

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Мартинова В'ячеслава Володимировича «Високовольтні напівпровідникові джерела живлення з синхронними несинфазними структурами для потужних газорозрядних установок», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальністю 05.09.12 - напівпровідникові перетворювачі електроенергії.

Актуальність теми дисертації. Сучасний розвиток промислових сфер застосування газорозрядних установок, особливістю яких є використання високої стабільної напруги з швидким і стохастичними змінами їх вольт-амперних характеристик, вимагає підвищення їх продуктивності і потужності джерел електроживлення. В зв'язку з цим зростають вимоги до таких джерел щодо нестабільності вихідних напруг і струмів в умовах швидкої зміни їх суттєво нелінійного і стохастичного навантаження в більш широкому діапазоні. Таким чином, науково-прикладна проблема розробки та створення сучасних напівпровідникових джерел живлення для потужних газорозрядних установок полягає не тільки в зростанні вимог до якості перетворення параметрів електроенергії в напрямку зменшення нестабільності і пульсацій вихідних напруг і струмів, але і в одночасному підвищенні швидкості керування електромагнітними процесами в газорозрядному навантаженні та стійкості таких джерел до появи в їхніх вихідних електричних колах великопотужних аварійних режимів. Сучасні напівпровідникові джерела електроживлення газорозрядних установок повинні забезпечувати вихідні потужності в сотні кіловат, стабілізовані напруги в десятки ківольт і струми в десятки ампер та не допускати виникнення коливальних перехідних процесів у колі навантаження при будь-яких зміненнях його електричного опору.

Розробка принципів побудови та створення високовольтних напівпровідникових потужних джерел електроживлення, які здатні одночасно реалізовувати вказану сукупність взаємно суперечливих електротехнічних вимог, є складною науково-прикладною проблемою, тому тема дисертаційної роботи, що присвячена її вирішенню, є безумовно актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження проводились в Інституті електродинаміки (ІЕД) НАН України згідно планів НДР НАН України за темами з номерами державної реєстрації (ДР): 0105U002316, 0109U05582, 0113U006534 під науковим керівництвом здобувача. Ще вони виконувались за планами НДР (ІЕД) НАН України (№№ ДР: 01031U000355, 0101U003650, 0107U002097 01071002368 0117U000291), в яких дисертант був відповідальним виконавцем окремих розділів. У цих роботах він розробив нові наукові принципи побудови високовольтних напівпровідникових джерел на основі створення синхронних несинфазних структур як двотактних асиметричних напівмостових інверторів і нової стратегії багатоконтурного керування для формування у навантаженні короткочасних безколивальних пауз струму та його швидкого відновлення. Використання цих принципів суттєво підвищило динамічні ха-

рактеристики та ефективність джерел живлення потужних газорозрядних установок.

Новизна наукових результатів.

Автором здійснено подальший розвиток теорії високочастотних напівпровідникових перетворювачів з синхронними несинфазними структурами для забезпечення енергоефективного електроживлення потужних газорозрядних установок технологічного призначення.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації відповідають меті дисертації та поставленим задачам. Важливими науковими результатами є.

1. Нові принципи побудови високовольтних напівпровідникових джерел живлення на основі виконання синхронних несинфазних структур по типу двотактних асиметричних напівмостових інверторів без реактивних елементів у колі навантаження, але з введенням двообмоткових дроселів, магнітний потік яких не змінює напругу при перемагнічуванні силового трансформатора. Ці принципи забезпечують підвищення динамічних характеристик і енергоефективності потужних джерел живлення і дозволяють реалізувати в них безколивальні паузи струму та їх швидке відновлення.

2. Нова математична модель N-фазних джерел живлення, виконаних на основі двотактних асиметричних напівмостових інверторів з широтно-імпульсною модуляцією, і нові аналітичні вирази для розрахунку якості їх вихідної напруги та всіх статичних і динамічних характеристик шляхом вирішення диференціальних рівнянь на $1/N$ частині періоду комутацій кожної структури при різних початкових умовах та визначення кількості необхідних фаз.

3. Розвиток методу підвищення якості вихідної напруги N-фазних напівпровідникових джерел живлення з двотактними асиметричними напівмостовими інверторами на основі уточнення впливу на неї потужності і частоти комутацій у кожній фазі та параметрів наявних індуктивно-ємнісних фільтрів.

4. Розвиток методу визначення статичних і динамічних характеристик напівпровідникових імпульсних стабілізаторів з широтно-імпульсною модуляцією шляхом уточнення параметрів однофазної еквівалентної математичної моделі на основі використання методу їх усереднення в просторі станів з урахуванням їх модуляційної нелінійності (фактору пульсацій).

5. Нова стратегія багатоконтурного керування вихідними напругою і струмом джерел електроживлення на основі лінійних і нелінійних зворотних зв'язків з урахуванням особливостей систем контролю їх стану і формування безколивальних пауз струму з швидким його відновленням, що підвищує динамічні параметри потужних джерел живлення і газорозрядних установок.

6. Розвиток теорії високовольтних напівпровідникових джерел живлення в напрямку реалізації в їх синхронних несинфазних структурах одноступеневого перетворення параметрів електроенергії, захисту комутуючих елементів від перенапруг і надструмів, відсутності реактивних елементів у колі навантаження та розробки стратегії стабілізації вихідних напруги і струму на основі його безколивального переривання і швидкого відновлення, що

підвищує енергоефективність таких джерел та технологічну ефективність потужних газорозрядних установок.

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці інженерних методик з визначення необхідної кількості двотактних асиметричних напівмостових структур, як фаз високовольтних напівпровідникових джерел живлення потужних газорозрядних установок, та урахування впливу їх особливостей як споживачів електроенергії на методи реалізації необхідних вихідних характеристик напівпровідникових джерел живлення та умови їх регулювання і стабілізації. Зокрема у дисертації розроблено і впроваджено інженерні методики визначення необхідних статичних і динамічних характеристик багатofазних напівпровідникових джерел живлення потужних газорозрядних установок на основі використання однофазної еквівалентної математичної моделі таких джерел та аналізу їх характеристик з урахуванням їх модуляційної нелінійності та параметрів індуктивно-ємнісних фільтрів і характеристик силових трансформаторів.

Цінність наукових і практичних результатів дисертації полягає також у їх використанні при створенні експериментальних зразків високовольтних напівпровідникових джерел електроживлення, які розроблено і створено в Інституті електродинаміки НАН України, та потужних газорозрядних установок, які створено в Інституті електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України. Рекомендації з розрахунку електромагнітних процесів і енергоефективних параметрів напівпровідникових вузлів джерел резервного електроживлення впроваджено на підприємстві СВП "Київські ТЕЦ" ПАТ "Київенерго". 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). Методики і наукові результати дисертації впроваджено у навчальних дисциплінах "Електротехнологічні установки та системи" і "Силова перетворювальна техніка" кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Створене високовольтне напівпровідникове джерело живлення потужністю до 450 кВт впроваджено у газорозрядному устаткуванні підприємства МК "Антарес" (м. Київ) для промислового виготовлення високоякісних титанових виливків.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації, їх достовірність підтверджується виконанням досліджень із застосуванням відомих аналітичних та числових методів, коректними припущеннями та постановкою завдань, співпадінням теоретичних розробок та результатів комп'ютерного моделювання та підтверджується впровадженням розробок, опублікуванням результатів роботи та обговоренням на наукових конференціях.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертаційна робота є завершеною працею, що складається із вступу, шести розділів, висновків, двох додатків та списку використаних джерел з 223 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 346 сторінок, у тому числі 310 сторінок основного тексту, 187 рисунків і 15 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та задачі наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну, практичне значення та реалізацію отриманих результатів дисертації, наведено дані про їх апробацію, впровадження та публікації.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу закономірностей тенденцій розвитку і нових вимог до побудови напівпровідникових перетворювачів параметрів електроенергії для електроживлення сучасних потужних газорозрядних установок різного технологічного призначення. Розглянуто фундаментальні закономірності та особливості впливу параметрів електроенергії джерел електроживлення на якість технологічних процесів газорозрядних установок та вплив особливостей реалізації і змін цих процесів на характеристики і принципи побудови високовольтних напівпровідникових джерел електроживлення. Обґрунтовано необхідність розвитку теорії та принципів побудови високовольтних напівпровідникових джерел електроживлення сучасних потужних газорозрядних установок та доцільність при цьому застосування напівпровідникових перетворювачів із синхронними несинфазними структурами. Показана необхідність удосконалення таких перетворювачів та систем регулювання і стабілізації їх вихідних параметрів для забезпечення вимог сучасних потужних газорозрядних установок щодо підвищення енергетичних і динамічних характеристик джерел їх електроживлення в умовах збільшення невизначеності вольт-амперних характеристик і стійкості режимів газорозрядних установок при збільшенні їх потужності.

Другий розділ присвячено детальному аналізу впливу особливостей реалізації і змінення процесів споживання електроенергії в сучасних потужних газорозрядних установках на характеристики і принципи побудови високовольтних напівпровідникових джерел їх електроживлення. Визначено доцільні шляхи та напівпровідникові структури для забезпечення енергоефективного перетворення параметрів електроенергії при суттєвому збільшенні потужності газорозрядних установок. Показано, що сучасні тенденції збільшення продуктивності і відповідно потужності таких установок обґрунтовують необхідність розвитку теорії високовольтних напівпровідникових джерел живлення в напрямку реалізації одноступеневого перетворення параметрів електроенергії, захисту їх комутуючих елементів від перенапруг і надструмів, відсутності реактивних елементів у колі навантаження та розробки стратегії стабілізації вихідних напруги і струму на основі його безколивального переривання і швидкого відновлення.

Встановлено, що енергія яка накопичується у вихідних індуктивно-емнісних фільтрах перетворювачів, для забезпечення якості вихідної електроенергії, істотно залежить від потужності джерела, частоти перетворення і

параметрів затухання їх еквівалентної схеми. Причому, чим меншим є коефіцієнт затухання перехідних процесів, тим для забезпечення необхідної якості вихідної напруги треба накопичувати більшу енергію у фільтруючих елементах. У цьому розділі визначено доцільні умови підвищення якості вихідної напруги багатофазних систем електроживлення та обґрунтована необхідність використання синхронних несинфазних силових структур, виконаних 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 дисертації розроблено нові принципи побудови високовольтних напівпровідникових джерел електроживлення потужних газорозрядних установок з використанням в синхронних несинфазних структурах двотактних асиметричних напівмостових інверторів з двообмотковими дроселями, що не мають реактивних елементів у вихідних колах.

Запропоновано удосконалений метод розрахунку якості вихідної напруги потужних багатофазних систем з двотактними асиметричними напівмостовими структурами, в основу якого покладено вирішення диференціальних рівнянь на інтервалі сталості структури при довільних початкових умовах, що описують багатофазну систему на $1/N$ частині періоду комутації. Це дозволяє визначати необхідну кількість фаз перетворювача для забезпечення якості вихідної енергії перетворювача 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 дисертації отримано аналітичні залежності, які описують елементи розробленої однофазної еквівалентної моделі з виділенням в ній низькочастотних і високочастотних модульованих складових та проведено аналіз статичних і динамічних характеристик однофазної еквівалентної математичної моделі. Встановлено залежність модуляційної нелінійності від відносної частоти переривання та змінення коефіцієнту загасання передавальної функції імпульсного перетворювача.

П'ятий розділ дисертації присвячено розробці нової стратегії багато-контурного керування стабілізованими напругою і струмом у потужній газорозрядній установці на основі лінійних і нелінійних зворотних зв'язків, контролю і запам'ятовування стану системи електроживлення та формування у навантаженні короткочасних безколивальних пауз струму та умов його швидкого відновлення. Проведено аналіз отриманих передавальних функцій високовольтних багатофазних напівпровідникових джерел живлення потужних газорозрядних установках і встановлено зв'язок частотних властивостей перехідного процесу з еквівалентною схемою заміщення кола навантаження джерел такого типу. Визначено умови захисту високовольтного дроселя від

виникаючих перенавантажень і виникнення коливальних розрядів у колі навантаження для забезпечення його безаварійного електроживлення.

У шостому розділі наведено результати використання на практиці отриманих дисертантом наукових і прикладних результатів, включаючи інженерні методики розрахунку необхідних характеристик і параметрів напівпровідникових джерел живлення потужних газорозрядних установок технологічного призначення, рекомендації щодо реалізації доцільних енергетичних і динамічних характеристик та використання для цього розроблених у дисертації математичних моделей і аналітичних виразів. Представлено рекомендації щодо побудови та підвищення енергетичних параметрів напівпровідникових джерел електроживлення та технологічних і техніко-економічних показників потужних газорозрядних установок. Представлено інформацію (у вигляді електротехнічних характеристик і фотографій) розроблених автором, створених і впроваджених у промислове виробництво зразків напівпровідникових джерел електроживлення для потужних газорозрядних установок.

У загальних висновках дисертації автор викладає отримані ним найважливіші наукові та прикладні результати і рекомендації щодо їх використання. Висновки до дисертаційної роботи містять дванадцять пунктів, які поетапно деталізують отримані результати та доцільність їх використання.

У додатках наведено перелік публікацій автора за темою дисертації, акти впровадження та використання результатів роботи.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях.

Наукові результати дисертації відображено в 41 науковій праці, в тому числі в 27 публікаціях, що входять до переліку наукових фахових видань України, з яких 5 статей у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз (МНМБ) SCOPUS і Web of Science, 16 публікацій у виданнях, включених до МНМБ Science Index (Elibrary), 11 доповідей у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій (МНТК) і 7 патентів на винаходи. Публікації повністю відображають зміст дисертації.

Положення, наукові і практичні результати дисертації доповідались та обговорювались на 11 МНТК: 2019 IEEE 6th Intern. Conference (Kyiv, 2019); «Силова електроніка та енергоефективність» (Алушта, 2012; Одеса, 2016; Харків, 2017-2019); «Проблеми сучасної електротехніки» (Вінниця, 2012; Київ, 2002, 2018); «Електроніка та нанотехнології» (Київ, 2011); «Матеріали і покриття в екстремальних умовах: дослідження, застосування, екологічно чисті технології виробництва та утилізації виробів» (Ялта, 2010).

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації є повним, як і її змісту, висновкам і рекомендаціям.

Використання в докторській дисертації наукових положень, на основі яких захищено кандидатську дисертацію не виявлено.

Результати досліджень, представлених у кандидатській дисертації здобувача, яка захищена у 1990 році за спеціальністю 05.09.12 – електричні та напівпровідникові перетворювачі, в даній роботі не використовуються і на захист не виносяться.

Оформлення дисертації.

Дисертація та автореферат написані українською мовою. Стиль викладу матеріалів відповідає загальноприйнятому і має високий науково-професійний рівень. Оформлення дисертації та автореферату відповідає чинним вимогам.

Зауваження по дисертаційній роботі:

1. Перший пункт новизни щодо зменшення постійної часу, тобто відношення індуктивності розсіювання вихідного кола фази джерела живлення до приведенного опору навантаження і т.д ..., на мою думку не достатньо обґрунтовано, щоб його кваліфікувати як новий науковий результат.

2. Здобувачеві бажано більш детально розкрити відмінність розробленої нової моделі багатофазного перетворювача від відомих досліджень багатофазних перетворювачів, представлених у публікаціях Кобзева А.В., Кадацького А.Ф. та інших відомих вчених.

3. Треба більш чітко обґрунтувати, в чому є новизна, чи розвиток автором методу визначення статичних і динамічних характеристик багатофазного імпульсного перетворювача за його однофазною моделлю.

4. У дисертації автор використовує різні стилі написання формул і оформлення рисунків, що погіршує сприйняття окремих результатів.

5. Перелік пунктів наукової новизни результатів, на мою думку, більш доцільно розпочати з висвітлення найбільш значимих наукових результатів, але вони чомусь розташовані в кінці цього переліку.

Наявні зауваження не стосуються її принципових положень, результатів і висновків, тому не знижують наукової цінності дисертації і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновок. Дисертація Мартинова В.В. «Високовольтні напівпровідникові джерела живлення з синхронними несинфазними структурами для потужних газорозрядних установок» виконана на високому науковому рівні з використанням методів розрахунку лінійних електричних кіл, класичного методу розрахунку перехідних процесів, методу усереднення в просторі станів, теорії диференціальних рівнянь, теорії автоматичного регулювання та методів математичного моделювання, що дозволяє стверджувати про обґрунтова-

ність та достовірність наукових і практичних результатів. Дисертаційну роботу відзначає логічність, чіткість і обґрунтованість доказів, завершеність поставлених мети та задач дослідження.

Дисертаційна робота В.В. Мартинова є закінченою науковою працею, в якій отримано нові обґрунтовані результати щодо вирішення на високому науковому рівні актуальної і важливої науково-прикладної проблеми – розвитку теорії, принципів побудови та створення високовольтних напівпровідникових джерел живлення для підвищення енергоефективності електроживлення потужних газорозрядних установок з одночасним підвищенням їх технологічної ефективності та стійкості до великострумних аварійних режимів.

Дисертація «Високовольтні напівпровідникові джерела живлення з синхронними несинфазними структурами для потужних газорозрядних установок» за змістом, одержаними науковими результатами та їх втіленню на практиці відповідає пп. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 щодо докторських дисертацій та паспорту спеціальності 05.09.12 - напівпровідникові перетворювачі електроенергії, а її автор **Мартинов В'ячеслав Володимирович** заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за зазначеною спеціальністю.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизованих
електромеханічних систем
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
МОН України

Я.В.Щербак

Підпис д.т.н. Щербак Я.В. засвідчую:



Я.В.Щербак /Забиваєт/

*Засвід. до СВР
17.09.2020
Масиш*