

## Применение однофазного выпрямителя для современных импульсных технологий дуговой сварки

С. А. Бородихин, А. С. Лосев, В. Ф. Мухин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

*Аннотация.* В работе приведены результаты исследования возможности применения однофазного выпрямителя с дополнительной схемой коммутации управления тиристорами с целью получения импульсных режимов для ручной дуговой сварки штучным электродом тонкостенных конструкций.

*Ключевые слова:* тиристорный однофазный выпрямитель, импульсный режим, пульсирующий ток, сварка покрытым электродом, осциллограммы.

В современных технологических процессах дуговой сварки все более широко используются импульсные технологии. Абсолютное большинство современных импульсных процессов разработано для механизированной сварки в среде защитных газов при использовании инверторных источников питания. Наиболее значительные успехи достигнуты при разработке процессов сварки короткой «холодной дугой», когда для снижения тепловложения в свариваемый металл тонкостенной конструкции сварочный ток в перерывах между короткими замыканиями снижается до низких значений, а перенос капли электродного металла осуществляется после короткого замыкания при минимальном токе [1, 2], рис.1. При этом величина тока короткого замыкания также ограничивается.

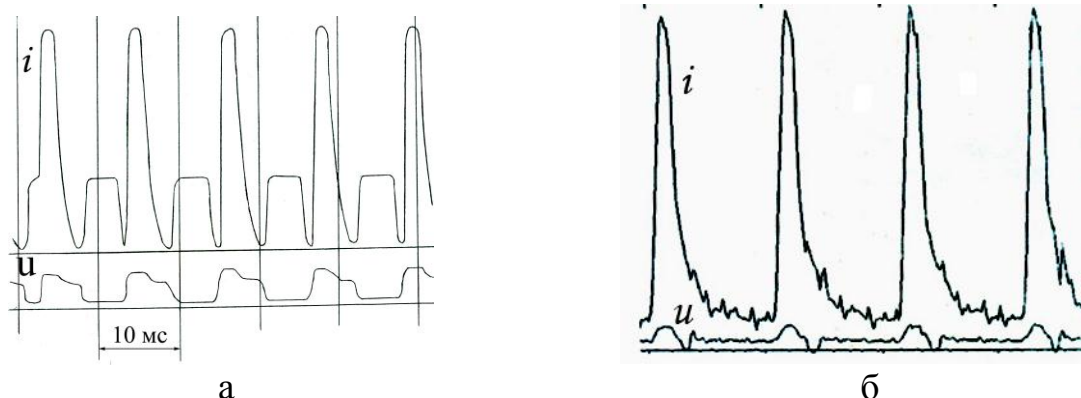


Рисунок 1 – Импульсные процессы дуговой сварки в защитных газах, реализуемые в инверторных модулях, с переносом электродного металла во время короткого замыкания капель сварочной ванны на спаде тока импульса: способ СМТ – а; способ RapidArc – б

В качестве источников питания в этом случае используются специальные модули, включающие в себя инверторный выпрямитель и подающий механизм.

Эти модули имеют дополнительные коммутирующие устройства, управляемые с помощью аналоговых или цифровых обратных связей по напряжению межэлектродного промежутка [2].

Однако подобные процессы плавления и переноса электродного металла можно получить при использовании пульсирующего тока, например при использовании более простых и дешевых однофазных выпрямителей с тиристорным управлением. Так применение пульсирующего тока с постоянной частотой при заданной длительности пульсации позволяет снизить тепловложение в свариваемый материал и обеспечить переход капли электродного металла на спаде тока или при минимальном токе без снижения устойчивости горения дуги [3]. Известно также, что пульсирующий ток при ручной дуговой сварке штучным электродом от вентильного генератора при частотах пульсации 150...400 Гц обеспечивает всегда отрыв капли на спадающей части кривой выпрямленного пульсирующего тока без каких-либо дополнительных управляющих воздействий [4]. Достоинством сварки пульсирующим током является ограничение интенсивного теплового воздействия временем пульсации, поэтому подбором режима можно добиться переноса капли на спаде тока и получить оптимальные режимы без сложных коммутационных устройств, управляемых при помощи цифровых или ограниченных аналоговых обратных связей.

Необходимым условием получения таких режимов при сварке является то, что пульсация (импульс) при постоянной частоте следования всегда должна совпадать с моментом короткого замыкания. Эту частоту можно определить приближенно прикидочным расчетом. В первом приближении можно считать, что короткое замыкание происходит с постоянной частотой и длительностью. В таком случае процесс сварки короткой дугой можно рассматривать как работу на одну нагрузку двух импульсных источников с разными длительностями импульсов и частотами их следования. Для простоты считаем импульсы прямоугольными. Задача таким образом сводится к тому, чтобы определить вероятность наложения импульсов с малой длительностью и большей частотой на импульсы с большей длительностью и меньшей частотой. Начальный момент включения высокочастотного источника импульсов произвольный.

Пусть длительность импульса следующего с частотой  $f_1 - \tau_1$ , а с частотой  $f_2 - \tau_2$ , причем  $f_1 < f_2$ , а  $\tau_1 > \tau_2$ , рис. 2, а. Считая, что безразлично на какой стадии низкочастотного пройдет высокочастотный импульс, самым крайним случаем, удовлетворяющим оговоренным условиям, будет такой случай, когда импульс  $\tau_1$  предшествует  $\tau_2$ , касаясь его прямоугольным фронтом или наоборот, следует за  $\tau_2$ , рис. 2, б. Отсюда можно перейти к условным импульсам с теми же частотами, у одного из которых, работающего с частотой  $f_2$  длительность существенна мала ( $\tau_2 \ll \tau_1$ ), а у другого с частотой  $f_1$ , длительность определяется как  $\tau_1 = \tau_1 + \tau_2$ . В таком случае задача сводится к задаче геометрической вероятности попаданию точки в отрезок длиной  $\tau_1$ , рис. 2, в. После преобразований, согласно [5], получаем, что вероятность  $P$  попадания точки в первый же отрезок  $\tau_1$  определяется выражением

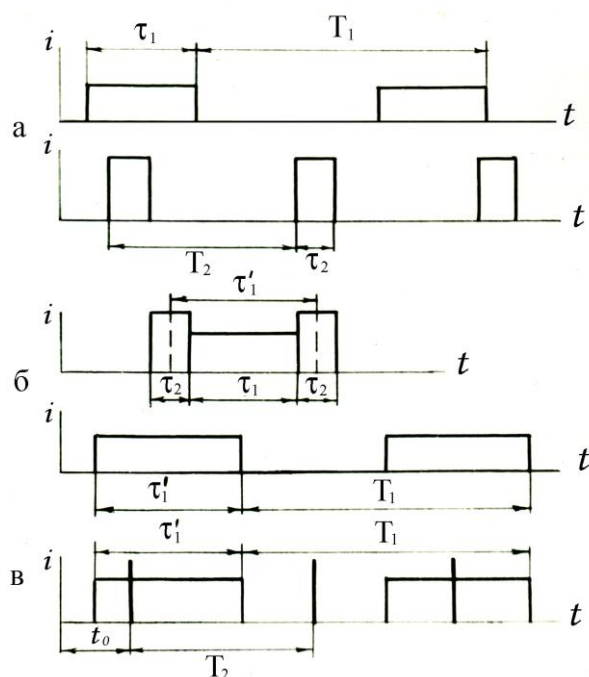


Рисунок 2 – Определение вероятности совпадения импульсов со временем короткого замыкания: упрощенные начальные условия – а; переход к условным импульсам – б; окончательные условия для решения задачи – в

$P = \tau_1^2 / T_2^2$ , где  $T_2$  – период источника с частотой  $f_2$ . Подставляя значения времени короткого замыкания и длительности импульсов из реальных осциллограмм процессов дуговой сварки, например длительность нарастания тока короткого замыкания 6 мс, а длительность импульса 2 мс, тогда получаем, что частота импульсов (пульсаций) при вероятности 100% должна быть 125 Гц. Рассматривая осциллограммы других случаев, можно сделать вывод, что в большинстве случаев частота импульсов должна быть около 100 Гц.

Осциллограмма процесса сварки в углекислом газе с наложением импульсов [6] от независимого генератора импульсов ГИ-ИДС-1 подтверждает вышеизложенное, рис. 3.



Рисунок 3 – Осциллограмма сварки в  $CO_2$  от выпрямителя ВДГ-301 с наложением импульсов от генератора ГИ-ИДС (частота импульсов 100 Гц, длительность импульса 3 мс)

Для ручной дуговой сварки рекомендуемая частота дополнительных импульсов также не более 100 Гц [3]. Подбор амплитуды импульсов позволяет по-

лучить перенос электродного металла с минимальным разбрызгиванием. Переходя от дополнительных импульсов к пульсирующему выпрямленному току с дросселем в сварочной цепи, получают экономичные режимы сварки, такие как сварка с вынужденными короткими замыканиями (ВКЗ) для сварки в  $\text{CO}_2$  или выше упомянутый процесс сварки от вентильного генератора [4], а также при ручной дуговой сварке покрытым электродом от однофазного источника с релейной обратной связью [7].

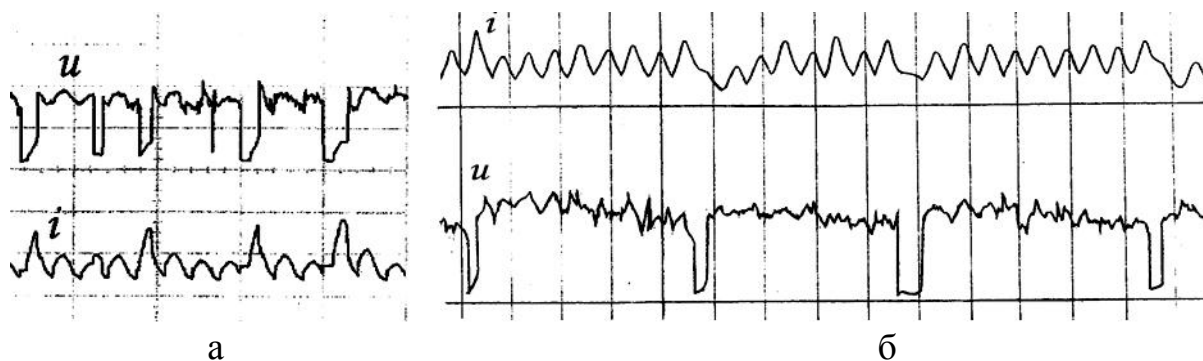


Рисунок 4 – Осциллограммы тока и напряжения при сварке: а – сварка в  $\text{CO}_2$  от 3-х фазного выпрямителя по способу ВКЗ [2]; б – сварка штучным электродом от однофазного выпрямителя с релейной обратной связью (отметчик времени – 20 мс) [7]

Для сварки штучным электродом также возможны процессы, подобные показанным на рис. 1. Известно, что дуга сохраняет устойчивость при токах 10 А и менее тем дольше, чем больше остаточного расплавленного металла на конце электрода после переноса капли [8]. Такой процесс переноса электродного металла обеспечивает однофазный выпрямитель [7], схема которого приведена на рис. 5.

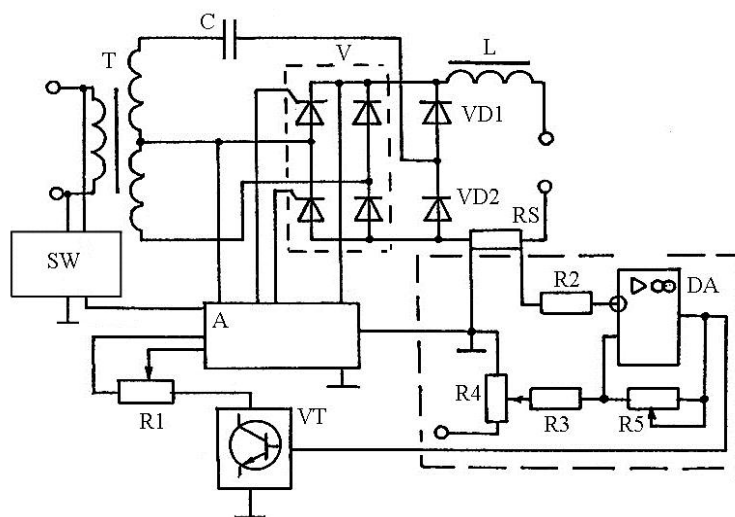


Рисунок 5 – Схема однофазного выпрямителя [7] с дополнительным блоком SW

Осциллограмма опытного процесса сварки штучным электродом УОНИ13/45 диаметром 3 мм при использовании этого выпрямителя демонстрирует устойчивое горение дуги при среднем токе менее 30 А, рис. 6.

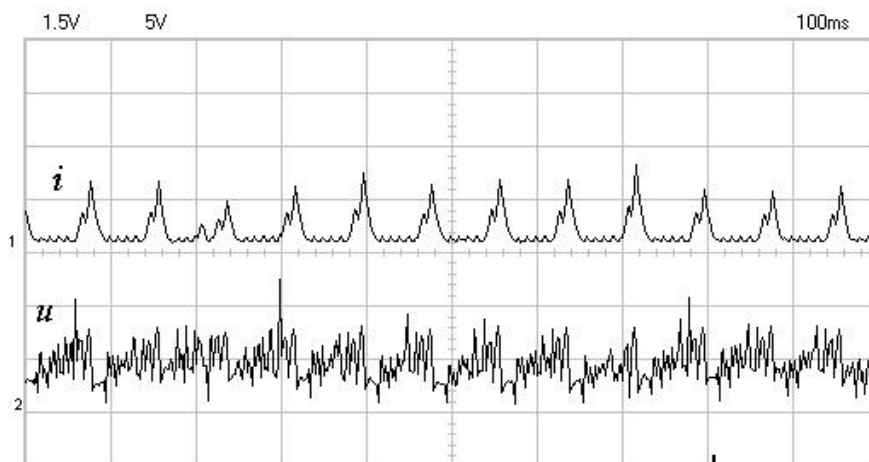


Рисунок 6 – Осциллограмма горения дуги в импульсном режиме при сварке штучным электродом

Внешний вид наплавленного металла на пластину толщиной 1,2 мм показан на рис. 7. Прожоги в процессе наплавки отсутствовали.



Рисунок 7 – Внешний вид наплавленного металла на пластину 1,2 мм покрытым электродом диаметром 3мм

Таким образом, применение простого по конструкции однофазного выпрямителя с тиристорным регулятором позволяет получить эффективные процессы сварки, подобные технологиям с инверторными модулями при цифровом управлении.

#### Библиографический список

1. Крампит А.Г., Зернин Е.А., Крампит М.А. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки // Технологии и материалы. 2015. №1. С. 4-11.

2. Мухин В.Ф., Еремин Е.Н. Источники питания и мультисистемы для современных технологических процессов сварки плавящимся электродом: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 96 с.

3. Дедюх Р.И., Киселев А.С. Повышение стабильности параметров процесса дуговой сварки покрытыми электродами на малых токах //Сварочное производство. 2004. №7. С.3-6.

4. Вентильные генераторы для сварки. URL: [http://www.welding.su/articles/sources/sources\\_27.html](http://www.welding.su/articles/sources/sources_27.html) (дата обращения: 15.01.2019).

5. Анго А. Математика для электро-радиоинженеров. М.: Наука, 1964. 772 с.

6. Мухин В.Ф., Потомов А.Н. Сварка тонкостенных конструкций в CO<sub>2</sub> током прямой полярности // Анализ и синтез механических систем: сб. науч. тр. / Под ред. В. В. Евстифеева. ОмГТУ. Омск, 2005. С. 28-36.

7. Мухин В.Ф., Руденко С.Е., Сумленинов В.К. Применение релейной обратной связи по току в тиристорных выпрямителях для ручной дуговой сварки // Динамика систем, механизмов и машин: материалы VIII междунар. научн.-техн. конф. ОмГТУ Омск, 2012. Кн. II. С. 284-287.

8. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.; Машиностроение, 1970. 335 с.

9. Потапьевский А. Г., Лившиц М. Г., Кассов Д.С. [и др.] К вопросу о переносе металла короткими замыканиями //Сварочное производство. 1976. №6. С. 53-54.