

УДК 621.314

ИНВЕРТОРНЫЕ СВАРОЧНЫЕ АППАРАТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Бардин В.М., Борисов Д.А.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
Тел. +7 (927)2752534 E-mail: Zocksy@yandex.ru

Аннотация. В докладе перечислены основные недостатки, присущие процессу электросварки на постоянном токе и на переменном токе промышленной частоты, снижающие качество сварных соединений. Далее рассмотрены физические предпосылки, позволяющие предполагать, что осуществление сварки переменным током повышенной частоты будет способствовать повышению качества соединения и увеличению производительности процесса. Приведена схема инверторного модуля сварочного устройства с трехобмоточным трансформатором и резонансной системой возбуждения дуги. Работоспособность предлагаемого решения подтверждена результатами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: электрическая сварка, сварочный аппарат, качество сварного соединения, система возбуждения дуги, моделирование.

Постановка задачи

Целью работы является создание на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований макетного образца электросварочного аппарата нового типа - инверторного преобразователя для осуществления дуговой электросварки переменным током высокой частоты (30-70 кГц). В процессе НИОКР по данной тематике подразумевает решение следующих основных задач:

- компьютерное моделирование схмотехнических решений и переходных процессов с целью их оптимизации.
- обоснование предпосылок повышения качества сварочных процессов при сварке токами высокой частоты.
- создание и исследование макетного и опытного образцов электросварочного аппарата.
- экспериментальная оценка качества сварных соединений.

Классические сварочные аппараты переменного тока, в основу которых заложено преобразование сетевого напряжения частотой 50 Гц в более низкое напряжение, а также выполненные на их основе сварочные аппараты постоянного тока, постепенно уходят в прошлое. На смену им пришли сварочные аппараты инверторного типа, которые выгодно отличаются малыми габаритами и массой, высоким качеством сварки и рядом других особенностей. Типовая структура таких аппаратов приведена на рис. 1.

Основой аппарата является полупроводниковый инвертор 2, осуществляющий преобразование выпрямленного сетевого напряжения в однополярные или двухполярные импульсы напряжения, которые затем с помощью трансформатора 3 и выходного выпрямителя 4 преобразуются в сварочный ток. Изменяя с помощью системы управления 5 длительность импульсов выходного напряжения полупроводникового инвертора 2, можно в широких пределах изменять величину сварочного тока. Большинство инверторных сварочных аппаратов зарубежных и отечественных фирм построены именно по такому принципу.

Все известные сварочные аппараты инверторного типа имеют на выходе высокочастотный (и поэтому достаточно дорогой) выпрямитель, т.е. сварка осуществляется

на постоянном токе. Известно, что напряжение на сварочных электродах в режиме холостого хода для надёжного возбуждения дуги должно быть не менее 60 -70 В. В этом случае при сварочном токе 120 – 160 А коэффициент трансформации по току в трансформаторе 3 оказывается небольшим, что увеличивает токовую нагрузку на транзисторы и питающую сеть.

С целью повышения коэффициента трансформации по току уменьшают число витков вторичной обмотки трансформатора, а для надёжного возбуждения дуги вводят дополнительные схемотехнические элементы. Это могут быть вольтодобавочные элементы, генераторы импульсов высокого напряжения, высокочастотные колебания, возникающие на фронтах импульсов при коммутации транзисторов инвертора и другие решения [1 - 3].

Известно, что сварочные процессы, осуществляемые на постоянном и переменном токе имеют ряд различий [4, 5]. Так, при сварке на постоянном токе проявляется «пинч-эффект» (сжатие дуги собственным магнитным полем) и «блуждание дуги» по поверхности сварочной ванны. При сварке на переменном токе анодный и катодный электроды меняются местами с частотой сети. При смене полярности напряжения на электродах заметно

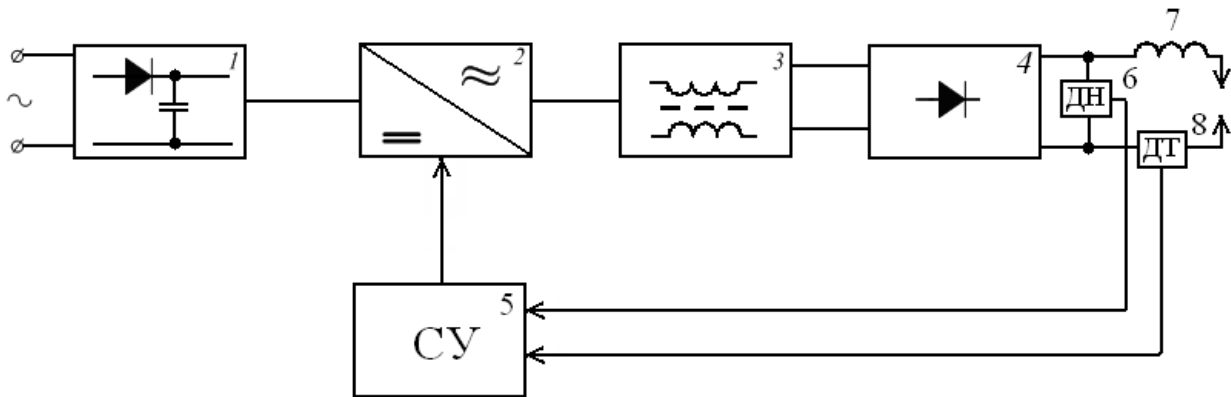


Рис. 1. Структура сварочного аппарата постоянного тока инверторного типа.

- 1 – сетевой выпрямитель с емкостным накопителем энергии,
- 2 – инвертор,
- 3 – трансформатор,
- 4 – выходной выпрямитель,
- 5 – система управления,
- 6 – датчик напряжения,
- 7 – дроссель,
- 8 – датчик тока

изменяется размер капель расплавленного металла и частота их отрыва. При крупнокапельном переносе возможны кратковременные электрические короткие замыкания в дуге с её последующим восстановлением, что объясняет «изрезанный» характер тока и напряжения источника питания. В процессе сварки случайным образом может изменяться длина дуги, что также вызывает колебания сварочного тока. При сварке на переменном токе промышленной частоты в моменты перехода тока через ноль весьма существенно изменяются величина тока, температура дуги и степень ионизации газов в сварочном промежутке. Все перечисленные эффекты приводят к постоянному блужданию дуги, разбрызгиванию металла, изменению глубины проплавления и в конечном итоге – к ухудшению качества сварного соединения.

Возникает естественный вопрос: если сварку можно осуществлять на частоте 50 Гц, то почему не делать то же самое, например, на частоте 50 кГц. На высокой частоте может обнаружиться целый ряд преимуществ.

При повышенной частоте рабочего напряжения происходит предразрядная ионизация межэлектродной газовой среды [3], что позволяет снизить напряжение холостого хода и увеличить коэффициент трансформации по току.

За счёт повышения частоты тока снижается величина колебаний температуры плазмы дуги, что способствует повышению качества сварного соединения. Высокочастотное поле дуги замедляет направленное перемещение заряженных частиц в дуге, увеличивает время их пребывания в разрядном промежутке и число актов ионизации. В результате повышается стабильность сварочного процесса.

Частая смена полярности сварочных электродов должна привести к усреднению и снижению размеров капель металла и лучшему внедрению их в зону соединения металлов. Мелкокапельный перенос будет способствовать образованию более однородной структуры зерен металла в сварном соединении и повышению его прочности.

При сварке на переменном токе повышенной частоты перестаёт действовать эффект магнитного дутья со всеми присущими ему недостатками.

При пролёте капли металла через столб дуги, где температура существенно выше, чем в приэлектродных областях, капля дополнительно нагревается. Дополнительный нагрев может происходить и за счёт наводимых в металле капли вихревых токов. С учётом этого можно предполагать, что при прочих равных условиях в сварочную ванну будет поступать больше тепла, что повысит КПД и скорость сварки.

Повышенная частота рабочего напряжения позволяет существенно (в разы) сократить габариты и массу сварочного трансформатора и аппарата в целом, в том числе и за счёт исключения выходного выпрямителя.

Таким образом, осуществление дуговой сварки на повышенной частоте позволит не только снизить массогабаритные показатели сварочного оборудования, но и повысить качество сварных соединений и производительность процесса.

Авторами настоящей статьи получен патент на способ и устройство для осуществления сварки на высокой частоте [6]. С целью оценки возможности построения сварочных аппаратов переменного тока высокой частоты была разработана схема такого аппарата и проведено компьютерное моделирование происходящих в ней процессов. Схема аппарата представлена на рис. 2. Инвертор содержит два модуля, выполненных по схеме «косой полумост», попеременно работающих на сварочный трёхобмоточный трансформатор. Поскольку обмотки 1-2 и 3-4 включены встречно, то исключается эффект подмагничивания сердечника трансформатора, что характерно для однотактных схем. В схеме «косой полумост» полностью исключена возможность сквозного короткого замыкания, которая существует, например, у мостовых схем. Поэтому такая схема отличается более высокой надёжностью. Для обеспечения на межэлектродном промежутке напряжения холостого хода на уровне не ниже 50 – 60 В при высоком значении коэффициента трансформации по току, к выходной обмотке трансформатора подключена RC – цепочка, образующая с индуктивностью вторичной обмотки параллельный колебательный контур с определённой добротностью. Необходимая величина добротности устанавливается резистором R. В режиме холостого хода (при отсутствии дуги) напряжение между сварочными электродами может быть установлено на уровне 60 – 70 В и выше. Причём резонанс может быть обеспечен на частотах, кратных рабочей частоте инвертора (например, на 3 или 5 гармониках). Это позволяет создать дополнительную ионизацию разрядного промежутка и облегчить возбуждение дуги. При возбуждении дуги колебательный контур шунтируется её низким сопротивлением, и напряжение на контуре снижается до рабочего напряжения дуги. В случае её временного погасания в процессе сварки напряжение на контуре автоматически возрастает и дуга вновь возбуждается.

Компьютерное моделирование процессов в схеме аппарата было проведено в среде программы PSIM [7]. Программа PSIM предназначена для моделирования процессов в

различных преобразователей электрической энергии, фильтрах, компенсаторах реактивной мощности и в ряде других устройств.

Результаты моделирования приведены на рис. 3. Из диаграммы (а) следует что благодаря наличию RC-цепи на вторичных выводах 5-6 трансформатора, на холостом ходу возникают резонансные колебания, что должно облегчить процесс ионизации разрядного промежутка и возбуждение дуги даже при большом значении коэффициента трансформации по току.

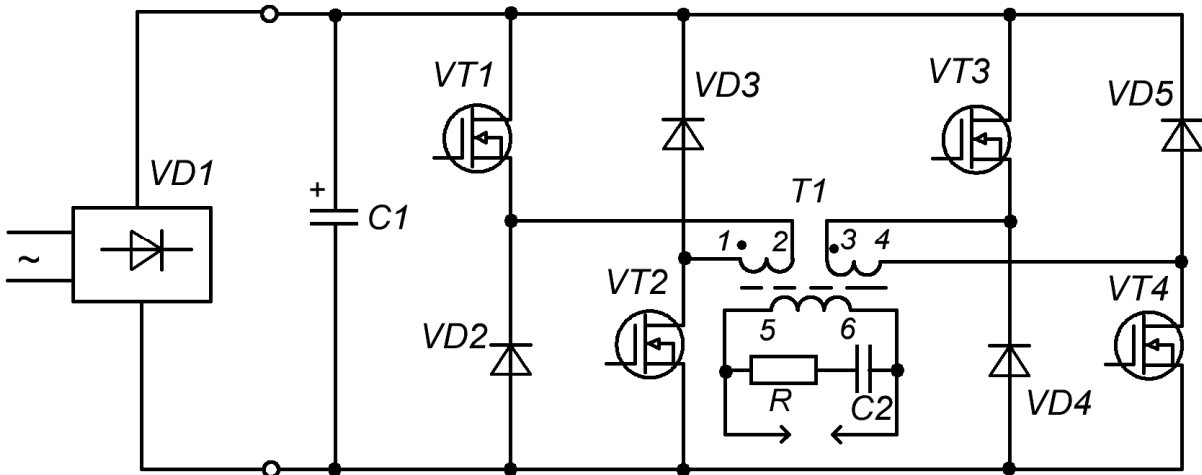


Рис. 2 Электрическая схема силовой части сварочного аппарата переменного тока высокой частоты

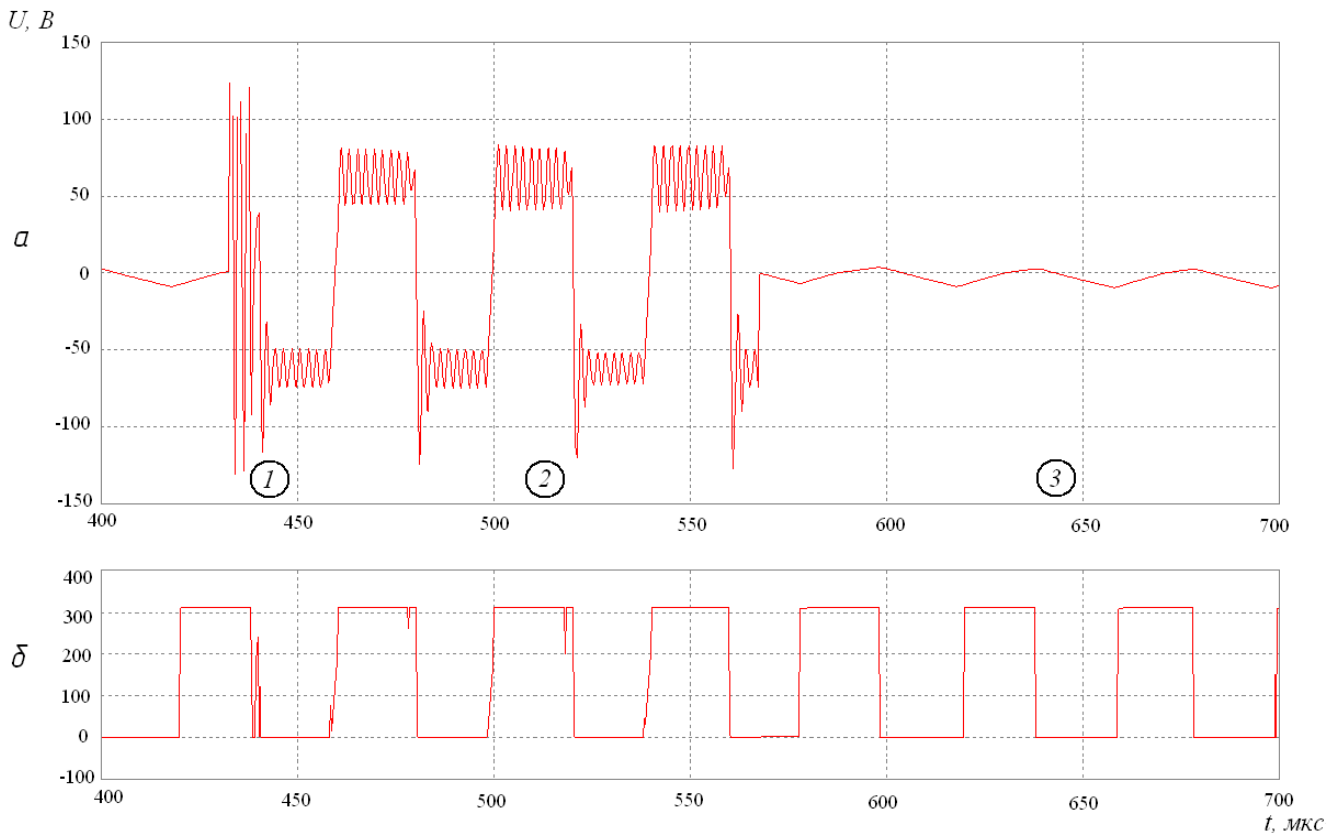


Рис. 3. Диаграммы напряжений на нагрузке (а) и транзисторах инвертора (б), полученные в среде PSIM. Участок 1 – момент прекращения горения дуги, участок 2 – режим холостого хода, участок 3 – режим горения дуги

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков процессов сварки постоянным и переменным токами, а также компьютерное моделирование процессов в сварочном инверторе показывают, что идея создания нового электросварочных аппаратов переменного тока высокой частоты является разумной и осуществимой.

В настоящее время проведён цикл компьютерного моделирования переходных процессов в схеме преобразователя с учётом нестационарных свойств дуги, собран макет аппарата и начата его лабораторная отладка, намечен большой комплекс работ по обеспечению надёжной работы аппарата, определению его электромагнитных полей, сопоставлению прочности сварных соединений с аналогичными образцами соединений, полученных путём сварки на частоте 50 Гц и на постоянном токе.

По обозначенной тематике получен патент, одна заявка на изобретение находится на рассмотрении в Роспатенте, в центральных журналах («Сварочное производство», «Электротехника») опубликованы две статьи.

Библиография

1. Петров, С. Схемотехника промышленных сварочных инверторов / С. Петров // Современная электроника, №8, 2007., С 42 – 46
2. Патент RU 2106944 С1. Устройство возбуждения и стабилизации горения сварочной дуги.
3. Патент RU 2253551 С1. Способ дуговой сварки и устройство для дуговой сварки.
4. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М: Машиностроение, 1970. – 335с.
5. Десятков, Г.А. Теория цилиндрического дугового разряда / Г.А. Десятков, Е.С., Энгельшт. – Фрунзе, изд-во «Илим», 1985. – 147с.
6. Патент RU 2311996 С1. Способ дуговой сварки и устройство для его осуществления.
7. Колпаков, А. PSIM – программа анализа силовых преобразовательных устройств и систем/ А. Колпаков // Электронные компоненты, №6, 2003. С 77 – 82.