

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу МАРТИНОВА Вячеслава Володимировича «Високовольтні напівпровідникові джерела живлення з синхронними несинфазними структурами для потужних газорозрядних установок», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії

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

У даний час високовольтні перетворювачі широко застосовуються в якості джерел живлення потужних газорозрядних установок різного технологічного призначення. Особливість таких установок полягає в тому, що їх електричний опір може випадковим чином швидко змінюватись у широких межах, викликаючи неприпустимі змінення напруг і струмів, від яких залежить якість технологічних процесів та ресурс установок. Крім цього, індуктивність кола навантаження в цих установках підтримує протікання в ньому дугоутворюючих нетехнологічних струмів і після відключення їх джерел від первинної мережі електроживлення. Це обумовлює необхідність вирішення ряду науково-прикладних задач щодо підвищення ефективності використання високовольтних напівпровідникових імпульсних перетворювачів в якості джерел живлення потужних газорозрядних установок. Сукупність таких взаємо-зв'язаних задач складає важливу проблему одночасного підвищення потужності високовольтних напівпровідникових джерел живлення, швидкодії їх систем регулювання і стабілізації вихідних параметрів та стійкості потужних джерел до стохастичного виникнення у їх навантаженні аварійних дугоутворюючих режимів.

Тому, розвиток теорії високовольтних напівпровідникових перетворювачів електроенергії з синхронними несинфазними структурами для підвищення їх динамічних і енергетичних параметрів та стійкості до стохастичних збурень їх режимів при живленні потужних газорозрядних установок є актуальною науково-прикладною проблемою, яка визначила напрям досліджень дисертаційної роботи.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що робота виконувалась відповідно до планів держбюджетних науково-дослідних робіт Інституту електродинаміки НАН України під науковим керівництвом здобувача (номера державної реєстрації: 0105U002316, 0109U05582, 0113U006534). А також відповідно до планів науково-дослідних робіт Інституту електродинаміки НАН України, де дисертант був відповідальним виконавцем розділів науково-дослідних робіт (номера державної реєстрації: 01031U000355, 0101U003650, 0107U002097 01071002368 0117U000291).

Зміст роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 348 сторінок, з них: 187 рисунків, 15 таблиць, списку використаних джерел із 223 найменувань.

Обсяг і структура дисертації відповідає вимогам, які висуваються до докторських дисертацій.

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.

У першому розділі проаналізовано тенденції розвитку і особливості побудови напівпровідникових перетворювачів в якості джерел живлення потужних газорозрядних установок. Розглянуто основні проблеми та особливості впливу параметрів електроенергії джерел електроживлення на якість технологічних процесів газорозрядних установок, а також зворотного впливу електронно-променевих і газорозрядних процесів на режими високовольтних джерел електроживлення. Обґрунтована потреба подальшого розвитку теорії високовольтних напівпровідникових перетворювачів електроенергії з синхронними несинфазними структурами для підвищення їх динамічних і енергетичних параметрів та стійкості до стохастичних збурень їх режимів при живленні потужних газорозрядних установок.

Другий розділ присвячено аналізу впливу характеристик навантаження та умов перетворення електроенергії на енергоефективність і динамічні параметри напівпровідникових джерел електроживлення потужних газорозрядних установок та узагальнено особливості таких джерел електроживлення. Встановлено залежність між коефіцієнтом затухання перехідних процесів фільтра та величиною необхідної енергії у фільтруючих елементах, а також зв'язок між потужністю систем електроживлення та частотою перетворення параметрів накопиченої енергії у їх вихідних колах з метою збереження необхідної якості їх вихідної напруги перетворювачів.

Дисертант визначив умови підвищення якості вихідної напруги багатофазних систем електроживлення та обґрунтував доцільність розробки нових систем, в яких синхронні несинфазні силові структури виконано на основі двотактних асиметричних напівмостових інверторів, що не мають реактивних елементів у вихідних колах і використовують двообмоткові дроселі, в яких не змінюється напрям магнітного потоку при перемагнічуванні силового трансформатора.

У третьому розділі дисертант розробив нові принципи побудови потужних високовольтних напівпровідникових перетворювачів, за якими їх синхронні несинфазні силові структури побудовано на основі двотактних асиметричних напівмостових інверторів, що не мають реактивних елементів у вихідних колах. Розроблено математичну модель N-фазного джерела на основі вирішення диференціальних рівнянь на інтервалі сталості структури при довільних початкових умовах, що описують багатофазну систему на $1/N$ частині періоду комутації. Запропоновано методику розрахунку якості вихідної напруги потужних багатофазних систем з двотактними асиметричними напівмостовими структурами, що дозволяє визначати необхідну кількість фаз перетворювача для забезпечення вимог до якості вихідної напруги з урахуванням фільтруючих властивостей кола навантаження. Визначено параметри фазних струмів багатофазних систем з двотактними асиметричними напівмостовими інверторами і встановлено закономірності їх змінень у залежності від величини індуктивності розсіювання у колі навантаження.

У четвертому розділі отримано аналітичні залежності та проведено аналіз статичних і динамічних характеристик багатофазних напівпровідникових джерел живлення з синхронними несинфазними структурами. Дисертант отримав аналітичні залежності, які описують елементи розробленої однофазної еквівалентної моделі з виділенням в ній низькочастотних і високочастотних модульованих складових. Встановлено залежність модуляційної нелінійності імпульсної системи з коефіцієнтом загасання передавальної функції імпульсного перетворювача.

У п'ятому розділі запропоновано багатоконтурне керування стабілізованими напругою і струмом у потужній газорозрядній установці на основі лінійних і нелінійних зворотних зв'язків, контролю і запам'ятовування стану системи електроживлення з можливістю формування у навантаженні короткочасних пауз струму та умов його швидкого безколивального відновлення. Проведено аналіз отриманих дисертантом передавальних функцій високовольтних багатофазних напівпровідникових систем електроживлення та встановлено зв'язок параметрів системи. Отримано залежності, що відображають зв'язок частотних властивостей перехідного процесу з еквівалентною схемою заміщення кола газорозрядного навантаження у високовольтних системах електроживлення. Визначено умови безаварійної роботи елементів системи.

Шостий розділ присвячено представленню структурних, функціональних і принципівих схем, фотографій та технічних параметрів і характеристик розроблених високовольтних напівпровідникових джерел живлення та їх вузлів. За результатами досліджень і моделювання з використанням отриманих методів та моделей розроблено рекомендації щодо побудови та підвищення енергетичних і техніко-економічних показників напівпровідникових перетворювачів з високопотенціальними вузлами як джерел живлення потужних газорозрядних установок.

У загальних висновках сформульовано основні результати дослідження, які дозволили оцінити вклад автора дисертаційної роботи у розвиток теорії високовольтних напівпровідникових перетворювачів електроенергії з синхронними несинфазними структурами для живлення потужних газорозрядних установок.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку теорії високочастотних напівпровідникових перетворювачів з високопотенціальними вузлами для електровакуумного обладнання.

До основних наукових результатів можна віднести:

1. Нові принципи побудови високовольтних напівпровідникових джерел електроживлення на основі виконання їх синхронних несинфазних структур, як двотактних асиметричних напівмостових інверторів без реактивних елементів у колі навантаження, і введення двообмоткових дроселів, магнітний потік яких не змінює напрямку при перемагнічуванні силового трансформатора, що дало змогу підвищити динамічні характеристики та енергоефективність таких джерел і реалізувати в них примусові безколивальні паузи струму та його швидке відновлення.

2. Математичну модель N-фазних джерел живлення на основі двотактних асиметричних напівмостових інверторів і аналітичні вирази для розрахунку якості вихідної напруги джерел та їх статичних і динамічних характеристик, що дає можливість спростити визначення кількості необхідних структур джерел.

3. Метод визначення статичних і динамічних характеристик напівпровідникових імпульсних стабілізаторів з широтно-імпульсною модуляцією на основі розрахунку параметрів однофазної еквівалентної математичної моделі, з використанням методу їх усереднення в просторі станів і урахуванням фактору пульсацій.

4. Багатоконтурне керування вихідними напругою і струмом джерел електроживлення з використанням лінійних і нелінійних зворотних зв'язків, контролю і запам'ятовування їх стану та реалізації безколивальних переривань і швидкого відновлення струму, що дає можливість поліпшити динамічні характеристики потужних газорозрядних систем.

Цінність для науки і практики результатів роботи полягає в тому, що на їх основі було розроблено методики: визначення необхідної кількості двотактних асиметричних напівмостових структур – фаз напівпровідникових джерел живлення для досягнення заданої якості вихідної напруги з урахуванням особливостей

навантаження і впливу потужності, частоти комутацій у кожній фазі та параметрів затування індуктивно-ємнісних фільтрів; розрахунку статичних і динамічних характеристик багатофазних напівпровідникових імпульсних стабілізаторів з широтно-імпульсною модуляцією на основі аналізу характеристик їх однофазної еквівалентної математичної моделі; розрахунку взаємозв'язаних електромагнітних і теплових параметрів силових трансформаторів із урахуванням сукупності геометричних величин їх магніто проводу.

Наукові та практичні результати впроваджено при створенні експериментальних зразків високовольтних напівпровідникових джерел електроживлення в Інституті електродинаміки НАН України та потужних газорозрядних установок в Інституті електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України. Високовольтне напівпровідникове джерело живлення потужністю до 450 кВт впроваджено у газорозрядному устаткуванні підприємства МК "Антарес" (м. Київ) для промислового виготовлення високоякісних титанових виливків.

Рекомендації з визначення енергоефективних параметрів напівпровідникових вузлів джерел живлення потужністю 200-400 кВт впроваджено у промислових плазмових і електронно-променевих технологічних лініях підприємства "Електротехімпульс" (м. Київ). Рекомендації з розрахунку електромагнітних процесів і параметрів напівпровідникових вузлів джерел резервного електроживлення впроваджено на підприємстві СВП "Київські ТЕЦ" ПАТ "Київенерго".

Теоретичні результати дисертаційного дослідження використано у навчальному процесі кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій
підтверджується коректністю постановки мети і задач дисертаційного дослідження, використанням як загальнопризнаних фундаментальних методів: теорії розгалужених нелінійних електричних кіл, застосуванні диференціальних і різницевих рівнянь, методу усереднення в просторі станів, безперервного перетворення Лапласа, Z- і W- перетворень, теорії автоматичного керування та методів чисельного і фізичного моделювання.

Нові наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, обґрунтовано чіткими математичними викладками і підтверджено співставленням результатів чисельних розрахунків з результатами експериментів та імітаційного моделювання, що підтверджує достовірність теоретичних висновків. Зроблені припущення дозволяють досягти достатню для інженерних розрахунків точність результатів.

Сформульовані в роботі висновки і рекомендації виходять з критичного аналізу отриманих результатів, а їх співставлення з відомими та отриманими раніше даними, є достатньо аргументованими.

Достовірність результатів досліджень підтверджується високою точністю збігу теоретичних напрацювань з результатами моделювання та експериментальними даними, а також апробацією результатів на 11 міжнародних конференціях, впровадженням науково-прикладних результатів в Інституті електродинаміки НАН України, в Інституті електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, на підприємствах МК "Антарес" (м. Київ), "Електротехімпульс" (м. Київ), СВП "Київські ТЕЦ" ПАТ "Київенерго".

Повнота викладення основних положень дисертації в наукових працях.

За темою дисертації дисертант має 41 публікацій, зокрема 27 статей у наукових фахових виданнях України, з яких 5 статей у виданнях, що включені до міжнародних науко-метричних баз (МНМБ) SCOPUS і Web of Science, 16 публікацій у виданнях, включених до МНМБ Science Indexт (Elibrary), 11 доповідей у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій і 7 патентів на винаходи.

Опубліковані роботи у повній мірі висвітлюють основний зміст, результати, висновки і рекомендації дисертації.

Результати роботи доповідались і обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми сучасної електротехніки» (Вінниця, 2012, Київ, 2018); «Силова електроніка та енергоефективність» (Алушта, 2012, Одеса, 2016, Харків, 2017); «Інтелектуальні енергетичні системи» (Мукачево, 2011, Київ, 2015); «Електроніка та нанотехнології» (Київ, 2011); «Матеріали та покриття в екстремальних умовах: дослідження, застосування, екологічно чисті технології виробництва та утилізації виробів» (Ялта, 2010).

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 доктора наук.

Зв'язок докторської дисертації з кандидатською. Наукові положення, результати і висновки, що виносились на захист кандидатської дисертації, яка була присвячена розробці та дослідженню транзисторних стабілізаторів з підвищеною якістю вихідної напруги з використанням однофазних перетворювачів з незмінною безперервною частиною другого порядку, не виносяться на захист докторської дисертації.

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

Зауваження по дисертаційній роботі:

1. Висновок, що зменшення постійної часу, тобто відношення індуктивності розсіювання вихідного кола фази джерела живлення до приведенного опору навантаження, порівняно з періодом комутацій в цій фазі, підвищує відсоток потужності, що передається до навантаження є **очікуваною закономірністю** і, таким чином цей висновок не слід кваліфікувати як наукову новизну.

2. У третьому пункті наукової новизни вказано, що розроблено однофазну модель N-фазного джерела живлення, але в тексті дисертації опис моделі містить всі фази джерела живлення. Також в цьому пункті вказано наявність широтно-імпульсної модуляції, але в тексті дисертації модель не містить параметрів, що пов'язані з широтно-імпульсною модуляцією.

3. У четвертому пункті наукової новизни в якому мова йде про новий метод щодо «визначення впливу потужності та частоти комутації» не вказано на що саме цей вплив має місце. Це не дозволяє за **цим формулюванням** новизни визначити її смислове значення.

4. Сьомий пункт наукової новизни «Розвинуто теорію високовольтних напівпровідникових джерел живлення в напрямку реалізації ...» не можна

віднести до наукової новизни в зв'язку з тим, що він не розкриває суті наукових результатів, а складається лише з переліку результатів, які лягли в основу пунктів 2 та 6 наукової новизни дисертації.

5. У роботі має місце неоднозначна інтерпретація поняття коефіцієнту заповнення: $\gamma = 2T_{off} / T$, $\gamma = 2T_n / T$ (п. 2.3); $\gamma = 2T_n / T = (0 \div 1)$ (п. 3.1); $\gamma = t_i / T$ (п. 4.1); $T_i / T = 0,8$ (рис. 2.17); $T_i / T = 0,6$ (рис. 2.18); $T_n / T = 1$, $\gamma = 1$ (рис. 2.23); $T_n / T = 0,8$, $\gamma = 0,8$ (рис. 2.24); $T_n / T = 0,2 \div 1$, $\gamma = 0,2 \div 1$ (рис. 2.28).

6. Загальні висновки не містять порівняльних чисельних характеристик отриманих результатів, а мають лише якісні порівняння типу, «підвищення динамічних характеристик, якості вихідної напруги, енергоефективності та стійкості джерел електроживлення і газорозрядних установок, їх продуктивності та технологічної ефективності».

7. У роботі не має переліку умовних позначень, у переліку скорочень використовується суміш термінів українською та іншими мовами. Частина скорочень, що використовуються в тексті, відсутня в списку.

8. У роботі має місце різний стиль формульних позначень і оформлення рисунків (похилі / прямі символи, розмірності на різних мовах, відсутність позначень), повторення формул. Підпис до рисунків розміщується без урахування всіх вимог щодо оформлення дисертаційної роботи.

Відзначені зауваження і недоліки не позначаються на загальній високій оцінці дисертаційної роботи В.В. Мартинова, яких відомий широкому колу фахівців своїми публікаціями по проблематиці дисертаційної роботи.

Висновок. Дисертаційна робота Мартинова Вячеслава Володимировича «Високовольтні напівпровідникові джерела живлення з синхронними несинфазними структурами для потужних газорозрядних установок» представляє собою самостійно підготовлену завершену науково-дослідну працю, в якій розв'язано важливу науково-прикладну проблему, що полягає в розвитку теорії високовольтних напівпровідникових перетворювачів електроенергії з синхронними несинфазними структурами для живлення потужних газорозрядних установок.

Актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та повнота викладу в опублікованих працях повністю відповідають вимогам до докторських дисертацій. Дисертаційна робота за своїм змістом та напрямом досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.09.12 – «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії».

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року, щодо докторських дисертацій, а її автор Мартинов Вячеслав

Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
директор інституту автоматики та електротехніки
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова



Г.В. Павлов

Підпис Павлова Г.В. засвідчую:
Вчений секретар НУК
імені адмірала Макарова



С.А. Уткіна

Лист. 90 СВР
18.09.2020
