

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

промышленная электроника
направленность (профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Генератор сварочных импульсов тока

Студент(ка)	<u>Е.В. Леонтьев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.В. Прядилов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2016

Аннотация

Объем 68 с., 29 рис., 2 табл., 48 источников, 0 прил.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ТОКА, ГЕНЕРАТОР РАЗНОПОЛЯРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА, СВАРКА, ЭЛЕКТРОСВАРКА

Объектом исследования является двуполярный генератор импульсов тока для сварки металлов.

Цель работы: разработка генератора регулируемых двуполярных импульсов тока для сварки металлов.

Задачи работы:

1. Анализ исходных данных и известных решений
2. Выбор силовой части системы питания
3. Расчет силовой части системы питания
4. Разработка системы управления

Работа состоит из четырех глав, в которых решены упомянутые задачи.

Степень внедрения: произведена разработка и расчет устройства.

Данная работа может быть применена при разработке сварочных аппаратов. Разработанный генератор позволяет формировать двуполярные сварочные импульсы тока, повышающие качество сварки за счет разрушения оксидной пленки.

Содержание

Аннотация	2
Введение	5
1. Состояние вопроса. Анализ исходных данных	7
1.1 ГРИТ с реверсированием тока возбуждения электромашинного генератора постоянного тока.....	7
1.2 ГРИТ с инвертированием подключения дуги.....	8
1.3 ГРИТ с использованием индуктивных накопителей энергии.....	10
2. Расчетная часть	15
2.1. Разработка силовой части схемы	15
2.1.1. Обоснование выбранной схемы и описание принципа ее работы	15
2.1.2. Разработка полной силовой части схемы.....	16
2.2. Расчет силовой части схемы	19
2.2.1.Принятые допущения.....	19
2.2.2.Законы изменения токов и напряжений в схеме	19
2.3. Выбор элементов силовой части схемы.....	23
2.3.1. Выбор элементов ГИТ.....	23
2.3.2. Расчет выпрямителя	225
2.3.3. Расчет трансформатора	28
2.3.4.Выбор полупроводниковых приборов	30
2.3.5.Основные правила эксплуатации IGBT модулей	32
2.3.6.Расчёт защитных цепочек.	36
2.4. Разработка системы управления	38
2.4.1. Общее описание работы системы управления	38

2.4.2. Микроконтроллерная часть системы управления	41
2.4.3. Драйвер управления транзисторами	445
2.4.5. Система пуска	46
2.4.6. Блок питания системы управления	48
3. Разработка печатной платы системы управления	49
4. Описание технологии сварки.	55
4.1. Особенности сварки алюминия и его сплавов.....	55
4.2. Технология сварки алюминия.....	55
4.3. Сварка плавящимся электродом	56
4.4. Сварка вольфрамовым электродом	56
4.5. Вольфрамовые электроды и их марки.	57
4.6. Сварка неплавящимся электродом.....	58
4.7. Технология сварки неплавящимся электродом.....	59
Заключение	63
Список использованных источников	64

Введение

Использование двуполярных импульсов тока для сварки металлов (например, железа или алюминия) приобретают все более широкое применение в промышленности и строительстве [1]. Основными достоинствами двуполярных импульсов является возможность разрушения оксидной пленки на поверхности металла, препятствующей сварке. Разрушение оксидной пленки является особенно актуальной задачей при сварке алюминиевых сплавов. Для сварки сталей (сплавов железа с углеродом и другими элементами) разрушение оксидной пленки не столь актуально, но разрабатываемый генератор будет пригоден и для них.

Так как сварка алюминия является более сложной задачей, то в данной работе будем ориентироваться именно на нее. Сварка сталей предъявляет меньше требований к источнику импульсов, в связи с чем может производиться генератором, разработанным для сварки алюминиевых сплавов.

Алюминиевые сплавы - доминирующий конструкционный материал в авиастроении и многих других областях [3]. Из данных сплавов изготавливают силовые элементы, обшивку, а также топливные и масляные баки. Алюминиевые сплавы широко используют в конструкциях ракет и искусственных спутников Земли, в качестве основного конструкционного материала орбитального самолета «Буран» применяют деформируемые, термоуп-рочняемые алюминиевые сплавы [2].

Из алюминиевых сплавов изготавливают обшивку и набор для автобусов, троллейбусов, корпуса пассажирских и грузовых вагонов для сыпучих материалов, вагоны метрополитена, сварные железнодорожные и автоцистерны для сжиженного кислорода, горючих газов, химических веществ, а также для пищевых продуктов. Эти сплавы все шире используют в судостроении как в цельноалюминиевых судах, так и в надстройках стальных судов. Применение их в судостроении и железнодорожном транспорте дает существенную экономию массы.

Из алюминия делают теплообменники для получения сжиженных газов, а также промышленные и бытовые холодильники. Высокая электропроводность металла обуславливает использование его для массивных проводников электрического тока в электролизной промышленности, для воздушных линий, оболочек кабелей, шин распределительных устройств. Алюминиевые сплавы успешно используют в тротильстве. Они находят применение в атомных реакторах, работающих на тепловых нейтронах.

На стыке XX и XXI веков сварка остается ведущим технологическим процессом современной промышленности [4]. Рынок сварочной техники и технологии является неотъемлемой частью мировой рыночной системы, чутко реагирующей на реально складывающуюся экономическую ситуацию в отдельных регионах и в мировой экономике в целом. Можно полагать, что

мировой рынок сварочной техники и услуг, возрастающий пропорционально росту мирового потребления стали, к началу XXI века составит не менее 40 млрд.долл.США, из которых около 70% - сварочные материалы и около 30% - сварочное оборудование. Основой сварочного производства остается сварка плавлением. Лидирующее положение на мировом рынке сварочного оборудования стабильно занимает оборудование для дуговой сварки (45,6 ... 47,2%).

В машиностроении одним из самых распространенных и экономичных способов получения сварных соединений из алюминиевых сплавов является аргонодуговая сварка [5]. Она обеспечивает возможность визуального наблюдения за плавлением основного металла, электродной или присадочной проволоки, а также за формированием сварного шва. Аргон, будучи инертным газом, химически не взаимодействует с расплавленным металлом и надежно защищает сварочную ванну, формирующийся сварной шов и околошовную зону от нежелательного взаимодействия с газами окружающей атмосферы. Характерный для сварки в среде инертных газов струйный перенос металла оказывает минимальное механическое возмущение расплава ванны, обеспечивая плавное и равномерное формирование сварного шва. Сварочная дуга в среде аргона отличается высокой стабильностью, блуждание активных пятен на поверхности изделия и торце электрода незначительное.

Сварку алюминия ведут на переменном токе, который позволяет в определенной степени реализовать преимущества дуги прямой и обратной полярности [6]. При прямой полярности (плюс на изделии, минус на электроде) лучше условия термоэлектронной эмиссии, выше стойкость вольф-рамого электрода и допустимый предельный ток. Дуга на прямой полярности легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10-15 В в широком диапазоне плотностей тока. Дуга обратной полярности обладает важным технологическим свойством: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются окислы и загрязнения. Но так как при постоянном токе обратной полярности стойкость вольфрамового электрода низка, то для этой цели используют переменный ток. При этом удаление пленки, т.е. катодное распыление, происходит, когда свариваемое изделие является катодом.

Более плотные и прочные соединения алюминия получают при аргоно-дуговой сварке прямоугольными разно-полярными импульсами тока, чем при сварке на симметричном и ассиметричном переменном токе, что объясняется более резким механическим воздействием импульсов тока прямоугольной формы [7,8].

1. Состояние вопроса. Анализ исходных данных

В настоящее время описано большое количество схем генераторов разнополярных импульсов тока (ГРИТ). Можно выделить несколько типов генераторов, отличающихся принципом формирования разнополярных импульсов тока [9].

1.1 ГРИТ с реверсированием тока возбуждения электромашинного генератора постоянного тока

Принцип действия такого ГРИТ основан на зависимости тока якоря ГПТ от величины и полярности тока обмотки возбуждения [10].

Принципиальная схема такого ГРИТ приведена на рис. 1.1, графики тока i_B и тока I_d дуги приведены на рис. 1.2.

Формирование разнополярных импульсов тока в разрядном промежутке РП (рис. 1.1), включенном в цепь якоря Я, производится за счет реверсирования тока в обмотке возбуждения ОВ с помощью коммутатора К, подключенного к источнику питания ИП.

Вследствие сложности быстрого гашения поля и его форсированного возбуждения в первоначальной полярности крутизна фронтов импульсов тока дуги и предельная частота работы невелики. Дуга горит неустойчиво. Поэтому для стабилизации горения дуги установлен стабилизатор С. Осциллятор О служит для первоначального возбуждения дуги. В качестве ГПТ использован преобразователь сварочный, однопостовой ПСО-500.

Из-за сложностей, связанных с инвертированием тока возбуждения и обслуживанием электромашинного генератора такие устройства не получили распространения.

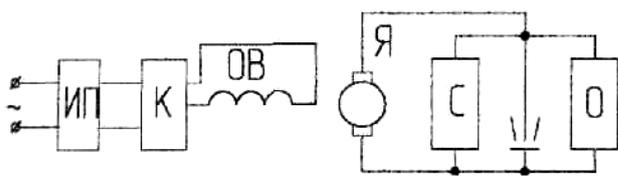


Рис 1.1 - ГРИТ с реверсированием тока возбуждения генератора постоянного тока

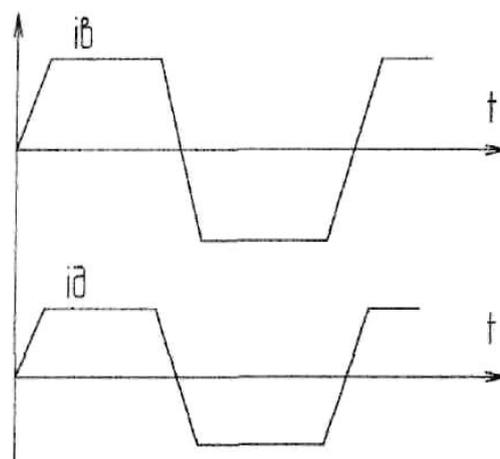


Рис. 1.2 - Графики изменения тока возбуждения генератора i_B и тока дуги i_d

Более перспективны статические ГРИТ на базе полупроводниковых приборов.

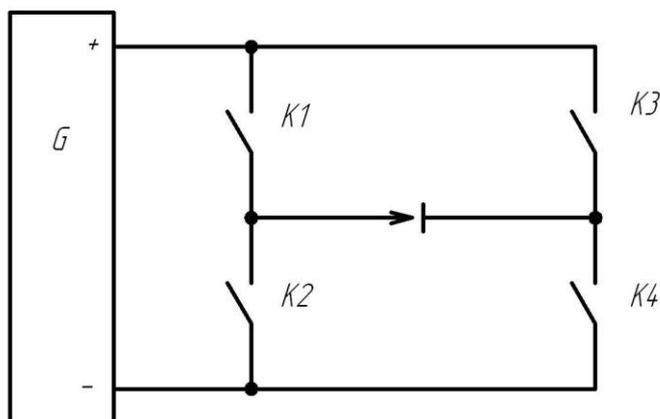
1.2 ГРИТ с инвертированием подключения дуги

Структурная схема таких ГРИТ приведена на рис.1.3 [9]. К источнику питания постоянного тока U подключена диагональ моста, образованного ключами $Q1...Q4$. Во вторую диагональ моста включен разрядный промежуток РП. Ключи в смежных плечах моста работают в противофазе. При включенных ключах $Q1$ и $Q2$ ток течет через дугу слева направо (прямая полярность), а при включении $Q3$ и $Q4$ - в другую сторону (обратная полярность). Изменяя моменты коммутации ключей, можно регулировать частоту и длительность импульсов каждой полярности при равных амплитудах.

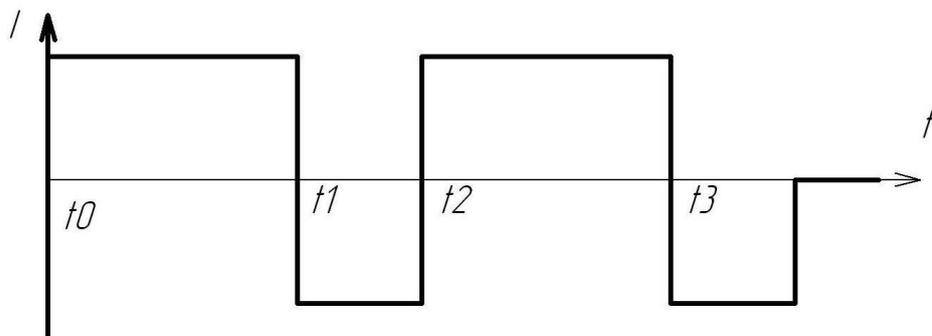
Описано большое количество ГРИТ, построенных по этой схеме. Основные отличия между ними заключаются в использовании разных типов полупроводниковых управляемых ключей. Так, например, в патенте ФРГ - 204 6227 В23К 9/10 применены транзисторы (рис.1.4).

Применение транзисторов предельно упрощает построение управляемых ключей, но в настоящее время промышленность еще не освоила достаточный выпуск сильноточных транзисторов с требуемыми временами включения и задержки. Кроме этого невысокая перегрузочная способность и большая мощность управления усложняют блоки управления и защиты транзисторов. Все это ограничивает использование таких ГРИТ.

Применение тиристоров позволяет значительно расширить диапазон сварочных токов по сравнению с транзисторами, но частотные свойства ограничены узлами искусственной коммутации тиристоров.



а) силовая схема



б) временные диаграммы
 Рис. 1.3 - Структурная схема ГРИТ с инвертированием подключения дуги.

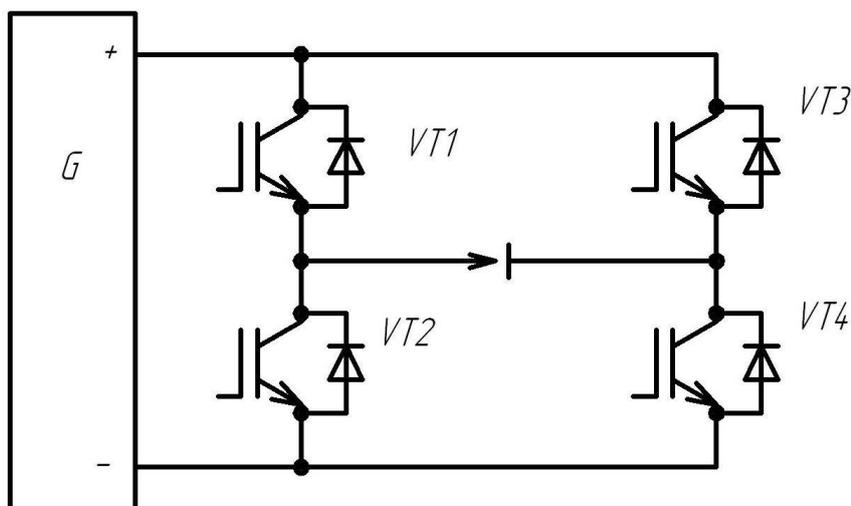


Рис. 1.4 - ГРИТ с инвертированием дуги на транзисторах

В Англии разработан ГРИТ для сварки алюминия и его сплавов [11] с узлами параллельной коммутации тиристоров моста (рис.1.5).

Недостатками этого ГРИТ являются невозможность использования для ручной сварки из-за высокого напряжения холостого хода, значительные массогабаритные показатели и высокий уровень шума дуги на его рабочей частоте 200 Гц.

При использовании двух независимых, источников постоянного тока можно построить ГРИТ с использованием только двух управляемых ключей. Примером может служить источник СПРИ-1 (рис.1.6) [12]. Он состоит из двух выпрямителей В1 и В2, подключенных к дуге через тиристоры VS1 и VS2 с параллельными узлами искусственной коммутации УИК. Регулирование тока дуги производится с помощью изменения величины балластного резистора R.

Наличие двух источников питания значительно усложняет схему и выигрыш в уменьшении количества управляемых ключей становится неоправданным. Регулирование тока с помощью балластного резистора вызывает значительные потери в нем и не позволяет отдельно регулировать амплитуды токов прямой и обратной полярностей.

скачкообразного изменения энергии магнитного поля индуктивности. Дуга, включенная последовательно с индуктивностью, будет гореть практически при любых внешних возмущениях до тех пор, пока не израсходуется энергия магнитного поля индуктивности. С использованием этого явления были разработаны ГРИТ с индуктивными накопителями (ИН) энергии, в которых последовательно с дугой включена индуктивность, запас энергии, в которой в нормальных режимах работы до нуля не уменьшается. Это позволяет значительно повысить стабильность горения дуги. ГРИТ с ИН работают в режимах источников тока и не боятся коротких замыканий дугового промежутка.

Один из первых ГРИТ с ИН [13] содержит (рис. 1.7) источник постоянного напряжения G , который через управляемый ключ $Q1$ соединен с индуктивным накопителем ИН, причем параллельно ИН включен разрядный промежуток РП.

В момент t_0 (рис.1.8) дуга возбуждена и при замыкании ключа $Q1$ ток протекает через дугу, а также начинает возрастать ток в ИН. В момент t_1 ключ $Q1$ размыкается. При этом ток ИН перехватывается в цепь дуги и протекает через нее в обратном направлении. Изменение направления протекания тока через дугу происходит скачкообразно. В течении времени $t_1...t_2$ ИН разряжается на дугу и ток в нем уменьшается. Момент t_2 выбирается с таким расчетом, чтобы ток в ИН не успевал уменьшиться до нуля. При этом в момент t_2 снова включается ключ $Q1$ и ток через дугу скачком изменяется до прежней величины.

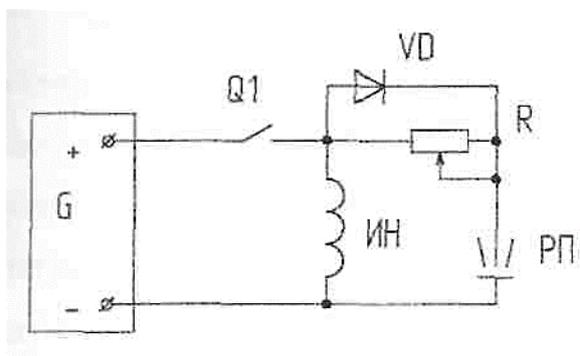


Рис.1.7 - ГРИТ с индуктивным накопителем и дуговым промежутком, подключенным параллельно

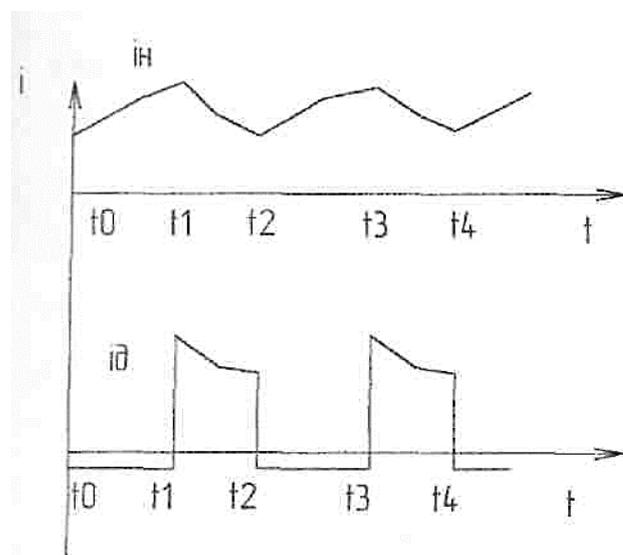


Рис. 1.8 - Временные диаграммы тока в индуктивном накопителе $I_{н}$ и тока дуги $I_{д}$

Несмотря на простоту схема не нашла широкого применения из-за ряда недостатков. Источник постоянного напряжения должен обладать безиндуктивным внутренним сопротивлением, так как в противном случае

неизбежен выход из строя управляемого ключа при его размыкании за счет перенапряжений во время разрыва индуктивного тока.

Ток ИН сильно зависит от длины дуги. Так как дуга подключается параллельно ИН, ток его заряда прямо пропорционален разряжению на дуге. Причем ток заряда ИН определяет величину тока прямой- полярности. При увеличении длины дуги ток обратной полярности уменьшается, так как он определяется разностью напряжений дуги и источника постоянного напряжения, а ток прямой полярности увеличивается. Такое несимметричное изменение токов прямой и обратной полярности приводит к ухудшению степени катодной очистки при одновременном увеличении тепловложения в изделие, что отрицательно сказывается на качестве сварного соединения. Постоянство сварочного режима возможно только при точной стабилизации длины дугового промежутка.

Для регулирования соотношения амплитуд токов прямой и обратной полярностей используется включение регулируемого активного сопротивления, зашунтированного диодом, что уменьшает коэффициент полезного действия этого ГРИТ из-за потерь на этом сопротивлении.

Индуктивные накопители энергии представляют собой электромагнитные системы, выполненные в виде обмоток из проводниковых материалов и охватывающие, как правило, ферромагнитные сердечники, имеющие воздушный зазор. При выполнении обмотки ИН в виде двух или более секций с сильной взаимоиндуктивной связью появляется возможность разработать схемы ГРИТ с улучшенными -показателями: меньшим количеством источников питания, меньшим количеством управляемых ключей, лучшими массо-габаритными показателями ИН. Секции ИН могут быть как гальванически не связанными - трансформаторные индуктивные накопители (ТИН), так и гальванически связанными автотрансформаторные индуктивные накопители (АТИН).

Одна из схем представляет собой ГРИТ [9] с двумя группами коммутирующих приборов (рис 1.9). ГРИТ состоит из источника питания G , двухсекционного индуктивного накопителя энергии автотрансформаторного типа, который через ключи $K1$ и $K2$ подключен к одной из выходных клемм источника G , а дуговой промежуток подключен между отводом от места соединения секций АТИН и другой клеммой источника G .

В качестве источника G используется источник постоянного напряжения, имеющий возможность рекуперации энергии, например электрохимический аккумулятор, электромашинный генератор, выпрямитель с емкостным фильтром на выходе.

Ключи $K1$ и $K2$ являются полностью управляемыми и работают в противофазе. Ключи могут быть выполнены различным образом: в виде транзисторов, тиристоров с узлами искусственной коммутации, запираемых тиристоров.

АТИН выполнен в виде двух обмоток $L1$ и $L2$ с сильной магнитной связью и включенных согласно по магнитному потоку.

К достоинствам описанного ГРИТ с АТИН можно отнести высокую скорость изменения тока в моменты коммутации (порядка десятков и сотен А/мкс). Это позволяет получить высокую устойчивость горения дуги за счет того, что при переходе тока через нуль с такой скоростью дуговой промежуток не успевает деионизироваться и повторное возбуждение дуги значительно облегчается.

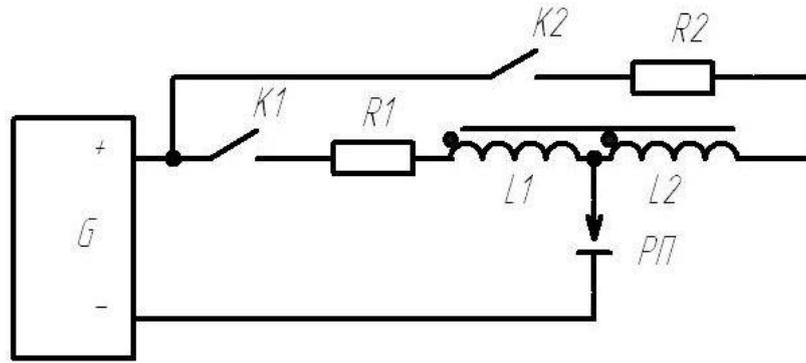
Регулирование длительности импульсов и их частоты достигается изменением моментов коммутации управляемых ключей, а регулирование соотношения токов прямой и обратной полярностей - за счет изменения соотношения индуктивностей секций АТИН.

К недостаткам этого ГРИТ можно отнести следующее: процесс разряда ИН идет со сравнительно высокой скоростью, так как разряд ИН осуществляется на суммарное напряжение ИП и дуги. При этом длительность импульса тока на интервале разряда ИН ограничена временем полной рекуперации энергии, по истечении которого в дуге наступает бестоковая пауза и она гаснет.

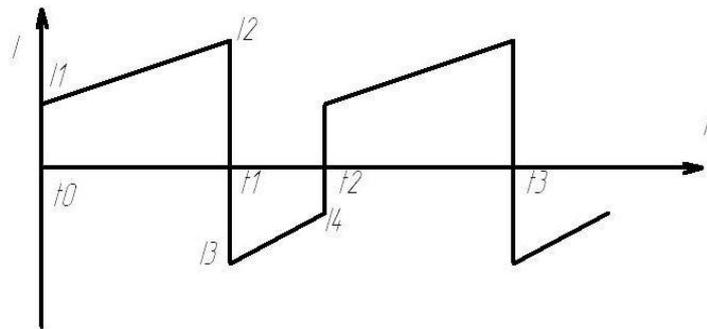
Уменьшения скорости спада тока на интервале разряда ИН можно добиться уменьшением напряжения, на которое разряжается ИН и введением в цепь разряда дополнительного источника энергии.

Уменьшения напряжения разряда ИН можно достичь соединением ключа К2 с другим полюсом ИП (рис.1.10). Это диссипативный ГРИТ.

Включение дополнительного источника должно быть таким, чтобы способствовать вводу энергии при протекании через него тока разряда. Это можно сделать выполнив источник питания со средней точкой с которой соединена дуга (рис.1.11). Такая схема называется компенсационным ГРИТ и была принята за основу при разработке силовой схемы ГИТ в данной работе.



а) принципиальная схема



б) временные диаграммы

Рис.1.9 - Рекуперативный ГРИТ с АТИН

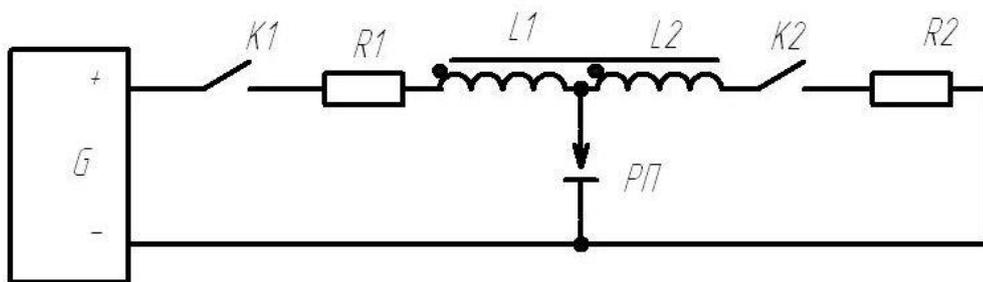


Рис1.10 - Диссипативный ГРИТ с АТИН

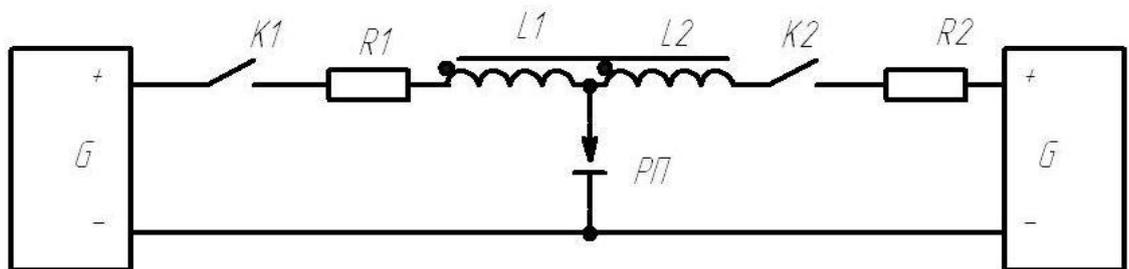


Рис. 1.11 - Компенсационный ГРИТ с АТИН

2. Расчетная часть

2.1. Разработка силовой части схемы

2.1.1. Обоснование выбранной схемы и описание принципа ее работы

В данной работе использована измененная схема Диссипативный ГРИТ с АТИН (рис. 1.10) [9]. ГИТ (рис.2.1) состоит из следующих основных элементов: управляемых источников питания $G1$ и $G2$, $VT1$ - $VT2$; АТИН состоящего из секций $L1$ и $L2$.

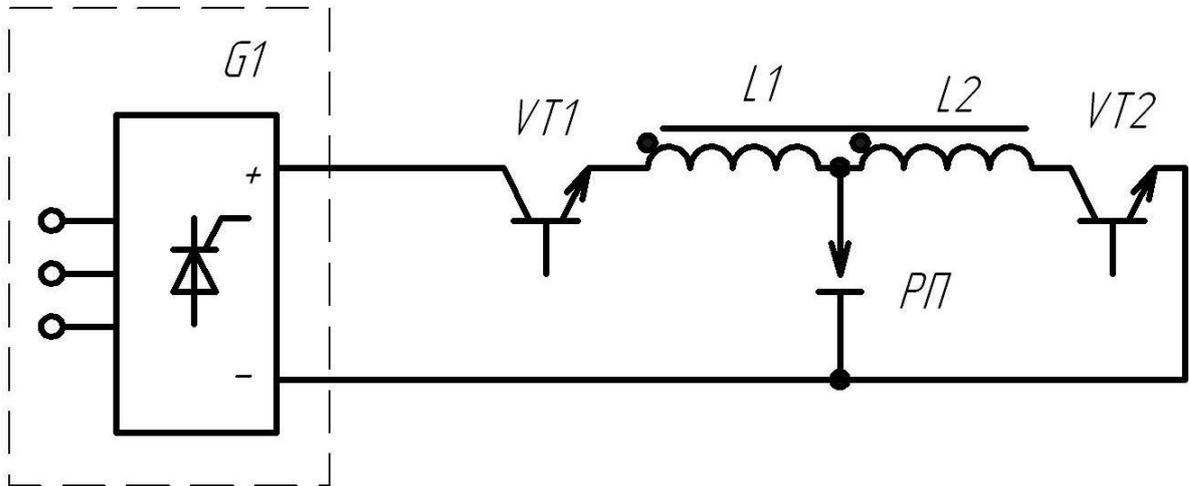


Рис. 2.1. – Упрощенная силовая схема ГИТ.

Рассмотрим работу схемы. В момент времени t_0 (рис.2.2) включается источник напряжения $G1$ (открываются тиристоры выпрямителя $VS1$ - 3) и открывается транзистор $VT1$.

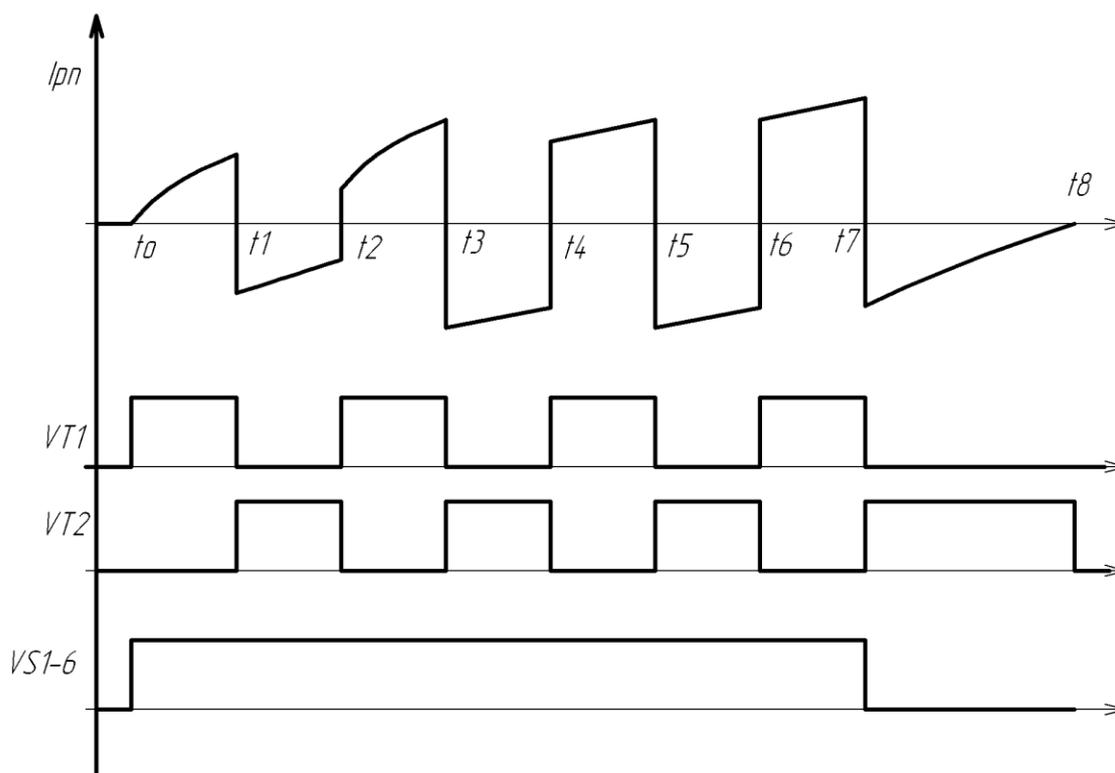


Рис. 2.2 – Временные диаграммы силовой части схемы..

Ток в дуге I_{pn} начинает возрастать по цепи G1-VT1-РП. В зависимости от необходимой длительности импульса тока сварки тока выбирается момент t_1 включения транзистора VT2 и выключения транзистора VT1. За счет наличия взаимной индуктивности ток I_{pn} перебрасывается в цепь L2-VT2-РП и спадает из-за наличия потерь. В установившемся режиме при одинаковых L1 и L2 положительный и отрицательный токи достигают установившегося значения и их начальные значения равны между собой. При попытке одновременно выключить оба транзистора накопленная в индуктивностях L1 и L2 энергия не даст току мгновенно уменьшиться и приведет к пробоем транзисторов. Поэтому такой режим недопустим. Для завершения сварочного импульса необходимо закрыть транзистор VT1, открыть транзистор VT2 (t_7). При этом можно уже закрыть тиристоры управляемого выпрямителя. Дождавшись уменьшения тока до нуля (момент t_8) можно прекратить формирование управляющих импульсов на транзисторы.

2.1.2. Разработка полной силовой части схемы.

На основании рис.2.1 разработали структурную схему рис. 2.3. Источником энергии будет являться 3х фазная сеть 380 В 50 Гц. Для управления работой источника G1 и транзисторами ГИТ потребуется система управления. Для понижения напряжения до уровня, необходимого для формирования дуги используем трансформатор. Для уменьшения нагрузки на сеть используем сглаживающий L-C фильтр.

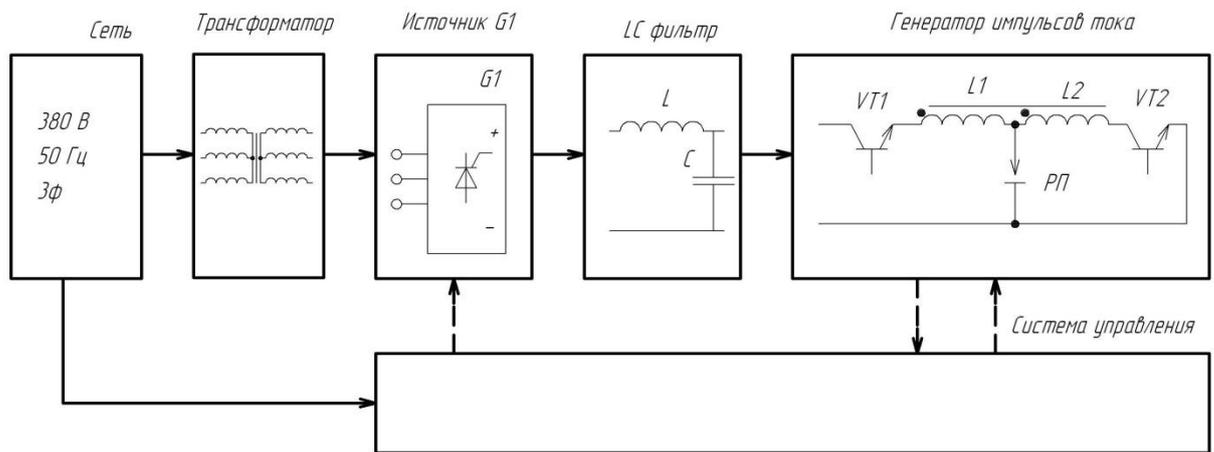


Рис. 2.3. – Структурная схема ГИТ.

Полная силовая часть схемы изображена на рис.2.4.

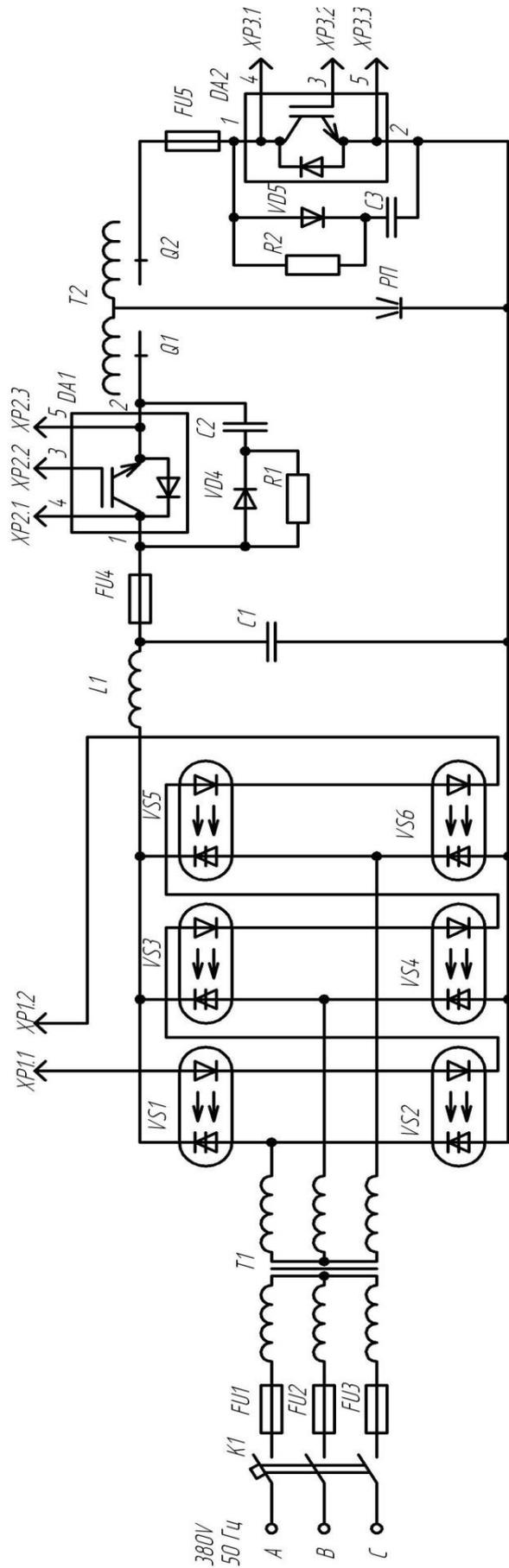


Рис. 2.4. - Принципиальная схема силовой части ГИТ

2.2. Расчет силовой части схемы

2.2.1. Принятые допущения

а) Замена дуги источником напряжения.

Нелинейное сопротивление, которым является дуга, при расчетах заменяется источником напряжения E_d , направленным против тока протекающего через него [9]. Для тока протекающего в прямом направлении $E_{dp}=6\text{В}$, в обратном $E_{dn}=18\text{ В}$. Это допущение сделано на основании постоянства напряжения на всем участке регулирования ГРИТ по току на вольтамперной характеристике дуги.

б) Замена цепи питания источником напряжения. Источники постоянного напряжения и индуктивно-емкостные фильтры, которые позволяют уменьшить импульсную токовую нагрузку источников питания, заменены источником постоянного напряжения E_{p1} . Этот источник регулируемый. Его максимальное напряжение исходя из требований техники безопасности принимаем равным 100 В .

2.2.2. Законы изменения токов и напряжений в схеме

В зависимости от состояния транзисторов каждый период работы ГИТ разделяется на два интервала [9].

Первый интервал. Схема замещения представлена на рис.2.5. Заряд индуктивного накопителя через секцию $L1$. Интервал начинается в момент времени t_0 (рис.2.2.) включением транзистора $VT1$ и заканчивается в момент t_1 выключением этого транзистора. Формируется импульс положительной полярности.

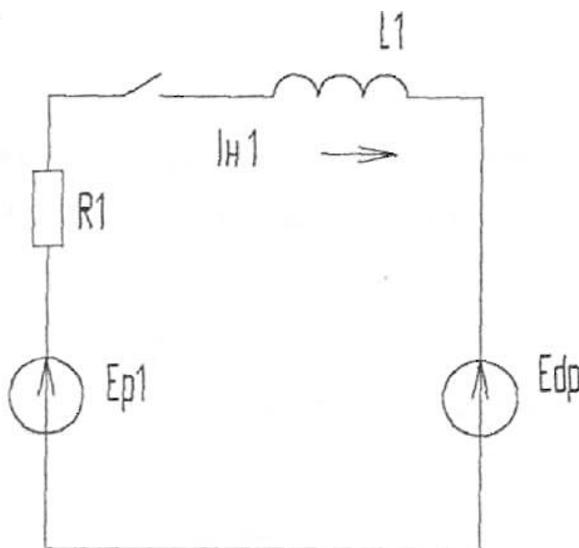


Рис.2.5.- Схема замещения на первом интервале

Начальными условиями в установившемся режиме являются начальный ток I_{n1} через секцию $L1$. $i_{L1}(t_0)=I_{n1}$ Ток дуги изменяется на первом интервале от I_{n1} до I_{k1} по закону [9]

$$i_1(t) = \frac{E_{p1} - E_{dp}}{R_1} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_1}\right)} \right] + I_{H1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau_1}\right)} \quad (2.1)$$

Где T_1 - постоянная времени цепи заряда

$$\tau_1 = L_1/R_1 \quad (2.2)$$

Конечное значение тока i_1 на первом интервале заряда можно определить из выражения (2.1) при значении $t=t_1$

$$i_{k1} = \frac{E_{p1} - E_{dp}}{R_1} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{t_1}{\tau_1}\right)} \right] + I_{H1} \cdot e^{-\left(\frac{t_1}{\tau_1}\right)} \quad (2.3)$$

Второй интервал. Схема замещения представлена на рис.2.6. Заряд индуктивного накопителя через секцию L2. Интервал начинается в момент времени t_2 (рис. 2.2) включением транзистора VT3 и заканчивается в момент t_3 выключением этого транзистора. Формируется импульс отрицательной полярности длительности T_p .

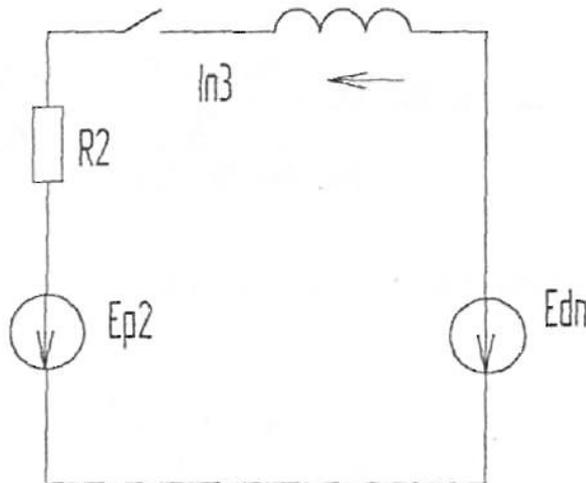


Рис. 2.6 - Схема замещения на втором интервале заряда ИН

Начальными условиями в установившемся режиме являются начальный ток i_{L2} через секцию L2. $i_{L2}(t_2) = i_{n2}$

Ток дуги изменяется на первом интервале от i_{n3} до i_{k3} по закону [9]:

$$i_3(t) = - \left(\frac{E_{p2} - E_{dn}}{R_2} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_2}\right)} \right] + (-I_{H3}) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau_2}\right)} \right), \quad (2.4)$$

Где τ_2 - постоянная времени цепи заряда

$$\tau_2 = L_2/R_2 \quad (2.5)$$

Конечное значение тока i_2 на втором интервале заряда можно определить из выражения (3.6) при значении $t=t_3-t_2$

$$I_{k3} = \left(\frac{E_{p2} - E_{dn}}{R_2} \cdot \left[1 - e^{\left(-\frac{t3-t2}{\tau_2} \right)} \right] + (-I_{H3}) \cdot e^{\left(-\frac{t3-t2}{\tau_2} \right)} \right) \quad (2.6)$$

Совместное решение уравнений (2.3), (2.5) позволяет получить выражения для определения начальных и конечных токов для указанных выше четырех интервалов характеризующих установившийся режим через параметры ГИТ.

$$I_{k1} = \frac{a1 + \frac{a2 \cdot a7}{K} + \frac{a2 \cdot a8 \cdot a5}{K} + a2 \cdot a8 \cdot a6 \cdot a3}{1 - a2 \cdot a8 \cdot a6 \cdot a4} \quad (2.7)$$

Где вспомогательные коэффициенты

$$a1 = \frac{E_{p1} - E_{dp}}{R_1} \cdot \left[1 - e^{\left(-\frac{t1}{\tau_1} \right)} \right] \quad (2.8)$$

$$a2 = e^{\left(-\frac{t1}{\tau_1} \right)} \quad (2.9)$$

$$a3 = \frac{-E_{dp}}{R_1} \cdot \left[1 - e^{\left(-\frac{t2-t1}{\tau_1} \right)} \right] \quad (2.10)$$

$$a4 = e^{\left(-\frac{t2-t1}{\tau_1} \right)} \quad (2.11)$$

$$a5 = \frac{E_{p2} - E_{dn}}{R_2} \cdot \left[1 - e^{\left(-\frac{t3-t2}{\tau_2} \right)} \right] \quad (2.12)$$

$$a6 = e^{\left(-\frac{t3-t2}{\tau_2} \right)} \quad (2.13)$$

$$a7 = \frac{-E_{dn}}{R_2} \cdot \left[1 - e^{\left(-\frac{t4-t3}{\tau_2} \right)} \right] \quad (2.14)$$

$$a_8 = e^{\left(-\frac{t_4 - t_3}{\tau_2}\right)} \quad (2.15)$$

$$I_{k2} = a_3 + a_4 \cdot I_{k1} \quad (2.16)$$

$$I_{k3} = -(a_5 + a_6 \cdot K \cdot I_{k2}) \quad (2.17)$$

$$I_{k4} = -(a_7 + a_8 \cdot (-I_{k3})) \quad (2.18)$$

на основании приведенных выражений определим основные параметры транзисторов.

Транзистор VT1.

Средний ток за период T:

$$I_{1c} = \frac{1}{T_p} \cdot \int_0^{t_1} i_1(t) dt \quad (2.19)$$

Действующий ток за период T:

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{T_p} \cdot \int_0^{t_1} i_1^2(t) dt} \quad (2.20)$$

Максимальный ток

$$I_{1m} = I_{k1} \quad (2.21)$$

Напряжения на интервалах

На первом интервале:

$$U_{11} = U_n \quad (2.22)$$

Где U_n - напряжение насыщения транзистора, В.

На втором интервале:

$$U_{14} = E_{p1} - E_{dn} - K \cdot (E_{dn} - U_n) \quad (2.23)$$

Средний ток дуги на интервале положительного импульса тока:

$$I_{cp} = I_{c1} + I_{c2} \quad (2.24)$$

Средний ток дуги на интервале отрицательного импульса тока:

$$I_{cn} = I_{c3} + I_{c4} \quad (2.25)$$

Мощности, выделяемые в РП на интервалах

На первом интервале:

$$P_{s1} = I_{1c} \cdot E_{dp} \quad (2.26)$$

На втором интервале: $P_{s2} = I_{2c} \cdot E_{dp}$

Суммарная мощность, выделяемая в РП $P_s = P_{s1} + P_{s2}$

Входные мощности на интервалах На первом интервале: $P_{d1} = I_c \cdot E_{p1}$

На втором интервале: $P_{d3} = I_{c3} \cdot (-E_{p2})$

Выражения приведенные в данном пункте позволяют при заданных параметрах генератора L_1, L_2, R_1, R_2 , величинах напряжений $E_{p1}, E_{p2}, E_{dp}, E_{dn}$ и значениях времени t_1, t_2 , однозначно определить мгновенные, средние и действующие токи на интервалах, максимальные напряжения на транзисторах, мощности выделяемые в РП, входные мощности, КПД ГИТ. Значения тока дуги приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Значения тока дуги

Параметр	Значения времени, мс									
	0	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.2
ИД, А	352	366	368	367	368	369	263	309	231	280

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Значения времени, мс									
	2.5	2.7	3.0	3.2	3.5	3.7	4.0	4.2	4.5	4.7
ИД, А	204	254	181	232	161	213	143	197	129	183

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Значения времени, мс									
	5.0	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.5	6.7	7.0	7.2
ИД/ А	116	-198	-165	-245	-208	-284	-244	-319	-276	-348

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Значения времени, мс									
	7.5	7.7	8.0	8.2	8.5	8.7	9.0	9.2	9.5	9.7
ИД, А	-352	-355	-356	-352	-335	-322	320	-319	-311	-305

2.3. Выбор элементов силовой части схемы

2.3.1. Выбор элементов ГИТ

Расчет индуктивного накопителя

Исходные данные:

$L_1 = 1$ мГн;

$L_2 = 1$ мГн.

Индуктивный накопитель представляет собой две маг-нито-связанные индуктивности [14]:

$$L_1 = w_1^2 \cdot G \quad (2.27)$$

$$L_2 = w_2^2 \cdot G, \quad (2.28)$$

Где w_1, w_2 - число витков первой и второй секции ИН;

G - магнитная проводимость, Гн:

$$G = \mu_a \cdot S / l \quad (2.29)$$

Где μ_a - абсолютная магнитная проницаемость воздуха

$$\mu_a = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Г/м};$$

S - сечение сердечника, м^2 ;

l - длина воздушного зазора, м.

Суммарная индуктивность:

$$L = (w_1 + w_2)^2 \cdot G \quad (2.30)$$

Если $w_1 = w_2$,

$$\text{то } L = 4 \cdot w^2 \cdot G = 4 \cdot L_1 = 4 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 4 \text{ мГн.}$$

Примем сечение сердечника $S = 232,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Величина воздушного зазора:

$$\delta = l/2 = L \cdot I^2 \cdot \mu_a / 2 \cdot S \cdot B^2, \quad (2.31)$$

где $I = 315 \text{ А}$ - ток в суммарной индуктивности;

$B = 1,5 \text{ Т}$ - индукция насыщения для стали Э330А.

$$\delta = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 315^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} / 2 \cdot 232,8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5^2 = 4,761 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (2.32)$$

Определим общее число витков:

$$w = \sqrt{\frac{L \cdot l}{\mu_a \cdot S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 9,5 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 232,8 \cdot 10^{-4}}} = 26 \quad (2.33)$$

Принимаем $w_1 = w_2 = 13$.

Сечение медного провода исходя из допустимой плотности тока $j = 4 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$:

$$S_{\text{пр}} = I / j = 315 / 4 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Выбираем два параллельных прямоугольных обмоточных провода марки ПБ сечением с учетом изоляции:

$$B_{\text{приз}} = a_{\text{из}} \cdot b_{\text{из}} = 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10,5 \cdot 10^{-3} = 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Площадь сечения окна

$$S_o = w \cdot 2 \cdot S_{\text{приз}} / K_z, \quad (2.34)$$

Где $K_z = 0,4$ - коэффициент заполнения медью.

$$S_o = 26 \cdot 2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-5} / 0,4 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$S_o = a \cdot b = 0,05 \cdot 0,12$$

Число витков в слое:

$$N_{\text{вит}} = (b - 2 \cdot \xi_o) / 2 \cdot b_{\text{из}}, \quad (2.35)$$

Где $\xi_o = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - толщина изоляционных прокладок.

$$N_{\text{вит}} = (0,12 - 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 10,5 \cdot 10^{-3} = 5.$$

Число слоев в обмотке:

$$N_{\text{сл}} = w / N_{\text{вит}} = 26 / 5 = 5.$$

Радиальный размер обмотки

$$R = (\delta_{\text{из}} + a_{\text{из}}) \cdot N_{\text{сл}}, \quad (5.10)$$

Где $\delta_{\text{из}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - толщина изоляционных прокладок между слоями.

$$R = (1,5 \cdot 10^{-3} + 4,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 5 = 0,03 \text{ м.}$$

Средняя длина витка:

$$L_{cp} = 2 \cdot (a_m + b_m) + 2 \cdot \pi \cdot r, \quad (2.36)$$

Где $a_m = 0,15$ м - ширина пластин магнитопровода;
 $b_m = 0,15$ м - ширина набора магнитопровода;

r - радиальный размер обмотки на углах, м:

$$r = 0,5 \cdot R \cdot K_B = 0,5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 0,015 \text{ м}, \quad (2.37)$$

где $K_B = 1$ - коэффициент выпучивания.

$$L_{cp} = 2 \cdot (0,15 + 0,15) + 2 \cdot \pi \cdot 0,015 = 0,694 \text{ м}.$$

Вес медной обмотки:

$$G_M = \gamma_m \cdot w \cdot L_{cp} \cdot 2 \cdot S_{приз}, \quad (2.38)$$

Где $\gamma_m = 8900$ кг/м³ - удельный вес меди.

$$G_M = 8900 \cdot 26 \cdot 0,694 \cdot 2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-5} = 15 \text{ кг}.$$

Вес магнитопровода:

$$G_M = \gamma_{ст} \cdot ((2 \cdot a + 2 \cdot a_m) \cdot (b + a_m) - 2 \cdot a \cdot b) \cdot a_m, \quad (2.39)$$

Где $\gamma_{ст} = 7800$ кг/м³ - удельный вес стали.

$$G_M = 7800 \cdot ((2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,15) \cdot (0,12 + 0,15) - 2 \cdot 0,05 \cdot 0,12) \cdot 0,15 = 109 \text{ кг}.$$

Эскиз ИН приведен на рис.2.7

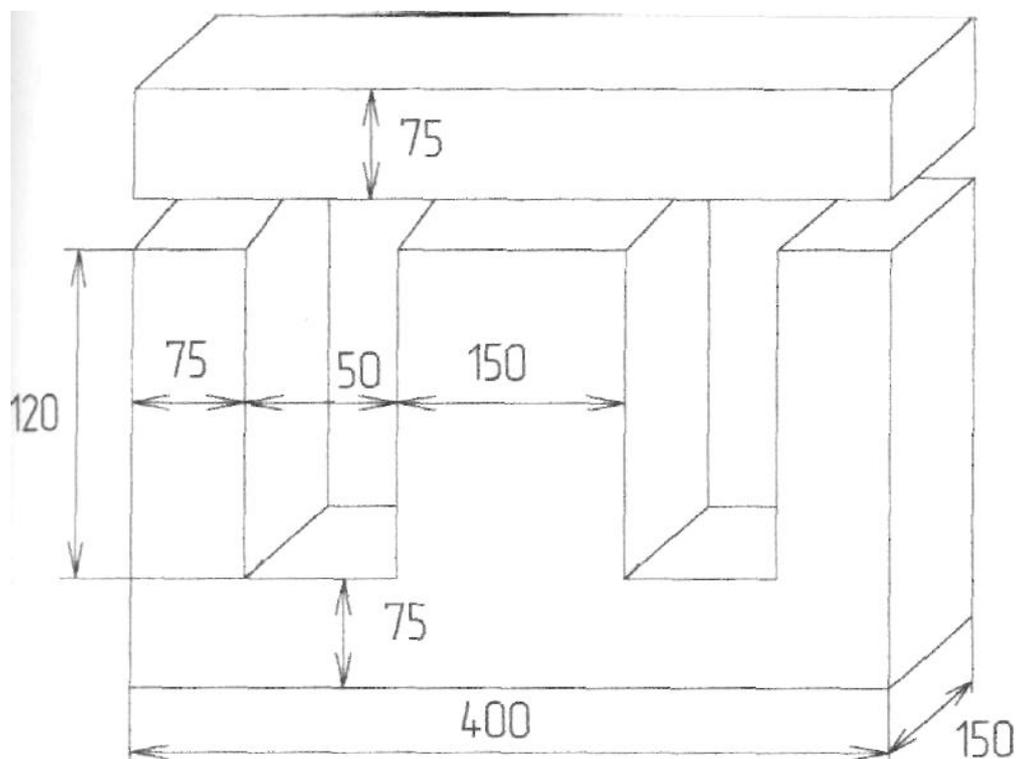


Рис.2.7 - Магнитопровод и ярмо ИН

2.3.2. Расчет выпрямителя

Для выпрямителя выбираем трехфазную мостовую схему (рис.2.8) [15]. Выпрямитель будем в неуправляемом режиме и рассчитывать согласно методике расчета неуправляемого выпрямителя. Управляемым он выбран с целью возможности отключения схемы от сети при необходимости. Нумерация элементов на приведенном рисунке соответствует нумерации элементов на общей схеме силовой части.

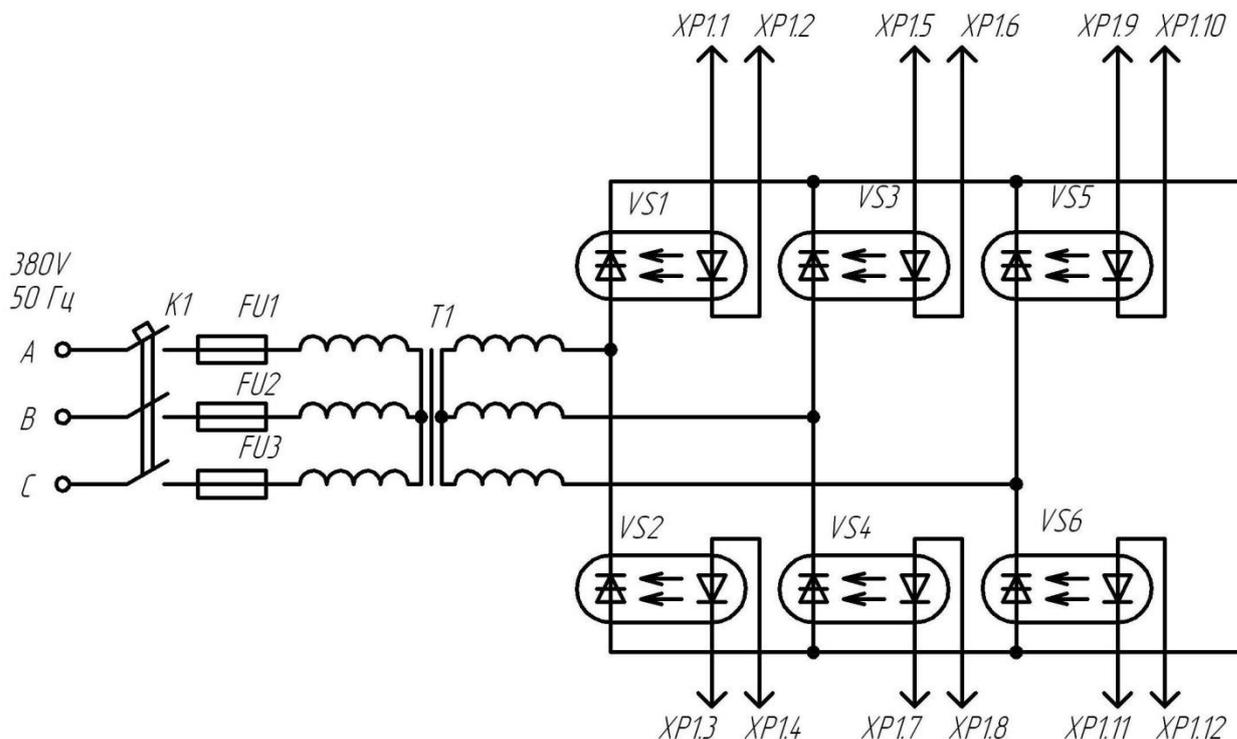


Рис. 2.8– Схема выпрямителя

Исходные данные для расчета:

Выпрямленное напряжение $E_o=100\text{В}$;

Выпрямленный ток $I_o=172\text{ А}$;

Напряжение питающей сети $U_c=380\text{ В}$;

Число фаз питающей сети $m_c=3$;

Частота питающей сети $f=50\text{ Гц}$;

Коэффициент пульсации напряжения $\Delta E_o=5\%$.

Определение напряжения на вторичной обмотке, габаритной мощности трансформатора и выбор вентилей будем проводить при $\alpha=0$.

Для выбора диодов определим значения:

Средний выпрямленный ток:

$$I_{co}=I_o/3=172/3=57,3\text{ А.}$$

Амплитуда обратного напряжения:

$$U_{обр}=1,1 \cdot E_o=1,1 \cdot 100=110\text{ В.}$$

Амплитуда тока через диоды:

$$I_m=I_o=172\text{ А.}$$

Прямое напряжение на диодах

$$\Delta E_B=1\text{ В.}$$

Сопротивление обмоток трансформатора приведенное к фазе вторичной обмотки:

$$r_{TP} = \frac{Kr \cdot E_o}{2 \cdot I_o \cdot f \cdot B} \cdot \sqrt[4]{\frac{S \cdot f \cdot B}{E_o \cdot 2 \cdot I_o}}, \quad (2.40)$$

где $K_T=2,5$ - коэффициент схемы;

$S=3$ - число стержней якоря;

$B=0,8$ Тл - магнитная индукция.

$$r_{TP} = \frac{2,5 \cdot 100}{2 \cdot 172 \cdot 50 \cdot 0,8} \cdot \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 50 \cdot 0,8}{100 \cdot 2 \cdot 172}} = 0,0044 \text{ Ом.} \quad (2.41)$$

Индуктивность рассеяния обмоток:

$$L_S = \frac{K_L \cdot S \cdot E_0}{(P-1)^2 \cdot 2 \cdot I_0 \cdot f \cdot B \cdot \sqrt[4]{\frac{S \cdot f \cdot B}{E_0 \cdot 2 \cdot I_0}}},$$

где $K_L=0,001$ - коэффициент схемы;

$P=2$ - число чередующихся обмоток.

$$L_S = \frac{0,001 \cdot 3 \cdot 100}{(2-1)^2 \cdot 2 \cdot 172 \cdot 50 \cdot 0,8 \cdot \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 50 \cdot 0,8}{100 \cdot 2 \cdot 172}}} = 0,09 \text{ мГн.} \quad (2.42)$$

Падение напряжения на активном и реактивном сопротивлениях трансформатора:

$$\Delta E_T = 4 \cdot I_0 \cdot r_{TP} = 4 \cdot 172 \cdot 0,0044 = 3 \text{ В.} \quad (2.43)$$

$$\Delta E_X = 12 \cdot I_0 \cdot f \cdot L_S = 12 \cdot 172 \cdot 50 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} = 9,3 \text{ В} \quad (2.44)$$

Падение напряжения на диодах:

$$\Delta E_{VcX} = 2 \cdot \Delta E_V = 2 \cdot 1 = 2 \text{ В.}$$

Выпрямленное напряжение холостого хода выпрямителя

$$E_{0X} = E_0 + \Delta E_T + \Delta E_X + \Delta E_{VcX} = 100 + 3 + 9,3 + 2 = 114,3 \text{ В.} \quad (2.45)$$

Уточненная амплитуда обратного напряжения на диоде:

$$U_{обр} = 1,05 \cdot E_{0X} = 1,05 \cdot 114,3 = 120 \text{ В.}$$

ЭДС фазы вторичной обмотки:

$$U_{2X} = 0,43 \cdot E_{0X} = 0,43 \cdot 114,3 = 49,2 \text{ В.}$$

Действующее значение тока фазы:

$$I_2 = 0,82 \cdot 2 \cdot I_0 = 0,82 \cdot 2 \cdot 172 = 282 \text{ А.}$$

Ток вентиля:

$$I_V = 0,58 \cdot I_0 = 0,58 \cdot 2 \cdot 172 = 99,8 \text{ А.}$$

Мощность выделяемая на диодах:

$$P_V = \Delta E_V \cdot I_V = 1 \cdot 99,8 = 99,8 \text{ Вт.} \quad (5.20)$$

Коэффициент трансформации:

$$n = U_{2X} / U_C = 49,2 / 380 = 0,129$$

Действующее значение тока первичной обмотки:

$$I_1 = 0,82 \cdot n \cdot 2 \cdot I_0 = 0,82 \cdot 0,129 \cdot 2 \cdot 172 = 36,5 \text{ А.} \quad (2.46)$$

Габаритная мощность трансформатора:

$$P_{габ} = 1,05 \cdot E_{0X} \cdot 2 \cdot I_0 = 1,05 \cdot 114,3 \cdot 2 \cdot 172 = 41280 \text{ Вт.} \quad (2.47)$$

По результатам расчета выберем полупроводниковые приборы.

Выпрямительный мост удобно собрать из диодно-тиристорных модулей. Каждый такой модуль состоит из диода и тиристора и имеет гальвано развязанное основание-теплоотвод. Выбрали модули типа М2ТОГО-63-6-3И производства ООО "Электровыпрямитель-Север" С.-Петербург.

2.3.3. Расчет трансформатора

Действующие значения токов и напряжений:

Фазы первичной обмотки $U_1=380$ В;

Фазы вторичной обмотки $U_{2x}=49,2$ В;

Ток первичной обмотки $I_1=36,5$ А;

Ток вторичной обмотки $I_2=245$ А;

Частота сети $f=50$ Гц;

Габаритная мощность $P_{габ}=41280$ Вт;

Число фаз $S=3$.

Определим геометрические размеры магнитопровода [14]:

$$Q_{ст} \cdot Q_0 = \frac{P_{GAB}}{2,22 \cdot f \cdot B \cdot \delta \cdot n_{TP} \cdot S_c \cdot K_c \cdot K_M}, \quad (2.48)$$

где $Q_{ст}$ - полное сечение стержня несущего обмотки, m^2 ;

Q_0 - площадь окна приходящегося на обмотки одного стержня, m^2 ;

$B=1,02$ Тл - максимальная индукция в магнитопроводе для стали марки Э340 толщиной 0,08 мм;

$\delta=1 \cdot 10^6$ А/ m^2 - плотность тока в обмотках для провода марки ПЭЛБД;

$n_{TP}=0,97$ - КПД трансформатора;

$S_c=3$ - число стержней;

$K_c=0,8$ - коэффициент заполнения сталью;

$K_M=0,3$ - коэффициент заполнения медью;

$$Q_{ст} \cdot Q_0 = \frac{41280}{2,22 \cdot 50 \cdot 1,02 \cdot 10^6 \cdot 0,97 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 0,3} = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (2.49)$$

$Q_{ст}=a \cdot c$

$Q_0=b \cdot h$

Ориентировочное значение ширины сердечника:

$$a = 0,7 \cdot \sqrt[4]{Q_{ст} \cdot Q_0} = 0,7 \cdot \sqrt[4]{5,2 \cdot 10^{-4}} = 0,106 \text{ м}. \quad (2.50)$$

Принимаем: $a=0,11$ м;

$b=a=0,11$ м;

$c=1,5 \cdot a=1,5 \cdot 0,11=0,165$ м;

$h=2,5 \cdot a=2,5 \cdot 0,11=0,275$ м.

$Q_{ст}=a \cdot c=0,11 \cdot 0,165=0,018 \text{ м}^2$.

$Q_0=b \cdot h=0,11 \cdot 0,275=0,03 \text{ м}^2$.

Расчет обмоток трансформатора.

ЭДС одного витка обмотки;

$$e=4,44 \cdot f \cdot B \cdot Q_{ст} \cdot K_c=4,44 \cdot 50 \cdot 1,02 \cdot 0,0188 \cdot 0,8=3,3 \text{ В}. \quad (2.51)$$

Ориентировочные падения напряжения на обмотках:

$$\Delta U_1 = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot U_1 \cdot 8 \cdot a/c = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot 38 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,667 = 3,8 \text{ В.}$$

$$\Delta U_2 = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot U_{2x} \cdot 5 \cdot a/c = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot 49,2 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 0,667 = 0,49 \text{ В.}$$

Число витков обмоток:

$$w_1 = (U_1 - \Delta U_1)/e = (38 - 3,8)/3,3 = 115 \quad (2.25)$$

$$w_2 = (U_{2x} - \Delta U_2)/e = (49,2 - 0,49)/3,3 = 15 \quad (2.26)$$

Диаметр провода:

$$d_1 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_1}{\delta}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{36,5}{10^6}} = 6,8 \text{ мм.} \quad (2.52)$$

$$d_2 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{I_2}{\delta}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{282}{10^6}} = 19 \text{ мм.} \quad (2.53)$$

Выбираем по два параллельных провода марки ПЭЛБД

$$d_1 = 4 \text{ мм; } d_2 = 9 \text{ мм.}$$

Для уточнения падения напряжения в обмотках уточним среднюю длину витка:

$$l_{ср} = 2 \cdot (a+c) + \pi \cdot b = 2 \cdot (0,11 + 0,165) + 71 \cdot 0,11 = 0,896 \text{ м} \quad (2.54)$$

Длина обмоток:

$$L_1 = w_1 \cdot l_{ср} = 115 \cdot 0,896 = 103 \text{ м}$$

$$L_2 = w_2 \cdot l_{ср} = 15 \cdot 0,896 = 13,43 \text{ м.}$$

Уточним падения напряжения

$$\Delta U_1 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot \Pi \cdot \Pi / 4 \cdot d_1^2 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot 36,5 \cdot 103 / 4 \cdot 0,004^2 = 1,3 \text{ В.}$$

$$\Delta U_2 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot \Pi \cdot \Pi / 4 \cdot d_2^2 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot 245 \cdot 13,4 / 4 \cdot 0,009^2 = 0,26 \text{ В.}$$

Ток намагничивания трансформатора:

$$I_{\mu} = H \cdot l_{ср} / w_1, \quad (2.55)$$

Где $H = 220 \text{ А/м}$ - напряженность магнитного поля для стали Э340 и $B = 1,02 \text{ Тл}$.

$l_{ср}$ - средняя длина магнитной цепи для трехфазных сердечников:

$$l_{ср} = 2 \cdot (2 \cdot b + h) + \pi \cdot a = 2 \cdot (2 \cdot 0,11 + 0,275) + \pi \cdot 0,11 = 1,336 \text{ м.}$$

$$I_{\mu} = 220 \cdot 1,336 / 115 = 2,56 \text{ А.}$$

Масса сердечника:

$$G = a \cdot c \cdot (6 \cdot a + 8 \cdot b + 3 \cdot h) \cdot \gamma_{ст} \cdot K_{ср} = 0,11 \cdot 0,165 \cdot (6 \cdot 0,11 + 8 \cdot 0,11 + 3 \cdot 0,275) \cdot 7650 \cdot 0,8 = 262,7 \text{ кг.} \quad (2.56)$$

Потери в сердечнике:

$$P_{ср} = R_{уд} \cdot G \quad (2.57)$$

Где $R_{уд} = 1,5 \text{ Вт/кг}$ - удельные потери в стали Э340.

$$P_{ср} = 1,5 \cdot 262,7 = 394 \text{ Вт.}$$

Ток холостого хода трансформатора:

$$I_{хх} = \sqrt{\frac{P_{ср}^2}{U_1^2} + I_{\mu}^2} = \sqrt{\frac{394^2}{380^2} + 2,56^2} = 2,76 \text{ А.} \quad (2.58)$$

Ток первичной обмотки с учетом потерь

$$I_{обм} = \sqrt{\left(0,125 \cdot I_2 + \frac{P_c}{U_1}\right)^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{\left(0,125 \cdot 282 + \frac{394}{380}\right)^2 + 2,56^2} = 36,38 \text{ А.} \quad (2.59)$$

Потери в меди:

$$\Pi = w_1 \cdot l_{cpB} = 115 \cdot 0,896 = 103 \text{ м. } L_2 = w_2 \cdot l_{cpB} = 15 \cdot 0,896 = 13,43 \text{ м.}$$

Потери в меди:

$$P_M = \Pi \cdot I_{обм}^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2, \quad (2.60)$$

$$\text{Где } r_1 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot \Pi / 4 \cdot d_1^2 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot 103 / 4 \cdot 0,004^2 = 0,036 \text{ Ом.}$$

$$r_2 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot 12 / 4 \cdot d_2^2 = 2,25 \cdot 10^{-8} \cdot 12 / 4 \cdot 0,004^2 = 0,093 \text{ мОм.}$$

$$P_M = 3 \cdot 36,38^2 \cdot 0,036 + 245^2 \cdot 0,0009 = 122 \text{ Вт.}$$

Эскиз магнитопровода трансформатора приведен на рис.2.9.

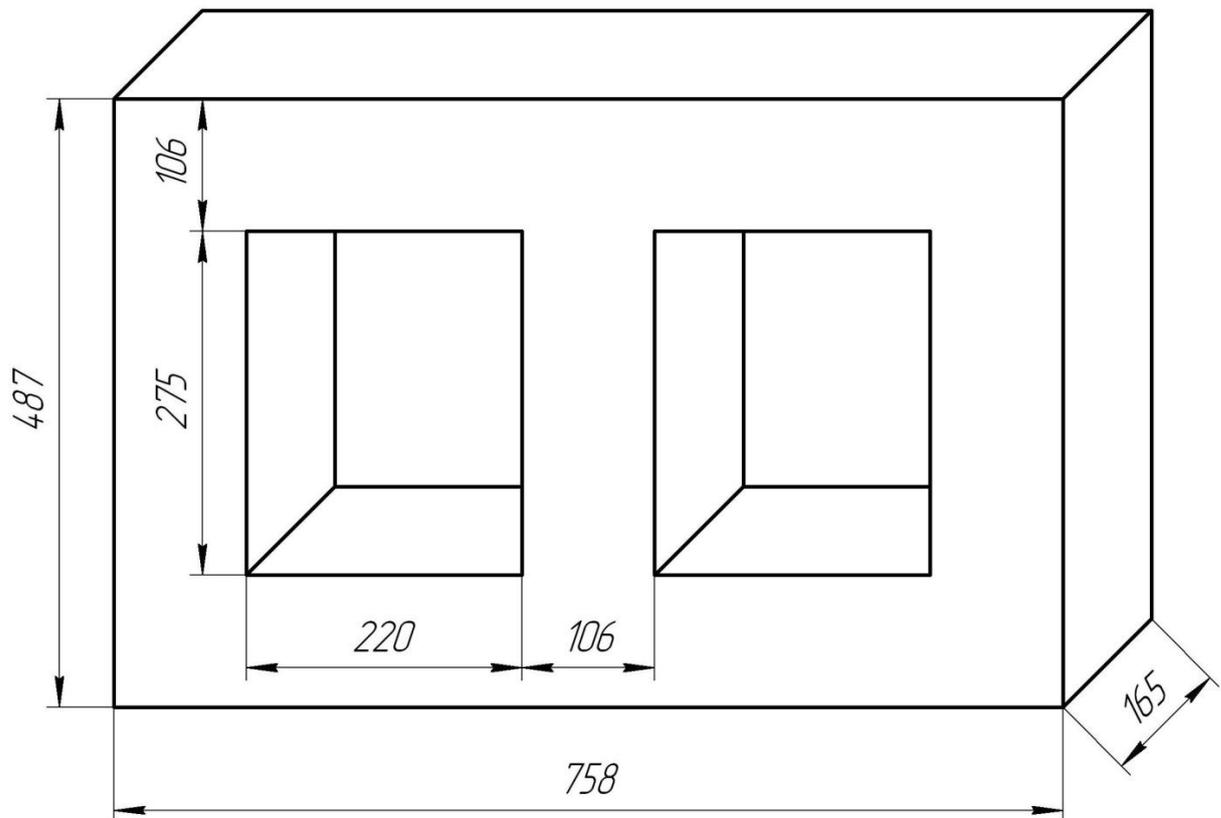


Рис. 2.9 - Эскиз магнитопровода трансформатора.

2.3.4. Выбор полупроводниковых приборов

Выбор транзисторов

В качестве силовых транзисторов DA1, DA2 выбираем модули на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) [16]. Перечислим основные особенности модулей.

Основные особенности:

- МОП-управление
- NPT-технология

- Низкий остаточный ток со слабой температурной зависимостью
- Высокая стойкость к токам короткого замыкания
- Встроенный инверсный быстросовстнавливающийся диод с "мягкой" характеристикой обратного восстановления
- Низкая внутренняя индуктивность корпусов модулей
- Внутренняя изоляция обеспечивается DBC-керамикой из оксида или нитрида алюминия

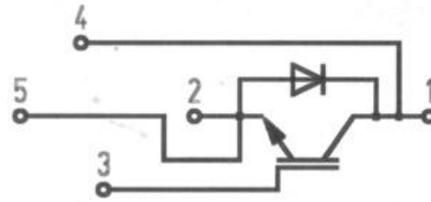
Области применения:

- Инверторы
- Системы управления серводвигателями и роботами
- Прерыватели постоянного тока
- Системы управления скоростью вращения электродвигателей переменного тока
- Индукционный нагрев
- Источники бесперебойного питания
- Электросварочное оборудование

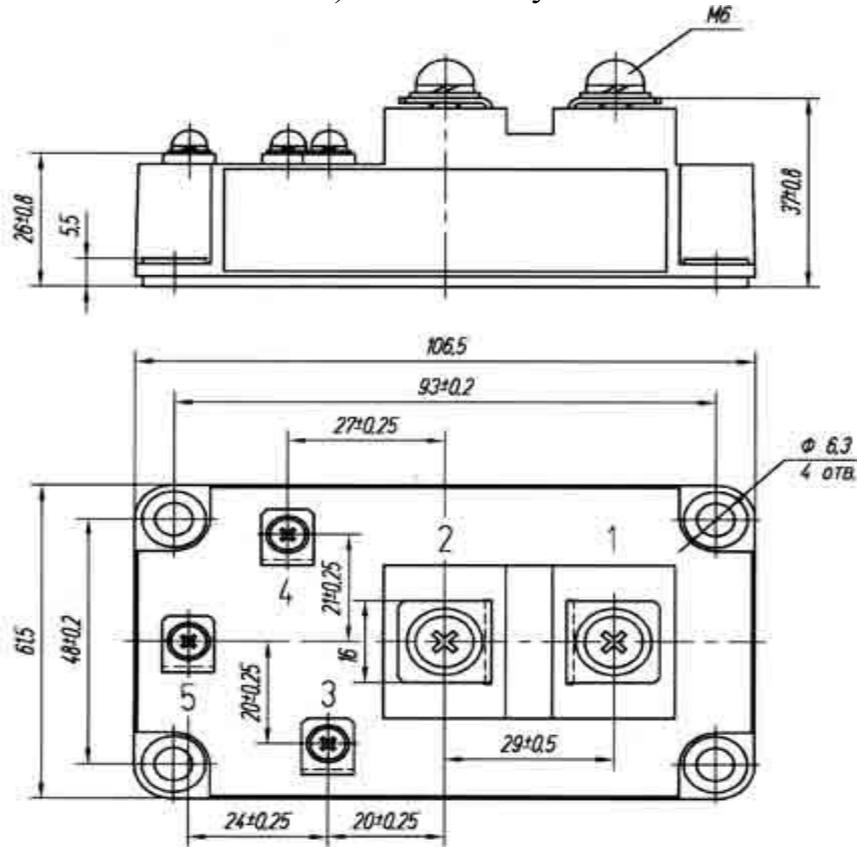
Выбираем одиночные ключи МТКИ2-400-12 производства ООО "Электровыпрямитель-Север" С.-Петербург с основными параметрами: Таблица 2.2. - основные параметры IGBT одиночных ключей МТКИ2-400-12

V_{CES}	I_c	I_{CM}	V_{CESat}	t_{on}	t_s	t_f	$R_{th(j-c)}$	T_{Jmax}	V_{isol}
	DC	$t_p=1ms$	typ.	typ.	typ.	typ.			
V	A	A	V	mks	mks	mks	° C/W	° C	V
1200	400	800	2.5	0.42	0.8	0.15	0.045	150	2500

Схема включения модуля и его геометрические размеры приведены на рис.2.10



а) Схема модуля



б) основные геометрические размеры

Рис. 2.10 - Схема включения модуля и его геометрические размеры.

Для защиты ГИТ необходимы предохранители. Были выбраны предохранители типа ППЗ1 с номинальными токами $I_{ном}=200, 250, 300$ А и рабочим напряжением $U_{раб}=660$ В.

2.3.5. Основные правила эксплуатации IGBT модулей

IGBT модули являются высокотехнологичными компонентами и при их применении необходимо учитывать следующие особенности.

Режимы работы.

Для гарантии надежной работы IGBT модулей рекомендуется их использование в следующих режимах.

Рабочие пиковые напряжения в схемах должны быть не более 80 %, а рабочее постоянное напряжение - не более 60 % от классификационного значения напряжения коллектор-эмиттер V_{CES} .

Повторяющееся пиковое значение тока должно быть не более 70 % от классификационного постоянного тока коллектора IC. Ток перегрузки не

должен превышать значения, установленного изготовителем для длительности импульса тока 1 мс и не должен быть повторяющимся.

Длительность протекания через модуль тока короткого замыкания из-за неисправности в нагрузке не должна превышать 10 мкс.

Температура кристалла не должна превышать 80 % максимально допустимой температуры $T_j \text{ max}$.

При включении преобразователя сначала должно подаваться напряжение питания на систему управления и драйверы, затем на IGBT. При выключении снятие напряжений питания должно производиться в обратном порядке.

Цепь управления.

Рекомендуемое значение напряжения управления затвор-эмиттер VGE при включении должно быть не менее +15 В ± 10 % для обеспечения минимальных потерь во включенном состоянии. При выключении рекомендуется VGE в пределах -8 ... -15 В. Этого достаточно для снижения потерь при выключении и обеспечения высокой стойкости транзистора к dV/dt . Времена нарастания и спада напряжения управления должны быть как можно короче. Максимальное напряжение затвор-эмиттер не должно превышать ± 20 В. Для защиты затвора от статического пробоя непосредственно в схеме необходимо подключение параллельно цепи затвор-эмиттер резистора сопротивлением 10 ... 20 кОм.

Подключение модуля в схему.

При разработке устройств с применением IGBT модулей необходимо выполнять следующие требования.

Индуктивность силовых шин должна быть минимальной, в противном случае длинные токоведущие шины между модулем и фильтром питания могут привести к опасным выбросам напряжения при выключении модуля. Наилучшим вариантом для достижения минимальной индуктивности является применение плоских шин, разделенных изолятором. Запрещается устанавливать плавкие предохранители между фильтрами блока питания и силовыми ключами, так как предохранители имеют большую индуктивность.

Для защиты модулей от коммутационных перенапряжений в цепи коллектор-эмиттер следует применять снабберные RC- и RCD-цепи, установленные непосредственно на силовых выводах.

Для ограничения тока короткого замыкания при аварийном режиме рекомендуется включение между затвором и эмиттером защитной цепи, предотвращающей увеличение напряжения затвор-эмиттер при резком нарастании тока коллектора. Наилучшим вариантом является подключение параллельно цепи затвор-эмиттер последовательно соединенных диода Шоттки и конденсатора, заряженного до напряжения +15 ... +16 В. Допускается применение в качестве защитного элемента стабилитрона на напряжение 15 ... 16 В.

Соединение управляющих выводов модуля с выходом драйвера должно быть осуществлено проводниками как можно меньшей длины для исключения помех в цепи управления, при этом необходимо использовать витую пару или использовать прямой монтаж платы драйвера на выводы управления модуля. Длина витой пары должна быть минимальной.

Модули высокой мощности состоят из нескольких секций, силовые выводы коллектора и эмиттера которых должны быть соединены между собой внешними шинами в соответствии с прилагаемой при поставке схемой.

Защита от электростатического пробоя.

IGBT модули чувствительны к электростатическому разряду, поэтому при их транспортировке, монтаже и эксплуатации должны учитываться следующие требования:

При транспортировке модулей затвор и управляющий эмиттерный вывод должны быть закорочены токопроводящими перемычками, которые не должны сниматься до момента подключения модуля в схему.

Производить монтажные работы с IGBT модулями необходимо только при наличии заземления персонала через высокоомный резистор сопротивлением от 100 кОм до 1 МОм (антистатический браслет).

Все инструменты и оснастка, с которыми может контактировать модуль, должны быть заземлены.

Перед проведением измерений или испытаний необходимо убедиться, что с измерительных приборов снят весь электростатический заряд.

Контроль параметров.

Требования предосторожности при измерении параметров и характеристик модулей:

При всех измерениях напряжение на контактах модуля необходимо увеличивать, начиная с нуля и по окончании измерений уменьшить его до нуля, не допуская обрывов в измерительных цепях до полного снятия напряжения с модуля, в противном случае возможно повреждение прибора.

Контроль блокирующего напряжения цепи коллектор-эмиттер IGBT модуля необходимо производить только при закороченной цепи затвор-эмиттер. В случае разрыва этой цепи также может произойти выход модуля из строя.

Тепловой контакт модуль-охладитель.

Контактные поверхности модулей и охладителей должны быть чистыми и без повреждений. Неплоскостность поверхности охладителя, ограниченной крепежными отверстиями, должна быть не более 30 мкм (в интервале между отверстиями под винты). Шероховатость контактной поверхности Ra не более 2,5 мкм. Перед монтажом на контактную поверхность модуля или охладителя необходимо нанести тонким и равномерным слоем теплопроводящий компаунд с помощью валика или

шпателя. Количество компаунда является достаточным, если вокруг окончательно смонтированного на охладитель модуля наблюдается небольшое выдавливание компаунда. Во избежание неравномерного нанесения не рекомендуется использование компаундов с повышенной вязкостью. Запрещается наличие в компаунде, а также на поверхностях модуля или охладителя твердых частиц, так как при креплении модуля они приводят к деформации основания и разрушению внутренних элементов модуля.

Электрические контакты.

Элементы для крепления силовых и управляющих выводов (кроме разъемов) входят в комплект поставки модулей. При использовании винтов, не приложенных в комплекте с прибором, необходимо следить за тем, чтобы их длина была достаточной для надежного соединения, в то же время винты не должны выступать за отверстие гайки под силовым выводом более чем на 3 мм. Конструкция и размещение силовых шин должны быть выбраны таким образом, чтобы исключить приложение к модулю больших механических усилий. Сечение силовых шин должно быть выбрано в соответствии с величиной тока. Запрещается использовать потенциальный (диагностический) вывод коллектора для нагрузки силовым током.

Затягивание крепежных винтов.

IGBT модули крепятся к охладителю винтами высокой твердости с обязательной установкой плоских и стопорных шайб. Все крепежные винты должны быть равномерно затянуты с определенным крутящим моментом и в строго определенной последовательности. Сведения по креплению IGBT модулей к охладителю и электрическому монтажу силовых и управляющих выводов приводятся в таблицах документации на модули.

Пайка управляющих выводов.

При монтаже управляющих выводов пайкой необходимо использовать паяльники мощностью не более 60 Вт и низкотемпературных припоев с температурой плавления не выше 200°C (например, ПОС-61). Время пайки - не более 5 секунд. Перед проведением повторной пайки необходимо охладить управляющий вывод до комнатной температуры.

Защита от внешних воздействий.

Модули должны быть защищены от воздействия агрессивных газов (диоксида серы, газообразный хлор, пары кислот и др.), так как последние способствуют быстрой коррозии выводов и оснований, что приводит к увеличению электрических и тепловых сопротивлений в контактных соединениях. Кроме этого, модули должны быть защищены от прямого попадания на них влаги. Для модулей, не находящихся под токовой

нагрузкой, должны быть обеспечены условия, препятствующие конденсации влаги на корпусе и внутри прибора.

Прочие рекомендации.

В конструкции модулей имеются детали из хрупких материалов (керамика Al_2O_3 или AlN , и композиционный материал $AlSiC$), поэтому при обращении с модулями необходимо обращаться аккуратно, особенно после распаковки из транспортной тары. Запрещается модули ронять и наносить какие-либо удары по их корпусу и основанию. Кроме этого, во избежание разрушения модулей не рекомендуется силовые и управляющие выводы изгибать и прикладывать к ним значительные механические нагрузки.

2.3.6. Расчёт защитных цепочек.

Перенапряжения вызываются наличием паразитной индуктивности в индуктивностях рассеяния трансформатора-дросселя T2 в момент прерывания тока из цепи транзистора, т.е. при его закрывании. Выключение транзистора происходит не мгновенно, а в течении $t_{сп}=0,15\text{мкс}$. В это время ток через транзистор уменьшается, а напряжение увеличивается (сопротивление транзистора увеличивается от R транзистора в открытом состоянии до R транзистора в закрытом состоянии), т.е. существует промежуток времени, когда напряжение на транзисторе увеличилось, а ток по нему ещё протекает. В этот момент на транзисторе выделяется очень большая мощность, что отрицательно сказывается на его надёжности. Для предотвращения этого (для формирования траектории выключения транзистора) применяют защитные цепочки. При применении цепочки в момент закрывания транзистора ток будет протекать не через него, а по цепочке, что уменьшит потери в транзисторе.

Защитная цепочка для DA1 включает в себя C2, VD4, R1. При закрытии транзистора перехватываемый в цепь VD4-C2 ток приводит к линейному нарастанию напряжения на C2. Т.е. ток во время закрытия DA1 транзистора должен протекать через конденсатор C2. За время спада ($t_{сп}=0,15\text{мкс}$) данный конденсатор должен успевать заряжаться до $U=90\text{В}$. Примем $t_{сп}=0,15\text{мкс}$ и рассчитаем его ёмкость:

$$C = \frac{I_{MAX}}{dU/dt} = \frac{315}{90/0,15 \cdot 10^{-6}} = 0,525\text{мкФ} \quad (2.61)$$

При выборе диода VD4 учли, что он способен кратковременно выдерживать ударный ток в 10 раз больше номинального [15]:

$$I = \frac{I_{MAX}}{10} = \frac{315}{10} = 31,5\text{А}$$

Выбрали диод SF304, быстр. диод (30А/300А, 200В) с параметрами:

Материал: кремний

Максимальное постоянное обратное напряжение, В: 200

Максимальное импульсное обратное напряжение, В: 240

Максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток, А: 30
Максимально допустимый прямой импульсный ток, А: 300
Максимальный обратный ток, мкА: 10
Максимальное прямое напряжение, В при $I_{пр}=8A$: 0.975
Максимальное время обратного восстановления, мкс: 0.035
Рабочая температура, С: -65...150
Способ монтажа: В отверстие.
Корпус: ТО220АВ

Резистор необходим для постепенного разряда конденсатора С2 при открытом транзисторе VT1. Резистор выбираем учитывая, что амплитудный ток разряда через него должен быть равен $0,1I_{min}$. Найдём сопротивление резистора:

$$R = \frac{U}{0,1 \cdot I_{MIN}} = \frac{90}{0,1 \cdot 90} = 10 \approx 10 \text{ Ом} \quad (2.62)$$

Выбираем резистор R1: ПЭВ-10-100 Ом $\pm 10\%$

Выбираем конденсатор С4: К73-17 250В 0.5 мкф, 20%

2.4. Разработка системы управления

2.4.1. *Общее описание работы системы управления*

Электрическая принципиальная схема системы управления изображена на рис. 2.11.

Центральным элементом системы управления является микроконтроллер серии МК51 типа AT89S8252 (DD1). Этот микроконтроллер (n-MOП технология, корпус DIP-40) производства фирмы «Atmel» является аналогом отечественного микроконтроллера КМ1816BE51.

Работа микроконтроллера управляется тумблером «Раб» SB1 и кнопкой «Имп» SB2.

При включении тумблера «Раб» (Работа) микроконтроллеру разрешено управление силовой частью схемы.

Временные диаграммы, иллюстрирующие работу системы управления изображены на рис.2.12. После включения тумблера SB1 «Вкл» в момент времени t_0 в схеме появляются напряжения питания – нестабилизированное $U_{с5}$, стабилизированное $+15В – U_{с7}$ и стабилизированное $+5В – U_{с9}$. До момента t_1 микроконтроллер находится в режиме сброса и на его выводах присутствуют заранее неопределенные потенциалы. Для блокировки управления силовой схемой на это время (до момента t_2) использован потенциал $U_{с10}$.

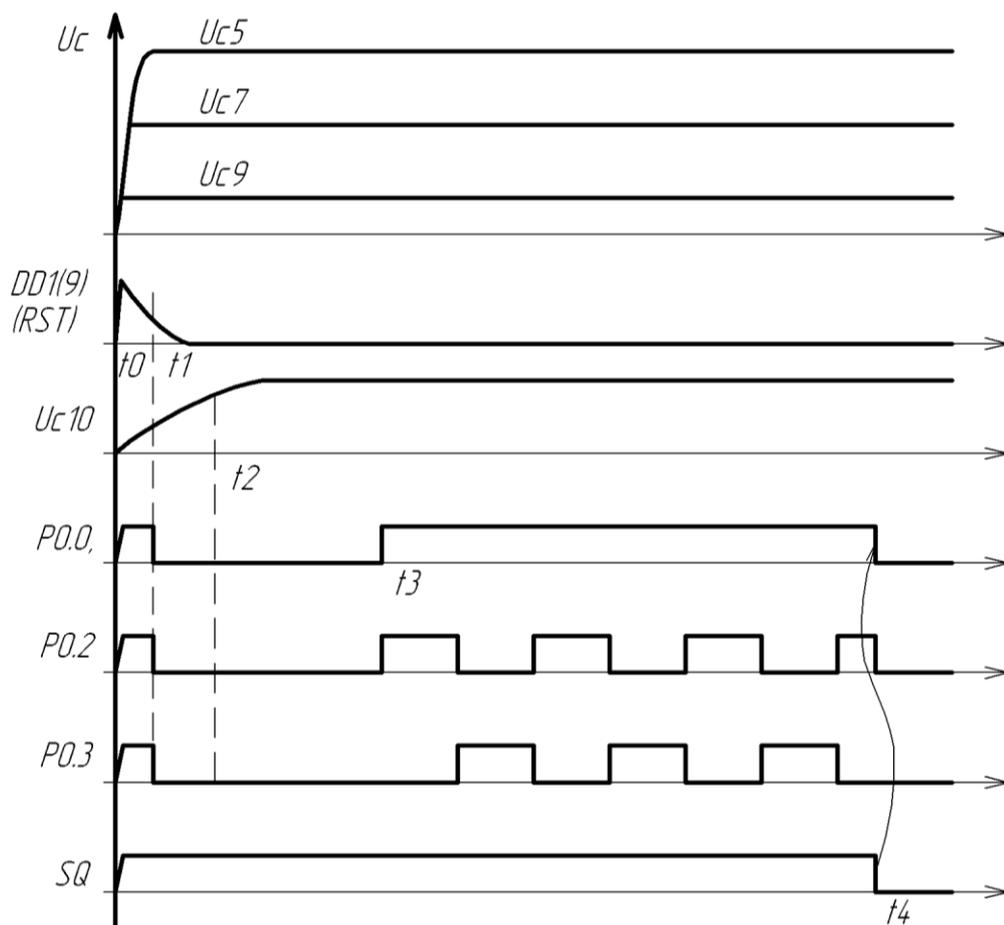


Рис. 2.12 - Временные диаграммы работы системы управления

В момент t_3 при нажатии кнопки «Имп» (Импульс) микроконтроллер:

а) по линии P0.0 через микросхему DD1 открывает усилительный транзистор VT1. При этом разрешается работа выпрямителя силовой схемы.

б) по линиям P0.2 и P0.3 (рис. 2.11) через драйвер DA3 начинает управлять силовыми транзисторами VT2, VT2 (рис.2.4), поочередно их отрывая. При этом светодиодом VD5 индицируется соответствующее состояние прохождения сварочных импульсов.

в) после формирования сварочного импульса по линиям P0.0 выпрямитель выключается, транзистор VT1 закрывается, а VT2 отрывается и ток в силовой части спадает из за наличия потерь.

Драйвера DA3 используются для управлением силовыми транзисторами. При этом драйвер осуществляют гальваническую развязку сигнала управления и защиту транзисторов от превышения тока, измеряя $U_{си}$ транзистора в открытом состоянии и закрывая транзистор в случае превышения тока. В случае превышения допустимого тока через транзистор этот факт (t_4) фиксируется выводами P0.4, P0.5, подключенными к соответствующим выходам SQA и SQB драйвера DA3.

Рассмотрим работу каждой из частей более подробно.

2.4.2. Микроконтроллерная часть системы управления

Микроконтроллер МК51 имеет в своем составе такие аппаратные средства: процессор, в состав которого входят 1-байтное АЛУ и схемы аппаратной реализации команд умножения и деления; стираемое ПЗУ программ емкостью 4 Кбайта, ОЗУ данных емкостью 128 байт; два 16-битных таймера/счетчика; программируемые схемы ввода/вывода (32 линии); блок двухуровневого векторного прерывания от пяти источников; асинхронный канал дуплексного последовательного ввода/вывода информации со скоростью до 375 кбит/с; генератор, схему синхронизации и управления.

Микроконтроллеры 51 семейства требуют одного источника электропитания напряжением $+5\text{ В} \pm 10\%$, рассеивают мощность около 1,5 Вт и работают в диапазоне температур от 0 до 70 °С.

На рис. 2.13 представлена структурная схема микроконтроллера 51 семейства.

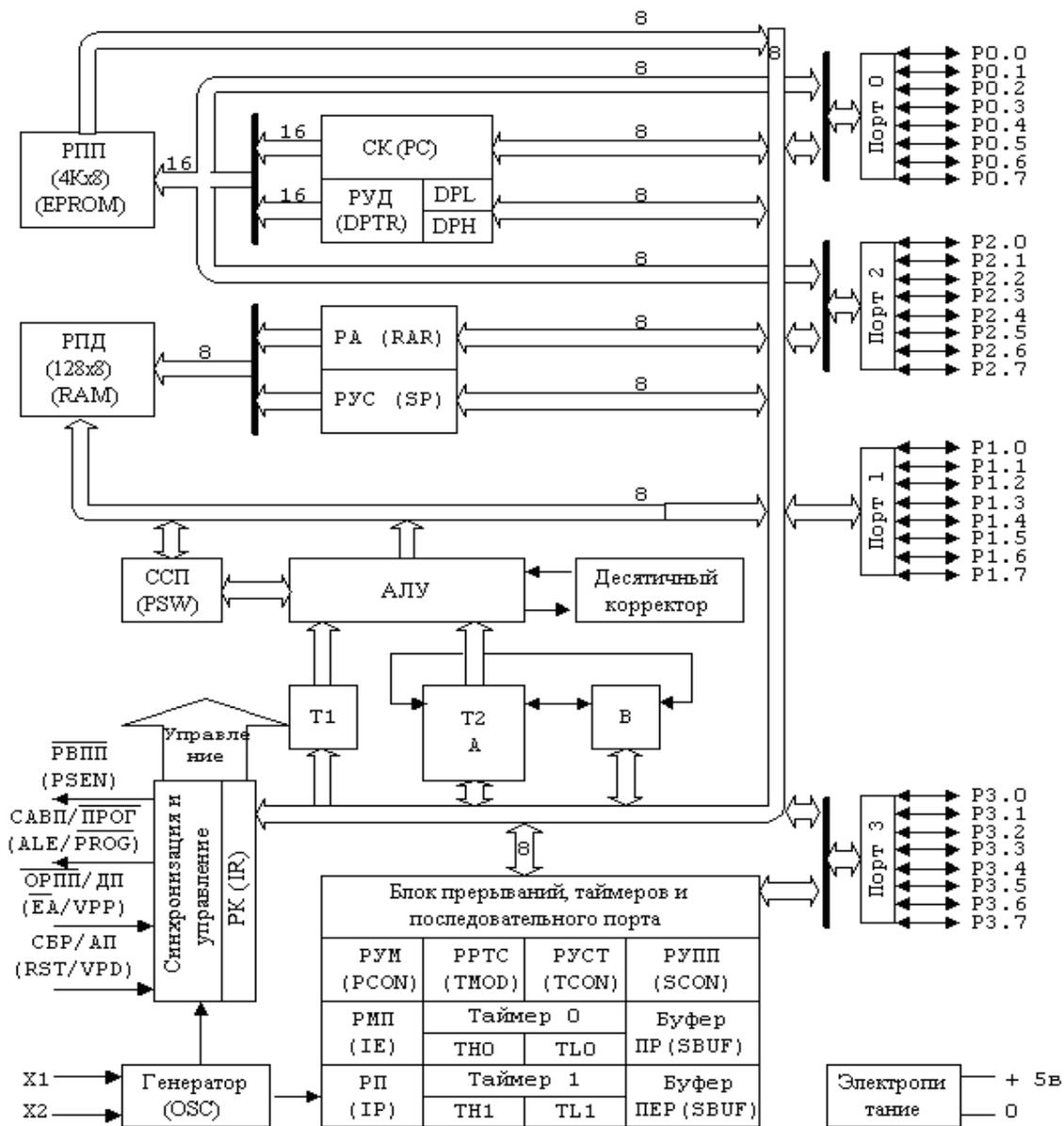


Рис. 2.13. - Структурная схема МК-51

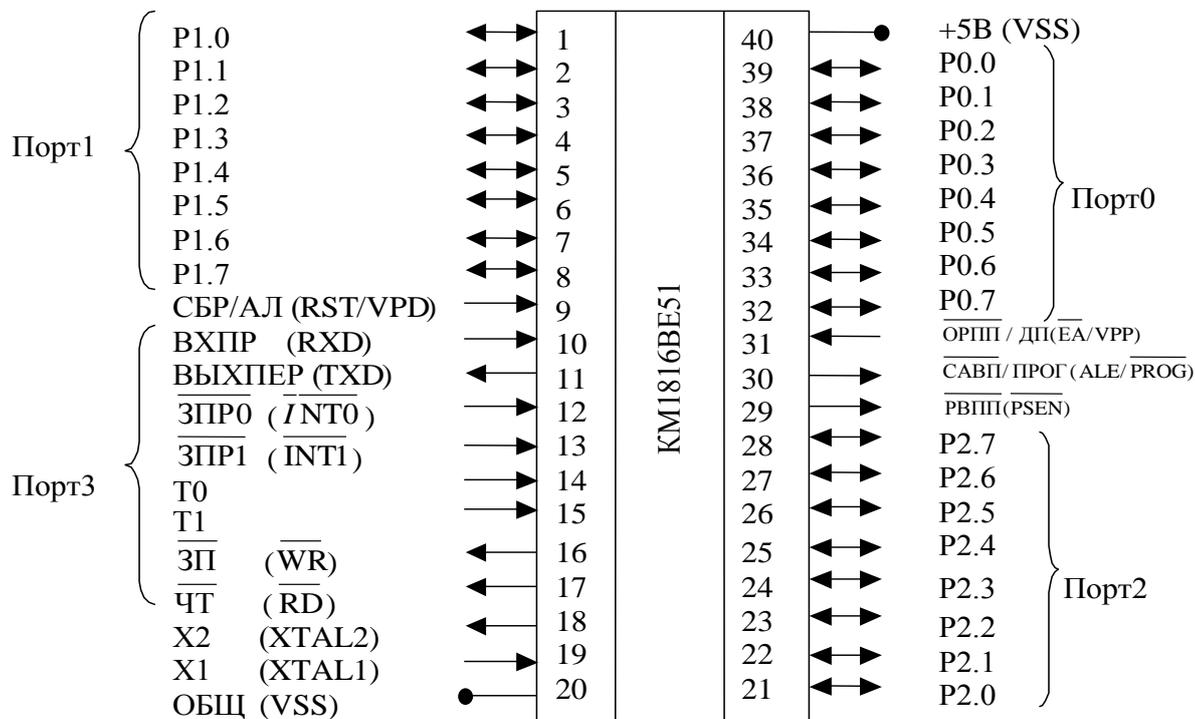


Рис. 2.14 - Цоколевка корпуса МК51 и наименования выводов.

Микроконтроллер выполнен на основе высокоуровневой n-МОП технологии и выпускается в корпусе, имеющем 40 внешних выводов. Цоколевка корпуса МК51 и наименования выводов показаны на рис. 2.14. Через четыре программируемых порта ввода/вывода МК51 взаимодействует со средой в стандарте ТТЛ.

Корпус МК51 имеет два вывода для подключения кварцевого резонатора, четыре вывода для сигналов, управляющих режимом работы МК51 и восемь линий порта 3, которые могут быть запрограммированы пользователем на выполнение специализированных (альтернативных) функций обмена информацией со средой.

Алгоритм программы приведен на рис. 2.15.

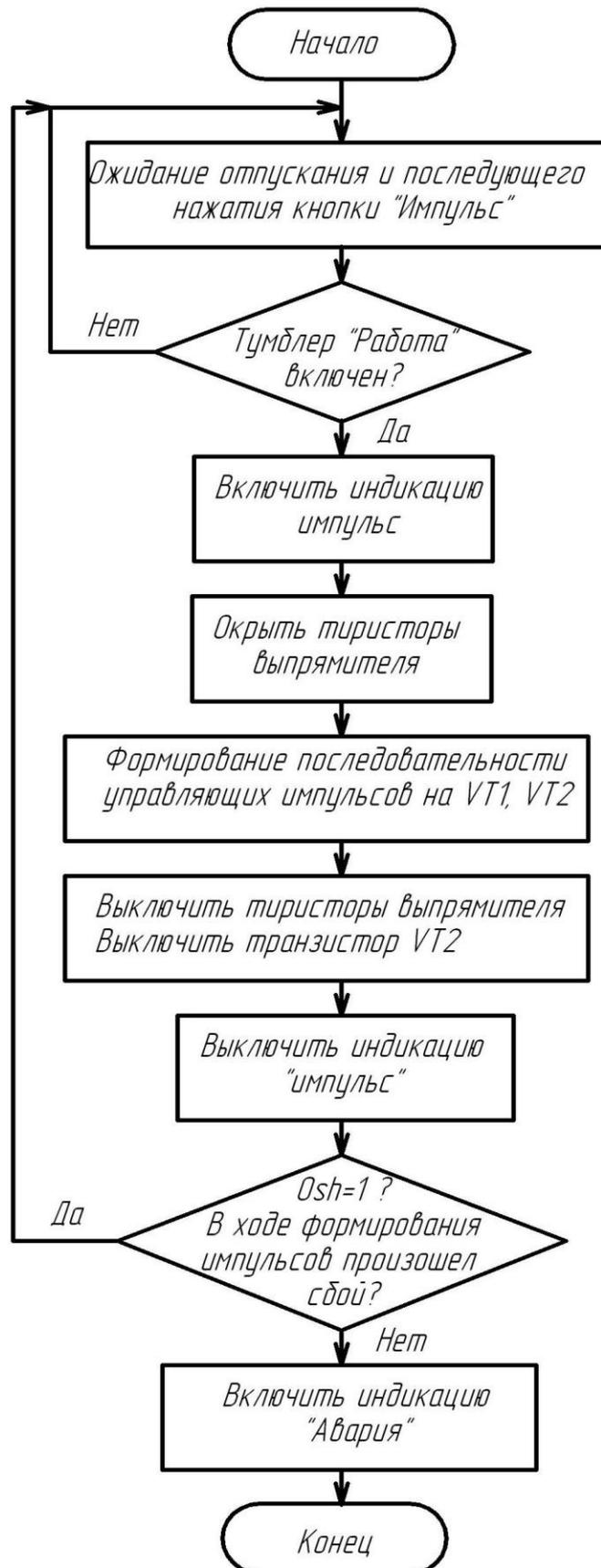


Рис. 2.15 - Алгоритм программы Цепочка C1-R1, включенная согласно документации на микроконтроллер обеспечивает правильность его запуска.

Задавшись величиной $\tau=10$ мс, и величиной резистора $R1=10$ кОм, рассчитали значение конденсатора $C1$:

$$C1=\tau/R = 10 \text{ мс} / 10 \text{ кОм} = 1 \text{ мкФ},$$

выбрали электролитический конденсатор

K50-35 имп. 1 мкФ х 63 В 105°C

Кварцевый резонатор BQ1 типа HC-49S-24M (так же включенный согласно схемам документации) задает тактовую частоты в 24 МГц. Для стабильного запуска резонатора согласно рекомендациям выбрали конденсаторы $C2, C3$:

K10-17Б M47 15пФ 10%

В МК51 порт P0 обладает повышенной нагрузочной способностью, поэтому управляющие линии и линии индикации подключим именно к нему. Схемотехнически выхода этого порта построены по схеме с открытым коллектором, поэтому для корректной его работы используем подтягивающие резисторы $R2..R7$ величиной 5.1кОм (согласно рекомендациям).

Для индикации текущего состояния системы используются светодиодные индикаторы «Импульс», «Авария», «Вкл» (VD5-VD7 соответственно). Выберем светодиоды типа AL307 с максимальным значением тока $I_m=20$ мА и прямым падением напряжения $U_{307}=2$ В. Зададимся значением тока, меньшим максимального $I_{307}=10$ мА, рассчитаем значение токоограничительных резисторов $R8-R10$.

$$R8=(5В - U_{307}) / I_{307} = (5В-2В)/10мА = 300 \text{ Ом}.$$

где 5В – напряжение питания, к которому подключены резисторы.

Полученное значение округлили до величины $R=270$ Ом.

Рассчитали мощность, выделяемую на резисторах:

$$P=U^2/R = (5В-U_{307})^2/R = (5В-2В)^2/270 = 0.033 \text{ Вт}$$

Выбрали резисторы $R8-R10$: МЛТ-0.25-270 Ом $\pm 10\%$

2.4.3. Драйвер управления транзисторами

Для управления силовыми транзисторами используются драйверы. Согласно рекомендациям сотрудников кафедры Промышленная электроника, имеющих практический опыт работы с драйверами, выбрали двухканальный драйвер типа 2SD106AI [26]. Драйвер DA3 в соответствии с сигналами управления каналами А (DA3(6)) и В (DA3(7)), поступающими с DD1 и сигналом разрешения DA3(4) осуществляет управление транзисторами силовой схемы. Драйвер осуществляет гальваноразвязку и усиление сигнала управления транзистором. Для включения силового транзистора драйвером формируется напряжение затвор-эмиттер +15В, а для отключения - -15В. Драйвер имеет внутреннюю задержку на включение/отключение транзистора 0,3мкс.

Драйвер, помимо функций управления, осуществляет защиту транзистора от сверхтоков. Драйвер отслеживает значение падения напряжения коллектор-эмиттер на транзисторе в открытом состоянии. Если это значение превышает уставку (что свидетельствует от больших токах), то

драйвер закрывает транзистор и подает сигнал о срабатывании защиты. Для этого служат элементы: VD8 и R12 (канал А) и VD9 и R14 (канал В). Напряжение сток-исток открытого транзистора зависит от протекающего через него тока. При открытом силовом транзисторе через диод VD8 и силовой транзистор протекает измерительный ток 1,4 мА, формируемый встроенным в драйвер источником тока. Потенциал на DA3(22) на 0.6 В (падение напряжения на диоде) больше, чем на стоке транзистора. Если этот потенциал становится больше заданного (формируется относительно потенциала силового транзистора на резисторе R12), то это свидетельствует о протекании через транзистор больших токов и приводит к срабатыванию защиты. По резистору R12 протекает ток от встроенного в драйвер источника тока 150 мкА. Т.о. резистор R12 задает потенциал точки DA3(22). Во время работы драйвер сравнивает потенциалы на DA3(23) и DA3(22) и если на DA3(23) он больше, то драйвер отключает транзистор.

Максимально допустимый потенциал на DA3(23):

$$U_{23} = U_{VT} + U_{VD} = I \cdot R_{VT} + U_{VD} = 315 \cdot 0.0065 + 0.6 = 2.6 \text{ В}, \quad (2.63)$$

где $R_{VT} = 6.5 \text{ мОм}$ – сопротивление канала транзистора в открытом состоянии;

$U_{VD} = 0.6 \text{ В}$ – падение напряжения на диоде VD8

Приняли порог срабатывания защиты $U_{22} = 3 \text{ В}$ и нашли величину резистора R12

$$R12 = U_{22} / I_{22} = 3 / 0.00015 = 20 \text{ кОм}, \quad (2.64)$$

где $I_{22} = 150 \text{ мкА}$ – ток источника тока драйвера, взято из справочника [26].

Канал В идентичен каналу А, поэтому для него выбрали такие же элементы.

Резисторы R13, R15 = 10 Ом выбран в соответствии с рекомендациями использования драйвера.

Резисторы R16, R17 = 20 кОм служит для предотвращения открывания транзистора при отсутствии драйвера.

Цепочки R20-C11 и R21-C12 предназначена для защиты драйвера при коротком замыкании (КЗ) между затвором и эмиттером транзистора. Величина конденсаторов $C = 220 \text{ нФ}$ выбиралась из условия $C \gg C_G$, где C_G – емкость затвора транзистора. Величина резистора $R = 1 \text{ кОм}$ выбрана такой, что бы не допустить сгорания выходного каскада драйвера в случае КЗ в управляющей цепи транзистора.

2.4.5. Система пуска

Особенностью микроконтроллерных систем управления силовыми схемами является необходимость специальных мер, блокирующих работу силовой части схемы на время запуска микроконтроллера. Это обусловлено тем фактом, что непосредственно после подачи питания на микроконтроллер для его правильного запуска на вход RST (цепочкой C1-R1) подается высокий потенциал. Некоторое время микроконтроллер находится в режиме

сброса (программа еще не выполняется) и на его выводах в произвольном порядке могут появляться уровни нуля и единиц. Если не предпринять специальных мер, то эти сигналы поступят на управление силовой частью и могут привести к выходу из строя силовых приборов. Поэтому на время запуска микроконтроллера необходимо заблокировать ему возможность управлять силовой схемой. Для этого используется цепочка R11-C10. В начале конденсатор C10 разряжен и начинает заряжаться только при подаче питания (Включении SB3). До тех пор, пока потенциал на C10 не увеличится до уровня единицы работа DA3 блокирована по входу 4, и микросхема DD2 не пропускает сигналы управления на транзисторы.

Зададимся постоянной времени $\tau=100\text{мс}$ для цепочки R11-C10 в 10 раз большей, чем для цепочки C1-R1. Аналогично значениям R1 и C1 зададимся значением R11=10 кОм и рассчитаем необходимое значение C10

$$C10=\tau/R11 = 100 \text{ мс} / 10 \text{ кОм} = 10 \text{ мкФ.}$$

Выбрали конденсатор 5.1кОм

K50-35 имп. 10 мкФ x 16 В

Для управления тиристорами используется транзистор VT1, подключенный через микросхему DD2 типа К561ТЛ1.

Рассчитаем необходимую величину токоограничительного резистора R19:

$$R20=(15\text{В}-6\cdot\text{UVS})/I_y = (15\text{В} - 6\cdot 1.9\text{В})/400 \text{ мА} = 9 \text{ Ом.}$$

где 15В = напряжение, которым запитаем систему управления;

6 – число светодиодов оптотиристоров, включенных последовательно;

UVS=1.9 В – падение на одном светодиоде;

$I_y=400 \text{ мА}$ – необходимый ток управления.

Округлили полученный номинал до значения R=10 Ом.

Рассчитали мощность, выделяемую на резисторах:

$$P=U^2/R = (15\text{В}-6\cdot\text{UVS})^2/R = (15\text{В}-6\cdot 1.9)^2/10 = 1.29 \text{ Вт}$$

Это значение превышает значение в 2 Вт, максимальное для резисторов типа МЛТ. поэтому выбрали керамические резисторы

Выбрали резистор R19: МЛТ-2Вт-10 Ом $\pm 10\%$

Выбрали транзистор VT1 сдвоенные типа КТ972А, с параметрами:

Проводимость: n-p-n

Максимальный ток коллектора $I_k=4 \text{ А}$;

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер: $U_{кэ}=60\text{В}$

Тип корпуса: КТ-27;

Статический коэф. передачи тока $h_{21}=750$

Максимальная рассеиваемая мощность $P_{\text{мах}}=8\text{Вт}$.

Рассчитали значения базового резистора R18:

$$R18=5\text{В}\cdot h_{21}/(I_y\cdot(2..5))= 5\text{В}\cdot 750/(0.4\cdot(5))=1875,$$

где 5В – напряжение питания микросхемы DD2,

(2..5)- коэффициент для надежного насыщения транзистора.

Приняли R18: МЛТ-0.25-1.8 кОм $\pm 10\%$

2.4.6. Блок питания системы управления

Для работы системы управление необходимо питания +5В для микроконтроллерной части и питание +15 В для драйвера DA2. Построим систему питания следующим образом. Напряжение 380 В понижается трансформатором Т1 до действующего значения 15В (амплитудное значение 21В). Это напряжение выпрямляется диодным мостом VD1-VD4. Включение системы питания (и всей системы управления) осуществляется тумблером «Вкл». Выпрямленное напряжение сглаживается фильтром С4-С5, состоящим из электролитического и пленочного конденсаторов. Далее напряжение стабилизируется аналоговым стабилизатором DA1 типа 7815 до напряжения +15В. На выходе стабилизатора согласно рекомендациям производителя стоят конденсаторы С6, С7. Далее напряжение аналогично стабилизируется до уровня +5В стабилизатором DA2 типа 7805 и сглаживается конденсаторами С8, С9. Включенное состояние схемы индицируется светодиодом VD7 «Вкл», подключенным последовательно с токоограничительным резистором R10.

Исходя из стоимостных характеристик и среднестатистического выбора в схемах аналогичных стабилизаторов Выбрали значения фильтровых конденсаторов:

С4, С6, С8 К10-17Б имп 470 нФ 10%

С5: К50-35 имп. 1500 мкФ х 35 В

С7, С8: К50-35 имп. 50 мкФ х 25 В

Для управления управляемым выпрямителем выбрали стандартный модуль SKPC200, предназначенный для управления 3х фазным тиристорным мостом. Драйвер запитывается от 3х фазного напряжения и имеет вход разрешения работы, который подключим к выводу XS1 системы управления. Таким образом, это решение позволит управлять работой выпрямителя с возможностью его блокировки по сигналу от системы управления. Параметры выбранного модуля управления:

Напряжение питания 50/60 Гц, 230/400 В.

Напряжение управления 6..30 В;

Встроенный источник питания 12В

Напряжение изоляции 4кВ

3. Разработка печатной платы системы управления

Печатная плата представляет собой плоское изоляционное основание, на обеих сторонах которого расположены токопроводящие полосы металла (проводники) в соответствии с электрической схемой.

Печатная плата служат для монтажа на них электрорадиоэлементов с помощью полуавтоматических и автоматических установок с последующей одновременной пайкой всех электрорадиоэлементов погружением в расплавленный припой или на волне жидкого припоя ПОС-60.

Применение печатных плат позволяет облегчить настройку аппаратуры и исключить возможность ошибок при ее монтаже, так как расположение проводников и монтажных отверстий одинаково на всех платах данной схемы. Использование печатных плат, обуславливает также возможность уменьшения габаритных размеров аппаратуры, улучшения условий отвода тепла, снижения металлоемкости аппаратуры и обеспечивает другие конструктивно-технологические преимущества по сравнению с объемным монтажом.

Процесс разработки печатной платы складывается из нескольких этапов: компоновка печатной платы, в процессе которой находят оптимальное размещение навесных элементов на печатной плате.

Габаритные размеры, конфигурация и место крепления печатной платы выбираются в зависимости от установочных размеров, элементной базы, пайки, контроля и технико-экономических показателей. Габаритные размеры печатной платы выбираются с учетом класса точности, при этом следует учитывать, что с увеличением габаритных размеров, увеличиваются отклонения, допускаемые при выполнении элементов конструкции платы. Разрабатываемая плата имеет простую прямоугольную форму.

Конструктивно, устройство представляет собой плату размерами 150 x 200 мм с установленными на нее компонентами и разъемами для подключения напряжения питания, сигнальных проводников к порту компьютера, сигнального светодиода, коммутируемой нагрузки. Плата двухсторонняя, имеет по одному слою проводников с каждой стороны и металлизированные отверстия.

На рис. 3.1 представлена печатная плата системы управления с корпусами элементов и проводящими дорожками обеих сторон; на рис. 3.2 – проводящие дорожки с верхней стороны (со стороны элементов), на рис. 3.3 – с нижней стороны. Технологические требования к изготовлению печатной платы:

1. Плату изготовить химическим методом.
2. Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79.
3. Шаг координатной сетки 2.54 мм.
4. Допускается скругление контактных площадок и проводников.

5. Центры контактных площадок и отверстий выдерживать по координатной сетке.

6. Неуказанные отклонения по h11, H11.

Токопроводящий слой печатной платы создается комбинированным методом. При этом проводники получают травлением фольги, а металлизированные отверстия - электрохимическим методом.

Чтобы к печатному проводнику можно было припаять проводник или вывод элемента, на проводнике делают контактную площадку в виде участка с увеличенной шириной.

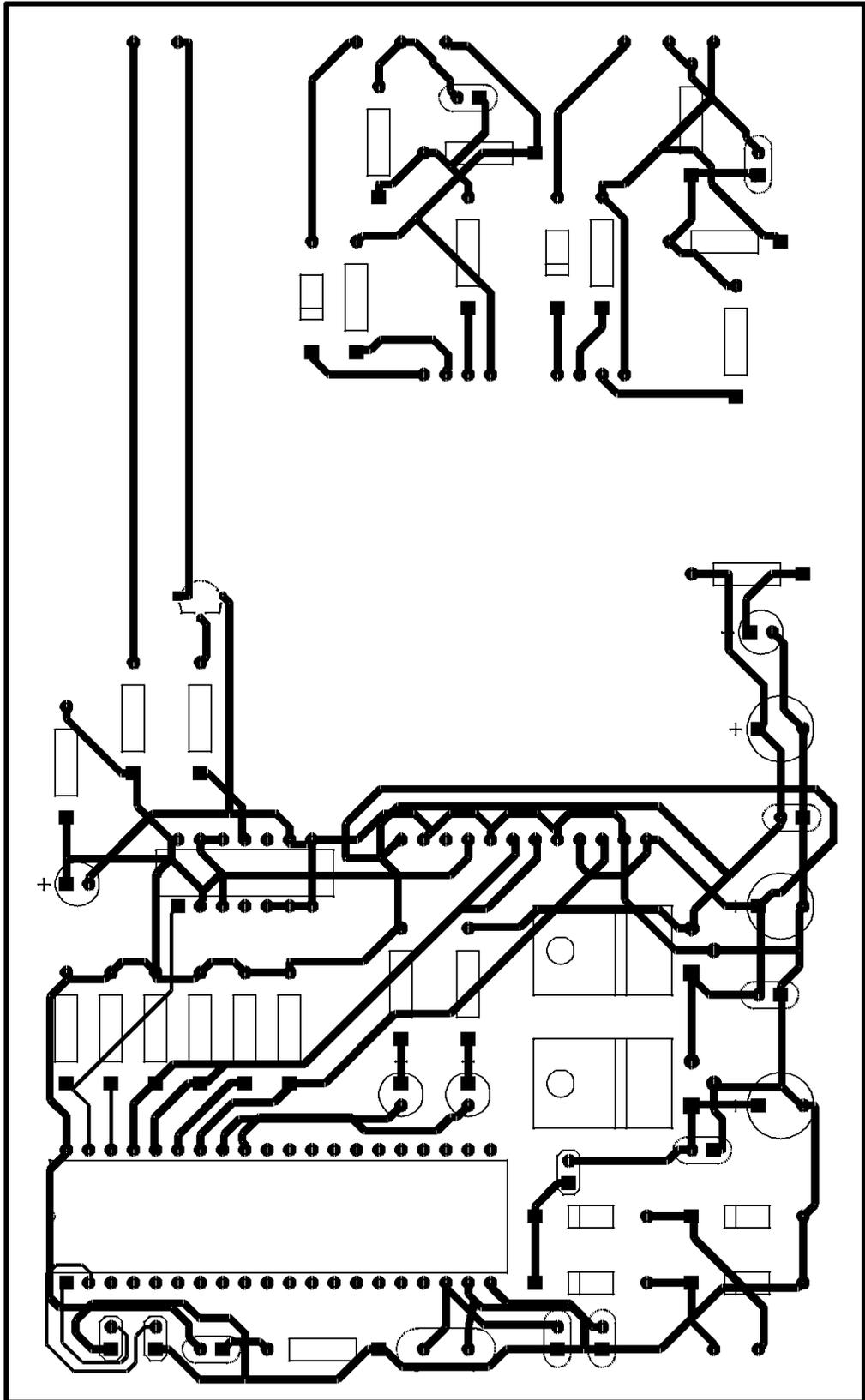


Рис. 3.1 - печатная плата системы управления с корпусами элементов и проводящими дорожками обеих сторон

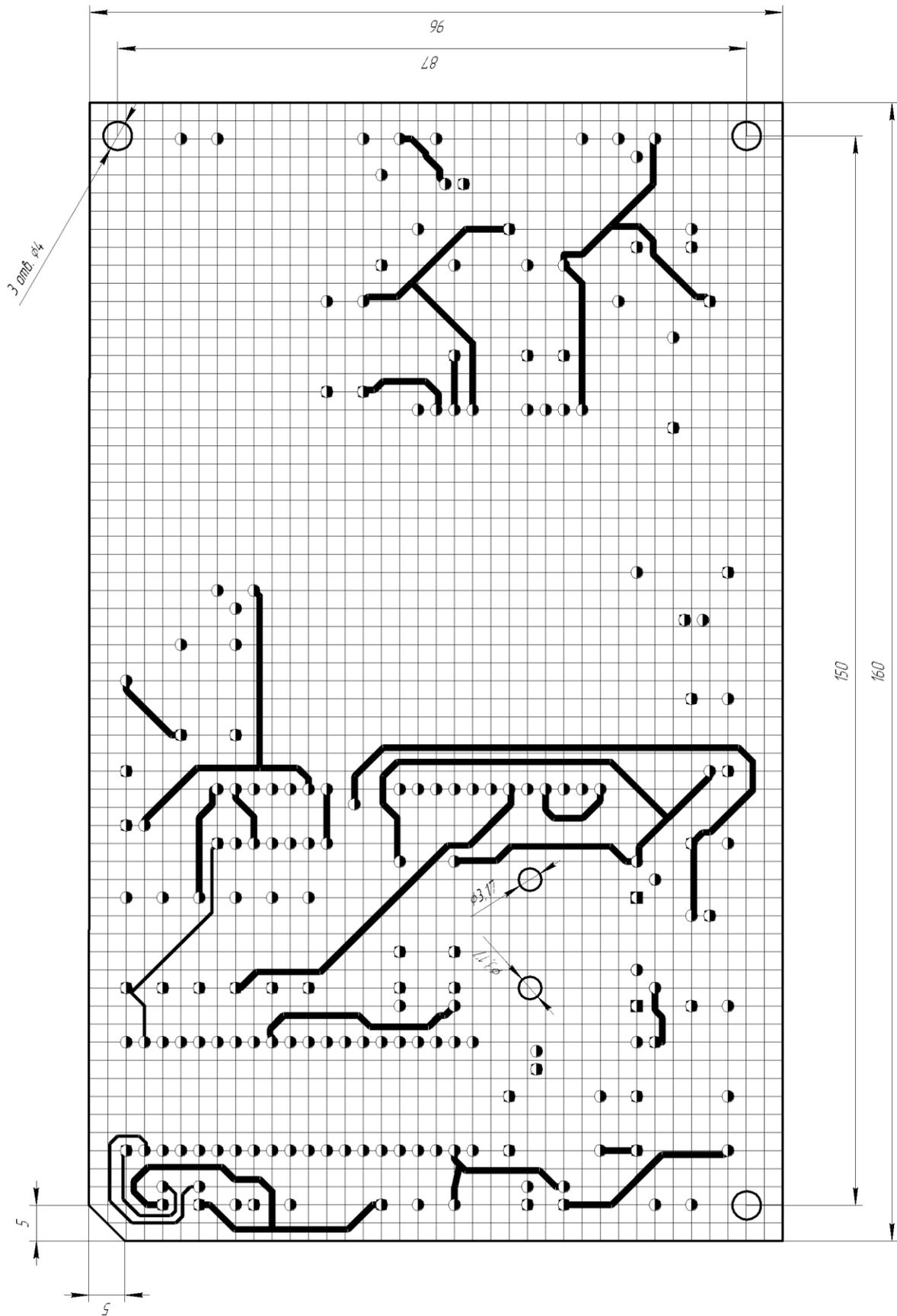


Рис. 3.2. - Печатная плата (проводящие дорожки с верхней стороны)

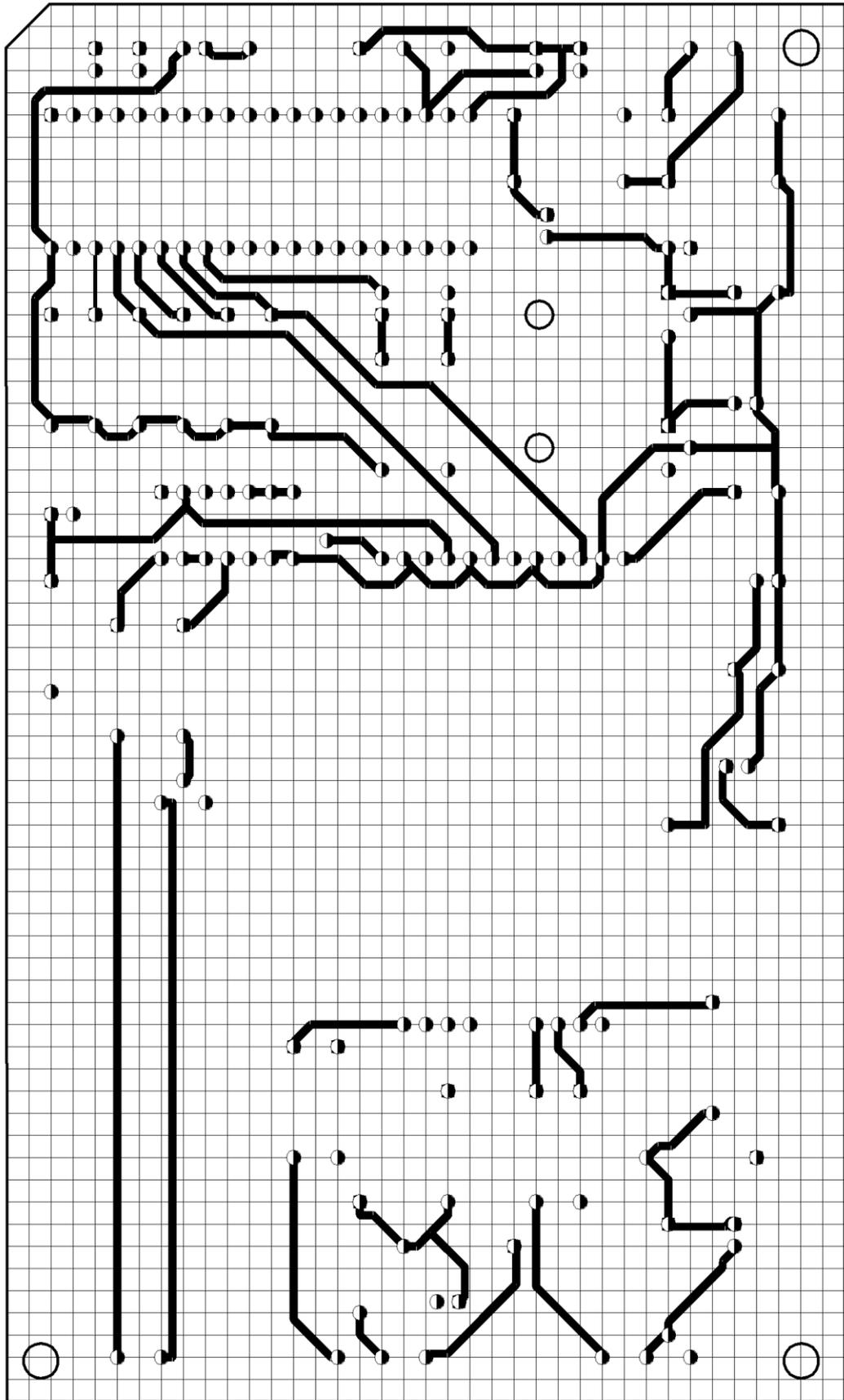


Рис. 3.3. - Печатная плата (проводящие дорожки с нижней стороны)

Толщина материала основания печатной платы H_m определяется в зависимости от нагрузки и ее конструктивных особенностей, также толщина печатной платы увязывается с диаметром металлизированных отверстий.

Для изготовления печатных плат химическим методом необходимо иметь листовой материал в виде изоляционного основания с приклеенной к нему металлической фольгой. В данной работе используем фольгированный стеклотекстолит СФ-2. Фольгированный материал двухсторонний (фольга наносится на две стороны изоляционного основания).

Предпочтительными значениями номинальных толщин односторонних печатных плат являются: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 (мм). Принимаем значение толщины H_m равным 1,5 мм.

В зоне контактной площадки находится монтажное отверстие, в которое будет вставляться вывод элемента схемы. Монтажное отверстие имеет металлизированные стенки. То есть металл, нанесенный на цилиндрическую поверхность отверстия, соединен с контактной площадкой по всему периметру отверстия. Использование металлизированных отверстий приводит к большей надежности пайки.

Диаметр отверстий в печатной плате должен быть больше диаметра, вставляемого в него вывода, что обеспечивает возможность свободной установки электрорадиоэлемента. Диаметр металлизированного отверстия зависит от толщины платы. Связано это с тем, что при гальваническом осаждении металла на стенках малого диаметра, сделанного в толстой плате, толщина слоя металла получается неравномерной, а при большом отношении длины к диаметру некоторые места могут остаться непокрытыми. Диаметр металлизированного отверстия должен составлять не менее половины толщины платы.

В узких местах значение минимально допустимой ширины проводника принимаем равной 0,5 мм, минимально допустимое расстояние между проводниками - 0,5 мм. В свободных местах значение минимально допустимой ширины проводника принимаем равной 2,0 мм, минимально допустимое расстояние между проводниками - 2,0 мм.

Проводники располагаются равномерно по полезной площади печатной платы с учетом следующих требований: параллельно линиям координатной сетки или под углом, кратным 15° ; параллельно направлению движения волны припоая или под углом к нему не более 30° со стороны пайки, если проводящий рисунок не покрыт защитной маской; перпендикулярно касательной, к контуру проводящей площади. С целью уменьшения сложности проводящего рисунка допускается применение перемычек в количестве не более 5% от общего числа печатных проводников.

4. Описание технологии сварки.

4.1. Особенности сварки алюминия и его сплавов

Затруднение при сварке алюминия и сплавов вызывает тугоплавкая окисная пленка поверхности металла. В расплавленной ванне окислы находятся в твердом состоянии, что препятствует получению качественного соединения. Дуговая сварка в инертных газах плавящимся и вольфрамовым электродами отличается тем, что при обратной полярности (плюс на электроде) постоянного тока или при переменном токе (в полупериоды обратной полярности) происходит разрушение (и даже оттеснение к краям ванны) окисной пленки без применения флюсов вследствие явления катодного распыления и токовых импульсов.

4.2. Технология сварки алюминия.

Алюминий и его сплавы сваривают практически всеми способами сварки плавлением, при этом качество сварных соединений в значительной степени определяется подготовкой поверхности свариваемых кромок и электродной проволоки. Независимо от способа сварки поверхность металла на ширине 100-150 мм от кромки должна быть очищена от консервирующей смазки и обезжирена растворителем (ацетон, авиационный бензин, уайт-спирит, специальные смывки).

Окисная пленка затрудняет процесс сварки. Температура ее плавления составляет 2056 С и она не растворяется в процессе сварки. Пленку окислов удаляют по всей длине шва на ширину не менее 30 мм механической зачисткой или химическим способом. Механическую зачистку рекомендуется делать шабером или металлической щеткой из проволок диаметром не более 0,5 мм (предпочтительна проволока из нержавеющей стали). Обезжиривание и травление рекомендуется делать не более чем за 3 ч до сварки.

В процессе сварки остатки пленки окислов удаляют в инертных газах на переменном токе - за счет эффекта катодного распыления и непрерывной работы осциллятора.

Листовой металл толщиной до 5 мм сваривают без разделки кромок. При толщине металла до 15 мм применяют U-образную разделку кромок и при толщине свыше 15 мм выполняют X-образную разделку с углом раскрытия кромок в обоих случаях от 60 до 90°. При толщине металла до 2 мм используют отбортовку кромок высотой 1-1,5. Размеры и форма подготовки кромок изделий из алюминия или его сплавов в зависимости от толщины и способа сварки регламентированы ГОСТ 14806-80 и ГОСТ 23792-79. Детали толщиной до 10-25 мм сваривают без предварительного подогрева, а при большей толщине рекомендуется детали предварительно подогревать до 300- 400 °С, литые силуминовые детали подогревают до 250-300 °С.

Для предупреждения протекания жидкого металла сварочной ванны в зазор и «проваливания» шва применяют остающиеся или съемные

подкладки. Остающиеся подкладки делают из материала, аналогичного свариваемому. Их размеры выбирают исходя из конструктивных соображений и технологических особенностей способа сварки. Для изготовления съемных подкладок рекомендуются угле-графитовые материалы, можно использовать нержавеющие или углеродистые стали. Форму и размеры канавок в этих подкладках выбирают исходя из обеспечения требований ГОСТ 14806-80. Сборочно сварочные приспособления должны обеспечивать свободную усадку сварных швов. Массивные части приспособлений не должны увеличивать теплоотвод от шва. Прихватку (длиной до 80 мм) выполняют такой же сварочной проволокой или электродом, что и сварку. После прихватки поверхность деталей следует зачистить от окислов. В процессе сварки прихватки полностью переплавляются. При сварке тонких листов применяют отбортовку кромок, а при сварке листов толщиной более 8-10 мм общий или местный подогрев до 250-300°С.

Основным источником образования пор при сварке алюминия и его сплавов принято считать водород, содержащийся во влаге и жировых загрязнениях на свариваемых кромках. Кристаллизационные трещины наиболее характерны для алюминиевых сплавов систем:

Al - Mn (АМц), Al - Mg(2АМг2), Al - Zn - Mg - Cu (В 95), Al - Cu - Mg - Mn (Д 16).

Эти трещины устраняют соответствующим подбором сварочных материалов и другими технологическими мероприятиями. При сварке алюминиевых сплавов, легированных Zn и Mg, для предотвращения холодных трещин применяют предварительный подогрев изделия (или зоны расположения швов) до 250-400 С. Подогрев также эффективен для снижения затрат погонной энергии, особенно при сварке массивных деталей.

4.3. Сварка плавящимся электродом

Сварка плавящимся электродом производится на постоянном токе обратной полярности. В качестве источников питания используются сварочные выпрямители и генераторы с жесткими и падающими внешними электрическими характеристиками.

4.4. Сварка вольфрамовым электродом

При сварке вольфрамовым электродом питание дуги, как правило, производится переменным током от трансформаторов, входящих в состав специальных установок. Теплофизические свойства электрода и изделия различны, поэтому условия существования дугового разряда при смене полярности будут также различными. В кривой тока появляется составляющая постоянного тока, т. е. происходит частичное выпрямление переменного тока. Наличие этой составляющей отрицательно сказывается на качестве сварки, поэтому составляющую постоянного тока необходимо устранять. С начала 60-х годов много лет выпускались установки для сварки

алюминиевых сплавов на переменном токе типа УДАР конструкции ВНИИЭСО. В настоящее время выпускаются усовершенствованные установки типа УДГ, но вся принципиальная основа в них использована от установок УДАР.

В установку типа УДАР входит сварочный трансформатор СТЭ-24-У или СТЭ-34-У соответственно на токи 300 и 500 А. Регулирование сварочного тока производится дросселем насыщения, который имеет рабочие обмотки, включаемые последовательно со вторичной обмоткой трансформатора, и подмагничивающую обмотку.

Перестановкой переключателей на доске зажимов дросселя рабочие обмотки его включаются последовательно (ступень меньших токов) или параллельно (ступень больших токов) между собой. Регулирование тока в пределах каждой ступени производится плавно, изменением тока подмагничивания. Питание обмотки подмагничивания производится от понижающего трансформатора через селеновый выпрямитель.

Для подавления составляющей постоянного тока в сварочную цепь последовательно с источником питания включена батарея конденсаторов.

Возбуждение дуги происходит с помощью осциллятора, последовательно включаемого в сварочную цепь.

После установления дугового разряда (дуги) питание осциллятора автоматически отключается и включается импульсивный стабилизатор, который подает на дуговой промежуток (дугу) импульсы напряжением 300 В в полупериоды обратной полярности. Стабилизатор обеспечивает надежное восстановление дуги в эти периоды при низком напряжении холостого хода трансформатора.

Для работы на малых токах в схеме установки предусмотрена система "горячего пуска" с целью надежного возбуждения дуги. Действие системы заключается в том, что возбуждение дуги происходит при токе 100 А с последующим автоматическим переключением на необходимое значение тока меньше 100 А. Кроме того, в состав установки входит ряд дополнительных элементов, обеспечивающих необходимый цикл работы установки и контроль за соблюдением режимов сварки.

4.5. Вольфрамовые электроды и их марки.

Вольфрам - тугоплавкий металл обладающий высокой коррозионной стойкостью и применяется в виде прутков диаметром от 0,5 до 8 мм.

Для сварки алюминия и его сплавов рекомендуется применять лантанированный вольфрам ЭВЛ который уменьшает расход электрода и повышает стабильность горения дуги.

ЭВЧ - вольфрамовый электрод чистый

ЭВЛ - вольфрамовый электрод с оксидом лантана(1-2%)

ЭВИ - вольфрамовый электрод с оксидом иттрия(1-2%)

ЭВТ - вольфрамовый электрод с оксидом тория(1-2%)

Выбор диаметра вольфрамового электрода в зависимости от силы (А) и рода сварочного тока(защитный газ - аргон)Марка электрода Род тока

Сварка в среде инертных газов с применением электродов из чистого вольфрама. Диаметр вольфрамового электрода, мм Постоянный ток прямой полярности, А Переменный ток без постоянной составляющей, А

Для сварки на токах более 200 А, в режиме TIG-AC и 250 А, в режиме TIG-DC необходимо использовать горелку с водяным охлаждением.

Примечание: Вследствие различия теплофизических свойств свариваемых металлов и в зависимости величины сварочного тока, от параметров конкретного изделия, режимы сварки могут быть указаны лишь ориентировочно.

4.6. Сварка неплавящимся электродом

Сварка неплавящимся электродом происходит как на постоянном, так и на переменном токах.

Как правило, установка аргодуговой сварки обеспечивает бесконтактный поджиг на переменном и на постоянном токе.

Обычно установки предназначены для работы в закрытых помещениях. Температура окружающего воздуха от -10 С до +40 С, среднегодовая относительная влажность воздуха не более 80 % при 15 С.

Не допускается использование установки аргодуговой сварки для работы в среде, насыщенной пылью, во взрывоопасной среде, а также в среде, содержащей пары и газы в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

Аргодуговая сварка производится в одном из следующих режимов:

- ручная сварка плавящимся электродом на постоянном токе (ММА-DC)
- ручная сварка плавящимся электродом на переменном токе (ММА-AC)
- аргодуговая сварка неплавящимся электродом на постоянном токе (TIG-DC)
- аргодуговая сварка неплавящимся электродом на переменном токе (TIG-AC)

Аргодуговая сварка работает в режимах "длинные швы" или "короткие швы".

В режиме TIG установка обеспечивает:

- продувку газового тракта в течение от $0,2 \pm 0,1$ с до $8,0 \pm 2,0$ с последующим включением выходного напряжения
- регулирование времени плавного нарастания тока в начале сварки в пределах от $0,1 \pm 0,1$ с до 10 ± 3 с
- регулирование плавного снижения тока в конце сварки в пределах от $0,1 \pm 0,1$ с до $30 \pm 3,0$ с
- регулирование времени подачи газа в конце сварки в течение от $0,2 \pm 0,1$ с до 30 ± 5 с
- бесконтактный поджиг дуги

- регулирование очищающей и проплавляющей способности дуги в режиме TIG-AC
- возможность подключения пульта дистанционного управления величиной сварочного тока
- индикацию сетевого напряжения при включении установки TIG и индикацию отключения установки при тепловой перегрузке
- регулирование величины начального тока сварки
- плавное регулирование величины сварочного тока

4.7. Технология сварки неплавящимся электродом.

В настоящее время в качестве неплавящегося электрода используют преимущественно стержни из чистого вольфрама с активирующими присадками лантана, циркония, цезия, бария, иттрия, которые облегчают зажигание и поддерживают горение дуги, повышают стойкость электрода. Повысить силу сварочного тока и уменьшить расход электрода позволяет применение композиционного электрода. Уменьшения контактного сопротивления в месте зажатия электрода в цанге и улучшения теплоотвода от него достигают за счет напрессовки на вольфрамовый электрод медной трубки. Функцию защитных в этих случаях выполняют инертные газы и их смеси или смеси инертных газов с азотом и водородом. Не допускается использовать газы, содержащие кислород, из-за окисления вольфрама и его быстрого разрушения. При сварке в аргоне допустимая сила сварочного тока выше, чем при сварке в гелии. При сварке в углекислом газе неплавящимися электродами могут служить угольные или графитовые стержни. Но этот способ сварки находит ограниченное применение из-за низкой производительности.

При сварке вольфрамовым электродом в зависимости от типа свариваемого металла используют постоянный или переменный ток. При сварке на переменном токе рабочий конец электрода затачивают в виде полусферы. При сварке на постоянном токе конец электрода затачивают под углом 60° на длине 2 -- 3 диаметров или в виде четырехгранной пирамиды. Работа с активированными электродами и их хранение должны учитывать требования санитарных правил работы с радиоактивными веществами.

Расход вольфрамовых электродов невелик. Для его уменьшения подачу защитного газа следует начинать до возбуждения дуги, а заканчивать через 5 -- 10 с после обрыва дуги для охлаждения электрода в струе газа. Для предупреждения загрязнения вольфрамового электрода и оплавления его дугу возбуждают, используя осцилляторы или разряд конденсаторов, без касания концом электрода изделия.

Технологические свойства дуги зависят от рода тока. При прямой полярности тока на изделия выделяется около 70 % тепла, что и обеспечивает более глубокое проплавление основного металла, чем при токе с обратной полярностью, где наблюдается повышенный разогрев электрода, и поэтому допустимая сила сварочного тока уменьшена. При использовании

переменного тока из-за физических особенностей электропроводимости дуги неодинакова в различные полупериоды полярности переменного тока. Она выше, когда катод на электроде (прямая полярность), и ниже, когда катод на изделии (обратная полярность). В соответствии с этим и сила сварочного тока больше при прямой и меньше при обратной полярности, т. е. проявляется выпрямляющий эффект сварочной дуги, связанный с различными теплофизическими свойствами электрода и изделия.

Для повышения глубины проплавления можно использовать следующие способы:

а) сварка по окисленной поверхности. Наличие окислов уменьшает блуждание дуги по основному металлу, что повышает эффективность выделения тепла в дуге и на изделии. Глубина проплавления возрастает на 15-30 %, однако размер окисной пленки должен быть в пределах 20-200 мкм

б) сварка по слою флюса, толщиной до 0,25 мм, состоящего из галогенидов и некоторых окислов (для сварки титана флюсы АНТ-15А, АНТ-17А, АНТ-19А, АНТ-23А). Глубина проплавления увеличивается благодаря концентрации тепловой энергии в активном пятне на изделии, повышению эффективной мощности дуги. За счет уменьшения ширины шва и зоны термического влияния снижаются коробления сварных конструкций

в) сварка с добавкой к защитному газу десятых долей процента газообразных галогенидов, которые способствуют повышению эффективности тепловой мощности дуги.

При сварке с щелевой разделкой, когда первые слои сваривают в нижней части кромок, используют автоматы, а также специальной конструкции цанги и газовые сопла, обеспечивающие сварку в глубокую разделку.

Одной из разновидностей сварки вольфрамовым электродом является сварка погруженной дугой. При увеличении расхода защитного газа дуга обжимается, а ее температура повышается. Давление защитного газа и дуги, оттесняя из-под дуги расплавленный металл, способствует заглублению дуги в основной металл. В результате глубина провара резко увеличивается. При толщине металла до 10 мм поток плазмы создает в металле отверстие и может выходить на обратную сторону соединения. Металл, оплавленный на передней кромке, перемещается в хвостовую часть ванны и, кристаллизуясь, образует шов. Благодаря горению дуги ниже верхней поверхности основного металла шов имеет бочкообразную форму.

Этим способом без разделки кромок за один проход можно сваривать металл толщиной до 50 мм при зазоре между кромками 6-10 мм. При сварке вольфрамовым электродом дуга может гореть как при практически постоянной силе сварочного тока, так и по определенной программе - импульсная дуга (сварка пульсирующей дугой). Этот способ находит применение при сварке тонкого металла толщиной от долей миллиметров до

3-4 мм. В этом случае требуется небольшая сила сварочного тока, при которой дуга неустойчива. Повышение тока увеличивает и размеры сварочной ванны, что часто приводит к прожогам. Использование тока, по величине достаточного для стабильного горения дуги и включаемого периодически, импульсами с частотой которая уменьшает размеры сварочной ванны, образующейся из отдельных точек. В перерыве между импульсами тока сварочная ванна успевает частично закристаллизоваться, что снижает вероятность прожогов. Для предупреждения этого в паузах между импульсами поддерживается дежурная дуга с уменьшенным сварочным током. Регулируя соотношение между Импульсами и Паузы и продолжительностью цикла, а также скоростью сварки, изменяют форму и размеры шва. Этот способ позволяет сваривать стыковые соединения на весу во всех пространственных положениях(ППС-01).

Дуговой сваркой вольфрамовым электродом можно сваривать все типы соединений в различных пространственных положениях, Этот способ обычно целесообразен для соединения металла толщиной до 5-6 мм. Однако его можно использовать и для металла большей толщины. Сварка выполняется без присадочного металла, когда шов формируется за счет расплавления кромок, и с присадочным металлом, подаваемым в зону дуги в виде сварочной проволоки. Как правило, сварку ведут при напряжении дуги 22-34 В, при этом длина дуги должна быть 1,5-3 мм. Вылет конца электрода из сопла не должен превышать 3-5 мм, а при сварке угловых швов и стыковых с разделкой - 5-7 мм.

При соединении металла толщиной до 10 мм ручную сварку выполняют справа налево. Поток защитного газа должен надежно охватывать всю область сварочной ванны и разогретую часть сварочной проволоки. При уменьшении толщины свариваемого металла угол между горелкой и изделием уменьшают. Для сварки материала толщиной свыше 10 мм следует применять правый способ сварки, а угол между горелкой и изделием должен быть близким к 90°. Такое положение горелки относительно изделия рекомендуется и при сварке угловых соединений. Сварочную проволоку вводят не в столб дуги, а сбоку возвратно-поступательными движениями при сварке тонколистового металла. При механизированной и автоматической сварке электрод располагают перпендикулярно поверхности изделия. Угол между ним и сварочной проволокой приближается к 90°. При сварке многослойных швов отдельные валики рекомендуется выполнять не на всю ширину разделки.

При сварке вертикальных швов на спуск при значительных размерах сварочной ванны расплавленный металл может, подтекая под электрод, уменьшить глубину проплавления и привести к закорачиванию дуги. Дугу следует обрывать понижением сварочного тока, а при ручной сварке - ее постепенным удлинением. Особенные трудности, приводящие к нарушению формирования шва при сварке стыковых соединений тонколистового металла толщиной до 2,5 мм, возникают из-за деформации кромок. Для их

предупреждения применяют клавишные прижимные приспособления, сборку соединения под углом $7-10^\circ$ или местный отгиб кромок в сторону подкладки.

При сварке толстолиствого металла толщиной до 60 мм и более целесообразно использовать многослойную сварку в щелевой зазор. Для этого кромки соединения готовят без скоса (90° к поверхности) и собирают с зазором 6-8 мм. Первый слой сваривают на медной съемной подкладке или на остающейся подкладке. Диаметр активированного электрода 2,5-4 мм, сварочный ток. При таких размерах щели и электрода достигается равномерное оплавление обеих кромок соединения. Качество соединения можно повысить, если применить электрод с отогнутым рабочим концом и в процессе сварки сообщить ему вращательные движения в щель от одной кромки к другой. Для улучшения сплавления между слоями сварочную проволоку рекомендуется подавать в сварочную ванну дугой. Зону сварки защищают аргоном или смесью из равных долей аргона и гелия. При горении дуги в щели улучшается использование ее тепла для плавления металла.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены современное состояние и перспективы применения алюминия и алюминиевых сплавов в промышленности. Рассмотрены преимущества аргоно-дуговой сварки плавлением алюминия и алюминиевых сплавов разнополярными импульсами тока прямоугольной формы.

Сделан обзор существующих схем ГРИТ, выделены несколько типов генераторов, отличающихся принципом формирования разнополярных импульсов тока. Указаны достоинства и недостатки существующих схем.

Приведено обоснование выбранной схемы диссипативного ГИТ с двумя источниками постоянного напряжения, включенными последовательно.

Приведены законы изменения токов и напряжений в схеме. Приведенные выражения позволяют при заданных параметрах генератора однозначно определить мгновенные, средние и действующие токи на элементах, максимальные напряжения на транзисторах, мощности выделяемые в РП, входные мощности, КПД ГИТ. Построены диаграммы токов дуги, транзисторов, секций ИН, напряжений на транзисторах.

Произведен расчет элементов ГИТ: индуктивного накопителя, управляемых выпрямителей, входного трехфазного трансформатора. Произведен выбор полупроводниковых приборов.

Также был произведен расчет затрат на разработку устройства, проанализирована безопасность и экологичность проекта.

Список использованных источников

1. Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов / Рабкин Д.М. - Киев : Наук.думка, 1986.-256с.
2. Рязанцев В.И., Федосеев В.А., Сварка конструкций орбитального самолета «Буран», - «Сварочное производство», 1997, №4, с 31-36.
3. Рязанцев В.И., Федосеев В.А., Мацнев В.Н., Создание сварного кузова автомобиля из алюминиевых сплавов «Сварочное производство», 1999, №11, с 36-42.
4. Вернадский В.Н., Мазур А.А., Состояние и перспективы мирового сварочного рынка «Автоматическая сварка», 1999, №11, с 49-56.
5. Абралов М.А., Абдурахманов Р. У. Аргодуговая сварка алюминиевых сплавов. Ташкент: Фан, 1989. 232 с.
6. Стеклов О. И. Основы сварочного производства: Учеб. Для сред. ПТУ.-2-е изд., перераб. И доп.- М.:Высш. Шк., 1986.-224 с, ил.- (Профтехобразование).
7. Рабкин Д.М., Воропай Н.М., Мишенков В.А., Аргодуговая сварка алюминиевых сплавов при прямоугольной форме кривой переменного тока.- «Автоматическая сварка», 1968, №7, с 74-75.
8. Ищенко А.Я., Чаюн А.Г., Мишенков В.А., Пентегов В.И., Легостаев В.А., Стемковский Е.П., Аргоно-дуговая сварка алюминиевого сплава 01420 разнополярными прямоугольными импульсами тока.- «Автоматическая сварка», 1978, №10, с 48-50.
9. Ивашин В.В., Чернявский Н.И., Симкин С.А., Петинова Т.М., Янова З.А. Отчет о НИР: Разработка импульсных систем питания для электромеханических систем и электротехнологии. Тольятти: ТолПИ, 1985.- 179 с.
10. Левин Г.И., Виноградов В.А. Источник питания для сварки алюминия малых толщин.- «Автоматическая сварка», 1972, №5, с 72-74.

11. Быков Л.И., Воропай Н.М., Мишенков В.А. Источник питания для сварки алюминиевых сплавов прямоугольными импульсами.- «Автоматическая сварка», 1972, №7, с 72-73.
12. Короткова Г.М., Цепенев Р.А. Источники питания для сварки: Учебное пособие - Тольятти: ТолПИ, 1978.-40 с.
13. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги: Учебник. -М. : Высш. школа, 1982.-182 с, ил.
14. Ермолин Н.П., Швец Г.Г. Расчет силовых трансформаторов: Пособие по курсовому проектированию - Ленинград: Ленинградский Электротехнический Институт, 1964.-250 с.
15. Бар В.И. Проектирование ведомых сетью статических преобразователей средней и большой мощности: Учебное пособие. - Тольятти: ТолПИ, 1994.-76 с.
16. Каталог. Силовые полупроводниковые приборы.:АО «Электровыпрямитель», 1997.
17. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник/О.Г.Чебовский, Л.Г.Моисеев, Р.П.Недошивин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1985. - 400 с,ил.
18. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института электромеханики. Том 58. Технология изготовления печатных плат для систем управления в электротехнике. - М.: ВНИИЭМ, 1979. - 136 с, ил.
19. Ильин В. А. Технология изготовления печатных плат. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. -77 с., ил.
20. Жигалов А.Т., Котов Е.П., Шихаев К.Н., Хохлов Б.А. Конструирование и технология изготовления печатных плат. Учебн. пособие для радиотехнических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1973. - 216 с, ил.
21. Козырев В.М. Основы современной экономики: Учебник. - М. : Финансы и статистика, 1998. - 368 с:ил.

22. Терехин А.С, Мосолов Н.И. Безопасность труда электросварщика / Редкол. : СВ. Белов и др. - М. : Машиностроение, 1990.-96 с: ил. - (Б-ка рабочего-машиностроителя по охране труда).

23. Безопасность производственных процессов:С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др.; Под общ. Ред.С.В.Белова.-М. : Машиностроение, 1985.-448с, ил.

24. Писаренко В.Л., Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. - М.: Машиностроение, 1981. - 120 с, ил.

25. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов/ Е.Я.Юдин, С.В.Белов, С.К.Баланцев и др.; Под ред. Е.Я.Юдина, С.В.Белова - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983, 432 с, ил.

26. www.CT-CONCEPT.com

27. www.platan.ru

28. Безопасность производственных процессов: Справочник / С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин и др.; Под ред. С.В. Белова. – М: Машиностроение, 1985 г. 448 с.

29. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. М.: Издательский дом Додека-XXI, 2001.-384с.

30. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. Школа, 1982. 496 с.

31. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.

32. Интегральные микросхемы: Справочник / Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др.; Под ред. Б. В. Тарабрина. – 2-е изд., испр. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 528 с., ил.

33. Князевский Б.А., Чекалин Н.А. Техника безопасности и противопожарная техника в электроустановках. Учебное пособие для

средних специальных учебных заведений по электротехническим специальностям. Изд.2-е, перераб. и доп. М., “Энергия”, 1973. – 248с.

34. Масленников М.Ю. и др. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. М. «Энергоатомиздат» 1993. - 224с.

35. Микросхемы и их применение: Справочное пособие / В.А. Батушев, В.И. Вениаминов и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984 – 272с.,ил.

36. Мощные полупроводниковые приборы: Диоды: Справочник / Б.А. Бородин, Б.В. Кондратьев, В.М. Ломакин и др.; Под ред. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 400 с.

37. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник для ВУЗов / Н.И. Баклашов, И.Х. Китаева, Б.Д. Терехов. – М.: Радио и связь, 1989ю – 288с.

38. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник – 2-е изд. стереотип. - /А.Б. Гитцевич, А.А.Зайцев, В.В. Мкряков и др. Под ред. А.В. Гомедова.- М.: КубК-а, 1996-528с., ил.

39. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995 г. – 664 с.

40. Смердов, В. Силовые модули на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором / В. Смердов, А. Образцов // Электронные компоненты. - 2005 . - №1.

41. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь,1996.

42. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир,1982. – 512 с.,ил.

43. Шило В.Л. Популярные микросхемы КМОП. Справочник. – М.: Изд-во «Ягуар», 1993. – 64 с.

44. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник /В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.: Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с., ил.

45. Источник тока инверторный для дуговой сварки ДС 200А.33. Руководство по эксплуатации. Чебоксары, 2004г.

46. Пат. 2162777 РФ, МКИ7 В23К009/10 Источник питания для ручной дуговой сварки / Кузнецов В.П. Заявка № 99111040/02

47. Пат. 2174898 РФ, МКИ7 В23К009/09 Устройство для сварки / Гуков Д.В., Пеледов А.Л., Еруманс А.А. Заявка № 99122866/02

48. Пат. 2175596 РФ, МКИ7 В23К009/10 Устройство для сварки. Князьков А.Ф., Федько В.Т., Князьков С.А., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Заявка № 2000107229/02.