

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

О.Є. Коротинський, М.І. Скопюк, І.В. Вертецька

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

Запропоновано новий клас високоефективного зварювального обладнання для дугового зварювання, що ґрунтується на широкому використанні ємнісних накопичувачів енергії, в якості яких застосовуються високоемні конденсатори з подвійним електричним шаром. У статті досліджено структури джерел, в основу яких покладені принципи комутаційно-модуляційного перетворення зварювального струму. Детально проаналізовано процедури перетворення сигналів в запропонованих джерелах, ґрунтованих на методі переносу заряду. Проведено аналіз динамічних характеристик даного типу джерел, а також отримані основні рівняння, що описують різні типи ємнісних перетворювачів зварювального струму. Бібліогр. 13, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: дугове зварювання, ємнісний накопичувач енергії, конденсатор з подвійним електричним шаром, метод переносу заряду, топологічні структури джерел, конвертор понижуючого типу

Сучасні підходи в проектуванні зварювальних джерел живлення ґрунтуються на виконанні таких вимог до їх параметрів: висока енергоефективність перетворення зварювального струму, необхідний рівень експлуатаційної надійності, підвищена питома потужність, що генерується (визначається по відношенню до ваги або об'єму), коефіцієнт потужності не менше 0,9, високі динамічні параметри в режимі стабілізації струму / напруги. Природно, що задовольнити зазначеним вище вимогам можуть тільки високочастотні зварювальні перетворювачі [1]. Але перехід до перетворення енергії зварювального струму на високій частоті гостро ставить питання електромагнітної сумісності (ЕМС) [2]. Задоволення всіх цих вимог призводить до додаткових витрат апаратних засобів, які в деякій мірі знижують економічну ефективність високочастотного зварювального обладнання.

В основному сучасні зварювальні інвертори виконуються за схемою подвійного перетворення, коли мережева напруга випрямляється, згладжується ємнісним фільтром, а потім подається на вхід блоку DC/DC-перетворювача. В якості останнього в основному використовуються три типи схем: повномостовий, напівмостовий інвертори, а найчастіше в джерелах до 200 А – однотактний мостовий інвертор, який часто називають в технічній літературі «косий» міст (КМ). Перспективність цієї структури зварювального інвертора безсумнівна. Саме тому її подальшому дослідженню та вдосконаленню присвячений ряд робіт [3], спрямованих на пошуки нових схемотехнічних рішень, а також на підвищення параметрів енергоефективності. Особливий інтерес серед робіт цього напрямку викликає здвоєний КМ [4], що конку-

рує за техніко-економічними показниками навіть з мостовими конверторами з фазовим керуванням.

Важливу роль в зварювальних інверторах грають динамічні параметри силових ключів, які в основному визначають втрати на перемикання. Саме ці втрати і обмежують частоту перемикання, для підвищення якої необхідно застосовувати резонансні або «м'яко» комутовані технології [5].

Одним із шляхів підвищення енергоефективності інверторного зварювального обладнання є усунення фільтруючого конденсатора великої ємності в ланцюзі випрямляча і перехід від подвійного перетворення енергії до безпосереднього. Як показано [6], якщо виключити функцію випрямлення вхідної напруги, то можна отримати високі параметри коефіцієнта корисної дії (ККД) і коефіцієнта потужності (КП) зварювального інвертора. Проте позбутися низькочастотного трансформатора не вдасться. А це веде до погіршення масогабаритних параметрів пристрою.

Автори роботи [7] показали, що усунення цього недоліку можливе шляхом переходу до джерел з трифазним входом. Тут реалізується принцип прямого перетворення трифазної напруги промислової частоти в високочастотну напругу, яка потім перетвориться аналогічно тому, як це здійснюється в схемах класичних зварювальних інверторів. Проте тут виникають додаткові труднощі, пов'язані з необхідністю обов'язкового застосування дво-спрямованих ключів. А це призводить до подвоєння числа комутуючих елементів і схем управління ними, що в кінці-кінців знижує економічні показники таких джерел.

Ще одним напрямком у створенні високоефективного зварювального обладнання є резонансні

технології [8]. Вони ґрунтуються на широкому застосуванні різних типів індуктивно-ємнісних перетворювачів (ІЄП), схемотехніка яких базується на широкій гамі елементів силової електроніки. Це можуть бути просто резонансні LC-контури [9], індукони [10], що працюють в широкому діапазоні частот. Також необхідно відзначити високо-частотні зварювальні перетворювачі, виконані на основі штучних довгих ліній (ШДЛ) [11], в яких досягається ККД до 90 %.

Незважаючи на таку велику кількість технічних рішень в області перетворювачів зварювального струму, пошуки нових методів побудови джерел тривають. Одним з перспективних напрямків є створення джерел, в яких індуктивні накопичувачі енергії замінюються ємнісними. Природно, що проста заміна тут неможлива – необхідна розробка нових схемних рішень, які б дозволили в повній мірі використовувати функціональні мож-

ливості ємнісних накопичувачів енергії (ЄНЕ). Цей клас безіндуктивних перетворювачів повинен мати наступні властивості:

- змінювати полярність вхідної напруги;
- підвищувати або знижувати його рівень у відповідності до заданого коефіцієнта перетворення;
- здійснювати при необхідності режим гальванічної розв’язки.

Всі ці процедури можуть бути реалізовані в комутаційно-модуляційних пристроях, коли накопичений заряд відповідно до визначеного законом перетворення (інвертування, підсумовування, множення і т. д.) передається від одного конденсатора до іншого. Тому такий тип джерел можна назвати перетворювачами з перенесенням заряду (ППЗ). Успішність їх практичної реалізації в першу чергу пов’язана з досягненнями в області створення потужних накопичувачів електричної

Номер	Схеми комутаційно-модуляційних перетворювачів	Часові діаграми
1		
2		
3		
4		

1 – комутаційно-модуляційний перетворювач (КМП) на основі класичної схеми «літаючого» конденсатора; 2 – КМП на основі схеми двотактного «літаючого» конденсатора; 3 – КМП в режимі подвоєння напруги; 4 – КМП в режимі формування змінної напруги.

енергії – суперконденсаторів (СК) [12], що відрізняються високою добротністю. Це забезпечує їх підвищену енергоефективність. У зв'язку з цим питання застосування ємнісних накопичувачів при створенні джерел для дугового зварювання є безумовно актуальними.

До теперішнього часу СК в зварюванні використовувались виключно для імпульсних технологій: точкове контактне зварювання, приварювання шпильок, пресове зварювання магнітної дугою [13] і т. п. Тут функціонально СК використовувався для формування в одноразовому циклі зварювання потужного імпульсу струму в діапазоні 0,5...10 кА. Досвіду застосування СК в безперервних режимах дугового зварювання в даний час немає. Пропонована робота є першою спробою реалізації цієї ідеї стосовно до процесів дугового зварювання.

Розглянемо деякі з можливих варіантів схем ППЗ, наведених в таблиці, на основі яких можна проєктувати обладнання для дугового зварювання. Схема 1 являє собою перетворювач типу «літаючого» конденсатора, де накопичувальний конденсатор [14], попередньо заряджений до напруги U_3 , розряджається за допомогою ключа K на конденсатор C_0 . Останній використовується в якості джерела живлення навантаження Z_n . Як випливає з тимчасової діаграми, напруга на навантаженні U_n є пульсаціями, рівень яких визначається частотою тактового генератора (ТГ).

Суттєво знизити їх величину можна, застосувавши схему 2, яка є двотактним «літаючим» конденсатором. У цій схемі зарядно-розрядні процеси відбуваються в протифазі. Тому величина пульсацій напруги на навантаженні може бути легко знижена до 1%. Однак платою за це буде установка додаткового накопичувача C_{n2} .

Перетворювач, виконаний у відповідності до схеми 3, забезпечує режим подвоєння напруги на навантаженні. Це відбувається наступним чином: в першому такті (ключі $K1, K2$ – замкнуті, а $K3, K4$ – розімкнуті) відбувається заряд C_{n1} до напруги U_3 . Потім у другому такті (ключі $K1, K2$ – розімкнуті, а $K3, K4$ – замкнуті) напруга переноситься на накопичувач C_n зі зміною полярності. Оскільки пристрій виконаний таким чином, що цю напругу і U_3 підсумовують, то на навантаженні буде діяти подвійна напруга ($U_n = 2U_3$). Незавжди бачити, що пристрій, виконаний за цією схемою, доцільно використовувати для створення акумуляторних зварювальних джерел. Особливо це перспективно для військових транспортних систем, де застосовуються акумуляторні батареї на 24 В.

Схему 4 може бути рекомендовано для створення на її основі зварювальних джерел змінного струму. До її складу входять два зарядних

пристрої, які формують рівні за амплітудою, але протилежні за знаком напруги U_{31} і U_{32} , два накопичувача C_{n1} і C_{n2} , а також два ключі $K1, K2$, які вмикаються в протифазі. При замкненому ключі $K1$ формується позитивна напівхвиля, а при замкненому ключі $K2$ – негативна. Відмінною особливістю таких формувачів є те, що абсолютно не змінюючи елементи схеми можна в широких межах регулювати частоту напруги, що живить дугу.

Структурно-функціональна схема джерела з накопичувачем енергії на СК наведена на рис. 1, а. Він складається з мережевого фільтра (МФ), основним призначенням якого є зниження рівня перешкод, що генеруються в мережу. Вихід МФ підключено до зарядного пристрою (ЗП), в якості якого може бути використаний будь-який тип перетворювача постійного струму, а також автономні живлячі пристрої, такі, як акумулятори, маховикові накопичувачі, міні-електростанції і т. п. Напруга з виходу ЗП далі подається на КМП, до складу якого входить еквалайзер. Його основне призначення – оптимізація заряду елементів ЄНЕ. Комутаційний блок (КБ) здійснює необхідні процедури перетворення енергетичного потоку відповідно до алгоритмів, які задаються контролером. Отримана таким чином напруга подається на вхід формувача зварювального струму (ФЗС), що забезпечує необхідну для обраного способу зварювання вольт-амперну характеристику (ВАХ).

Приклад практичної реалізації описаного підходу в створенні зварювального джерела наведено на рис. 1, б. У цьому пристрої в якості КМП використовується схема 1 (режим «літаючого» конденсатора), яка виконана на ключі K і накопичувальному конденсаторі C_n . Потім накопичений на ньому заряд частково передається конденсатору C_0 , що входить до складу ФЗС, який виконаний на базі конвертора понижуючого типу (КПТ), що

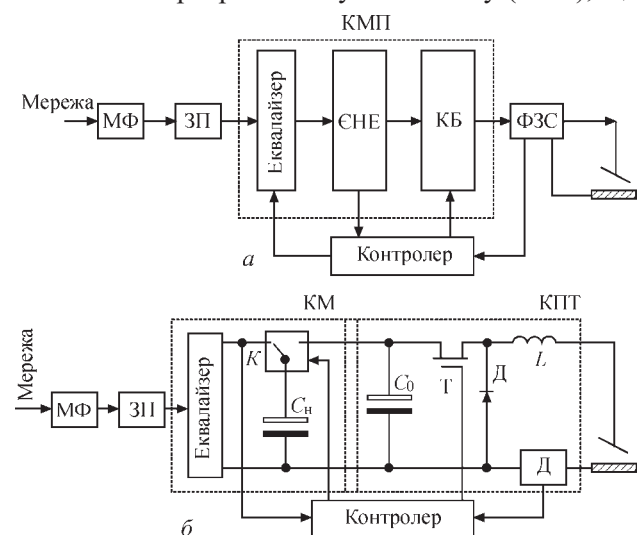


Рис. 1. Структурна схема джерела, що реалізує метод переносу заряду (а), приклад схемної реалізації джерела на базі «літаючого» конденсатора і КМП (б)

є, як відомо, одним з найбільш енергоефективних вузлів в області силової перетворювальної техніки.

Формування необхідної ВАХ відповідно до обраного способу зварювання здійснюється за рахунок дії ланцюга зворотного зв'язку, що задається сигналами датчика струму (ДС). В результаті дії цих сигналів синхронно формуються дві команди управління, які визначають часові режими роботи ключа K і транзисторного комутатора (ТК) конвертера.

Досить перспективним є використання КМП для створення акумуляторних зварювальних джерел. Один з можливих варіантів такого пристрою наведено на рис. 2.

Процедурно перетворення енергетичного потоку відбувається в наступному порядку. У першому циклі за допомогою замкнутих ключів $K1$ і $K2$ накопичувач $C_{н1}$ заряджається від акумуляторної батареї (АБ). Потім у другій фазі ключі $K1$ і $K2$ розмикаються і замикаються ключі $K3$ і $K4$. При цьому частина заряду передається накопичувачу $C_{н2}$, заряджаючи його до напруги АБ, але зворотної полярності. В результаті цього ця напруга сумується з напругою АБ і ми отримуємо його подвійне значення. При використанні акумулятора з $U = 24$ В повна напруга, що діє на накопичувачі C_0 , складає 48 В. Цього цілком достатньо для живлення конвертера КППТ, який входить в блок ФЗС. Всі описані процедури перетворення зварювального струму реалізуються блоком управління комутацією (БУК) ключів, що входять до складу КМП, а також комутатора КППТ.

Перевагою такої схеми акумуляторного джерела в порівнянні з відомими [15] є те, що завдяки ключовій розв'язці ланцюга АБ і зварювального конту-

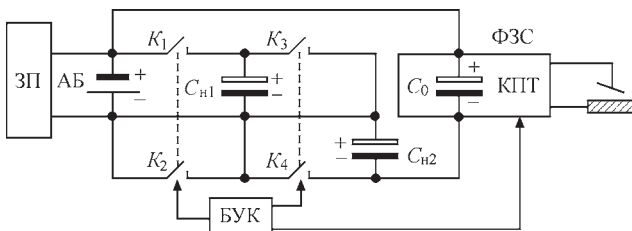


Рис. 2. Акумуляторне джерело живлення

ру, струми короткого замикання в дузі не призводять до деградації акумулятора, що мало місце при прямому його включенні в зварювальний ланцюг.

Ще одним цікавим технічним рішенням в цьому класі пристроїв є джерело змінного струму для дугового зварювання, в якому достатньо просто змінювати частоту в вельми широкому діапазоні. І що найважливіше, тут можна застосувати режим частотної модуляції (ЧМ) зварювального струму, що практично неможливо реалізувати в класичних схемах джерел. Тому і технологічні властивості, пов'язані з таким режимом ЧС, не досліджувалися раніше.

Структурна схема такого джерела наведена на рис. 3, а. Вона складається з двох зарядних пристроїв ЗП1 і ЗП2, які формують напругу позитивної і негативної полярності U_1 і U_2 . Тому накопичувачі $C_{н1}$ і $C_{н2}$ знаходяться в режимі безперервного заряду. Напруга на них періодично підключається до ФЗС, що представляє собою індуктивно-ємнісний перетворювач (послідовний резонансний контур), який, як відомо [8], забезпечує високу стабільність горіння зварювальної дуги.

Частота зварювального струму визначається комутатором вибору частоти (КВЧ). Залежно від різного налаштування контуру L_1 , C_1 або L_2 , C_2 вона задається програмно контролером, який управляє режимами комутації ключів $K1$, $K2$ і КВЧ. Результати експериментів перевірки джерела в режимі $f = 1,41$ кГц наведені на рис. 3, б. Крива 1 – напруга на дузі, крива 2 – зварювальний струм, амплітуда якого $I_{ТЗВ} = 180$ А.

Розглянемо енергетичні питання, які мають місце при проектуванні джерел з ППЗ. Будемо припускати, що стан схеми перед замиканням ключа K (рис. 4, а) наступний: $C_{н1}$ і C_0 заряджені. Причому $U_m > U_p$. Тоді в момент включення можна записати:

$$U_m = I(t)r + U. \quad (1)$$

Якщо перейти до зарядової форми, то (1) можна представити у вигляді:

$$-\frac{q_n}{C_n} + \frac{q_0}{C_0} + I(t)r = 0, \quad (2)$$

де $I(t)$ – сила струму в ланцюгу; q_n і q_0 – заряди накопичувачів C_n і C_0 .

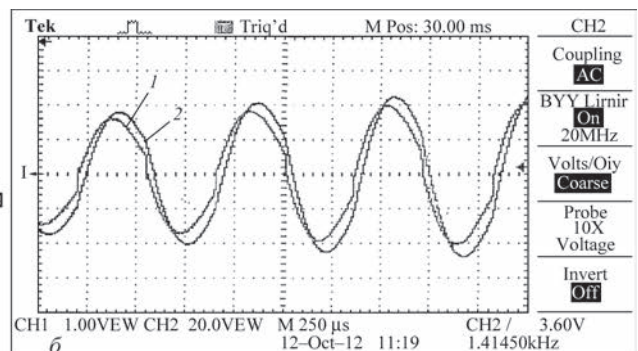
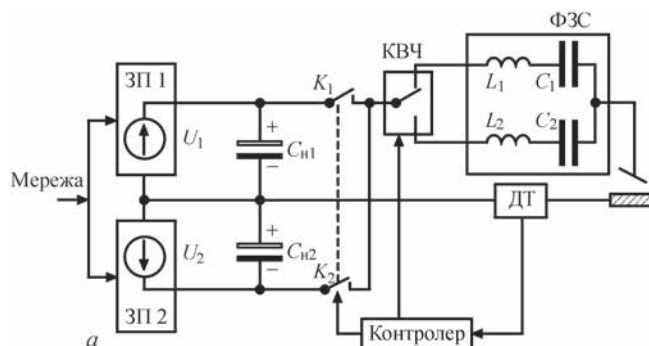


Рис. 3. Структурна схема джерела змінного струму (а), осцилограма напруги (1) і струму (2) (б)

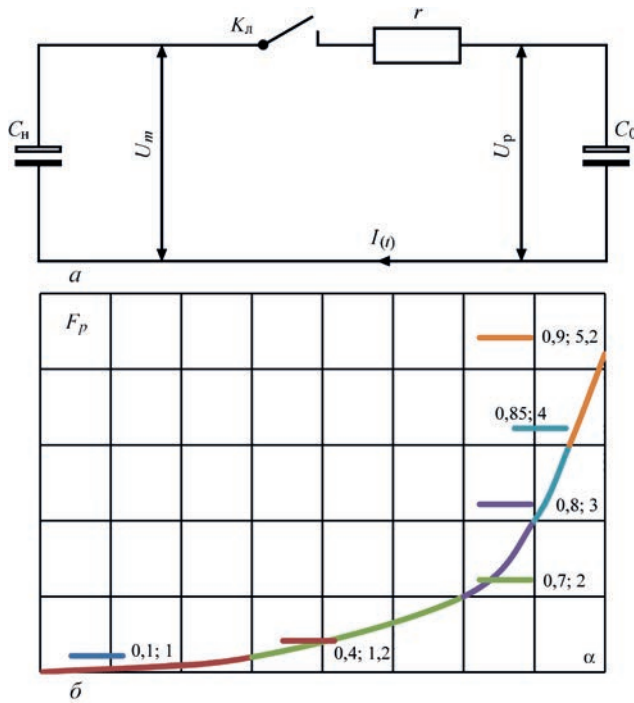


Рис. 4. Схема розряду накопичувача (а) і функція розряду F_p (б)

Якщо (2) про диференціювати в часі, отримаємо:

$$-\frac{1}{C_H} \frac{dq_H}{dt} + \frac{1}{C_0} \frac{dq_0}{dt} + r \frac{dI(t)}{dt} = 0. \quad (3)$$

Враховуючи те, що з урахуванням закону збереження заряду струм в контурі дорівнює:

$$I(t) = -\frac{1}{C_H} \frac{dq_H}{dt} = \frac{1}{C_0} \frac{dq_0}{dt},$$

(3) можна представити у вигляді:

$$\left(\frac{1}{C_H} + \frac{1}{C_0} \right) I(t) + r \frac{dI(t)}{dt} = 0. \quad (4)$$

Як відомо з [16], розв'язком рівняння (4) буде функція

$$I(t) = I(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (5)$$

де $I(t)$ – струм в момент включення; $\tau = r \frac{C_H C_0}{C_H + C_0}$

– постійна часу ланцюга розряду.

Якщо визначити $I(t)$ за початковими значеннями $U_m(0)$ і $U_p(0)$, то можна записати:

$$I(t) = \frac{U_m(0) - U_p(0)}{R} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (6)$$

Як ми домовились, $U_m > U_p$, тому рівняння розряду C_H і заряду C_0 в часі можна представити наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} U_m(t) &= U_m(0) - \frac{1}{C_H} \int_0^t I(t) dt = \\ &= U_m(0) - \frac{I(0)}{C_H} \int_0^t \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) dt. \end{aligned} \quad (7)$$

С урахуванням того, що

$$I(0) = \frac{U_m(0) - U_p(0)}{R},$$

$$U_m(t) = U_m(0) - \frac{[U_m(0) - U_p(0)] C_0}{C_H + C_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad (8)$$

аналогічно можна представити вираз для напруги на C_0 – $U_p(t)$

$$U_p(t) = U_p(0) - \frac{[U_m(0) - U_p(0)] C_0}{C_H + C_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (9)$$

Наведені формули (6–9) повністю описують процеси переносу заряду в джерелах з КМП.

Подальша передача енергії в навантаження (дугу) відбувається переносом заряду, який формується накопичувачем C_0 протягом деякого проміжку часу Δt . В термінах потужності це можна описати наступною формулою:

$$\Delta P(t) = \frac{C_0}{2} (U_1^2 - U_2^2), \quad (10)$$

де U_1 і U_2 – напруга зарядженого і частково розрядженого C_0 .

Позначимо $U_2 = \alpha U_1$, де α – коефіцієнт, що характеризує ступінь розряду накопичувача C_0 . Тоді (10) можна представити таким виразом:

$$\Delta P(t) = \frac{C_0}{2} U_1^2 (1 - \alpha^2). \quad (11)$$

З (11) можна визначити величину ємності накопичувача C_0 :

$$C_0 = \frac{2\Delta P(t)}{U_1^2} \frac{1}{1 - \alpha^2} = \frac{2\Delta P(t)}{U_1^2} F_p, \quad (12)$$

де $F_p = \frac{1}{1 - \alpha^2}$ – будемо називати функцією розряду. Вона описує ступінь переносу заряду в зварювальний ланцюг. Її графік наведено на рис 4, б. Використовуючи формулу (12), можна визначити ємність накопичувача для заданої потужності джерела зварювального струму.

Щоб функціонально зв'язати всі процеси, які мають місце в джерелах з перенесенням заряду, скористаємося наступними міркуваннями. Як відомо, з одного боку заряд можна представити формулою $q = C_H U$, з іншого боку $q = It$, отже:

$$C_H U = It. \quad (13)$$

Якщо припустити, що процес перетворення енергетичного потоку відбувається кожен період, тобто $t = 1/f$, то (13) можна перетворити до виду:

$$\frac{I}{UC_H f} = 1. \quad (14)$$

Вираз (14) описує основні закономірності, які мають місце в даному класі джерел для дугового зварювання. Воно пов'язує електричні (U , I), ча-

сові (t) характеристики з ємністю накопичувача ($C_{\text{н}}$), і може слугувати базою для розрахунку параметрів ППЗ.

Надалі розрахунки, проведені відповідно до (14), будуть адаптовані для різних топологічних структур інверторних перетворювачів зварювального струму, в яких доцільно використовувати ємнісні накопичувачі для реалізації методу переносу заряду. Особливо, на нашу думку, такий підхід перспективний для розрахунків конверторів понижуючого типу.

Висновки

Запропоновано нові топологічні структури джерел живлення для дугового зварювання, виконані на основі ємнісних накопичувачів енергії.

Використовуючи методи теорії комутаційно-модуляційних перетворювачів, проведено теоретичне обґрунтування роботи цього класу джерел, а також отримані основні аналітичні вирази, що описують роботу таких структур.

На основі запропонованих підходів створено і експериментально досліджено робочий макет джерела змінного струму, що забезпечує широкий діапазон частот регулювання вихідної напруги.

Показано, що підвищення енергоефективності даного класу обладнання досягається за рахунок високої добротності ємнісних накопичувачів енергії, виконаних на основі конденсаторів з подвійним електричним шаром.

Список літератури

1. Лебедев В.К. (1995) Тенденции развития источников питания для дуговой сварки. *Автоматическая сварка*, **5**, 3–6.
2. Пентегов И.В., Рымар С.В., Жерносеков А.М., Сидоренко В.Н. (2012) Электромагнитная совместимость источников питания сварочной дуги. *Электротехника и электромеханика*, **3**, 34–38.
3. Борисов Д.А. (2010) *Динамические процессы в источнике питания для сварки на переменном токе высокой частоты*: автореф. дис. ... канд. техн. наук, Саратов.
4. Патон Б.С., Коротинский О.Е., Скопюк М.И., Драченко М.П. (2009) *Гибридный пристрій для перетворення енергії постійного струму на виході в енергію постійного струму на виході*. Україна Пат. № 41218, Бюл. № 9.
5. Рудык С.Д., Турчанинов В.Е., Флоренцев С.Н. (1999) Мощный однотактный преобразователь постоянного напряжения с «мягкой» коммутацией силового ключа. *Электротехника*, **4**, 55–58.
6. Рудык С.Д., Турчанинов В.Е., Флоренцев С.Н. (1998) Перспективные источники сварочного тока. *Электротехника*, **7**, 8–13.
7. Бурлака В.В., Гуликов В.В. (2012) Трехфазный инверторный источник питания с непосредственным преобразованием и повышенным коэффициентом мощности. *Автоматическая сварка*, **7**, 44–46.
8. Коротинский А.Е. (2007) *Высокоэффективные источники для дуговой сварки на основе индуктивно-емкостных преобразователей*: авторефер. дис. ... докт. техн. наук, Киев.
9. Лебедев В.К., Коротинский А.Е. (1994) Дуга переменного тока в цепи с последовательно соединенными индуктивностью и емкостью. *Автоматическая сварка*, **12**, 47–48.
10. Милых А.Н., Волков И.В. (1974) *Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей*. Киев, Наукова думка.

11. 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.
12. Марк Геббиа (2013) Двойственная природа суперконденсаторов. *Электронные компоненты*, **6**, 104–107.
13. Коротинский А. Е., Драченко Н. П., Шапка В. А. (2014) Особенности применения суперконденсаторов в устройствах для импульсных технологий сварки. *Автоматическая сварка*, **9**, 36–40.
14. Коротинский А. Е. (2002) Состояние, тенденции и перспективы развития высокочастотных сварочных преобразователей (Обзор). *Автоматическая сварка*, **7**, 50–62.
15. Патон Б.Е., Дудко Д.А., Коротинский А.Е., Кистерская Л.Д. *Автоматическое устройство для дуговой сварки*. Украина Пат. № 23804 А. Опубл. 31.08.98; Бюл. № 4.
16. Пентегов И.В. (1982) *Основы теории зарядных цепей емкостных накопителей энергии*. Киев, Наукова думка.

References

1. Lebedev, V.K. (1995) Trends of development of power sources for arc welding. *Avtomatich. Svarka*, **5**, 3–6 [in Russian].
2. Pentegov, I.V., Rymar, S.V., Zhernosekov, A.M., Sidorets, V.N. (2012) Electromagnetic compatibility of power sources of welding arc. *Elektrotehnika i Elektromechanika*, **3**, 34–38 [in Russian].
3. Borisov, D.A. (2010) *Dynamic processes in power sources for welding at high-frequency alternating current welding*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Tech. Sci. Degree. Saratov [in Russian].
4. Paton, B.E., Korotynsky, O.E., Skopyuk, M.I., Drachenko, M.P. (2009) *Hybrid device for conversion of dc energy at input to ac energy at output*. Ukraine Pat. 41218 [in Ukrainian].
5. Rudyk, S.D., Turchaninov, V.E., Florentsev, S.N. (1999) High-power single-step converter of dc voltage with “soft” commutation of power key. *Elektrotehnika*, **4**, 55–58 [in Russian].
6. Rudyk, S.D., Turchaninov, V.E., Florentsev, S.N. (1998) Prospective welding current sources. *Ibid.*, **7**, 8–13 [in Russian].
7. Burlaka, V.V., Gulikov, V.V. (2012) Three-phase inverter power source with direct conversion and increased power factor. *The Paton Welding J.*, **7**, 35-37.
8. Korotynsky, A.E. (2007) *High-efficient power sources for arc welding based on inductance-capacitance converters*. In: Syn. of Thesis for Dr. of Tech. Sci. Degree. Kiev [in Russian].
9. Lebedev, V.K., Korotynsky, A.E. (1994) Ac arc in the circuit with inductance and capacitance connected in series. *Avtomatich. Svarka*, **12**, 47–48 [in Russian].
10. Milyakh, A.N., Volkov, I.V. (1974) *Constant current systems based on inductance-capacitance converters*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
11. 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.
12. Mark Gebbia (2013) Dual nature of supercapacitors. *Elektronnye Komponenty*, **6**, 104–107.
13. Korotynsky, A.E., Drachenko, N.P., Shapka, V.A. (2014) Peculiarities of application of supercapacitors in devices for pulse welding technologies. *The Paton Welding J.*, **9**, 34-38.
14. Korotynsky, A.E. (2002) State-of-the-art, tendencies and prospects of development of high-frequency welding converters (Review). *Ibid.*, **7**, 44-50.
15. Paton, B.E., Dudko, D.A., Korotynsky, A.E., Kisterskaya, L.D. *Autonomous device for arc welding*. Ukraine Pat. 23804 A. Publ. 31.08.98 [in Russian].
16. Pentegov, I.V. (1982) *Fundamentals of theory of charging circuits of capacitive energy storage*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].

HIGH-EFFICIENT SOURCES FOR ARC WELDING BASED ON CAPACITIVE ENERGY STORAGE SYSTEMS

O.E. Korotynskiy, M.I. Skopyuk, 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

A new class of high-efficient arc welding equipment is proposed, which is based on wide application of capacitive energy storage systems, in which high-capacity capacitors with a double electric layer are used as such storages. The paper is a study of the structure of sources, which are based on switching-modulation conversion of welding current. Procedures of signal conversion in the proposed sources, using the charge transfer method are analyzed in detail. Analysis of dynamic characteristics of this type of sources was performed, and basic equations were derived, which characterize different types of capacitive welding current converters. 13 Ref., 1 Tabl., 4 Fig.

Keywords: arc welding, capacitive energy storage system, double electric layer capacitor, charge transfer method, topological structures of the sources, step-down type converter

Надійшла до редакції 12.02.2021

ЗИМОВИЙ З'ЇЗД МІЖНАРОДНОГО ІНСТИТУТУ ЗВАРЮВАННЯ

Щорічний проміжний зимовий з'їзд Міжнародного інституту зварювання у поточному році через пандемію коронавірусної хвороби (COVID-19), спричиненої SARS-CoV-2, проходив у дистанційному режимі. Через зміну режиму роботи подія у порівнянні з попередніми роками тривала довше – майже 2 тижні замість звичних п'яти днів.

Традиційно взимку проходять збори частини робочих груп і комісій, що входять в Міжнародну комісію з акредитації (IAB) і Ради з технічного менеджменту (TMB), а саме: групи А (Навчання і кваліфікація) і В (Акредитація) IAB, загальних зборів членів IAB, комісії С-XIV (Освіта), CV (Контроль і забезпечення якості в зварюванні), групи WG-RA (регіональна діяльність) і WG-STAND (стандарти) та ін. Однак у зв'язку із майже повним переходом робочих груп до роботи онлайн (без потреби переїзду) комісії та робочі групи у 2020 р. перешли на дистанційну роботу, тому потреба підлаштовувати засідання підрозділів TMB та IAB відпала. Організацію заходу взяв на себе об'єднаний секретаріат IIW та EWF (Португалія), а засідання стосувались тільки підрозділів, пов'язаних із навчанням, атестацією та сертифікацією персоналу та виробництва.

Активну участь у роботі IAB беруть представники навчальних і атестаційних закладів, а також центрів по сертифікації з різних країн. В рамках роботи комітету пройшли засідання робочих груп А «Освіта, навчання та кваліфікація» і В «Акредитація», в ході яких обговорювалися питання перегляду програм підготовки персоналу різних рівнів, вимог до кандидатів на навчання та викладачам. Також були заслухані результати перевірок, проведених за останні півроку командою аудиторів під керівництвом Т. Джессопа (Великобританія). Було проведено збори, присвячені особливостям роботи гармонізованої бази – інтернет-ресурсу з наборами питань для проведення письмових іспитів. На сьогоднішній день використання бази обов'язково тільки для атестації Міжнародних зварників і координаторів зварювальних робіт, проте в подальшому планується проведення таких іспитів для всіх категорій персоналу. Це забезпечить гармонізацію не тільки навчального процесу, а й самої процедури атестації. Вимоги до наборів питань зафіксо-

вані в керівних документах МІЗ і враховують не тільки тривалість іспиту і зазначені в навчальній програмі очікувані результати, а й співвідношення навчальних годин по тому чи іншому поділу з кількістю і рівнем складності питань, що до нього відносяться. В даний час йдуть роботи по гармонізації не тільки теоретичної частини іспиту, але і практичної. Так, наприклад, розроблені і найближчим часом будуть виготовлені пластикові зразки для інспекторів. У розробці і налагодженню бази беруть активну участь представники України, що неодноразово було відзначено керівниками робочих груп.

Найбільші зміни найближчим часом очікують навчальні та атестаційні центри, які працюють з персоналом із забезпечення якості (інспекторами). Окрім повної зміни структури модулів програми навчання (відтепер теми не повторюються у різних рівнях), заплановано повну гармонізацію атестації із проведенням теоретичних іспитів онлайн, а практичних — із застосуванням гармонізованого комплексу зразків та документів. Наразі відповідна робоча група активно працює над розробкою комплектів.

Додатково IAB звертає особливу увагу на забезпечення доступу до кваліфікацій МІЗ, зокрема, для людей, які мають досвід роботи у галузі, в якій вони бажають атестуватись. Наразі паралельно іде робота із розробки процедури допуску до фінальних іспитів координаторів зварювальних робіт та зварювальників, причому у випадку зварювальників навчання стане доступним навіть для тих, хто в силу тих чи інших обставин не може підтвердити досвід роботи.

Цьогорічна 74-та Асамблея Міжнародного інституту зварювання і міжнародна конференція також пройдуть у дистанційному режимі. Їх заплановано на період 7–21 липня 2021 р. Темою конференції оголошено штучний інтелект та інновації у зварюванні. Наразі організатори працюють над тим, щоб додатково провести соціальні заходи (також онлайн). Зверніть увагу, що у поточному році вартість участі залежить від того, скільки засідань підрозділів інституту планує відвідати учасник.

Регістрація на участь в асамблеї та конференції вже доступна на сайті <https://iiw2021.com/>.