ВІДГУК

опонента Руденка Юрія Володимировича

на дисертаційну роботу Плахтія Олександра Андрійовича

«Теоретичні основи підвищення енергетичної ефективності паралельних силових активних фільтрів на основі інвертора напруги та інвертора струму»,

що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.09.12 – «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії»

Актуальність теми.

Одним з перспективних напрямів підвищення енергетичної ефективності електричних мереж в Україні є застосування у їхній основі високоефективних напівпровідникових перетворювальних пристроїв для зниження складових втрат потужності електроенергії, викликаних реактивною складовою та вищими гармоніками струмів. Таке зниження складових втрат досягається, зокрема, за рахунок активної компенсації, яку реалізують паралельні силові активні фільтри (САФ). Серед багатьох питань, виникаючих при проектуванні та створенні напівпровідникових перетворювачів електроенергії на основі автономних інверторів напруги (АІН) та автономних інверторів струму (АІС) у складі силових активних фільтрів, важливим є розрахунок, аналіз електромагнітних процесів та створення на цій основі нових ефективних структур перетворювачів. Незважаючи на існування традиційних методів дослідження та розрахунків, необхідним залишається підвищення точності та зменшення трудомісткості розрахунків електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах, вдосконалення методів керування перетворювачами силових активних фільтрів та підвищення їх ефективності.

Автор пропонує в дисертації використання нових та вдосконалення існуючих методів розрахунку силових схем паралельних САФ, використання нових математичних моделей для розрахунку процесів у перетворювачах, що забезпечують роботу у стійкому режимі корекції коефіцієнта потужності, нові структури систем керування САФ на базі АІС, удосконалення методів визначення втрат потужності в САФ на базі АІН та АІС, які враховують багатогармонійну форму комутованого струму, оптимізацію методів синтезу сигналу завдання фазного струму САФ та інші розробки. Таким чином, розвиток теорії силових активних фільтрів на базі інверторів напруги та інверторів струму шляхом створення нових методів розрахунку, вдосконалення їх силових схем та систем керування для підвищення енергетичної ефективності електричних мереж шляхом компенсації вищих гармонік струмів та реактивної складової потужності є актуальною науково-прикладною проблемою, яка визначила напрям досліджень дисертаційної роботи.

Актуальність теми роботи підтверджується тим, що вона пов'язана з виконанням державних і європейських наукових проектів:

1. «Підвищення енергоефективності систем електропостачання постійного і змінного струму шляхом застосування модульних багаторівневих перетворювачів», ДР 0118U001572.

2. «Інтелектуальні системи електропостачання на залізничному транспорті та метрополітені. Концепція "Smart Grid"» ДР№0118U001571.

3. «Підвищення енергоефективності зарядних станцій електромобілів із застосуванням активного чотириквадрантного випрямляча в режимі корекції коефіцієнта потужності» за державним реєстраційним номером ДР№0120U103664. .

4. «Розробка наукових основ впровадження інтелектуальних енергоефективних систем електропостачання Smart Grid». НДР № 53-73/19, ДР№0119U001072.

5. «Розробка наукових основ підвищення енергетичної ефективності та покращення якості електроенергії в електричних мережах». НДР №25/2-21Б. ДР№0121U109440.

Європейський науковий грант: Eurizon fellowship programme: "Remote Research Grants for Ukrainian Researchers" 2023. Project ID-522, grant Agreement #EU-3032. Project: "Increasing Energy Efficiency and Improving the Electromagnetic Compatibility of On-grid Power Converters of Solar Energy Systems".

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Плахтія О.А. є високою та базується на комплексному підході до виконаної роботи, забезпечується коректними припущеннями та постановкою завдань, використанням загально визнаних фундаментальних методів: методів розв'язання систем диференційних і алгебраїчних рівнянь, сучасної теорії миттєвих активної і реактивної потужностей, частотних методів теорії автоматичного керування, математичного апарату швидкого перетворення Фур'є, теорії просторових векторів, елементів матричного числення, векторного аналізу, методів імітаційного моделювання.

Достовірність результатів досліджень.

Нові науково-практичні результати, що отримані в дисертаційній роботі, обґрунтовано чіткими математичними розрахунками і підтверджено співставленням результатів чисельних розрахунків з результатами експериментів та імітаційного моделювання, що свідчить про достовірність теоретичних висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. Достовірність результатів дисертаційного дослідження також забезпечується адекватністю постановки задач до застосованих методів дослідження, стандартних процедур

математичного аналізу та методів імітаційного моделювання, відповідністю змісту математичних моделей фізичній суті описуваних процесів, підтверджується опублікуванням результатів роботи та обговоренням на наукових конференціях, впровадженням розробок. Наукові результати здобувача успішно використані під час створення нових перетворювальних пристроїв на підприємствах України.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– вперше, із застосуванням тривимірної поліноміальної апроксимації, розроблено універсальний аналітичний метод визначення статичних та динамічних втрат потужності в силових транзисторах та діодах паралельних силових активних фільтрів на базі інвертора струму та інвертора напруги, який, на відміну від існуючих, враховує параметри силової схеми, особливості алгоритму керування, частоту модуляції та враховує багатогармонійну форму комутованого струму САФ, чим досягається підвищення точності розрахунків втрат потужності;

– отримав подальший розвиток метод визначення сигналу завдання фазного струму паралельного САФ в abc системі координат, який на відміну від існуючих методів, які базуються на перетвореннях pqr та dq0 систем координат, дозволяє знизити число математичних операцій для визначення сигналу завдання, що дозволяє спростити, зменшити вартість та підвищити швидкодію апаратної частини системи керування (СК) паралельного САФ;

– вперше розроблено метод побудови адаптивних гістерезисних систем керування паралельних силових активних фільтрів на базі інвертора напруги, які, на відміну від відомих, реалізують регулювання значення уставки гістерезису в функції значення амплітуди першої гармоніки струму навантаження мережі, що забезпечує зменшення значення коефіцієнта гармонійних спотворень фазного струму (THDI) мережі після компенсації на рівні менше 5% в повному діапазоні зміни струму навантаження мережі;

– вперше запропоновано метод побудови частотно-адаптивних систем керування паралельного САФ з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), які, на відміну від відомих, реалізують регулювання частоти ШІМ в функції діючого значення сигналу завдання фазного струму САФ, що забезпечує зниження пульсаційної складової струму САФ в режимі зниження струму навантаження мережі, чим досягається покращення ефекту компенсації вищих гармонік;

– отримав подальший розвиток метод розрахунку мережевих дроселів паралельного силового активного фільтру на базі інвертора напруги з ШІМ, в якому, на відміну від відомих, враховується значення частоти модуляції, індуктивності мережевих дроселів САФ, вихідної напруги САФ та допустиме значення пульсаційної складової струму САФ, чим досягається покращення гармонійного складу струму мережі після компенсації і забезпечення умови

THDI<5%;

– вперше теоретично обґрунтовано та запропоновано спосіб керування САФ на основі інвертора струму з ШІМ на основі логічних змінних та формувач сигналу завдання в abc системі координат, що дозволяє знизити кількість математичних операцій в системі керування САФ, чим досягається підвищення показників якості електричної енергії;

– отримав подальший розвиток метод аналітичного визначення енергозберігаючого ефекту від застосування паралельних силових активних фільтрів в трифазних електричних мережах, який розраховується з параметрів електричної мережі та гармонійного складу струму навантаження мережі до компенсації та, на відміну від відомих, дозволяє визначати енергозберігаючий ефект в електричній мережі з урахуванням втрат потужності в САФ.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практичне значення отриманих результатів для силової електроніки та електроенергетики полягає в створенні теоретичних основ для розробки паралельних силових активних фільтрів на основі інвертора напруги та інвертора струму, які забезпечують компенсацію вищих гармонік струмів та реактивної складової потужності в трифазних електричних мережах, а саме:

– розроблено методику аналітичного розрахунку та моделювання втрат потужності в паралельних силових активних фільтрах на основі інвертора напруги та інвертора струму, яка дає можливість підвищити точність розрахунку та врахувати багатогармонійну форму комутованого струму САФ;

– розроблено структури для побудови силових схем паралельних силових активних фільтрів на базі інвертора напруги з використанням мережевого LCL фільтру, що дозволяють покращити параметри якості напруги в точці підключення САФ, знизити величину пускових струмів, та покращити ефект компенсації вищих гармонік струмів навантажень мережі, чим досягається підвищення коефіцієнта потужності електричної мережі;

– розроблено удосконалену систему керування паралельного силового активного фільтру на базі інвертора напруги, яка за рахунок застосування частотно-адаптивної широтно-імпульсної модуляції забезпечує покращений ефект компенсації вищих гармонік та реактивної складової потужності в режимі зниження навантаження мережі, чим досягається покращений ефект компенсації вищих гармонік;

– запропоновано методику визначення енергозберігаючого ефекту в трифазних електричних мережах від компенсації вищих гармонік струмів навантаження та реактивної складової потужності, що реалізується паралельними силовими фільтрами, яка дозволяє обґрунтувати енергетичну доцільність застосування паралельних САФ на основі інвертора напруги та інвертора струму;

– розроблено методику визначення залежності частоти комутації силових активних фільтрів з гістерезисною модуляцією в функції параметрів силової схеми САФ та значення уставки гістерезису, яка дозволяє обрати силові транзистори САФ з необхідними частотними властивостями;

– розроблено аналітичні рівняння, що визначають умови забезпечення стійкості режиму корекції коефіцієнта потужності паралельного силового активного фільтру на основі інвертора напруги з системою керування на основі гістерезисної модуляції та ШІМ та забезпечують покращення ефекту корекції коефіцієнта потужності;

– розроблено систему керування силового активного фільтру на основі інвертора струму з ШІМ, яка забезпечує режим комутації zero-voltage switching і зниження втрат потужності в САФ.

Запропоновані методи, комп'ютерні моделі, принципи побудови систем керування використано при розробці силового активного фільтру АФКУ-06 та активного випрямляча з корекцію коефіцієнта потужності ККМ-800, які впроваджені у серійне виробництво на підприємствах ТОВ НПО «Вертикаль» та ТОВ «АКУТЕК».

Практичне значення одержаних результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження від конструкторських бюро ТОВ «НПО ВЕРТИКАЛЬ», ТОВ «АКУТЕК» та ТОВ «ІМПУЛЬС».

Науково-технічна новизна розробок підтверджена 3 патентами України на винаходи. Технічна новизна розробок захищена 6 патентами України на винаходи.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні наукові результати висвітлені у 50 наукових працях, які розкривають основний зміст дисертації, з яких: 3 – монографії; 3 – у іноземних наукових фахових періодичних виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science; 13 – у періодичних наукових фахових виданнях України категорії А, які входять до наукової бази Scopus; 20 – у періодичних наукових фахових виданнях України категорії Б; 3 – патенти України на винаходи; 8 – у матеріалах конференцій, які входять до міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science та повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Плахтія О.А. складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення роботи, об'єкт, предмет та методи дослідження, показано особистий внесок

здобувача в друкованих працях, наведено дані про апробацію результатів роботи і публікації.

Перший розділ присвячено аналізу основних проблем, пов'язаних з втратами потужності енергії в системах електропостачання. Розглянуто основні методи підвищення параметрів якості електричної енергії в електричних мережах. Показано, що традиційні пасивні методи компенсації вищих гармонік мають недоліки, пов'язані із залежністю ступеня компенсації реактивної потужності від поточного значення струму навантаження, можливістю виникнення резонансних явищ, комутаційними спотвореннями струму та інші. Обґрунтовано доцільність застосування активних методів компенсації вищих гармонік. Визначено, що найбільш перспективним методом підвищення енергетичної ефективності електричних мереж шляхом компенсації вищих гармонік струмів та реактивної складової потужності є застосування паралельних силових активних фільтрів на базі інвертора струму і інвертора напруги. Визначено недоліки минулих досліджень, присвячених дослідженню силових схем та систем керування силових активних фільтрів, на базі яких сформовано, задачі для подальших розділів.

У другому розділі дисертаційної роботи розроблено метод розрахунку та моделювання статичних та динамічних втрат потужності енергії в силових IGBT та MOSFET транзисторах та силових діодах силових активних фільтрів. Метод ґрунтується на тривимірній поліноміальній апроксимації енергетичних характеристик силових напівпровідникових вентилів. Перевагою розробленого метода від існуючих є врахування енергетичних параметрів конкретних силових вентилів, які застосовуються в силовій схемі, врахування температури, а також врахування миттєвих значень струму та напруги вентилів перетворювачів, що дозволяє визначити статичні та динамічні втрати потужності в стаціонарних та перехідних режимах при наявності багатогармонійної форми комутованих струмів. Розроблена методика розрахунку в подальших розділах лягла в основу визначення втрат потужності енергії та визначення загального енергозберігаючого ефекту при використанні паралельних силових активних фільтрів на основі інвертора напруги та інвертора струму в трифазних електричних мережах.

У третьому розділі виконано порівняння існуючих методів визначення сигналів завдання фазного струму паралельного силового активного фільтру, які основані на перетворенні систем координат pqr, αβ0, dqo. Визначено, що існуючі методи синтезу сигналу завдання фазного струму паралельного силового активного фільтру вимагають громіздких математичних обчислень. В пошуках мінімізації числа розрахункових операцій запропоновано метод синтезу сигналу завдання силового активного фільтра в abc системі координат, що не вимагає додаткових перетворень в системи координат pqr, αβ0, dqo. Показано, що

запропонований метод визначення сигналу завдання в abc системі координат, у порівнянні з існуючими дає ідентичні показники якості фазного струму мережі після компенсації, але дозволяє суттєво знизити число математичних операцій. Це дозволяє підвищити швидкодію та зменшити вартість апаратної частини системи керування паралельного САФ.

Розроблено імпульсну динамічну модель паралельного силового активного фільтра на базі інвертора напруги. Розроблена динамічна модель дозволяє визначати динамічні властивості регулювання вихідної напруги САФ та миттєві значення фазних струмів паралельного силового активного фільтру (САФ) на основі інвертора напруги.

Розраховано аналітичні умови забезпечення стійкості режиму корекції коефіцієнта потужності САФ з гістерезисною модуляцією. Визначено, що для забезпечення коефіцієнту гармонійних спотворень струму мережі після компенсації САФ на рівні THD_I<5%, амплітуда пульсаційної складової фазного струму САФ не повинна перевищувати 8,7% відносно амплітуди першої гармоніки струму навантаження мережі. На основі проведених досліджень розроблено покращену гістерезисну систему керування паралельного силового активного фільтру на базі інвертора напруги, яка забезпечує адаптивне регулювання значення уставки гістерезису. Перевагою розробленої гістерезисної системи керування є забезпечення заданого значення коефіцієнта гармонійних спотворень в повному діапазоні зміни струму навантаження мережі. Розроблено аналітичні вирази для розрахунку частотних діапазонів комутації силових транзисторів паралельного САФ на базі інвертора напруги та значень індуктивності фазних дроселів.

Визначено аналітичні умови забезпечення стійкості режиму корекції коефіцієнта потужності САФ з ШІМ та аналітичні вирази для розрахунку індуктивності фазних дроселів, параметрів *LCL* фільтра САФ, умов забезпечення заданих параметрів якості електричної енергії при реалізації САФ з ШІМ.

Отримано аналітичне значення, яке визначає значення пульсаційної складової фазного струму САФ в функції значень напруги в ланці постійного струму САФ, параметрів напруги мережі, частоти ШІМ та індуктивності фазного дроселя САФ, та не залежить від величини струму навантаження мережі. Запропоновано систему керування паралельного силового активного фільтру з адаптивним (регульованим) значенням частоти широтно-імпульсної модуляції, яка реалізує регулювання частоти ШІМ в функції діючого значення сигналу завдання фазного струму САФ. Проведено імітаційні моделювання трифазної електричної мережі з САФ з постійною частотою ШІМ. На базі двоконтурної системи автоматичного керування САФ та з використання частотних методів дослідження виконано синтез регулятора вихідної напруги САФ та доведено стійкість його роботи.

Визначено аналітичні рівняння, які визначають енергозберігаючий ефект в електричних мережах від застосування паралельних силових активних фільтрів, який полягає в формуванні коефіцієнта потужності близького до одиниці та зменшенні діючого значення фазного струму мережі після компенсації на величину, яка відповідає векторній сумі реактивної складової першої гармоніки та реактивних складових вищих гармонік струмів навантаження мережі до компенсації.

У четвертому розділі представлено результати досліджень імітаційних моделей паралельного силового активного фільтру на основі інвертора, виконані в програмному пакеті Matlab/Simulink. На моделях визначено енергетичні показники силового активного фільтра та електричної мережі, параметри якості електричної енергії системи електропостачання в режимі активної компенсації. Обґрунтовано енергетичний критерій доцільності використання паралельних силових активних фільтрів, який полягає у зниженні втрат потужності енергії в активному опорі електричної мережі на значення більше, ніж власні втрати потужності енергії у силовому активному фільтрі.

Шляхом комп'ютерного моделювання підтверджено теоретичні положення покращення ефекту компенсації реактивної складової потужності та вищих гармонік струмів силовими активними фільтрами з розробленими системами керування.

Розроблені аналітичні вирази та комп'ютерні моделі підтверджено фізичними дослідами роботи силового активного фільтра на перетворювальній установці АФКУ-06 виробництва «НПО ВЕРТИКАЛЬ», м. Харків в розробці якої автор приймав участь, що підтверджено відповідним актом впровадження.

У п'ятому розділі розроблена структурна схема та математична модель методу формування широтно-імпульсної модуляції на основі логічних змінних для паралельного силового активного фільтру на основі автономного інвертора струму, який дозволяє реалізовувати багатогармонійну форму фазного струму силового активного фільтру згідно його сигналу завдання. Адекватність математичної моделі ШІМ САФ на основі АІС підтверджено імітаційним моделюванням.

Визначено регулювальні характеристики вихідного струму АІС в функції коефіцієнта модуляції. Доведено, що силовий активний фільтр на основі інвертора струму не забезпечує формування багатогармонійного фазного струму в ковзному режимі керування та реалізує задане миттєве значення мережевого струму САФ шляхом модуляції імпульсів струму до мережевого CLR фільтру на параметри якого істотно впливають індуктивність та опір мережі. Це визначає необхідність розрахунку параметрів мережевого фільтра та частоти комутації з урахуванням параметрів активного опору та індуктивності конкретної електричної мережі.

Виконано порівняльний аналіз втрат потужності автономного інвертора струму та автономного інвертора напруги на основі реальних силових транзисторів Визначення втрат потужності АІН та АІС виконано методом поліноміальної апроксимації енергетичних характеристик силових вентилів. Визначено, що суттєвою перевагою АІС перед АІН є значно менші динамічні втрати потужності енергії. Показано, що при необхідності реалізації високих частот модуляції, які є необхідними для формуванні багатогармонійної форми фазного струму САФ, АІС має менші сумарні втрати потужності енергії та більше значення ККД.

Розроблено структурну схему системи автоматичного регулювання вихідного струму САФ на основі трифазного інвертора струму та виконано синтез регулятора вихідного струму. Стійкість САР перевірено методом побудови годографа Михайлова.

Адекватність проведеної лінеаризації передавальних функції САФ на основі інвертора струму перевірено шляхом порівнянням перехідних процесів, отриманих шляхом імітаційного моделювання та аналітичного розв'язку зворотнього перетворення Лапласа передавальних при подачі на неї ступінчатого сигналу завдання вихідного струму САФ.

У шостому розділі представлено результати досліджень трифазної електричної мережі з паралельним силовим активним фільтром на базі інвертора струму на комп'ютерній імітаційній моделі розробленій в програмі Matlab/Simulink. На моделі підтверджено теоретичні положення, запропонованої системи керування паралельним силовим активним фільтром на основі інвертора струму. За результатами моделювання визначено показники покращення параметрів електричної енергії та зниження втрат потужності в трифазній електричній мережі при застосування САФ на основі інвертора струму. Показано, що при реалізації САФ на основі інвертора струму коефіцієнт гармонійних спотворень струму мережі знижується з 12,47% до значення 2,47, а коефіцієнт потужності збільшується 0,88 до 0,99. Проведено аналіз власних втрат потужності в САФ на основі інвертора струму та енергозберігаючого ефекту в електричній мережі від зниження діючого значення фазного струму мережі внаслідок компенсації реактивної складової та вищих гармонік струму навантаження мережі.

У загальних висновках дисертації сформульовано основні результати дослідження, які дозволили оцінити вклад автора дисертаційної роботи у розвиток теорії напівпровідникових перетворювачів для силових активних фільтрів на базі інвертора напруги та інвертора струму.

Висновки до розділів та загальні висновки за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 269 найменувань.

Зміст реферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень захищеної кандидатської дисертації. В роботі не використовуються результати досліджень, представлених в кандидатській дисертації.

Зміст дисертації відповідає спеціальності 05.09.12 – «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії». Якість оформлення дисертації добра.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. З приводу термінології. В тексті дисертації широко використовується термін «втрати потужності» при дослідженні процесів у силових активних фільтрах. Проте, більш коректний термін у цьому контексті – втрати електроенергії, тому, що саме електрична енергія, як первинний фактор, а не потужність, потерпає змінення у кількісному вимірі, частина якої переходить у інший вид, наприклад, у теплову. Втрати електроенергії, як правило, пов'язані з втратами у електричних колах під час проходження електричного струму через елементи кола, та означають зменшення кількості енергії, яка досягає кінцевого споживача порівняно з кількістю, що була вироблена. Втрати потужності позначають зменшення можливості роботи з електроенергією в конкретний момент часу, наприклад, через перевантаження мережі, або через втрату саме енергії, яка перейшла в теплову на елементах кола. Тому термін "втрати електроенергії" більш точний та прийнятний при дослідженні електричних кіл.

2. В першому розділі при порівнянні програм моделювання підтверджується, що програми Spice – моделювання враховують динамічні втрати в транзисторах, але стверджується, що тільки для малопотужних транзисторів через відсутність стандартних Spice – моделей для потужних та високовольтних транзисторів. Але у арсеналі Spice – моделювання є можливість редагувати параметри існуючих моделей для реалізації характеристик потужних високовольтних силових транзисторів. Є також можливість використовувати моделі деяких існуючих потужних транзисторів, що створені їх розробниками та адаптовані під Spice – моделі. Тому бажано було би проаналізувати або обґрунтувати також можливість розробки нових підходів в дослідженні динамічних втрат при наявності існуючих Spice – програм моделювання.

3. В розділі 2.3 сказано про порівняння розрахунків втрат енергії, виконаних за допомогою запропонованої методики поліноміальної апроксимації та програми MelcoSim 5.1. Проте, навіть якщо ця програма не враховує високу

частоту комутації транзисторів, то приведені результати розрахунку за цією програмою в табл..2.3 відрізняються від розрахунку за методикою поліноміальної апроксимації на величину всього лише до 2 відсотків, що може бути цілком достатньо для аналізу. Тому не зрозуміло, якщо точність цієї програми така висока, розбіжність розрахунку не значна, як показано в табл..2.3, то в чому переваги та необхідність розробки нової методики поліноміальної апроксимації?

4. В роботі не вказано конкретні межі застосування методики поліноміальної апроксимації відносно характеристик конкретних типів IGBT, а лише тенденції придатності. Не зрозуміло, чи входить зона незбіжності в діапазон реальних характеристик IGBT

5. У висновках розділу 2 вказано, що розроблена методика поліноміальної апроксимації дозволяє визначати втрати енергії з урахуванням параметрів силових схем, впливу алгоритму модуляції та інше. Не зрозуміло, які саме параметри автор має на увазі і як саме це враховується? Адже згадана методика стосується лише параметрів IGBT, а не силових схем.

6. Яким застосуванням відповідають параметри моделі електричної мережі з силовим активним фільтром, подані у розділах 4 та 6 в табл.. 4.1 та 6.1? Наприклад, чому в моделі використовуються саме такі обрані значення активного опору та індуктивності мережі, параметри навантаження. Бажано було б це пояснити в тексті дисертації.

7. Аналіз стійкості систем автоматичного регулювання в роботі проведено лише за критерієм годографа Михайлова. Не зрозуміло, чому обрано саме цей критерій, а не, наприклад, критерій Найквіста, або критерій з точки зору збурень за Ляпуновим?

8. В шостому розділі представлено результати досліджень трифазної електричної мережі з паралельним силовим активним фільтром на базі інвертора струму та підтверджено теоретичні положення для запропонованої системи керування паралельним силовим активним фільтром на основі інвертора струму. В отриманих висновках бажано було сформулювати узагальнюючі практичні рекомендації по побудові та застосуванню даного класу пристроїв, що позитивно вплинуло б на основні результати дисертації.

Вказані зауваження і недоліки не позначаються на загальній високій оцінці дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Плахтія Олександра Андрійовича «Теоретичні основи підвищення енергетичної ефективності паралельних силових активних фільтрів на

основі інвертора напруги та інвертора струму» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка у розв'язує важливу науково-прикладну проблему розвитку теорії силових активних фільтрів на базі інвертора напруги та інвертора струму шляхом вдосконалення їх силових схем та систем керування, що забезпечує підвищення енергетичної ефективності електричних мереж шляхом компенсації вищих гармонік струмів та реактивної складової потужності. Дисертація «Теоретичні основи підвищення енергетичної ефективності паралельних силових активних фільтрів на основі інвертора напруги та інвертора струму» Плахтія О.А. виконана із дотриманням принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а здобувач Плахтій Олександр Андрійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії.

Опонент
провідний науковий співробітник
відділу транзисторних перетворювачів
Інституту електродинаміки НАН України,
доктор технічних наук, ст.наук.співр. Юрій РУДЕНКО
12.06.2025

Підпис д.т.н. Руденка Ю.В. засвідчую:
Вчений секретар Інституту
електродинаміки НАН України,
к.т.н. Марина ГУТОРОВА