

УДК 621.314

СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИКИ СВАРОЧНЫХ ИНВЕРТОРОВ

Борисов Д.А.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
Тел. +7 (902)6661897 E-mail: antonyxy@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор схемотехники силовой части источников сварочного тока инверторного типа, рассмотрены общие принципы работы, недостатки и преимущества каждой из схем. Приведены несколько запатентованных способов стимулирования зажигания дуги, представлена синтезированная типовая структурная схема инверторного сварочного аппарата.

Ключевые слова: электросварка, сварочный инвертор, ШИМ-регулирование, структура управления.

Инверторные преобразователи напряжения на мощности от единиц ватт до десятков киловатт давно и успешно применяются при построении источников питания различного назначения. Особенностью этого класса преобразователей является работа на статическую нагрузку. В последнее десятилетие прошлого века инверторные преобразователи стали применяться при построении электросварочных аппаратов, где нагрузкой является сварочная дуга. Если первые модели таких инверторов выполнялись на тиристорах, то сейчас в качестве коммутирующих активных элементов применяются исключительно силовые МДП транзисторы.

Абсолютное большинство сварочных инверторов предназначено для осуществления сварки на постоянном токе. Их структурная схема представлена на рис. 1.

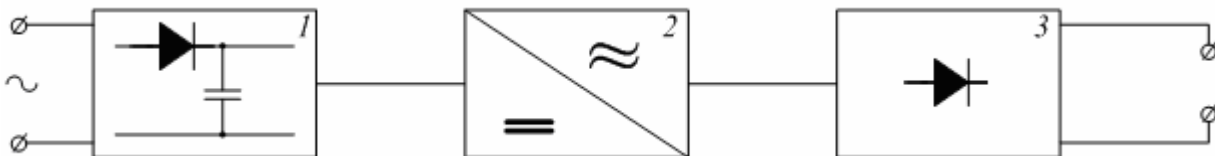


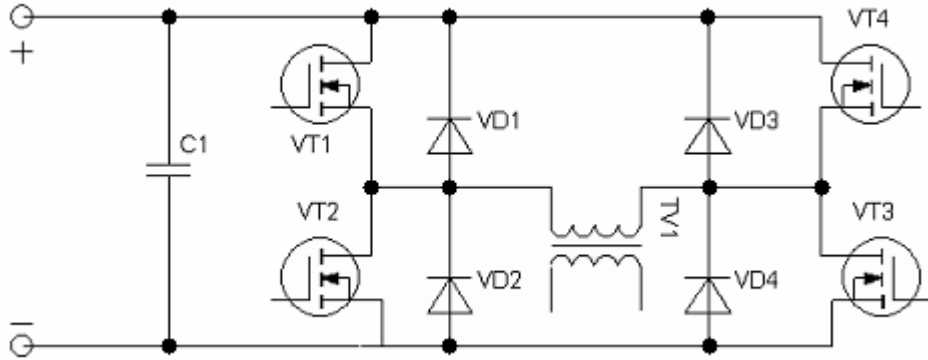
Рис. 1. Структура электросварочного аппарата инверторного типа.

- 1 – входной выпрямитель с емкостным накопителем энергии;
- 2 – инверторный модуль;
- 3 – выходной выпрямитель.

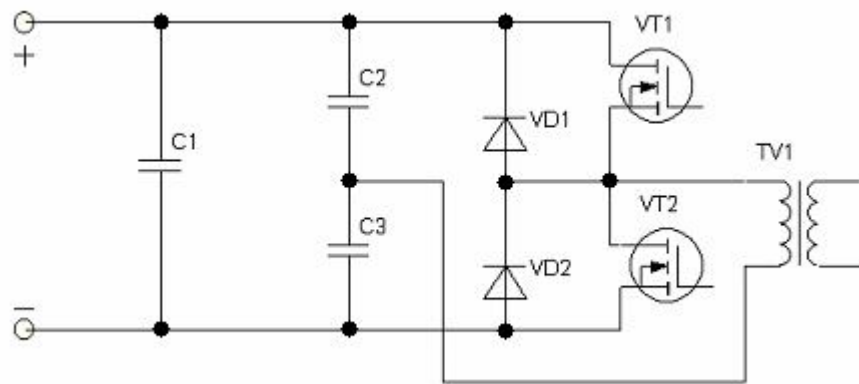
При питании от однофазной сети бестрансформаторный входной выпрямитель заряжает накопительную емкость до напряжения величиной около 300В. Инверторный модуль, выполненный на ключевых активных элементах, осуществляет преобразование энергии постоянного тока в энергию тока высокой частоты с последующим его выпрямлением для питания сварочной дуги. Причем частота преобразования составляет несколько десятков кГц. Инверторный модуль кроме ключевых элементов и системы управления ими обязательно содержит высокочастотный импульсный трансформатор. Понятно, что схемотехническое построение инверторного модуля во многом определяет качественные и количественные параметры всего сварочного аппарата.

Анализ схемотехнического построения (топологии) сварочных инверторов зарубежных и отечественных производителей дает основание полагать, что число вариантов

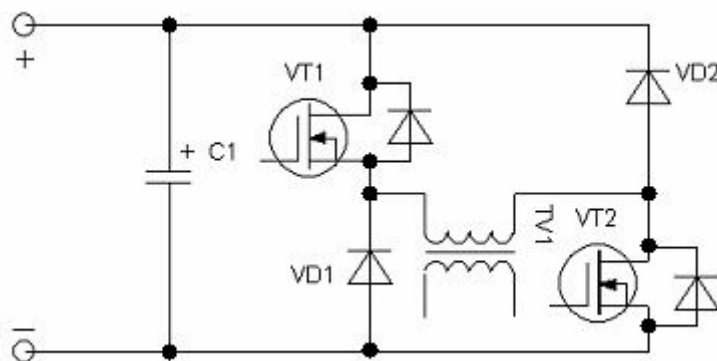
таких решений весьма ограниченно и все их можно разделить на одноктактные и двухтактные. Одноктактные схемы формируют импульсы одной полярности, двухтактные - двухполярные импульсы. Во всех схемах транзисторы работают в ключевом режиме, причем время включенного состояния может регулироваться, что дает возможность изменять величину нагрузочного тока. Наиболее распространенные схемотехнические решения инверторных модулей представлены на рис. 2.



а)



б)



в)

Рис. 2. Схемы инверторных модулей сварочных аппаратов

- а) Двухтактная схема – «полный мост»
- б) Двухтактная схема – «полумостовая схема»
- в) Одноктактная схема – «косой полумост».

В двухтактной мостовой схеме формирование двухполярных импульсов происходит за счет попарного отпириания транзисторов (VT1 и VT3), (VT2 и VT4). При номинальной мощности нагрузки через транзисторы протекает лишь половина полного тока моста, а напряжение на каждом из них составляет половину напряжения на емкости C. Однако здесь требуется обеспечить полную симметрию плеча моста для исключения возможности протекания через первичную обмотку трансформатора тока подмагничивания. Кроме того, для предотвращения опасности сквозного короткого замыкания через транзисторы необходимо задать некоторое «мертвое время», т.е. паузу между началом процесса отключения одной пары транзисторов и включения другой. В полумостовой схеме за счет наличия емкостного делителя (C2, C3) напряжение на каждом из транзисторов и на первичной обмотке трансформатора составляет $0.5U_{вх}$ т.е. при питании схемы от бестрансформаторного сетевого выпрямителя оно не превышает 150В. Обеспечение сварочного тока величиной 120 – 150 А при относительно малом коэффициенте трансформации приводит к необходимости применения мощных транзисторов (либо их группового соединения) и увеличению тока, потребляемого из питающей сети. В такой схеме так же необходимо задавать «мертвое время».

Косой полумост является однотактным инвертором. Транзисторы VT1 VT2 открываются и закрываются одновременно и здесь нет опасности сквозного КЗ. На транзисторах в запертом состоянии напряжение не превышает $0,5 U_{вх}$. Энергия выбросов, возникающих при запириании транзисторов, сбрасывается во входную емкость C через диоды VD1 и VD2. Недостатком схемы является подмагничивание сердечника трансформатора постоянной составляющей выходного тока. Эту проблему можно решить, например, путем изготовления сердечника с зазором или выбором магнитного материала сердечника с большими значениями индукции насыщения. Схема позволяет без увеличения напряжения на транзисторах и при приемлемом значении потребляемого из сети тока за счет увеличения коэффициента трансформации получить требуемое значение выходного тока. Схема проста в управлении, не требовательна к жесткому симметрированию плеч, исключает возможность возникновения «сквозного тока», обеспечивает высокий КПД за счет рекуперации энергии. Поэтому она нашла широкое применение в сварочных инверторах.

Проектирование сварочных инверторов имеет ряд особенностей. Одна из них заключается в необходимости надежного возбуждения электрической дуги. Известно, что при ручной сварке в воздушной среде на постоянном токе или на токе промышленной частоты напряжение холостого хода должно быть порядка 60-90В. В сварочных аппаратах максимальное значение напряжения холостого хода и номинальное значение сварочного тока связаны между собой и обусловлены свойствами силового контура инвертора.

Учитывая, что при питании инвертора от бестрансформаторного выпрямителя входное напряжение не может быть больше 310В, при $U_{вх}$ порядка 70В – 80В коэффициент трансформации по напряжению (и по току) не может быть больше 4,5.

При таком коэффициенте трансформации и сварочном токе 150-160А потребляемый из сети ток будет порядка 40А, что при использовании бытовой сети недопустимо. Поэтому разработчики сварочных аппаратов ищут различные способы стимулирования зажигания дуги при высоком значении коэффициента трансформации сварочного трансформатора. Для зажигания дуги необходимо осуществить ионизацию разрядного промежутка. Сделать это можно повышением напряжения холостого хода, стимулированием промежутка высоковольтными импульсами от отдельного генератора, воздействием маломощного лазерного луча, применением вольтодобавочных схем и др. Так, в [1] предложено ввести в схему полумостового инвертора дополнительную ёмкость C_4 и диод VD₁ (рис. 3). При работе инвертора на холостом ходу за счёт добротности первичного контура трансформатора ёмкость C_4 заряжается до напряжения, превышающего выходное напряжение сетевого выпрямителя. При зажигании дуги добротность силового контура падает, подзаряд ёмкости C_4 прекращается, и напряжение на ней определяется только выходным напряжением выпрямителя. Авторы изобретения утверждают, что такое решение позволяет при питании от

однофазной цепи получать токи сварки для использования электродов с диаметром до 4 мм при напряжении холостого хода 70-75 В.

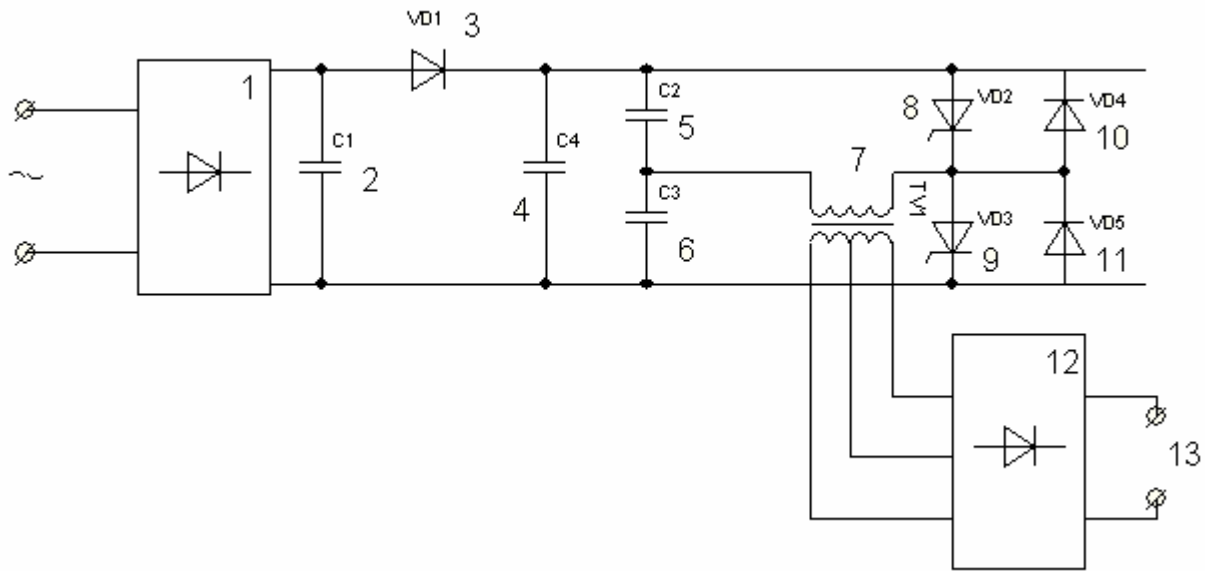


Рис.3 Сварочный источник питания по патенту № 2053069

Интересное решение для стимулирования зажигания дуги путем ионизации разрядного промежутка предложено в [2]. Сварочный ток здесь представляет собой последовательность однополярных прямоугольных импульсов следующих с частотой ультразвукового частотного диапазона. На переднем и заднем фронтах этих импульсов за счет имеющих место в сварочном трансформаторе паразитных резонансных контуров формируются высокочастотные затухающие колебания достаточно большой амплитуды (рис. 4).

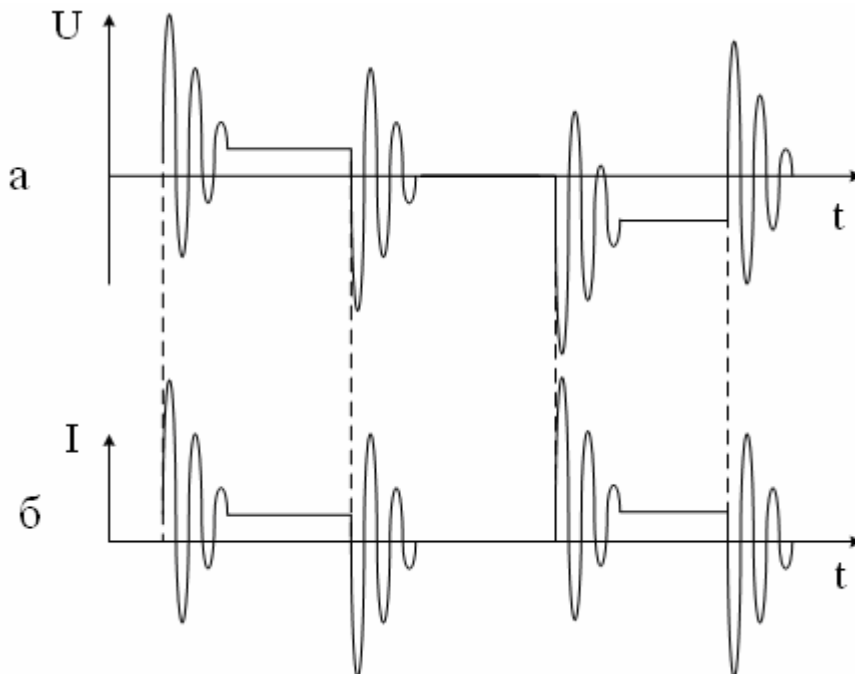


Рис. 4. Эпюры напряжения и тока в схеме по патенту № 2253551 [2].

а – напряжение на первичной обмотке трансформатора инвертора

б – форма сварочного тока

Авторы утверждают, что за счет такой формы сварочного тока обеспечивается непрерывная ионизация газового промежутка между электродами, поэтому достигается

«чрезвычайно высокая стабильность горения дуги». Такой процесс сварки авторы назвали электро-импульсным. При всей заманчивости этого способа, на наш взгляд, он имеет ряд недостатков. Во-первых, из-за большой частоты следования импульсов (50-70кГц) сварка фактически осуществляется на квазипостоянном токе со всеми присущими ему недостатками. Во-вторых значительная амплитуда напряжения ударного возбуждения создает опасность повреждения ключевых транзисторов, которые и так работают в предельных режимах по току и напряжению. Поэтому к такому способу возбуждения дуги следует относиться с осторожностью.

В сварочных инверторах ключевые элементы работают в импульсном режиме с ШИМ регулированием. Спектр тока такой последовательности импульсов весьма широк и достигает по разным оценкам 20 МГц. А поскольку токи в сварочном источнике и сварочных кабелях значительны, амплитуда высокочастотных так же может быть значительной, что создает опасность передачи радиопомех в питающую сеть и окружающую среду. Поэтому в большинстве импульсных источников на входе устанавливаются сетевые фильтры, задача которых – предотвращение попадания помех в питающую сеть. Менее проработаны вопросы снижения радиоизлучения сварочных кабелей. Почему-то считается, что если на выходе импульсного источника стоит диодный выпрямитель, то никаких высокочастотных составляющих в сварочном токе быть не должно. Однако у диодов существует время обратного восстановления, поэтому утверждение, что сварочные кабели (до и сама дуга) не являются источниками высокочастотных помех, преждевременно.

Кроме того, в моменты зажигания дуги, изменении её длины и обрыве, нагрузка на инверторный преобразователь изменяется в широких пределах. Поэтому режим работы сварочного инвертора является в принципе нестационарным, что создает опасность перегрузки и повреждения транзисторов. Классический прием снижения уровня перенапряжений на транзисторах путем подключения различных демпфирующих цепей далеко не всегда дает нужный эффект.

Значительным разнообразием отличаются схемы управления сварочными инверторами. К основным их функциям следует отнести:

- формирование импульсов, обеспечивающих надежное отпирание и запираание ключевых транзисторов;
- обеспечение возможности регулирования длительности импульсов (ШИМ) при заданной частоте их следования;
- возможность задания требуемой величины сварочного тока и его поддержание на заданном уровне в процессе сварки;
- защита аппарата от перегрева, перегрузки по току, «залипания» электрода;
- исключение токовой перегрузки питающей сети переменного тока при запуске сварочного аппарата.

С учетом всех этих требований типовую структурную схему инверторного сварочного аппарата можно представить в виде рис. 5. Сетевой фильтр (1) служит для исключения прохождения помех, возникающих в процессе работы сварочного инвертора, в питающую сеть. Входной выпрямитель с емкостным накопителем (2) необходим для питания инверторного модуля и исключения импульсной нагрузки на питающую сеть. Поскольку емкость накопителя достаточно велика (до 1500 мкФ), чтобы исключить появление пика зарядного тока, первичный заряд осуществляют через управляемый токовый ограничитель, который в процессе нормальной работы аппарата отключается блоком управления зарядом (БУЗ). Инвертор (3) преобразует энергию постоянного напряжения накопителя в энергию импульсов килogerцового диапазона путём использования широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Формирование отпирающих импульсов для транзисторов инвертора осуществляется в системе управления состоящей из тактового генератора (10), ШИМ – контроллера (11) и драйвера (12). Требуемая величина сварочного тока задается в блоке задания режима (13) путем установления определенной ширины отпирающих импульсов. Поддержание заданной величины сварочного тока осуществляется по сигналу датчика тока (9). В ряде схем

сварочных аппаратов путем задания соответствующего алгоритма управления обеспечивается стабилизация режима сварки за счет поддержания определенного соотношения между сварочным током и напряжением на дуге. Для этого кроме датчика тока вводится еще и датчик напряжения (8). Температурный режим внутри аппарата или его наиболее нагруженных узлов контролируется с помощью датчика перегрева (7).

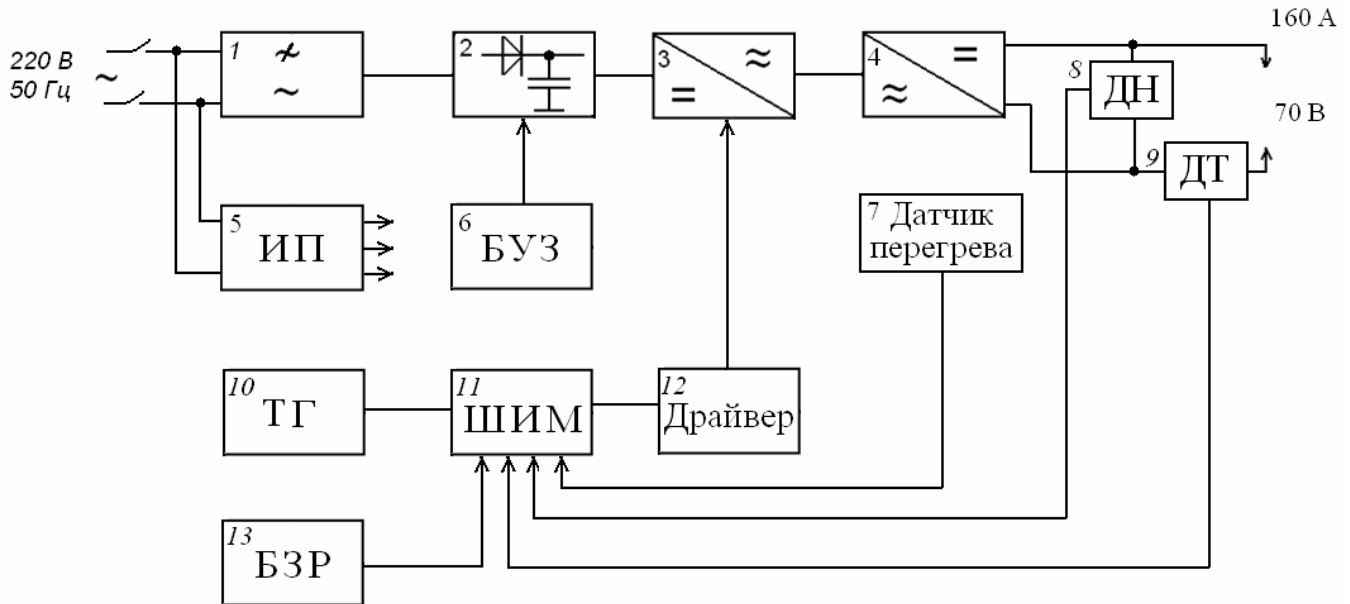


Рис. 5. Типовая структурная схема инверторного сварочного аппарата

Путём соответствующего программирования микроконтроллера ряд фирм обеспечивает реализацию дополнительных результатов: форсирование тока при пуске, предотвращение «залипания» сварочных электродов и ряд других функций [3,4].

Таким образом, повышение уровня «интеллектуальности» схемотехнических решений позволяет создавать сварочную технику с широкими функциональными возможностями.

Библиография

1. Патент РФ RU 2053069 С1. Сварочный источник питания. Опубл. 27.01.1996.
2. Патент РФ RU2253551 С2. Способ дуговой сварки и устройство для дуговой сварки. Опубл. 10.06.2005.
3. Петров С. Схемотехника промышленных сварочных инверторов. Современная электроника №5, 2007, с. 42–47.
4. Коновалов Ю.Н. Универсальный сварочный источник инверторного типа ФЕБ-315, «Магма». Сварочное производство №6, 2006, с 34–39.