

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Трехфазный двухэлектродный источник сварочной дуги

Обучающийся

А. Д. Богомолов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А. В. Прядилов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Объем 44 с., 13 рис., 33 источника
СВАРОЧНАЯ ДУГА, ТРЕХФАЗНАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА,
РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТОКА.

Объектом исследования является трехфазный двухэлектродный источник сварочной дуги.

Цель работы: разработка электрической части лабораторного трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги с возможностью широкого регулирования величины сварочного тока.

Задачи работы:

- провести обзор известных решений источников трехфазной дуги;
- разработать схему трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги с возможностью регулирования значения переменного тока;
- произвести расчет параметров узлов схемы и выбрать все элементы;
- выбрать и произвести расчет сварочного трансформатора.

Данные задачи решены в 3 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, рассчитан сварочный трансформатор.

В данной работе происходит разработка электрической части трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги с возможностью регулирования сварочного тока. Выполнен обзор состояния вопроса, разработка электрической схемы, расчет электрической схемы, выбор элементов и расчет сварочного трансформатора. Разработанная схема позволяет регулировать ток сварочной дуги, что позволяет осуществлять качественные сварочные работы в различных условиях.

Abstract

The title of the graduation work is « Three-phase two-electrode welding arc source».

The senior paper consists of an introduction, 3 parts, a conclusion, 13 picture, 2 tables, list of references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of the study is a three-phase two-electrode welding arc source.

The purpose of the work: to develop the electrical part of a three-phase two-electrode welding arc source with the possibility of regulating the welding current.

Tasks of the work:

- to review known solutions for three-phase arc sources;
- to develop a scheme for a three-phase two-electrode welding arc source with the possibility of regulating the value of alternating current;
- calculate the parameters of the circuit nodes and select all the elements
- select and calculate the parameters of the welding transformer design.

These tasks are solved in 3 chapters of the work.

The degree of implementation: the system parameters are theoretically calculated, circuits are developed and elements are selected, a welding transformer is calculated.

In this work, the electrical part of a three-phase two-electrode welding arc source is being developed with the possibility of regulating the welding current. An overview of the status of the issue, the development of an electrical circuit, the calculation of an electrical circuit, the selection of elements and the calculation of a welding transformer are performed. The developed scheme allows you to adjust the welding arc current, which allows you to carry out high-quality welding work in various conditions.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Анализ источников питания трехфазной дуги	6
1.2 Формулирование цели и задач проекта.....	14
2. Разработка и расчет схемы.....	16
2.1. Разработка силовой схемы.....	16
2.2 Расчет параметров схемы транзисторного регулятора тока	22
2.3 Расчет параметров тиристорного регулятора тока	24
3 Разработка и расчет силового трансформатора	28
Заключение	38
Список используемой литературы	39
Приложение А Перечень элементов	42
Приложение Б. Спецификация к сборочному чертежу.	44

Введение

В современной промышленности все больший объем занимают изделия, изготовленные из сплавов алюминия и магния.

Технологические процессы сварки, наплавки, локальной электродуговой и термообработки таких изделий осложнены специфическими свойствами легких сплавов, такими как высокая удельная теплопроводность, наличие на поверхности окисной пленки и др.. Наиболее распространенным способом электродуговой обработки изделий из магниевых и алюминиевых сплавов является аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом на переменном токе. Она позволяет решать многие вопросы, связанные с производством сварных конструкций и с проведением сварочных ремонтных работ [16].

В последнее время хорошо зарекомендовал себя способ сварки трехфазной дугой неплавящимися электродами в среде аргона [25],[26].

По сравнению с однофазной, трехфазная дуга обладает высокой тепловой мощностью и имеет более высокую стабильность горения, что значительно расширяет ее технологические возможности. Таким образом, использование трехфазной дуги для ремонтной сварки и наплавки является одним из перспективных направлений в области разработки ресурсосберегающих технологий

В тоже время известны ещё далеко не все особенности этого сварочного инструмента и существует необходимость в проведении целого ряда исследований для их выявления.

Данная работа ставит целью улучшить качество сварных соединений путем исследования процессов сварки с помощью лабораторного исследовательского источника питания трехфазной дуги, позволяющего управлять значением тока дуги по заранее определённом закону и повысить качество сварного шва.

1 Состояние вопроса

1.1 Анализ источников питания трехфазной дуги

Сварка и наплавка изделий из алюминиевых и магниевых сплавов сопряжена с определенными трудностями связанными с теплофизическими и химическими свойствами этих сплавов.

Обеспечение требуемой глубины проплавления металла и соответствующего уровня качества сварного шва или наплавленного слоя осуществляется, зачастую, с помощью аргонодуговой сварки на переменном токе неплавящимся электродом.

При этом, как правило, используют установки для сварки на однофазном переменном токе типа УДАР-500, УДГ-501-1УХЛ4, УДГ-301-УХЛ4, ИСВУ-315,ТИР-300Д. Такое оборудование, хоть и позволяет сваривать легкие сплавы различных толщин и обеспечивать «катодное распыление» пленки окислов, но, тем не менее, обладает целым рядом недостатков:

- невысокая стабильность горения однофазной дуги, приводит к образованию на поверхности сварного шва кратеров, что значительно снижает его качество. В связи с этим при сварке приходится применять специальные устройства стабилизации;

- недостаточная тепловая мощность сварочной дуги, в особенности при сварке и наплавке крупногабаритных деталей, вызывает необходимость применения дополнительных подогревающих устройств;

- из-за высокой токовой нагрузки на электрод сварочной горелки происходит попадание вольфрама в сварной шов;

- узкий диапазон регулирования тока сварки, приводит к необходимости изготовления широкой номенклатуры источников питания.

Эти недостатки привели, в свое время, разработчиков источников питания к необходимости создания более мощных установок, способных

охватить широкий диапазон сварочных токов и позволяющих обеспечить стабильность горения дуги на уровне дуги постоянного тока.

Повышение качества наплавленного слоя и уменьшения термического воздействия на основной металл при наплавочных работах, стала возможной благодаря разработке специализированного оборудования для сварки легких сплавов трехфазной дугой неплавящимися электродами в среде аргона.

Один из первых трехфазных сварочных источников СТ-3 РСТ разработан Сиуновым Н.С., Михайловым Г.П., Рабиновичем И.Я. [27]. Он представляет собой трехфазный трансформатор с дросселем специальной конструкцией ЗСТ-ЗРСТ (рис.1). Трансформатор ЗСТ относится к понижающим трансформаторам с малым индуктивным сопротивлением, первичные и вторичные обмотки которого соединены звездой. Дроссель ЗРСТ состоит из двух разомкнутых сердечников с подвижными пакетами. На одном сердечнике дросселя расположены две обмотки, включенные последовательно в цепь «электрод1» и «электрод2». Обмотка другого сердечника включается последовательно в цепь «деталь». Для стабильного горения элементарных дуг используют стабилизаторы, дающие короткий, но мощный импульс в момент перехода сварочного тока через нуль.

Другая силовая схема для питания трехфазной дуги состоит из двух трансформаторов типа СТЗ-34, соединенных между собой открытым треугольником, с дросселями типа РСТЗ-34, включенными последовательно в цепь «электрод1» и «электрод2» (рис.2) [25]. Именно эта схема использовалась в дальнейшем как основа для разрабатываемых источников питания трехфазной дуги.

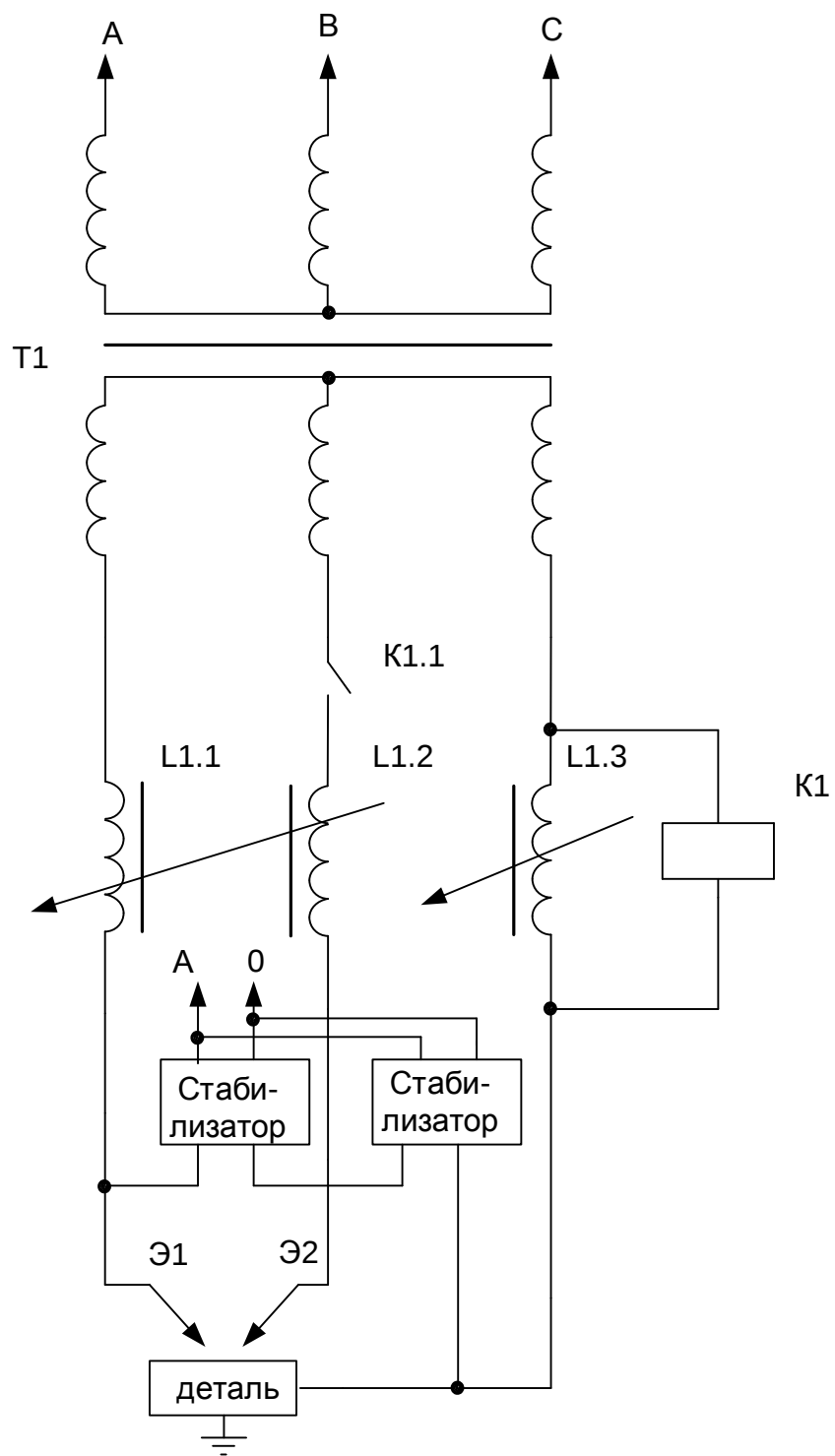


Рисунок 1 - трехфазный трансформатор с дросселем специальной конструкцией ЗСТ-ЗРСТ/

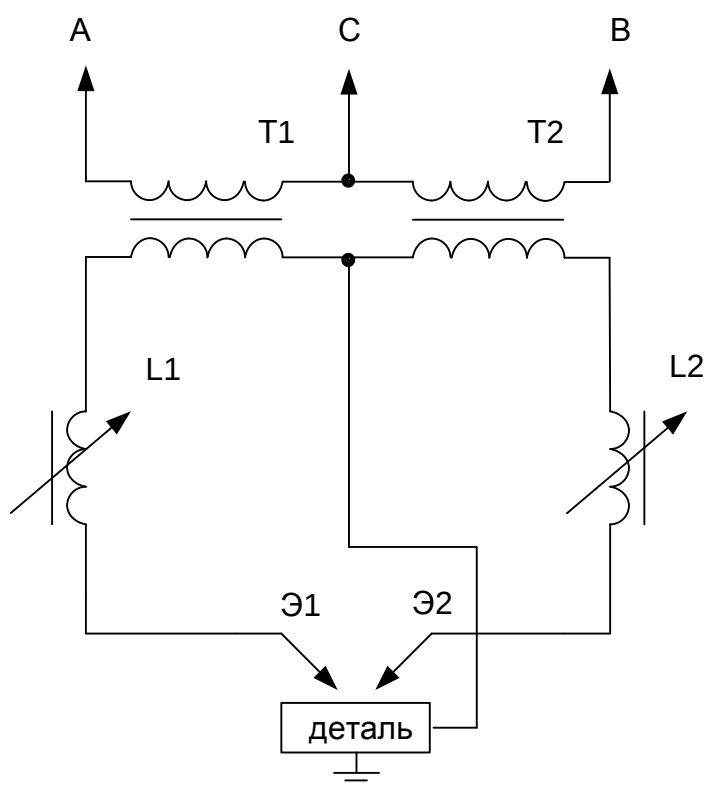


Рисунок 2 - Схема для питания трехфазной дуги из двух трансформаторов типа СТЗ-34

«Электрическая трехфазная дуга на выходе такого источника, горящая в среде аргона с неплавящихся электродов, представляет собой высокотемпературный энергетический объект, в котором горят три отдельные дуги переменного тока. Образование дугового разряда обеспечивает электрическая схема трехфазного источника питания, позволяющая подключать две фазы соответственно к двум электродам, а третью фазу к изделию. Токорегулирующий элемент включают в цепь средней фазы, либо используют два токорегулирующих элемента включенных в цепи крайних фаз. Две дуги, горящие между электродами и изделием, называют основными или зависимыми, а третью – межэлектродной или независимой, поскольку действующее значение тока в ней остается неизменным. В каждый момент времени в трехфазном факеле горит хотя бы две дуги: «вольфрам – алюминий» (далее W и Al) и W-W, или W-Al, W-Al (рис. 3).»[1]

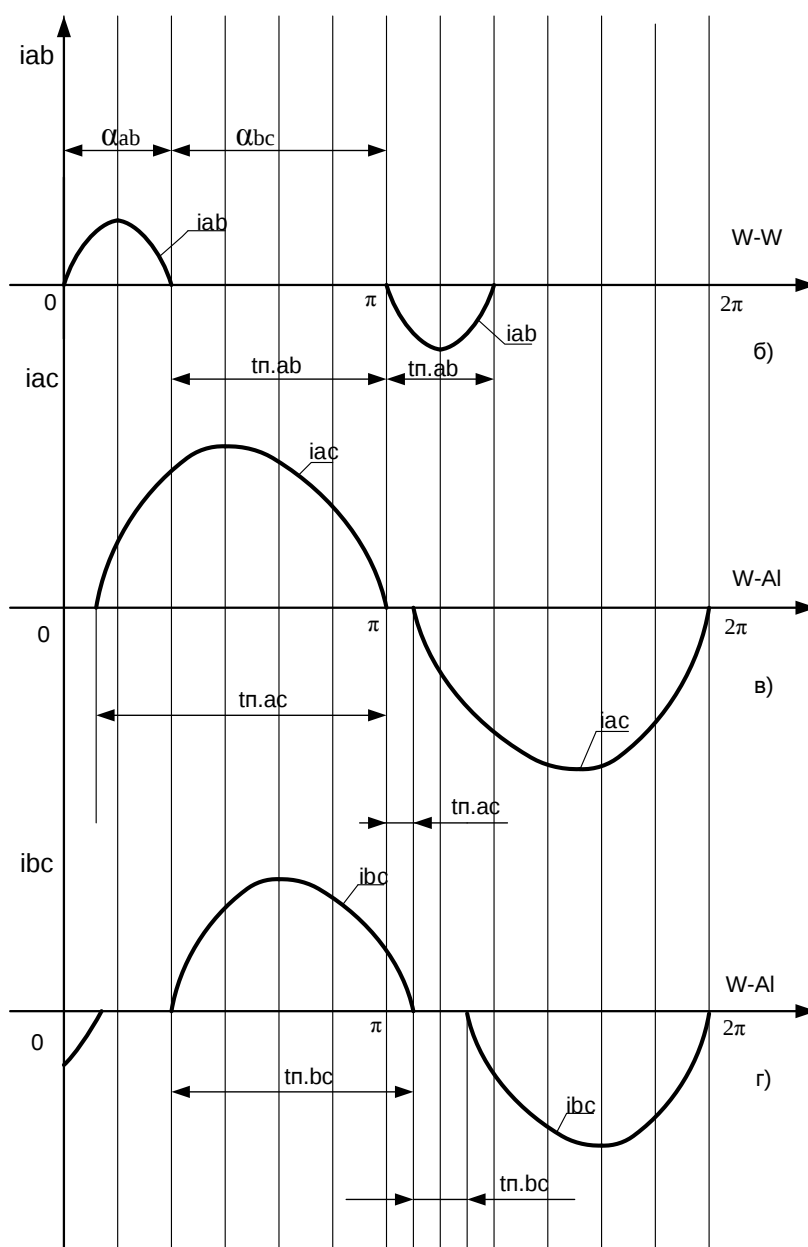
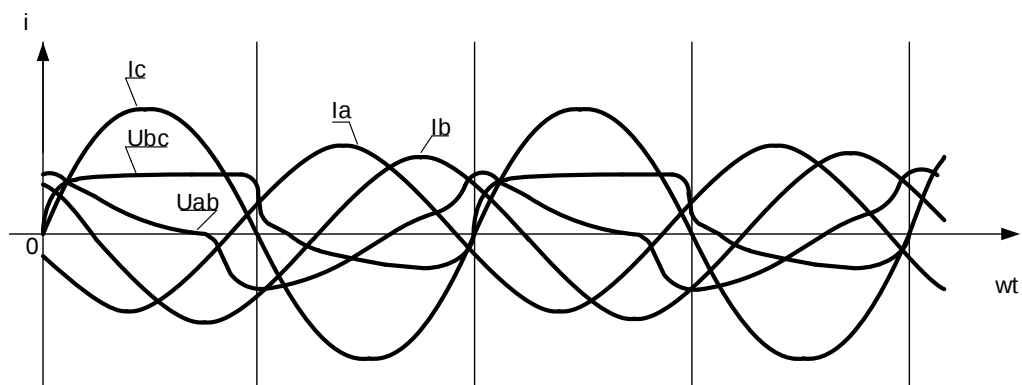


Рис. 3 – Горение трехфазной дуги

Наличие в токе постоянной составляющей негативно сказывается на работе трансформатора. Для её устранения в схему введены активные сопротивления.

Рассмотренные силовые схемы имеют ряд недостатков:

- активное сопротивление в цепи увеличивает активные потери и не полностью нейтрализует вредное влияние постоянной составляющей сварочного тока на сварочный трансформатор и технологический процесс;

- стабилизаторы, применяемые для поддержания устойчивой работы системы источник-дуга, генерируют широкий спектр частот, попадающих в питающую сеть и создающих радиопомехи;

- многочисленность входящих в схему стандартных единиц оборудования приводит к загромождению производственной площади и создает неудобства в работе;

Из-за значительных эксплуатационных недостатков и низких технико-экономических показателей трансформаторы типа СТЭ и ТСД сняты с производства.

Вышеперечисленные недостатки отсутствуют у источников питания АДГТ-600 и ИТД-600/1000 [17].

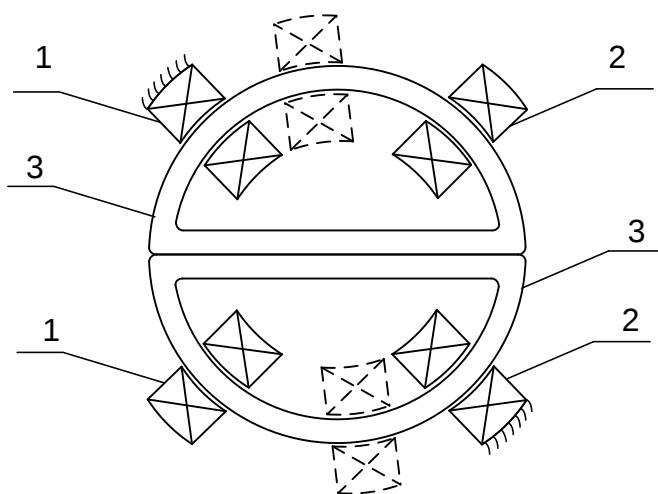
Силовые схемы этих источников питания имеют существенные отличия. Исключение постоянной составляющей осуществляется батареей конденсаторов, которая повышает коэффициент мощности источника питания и не создает дополнительных активных потерь мощности, как это наблюдалось при использовании балластных сопротивлений. Для обеспечения устойчивой работы системы «источник питания - трехфазная дуга» в схемах используют стабилизаторы дуги.

Тиристорный регулятор, включенный в цепь средней фазы вызывает искажение формы кривых сварочного тока. В периоды формируемых токовых пауз происходит деионизация междугового промежутка, что приводит к

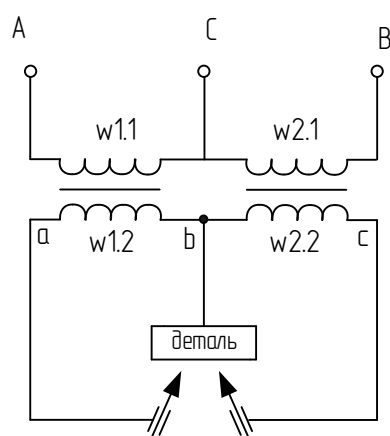
гашению элементарных дуг и нарушению стабильности горения трёхфазного факела.

По данным работы [25] известно, что стабильность горения трёхфазной дуги не нарушается при изменении угла открывания тиристоров в диапазоне, без применения устройств стабилизации. Таким образом не удастся изменить сварочный ток от номинального значения до нуля.

Внешний вид трансформатора изображен на рис.4.



а) внешний вид трансформатора



б) схема соединения обмоток

Рисунок 4 – Сварочный трансформатор с кольцевым витым магнитопроводом.

«Первичная обмотка 2 и вторичная обмотка 5 неподвижно закреплены на кольцевом магнитопроводе и расположены диаметрально противоположно. Две другие обмотки трансформатора - 3 и 4, жестко связаны с корпусом ИП, расположены так же диаметрально противоположно и обеспечивают свободное движение магнитопровода в них. Обмотки 2, 3 и 4, 5 соединены по схеме открытого треугольника.

Оценка использования такого трансформатора показала, что трансформаторы с подвижными обмотками обеспечивают трансформаторы с подвижными обмотками. Кроме того, трехфазный трансформатор с витым кольцевым магнитопроводом по сравнению с трехфазным трансформатором, у которого шихтованный магнитопровод меньше вес в 1,11 раза, потери мощности в стали - в 1,23 раза. Основным недостатком данного ИП является наличие подвижных обмоток в трансформаторе. Во-первых, к подвижным обмоткам подсоединены кабели, в которых в последствии может нарушиться изоляция в результате трения; во-вторых, регулирование тока за счет разведения обмоток не позволяет снижать ток до нуля (из-за ограничения возможности разведения обмоток); в-третьих, при регулировании тока за счет подвижных обмоток изменяется ток во всех фазах одновременно, а именно: ток в межэлектродной дуге и ток между электродами и изделием. В результате чего, может нарушаться стабильность горения дуги, т.е., когда обмотки трансформатора разведены на максимальное расстояние, и ток в межэлектродной дуге имеет минимальное значение, возможно прерывание горения дуги. Кроме того существует еще один недостаток - увеличенные габариты из-за наличия подвижных обмоток.

Известно, что характер распределения температуры в зоне ремонта, скорость охлаждения металла сварочной ванны и зоны термического влияния оказывают решающее воздействие на темп развития внутренних деформаций и напряжений, которые определяют технологическую прочность сварных соединений.»[1]

Зачастую при завершении процесса сварки ток дуги уменьшается от номинального значения до нуля скачкообразно. При этом происходит резкое снижение тепловложений в металл, что является причиной трещинообразований и снижения качества сварного соединения.

Вместе с тем известно, что одним из способов уменьшения скорости охлаждения металла в сварочном кратере является плавное снижение тока дуги от номинального значения до нуля [1]. Плавное снижение тока, а значит и тепловой мощности дуги до нуля по какому-либо закону является элементарным актом модуляции тепловложения. Однако влияние характера изменения тепловой мощности дуги на скорость охлаждения металла в зоне термического воздействия (далее ЗТВ) практически не изучено.

Наиболее важным остается вопрос реализации спада тока по определенному закону. В установке УДГТ-315 применяется аналоговое устройство управления тиристорным блоком, способное обеспечивать спад тока только по линейному закону, и в большинстве случаев при ее использовании не удается добиться высокого качества сварных соединений.

1.2 Формулирование цели и задач проекта

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что существует насущная потребность в установлении закономерности изменения тепловой ситуации в зоне воздействия дуги от технологических параметров сварки, или в более общей форме, - зависимости технологической прочности сварных соединений от технологических параметров сварки.

Отсюда возникает необходимость в создании инструмента поиска оптимального закона, а именно в создании источника питания трехфазной дуги, содержащий регулятор переменного тока, управляя работой которого можно плавно изменять действующее значение сварочного тока в завершении процесса сварки.

Сформулируем цель ВКР: разработка электрической части трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги с возможностью регулирования сварочного тока.

Источник питания трёхфазной дуги должен обеспечивать широкий диапазон регулирования сварочного тока по заданию от 5 до 300А.

Схемотехника токорегулирующего блока должна обеспечивать возможность такого управления, при котором будет возможен спад действующего значения тока в завершении процесса по различным заранее заданным законам. При этом максимальное время спада тока составляет 180с. Во всех устройствах описанных выше регулировка тока осуществляется в ручную, и следовательно его спад в завершении сварочного процесса по какому-либо закону в течение короткого промежутка времени не представляется возможным. В разрабатываемом же устройстве должна существовать возможность быстро и точно изменять сварочный ток.

Так же схема должна учитывать возможность изменения действующего значения тока с помощью различных методов его коммутации, для оценки влияния этого фактора на качество сварного соединения.

Для достижения выше поставленных целей в работе сформулированы следующие задачи:

- провести обзор известных решений источников трехфазной дуги;
- разработать схему трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги со возможностью регулирования значения переменного тока;
- произвести расчет параметров узлов схемы и выбрать все элементы
- выбрать и произвести расчет параметров конструкции сварочного трансформатора.

Заключение

В первой главе проведен обзор существующих источников трехфазной дуги, сформулированы цель и задачи работы.

2. Разработка и расчет схемы

2.1. Разработка силовой схемы

При разработке силовой схемы источника питания необходимо учесть особенности горения трёхфазной дуги, а именно влияние ширины токовой паузы на ее стабильность и наличие в токах элементарных дуг постоянной составляющей.

Для обеспечения стабильного горения ТФД в диапазоне токов от нуля и до максимального необходимо при регулировании действующего значения тока избегать превышения времени токовых пауз выше определенного.

Для решения этой задачи в разрабатываемом источнике питания будет применен регулятор тока, выполненный на транзисторах [3]. Диаграмма тока в средней фазе при его использовании изображена на рис.4.

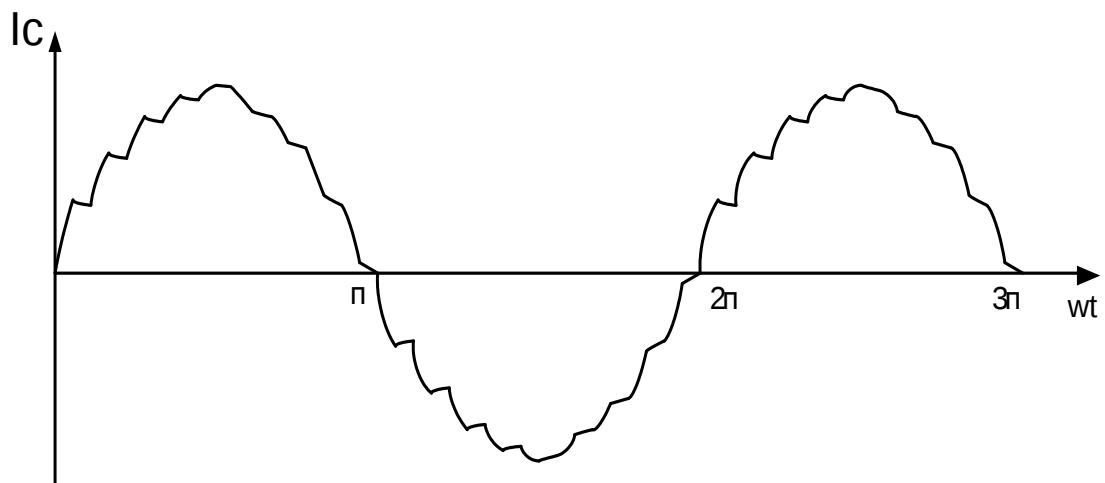


Рис. 4 - Диаграмма тока в средней фазе

Достоинством применения транзисторов в качестве силовых ключей для обеспечения такого характера тока является то, что ключ является управляемым на протяжении всего сетевого полупериода. Управление действующим значением тока происходит в результате изменения частоты и скважности управляющих импульсов.

В случае использования тиристорного ключа для его закрывания необходимо использовать принудительную коммутацию тиристоров, что значительно усложняет схему и делает ее менее надежной.

Однако особенности сварки при данном методе регулирования ранее не выявлялись, и не известно как его применение скажется на качестве сварных соединений. Поэтому в разрабатываемом источнике питания ТФД будет применяться как транзисторный регулятор тока, так и тиристорный.

Таким образом, силовая схема источника питания включает в себя силовой трансформатор и регуляторы переменного тока. Каждый регулятор представляет собой отдельный блок и может подключаться к выходу силового трансформатора на стадиях эксперимента с помощью разъемных соединений.

Силовая схема источника питания состоит из силового трансформатора и регуляторов переменного тока. Каждый регулятор представляет собой отдельный блок и может подключаться к выходу силового трансформатора на стадиях эксперимента с помощью разъемных соединений.

Силовая часть схемы регулятора тока на транзисторах в упрощенном виде изображена на Рис.5.

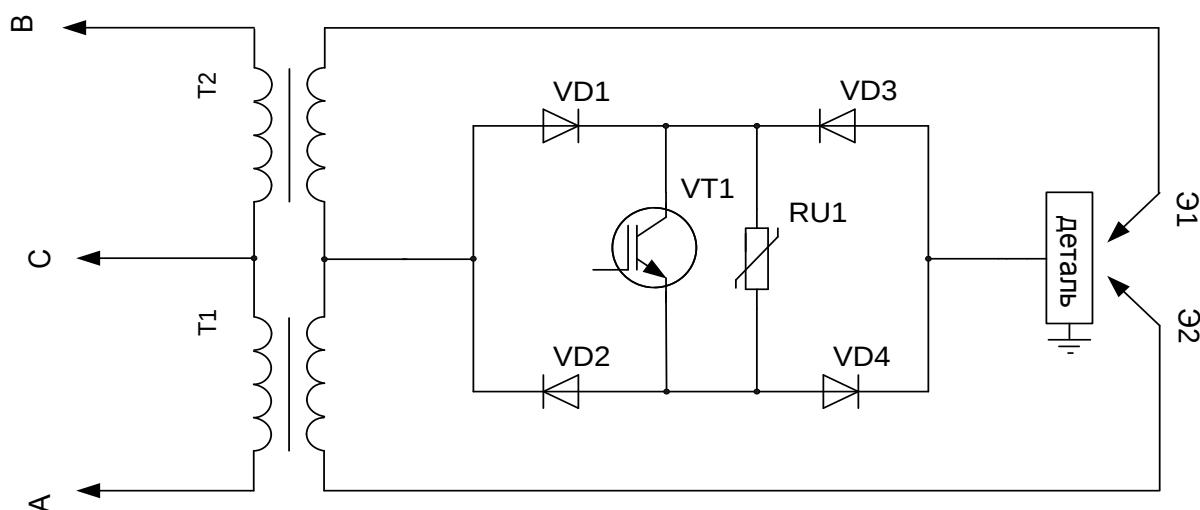


Рисунок 5 - Схема с использованием транзисторного регулятора тока

Регулятор тока, включенный в цепь средней фазы, состоит из диодного моста VD1-VD4, в одну диагональ которого включен ключевой элемент VT1, а в другую диагональ цепь с коммутируемым током. Таким образом через ключ VT1 всегда протекает ток только одной полярности. Наличие индуктивности рассеяния трансформатора L_s затрудняет коммутирование тока в средней фазе. При закрытии ключа VT1 ток прерывается, но энергия накопленная в индуктивности, стремится его поддержать, поэтому на вторичной обмотке трансформатора возникает выброс напряжения ΔU , который складывается с напряжением U_{xx} . Величина дополнительного напряжения $\Delta U = L_s \cdot \frac{di}{dt}$, где $\frac{di}{dt}$ - скорость спада тока. Таким образом на ключе VT1 во время коммутации падает напряжение $U_k = \Delta U + U_{xx}$, которое в сотни раз превышает предельно допустимое значение. Для защиты ключа VT1 от потенциального пробоя параллельно ему подключен варистор, напряжение ограничения которого на несколько десятков вольт больше напряжения холостого хода трансформатора.

В схеме используется широтно-импульсное регулирование (ШИМ) действующего значения тока в средней фазе. Значение частоты коммутации приняли $f_k = 500 \text{ Гц}$, что на порядок больше частоты питающей сети.

Диаграммы токов, иллюстрирующие работу регулятора тока изображены на рис.6

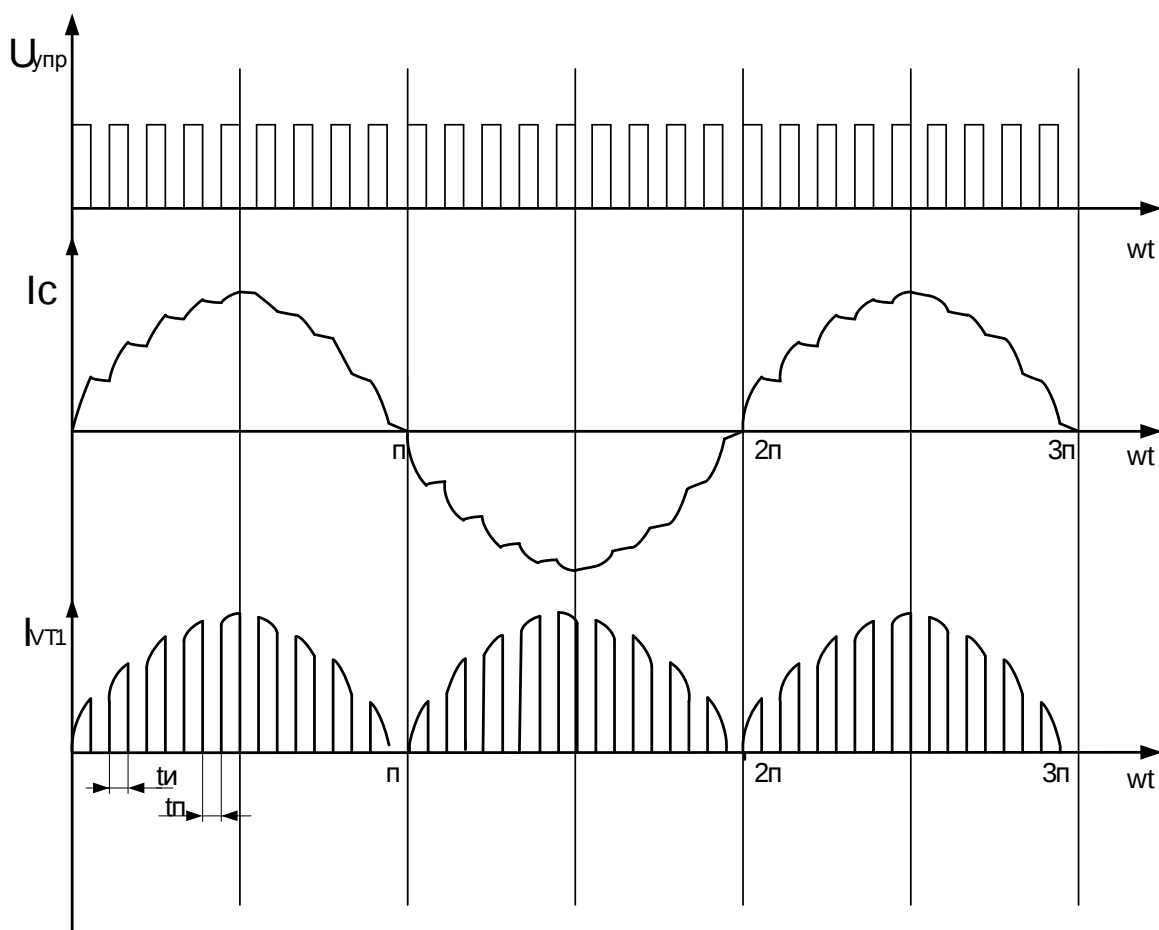


Рис.6 - Диаграммы токов транзисторного регулятора

Схема тиристорного регулятора тока, изображенная на рис.7, состоит из ключевых транзисторов VT1 и VT2 в коллекторные цепи которых включены импульсные трансформаторы T1 и T2, выполняющие роль гальванической развязки. Элементы DD1.1 и DD1.2 выполняют роль входных буферов.

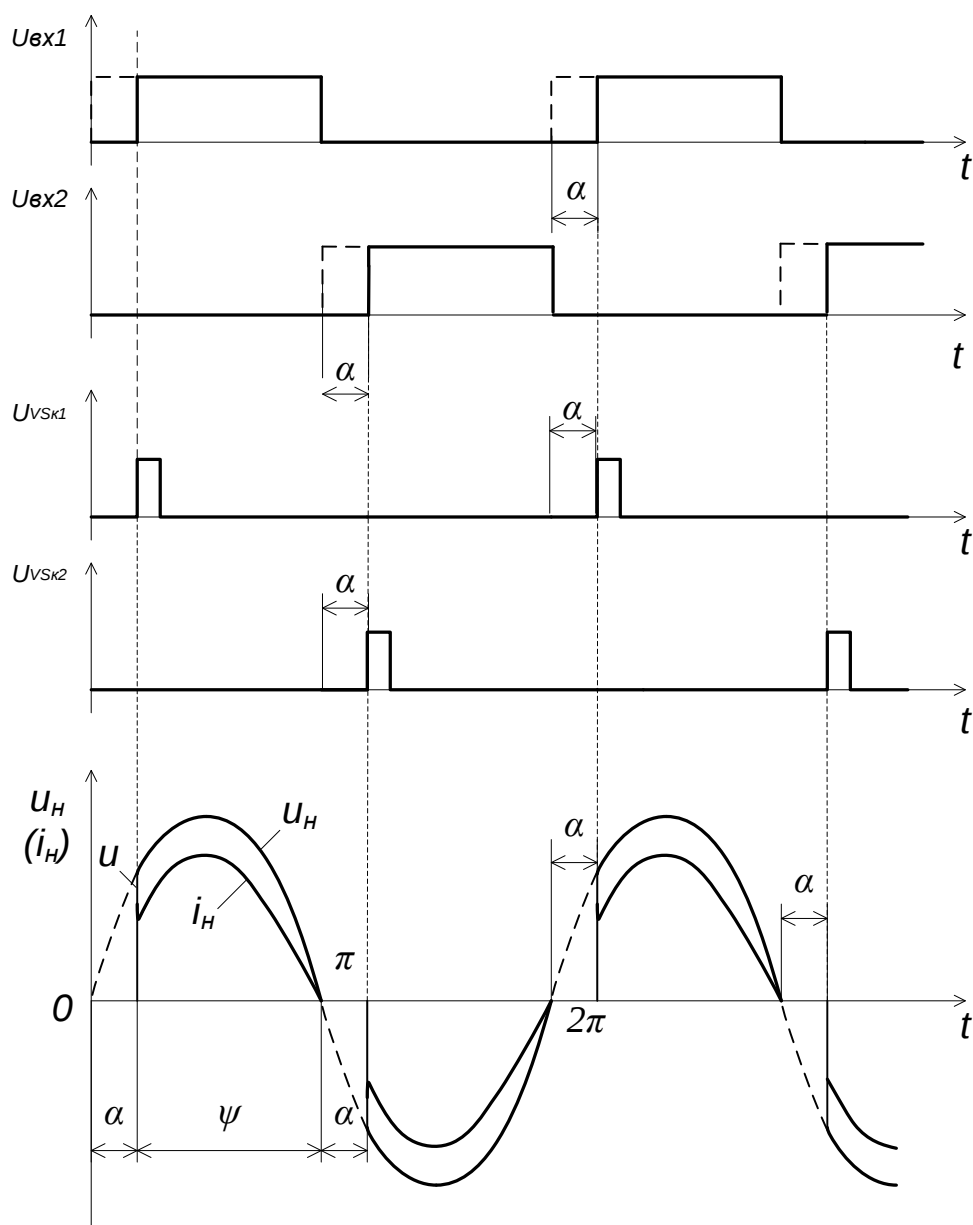


Рисунок 8 - Диаграммы работы тиристорного регулятора тока

Схема блока управления питается от источника питания, напряжение на выходах которого составляют $+5V$ и $+15V$. Источник питания состоит из понижающего трансформатора Т1 и двух выпрямителей на диодах VD1-VD4 и VD5-VD6 [29]. Для стабилизации напряжения $+5V$ используется микросхема DA1. Конденсаторы C1, C2, C3 и C6 обеспечивают фильтрацию переменной составляющей напряжения [30].

Силовые тиристоры VS1 и VS2 используются без применения защитных цепей, так как резкие броски тока в средней фазе нет.

2.2 Расчет параметров схемы транзисторного регулятора тока

Для расчета параметров схемы задались следующими исходными данными:

- максимальный коммутируемый ток $I_K - 300\text{A}$;
- максимальное падение напряжения на ключе $U_{DS} - 70\text{B}$;
- частота коммутации $f_k - 500\text{ Гц}$;

Из справочника [15] выбрали диоды VD20-VD21 марки Д143-800 со следующими предельными эксплуатационными характеристиками:

- максимальный средний прямой ток 400A ;
- максимальное обратное напряжение 1600B ;
- время обратного восстановления 35 мкс ;

Рекомендуемый тип охладителя O243-150.

В качестве силового ключа VT1 применили мощные полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) [2]. Полевые транзисторы, по сравнению с биполярными, имеют целый ряд преимуществ, среди которых основными являются: более высокая скорость переключения, термоустойчивость, отсутствие вторичного пробоя, низкая затрачиваемая на управление мощность [31].

На основании исходных данных выбрали из справочника [24] полевой транзистор марки SKM180A020 фирмы SEMIKRON со следующими предельными эксплуатационными параметрами:

- максимальное напряжение сток-исток (U_{DS}), В – 200;
- максимально допустимый ток стока (U_{DS}), А – 180;
- максимальное напряжение затвор-исток (U_{GS}), В - $\pm 20\text{B}$;

Так как предельный допустимый ток транзистора превышает коммутируемый ток, то в схемы использовали два транзистора, включенные параллельно [11].

Рассчитали основные параметры, которыми должен обладать драйвер силовых транзисторов.

Определили выходную мощность отдаваемую драйвером по формуле:

$$P_{OT} = 2 \cdot Q_g \cdot U_{gs} \cdot f_k = 940 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 500 = 14,1 \text{ Вт}, \quad (1)$$

где Q_g - заряд затвора, величину которого определили по рис.3 [8]

Нашли максимальный выходной ток драйвера по формуле:

$$I_{ДР} = \frac{P_{OT}}{U_{gs}} = \frac{14,1}{15} = 0,94 \text{ А}; \quad (2)$$

Исходя из найденных параметров выбрали из справочника[24] драйвер марки M5758L со следующими основными параметрами:

Уровень входного сигнала ТТЛ;

Максимальный выходной ток 3А;

Напряжение выходного сигнала +14В/-15В

В качестве элемента VU1, защищающего силовые транзисторы от потенциального пробоя применили стабилитроны, которые позволяют эффективно организовывать защиту. Из справочника [22] выбрали стабилитрон типа 1,5KE15CA со следующими основными параметрами:

Максимальный пиковый ток $I_{PP} = 368 \text{ А};$

Напряжение пробоя $U_{br} = 15,8 \text{ В};$

Напряжение при максимальном пиковом токе $U_{CL} = 27,2 \text{ В};$

Максимальная рассеиваемая мощность $P = 1500 \text{ Вт};$

Задались превышением напряжения на транзисторе VT1 $\Delta U = 10 \text{ В}$, что составляет более 10% от напряжения U_{XX} . В схеме использовали несколько стабилитронов, соединенных последовательно.

Исходя из ΔU определили число приборов по формуле:

$$N = \frac{\Delta U + U_{xx}}{U_{br}} \cdot 2 = \frac{10 + 70}{15,8} \cdot 2 = 10,12; \quad (3)$$

Использовали в схеме стабилитроны в количестве 10 штук, соединенные последовательно. Параллельно каждому прибору, подключили выравнивающий резистор сопротивлением 1 кОм, согласно рекомендациям [19], [21], [22], [32], [33]. Принципиальная схема транзисторного регулятора тока изображена на рис. 9.

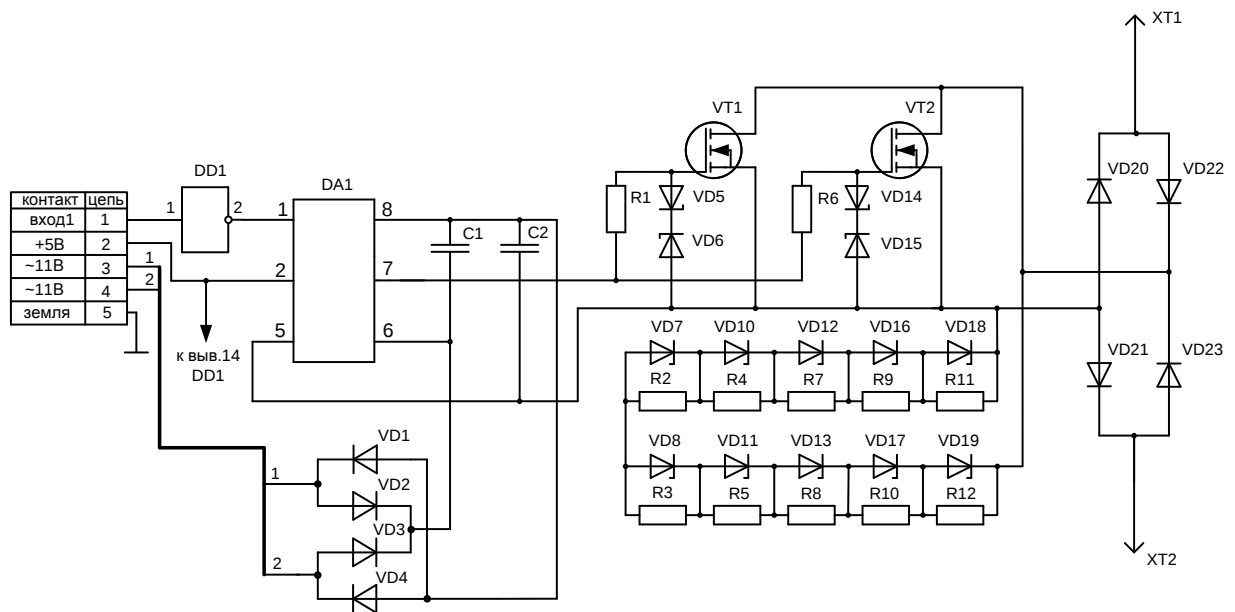


Рисунок 9 - Принципиальная схема транзисторного регулятора тока

2.3 Расчет параметров тиристорного регулятора тока

Исходя из максимального действующего значения тока в средней фазе $I_d=300A$ из справочника [13] выбрали силовые тиристоры VS1 и VS2 марки ТБ320 со следующими предельными эксплуатационными параметрами:

- максимальное значение обратного анодного напряжения 150 - 600A;
- максимально допустимый средний ток в открытом состоянии 320A;
- повторяющееся импульсное обратное напряжение 300 - 1600B;

- отпирающее постоянное напряжение $U_{отп}$ при $I_{упр}=0,8 \text{ А}$ 5,5В;

Из справочника [13] выбрали рекомендуемые охладители типа 0181-110 для выбранного типа тиристоров.

Импульсные трансформаторы Т1 и Т2 выбрали исходя из величины максимального тока управления $I_{упр}$ силовыми тиристорами.

Из справочника [7], [23] выбрали импульсные трансформаторы марки ТПИ-23ГХ4 со следующими основными параметрами:

- коэффициент трансформации 1:1;
- максимальный ток протекающий в обмотках $I_{об}$ 1,5А;
- сопротивление обмоток 16 Ом;

Из справочника [8] выбрали ключевые транзисторы VT1 и VT2 марки КТ829А со следующими параметрами :

- максимальный тока коллектора $I_{Кmax}= 3,5\text{А}$;
- максимальное напряжение $U_K=100\text{В}$;
- коэффициент передачи по току $h_{21Э} = 750$;
- напряжение $U_{КЭнас}$ (при $U_{БЭнас}$, I_B) =2 (2,5);

Определили приблизительную емкость конденсаторов С4 и С5 согласно [5].

Задались временем открывающего силовые тиристоры импульса $t_{и} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Емкость конденсатора равна:

$$C = \frac{t_{имп}}{3 \cdot \frac{U_{БЭнас}}{I_B}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot \frac{2,5}{1,4 \cdot 10^{-3}}} = 9 \cdot 10^{-9} = 0,009 \text{ мкФ}; \quad (4)$$

Выбрали из справочника [12],[13] конденсаторы С4, С5 марки КСО-2 – 0,01мкФ±5%.

Из справочника [15] выбрали диоды VD13 и VD14 марки КД105Б; VD10, VD11 марки КД522А.

Максимальный потребляемый схемой импульсный ток составляет 1,5

А.

Напряжение питания $U_{\text{пит}}=15\text{В}$.

Выбрали из справочника [18] диоды VD1- VD8 марки КД106А.

В качестве микросхемы DA1 использовали интегральный стабилизатор марки К142ЕН5А, со следующими предельными эксплуатационными параметрами:

- максимальное входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 18\text{В}$;
- максимальный выходной ток $I_{\text{ВЫХ}} = 0,5\text{А}$;
- выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 5\text{В}$;

Согласно рекомендациям [9] выбрали конденсатор С1 марки К-56-200мкФ-25В±10%, конденсаторы С2,С3 марок К-56-100мкФ-25В±10%.

В качестве элементов DD1.1 DD1.2 применили микросхему К155ЛН1, напряжения на входах и выходах которой соответствует уровням ТТЛ.

Диаграмма тока в средней фазе при значении $L_0 = 0$ приведена на рисунке 10.

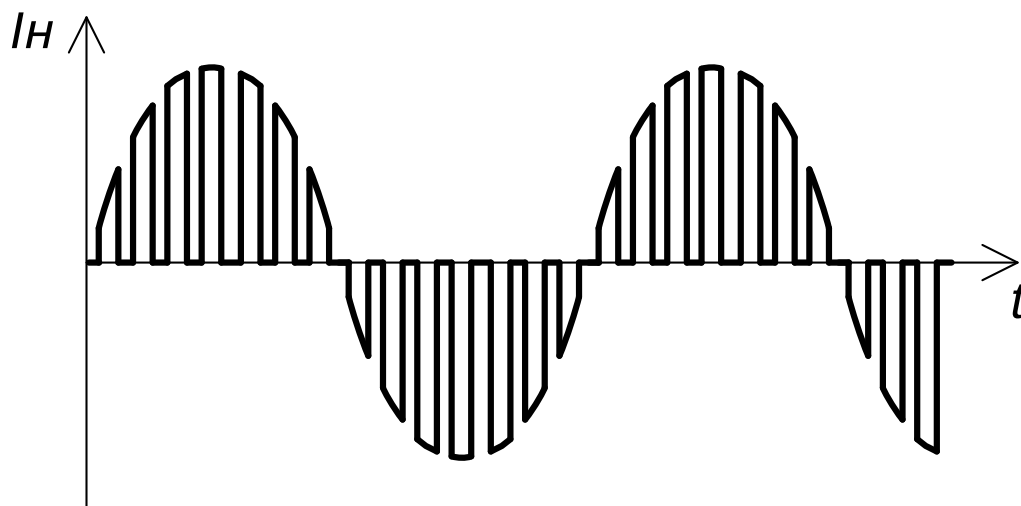


Рисунок 10. - Диаграмма тока в средней фазе при значении $L_0 = 0$

Полная схема, разработанная в ходе данной ВКР изображена на рисунке 11.

3 Разработка и расчет силового трансформатора

Сварка с применением разрабатываемого источника питания будет проводиться на разных режимах, как с использованием токорегулирующего устройства, так и без него.

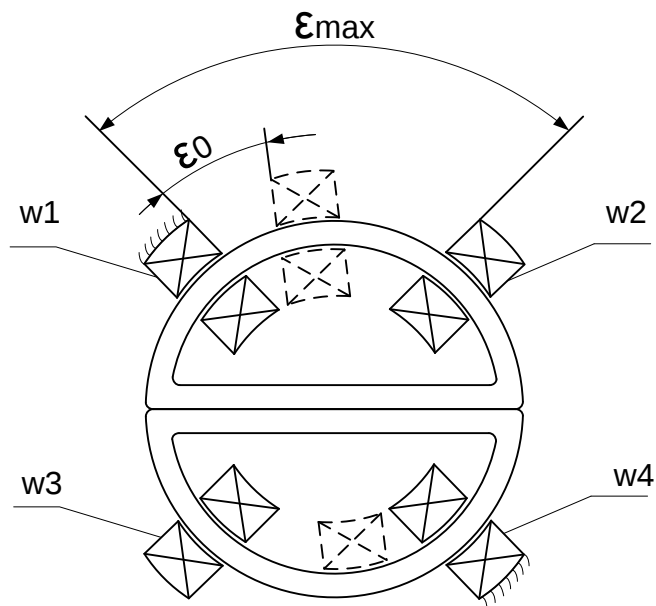
При ручной дуговой сварке в следствии колебания руки сварщика происходит изменение длины дуги, а значит и изменение падения напряжения на ней и проходящего через нее тока. В результате этого дуга может гореть не стабильно, либо просто погаснуть. Для обеспечения стабильного горения дуги при ручной дуговой сварке сварочный трансформатор должен обеспечивать пологопадающую внешнюю вольт-амперную характеристику.

Для источника питания ТФД выбрали конструкцию трансформатора с витым кольцевым магнитопроводом и увеличенными потоками рассеяния обмоток относительно друг друга. [6]

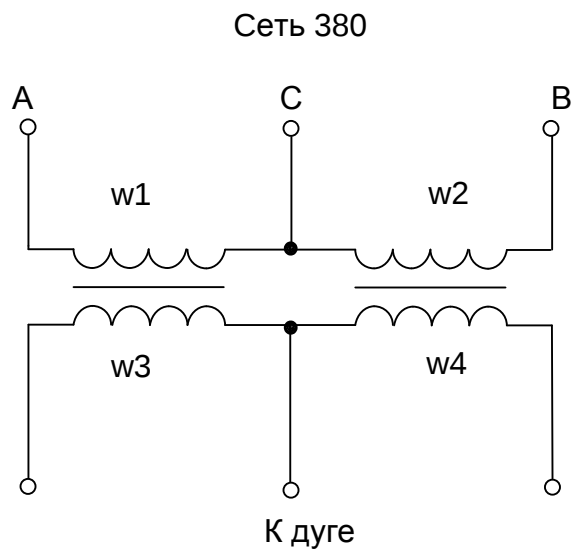
Конструкция такого трансформатора, а также схема соединения обмоток представлены на рис.12.

Силовой трансформатор состоит из двух секций, представляющих собой отдельные независимые трансформаторы, выполненные на разных кольцевых магнитопроводах имеющих форму полукруга и объединенных в единую конструкцию. Две обмотки закреплены жестко на магнитопроводе, а две другие имеют возможность перемещаться вдоль него.

Трансформатор с подвижными обмотками обладает большим реактивным сопротивлением рассеяния X , величина которого зависит от расстояния между обмотками ε , а также от их геометрических размеров.



а) конструкция сердечника и взаимное расположение обмоток



б) схема соединения обмоток

Рисунок 12 - Сварочный трансформатор с витым кольцевым магнитопроводом и увеличенными потоками рассеяния.

Расчет производили для одного независимого трансформатора.

Задались исходными данными.

- 1). Напряжение сети U_f , В - 380
- 2). Число фаз - 3
- 3). Максимальный сварочный ток, А - 300

4). Напряжение холостого хода, В - 70

5). Частота напряжение сети, Гц -50

2.1.2. Основные электрические величины силового трансформатора.

Электромагнитную мощность приходящуюся на один стержень определи по формуле:

$$P_{\Sigma} = U_0 \cdot I_d / 1,73 = 70 \cdot 300 / 1,73 = 12,14 \text{ кВт}, \quad (5)$$

где U_0 – напряжение холостого хода;

I_d - максимальный сварочный ток;

Нашли диаметр описанной окружности вокруг поперечного сечения магнитопровода по формуле:

$$d = k \cdot \sqrt[3]{\beta \cdot \frac{P_{\Sigma}}{P_1}} = 0,61 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot \frac{12140}{7,5}} = 9,147, \quad (6)$$

где P_{Σ} - электромагнитная мощность одного стержня;

P_1 -мощность единичного трансформатора расчетный параметр, (значение выбирают по кривым [10]), характеризующий использование активных материалов проектируемого трансформатора;

$k=0,61$ - для медных обмоток;

Далее расчет ведем по [4]:

Нашли площадь магнитопровода по формуле:

$$S_{МАГ} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot k_{\Pi} \cdot k_C}{4} = \frac{\pi \cdot 9,147^2 \cdot 0,635 \cdot 0,9}{4} = 37,556 \text{ см},$$

где k_{Π} - коэффициент заполнения площади круга; приняли $k_{\Pi}=0,635$;

k_C -коэффициент заполнения стали; приняли $k_C=0,9$;

Так как магнитопровод имеет прямоугольное сечение, то высоте сечения магнитопровода без учета воздушного зазора нашли по формуле :

$$b^1 = \frac{S_{МАГ}}{a} = \frac{37,556}{11} = 3,414 \text{ см}. \quad (7)$$

где a - ширина холоднокатаной текстурованной листовой стали;
 $a=110\text{мм}$

b - высота сечения магнитопровода без учета воздушного зазора;
Высота сечения чистой стали, без учета воздушного зазора:

$$b^1 = \frac{b}{k_c} = \frac{3,414}{0,9} = 3,8 \text{ см.} \quad (8)$$

Для магнитопровода выбрали электротехническую сталь марки Э-330 согласно рекомендациям [4], толщиной 0,5 мм с естественным охлаждением.

Напряжение на виток определили по формуле:

$$U_B = 4,44 \cdot f \cdot B \cdot S_{\text{МАГ}} \cdot 10^{-4} = 4,44 \cdot 50 \cdot 1,7 \cdot 37,556 \cdot 10^{-4} = 1,417 \text{ В,} \quad (9)$$

где B - индукция; приняли $B=1,7\text{Тл}$

Определили число витков во вторичной обмотки по формуле:

$$W_2 = \frac{U_0}{U_B} = \frac{70}{1,417} = 49,38 \text{ витков.} \quad (10)$$

приняли W_2 равным 50.

Число витков первичной обмотки определи по формуле

$$W_1 = \frac{W_2 \cdot U_f}{U_0} = \frac{50 \cdot 380}{70} = 271,429 \text{ витков.} \quad (11)$$

Приняли W_1 равным 270 витков.

Рассчитали фазный ток в первичной обмотке:

$$I_{\phi 1} = \frac{I_{de}}{1,73} = 173 \text{ А.} \quad (12)$$

Рассчитали фазный ток во вторичной обмотке:

$$I_{\phi 1} = \frac{P_{\Sigma}}{U_{\text{И1}} \cdot 3} = \frac{1214}{380 \cdot 3} = 10,648 \text{ А.} \quad (13)$$

Определили параметры обмоток трансформатора.

Нашли длительный вторичный ток по формуле:

$$I_{\text{Дл2}} = I_{\phi 2} \cdot \sqrt{\frac{P_B}{100}} = 173 \cdot \sqrt{\frac{50}{100}} = 122,3 \text{ А.} \quad (14)$$

где ПВ – продолжительность включения; приняли ПВ=50%

Нашли длительный первичный ток по формуле:

$$I_{Дл1} = I_{\phi1} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}} = 10,65 \cdot \sqrt{\frac{50}{100}} = 7,53 \text{ А.} \quad (15)$$

Определили сечение провода вторичной обмотки по формуле:

$$F_2 = \frac{I_{Дл2}}{\delta} = \frac{122,3}{3,1} = 39,46 \text{ мм}^2, \quad (16)$$

где δ - плотность тока; приняли $\delta = 3,1 \text{ А/мм}^2$.

Для вторичной обмотки [4] выбрали провод со стандартным сечением более близким к расчетному $F=39,6$.

Геометрические размеры провода без учета толщины изоляции составляют:

$$a_2 = 4,5 \text{ мм};$$

$$b_2 = 9 \text{ мм.}$$

Определили размеры провода с учетом изоляции :

$$a_{2из} = a_2 + u \cdot 2 = 4,5 + 0,5 \cdot 2 = 5,5 \text{ мм};$$

$$b_{2из} = b_2 + 0,5 \cdot 2 = 10 + 0,5 \cdot 2 = 11 \text{ мм.}$$

Нашли суммарное сечение вторичной обмотки по формуле:

$$F_{CU2} = (a_{2из} + b_{2из}) \cdot W_2 \cdot k = (5,5 + 11) \cdot 50 \cdot 1,9 = 1472 \text{ мм}, \quad (17)$$

где $k=1,9$ - коэффициент, учитывающий неплотность укладки;

Определили сечение провода первичной обмотки:

$$F_1 = \frac{I_{Дл1}}{\delta} = \frac{7,53}{3,1} = 2,437 \text{ мм}^2.$$

Для первичной обмотки из таблицы 6.2.3 [4] выбрали провод со стандартным сечением более близким к расчетному $F = 2,45 \text{ мм}^2$.

Геометрические размеры провода без учета толщины изоляции составляют:

$$a_1 = 0,35 \text{ мм};$$

$$b_1 = 7 \text{ мм.}$$

Определили размеры провода с учетом изоляции:

$$a_{\text{из}} = a_1 + u \cdot 2 = 0,35 + 0,5 \cdot 2 = 1,35 \text{ мм}^2;$$

$$b_{\text{из}} = b_1 + 0,5 \cdot 2 = 7 + 0,5 \cdot 2 = 8 \text{ мм}^2;$$

Суммарное сечение первичной обмотки:

$$F_{\text{CU1}} = (a_{\text{из}} + b_{\text{из}}) \cdot W_1 \cdot k = (1,35 + 8) \cdot 270 \cdot 1,9 = 4314 \text{ мм}^2$$

Определили внутренний диаметр кольца магнитопровода:

$$F_{\text{BH}} = F_{\text{CU1}} + F_{\text{CU2}} + \frac{\pi \cdot d_{\text{мин}}^2}{4} = 4314 + 1472 + \frac{\pi \cdot 70^2}{4} = 1117 \text{ мм}^2, \quad (18)$$

где d-диаметр кольца между обмотками (зазор); приняли $d_{\text{мин}}=70\text{мм}$

$$d_{\text{BH}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1117}{3,14}} = 119,2 \text{ мм};$$

Для обеспечения свободного перемещения катушек трансформатора приняли $d_{\text{вн}} = 228\text{мм}$

Тогда внешний диаметр кольца равен $d_{\text{внеш}}=304\text{мм}$.

Определили реактивное сопротивление рассеяния сварочного трансформатора с кольцевым магнитопроводом

Расчет ведем по [4]:

Расчет сварочного трансформатора отличается от расчета обыкновенного силового трансформатора тем, что к исходным данным добавляется параметр, определяющий сварочный ток (то есть диапазон его регулирования), который оказывает влияние на всю конструкцию трансформатора.

Определение диапазона регулирования сварочного тока связано непосредственно с расчетом реактивного сопротивления рассеяния. Нам известен диапазон регулирования сварочного тока, поэтому необходимо произвести проверку реактивного сопротивления, которая укажет

возможности проведения наплавочных работ на данном трансформаторе. Если реактивное сопротивление окажется большим по сравнению с предполагаемым, то необходимо будет пересчитать трансформатор, т.к. иначе ток сварки будет меньше максимально заданного тока $I=300\text{A}$.

Расчет реактивного сопротивления проводим по [27].

Определили максимальное реактивное сопротивление которым должен обладать трансформатор:

$$X_{K\min} = \frac{\sqrt{U_{XX}^2 - U_d^2}}{I_{de}} = \frac{\sqrt{70^2 - 20^2}}{300} = 0,388 \text{ Ом},$$

где U_d – напряжение на межэлектродной дуге; приняли $U_d = 20\text{В}$;

Рассчитанный нами трансформатор должен обеспечивать реактивное сопротивление на дуге 0,388 Ом.

Нашли реактивное сопротивление трансформатора по формуле:

$$X_{K\min} = X_{ок\min} + X_{лоб\min}, \quad (19)$$

где, $X_{ок\min}$ – сопротивление частей обмотки, находящейся в окнах магнитной системы;

$X_{лоб\min}$ – сопротивление, соответствующее лобовым частям обмоток;

μ_0 – магнитная проницаемость ; $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-9}$;

ε – минимальное расстояние между обмотками; $\varepsilon = 1\text{см}$;

q -проводимость (определяется соотношением между размерами стержней и их относительным расположением).

Для определения проводимости между стержнями прямоугольного поперечного сечения используют экспериментальные данные [26].

Проводимость может быть принята функцией только одной переменной – отношения $\frac{m}{n} = \frac{110}{206}$.

Исходя из $qm/n=1,3$, [13] следовательно $q=1,1$

$$X_{\text{лоб min}} = \mu_0 \cdot w \cdot W_2 \cdot \ln \frac{q_{12}^2}{q_1 \cdot q_2} \quad (20)$$

где $l_{\text{л}}$ -длина лобовой части обмотки.

$$l_{\text{л}} = l_{\text{ср}} - l_0,$$

где $l_{\text{ср}}$ -средняя длина обмотки;

l_0 -длина обмотки, находящейся в окне магнитной системы;

q_1, q_2 - среднегеометрические расстояния сечений обмоток от самих себя;

q_{12} -среднегеометрическое расстояние сечение обмоток друг от друга.

Среднюю длину обмотки рассчитали учитывая изоляцию магнитопровода киперной лентой и электротехническим картоном, а так же изоляцию обмоток.

$$l_{\text{ср}} = \Pi_{\text{м.из}},$$

где $\Pi_{\text{м.из}}$ - периметр магнитопровода вместе с изоляцией (киперной лентой и электротехническим картоном) и толщиной одного слоя вторичных обмоток с изоляцией;

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{м.из}} &= ((a + 1 + a_{2\text{из}}) + (b^1 + 1 + a_{2\text{из}}) \cdot 2) = \\ &= ((110 + 1 + 4,5) + (38 + 1 + 4,5)) \cdot 2 = 318 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (21)$$

$$l_0 \approx 98 \text{ мм}$$

$$l_{\text{л}} = 318 - 98 = 220 \text{ мм}$$

$$q_1 = 0,223 \cdot (2C_1 + h_1)$$

$$q_2 = 0,223 \cdot (2C_2 + h_2),$$

где C_1, C_2 - ширина первичной и вторичной обмоток;

h_1, h_2 - высота первичной и вторичной обмоток;

Ширину определили по формуле:

$$C_1 = a_{\text{из1}} \cdot N_{s1} + 1 = 1,35 \cdot 27 + 1 = 37,45 \text{ мм},$$

где N_{s1} – число слоёв в первичной обмотке; приняли $N_s = 27$;

Аналогично определили ширину C_2 :

$$C_2 = a_{из2} \cdot N_{s2} + 1 = 5,5 \cdot 10 + 1 = 56 \text{ мм},$$

где N_{s2} – число слоёв во обмотке;

Определили среднюю ширину по формуле:

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{37,45 + 56}{2} = 46,72; \quad (22)$$

Определили высоту первичной обмотки по формуле:

$$h_1 = N_{V1} \cdot b_{из1} = 10 \cdot 8 = 80 \text{ мм}, \quad (23)$$

где N_{V1} – число витков в одном слое первичной обмотки; приняли $N_{V1} = 10$;

Определили высоту вторичной обмотки по формуле:

$$h_2 = N_{V2} \cdot b_{из2} = 5 \cdot 10 = 50 \text{ мм}, \quad (24)$$

где N_{V2} – число витков в одном слое вторичной обмотки; приняли $N_{V2} = 5$;

Определили среднюю высоту по формуле:

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{80 + 50}{2} = 65 \text{ мм}; \quad (25)$$

Нашли среднегеометрические расстояния сечений обмоток от самих себя по формуле:

$$q_1 = 0,223 \cdot (2C_1 + h_1) = 0,223 \cdot (2 \cdot 37,45 + 80) = 34,5 \text{ мм}; \quad (26)$$

$$q_2 = 0,223 \cdot (2C_2 + h_2) = 0,223 \cdot (2 \cdot 56 + 50) = 36,1 \text{ мм};$$

Нашли среднегеометрическое расстояние сечений обмоток друг от друга по формуле:

$$q_{12} = 2 \cdot C \cdot (0,22 + 0,75 \cdot \frac{h}{2 \cdot C}) = 2 \cdot 46,7 \cdot (0,22 + 0,75 \cdot \frac{65}{2 \cdot 46,75}) = 69,3;$$

по формуле (2.216) определили $X_{\text{лоб min}}$:

$$X_{\text{лоб min}} = 4 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 50^2 \cdot 220 \cdot \ln(\frac{69,3}{34,5 \cdot 36,1}) = 0,093 \text{ Ом};$$

$$\begin{aligned} X_{\text{ок min}} &= 2 \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot W_2^2 \cdot q \cdot (\frac{h_1 + h_2}{3}) = \\ &= 2 \cdot 314 \cdot 4 \cdot 10^{-9} \cdot 50^2 \cdot 1,1 \cdot (\frac{80 + 50}{3}) = 0,299 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Определи по формуле (15) максимальное реактивное сопротивление

$$X_K = X_{\text{лoбmin}} + X_{\text{окmin}} = 0,093 + 0,299 = 0,392 \text{ Ом};$$

Определили процент ошибки:

$$\left(\frac{X_K}{X_{K \min}} - 1 \right) \cdot 100 = 1,093\%;$$

Чертеж разработанного трансформатора приведен на рисунке 13

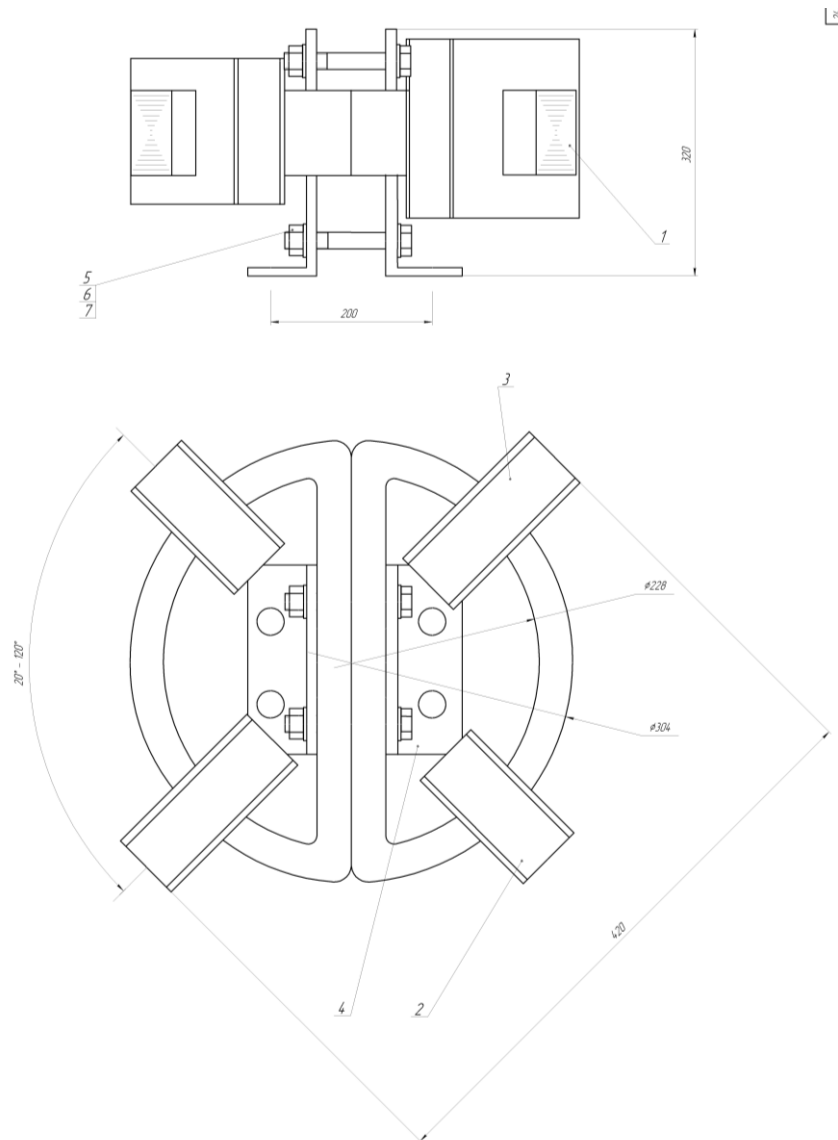


Рисунок 13 – Чертеж трансформатора

Заключение

В третьей главе произведен расчет трансформатора, получены его основные геометрические размеры и характеристики.

Заключение

В данной ВКР разработали трехфазный двухэлектродный источник сварочной дуги.

Достигнута цель работы: разработка электрической части лабораторного трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги с возможностью широкого регулирования величины сварочного тока.

Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

- провести обзор известных решений источников трехфазной дуги;
- разработать схему трехфазного двухэлектродного источника сварочной дуги со возможностью регулирования значения переменного тока;
- произвести расчет параметров узлов схемы и выбрать все элементы
- выбрать и произвести расчет параметров конструкции сварочного трансформатора.

Выполнен обзор состояния вопроса, разработка электрической схемы, расчет электрической схемы, выбор элементов и расчет сварочного трансформатора. Разработанная схема позволяет регулировать ток сварочной дуги, что позволяет осуществлять качественные сварочные работы в различных условиях. По сравнению с однофазной, трехфазная дуга обладает высокой тепловой мощностью и имеет более высокую стабильность горения, что значительно расширяет ее технологические возможности. Таким образом, использование трехфазной дуги для ремонтной сварки и наплавки является одним из перспективных направлений в области разработки ресурсосберегающих технологий

При оформлении ВКР пользовались литературой [14], [18], [20], [28].

Список используемой литературы

1. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги: Учебник. -М. : Высш. школа, 1982.-182 с, ил.
2. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи.- М.: Додека, 2005г., 380 с.
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.
4. Дымков А.М. Расчет и конструирование трансформаторов.-М.: «Высш школа», 1971,264 с. с ил.
5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высшая школа, 1982, 489.
6. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М: Высш. школа, 1982. -496 с.: ил.
7. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 17.10.2024)
8. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.chip-dip.ru](http://www.chip-dip.ru) (дата обращения: 17.10.2024)
9. Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присяжков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.
10. Короткова Г.М., Шаповалов В.А. – Повторные возбуждения элементарных дуг трехфазного факела. – Сварочное производство, 1989 №7, с.37-39.
11. Лярский В.Ф., Мурадян О.Е. Электрические соединители: Справочник. – М.: Радио и связь, 1998. – 272с., ил.
12. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.

13. Масленников М.Ю., Соболев Е.А., – Справочник разработчика и конструктора РЭА. – М.: Додека, 2005г., 298 с.
14. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.10.2024)
15. Мощные полупроводниковые приборы. Диоды.: Справочник/ Под ред. А.В.Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 400с., ил.
16. 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.
17. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электро-оборудование для дуговой и шлаковой сварки.- М.:Москва, 1966.
18. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.10.2024)
19. Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.
20. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.10.2024)
21. Резисторы: Справочник / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич и др. Под ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова. -2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 1991.-528 с.:ил.
22. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: Солон-пресс, 2005г., 411с.

23. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
24. Силовые полупроводники [Электронный ресурс] URL: <http://www.semikron.com> (дата обращения: 17.10.2024)
25. Стеклов О. И. Основы сварочного производства: Учеб. Для сред. ПТУ.-2-е изд., перераб. И доп.- М.:Высш. Шк., 1986.-224 с, ил.- (Профтехобразование).
26. Шаповалов В.А. Разработка источника питания трехфазной дуги, обеспечивающего повышение качества сварных соединений из алюминиевых сплавов. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тольятти, 1986, 207 с.
27. Шаповалов В.А., Короткова Г.М. – К расчету сварочного трансформатора с кольцевым магнитопроводом. Автоматическая сварка 1986, №10, с. 25-27.
28. Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
29. Diodes Incorporated [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diodes.com> (дата обращения: 27.10.2024)
30. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2021)
31. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.10.2024)
32. Rajendra P. Fundamentals of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. P.1064
33. Sahdev S.K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015. P.768

Приложение А **Перечень элементов**

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование				Кол.	Примечание		
		Конденсаторы							
	C1	K50-6-200мкФ-25±10%				1			
	C2,C3	K50-6-100мкФ-25±10%				2			
Справ. №	C4-C6	KCO-2-0,02мкФ±5%				3			
		Микросхемы							
	DA1	M5758L				1			
	DA2	K142EH5A				1			
	DD1	K155ЛН1				1			
		Вставка плавкая							
	FU1	AE2043				1			
		Выключатель автоматический							
	QF1	ВП1-1А-220В				1			
		Резисторы							
	R1,R2	МЛТ-0.5-5,1кОм±10%				2			
	R2-R5,R7-R12	МЛТ-0.5-100кОм±10%				10			
		Трансформаторы							
	T1	ТАН243-127/220-50				1			
	T2,T3	ТПИ-23ГХ4				2			
		Диоды							
	VD1-VD4	КД213А				4			
	VD5-VD12	КД106А				8			
	VD11-VD12	КД105А				2			
						24-110304.14/09.102.03			
	Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата				
	Разраб.	Богомолов А.Д.				Трехфазный двухэлектродный источник сварочной дуги. Перечень элементов			
	Проб.	Прядилов А.В.							
	И.контр.					Лит. Лист Листов 1 2			
Утв.									
Инв. № подл.						ТГУ, Элбд-1902а			

Копирайтер Формат А4

Продолжение Приложения А

[illegible]

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание													
		А1				Документация															
						Трансформатор.															
						Сборочный чертёж.															
						Сборочные единицы															
				1		Магнитопровод	2														
				2		Обмотка первичная	2														
				3		Обмотка вторичная	2														
						Детали															
				4		Ярмовая крепежная балка	2														
						Стандартные изделия															
				5		Болт М20.19 ГОСТ 4751-73	4														
				6		Гайка М20 ГОСТ 5915-70	4														
				7		Шайба 20 ГОСТ 11371-72	4														
		Инв. № подл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № докл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	24-110304.14/09.102.06 СП	Лит.	Лист	Листов						
Разраб.	Богомолов А.Д.																	Силовой трансформатор.			
Пров.	Прядилов А.В.																		1	1	
Н.контр.																					
					Утв.	Шевцов А.А.				Спецификация.	ТГУ, Элбд-1902а										