

## СТАБІЛІЗАТОР ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

**В. В. БУРЛАКА, С. В. ГУЛАКОВ, С. К. ПОДНЕБЕННА**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет». 87500, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.  
E-mail: office@pstu.edu

Запропоновано схемне рішення стабілізатора дуги змінного струму для зварювальних трансформаторів. Відмінною особливістю стабілізатора є використання резонансного підвищення напруги на вторинній обмотці трансформатора для забезпечення повторних підпалювань дуги після кожного переходу струму через нуль. Це дає можливість знизити втрати енергії в стабілізаторі дуги і забезпечити ефективне формування пакетів високовольтних імпульсів для гарантованого пробою дугового проміжку. Застосування запропонованого стабілізатора дуги дозволяє виконувати зварювальні роботи електродами постійного струму при живленні від зварювальних трансформаторів без випрямлячів. Стабілізатор призначений для роботи з трансформаторами, не обладнаними електронними регуляторами – головним чином із трансформаторами з магнітним шунтом типів ТДМ, СТШ. Бібліогр. 12, рис. 6.

*Ключові слова*: електрична дуга, зварювання, підпалення дуги, стабілізація горіння дуги, зварювальний трансформатор, напруга підпалення дуги

При ручному дуговому зварюванні на якість і продуктивність процесу впливає здатність джерела живлення забезпечувати легке підпалення і стабільне горіння дуги. При зварюванні змінним струмом повторна ініціація дуги має відбуватися після кожного переходу зварювального струму через нуль. Для вирішення цієї задачі використовуються пристрої стабілізації горіння дуги, або стабілізатори дуги.

Підпалення дуги пов'язане з необхідністю отримання високої напруги. Для цього можуть бути використані додаткові обмотки зварювального трансформатора [1]; можуть застосовуватися спеціальні схеми з додатковими індуктивними компонентами, які вмикаються паралельно [2] або послідовно з вторинною обмоткою зварювального трансформатора [3–8].

Перший підхід вимагає зміни конструкції трансформатора і непридатний для модифікації існуючого парку зварювальних трансформаторів.

Реалізація другого підходу веде до підвищених габаритів та маси стабілізатора дуги у зв'язку з наявністю додаткових індуктивних компонентів, особливо тих, що включені в зварювальний ланцюг послідовно з вторинною обмоткою трансформатора.

Оригінальним підходом до створення стабілізаторів дуги є використання для повторних підпалень дуги енергії, яка може бути накопичена у полі розсіювання зварювального трансформатора. Зважаючи на те, що трансформатори для зварювання зазвичай мають падаючу вихідну характеристику і підвищене розсіювання, такий підхід представляється перспективним.

У роботах [9, 10] описано стабілізатор дуги змінного струму, який підключається до виводів вторинної обмотки зварювального трансформатора і містить електронний комутатор, підключений до цієї обмотки, і схему управління комутатором.

Схема дозволяє виконувати підпал дуги після переходу мережевої напруги через нуль і повторно підпалювати дугу в разі її обриву, не містить силових індуктивних компонентів, має просте підключення. Недоліками схеми є неможливість формування вихідних імпульсів напруги з підвищеною частотою, оскільки при невдалій спробі пробою дугового проміжку енергія, що накопичена в магнітному полі зварювального трансформатора, розсіюється у вигляді тепла на елементах захисту електронного комутатора від перенапруги. Тому підвищення частоти вихідних імпульсів призведе до перегріву елементів захисту комутатора. Крім того, велика швидкість зміни вихідної напруги веде до генерації радіочастотних завад. Це погіршує споживчі якості стабілізатора дуги.

Авторами удосконалено стабілізатор дуги змінного струму [11], що дозволило знизити втрати енергії в ньому, збільшити тривалість періоду підтримання підвищеної напруги на електроді при ручному дуговому зварюванні та полегшити процес ініціювання дуги, тим самим поліпшити споживчі характеристики і розширити сферу застосування пристрою. Крім того, створено варіант пристрою [12] зі збільшеною вихідною напругою без необхідності застосування силових компонентів з підвищеною робочою напругою.

Ідея полягає в тому, щоб до вторинної обмотки зварювального трансформатора підключити конденсатор, який утворює спільно з індуктивністю

розсіювання трансформатора коливальний контур. Паралельно цьому конденсатору підключаються електронні ключі зі схемою управління, що забезпечує «накачування» контуру енергією. Це призводить до підвищення напруги на конденсаторі та на виході зварювального джерела.

Спрощена схема силової частини пристрою стабілізації дуги змінного струму, що реалізує описаний принцип, наведена на рис. 1.

Формування підвищеної напруги ініціації дуги реалізується за рахунок «накачування» резонансного контуру, утвореного елементами T1 та  $C_R$ .

Елементи VD1, S1 працюють на позитивній напівхвилі вторинної напруги зварювального трансформатора T1 (S1 перемикається, S2 вимкнений), елементи VD2, S2 — на негативній напівхвилі (S2 перемикається, S1 вимкнений).

Розглянемо процес на позитивній напівхвилі.

Одразу після переходу вторинної напруги T1 через нуль відкривається ключ S1. На рис. 2 наведено осцилограму напруги на конденсаторі  $C_R$  в цьому режимі. Починається накопичення енергії в індуктивності розсіювання T1. Як тільки струм ключа S1 досяг встановленого струму «накачування» (цей струм визначає амплітуду вихідної напруги і енергію розряду), система керування закриває S1 (момент часу  $t_1$ ). Починається резонансний заряд конденсатора  $C_R$ . Через чверть періоду резонансної частоти контуру, утвореного індуктивністю розсіювання T1 і конденсатором  $C_R$ , останній заряджається до максимальної напруги, а струм спадає до нуля. Починається розряд  $C_R$  на T1. Через півперіоду резонансної частоти напруга на  $C_R$  переходить через нуль і стає негативною, а струм досягає мінімального значення. Система керування відкриває S1 при появі негативної напруги на  $C_R$  (момент часу  $t_2$ ), проте це не впливає на процес, адже діод VD2 закрито зворотною напругою.

Через три чверті періоду резонансної частоти напруга на  $C_R$  досягає мінімуму, а струм стає близьким до нуля. Починається заряд  $C_R$  від вторинної обмотки T1. Коли напруга на  $C_R$  перейде через нуль і стане позитивною, струм обмотки

перекинеться через діод VD2 і заздалегідь відкритий ключ S1 (момент часу  $t_3$ ). Відбудеться додаткове «накачування» індуктивності до встановленого струму, після чого S1 закриється (момент часу  $t_4$ ) і процес повториться знову. Комутація S1 є «м'якою», адже його відкриття відбувається при негативній напрузі на  $C_R$  (коли закритий діод VD2), а закриття відбувається при близькій до нуля напрузі на  $C_R$ , тобто швидкість наростання напруги на S1 обмежена дією  $C_R$ . На негативній напівхвилі вторинної напруги T1 всі процеси протікають аналогічно.

При роботі схеми можливі два варіанта розвитку подій: при певній напрузі на  $C_R$  відбувається ініціювання дуги. При цьому напруга на виході джерела живлення дуги знижується до значення напруги на дуговому проміжку, система управління блокує роботу ключів S1, S2 до наступного переходу напруги вторинної обмотки T1 через нуль. Так забезпечується «м'яке» підпалення і стабілізація дуги; якщо напруга на  $C_R$  стає надто великою, схема керування знижує струм «накачування» резонансного контуру T1- $C_R$  і система переходить в установлений режим роботи.

Під час горіння дуги конденсатор  $C_R$  через його невелику ємність не чинить значного впливу на процес. Ініціювання дуги відбувається після кожного переходу вторинної напруги зварювального трансформатора через нуль.

Авторами виготовлено пристрої стабілізації дуги з використанням запропонованого технічного рішення. Стабілізаторами були оснащені трансформатори ТДМ-401 та СТШ-250, проведено їх промислові випробування при проведенні ремонтних робіт на металургійних підприємствах м. Маріуполь. Оснащені стабілізаторами дуги зварювальні трансформатори використовувались для зварювання електродами постійного струму типу УОНИ.

Система керування стабілізаторів виконана на однокристальному мікроконтролері і забезпечує виконання наступних функцій: ідентифікацію наявності дуги за результатами аналізу вторинної

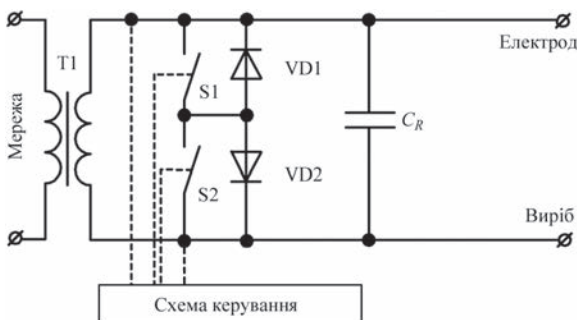


Рис. 1. Схема силової частини пристрою стабілізації дуги змінного струму

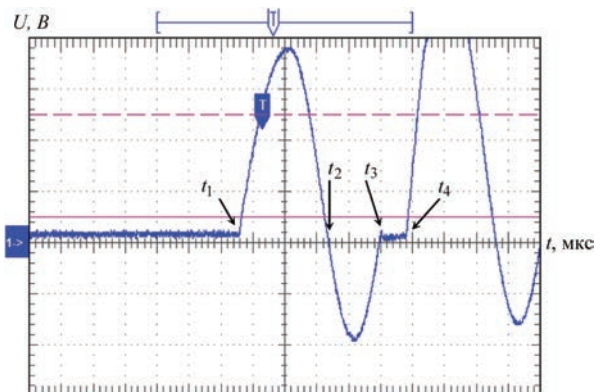


Рис. 2. Осцилограма напруги на конденсаторі  $C_R$  (напруга на вторинній обмотці трансформатора) (8 мкс/діл, 50 В/діл)

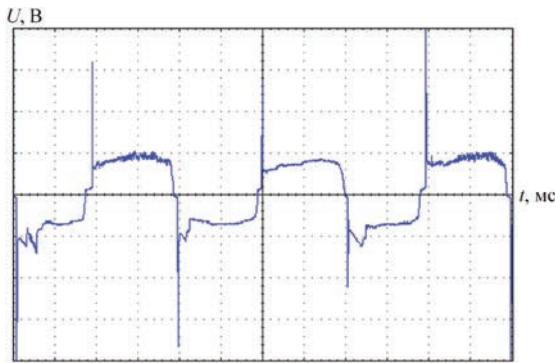


Рис. 3. Осцилограма напруги на вторинній обмотці трансформатора під час зварювання (5 мс/діл, 50 В/діл)

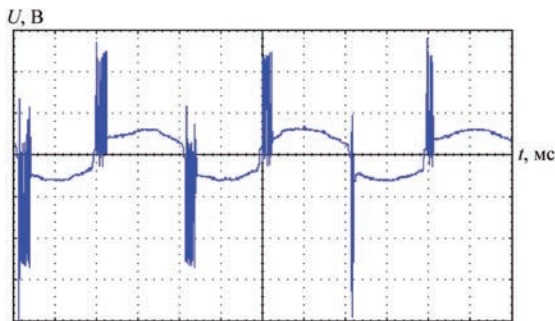


Рис. 4. Осцилограма напруги на вторинній обмотці трансформатора під час зварювання, видно пакети імпульсів підпалення дуги (5 мс/діл, 50 В/діл)

напруги трансформатора; стабілізацію напруги збудження дуги; автоматичне налаштування під параметри трансформатора; обмеження часу дії підвищеної напруги при невдалій спробі ініціації дуги; тепловий захист силових елементів схеми.

На рис. 3, 4 показано осцилограми вторинної напруги зварювального трансформатора ТДМ-401 з підключеним стабілізатором дуги при ручному дуговому зварюванні електродами УОНИ-13/55. Видно, що виникають ситуації (рис. 4) коли повторне збудження дуги відбувається не одразу, а після дії декількох імпульсів підвищеної напруги. Амплітуда імпульсів повторного підпалення дуги досягає 200 В, при початковому підпаленні дуги (після замикання електрода на виріб) — до 300 В. Стабілізатори показали стійку роботу у всьому діапазоні регулювання зварювального струму трансформаторів з магнітним шунтом.

Запропонований стабілізатор дуги придатний для роботи зі зварювальними трансформаторами, не обладнаними електронними засобами регулювання зварювального струму, оскільки поява високої напруги з частотою десятки кГц на вторинній обмотці трансформатора може призвести до порушення режиму роботи електронних регуляторів.

Авторами розроблена версія стабілізатора дуги з двопровідним підключенням до трансформатора, тобто живлення системи керування реалізовано від вторинної напруги. Габарити такого стабілізатора дуги складають всього 110×90×48 мм.

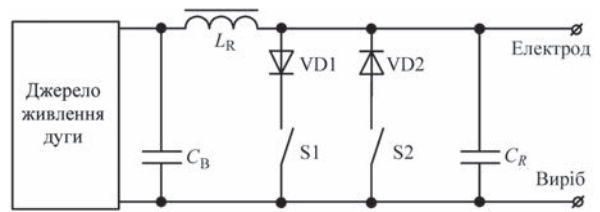


Рис. 5. Схема силової частини пристрою стабілізації дуги з резонансним дроселем

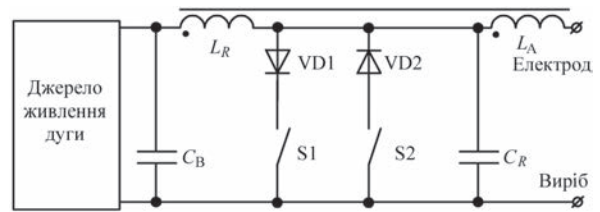


Рис. 6. Силова частина пристрою стабілізації дуги з підвищеною напругою

Якщо добротність зварювального трансформатора залишає бажати кращого, або не бажано піддавати його вторинну обмотку дії високої напруги підвищеної частоти, доцільно в стабілізаторі дуги застосувати окремий резонансний дросель з відомими характеристиками, а паралельно вторинній обмотці трансформатора встановити високочастотний блокувальний конденсатор. Це, звісно, погіршує техніко-економічні та масогабаритні параметри стабілізатора, оскільки в ньому з'являється силовий індуктивний компонент. На рис. 5 приведена схема силової частини такого варіанту пристрою стабілізації дуги.

Пристрій включається між джерелом живлення дуги і зварювальним електродом, містить резонансний дросель  $L_R$ , блокувальний конденсатор  $C_B$  і резонансний конденсатор  $C_R$ , електронні ключі  $S1, S2$  і два діоди  $VD1, VD2$ . Ключі можуть бути включені і так, як показано на рис. 1, функціональність схеми залишається тією самою.

Для ТІГ зварювання ключі  $S1, S2$ , діоди  $VD1, VD2$  і конденсатор  $C_R$  повинні бути розраховані на більшу напругу, оскільки для ТІГ процесу необхідно забезпечити підвищену напругу запалювання дуги в порівнянні з ручним дуговим зварюванням. Також для ТІГ зварювання дросель може бути виконаний з додатковою обмоткою ( $L_A$ , рис. 6), яка включена послідовно з основною.

Таке «автотрансформаторне» включення дроселя дозволяє отримати підвищену вихідну напругу без необхідності заміни силових компонентів на більш високовольтні. При належному розрахунку параметрів дроселя можна отримати на електроді напругу амплітудою декілька кВ, що може бути використано для безконтактного підпалу дуги при ТІГ зварюванні.

### Список літератури

1. Заруба И. И., Андреев В. В., Дыменко В. В. (2001) Усовершенствование трансформаторов для ручной дуговой сварки. *Автоматическая сварка*, 3, 45–48.



2. Андрианов А. А., Сидорев В. Н. (2009) Оптимизация режимов стабилизации сварочной дуги переменного тока. *Електротехніка і електромеханіка*, **2**, 5–8.
3. Махлин Н. М., Коротынский А. Е. (2014) Анализ и методика расчета электронных устройств последовательного включения для бесконтактного возбуждения дуги. *Автоматическая сварка*, **1**, 34–44.
4. Махлин Н. М., Коротынский А. Е. (2015) Асинхронные возбудители и стабилизаторы дуги: анализ и методы расчета. Ч. 1. *Там же*, **3-4**, 25–36.
5. Махлин Н. М., Коротынский А. Е. (2015) Асинхронные возбудители и стабилизаторы дуги: анализ и методы расчета. Ч. 2. *Там же*, **7**, 28–40.
6. Махлин Н. М., Коротынский О. С., Скопюк М. І. (2014) *Пристрій для збудження та стабілізації процесу горіння дуги змінного струму*, Україна, Пат. 109334, МПК В 23 К 9/067 (2006.01), В 23 К 9/073 (2006.01), № a2014 00292.
7. Бурлака В. В., Гулаков С. В. (2016) Устройство для возбуждения и стабилизации сварочной дуги. *Автоматическая сварка*, **11**, 48–51.
8. Бурлака В. В., Гулаков С. В. (2016) *Пристрій стабілізації дуги*, Україна, Пат. 115200, МПК В 23 К 9/067 (2006.01), В 23 К 9/073 (2006.01), № a2016 08174.
9. Заруба И. И., Андреев В. В., Шатан А. Ф. и др. (2012) Новый тип импульсного стабилизатора горения сварочной дуги переменного тока. *Автоматическая сварка*, **2**, 51–53.
10. Патон Б. С., Заруба І. І., Андреев В. В., Шатан О. Ф., Москович Г. М., Халіков В. А. (2011) *Пристрій для початкового та повторних запалювань зварювальної дуги змінного струму*, Україна, Пат. 62596, МПК В 23 К 9/00 (2011.01), № u201014476.
11. Бурлака В. В., Гулаков С. В. (2017) *Пристрій стабілізації дуги змінного струму*, Україна, Пат. 114990, МПК В 23 К 9/067 (2006.01), В 23 К 9/073 (2006.01), № a2016 067.
12. Бурлака В. В., Гулаков С. В. (2017) *Стабілізатор дуги змінного струму*, Україна, Пат. 114998, МПК В 23 К 9/067 (2006.01), В 23 К 9/073 (2006.01), № a2016 08173.

## References

1. Zaruba, I.I., Andreev, V.V., Dymenko, V.V. (2001) Improvement of transformers for manual arc welding. *The Paton Welding J.*, **3**, 43–46.
2. Andrianov, A.A., Sydorets, V.N. (2009) Optimization of modes of stabilization of alternating current welding arc. *Elektrotekhnika i Elektromekhanika*, **2**, 5–8 [in Russian].
3. Makhlin, N.M., Korotynsky, A.E. (2014) Analysis and procedure of calculation of series connection electronic devices for contactless arc excitation. *The Paton Welding J.*, **1**, 30–40.
4. Makhlin, N.M., Korotynsky, A.E. (2015) Asynchronous exciters and stabilizers of arc. Analysis and calculation procedure. Pt. 1. *Ibid.*, **3-4**, 24–35.
5. Makhlin, N.M., Korotynsky, A.E. (2015) Asynchronous exciters and stabilizers of arc. Analysis and calculation procedure. Pt. 2. *Ibid.*, **7**, 26–37.
6. Makhlin, N.M., Korotynsky, O.E., Skopyuk, M.I. (2014) *Device for excitation and stabilization of alternating current arc burning process*. Pat. 109334 Ukraine, Int. Cl. B23K 9/067 (2006.01); B23K 9/073 (2006.01); No. a 2014 00292 [in Ukrainian].
7. Burlaka, V.V., Gulakov, S.V. (2016) Device for excitation and stabilization of welding arc. *The Paton Welding J.*, **11**, 43–46.
8. Burlaka, V.V., Gulakov, S.V. (2016) *Device for arc stabilization*. Pat. 115200 Ukraine, Int. Cl. B23K 9/067 (2006.01); B23K 9/073 (2006.01); No. a 2016 08174 [in Ukrainian].
9. Zaruba, I.I., Andreev, V.V., Shatan, A.F. et al. (2012) New type of pulse stabilizer of alternating current welding arc. *The Paton Welding J.*, **2**, 43–45.
10. Paton, B.E., Zaruba, I.I., Andreev, V.V. et al. (2011) *Device for initial and repeated welding alternating current arc ignition*. Pat. 62596 Ukraine, Int. Cl. B23K 9/00 (2011.01); No. u 2020 14476 [in Ukrainian].

В. В. Бурлака, С. В. Гулаков, С. К. Поднебenna

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 87500, Донецкая обл., г. Мариуполь, ул. Университетская, 7 E-mail: office@pstu.edu

## СТАБИЛИЗАТОР ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Предложено схемное решение стабилизатора дуги переменного тока для сварочных трансформаторов. Отличительной особенностью стабилизатора является использование резонансного повышения напряжения на вторичной обмотке трансформатора для обеспечения повторных поджогов дуги после каждого перехода тока через нуль. Это дает возможность снизить потери энергии в стабилизаторе дуги и обеспечить эффективное формирование пакетов высоковольтных импульсов для гарантированного пробоя дугового промежутка. Применение предложенного стабилизатора дуги позволяет выполнять сварочные работы электродами постоянного тока при питании от сварочных трансформаторов без выпрямителей. Стабилизатор предназначен для работы с трансформаторами, не оборудованными электронными регуляторами — главным образом с трансформаторами с магнитным шунтом типов ТДМ, СТШ. Библиогр. 12, рис. 6.

*Ключевые слова:* электрическая дуга, сварка, поджог дуги, стабилизация горения дуги, сварочный трансформатор, напряжение поджога дуги

V.V. Burlaka, S.V. Gulakov, S.K. Podnebenna

SHEI «Priazovskiy State Technical University». 7 Universitetskaya Str., Mariupol, Donetsk region, 87500. E-mail: office@pstu.edu

## ALTERNATING CURRENT ARC STABILIZER FOR WELDING TRANSFORMERS

Circuit design of an a.c. stabilizer for welding transformers was proposed. A feature of the stabilizer is application of a resonance voltage increase in the secondary winding of the transformer to ensure repeated arc ignition after each current reversal. This enables reducing the power losses in the arc stabilizer, and ensuring efficient formation of high-voltage pulse packets for guaranteed breakdown of the arc gap. Application of the proposed arc stabilizer allows performance of welding operations with direct current electrodes at power supply from welding transformers without rectifiers. The stabilizer is designed for operation with transformers not fitted with electronic regulators, mainly with transformers with a magnetic shunt of TDM, STSH types. 12 Ref., 6 Fig.

*Keywords:* electric arc, welding, arc ignition, arcing stabilization, welding transformer, arc ignition voltage

Надійшла до редакції 12.01.2018