

# ИНВЕРТОРНЫЙ ПРЯМОХОДОВЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ

В. В. БУРЛАКА, С. В. ГУЛАКОВ, С. К. ПОДНЕБЕННАЯ

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 875000, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7.  
E-mail: office@pstu.edu

Предложено схемное решение однофазного прямоходового инверторного сварочного источника питания с повышенным коэффициентом мощности. Отличительной особенностью источника является отсутствие дополнительных силовых индуктивных компонентов, сниженная емкость накопительного конденсатора цепи постоянного тока и упрощенная схема ограничения его зарядного тока. Источник имеет повышенное напряжение холостого хода, не зависящее от напряжения сети, что позволяет обеспечить легкий поджиг дуги при ручной дуговой сварке. За счет повышенного коэффициента мощности потребляемый от сети ток на 30...45 % ниже, чем у «классических» инверторных источников без корректора коэффициента мощности. Библиогр. 11, рис. 1.

*Ключевые слова:* коэффициент мощности, сварка, сварочный инвертор, источник питания, поджиг дуги, стабилизация горения дуги, напряжение холостого хода

Инверторные источники питания получают широкое распространение для решения задач автоматической, полуавтоматической и ручной дуговой сварки, плазменной резки, плазменного и электродугового напыления, а также сопутствующих процессов. При этом наибольшее распространение получили инверторные источники для ручной и полуавтоматической сварки, обеспечивающие благодаря своим массогабаритным показателям удобство в работе, высокую мобильность сварщика и возможность формирования выходных ВАХ специального вида и управления ими в процессе сварки с целью обеспечения оптимальных условий переноса электродного металла, снижения разбрызгивания и др.

Источники питания для сварки и родственных процессов, где широко применяется электрическая дуга, являются нелинейной нагрузкой, т.е. генераторами высших гармоник сетевого тока. Работа в электрической сети подобного оборудования может приводить к проблемам, связанным с электромагнитной совместимостью с другими техническими средствами.

Следует отметить, что при разработке инверторных сварочных источников питания преследуются цели достижения высокой удельной мощности, высокого КПД, гибкого формирования выходной ВАХ и т.д., но уделяется крайне мало внимания электромагнитной совместимости источника с питающей сетью. Под электромагнитной совместимостью подразумеваются коэффициент гармоник и коэффициент несимметрии потребляемого тока (для трехфазных источников), коэффициент мощности (рассчитанный в соответствии со стандартом IEC 61000-3-2), уровень

высокочастотных помех и др. По причине высокого коэффициента гармоник в потребляемом токе сварочные источники не совсем корректно относиться к энергосберегающему оборудованию [1–7], а по данным [8] электросварочное оборудование составляет 65 % потенциальных источников электромагнитных помех.

В целях повышения КПД и улучшения массогабаритных параметров сварочных источников питания используется преобразование энергии на высокой частоте [9]. Это ведет к снижению массы и габаритов источника (до 70 %, согласно [10]), снижению потерь электроэнергии в источнике, повышению быстродействия и увеличению диапазона регулирования выходных параметров. Несмотря на очевидные преимущества инверторных источников по массогабаритным характеристикам и КПД, разработчиками уделяется недостаточное внимание проблемам повышения их коэффициента мощности. Так, испытания однофазного инверторного источника SELMA ARC-160 при потребляемой мощности 1,1 и 3 кВт показали, что его коэффициент мощности изменяется от 0,652 (1,1 кВт) до 0,702 (3 кВт), а  $\cos\phi$  по первой гармонике — от 0,992 (1,1 кВт) до 0,998 (3 кВт).

Низкий коэффициент мощности инверторных источников объясняется высоким содержанием гармоник в потребляемом токе (коэффициент гармоник более 100 %). Это приводит к повышению потерь электроэнергии в сети (эти потери в первом приближении зависят от квадрата истинного коэффициента мощности), искажению формы сетевого напряжения. Возможно также появление перенапряжений в сети из-за резонансов на частотах высших гармоник при работе сварочных инверторов, причем амплитуда напряжения может достигать 800 В [11].

Высокий коэффициент гармоник потребляемого тока рассмотренного инверторного сварочного источника объясняется строением его силовой части, а именно — схемой преобразователя переменного напряжения в постоянное. В источнике SELMA ARC-160 этот преобразователь представляет собой однофазный диодный мост со сглаживающим конденсатором большой емкости (около 2000 мкФ) на выходе. Кроме того, как известно, электролитические конденсаторы, особенно работающие в тяжелых условиях (повышенные ток и температура), имеют ограниченный срок службы и требуют периодической замены по причине потери емкости и роста внутреннего сопротивления. Это обстоятельство несколько снижает надежность инверторных сварочных источников, в силовых цепях которых имеются емкостные накопители энергии большой энергоемкости.

Большинство выпускаемых в настоящее время инверторных сварочных источников не имеют коррекции коэффициента мощности и не удовлетворяют требованиям стандартов электромагнитной совместимости технических средств (ДСТУ IEC 61000-3-2:2004, ДСТУ EN 61000-3-12:2014) во всем возможном диапазоне режимов работы.

Авторами разработан инверторный сварочный источник с повышенным коэффициентом мощности. Источник выполнен на основе прямоходового преобразователя, в котором разделены цепи намагничивания и размагничивания трансформатора и дополнительно введен один силовой ключ. Схема силовой части источника приведена на рисунке.

Элементы  $VT2$ ,  $VD3$ ,  $VT3$ ,  $VD4$ ,  $C3$ ,  $T1$ ,  $VD5$ ,  $VD6$ ,  $L1$  образуют классический прямоходовой преобразователь. Конденсатор  $C3$  имеет относительно небольшую емкость, что позволило выполнить ограничение его зарядного тока при включении источника с помощью одиночного термистора  $NTC1$ . Напряжение сети выпрямляется входным

выпрямителем, образованным диодным мостом  $BR1$ . Блокировочные конденсаторы  $C1$ ,  $C2$  ослабляют проникновение высокочастотных помех в сеть.

Отличительной особенностью разработанного источника являются введенные в схему элементы  $VD1$ ,  $VT1$ ,  $VD2$ . Наличие ключа  $VT1$  позволяет подавать на первичную обмотку силового трансформатора  $T1$  выпрямленное, но не сглаженное, напряжение сети. Диод  $VD2$  при этом предотвращает разряд накопительного конденсатора  $C3$  на обмотку  $T1$ . Диод  $VD1$  служит для защиты транзистора  $VT1$  от обратного напряжения при открытом  $VT2$ . Такое построение силовой части позволяет ограниченно управлять формой потребляемого от сети тока.

Источник работает следующим образом. Основными силовыми ключами являются  $VT1$  и  $VT3$ , они управляются синхронно. Прямой ход источника начинается при одновременном их открытии.

Если выпрямленное напряжение сети на выходе моста  $BR1$  достаточно для поддержания тока в нагрузке, то система управления устанавливает длительность импульса прямого хода так, чтобы средний (за период переключения ключей) потребляемый от сети ток был пропорционален выпрямленному напряжению сети. Это обеспечивает значительное повышение коэффициента мощности источника.

Если же напряжение на выходе моста  $BR1$  недостаточно для поддержания тока нагрузки, открывается ключ  $VT2$  и на первичную обмотку  $T1$  подается напряжение с накопительного конденсатора  $C3$  (по цепи  $C3$ - $VT2$ - $T1$ - $VT3$ - $C3$ ). Поскольку это напряжение примерно равно амплитуде напряжения сети, его достаточно для обеспечения подпитки нагрузки — сварочной дуги. Таким образом, при малом абсолютном значении напряжения сети источник переходит в режим поддержания дежурной дуги за счет энергии, запасенной в  $C3$ .

Обратный ход источника начинается с момента закрытия всех силовых ключей ( $VT1$ - $VT3$ ). Энергия, запасенная в магнитном поле трансформатора  $T1$ , сбрасывается в накопительный конденсатор  $C3$ . Ток при этом идет по цепи  $T1$ - $VD4$ - $C3$ - $VD3$ - $T1$ . Во вторичной цепи диод  $VD5$  закрывается, ток нагрузки (ток дросселя  $L1$ ) замыкается через  $VD6$ .

За счет сброса энергии поля  $T1$  в конденсатор  $C3$  напряжение на нем можно стабилизировать на уровне не ниже амплитуды напряжения сети. Это позволяет стабилизировать напряжение холостого хода источника и сделать его независимым от напряжения сети.

Кроме этого, поскольку размагничивание (обратный ход) трансформатора идет при повышен-

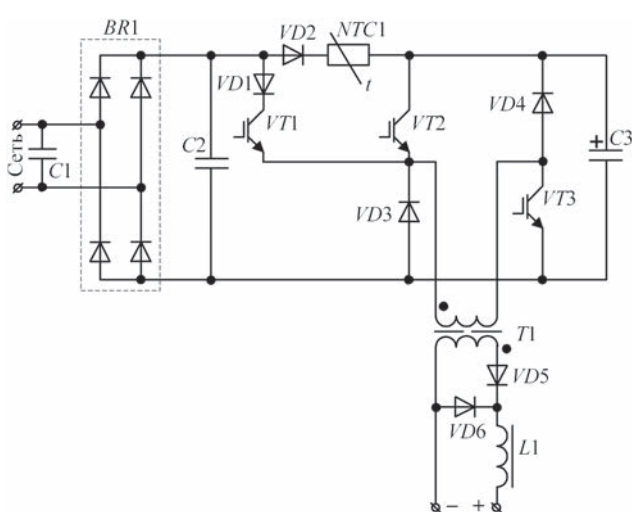


Схема силовой части разработанного сварочного источника

ном напряжении (на конденсаторе  $C3$ ), а прямой ход идет при меньшем напряжении (выпрямленное напряжение сети), возможна работа преобразователя со скважностью более, чем 0,5, т. е. длительность прямого хода может превышать половину периода переключения.

Поскольку в разработанном источнике используется принцип прямого преобразования, мощность в нагрузке изменяется с удвоенной частотой сети. Однако для целей сварки это не имеет решающего значения из-за тепловой инерционности сварочной ванны. Деионизация дугового промежутка при переходе напряжения сети через ноль предотвращается за счет перехода в режим «дежурной» дуги с небольшой мощностью (см. выше).

Экспериментальный источник, построенный по приведенной схеме, имеет коэффициент мощности не менее 0,9. Благодаря этому среднеквадратичный потребляемый от сети ток на 30...45 % ниже, чем у «классических» инверторных источников без корректора коэффициента мощности.

Применение предлагаемого инверторного источника питания для сварки позволяет снизить потери электроэнергии в распределительной сети за счет снижения действующего тока и повысить качество напряжения сети за счет снижения коэффициента гармоник.

1. Коротынский А. Е. Состояние, тенденции и перспективы развития высокочастотных сварочных преобразователей (Обзор) // Автоматическая сварка. – 2002. – № 7. – С. 50–62.
2. Электромагнитная совместимость источников питания сварочной дуги / И. В. Пентегов и др. // Электротехника и электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 34–40.
3. Рымар С. В., Жерносеков А. М., Сидоренко В. Н. Влияние сварочных источников питания на трехфазную электрическую сеть // Автоматическая сварка. – 2011. – № 10. – С. 49–55.
4. Лебедев В. К. Тенденции развития источников питания для дуговой сварки // Там же. – 1995. – № 5. – С. 3–6.
5. Пути повышения технологической эффективности выпрямителей для механизированной сварки и наплавки

(Обзор) / И. И. Заруба и др. // Там же. – 2011. – № 11. – С. 45–49.

6. Лебедев А. В. Транзисторные источники питания для электродуговой сварки (Обзор) // Там же. – 2012. – № 9. – С. 34–40.
7. Лебедев В. К. Тенденции развития источников питания и систем управления (по материалам патентов США) // Там же. – 2004. – № 1. – С. 40–48.
8. Гальперин В., Колесник Д. Обеспечение электромагнитной совместимости промышленного технологического оборудования // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2008. – № 7. – С. 8–12.
9. Розанов Ю. К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 183 с.
10. William L. Galver, Frank M. Marlow. Welding essentials: questions & answers. – Industrial Press, 2006. – 469 p.
11. Потаповский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.

В. В. Бурлака, С. В. Гулаков, С. К. Поднебелна

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».  
875000, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.  
E-mail: office@pstu.edu

#### ІНВЕРТОРНЕ ПРЯМОХОДОВЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ З ПІДВИЩЕНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ПОТУЖНОСТІ

Запропоновано схемне рішення однофазного прямоходового інверторного зварювального джерела живлення з підвищеним коефіцієнтом потужності. Відмінною особливістю джерела є відсутність додаткових силових індуктивних компонентів, знижена ємність накопичувального конденсатора ланцюга постійного струму і спрощена схема обмеження його зарядного струму. Джерело має підвищену напругу холостого ходу, яка не залежить від напруги мережі, що дозволяє забезпечити легкий підпал дуги для ручного дугового зварювання. За рахунок підвищеного коефіцієнта потужності споживаний від мережі струм на 30...45 % нижче, ніж у «класичних» інверторних джерел без коректора коефіцієнта потужності. Бібліогр. 11, рис. 1.

*Ключові слова:* коефіцієнт потужності, зварювання, зварювальний інвертор, джерело живлення, підпал дуги, стабілізація горіння дуги, напруга холостого ходу

Поступила в редакцію 19.01.2017



### Восьмая международная конференция ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

11 – 15 сентября 2017 г.

Украина, Одесса, отель «Курортный»

#### Тематика конференции

- Лазерная и электронно-лучевая сварка, резка, наплавка, термообработка, нанесение покрытий
- Электронно-лучевая плавка и рафинирование
- Гибридные процессы
- 3D-технологии
- Моделирование лучевых технологий
- Материаловедческие проблемы лазерных и электронно-лучевых технологий

E-mail: journal@paton.kiev.ua  
http://pwi-scientists.com/rus/ltwmp2017