електроніка

### **Актуальність дисертаційної роботи**

Більшість портативних електронних приладів має нелінійний характер споживання. З розвитком систем безпроводних систем передачі енергії, електротранспорту, мобільної електроніки постає питання ефективного використання накопичувачів енергії. Проектування джерел живлення на основі різних типів акумуляторних батарей з розрахунку на споживання пікової потужності може бути надмірним. З іншого боку, недостатня кількість комірок ємнісних елементів може призвести до деградації ємності характеристик акумуляторної батареї внаслідок внутрішнього нагрівання діелектричного шару через перевищення допустимого розрядного струму. Тому перспективним є використання кількох накопичувачів енергії, в якому ємність акумуляторної батареї розрахована на середньозважене споживання енергії за період, а при піковому споживанні енергію забезпечують суперконденсатори, які мають значно менший внутрішній опір, мають низький коефіцієнт деградації ємності. Таким чином, поєднання переваг акумуляторних батарей – щільність енергії, переваги суперконденсатора – щільності потужності, та розвитком напівпровідникових елементів в цілому формують перспективний напрямок розвитку джерел живлення на основі накопичувачів енергії електронних системах.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, та темами**

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводилися на базі кафедри електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів виконання науково-дослідних робіт за темами:

ДБ № 0116U006924 “Підвищення показників енергоефективності та ресурсозбереження засобами силової електроніки для технології отримання високонадійних зварюваних з'єднань різнорідних матеріалів”; ДБ № 0119U100189 “Науково-технічні засади створення приладів контактного зварювання біологічних тканин імпульсами постійного струму”; ДБ № 0120U101285 “Енергоефективні системи швидкого заряду комбінованих ємнісних накопичувачів енергії типу суперконденсатор-акумуляторна батарея”; в рамках виконання гранту від IEEE Student Application Papers Implementing Industry Standards.

**Оцінка змісту, повнота викладу результатів в опублікованих працях,  
апробація результатів дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота є повноцінним, завершеним дослідженням, що складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань, додатків. Загальний обсяг становить 182 сторінки, у тому числі 127 сторінок основного тексту, 60 рисунків, 13 таблиць, списку використаних джерел з 213 найменувань та 4 додатків.

У вступі розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, зазначено дані про зв'язок роботи з науковими програмами та темами, сформовано, мету і задачі дослідження, наведено отриману наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто принципи побудови та основні вимоги до систем живлення для навантажень з імпульсним характером енергоспоживання. Також проведено огляд сучасних накопичувачів енергії, де вказано їх переваги та недоліки, і розглянуті базові топології перетворювачів для гібридних ємнісних накопичувачів.

У другому розділі наведена математична модель для обраної топології перетворювача гібридного ємнісного накопичувача в області неперервного і переривчастого струмів. Враховуючи особливості застосування перетворювача виведена та обґрунтована спрощена математична модель.

У третьому розділі описана двоконтурна система керування перетворювачем, яка задовольняє вимогам регулювання енергії між акумуляторною батареєю та суперконденсатором.

У четвертому розділі коротко розглянуто особливості заряду послідовно підключених суперконденсаторів, наведено основні недоліки такого підключення комірок та запропоновано систему для незалежного вирівнювання напруги на окремих комірках суперконденсаторного модулю.

У п'ятому розділі проведено імітаційне моделювання, де верифіковані метод спрощення математичної моделі, аналіз стійкості та система балансування напруги на суперконденсаторних комірках. Проведена експериментальна верифікація, яка співпадає з імітаційним моделюванням. В результаті наведено рекомендації щодо побудови гібридних ємнісних накопичувачів на основі акумуляторних батарей та суперконденсаторів.

У загальних висновках коротко представлені найсуттєвіші наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

В Додатках наведено перелік публікацій авторки з зазначенням особистого внеску автора, акти впровадження результатів дисертаційного дослідження, відзнаки отримані авторкою за результатами апробації дисертаційної роботи.

Основні результати що представлені у вище перерахованих розділах дисертаційної роботи в повній мірі висвітлені у 7 наукових статтях, 5 із яких опубліковано у виданнях, що входять до Переліку наукових фахових видань України в тому числі 1 у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science, та 2 статті в європейських періодичних наукових виданнях, в тому числі 1 у виданні, що включено до міжнародної бази Web of Science.

Крім того наведений авторкою перелік публікацій свідчить про те, що робота пройшла достатню апробацію, результати доповідались та обговорювались на міжнародних науково-практичних конференціях, що проводилися в Україні та закордоном.

Таким чином, аналіз тексту дисертаційної роботи та переліку публікацій авторки, показав відсутність порушень академічної доброчесності та відсутність ознак плагіату.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

В результаті дисертаційного дослідження наведено топологію гібридного ємнісного накопичувача на основі перетворювача постійного струму, що дозволяє за рахунок регулювальних характеристик перетворювача застосовувати накопичувачі в системах з нелінійним споживанням енергії. Також запропонована математичну модель, яка описує гібридний ємнісний накопичувач та враховує паразитні параметри системи і дозволяє визначити стійкість системи з врахуванням відхилень параметрів цієї системи. На основі математичної моделі запропонована спрощена математична модель, що дозволяє понизити порядок диференціальних рівнянь і, відповідно, спростити аналіз такої системи. Вперше запропонована спрощена методика синтезу системи керування, що базується на методі Харитонова, що враховує відхилення параметрів компонентів від номіналу та дозволяє проаналізувати стійкість системи у певному діапазоні допустимих значень. Також запропонована система балансування напруги на комірках суперконденсаторного модулю, яка забезпечує необхідну точність регулювання в умовах імпульсного навантаження.

### **Практична цінність дисертаційної роботи**

В результаті дисертаційної роботи практично реалізовано гібридний ємнісний накопичувач енергії для джерела живлення обладнання контактного мікрозварювання на основі напівпровідникового перетворювача, акумуляторної батареї та суперконденсатора. Практично реалізовано двоконтурну систему керування на базі мікроконтролера STM32 для регулювання розподілу енергії між акумуляторною батареєю та суперконденсатором. В роботі продемонстровано експериментальний прототип та наведено програмний код. Отримані результати впроваджено в науково-дослідницьких проектах НДІ ЕМСТ та ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Айтек» про що свідчить Додаток Б.

## **Обґрунтованість а достовірність результатів дисертаційної роботи**

Отримана наукова новизна та практичні результати є обґрунтованими використанням в роботі загально прийнятих методів дослідження. Для отримання математичних моделей застосовано теорію електричних кіл та метод усереднення у просторі змінних стану, для аналізу стійкості використано теорію автоматичного регулювання, критерій Найквіста, метод Харитонова.

## **Відповідність дисертаційної роботи спеціальності, зауваження та дискусійні питання**

Зміст дисертації Кожушко Ю.В. повністю відповідає спеціальності 171 Електроніка, галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації, за якою дисертаційна роботи представлена до захисту.

Однак слід зазначити ряд зауважень та дискусійних питань:

1. В Розділі 4.3 не обґрунтовано вибір параметрів елементів схеми та вхідних даних таких як струм розряду суперконденсатора, струм акумуляторної батареї, частота перемикання ключів та ін., що наведені в Таблиці 4.2 та Таблиці 4.3. Також, представлено лише аналітичну оцінку показників коефіцієнту корисної дії без експериментальної перевірки, таким чином, наведені значення коефіцієнту корисної дії не є верифікованими на практиці.

2. Автором не повною мірою проведено патентний пошук, оскільки у переліку використаних джерел наведено недостатньо посилань на патенти, які пов'язані з темою дисертації.

3. Наведена в Розділі 4.1 та Розділі 4.2 імітаційна модель системи вирівнювання напруги комірок суперконденсаторного модуля має значно нижчі значення ємностей суперконденсаторів у порівнянні з експериментальним прототипом наведеним в Розділі 5.2.

4. В тексті дисертації є описки, граматичні, орфографічні та пунктуаційні помилки.

Наведені зауваження не є принциповими та не впливають на наукове та практичне значення роботи, не мають суттєвого впливу на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

## Загальні висновки

Детальний аналіз дисертаційної роботи «Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів для систем з імпульсним навантаженням» Кожушко Ю.В., показав, що робота становить завершене дослідження, виконане на високому науковому рівні, яке має практичне значення та містить рішення актуальної задачі розробки перетворювачів електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів, що застосовуються в системах з імпульсним споживанням струму навантаження. Отримані нові науково обґрунтовані результати в цілому є суттєвими для розвитку електронних систем з імпульсним споживанням струму навантаження, в яких використовуються акумуляторні батареї та суперконденсатори.

На основі вищевикладеного вважаю, що дисертація Кожушко Ю.В. «Перетворювачі електроенергії гібридних ємнісних накопичувачів для систем з імпульсним навантаженням» за своїм змістом та об'ємом, отриманими науковими та практичними результатами повною мірою відповідає вимогам пунктів 9, 10, 11, 12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №167 від 6 березня 2019 р., а її авторка – Кожушко Ю.В. заслуговує на присудження наукового ступеню доктор філософії за спеціальністю 171 Електроніка.

Офіційний опонент:

к.т.н., доцент,

завідувач кафедри електричної інженерії

Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля

Міністерства освіти і науки України



Євген РУДНЄВ

« 03 » грудня 2021р.

*Тігана Руднева*  
завідуюча  
Національним



*Олександр М. Митченко*