

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Баранюка Романа Андрійовича на тему „Системи теплового захисту напівпровідникових перетворювачів електроенергії” , представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.12 — «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії».

Актуальність теми дисертації, її зв'язок з державними науковими програмами.

Актуальною проблемою силової електроніки є забезпечення надійності напівпровідникових перетворювачів, підвищення питомих характеристик та забезпечення оптимальних теплових режимів. Зменшення габаритів електронних компонентів призводить до того що, вони стають більш чутливими до температурного впливу, до стрибків струму і напруги . Теплова ємність між кристалом та навколишнім середовищем збільшується, що ускладнює передачу тепла в процесі регулювання. Представлена робота що є актуальною узгоджується з розробками кафедри промислової електроніки КПІ та держбюджетної ініціативної науково-дослідницької роботи «Підвищення показників енергоефективності та ресурсозбереження засобами силової електроніки для технології отримання високонадійних зварюваних з'єднань різнорідних матеріалів», № державної реєстрації 0116U006924, у відповідності до пріоритетного тематичного напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок.

Обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульовані у дисертації.

Наукові результати дисертації є обґрунтованими коректністю методів, які використані в процесі вирішення поставленої задачі, коректністю зроблених припущень. Достовірність наукових висновків по результатах дисертаційного дослідження підтверджується збігом теоретичних результатів, що отримані, з результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень.

Оцінка змісту дисертації: Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел із 95 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 140 сторінок, у тому числі 121 сторінка основного тексту, 58 рисунків та 8 таблиць. Обсяг та структура дисертації відповідають вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій. Поданий матеріал характеризується чіткою логікою, послідовністю та ясністю викладання.

У вступі

Обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету 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 і публікації.

У першому розділі

Виконано аналітичний огляд літературних джерел з предмету дослідження. Розглянуто методику розрахунку електромагнітних та теплових процесів , моделі

ключів та пасивних компонентів перетворювачів енергії, аварійні режими роботи перетворювачів. Показано що під час вмикання перетворювача та при короткочасних режимах роботи, виникнення аварійних режимів в основному обумовлене напівпровідниковими компонентами перетворювачів електромагнітної енергії. Спостерігається зріст температури переходів напівпровідника. внаслідок великого теплового опору між кристалом і корпусом та малої теплової ємності кристалів. Досліджується той факт, що температура кристалу напівпровідникового приладу може суттєво перевищувати температуру корпусу. При вмиканні перетворювача нагрів кристалу може досягти межі допустимих значень при незначній зміні температури корпусу компонента.

У другому розділі.

Досліджено моделі реактивних компонентів параметри яких залежать від температури. На основі рівнянь стану системи побудована суміщена математична модель електромагнітних та теплових процесів. Проведено дослідження стійкості розрахункового процесу. Використання об'єднаної математичної моделі ключового напівпровідникового перетворювача, з системою диференціальних рівнянь, які відповідають електричній та тепловій складовим, процесу дало змогу проводити об'єднаний розрахунок повторно-короткочасних електротеплових режимів з врахуванням зміни параметрів компонентів в залежності від температури та електромагнітних процесів.

Використання методу діакоптики дозволило розділити вихідну жорстку об'єднану систему на нежорсткі електричну та теплову та провести суміщений розрахунок для процесів з суттєво різною швидкістю перебігу.

Прискорення розрахункового процесу для діакоптично розділеної жорсткої системи можливе на основі визначення придатних кроків інтегрування підсистем, які забезпечують стійкість розрахункових процесів, аналізу чутливості коренів характеристичного рівняння, стійкості методу інтегрування та відповідного вибору кроку дискретизації рівнянь стану та рівнянь зв'язку.

У третьому розділі

На основі методики розрахунку суміщених електротеплових процесів проведено моделювання понижуючого ШПП. З використанням обернених температурних моделей індуктивності дроселя та ємності конденсатора. При моделюванні використовувався метод розділення електромагнітних і теплових процесів та використовувалися два середовища – Simulink та Plescs. Особливістю середовища Plescs є можливість побудови теплової моделі перетворювача, виконання теплових розрахунків та організації зв'язку для передачі теплових змінних стану в середовище Simulink, де проводиться моделювання електромагнітних процесів. Використання моделей пасивних компонентів оберненого типу з незалежними та залежними від температури складовими дозволило розділити матрицю коефіцієнтів на дві частини, які відповідають значенням електричних параметрів компонентів перетворювача при 25°C та матрицю коефіцієнтів залежних від температури, що дало можливість, розрахувати електромагнітні режими роботи перетворювача без врахування нагріву, та окремо аналізувати тепловий вплив на його роботу. Проведений суміщений аналіз електромагнітних та теплових процесів у понижуючому ШПП показав можливість виникнення стрибків струму та теплових ударів по кристалах напівпровідникових приладів в пускових і

повторно короткочасних режимах роботи та підтвердив необхідність аналізу теплового руху коренів характеристичного рівняння, з метою визначення шляхів для зменшення ступеню коливальності перехідного процесу.

Четвертий розділ

Дослідженню електротеплови режими роботи електрокоагулятора серійного виробництва з метою теплового захисту напівпровідникових перетворювачів. Моделювання розробленої системи теплового захисту напівпровідникових ключових перетворювачів, що базується на адаптації сталої часу системи плавного запуску до температури, виконано в об'єднаному середовищі Plescs/Mathlab/ Simulink. Проведено моделювання запропонованої системи теплового захисту напівпровідникових ключових перетворювачів, дія якої основана на нормалізації параметрів пасивних компонентів силової частини, та проведене дослідження аварійних режимів роботи електрокоагуляторів сімейств «Надія-2», «Надія-4», «Свармед» ЕК300М, що виробляються серійно, показало можливість виникнення неприпустимих стрибків струму в напівпровідникових транзисторах та дало можливість визначити шляхи теплового захисту ключів. Використання таких засобів в електрокоагуляторах «Свармед» дозволило зменшити приведену у процентах до об'єму та термінів випуску апаратів кількість відмов 17% до 1,2%.

Наукова новизна роботи

1. На основі диференційних рівнянь стану побудована математична модель понижуючого широтно-імпульсного перетворювача з урахуванням температурних залежностей зміни параметрів компонентів напівпровідникових перетворювачів.

2. На базі сформованої математичної моделі запропоновано розділення компонентних матриць, що дозволяє розраховувати електромагнітні процеси при базовій температурі 25°C, відокремивши складову перехідного процесу залежну від температури та оцінити її вплив на режими роботи.

3. Вперше на основі аналізу впливу температури на корені характеристичного рівняння системи визначено шляхи нормалізації електромагнітних процесів до зміни температури.

Особистий внесок

Викладені в дисертаційній роботі наукові положення та результати отримані автором особисто. Автору належать обґрунтування задачі, проведення досліджень, аналіз і обробка результатів, висновки за отриманими результатами роботи, а саме: формування суміщеної електротеплової моделі напівпровідникових перетворювачів електроенергії для забезпечення теплового захисту пристрою на методологічному рівні та створення додаткових ланцюгів схеми перетворювача для забезпечення теплового захисту пристрою на схемотехнічному рівні.

Шляхи використання результатів дисертації:

Доцільно використання запропонованих систем теплового захисту, які суттєво зменшують теплові удари по кристалах транзистора в пускових та повторно короткочасних режимах роботи в пристроях силової електроніки.

Повнота викладу основних положень дисертації в наукових працях.

Основний зміст роботи відображено у 8 публікаціях: 5 статей у наукових фахових виданнях України, з них 3 статті у виданнях України, включеному до міжнародних наукових баз Scopus, Ulrich's Periodicals Directory, OpenAIRE, Index Copernicus Journals Master List; 1 патент на корисну модель; 2 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Автореферат повністю відображає основні положення дисертації.

Зауваження за змістом дисертації.

1. Метою роботи є суміщений аналіз електричних та теплових процесів в ключових напівпровідникових перетворювачах при зміні параметрів пасивних та активних елементів під впливом температурних змін. Чи не доцільно особливу увагу приділяти режимам, які знаходяться на межі робочих та аварійних режимів для розімкнених систем та на межі умов грубості для замкнених систем?

2. На стор. 65 стверджується, що в сталих режимах без зовнішнього впливу основну увагу в процесі теплового моделювання треба приділяти пасивним компонентам схеми, що вимагає пояснення.

3. Розрахунок змін опору дроселя вимагає враховування впливу скін-ефекту, що дуже помітно у квазірезонансних імпульсних перетворювачах, частота перемикання яких досягає десяти МГц.

4. На стор. 68 автор вибирає регресійний метод для формування аналітичного опису процесів. Враховуючи дискретний нелінійний характер електричних процесів та суттєву нелінійність теплових змін параметрів елементів, аналітичний опис можливий при наявності певних припущень, які треба було позначити.

5. В системі рівнянь (2.12) коефіцієнти матриць та вектори зовнішнього впливу не є статичними, вони залежать від кліматичного та електромагнітного стану.

6. На основі методу діакоптики рівняння (2.12) розбитого на систему двох рівнянь, де перше рівняння відноситься до швидких електромагнітних процесів, а друге — до повільних теплових, але реально ці нелінійні процеси існують сукупно при взаємному впливі один на одного.

7. У висновку 3 до другого розділу з метою прискорення розрахунку діакоптично розділеної системи пропонується вибір придатного кроку інтегрування. Що стосується різницевих рівнянь для швидких дискретних процесів, які розв'язуються класичним методом, або методом Z-перетворення, то для них крок інтегрування співпадає з періодом комутації. Чи існує зв'язок між ним і кроком інтегрування диференціальних рівнянь, що описують температурні зміни?

8. У висновку 4 другого розділу сказано «використання моделі компонентів перетворювача дозволило отримати конкретні результати рішення поставленої проблеми, » хоча такі конкретні результати наведені в розділах 3, 4.

9. Матриця A_t (3.16) включає параметри, які не залежать від температури, що ускладнює розрахунок. Для запобігання цього пропонується значення ємності та індуктивності представляти оберненими величинами, що вимагає додаткового пояснення.

10. На стор. 94 говориться про те, що зображення (це комплексна величина) при використанні експонентної складової починає бути схожим на оригінал (часова залежність) вже при $n=3$, що не зовсім переконливо.

11. У підрозділі 3.2 автор багато уваги приділяє впливу температурних змін параметрів елементів перетворювача на характер перехідних процесів, що для розімкнутої системи має значення, коли вони призводять до виникнення перевантаження та перенапруги при відповідному відношенні частоти комутації до резонансної частоти системи. В замкненій системі зміни параметрів суттєво впливають на її динамічні показники — перерегулювання, діапазон стійкості, коливальність.

12. В технічному завданні на розробку системи силової електроніки формулюються вимоги до діапазону зміни кліматичних факторів, в яких вона здатна виконувати свої функції, що перевіряється в процесі кліматичних випробувань. Чи можна говорити про те, що в перспективі впровадження результатів дисертації може привести до відмови від температурних випробувань ?

13. В дисертації зустрічаються не зовсім вдалі вирази. Наприклад, «...можна виділити матрицю A_1 від погано обумовленої матриці A », стор. 92, та інші.

Висновок. Дисертаційна робота Баранюка Р. А. «Системи теплового захисту напівпровідникових перетворювачів електроенергії» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності представляють собою суттєвий внесок в розвиток теорії і практики та підвищення надійності напівпровідникових перетворювачів електроенергії.

Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій, зокрема, п.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., а її автор, Баранюк Роман Андрійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії».

Офіційний опонент,

Завідувач кафедри промислової електроніки

Чернігівського національного

технологічного університету, д.т.н., проф.

Ю.О. Денисов

24.11.2017

Підпис Денисова Ю.О., засвідчує

Вчений секретар Чернігівського

національного технологічного

університету, д.держ.наук, проф.



І.М. Олійченко