



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93762 (13) C2

(51) МПК
B23K 9/06 (2011.01)
B23K 9/10 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ДУГИ З БАГАТОКАНАЛЬНИМ ВИХОДОМ ТА РОЗШИРЕНИМ ДІАПАЗОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТРУМУ

1

2

(21) a200907035

(22) 06.07.2009

(24) 10.03.2011

(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.

(72) ПАТОН БОРИС ЄВГЕНЬЄВИЧ, КОРОТИНСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ЄВТІХІЄВИЧ, СКОПЮК МИХАЙЛО ІВАНОВИЧ, МАХЛИН НАУМ МОРДУХОВИЧ, БУРЯК ВЛАДИСЛАВ ЮР'ЄВИЧ, ДРАЧЕНКО МИКОЛА ПЕТРОВИЧ, ЮЩЕНКО КОНСТАНТИН АНДРІЙОВИЧ, ЯРОВИЦИН ОЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ.Є. О. ПАТОНА НАН УКРАЇНИ

(56) US 4425493 A1; 10.01.1984

US 4705934 A; 10.11.1987

GB 979112 A; 01.01.1965

US 4654503 A; 31.03.1987

(57) 1. Джерело живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, до складу якого входять некерований понижуючий силовий випрямляч з жорсткими зовнішніми характеристиками та первинним колом, під'єднаним до мережі змінного струму промислової частоти, і конвертор постійного струму понижуючого типу, у якому вихід силового напівпровідникового ключа під'єднано до силового входу вихідного каналу, що містить послідовно з'єднані вихідний дросель та давач зварювального струму, інформаційний вихід давача зварювального струму під'єднано до входу зворотного зв'язку за струмом системи керування конвертора, вихід постійного струму некерованого силового випрямляча - до силового входу конвертора, силовий вихід вихідного каналу конвертора - до однієї вихідної клеми джерела живлення дуги, інша вихідна клема якого з'єднана з іншим вихідним полюсом конвертора, яке **відрізняється** тим, що у джерело живлення дуги додатково введені декілька вихідних каналів, щонайменше один, кожен з яких складається з послідовно з'єднаних дроселя та давача струму, суматор вихідних інформаційних сигналів давачів струму та блок комутації з перемикачем вихідних каналів, при цьому інформаційні виходи усіх давачів струму під'єднані до входів суматора інформаційних сигналів давачів струму, вихід якого

з'єднано зі входом зворотного зв'язку за струмом системи керування конвертора, входи додаткових вихідних каналів під'єднано до силового виходу силового напівпровідникового ключа конвертора, а силові виходи усіх вихідних каналів - до входів блока комутації з перемикачем вихідних каналів, вихід якого з'єднано з однією вихідною клемою джерела живлення дуги.

2. Джерело живлення за п. 1, яке **відрізняється** тим, що усі вихідні канали з'єднані між собою послідовно, при цьому вхід першого додаткового вихідного каналу з'єднано з силовим виходом основного вихідного каналу.

3. Джерело живлення за п. 1, яке **відрізняється** тим, що блок комутації з перемикачем вихідних каналів складається з власне перемикача, блока збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором та блокуючого конденсатора, при цьому вихід перемикача і одна з обкладок блокуючого конденсатора під'єднані до одного з виводів вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора блока збудження дуги, другий вивід якої з'єднано з виходом блока комутації, інша обкладка блокуючого конденсатора під'єднана до іншої вихідної клеми джерела живлення дуги.

4. Джерело живлення за п. 1, яке **відрізняється** тим, що блок комутації з перемикачем вихідних каналів виконано у вигляді власне перемикача, блока збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором, двох блокуючих конденсаторів, блока допоміжної дуги та вихідної клеми під'єднання сопла плазмотрона, при цьому вихід перемикача вихідних каналів, один з полюсів блока допоміжної дуги та кожний блокуючий конденсатор однією обкладкою під'єднано до одного з виводів вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора блока збудження дуги, другий вивід якої з'єднано з виходом блока комутації, інша обкладка одного з блокуючих конденсаторів під'єднана до іншої вихідної клеми джерела живлення дуги, а інша обкладка другого блокуючого конденсатора з'єднана з іншим полюсом блока допоміжної дуги та з вихідною клемою під'єднання сопла плазмотрона.

(19) UA (11) 93762 (13) C2

Винахід відноситься до галузі електрозварювальних технологій, а саме, до джерел зварювального струму для дугового зварювання, наплавлення, різання та напилення металів неплавким електродом у середовищі захисних, переважно інертних, газів.

У зварювальному виробництві для живлення дуги при зварюванні (наплавленні, різанні, напиленні) металів неплавким електродом у середовищі захисних газів широкое застосування отримали джерела зварювального струму, які у своєму складі мають ланку високочастотного перетворення, що послідовно з'єднана з колом передачі потоку енергії від енергетичного входу (мережі живлення) до виходу (зварювальної дуги). Такі джерела зварювального струму можуть бути побудовані як за схемою з безтрансформаторним входом і, щонайменше, чотириступеневим перетворенням напруги мережі змінного струму промислової частоти (джерела зварювального струму інверторного типу) так і за схемою з вхідним понижуючим трансформатором і триступеневим перетворенням напруги мережі змінного струму промислової частоти (джерела зварювального струму „чоперного" типу).

Спільним елементом цих джерел є наявність індуктивного накопичувача (дроселя), який входить як обов'язковий елемент до складу вихідного каналу джерела зварювального струму зі ланкою високочастотного перетворення незалежно від його типу. Його основним призначенням є здійснення енергозабезпечення зварювальної дуги протягом тієї частини коленого такту перетворення, коли силові ключі конвертора або силовий ключ імпульсного перетворювача перебувають у вимкненому стані. Індуктивність дроселя вихідного каналу має бути достатньою для забезпечення розмаху пульсації зварювального струму, сприятливого для створення передумов, як ефективного збудження дуги у початковій стадії процесу зварювання, так і підтримання сталого дугового розряду при найменшому значенні зварювального струму. Так як, індуктивність дроселя визначається кількістю витків обмотки та об'ємом осердя, а переріз дроту обмотки дроселя розраховується на найбільше значення зварювального струму, то маса та розміри дроселя визначають досяжний діапазон регулювання зварювального струму і загальні масогабаритні показники джерела зварювального струму зі ланкою високочастотного перетворення.

Другим спільним елементом структури вихідного каналу джерел зварювального струму зі високочастотним перетворенням обох типів є також давач струму, який забезпечує можливість здійснення зворотного зв'язку за зварювальним струмом та функціонування вузлів захисту від неприпустимих значень струму у зварювальному колі. Саме давач струму забезпечує необхідне значення відношення сигнал/шум у всьому діапазоні регулювання зварювального струму стосовно вихідного інформаційного сигналу давача струму, а також рівень похибки цього сигналу відносно іс-

тинного значення зварювального струму, що, у свою чергу, визначає можливості системи керування конвертора або імпульсного перетворювача постійного струму щодо досяжного рівня найменшого значення зварювального струму.

Відоме джерело зварювального струму інверторного типу, яке містить мережевий випрямляч, фільтр випрямленої мережевої напруги, однотактний конвертор зі двома силовими ключами, кожен з яких виконано у вигляді паралельно з'єднаних транзисторів, двома зворотними діодами і системою керування, високочастотний силовий трансформатор, випрямляч вторинної напруги високочастотного трансформатора, до одного із полюсів якого під'єднано ланцюг зі послідовно з'єднаними вихідним дроселем та виконаним у вигляді шунта давачем струму, а поміж полюсами випрямляча вторинної напруги високочастотного трансформатора під'єднано додатковий індуктивно-ємнісний накопичувач (Схемотехніка інверторних источников питания для дуговой сварки: Учебное пособие /Е. Н. Верещало, В. Ф. Квасницкий, Л. Н. Мирошниченко, И. В. Пентегов. - Николаев: УГМТУ, 2000. с. 255-258).

У цьому джерелі напруга мережі живлення промислової частоти випрямляється та фільтрується і у такому вигляді надходить до силового входу одно - або двотактного конвертора, силовий вихід якого з'єднано з первинним колом високочастотного трансформатора. Напруга вторинного кола випрямляється і за допомогою вихідного індуктивного накопичувача (дроселя) та давача струму остаточно формується як вихідна напруга джерела зварювального струму інверторного типу.

Основним недоліком джерела - аналогу зварювального струму інверторного типу є його обмежені технологічні можливості, які пов'язані з тим, що у відомому джерелі зварювального струму максимальне значення відносної тривалості замикання транзисторних ключів конвертора принципово не може перевищувати 0,5. Це зумовлює не тільки обмеження досяжного максимального значення зварювального струму, а і ускладнює (а у більшості випадків робить неможливим) ефективне збудження дуги та підтримання сталого дугового розряду при наднизьких значеннях - $(0,4...1,0)A$ - зварювального струму, необхідних для здійснення процесів зварювання і наплавлення низькоенергетичною дугою.

Відоме джерело зварювального струму „чоперного," типу, до складу якого входять некерований понижуючий силовий випрямляч з жорсткими зовнішніми характеристиками, первинне коло якого під'єднано до мережі живлення промислової частоти, і, виконаний у вигляді транзисторного однотактного перетворювача постійного струму понижуючого типу, імпульсний регулятор режимів дугового зварювання, що містить вхідний емнісний фільтр, силовий ключ, виконаний з паралельно з'єднаних транзисторів, емітери яких з'єднані між собою через вирівнюючі резистори, а бази через запобіжники під'єднані до виходу блоку широтно-імпульсної модуляції, паралельно з'єднані зворот-

ні діоди та вихідний повітряний дросель, при цьому інформаційний вхід блоку широтно-імпульсної модуляції контуру зворотного зв'язку за струмом під'єднано до одного з вирівнюючих резисторів транзисторів силового ключа (Регулирование режимов механизированной сварки в CO₂ при использовании многопостовых источников тока / Ю. И. Драбович, А. В. Лебедев, В. В. Кравченко и др. // Автоматическая сварка. - 1987. - № 10. - с. 70-71).

В цьому джерелі зварювального струму „чоперного" типу напруга мережі живлення промислової частоти понижується за допомогою мережевого силового трансформатора, напруга вторинного кола якого випрямляється та фільтрується і після цього надходить до силового входу імпульсного перетворювача постійного струму понижуючого типу, що, крім силового транзисторного ключа та силового зворотного діода, містить у своєму складі вихідний індуктивний накопичувач (дросель). Вихідна напруга перетворювача постійного струму є вихідною напругою джерела зварювального струму „чоперного" струму.

Основним недоліком цього джерела зварювального струму „чоперного" типу є неможливість забезпечення рівня безперервного зварювального струму меншого (15...20)А, при ефективному збудження дуги та підтримання сталого дугового розряду у процесі зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів. Це зумовлено тим, що індуктивним накопичувачем імпульсного регулятора режимів дугового зварювання є повітряний дросель, індуктивність якого при його реально можливих розмірах принципово неспроможна забезпечити режим безперервних струмів при понижених значеннях зварювального струму.

Іншим суттєвим недоліком відомого джерела зварювального струму „чоперного" типу є недостатня надійність його системи керування, що зумовлено відсутністю у вихідному каналі виділеного давача зварювального струму, а використанням у якості такого давача вирівнюючого резистора одного з паралельно з'єднаних транзисторів силового ключа імпульсного регулятора режимів дугового зварювання. У разі відмови цього транзистора, наприклад, електричного пробоя або вигорання його р-п переходів, зворотний зв'язок за струмом у системі керування відомого джерела зварювального струму стає неможливим, відповідно стає неможливим і формування зовнішніх вольт-амперних характеристик джерела зварювального струму, необхідних для здійснення зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів.

За прототип винаходу, що пропонується, прийнято джерело живлення дуги, до складу якого входять некерований понижуючий силовий випрямляч з жорсткими зовнішніми характеристиками та первинним колом, під'єднаним до мережі живлення промислової частоти, і конвертор постійного струму понижуючого типу, вихід силового напівпровідникового ключа якого під'єднано до силового входу вихідного каналу, що містить послідовно з'єднані вихідний дросель та виділений давач зварювального струму, інформаційний вихід давача зварювального струму під'єднано до входу зворотного зв'язку за струмом системи керування кон-

вертора, вихід постійного струму некерованого силового випрямляча - до силового входу конвертора, силовий вихід вихідного каналу конвертора - до однієї вихідної клеми джерела живлення дуги, інша вихідна клема якого з'єднана з іншим вихідним полюсом конвертора (Н. М. Махлин, А. Е. Коротинский, В. А. Богдановский, А. Г. Скирта, М. И. Скопюк, В. Ю. Буряк. Электронные регуляторы сварочного тока для многопостовых сварочных систем. // Сварочное производство. - № 5. - с. 13-18).

Основним недоліком джерела живлення дуги, яке прийняте за прототип винаходу, що пропонується, є обмежені технологічні можливості щодо зварювання або наплавлення у діапазоні малоамперних дугових розрядів.

Причиною цього є те, що малоамперна дуга у діапазоні зварювальних струмів від найменших значень (сотен міліампер) до кількох (5...8) амперів має спадну вольт-амперну характеристику гіперболічного типу, у якій $dU_d/dI_d < 0$, де U_d і I_d - напруга і струм дуги відповідно, при цьому навіть малі флуктуації струму дуги викликають досить суттєві коливання її напруги. Відомо, що для забезпечення стійкості малоамперної дуги в умовах коливань параметрів U_d і I_d або при внесенні зовнішніх збуджень в систему „джерело живлення - дуга" дуговий процес має відповідати критерію, за яким

$$k_y = \left(\frac{dU_d}{dI_d} - \frac{dU_n}{dI_d} \right)_{I_{од}} > 0,$$

де k_y - критерій стійкості (що співпадає з критерієм стійкості Гурвиця), $I_{од}$ - зварювальний струм у робочій точці (точці стійкої рівноваги) вольт-амперної характеристики дуги. З урахуванням цього якісний процес зварювання або наплавлення малоамперного низькоенергетичною дугою є принципово можливим лише у разі, якщо джерело живлення дуги відповідає таким вимогам:

1) напруга неробочого ходу джерела живлення щонайменше у 2 рази перевищує найбільше технологічно обґрунтоване значення напруги дуги при найменшому значенні зварювального струму;

2) джерело живлення забезпечує режим безперервних зварювальних струмів;

3) джерело живлення має круто спадні зовнішні вольт-амперні характеристики „вертикального" типу.

Джерело живлення дуги, яке прийняте за прототип, відповідає лише першій з цих вимог. Виконання вимоги забезпечення безперервності зварювальних струмів для їх значень (0,5...1,5)А у джерелі живлення дуги, яке прийняте за прототип, може бути здійснене тільки за умови значного (щонайменше у 8-10 разів) збільшення індуктивності дроселю вихідного каналу, що неминуче мало б викликати таке збільшення малогабаритних та вартісних показників дроселю, які є несприятливими з конструктивних та економічних міркувань. Для забезпечення формування зовнішніх крутоспадних („вертикальних") характеристик у всьому діапазоні регулювання зварювального струму давач струму контуру зворотного зв'язку джерела живлення має бути розрахований щонайменше на максимальне

значення зварювального струму. Досягнутий сучасний рівень точності відомих здавачів струму становить у кращому разі 0,8 % від граничного значення струму, що вимірюється давачем. Внаслідок цього давач струму джерела живлення дуги, яке прийнято за прототип, принципово неспроможний забезпечити як точність вимірювання струму, яка необхідна як для формування крутоспадних („вертикальних“) зовнішніх вольтамперних характеристик у діапазоні наднизьких значень зварювального струму, так і виконання вимог за критерієм стійкості. (Наприклад, якщо граничне значення діапазону регулювання зварювального струму складає 200 А, то похибка давача струму у всьому діапазоні вимірювання зварювального струму може досягати 1,6 А). Крім цього, оскільки рівень вихідного інформаційного давача струму пропорційний зварювальному струму, то при наднизьких значеннях струму дуги цей рівень буде складати від сотень мікрвольтів до одиниць мілівольтів для здавачів струму з потенційним виходом або ж від десятків до сотень мікроамперів для здавачів струму зі струмовим виходом, тобто у цьому випадку вихідні інформаційні сигнали давача струму можуть бути на рівні шумів або ж сигналів, пов'язаних з випадковими чинниками, що унеможлиблює функціонування системи керування джерела живлення без її вельми суттєвого ускладнення.

Задачею винаходу, що пропонується, є розширення технологічних можливостей джерела живлення дуги шляхом розширення діапазону регулювання зварювального струму у бік наднизьких його значень без суттєвого збільшення матеріаломістності та вартості джерела живлення.

Поставлена задача вирішується, в межах п. 1 формули, за рахунок того, що в джерело живлення дуги, до складу якого входять некерований понижуючий силовий випрямляч з жорсткими зовнішніми характеристиками первинне коло якого, під'єднане до мережі змінного струму промислової частоти, і конвертор постійного струму понижуючого типу, у якому вихід силового напівпровідникового ключа під'єднано до силового входу вихідного каналу, що містить послідовно з'єднані вихідний дросель та давач зварювального струму, інформаційний вихід давача зварювального струму під'єднано до входу зворотного зв'язку за струмом системи керування конвертора, вихід постійного струму некерованого силового випрямляча — до силового входу конвертора, силовий вихід вихідного каналу конвертора - до однієї вихідної клеми джерела живлення дуги, інша вихідна клема якого з'єднана з іншим вихідним полюсом конвертора згідно винаходу додатково введені декілька вихідних каналів, щонайменше один, кожен з яких складається з послідовно з'єднаних дроселя та давача струму, суматор вихідних інформаційних сигналів здавачів струму та блок комутації з перемикачем вихідних каналів, при цьому інформаційні виходи усіх давачів струму під'єднані до входів суматора інформаційних сигналів давачів струму, вихід якого з'єднано зі входом зворотного зв'язку за струмом системи керування конвертора, входи додаткових вихідних каналів під'єднані до силового виходу силового напівпровідникового ключа кон-

вертора, а силові виходи усіх вихідних каналів - до входів блоку комутації з перемикачем вихідних каналів, вихід якого з'єднано з однією вихідною клемою джерела живлення дуги.

Згідно п. 2 формули винаходу, джерело живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, що пропонується, може бути виконано таким чином, що усі вихідні канали з'єднані між собою послідовно, при цьому вхід першого додаткового каналу з'єднано з силовим виходом основного каналу.

Згідно п. 3 формули винаходу, джерело живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, що пропонується, може містити у своєму складі блок комутації з перемикачем вихідних каналів, який складається з власне перемикача, блоку збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором та блокуючого конденсатора, при цьому вихід перемикача і одна з обкладинок блокуючого конденсатора під'єднані до одного з виводів вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора блоку збудження дуги, другий вивід якої з'єднано з виходом блока комутації, інша обкладинка блокуючого конденсатора під'єднана до іншої вихідної клеми джерела живлення дуги.

Згідно п. 4 формули винаходу, блок комутації з перемикачем вихідних каналів джерела живлення з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму може бути виконано у вигляді пристрою, який складається з власне перемикача, блоку збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором, двох блокуючих конденсаторів, блоку живлення допоміжної дуги та вихідної клеми під'єднання сопла плазмотрона, при цьому вихід перемикача вихідних каналів, один з полюсів блоку допоміжної дуги та кожний блокуючий конденсатор однією обкладинкою під'єднано до одного з виводів вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора блоку збудження дуги, другий вивід якої з'єднано з виходом блоку комутації, інша обкладинка одного з блокуючих конденсаторів під'єднана до іншої вихідної клеми джерела живлення дуги, а інша обкладинка другого блокуючого конденсатора з'єднана з іншим полюсом блоку живлення допоміжної дуги та з вихідною клемою під'єднання сопла плазмотрона.

Введення у джерело живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму додаткових вихідних каналів, кожен з яких містить дросель та давач струму, що розраховані на свій діапазон регулювання зварювального струму, а також суматора інформаційних сигналів давачів струму і блока комутації з перемикачем вихідних каналів, дозволяє, по - перше, у кожному піддіапазоні регулювання зварювального струму, включаючи піддіапазон наднизьких зварювальних струмів, при сприйнятливих малогабаритних та вартісних показниках відповідного вихідного дроселя забезпечити не тільки режим безперервних зварювальних струмів, але й можливість зниження пульсації зварювального струму, які неминуче виникають

при функціюванні конвертора постійного струму понижуючого типу, до будь-якого малого рівня. По-друге, відповідність приведеної похибки, рівня вихідного інформаційного сигналу та співвідношення сигналу до рівня шумів давача струму значенням зварювального струму у кожному піддіапазоні його регулювання, забезпечує надійне функціонування системи керування конвертора без будь-яких її ускладнень та без обмежень можливого діапазону регулювання зварювального струму. Це, у свою чергу, надає можливість забезпечення стійкості дугового розряду та формування необхідних для якісного зварювання або наплавлення зовнішніх вольтамперних характеристик джерела живлення дуги у всьому діапазоні регулювання зварювального струму, у тому числі у піддіапазоні наднизьких його значень.

Послідовне з'єднання додаткових вихідних каналів і їх під'єднання до виходу силового напівпровідникового ключа конвертора через основний вихідний канал сприяє зменшенню загальної маси дроселів додаткових вихідних каналів, хоча при цьому має враховуватись порядок її з'єднання - тобто основний вихідний канал обов'язково повинен відповідати піддіапазону найбільших зварювальних струмів, перший додатковий вихідний канал, що послідовно з'єднаний з основним вихідним каналом, - піддіапазону низьких зварювальних струмів і так далі.

Виконання у джерелі живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму блока комутації з перемикачем вихідних каналів у вигляді пристрою, до складу якого, крім власне перемикача, входить блок збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором не тільки забезпечує безконтактне первісне збудження дуги, але й виключає можливість неприпустимих вкрапель вольфраму у зварне з'єднання, яке характерне для контактного способу збудження дуги, що створює умови для автоматизації процесу зварювання або наплавлення.

Виконання блоку комутації з перемикачем вихідних каналів у вигляді пристрою, що крім власне перемикача і блока збудження дуги також містить блок живлення допоміжної дуги надає можливість здійснення мікроплазмового та плазмового зварювання або наплавлення металевих виробів і конструкцій, в тому числі і над малої товщини.

Винахід пояснюють схеми :

Фіг. 1 - структурно-функціональна схема джерела живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму;

Фіг. 2 - структурно - функціональна схема джерела живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму з послідовним під'єднанням вихідних каналів;

Фіг. 3 - структурно - функціональна схема блоку комутації з перемикачем вихідних каналів і блоком збудження дуги;

Фіг. 4 - структурно - функціональна схема блоку комутації з перемикачем вихідних каналів, блоком збудження дуги і блоком допоміжної дуги.

Джерело живлення з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму (Фіг. 1) складається з некеруваного понижуючого силового випрямляча 1 з жорсткими зовнішніми характеристиками, конвертора 2 постійного струму понижуючого типу з системою 3 керування, силовим напівпровідниковим ключем 4 і, принаймні, двома вихідними каналами, основний з яких містить послідовно з'єднані дросель 5 та давач 6 струму, а додатковий - послідовно з'єднані дросель 7 та давач 8 струму, суматора 9 інформаційних сигналів з давачів струму, блока 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів. Індуктивність дроселя 5 основного вихідного каналу забезпечує відповідність вимогам безперервності зварювального струму з припустимим рівнем його пульсацій у піддіапазоні найбільших зварювальних струмів. Дачач 6 струму основного вихідного каналу розраховано з найменше на максимальне значення зварювального струму у піддіапазоні найбільших зварювальних струмів. Індуктивність дроселя 7 додаткового вихідного каналу значно більша за індуктивність дроселя 5 і відповідає вимогам безперервності зварювального струму з припустимим рівнем його пульсацій у піддіапазоні низьких та наднизьких зварювальних струмів. Дачач 8 струму розраховано на максимальне значення зварювального струму, яке дорівнює або дещо перевищує мінімальне значення зварювального струму у піддіапазоні найбільших зварювальних струмів.

Вихід постійного струму понижуючого силового випрямляча 1, первинне коло якого під'єднано до мережі змінного струму промислової частоти, під'єднано до силового входу конвертора 2, вихід силового напівпровідникового ключа 4 конвертора 2 з'єднано з відповідними виводами дроселів 5 і 7 вихідних каналів конвертора 2, інформаційні виходи давачів 6 і 8 струму під'єднано до входів суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму, вихід якого з'єднано зі входом зворотного зв'язку за струмом системи 3 керування конвертора 2, силові виходи вихідних каналів під'єднано до входів блоку 10 комутації, які відповідно з'єднані зі входами перемикача 11 вихідних каналів, вихід перемикача 11 вихідних каналів під'єднано до виходу блоку 10 комутації, з'єднаним з однією вихідною клемою 12 джерела живлення дуги, інша вихідна клемка 13 якого з'єднана з іншим вихідним полюсом конвертора 2.

В залежності від верхнього граничного значення діапазону регулювання зварювального струму у джерелі живлення дуги, що пропонується, кількість піддіапазонів регулювання може бути збільшена за рахунок введення додаткових вихідних каналів, наприклад, третього, що містить послідовно з'єднані дросель 14 і давач 15 струму, інформаційний вихід якого під'єднується до відповідного входу суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму, а силовий вихід цього додаткового вихідного каналу з'єднується з відповідним входом блока 10 комутації, а відтак і з відповідним входом перемикача 11 вихідних каналів.

За складом та алгоритмом функціонування джерело живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварюва-

льного струму, структурно-функціональна схема якого наведена на Фіг. 2, аналогічне до джерела живлення дуги, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 1, і відрізняється від останнього лише тим, що вихідні канали конвертора 2 з'єднані послідовно у певному порядку.

Вихід силового напівпровідникового ключа 4 конвертора 2 (Фіг. 2) під'єднано до силового входу основного вихідного каналу, що містить послідовно з'єднані дроселі 5 та давач 6 струму. Силовий вихід основного вихідного каналу під'єднано до одного з входів блоку 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів та до силового входу додаткового вихідного каналу, до складу якого входять послідовно з'єднані дроселі 7 та давач 8 струму і силовий вихід якого під'єднано до відповідного входу блоку 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів.

У джерелі живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 2, індуктивність вихідного каналу, який розраховано на піддіапазон наднизьких зварювальних струмів, становить суму індуктивностей усіх послідовно з'єднаних каналів конвертора 2. При послідовному з'єднанні основного та додаткового вихідних каналів конвертора 2 (Фіг. 2) індуктивність $L_{дкн}$ додаткового вихідного каналу визначається як

$$L_{дкн} = L_{др5} + L_{др7},$$

де $L_{др5}$ і $L_{др7}$ - індуктивності дроселів 5 і 7 відповідно.

У разі збільшення у джерелі живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 2, кількості під діапазонів регулювання за рахунок введення додаткових вихідних послідовно з'єднання цих додаткових вихідних каналів під'єднується у конверторі 2 між точками α і b , при цьому вихід силового напівпровідникового ключа 4 з'єднується з силовим входом того вихідного каналу, який розраховано на піддіапазон максимальних значень зварювального струму джерела живлення дуги, а інформаційні виходи здавачів струму, що входять до складу введених додаткових вихідних каналів, під'єднуються до відповідних входів суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму. На Фіг. 2 наведено приклад введення додаткового вихідного каналу, що містить послідовно з'єднані дроселі 14 та давач 15 струму. Силовий вхід цього вихідного каналу у точці α з'єднується з виходом силового напівпровідникового ключа 4, силовий вихід у точці b під'єднується до силового входу вихідного каналу, який містить послідовно з'єднані дроселі 5 та давач 6 струму, і до відповідного входу блоку 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів, а інформаційний вихід давача 15 струму з'єднується з відповідним входом суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму. При цьому індуктивність $L_{дкн}$ додаткового вихідного каналу, що розрахований на наднизькі значення зварювального струму і містить послідовно з'єднані дроселі 7 та давач 8 струму, визначається як

$$L_{дкн} = L_{др14} + L_{др5} + L_{др7},$$

де $L_{др14}$ - індуктивність дроселю 14, виходячи з чого у джерелі живлення дуги, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 2, індуктивності дроселів 5 і 7, а відтак і їх маса та габаритні розміри, дещо менші у порівнянні з аналогічними показниками дроселів 5 і 7 у джерелі живлення дуги, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 1.

До складу блоку 10 комутації з перемикачем вихідних каналів, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 3, входять власне перемикач 11, блок 16 збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором 17 та блокуючий конденсатор 18. Входи блоку 10 комутації під'єднані до відповідних входів перемикача 11 вихідних каналів, вихід якого з'єднано з одним виводом вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора 17 блоку 16 збудження дуги та з однією обкладинкою блокуючого конденсатора 18. Другий вивід вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора 17 блоку 16 збудження дуги під'єднано до виходу блоку 10 комутації, з'єднаного з однією вихідною клемою 12 джерела живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, інша обкладинка блокуючого конденсатора 18 під'єднана до іншої вихідної клеми 13 джерела живлення дуги.

Блок 10 комутації з перемикачем вихідних каналів, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 4, у своєму складі містить власне перемикач 11, блок 16 збудження дуги з високовольтним вихідним імпульсним трансформатором 17, два блокуючі конденсатори 18 і 19, блок 20 живлення допоміжної дуги та вихідну клему 21 під'єднання сопла плазмотрона. Вихід перемикача 11 вихідних каналів, один з полюсів блоку 20 живлення допоміжної дуги та обидва блокуючі конденсатори 18 і 19 однією обкладинкою під'єднані до одного з виводів вторинної обмотки вихідного імпульсного трансформатора 17 блоку 16 збудження дуги, другий вивід якої з'єднано з виходом блоку 10 комутації. Вихід блоку 10 комутації під'єднано до однієї вихідної клеми 12 джерела живлення дуги. Інша обкладинка блокуючого конденсатора 18 під'єднана до іншої вихідної клеми 13 джерела живлення дуги, а інша обкладинка блокуючого конденсатора 19 з'єднана з іншим полюсом блоку 20 допоміжної дуги та з вихідною клемою 21 під'єднання сопла плазмотрона.

Джерело живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 1, працює наступним чином (робота джерела живлення дуги розглядається на прикладі двох вихідних каналів).

Напряга мережі змінного струму промислової частоти понижується та випрямляється некеріваним понижуючим силовим випрямлячем 1 з жорсткими зовнішніми характеристиками. З виходу постійного струму понижуючого силового випрямляча 1 випрямлена напруга надходить до силового входу конвертора 2 постійного струму понижуючого типу. Система 3 керування конвертора 2 формує

інтервали часу та сигнали, що визначають параметри зовнішніх вольтамперних характеристик конвертора 2, які відповідають кожній стадії процесу зварювання або наплавлення. При цьому формування крутоспадних („вертикальних“) зовнішніх вольтамперних характеристик забезпечується завдяки наявності у конверторі 2 контура зворотного зв'язку за струмом. Вихідні сигнали системи 3 керування надходять до керуючого входу силового напівпровідникового ключа 4 і визначають тривалість його вимкненого стану протягом кожного періоду частоти перетворення, яка становить щонайменше 16 кілогерців. Вибір піддіапазону зварювальних струмів джерела живлення дуги провадиться до початку процесу зварювання або наплавлення, згідно з чим виконується встановлення перемикача 11 вихідних каналів блоку 10 комутації у відповідне положення. Якщо вибраним піддіапазоном є піддіапазон найбільших зварювальних струмів, то вихід перемикача 11 буде з'єднаним з тим його входом, до якого під'єднано силовий вихід вихідного каналу, що містить дросель 5 та давач 6 струму. У цьому разі після збудження у міжелектродному зварювальному проміжку електричної дуги зварювальний струм протікає по колу: „позитивний“ полюс конвертора 2 - вихідна клемма 13 джерела живлення дуги - міжелектродний зварювальний проміжок - вихідна клемма 12 джерела живлення дуги - вихід блоку 10 комутації - вихід / вхід перемикача 11 вихідних каналів - давач 6 струму - дросель 5 - силовий вихід напівпровідникового ключа 4 конвертора 2. Сигнал, пропорційний зварювальному струму, з інформаційного виходу давача 6 струму надходить до відповідного входу суматора 9 інформаційних сигналів здавачів струму, а з його виходу - до входу зворотного зв'язку за струмом системи 3 керування конвертора 2, за рахунок чого забезпечується функціонування конвертора 2 у режимі стабілізації зварювального струму відносно попередньо визначеної робочої точки зовнішньої вольтамперної характеристики джерела живлення дуги. У разі, якщо вибраним піддіапазоном є піддіапазон наднизьких зварювальних струмів, то вихід перемикача 11 буде з'єднано з тим його входом, до якого під'єднано силовий вихід вихідного каналу, що містить дросель 7 та давач 8 струму. При цьому після збудження дуги зварювальний струм буде протікати по колу: „позитивний“ полюс конвертора 2 - вихідна клемма 13 джерела живлення дуги - міжелектродний зварювальний проміжок - вихідна клемма 12 джерела живлення дуги - вихід блоку 10 комутації - вихід / вхід перемикача 11 вихідних каналів - давач 8 струму - дросель 7 - силовий вихід напівпровідникового ключа 4 конвертора 2. Сигнал, пропорційний зварювальному струму, з інформаційного виходу давача 8 струму буде надходити до відповідного входу суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму, а з його виходу - до входу зворотного зв'язку за струмом системи 3 керування конвертора 2.

Особливістю роботи джерела живлення з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 2, є те, що при існуванні зварювальної дуги до

входів суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму одночасно надходять пропорційні зварювальному струму сигнали з інформаційних виходів давачів струму усіх послідовно з'єднаних вихідних каналів конвертора 2, через які, в залежності від вибраного піддіапазону регулювання, протікає зварювальний струм. При цьому суматор 9 інформаційних сигналів давачів струму здійснює функцію вибору найбільшого значення рівней сигналів, що одночасно надходять до його входів, і тому до входу зворотного зв'язку за струмом системи 3 керування конвертора 2 з виходу суматора 9 надходить пропорційний зварювальному струму сигнал лише того давача струму, рівень інформаційного сигналу якого має найбільше значення. Якщо вибраним піддіапазоном регулювання зварювального струму є піддіапазон наднизьких зварювальних струмів, то зварювальний струм буде протікати через дроселі 7 і 5 та давачі 8 і 6 струму, з інформаційних виходів яких сигнали пропорційні зварювальному струму будуть одночасно надходити до відповідних входів суматора 9 інформаційних сигналів давачів струмів. Рівень цих сигналів буде відрізнятися один від одного, оскільки давачі 6 і 8 мають як різні граничні значення діапазону вимірювання струму, так й різні коефіцієнти перетворення (пропорційності інформаційного сигналу зварювальному струму). Наприклад, якщо при граничних значеннях своїх діапазонів вимірювання давачі 6 і 8 струму мають однаковий унормований рівень вихідного інформаційного сигналу, скажімо 1,25В, при цьому граничне значення діапазону вимірювання давача 6 струму 250 А, давача 8 струму - 12,5 А, а зварювальний струм становить 5 А, то рівень вихідного інформаційного сигналу давача 6 струму буде складати 25 мВ, а давача 8 струму - 500 мВ, і тому з виходу суматора 9 інформаційних сигналів давачів струму до входу зворотного зв'язку за струмом системи 3 керування конвертора 2 буде надходити інформаційний сигнал з рівнем 500 мВ. У всьому іншому робота джерела живлення з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 2, повністю аналогічна до роботи джерела живлення дуги, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 1.

Блок 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 3, крім можливості комутації вихідних каналів в залежності від вибраного піддіапазону зварювального струму, також забезпечує можливість безконтактного збудження дуги у початковій стадії процесу зварювання або наплавлення шляхом інжектування у міжелектродний зварювальний проміжок імпульсів високої напруги з високочастотним наповненням, які генеруються блоком 16 збудження дуги і остаточно формуються вторинною обмоткою його високовольтного вихідного імпульсного трансформатора 17. Враховуючи, що для високочастотного наповнення імпульсів високої напруги, сформованих вторинною обмоткою вихідного імпульсного трансформатора 17, точка з'єднання виходу перемикача 11 вихідних каналів і однієї обкладинки блокуючого конденсатора 18 з одним виводом вторинної об-

мотки вихідного імпульсного трансформатора 17 та точка з'єднання іншої обкладинки блокуючого конденсатора 18 з вихідною клемою 13 джерела живлення дуги є еквіпотенціальними, блокуючий конденсатор 18 забезпечує захист вихідних ланцюгів конвертора джерела живлення дуги від перевантажень за високою напругою імпульсів, що інжектуються у міжелектродний зварювальний проміжок.

Блок 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 4, надає можливість не тільки забезпечувати комутацію вихідних каналів в залежності від вибраного піддіапазону зварювального струму та безконтактне збудження зварювальної дуги при дуговому зварюванні або наплавленні, але й здійснювати безконтактне збудження та формування допоміжної дуги у плазмотроні для мікроплазмового або плазмового зварювання або наплавлення, який під'єднується до вихідної клеми 12 джерела живлення дуги та до вихідної клеми 21 під'єднання сопла плазмотрона. При виконанні дугового зварювання або наплавлення блок 10 комутації з перемикачем 11 вихідних каналів, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 4, працює аналогічно блоку 10 комутації, структурно - функціональна схема якого наведена на Фіг. 3. На початку процесу мікроплазмового або плазмового зварювання або наплавлення здійснюється безконтактне збудження допоміжної дуги у проміжку електрод - сопло плазмотрона шляхом інжектування у цей проміжок імпульсів високої напруги з високочастотним наповненням, які генеруються блоком 16 збудження дуги і остаточно формуються вторинною обмоткою його вихідного імпульсного трансформатора 17. Енергозабезпечення допоміжної дуги, що формується у плазмотроні, забезпечується блоком 20 живлення допоміжної дуги. Після збудження допоміжної дуги її струм протікає по колу: „позитивний” полюс блоку 20 допоміжної дуги - вихідна клема 21 під'єднання сопла плазмотрона - сопло плазмотрона - електрод плазмотрона - вихідна клема 12 джерела живлення дуги - вторинна обмотка вихідного імпульсного трансформатора 17 - „негативний” полюс блоку 20 допоміжної дуги. Оскільки точки з'єднання обкладинок блокуючого конденсатора 19 з полюсами блоку 20 допоміжної дуги для високочастотного наповнення імпульсів високої напруги, сформованих вторинною обмоткою вихідного імпульсного трансформатора 17, є еквіпотенціальними, блокуючий конденсатор 19 забезпечує захист вихідних ланцюгів блоку 20 допоміжної дуги від перевантажень за високою напругою імпульсів, що інжектуються у проміжок електрод - сопло плазмотрона. За рахунок струменя плазмоутворюючого газу факел допоміжної дуги видувається поза межі плазмоутворюючого каналу плазмотрона. При наближенні цього факелу до виробу, що зварюється або наплавляється, між електродом плазмотрона і виробом збуджується основна зварювальна дуга.

У порівнянні з прототипом джерело живлення дуги, що пропонується згідно винаходу, має розширені технологічні можливості, які досягаються:

- розширенням діапазону регулювання зварювального струму у бік наднизьких його значень шляхом введення додаткових вихідних каналів, перемикача цих каналів та суматора інформаційних дачивів струму усіх вихідних каналів без суттєвого збільшення маси та габаритних розмірів індуктивних елементів конвертора джерела живлення дуги та його вартості;

- забезпеченням умов стійкості дугового розряду, стабілізації визначеного значення зварювального струму, його безперервності та припустимого рівня його пульсацій при наднизьких значеннях зварювального струму;

- створенням можливості безконтактного збудження дуги у початковій стадії процесу зварювання або наплавлення за рахунок виконання блоку комутації вихідних каналів джерела живлення дуги, що пропонується, у вигляді пристрою, до складу якого входить блок збудження дуги;

- забезпеченням можливості здійснення процесу мікроплазмового або плазмового зварювання або наплавлення завдяки виконанню блоку комутації вихідних каналів, за яким до його складу крім блоку збудження дуги також входить блок живлення допоміжної дуги.

Відомо, що у джерелах зварювального струму з ланкою високочастотного перетворення прямоходового типу (яким є і джерело живлення дуги, що прийняте за прототип, і джерело живлення дуги, що пропонується згідно винаходу) для досягнення сприйнятливого значення розмаху пульсацій зварювального струму $\Delta I_{зв}$ індуктивність L вихідного дроселя джерела живлення дуги має задовольняти умові, за якою

$$L \geq \frac{(1-\gamma)U_0}{\Delta I_{зв}},$$

де γ - відносна тривалість вимкненого стану силових ключів або силового напівпровідникового ключа високочастотного перетворювача джерела живлення дуги протягом періоду частоти перетворення, U_0 - найбільше технологічно обґрунтоване значення напруги дуги у робочій точці зовнішньої вольтамперної характеристики джерела живлення дуги, f - частота перетворення.

Джерело живлення дуги, яке прийняте за прототип, має діапазон регулювання зварювального струму у межах від 8 до 200 А, а індуктивність його вихідного дроселя складає 120 мГн, що при найменшому значенні зварювального струму (8 А), частоті перетворення 20 кГц і вхідній напрузі конвертора 70 В забезпечує розмах пульсацій зварювального струму 4,7 А. Для забезпечення умов стійкості дугового розряду та безперервності зварювального струму у діапазоні наднизьких його значень, наприклад починаючи з 0,5 А розмах пульсацій зварювального струму має не перевищувати 0,25 А. Ця умова може бути виконана, якщо індуктивність вихідного дроселя джерела живлення дуги буде становити щонайменше 2,7 мГн. У свою чергу, збільшення індуктивності вихідного дроселя джерела живлення дуги, що прийняте за прототип, до цього значення викликало б необхідність збільшення щонайменше у 4,75 разів числа витків обмотки вихідного дроселя, площа поперечного перерізу яких розрахована на найбільше

значення зварювального струму, що було б пов'язано як з неминучим зростанням маси вихідного дроселя щонайменше у 7 разів (з 3,75 до 26 кг), так і з відповідним зростанням його габаритних розмірів.

У джерелі живлення дуги, що пропонується згідно винаходу, за рахунок введення додаткового вихідного каналу, розрахованого на піддіапазон наднизьких зварювальних струмів, можливе виконання дроселя цього додаткового каналу з індуктивністю, яка відповідає умовам стійкості дугового розряду, безперервності зварювального струму та прийнятливої розмахи його пульсацій, без суттєвого збільшення маси джерела живлення дуги. Наприклад, якщо піддіапазон наднизьких зварювальних струмів складає від 0,5 до 8,0 А, провід обмотки дроселя додаткового вихідного каналу має площу поперечного перерізу, яка розрахована на найбільше значення зварювального струму у цьому піддіапазоні (8,0 А), що дає змогу виконати дросель цього додаткового вихідного каналу з індуктивністю 2,7 мГн і масою лише 0,98 кг. У порівнянні з цим маса дроселя аналогічного додаткового вихідного каналу у джерелі живлення дуги, де згідно винаходу усі вихідні канали з'єднані послідовно, буде на (5...10) % ще меншою.

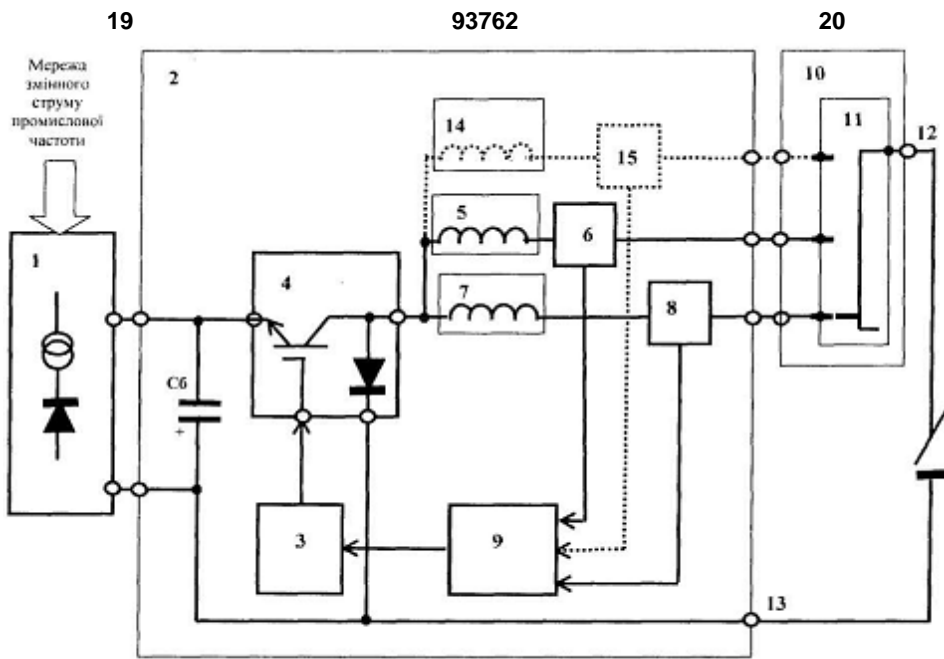
На відміну від джерела живлення дуги, яке прийняте за прототип, у джерелі живлення дуги, що пропонується, забезпечується можливість функціонування контуру зворотного зв'язку за струмом і при наднизьких значеннях зварювального струму без будь-якого суттєвого ускладнення системи керування конвертора джерела живлення дуги. Це досягається тим, що діапазон вимірювання струму та коефіцієнт перетворення давача струму кожного вихідного каналу запропонованого джерела живлення дуги розраховані на відповідний піддіапазон регулювання зварювального струму і таким чином забезпечуються умови формування крутоспадних („вертикальних“) зовнішніх вольтамперних характеристик джерела живлення дуги та стабілізації зварювального струму у їх робочих точках у всьому діапазоні регулювання зварювального струму з піддіапазоном його наднизьких значень включно. При цьому інформаційні сигнали, що забезпечують функціонування контуру зворотного зв'язку за струмом системи керування конвертора, мають сприятливе співвідношення сигнал / шум.

Розширення меж регулювання зварювального струму, у тому числі у бік його наднизьких значень, у джерелі живлення дуги, що пропонується, забезпечує можливість виконувати зварювання або наплавлення виробів у доволі широкому діапазоні їх товщин, здійснювати низькоенергетичне прецизійне зварювання тонких та надтонких виробів та наплавлення тонких шарів захисних або композиційних покриттів.

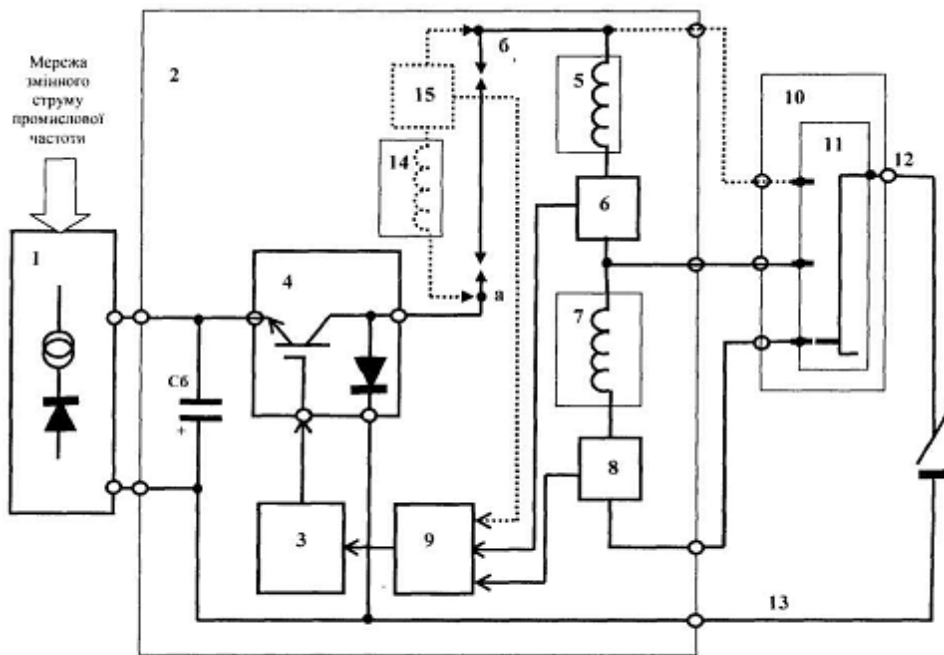
При застосуванні джерела живлення дуги, що прийняте за прототип, збудження дуги на початку процесу зварювання або наплавлення можливо здійснювати тільки контактними способами - методом короткого замикання міжелектродного зварювального проміжку або методом торкання електроду до виробу, який підлягає зварюванню. На відміну від джерела живлення дуги, що прийняте за прототип, джерело живлення дуги, яке пропонується згідно винаходу, спроможне забезпечувати здійснення безконтактного збудження дуги шляхом інжектування у міжелектродний зварювальний проміжок високовольних імпульсів з високочастотним наповненням і тим самим забезпечувати можливість підвищення якості зварних з'єднань за рахунок виключення проникнення нерозчинних краплень вольфраму у зварний шов, які з високою вірогідністю можуть виникати при контактних способах збудження дуги.

Перевага джерела живлення дуги, яке пропонується, полягає також у тому, що згідно винаходу забезпечується можливість здійснення мікроплазмового або плазмового зварювання, наплавлення або різання металів. Це не тільки розширює технологічні можливості джерела живлення дуги, але й надає можливість зменшення собівартості зварювальних робіт за рахунок використання однієї одиниці зварювального обладнання замість декількох.

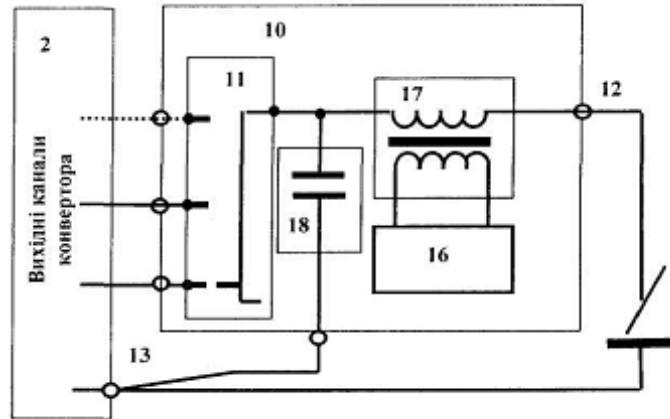
Випробування створених згідно з винаходом у ІЕЗ ім. Є. О. Патона натурних макетів джерела живлення дуги з багатоканальним виходом та розширеним діапазоном регулювання зварювального струму надали підтвердження його технологічних та функціональних переваг у порівнянні з джерелом живлення дуги, що прийняте за прототип.



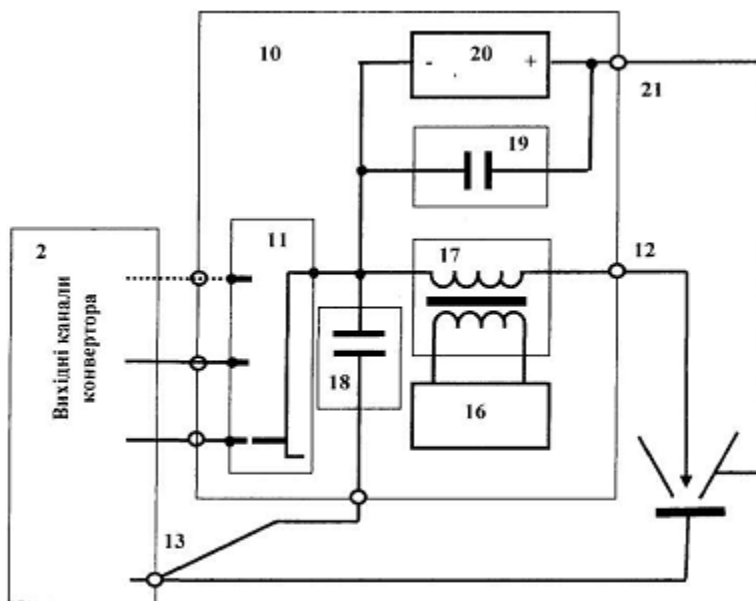
Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4