

На правах рукописи

УДК 621.791

Милованов Александр Владимирович

Разработка источника сварочного тока, обеспечивающего повышение
производительности контактной шовной сварки деталей малых толщин

Специальность 05.03.06 - Технологии и машины сварочного
производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва — 2009

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Исаев Анатолий Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ямпольский Виктор Модестович
кандидат технических наук
Синельников Николай Георгиевич

Ведущее предприятие: ФГУП ММПП "Салют"

Защита состоится «25» июня 2009 года
на заседании диссертационного
совета Д212.141.01 при МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу:
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экз., заверенный печатью, просим
высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им.
Н.Э. Баумана

Телефон для справок: (499) 267-09-63

Автореферат разослан «___» мая 2009 года.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

д.т.н., доцент

Коновалов А.В.

Актуальность работы. В настоящее время в различных отраслях промышленности широко внедряются системы автоматизации, важными компонентами которых являются датчики давления, расходомеры, разделители сред и т.д. В большинстве таких изделий приходится соединять контактной шовной сваркой детали с большим соотношением толщин (20:1 и более) при толщине тонкой детали менее 0,5 мм. В мембранных датчиках давления роль таких соединений особенно ответственна.

Сварные соединения таких деталей могут быть выполнены с использованием контактной, электронно-лучевой, лазерной и аргонодуговой сварки. Все эти способы нашли применение в промышленности. Однако наиболее широко для сварки мембранных блоков используется контактная шовная сварка. Этот способ обеспечивает требуемое качество швов, а использование надёжного и простого в обслуживании оборудования обуславливает широкое применение метода в промышленности. Кроме того при использовании контактной шовной сварки имеется возможность, в случае случайного появления брака, повторного использования арматуры путём механического удаления мембраны и приварки новой мембраны. Поэтому в данной работе рассматривается способ контактной шовной сварки, как наиболее массовый и обеспечивающий наименьшую себестоимость продукции.

Современная экономическая ситуация в нашей стране требует снижения себестоимости изготовления продукции. Одним из направлений этого процесса является повышение производительности сварки при условии получения высокого качества соединения. Особенно это актуально при сварке длинномерных швов, например, в мембранных блоках диаметром 180 мм длина шва составляет около 560 мм, а в рекуператорах и теплообменниках общая длина швов достигает несколько десятков метров.

С применением существующего в настоящий момент на производстве оборудования не возможно повысить скорость сварки, что связано с конструктивными особенностями источников сварочного тока.

Целью работы является: Повышение производительности контактной шовной сварки деталей малых и резко различных толщин на базе разработки специализированного источника сварочного тока.

Задачи исследования:

1. Выявить основные причины, не позволяющие повысить производительность процесса контактной шовной сварки (КШС) на производстве при сварке деталей малой толщины.
2. На основе исследования процесса контактной шовной сварки

сформулировать технические требования для конструирования источника сварочного тока, который позволит осуществлять процесс КШС на повышенных скоростях и обеспечит стабильное качество.

3. Исследовать электрические процессы, происходящие во вторичном контуре машины и определить методы управления током, способные обеспечить высокие динамические свойства источника, необходимые для получения стабильных импульсов тока заданной амплитуды и формы.

4. Разработать систему управления источником сварочного тока, реализующую выбранные методы управления и позволяющую получать стабильные импульсы сварочного тока в условиях производства.

5. Испытать разработанный источник и исследовать его потенциальные возможности по увеличению скорости сварки.

Научная новизна.

1. Установлено, что основным фактором, определяющим динамические свойства источника сварочного тока, а, следовательно, и возможности по обеспечению стабильности амплитуды и формы импульса тока, является напряжение холостого хода сварочного трансформатора, которое должно в 2...3 раза превышать расчётное значение для установившегося режима. Это связано с увеличением скоростей изменения тока во вторичной цепи, что позволяет быстрее обрабатывать команды системы управления.

2. Показано, что управление током внутри каждого полупериода повышенной частоты позволяет повысить управляемость инверторного источника сварочного тока, поскольку частота управляющих воздействий значительно превышает рабочую частоту инвертора.

Практическая ценность.

1. Разработан и изготовлен инверторный источник сварочного тока для КШС деталей малых толщин, включая сварочный трансформатор, силовой выпрямительный блок, конструкцию силового инвертора.

2. Применение вторичной модуляции позволяет снизить рабочую частоту инвертора, что делает возможным использование традиционных материалов и технологий изготовления сварочных трансформаторов.

3. Разработана конструкция и изготовлен сварочный трансформатор с выпрямительным блоком для работы на повышенной частоте.

4. Разработаны принципиальные схемы и программное обеспечение системы управления инверторным источником сварочного тока, обеспечивающие уменьшение пульсаций сварочного тока за счёт управления током в каждом полупериоде повышенной частоты.

Методы исследования. Результаты получены путём

теоретических и экспериментальных исследований. Анализ переходных процессов в контуре сварочной машины производился аналитически и с использованием численных методов. Регистрация сварочного тока осуществлялась при помощи пояса Роговского, РС — интегрирующей цепочки и цифрового запоминающего осциллографа OWON PDS6062T. Разработка конструкции сварочного трансформатора, выпрямителя и силового инвертора осуществлялась с использованием программного комплекса Autodesk Inventor. Разработка принципиальных схем системы управления велась в программном комплексе P-CAD. Разработка программного обеспечения велась с использованием компилятора GCC из сборки AVR-GCC. Сварка образцов выполнялась на экспериментальной установке для шовной сварки.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научных семинарах кафедры «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э.Баумана (г. Москва, 2007, 2008), Всероссийской научно-технической конференции «Машиностроительные технологии» (г. Москва, 2008).

Публикации.

Материалы диссертации отражены в 2 печатных работах.

Объём работы.

Работа изложена на 126 страницах машинописного текста, иллюстрируется 56 рисунками, содержит 4 таблицы, состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложений.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность выбранного направления исследований и сформулирована цель работы.

В первой главе рассмотрены общие характеристики сварных соединений мембран с арматурой, требования к соединениям, проведён анализ применяемого оборудования.

Конструктивное исполнение мембранных блоков определяется их назначением, условиями эксплуатации и технологичностью изготовления деталей и соединений. Общей особенностью конструкции для них является наличие гибкой мембраны, приваренной по контуру прочно-плотным швом к корпусу, который называется арматурой. На рис.1. представлена типичная конструкция мембранного блока дифференциального манометра.

Мембраны толщиной от 0,02 до 0,3 мм имеют внешний диаметр от 20 до 180 мм и изготавливаются из сплава 36НХТЮ. Арматура изготавливается из стали 08Х18Н10Т.

К сварным швам предъявляются следующие требования.

1. герметичность при вакууме в полости блока 10^{-5} мм рт.ст;
2. прочность не ниже прочности основного металла (разрушение сварного образца по околошовной зоне);

3. отсутствие пор, раковин, трещин, превышающих допустимые размеры.

Качество сварных соединений оценивается по результатам механических испытаний образцов. На герметичность соединения проверяются гелиевым течеискателем.

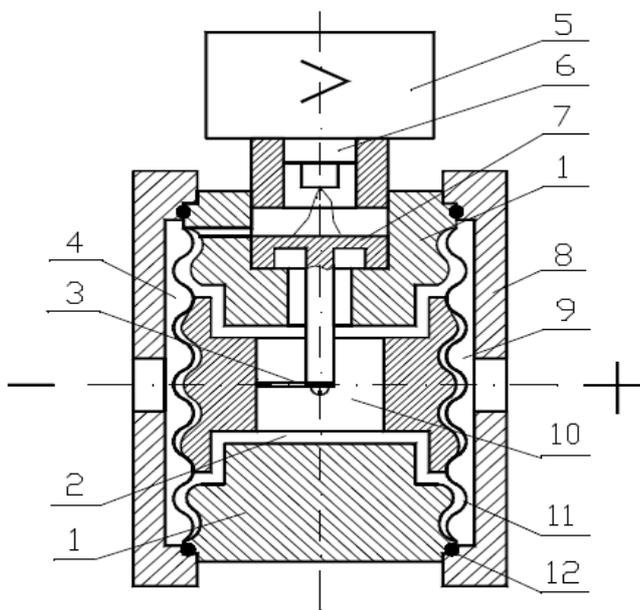


Рис. 1. Конструктивная схема дифференциального манометра
1 – арматура, 2 – замкнутая область, заполненная кремний органической жидкостью, 3 – тяга, 4 и 9 – полости заполненные средой, 5 – электронный блок, 6 – гермоввод, 7 – тензопреобразователь, 8 – крышка, 10 – внутренняя полость, 11 – мембрана, 12 – сварной шов

Известно, что данные соединения могут быть выполнены различными методами сварки, в том числе и КШС с использованием различных источников сварочного тока — переменного тока, конденсаторных, инверторных. Контактная шовная сварка нашла наибольшее применение в промышленности, поскольку она обеспечивает получение качественного соединения при минимальных затратах.

При контактной шовной сварке (КШС) соединение образуется за счёт сварки отдельных точек, образующих шов. Герметичность шва достигается за счёт взаимного перекрытия этих точек. Каждая точка шва образуется при протекании импульса сварочного тока через свариваемые детали. Скорость сварки определяется частотой постановки точек и, следовательно, частотой импульсов сварочного тока. Длительность отдельного импульса тока обычно не превышает 7...10 мс,

поэтому единственным способом повышения производительности сварки является уменьшение паузы между импульсами.

В настоящий момент для сварки деталей малых толщин (менее 0,3мм) доминирующие позиции занимают сварочные машины с конденсаторным источником сварочного тока. Основной причиной этого является возможность точного дозирования энергии для сварки, благодаря стабилизации зарядного напряжения батареи конденсаторов. Регулирование режима сварки производят изменением напряжения заряда конденсаторной батареи, изменением ёмкости батареи и изменением коэффициента трансформации сварочного трансформатора.

Однако конденсаторные источники не позволяют осуществлять сварку на высоких скоростях из-за:

- Значительного времени заряда батареи конденсаторов (от 5 и более периодов сети частотой 50Гц), которое необходимо для обеспечения стабильной величины зарядного напряжения.
- Наличия постоянной составляющей тока через первичную обмотку сварочного трансформатора, которая приводит к насыщению магнитопровода.

Применение в нашей стране инверторных источников для шовной сварки ограничено одной отечественной моделью — установкой ТТ84 Чебоксарского НПО «Технотрон». Однако её технические характеристики не отвечают современным требованиям производства, что связано с недостаточной мощностью источника, низкой энергетической эффективностью из-за отсутствия выпрямления сварочного тока. Среди импортных источников также не удалось найти источник сварочного тока для шовной сварки с требуемыми параметрами.

Поэтому был сделан вывод о необходимости проектирования и изготовления специализированного источника сварочного тока для контактной шовной сварки. Для определения технических требований к источнику были проанализированы работы Чулошника П.Л., Братковой О.Н., Моравского В.Э., Каганова Н.Л., Исаева А.П., и др.

Форма импульса тока является одним из важнейших параметров режима сварки. В предыдущих работах были сформулированы основные требования к форме импульса тока, применение которых позволило бы получать качественные соединения при отсутствии выплесков. Было установлено, что наиболее рациональным является импульса тока с модуляцией переднего фронта. С использованием существовавших на тот момент источников были получены следующие формы импульсов тока (рис.2). С использованием разряда двух батарей конденсаторов (рис.2,б), или добавлении дросселя в разрядную цепь конденсаторного источника (рис. 2,в), получали начальный участок плавного нарастания

тока, На инверторных машинах вводили модуляцию переднего фронта (рис. 2,г). Однако на тот момент, конденсаторные источники имели преимущество, поскольку получаемый на них импульс тока не имеет пульсаций и разрывов, что обуславливает плавное введение энергии в зону сварки.

На основе анализа ранее выполненных работ по сварке было установлено, что наиболее высокие показатели качества швов для конкретных свариваемых узлов удавалось обеспечить за счёт высокой стабильности сварочного тока. Это дало основание считать, что в качестве сигнала обратной связи для построения управляемого процесса целесообразно выбрать сварочный ток. Следует подчеркнуть, что в производственных условиях при сварке на шовных машинах использование этого параметра наиболее надёжно, поскольку можно обеспечить высокую точность и достоверность результатов его измерения при сварке.

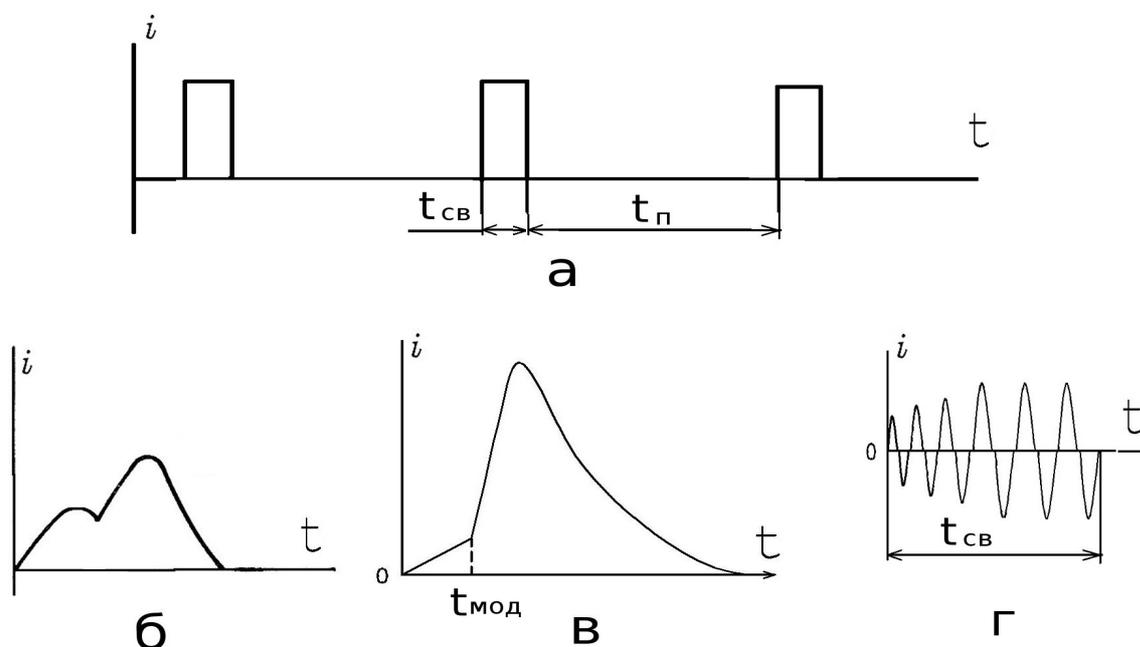


Рис. 2. Циклограмма процесса и формы импульсов тока

Основываясь на этом анализе были сформулированы основные положения для проектирования источника сварочного тока.

Источник должен отвечать нижеизложенным требованиям:

- Обеспечивать получение монополярных импульсов постоянного тока изменяемой формы амплитудой от 500 до 5000 А и длительностью от 2 до 20 мс. Этот диапазон токов полностью перекрывает возможности существующих источников, что позволяет обеспечить технологическую преемственность.
- Высокую частоту следования импульсов сварочного тока. Частота следования импульсов сварочного тока напрямую связана со

скоростью сварки. Основываясь на подобии рассматриваемого процесса по отношению к процессу шовной сварки деталей толщиной от 0,5 до 2.5мм, было принято решение, что источник должен обеспечить минимально возможную паузу между импульсами тока (сопоставимую по времени с длительностью импульса сварочного тока). Таким образом, максимальная частота следования импульсов тока в разрабатываемом источнике должна составлять 50...100Гц.

- Постоянство формы и амплитудного значения тока при действии различных возмущающих факторов, таких как изменение активного и индуктивного сопротивления сварочной цепи.
- Минимально возможную пульсацию сварочного тока, частота и амплитуда которой обеспечивает рациональный нагрев зоны сварки без локального перегрева металла.
- Формирование импульса тока определённой формы, учитывающей термомеханические процессы, протекающие при формировании сварного соединения, на базе разработки и создания источника тока с высокими динамическими свойствами и микропроцессорной системой управления.

В наибольшей степени указанным положениям отвечает источник постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты.

Во второй главе изложена методика расчёта и проектирования силовой части источника сварочного тока для контактной шовной сварки. Был учтён тот факт, что на производстве уже в течение длительного времени применяется разнообразный парк сварочного оборудования, под конструкцию которого изготовлено большое количество оснастки и различных приспособлений, позволяющих сваривать всю номенклатуру выпускаемых изделий. Поэтому было принято решение о том, что разрабатываемый источник тока должен использоваться не только для комплектования вновь разрабатываемых сварочных установок, но и для модернизации уже существующих.

Рассмотрены схемы построения преобразователей электрической энергии с промежуточным звеном повышенной частоты. На основе анализа состояния современной силовой элементной базы была выбрана схема преобразователя с управляемым инвертором по сигналу обратной связи.

Выбор рабочей частоты инвертора является важнейшим этапом проектирования инверторного источника, поскольку именно рабочей частотой будут определяться основные конструктивные решения, используемые при проектировании. В настоящее время в инверторных источниках для контактной сварки используются частоты от 400 до 20000 Гц.

При этом источники с рабочей частотой 1000 Гц, как правило, применяются для сварки деталей толщиной (0,5...3,0 мм), когда требуется обеспечить качество сварки в условиях массового производства. Источники с более высокой рабочей частотой — 10, 16, 20 кГц используются для контактной точечной микросварки. Повышение частоты позволяет уменьшить амплитуду пульсаций сварочного тока и повысить скорость реакции источника на действие возмущающих факторов.

С повышением рабочей частоты в целом усложняется конструкция источника, значительно удорожается его производство и ухудшаются энергетические показатели. Анализ показал, что эти недостатки вызваны следующими причинами:

- Увеличиваются потери на перемагничивание магнитопровода сварочного трансформатора, в результате чего он начинает интенсивно нагреваться. Для предотвращения этого используют магнитопроводы сделанные из специальных аморфных сплавов или ферритов, которые способны работать на высоких частотах. Однако изготовление и эксплуатация трансформаторов такой конструкции удорожают источник. Поэтому желательно использовать в трансформаторе стандартное электротехническое железо.
- С повышением частоты из-за появления поверхностного эффекта увеличится активное сопротивление вторичных витков и их нагрев.
- При повышении частоты на выпрямительных диодах в сварочной цепи значительно увеличиваются динамические потери, что связано со значительным временем восстановления обратной проводимости. Это снижает КПД источника, увеличивает энергозатраты на эксплуатацию.

Поэтому было принято решение использовать достаточно низкую рабочую частоту инвертора 1000 Гц, что позволит применить традиционную технологию изготовления сварочного трансформатора и существующие низкочастотные силовые диоды.

Особенностью источников для контактной микросварки является работа в режиме формирования мощных импульсов тока (до 5 кА), имеющих определённую форму и малую длительность (от 3 до 10 мс). Основной проблемой при формировании короткого импульса тока является наличие длительного неуправляемого переходного процесса при включении тока (рис.3).

Длительность процесса начального нарастания тока (τ) определяется величиной индуктивности вторичного контура, активным сопротивлением и напряжением на выходе источника тока. Для сокращения этого времени необходимо увеличить напряжение на выходе источника, что позволит обеспечить быстрое нарастание тока до

заданной величины.

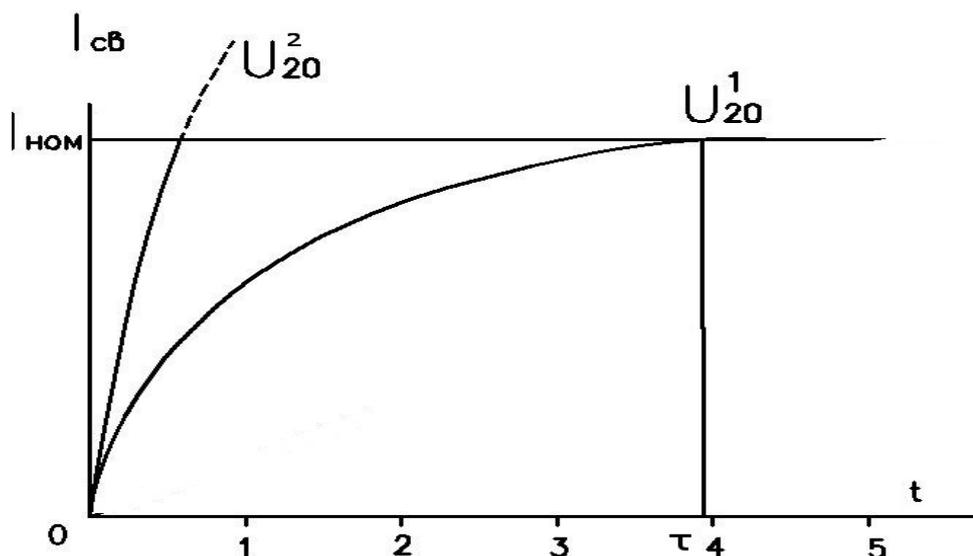


Рис. 3. Переходной процесс нарастания тока во вторичном контуре при различных значениях напряжения на выходе источника тока

$$U_{20} > (2...3) U_{20уст} \quad (1)$$

Увеличение напряжения на выходе источника приводит к значительному увеличению пульсаций сварочного тока, что увеличивает вероятность образования выплесков при сварке. Поэтому необходимо разработать специальную систему управления, которая за счёт более сложного алгоритма переключения силовых транзисторов позволит уменьшить амплитуду пульсаций тока.

Был рассчитан, сконструирован и изготовлен сварочный трансформатор на рабочую частоту 1000Гц. При его конструировании были учтены следующие особенности:

- конструктивное исполнение вторичной обмотки, выполненной в виде двух дисков, предусматривает крепление выпрямительного блока непосредственно на выводах;
- использование относительно низкой рабочей частоты 1000Гц позволило применить для изготовления магнитопровода стандартную электротехническую сталь марки 3414;

Значительное внимание уделено проектированию силового инвертора. Анализ технических характеристик силовых элементов и широко используемых за рубежом схемных решений инверторов для контактной сварки позволил выбрать для проектируемого инвертора в качестве силовых элементов биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Основная трудность при конструировании инвертора с принудительной коммутацией силовых ключей заключается в том, что в момент выключения тока силовым ключом, из-за наличия паразитных индуктивностей в конструкции инвертора возникает выброс напряжения, который опасен для силового ключа (Индуктивность L_s , рис.4). Согласно литературным данным основное внимание при проектировании конструкции силовых инверторов

необходимо уделять топологии токоведущих проводников с целью минимизации паразитных индуктивностей. Ранее данная проблема не возникала, поскольку использовались незапираемые силовые элементы — тиристоры, которые выключались при прекращении протекания тока через них.

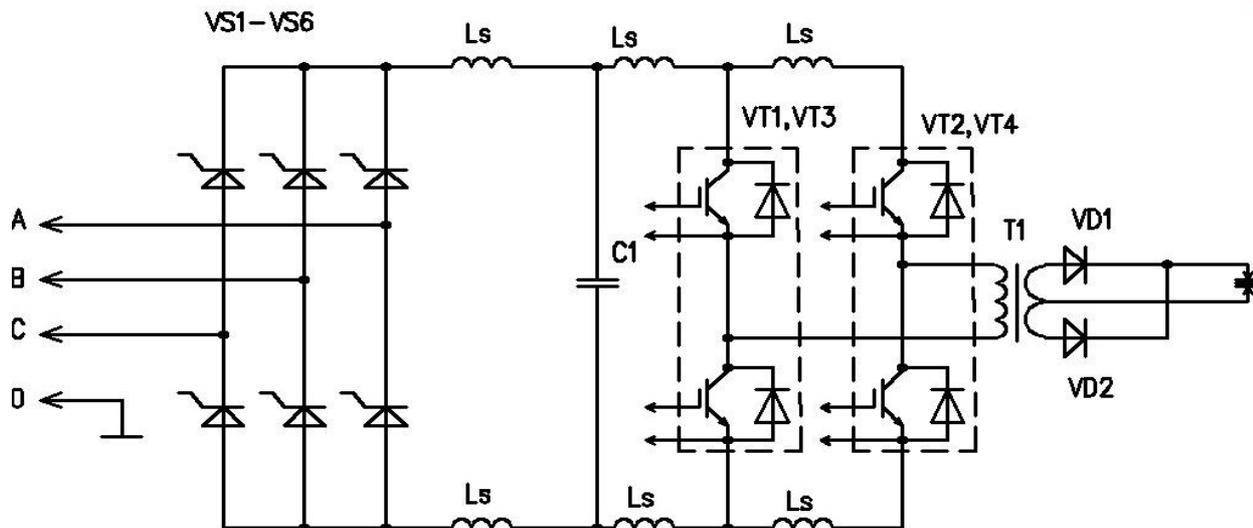


Рис.4 Схема силового инвертора

Для подавления выбросов напряжения при выключении транзисторов инвертора был применен комплекс мер, направленных на минимизацию площади контура, образованного силовыми шинами инвертора за счёт применения специальной конструкции и расположения силовых шин, а также за счёт применения демпфирующих цепочек, поглощающих энергию, накопленную в паразитной индуктивности и тем самым снижающих амплитуду выбросов напряжения. По результатам экспериментов, при использовании плоских токоведущих шин оказалось, что для подавления выбросов напряжения достаточно использовать только блокирующую ёмкость, размещённую непосредственно на выводах силового модуля.

Третья глава посвящена разработке системы управления источником. Анализ литературных данных и проведённые эксперименты показали, что при обеспечении стабильной амплитуды и формы импульса сварочного тока удаётся обеспечить стабильное получение качественных соединений. Также в производственных условиях при сварке на шовных машинах технически надёжным и наиболее предпочтительным является применение систем стабилизации и управления сварочным током, поскольку использование этого параметра наиболее надёжно и имеется возможность обеспечить высокую точность и достоверность результатов его измерения при сварке.

Применительно в мостовому инвертору, возможно использовать различные способы регулирования выходного напряжения и, соответственно, тока, такие как амплитудная модуляция (АМ), частотная импульсная модуляция (ЧИМ), широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и

их вариации. На основе теоретического анализа и математического моделирования работы инвертора при таких способах регулирования тока было установлено, что в условиях контактной сварки малых толщин, когда необходимо формировать короткие импульсы тока сложной формы, данные способы имеют существенные недостатки, связанные с неточностью обработки времени импульса, значительными пульсациями сварочного тока, непостоянной частотой работы инвертора. Поэтому возникла необходимость разработать другой алгоритм управления инвертором, применение которого позволило бы уменьшить амплитуду пульсаций при сохранении неизменной рабочей частоты инвертора.

На основе анализа существующих способов формирования выходного тока в импульсных преобразователях и промышленных инверторах был разработан новый способ управления силовыми транзисторами инвертора, применение которого позволяет при относительно низкой частоте переключения плеч инвертора значительно повысить частоту управляющих воздействий и тем самым уменьшить амплитуду пульсаций тока. Суть способа поясняет рис.5. Горизонтальная прямая $I_{2ном}$ — иллюстрирует желаемый уровень тока. U_1 — напряжение на выходе инвертора.

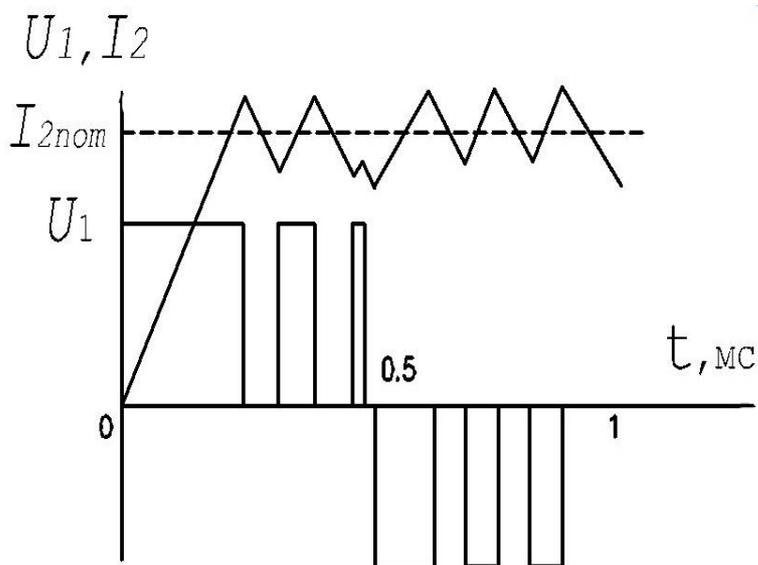


Рис.5. График изменения вторичного тока и напряжения на выходе инвертора при управлении током внутри каждого полупериода повышенной частоты

Таким образом применение ИМ внутри каждого полупериода повышенной частоты позволяет значительно снизить пульсации вторичного тока и при этом сохраняется низкая частота перемагничивания. При таком алгоритме работы удаётся обеспечить стабильность выдержки времени сварки с дискретностью 1 мс при

частоте инвертора 1 кГц. Поскольку в течение обоих полупериодов повышенной частоты система поддерживает постоянный уровень тока, это исключает возможность появления значительной постоянной составляющей тока в первичной обмотке трансформатора.

Работа системы стабилизации тока при переключении плеч инвертора представляет потенциальную угрозу силовым транзисторам. Например, для поддержания заданного тока необходимо включить силовой транзистор и в тоже самое время может возникнуть необходимость переключить плечи инвертора. В результате на входе силовых транзисторов может появляться управляющий сигнал малой длительности, недостаточный для полного открывания или закрывания транзистора, из-за чего транзистор переходит в режим активного усиления и может выйти из строя (рис.5 момент времени 0,5 мс). Для предотвращения подобных ситуаций система управления должна блокировать включение силовых транзисторов до переключения плеч инвертора за время минимального нахождения транзистора в открытом состоянии. Это позволит гарантировать, что если транзистор перед блокировкой включения был в открытом состоянии, то переключение плеч инвертора не приведёт к сокращению времени нахождения транзистора в открытом состоянии. А если транзистор был закрыт, то он не откроется, даже если по логике работы ШИМ это необходимо.

В главе 4 рассматривается процесс наладки, испытаний и внедрения созданного источника.

При электрических испытаниях проводилась проверка отработки формы импульса тока при различных параметрах вторичного контура. Основными варьируемыми параметрами являются активное и индуктивное сопротивление. Для проведения испытаний к выходу сварочного выпрямителя подключался эквивалент вторичного контура, образованный токоведущими шинами и набором шунтов с различным сопротивлением (от 75 мкОм до 750 мкОм). Изменение индуктивности осуществлялось путём добавления ферромагнитных масс в контур. Для большей наглядности работы источника при различных значениях тока на программаторе устанавливалась программа формирования импульсов тока с начальной модуляцией (рис.6).

Как видно из осциллограмм, значительные изменение активного и индуктивного сопротивления контура практически не влияют на поддержание формы импульса тока.

Таким образом было установлено, что источник позволяет формировать заданные импульсы тока и обеспечивать их постоянство при различных значениях сопротивления и индуктивности вторичного контура.

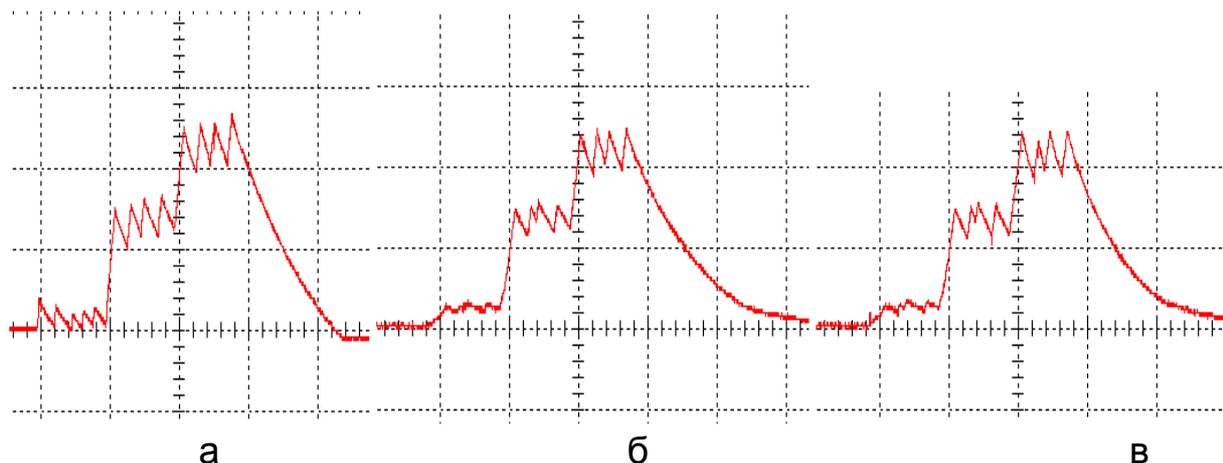


Рис. 6. Осциллограммы тока при сварочном токе 5 кА
 Шкала: время 1 мс/дел, ток 2 кА/дел
 а) базовый контур. б) увеличенная индуктивность.
 в) увеличенная индуктивность и сопротивление.

Технологические испытания источника проводились на изготовленной экспериментальной установке шовной сварки, позволяющей осуществлять сварку прямолинейных швов. Для экспериментов использовались пластины из материала 08Х18Н10Т толщиной 0,2 мм, свариваемые с пластиной толщиной 2 мм из того же материала. Известно, что скорость сварки значительно влияет на процесс формирования соединения, поэтому необходимо было исследовать принципиальную возможность получения соединения на повышенных скоростях.



рис.7. Макрошлифы сварного соединения при различных соотношениях времени сварки к времени паузы
 а - 1/11, б - 1/6, в - 1/3

За базовый был взят режим: Сварочный ток, начальная стадия — 900 А. Сварочный ток, основной импульс — 2450 А. Время модуляции — 3 мс. Время основного импульса — 4 мс. Время паузы - 77 мс. Перекрытие - 30%. Скорость сварки 0,7 м/мин (рис.7,а).

При повышении скорости сварки для сохранения заданного перекрытия производилось уменьшение времени паузы между импульсами сварочного тока. На рис.7,б представлен макрошлиф соединения, выполненного при соотношении времени протекания тока к времени паузы равном 1/6. Время паузы - 42 мс. Скорость сварки 1,2 м/мин. На шлифе наблюдается образование сплошной литой зоны.

Дальнейшее увеличение скорости до 2.4 м/мин и соотношение времени протекания тока к времени паузы равном 1/3 показало, что при этом наблюдается увеличение проплавления тонкой детали и выход расплавленного металла на поверхность (рис.7,в).

Таким образом было установлено, что разработанный источник позволяет получать сварные соединения на повышенных скоростях сварки.

Производственные испытания и внедрение созданного источника осуществлялось на заводе «Метран» г. Челябинск. Эксплуатируемая на заводе установка КП9698.2629 №1 для шовной сварки мембранных блоков была модернизирована: использовавшийся ранее конденсаторный источник был заменён на созданный нами источник. В результате внедрения на существующей установке удалось при сохранении качества повысить скорость сварки с 0,2 м/мин до 0,39 м/мин.

Результаты работы могут быть внедрены на машиностроительных и приборостроительных предприятиях, где приходится сваривать контактной сваркой детали малых и резко различных толщин.

Основные выводы и результаты.

1) Конденсаторные источники сварочного тока имеют ограниченные возможности по обеспечению стабильного качества швов в условиях повышения скорости сварки, что связано с необходимостью затрачивать определённое время (не менее 5 периодов промышленной частоты) на стабилизацию зарядного напряжения. Поэтому представляется целесообразным замена конденсаторных источников на более современные с промежуточным звеном повышенной частоты (инверторные).

2) На основе анализа литературных данных и экспериментальных исследований процесса контактной шовной сварки нержавеющей стали с толщиной более тонкой детали до 0,3 мм сформулированы требования к форме импульса сварочного тока, обеспечивающего получение прочно-плотного шва, заключающиеся в наличии участка постепенного нарастания тока (модуляции) для предотвращения локальных

перегревов и начальных выплесков в контактах межэлектродной области, а также второго участка — постоянного тока с минимальными пульсациями для получения литого ядра определённых размеров.

3) Исследование формирования шва показало, что устранить вредное влияние шунтирования тока через ранее сваренный участок шва и связанное с этим появление дефектов в виде непроваров и выплесков возможно путём программного увеличения тока в начале шва.

4) В результате экспериментальных и теоретических исследований установлено, что одним из основных факторов, определяющих возможности источника по обеспечению высокой стабильности (повторяемости) формы импульса тока при действии возмущающих факторов является величина напряжения холостого хода сварочного трансформатора, которое должно в 2...3 раза превышать расчётное значение U_{20} необходимое для процесса сварки конкретных деталей определённой толщины.

5) Показано, что применение вторичной модуляции позволяет повысить в 3...4 раза рабочую частоту тока в сварочной цепи относительно несущей частоты инвертора в 1000Гц. Такое управление током осуществляется в каждом полупериоде тока несущей частоты, что обеспечивает высокоскоростное регулирование параметров сварочного тока и малую глубину его пульсаций.

6) Экспериментально установлено, что несмотря на повышение частоты сварочного тока до 3-4 кГц за счёт применения вторичной модуляции, возможно использовать в составе инверторного источника трансформаторов типовой конструкции, поскольку несущая частота первичного тока составляет 1 кГц. Такой подход позволяет использовать элементы уже существующего на производстве оборудования и относительно недорогую электротехническую сталь, что существенно снизит затраты на создание новой техники.

7) В результате проведённых исследований создан и внедрён в промышленную эксплуатацию источник сварочного тока для шовной сварки деталей малых толщин со следующими техническими характеристиками:

Диапазон токов сварки: от 500 до 5000 А.

Время импульса тока: от 2 до 40 мс.

Время паузы: от 1 до 1000 мс.

Дискретность отсчёта времени: 1 мс.

8) Эксплуатация разработанного источника на заводе ЗАО ПГ «Метран» г. Челябинск при сварке мембранных блоков датчиков давления позволила повысить скорость сварки в 2 раза по сравнению с конденсаторной при сохранении таких параметров качества, как герметичность, прочность и внешний вид готовых блоков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ

- 1) Исаев А.П. Милованов А.В. Инверторный источник для контактной шовной сварки // Сварочное производство. - 2005. - №3. - С.34-38.
- 2) Разработка источника тока для контактной точечной и шовной сварки деталей малых и резко различных толщин, позволяющего повысить стабильность качества и производительность процесса. Сб. докладов Всероссийской научно-технической конференции Машиностроительные Технологии. - М.,2008. - 240 с.