

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Коротинського Олександра Євтихійовича, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника

на дисертаційну роботу

Назва роботи: Розробка теоретичних і науково-технологічних принципів створення енергоефективних інверторних джерел живлення для зварювальних процесів і споріднених технологій.

Автор: Бурлака Володимир Володимирович.

Робота представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Спеціальність: 05.03.06 – зварювання та споріднені процеси і технології

1. Актуальність обраної теми

У зв'язку з постійно зростаючою вартістю енергоносіїв, в т.ч. електроенергії, енергозбереження є виключно актуальною проблемою.

У сучасному виробництві зварювання характеризується великим обсягом застосування і є одним з важливих технологічних процесів, а основною частиною зварювального устаткування, що випускається, є джерела живлення для дугового зварювання. Тому створення високоефективних зварювальних джерел живлення, що забезпечують перетворення енергії з високим ККД і задовольняють сучасним стандартам електромагнітної сумісності технічних засобів є важливою науковою і практичною задачею.

Основна тенденція розвитку зварювальних джерел живлення - поліпшення і збільшення ступеня взаємодії між об'єктом управління (зварювальною електричною дугою, розплавленим електродним металом і зварювальною ванною) і джерелом живлення.

Завдяки розвитку технології інверторних джерел, що мають підвищену швидкодію, з'явилися технології забезпечення контрольованого перенесення електродного металу, зниження розбризкування і ін. Але при цьому часто залишається без уваги проблема електромагнітної сумісності інверторних зварювальних джерел живлення з мережею. Інверторні зварювальні джерела є потужними генераторами струмів вищих гармонік, що призводить до порушення режиму роботи електричної мережі, підвищення втрат енергії в ній, спотворення форми кривої напруги. Більш того, невідповідність більшості інверторних джерел сучасним стандартам електромагнітної сумісності не дозволяє організувати їх експорт.

В пропонованій роботі основна увага приділяється розробці таких підходів до створення зварювальних інверторних джерел живлення, які дозволять або усунути, або компенсувати негативні ефекти, пов'язані з їх роботою в електричній мережі, і забезпечити виконання вимог стандартів електромагнітної сумісності при збереженні якості реалізації технологічного процесу зварювання (наплавлення, дугового напилення, плазмових технологій і ін. супутніх процесів). Остання вимога робить розроблене обладнання конкурентоздатним на світовому ринку. У зв'язку з цим дана робота є актуальною.

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

Робота виконана на основі програм держбюджетних науково-дослідних робіт ДВНЗ «ПДТУ» за темами «Розробка наукових і технологічних основ створення енергоефективних зварювальних джерел живлення з інтегрованими функціями активної фільтрації вищих гармонік» (2012 – 2014 рр., номер держреєстрації 0112U000499), «Розробка наукових основ проектування енергоефективних засобів компенсації реактивної потужності та активної фільтрації вищих гармонік в електричних мережах» (2015 – 2017 рр., номер держреєстрації 0115U000170), «Розробка імпульсних перетворювачів з функціями підвищення енергоефективності розподільчих електричних мереж» (розпочата в жовтні 2017 року, номер держреєстрації 0117U003995). Робота підтримана грантом Президента України (2014 р., проект № GP / F56 / 099 «Розробка імпульсних АС-DC перетворювачів з функціями підвищення якості електроенергії»). Матеріали роботи використані в госпдоговірній НДР «Разработка системы управления возбуждательными устройствами бесщеточных возбуждателей синхронных двигателей компрессоров КТК кислородного цеха» (замовник - ПрАТ «МК«Азовсталь», договір 04 / 0148Н від 16.06.2014 р., м. Маріуполь).

3. Об'єкт, предмет, мета, завдання, методи досліджень

Об'єкт досліджень – електромагнітні процеси, що протікають в інверторних зварювальних джерелах живлення, мережі живлення і електричній зварювальній дузі.

Предмет досліджень – управління процесом перетворення параметрів електричної енергії в інверторних зварювальних джерелах живлення.

Метою дисертаційної роботи заявлена розробка теоретичних і науково-технологічних принципів створення інверторних джерел живлення для зварювальних процесів і споріднених технологій. Створювані джерела повинні забезпечувати високу ефективність перетворення електричної енергії, мати хороші масогабаритні параметри, високу швидкодію і відповідати сучасним стандартам електромагнітної сумісності технічних засобів.

Для досягнення поставленої мети автором запропоновано вирішення наступних науково-технічних задач:

1. Розробки наукових підходів до побудови схем інверторних зварювальних джерел живлення з поліпшеною енергоефективністю та електромагнітною сумісністю (корекцією коефіцієнта потужності).
2. Розробки енергоефективних схем активних випрямлячів для зварювальних джерел з корекцією коефіцієнта потужності.
3. Розробки принципів побудови схем і алгоритмів управління інверторними зварювальними джерелами живлення прямого перетворення.

4. Розробки теоретичних та науково-технічних принципів створення зварювальних джерел живлення, що поліпшують якість напруги мережі живлення.

5. Розробки схемних рішень і алгоритмів управління пристроями стабілізації горіння дуги в складі зварювальних джерел живлення.

6. Розробки науково-технічних принципів побудови зварювальних джерел живлення змінного струму для ТІГ процесу зварювання алюмінію і його сплавів.

7. Проведення дослідно-промислових випробувань розробленого обладнання.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використовувався математичний апарат аналізу і синтезу систем автоматичного управління безперервної і імпульсної дії; теорія лінійних і нелінійних електричних ланцюгів; пряме і зворотне перетворення Фур'є; математичний апарат цифрової обробки сигналів; методики розрахунку процесів в імпульсних перетворювачах електроенергії. Експериментальні дослідження проводились з використанням існуючого, а також спеціально розробленого і виготовленого автором електротехнічного, електронного та спеціального вимірювального обладнання. Обробка експериментальних даних проведена з використанням як існуючого, так і спеціально створеного автором програмного забезпечення.

Вважаю, що запропоновані автором рішення поставлених задач в представленій дисертаційній роботі розкриті в достатньому обсязі. Методи досліджень і обробки результатів обрані коректно і не суперечать відомим фізичним закономірностям. Це дає змогу стверджувати, що результати експериментів є достовірними і підтверджують правильність теоретичних припущень, викладених в роботі.

4. Ступінь обґрунтованості й достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Теоретичні дослідження, виконані в роботі, базуються на наукових положеннях електротехніки, електроніки, теорії автоматичного управління, теорії зварювальних процесів, фізики. Експериментальні дослідження проведені автором із застосуванням сучасних методик і розробленого та модернізованого обладнання. Обробка результатів досліджень виконана з використанням математичних методів, що підвищило ступінь їх достовірності.

У теоретичних дослідженнях використані відомі закони і положення. Розрахункові результати добре узгоджуються з експериментальними, що підтверджує достовірність розробок і висновків дисертанта. Отримані автором результати є логічними і не суперечать фундаментальним фізичним закономірностям.

У зв'язку з цим вірогідність основних положень і висновків, сформульованих в роботі, не викликає сумнівів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в створенні основ нового напрямку в розробці зварювальних інверторних джерел живлення з функціями поліпшення якості напруги мережі.

Запропоновано новий підхід до вирішення комплексної задачі створення зварювальних інверторних джерел живлення прямого перетворення з корекцією коефіцієнта потужності, що полягає в безпосередньому перетворенні напруги мережі в високочастотну змінну напругу з середньовипрямленим значенням, пропорційним квадрату миттєвої напруги мережі, з подальшою високочастотною трансформацією, випрямленням і складанням за рахунок послідовного з'єднання виходів випрямлячів.

Вперше запропоновано спосіб управління активним випрямлячем джерела живлення, що забезпечує поліпшення якості напруги мережі живлення за рахунок установки вхідного струму активного випрямляча пропорційно різниці миттєвого напруги мережі і опорної синусоїдальної ЕРС, що формується петлею фазового автопідстроювання частоти і синхронізованою з першою гармонікою частоти мережі, причому амплітуда цієї ЕРС встановлюється максимальною, але такою, щоб миттєва активна потужність випрямляча була позитивною, а коефіцієнт пропорційності для вхідного струму встановлюється з умови балансу вихідної потужності активного випрямляча і потужності його навантаження.

Запропоновано новий підхід до створення інверторних зварювальних джерел живлення подвійного перетворення з корекцією коефіцієнта потужності, що полягає у використанні випрямлення напруги мережі з подальшим згладжуванням за допомогою фільтра з інвертором напруги, включеним послідовно з навантаженням, при цьому вихідну напругу інвертора встановлюють з умови сталості вихідного струму випрямляча, а живлення інвертора виконують або від напруги на навантаженні, або від мережі, при цьому в останньому випадку вхідні струми інвертора встановлюють з умови максимуму коефіцієнта потужності системи «випрямляч + інвертор».

Дістав подальшого розвитку науково-прикладний напрямок: створення зварювальних джерел живлення змінного струму із застосуванням силових послідовних активних фільтрів, в яких регулювання зварювального струму виконується керованим джерелом ЕРС, а завдання на струм дуги формують у вигляді періодичної кривої з частотою мережі і нульовим середнім значенням.

Вперше запропоновано науковий підхід до побудови однофазних зварювальних інверторних джерел живлення з комплексним вирішенням завдань забезпечення електромагнітної сумісності та стабілізації горіння дуги, який відрізняється тим, що крива споживаного від мережі струму формується за рахунок модуляції активної потужності інвертора, а стабільність горіння дуги забезпечується за рахунок введення в інвертор елементів формування струму чергової дуги з реактивним його обмеженням і зміні робочої частоти інвертора з умови її пропорційності миттєвому значенню напруги його живлення.

Запропоновано новий підхід до створення універсальних пристроїв підпалу і стабілізації горіння дуги, що полягає у використанні резонансних явищ в

елементах зварювального контуру, при цьому частота збудження контуру встановлюється вище резонансної з подальшим зменшенням до досягнення заданого запасу енергії в елементах контуру.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Розроблено нові схемні рішення і алгоритми управління активними випрямлячами з корекцією коефіцієнта потужності для зварювальних інверторних джерел живлення з подвійним перетворенням, які характеризуються зниженими втратами енергії і зменшеним числом напівпровідникових компонентів в силовому ланцюзі.

2. Розроблено нові схемні рішення і алгоритми управління інверторними зварювальними джерелами живлення з прямим перетворенням і корекцією коефіцієнта потужності, що забезпечують споживання від мережі струму з низьким вмістом вищих гармонік, що мають прості алгоритми управління і невелике число силових напівпровідникових ключів.

3. Розроблено алгоритм управління активними випрямлячами, що дозволяє поліпшувати якість напруги мережі живлення. Алгоритм можна використовувати для всіх інверторних зварювальних джерел, що мають пряме управління мережевим струмом.

4. Розроблено зварювальне джерело живлення змінного струму на основі послідовного активного фільтра, що дозволяє реалізувати TIG, MIG, MMA процеси при використанні нерегульованого зварювального трансформатора з нормальним розсіюванням. У джерелі забезпечена безступінчата регулювання зварювального струму, компенсація постійної складової при TIG зварювання алюмінію і його сплавів, підвищена стабільність горіння дуги за рахунок збільшення швидкості зміни зварювального струму при переході його через нуль.

5. Розроблено однофазне зварювальне інверторне джерело живлення з підвищеним коефіцієнтом потужності, функцією стабілізації горіння дуги за рахунок підвищеної напруги холостого ходу і поліпшеним використанням високочастотного силового трансформатора за рахунок стабілізації амплітуди магнітного потоку шляхом корекції частоти перемикання інвертора.

6. Розроблено універсальні пристрої підпалу і стабілізації горіння дуги, що забезпечують підпал дуги при мінімальній енергії розряду. Пристрої придатні для спільної роботи як з низькочастотними, так і з інверторними зварювальними джерелами живлення постійного і змінного струму.

В додатках до дисертації наведені акти промислових випробувань розробленого обладнання, а також акти впровадження в навчальний процес результатів представленої роботи.

Достовірність результатів, приведених в дисертації, не викликає сумнівів, оскільки вони не суперечать відомим фізичним законам; при розрахунках і моделюванні використовувались сучасні методи, програмні і апаратні засоби; результати математичного моделювання підтверджені експериментальними випробуваннями.

Новизна результатів, наведених в роботі, підтверджена 44 патентами України на винаходи, що підтверджують її світовий рівень.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, в опублікованих працях

За темою роботи опубліковано 94 науково-технічні праці, в тому числі: 3 монографії, 45 статей в спеціалізованих наукових виданнях, з яких 8 статей в міжнародних і наукометричних виданнях (Scopus), 34 статей в збірниках ВАК, 3 статті в інших наукових виданнях. Новизна розробок підтверджена 46 патентами України (44 патенти на винаходи і 2 патента на корисні моделі). Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: міжнародній науково-технічній конференції «Университетская наука» (Маріуполь, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017); 6-й, 7-й, 8-й, 9-й, 10-й міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (Севастополь, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014); міжнародній науково-технічній конференції молодих учених «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2010); I Міжнародній конференції молодих спеціалістів «МЕТИНВЕСТ-2011» (Маріуполь, 2011); III міжнародній науково-методичній конференції «Современные проблемы сварки и родственных технологий, совершенствование подготовки кадров» (Маріуполь, 2011); VI, VII науково-практичній конференції “Донбас-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених” (Донецьк, 2012, 2014); Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених з міжнародною участю «Автоматика та електротехніка» (Миколаїв, 2012); II міжнародній науково-практичній конференції «Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки» (Чернівці, 2012); II Всеукраїнській науково-технічній конференції «Зварювання та споріднені процеси і технології» (Миколаїв, 2012); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод» (Краматорськ, 2012); II Міжотраслевій науково-практичній конференції «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды» (Харків, 2013); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Енергетика, енергозбереження» (Маріуполь, 2013); XI Міжнародній науково-технічній конференції «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (Кременчук, 2013); Всеукраїнській науковій інтернет-конференції «Сучасна наука – інструмент динамічного розвитку економіки України» (Тернопіль, 2013); VII, VIII науково-технічній конференції молодих учених і спеціалістів «Сварка и родственные технологии» (Київ, 2013, 2015); 17-му Міжнародному молодіжному форумі «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харків, 2013); I Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об’єктів» (Донецьк, 2013); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Енергетика, енергозбереження на початку XXI століття»

(Маріуполь, 2014); V Міжнародній науково-технічній конференції «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах» (Луцьк, 2014); Науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Научные исследования молодежи – инновации в науке и практике» (Маріуполь, 2013); III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Проблеми зварювання, споріднених процесів і технологій» (Миколаїв, 2014); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика» (Маріуполь, 2015, 2016, 2017); XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (Кременчук, 2016); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Сварка и родственные технологии: перспективы развития» (Краматорськ, 2016).

Результати роботи в повній мірі представлені в зазначених публікаціях за темою дисертації.

Кількість публікацій за темою дисертації є достатньою і відповідає вимогам до опублікування результатів дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук.

6. Зауваження по дисертаційній роботі

1. Одним з напрямків розвитку зварювальних джерел живлення є використання накопичувачів енергії великої ємності (іоністорів). Доцільно було направити зусилля автора на розробку принципів створення джерел з використанням такої елементної бази.

2. На сьогоднішній день інтенсивно розвивається напрямок створення перетворювальної техніки з використанням напівпровідникових компонентів на основі карбіду кремнію (SiC), які мають підвищені робочі напруги, температурний діапазон і швидкодію у порівнянні з “традиційними” на основі кремнію. На мій погляд, доцільно було б в роботі оцінити перспективи використання в проектах джерел живлення сучасної елементної бази на основі SiC, що дозволить забезпечити подальше покращення масогабаритних та технічних показників.

3. Доцільно було б провести аналіз максимальних потужностей джерел живлення з неповною корекцією (гл. 4.2 дисертації) з умов збереження їх відповідності вимогам діючих стандартів емісії вищих гармонік струму технічними засобами.

4. На мою думку, в першому розділі роботи (літературному огляді) недостатньо систематизований огляд використання відомих підходів до підвищення якості електроенергії за рахунок використання активних фільтруючих систем (посилання [45 – 122]).

Перелічені зауваження не знижують позитивного враження від дисертаційної роботи.

7. Висновок про відповідність дисертації діючим вимогам Порядку присудження наукових ступенів

Представлена дисертаційна робота за обсягом і оформленням відповідає вимогам нормативних документів щодо оформлення дисертацій та авторефератів.

Робота відповідає паспорту спеціальності 05.03.06 – зварювання та споріднені процеси і технології. Вона є закінченим науковим дослідженням за актуальною тематикою. Отримані в дисертації результати достовірні і в достатній мірі обгрунтовані.

Автореферат за змістом і структурою відповідає дисертації.

В представленій дисертації на здобуття наукового ступеня доктор технічних наук не містяться результати досліджень автора, викладені в його дисертації на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук.

Вважаю, що представлена дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Здобувач Бурлака Володимир Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач лабораторії джерел
живлення ІЕЗ ім. Є.О. Патона

О.Є. Коротинський

Підпис О.Є. Коротинського засвідчую:
Вчений секретар ІЕЗ ім.Є.О.Патона
НАН України
кандидат технічних наук

І.М. Клочков