

ФОРМУВАЧІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ СТРУМІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ ДОВГИХ ЛІНІЙ

О.Є. Коротинський, М.П. Драченко, А.М. Жерносєков, І.В. Вертецька

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Розглянуто питання використання штучних довгих ліній в обладнанні для дугового зварювання, які дозволяють формувати імпульсні зварювальні струми регульованої форми. Потреба в таких струмах визначається в першу чергу завданнями імпульсних технологій, де форма імпульсу струму навантаження забезпечує необхідний часовий закон вкладення потужності в технологічний об'єкт. Найбільш характерними прикладами подібних технологій є лазерне імпульсне зварювання, лазерне термозміцнення, лазерна прошивка отворів і т.д. Можливість регулювання в широких межах амплітудно-часових параметрів імпульсів струму навантаження дозволяє визначити і забезпечити в подальшому оптимальні параметри імпульсних електрофізичних процесів з метою підвищення їх якості та продуктивності. Для створення таких енергетичних потоків необхідні спеціальні генератори імпульсних струмів, що описані і запропоновані в статті. Бібліогр. 12, рис. 6.

Ключові слова: формувачі зварювального струму, штучна довга лінія, багатофазний конвертор понижуючого типу, джерело струму чергової дуги

Вступ. Для побудови імпульсних формувачів струмів дугового зварювання на даний час застосовуються штучні довгі лінії (ШДЛ). Потреба в таких струмах визначається, в першу чергу, завданнями зварювальних технологій, де форма імпульсу струму навантаження забезпечує необхідний часовий закон вкладення потужності в технологічний об'єкт. Найбільш характерними прикладами подібних технологій є лазерне імпульсне зварювання, лазерне термозміцнення, лазерна прошивка отворів, конденсаторне контактне зварювання і т.д. Можливість регулювання в широких межах амплітудно-часових параметрів імпульсів струму навантаження дозволяє визначити і забезпечити в подальшому оптимальні параметри імпульсних електрофізичних установок з метою підвищення їх якості та продуктивності. Для створення таких струмів необхідні спеціальні генератори імпульсних струмів (ГІС) [1–3].

Виходячи з викладеного, запропонована робота присвячена створенню та розробці універсальних генераторів імпульсних струмів, призначених для побудови формувачів зварювальних струмів з високими показниками енергоефективності та електромагнітної сумісності (ЕМС) [4].

Метою даної роботи є обґрунтування та створення структур потужних генераторів імпульсних струмів регульованої форми (ГІСРФ) та їх експериментальне дослідження. В першу чергу електротехнологічні генератори імпульсних струмів регульованої форми потрібні в якості інструменту, який дозволяє експериментально визначити основні параметри імпульсного технологічного процесу,

включаючи форму струму, з метою підвищення як якості процесу, так і його продуктивності. Крім цього імпульсні технологічні установки з регульованими в широких межах амплітудно-часовими параметрами імпульсів становлять великий інтерес при роботі в умовах малосерійного виробництва, з частими змінами номенклатури виробів і видів конструкційних матеріалів. Останнім часом для генерування імпульсів струму регульованої форми в діапазоні тривалостей від декількох мілісекунд до секунд, при рівнях струму навантаження кілька сотень ампер, успішно використовуються високочастотні перетворювачі, що працюють в режимі широтно-імпульсного регулювання. В таких перетворювачах застосовуються сучасні силові транзистори, які здатні комутувати сотні ампер струму на частотах до сотень кілогерц.

При створенні генераторів прямокутних імпульсів струму регульованої тривалості найбільш часто використовується частковий розряд ємнісного накопичувача, при якому силовий повністю керований ключ підключає навантаження до накопичувача на час, що дорівнює тривалості імпульсу. Серйозним недоліком таких генераторів є істотне перевищення значення енергії, запасеної в накопичувачі, над значенням енергії, що виділяється в навантаженні за час імпульсу, оскільки в разі виходу з ладу силового ключа виникають важкі аварії, що здатні привести до руйнування навантаження. Зазначений недолік долається при використанні в якості накопичувального і формуючого двополюсника (ФД) принципово нового виду – однорідної штучної довгої лінії (ОШДЛ),

Коротинський О.Є. – <http://orcid.org/0000-0002-6461-8980>, Драченко М.П. – <http://orcid.org/0000-0002-4485-2403>,

Жерносєков А.М. – <http://orcid.org/0000-0002-6404-2221>, Вертецька І.В. – <http://orcid.org/0000-0003-4971-7929>

© О.Є. Коротинський, М.П. Драченко, А.М. Жерносєков, І.В. Вертецька, 2023

при цьому не тільки зменшується енергія, що запасється в накопичувачі, а й знижуються його вагобаритні показники.

Запропонований підхід полягає в комбінованому використанні генераторів на основі ШДЛ і накопичувачів на суперконденсаторах (СК), які мають високі показники енергоефективності та електромагнітної сумісності. Це дозволяє створювати перспективні пристрої для імпульсно-дугового зварювання.

Методи, які застосовувалися для проведення досліджень. При створенні генераторів імпульсних струмів регульованої форми застосовуються в основному такі рішення:

- метод часткового розряду ємнісного накопичувача [5, 6];
- використання в якості формувачів струму ШДЛ [7, 8];
- багатофазні перетворювачі напруги понижуючого типу (чопери) з мікропроцесорним управлінням [9, 10].

На рис. 1. приведені два варіанти застосування ШДЛ для зварювального устаткування. Перший варіант (а) є послідовне з'єднання трифазного випрямляча, комутатора заряду, ШДЛ та комутатора її розряду на навантаженні. Другий варіант (б) включає зарядний випрямляч, ємнісний накопичувач та мостовий інвертор, в діагональ якого включена ШДЛ.

Проаналізуємо роботу ШДЛ в складі джерел імпульсних зварювальних струмів.

На базі розглянутих зварювальних пристроїв запропонований варіант схеми формувача імпульсних струмів інверторного типу, в складі якого була використана ШДЛ, що показана на рис. 2. В якості формувача імпульсу струму застосований ланцюжок із трьох LC елементів. Основні розрахунки використані відповідно до роботи [11, 12]:

$$I_{\text{имп}} = (U + U_c - U_d) / 2\rho; \rho = (L_k / C_k)^{1/2},$$

де $I_{\text{имп}}$ – амплітуда імпульсу струму; U – напруга джерела живлення; U_c – напруга заряду формую-

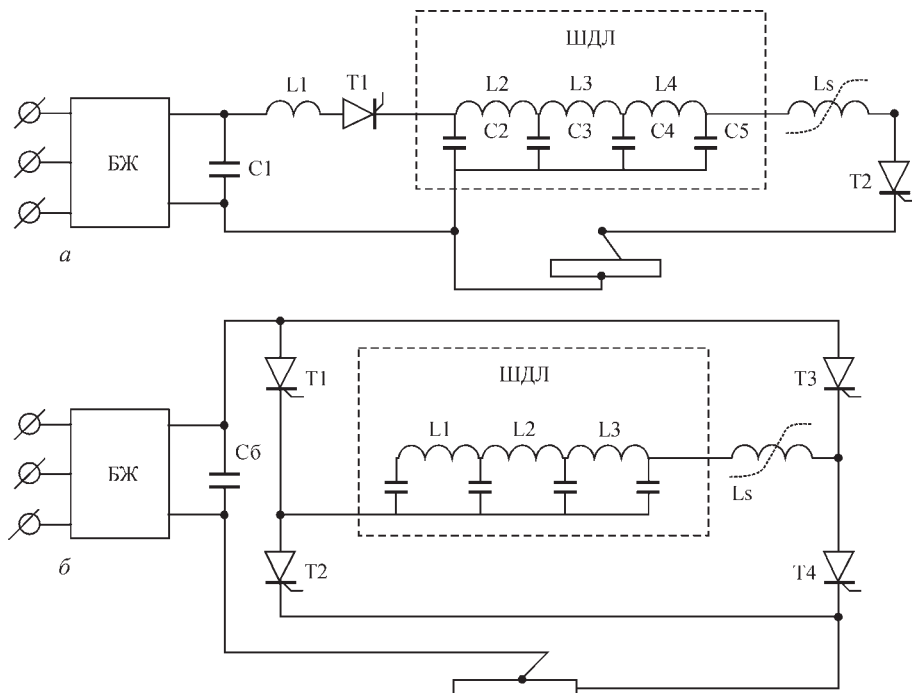


Рис. 1. Варіанти застосування ШДЛ (опис а, б – див. у тексті)

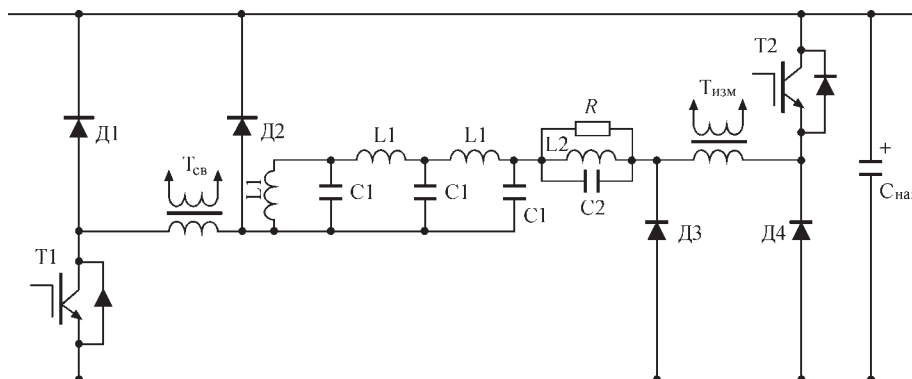


Рис. 2. Пояснювальна схема розрахунку елементів ШДЛ

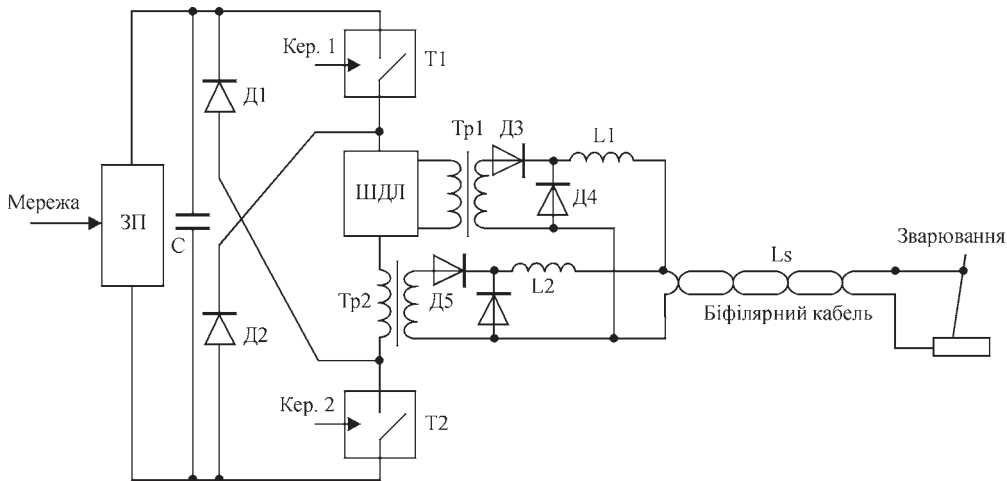


Рис. 3. Структурна схема макету джерела зварювального струму, виконаного на базі ШДЛ

чої лінії; U_d – напруга на дуговому проміжку; ρ – хвильовий опір.

Тривалість імпульсу визначається виразом:

$$t = 2,2n(L_k C_k)^{1/2},$$

де n – кількість комірок формуючої лінії; L_k – індуктивність дроселя комірки формуючої лінії; C_k – ємність конденсатора комірки формуючої лінії.

Таким чином, тривалість фронту імпульсу визначається співвідношенням:

$$t_f \approx 0,61 - (L_k - C_k)^{1/2} = 0,27t/n,$$

а тривалість зрізу імпульсів виразом:

$$t_{\text{end}} \approx (0,075n + 2,3) (L_k C_k)^{1/2}.$$

Згідно схеми на рис. 2 було створено та випробувано діючий макет джерела імпульсного зварювального струму (рис. 3).

Для створення імпульсів струму використано відому схему «косий міст», в діагональ якої послідовно з імпульсним трансформатором Tr2 включена ШДЛ. Короткозамкнений вихід ШДЛ підключено до трансформатора Tr1, який використовується в схемі формувача чергового струму дуги. Причому черговий струм формується в паузах між робочими імпульсами струму.

В рамках роботи був створений модуль датчика струму на базі біфілярного шунта з високим рівнем придушення синфазної перешкоди.

Експериментальні дослідження розробленого макету. Запропонований пристрій, схема якого приведена на рис. 3, забезпечує стійке горіння дуги в динамічному режимі, що, в свою чергу, дозволяє поліпшити якість зварного з'єднання і енергетичні показники роботи пристрою. Джерело було випробувано в режимі зварювання з імпульсною модуляцією струму на частотах від 50 до 3500 Гц. Амплітуди імпульсів змінювались в межах 50...100 А. Нижню межу стійких зварювальних струмів можна було спостерігати при струмах від 20 А.

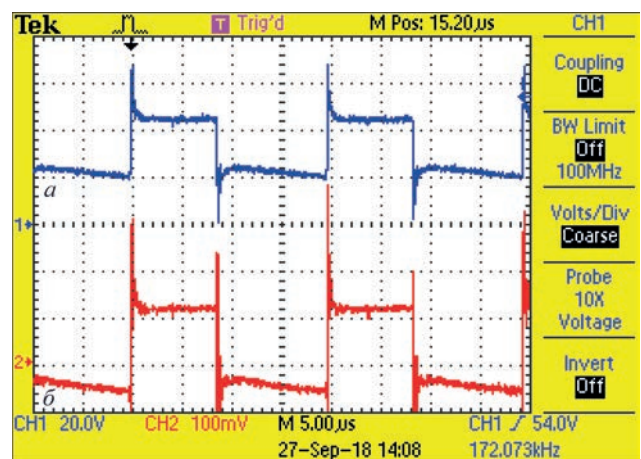


Рис. 4. Осцилограми напруги «а» та струму «б» на виході зварювального пристрою

Осцилограма роботи прямоходового перетворювача з використанням ШДЛ у своєму складі показана на рис. 4.

Використання конверторів понижуючого типу в якості формувачів імпульсних зварювальних струмів. В рамках виконаної роботи також були досліджені варіанти використання ШДЛ в складі понижуючих конверторів напруги (ПКН), які можуть бути використані в складі багатопостових зварювальних комплексів. Приклад використання ШДЛ у складі понижуючих конверторів напруги показано на рис. 5. Регулювання тривалості і частоти повторення імпульсів струму здійснюється електронним комутатором на транзисторному ключі T2.

Заряд довгої лінії виконується від ємнісного накопичувача $C_{ск}$, який підключений до зарядного пристрою (ЗП). Контроль і регулювання параметрів заряду СК здійснюється відповідно до сигналів зворотного зв'язку, одержуваних від датчиків струму ДСзп та напруги ДНзп. Понижуючий конвертор на T1, D1, D2, L1 здійснює заряд ШДЛ в режимі постійної потужності.

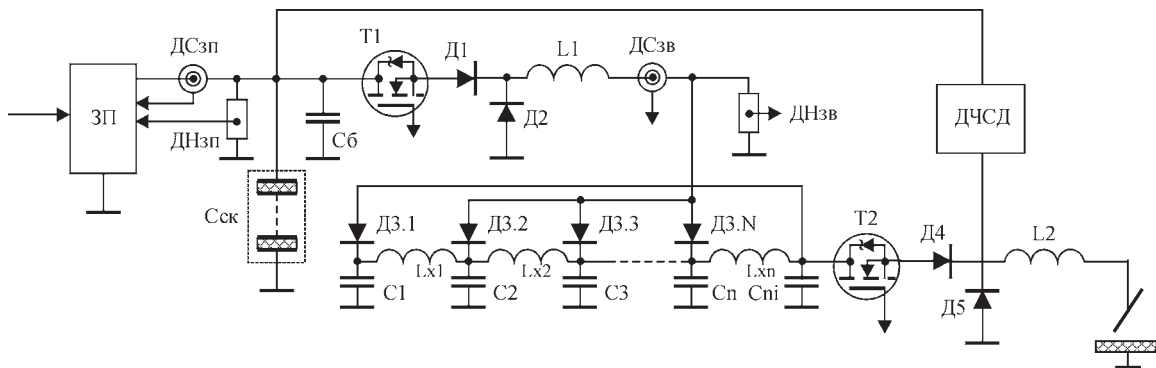


Рис. 5. Понижуючий конвертор напруги – формувач імпульсних струмів: ЗП – зарядний пристрій батареї суперконденсаторів Сск; ДСзп і ДНзп – датчики струму та напруги; ССК – батарея суперконденсаторів; Т1 і Т2 – твердотільні транзисторні комутатори; Д1, Д4 – нормуючі діоди; Д2, Д5 – рекуперентні діоди; Сб – батарейна ємність; ДСзл і ДНзл – датчики струму і напруги заряду ШДЛ; ДЗ.1–ДЗ.N, Lx1-Lxn, C1-Cn – елементи ШДЛ

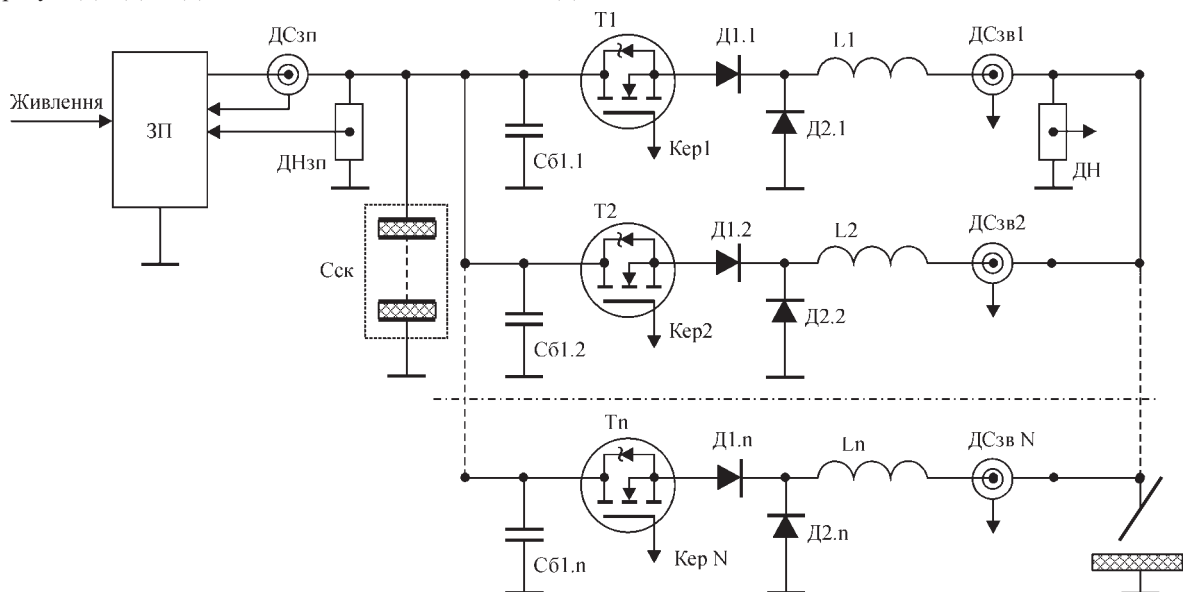


Рис. 6. Багатофазний ПКН – джерело імпульсів зварювального струму: ЗП – зарядний пристрій; ДСзп і ДНзп – датчики струму і напруги контролю зарядного пристрою; ССК – ємнісний накопичувач, виконаний на батареї суперконденсаторів; Сб1.1 – Сб1.n – буферні конденсатори; Т1 – Тn – твердотільні транзисторні комутатори струму; Д1.1 - Д1.n – нормуючі діоди; Д2.1 – Д2.n – рекуперентні діоди; Т1.X – Д1.n; Д2.x – Д2.n; L1 – Ln – елементи понижуючих конверторів-формувачів імпульсів зварювального струму; ДСзв.1 -ДСзв.n, ДНзв – датчики струму і напруги контролю і системи управління формувачем імпульсів зварювального струму

Контроль і управління потужністю проводиться за сигналами, які формуються датчиками струму та напруги ДСзп і ДНзп.

Джерело струму чергової дуги (ДСЧД) працює безперервно і його струм підсумовується на навантаженні (зварювальній дузі) з основними імпульсами зварювального струму.

Також був розглянутий варіант формування імпульсів зварювального струму без використання ШДЛ, але за допомогою багатофазного понижуючого конвертора напруги (рис. 6), де регулювання тривалості, частоти та форми імпульсів зварювального струму здійснюється за рахунок синхронного управління транзисторними комутаторами Т1-Тn.

Живлення конвертора здійснюється від ємнісного накопичувача Сск, який заряджається від зарядного пристрою ЗП. Контроль і регулювання параметрів заряду СК здійснюється відповідно

до сигналів зворотного зв'язку, одержуваних від датчиків струму і напруги ДСзп і ДНзп. В даній схемі для поліпшення динамічних параметрів імпульсів струму застосований режим роботи з перерваними струмами в дроселях L1 – Ln. Один з каналів конвертора використовується для формування чергового струму дуги і працює в режимі безперервного струму дроселя Lo.

Порівняльний аналіз роботи цих пристроїв показує, що перевагу слід віддати схемі багатофазного перетворювача, оскільки вона дозволяє регулювати часові параметри амплітуди та форму імпульсу зварювального струму в широких межах.

Висновки

1. Розглянуто особливості роботи та застосування формувачів зварювального струму на осно-

ві штучних довгих ліній для створення ресурсо- та енергоефективних джерел живлення для дугового зварювання.

2. Показано перспективність їх використання під час живлення від ємнісних накопичувачів енергії в режимі динамічного горіння дуги.

3. Запропоновано нові схеми комбінованих джерел живлення на основі штучних довгих ліній, а також проведено їх експериментальні дослідження в діапазоні частот зварювальних струмів в межах 50...3500 Гц. Розглянуто особливості функціонування штучних довгих ліній у складі конверторів понижуючого типу.

4. Пристрої, як показали експериментальні дослідження, вирізняються високими показниками енергоефективності та електромагнітної сумісності.

Список літератури

1. Анисимова Т.Е., Аккуратов Е.В., Громовенко В.М. и др. (1987) Генератор высоковольтных импульсов с переменной длительностью. *Приборы и техника эксперимента*, 4, 45–48.
2. Опре В. (2008) Генераторы прямоугольных импульсов тока. *Силовая электроника*, 1, 56–61.
3. Kazmierkowski, M.P., Krishnan, R., Blaabjerg, F. (2002) *Control power electronics*. USA, Academic Press.
4. Tihanyi, L. (1995) *EMC in Power Electronics*. N.Y., IEEE Press.
5. Аллас А.А., Коротков А.Ю., Опре В.М., Федоров А.В. (2001) *Зарядное устройство. А.с. 18026 РФ, RU 7 H 02 M 9/04. Опубл. 10.05.2001. Бюл. № 13*.
6. Leonard, W. (1996) *Control of Electrical Drives*. Berlin, Springer.
7. Коротинський О.Є., М.І. Скопюк, І.В. Вертецька (2021) Високоєфективні джерела для дугового зварювання на основі ємнісних накопичувачів електричної енергії. *Автоматичне зварювання*, 3, 47–52.
8. Громовенко В. М., Опре В. М., Щеголева Н. А. (1997) Зарядные устройства расщепленных емкостных накопителей. *Электротехника*, 3, 46–48.
9. Korotynsky, A.E. (1999) Peculiarities of operation of high – frequency welding inverters on the basis of an artificial long line. *The Paton Welding J.*, 1, 76–77.
10. Mohan, N., Undeland, T.M., Robins, W.P. (1995) *Power electronics: converters, application and design*. USA, NY John Willey&Sons Inc.
11. Чеботарьов В.І. (2008) *Волновые процессы в длинных линиях*. Монографія. Харьков, Изд. им. В.Н. Каразина.
12. Povh, D., Weinhold, M. (2000) *Improvement of Power Quality by Power Electronic Equipment*. CIRGE. Paper 13/14/36-06. Paris.

References

1. Anisimova, T.E., Akkuratov, E.V., Gromovenko, V.M. et al. (1987) High-voltage pulse generator with alternating duration. *Pribory i Tekhnika*, 4, 45–48 [in Russian].
2. Opre, V. (2008) Generators of current rectangular pulses. *Silovaya Elektronika*, 1, 56–61 [in Russian].
3. Kazmierkowski, M.P., Krishnan, R., Blaabjerg, F. (2002) *Control power electronics*. USA, Academic Press.
4. Tihanyi, L. (1995) *EMC in Power Electronics*. N.Y., IEEE Press.
5. Allas, A.A., Korotkov, A.Yu., Opre, V.M., Fedorov, A.V. (2001) *Charging device. RF author's certif. 18026, RU 7 H 02 M 9/04, Publ. 10.05.2001* [in Russian].
6. Leonard, W. (1996) *Control of Electrical Drives*. Berlin, Springer.
7. Korotynskiy, O.E., Skopyuk, M.I., Vertetska, I.V. (2021) High-efficient sources for arc welding on the base of capacitive energy storage systems. *The Paton Welding J.*, 3, 43–48.
8. Gromovenko, V.M., Opre, V.M., Shchegoleva, N.A. (1997) Charging devices of split capacitive storages. *Elektrotekhnika*, 3, 46–48 [in Russian].
9. Korotynsky, A.E. (1999) Peculiarities of operation of high-frequency welding inverters on the basis of an artificial long line. *Avtomatich. Svarka*, 1, 76–77 [in Russian].
10. Mohan, N., Undeland, T.M., Robins, W.P. (1995) *Power electronics: Converters, application and design*. USA, NY John Willey&Sons Inc.
11. Chebotaryov, V.I. (2008) *Wave processes in long lines: Monographs*. Kharkov, Izd-vo im. V.N. Karazin [in Russian].
12. Povh, D., Weinhold, M. (2000) *Improvement of Power Quality by Power Electronic Equipment*. CIRGE. Paper 13/14/36-06. Paris.

WELDING CURRENT FORMERS USING ARTIFICIAL LONG LINES

O.Ye. Korotynskiy, M.P. Drachenko, A.M. Zhernosekov, I.V. Vertetska

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Application of artificial long lines in arc welding equipment is considered. These lines allow forming pulsed welding currents of a regulated shape. The need for such currents is determined primarily by the objectives of pulsed technologies, where the loading current shape ensures the required time law of power input into the technological object. The most characteristic examples of such technologies are pulsed laser welding, laser heat hardening, laser piercing of holes, etc. The possibility of adjustment of amplitude-time parameters of loading current pulses in a broad range allows determination and further on ensuring the optimal parameters of pulsed electrophysical processes in order to improve their quality and productivity. Special pulsed current generators are required to create such energy flows, which are described and proposed in the paper. Ref. 12, Fig. 6.

Keywords: welding current formers, artificial long line, step-down multiphase converter, pilot-arc power source

Надійшла до редакції 09.10.2023

PEREDPLATA 2024

Передплата на електронні версії журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електromеталургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль»:

Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>

На сайті видавництва у 2024 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2022 рр.