

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра материаловедения и технологии материалов

В.И. Юршев, И.В. Юршев, Р.И. Мукатдаров

ИЗУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение

Оренбург
2016

УДК 621.791.75.035(076.5)

ББК 34.641я7

Ю 84

Рецензент – профессор, доктор технических наук В.М. Кушнарченко

Юршев, В.И.

Ю 84

Изучение источников питания сварочной дуги постоянного тока: методические указания / В.И. Юршев, И.В. Юршев, Р.И. Мукатдаров; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 41 с.

Многообразие конструкций источников питания сварочной дуги необходимо учитывать в технологических процессах.

Методические указания содержат описание существующего оборудования, применяемого для осуществления процессов сварки и наплавки. Указан порядок выполнения практической части работы.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по курсу «Элементы промэлектроники в сварке» при подготовке студентов по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение по профилю «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановление деталей машин и аппаратов».

УДК 621.791.75.035(076.5)

ББК 34.641я7

© Юршев В.И., 2016

© ОГУ, 2016

Содержание

Введение.....	4
1 Цель работы.....	5
2 Общие сведения.....	5
2.1 Применение импульсных источников питания.....	6
3 Технические требования к сварочному оборудованию.....	10
3.1 Технологические требования к сварочному оборудованию.....	10
3.2 Дополнительные требования к сварочному оборудованию.....	11
3.3 Преимущества и недостатки сварочных выпрямителей.....	11
3.4 Конструкция сварочного выпрямителя.....	12
3.5 Сварочные выпрямители.....	12
3.6 Выпрямитель сварочный типа ВД-201 УЗ.....	15
4 Сварочные преобразователи.....	18
4.1 Коллекторные сварочные генераторы.....	20
4.2 Сварочные генераторы постоянного тока.....	22
4.3 Вентильные сварочные генераторы.....	24
4.4 Электромагнитные процессы вентильного сварочного генератора.....	26
4.5 Принципиальная электрическая схема и принцип формирования внешних характеристик вентильного сварочного генератора.....	27
4.6 Принцип работы схемы возбуждения сварочного генератора и управление значением сварочного тока.....	29
4.7 Переходные процессы и сварочные свойства.....	32
5 Инверторные сварочные аппараты.....	34
6 Задание - исследовать внешние характеристики выпрямителя ВД 201.....	36
7 Содержание отчета.....	38
8 Контрольные вопросы.....	38
9 Термины и определения.....	39
Список использованных источников.....	40

Введение

Многообразие конструкций источников питания сварочной дуги необходимо учитывать в технологических процессах сварки и наплавки. В методических указаниях рассмотрен принцип работы выпрямителей, генераторов – коллекторных и вентильных, инверторов.

Методические указания содержат описание и принцип действия существующего оборудования, применяемого для осуществления процессов сварки и наплавки. Указан порядок выполнения лабораторной работы по снятию вольт-амперной характеристики сварочного выпрямителя ВД 201 УЗ.

Рекомендуется данные методические указания изучать после ознакомления с лабораторной работой «Изучение конструкций и исследование характеристик сварочных трансформаторов» для полного освоения материала, и самоподготовки.

1 Цель работы

Изучить устройство, конструкцию и принцип действия источников питания сварочной дуги постоянного тока.

Изучить конструкцию сварочных выпрямителей.

Изучить конструкцию сварочных генераторов.

Изучить конструкцию сварочных инверторов.

Исследовать внешнюю характеристику сварочного выпрямителя ВД 201УЗ.

2 Общие сведения

Научные разработки в области источников питания были выполнены во Всесоюзном научно-исследовательском институте электросварочного оборудования (ВНИИЭСО) в Санкт-Петербурге (ныне Институт сварки России), Институте электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) в Киеве, Ржевском научно-производственном объединении «Электромеханика», Научно-исследовательском и конструкторском институте монтажной технологии (НИКИМТ) в Москве. За рубежом серийный выпуск сварочных источников производят фирмы «Hobart», «Lincoln Electric», «Miller» (США), «Kloos», «Kiellberg» (Германия), «ESAB» (Швеция), «Kemppi» (Финляндия), «Fronius» (Австрия) и многие другие.

В прогнозах развития сварочного производства в России и за рубежом не отмечается существенного количественного роста производства сварочных источников – в этом нет необходимости. Основным направлением их развития является качественное совершенствование. Будет меняться структура выпуска источников, при этом существенно снизится доля трансформаторов, будет прекращен выпуск преобразователей. Существенно возрастет доля выпрямителей, особенно инверторных и транзисторных. Значительно увеличится номенклатура и объем выпуска специализированных источников. Непрерывно

ведется работа по улучшению сварочных свойств источников. Наиболее важно решить вопросы улучшения возбуждения дуги и уменьшения разбрызгивания металла, управления переносом электродного металла и формированием шва [1].

2.1 Применение импульсных источников питания

Импульсные источники питания используются при сварке как плавящимся, так и неплавящимся электродом [2]. Процесс сварки происходит при непрерывно горящей маломощной дуге и периодически зажигающейся импульсами мощной дуге. Импульсный источник питания представляет собой комплект из двух источников, которые работают одновременно и независимо друг от друга. Такие источники могут быть спроектированы специально (ИПИД-1, ИПИД-300, ИПИД-300М) или составлены из сварочного генератора или выпрямителя (например, ПСГ-500, БПП-300П, ВС-500) и генератора кратковременных импульсов, амплитуда и длительность которых регулируются. Возбуждение дуги без соприкосновения электрода с изделием (аргонодуговая сварка, плазменная сварка и резка и т. д.), для этой цели используют пробой дугового промежутка дополнительным импульсом высокого напряжения.

Это также необходимо бывает для стабилизации возбуждения дуги переменного тока при перемене полярности питающего напряжения. При использовании импульсного источника питания первоначальное возбуждение дуги чаще всего осуществляется искровым сварочным осциллятором [3]. Однако он малоприспособен для стабилизации дуги из-за отсутствия синхронизации высоковольтных импульсов с напряжением дуги или сварочного трансформатора. Кроме того, осциллятор вызывает сильные радиопомехи при работе. Поэтому в последнее время разрабатывают конструкции импульсных возбуждателей сварочной дуги – генераторов импульсов. Для первоначального пробоя промежутка электрод – деталь,

равного 5 мм, требуются следующие напряжения: в аргоне 3,2 кВ; азоте 7 кВ; воздухе 8 кВ; углекислом газе 9,2 кВ.

Сварочный осциллятор – это устройство для возбуждения и стабилизации дуги, приспособленное для работы с серийными источниками питания переменного и постоянного тока. Сварочный осциллятор представляет собой искровой генератор затухающих колебаний. Он содержит низкочастотный повышающий трансформатор ПТ, вторичное напряжение которого достигает 2-3 кВ, разрядник, колебательный контур, составленный из емкости, индуктивности, обмотки связи и блокировочного конденсатора. Обмотки, в сварочном осцилляторе образуют высокочастотный трансформатор ВТ. Вторичное напряжение ПТ в начале полуцикла заряжает конденсатор и при достижении определенной величины вызывает пробой разрядника. В результате колебательный контур оказывается замкнутым, и в нем возникают затухающие колебания с резонансной частотой. Эти высокочастотные колебания через обмотку и конденсатор прикладываются к дуговому промежутку. Блокировочный конденсатор предотвращает шунтирование обмоткой дугового промежутка для напряжения источника питания. Изоляцию обмотки сварочного трансформатора от пробоя защищает дроссель, включенный в сварочную цепь. Мощность сварочного осциллятора обычно составляет 250-350 Вт. Длительность импульсов от сварочного осциллятора должна составлять десятки микросекунд.

Осцилляторы обеспечивают наложение тока высокого напряжения и высокой частоты на сварочную цепь. Они разделяются на два типа:

- возбудители сварочной дуги непрерывного действия;
- возбудители сварочной дуги импульсного питания.

К первым относятся сварочные осцилляторы, которые, работая совместно с источниками питания дуги, обеспечивают ее возбуждение наложением на сварочные провода тока высокого напряжения (3000-6000 В) и высокой частоты (150-250 кГц). Такой ток не представляет большой опасности для сварщика при соблюдении им правил электробезопасности, но дает возможность возбуждать

сварочную дугу, не касаясь электродом изделия. Высокая частота обеспечивает спокойное горение дуги даже при малых сварочных токах основного источника. Электрическая схема осциллятора ОСПЗ-201 приведена на рисунке 1.

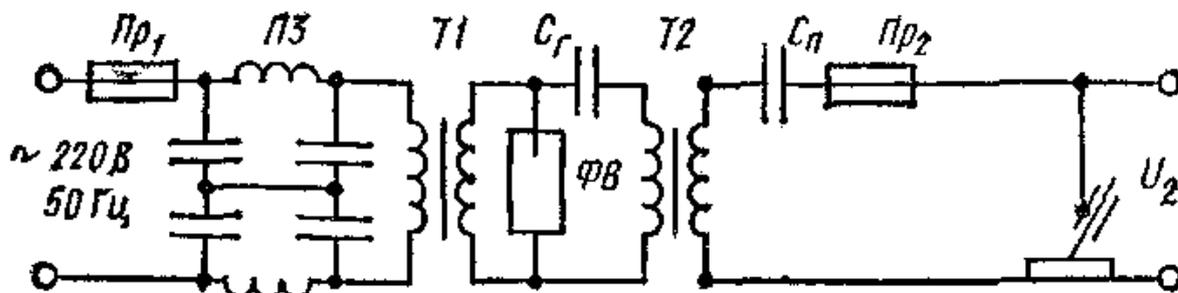


Рисунок 1 – Электрическая схема осциллятора, включенного в сварочную цепь параллельно

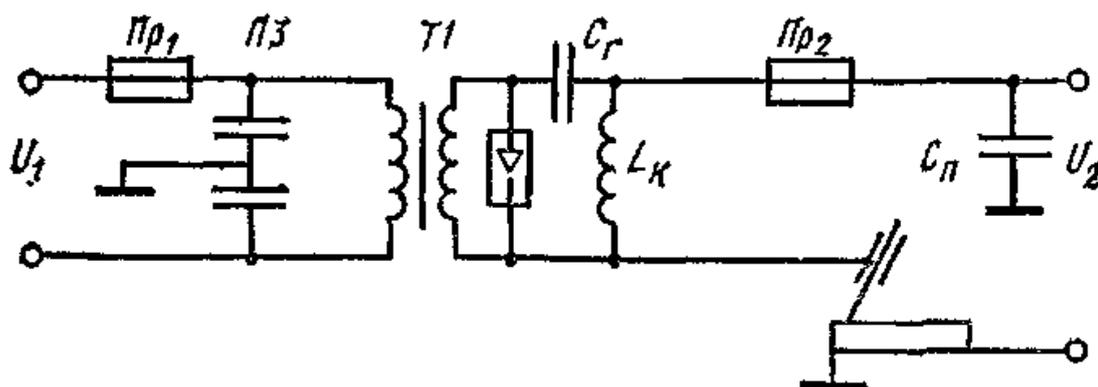


Рисунок 2 – Электрическая схема осциллятора последовательного включения

Как видно из схемы, осциллятор включен в сварочную цепь параллельно и в цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Предохранитель Pr_1 обеспечивает безаварийную работу помехозащитного фильтра ПЗ, состоящего из батареи конденсаторов. Высоковольтный низкочастотный трансформатор Т1 повышает напряжение до 6 кВ. На стороне высокого напряжения трансформатора Т1 находится высокочастотный искровой генератор, состоящий из разрядника ФВ, конденсатора C_r и первичной обмотки трансформатора высокой частоты и напряжения Т2. Этот генератор является колебательным контуром, в котором непрерывно, с большой скоростью, накапливаются в конденсаторе и разряжаются

ся через искровой разрядник импульсы тока высокого напряжения, создавая высокочастотную характеристику трансформатора Т2. Для защиты источника от тока высокого напряжения служит фильтр в виде конденсатора C_{Π} , а предохранитель $П_{р2}$ защищает обмотку трансформатора Т2 от пробоев фильтра C_{Π} . Осциллятор может питаться не от сети, а непосредственно от сварочной цепи, что улучшает его свойства.

Осцилляторы последовательного включения (рисунок 2) считаются более эффективными, так как не требуют установки в цепи источника специальной защиты от высокого напряжения. Как видно из схемы, катушка $1к$ включена последовательно со сварочной дугой, остальные обозначения схемы аналогичны рисунку 1. При работе осциллятора разрядник издает тихое потрескивание; искровой зазор величиной 1,6-2 мм может быть установлен регулировочным винтом, но только при отключенном от сети осцилляторе. Следует иметь в виду, что установка и ремонт осцилляторов требуют более высокой квалификации электротехнического персонала.

При сварке переменным током требуются возбудители с импульсным питанием, которые наряду с первоначальным возбуждением дуги должны способствовать ее зажиганию при смене полярности переменного тока. Казалось бы, что сварочные осцилляторы отвечают этому требованию, однако они неудовлетворительно выполняют повторные зажигания при смене полярности переменного тока источника, в результате чего действующий сварочный ток колеблется и ухудшается качество сварки. Кроме того, несинхронизированные сварочные осцилляторы создают значительные радиопомехи.

Другим способом бесконтактного возбуждения дуги является применение импульсных генераторов, использующих накопительные емкости, которые заряжаются от специального зарядного устройства и в моменты повторного возбуждения дуги разряжаются на дуговой промежуток. Так как фаза перехода сварочного тока через ноль во время сварки не остается строго постоянной, то для обеспечения надежной работы генератора необходимо устройство, позволяющее синхронизировать разряды емкости с моментами перехода тока дуги через ноль.

3 Технические требования к сварочному оборудованию

Для обеспечения высокого качества сварного соединения, которое выражается в идентичности параметров полученного шва по всей его длине, необходимо, чтобы сварочная аппаратура обеспечивала выполнение следующих операций:

- подвод к электроду и изделию сварочного тока;
- нагрев электродного или присадочного металла и свариваемых кромок;
- подачу в сварочную ванну этого металла со скоростью, равной скорости его плавления;
- перемещение электрода вдоль шва с необходимой точностью;
- защиту зоны сварки от воздействия воздуха.

3.1 Технологические требования к сварочному оборудованию

В зависимости от необходимого конкретного технологического режима аппаратура должна обеспечивать и некоторые вспомогательные операции (колебания электрода, искусственное формирование ванны, засыпку и уборку флюса). Эти операции выполняют вручную или с помощью сварочного автомата. При дуговой сварке качество шва получается стабильным, если на протяжении его выполнения сохраняется установленный заданный режим сварки, то есть совокупность следующих факторов:

1. Сила сварочного тока, А.
2. Скорость подачи электродной проволоки, м/ч.
3. Сечение электродной проволоки, мм².
4. Напряжение на электроде при холостом ходе и горении дуги, В.
5. Скорость образования шва (скорость сварки), м/ч.
6. Отклонение электрода от оси шва, мм.

3.2 Дополнительные требования к сварочному оборудованию

Для сварочного оборудования полуавтоматической и автоматической сварки необходимы следующие требования:

1. Поперечное перемещение электрода: размах, мм; частота, Гц.
2. Вылет электрода, мм.
3. Состав и строение флюса, покрытие электрода.
4. Температура основного металла, °С.
5. Наклон электрода или проволоки, град.
6. Скорость подачи защитного газа, л/мин.
7. Положение изделия в месте сварки.

В настоящее время при производстве электросварочного оборудования все шире используют принципы унификации, позволяющие из малого числа составных элементов получать сварочные аппараты различного назначения. Этот метод дает большой экономический эффект на всех стадиях: от проектирования сварочного оборудования, изготовления до эксплуатации и ремонта. Показательна в этом отношении серия унифицированных полуавтоматов для сварки в защитных газах.

3.3 Преимущества и недостатки сварочных выпрямителей

По мере совершенствования и увеличения мощности полупроводниковых вентилях все более увеличивается выпуск и применение в качестве источников питания сварочной дуги постоянного тока сварочных выпрямителей. Перед преобразователями выпрямители имеют следующие преимущества:

1. Более высокий коэффициент полезного действия (КПД) и меньшие потери на холостом ходу.
2. Лучшие динамические свойства.
3. Меньшая масса.
4. Большая надежность и простота обслуживания при эксплуатации.

5. Бесшумность при работе.

6. Большую экономичность при изготовлении.

Основной недостаток сварочных выпрямителей – их большая чувствительность к колебаниям напряжения сети, чем у сварочных преобразователей. Сварочный выпрямитель состоит из двух основных узлов: понижающего трансформатора с регулирующим устройством и блока вентилей. В общий комплект источника питания часто также включается секционированный дроссель, обеспечивающий необходимые динамические характеристики для нормального переноса электродного металла в шов. Этот дроссель предназначен для снижения скорости нарастания тока короткого замыкания и соединен последовательно с дугой в цепи выпрямленного тока, индуктивность его обычно составляет несколько миллигенри.

3.4 Конструкция сварочного выпрямителя

В конструкциях отечественных сварочных выпрямителей (ВД) находят применение силовые диоды и тиристоры. В кремниевых выпрямителях силовые блоки собирают из отдельных вентилей на силу тока 50 или 200 А с допустимым обратным напряжением 150 В. Кремниевые вентили также требуют интенсивного принудительного охлаждения, для чего их укрепляют на радиаторах, охлаждаемых потоком воздуха от вентилятора. Схема управления тиристорами обеспечивает необходимый вид внешней характеристики, широкий диапазон регулирования силы сварочного тока и стабильность его при колебаниях напряжения питающей сети (выпрямитель сварочный ВДУ-504).

3.5 Сварочные выпрямители

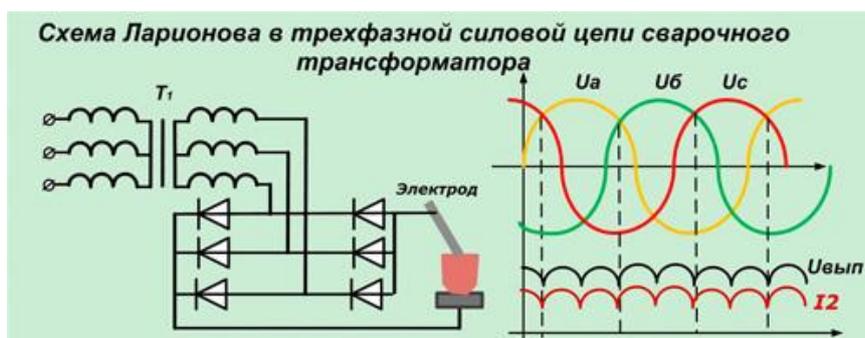
Сварочные выпрямители – это статические преобразователи энергии трехфазной сети переменного тока в энергию выпрямленного (пульсирующего) постоянного тока.

В настоящее время разработаны и выпускаются сварочные выпрямители: для ручной или механизированной дуговой сварки под флюсом, сварки в защитной среде и другие. Их основные преимущества – высокий КПД и относительно небольшие потери холостого хода; отсутствие вращающихся частей и бесшумность в работе; равномерность нагрузки фаз; небольшая масса; возможность замены медных проводов алюминиевыми. Однако продолжительные короткие замыкания представляют большую опасность, так как могут вывести из строя диоды. Кроме того, они чувствительны к колебаниям напряжения в сети.

По основным технико-экономическим показателям сварочные выпрямители являются более прогрессивными по сравнению со сварочными преобразователями.

Сварочные выпрямители состоят из двух основных блоков: понижающего трехфазного сварочного трансформатора [4] с устройством для регулирования напряжения или тока и выпрямительного блока [2]. Кроме того, выпрямитель имеет пускорегулирующие и защитные устройства, обеспечивающие нормальную их эксплуатацию.

Выпрямление тока осуществляется по трехфазной мостовой схеме, состоящей из шести плеч. В каждом плече моста установлены вентили, выпрямляющие оба полупериода переменного тока в трех фазах (рисунок 3).



а – упрощённая схема; б – осциллограмма трёхфазного напряжения;
в – осциллограмма трёхфазного выпрямленного напряжения

Рисунок 3 – Схема трёхфазного выпрямителя

В каждый момент времени ток проходит через два вентиля и, таким образом, в течение одного периода происходит шесть пульсаций выпрямленного тока, что соответствует частоте пульсации 300 Гц.

Сварочные выпрямители подразделяются: однопостовые с падающими, жесткими, пологопадающими и универсальными характеристиками и многопостовые с жесткими характеристиками.

Падающая характеристика в выпрямителе создается включением в сварочную цепь реактивной катушки или применением трансформатора с усиленным магнитным рассеиванием, или балластным реостатом. Применяется при ручной сварке.

Сварочные выпрямители с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками применяется при сварке плавящимся электродом в углекислом газе, под флюсом, порошковой проволокой.

Сварочные выпрямители типов ВД и ВДУ являются универсальными источниками питания дуги. Они предназначены для питания дуги при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой, а также при ручной сварке. Выпрямители ВСУ, кроме обычного трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока, имеют дроссель насыщения с четырьмя обмотками. Переключением этих обмоток можно получать жесткие, пологопадающие внешние характеристики. Выпрямители ВДУ основаны на использовании в качестве выпрямителей тиристоров во вторичных обмотках трансформатора. Схема управления тиристорами позволяет получать необходимый для сварки вид внешней характеристики, обеспечивает широкий диапазон регулирования сварочного тока и стабилизацию режима сварки при колебаниях напряжения питающей сети.

3.6 Выпрямитель сварочный типа ВД-201 УЗ

Выпрямитель предназначен для питания электрической сварочной дуги постоянным током при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов.

Структура условного обозначения ВД-201 УЗ:

- ВД – выпрямитель для дуговой сварки;
- 20 – номинальный сварочный ток, десятки ампер;
- 1 – номер модификации;
- УЗ – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.

Условия эксплуатации:

- высота над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха от минус 40 °С до плюс 40 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 % при температуре 20 °С;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;
- степень защиты IP22 по ГОСТ 14254-96;
- класс выпрямителя по способу защиты человека от поражения электрическим током 01 по ГОСТ 12.2.007.0-764;
- требования техники безопасности по ГОСТ 12.2.007.8-75, раздел 4 ГОСТ 13821-77, ГОСТ 12.1.035-81;
- выпрямитель соответствует требованиям ТУ 16-739.252-80;
- выпрямитель предназначен для питания электрической сварочной дуги постоянным током при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов.

Внешний вид сварочного выпрямителя ВД 201УЗ изображен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид сварочного выпрямителя ВД 201УЗ

Технические характеристики:

- номинальное напряжение питающей сети, В – 220 или 380;
- номинальное рабочее напряжение, В – 28;
- потребляемая мощность, кВт, не более – 9,8;
- номинальный сварочный ток, А – 200;
- номинальная продолжительность нагрузки ПН, % – 60;
- длительность цикла сварки, мин – 5;
- диапазон регулирования сварочного тока, А – 30-200;
- диапазон регулирования рабочего напряжения, В – 2-28;
- габаритные размеры, мм – 730x550x890;

– масса, кг – 114.

Конструкция и принцип действия.

Выпрямитель на рисунке 5 состоит из понижающего трехфазного силового сварочного трансформатора Т1 с подвижными первичными катушками, выпрямительного блока VD 1 с вентилятором М, пусковой и защитной аппаратуры, тележки, кожуха.

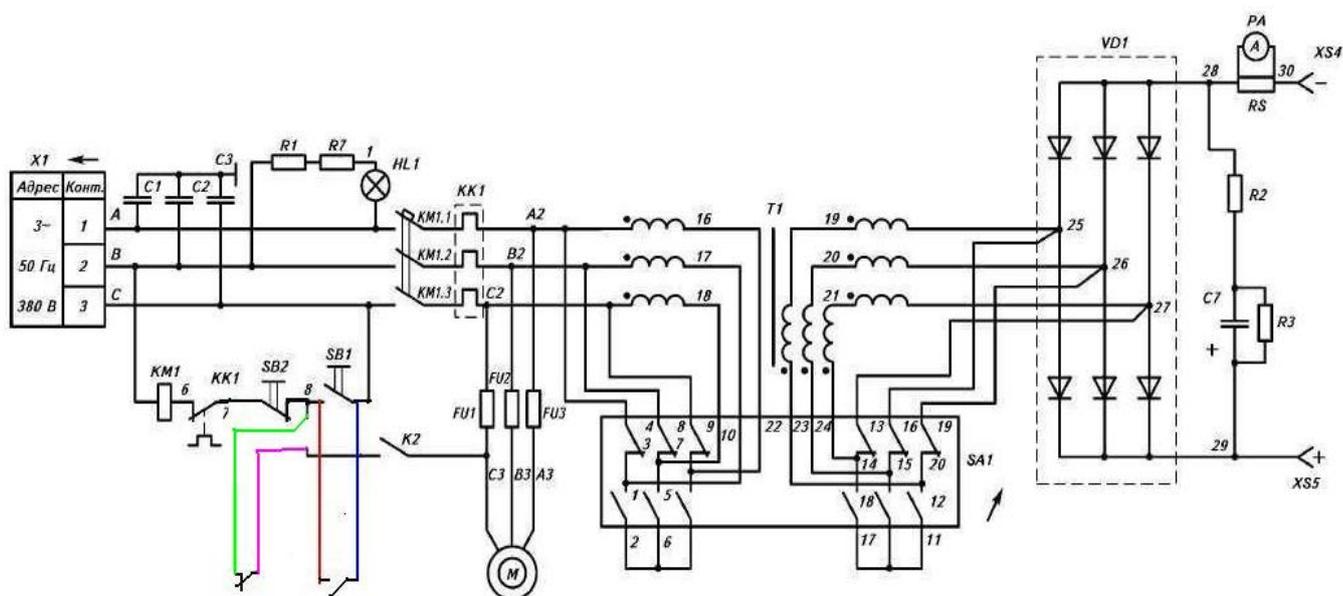


Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная сварочного выпрямителя ВД 201 УЗ

Все составные части выпрямителя смонтированы на тележке и защищены кожухом. Тележка имеет два колеса и ручки для перемещения. Для подъема выпрямителя предусмотрены два рым-болта.

Напряжение, необходимое для процесса сварки, падающая внешняя характеристика выпрямителя и регулирование сварочного тока обеспечиваются трехфазным понижающим трансформатором с повышенной индуктивностью рассеяния.

Сварочный выпрямитель имеет два диапазона регулирования сварочного тока: диапазон малых токов и диапазон больших токов, переключающихся переключателем диапазонов тока SA1. Сварочный ток плавно регулируется внутри каждого диапазона изменением расстояния между первичной и вторичной обмот-

ками: при сближении обмоток индуктивность рассеяния уменьшается, сварочный ток увеличивается, при увеличении расстояния между обмотками индуктивность рассеяния увеличивается, сварочный ток уменьшается.

Вторичное напряжение холостого хода выпрямителя зависит от расстояния между катушками трансформатора. Большее напряжение холостого хода наблюдается при сдвинутых катушках, меньшее – при раздвинутых.

Внешние характеристики выпрямителя имеют крутопадающую рабочую часть со сравнительно небольшими кратностями короткого замыкания – 1,2-1,4 величины сварочного тока при номинальном рабочем напряжении.

4 Сварочные преобразователи

Сварочные преобразователи подразделяют на следующие группы: по количеству одновременно подключенных постов – однопостовые, многопостовые; по способу установки – стационарные, передвижные; по роду двигателей, приводящих генератор во вращение – машины с электрическим приводом, машины с двигателем внутреннего сгорания (бензиновые – САК и дизельные – САД); по способу выполнения – однокорпусные, в которых генератор и двигатель вмонтированы в единый корпус; отдельные, в которых генератор и двигатель установлены в единой рамке, а привод осуществляется через специальную соединительную муфту.

Сварочные преобразователи обладают следующими преимуществами по сравнению с источниками переменного тока:

– дуга постоянного тока горит более устойчиво из-за отсутствия затуханий, связанных с изменениями полярности переменного тока;

– ввиду высокой стабильности дуги постоянного тока обеспечивается высокое качество сварки (отсутствие непроваров, включений и других дефектов);

– при сварке постоянным током возможно применение всех выпускаемых промышленностью марок электродов;

– источник питания постоянного тока менее чувствителен к колебаниям напряжения в сети, чем трансформатор;

– сварочные генераторы удобны для использования в комплекте с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) при монтажных работах в местах, где отсутствует электроэнергия.

Сварочные преобразователи состоят из приводного асинхронного электродвигателя трехфазного тока и сварочного генератора, расположенных в общем корпусе. Преобразователи предназначены для работы в помещениях и на открытом воздухе.

Сварочные генераторы входят в состав сварочных преобразователей и сварочных агрегатов. Сварочный преобразователь содержит приводной трехфазный электродвигатель, сварочный электрогенератор постоянного тока и устройство регулирования сварочного тока. Сварочный агрегат содержит приводной двигатель внутреннего сгорания, сварочный электрогенератор постоянного тока и устройство регулирования сварочного тока. Сварочные генераторы подразделяют по конструкции на коллекторные и вентильные, а по принципу действия на генераторы с самовозбуждением и с независимым возбуждением.

Сварочные генераторы коллекторного типа с независимым возбуждением применялись в сварочных преобразователях, выпуск которых в нашей стране прекращен в 90-х годах 20 века, но пока еще в некоторых организациях эксплуатируются. Остальные виды генераторов в настоящее время являются составной частью сварочных агрегатов. Внешний вид сварочных агрегатов представлен на рисунке 6.



а

а – сварочный агрегат ГД-310У2 315 А



б

б – агрегат сварочный АДД



в

в – сварочный агрегат УРАЛ-190



г

г – сварочный агрегат PRORAB 5502

Рисунок 6 – Внешний вид некоторых сварочных агрегатов

4.1 Коллекторные сварочные генераторы

Коллекторные генераторы являются машинами постоянного тока, содержащими статор с магнитными полюсами и обмотками, а также ротор с обмотками, концы которых выведены на пластины коллектора.

При вращении ротора витки его обмотки пересекают силовые линии магнитного поля и в них индуцируется ЭДС.

Графитовые щетки осуществляют подвижный контакт с пластинами коллектора. Щетки машины располагаются на электрической (геометрической) нейтральной коллектора, где ЭДС в витках меняет свое направление. Если сдвинуть щетки с нейтральной, то напряжение генератора снизится, и переключение обмоток будет происходить под напряжением, что в сварочных генераторах под нагрузкой приведет к очень быстрому расплавлению коллектора электрической дугой.

ЭДС на щетках сварочного генератора пропорциональна магнитному потоку, создаваемому магнитными полюсами $E_2 = c \cdot \Phi$, где Φ – магнитный поток; c – постоянная генератора, определяемая его конструкцией и зависящая от числа пар полюсов, количества витков в якорной обмотке, скорости вращения якоря.

Напряжение на выходе генератора при нагрузке $U_2 = E_2 - J_{св} R_r$, где U_2 – выходное напряжение на клеммах генератора при нагрузке; $J_{св}$ – сварочный ток; R_r – суммарное сопротивление участка цепи якоря внутри генератора и щеточных контактов.

Поэтому внешняя статическая характеристика такого генератора пологопадающая. Для получения круто падающей внешней статической характеристики в коллекторных генераторах применяется принцип внутреннего размагничивания машины, что обеспечивается статорной обмоткой размагничивания. При необходимости получения жесткой внешней статической характеристики используется подмагничивающая обмотка статора.

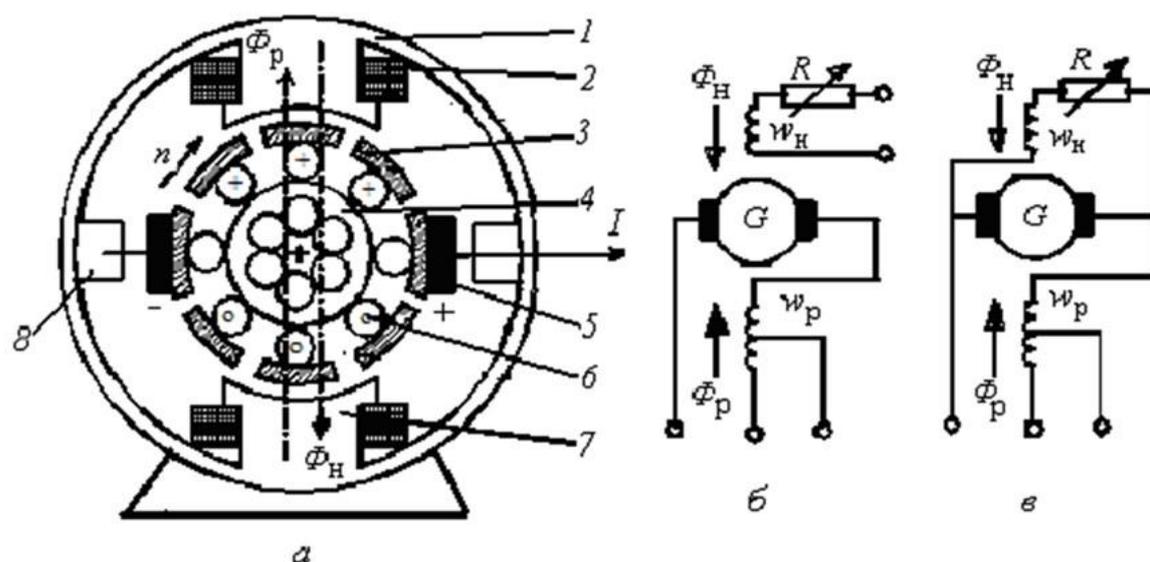
Основным механизмом преобразователя является источник питания дуги – сварочный генератор. Наиболее распространены коллекторные генераторы, в которых выпрямление электрического переменного тока, вырабатываемого генератором, осуществляется путем снятия его с коллектора посредством угольных щеток. В настоящее время используются коллекторные генераторы с независимым возбуждением или самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой.

4.2 Сварочные генераторы постоянного тока.

С целью повышения качества сварного шва применяются сварочные генераторы постоянного тока [5]. Сварочным генератором постоянного тока может быть укомплектован стационарный сварочный пост или передвижной сварочный агрегат. Сварочный генератор постоянного тока соединяется с приводным двигателем с помощью муфты или клиноременной передачи. В качестве двигателей могут применяться асинхронные электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания.

На рисунке 6 показаны конструктивная схема коллекторного сварочного генератора постоянного тока и схемы его возбуждения.

Сварочный генератор (рисунок 7, а) состоит из неподвижного статора 1.



а – конструктивная схема; б – схема независимого возбуждения; в – схема параллельного возбуждения: 1 – статор; 2 – намагничивающая обмотка; 3 – коллекторная пластина; 4 – ротор; 5 – щетка; 6 – обмотка якоря; 7 – главный полюс; 8 – дополнительный полюс;

Φ_H – намагничивающий поток; Φ_p – размагничивающий поток; w_H – обмотка возбуждения намагничивающая; w_p – обмотка размагничивающая

Рисунок 7 – Сварочный генератор постоянного тока

На статоре закреплены главные полюса 7 с намагничивающими обмотками 2. Внутри статора расположен цилиндрический ротор 4, набранный из стальных пластин. В пазах ротора укладывается обмотка 6, концы которой соединены с пластинами коллектора 3. Ротор приводится во вращение от приводного двигателя. Вращающийся ротор с обмоткой называют якорем. По обмотке подмагничивания протекает постоянный ток, создавая магнитный поток Φ_n . При вращении якоря в обмотке 6 наводится ЭДС. Сварочный ток снимается с коллектора щетками 5. На дополнительных полюсах 8 размещается последовательная обмотка w_p , по которой идет ток нагрузки. На холостом ходу действует только намагничивающая обмотка. В генераторе с независимым возбуждением намагничивающая обмотка питается от постороннего источника (рисунок 7, б). В генераторе с самовозбуждением она получает питание от обмотки якоря. Поскольку обмотка включена параллельно якорю, то она называется обмоткой параллельного возбуждения (рисунок 7, в). Последовательная обмотка создает размагничивающий поток Φ_r , направленный против основного потока Φ_n , только в рабочем режиме.

Регулирование сварочного тока осуществляется путем перемещения щеток по коллектору и реостатом R в цепи намагничивающей обмотки. Напряжение на выходе генератора поддерживается постоянным.

Главное отличие генератора с самовозбуждением в том, что намагничивающая обмотка возбуждения питается не от постороннего источника, а от самого генератора. Поэтому они называются генераторами с самовозбуждением.

Существуют схемы с самовозбуждением, когда питание обмотки возбуждения обеспечивается отдельной дополнительной щеткой (рисунок 8).

В коллекторных генераторах, кроме основных полюсов и обмоток, есть ещё 2 дополнительных полюса, на которых размещается по витку дополнительной последовательной обмотки. Это необходимо для компенсации магнитного потока реакции якоря и сохранения положения электрической нейтрали машины при изменении нагрузки.

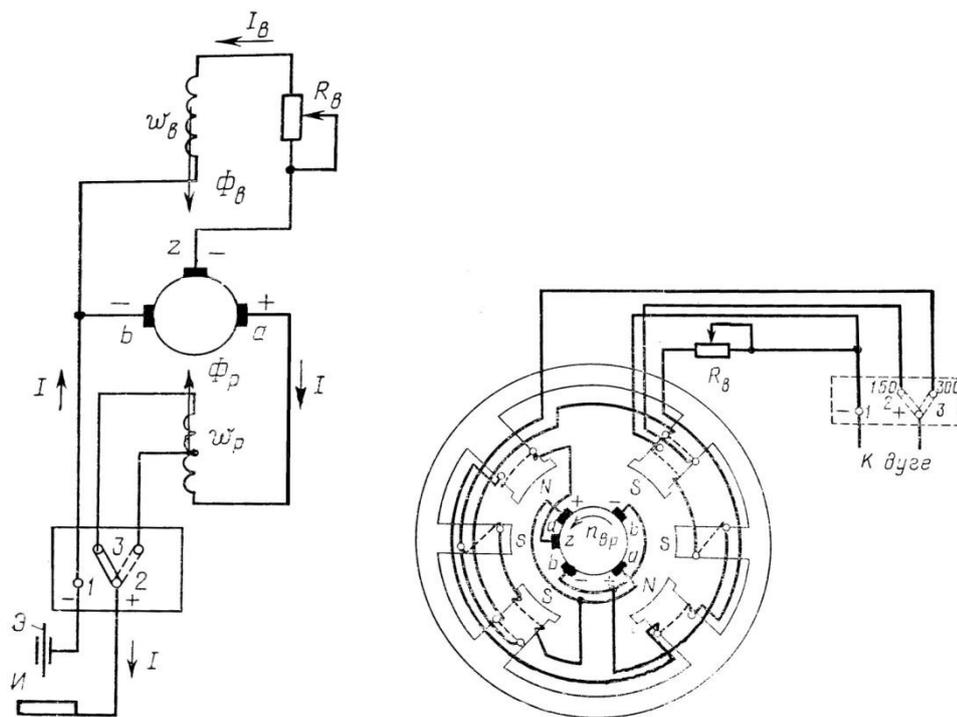
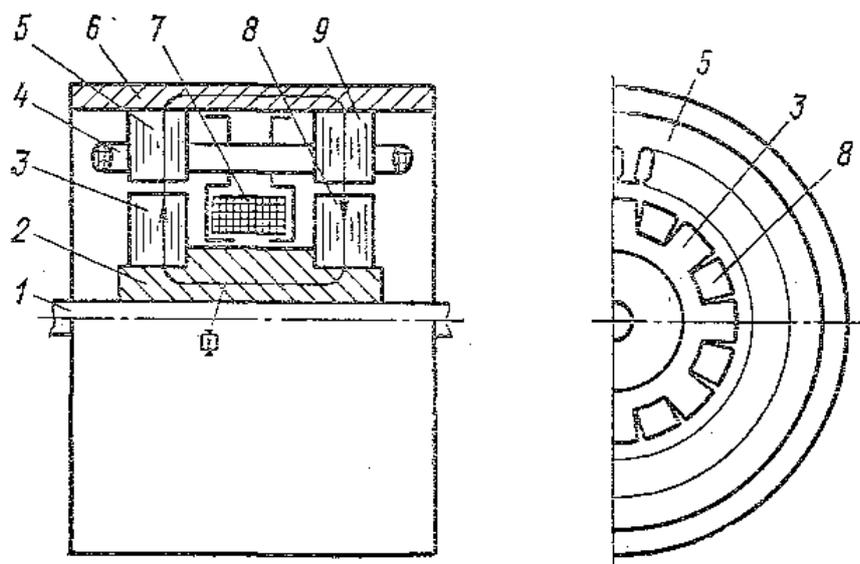


Рисунок 8 – Принципиальная электрическая схема и устройство магнитной системы четырех полюсного генератора с самовозбуждением

Для нормальной работы генератора с самовозбуждением необходимо, чтобы напряжение, подаваемое на намагничивающую обмотку, не изменялось в процессе сварки, то есть не зависело от режима сварки. С этой целью в генераторе установлена третья дополнительная щетка z, которая располагается между двумя основными щетками a и b. При анализе работы данного генератора необходимо учитывать магнитный поток $\Phi_{я}$, создаваемый сварочным током, протекающим по виткам якорной обмотки, так называемый поток реакции якоря.

4.3 Вентильные сварочные генераторы

Вентильный сварочный генератор (рисунок 9) представляет собой электрическую машину переменного тока с выпрямителем.



1 – вал; 2 – массивная втулка на валу; 3, 8 – пакеты железа ротора; 4 – обмотка якоря; 6,9 – пакеты железа статора; 6 – станина; 7 – обмотка возбуждения, прикрепленная к станине; Φ – основной магнитный поток

Рисунок 9 – Магнитная система двухпакетного индукторного сварочного генератора с аксиальным потоком возбуждения

В вентильном генераторе, в отличие от коллекторного, выпрямитель является не механическим, а полупроводниковым. Применение силовых полупроводниковых диодов (или тиристоров) позволило создать выпрямитель напряжения и тока для электромашинных генераторов любого конструктивного исполнения, например, синхронных, индукторных, асинхронных. Поэтому в мировой практике можно встретить вентильные сварочные генераторы, выполненные на базе электрических машин переменного тока.

Конструктивные особенности отечественных вентильных сварочных генераторов (ВСГ), которые чаще всего выполнены на базе трехфазной индукторной одноименно полюсной электрической машины [6], содержащей по два пакета статора и ротора из тонколистовой электротехнической стали (рисунок 9). Оба пакета железа статора запрессованы в стальную станину, и, следовательно, станиной они магнитно соединены. Пакеты железа ротора запрессованы на стальную втулку, расположенную на валу генератора, и, следовательно, между собой также соединены магнитно. На каждом пакете железа

ротора имеются зубцы. Зубцы одного пакета сдвинуты по окружности относительно зубцов второго пакета на π электрических градусов.

Силовая обмотка якоря уложена в пазы пакета статора (общая для обоих пакетов), а тороидальная обмотка возбуждения размещена между пакетами железа ротора и жестко прикреплена к станине.

У вентильного генератора в отличие от коллекторного генератора нет скользящих контактов, поэтому он имеет более высокую надежность.

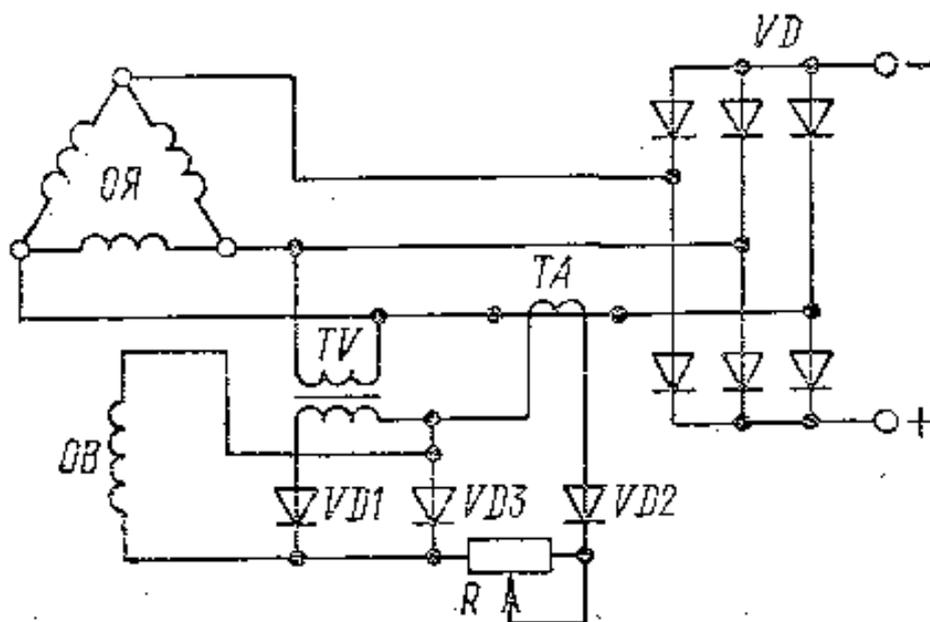
Из рисунка 7 видно, что рассматриваемые вентильные генераторы не имеют обмоток, расположенных на роторе. Все обмотки – якоря и возбуждения – закреплены на статоре и при работе сварочного генератора неподвижны. Поэтому в генераторах полностью отсутствуют скользящие контактные кольца. Такое исполнение вентильных генераторов обеспечивает высокую надежность в эксплуатации.

4.4 Электромагнитные процессы вентильного сварочного генератора

Основной магнитный поток машины Φ наводится в результате обтекания обмотки возбуждения постоянным током. Индуцированный магнитный поток направлен аксиально и замыкается через пакеты железа ротора, статора и станину. Зубцы одного пакета ротора, в зависимости от направления тока в обмотке возбуждения, образуют как бы северные полюсы, а зубцы второго пакета – южные. При вращении ротора каждый виток обмотки якоря пронизывается пульсирующим магнитным потоком зубцов ротора. Мгновенное значение потока, пересекающего виток якоря, целиком зависит от угла поворота зубцов ротора. В результате этого при вращении ротора в каждой фазе трехфазной обмотки статора наводятся переменные ЭДС, сдвинутые на $2\pi/3$ электрических градусов.

4.5 Принципиальная электрическая схема и принцип формирования внешних характеристик вентильного сварочного генератора

На рисунке 10 представлена принципиальная электрическая схема вентильного сварочного генератора. В ней трехфазная обмотка индукторного сварочного генератора своими выводами подключена к трехфазному выпрямительному мосту VD, состоящему из силовых кремниевых диодов. Выпрямленным током питается сварочный пост. Необходимые для ручной дуговой сварки крутопадающие внешние статические характеристики вентильного сварочного генератора формируются в основном за счет внутренних индуктивных сопротивлений самой электрической машины.



ОЯ – обмотка якоря; ОВ – обмотка возбуждения; TV, ТА – трансформаторы напряжения и тока; VD – силовой вентильный блок; VD1, VD2, VD3 – диоды в цепи возбуждения; R – реостат для управления значением сварочного тока

Рисунок 10 – Принципиальная электрическая схема вентильного сварочного генератора

При нагрузке, то есть при сварке, от вентильного сварочного генератора, выполненного по схеме рисунка 8, все фазы машины загружаются симметрично.

В режиме сварки, как показано векторной диаграммой на рисунке 11, падение напряжения генератора от значения при холостом ходе E_0 до значения U при нагрузке можно получить преимущественно за счет продольно размагничивающей составляющей реакции якоря. Эта продольно размагничивающая составляющая реакции якоря как бы создает магнитный поток, встречный основному магнитному потоку, создаваемому обмоткой возбуждения.

Поскольку в режимах, близких к короткому замыканию, превалирует продольная составляющая тока якоря I_d , индуктивное падение напряжения внутри машины почти целиком зависит от продольного индуктивного сопротивления. Значение сопротивления x_d , обеспечивающее падающие внешние характеристики должной крутизны, зависит от геометрических размеров магнитопровода и обмотки якоря, ее параметров и геометрического расположения на статоре.

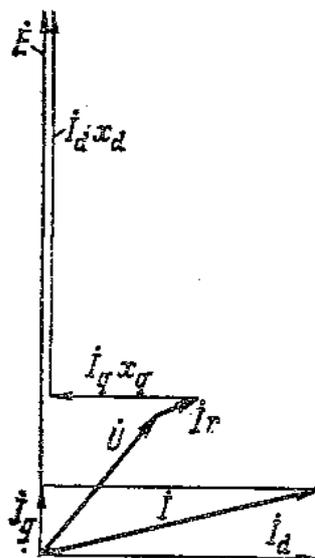
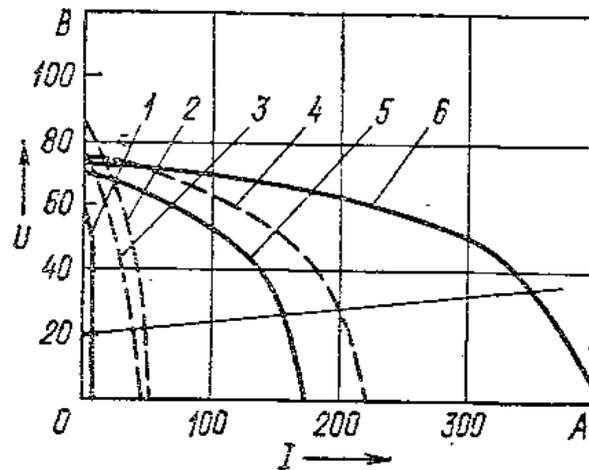


Рисунок 11 – Векторная диаграмма фазных величин в режиме сварки

Плавное регулирование крутизны внешней вольт-амперной характеристик и, плавное регулирование сварочного тока осуществляется изменением ЭДС хо-

лостого хода посредством изменения тока возбуждения сварочного генератора реостатом R. Внешние статические вольт-амперные характеристики вентильного сварочного генератора представлены на рисунке 12.



характеристики 1, 3, 5 – при введенном реостате (к рисунку 8); характеристики 2, 4, 6 – при выведенном реостате ($R = 0$) 2 – диапазон малых токов; 3, 4 – диапазон средних токов; 5, 6 – диапазон больших токов (см. рисунок 11)

Рисунок 12 – Внешние статические вольт-амперные характеристики вентильного сварочного генератора

4.6 Принцип работы схемы возбуждения сварочного генератора и управление значением сварочного тока

Сварочный генератор работает с самовозбуждением от силовой цепи. После запуска сварочного генератора начальное самовозбуждение происходит от остаточного магнетизма в массивных участках магнитной цепи машины (втулка на валу, станина), и на зажимах обмоток якоря (рисунок 8) появляется небольшая ЭДС (3-4 В). Трансформатор TV через выпрямитель VD1 начинает питать обмотку возбуждения ОВ постоянным током, ЭДС на зажимах обмотки якоря начинает расти, ток возбуждения также увеличивается и генератор возбуждается до напряжения холостого хода. С появлением сварочного тока обмотку возбужд-

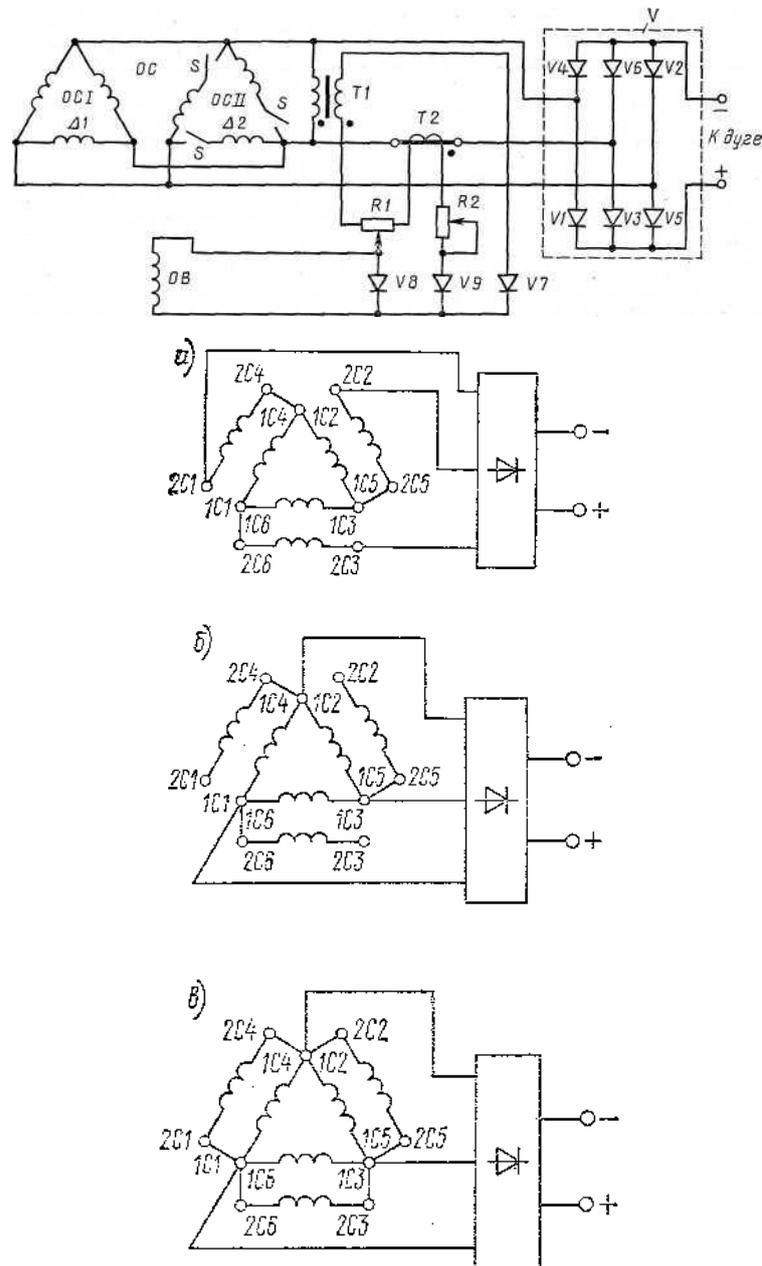
ения начинает питать и трансформатор ТА через выпрямитель VD2. Поскольку естественная внешняя характеристика сварочного генератора, как было показано раньше, падающая, то с ростом нагрузки напряжение на зажимах генератора уменьшается и составляющая тока возбуждения от трансформатора напряжения TV начинает также уменьшаться, а составляющая тока возбуждения от трансформатора тока ТА с ростом нагрузки увеличивается. Ввиду того что мгновенные значения амплитуд вторичных напряжений трансформаторов ТУ и ТА сдвинуты во времени (по фазе), в режиме любой нагрузки оба трансформатора через свои выпрямители VD1 и VD2 параллельно питают обмотку возбуждения до режима короткого замыкания. При коротком замыкании работает только трансформатор ТА. Вентиль VD3 служит для разрядки электромагнитной энергии, накопленной в индуктивных катушках обмотки возбуждения и пропускает импульсы тока в промежутках, когда мгновенные значения ЭДС от трансформаторов TV и ТА имеют обратный знак (вентили VD1 и VD6 заперты). Таким образом, в вентилях VD1, VD2 и VD3 протекают импульсы выпрямленного тока, сдвинутые во времени, в результате чего обмотка возбуждения питается непрерывным постоянным током.

Реостатом R, включенным в цепь возбуждения, регулируется эффективность обратной связи по току, и, следовательно, плавно регулируется крутизна внешних вольт-амперных характеристик. Реостат выполнен с дистанционным кабелем, сварщик его может перенести непосредственно на свое рабочее место.

Реостатом R плавно регулируется сварочный ток только в пределах диапазона. Грубое регулирование сварочного тока осуществляется скачкообразным изменением внутренних сопротивлений (индуктивных X_d и X_q и активного r_ϕ) посредством переключения схемы обмотки якоря согласно рисунка 8.

Рассмотрим, как изменяется внутреннее сопротивление машины и, следовательно, крутизна внешних характеристик при постоянном токе возбуждения $I_b = \text{const}$ при переходе от одной схемы (рисунок 13) к другой. При переключении трехфазной обмотки якоря со схемы а на схему б (тогда одна из двух па-

раллельных катушечных групп каждой фазы полностью отключается, а остаются включенными только те катушечные группы, которые размещены на той же самой половине расточки статора) индуктивное сопротивление, приведенное к фазе, возрастает в два раза, что ведет к двукратному увеличению крутизны внешней характеристики.



а – диапазон малых токов; б – диапазон средних токов;
в – диапазон больших токов

Рисунок 13 – Схемные соединения двух трехфазных обмоток на статоре сварочного генератора

Если трехфазную обмотку якоря переключить со схемы а) на схему в), то индуктивное сопротивление, приведенное к фазе, возрастает в восемь раз, и, следовательно, в восемь раз увеличивается крутизна внешней характеристики. А если перейти со схемы б) на схему в), крутизна внешней характеристики увеличивается в четыре раза. При всех этих переключениях ЭДС холостого хода сварочного генератора сохраняется неизменной.

Таким образом, сочетанием грубого регулирования тока (путем переключения из одного диапазона в другой) и подрегулировки тока возбуждения реостатом R2 (см. рисунок 10) в пределах каждого диапазона регулируется ток вентильного сварочного генератора.

4.7 Переходные процессы и сварочные свойства

Сварочные свойства вентильного сварочного генератора, как и коллекторного, зависят от статических характеристик переходных процессов, происходящих в электрической машине во время сварки. При сварке от вентильного генератора характер протекания переходных процессов, обусловленных изменением длины дугового промежутка между электродом и деталью, зависит в первую очередь от частоты тока якоря и от внутренних параметров генератора. Установлено, что в случае применения трехфазных обмоток якоря хорошие сварочные свойства получаются при частотах тока якоря вентильного сварочного генератора $f = 150-400$ Гц. Выпрямленный ток короткого замыкания достигает своего пикового значения $I_{к.пик}$ приблизительно через полпериода, то есть через время $t = 1/(2f)$ от начала короткого замыкания. Поэтому увеличение частоты тока якоря вентильного генератора как бы ускоряет переходный процесс и приводит к тому, что при сварке капля расплавленного электродного металла обрывается уже при работе генератора на спадающей части кривой выпрямленного тока короткого замыкания. Ток $I_{обр}$ в момент обрыва капли становится значительно меньше своего максимального значения $I_{к. пик}$. Это обстоятельство позволяет

существенно уменьшить разбрызгивание электродного металла при сварке от вентильного генератора.

Важное значение для качества сварки и стабильности горения дуги имеет процесс восстановления напряжения холостого хода после обрыва короткого замыкания. Процесс восстановления напряжения зависит от инерционности цепи возбуждения и поэтому в индукторных одноименнополюсных генераторах длится сравнительно долго (0,25-1,5 с). В этом случае скорость нарастания напряжения после обрыва короткого замыкания мала по сравнению со скоростями процессов, происходящих в сварочной цепи. Поэтому для вентильных генераторов рассматриваемого типа стабильность повторного возбуждения дуги характеризуется значением напряжения, которое появляется на зажимах генератора в момент обрыва короткого замыкания.

Поскольку обрыв капли при сварке, как правило, происходит при значениях тока, больших рабочего, значение напряжения, при сварке от вентильного генератора всегда удовлетворяет условию $U_{r \min} = 20 + 0,04 I$ (в вольтах) и процесс горения дуги отличается высокой стабильностью.

Вследствие благоприятных переходных процессов вентильные сварочные генераторы отличаются хорошими сварочными свойствами, в том числе небольшими потерями электродного металла (небольшим разбрызгиванием), стабильным горением и эластичностью дуги. Благодаря этим особенностям от этих генераторов легко может вести сварку и сварщик, не имеющий большого опыта.

Следует отметить, что начальное зажигание дуги при сварке от вентильных генераторов несколько иное, нежели при сварке от других источников. Как было сказано раньше, при повышенной частоте уменьшается время существования ударного тока при коротком замыкании. Вследствие этого в момент зажигания дуги электродом небольшой ударный ток выделяет и не столь значительное количество тепловой энергии. Поэтому дуга от короткого замыкания сварочной цепи касанием электродом детали загорается трудно. Для того чтобы легко зажечь дугу, необходимо концом электрода провести по детали, как при зажигании

спички. В этом случае дуга легко зажигается, не выбрызгивая электродный металл и не выплавляя кратера в детали.

5 Инверторные сварочные аппараты

Это сварочные установки на сварочные токи от 5 до 450 А. Более 500 А применять инверторные установки нецелесообразно, теряется их главное преимущество – мобильность (возможность переносить).

Благодаря микропроцессорному управлению технологических процессов, происходящих внутри инвертора, работа сварщика значительно облегчается введением аппаратных функций:

- горячего старта (режим Hot Start) за счет автоматического возрастания тока при начале сварки для облегчения запуска дуги;

- анти-залипания (режим Anti Stick), когда при касании электродом свариваемых деталей величина сварочного тока снижается до значений, не вызывающих расплавление металла электрода и его прилипание;

- форсирования дуги (режим Arc Force) при отделении больших капель расплавленного металла от электрода, когда сокращается длина дуги и появляется возможность его залипания;

- в случае длительного короткого замыкания срабатывает защита, ток отключается. При разрыве цепи после короткого замыкания не возникает дуга. Работоспособность восстанавливается через 5 с.

Эти функции позволяют даже новичкам качественно выполнять сварные швы. Сварочные инверторные аппараты надежно работают при больших колебаниях входного напряжения сети. Внешний вид инверторных сварочных аппаратов представлен на рисунке 14.



а –Wester; б –Ресанта; в – Neon; г – Форсаж; д –ARC 317 В

Рисунок 14 – Внешний вид инверторных сварочных аппаратов

Некоторые модели оснащаются процессорной системой управления, которая рассчитывает и контролирует все необходимые для оптимальной дуги параметры. Легко программируются сварочные характеристики [2].

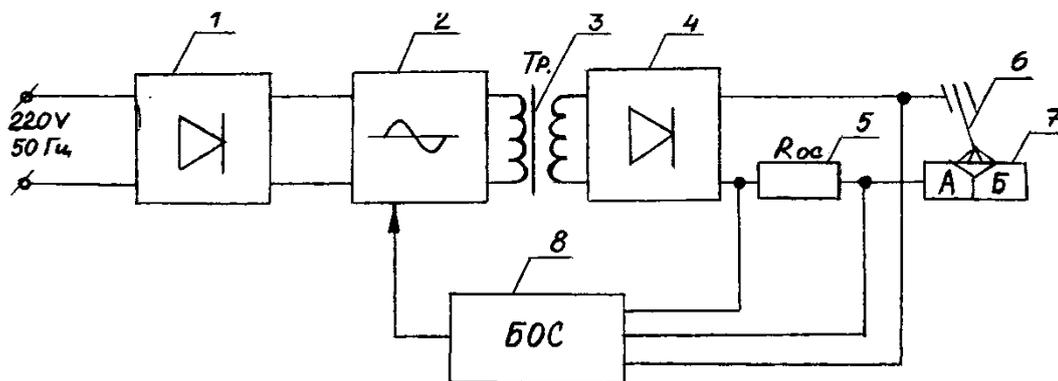
Главным преимуществом инверторных установок является их низкий вес, примерно в 10 раз меньше по сравнению с выпрямителями и трансформаторами. Это достигается за счёт высокой частоты преобразования сетевого напряжения.

$$P_{2аб} = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

где $P_{2аб}$ – габаритная мощность установки;

f – частота.

Частота промышленной сети 50 Гц, частота работы инверторной установки 50 – 100 кГц. Блок-схема инверторной установки показана на рисунке 15.



1 – низкочастотный выпрямитель; 2 – инвертор; 3 – высокочастотный трансформатор; 4 – высокочастотный выпрямитель; 5 – сопротивление обратной связи; 6 – электрод; 7 – заготовка; 8 – блок обработки сигналов

Рисунок 15 – Блок-схема инверторного источника питания сварочной дуги

Работает установка следующим образом. Сетевое напряжение поступает на низкочастотный выпрямитель 1. Постоянное напряжение с выпрямителя 1 поступает на инвертор 2, который выпрямленное напряжение преобразует в высокочастотное (50-100 кГц). Трансформатор 3 снижает напряжение до безопасных значений для работы сварщика. Со вторичной обмотки трансформатора 3 выпрямитель 4 подаёт сварочный ток в нагрузочную цепь через сопротивление 5 для обеспечения обратной связи через блок обработки сигналов 8. Трансформатор 3 высокочастотный. На вторичной обмотке всего несколько витков. Именно высокочастотный трансформатор и даёт значительное снижение веса источника [7].

6 Задание – исследовать внешние характеристики выпрямителя ВД 201 УЗ

Для исследования внешних характеристик выпрямителя и определения пределов регулирования сварочного тока необходимо:

- установить в приспособлении – штативе два графитовых электрода (стержень диаметром 15-20 мм и графитовый столбик) и подключить к ним сварочные провода от выпрямителя ВД 201У3;
- установить минимальный ток выпрямителя;
- включить выпрямитель и, не замыкая электродов, записать по показаниям вольтметра напряжение холостого хода (таблица 1);
- установить зазор между электродами 2-3 мм, включить прямую полярность и возбудить дугу. Записать показания приборов при рабочем режиме;
- закрепить в электродержателе медный электрод, произвести им короткое замыкание (3-5 с);
- повторить опыты 2, 3, 4;
- по полученным значениям построить вольт-амперную характеристику и сделать вывод по виду характеристики о назначении выпрямителя.

Таблица 1 – Результаты исследования внешних характеристик сварочного выпрямителя ВД 201У3

Положение регулирующих устройств		№ опыта	Холостой ход U_{xx}	Рабочий режим		Короткое замыкание $I_{к.з}$
положение переключателя SA 1	Положение обмоток трансформатора Т1			U_p	I_p	
30-75 А	верхнее	1				
75-200 А	верхнее	2				
30-75 А	нижнее	3				
75-200 А	нижнее	4				

7 Содержание отчета

7.1 Цель работы.

7.2 Назначение сварочных преобразователей и выпрямителей.

7.3 Электрическая схема генератора с независимой обмоткой возбуждения и с самовозбуждением.

7.4 Внешняя характеристика выпрямителя, генератора.

7.5 Анализ полученных результатов.

7.6 По внешней характеристике дать заключение о назначении сварочного аппарата по виду сварки.

7.7 Принцип работы инверторных установок.

8 Контрольные вопросы

8.1 Преимущества и недостатки источников питания сварочной дуги постоянным током.

8.2 Как устроен генератор с независимой обмоткой возбуждения и с самовозбуждением?

8.3 Как регулируется сила сварочного тока в сварочных генераторах?

8.4 Как регулируется сила сварочного тока в сварочных выпрямителях?

8.5 Какая внешняя характеристика источника питания сварочной дуги необходима при ручной дуговой сварке, сварке под слоем флюса, сварке в среде защитных газов и почему?

8.6 Каким образом обеспечивается крутопадающая внешняя характеристика сварочных выпрямителей?

8.7 Какое максимальное напряжение холостого хода сварочных генераторов и почему?

8.8 Какие электроды используют при ручной сварке постоянным током?

8.9 Как регулируется сила сварочного тока в вентильных сварочных генераторах?

9 Термины и определения

Международное обозначение типов сварки [6, 8, 9]:

MMA - (Manual Metal Arc) Ручная дуговая сварка покрытым электродом.

MIG - (Metal Inert Gas) сварка в среде инертного газа (аргон, гелий).

MAG - (Metal Active Gas) сварка в среде активного газа (углекислый газ).

TIG - (Tungsten Inert Gas) сварка вольфрамовым электродом в среде инертных газов.

TIG-DC/AC - (Tungsten Inert Gas Direct Current/Alternating Current) сварка вольфрамовым электродом на постоянном / переменном токе соответственно.

WIG - (Wolfram Inert Gas) Сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа.

GTA - (Gas Tungsten Arc) Сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа.

Список использованных источников

Основная литература:

1 Технологические процессы в машиностроении: учебник / С.И. Богодухов, А.Г. Схиртладзе, Р.М. Сулейманов, А.Д. Проскурин. - Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 624 с.

2 Проскурин, А.Д. Лабораторный практикум по курсам «Оборудование и технические средства для создания износостойких поверхностей» и «Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин»: учебное пособие / А.Д. Проскурин, В.И. Юршев. – Зарегистрировано РИС ОГУ. – № 25П06902012 от 25.09.2012. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 263 с.

3 Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: учебное пособие / С.И. Богодухов, А.Г. Схиртладзе, А.Д. Проскурин. - Старый Оскол: ТНТ, 2011– 2015. – 560 с.

4 Юршев, В.И. Изучение конструкции и исследование характеристик сварочных трансформаторов: методические указания к лабораторной работе. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004, –15 с.

5 Технология металлов и сварка / П.И. Полухин, Б.Г. Гринберг, В.Т. Ждан [и др]: учебник для вузов / Под общ. ред. П.И. Полухина. - М.: Машиностроение, 1984. – 464 с.

6 Портал о сварке: [сайт]. – Режим доступа:
<http://www.welding.su/articles/sources/>

7 Юршев, В.И. Изучение источников питания сварочной дуги постоянного тока: методические указания к лабораторной работе. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004, –13 с.

8 Перспективные технологии и новые разработки: [сайт]. – Режим доступа:
<http://www.sibpatent.ru>.

9 Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – Режим доступа: <http://www.fips.ru>.

10 Материаловедение и технология металлов: учебник / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин.; Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2002. – 638 с.

11 Моисенко, В. П. Материалы и их поведение при сварке [Электронный ресурс]: учеб.пособие / В. П. Моисеенко, А. И. Никашин. – Ростов н/Д : ДГТУ, 2009. – Режим доступа: <http://de.dstu.edu.ru/CDOCourses/12/14/2012open/629/314/book.htm>.