

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения

Г.М. Короткова, К.В. Моторин

СВАРОЧНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Лабораторный практикум



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2020

ISBN 978-5-8259-1537-1



УДК 621.791.754
ББК 34.641.51-51я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, руководитель центра по аттестации сварочного оборудования ООО «ССДЦ «Дельта» *Д.А. Семистенов*;
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы» Тольяттинского государственного университета *А.Л. Федоров*.

Короткова, Г.М. Сварочные выпрямители : лабораторный практикум / Г.М. Короткова, К.В. Моторин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2020. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1537-1.

Лабораторный практикум содержит краткие теоретические сведения и варианты лабораторных работ по разделу «Сварочные выпрямители» дисциплины «Источники питания для сварки», знакомит с порядком их проведения и основными уравнениями сварочных выпрямителей.

В издании приведены требования к порядку выполнения работ, к содержанию отчета, контрольные вопросы.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Оборудование и технология сварочного производства») очной и заочной форм обучения (в том числе ДОТ) высшего образования.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2020



Редактор *Е.А. Держаева*
Корректор *О.П. Корабельникова*
Техническое редактирование
и компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 17.08.2020.

Объем издания 1,5 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-71-19.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Теоретические сведения	7
Лабораторная работа 17. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВДУ-20У2	12
Лабораторные работы 18, 19. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ВСВУ-400, ВСВУ-160	17
Лабораторная работа 20. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВДУ-506 МУЗ	24
Лабораторная работа 21. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВСП-160	30
Лабораторная работа 22. ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СВАРОЧНОГО ИНВЕРТОРА TIG200P – AC/DC	35
Лабораторная работа 23. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ИНВЕРТОРА «ФОРСАЖ 250М»	42
Лабораторная работа 24. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ МПУ-4	49
Лабораторная работа 25. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ТИР-300Д	55
Библиографический список	61
Приложение	62

Введение

Сварка на постоянном токе обеспечивает высокую устойчивость сварочной дуги и широко применяется во всех отраслях промышленности. В Российской Федерации разработана широкая номенклатура источников питания постоянного тока, как преобразователей, так и сварочных выпрямителей различной мощности и назначения.

Сварочные выпрямители — это статические преобразователи энергии, которые обладают рядом преимуществ по сравнению со сварочными преобразователями. Сварочные выпрямители по сравнению с преобразователями значительно проще по конструкции. Расход активных материалов на их изготовление значительно меньше, чем для преобразователей, и составляет 0,78 кг/А. У сварочных выпрямителей КПД на (7–8)% выше, чем у преобразователей.

Для подготовки выпускников технических направлений большое значение имеет изучение промышленного сварочного оборудования. Студенты, обучающиеся по направленности (профилю) «Оборудование и технология сварочного производства», изучают ряд дисциплин, связанных со сварочным и вспомогательным оборудованием, одной из которых является дисциплина «Источники питания для сварки». Программа этой дисциплины предусматривает изучение на лабораторных занятиях таких разделов, как «Сварочные трансформаторы», «Установки для сварки алюминиевых сплавов», «Сварочные выпрямители».

Цель дисциплины «Источники питания для сварки» — обеспечить необходимый уровень компетенций для решения профессиональных задач по созданию, выбору источников питания и их эффективной эксплуатации.

Задачи дисциплины «Источники питания для сварки»:

- 1) создать на основе курса лекций информационную базу по источникам питания для сварки;
- 2) научиться грамотно эксплуатировать существующее и вновь приобретенное сварочное оборудование;
- 3) освоить основные приемы проектирования источников питания;
- 4) освоить методы исследования источников питания для сварки.

В лабораторном практикуме «Сварочные выпрямители» рассмотрены вопросы теории, конструкция, принцип работы и назначение отдельных блоков выпрямителя.

Цель лабораторного практикума – закрепить теоретические знания по разделу «Сварочные выпрямители», научиться квалифицированно решать практические задачи при эксплуатации сварочных выпрямителей, овладеть навыками работы с источниками питания постоянного тока.

Задачи лабораторного практикума:

- 1) закрепить на основе выполнения лабораторных работ теоретические знания по источникам питания постоянного тока для сварки;
- 2) уметь собрать сварочную цепь с измерительными приборами;
- 3) научиться экспериментально определять энергетические показатели сварочных выпрямителей;
- 4) приобрести навыки эксплуатации сварочных выпрямителей в режимах ХХ, нагрузки и КЗ;
- 5) освоить основные приемы аттестации сварочных выпрямителей.

Теоретические сведения

В настоящее время разработана широкая номенклатура сварочных выпрямителей различной мощности и назначения [1; 3; 4; 5].

Сварочные выпрямители на тиристорах отличаются меньшей массой, а также обеспечивают ряд таких технологических свойств процесса сварки, как стабилизация режима сварки при колебании длины дуги и напряжения сети, дистанционное управление, программирование сварочного тока (плавное нарастание, спадание тока, импульсный режим).

Высокое быстродействие и малая мощность управления параметрами позволяют использовать тиристорные выпрямители в качестве исполнительного органа систем автоматического управления технологическими сварочными комплексами [1; 4].

Сварочный выпрямитель состоит из следующих основных элементов: трехфазного понижающего трансформатора T_1 , дросселя насыщения L_1 , выпрямителя VD_1 , собранного на полупроводниковых вентилях, блока управления током A_1 , осциллятора A_4 (рис. 1, а). Функциональная схема приведена на рис. 1, б. Часто в комплект выпрямителей входит дроссель, включенный в цепь постоянного тока для уменьшения пульсаций выпрямленного тока, если выпрямитель выполнен на тиристорах.

В выпрямителях с жесткой внешней ВАХ для снижения разбрызгивания электродной проволоки при сварке плавящимся электродом в защитной среде газа включают воздушный дроссель.

Сварочные выпрямители выпускаются с жесткими, полого падающими и падающими внешними вольт-амперными характеристиками (ВАХ). Выбор формы внешней вольт-амперной характеристики зависит от статической характеристики дуги $U_d = f(I_d)$, которые показаны на рис. 2, 3.

Взаимосвязанная энергетическая система «выпрямитель — дуга» должна быть устойчива, для этого внешняя ВАХ выпрямителя $U_d = f(I_d)$ и статическая характеристика дуги $U_d = f(I_d)$ должны пересекаться хотя бы в одной точке, где $I_d = I_{д}$, $U_d = U_{д}$.

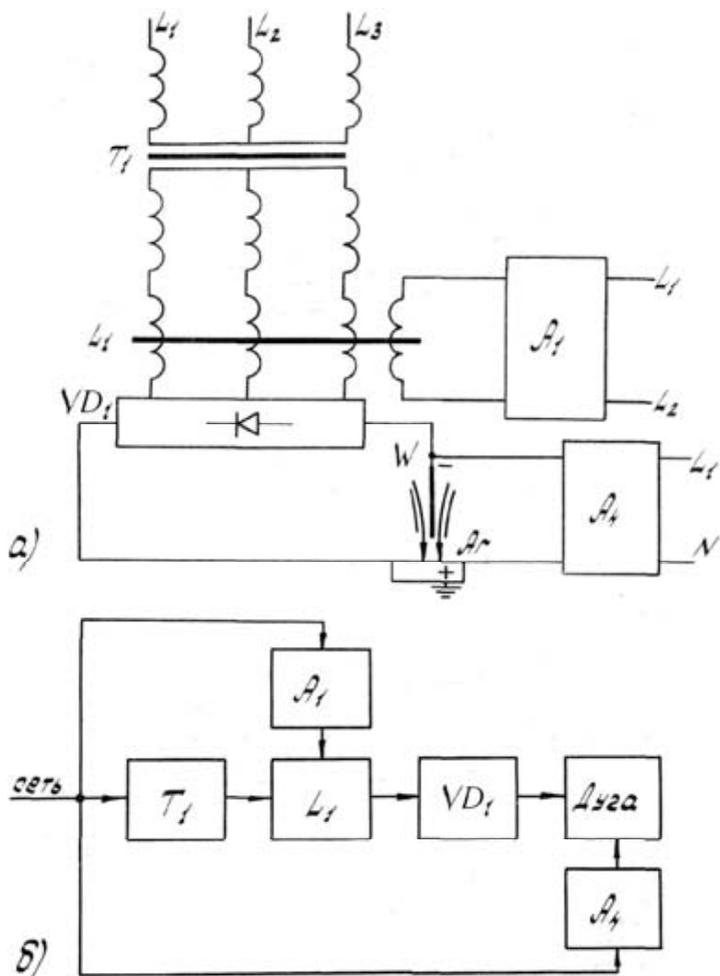


Рис. 1. Схема сварочного выпрямителя:
 а – принципиальная; б – блок-схема

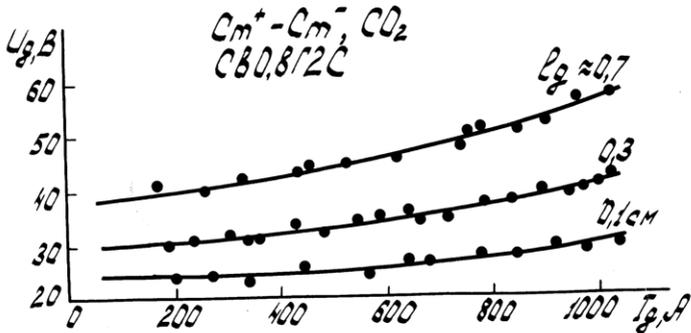
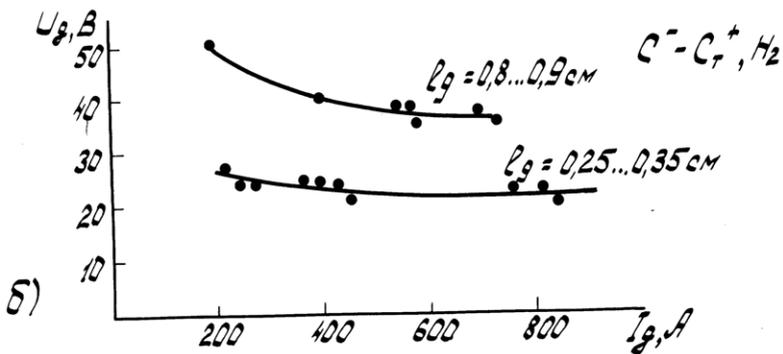
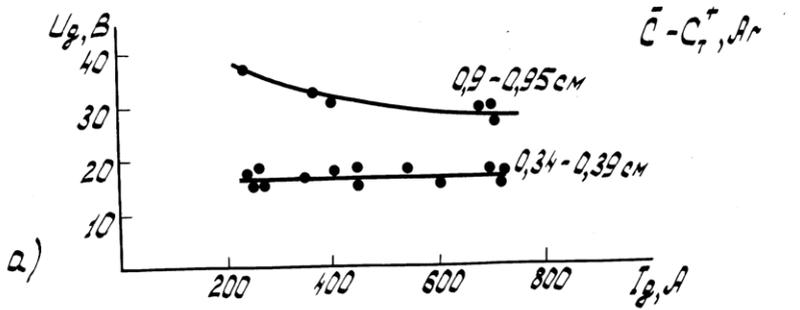
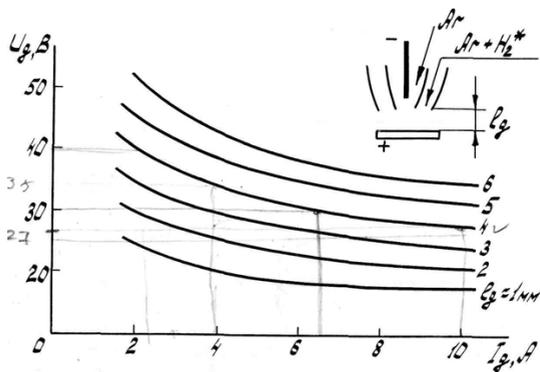
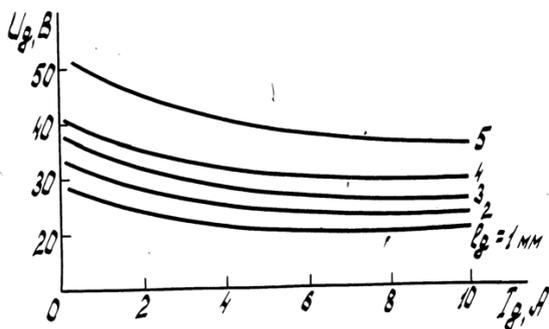


Рис. 2. Статические характеристики дуги при сварке свободной дугой



a)



б)

Рис. 3. Статические ВАХ дуги при микроплазменной сварке:
 а – защитный газ 93 % Ar + 7 % H₂; l_д – длина дуги в мм от 1 до 6 мм;
 б – 1 – защитный газ Ar, 2 – защитный газ 93 % Ar + 7 % H₂, 3 – защитный газ He, 4 – защитный газ 93 % He + 7 % H₂, 5 – защитный газ CO₂

Уравнение внешней вольт-амперной характеристики имеет вид

$$\dot{U}_u = \dot{E}_{\text{Э0}} - \dot{I}_u (jX_{\text{Э3}} + R_{\text{Э3}}), \quad (1)$$

где $\dot{E}_{\text{Э0}}$ – ЭДС эквивалентная: $\dot{E}_{\text{Э0}} \approx U_{\text{XX}}$; $X_{\text{Э3}}$ – индуктивное сопротивление:

$$\begin{aligned} X_{\text{Э3}} &= X_1 + 2/3 X_2; \\ X_1 &= X_T + X_P; \quad X_2 = X_{P2}; \\ R_{\text{Э3}} &= R_1 + 2/3 R_2, \end{aligned}$$

где $R_{\text{Э3}}$ – активное сопротивление:

$$R_1 = R_T + \sum R_b; \quad R_2 = R_{P2} + R_g + R_{\text{ПР}}$$

Из уравнения (1) следует, что формировать $U_u = f(I_u)$ можно за счет индуктивного сопротивления $X_{\text{ЭЗ}}$ или активного $R_{\text{ЭЗ}}$, что и определяет конструкцию сварочного выпрямителя.

Выпрямители с падающей внешней вольт-амперной характеристикой конструктивно выполнены в следующих вариантах:

- 1) трансформатор с $X_T \approx 0$, дроссель с $X_p \neq 0$, выпрямительный мост на диодах (рис. 1, а);
- 2) трансформатор с $X_T \neq 0$, выпрямительный мост на диодах (рис. б);
- 3) трансформатор с X_T , выпрямительный мост на тиристорах, сглаживающий дроссель X_{p1} (рис. 8).

Лабораторная работа 17

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВДУ-20У2

Цель лабораторного занятия — изучить работу схемы сварочного выпрямителя для ручной дуговой сварки и приобрести навыки оценки его свойств.

План проведения занятия

1. Изучить конструкцию выпрямителя, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов для трех положений регулятора сварочного тока в режимах ХХ, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов исследования и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Выпрямитель ВДУ-20У2 (рис. 4), R_1 — сопротивление типа РБ-300.
2. pA_1, pA_2 — амперметры; pV_1, pV_2 — вольтметры; RS — измерительный шунт.
3. P — осциллограф.

Описание сварочного выпрямителя

Сварочный выпрямитель ВДУ-20У2 предназначен для ручной сварки покрытым электродом на постоянном токе, а также для ручной сварки неплавящимся электродом в защитной среде газа (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид сварочного выпрямителя ВДУ-20У2
(разработчики: В.В. Ельцов, В.А. Шаповалов)

Работа схемы установки и описание конструкции

Сварочный выпрямитель состоит из следующих узлов (рис. 6): однофазного сварочного трансформатора с увеличенными потоками рассеяния $T_1(W_1, W_2)$ (рис. 5, а); двухполупериодного выпрямителя, выполненного на диодах VD_1-VD_4 , сглаживающего дросселя L с зазором в магнитопроводе. Однофазный сварочный трансформатор T_1 понижает напряжение сети с $U_1 = 380$ В до $U_2 = 60$ В. Вторичные обмотки сварочного трансформатора (2) перемещаются относительно неподвижных первичных обмоток (3) (рис. 5, а). Перемещение обмоток производят ходовым винтом с гайкой, жестко соединенной с подвижными обмотками.

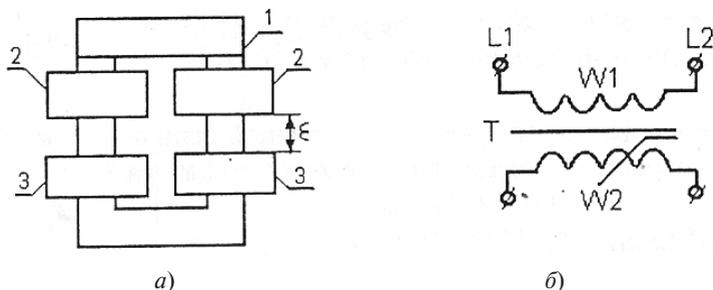


Рис. 5. Трансформатор: а – конструкция (1 – магнитопровод; 2 – вторичные обмотки W_2 ; 3 – первичные обмотки W_1); б – условное обозначение

Падающую вольт-амперную характеристику ВДУ-20У2 формирует трансформатор за счет магнитных потоков рассеяния Φ_s , которые регулируются перемещением вторичной обмотки трансформатора. Расстояние между обмотками ϵ можно изменять от 0 до 90 мм.

Уравнение внешней ВАХ $U_{d1} = f(I_d)$ силовой схемы выпрямителя имеет вид [1; 2; 3; 4]:

$$\underline{U}_{d1} = \underline{E}_{\Sigma 3} - jI_d X_{\Sigma 3} - I_d R_{\Sigma 3}, \quad (2)$$

где $X_{\Sigma 3} = X_{T_1} + X_L$ – индуктивные сопротивления сварочного трансформатора T_1 и дросселя L ; $R_{\Sigma 3} = R_{T_1} + 2R_{VD} + R_L + R_1$ – активные сопротивления сварочного трансформатора T_1 , диодов VD_1-VD_4 , дросселя L , балластного реостата R_1 . Если $E_{\Sigma 3} = U_{XX}$, тогда уравнение (2) принимает вид

$$\underline{U}_{d1} = \underline{U}_{XX} - jI_d(X_{T_1} + X_L) - I_d(R_{T_1} + 2R_{VD} + R_L + R_1). \quad (3)$$

Последовательно с выпрямителем $VD_1 - VD_4$ включен дроссель L для уменьшения пульсации выпрямленного тока в сварочной цепи (рис. 6).

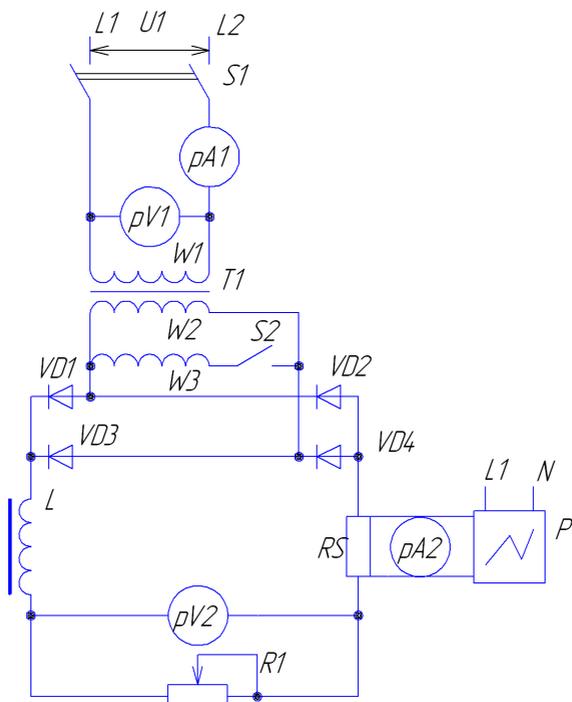


Рис. 6. Принципиальная схема сварочного выпрямителя ВДУ-20У2:
 T_1 – сварочный трансформатор; $VD_1 - VD_4$ – диодный мост; L – дроссель;
 R_1 – балластный реостат; N – осциллограф

Алгоритм проведения эксперимента

1. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
2. Определить цену деления измерительных приборов.
3. Составить функциональную блок-схему сварочного выпрямителя.
4. Составить комплектную ведомость сварочного поста и заполнить таблицу комплектности сварочного поста.
5. Собрать силовую схему сварочного поста с измерительной аппаратурой и нагрузкой R_1 (РБ-300) в соответствии с рис. 6.

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

6. Снять показания приборов для внешней вольт-амперной характеристики выпрямителя $U_d = f(I_d)$ для трех положений регулятора сварочного тока – min, ср., max в режимах XX, нагрузки, КЗ.
7. В качестве нагрузки использовать активное сопротивление РБ-300.

Алгоритм обработки экспериментальных данных и сравнительный анализ результатов

1. Построить в одних координатных осях графики: снятые ВАХ зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений тока сварки (min, ср., max) и статическую ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$ для РДС (см. рис. 2).
2. Рассчитать КПД только для точек устойчивого равновесия системы и построить график $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Оборудование, измерительная аппаратура, оснастка, вспомогательное оборудование.
5. Электрическая схема и функциональная блок-схема сварочного поста.
6. Таблица результатов измерений и расчета и таблица комплектности сварочного поста.
7. Зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений регулятора сварочного тока и $U_d = f(I_d)$ на одном графике. Зависимость $i_d = f(t)$.
8. Выводы об аттестации сварочного выпрямителя и области применения.

Результаты измерений и расчета

Регулятор тока ε^*	Режим	Измерение				Расчет			
		$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$U_d, \text{В}$	$I_d, \text{А}$	$P_1^{**}, \text{Вт}$	$P_2, \text{Вт}$	η	$K_{\text{пер}} = I_{\text{max}}/I_{\text{min}}$
ε_{max}	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	K3								
$\varepsilon_{\text{средн}}$	XX–K3								
ε_{min}	XX–K3								

* Положение регулятора тока (ε – расстояние между обмотками) задается преподавателем.

** $P_1 = I_1 U_1 \cos \varphi_1$; $P_2 = I_d \cdot U_d$; $\cos \varphi_1 \approx 0,6$.

Комплектность сварочного поста (пример)

№ п/п	Наименование устройства, узла	Количество
1	Сварочный выпрямитель типа ...	1
2	Осциллятор типа ОСППЗ-2М	1
3	Сварочный автомат (полуавтомат)	1
4	Сварочная горелка	1
5	Подающий механизм	1
6	Баллон с защитным газом (аргон, углекислота)	1

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный выпрямитель ВДУ-20У2.
2. Как формируется внешняя ВАХ $U_d = f(I_d)$ выпрямителя?
3. Каким образом регулируется величина сварочного тока, чему равен $K_{\text{пер}}$?
4. Как производится начальное возбуждение дуги?
5. Для каких способов сварки применяется сварочный выпрямитель ВДУ-20У2?
6. Какие недостатки вы обнаружили?

Лабораторные работы 18, 19

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

ВСВУ-400, ВСВУ-160

Цель лабораторного занятия — изучить работу схемы универсального сварочного выпрямителя и приобрести навыки оценки его свойств.

План проведения занятия

1. Изучить конструкцию выпрямителя, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах XX, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов исследования и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Сварочные выпрямители ВСВУ-400, ВСВУ-160, активное сопротивление типа РБ-300, стенд лабораторный.
2. pA_1, pA_2, pA_3 — амперметры; pV_1, pV_2 — вольтметры; RS_1, RS_2 — измерительные шунты; P — осциллограф.

Описание сварочных выпрямителей

Сварочные выпрямители ВСВУ-400, ВСВУ-160 (рис. 7, а, б) предназначены для ручной и автоматической сварки неплавящимся электродом в защитной среде инертного газа ($U_{XX} \leq 110$ В), а также для сварки сжатой дугой ($U_{XX} = 200$ В).

Сварочные выпрямители ВСВУ-400, ВСВУ-160 работают в непрерывном и импульсном режимах при сварке свободной и сжатой дугой.



Рис. 7. Внешний вид сварочного выпрямителя:
 а – ВСВУ-400; б – ВСВУ-160 («Электромеханика», г. Ржев)

Работа схемы выпрямителя и описание конструкции

Сварочный выпрямитель (рис. 8) состоит из следующих узлов: трехфазного сварочного трансформатора T_1 ; сварочного выпрямителя на тиристорах $VS_1–VS_6$ с воздушным охлаждением ВСВУ-400 и водяным охлаждением ВСВУ-160; сглаживающего дросселя L_1 ; трехфазного дросселя источника дежурной дуги L_2 ; выпрямительного моста на шести диодах VD_1 [1; 3].

Силовую схему сварочного выпрямителя образует трехфазный сварочный трансформатор T_1 с увеличенным магнитным потоком рассеяния Φ_s за счет полного разнесения первичных (W_1) и вторичных (W_2) обмоток. Напряжение трехфазной сети $U_1 = 380$ В трансформатор понижает до $U_2 = 42$ В.

В состав силовой схемы входит трехфазный сварочный мост, собранный на тиристорах $VS_1–VS_6$, который формирует крутопадающую внешнюю вольт-амперную характеристику выпрямителя. Тиристорным мостом выпрямляется и регулируется величина тока дуги импульса и формируется импульсный режим. В связи с тем, что все процессы регулирования связаны с изменением угла открытия α тиристоров в сварочной цепи, выпрямленный ток имеет большую пульсацию, а на минимальном токе становится прерывистым. Чтобы уменьшить пульсацию выпрямленного тока, в сварочную цепь включают дроссель L_1 .

ника питания, подключенного параллельно дуговому промежутку и состоящего из дросселя L_2 , выпрямительного моста VD_1 , регулируемого резистора R_1 .

Уравнение внешней ВАХ $U_{d1} = f(I_d)$ силовой схемы выпрямителя имеет вид

$$\underline{U}_{d1} = \underline{E}_{\text{эз}} - jI_d X_{\text{эз}} - I_d R_{\text{эз}}, \quad (4)$$

где $X_{\text{эз}} = X_{T_1} + 2/3X_{L_1}$ – индуктивные сопротивления сварочного трансформатора T_1 и дросселя L_1 ; $R_{\text{эз}} = R_{T_1} + \sum R_{V_S} + 2/3(R_{L_1} + R_B)$ – активные сопротивления сварочного трансформатора T_1 , коммутирующих тиристоров VS_1 – VS_6 , дросселя L_1 , балластного реостата РБ [1; 2; 3; 4].

Если $E_{\text{эз}} = U_{\text{ХХ}}$, тогда уравнение (1) принимает вид

$$\underline{U}_{d1} = \underline{U}_{\text{ХХ}} - jI_d (X_{T_1} + 2/3X_{L_1}) - I_d (R_{T_1} + \sum R_{V_S} + 2/3(R_{L_1} + R_B)). \quad (5)$$

Вспомогательный маломощный источник питания, или источник дежурной дуги, образован обмоткой W_3 трансформатора T_1 , дросселем L_2 , выпрямителем VD_1 и активным сопротивлением R_1 .

Трехфазный сварочный трансформатор T_1 (обмотки W_1 и W_3) с малым индуктивным сопротивлением понижает $U_c = 380$ В до $U_3 = 110$ В. Падающая характеристика формируется трехфазным дросселем L_2 с воздушным зазором в магнитоприводе.

В общем случае уравнение внешней ВАХ $U_{d2} = f(I_{\text{дд}})$ источника дежурной дуги имеет вид

$$\underline{U}_{d2} = \underline{E}_{\text{эз}} - jI_{\text{дд}} X_{\text{эз}} - I_{\text{дд}} R_{\text{эз}}, \quad (6)$$

где $X_{\text{эз}} = X_T + X_{L_2}$ – индуктивные сопротивления сварочного трансформатора и дросселя L_2 ; $R_{\text{эз}} = R_{T_1} + R_{L_2} + \sum R_{V_D} + 2/3R_1$ – активные сопротивления сварочного трансформатора, дросселя, диодного моста, дополнительного сопротивления R_1 [1; 3; 4].

Если $E_{\text{эз}} = U_{\text{ХХ}} = 110$ В, тогда уравнение (6) принимает вид

$$\underline{U}_{d2} = \underline{U}_{\text{ХХ}} - jI_{\text{дд}} (X_{T_1} + X_{L_2}) - I_{\text{дд}} (R_{T_1} + \sum R_{V_D} + R_{L_2} + 2/3R_1). \quad (7)$$

Трехфазный мост VD_1 собран на диодах. Ток дежурной дуги $I_{\text{дд}}$ регулируется активным переменным резистором R_1 .

Начальное возбуждение дуги при сварке свободной дугой как в непрерывном, так и в импульсном режимах производится осциллятором (блок A_4) с электрода на изделие.

При сварке сжатой дугой схема включения осциллятора переключается так, чтобы возбуждение происходило с электрода на медное сопло (рис. 8, б).

В сварочных выпрямителях с падающими внешними характеристиками ток регулируется от минимального I_{d1min} до максимального I_{d1max} при неизменном значении напряжения холостого хода U_{XX} . Кратность регулирования тока выпрямителя определяется отношением $K_p = I_{d1max} / I_{d1min}$.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
2. Определить цену деления измерительных приборов.
3. Составить функциональную блок-схему сварочного выпрямителя.
4. Составить комплектную ведомость сварочного поста и заполнить таблицу комплектности сварочного поста.
5. Собрать силовую схему сварочного поста с измерительной аппаратурой и нагрузкой РБ-300 в соответствии с рис. 8.

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

6. Снять внешние вольт-амперные характеристики выпрямителя $U_d = f(I_d)$ для трех положений регулятора тока – min, ср., max (три значения угла открытия тиристора α) в режимах XX, нагрузки, КЗ.
7. В качестве нагрузки использовать активное сопротивление РБ-300.

Алгоритм обработки экспериментальных данных и сравнительный анализ результатов

1. Построить в одних координатных осях снятые графики (ВАХ) зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений тока сварки (min, ср., max) и статическую ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$ (см. рис. 2).
2. Рассчитать КПД только для точек устойчивого равновесия системы и построить график $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя.

ля с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Оборудование, измерительная аппаратура, оснастка, вспомогательное оборудование.
5. Электрическая схема и функциональная блок-схема сварочного поста.
6. Таблица результатов измерений и расчета, таблица комплектности сварочного поста.
7. Зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений регулятора сварочного тока и $U_d = f(I_d)$ на одном графике. Зависимость $i_d = f(t)$.
8. Выводы об аттестации сварочного выпрямителя и области применения.

Результаты измерений и расчета

Регулятор тока, α^*	Режим	Измерение				Расчет			
		U_1 , В	I_1 , А	U_d , В	I_d , А	P_1^{**} , Вт	P_2 , Вт	η	$K_{\text{пер}} = I_{\text{max}}/I_{\text{min}}$
α_{min}	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
$\alpha_{\text{средн}}$	КЗ								
	XX–КЗ								
α_{max}	XX–КЗ								

* Положение регулятора тока (α – угол открытия тиристора) задается преподавателем.

** $P_1 = \sqrt{3} \cdot I_1 U_1 \cos \varphi_1$; $P_2 = I_d \cdot U_d$; $\cos \varphi_1 \approx 0,7$ для ВСВУ-400, ВСВУ-160.

Комплектность сварочного поста (пример)

№ п/п	Наименование устройства, узла	Количество
1	Сварочный выпрямитель типа ...	1
2	Осциллятор типа ОСППЗ-2М	1
3	Сварочный автомат (полуавтомат)	1
4	Сварочная горелка	1
5	Подающий механизм	1
6	Баллон с защитным газом (аргон, углекислота)	1

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный выпрямитель ВСВУ-400 (ВСВУ-160)?
2. Как формируется внешняя ВАХ $U_d = f(I_d)$ силового выпрямителя и источника дежурной дуги?
3. Каким образом регулируется величина сварочного тока, чему равен $K_{\text{рег}}$?
4. Каким образом регулируется величина тока дежурной дуги $I_{\text{дд}}$?
5. Как производится начальное возбуждение дуги при сварке свободной и сжатой дугой?
6. Для каких способов сварки применяется сварочный выпрямитель?
7. Какие недостатки вы обнаружили?

Лабораторная работа 20

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВДУ-506 МУЗ

Цель лабораторного занятия – изучить работу схемы универсального сварочного выпрямителя и изучить принцип формирования блок-схемы.

План проведения занятия

1. Изучить схему выпрямителя, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах XX, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов измерений и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Источник питания ВДУ-506 МУЗ (рис. 9), активное сопротивление РБ 300, стенд лабораторный.
2. pA_1, pA_2 – амперметры; pV_1, pV_2 – вольтметры; RS_1 – измерительный шунт; P – осциллограф.



Рис. 9. Сварочный выпрямитель ВДУ-506 МУЗ
(подарок М.М. Криштала)

Описание сварочного выпрямителя ВДУ-506 МУЗ

Сварочный выпрямитель ВДУ-506 МУЗ предназначен для ручной дуговой сварки, механизированной и автоматической сварки плавящейся проволокой сплошного сечения в защитной среде газа и порошковой проволокой, а также может быть использован для сварки неплавящимся электродом в защитных газах.

Описание конструкции и схемы выпрямителя ВДУ-506 МУЗ

Сварочный выпрямитель ВДУ-506 МУЗ, упрощенная схема которого представлена на рис. 10, состоит из следующих узлов:

- трехфазного сварочного трансформатора T_1 , первичная обмотка W_1 которого включена треугольником, а вторичные обмотки W_2 и W_3 включены через дроссель L_1 (уравнительный реактор), образуя шестифазную звезду;
- уравнительного реактора L_1 ;
- линейного дросселя L_2 с рабочими обмотками W_1 , W_2 и дополнительными обмотками W_3 , W_4 ;
- силового выпрямительного блока, который состоит из шести тиристоров VS_1 – VS_6 , собранных по шестифазной схеме выпрямления с уравнительным реактором L_1 ;
- блока управления A_1 тиристорами VS_1 – VS_6 .

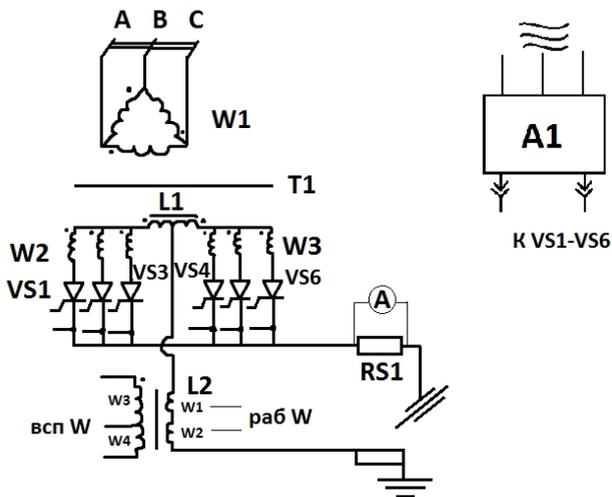


Рис. 10. Принципиальная схема сварочного выпрямителя ВДУ-506 МУЗ

Функциональная схема универсального выпрямителя приведена на рис. 11.

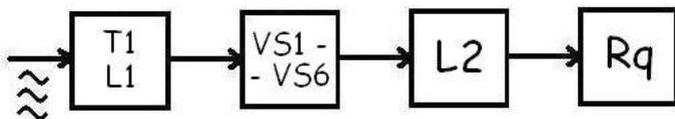


Рис. 11. Функциональная схема сварочного выпрямителя

Универсальный сварочный выпрямитель формирует падающую (крутопадающую) и жесткую (пологопадающую) внешние вольт-амперные характеристики.

Плавное регулирование тока дуги при падающих вольт-амперных характеристиках осуществляется тиристорным выпрямителем $VS_1 - VS_6$ с помощью блока управления A_1 .

Плавное регулирование напряжения при жестких внешних вольт-амперных характеристиках также выполняется тиристорным выпрямителем $VS_1 - VS_6$ с помощью блока управления A_1 .

Алгоритм проведения эксперимента

1. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
2. Определить цену деления измерительных приборов.
3. Собрать силовую схему выпрямителя согласно схеме, приведенной на рис. 10.
4. Дополнить схему рис. 10 измерительными приборами pA_1, pA_2, pV_1, pV_2 .
5. Произвести измерение параметров сварочного выпрямителя в трех режимах: XX; нагрузки; КЗ – для трех положений регулятора тока (при падающей ВАХ) или для трех положений регулятора напряжения (при жесткой ВАХ). Результаты измерений занести в таблицу.

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

Результаты измерений и расчета

Положение регулятора тока	Ре-жим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
min	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	H5							
среднее	K3							
	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
max	H5							
	K3							
	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	H5							
	K3							

**Алгоритм обработки экспериментальных данных
и сравнительный анализ результатов**

1. Построить внешние ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$ для трех положений регулятора тока (при падающей ВАХ) или для трех положений регулятора напряжения (при жесткой ВАХ).
2. Дополнить график внешних ВАХ построением статической ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$. (Статическую ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$ задает преподаватель или лаборант.)

3. Рассчитать КПД сварочного выпрямителя в точках пересечения внешних ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$ с вольт-амперной характеристикой дуги $U_d = f(I_d)$.

$$P_1 = U_1 I_1; \quad (8)$$

$$P_2 = U_2 I_2; \quad (9)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (10)$$

4. Построить зависимость КПД от тока дуги $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Сварочное оборудование, измерительные и регистрирующие приборы.
5. Электрическая схема сварочного поста и функциональная блок-схема выпрямителя.
6. Таблица результатов измерений и расчета.
7. Внешние ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$ для трех положений регулятора тока (при падающей ВАХ) или для трех положений регулятора напряжения (при жесткой ВАХ) на одном графике и статическая ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$ (см. рис. 2, 3).
8. Зависимость КПД $\eta = f(I_d)$.
9. Выводы.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных узлов состоит сварочный выпрямитель ВДУ-506 МУЗ?
2. За счет чего формируется падающая (жесткая) внешняя ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$?
3. Как регулируется величина сварочного тока?
4. В каких режимах работает сварочный выпрямитель?
5. Чем объясняется низкое значение КПД при РДС?
6. Как осуществляется начальное возбуждение дуги?
7. Для каких способов сварки можно применять сварочный выпрямитель?

Лабораторная работа 21

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВСП-160

Цель лабораторного занятия — изучить схему шестифазного сварочного выпрямителя и приобрести навыки работы с ним.

План проведения занятия

1. Изучить схему выпрямителя, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах ХХ, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов измерений и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Сварочный выпрямитель ВСП-160 (рис. 12), активное сопротивление РБ-300, стенд лабораторный.
2. pA_1, pA_2 — амперметры; pV_1, pV_2 — вольтметры; RS — измерительный шунт.



Рис. 12. Внешний вид сварочного выпрямителя ВСП-160 («Электромеханика», г. Ржев)

Описание сварочного выпрямителя ВСП-160

Сварочный выпрямитель ВСП-160 предназначен для механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом в защитной среде газа.

Работа схемы выпрямителя и описание конструкции

Сварочный выпрямитель состоит из следующих узлов (рис. 13): сварочный трансформатор T_1 ; выпрямитель VS_1-VS_6 ; дроссель L ; схема управления A_2 [2; 6].

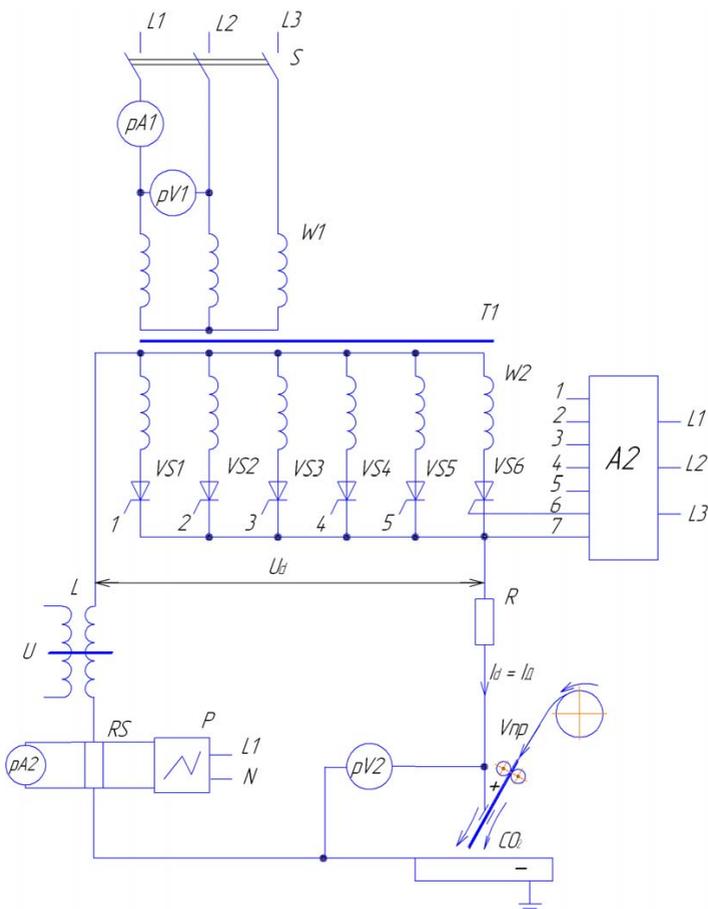


Рис. 13. Принципиальная схема сварочного выпрямителя ВСП-160:
 T_1 – сварочный трансформатор; VS_1-VS_6 – выпрямитель; L – дроссель;
 A_2 – блок управления; P – осциллограф

Трехфазный сварочный трансформатор T_1 с жесткой внешней характеристикой понижает напряжение сети с $U_1 = 380$ В до 42 В. Первичные обмотки W_1 соединены звездой, вторичные W_2 – шести-фазной звездой.

Сварочный выпрямитель VS_1-VS_6 собран на тиристорах, соединенных по шестифазной схеме выпрямителя без уравнильного провода.

Схема управления тиристорами формирует наклон внешней вольт-амперной характеристики, который можно изменять. Величина напряжения регулируется от 15 до 42 В.

Дроссель L в сварочной цепи уменьшает пульсацию выпрямленного тока и регулирует процесс переноса металла электрода.

Начальное возбуждение дуги происходит с короткого замыкания электродной проволоки на изделие.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
2. Определить цену деления измерительных приборов.
3. Составить функциональную блок-схему выпрямителя.
4. Собрать силовую схему выпрямителя согласно схеме, приведенной на рис. 13.
5. Произвести измерение параметров сварочного выпрямителя в трех режимах: XX, нагрузки, КЗ для трех положений регулятора тока. Результаты измерений занести в таблицу.

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

Результаты измерений и расчета

Положение регулятора тока	Режим	Измерение				Расчет		
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η
min	XX							
	H1							
	H2							
	H3							

Положение регулятора тока	Режим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
	Н4							
	Н5							
	К3							
среднее	ХХ							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	Н5							
	К3							
max	ХХ							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	К3							

**Алгоритм обработки экспериментальных данных
и сравнительный анализ результатов**

1. Построить внешние ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$ для трех положений регулятора напряжения на одном графике.
2. Дополнить график внешних ВАХ построением статической ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$. (Статическую ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$ задает преподаватель или лаборант.)
3. Рассчитать КПД сварочного выпрямителя в точках пересечения внешних ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$ с вольт-амперной характеристикой дуги $U_d = f(I_d)$ по формулам (8), (9), (10).
4. Построить зависимость КПД от тока дуги $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Сварочное оборудование, измерительные и регистрирующие приборы.
5. Электрическая схема сварочного поста и функциональная блок-схема выпрямителя.
6. Таблица результатов измерений и расчета.
7. Внешние ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$ для трех положений регулятора напряжения на одном графике и статическая ВАХ дуги $U_d = f(I_d)$ (см. рис. 2).
8. Зависимость КПД $\eta = f(I_d)$.
9. Выводы.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных узлов состоит сварочный выпрямитель?
2. За счет чего формируется внешняя ВАХ выпрямителя $U_2 = f(I_2)$?
3. Как регулируется величина сварочного тока?
4. Как осуществляется начальное возбуждение дуги?
5. Для каких способов сварки можно применять сварочный выпрямитель?

Лабораторная работа 22 ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО СВАРОЧНОГО ИНВЕРТОРА TIG200P – AC/DC

Цель лабораторного занятия — изучить работу схемы универсального сварочного инвертора и приобрести навыки работы с ним.

План проведения занятия

1. Изучить конструкцию сварочного инвертора, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней лманой ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах XX, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов измерений и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Универсальный сварочный инвертор TIG200P – AC/DC (рис. 14), балластный реостат РБ-300, стенд лабораторный.
2. pV_1, pV_2 – вольтметры; pA_1, pA_2 – амперметры; RS – шунт измерительный; P – осциллограф.



Рис. 14. Внешний вид инвертора TIG200P – AC/DC
(подарок ГАЦ СВР)

Описание универсального сварочного инвертора TIG200P – AC/DC

Универсальный сварочный инвертор TIG200P – AC/DC предназначен для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа и покрытыми электродами (рис. 14). Инвертор TIG200P – AC/DC работает в режиме AC на переменном токе, в режиме DC на постоянном токе, в режиме 2T (опция 2T/4T: 2 такта / 4 такта).

Работа схемы универсального сварочного инвертора TIG200P – AC/DC

В основу работы сварочного инвертора положен метод высокочастотного преобразования электрической энергии, что значительно снижает габариты и вес всего источника питания [1; 7].

Функциональная блок-схема инвертора TIG200P – AC/DC приведена на рис. 15.

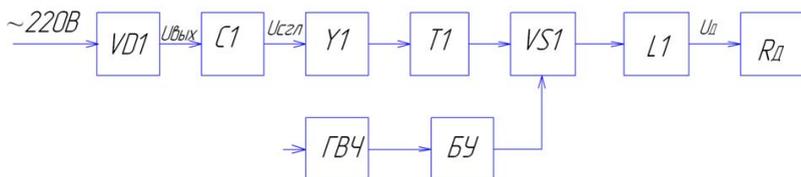


Рис. 15. Функциональная схема инвертора TIG200P – AC/DC

Напряжение сети $U_{\text{сети}} = 220 \text{ В}$ подается на входной двухполупериодный выпрямитель VD_1 . Выпрямленное напряжение с пульсацией $66,7\% U_{\text{выпр}}$ проходит через сглаживающий фильтр $C_1 (U_{\text{сгл}})$ и поступает на вход модуля усиления сигнала Y_1 . Модуль усиления сигнала Y_1 выполняет функции преобразователя совместно с генератором высокой частоты ГВЧ и блоком управления БУ. Напряжение высокой частоты и напряжения подается на понижающий трансформатор T_1 . С трансформатора напряжение через выходной выпрямитель VS_1 и сглаживающий фильтр L_1 поступает на дугу $U_{\text{д}} (R_{\text{д}})$. Широтно-импульсное модулированное напряжение понижается трансформатором T_1 и сглаживается до среднего значения выходным дросселем L_1 . За счет алгоритма управления и скважности импульсов модуль усиления сигнала и преобразователь Y_1 обе-

спечивает формирование крутопадающей внешней вольт-амперной характеристики.

Благодаря обратной связи по току БУ обеспечивает регулирование тока дуги и защиту от перегрузки по току.

Для предотвращения перегрузок по перегреву инвертора предусмотрен индикатор тепловой защиты, который через устройство защиты дает сигнал на отключение силовой части и включение индикатора, расположенного на лицевой панели инвертора. Сигнал защиты автоматически отключается при снижении температуры до рабочего значения.

Индикатор отклонения в работе предполагает его свечение при отклонениях в работе инвертора.

Схема инвертора позволяет работать на переменном токе разнополярными импульсами различной длительности, как показано на рис. 16, а. Инвертор обеспечивает нарастание тока в течение 2 с в начальный период сварки и спад тока по программе, как показано на рис. 16, а.

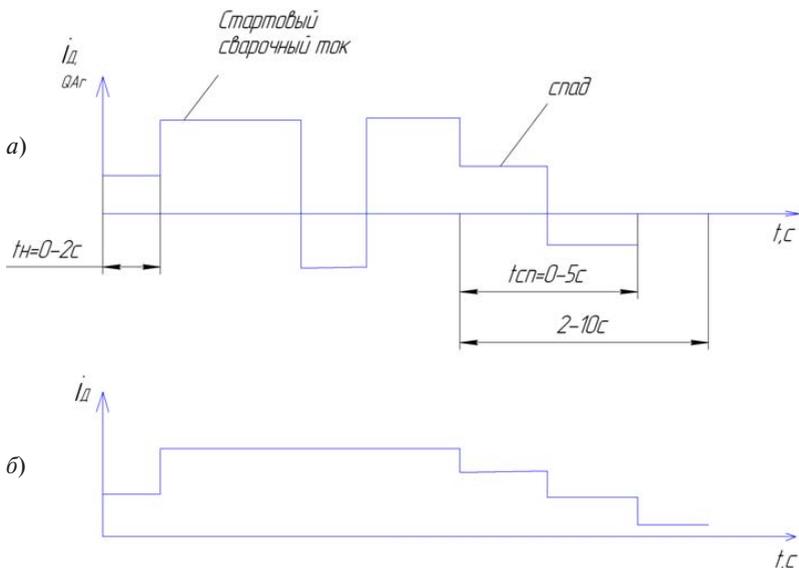


Рис. 16. Характер изменения переменного (а) и постоянного тока (б)

При работе инвертора на постоянном токе начальное нарастание тока и спад его по окончании процесса сварки также осуществляются по программе (рис. 16, б).

Алгоритм проведения эксперимента

1. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
2. Определить цену деления измерительных приборов.
3. Составить функциональную блок-схему.
4. Собрать силовую схему сварочного поста с измерительной аппаратурой согласно схеме (рис. 17).
5. Снять внешние вольт-амперные характеристики $U_d = f(I_d)$ для трех значений коллекторного тока транзисторов и, соответственно, трех значений тока дуги (в качестве нагрузки Н1–Н5 и КЗ использовать активное сопротивление РБ-300 или зажечь сварочную дугу).

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

Результаты измерений и расчета

Положение регулятора тока	Режим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
min	XX							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	Н5							
среднее	КЗ							
	XX							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							

Положение регулятора тока	Режим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
	H5							
	K3							
max	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	K3							

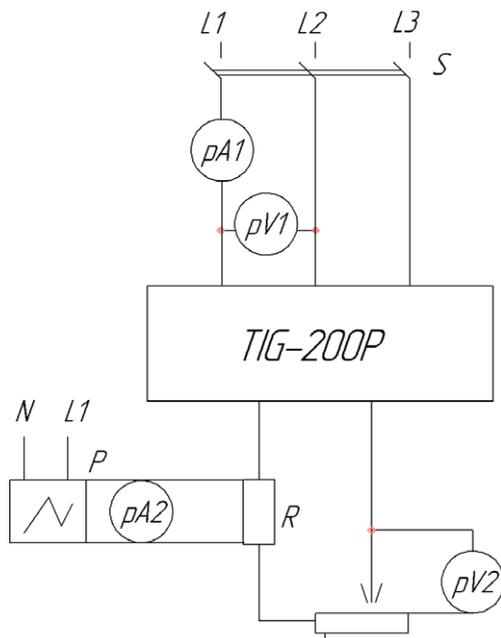


Рис. 17. Схема сварочного поста

Алгоритм обработки экспериментальных данных и сравнительный анализ результатов

1. Построить три зависимости сварочного выпрямителя $U_d = f(I_d)$ для трех значений регулятора тока, расположенного на лицевой панели сварочного инвертора. Характеристику дуги $U_d = f(I_d)$ взять из литературы [3] и построить на том же графике.
2. Рассчитать η по формуле (10) [3] для точек устойчивого равновесия системы «источник – дуга» и построить график $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Оборудование, измерительная аппаратура, оснастка, вспомогательное оборудование.
5. Электрическая схема поста и функциональная блок-схема сварочного выпрямителя.
6. Таблица результатов измерений и расчета.
7. Зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений положений регулятора тока и $U_d = f(I_d)$ на одном графике. Зависимость $\eta = f(I_d)$.
8. Выводы. Указать способ регулирования тока дуги и способ формирования вольт-амперной характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. На чем основан принцип действия сварочного инвертора?
2. Каким образом регулируется величина сварочного тока в инверторе?
3. Перечислите основные узлы сварочного инвертора.
4. Как формируется вольт-амперная характеристика инвертора?
5. Какова область применения сварочного инвертора TIG200P – AC/DC?
6. Для сварки каких металлов может применяться инвертор TIG200P – AC/DC?
7. Почему режим короткого замыкания для сварочного инвертора не является аварийным?

Лабораторная работа 23 **ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ИНВЕРТОРА** **«ФОРСАЖ 250М»**

Цель лабораторного занятия — изучить работу схемы и конструкцию сварочного инвертора «Форсаж 250М» и приобрести навыки оценки его свойств и назначения.

План проведения занятия

1. Изучить схему инвертора, способ регулирования сварочного тока и формирования ломаной внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах XX, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов измерений и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Сварочный инвертор постоянного тока типа «Форсаж 250М», балластный реостат РБ-300, стенд лабораторный.
2. pV_1, pV_2 — вольтметры; pA_1, pA_2 — амперметры; RS — шунт измерительный; P — осциллограф.

Описание сварочного инвертора **«Форсаж 250М»**

Сварочный выпрямитель инверторного типа «Форсаж 250М» (Inverter) (рис. 18) предназначен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами ($U_d \approx 30$ В) и для ручной или автоматической сварки неплавящимся электродом ($U_d \approx 15$ В). Инвертор «Форсаж 250М» работает в непрерывном режиме на постоянном токе.



Рис. 18. Сварочный выпрямитель «Форсаж 250М»
(подарок Рязанского приборостроительного завода)

Работа схемы инвертора и описание конструкции

Функциональная блок-схема сварочного инвертора «Форсаж 250М» приведена на рис. 19.

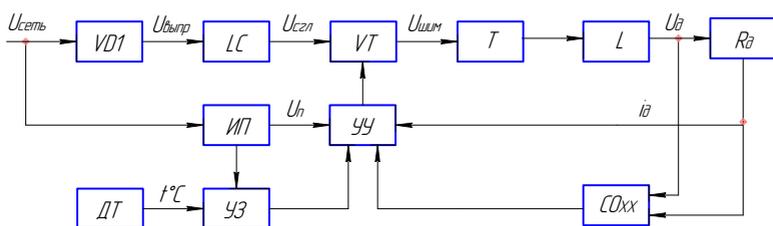


Рис. 19. Функциональная схема сварочного инвертора «Форсаж 250М»

В основу работы сварочного выпрямителя положен метод высокочастотного преобразования электрической энергии, что значительно снижает габариты и вес всего источника питания [1; 7; 8].

Напряжение сети ($U_{\text{сети}}$) 380 В выпрямляется ($U_{\text{выпр}}$ – выпрямленное напряжение сети = $U_{\text{сети}} \sqrt{3}$) входным выпрямителем VD_1 , сглаживается ($U_{\text{сгл}}$ – сглаженное напряжение) входным фильтром LC и поступает на вход транзисторного преобразователя VT .

Транзисторный преобразователь совместно с устройством управления (УУ) обеспечивает широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения ($U_{\text{шим}}$ – модулированное напряжение), которое и подается через понижающий трансформатор связи T на дугу $U_{\text{д}}$ ($U_{\text{д}}$ – усредненное напряжение дуги) (рис. 19):

$$U_{\text{шим}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{сети}} \cdot \frac{t_{\text{и}}}{t_{\text{и}} + t_{\text{п}}}, \text{ В}, \quad (11)$$

где $t_{\text{и}}$ – время импульса; $t_{\text{п}}$ – время паузы; $U_{\text{сети}}$ – напряжение сети.

Широтно-импульсно модулированное напряжение (рис. 20) понижается трансформатором T и сглаживается до среднего значения выходным дросселем L . За счет алгоритма управления и скважности импульсов транзисторный преобразователь VT обеспечивает формирование крутопадающей выходной характеристики.

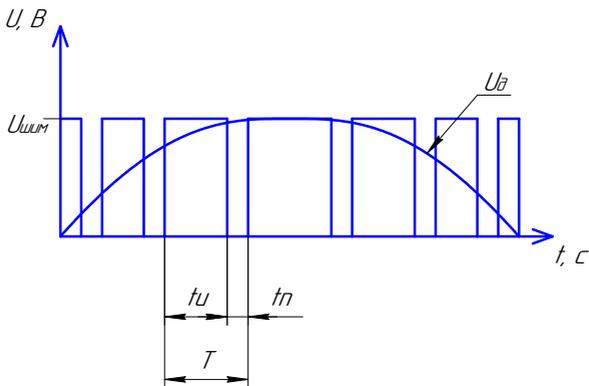


Рис. 20. Диаграмма широтно-импульсного модулированного напряжения (ШИМ)

Благодаря обратной связи по току УУ обеспечивает регулирование тока дуги и защиту от перегрузки по току. Также для предотвращения перегрузок по перегреву и выхода из строя VT предусмотрен датчик температуры, расположенный на радиаторе транзисторов, который через устройство защиты (УЗ) дает сигнал на отключение силовой части и включение индикатора И4, расположенного на лицевой панели сварочного выпрямителя. Сигнал защиты автоматически отключается при снижении температуры VT до рабочего значения.

Питание управляющего устройства УУ обеспечивает отдельный источник питания ИП.

Схема ограничения холостого хода (CO_{xx}) контролирует выходное напряжение инвертора и при прерывании сварки более чем на 5 секунд включает режим безопасного напряжения холостого хода. ИБ сигнализирует о переходе аппарата на безопасное напряжение холостого хода « $U_{xx} < 12 В$ ».

Свечение индикаторов А, В, С (СЕТЬ), расположенных на лицевой панели сварочного выпрямителя, указывает на включенное состояние источника питания и наличие всех трех фаз L_1 , L_2 , L_3 напряжения электрической сети.

В инверторе при перегрузке или появлении неисправности включается индикатор И5.

Сварочный инвертор «Форсаж 250М» состоит из следующих узлов: VD_1 – выпрямительный мост; LC – фильтр сглаживания; VT – транзисторный преобразователь; T – трансформатор; L – дроссель; ИП – дополнительный источник питания; УУ – управляющее устройство; ДТ – датчик температуры; УЗ – устройство защиты; CO_{xx} – схема ограничения холостого хода.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
2. Определить цену деления приборов.
3. Составить функциональную блок-схему.
4. Собрать силовую схему сварочного поста с измерительной аппаратурой согласно схеме (рис. 21).
5. Снять внешние вольт-амперные характеристики $U_d = f(I_d)$ для трех значений коллекторного тока транзисторов и, соответственно, трех значений тока дуги (в качестве нагрузки Н1–Н5 и КЗ использовать активное сопротивление РБ-300 или зажечь сварочную дугу).

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

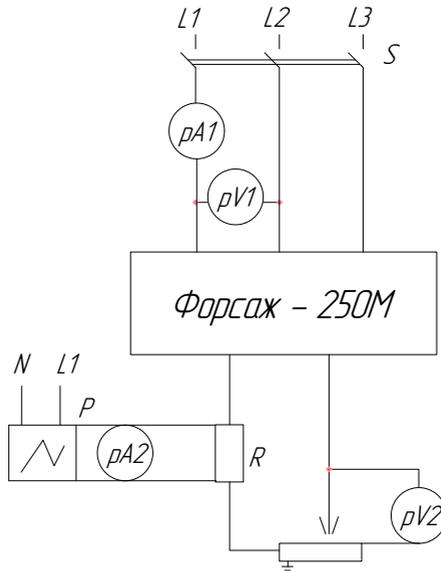


Рис. 21. Схема сварочного поста

Результаты измерений и расчета

Положение регулятора тока	Ре-жим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
min	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	H5							
	K3							
среднее	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H5							

Положение регулятора тока	Режим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
	КЗ							
max	XX							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	КЗ							

Алгоритм обработки экспериментальных данных и сравнительный анализ результатов

1. Построить три зависимости сварочного выпрямителя $U_d = f(I_d)$ для трех значений регулятора тока, расположенного на лицевой панели сварочного инвертора. Характеристику дуги $U_d = f(I_d)$ взять из литературы [3] и построить на том же графике.
2. Рассчитать η по формуле (10) [3] для точек устойчивого равновесия системы «источник – дуга» и построить график $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Оборудование, измерительная аппаратура, оснастка, вспомогательное оборудование.
5. Электрическая схема поста и функциональная блок-схема сварочного выпрямителя.
6. Таблица результатов измерений и расчета.

7. Зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений положений регулятора тока и $U_d = f(I_d)$ на одном графике. Зависимость $\eta = f(I_d)$.
8. Выводы. Указать способ регулирования тока дуги и способ формирования вольт-амперной характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. На чем основан принцип действия сварочного инвертора?
2. Каким образом регулируется величина сварочного тока в инверторе?
3. Перечислите основные узлы сварочного инвертора «Форсаж 250М».
4. Чем формируется вольт-амперная характеристика источника питания?
5. Область применения сварочного инвертора «Форсаж 250М».
6. Для сварки каких металлов может применяться инвертор «Форсаж 250М»?
7. Почему режим короткого замыкания для сварочного выпрямителя не является аварийным?
8. Чем ограничивается ток короткого замыкания в инверторе «Форсаж 250М»?

Лабораторная работа 24

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ МПУ-4

Цель лабораторного занятия – изучить работу стабилизированного выпрямителя для микроплазменной сварки и приобрести навыки управления, выбора режима работы и компоновки функциональной схемы.

План проведения занятия

1. Изучить конструкцию установки, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами и нагрузкой.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах ХХ, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов измерений и расчета.

Используемое оборудование и приборы

1. Установка МПУ-4, балластный реостат РБ-300, горелка УС.ДСР-45-002г, стенд лабораторный.
2. pA_1, pA_2 – амперметры; pV_1, pV_2 – вольтметры; R_2, R_3 – измерительные шунты; P – осциллограф.

Описание установки МПУ-4

Установка МПУ-4 (рис. 22) предназначена для микроплазменной сварки цветных тяжелых металлов, титановых сплавов и сталей на постоянном токе неплавящимся электродом в защитной среде газа.



Рис. 22. Установка МПУ-4
(ИЭС им. Е.О. Патона)

Работа схемы установки и описание конструкции

Установка состоит из следующих узлов (рис. 23): трехфазного сварочного трансформатора T_1 , сварочного выпрямителя V_1 , прерывателя тока V_2 , сварочного выпрямителя V_3 , активного сопротивления R_1 (включаемого вместо сварочной дуги в качестве нагрузки), устройства для начальной ионизации дуги A_4 .

Падающую вольт-амперную характеристику формирует трансформатор. Трехфазный сварочный трансформатор T_1 с увеличенными потоками рассеяния понижает напряжение сети с $U_1 = 380$ В до 80 В. Вторичные обмотки сварочного трансформатора W_2 перемещаются относительно первичных W_1 . Перемещение первичных обмоток производит двигатель через редуктор, ходовой винт и гайку, жестко соединенные с подвижными обмотками. С подвижными обмотками тросиком соединен отсчетный барабан, указывающий установленный ток сварки при негорящей дуге.

Источник питания основного сварочного тока образован трансформатором T_1 (W_1 , W_2), выпрямителем V_1 и тиристором V_2 .

Трехфазная схема выпрямления тока V_1 собрана на диодах. Последовательно с выпрямителем V_1 включен тиристор V_2 , который вместе со схемой управления A_2 выполняет функции прерывателя

Алгоритм проведения эксперимента

1. Изучить теоретические сведения, описание конструкции и работу схемы.
2. Составить функциональную блок-схему установки.
3. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
4. Определить цену деления измерительных приборов.
5. Составить функциональную блок-схему источника.
6. Собрать силовую схему с нагрузкой или сварочного поста с измерительной аппаратурой согласно схеме (рис. 23).
7. Снять внешние вольт-амперные характеристики $U_d = f(I_d)$ для трех значений тока дуги (в качестве нагрузки Н1–Н5 и КЗ использовать активное сопротивление РБ-300 или зажечь сварочную дугу).

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

Результаты измерений и расчета

Положение регулятора тока	Ре-жим	Измерение				Расчет		
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η
min	XX							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	Н5							
среднее	КЗ							
	XX							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	Н5							
	КЗ							

Положение регулятора тока	Режим	Измерение				Расчет		
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η
max	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	K3							

Алгоритм обработки экспериментальных данных и сравнительный анализ результатов

1. Построить три зависимости сварочного выпрямителя $U_d = f(I_d)$ для трех значений регулятора тока. Характеристику дуги $U_d = f(I_d)$ взять с рис. 3 или из литературы [3] и построить на том же графике.
2. Рассчитать КПД η по формуле (10) [3] только для точек устойчивого равновесия системы «источник – дуга» и построить график $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая схема поста и функциональная блок-схема сварочного выпрямителя.
5. Таблица результатов измерений и расчета.
6. Зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений положений регулятора тока и $U_d = f(I_d)$ на одном графике. Зависимость $\eta = f(I_d)$.
7. Выводы. Указать способ регулирования тока дуги и способ формирования вольт-амперной характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный выпрямитель?
2. Каким образом регулируется величина основного сварочного тока?
3. Каким образом регулируется величина дежурного тока?
4. Как формируется вольт-амперная характеристика выпрямителя?
5. Каким образом создается импульсный режим сварки?
6. Область применения сварочного выпрямителя.
7. Для сварки каких металлов может применяться сварочный выпрямитель?
8. Почему режим короткого замыкания для сварочного выпрямителя не является аварийным?
9. Для чего используется блок A_4 ?
10. Для чего применяется прибор P , подключенный к элементу R_2 ?

Лабораторная работа 25

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ТИР-300Д

Цель лабораторного занятия – изучить работу схемы двухполупериодного сварочного выпрямителя, приобрести навыки управления и изучить принцип формирования блок-схемы.

План проведения занятия

1. Изучить конструкцию сварочного выпрямителя, работу электрической схемы, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами и нагрузкой.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах ХХ, нагрузки, КЗ. Заполнить таблицу результатов измерений и расчета.
4. Построить графики, произвести расчеты и сформулировать выводы.

Используемое оборудование и приборы

1. Источник питания ТИР-300Д, активное сопротивление РБ-300, стенд лабораторный.
2. pA_1 , pA_2 , – амперметры; pV_1 – вольтметр; R_1 – измерительный шунт; P – осциллограф.

Описание сварочного выпрямителя ТИР-300Д

Сварочный выпрямитель ТИР-300Д (рис. 24) предназначен для ручной и автоматической сварки неплавящимся электродом в защитной среде газа, для дуговой сварки покрытыми электродами.



Рис. 24. Сварочный выпрямитель ТИР-300Д
(подарок НИКИМТ, В.Р. Лепп)

Работа схемы выпрямителя и описание конструкции

Сварочный выпрямитель состоит из следующих узлов (рис. 25): сварочного трансформатора T_1 , сварочного выпрямительного моста V_1-V_4 , дросселя насыщения L_1 , линейного дросселя L_2 , устройства для начальной ионизации дугового промежутка A_4 , схемы управления током A_2 [1].

Однофазный сварочный трансформатор T_1 стержневого типа с малым индуктивным сопротивлением понижает напряжение сети с $U_1 = 380$ В до 65 В.

Дроссель насыщения L_1 с отдельными рабочими обмотками W_{p1} , W_{p2} и обмотками управления W_{y1} , W_{y2} , W_{y3} , W_{y4} включен во вторичную цепь сварочного трансформатора. Обмотки управления дросселя подключены параллельно тиристорам V_1-V_4 двухполупериодного выпрямителя.

Схема управления тиристорами обозначена A_2 .

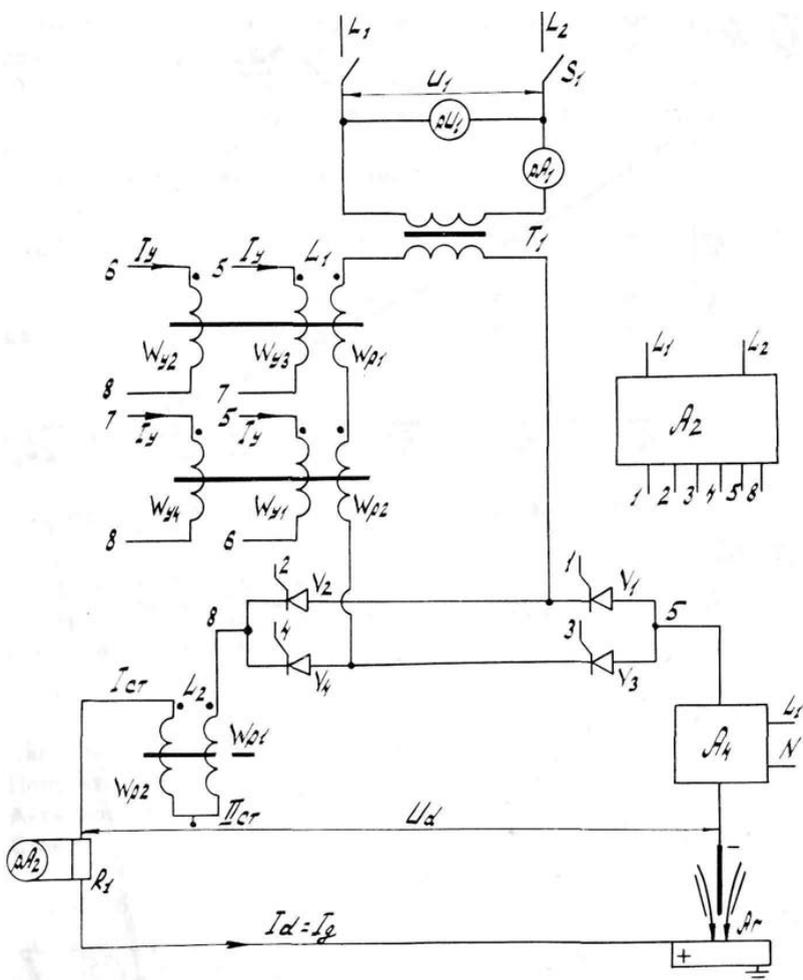


Рис. 25. Принципиальная схема источника питания ТИР-300Д

Линейный дроссель L_2 с рабочими обмотками включен в сварочную цепь. Либо последовательно включаются две рабочие обмотки дросселя L_2 ($W_{p1} + W_{p2}$) (I ступень), либо включается одна W_{p1} (II ступень).

Дроссель насыщения L_1 , тиристорный мост V_1-V_4 и линейный дроссель выполняют функции стабилизации и регулирования величины тока дуги и формируют крутопадающие внешние вольт-амперные характеристики источника питания.

Изменение величины тока сварки осуществляется за счет изменения тока управления I_y в дросселе насыщения переменным резистором, расположенным на переносном пульте управления. Величина тока на нем выражена в делениях.

Управление угла открытия α тиристоры V_1-V_4 увеличивает пульсацию тока и дает прерывистость тока. Чтобы снизить пульсацию выпрямленного тока, в сварочную цепь включают линейный дроссель L_2 с зазором в магнитопроводе.

Начальное возбуждение дуги в начале сварки производится подачей на дуговой промежуток между электродом и изделием серии высокочастотных импульсов, вырабатываемых осциллятором A_4 .

Сварочный трансформатор T_1 и дроссель L_2 расположены в нижней части источника. Схема управления размещена на отдельных платах и расположена в верхней части источника. Приборы, аппаратура управления расположены на вертикальной откидной дверке выпрямителя. В комплект поставки входят ручной пульт дистанционного управления током, pedalный пульт и горелка со сменными соплами.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Изучить теоретические сведения, описание конструкции и работу схемы.
2. Составить функциональную блок-схему выпрямителя.
3. Подготовить таблицу результатов измерений и расчета.
4. Составить функциональную блок-схему источника.
5. Собрать силовую схему с измерительной аппаратурой согласно схеме (рис. 25). В качестве нагрузки использовать балластный остаток РБ-300.
6. Снять внешние вольт-амперные характеристики $U_d = f(I_d)$ для трех значений тока дуги (в качестве нагрузки Н1–Н5 и режима КЗ использовать активное сопротивление РБ-300 или зажать сварочную дугу).

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

Результаты измерений и расчета

Положение регулятора тока	Ре-жим	Измерение				Расчет		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η
min	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	H5							
среднее	K3							
	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
max	H5							
	K3							
	XX							
	H1							
	H2							
	H3							
	H4							
	H5							
	K3							

**Алгоритм обработки экспериментальных данных
и сравнительный анализ результатов**

1. Построить три ВАХ сварочного выпрямителя $U_d = f(I_d)$ для трех значений регулятора тока. Характеристику дуги $U_d = f(I_d)$ взять с рис. 2 или из литературы [3] и построить на том же графике.
2. Рассчитать КПД η по формуле (10) из [3] для точек горения дуги, т. е. устойчивого равновесия системы «источник – дуга», и построить график $\eta = f(I_d)$.

Выводы

После проведения сравнительного анализа построенных графиков сделать вывод о назначении изученного сварочного выпрямителя с учетом особенностей его конструкции. Сформулировать вывод о достижении поставленной цели.

Форма отчета по лабораторному занятию

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая схема поста и функциональная блок-схема сварочного выпрямителя.
5. Таблица результатов измерений и расчета.
6. Зависимости $U_d = f(I_d)$ для трех значений положений регулятора тока и $U_d = f(I_d)$ на одном графике. Зависимость $\eta = f(I_d)$.
7. Выводы. Указать способ регулирования тока дуги и способ формирования вольт-амперной характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных узлов состоит сварочный выпрямитель?
2. Каким образом регулируется величина сварочного тока?
3. Как формируется вольт-амперная характеристика выпрямителя?
4. Область применения сварочного выпрямителя.
5. Для сварки каких металлов может применяться сварочный выпрямитель?
6. Почему режим короткого замыкания для сварочного выпрямителя не является аварийным?
7. Для чего используется блок A_4 ?
8. Для чего применяется прибор P , подключенный к элементу R_2 ?

Библиографический список

1. Милютин, В.С. Источники питания для сварки : учебник для вузов / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров. — Москва : АЙРИС-ПРЕСС, 2007. — 379 с. — (Высшее образование).
2. Короткова, Г.М. Источники питания для сварки / Г.М. Короткова. — Куйбышев : КуАИ, 1980. — 55 с.
3. Короткова, Г.М. Сварочные трансформаторы, установки, выпрямители : методические указания к лабораторным работам / Г.М. Короткова. — Тольятти : ТПИ, 1988. — 88 с.
4. Оборудование для дуговой сварки / под ред. В.В. Смирнова. — Ленинград : Энергоиздат, 1986. — 656 с.
5. Технология и оборудование сварки плавлением : лабораторный практикум / под ред. В.П. Сидорова и др. — Тольятти : ТГУ, 2007. — 363 с.
6. Короткова, Г.М. Источники питания технологических установок : учебное пособие (рабочая программа, метод. указ., задания к контрольной работе) / Г.М. Короткова. — Тольятти : ТГУ, 2001. — 56 с.
7. Бальян, Р.Х. Тиристорные генераторы и инверторы / Р.Х. Бальян, М.А. Сиверс. — Ленинград : Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. — 223 с.
8. Сварочный аппарат «Форсаж 250М» // ПлазмаМаш : [сайт]. — <http://www.plazmamash.ru/products/svarka/fors/250m> (дата обращения: 16.08.2020).
9. Сварочный полуавтомат «Форсаж-302» // Сварочные технологии : [сайт]. — URL: <http://www.welding-russia.ru/catalog.html?itemid=15688/> (дата обращения: 03.05.2020).

Образец титульного листа

Тольяттинский государственный университет
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением
и родственные процессы»

ОТЧЕТ

по лабораторным работам по дисциплине
«Источники питания для сварки»

Студент: Иванов И.И.

Группа: МСб-1502

Преподаватель:

Тольятти 20___