

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Нижегородский государственный
технический университет им. Р. Е. Алексеева

Кафедра "Электрооборудование, электропривод и автоматика"

Тихомиров В.А.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

Курс лекций

Нижний Новгород

2013год

Содержание

Введение

1. Электрооборудование для дуговой сварки
 - 1.1. Физические процессы в дуговом промежутке
 - 1.2. Зависимость напряжения дуги от длины дуги
 - 1.3. Зависимость напряжения дуги от тока
 - 1.4. Динамические характеристики
 - 1.5. Эластичность дуги
 - 1.6. Дуга переменного тока
 - 1.6.1. Питание дуги от источника с жесткой характеристикой
 - 1.6.2. Включение в сварочную цепь линейной индуктивности
 - 1.6.3. Устойчивость горения сварочной дуги при включении в сварочный контур индуктивности и емкости
 - 1.6.4. Динамическая характеристика сварочной дуги переменного тока.
 - 1.7. Трехфазная сварочная дуга.
 - 1.8. Требования к источникам питания
 - 1.9. Режимы работы источников питания (ИП)
 - 1.10. Единая система обозначений (ЕСО)
 - 1.11. Классификация источников питания
 - 1.12. Источники питания сварочной дуги переменного тока
 - 1.13. Тиристорные трансформаторы
 - 1.14. Сварочные выпрямители
 - 1.14.1. Конструкция трансформаторов в составе выпрямителей
 - 1.14.2. Схемы выпрямления
 - 1.14.3. Выпрямители, управляемые трансформатором
 - 1.14.4. Тиристорные и транзисторные выпрямители
 - 1.14.5. Выпрямители с дросселем насыщения
 - 1.14.6. Инверторные выпрямители
 - 1.15. Многопостовые выпрямительные системы
 - 1.15.1. Источники с постовыми полупроводниковыми устройствами
 - 1.15.2. Постовой полупроводниковый регулятор
 - 1.15.3. Сварочные однопостовые генераторы постоянного тока
 - 1.16. Специализированные источники питания сварочной дуги

- 1.16.1. Вспомогательные устройства
 - 1.16.2. Источник для сварки неплавящимся электродом
 - 1.16.3. Источник питания дуги переменного тока промышленной частоты с реактивным сопротивлением в сварочном контуре
 - 1.17. Полуавтоматы для дуговой сварки
 - 1.18. Автоматы для дуговой сварки
 - 2. Оборудование контактной сварки
 - 2.1. Образование сварных соединений
 - 2.2. Машины контактной сварки.
 - 2.2.1. Основные требования, предъявляемые к контактными машинам.
 - 2.2.2. Электрическая силовая часть машины
 - 2.2.3. Однофазная машина переменного тока
 - 2.2.4. Трехфазные низкочастотные машины
 - 2.2.5. Трехфазные машины постоянного тока (с выпрямлением тока во вторичном контуре)
 - 2.2.6. Конденсаторные машины.
 - 2.3. Аппаратура управления машинами контактной сварки
 - 2.3.1. Аппаратура для включения и регулирования сварочного тока
 - 2.3.2. Аппаратура для управления циклом сварки контактных машин
 - 2.3.3. Синхронные прерыватели
 - 3. Установки для плазменной сварки
- Список литературы

Введение

Дисциплина «Электрооборудование сварочного производства» относится к базовым инженерным дисциплинам специальности 180500 «Электротехнологические установки и системы».

Целью изучения дисциплины является освоение принципов действия устройства и назначения электрооборудования, используемого в сварочном производстве.

В результате изучения дисциплины студенты приобретают знания типов основного оборудования, используемого в сварочном производстве, приобретают умения и навыки проведения выбора и расчета электрооборудования. Изложение содержания дисциплины базируется на изученных и освоенных ими ранее дисциплинах электротехнического цикла, элементах автоматики, электроники и преобразовательной техники.

1. Электрооборудование для дуговой сварки

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и расплавлении или пластическом деформировании. При электродуговой сварке для нагрева и плавления соединяемых металлов используется энергия электрического дугового разряда, возбуждаемого и поддерживаемого в пространстве между электродом и деталью. Энергия берется от электрической сети или от двигателей внутреннего сгорания.

При питании от электрической сети используются преобразователи:

1. Сварочные трансформаторы 380В/60В (понижающий).
2. Трансформатор + выпрямитель.

У сварочных трансформаторов стремятся уменьшить габариты и массу.

Источники с двигателями внутреннего сгорания - сварочные дизель - генераторы получили меньшее распространение.

Для источника питания дуга является нагрузкой. Пространство между электродом и изделием называется межэлектродным пространством (МЭП). Для создания проводимости в МЭП надо чтобы в электрическом поле имелись свободные электроны, ионизирующие дуговой промежуток и обеспечивающие первоначальное возбуждение дуги. Это достигается либо контактным способом касанием изделия сварочным электродом, либо бесконтактным с помощью осциллятора при сварке неплавящимся электродом.

Различают два принципа сварки: 1) плавление и сварка металлов неплавящимся угольным электродом с дополнительной присадочной проволокой; 2) плавление и сварка металлов плавящимся металлическим электродом, который сам служит присадочной проволокой. Проволока электрода имеет определенный химический состав и покрыта специальной обмазкой. Благодаря обмазке расплавленный металл покрывается шлаками и газами, образующимися при расплавлении обмазки. Обмазка и газы предохраняют расплавленный металл от вредного влияния воздуха и обеспечивает требуемый состав и механические свойства сварного соединения.

Для предохранения расплавленного металла от контакта с воздухом применяется также сварка в защитном газе, подаваемом в зону сварки специальным устройством. Неплавящийся электрод изготавливается из вольфрамового прутка с температурой плавления

4500 град. С, а в качестве защитного газа используется аргон. При аргонодуговой сварке с помощью специальной горелки в зону сварки подается газ и присадочный металл. При сварке плавящимся электродом в качестве защитного газа используют углекислый газ. Плавящийся электрод в этом случае представляет собой тонкую проволоку, подаваемую по шлангу вместе с газом в зону сварки специальным механизмом.

На дугу действуют возмущения. Стабильная дуга обеспечивается постоянной длиной дуги, скоростью сварки и перпендикулярным положением электрода к поверхности. Все что отклоняет ее – возмущения:

1. Изменение длины дуги (т. е. изменяется напряжение, ток и получается некачественный шов).
2. Колебания напряжения сети (при питании от электрической сети).
3. Изменение скорости подачи проволоки (при сварке в CO_2 плавящимся электродом).
4. Физические условия в разрядном промежутке (влажность, атмосферные воздействия, ржавчина на проволоке, и т. д.).

Виды дуги:

1. Непрерывная (на постоянном или переменном токе, когда ток течет непрерывно).
2. Импульсная.

1.1 Физические процессы в дуговом промежутке

Дуговой промежуток и его параметры показаны на рисунке 1. Обозначения на нем: к – катодная область; а – анодная область; ст – столб дуги; L – длина; U – напряжение; d – диаметр.

Столб дуги – ионизированный газ, содержащий нейтральные атомы и молекулы газов и паров, свободные электроны и положительные ионы, возникающие при ионизации газов. Сварочный ток – ток проводимости обусловленный упорядоченным движением свободных электронов.

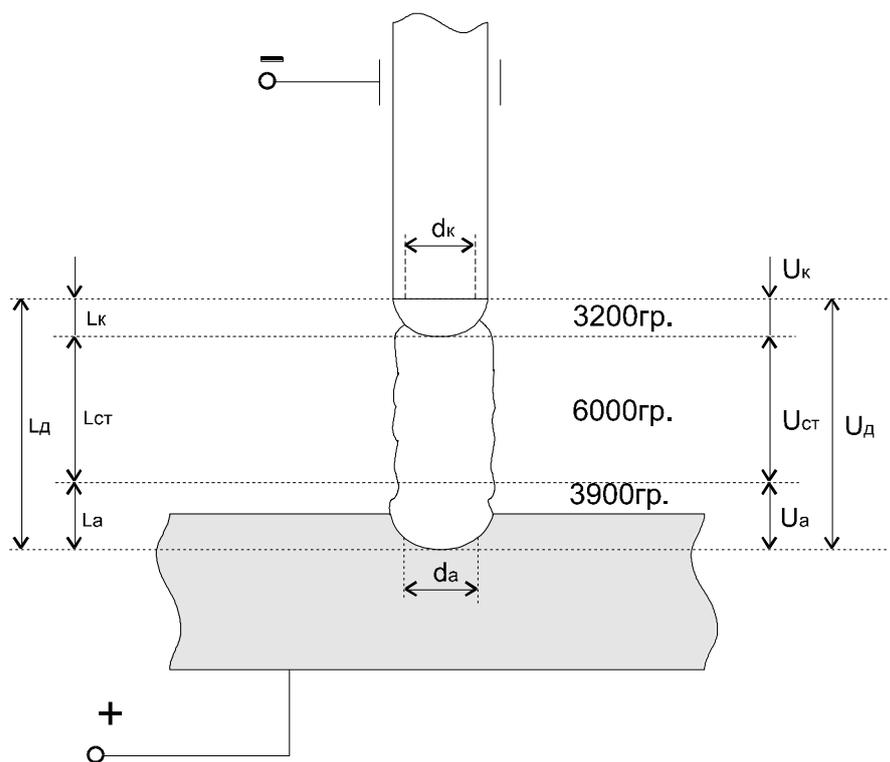


Рисунок 1 - Дуговой промежуток

На рисунке 2 показано распределение потенциалов по длине дуги.

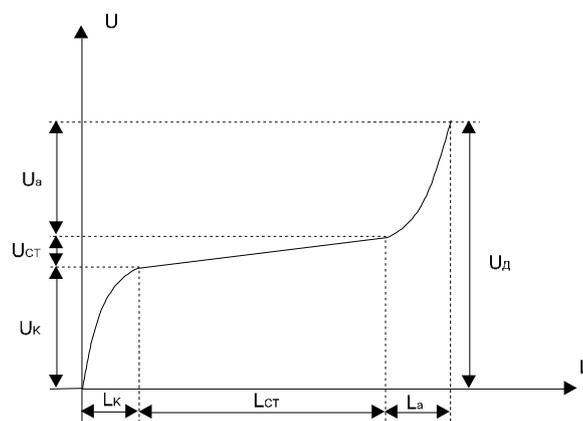


Рисунок 2 – Распределение потенциалов по длине дуги

Под действием тока создается магнитное поле, которое действует на заряженные частицы с силой F . Направление силы определяется по правилу левой руки. При искривлении магнитного поля направление силы F изменяется. Радиальная составляющая

силы при любом направлении тока направлена перпендикулярно к оси столба дуги и оказывает сжимающее действие на столб дуги (пинч-эффект). Сила, действующая вдоль столба дуги, направлена на отрыв капли от электрода. Изменение полярности дуги не изменяет направление F .

1.2 Зависимость напряжения дуги от длины дуги

Эта зависимость выражается формулой:

$$U_d = a + K_d * l_d, \quad (2)$$

где $a = U_k + U_a$; (3)

K_d – падение напряжения в столбе дуги на 1мм ее длины.

Для малоамперных дуг зависимость $U_d = f(l_d)$ нелинейна.

1.3 Зависимость напряжения дуги от тока

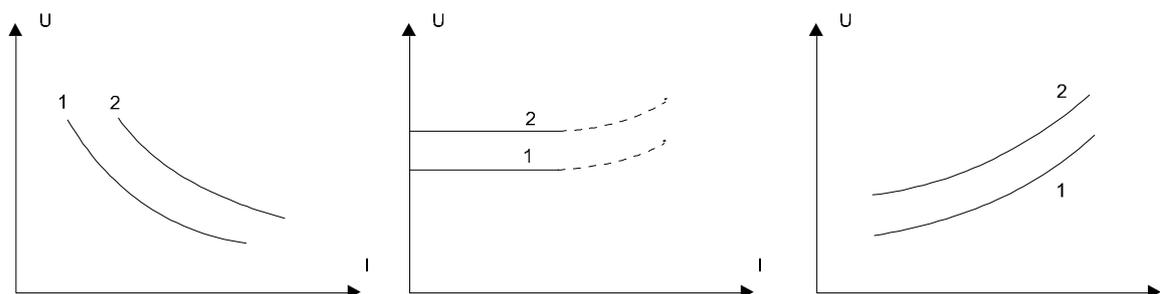


Рисунок 4 – Внешние характеристики дуги

1 – для меньших l_d и проводимостей, т. е. $l_{d1} < l_{d2}$ и $G_{d1} < G_{d2}$.

Вид внешних характеристик показан на рисунке 4.

Падающие характеристики – свободные малоамперные дуги, горящие в атмосфере воздуха и в среде аргона, при токе 70–80 А. Причина снижения U_d – уменьшение U_{CT} (т. е. U_k и U_a постоянны, а U_{CT} уменьшается). С ростом тока происходит ионизация и увеличение S_{CT} . Поэтому проводимость дуги увеличивается, а $R_{\text{дифференциальное}} < 0$.

Жесткие характеристики – сварочные дуги с токами более 80 А. При ручной дуговой и механизированной сварке под флюсом с током 300–400 А ВАХ дуги полого возрастающая.

Круто возрастающая – при сварке плавящимся электродом в CO_2 и сжатой дугой в среде аргона неплавящимся электродом.

1.4 Динамические характеристики

Форма динамических ВАХ определяется в основном свойствами источника питания. С помощью динамических ВАХ определяется пригодность данного источника для питания данной дуги.

Рассмотрим устойчивость системы «источники питания – дуга – ванна».

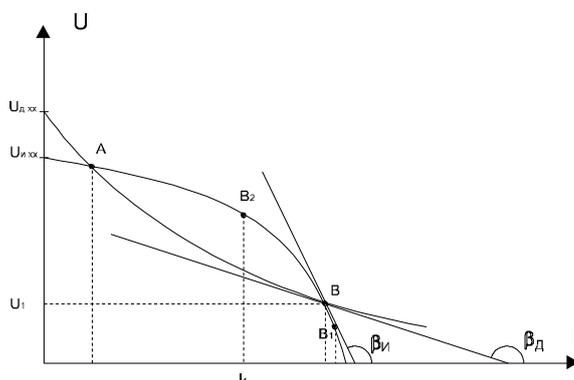


Рисунок 5

Точка А и точка В – равновесное состояние когда $U_{И} = U_{Д}$ (рисунок 5).

Рассмотрим точку В.

Пусть под воздействием факторов напряжение дуги меняется. Пусть $U_{Д}$ уменьшается (т. B_1). В ней $U_{Д} < U_{И}$, а $I_{Д} = I_{И}$ и из этого следует, что $P_{И} > P_{Д}$, поэтому напряжение на дуге будет увеличиваться, чтобы поглотить излишнюю мощность (точка В).

Пусть $U_{Д}$ увеличивается (т. B_2). $U_{Д} > U_{И}$, поэтому $P_{И} < P_{Д}$, следовательно напряжение дуги будет уменьшаться до точки В.

В точке А при отклонении процесса в любую сторону он будет продолжать развиваться (т. е. наоборот). Устойчивость характеризуется коэффициентом устойчивости:

$$K_y = R_{оуф} - R_{иоуф} = \left(\frac{dU_d}{dI} - \frac{dU_u}{dI} \right) > 0, \quad (4)$$

т. е. $\square_{И}$ должна быть больше $\square_{Д}$.

$\square_{И} > \square_{Д}$ – условие устойчивости дуги при отсутствии корректирующих связей. Однако практика показывает, что при питании от источника с жесткой или полого возрастающей характеристикой процесс протекает более устойчиво, чем при

питании от источников с падающей и полого падающей характеристикой.

Причины:

1. При выводе условия устойчивости не была учтена инерционность источника энергии.
2. Не учитывалось явление саморегулирования сварочной дуги.
3. Фактически процесс сварки плавящимся электродом заменен процессом сварки с неплавящимся электродом.

Т.о. при сварке под флюсом устойчивость горения дуги выше, если источник питания обладает жесткой или возрастающей характеристикой.

Падающая характеристика используется для механизированной сварки в CO_2 . Комплектуется трансформатором с нормальным рассеянием.

Крутопадающая характеристика используется для ручной дуговой сварки. Комплектуется трансформатором с увеличенным рассеянием.

1.5 Эластичность дуги

Дуга считается эластичной, если дуговой разряд продолжает существовать при значительном увеличении длины дуги l_d . Критерием эластичности является наибольшая длина дуги l_d , которую можно получить без ее обрыва.

Если электромагнитная инерция источника незначительна, а его динамические свойства высоки, то при уменьшении тока и увеличении длины дуги, быстро увеличивается ЭДС источника, благодаря чему увеличивается его выходное напряжение, напряжение на разрядном промежутке и напряженность электрического поля в нем. Таким образом, сохраняются условия для поддержания дугового разряда.

При уменьшении тока возрастает ЭДС самоиндукции, которая приводит к увеличению напряженности электрического поля разрядного промежутка.

1.6 Дуга переменного тока

1.6.1 Питание дуги от источника с жесткой характеристикой

Принципиальная схема источника приведена на рисунке 6.

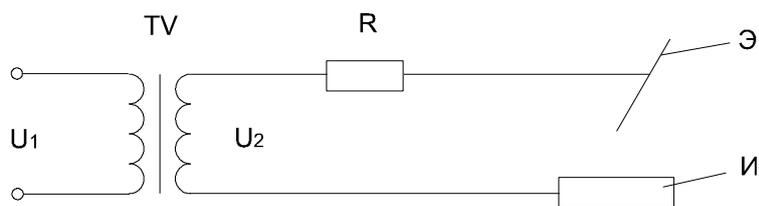


Рисунок 6 – Схема источника

Диаграммы изменения величин изображен на рисунке 7.

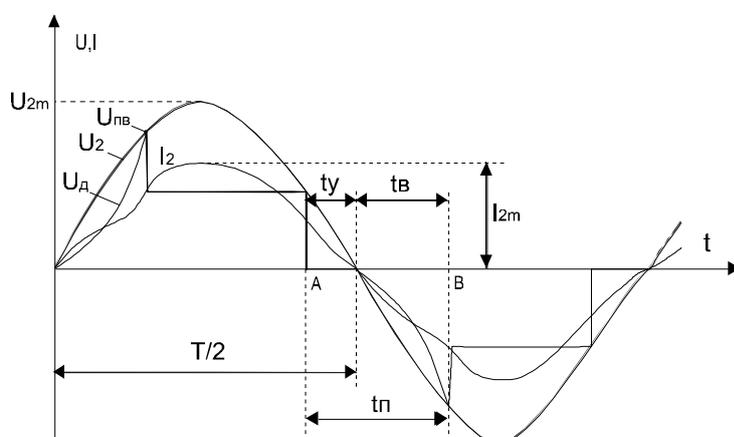


Рисунок 7 - Диаграммы

I_2 – мгновенное значение сварочного тока.

В точке А дуга гаснет и повторно зажигается в точке В (рисунок 7).

$t_{п}$ – время перерыва горения дуги; t_{y} - время угасания; $t_{в}$ – время возбуждения. На интервале $t_{п}$ $I_2 \neq 0$, т.к. в дуговом промежутке активное пятно катода еще способно излучать электроны и еще продолжают существовать плазменные потоки. В дуговом промежутке наблюдается тлеющий разряд, а не дуговой.

Нелинейность графиков I_2 и $U_{д}$ объясняется тем, что нагрузкой трансформатора является нелинейная среда разрядного промежутка. Первоначальное возбуждение осуществляется при большем напряжении. Напряжение $U_{пв}$ – напряжение повторного возбуждения дуги зависит от физико-химических свойств среды между изделием и электродом. Стремятся уменьшить $t_{п}$. Это можно сделать:

1. Изменением физико-химических свойств среды.

Надо вводить элементы, обладающие низким потенциалом ионизации. Это осуществляется путем покрытия слоем, содержащем требуемые элементы. При механизированной сварке вводить их в состав флюса или фитиля, находящегося внутри полой порошковой проволоки.

2. Изменением свойств источника питания.

а) Повышение частоты питания.

Экспериментально установлено оптимальное значение частоты, которая составляет 250-450 Гц. Но сварочная дуга повышенной частоты издает резкий звенящий звук и неблагоприятно воздействует на сварщика.

б) Увеличение вторичного напряжения сварочного трансформатора.

Для ручной дуговой сварки плавящимся электродом для устойчивого горения дуги необходимо выполнение следующего условия:

условия: $\frac{U_{2xx}}{U_d} \approx 1.8 \square 2.5$. Но увеличение напряжения уменьшает

безопасность работы с источником питания.

в) Увеличение индуктивного сопротивления сварочного контура .

г) Использование осцилляторов и импульсных источников.

1.6.2 Включение в сварочную цепь линейной индуктивности

Источник питания имеет жесткую характеристику, но в цепь включается линейная индуктивность, не зависящая от тока $R \ll L$ - рисунок 8.

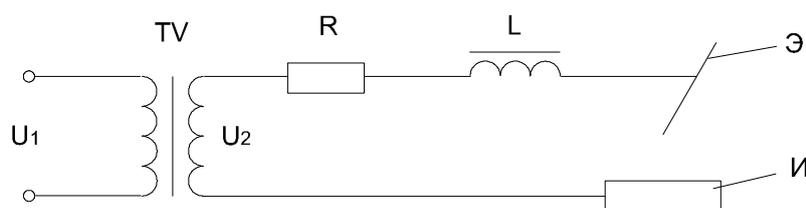


Рисунок 8 – Схема

На рисунке 9 показаны диаграммы для этой цепи.

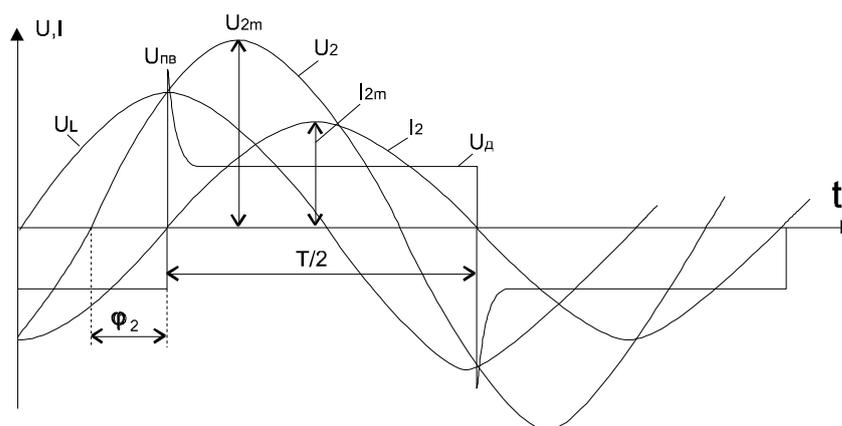


Рисунок 9 - Диаграммы

U_L – напряжение на индуктивности; U_d – напряжение дуги; I_2 – сварочный ток.

Напряжение U_2 опережает i_2 на φ_2 (рисунок 9). Для вторичной цепи пренебрегаем U_R . Следовательно, $U_2 = U_L + U_d$. При включении в сварочную цепь линейной индуктивности для устойчивого горения дуги необходимо чтобы U_2 ($U_2 = U_{2m} \cdot \sin \varphi_2$), было не меньше напряжения повторного возбуждения дуги $U_{пв}$. При данном действительном значении тока i_2 величина U_2 определяется углом $\varphi_2 = \arctg \frac{\omega L}{R + R_d} \approx \arctg \frac{\omega L}{R_d}$. Недостаток: низкий $\cos \varphi$ сварочного трансформатора.

Условие устойчивого горения дуги переменного тока при включенной последовательно с дугой индуктивности можно сформулировать так: амплитуда напряжения ($X_L I_{2m}$) должна быть не меньше напряжения повторного возбуждения дуги ($U_{пв}$) дуги для данного способа сварки.

1.6.3 Устойчивость горения сварочной дуги при включении в сварочный контур индуктивности и емкости

Электрическая схема приведена на рисунке 10.

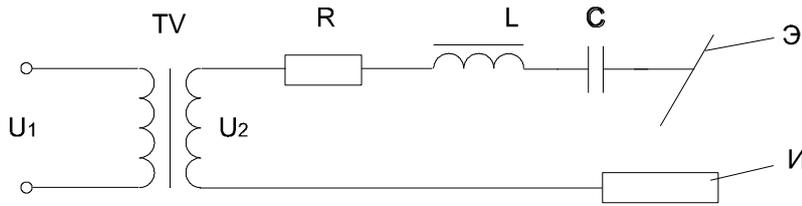


Рисунок 10 – Схема

$$U_2 = U_d + U_L + U_C ; (U_R = 0). \quad (5)$$

При переходе тока через ноль напряжение на конденсаторе $U_{Cm} = I_{2m} X_C$, т. е. дополнительно к напряжению противоЭДС индуктивности прибавляется напряжение накопленное на конденсаторе, следовательно, увеличивается устойчивость горения дуги.

1.6.4 Динамическая характеристика сварочной дуги переменного тока

Динамическая характеристика – это зависимость между мгновенными значениями U_d и I_d .

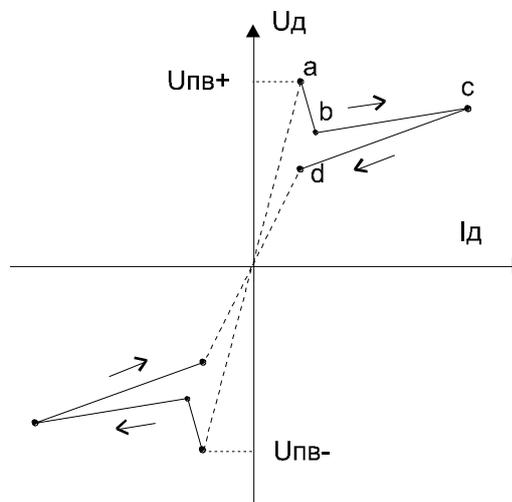


Рисунок 11 – Динамическая характеристика дуги

Участков, обозначенных пунктирной линией практически нет, просто соединение(рисунок 11). При увеличении и уменьшении тока процессы идут по разным ветвям. Заметное расхождение этих ветвей наблюдается: у дуг горящих в среде с примесью паров легко

ионизирующихся элементов (K, Ca, Na,); у дуг, горящих в средах с высокими потенциальными ионизаторами (Ar); с ростом частоты напряжения, питающего дугу. Расхождения больше у дуг при сварке меньшими токами.

1.7 Трехфазная сварочная дуга

На рис. 12 показана схема для сварки трехфазной дугой.

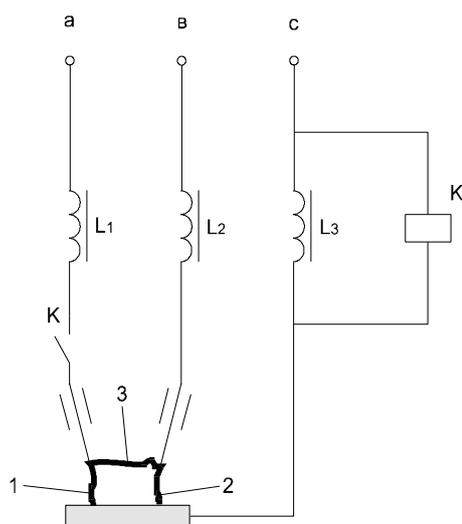


Рисунок 12 – Трехфазная дуга

Трехфазной называют сварочную дугу, полученную при питании от трехфазной силовой цепи. Производительность сварки в 2 – 2,5 раза выше, чем при сварке однофазной дугой. Это три дуги, горящих в общей газовой среде и имеющих общее плавильное пространство. На рисунке 12 показаны: 1, 2 – дуги прямого действия ; 3 – дуга косвенного действия (между фазами А и В).

При трехфазном питании возможны другие варианты горения:

- только две дуги прямого действия, имеющие общее плавильное пространство.
- две дуги, имеющие разделенные парогазовые среды и разделенное плавильное пространство (двухдуговая сварка).

В цепь фазы С включен контактор К. Замыкающий контакт К включен в цепь одного из электродов, т. к. при обрыве одной из дуг прямого действия необходимо гасить дугу косвенного действия. Возбуждение дуги – контактное, касанием. Условия горения дуги лучше, чем у однофазной. Повторное возбуждение тоже лучше, т. к. всегда одна из двух горит. Лучше $\cos \varphi$, габариты меньше. Но

широкого применения трехфазная дуга не нашла, т. к. варит толстые изделия и не конкурентно способна по сравнению с шлаковой сваркой.

1.8 Требования к источникам питания

Источник должен выполнять следующие функции:

1. Зажигание дуги.
2. Поддержание устойчивого горения дуги.
3. Используется для настройки (регулирования режима сварки).
4. Источник воздействует на сварное соединение через дугу, способствует благоприятному переносу металла, обеспечивает качественное формирование шва.

Сварочные свойства источника – способность при прочих благоприятных условиях сварки обеспечить получение качественного сварного соединения. Критерии оценки: непосредственный, косвенный.

Непосредственный – по качеству дуги или шва.

Пример: характер переноса металла оценивается по величине коэффициента потерь на разбрызгивание. Чем меньше разбрызгивание, тем лучше источник.

Косвенный – оценка по собственным электрическим параметрам источника, существенно влияющим на качество сварки (скорость нарастания тока при повторном возбуждении дуги; скорость нарастания тока при коротком замыкании дугового промежутка).

Если ток возрастает быстро, то под действием пинч-эффекта – разрыв перемычки и, поэтому, увеличивается разбрызгивание. Если медленно, то тоже плохо т.к. получается кривой шов.

Различают объективный и субъективный методы оценки свойств сварного соединения.

Объективный метод предполагает количественную оценку свойств (разрывная длина дуги в см).

При субъективном методе выполняется качественная оценка свойств (может быть в баллах по пяти бальной системе). Оценку производят сварщики эксперты. Оценка сварочных свойств производится по ГОСТ 25616-83 «Источники питания для дуговой сварки, методы испытания сварочных свойств». При испытании источников для ручной дуговой сварки принята методика субъективной оценки по непосредственным критериям. Оценка выполняется по пятибальной системе по пяти свойствам:

1. Надежность зажигания.

2. Стабильность (устойчивость) процесса.
3. Эластичность дуги (устойчивость при значительном удлинении).
4. Разбрызгивание металла (характер переноса электродного металла).
5. Характер формирования шва (глубина, ширина, качество).

Испытание источников для механизированной сварки в основном осуществляется по объективным оценкам.

К технико-экономическим показателям относятся:

- КПД;
- $\cos\phi$;
- габариты;
- масса;
- показатели надежности;
- эргономические и технологические показатели конструкции;
- соответствие правилам техники безопасности.

1.9 Режимы работы источников питания (ИП)

ИП рассчитывают на определенную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше установленных норм. ИП рассчитывают также на заданную величину напряжения, которая определяет класс применяемых изоляционных материалов. Напряжение, ток и мощность, на которые рассчитан ИП, называются номинальными (U_N , I_N , P_N) и записываются в инструкцию по эксплуатации. При эксплуатации происходит нагрев частей ИП. Для характеристики вводят перегрев.

Перегрев – превышение температуры (T) ИП над температурой окружающей среды (T_0).

Различают следующие режимы работы:

1. Продолжительный.
2. Перемежающийся.
3. Повторно-кратковременный.

1 – режим, при котором ИП успевает нагреться до установившейся температуры Δ_y (рисунок 13).

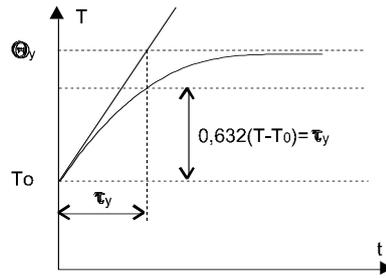


Рисунок 13 – Кривая нагрева

2 – режим, при котором время работы чередуется с паузами (рисунок 14). Среднее значение между T_1 и T_2 принимается как $T_{\text{доп}}$ и является расчетным. Перемежающийся режим – это нагрузка циклического типа, которая характеризуется относительной продолжительностью нагрузки за время цикла $t_{\text{ц}} = t_p + t_{\text{п}}$.

$$ПН\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} 100\% .$$

3 – режим, который отличается от перемежающегося тем, что ИП во время пауз отключается от сети. Продолжительность включения:

$$ПВ\% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} * 100\% = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{п}}} * 100\% . \quad (6)$$

Длительность цикла работы источников питания, предназначенных для ручной дуговой сварки с перемежающимся или повторно-кратковременным режимом работы, принимается равной пяти минутам, а источников для механизированной сварки и универсальных – 10 минут. Если величина ПВ (ПН – продолжительность нагрузки) отличается от номинальной, приведенной в паспорте установки, то величину сварочного тока, соответствующую другому значению ПВ (ПН), можно найти с помощью формулы:

$$I = I_H \sqrt{\frac{ПН\%}{ПН_H\%}} = I_H \sqrt{\frac{ПВ\%}{ПВ_H\%}} \quad (7)$$

Ток не должен превышать тока I_{max} , указанного для источника.

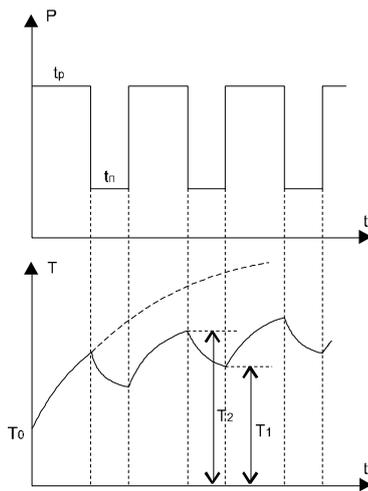


Рисунок 14 – Перемежающийся режим

Источники питания для стран с умеренным климатом изготавливаются в климатическом исполнении У с категорией размещения 2 и 3; а также УХЛ 4 по ГОСТ 15150-69. Источники питания для стран с тропическим климатом изготавливаются в климатическом исполнении Т с категорией размещения 2, 3; по ГОСТ 15160-69, ГОСТ 15969-70.

1.10 Единая система обозначений (ЕСО).

Начиная с 1974 года для электросварочного оборудования, выполненного промышленностью, принята система обозначения типов в соответствии со структурой: А Б В 00 00 Г 0

А – буква, обозначающая наименование изделия.

Б – буква, обозначающая вид сварки.

В – буква, обозначающая способ сварки.

00 – цифра или две цифры – главный параметр изделия.

Г – климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69.

0 – категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Пример:

1) На месте А проставляются сокращенные названия изделий: А-агрегат; В-выпрямитель; П-преобразователь; Т-трансформатор; И-источник питания.

2) Б - буква, обозначающая вид сварки (Д - дуговая).

3) В - буква обозначающая способ сварки (Д - ручная штучным электродом; ДО - открытой дугой; ДФ - под флюсом; ДГ - в защитном газе). Так как буква Д повторяется под Б и В, то в

названиях проставляется один раз (только для дуговой сварки). Дополнительно в буквенной части обозначения могут появляться: буква М - для многопостовых источников (однопостовые дополнительного обозначения не имеют); буквы Б или Д, обозначающие вид двигателя (бензиновый или дизельный - для агрегатов с приводным двигателем внутреннего сгорания).

Цифровая часть обозначения должна состоять из одного, трех или четырехзначного числа. Первая одна или две цифры – значение сварочного тока, округленное до целых десятков или сотен ампер А, а две последних – регистрационный номер разработки. После цифровой части без разделительных знаков вводятся буквы (на месте буквы Г) и цифры обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения по ГОСТ 15150-69.

Примеры: ВДМ 1001 У3. Выпрямитель многопостовой для ручной сварки с $I_H=1000A$ (первые две цифры – 10 сотен ампер), регистрационный номер разработки 01, климатическое исполнение У, категория размещения 3.

ТД 301 У2. Трансформатор сварочный однопостовой для ручной дуговой сварки, $I_H=300A$, регистрационный номер 01, климатическое исполнение У, категория размещения 2.

1.11 Классификация источников питания

1. По роду тока:
 - постоянного тока;
 - переменного тока.
2. По виду внешних характеристик:
 - имеющие падающие характеристики;
 - полого падающие;
 - жесткие;
 - полого возрастающие.
3. По способу получения энергии дуги:
 - зависимые (энергия от стационарной электрической сети);
 - независимые (автономные агрегаты – с двигателями внутреннего сгорания).
4. По количеству обслуживаемых постов:
 - однопостовые;
 - многопостовые.
5. По применению:
 - общепромышленные;
 - специализированные.

К общепромышленным относятся источники питания для ручной дуговой сварки, а также для механизированной сварки под

флюсом. Эти источники предназначены для сварки низкоуглеродистых сталей толщиной более 1 мм.

К специальным относятся источники для сварки легких металлов и их сплавов, тонкой и особо тонкой стали всех марок для особо качественных соединений, работающие сжатыми и импульсными сварочными дугами и, как правило, удовлетворяющие требованиям высокого уровня автоматизации (авиационная, ракетная техника).

1.12 Источники питания сварочной дуги переменного тока

Применяют трансформаторы с падающими внешними характеристиками (для устойчивого горения дуги). Существует два принципиально отличных пути создания таких источников:

1. На основе трансформатора с жесткой внешней характеристикой, в котором падающая характеристика источника обеспечивается включением в цепь дуги катушки с ферромагнитным сердечником (дроссель).
2. На основе трансформатора с падающей внешней характеристикой, которая обеспечивается созданием различными способами увеличенных магнитных полей рассеяния (т. е. созданием большого индуктивного сопротивления самого трансформатора).

Источники питания типа СТЭ

Источники питания типа СТЭ состоят из двух узлов:

- трансформатора с жесткой внешней характеристикой;
- дросселя с ферромагнитным сердечником.

Устройство трансформатора показано на рисунке 15: 1 – катушка; 2 – магнитопровод; 3 – подвижная часть для регулирования I_z ; Δ – конструктивный зазор; L_z – регулируемый зазор (с помощью ручки). Чем больше зазор, тем меньше индуктивность, следовательно, более жесткая характеристика.

Преимущество – простота устройства.

Недостаток – подвижные части вибрируют и могут выходить из строя.

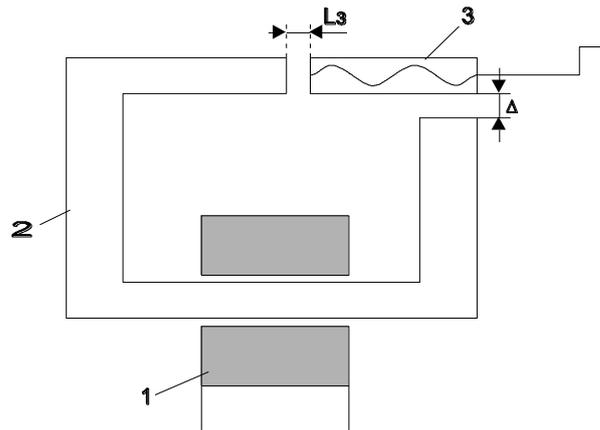


Рисунок 15 – Конструкция трансформатора

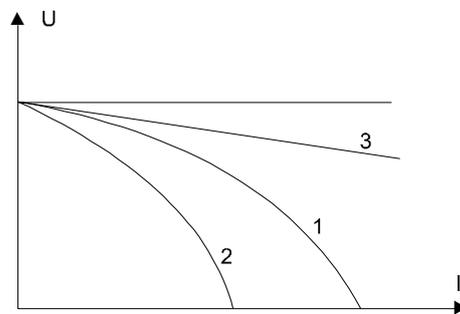


Рисунок 16 – Внешние характеристики

3 – зазор максимальный, индуктивность минимальна; 2 - зазор минимальный, индуктивность максимальна.

С помощью дросселя не только формируется падающая характеристика (рисунок 16), но и осуществляется регулировка (с изменением регулируемого зазора L_3 изменяется ток). Наличие значительной индуктивности в сварочном контуре ведет к сдвигу кривой тока I_2 в сторону отставания от вторичного синусоидального напряжения U_2 , чем создаются условия для повышения устойчивости горения дуги переменного тока.

Иногда источник дополняют витковым регулированием - не более, чем $1 \div 2$. Ограничение диапазона регулирования - из-за напряжения холостого хода и безопасности работы с источником.

Источник питания с дросселем насыщения

Конструкция трансформатора показана на рисунке 17.

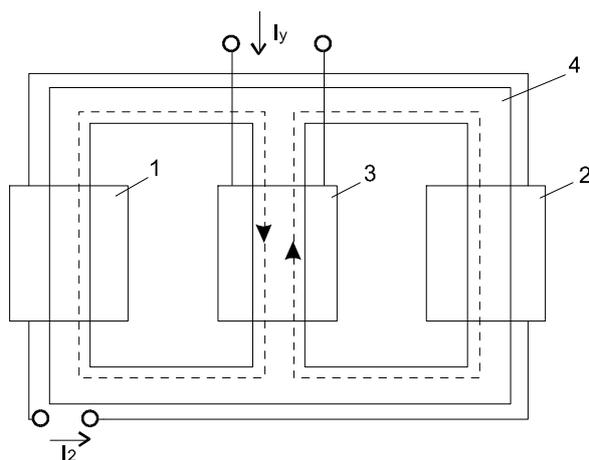


Рисунок 17 – Конструкция трансформатора

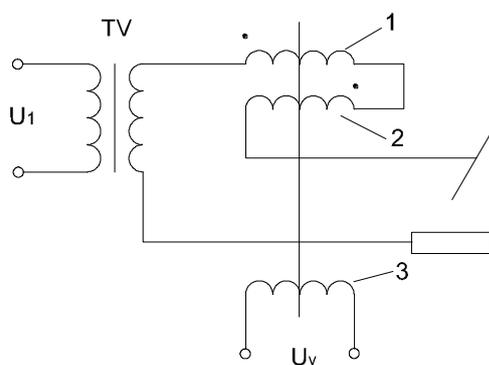


Рисунок 18 – Схема трансформатора

У такого источника питания изменение L осуществляется за счет подмагничивания сердечника, а не за счет изменения зазора.

Соотношение для ампер-витков:

$$I_y W_y = I_2 W_2, \quad (8)$$

откуда

$$I_2 = I_y \frac{W_y}{W_2} \quad (9)$$

Рабочие обмотки 1 и 2 включены последовательно (рисунок 18) и намотаны так, чтобы в среднем стержне их потоки были направлены встречно (рисунок 17). Поэтому в среднем стержне практически отсутствует магнитный поток и в обмотке управления 3

не наводится переменная ЭДС основной частоты, что облегчает работу дросселя.

При ручной сварке дроссель работает в режиме с компенсирующими намагничивающими силами (выполняется соотношение (8)), следовательно, I_2 определяется практически только током управления т. е. такой источник является параметрическим источником тока.

Преимущества:

1. Плавность регулирования.
2. Отсутствие подвижных частей (увеличивает надежность).
3. Возможность дистанционного и программного регулирования тока управления.

Недостатки:

1. Перерасход железа и обмоточных проводов.
2. Относительная сложность конструкции.
3. Если не принять специальных мер, то кривая сварочного тока в цепи с дросселем насыщения принимает искаженную форму с низкой скоростью нарастания тока при переходе через ноль, что снижает устойчивость горения дуги переменного тока.

Если в цепь управления ввести большую индуктивность, то можно не только исправить кривую тока, но и придать ей прямоугольную форму, более благоприятную по сравнению с синусоидальной.

Трансформаторы с увеличенным рассеянием

Устройство трансформатора с увеличенным рассеянием показано на рисунке 19. При удалении обмоток потоки рассеяния увеличиваются, следовательно, получаем более падающую характеристику. При сближении – режим больших токов: уменьшается рассеяние и уменьшается индуктивность.

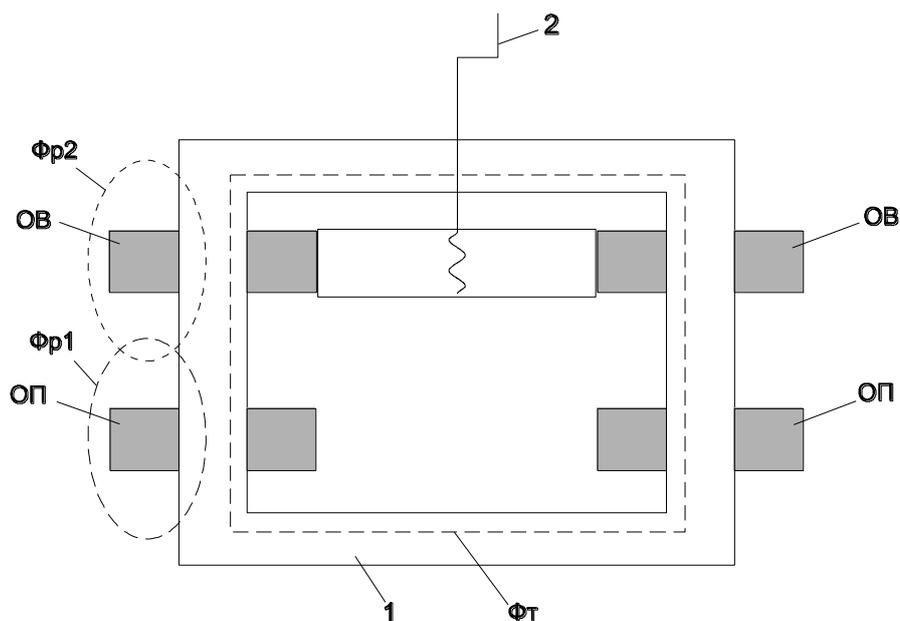


Рисунок 19 – Конструкция трансформатора
 ОП – первичная обмотка; ОВ – вторичная подвижная обмотка; 1 – магнитопровод; 2 – ручной винтовой привод.

Трансформаторы ТДМ

Трансформаторы с увеличенным рассеянием могут быть дополнены витковым регулированием. Ступенчатое регулирование осуществляют переключением катушек первичной и вторичной обмоток с параллельного включения на последовательное. При кратности такого регулирования равной четырем (если все обмотки одинаковы) необходимо, чтобы кратность плавного регулирования была равна четырем для стыковки двух диапазонов ступенчатого регулирования. Тогда общая кратность регулирования равна шестнадцати. Такая кратность, как правило, не требуется.

Схема трансформатора ТДМ изображена на рисунке 20, внешние характеристики – на рисунке 21. Переключатель SA показан при параллельном включении первичной и вторичной обмоток, что соответствует диапазону больших токов. При последовательном соединении отключается часть ОП2 и напряжение х. х. увеличивается, что повышает устойчивость при малых токах. При отключении ОП2 кратность снижается до 2,5 и общая кратность = 7.

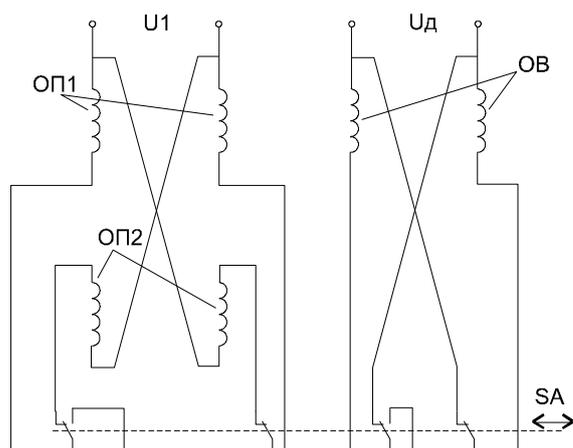


Рисунок 20 – Конструкция трансформатора ТДМ

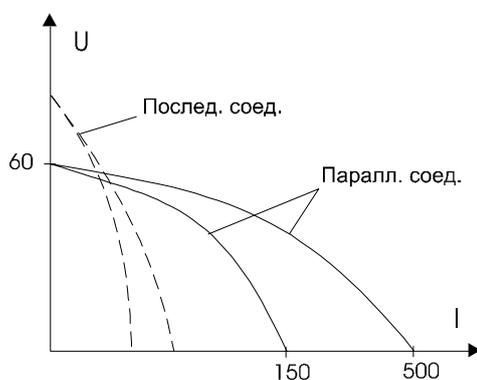


Рисунок 21 – Внешние характеристики

Такую конструкцию и характеристики имеют ТДМ 318, ТДМ 401; ТДМ 402, 503, 504 (передвижные). Модификации ТДМ 317-1, 318-1, 401-1, 402-1, 503-1, 503-3 дополнительно снабжены устройством снижения напряжения холостого хода УСНТ 06 или ВСНТ 08. Модификации ТДМ 503-4 снабжены возбудителем-стабилизатором горения дуги. Переносные трансформаторы (ТДМ 254) предназначены для использования на монтаже и предельно облегчены за счет литого ленточного магнитного провода и алюминиевой обмотки (ПН снижено до 20-25%, где ПН – продолжительность нагрузки).

Сварочные свойства ТДМ 317: при сварке электродами марки ЦЛ-11-($d \square 4 = \text{мм.}$). Получены результаты: вероятность зажигания дуги с I попытки 60-80%. Частота обрывов 1 на 2 электрода. Коэффициент разбрызгивания 5-7%. Разрывная длина дуги 20-25 мм

вполне приемлема, но хуже чем на постоянном токе. У трансформатора с дросселем разрывная длина дуги 10-15 мм.

При сварке электродом МР-3 (диаметр 4 мм) на токе 160 А минимальная скорость нарастания тока перед зажиганием дуги составляет 58 кА/сек, или 80% от скорости для эквивалентной синусоиды. Это в 2-4 раза выше, чем у трансформатора с дросселем. Время повторного зажигания дуги 0.2-0.4 мсек. У трансформатора с дросселем 1-2 мсек.

Недостаток: при переносе капли с к. з. появляются провалы напряжения с длительностью 6-10 мсек. Часто провалы приходится на момент смены полярности, что затрудняет повторное зажигание дуги. Когда к. з. длится более 10 мсек дуга может повторно не возбудиться.

Технологические показатели ТДМ 317 У2: КПД при номинальном режиме 0.83, при половинном токе 0.9; $\cos \varphi = 0.56$ – самый низкий среди основных типов источников, но типичный для трансформаторов; удельный расход электроэнергии на килограмм расплавленного металла составляет 3-4 кВт/час (очень низкий расход энергии). $I_H = 315$ А; ПН = 60%; $P_{1H} = 21$ кВА; $U_{XX} = 80$ В; $U_{\text{раб. ном}} = 33$ В; $I = 60 \square 370$ А; Габариты: 585 x 555 x 820; М = 150 кг. Недостатки трансформаторов с подвижной обмоткой:

1. Сильная вибрация подвижных частей (ограничение срока службы).
2. Сложность обеспечения дистанционного и программного регулирования, отсутствие стабилизации тока и напряжения.

Преимущество – простота.

Трансформаторы с подвижной обмоткой наиболее распространены для ручной сварки.

Трансформаторы с подвижным магнитным шунтом

Конструкция трансформатора показана на рисунке 22. Индуктивное сопротивление трансформатора меняется механическим путем, за счет этого регулируется ток. Если шунт раздвинут (рисунок 22), то магнитный поток $\Phi_{\text{ш}}$ минимален и, следовательно, I_2 максимален. Если шунт в окне полностью, то поток $\Phi_{\text{ш}}$ максимален, а ток I_2 минимален. Может быть шунт, выдвигающийся в одну сторону, может быть поворотный шунт. Суть - отсечь часть потока, который может замыкаться на вторичной обмотке. Преимущество – простота устройства.

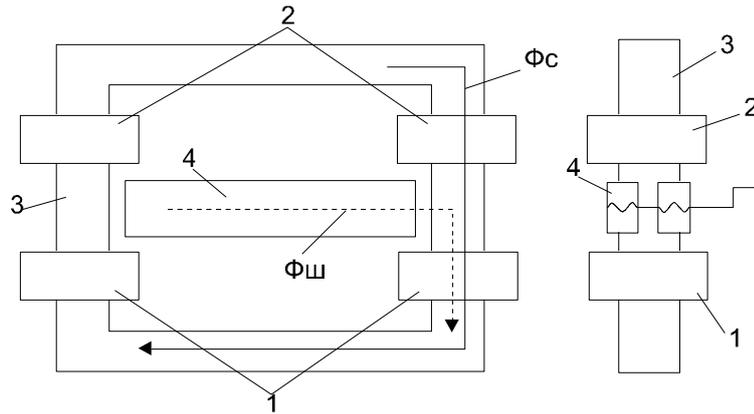


Рисунок 22 – Конструкция трансформатора

1-первичная обмотка; 2-вторичная обмотка; 3-сердечник; 4-шунт; Φ_c – поток сердечника; $\Phi_{ш}$ – поток шунта.

Все сварочные трансформаторы с подвижными частями имеют общие недостатки – смотри выше. Регулирование тока может быть и за счет отпаяк. Можно регулировать ток электрическим способом, как в следующей схеме.

Трансформатор с подмагничивающим шунтом ТДМ 1001

Устройство трансформатора с подмагничивающим шунтом показано на рисунке 23. Схема соединения обмоток изображена на рисунке 24.

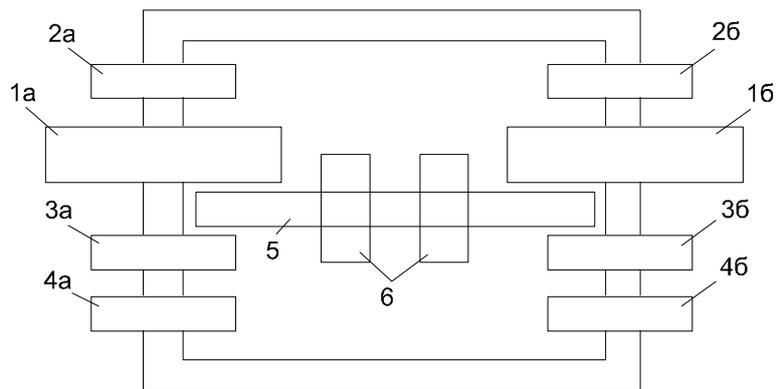


Рисунок 23 – Конструкция трансформатора

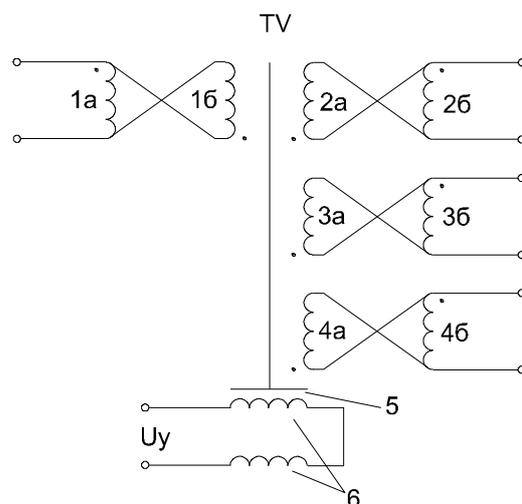


Рисунок 24 – Схема соединения обмоток трансформатора

Принцип работы: изменяется степень намагничивания, следовательно, \square изменяется магнитное сопротивление, \square изменяется поток рассеяния, \square изменяется ток во вторичной обмотке. Обмотки 2а, 3а, 4а расположены вблизи первичной обмотки 1а, 2б, 3б, 4б – вблизи 1б. Все обмотки разнесены по стержням. По вторичным обмоткам замыкается часть потока, создаваемого первичными обмотками 1а, 1б. Ступенчатое регулирование осуществляется переключением вторичных обмоток: 1) используются части 2 и 3; 2) используются части 3 и 4.

Заменяемые части 3 и 4 одинаковы по числу витков, следовательно, примерно одинаково напряжение холостого хода при переключениях, но существенно меняется индуктивность трансформатора, т. к. $X_2 \ll X_3$. При X_3 обеспечивается больший ток сварки. При переходе к варианту 2) ток уменьшается \square в два раза, а общая кратность регулирования $\square = 3$.

Обмотка управления питается от тиристорного регулятора. Поэтому имеется возможность плавно регулировать сварочный ток, его стабилизировать и осуществлять дистанционное управление. Преимущество – отсутствие подвижных частей, более высокая надежность.

Трансформатор с реактивной обмоткой

Конструкция трансформатора показана на рисунке 25.

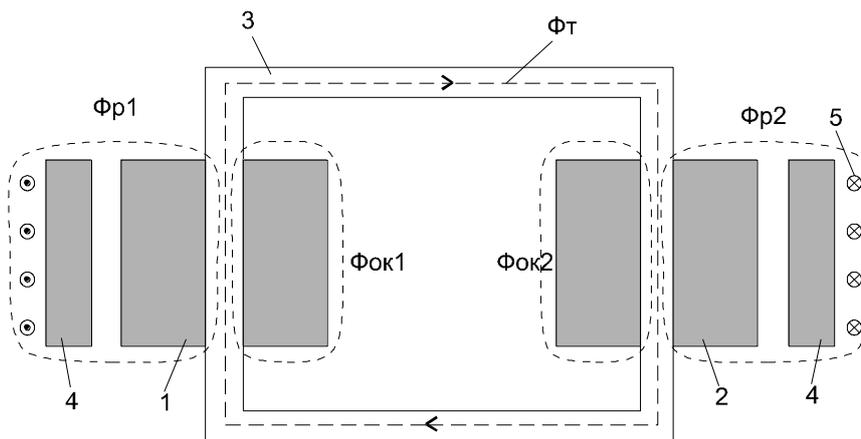


Рисунок 25 – Конструкция трансформатора

1 – первичная обмотка; 2 – вторичная обмотка; 3 – магнитопровод;
4 – обмотка, охватывающая весь трансформатор (реактивная катушка); 5 – сварочный кабель.

$$\Phi_{перв} = \Phi_T + \Phi_{OK1} + \Phi_{P1} . \quad (10)$$

Часть потока Φ_{P1} улавливает обмотка 4 - рисунок 25.
Электрическая схема показана на рисунке 26.

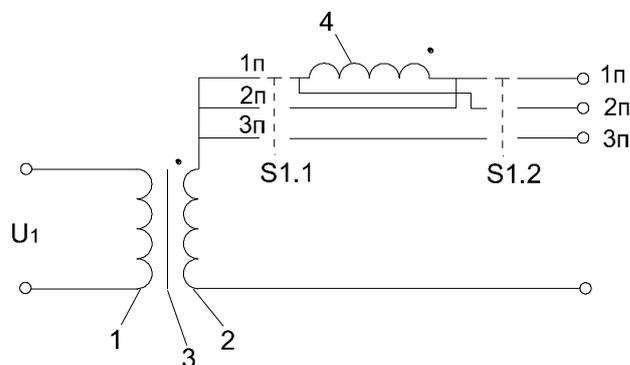


Рисунок 26 – Схема трансформатора

Обмотки размещаются на разных стержнях, следовательно, увеличивается ярмовое рассеяние. ВАХ имеет падающую форму за счет увеличения магнитного рассеяния между ярами. Для регулирования режима используется реактивная обмотка 4 (рисунок 25), сцепляющаяся с потоками ярмового рассеяния. С помощью переключателя S1 (рисунок 26) может включаться последовательно (согласно или встречно с вторичной обмоткой) или отключаться.

Положение 1п – большой ток (согласно включение); 2п – малый ток (встречное включение); 3п – средний ток (реактивная обмотка отключена). В режиме х. х. потоки рассеяния малы, следовательно, реактивная обмотка не влияет на напряжение х. х.

Обмотка 4 может включаться последовательно с первичной обмоткой. В этом случае при согласном включении ток уменьшается (ТСМ 250).

Кроме трех ступеней грубого регулирования имеется еще плавное регулирование навивкой сварочного кабеля 5. Реактивная обмотка может устанавливаться и на пути потоков рассеяния в окне магнитопровода или наматываться на магнитный шунт 6 - рисунок 27.

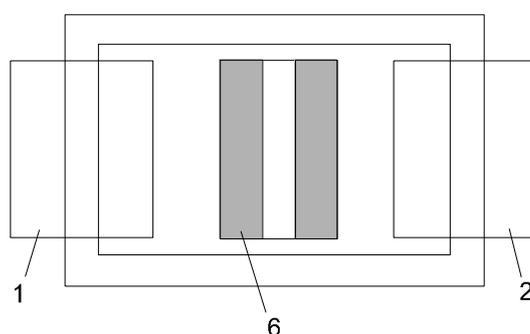


Рисунок 27 – Конструкция трансформатора

Трансформатор с разнесенными обмотками

Простейший трансформатор с разнесенными на разные стержни обмотками (рисунок 28) может регулироваться за счет изменения числа витков первичной и вторичной обмоток. Но при этом меняется напряжения х. х., следовательно, кратность такого регулирования не выше двух (выше нельзя по технике безопасности). Используется совмещение виткового регулирования с изменением степени разнесения обмоток по стержням.

Вторичная обмотка – на двух стержнях, первичная – на одном. С помощью переключателя S изменяется степень разнесения работающих обмоток по стержням. В верхнем положении работает вся левая и часть правой обмотки. В нижнем – только правая. Пример: ТСБ 145, ТДС 140.

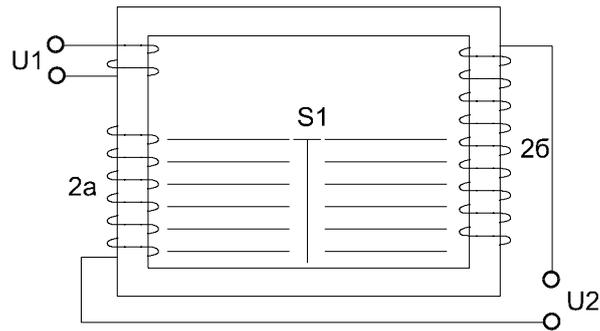


Рисунок 28 – Схема трансформатора

1.13. Тиристорные трансформаторы

Тиристорным трансформатором принято называть комбинацию трансформатора и полупроводникового регулятора с системой управления - рисунок 29. Диаграмма работы приведена на рисунке 30.

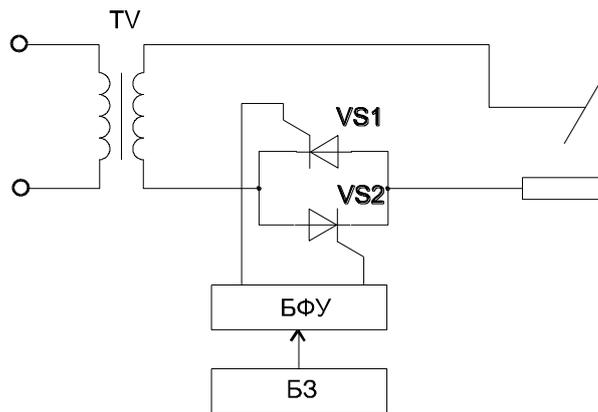


Рисунок 29 – Схема тиристорного трансформатора

Регулятор может устанавливаться в первичной и вторичной цепи трансформатора (здесь во вторичной обмотке).

Недостаток: снижение устойчивости горения дуги переменного тока, т. к. может возникнуть пауза, определяемая углом управления тиристора. Поэтому кратность регулирования тока обычно не превышает двух. Его дополняют ступенчатым амплитудным регулированием по одному из рассмотренных вариантов.

Для уменьшения бестоковой паузы используют трансформаторы с увеличенным рассеянием. На рисунке 30,б за счет увеличения индуктивности затягивается ток.

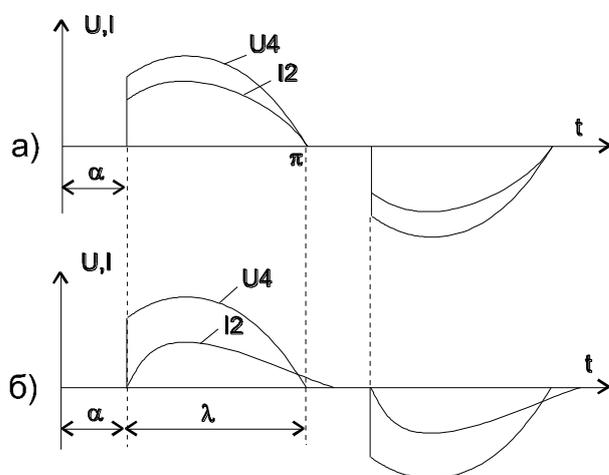


Рисунок 30 – Диаграммы работы

Применяют также цепи подпитки, которые устанавливают параллельно тиристорному блоку или параллельно сварочной цепи – рисунок 31. Дуга подпитывается через индуктивность. Диаграммы работы показаны на рисунке 32.

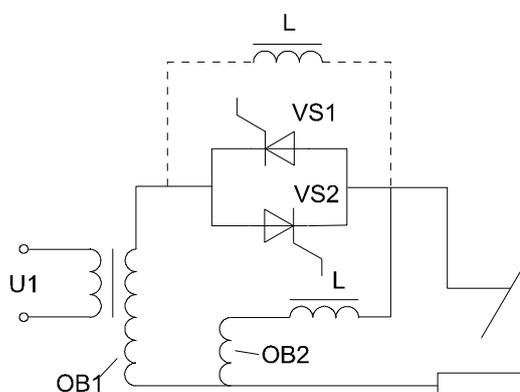


Рисунок 31 – Схема тиристорного трансформатора с цепью подпитки

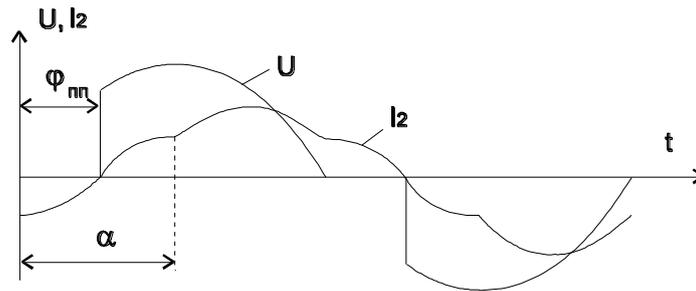


Рисунок 32 – Диаграммы работы

Внешние характеристики для различных углов управления тиристорами приведены на рисунке 33. Сохраняется высокое напряжение холостого хода и имеется возможность получения больших токов.

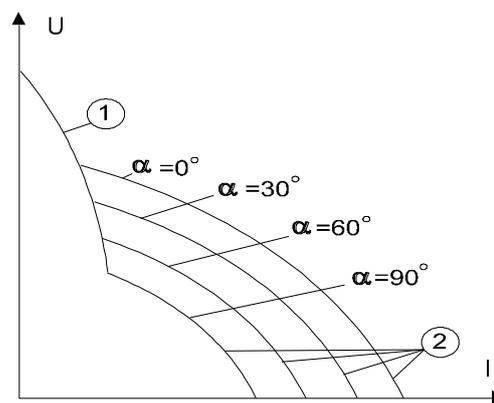


Рисунок 33 – Внешние характеристики

На рисунке 34 приведена структурная схема тиристорного трансформатора с импульсной стабилизацией.

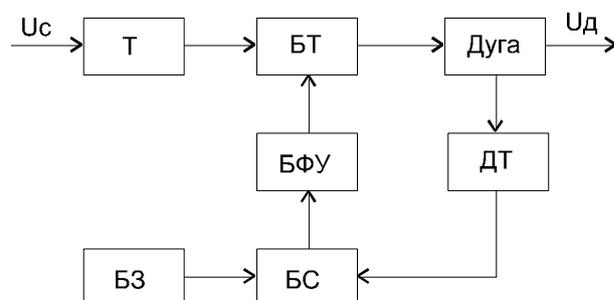


Рисунок 34 – Структурная схема

Т – трансформатор; БТ – блок тиристоров; БФУ – блок формирования управления; БС – блок сравнения; БЗ – блок задания; ДТ – датчик тока.

На рисунке 35 показана схема одного из вариантов тиристорного трансформатора с импульсной стабилизацией.

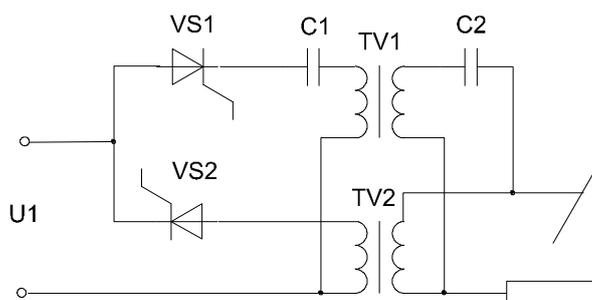


Рисунок 35 – Схема с импульсной стабилизацией

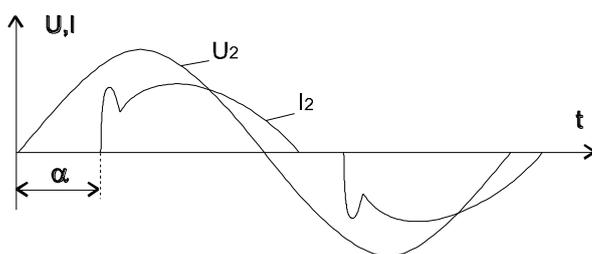


Рисунок 36 - Диаграммы к схеме рисунок 35

Импульсный трансформатор TV2 обеспечивает повышение напряжения в момент включения тиристора. Трансформатор TV2 имеет коэффициент трансформации ≈ 1 . Импульс напряжения при холостом ходе достигает 500 В, при нагрузке амплитудного тока ≈ 100 А, при длительности 0,1 мсек. Момент включения TV1 совпадает с моментом включения основного трансформатора, TV1 с обычным рассеянием. Импульс создается за счет того, что в первичную цепь включена C1. Пока C1 заряжается, течет ток через TV2. Длительность импульса определяется величиной емкости C1. Искусственные внешние характеристики формируются за счет обратных связей по току и напряжению. Диаграммы работы приведены на рисунке 36. Внешние характеристики при разных углах управления показаны на рисунке 37.

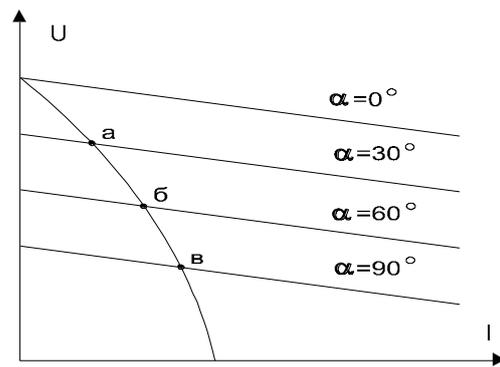


Рисунок 37 – Внешние характеристики

На рисунках 38а,б показан второй вариант трансформатора с импульсной стабилизацией. По такому принципу выполняются тиристорные трансформаторы ТДФЖ - 1002 УЗ, ТДФЖ - 2002УЗ.

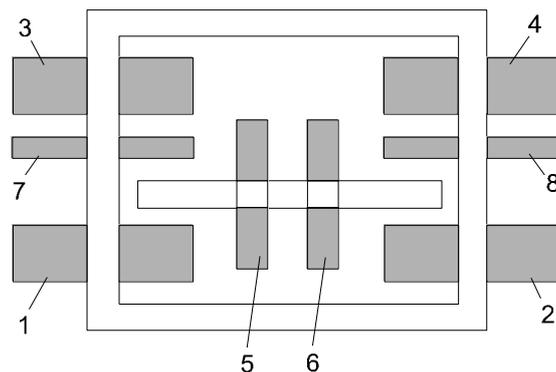


Рисунок 38а – Конструкция трансформатора

1,2 – первичные обмотки; 3,4 – вторичные обмотки; 5,6 – реактивная обмотка; 7,8 – обмотки импульсной стабилизации.

Катушки первичной (1, 2) и вторичной (3, 4) обмоток установлены на стержневом магнитопроводе, на значительном расстоянии друг от друга, т.е. рассеяние трансформатора увеличено. Реактивная обмотка (5, 6) установлена между стержнями трансформатора на пути потоков рассеяния. При ее последовательном и согласном включении с первичной обмоткой с помощью пластинчатого переключателя Х (рисунок 38б) получают диапазон малых токов.

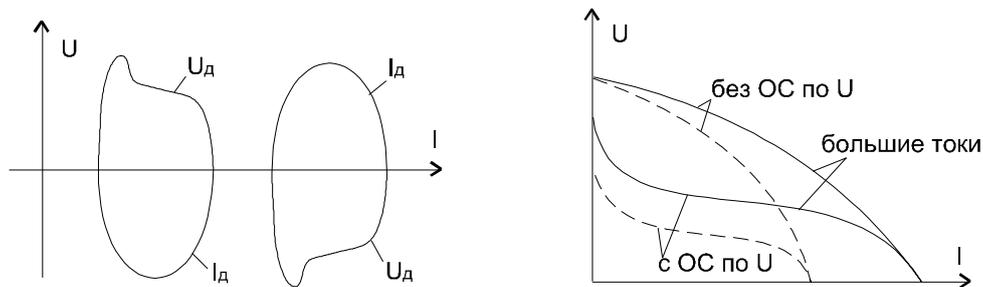


Рисунок 39.

ТДЭ 402: имеет тиристорный регулятор в первичной цепи и импульсную стабилизацию. Крутопадающие характеристики формируются за счет обратной связи по току. Особенность: в режиме х. х. трансформатор выдает 12 В.

При начальном зажигании дуги коротким замыканием тиристоры кратковременно открываются полностью, что обеспечивает зажигание, а при нагрузке вступает в действие система ОС, и ток устанавливается на заданном уровне. При кратковременных обрывах дуги тиристоры также открываются полностью, что способствует повторному зажиганию. При длительных обрывах (более 1 сек) трансформатор снова переходит в режим ограничения напряжения.

Предусмотрены две ступени грубого регулирования тока с помощью реактивной обмотки. Сварочные свойства тиристорных трансформаторов без импульсной стабилизации хуже, чем у обычных. Например, при сварке электродами марки МР-3, АНО-3,4 – вероятность начального зажигания дуги 70%, разрывная длина дуги – 20-30 мм, коэффициент разбрызгивания – 7%.

Трансформатор с подпиткой ТДЭ-16/254

Схема трансформатора показана на рисунке 40, внешние характеристики приведены на рисунке 41.

Такие трансформаторы менее экономичны и имеют худшие сварочные характеристики из-за низкого нарастания тока подпитки. Однако кратность регулирования тока может быть 6÷7.

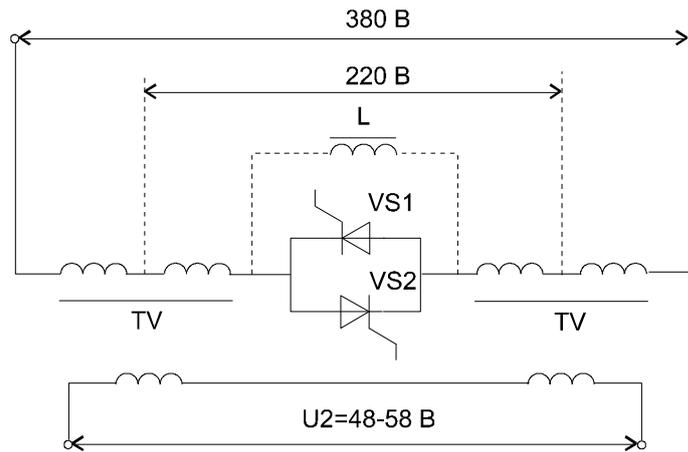


Рисунок 40 – Схема трансформатора с подпиткой

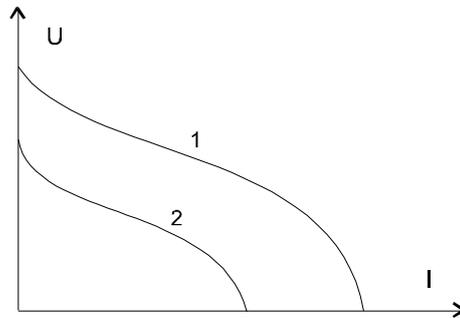


Рисунок 41 – Внешние характеристики

1 – характеристика с использованием управления тиристорами; 2 – характеристика без использования управления тиристорами (работает только L).

Циклоконверторный трансформатор

Электрическая схема показана на рисунке 42, диаграммы работы – на рисунке 43.

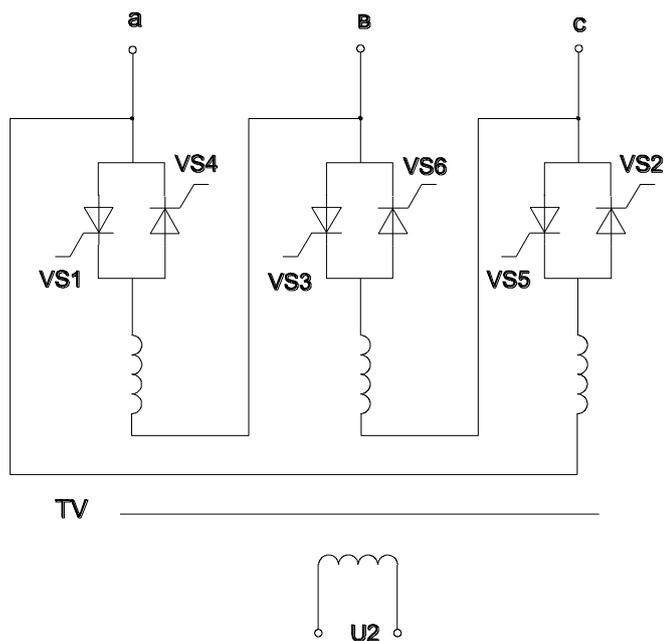


Рисунок 42 – Схема трансформатора

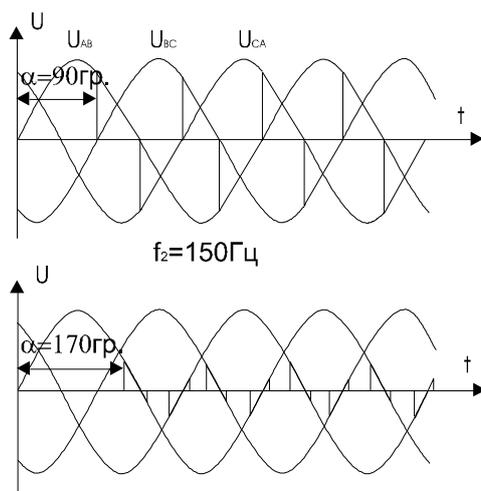


Рисунок 43 – Диаграммы работы

Так как рабочая частота в три раза больше, то площадь сечения магнитопровода в три раза меньше, следовательно, весь трансформатор в полтора раза легче обычного. Падающие характеристики получаются за счет увеличенного магнитного рассеяния. Плавное регулирование за счет изменения угла α , в пределах от 120 до 180 (рисунок 43). При угле меньше 120 появляются паразитные токи по двум одновременно открытым тиристорам.

При исполнении трансформатора с увеличенным рассеянием, приходится увеличить угол примерно до 135 градусов. С другой стороны угол максимальный меньше или равен 170, чтобы не снижать устойчивость горения дуги. Пример: ЦСЭ – 201 УЗ – циклоконвертируемый источник. При угле больше 160 в кривой сварочного тока возникает разрыв, но он смягчается повышением частоты до 150 герц (время паузы уменьшается). Кроме того, повышение частоты и импульсных характеристик сварочного тока способствует мелкокапельному переносу электродного металла и уменьшает разбрызгивания.

1.14. Сварочные выпрямители

По принципам построения силовые части выпрямителей можно разделить на шесть вариантов - рисунок 44.

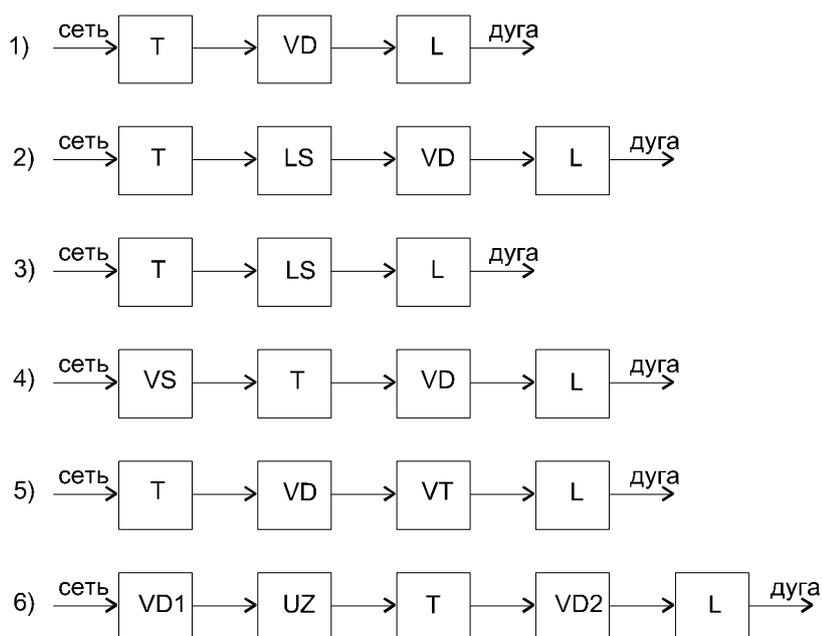


Рисунок 44 – Структурные схемы

T – трансформатор; VD – выпрямитель; L – сглаживающий дроссель; LS - дроссель для формирования падающей внешней характеристики и регулирования режима; VS – тиристорный блок; UZ – инвертор; VT – транзисторный регулятор.

Вариант 1. Трансформатор T с увеличенным рассеянием. L – для сглаживания тока. Габариты L соизмеримы с габаритами трансформатора, т.е. большие.

Вариант 2. Трансформатор может быть более компактным, т. к. падающая внешняя характеристика формируется за счет LS , а не за счет разнесения обмоток трансформатора.

Вариант 3. Дроссель должен быть более мощным, т. к. форма тока становится импульсная.

Вариант 4. Более дешевый вариант, т.к. тиристоры рассчитаны на меньшие токи, хотя и более высоковольтные.

Вариант 5. Можно увеличить частоту, а габариты индуктивности уменьшить.

Вариант 6. Достигаются уменьшения габаритов, т. к. трансформатор и индуктивность на высоких частотах, но надежность уменьшается.

Для аппаратов, действующих по принципу саморегулирования дуги при механизированной сварке в CO_2 и под флюсом, применяются однопостовые выпрямители с жесткими, полого падающими и полого возрастающими характеристиками.

Способы регулирования режима сварки:

1. Витковый (секционированная обмотка);
2. Магнитный (за счет трансформатора или с помощью дросселя насыщения);
3. Фазовый (тиристорный выпрямитель);
4. Частотный (транзисторный инвертор с выпрямителем).

Круто падающие характеристики для ручной сварки формируются за счет трансформатора с подвижными обмотками и использованием обратной связи по току.

Часто используются универсальные выпрямители, обеспечивающие разные характеристики – жесткие и крутопадающие. Главные достоинства выпрямителя – высокая надежность зажигания и горения дуги (по сравнению с трансформатором), более высокий КПД, малые габариты и масса, отсутствие вращающихся частей, высокая надежность в работе.

1.14.1. Конструкция трансформаторов в составе выпрямителей

Устройство трансформаторов такое же, как и описанное выше, однако однофазные трансформаторы в составе с однофазными выпрямителями используются редко, в основном трехфазные - рисунок 45. У них выше кратность пульсаций выпрямленного напряжения и тока. В вариантах а) и б) имеется несимметрия расположения обмоток фаз в пространстве. Для фазы В – наилучшие условия. При несимметричном расположении обмоток фазные токи отличаются на 20-30% и в кривой выпрямленного тока появляется составляющая с частотой 100 Гц.

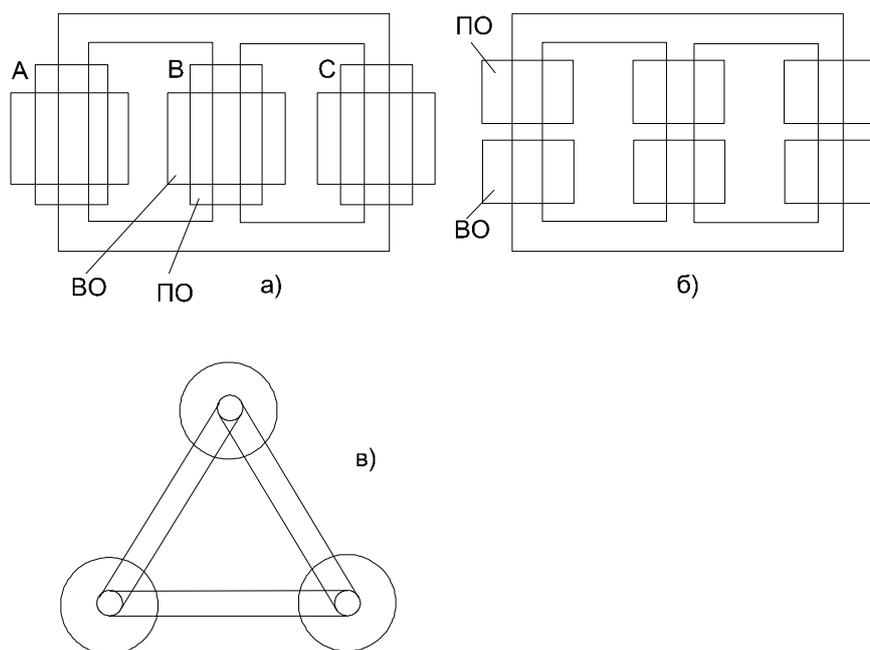


Рисунок 45 – Конструкции трехфазных трансформаторов
 а) – с обычным рассеянием; б) – с повышенным рассеянием; в) – с симметричным расположением фаз в пространстве.

Выбор диодов

Диоды выбирают по току и обратному напряжению. При выборе $U_{обр}$ учитывают не только амплитудное значение синусоидального напряжения, но и часто повторяющиеся броски напряжения при переходных процессах. Повторяющееся напряжение должно быть в 2 раза меньше пробивного напряжения.

Необходимо учитывать кратковременные, но значительные перегрузки по току. Например, из-за к. з. электрода на изделие при зажигании дуги допускается перегрев диода до $140-160^{\circ}C$. Такая четырехкратная перегрузка диода может длиться не более 1 сек. Восьмикратная – не более 0.03 сек (при авариях), т. е. не более длительности срабатывания быстрodeйствующего выключателя.

1.14.2. Схемы выпрямления

1. Однофазная мостовая

Электрическая схема приведена на рисунке 46. Диаграммы токов и напряжений показаны на рисунке 47. Коэффициент пульсаций:

$$\beta = \frac{U_{\max} - U_B}{U_B} = 0.67. \quad (11)$$

Значение β – велико, поэтому при больших мощностях сварочных установок применяют трехфазные схемы выпрямления.

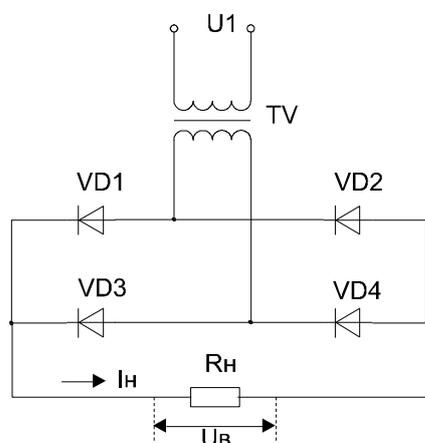


Рисунок 46 - Схема

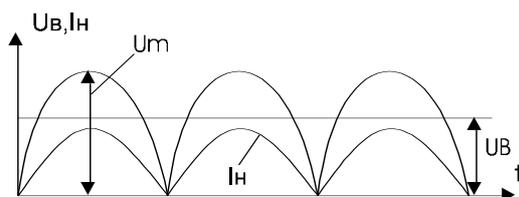


Рисунок 47 – Диаграммы работы

2. Шестифазная нулевая

Электрическая схема изображена на рисунке 48. Диаграмма напряжения показана на рисунке 49. Соотношения:

$$U_B = \frac{3}{\pi} U_{\max} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 1.35U_2 ; \quad (12)$$

$$U_{\text{обр}} = 2U_{\max} = 2\sqrt{2}U_2 = 2.1U_2 ; \quad (13)$$

$$I_V = \frac{1}{6} I_\delta = 0.17 \frac{U_B}{R_H} \text{ -каждый диод проводит } 1/6 \text{ часть периода;} \quad (14)$$

$S_T = 1.55 I_\delta U_B$ - расчетная мощность трансформатора.

Для устранения вынужденного намагничивания сердечника первичные обмотки трансформатора можно соединять только в треугольник.

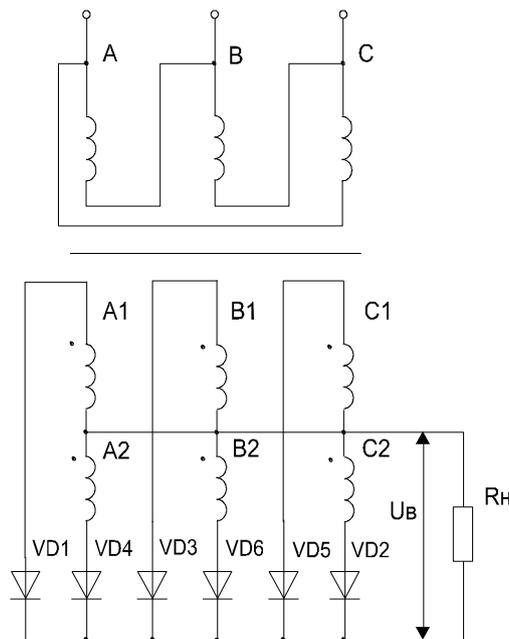


Рисунок 48 - Схема

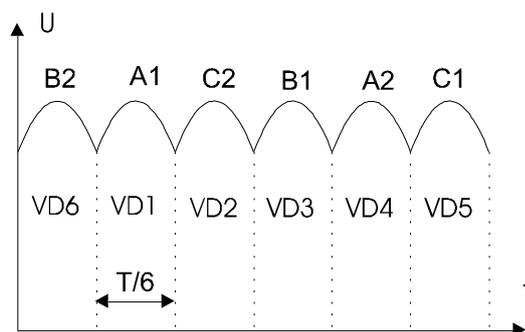


Рисунок 49 – Диаграмма работы

3. Шестифазная схема с уравнивающим реактором

Шестифазная схема с уравнивающим реактором приведена на рисунке 50. Это две трехфазные нулевые схемы, работающие параллельно.

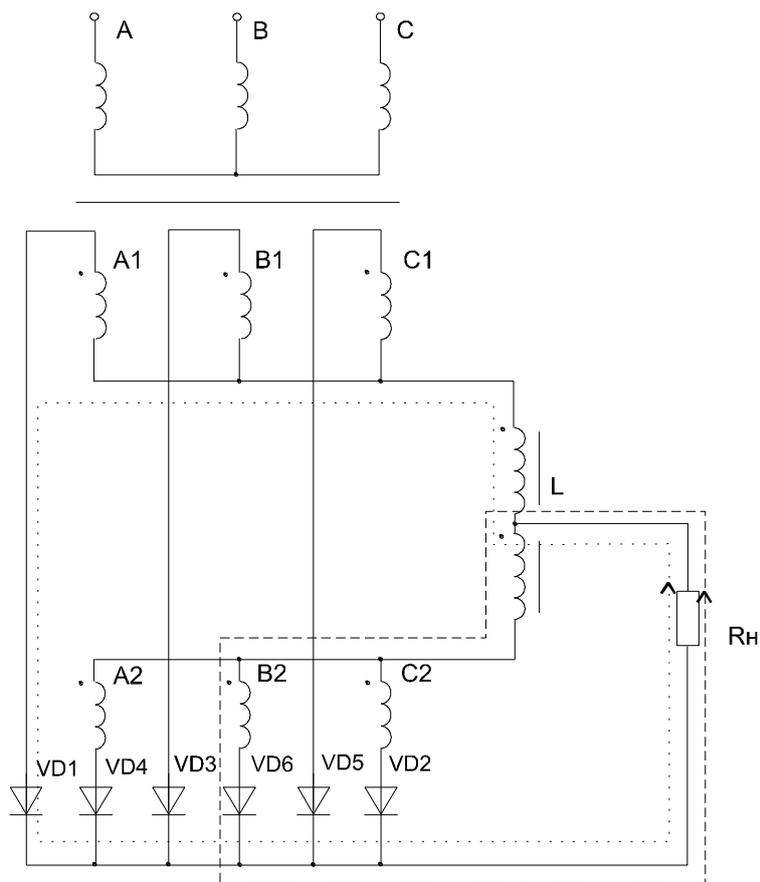


Рисунок 50 – Схема с уравнивающим реактором

Здесь в любой момент работают две обмотки и два вентиля (A1, B2; VD1, VD6).

$U_B = \frac{U_{A1} + U_{B2}}{2}$ - За счет того, что дроссель выравнивает напряжения коммутируемых фаз. Каждый диод проводит 1/3 периода (но идет половинный ток).

$$I_V = 0.17 \frac{U_B}{R_H} . \quad (15)$$

В отличие от шестифазной нулевой схемы ток вентиля более равномерно распределен по периоду, следовательно, его действующее значение меньше, что обеспечивает лучшее использование вентилях. Соотношения:

$$U_{\delta} = 1.17U_2 \text{ - меньше, чем в нулевой схеме;} \quad (16)$$

$$U_{обр} = 2.1U_B ; \quad (17)$$

$S_T = 1.26I_{\delta}U_B$ - меньше, чем в предыдущем случае, но есть $S_{др}$.

$S_{др} = 0.07I_{\delta}U_B$ - расчетная мощность дросселя.

Из всех схем схема с уравнивающим дросселем требует менее мощные вентилях, поэтому нашла наибольшее применение в выпрямителях на управляемых вентилях.

4. Кольцевая схема

Схема приведена на рисунке 51.

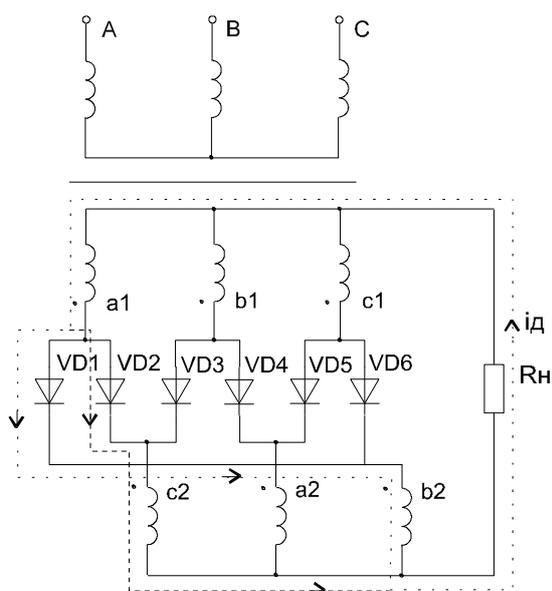


Рисунок 51 – Кольцевая схема

Соотношения:

$$U_B = 2.34U_2 ; \quad (18)$$

$$I_V = 0.17I_{\delta} \text{ - каждый диод проводит } 1/6 \text{ часть периода;} \quad (19)$$

$$U_{обр} = 2.1U_B ; \quad (20)$$

$S_T = 1.26I_{\delta}U_B$ (самая маленькая, т. к. нет $S_{др}$).

Данная схема широко используется в мощных выпрямителях.

5. Трехфазная мостовая схема

Эта схема получила самое широкое применение – рисунок 52.

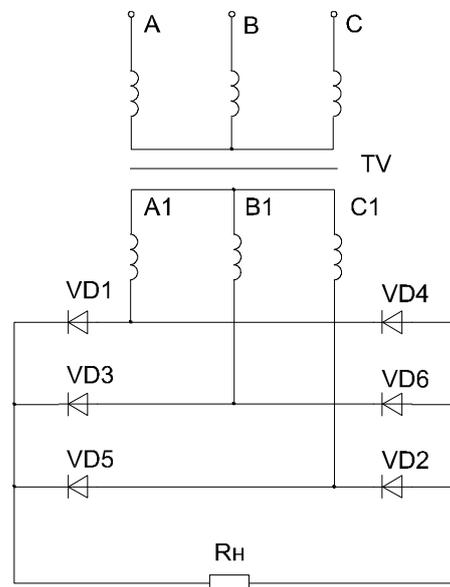


Рисунок 52 – Мостовая схема

Соотношения:

$$U_B = 2.34U_2 ; \quad (21)$$

$$U_{обр} = 2.45U_2 = 1.05U_B ; \quad (22)$$

$$I_V = 0.33I_\delta - \text{каждый диод работает } 1/3 \text{ периода.}; \quad (23)$$

$$S_T = 1.05I_\delta U_B . \quad (24)$$

Характеристики схем выпрямления

Таблица 1.

Схема выпрямления	Число вентилялей	Коэффициент пульсаций	Средний ток вентиля	Действующий ток вентиля	Амплитуда обратного напряжения	Расчетная мощность трансформатора
		$\frac{U_{\max} - U_B}{U_B}$	$\int i_B dt = I_\delta$	$\frac{1}{I_\delta} \sqrt{\int i_B^2 dt}$	$\frac{U_{об}}{U_B}$	$\frac{S_T}{I_\delta U_B}$
Однофазная мостовая	4	0.67	0.5	0.71	1.57	1.23
Шестифазная нулевая	6	0.06	0.17	0.41	2.1	1.55
Шестифазная с уравнивающим реактором	6	0.06	0.17	0.29	2.1	1.26+0.07
Кольцевая	6	0.06	0.17	0.41	2.1	1.26
Трехфазная мостовая	6	0.06	0.33	0.58	1.05	1.05

1.14.3. Выпрямители, управляемые трансформатором

Выпрямитель, управляемый трансформатором с секционированными обмотками

Используется для сварки в CO_2 и должен иметь полого падающую характеристику. Схема приведена на рисунке 54. В цепь постоянного тока включена индуктивность для уменьшения разбрызгивания при сварке..

Регулирование напряжения х. х. и рабочего напряжения осуществляется с помощью секционирования первичной (вторичной) обмоток.

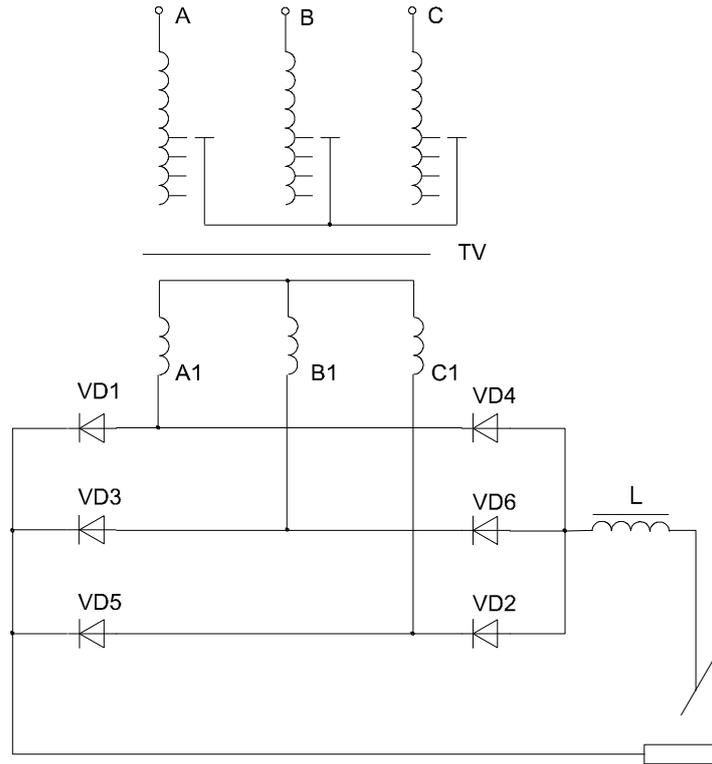


Рисунок 54 - Схема

Внешняя характеристика выпрямителя описывается уравнением:

$$U_o = U_0 - \frac{3}{\pi} X_\phi I_o, \quad (25)$$

где X_ϕ - сопротивление фазы.

Диаграммы тока и напряжения дуги показаны на рисунке 55.

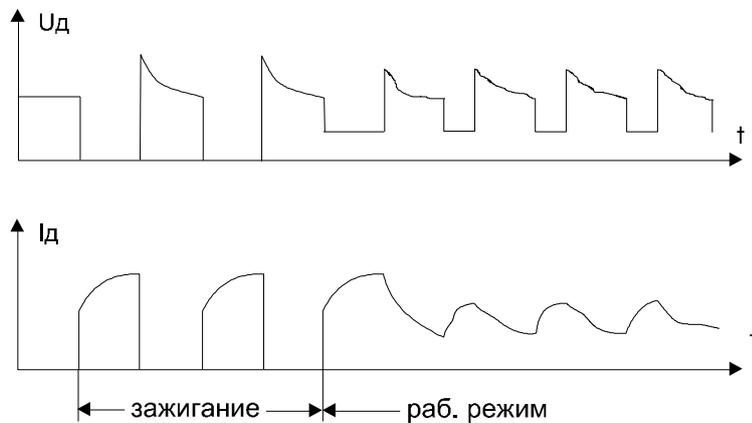


Рисунок 55 – Диаграммы работы

При низком напряжении дуги (короткая дуга) перенос электродного металла происходит с к. з. , когда МЭП замыкается каплей металла. При этом скорость нарастания тока к. з. достигает 750 кА/сек, а коэффициент разбрызгивания – 20%.

Способы снижения разбрызгивания:

1. Использование схем с низкими пульсациями (трехфазная мостовая, шестифазные).
2. Увеличение крутизны падающей внешней характеристики.
3. Введение большой индуктивности в цепь выпрямленного тока.

Обычно используют дроссель $L=0.2\div 0.5$ мГн.

За счет всего вышеперечисленного разбрызгивание уменьшают до $5\div 10\%$.

Напряжение х. х. близко к рабочему напряжению т.к. характеристика жесткая. Поэтому затруднено начальное зажигание дуги, особенно при большой скорости подачи электродной проволоки. Малая разрывная длина дуги. При $U_{хх}=30$ В длина дуги – 7 мм. При $U_{хх}=60$ В длина дуги – 20 мм.

Недостатки: отсутствие стабилизации выпрямленного напряжения и перерасход обмоточных материалов (т. к. используется только часть обмотки).

Преимущества: простота и надежность.

Пример: ВС-300 БУЗ. Два переключателя в первичной цепи обеспечивают 27 ступеней регулирования с шагом $0.5\div 1$ В. Нормальное соединение обмоток звезда – треугольник. Для вертикальных швов используется соединение звезда – звезда. Крутизна характеристики увеличивается за счет балластного реостата, что ведет к снижению тока. Сглаживающий дроссель имеет отпайки для регулирования индуктивности.

Выпрямитель, управляемый трансформатором с увеличенным рассеянием

Примером подобного выпрямителя является сварочный аппарат ВД – 306 - рисунок 57. Регулирование тока осуществляется за счет перемещения первичной и вторичной обмоток и переключения обмоток с треугольника на звезду. При переключении ток меняется примерно в три раза. Общая кратность регулирования $9\div 10$.

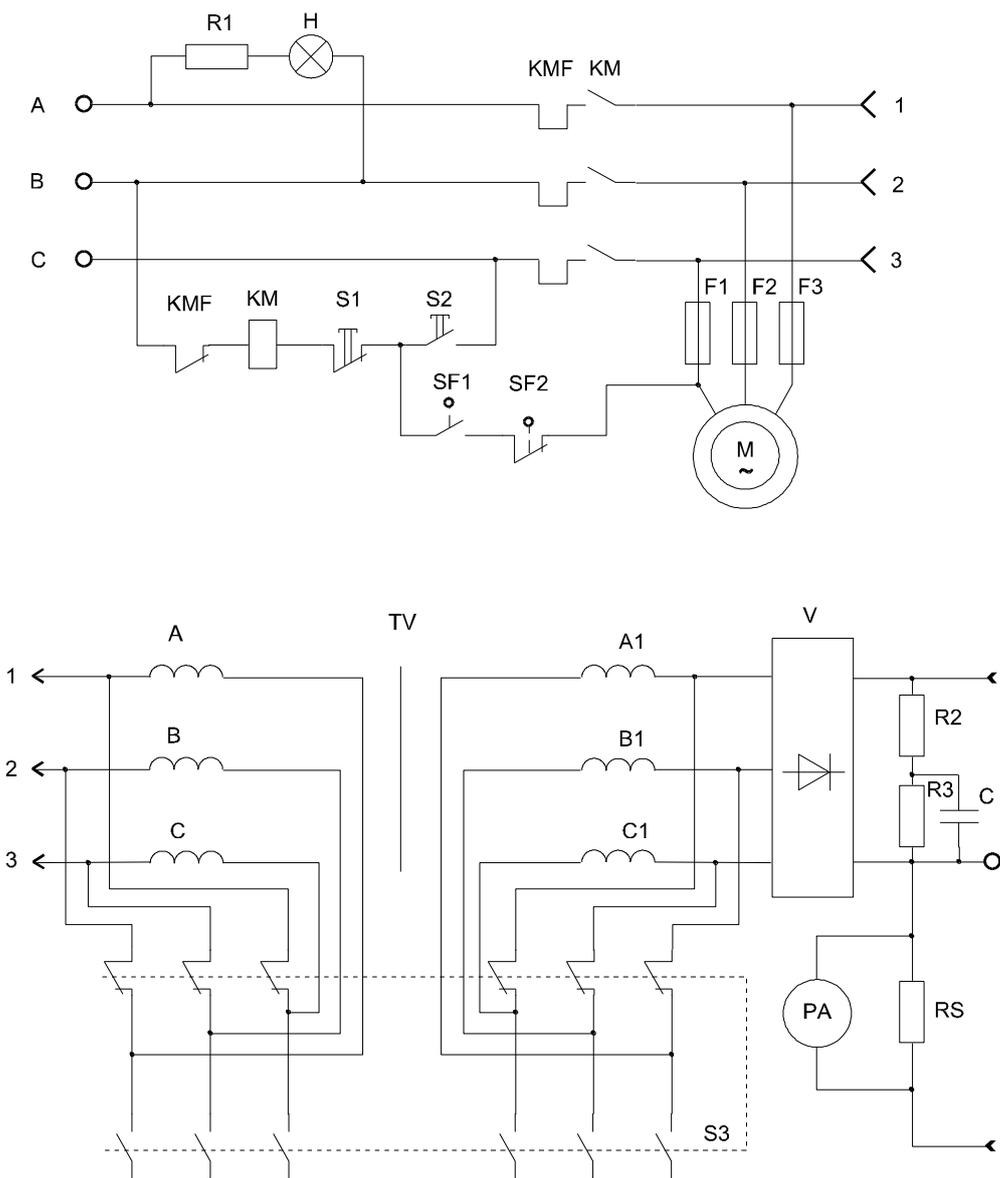


Рисунок 57 – Схема выпрямителя

Выпрямительный блок V охлаждается вентилятором М. Аппаратура управления и сигнализации: Н – сигнальная лампа; R1 – балластный резистор; S2 – кнопка «ПУСК»; S1 – кнопка «СТОП». KM – контактор, подающий питание на трансформатор и вентилятор; SF1 – ветровое реле – при наличии вентиляции шунтирует S2; S3 – переключает обмотки с треугольника на звезду. В него встроен микровыключатель SF2, разрывающий цепь KM при переключении.

Трехфазная мостовая схема имеет по 10 диодов в каждом плече (Д204). Каждый диод снабжен предохранительной перемычкой, перегорающей при выходе из строя (т. е. выпрямитель

работает при выходе нескольких диодов из строя). Защита выпрямителя по току осуществляется тепловым реле КМФ. Фильтр R2-R3-C служит для защиты выпрямительного блока от коммутационных перенапряжений. Аналогично построены выпрямители ВД – 201, ВД – 401.

Внешняя характеристика приведена на рисунке 58.

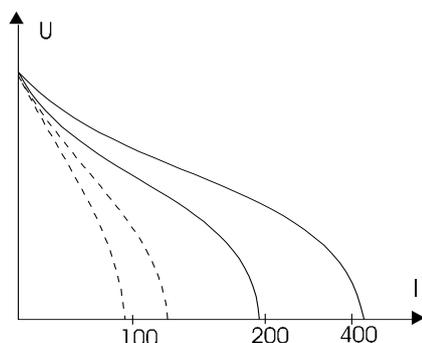


Рисунок 58 – Внешняя характеристика

Сварочные свойства.

Зажигание дуги при напряжении х. х. $60 \div 80$ В и $I_{кз} = 1.2 \div 1.4 I_{раб}$ происходит обычно с первой попытки, высокая устойчивость горения дуги, пульсации выпрямленного тока меньше $20 \div 25\%$, разрывная длина дуги при сварке электродами УОНИ 15/45 составляет 10-15 мм, электродами ЦЛ 11 достигает 25-30 мм. Благодаря круто падающей характеристике, ток при колебаниях длины дуги достаточно стабилен. Но при колебаниях напряжения сети в пределах $\pm 10\%$ ток меняется на 20%. За счет значительной индуктивности трансформатора пиковый ток к. з. превышает сварочный всего на 30-90%, поэтому коэффициент разбрызгивания 2-4%. Техничко-экономические показатели выпрямителя высоки, но хуже чем у обычного сварочного трансформатора. КПД = 0.5-0.75, $\cos \varphi = 0.5-0.7$. Удельный расход электроэнергии 4-6 кВт/кг.

Выпускается выпрямитель ВД 180/130 с однофазным трансформатором и мостовой схемой выпрямления. Регулирование осуществляется с помощью подвижного клинового шунта. Источник имеет выводы и переменного и постоянного тока.

Бытовые сварочные выпрямители

Бытовые сварочные выпрямители питаются от 220 В при I_1 не более 15 А и ПН=20%. Малая мощность. Используются простейшие

схемы и дешевые материалы. Пример, ВД – 121 УЗ. Имеет трансформатор с витковым регулированием на четыре ступени, блок выпрямителей и сглаживающий дроссель. Может использоваться для зарядки батарей и запуска двигателей машин.

Преимущество выпрямителей с трансформаторами с увеличенным рассеянием – дешевизна и простота.

Недостатки:

1. Зависимость от напряжения сети.
2. Отсутствие дистанционного управления.

1.14.4. Тиристорные и транзисторные выпрямители

Использование управляемых выпрямителей ведет к увеличению пульсаций сварочного тока особенно при больших углах управления. Для уменьшения пульсаций тока и напряжения применяют сглаживающий дроссель, иногда с нулевым диодом - рисунок 59.

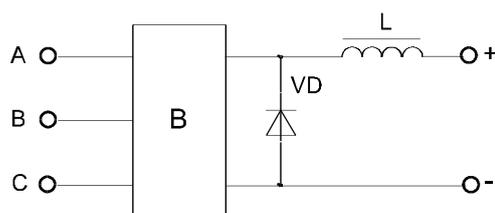


Рисунок 59 – Тиристорный выпрямитель

Для полного сглаживания тока в диапазоне 0-90° необходимо, чтобы $X_L = \omega L$ было значительно выше сопротивления нагрузки ($5R_d$). Такой мощный дроссель слишком велик и дорог. Применение дросселя с большой индуктивностью слишком замедляет переходный процесс при зажигании дуги и переносе электродного металла. Поэтому выбирают дроссель с индуктивностью 0.2-0.5 мГн (только из соображений уменьшения разбрызгивания). Обычно применяют дроссель на 2-3 ступени.

Для уменьшения пульсаций напряжения желательно, чтобы угол управления α был меньше 60°, а кратность регулирования обеспечивается ступенчатым регулированием (секционированием обмоток). Устойчивость горения дуги при глубоком регулировании обеспечивается путем введения подпитки.

Выпрямитель с тиристорным выпрямительным блоком

За счет использования обратной связи можно с одной и той же силовой частью сформировать как жесткие (возрастающие), так и круто падающие внешние характеристики. Поэтому большинство тиристорных выпрямителей разрабатывают как универсальные. Можно получить любую характеристику в пределах естественной - рисунок 60.

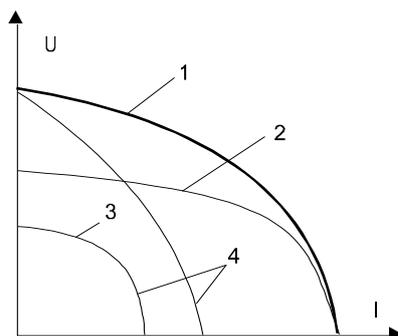


Рисунок 60 – Внешние характеристики

1 – исходная внешняя характеристика; 2 и 3 – жесткие характеристики за счет обратных связей и регулирования; 4 – крутопадающая характеристики за счет регулирования.

Универсальный выпрямитель ВДУ – 505

Электрическая схема универсального выпрямителя ВДУ-505 приведена на рисунке 61. L_2 – сглаживающий дроссель для уменьшения разбрызгивания. Внешние характеристики – рисунок 62.

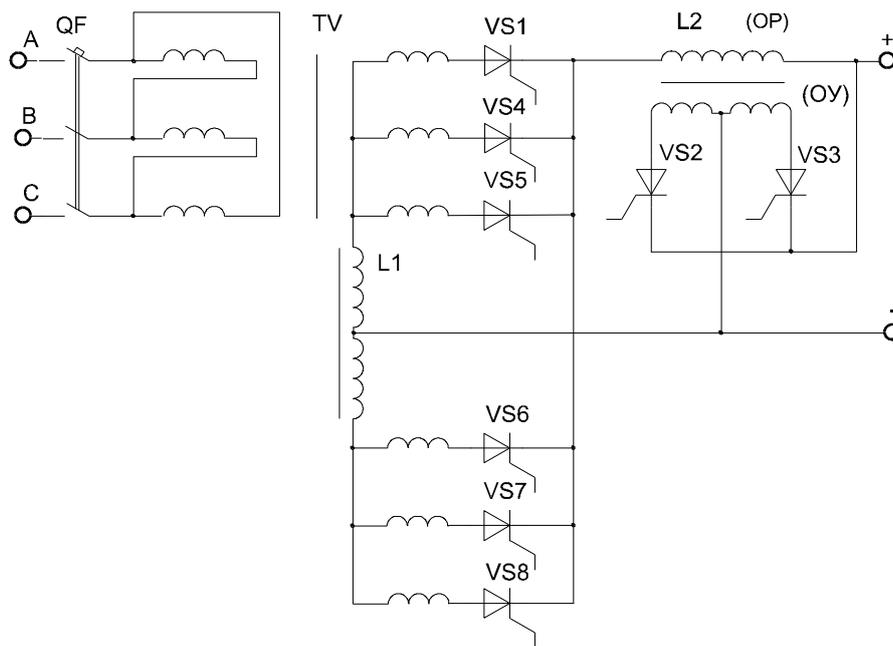


Рисунок 61 – Схема выпрямителя ВДУ - 505

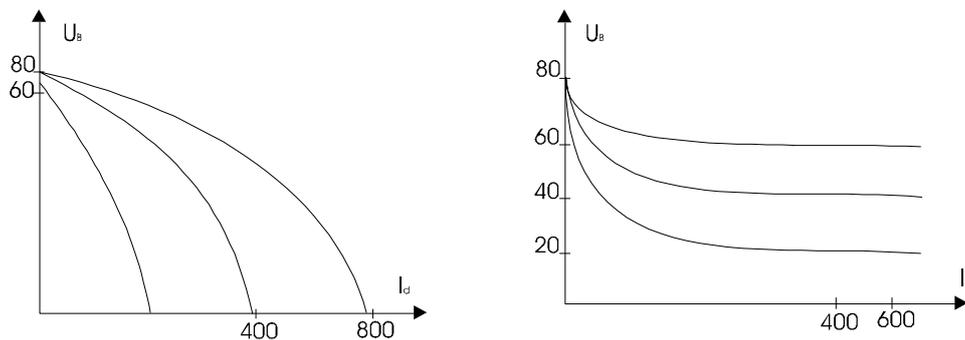


Рисунок 62 – Внешние характеристики

Имеется вентилятор для охлаждения тиристорного блока. Трансформатор имеет нормальное рассеяние, что позволяет иметь крутопадающие и жесткие характеристики (рисунок 62). При крутопадающих характеристиках $L_{\text{дресселя}} = 0.5 \text{ мГн}$. При жесткой характеристике индуктивность меняется автоматически с изменением режима. При больших углах и малых токах наблюдаются значительные пульсации тока, протекающего по рабочей обмотке (OP), поэтому в обмотке управления (OY) индуцируется большая ЭДС и протекает ток, замыкающийся по вентилям VS2, VS3 и дуге. Этот ток создает с помощью OY большой магнитный поток, сильно насыщающий железо дросселя.

Следовательно, при малых токах дроссель имеет малую индуктивность, а при больших – большую.

В схеме управления используется отрицательная обратная связь по току, связи по напряжению сети и по напряжению дуги. При отсутствии сварочного тока обратная связь по напряжению дуги отключена, что обеспечивает высокое напряжение х. х. при сварке на жестких характеристиках. В результате улучшается зажигание дуги и устойчивость при малых токах.

Сварочные свойства:

1. Кратность бесступенчатого плавного регулирования тока равна 10, а напряжения – 3. Поэтому может использоваться для питания роботизированных постов сварки.
2. Начальное зажигание дуги при сварке в CO_2 происходит надежно за счет того, что $U_{\text{ХХ}}=3\div 4U_{\text{раб}}$.
3. При ручной сварке с крутопадающими характеристиками можно улучшить сварочные свойства, изменяя связь по току так, чтобы $I_{\text{кз}}=1.2\div 1.5I_{\text{дуги раб}}$.

Технико-экономические показатели тиристорных выпрямителей лучше, чем у диодных: КПД = $0.7\div 0.75$; $\text{COS } \varphi = 0.6\div 0.65$ (при жестких характеристиках оба показателя выше, чем при крутопадающих); удельный расход электроэнергии при ручной сварке 4-4.5 кВт/час на килограмм.

Выпрямитель с тиристорным регулятором в первичной цепи ВДУ – 1604 УЗ

Схема выпрямителя ВДУ-1604УЗ показана на рисунке 64. Первичная обмотка соединена в треугольник для обеспечения большего тока. Выпрямительный блок вторичной цепи включен по кольцевой схеме. Сглаживающий дроссель L состоит из четырех секций. При большом токе три параллельно включенных секции с общей индуктивностью $L_{\text{общ}}=0.07$ мГн. Тип внешней характеристики зависит от положения S.

Положение 1 - обратная связь только по току. Наклон характеристики 0.02-0.2 В/А.

Положение 2 - обратная связь по току и по напряжению. Наклон 0.011-0.015 В/А.

Положение 3 - обратная связь только по напряжению. Наклон 0.006-0.009 В/А.

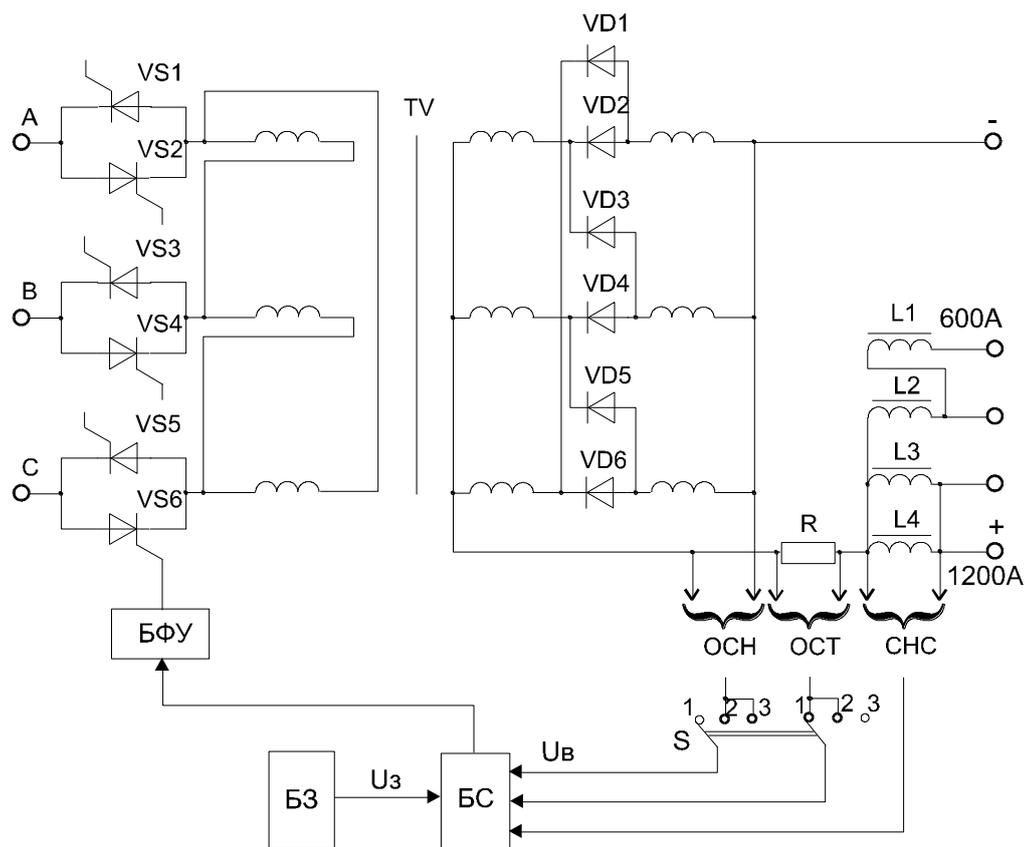


Рисунок 64 - Схема ВДУ-1604У3

БЗ – блок задания; БС – блок суммирования; БФУ – блок фазового управления; S – переключатель; СНС – сигнал начала сварки.

Предусмотрено форсирование режима в начале сварки. Зажигание дуги происходит при $\alpha=0^\circ$ (U_{XX}). При появлении сварочного тока сигнал начала сварки поступает с L в БС и форсирование прекращается. Предусмотрена возможность параллельного включения двух выпрямителей для получения тока до 3000 А с настройкой режима на одном из них.

Выпрямитель с транзисторным регулятором

Схема простейшего трехфазного выпрямителя с транзисторным регулятором приведена на рисунке 65.

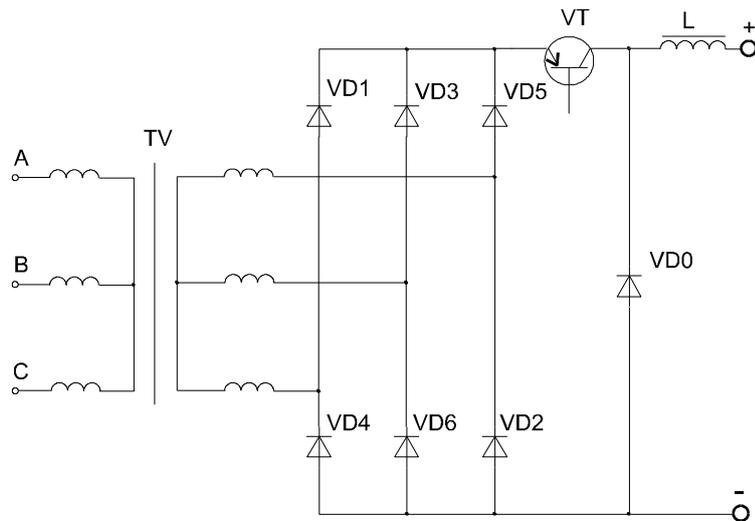


Рисунок 65 – Выпрямитель с транзисторным регулятором

Чаще используется схема включения транзистора с общим эмиттером. Для увеличения тока применяется параллельное включение транзисторов или транзисторных модулей. Используются биполярные и полевые транзисторы. У биполярных большой КПД и быстродействие. При частотах свыше 1 кГц пульсации напряжения составляют 0.2-0.5 В.

Способы регулирования:

1. Частотно-импульсное (увеличение напряжения за счет уменьшения частоты)
2. Широтно-импульсное.

Чаще применяется способ 1.

1.14.5. Выпрямители с дросселем насыщения

Регулирование режима с помощью дросселя насыщения состоит в изменении задержки включения тока нагрузки в пределах полупериода при изменении начального намагничивания сердечника. Схема выпрямителя с дросселем насыщения показана на рисунке 66, характеристика управления дросселя – на рисунке 67.

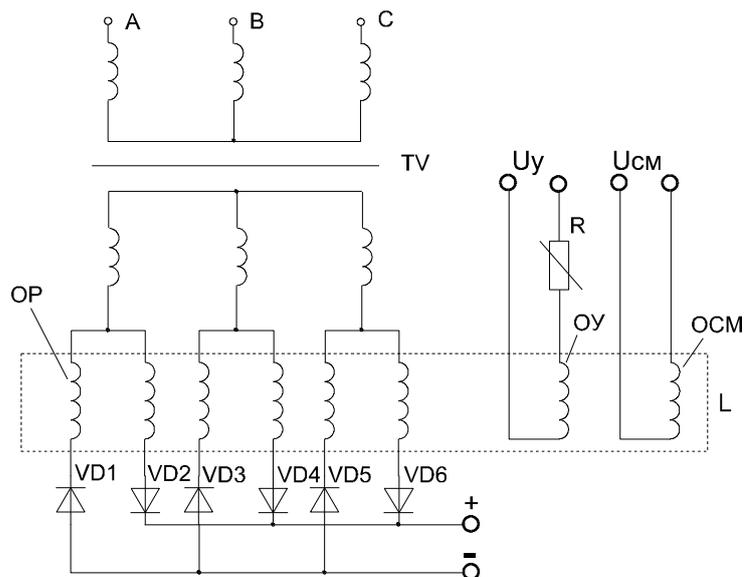


Рисунок 66 – Схема выпрямителя

L – дроссель насыщения; OCM – обмотка смещения. OY, наматываются поверх рабочей обмотки с шестью стержнями.

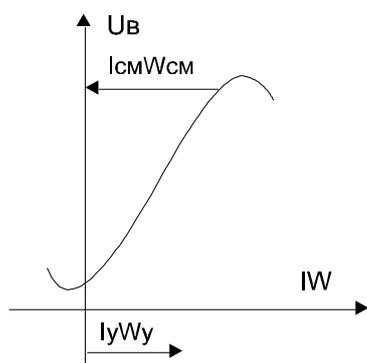


Рисунок 67 – Характеристика управления дросселя

Дроссель насыщения с самоподмагничиванием используется для тех же целей, что и тиристоры. При малых токах управления дроссель насыщен. Для обеспечения полного диапазона регулирования напряжения начальную рабочую точку обеспечивают за счет обмотки смещения. За счет самоподмагничивания коэффициент усиления по току ≈ 200 .

Примером подобной схемы является выпрямитель ВДГ – 303, показанный на рисунке 68. Силовой блок – трехфазная мостовая схема с выпрямителем VD3. Шесть диодов на 200 А третьего класса. Дроссель L7 уменьшает разбрызгивание и увеличивает стабильность сварочного процесса. Его индуктивность автоматически плавно регулируется в зависимости от режима сварки. За счет R2 получают

смещение тока. На жестком участке наклон ВАХ составляет 0.04 В/А. Регулирование напряжения – ступенчатое (в первичной обмотке) и плавное (R1 в цепи ОУ). Варианты ступенчатого регулирования:

1 – первичная обмотка соединяется в треугольник. Это обеспечивает максимальный ток.

2 – в треугольник соединяется половина первичной обмотки (средний ток).

3 – первичная обмотка соединяется в звезду (минимальный ток).

Сварочные свойства:

$U_{XX} = (1.5 \div 3)U_{раб}$. Дуга горит устойчиво во всем диапазоне регулирования напряжения за счет исключения самого низкого напряжения, при котором существует режим прерывистых токов. Для его избежания применяется ступенчатое регулирование. Кратность плавно-ступенчатого регулирования более 2.5.

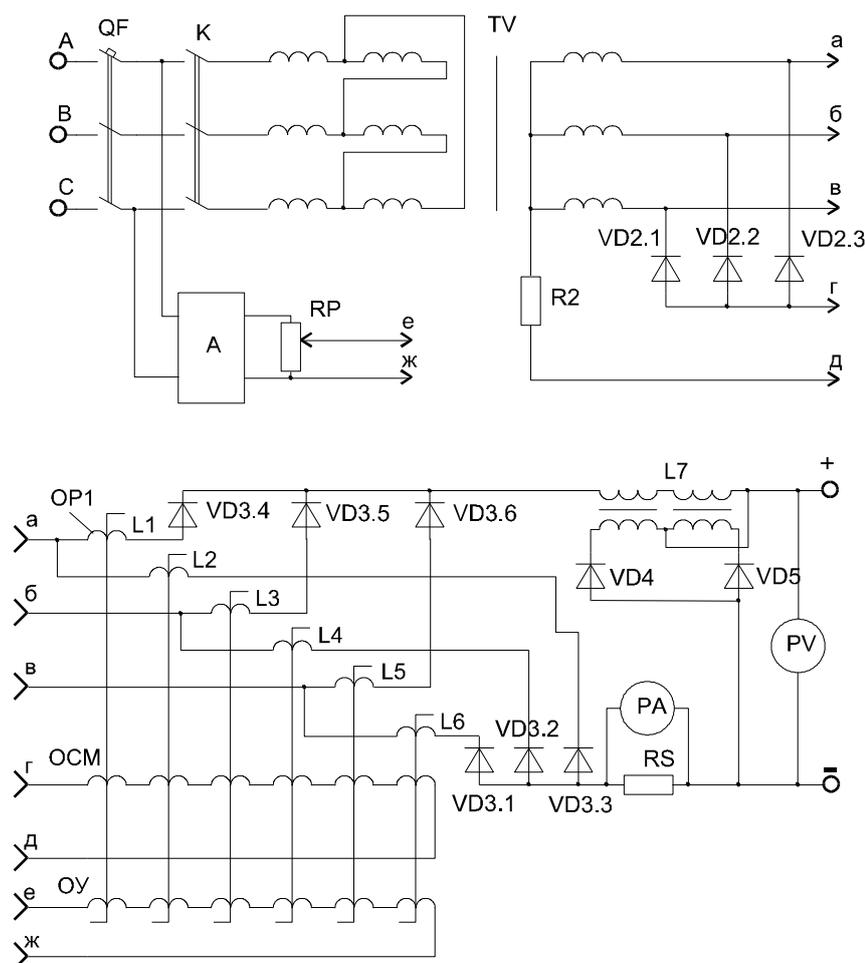


Рисунок 68 – Схема ВДГ-303

1.14.6. Инверторные выпрямители

Принцип действия транзисторного инверторного выпрямителя поясняет схема, показанная на рисунке 69. Поочередно включаются VT1, VT2 и напряжение на первичных полуобмотках трансформатора TV меняет знак. На вторичной обмотке образуется переменное прямоугольное напряжение, которое выпрямляется и фильтруется. Регулирование напряжения может осуществляться (рисунок 70):

- 1) изменением амплитуды импульса;
- 2) изменением ширины импульса;
- 3) изменением частоты следования импульсов.

Частота на выходе такого инвертора от 1 до 60 кГц.

Такое устройство иногда называется конвертором, т. к. и на входе и на выходе постоянное напряжение.

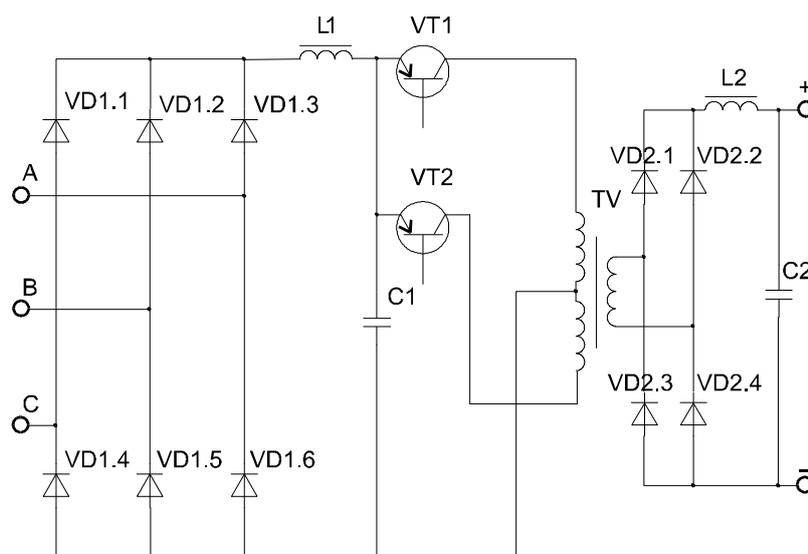


Рисунок 69 – Схема инверторного выпрямителя

VD1 – трехфазный выпрямитель в первичной цепи; L1-C1 – фильтр в первичной цепи; VT1, VT2 – автономный инвертор (его частота не зависит от частоты сети); TV – однофазный трансформатор; VD2 – однофазный выпрямитель; L2,C2 – фильтр.

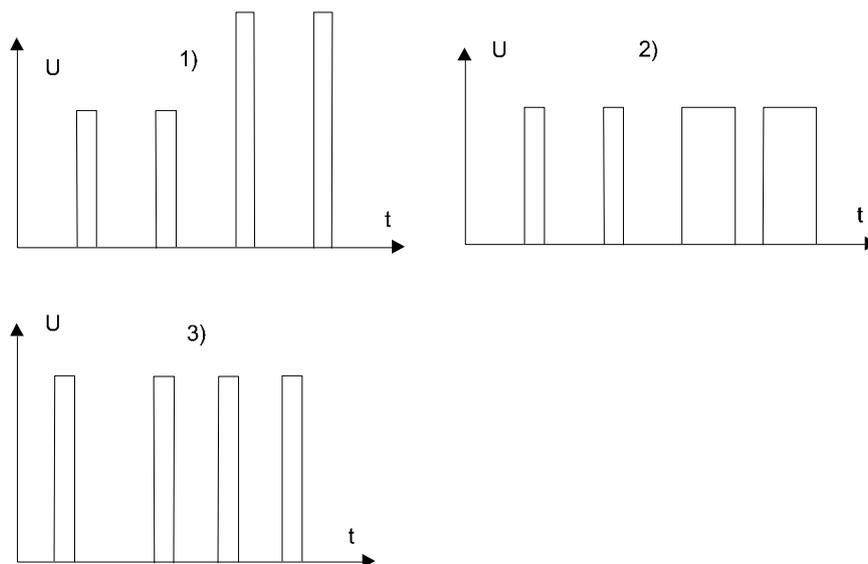


Рисунок 70 – Способы регулирования напряжения

На входе инвертора установлен мощный конденсатор $C1$, поэтому осциллограмма напряжения имеет прямоугольную форму. Такой инвертор называется автономным инвертором напряжения (АИН).

Если на входе инвертора установлен мощный дроссель $L1$, обмотка трансформатора TV шунтирована конденсатором, то прямоугольную форму будет иметь импульс тока, а такой инвертор называется автономным инвертором тока (АИТ).

Возможна схема, когда благодаря наличию в цепи нагрузки индуктивности и емкости образуется контур с синусоидальным током. Такая схема называется резонансным инвертором (АИР).

Обычно внешняя характеристика формируется за счет системы управления (как в управляемых выпрямителях). Форма характеристики показана на рисунке 71.

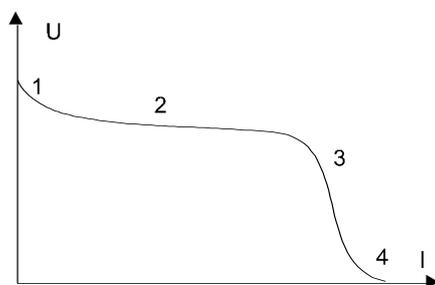


Рисунок 71 – Внешняя характеристика

На рисунке 71: участок 1 – для увеличения напряжения х. х.; участок 2 – обеспечивает эффективное саморегулирование дуги при механизированной сварке в CO_2 ; участок 3 – падающая характеристика для ограничения сварочного тока; участок 4 – для задания тока к. з.

При механизированной сварке в CO_2 инверторный выпрямитель способен обеспечить сложный алгоритм изменения тока с целью управления переносом электродного металла при длительности отдельных этапов цикла около 1 мсек.

Возможные схемы транзисторных инверторов

В основном применяются следующие схемы транзисторных инверторов: 1) двухтактная со средней точкой (рисунок 69); 2) двухтактная полумостовая схема (рисунок 72а); 3) мостовая схема (рисунок 72б), однотактная полумостовая схема (рисунок 72в).

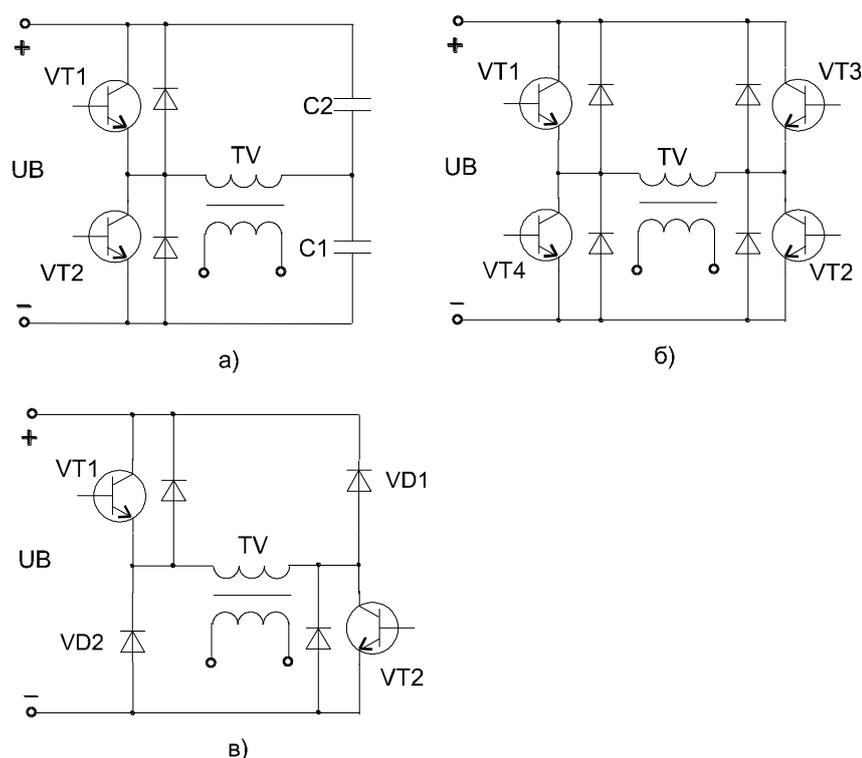


Рисунок 72 – Схемы инверторов

а) – мостовая схема; б) – полумостовая схема; в) – однотактная полумостовая схема.

Достоинства и недостатки инверторных выпрямителей

Такой выпрямитель экономичен и весьма перспективен, т. к. сердечник ВЧ трансформатора имеет малые габариты и массу. Масса обратно пропорциональна корню квадратному от частоты, поэтому такой сердечник обычно весит в 10 раз меньше, чем сердечник, рассчитанный на частоту 50 Гц.

Массо-энергетические характеристики: 0.1-0.3 кг на 1 А сварочного тока; 4-8 кг на 1 кВ*А потребляемой мощности, т. е. весит в 3-5 раз меньше других выпрямителей, но дороже их в несколько раз; $\cos \varphi \approx 1$; КПД = 0.7-0.9.

Недостатки:

- 1) повышенный шум (источники шума трансформатор, фильтр, дуга);
- 2) сложность, малая надежность.

Снизить шум можно:

- а) повышением частоты (более 20 кГц);
- б) используя ферритовый сердечник (цельный сердечник).

Тиристорные инверторы

Запирание тиристора возможно, если последовательно или параллельно с ним включить конденсатор, зарядом или разрядом которого прекращается ток в анодной цепи тиристора. В соответствии с этим различают параллельный и последовательный тиристорный инвертор.

1. Параллельный инвертор.

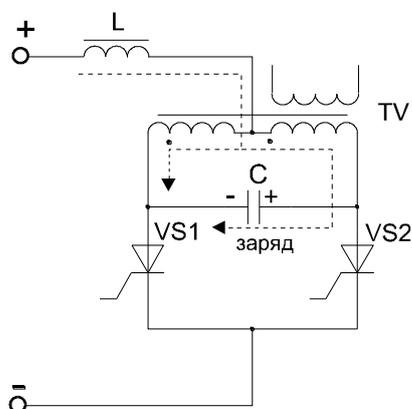


Рисунок 75 - Параллельный инвертор

Первый период высокочастотного тока начинается с момента отпирания VS1 (рисунок 75). К первичной обмотке трансформатора TV прикладывается напряжение источника питания. Одновременно с этим идет заряд конденсатора С. Второй полупериод начинается при открывании тиристора VS2, ток через VS1 мгновенно прекращается и к нему прикладывается обратное напряжение. Начинается перезаряд конденсатора С. Конденсатор С является коммутирующим. Запирание VS2 происходит аналогично.

Параллельный инвертор с большой индуктивностью на входе является АИТ с круто падающей характеристикой. Такой инвертор устойчиво работает в режиме нагрузки, хуже в режиме к. з., а в режиме х. х. на его элементах возникают большие перенапряжения, что ограничивает его возможности при сварке.

2. Последовательный инвертор.

На рисунке 76 показана несимметричная полумостовая схема.

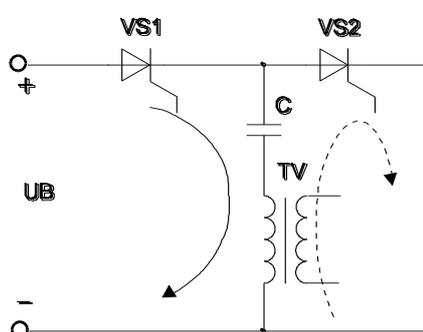


Рисунок 76 - Несимметричная полумостовая схема

При отпирании VS1 ток идет через конденсатор С и первичную обмотку трансформатора TV. когда конденсатор зарядится, ток прекращается и тиристор VS1 запирается. Затем подается отпирательный импульс на VS2 и конденсатор разряжается через TV, VS2.

На рисунке 77 показана мостовая схема. В первый полупериод отпираются тиристоры VS1, VS3, ток идет в одном направлении. Во второй полупериод отпираются тиристоры VS2, VS4 и ток течет через первичную обмотку трансформатора в другом

направлении. Нельзя одновременно отпирать тиристоры VS1, VS4 и VS2, VS3.

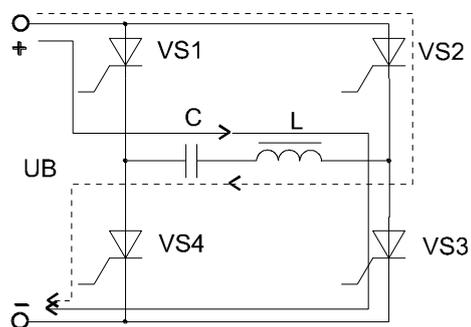


Рисунок 77 – Мостовая схема

3. Последовательный резонансный инвертор

Схема показана на рисунке 78, диаграммы работы – на рисунке 79.

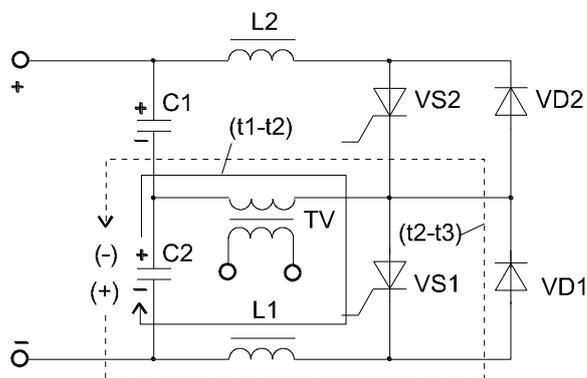


Рисунок 78 – Схема резонансного инвертора

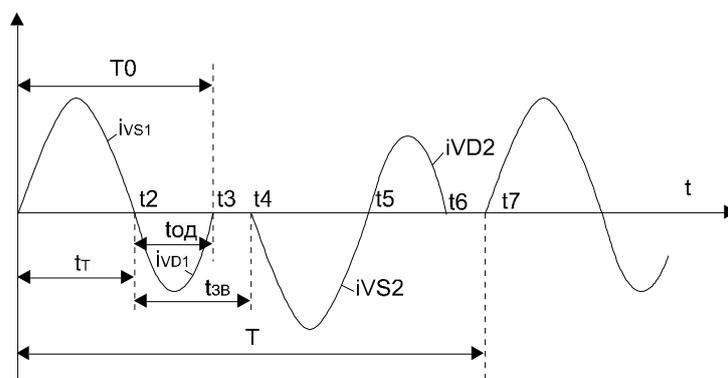


Рисунок 79 – Диаграммы работы резонансного инвертора

$$T_0 = t_i + t_{oo} = 2\pi\sqrt{(L_T + L_1)C} . \quad (26)$$

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_T + L_1)C}} , \quad (27)$$

где L_T – индуктивность первичной обмотки трансформатора TV.

Этот инвертор собран по симметричной полумостовой схеме. В LC контуре (L_1+L_T ; L_2+L_T и C) – резонанс. В этом контуре возникает синусоидальный ток. Моменты отпирания VS1, VS2 и соответственно частота инвертора задаются системой управления, а параметры синусоидального тока определяются параметрами силовых элементов колебательных контуров.

Работа инвертора.

В момент времени t_1 при отпирании VS1 к первичной обмотке трансформатора TV приложится напряжение заряженного ранее конденсатор C_2 . Он начнет разряжаться через первичную обмотку TV, VS1, L_1 . Затем C_2 перезарядится током индуктивности L_1 и первичной обмотки трансформатора TV. К моменту t_2 конденсатор перезарядится, ток через VS1 прекратится и он выключится.

С момента t_2 , как только выключится VS1, открывается VD1. Конденсатор C_2 перезарядится через VD1 и TV. После перезаряда конденсатора C_2 первый цикл завершается.

Затем отпирается VS2 и происходят аналогичные процессы в верхнем контуре.

Длительность интервала t_i равна полупериоду свободных колебаний контура ($C_2 - L_{TV} - L_1$). Частота свободных колебаний определяется параметрами элементов колебательного контура.

Частота переменного тока инвертора задается системой управления и она всегда ниже частоты колебательного контура, т. к. между моментом запираания VS1 (t_2) и моментом отпирания VS2 (t_4) должно пройти время задержки (t_{3B}) для восстановления запирающих свойств тиристора VS1. Плавное регулирование осуществляется изменением частоты управляющих импульсов, а ступенчатое регулирование изменением C_1, C_2 .

Внешняя характеристика резонансного инвертора круто падающая. В отличие от АИТ, АИН он устойчиво работает в режиме к. з. В режиме х. х. на элементах инвертора возникают опасные перенапряжения.

Универсальный тиристорный выпрямитель ВДУ4-301У3

Схема универсального тиристорного выпрямителя ВДУ4-301У3 приведена на рисунке 80. На схеме: R3 – балластное сопротивление;

L1 – C1, C2 – выполняют роль фильтра на входе инвертора; R1, R2 – для разряда C1, C2 после выключения источника.

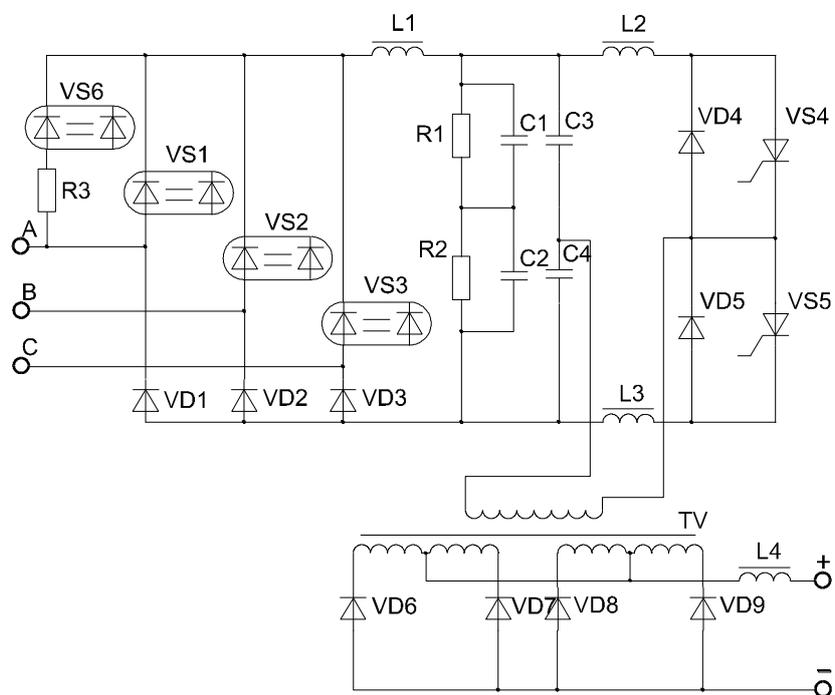


Рисунок 80 – Схема ВДУ4-301УЗ

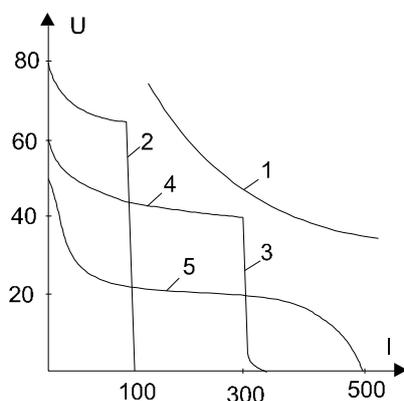


Рисунок 81 – Внешние характеристики

Работа схемы.

Включение выпрямителя начинается с заряда C1, C2 с помощью оптотиристора VS6, после чего через 3 сек запускаются оптотиристоры VS1-VS3. Переменный ток со вторичной обмотки

выпрямляется выпрямителем, состоящим из двух однофазных выпрямителей с нулевой точкой.

Естественная внешняя характеристика резонансного инвертора имеет вид кривой 1 на рисунке 81. Система управления формирует огибающую характеристику, соответствующую безопасному режиму работы инвертора. При этом ограничивается ток к. з. и исключается возможность работы на х. х. при максимальной частоте инвертора, когда амплитудное напряжение на отдельных элементах достигает 1000 В. За счет обратной связи по току и напряжению формируются круто падающие характеристики (2,3) и жесткие (4,5) – для механизированной сварки в CO_2 .

Система управления обеспечивает форсирование тока при начале зажигания дуги за счет задержки действия обратной связи по току. Предусмотрено форсирование режима при технологическом к. з. при переносе электродного металла.

Высокой степенью совершенства обладают универсальные источники PSS-3500, PSS-5000 (КЕМППИ – финская фирма). Они положены в основу мультисистемы, в которой на базе общего источника могут комплектоваться сварочные установки четырех разных типов.

1. В простейшем случае один источник используется для ручной дуговой сварки.
2. Источник выполняется с осциллятором, а также газовой аппаратурой и горелкой для аргонно-дуговой сварки. В этом варианте кроме постоянного тока возможна сварка алюминиевых сплавов знакопеременными прямоугольными импульсами регулируемой амплитуды и длительности.
3. Установка комплектуется приводом подачи электродной проволоки и становится пригодной для механизированной сварки в защитном газе CO_2 .
4. Последняя установка дополняется блоком импульсов для сварки плавящимся электродом в инертном газе с управляемым переносом.

Инверторный выпрямитель LHL-315

Производитель шведская фирма ЭСАБ. Схема показана на рисунке 82. Инвертор имеет два одинаковых параллельно соединенных конвертора А1, А2, каждый из которых собран по однотактной полумостовой схеме. В каждом плече установлено по шесть быстродействующих МОП транзисторов. В каждом диодном плече по одному высокочастотному диоду.

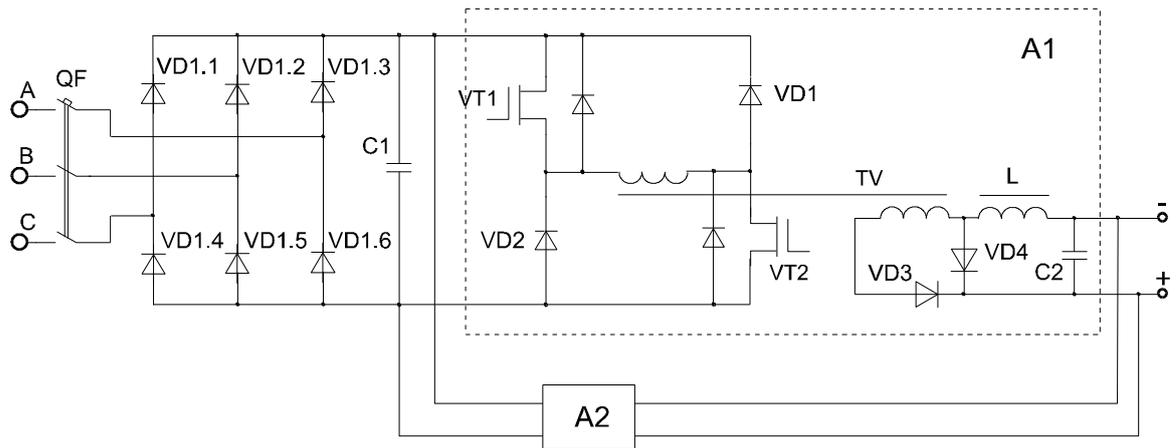


Рисунок 82 – Схема LHL-315

Выпрямитель предназначен для ручной сварки покрытым электродом и имеет крутопадающую внешнюю характеристику сформированную системой управления. По такой же схеме, но с одним одноканальным инвертором выполнен портативный выпрямитель КЭДД4, массой 11 кг, с номинальным током 40 А и питанием от однофазной сети 220 В.

Некоторые сведения о последующих разработках

Транзисторные инверторы обладают большой гибкостью управления, небольшими габаритами и весом, но имеют высокую стоимость.

1. Выпрямитель LUC-500. Производитель – фирма ЭСАБ. Это универсальный источник для ручной сварки и сварки в защитных газах, в том числе для импульсно-дуговой сварки. Инвертор работает на частоте 48 кГц (на мощных МОП транзисторах), поэтому габариты трансформатора не большие. Источник снабжен микропроцессорным устройством, реализующим принцип автоматической настройки режима по математической модели. Из предлагаемого в устройстве меню сварщик выбирает тип переноса металла (с коротким замыканием капли, струйный перенос, и т.д.). Марку и диаметр проволоки и тип защитного газа микропроцессор вычисляет по программе, заложенной в памяти и передает системе управления источника заданные значения напряжения х. х., частоты, амплитуды и длительности импульсов и пауз. Предусмотрено, чтобы сварка всегда заканчивалась мощным импульсом, сбрасывающим каплю с электрода.

Микропроцессор обеспечивает индикацию и хранение информации о режимах так, что параметры могут быть прочитаны и после сварки. При необходимости сварщик может вручную скорректировать параметры процесса, а подобранный режим (до 99 режимов) сохранить в памяти микропроцессора.

2. TS-330. Производитель – австрийская фирма ФРОНИУС. Рабочая частота 60 кгц. В памяти имеется 18 стандартных программ и до 22 подобранных сварщиком.
3. Отечественные источники с транзисторными инверторами СИ-005, СИ-200 (таблица 2). Используются биполярные транзисторы КТ-834 на ток 20 А.

Таблица 2

	СИ-005	СИ-200
Сварочный ток, А	110	200
Напряжение питания, В	220	380, трехфазное
Продолжительность нагрузки, %	60	40
диапазон сварочного тока, А	3÷110	10÷200
Напряжение холостого хода, В	55÷65	70÷80
габариты	360×160×250	360×219×275
Масса, кг	7	15

Микропроцессора, стандартных программ и памяти нет.

3.1.14 Многопостовые выпрямительные системы

Один источник питает много постов (от 2 до 30). Это обеспечивает экономию места, ресурсов, электроэнергии. Многопостовые выпрямительные системы изготавливаются на токи следующей шкалы 630-800-1000-1250-1600-2000-4000-5000 А.

По назначению их разделяют на следующие типы:

1. Для ручной сварки.
2. Для механизированной сварки в CO₂.
3. Универсальные.

Системы имеют общий источник, шинопровод, постовые устройства. Основная проблема – развязка постов.

Вариант 1 - питание всех постов постоянным током, схема представлена на рисунке 85. Характеристика общего источника должна быть жесткой (трансформатор с нормальным рассеянием), но в каждом посту должно быть устройство для регулирования:

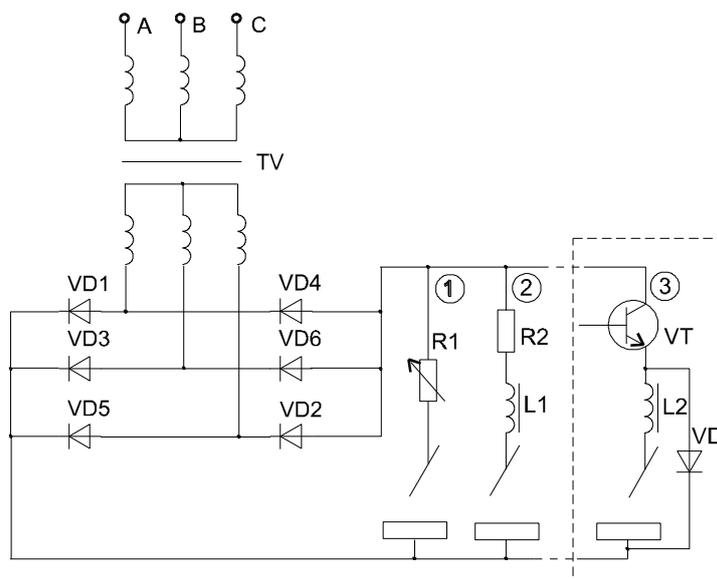


Рисунок 85 – Схема многопостового выпрямителя при питании постов постоянным током

1 – R1 балластный реостат; 2 – резистор R2 и дроссель L1 для регулирования не только статической, но и динамической характеристики источника; 3 – регулирование внешней характеристики поста с помощью транзистора VT, VD – обратный диод (предохранение транзистора от пробоя).

Вариант 2 - питание постов переменным током, схема представлена на рисунке 86.

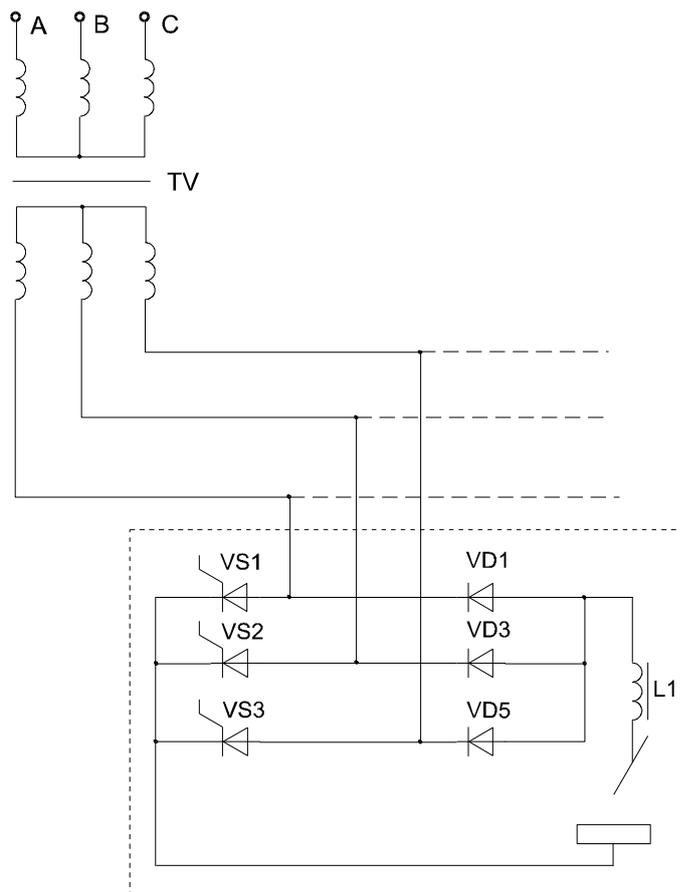


Рисунок 86 - Схема многопостового выпрямителя при питании постов переменным током

На каждом посту регулятор тока и напряжения. Источники включается не одновременно, следовательно меньше суммарное сечение проводов.

Недостатки: 1) меньше суммарный КПД (0.4÷0.75) за счет балластных реостатов; 2) выход из строя всего участка при выходе из строя одного поста.

Выпрямитель для ручной дуговой сварки ВДМ-1201

Источник имеет падающую характеристику, т.к. применяется для ручной сварки. М – многопостовой. Электрическая схема выпрямителя ВДМ-1201 приведена на рисунке 87.

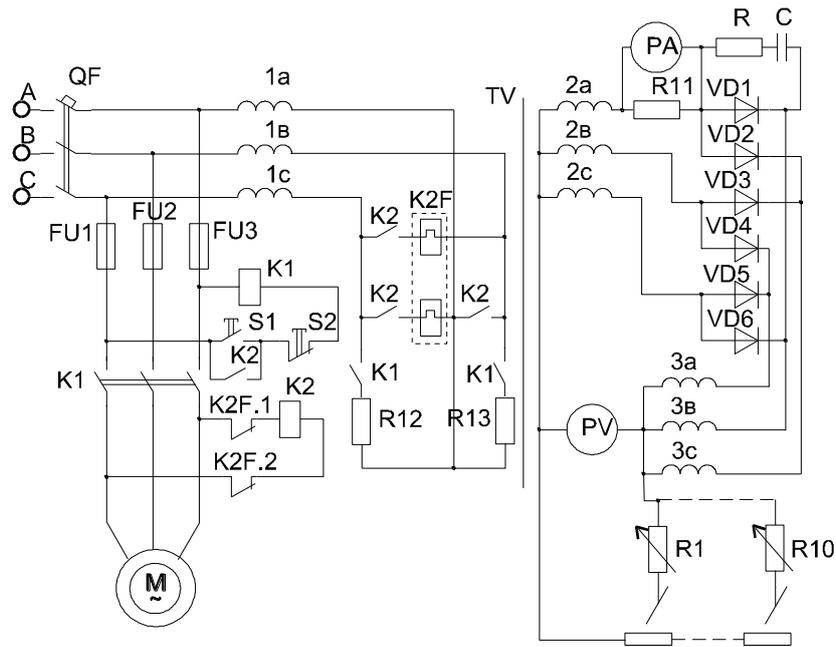


Рисунок 87 – Схема ВДМ-1201

Трансформатор TV имеет алюминиевую обмотку, которая дешевле медной. Первичная обмотка соединена в звезду. Вторичных обмотки две, каждая соединена в звезду.

Выпрямительный блок состоит из шести вентилях (400 А). Схема выпрямления - шестифазная кольцевая.

K1 – пускатель двигателя вентилятора (M). Контакты K1 через R2, R3 подают напряжение на трансформатор. Затем срабатывает K2 и его контакты замыкают концы первичной обмотки накоротко (по обмотке течет полный ток). Так исключается ложное срабатывание QF при бросках тока. Тепловые реле K2F предохраняют устройство от небольших, но длительных перегрузок. В составе выпрямителя имеется амперметр PA и вольтметр PV. На схеме показана одна из R-C цепей, защищающих вентили от коммутационных перенапряжений.

Выпрямитель комплектуется восемью балластными реостатами R1-R10. Тепловые реле K2F входят в состав пускателя K2.

Выпрямители для сварки в CO₂

Выпрямители для сварки в CO₂ должны иметь жесткие характеристики и должны удовлетворять более жестким требованиям, так как:

1. По технологическим соображениям не допускаются колебания рабочего напряжения более чем на 1.5 В. напряжение выпрямителя должно быть стабильно с точностью $\pm 5\%$, а внешняя характеристика должна иметь наклон не более 0.002 В/А.
2. Необходимо регулирование напряжения с кратностью 2.
3. Постовое устройство должно иметь ограничитель разбрызгивания металла.

В качестве многопостовых могут применяться универсальные выпрямители (ВДУ-1201, 1202, 1604). При этом используются жесткие характеристики с плавной регулировкой напряжения.

1.15.1. Источники с постовыми полупроводниковыми устройствами

Четырехпостовой источник ВДУМ-4×301 показан на рисунке 88. На каждом посту свой тиристорный регулятор (построен по трехфазной мостовой схеме с уравнительным реактором L). L2 – дроссель в сварочной цепи для уменьшения разбрызгивания.

В процессе работы возникают трудности с охлаждением тиристорных преобразователей. Все тиристорные преобразователи сосредоточены в одном корпусе и используют общий вентилятор, а к месту сварки вынесены только блоки управления с регулятором тока. Блок управления формирует крутопадающую характеристику. Наклон 0.2÷0.7 В/А. Предусмотрено форсирование режима при зажигании дуги и снижение напряжения холостого хода с 80÷100 В до 12 В через 1 сек после ее обрыва. Допускается параллельная работа двух блоков с увеличением тока от 315 А до 500 А.

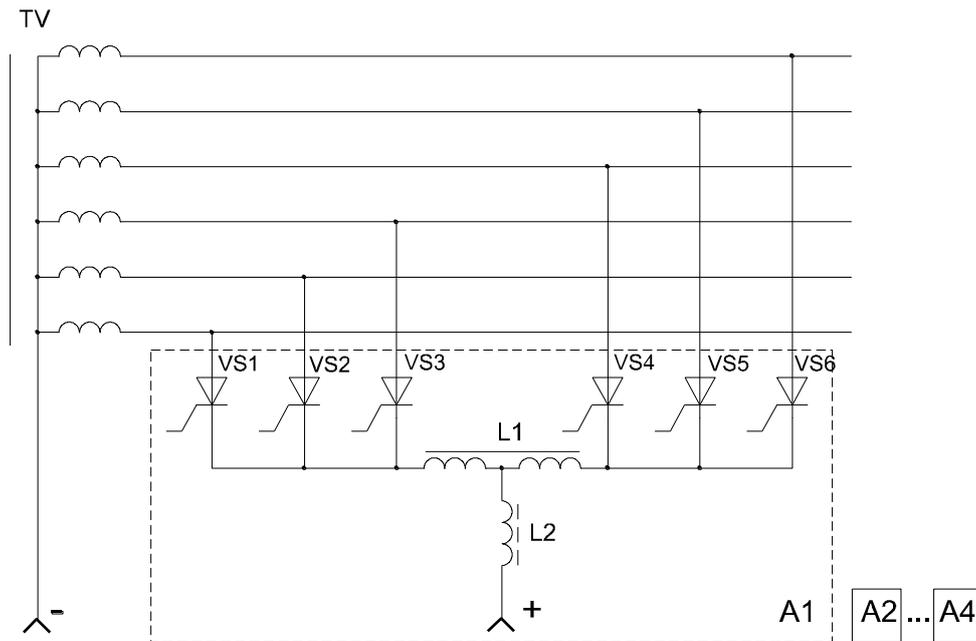


Рисунок 88 – Схема ВДУМ-4×301

1.15.2. Постовой полупроводниковый регулятор УР-301

Схема регулятора УР-301 показана на рисунке 89. На каждом посту стоит такой регулятор. Для уменьшения пульсаций сварочного напряжения используются два параллельных ключа на тиристорах VS1, VS2 (остальные коммутирующие).

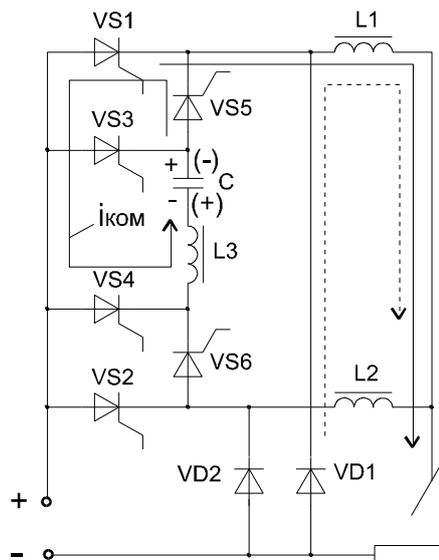


Рисунок 89 – Постовой регулятор УР-301

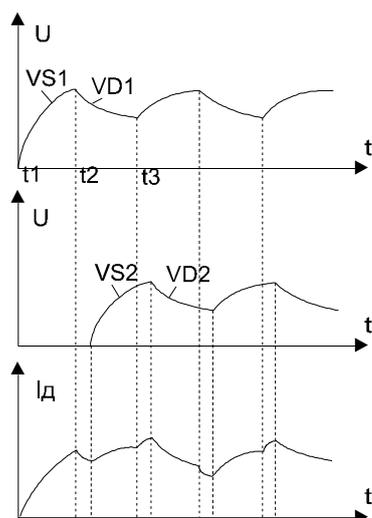


Рисунок 90 – Диаграммы работы
 I_d – ток дуги

В момент t_1 отпирается VS1, ток течет в нагрузку через L1 (сплошная линия). В момент t_2 включаются VS4, VS5 и происходит запираение VS1 за счет разряда коммутирующего конденсатора С – ток разряда $i_{ком}$. С момента t_2 , пока VS2 не открылся, ток в сварочной цепи создается за счет энергии дросселя L1 и тока протекающего через нулевой диод VD1 по цепи, показанной пунктиром.

Второе плечо (VS2, VS4) работает аналогично первому, но момент отпираения тиристоров сдвинут по отношению к VS1, VD1. Сварочный ток является суммой токов двух плеч. Система управления осуществляет широтное регулирование тока (за счет изменения интервалов времени) и формирует падающую характеристику. Диаграммы напряжений и токов показаны на рисунке 89.

Схемы с транзисторными постовыми регуляторами не нашли широкого применения из-за низкой надежности транзисторов (малые напряжение, ток).

1.15.3. Сварочные однопостовые генераторы постоянного тока

Сварочные генераторы постоянного тока могут использоваться в составе автономных источников (тепловой

двигатель + генератор) или в составе генераторных источников с приводным асинхронным двигателем, питаемым от сети.

Генератор:

1. Коллекторный.
2. Вентильный.

Для формирования внешних характеристик используется соответствующая обмотка возбуждения. Применяются генераторы с независимым возбуждением и с самовозбуждением.

Проблема – формирование динамических характеристик, т.е. заданных переходных процессов, которые зависят от индуктивности якорной цепи.

Коллекторные генераторы с падающими внешними характеристиками

Схема генератора с независимым возбуждением показана на рисунке 91.

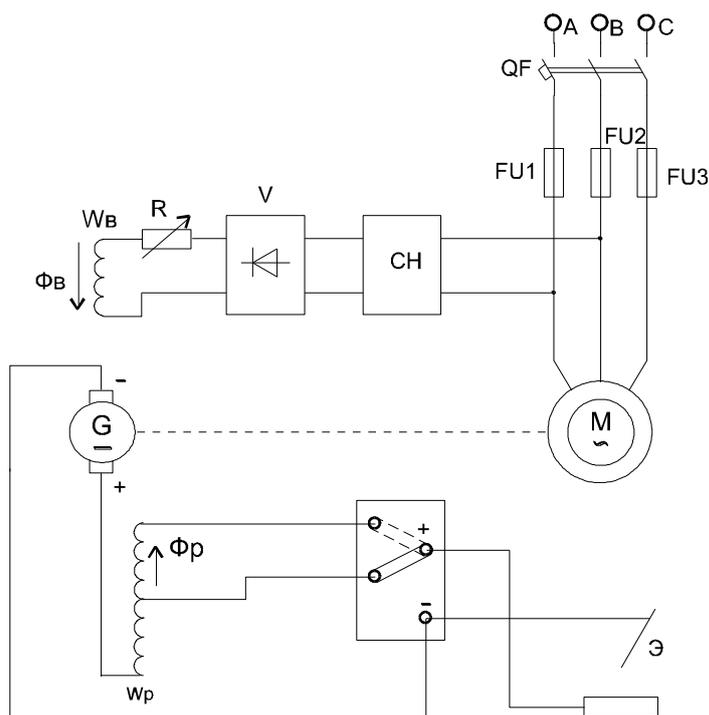


Рисунок 91 – Схема генератора с независимым возбуждением

Обмотка независимого возбуждения w_b питается от выпрямителя через стабилизатор напряжения СН. С помощью реостата R можно менять ток сварки. Рабочая обмотка последовательного возбуждения w_p включается в цепь сварочного

тока. Она является размагничивающей по отношению к независимой обмотке. Часть последовательной обмотки можно выключить. Если подключена вся последовательная обмотка, то размагничивающее действие ее увеличивается и возрастает наклон внешней характеристики.

Схема генератора с самовозбуждением ГСО-300 показана на рисунке 92.

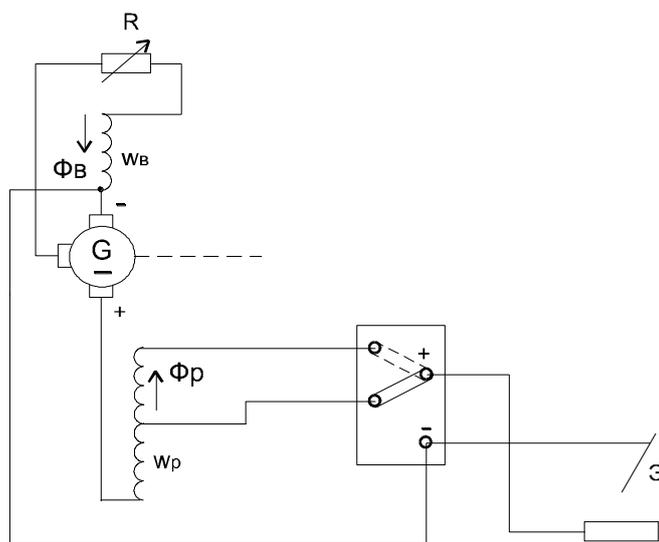


Рисунок 92 – Схема генератора с самовозбуждением

Имеется дополнительная щетка, с которой снимается половина напряжения. От этого напряжения питается обмотка возбуждения и обеспечивается самовозбуждение генератора. Генератор комплектуется асинхронным двигателем или двигателем внутреннего сгорания. Внешнего возбудителя не требуется. Регулируется число витков обмотки размагничивания, т. е. крутизна внешней характеристики. Напряжение регулируется с помощью реостата R.

Коллекторный генератор ГСГ-500 с жесткими внешними характеристиками

На рисунке 93 показана схема коллекторного генератора ГСГ-500, а на рисунке 94 – его устройство. Особенностью схемы является наличие дополнительной обмотки возбуждения, включенной параллельно основной. Магнитная система генератора выполнена асимметричной. Генератор имеет насыщающиеся полюса S_n , N_n и ненасыщающиеся полюса S, N. Пара насыщающихся

полюсов имеет расширенные наконечники, что увеличивает их насыщение. Насыщающиеся полюса служат для надежного самовозбуждения машины (для обеспечения необходимого остаточного намагничивания).

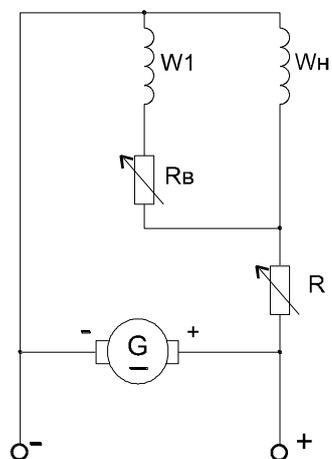


Рисунок 93 – Схема генератора ГСГ-500

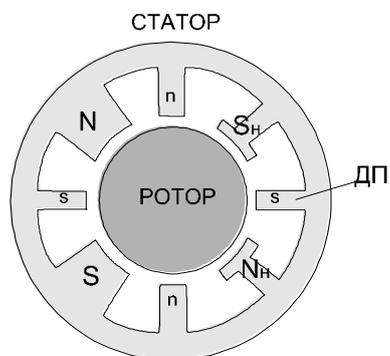


Рисунок 94 – Устройство генератора ГСГ-500

Обмотка w_1 расположена на ненасыщающихся полюсах, обмотка w_n - на насыщающихся полюсах. Дополнительные полюса ДП служат для улучшения коммутации и снижения искрения на коллекторе.

Внешние характеристики генератора ГСГ-500 являются жесткими. Применяется генератор для сварки в среде защитных газов. Пределы регулирования напряжения $16 \div 40$ В, тока $60 \div 500$ А. Напряжение регулируется с помощью $R_{в}$. Резистор R служит для подрегулировки на предприятии изготовителе.

Универсальные генераторы независимого возбуждения с последовательной обмоткой ГД-502, ГСУМ-400

Допускают работу как с падающими, так и с жесткими характеристиками. Принцип действия, электрическая схема, конструкция магнитной системы и размещение обмоток возбуждения у этих генераторов такие же, как у генератора ГСО-300. При включении последовательной размагничивающей обмотки получаются падающие характеристики, а при отключении ее - жесткие. Регулирование сварочного тока и напряжения ступенчатое - переключением секций обмоток возбуждения и плавное - изменением сопротивления переменного резистора в цепи

возбуждения в пределах одной секции. При работе с падающими характеристиками (рисунок 95) генератор имеет 4 ступени регулирования тока: 15÷39 А, 20÷60 А, 125÷400 А, 225÷500 А. При работе с жесткими характеристиками (рисунок 96) генератор имеет 2 ступени регулирования выходного напряжения: 15÷30 В, 25÷50 В.

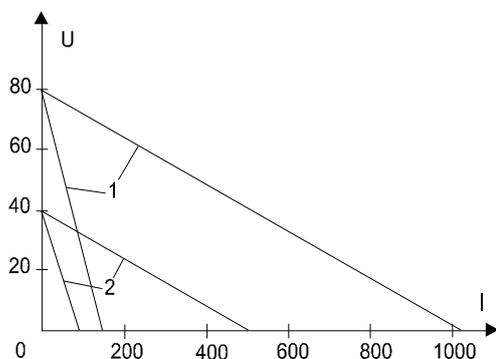


Рисунок 95 – Падающие внешние характеристики

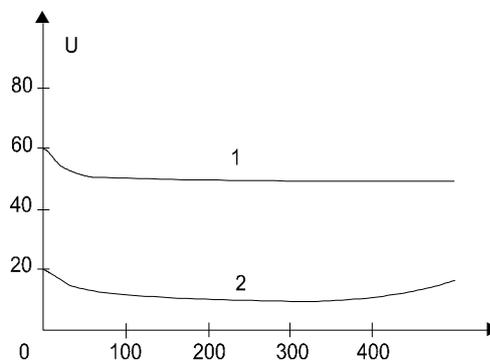


Рисунок 96 – Жесткие внешние характеристики

Вентильные генераторы с самовозбуждением

Схема генератора ГД-312 показана на рисунке 97.

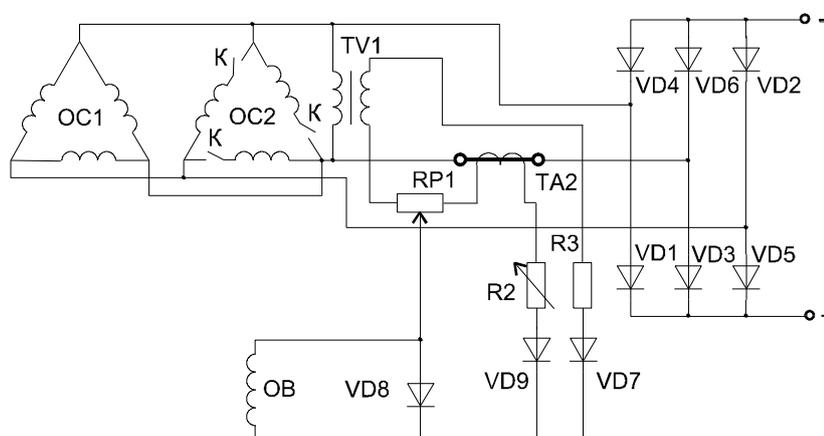


Рисунок 97 – Схема вентильного генератора

Генератор ГД-312 применяется для ручной сварки и резки металла. Состоит из синхронного генератора повышенной частоты и выпрямительного моста. Обмотка статора разделена на две части: ОС1 и ОС2. При разомкнутых контактах контактора К включена обмотка ОС1, которая обеспечивает диапазон малых токов 40-180 А. При замыкании контактов К обеспечивается параллельное

соединение ОС1 и ОС2 для токов 160-350 А. При скорости приводного двигателя 2000 об/мин частота фазного напряжения 133 гц. При скорости 2820 об/мин частота фазного напряжения 188 гц.

Выпрямитель собран на селеновых вентилях. Падающие внешние характеристики генератора получаются за счет больших индуктивных сопротивлений обмоток статора. Самовозбуждение происходит за счет остаточного намагничивания полюсов ротора. Диоды V7, V8 образуют однофазный однополупериодный выпрямитель с обратным диодом. С увеличением нагрузки подается дополнительное питание обмотки возбуждения от ТА2 через VD9. R2 позволяет регулировать наклон внешней характеристики. С помощью R1 регулируют напряжение холостого хода.

1.16. Специализированные источники питания сварочной дуги

Специализированные источники питания используются при сварке коррозионно-стойких сталей, цветных и легких металлов и их сплавов. Обычно применяется сварка в защитном газе (аргонодуговая сварка) неплавящимся электродом (вольфрамовый электрод). Источники питания должны обладать технологическими свойствами, обеспечивающими устойчивое горение дуги как постоянного, так и переменного тока в процессе возникновения различных возмущений как со стороны входа, так и выхода. Поэтому в отличие от источников питания, применяемых для сварки плавящимся электродом, рассматриваемые источники питания имеют обратные связи по питающему напряжению, по сварочному току и напряжению дуги.

В этих источниках питания для улучшения возбуждения сварочной дуги, ее стабилизации в процессе горения, а также плавного снижения сварочного тока при окончании сварки применяют различные вспомогательные устройства.

1.16.1. Вспомогательные устройства

К вспомогательным устройствам относятся осцилляторы, импульсные стабилизаторы горения дуги переменного тока, устройства для заварки кратера, регуляторы тока и напряжения, другие устройства.

Осцилляторы

При сварке неплавящимся электродом первоначальное возбуждение дуги с помощью осциллятора производится бесконтактным способом. В источниках постоянного тока осцилляторы применяются для первоначального возбуждения дуги. В источниках переменного тока как для первоначального возбуждения дуги после смены полярности (после перехода тока через ноль), так и для возбуждения дуги после короткого замыкания.

Применяются осцилляторы параллельного и последовательного включения.

1. Осциллятор параллельного включения - рисунок 98.

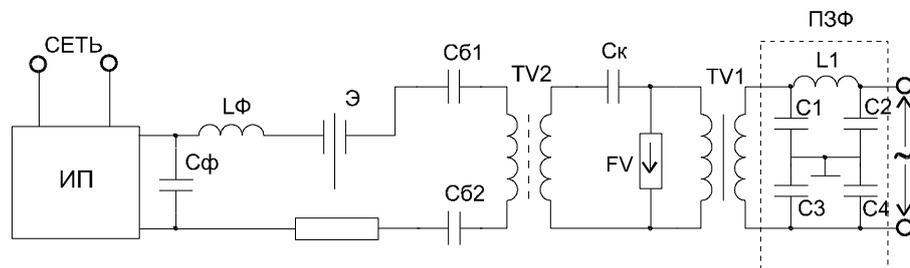


Рисунок 98 – Схема параллельного осциллятора

TV1 – повышающий трансформатор промышленной частоты, повышает напряжение до 3-6 кВ; ПЗФ – помехозащитный фильтр, защищает сеть от высокочастотных гармоник; FV – разрядник; $C_K L_K$ – колебательный контур; $C_б$ – блокирующие конденсаторы, отделяющие сварочную цепь от осциллятора.

Высоким напряжением со вторичной обмотки трансформатора TV1 заряжается C_K . По достижении определенного напряжения разрядник пробивается и в колебательном контуре C_K-L_K начинается колебательный процесс, который продолжается до полного затухания. Это происходит с высокой частотой (100-3000 кГц). Этот высокочастотный сигнал наводится на вторичную обмотку трансформатора TV2, пробивается межэлектродный промежуток, и в сварочной цепи появляется ток. Конденсаторы $C_б$ служат для защиты сварщика от высокого напряжения промышленной частоты в случае замыкания C_K . Фильтр $L_Ф C_Ф$ – защищает источник питания от высоковольтного высокочастотного сигнала.

Колебания в контуре C_K-L_K-F затухают приблизительно за 2 миллисекунды и, если осциллятор не выключают, то импульсы колебаний периодически повторяются после восстановления

электрической прочности разрядника F. Применяют обычно с источниками постоянного тока.

2. Осциллятор последовательного включения - рисунок 99.

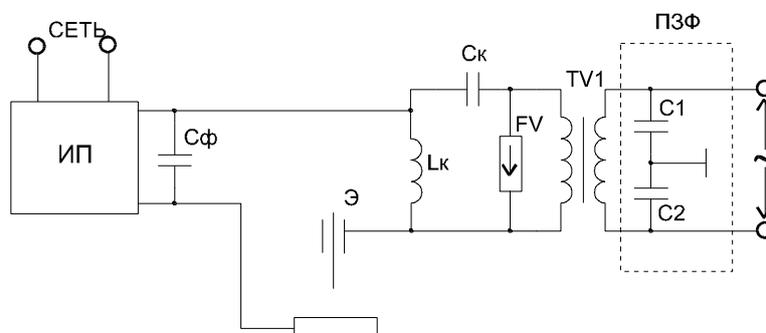


Рисунок 99 – Схема последовательного осциллятора
Дроссель L_k включается в сварочную цепь.

Устройство поджига дуги УПД-1

Устройство поджига дуги УПД-1 приведено на рисунке 100.

Предназначено для первоначального возбуждения дуги:

- 1) между электродом и изделием при газозлектродной сварке плавящимся электродом;
- 2) между электродом и соплом плазмотрона для плазменной сварки в среде защитного газа;
- 3) между электродом и соплом плазмотрона для воздушно-плазменной резки металлов.

Основные элементы схемы:

$L_2, L_3, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}$ – LC фильтр. C_1, R_1, R_2, R_3 – RC фильтр нижних частот, защищающий цепь от высокочастотных помех. $R_5-R_{16}, C_5, C_7, VD_3-VD_{16}, TV_2$ (импульсный трансформатор) – составляют схему управления тиристорами. C_3 и первичная обмотка трансформатора TV_1 образуют разрядный контур. L_1 – ограничивает скорость нарастания тока в контуре и предохраняет VS_1, VS_2 от перегрузки. C_4 служит для защиты тиристоров VS_1, VS_2 от перенапряжений, возникающих при коммутации. Вторичная обмотка TV_1 и C_6 образуют выходной контур. Назначение – обеспечивает формирование высоковольтного импульса (полярность импульса совпадает с полярностью сети).

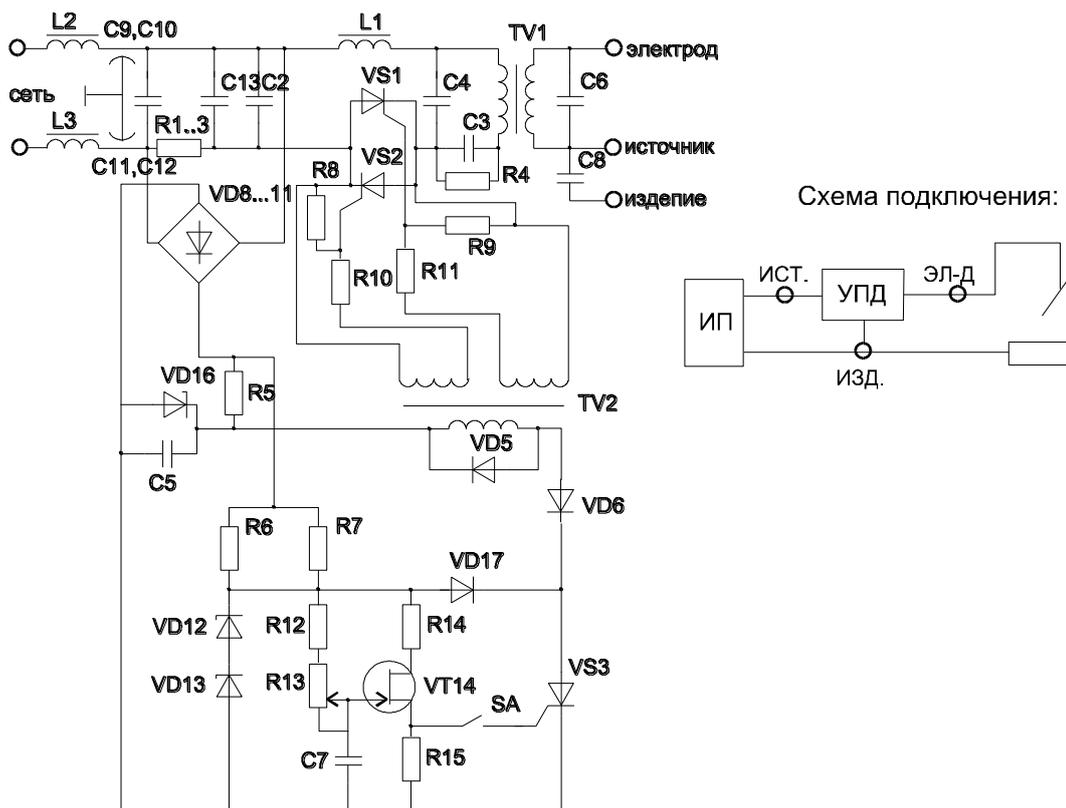


Рисунок 100 – Схема УПД-1

Работа схемы.

В момент времени, близкий к амплитудному значению напряжения сети, включается тиристор VS15 и со вторичных обмоток TV2 на тиристоры VS1, VS2 поступают управляющие импульсы. Включается тот тиристор, к аноду которого приложено прямое напряжение. В начальный момент конденсатор C3 не заряжен и все напряжение оказывается приложенным к первичной обмотке трансформатора TV1. Из-за малого индуктивного сопротивления обмотки по ней течет большой ток и сердечник трансформатора TV1 насыщается. По мере заряда конденсатора C3 ток уменьшается и в установившемся режиме конденсатор C3 заряжен практически до амплитудного значения напряжения сети. Тиристоры VS1, VS2 заперты.

В следующий полупериод питающего напряжения включается второй тиристор, что вызывает перезаряд конденсатора C3 через обмотку TV1. Выходной контур, образованный индуктивностью вторичной обмотки повышающего трансформатора TV1 и конденсатором C6 вырабатывает высоковольтные импульсы амплитудой приблизительно 4000 В (до 8000 В), следующих с

частотой 100 гц, длительностью около 15 микросекунд. Меняя положение движка R13, можно изменять зарядку конденсатора С7. Устройство начинает работу при замкнутом микропереключателе S1.

Данные на используемые элементы:

С6 конденсатор КВИ-3-12-1000 (12 кВ, 100 пФ).

С3, С10, С11, С12 – проходные конденсаторы (КТП-3АВ-М70-15000 пФ +80%, -20%).

Тиристоры VS1, VS2 – Т25, 8 класс, 25 А.

Стабилитроны VD12, VD13 – Т814Г, напряжение стабилизации 9-10.5 В.

Транзистор VT14 – КТ117Г.

VS15 – КУ202А, VS16 – В817Г.

1.16.2. Источники для сварки неплавящимся электродом

Сварочные установки серии УДГ

Функциональная схема сварочной установки УДГ-101 приведена на рисунке 101.

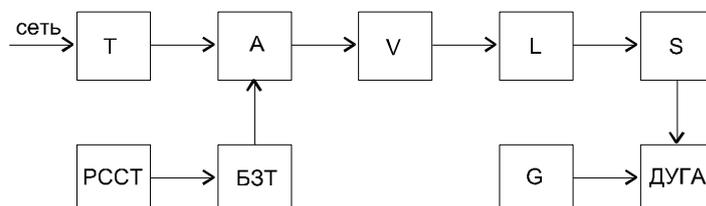


Рисунок 101 – Функциональная схема

Т – трансформатор; А – магнитный усилитель; V – выпрямитель; L – линейный дроссель; S – переключатель полярности; БЗТ – блок задания тока; G – осциллятор.

Трансформатор Т имеет жесткую внешнюю характеристику и две ступени регулирования за счет секционирования. Магнитный усилитель является нагрузкой трансформатора и предназначен для получения падающей внешней характеристики и плавного изменения сварочного тока. Нагрузкой трансформатора является трехфазный мостовой выпрямитель на полупроводниковых диодах.

Сварочная установка предназначена для сварки неплавящимся электродом коррозионно-стойких сталей (нержавейка) постоянным током в среде аргона.

Характеристики:

1. Сварочный ток от 2 А до 80 А.
2. Продолжительность нагрузки 60%.
3. Потребляемая мощность 7 кВА.
4. Масса 259 кг.

При сварке легких металлов и их сплавов постоянным током на их поверхности образуется тугоплавкая оксидная пленка, которая снижает качество сварных изделий из этих металлов. Поэтому их сваривают на переменном токе, что исключает появление оксидной пленки. Для сварки переменным током неплавящимся электродом изделий из легких металлов и сплавов в среде аргона применяются установки типа УДГ 301, 501. Их функциональная схема приведена на рисунке 102.

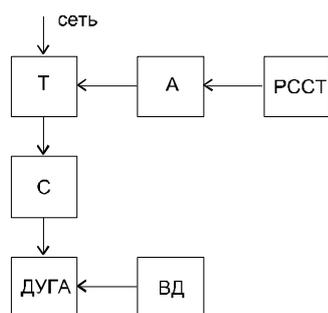


Рисунок 102 – Функциональная схема

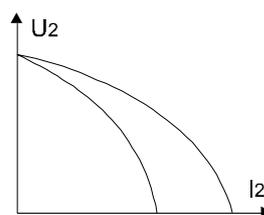


Рисунок 103 - Внешние характеристики

На функциональной схеме элемент Т – однофазный трансформатор с падающей внешней характеристикой, выполняющий функцию регулирования тока с помощью неподвижного подмагничивающего шунта. Он имеет две ступени регулирования – рисунок 103: 1) ступень больших токов при параллельном соединении обмоток; 2) ступень малых токов при последовательном соединении обмоток.

А – магнитный усилитель для управления током подмагничивания шунта.

РССТ – регулятор снижения сварочного тока (для заварки кратера). Время заварки кратера регулируется от 0 до 30 сек.

Батарея конденсаторов С препятствует прохождению постоянной составляющей несинусоидального сварочного тока во вторичную обмотку трансформатора Т. При сварке алюминия

приэлектродное падение напряжения резко изменяется и, чтобы пробить оксидную пленку, напряжение обратной полярности должно быть выше. Постоянная составляющая как раз и выделяется на конденсаторе С.

Блок возбуждения дуги ВД возбуждает сварочную дугу с помощью высоковольтных знакопеременных затухающих импульсов (осцилляторный режим) и поддерживает стабильное горение дуги с помощью низковольтных апериодичных импульсов тока (стабилизаторный режим). Генерация импульсов в обоих режимах происходит один раз за период во время положительной полярности на электроде, но с опережением во времени на 40-60 мксек относительно нулевого значения сварочного тока. Это - запускающие импульсы для возбуждения дуги.

Источник питания АП-5М

Функциональная схема источника питания АП-5М приведена на рисунке 104. Предназначается для аргонно-дуговой сварки коррозионно-стойких сталей и плазменной сварки цветных металлов. Имеет крутопадающую ВАХ. Сварка осуществляется неплавящимся электродом, постоянным непрерывным или импульсным током прямой и обратной полярности.

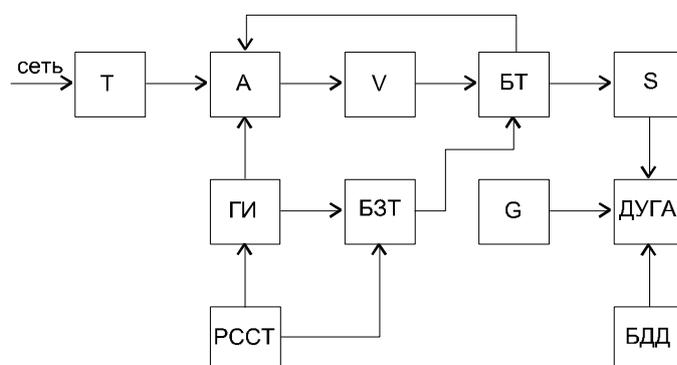


Рисунок 104 - Функциональная схема

Т – трансформатор промышленной частоты; А – дроссель насыщения (магнитный усилитель), включенный в анодной цепи неуправляемых кремниевых вентилей блока V (трехфазный мостовой выпрямитель); БТ – блок транзисторов, включен последовательно в сварочный контур; S – переключатель полярности; G – осциллятор; БДД - блок дежурной дуги; БЗТ - блок задания тока; ГИ – генератор импульсов; РССТ – регулятор снижения сварочного тока.

Блок транзисторов БТ предназначен для регулирования, стабилизации, импульсной модуляции сварочного тока. Транзисторы включены параллельно, регулирование длительности импульсов и пауз выполняется с частотой около 30 Гц. Ток поддерживается постоянным при изменении длины дуги и напряжения сети. Для избежания перегрева транзисторов введена обратная связь, поддерживающая между эмиттером и коллектором транзисторов минимальное напряжение (2.5-3)В.

Регулятор РССТ служит для заварки кратера в конце сварки. Заварка кратера производится как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Время заварки кратера регулируется от 0 до 30 сек.

Блок БДД - это вспомогательный источник питания, обеспечивающий горение дежурной дуги в период паузы при токе 1-2 А.

Характеристики:

1. Сварочный ток от 1.5 до 100 А.
2. Продолжительность нагрузки 60%.
3. Потребляемая мощность 4.5 кВА.
4. Масса 130 кг.

Источник питания ТИР-300Д

Функциональная схема источника ТИР-300Д приведена на рисунке 105. Источник предназначен для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом постоянным током или в импульсном режиме, а также для ручной сварки покрытыми электродами. При работе на постоянном токе применяется для сварки коррозионно-стойких сталей, цветных металлов и их сплавов, а при работе в импульсном режиме – для сварки легких металлов (алюминий, магний) и их сплавов.

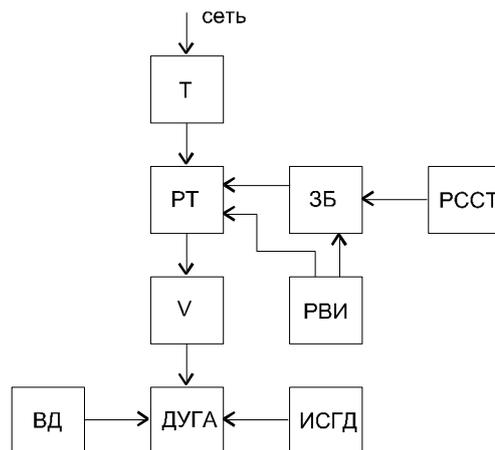


Рисунок 105 – Функциональная схема ТИР-300Д

Т – трансформатор с нормальным рассеянием; РТ – регулятор тока для получения падающей характеристики; V – выпрямитель; ЗБ – задающий блок; РВИ – регулятор временных интервалов; ИСГД – импульсный стабилизатор горения дуги; РССТ – регулятор снижения сварочного тока (для заварки кратера); ВД – возбудитель дуги, который может работать как в осцилляторном, так и в стабилизаторном режиме.

Регулятор тока РТ представляет собой дроссель насыщения и имеет разделенные рабочие обмотки, которые коммутируются тиристорами. ИСГД обеспечивает высокую стабильность горения дуги в импульсном режиме.

Характеристики:

4. Сварочный ток от 10 до 300 А.
5. Режим работы – продолжительный.
6. Потребляемая мощность 25 кВА.
4. Масса 480 кг.

1.16.3. Источник питания дуги переменного тока промышленной частоты с реактивным сопротивлением в сварочном контуре

Применяется для сварки плавящимся электродом тонколистовых изделий из алюминия, титана, сплавов, а также легированных сталей. При использовании этого источника удается избежать прожогов и деформаций, характерных при сварке тонколистовых изделий. В качестве защитной среды используется

аргон и его смеси с CO_2 и гелием. У этого источника дуга легко возбуждается без применения вспомогательных устройств при напряжении 40 В. Схема и внешние характеристики показаны соответственно на рисунках 106 и 107.



Рисунок 106 - Схема

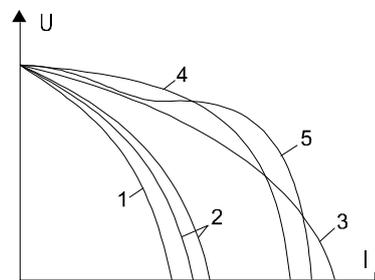


Рисунок 107 – Внешние характеристики

Характеристики 1 и 2 – $X_L > X_C$ и $X_C < X_L$ за счет того, что при отсутствии резонанса в цепи дуги появляется реактивное сопротивление $X_P = X_L - X_C$. При резонансе ($X_L = X_C$) реактивное сопротивление X_P равно нулю и ток ограничивается только сопротивлением проводов.

Характеристика 3 – при малых значениях X_P близких к резонансу.

Характеристика 4 – почти вертикальная в области рабочих напряжений при насыщении сердечника катушки дросселя.

Характеристика 5 – «седлообразная», когда с ростом тока X_L и X_C делаются равными из-за уменьшения X_L .

Рассмотрим характеристику 5. Сначала $X_L > X_C$, но близко к резонансу. Потом ток увеличивается и катушка индуктивности насыщается, следовательно, X_L уменьшается и $X_L \approx X_C$. В этот момент напряжение максимально. Далее X_L продолжает уменьшаться, $X_C > X_L$ и при больших токах характеристика становится падающей.

1.17. Полуавтоматы для дуговой сварки

В России 75% всей доли сварных работ осуществляется механизированной сваркой. Широкое применение этого вида сварки объясняется высокой маневренностью полуавтоматов, т.к. можно проводить сварку в труднодоступных местах, где нельзя применить сварочный автомат. Механизированная сварка широко применяется

на конвейерных линиях в машиностроении, для предварительной сварки и монтаже на стапелях в судостроении и др. областях.

Полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом на постоянном токе выпускают для сварки в защитных газах, под флюсом, без внешней защиты или универсальные.

Рабочий инструмент сварочного полуавтомата – сварочная горелка. Она предназначена для направления в зону сварочной дуги электродной проволоки, защитного газа или флюса. Горелки выпускаются с естественным и принудительным охлаждением. Наиболее ответственными элементами сварочной горелки являются сопло и токоподводящий наконечник. Через сопло к месту сварки подаются защитные газы. При силе тока 315А и более применяют водяное охлаждение сопла горелки. Газ в сварочную горелку поступает по гибкому шлангу. Газы, применяемые для защиты зоны сварочной дуги, находятся в баллонах в сжатом состоянии, под высоким давлением, кроме углекислого газа, который содержится в виде углекислоты в жидком состоянии.

Через токоподводящий наконечник к месту сварки подается проволока. Электродная проволока в сварочную горелку подается автоматически по специальному пустотелому шлангу, поэтому полуавтоматы называют шланговыми. Непрерывная подача проволоки к горелке осуществляется электродвигателем с помощью подающих роликов. Скорость подачи электродной проволоки обычно находится в диапазоне 100 – 1000 м./час. Скорость подачи электродной проволоки регулируют изменением частоты вращения электродвигателя в диапазоне 1:10 и более с помощью транзисторных и тиристорных регуляторов. В качестве электродвигателя постоянного тока в подающих механизмах электродной проволоки применяют высокоскоростные электродвигатели типа КПА или КПК с номинальной частотой вращения 5500 об/мин, а также электродвигатели типа Д-90 с номинальной частотой вращения 8000 об/мин. Потребляемая мощность электродвигателей постоянного тока, устанавливаемых в безредукторных механизмах подачи электродной проволоки, не превышает 80-180 Вт.

В современных шланговых полуавтоматах применяют унифицированные узлы. Например, установка для сварки вручную плавящимся электродом в углекислом газе содержит в своем составе источник питания и привод подачи сварочной проволоки. Возможны две компоновки:

1. Привод подачи проволоки прямо в источнике питания.
2. Блок с приводом, а источник отдельно.

В первом случае установка занимает меньше места, но в некоторых случаях требуется что-то одно: только источник питания или источник питания и привод.

1.18. Автоматы для дуговой сварки

Автоматы для дуговой сварки используются для сварки под флюсом и в среде защитного газа. В их состав входят источник питания, привод подачи проволоки и привод перемещения сварочной горелки. Автоматы обеспечивают следующие операции: подачу флюса или защитного газа в зону сварочной дуги; зажигание сварочной дуги; подачу электродной или присадочной проволоки в зону дуги по мере их оплавления; регулирование параметров сварочной дуги; перемещение сварочной дуги вдоль кромки шва; направление сварочной горелки вдоль шва; защиту зоны сварочной дуги от внешней среды; заварку кратера, гашение сварочной дуги и прекращение подачи флюса или защитного газа. Параметры сварочных автоматов для дуговой сварки плавящимся электродом регламентированы стандартом.

2. Оборудование контактной сварки

Контактная сварка это термомеханический процесс образования неразъемного соединения металлов вследствие сцепления их атомов, при котором локальный нагрев свариваемых деталей протекающим электрическим током в зоне соединения сопровождается пластической деформацией, развивающейся под действием сжимающего усилия. Межатомные связи при сварке различными способами возникают в твердой фазе или через жидкую прослойку расплавленного металла и сохраняется после охлаждения и кристаллизации.

Классификация современных способов контактной сварки.

1. По технологическому признаку:
 - точечная;
 - рельефная;
 - шовная;
 - стыковая.
2. По конструкции соединения:
 - нахлесточная;
 - стыковая и т. д.
3. По числу одновременно выполненных соединений:
 - одноточечная;
 - многоточечная;
 - многошовная и т. д.
4. По характеру перемещении деталей или электродов во время пропускания импульсов тока:
 - непрерывная;
 - шаговая;
 - шовная.
5. По способу подвода тока и форме импульсов тока:
 - контактный;
 - индукционный токоподвод;
 - сварка переменным током различных частот;
 - сварка постоянным током.

Способом контактной сварки соединения выполняются в жидкой (точечная, рельефная, шовная) или твердой (стыковая, некоторые виды рельефной) фазе. Обычно контактная сварка выполняется в воздушной среде, но в некоторых случаях место сварки защищают газами, флюсами и другими способами.

На рисунке 108 показаны способы сварки.

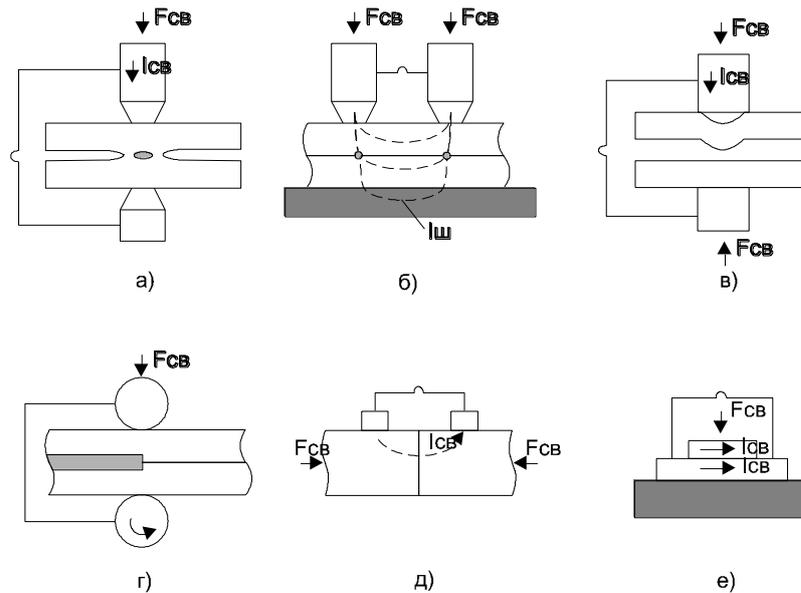


Рисунок 108 – Способы сварки

а) Детали сжимаются и нагреваются током до появления расплавленного ядра необходимого размера. Расплавленный металл этой зоны удерживается от выплеска и защищается от окружающей среды уплотняющим пояском нагретого и пластически деформированного металла.

По способу подвода тока точечная сварка может быть:

- двухсторонней;
- односторонней.

б) Для лучшего расплавления металла используют шунтирующий токоподвод.

в) Рельефная сварка. При этом способе необходимая высокая плотность тока создается не электродом, а формой детали в месте сварки.

г) Шовная сварка. Позволяет получить герметичный шов.

д) Стыковая сварка. Способ, при котором детали свариваются по всей поверхности их соприкосновения. Существуют два способа:

- оплавлением;
- сопротивлением.

При сварке сопротивлением соединение образуется в твердой фазе. В заключительной стадии иногда быстро повышают усилие сжатия производя осадку.

При сварке оплавлением торцы свариваемых деталей нагревают до расплавления, а затем под влиянием усилия осадки расплавленный металл выжимается из зоны стыка и сварка

происходит в основном в твердой фазе. В начале детали сближаются при незначительном усилии сжатия и включенном трансформаторе.

е) Разновидность стыковой сварки – продольная стыковая сварка, при которой детали нагревают электрическим током, проходящим параллельно плоскости соединения. Свариваемые детали сжимаются пуансоном, при этом происходит медленный нагрев. Поэтому места соединения необходимо защитить от воздуха флюсом или средой защитных газов.

Для нагрева при различных способах контактной сварки обычно используют переменный ток частотой 50 гц; иногда токи более высокой или низкой частоты. Применяют также импульсные униполярные токи, получаемые с помощью выпрямителей. Число и форма импульсов, действующая сила тока в каждом из них существенно влияет на характер нагрева.

2.1. Образование сварных соединений

Точечная, рельефная и шовная сварка.

При этих способах сварки условия образования сварных соединений аналогичны и состоят из четырех этапов.

1. На первом этапе свариваемые поверхности входят в соприкосновение при определенном усилии. Происходит деформация микронеровностей в местах контакта и частичное разрушение оксидных пленок. Соединение подготавливается к включению сварочного тока.
2. Второй этап начинается с момента включения сварочного тока и заканчивается началом расплавления литого ядра. Металл нагревается и расширяется в месте соединения. Развивается пластическая деформация, под влиянием которой металл вытесняется в зазор и образуется поясok, уплотняющий ядро.
3. Третий этап начинается с возникновения расплавленной зоны и ее увеличения до номинального диаметра литого ядра. На этом этапе происходит дробление и разрушение оксидных пленок, которые замешиваются в расплавленном металле ядра. Действие ЭДС способствует этому процессу и приводит к интенсивному перемешиванию жидкого металла и выравниванию состава ядра при сварке разнородных металлов. При перемешивании нерастворимые частицы оксидных пленок и загрязнений концентрируются на периферии расплавленного металла.
4. Четвертый этап начинается с момента выключения тока. На этом этапе происходит охлаждение и кристаллизация металла и проковка зоны сварки.

Стыковая сварка.

При сварке сопротивлением на первом подготовительном этапе детали входят в соприкосновение при значительном усилии. На втором этапе включают ток и торцовые поверхности соединения нагреваются до 0.8-0.9 от температуры плавления основного металла. Прилегающие зоны прогреваются на определенную глубину и происходит совместная пластическая деформация. При таком способе сварки происходит частичное выдавливание оксидов с торцов поверхности, но в точке соединения обычно остается часть оксидов, ухудшающих качество соединения.

При сварке оплавлением различают два способа:

1. С непрерывным оплавлением.
2. Оплавление с подогревом.

На первой стадии сварки оплавлением происходит соприкосновение торцов поверхности под небольшим усилием, достаточным для электрического контакта.

Вторая стадия – нагрев и оплавление зоны сварки. Температура торцов при нагреве и оплавлении близка к температуре плавления. Детали большого сечения перед этим этапом предварительно нагревают кратковременным замыканием торцов или токами высокой частоты через торцовый индуктор.

На третьей стадии происходит осадка. При быстром сближении торцов пленка расплавленного металла, покрывающая торцы, объединяется в общую жидкую прослойку и образуются общие связи в жидкой фазе. При дальнейшей осадке и пластической деформации жидкий металл выдавливается из зазора и соединение формируется уже в твердой фазе.

При сварке оплавлением удалить оксидные пленки легче. Большинство из них находятся на поверхности расплавленного металла. Пленки, покрывающие торцы металла легко удаляются при осадке вместе с расплавленным металлом.

2.2. Машины контактной сварки

2.2.1. Основные требования к контактными машинам

Машины разделяют по способам сварки:

- точечная;
- рельефная;
- шовная;
- стыковая.

Их изготавливают по требованиям ГОСТ 297-80. Для машин указывают несколько параметров.

Вторичный ток, который указывается двумя значениями: номинальный (расчетный) и наибольший кратковременный (ток к.з.). Кроме того, даются номинальные значения (или их пределы) следующих параметров: усилие сжатия, размеры выводов и их раствор, линейные скорости вращения электродов шовных машин, номинальное усилие осадки для стыковых машин и т. д.

Машины любого типа обозначают двумя или тремя буквами и цифрами. Первая буква М – машина. Вторая указывает способ сварки (Т – точечная, Р – рельефная, Ш – шовная, С – стыковая). Если в буквенное обозначение входит третья буква, то она указывает на характер импульса сварочного тока (Н – низкочастотный, К – разряд конденсатора, В – с выпрямителем во вторичном контуре). Для стыковой сварки С – сопротивлением, О – оплавлением. Третья буква может также указывать на особенность машины (Р – радиальная, П – подвесная).

Первые две или три цифры обозначают главный параметр – наибольший вторичный кратковременный ток в кА. Для стыковых машин, работающих оплавлением, обозначают усилие осадки в десятках кН. Остальные две цифры указывают номер, характеризующий конструктивные особенности машины. Затем дается тип климатического исполнения, группа машины, напряжение и частота питающей сети, номер технических условий или ГОСТ на контактную машину. Машины с повышенной стабильностью параметров принадлежат к группе А, остальные к группе Б.

Цифровые обозначения в машинах ранних выпусков соответствуют номинальной мощности (кВА). Пример: точечная машина МТП-75 имеет номинальную мощность 75кВА.

Специальные машины обозначают: К – контактная и трехзначной цифрой, указывающей на модель.

Сварочные машины рассчитаны на подключение к сети 380 В, 50 гц, за исключением машин небольшой мощности, которые могут быть изготовлены по специальному заказу на 220 В и мощных машин на 660 В.

Машина должна иметь достаточную глубину регулирования сварочного тока (для группы А не менее 2, для группы Б не менее 1.4). Машина снабжается отключающими устройствами, рассчитанными на максимальную мощность. Электроаппаратура машины должна работать при колебаниях напряжения сети ($-10 \div +5$)% от номинального напряжения. Допустимы отклонения сварочного тока при номинальных условиях в пределах $\pm 5\%$. У

стыковых машин для сварки оплавлением $\pm 8\%$. Усилие сжатия и осадки должны регулироваться в пределах не менее $1/4$. В шовных машинах регулирование скоростей вращения для машин прессового типа и с радиальным ходом должно быть в пределах соответственно $1/5$ и $1/2.5$. Отклонение скоростей допускается не более $\pm 10\%$.

2.2.2. Электрическая силовая часть машины

Особенности конструкции машины:

- 1) малое электрическое сопротивление сварочного контура;
- 2) большие токи (до 200 кА).

Требуется понижающий трансформатор (понижение напряжения до 1-25 В) с переключением ступеней путем изменения числа витков первичной обмотки. Аппаратура управления обеспечивает включение и выключение сварочного тока, плавное регулирование вторичного напряжения, задание последовательности всех или части операций сварочного цикла, а в некоторых случаях контролирует процесс по заданным параметрам.

В зависимости от способа получения сварочного тока контактные машины делят на:

- однофазные (переменного тока промышленной или повышенной частоты);
- трехфазные;
- низкочастотные;
- постоянного тока (с выпрямителем во вторичном контуре);
- с накоплением энергии (в конденсаторах, электромагнитных системах, вращающихся массах и аккумуляторах).

2.2.3. Однофазная машина переменного тока

Электрическая схема приведена на рисунке 109.

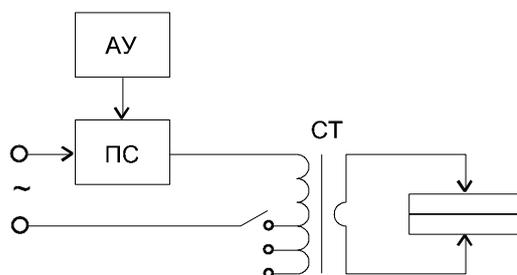


Рисунок 109 – Схема однофазной машины
АУ – аппаратура управления; СТ – сварочный трансформатор; ПС – переключатель ступеней.

Диаграммы тока приведены на рисунке 110.

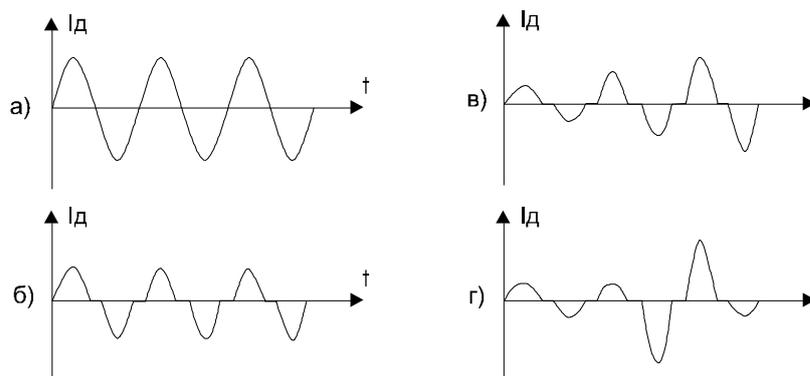


Рисунок 110 – Диаграммы работы

а), б) – установившийся ток сварки; в), г) - постепенное нарастание или спад тока или многоимпульсный ток с изменением формы импульса и силы тока.

Преимущества однофазных машин переменного тока:

- 1) простота;
- 2) возможность получения импульсов тока, различных по форме и длительности.

Недостатки:

- 1) неравномерная нагрузка фаз сети;
- 2) большие импульсы тока при включении машин значительной мощности;
- 3) низкий $\cos \varphi$.

2.2.4. Трехфазные низкочастотные машины

Электрическая схема низкочастотной трехфазной машины приведена на рисунке 111.

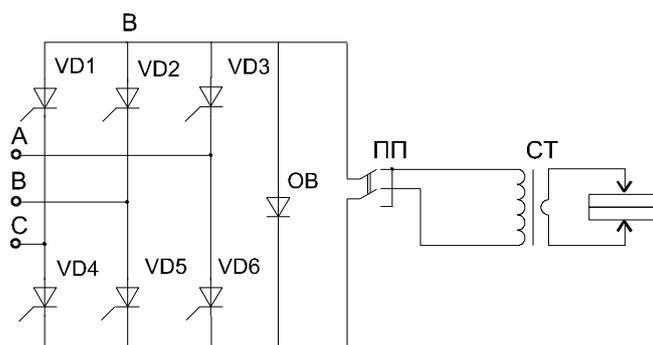


Рисунок 111 – Схема трехфазной машины

Ток промышленной частоты преобразуется в импульсы частотой 5-10 гц с помощью силового выпрямителя, собранного по трехфазной мостовой схеме. В качестве вентилей могут использоваться тиристоры. Выпрямитель подключается к первичной обмотке сварочного трансформатора СТ через электромагнитный контролер ПП (переключатель полярности). Контролер работает во время пауз между сварками и поочередно меняют полярность подаваемых импульсов тока. Это предотвращает насыщение магнитопровода трансформатора СТ. Длительность импульса сварки ограничена для каждой ступени трансформатора. При прохождении импульса тока энергия накапливается в магнитопроводе машины, поэтому при выключении тока он снижается до нуля постепенно. Обратный вентиль ОВ, который работает при выключении выпрямителя, предотвращает возникновение переходных процессов между сварочным трансформатором и выпрямителем.

Достоинства трехфазных низкочастотных машин:

1. Равномерная загрузка фаз сети.
2. Высокий $\cos \varphi$.
3. Снижение установленной мощности (относительно однофазных машин).
4. Благоприятная форма импульсов тока.

Недостатки:

1. Большой размер и масса трансформатора.
2. Сложная схема выпрямителя.
3. Ограниченное время включения выпрямителя (не более 0.5 сек).
4. Невозможность быстро менять форму импульсов тока, что препятствует созданию аппаратуры автоматического управления по стабилизации импульсов тока.

В настоящее время машины этого типа не выпускаются, но эксплуатируются.

2.2.5. Трехфазные машины постоянного тока (с выпрямлением тока во вторичном контуре)

Схема приведена на рисунке 112.

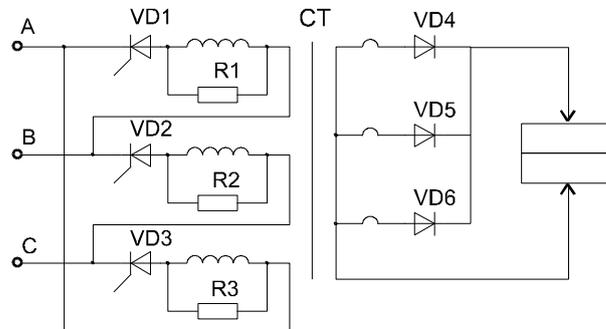


Рисунок 112 – Схема

Последовательно с первичными обмотками включены тиристоры, позволяющие плавно регулировать ток путем изменения их момента включения. Резисторы, включенные параллельно обмоткам, облегчают работу вентилях при коммутации. Диоды во вторичной цепи рассчитаны на импульсный ток 5-6 кА при прямом напряжении 1.6-2 В и обратное напряжение 50 В.

Несмотря на униполярное протекание тока в первичной обмотке, магнитные потоки в стержнях трехфазной магнитной системы не имеют постоянных составляющих, т. к. алгебраическая сумма магнитных потоков равна нулю и остаточного намагничивания не наблюдается. Источник при этом работает нормально при любой продолжительности импульсов. В зависимости от длительности паузы и угла включения тиристоров, включенных в первичную цепь обмоток трансформатора, импульсы тока будут иметь одну полярность и различные формы. Закон изменения тока:

$$I_2 = \left(\frac{U_2}{R_2} \right) \left(1 - e^{-t/\tau} \right); \quad (28)$$

$$\tau = \frac{L_2}{R_2}, \quad (29)$$

где L_2 , R_2 – приведенные сопротивления вторичной обмотки.

Наращивание тока продолжается 0.12-0.14 сек.

Достоинства трехфазных машин постоянного тока.

1. Равномерная нагрузка фаз цепи.
2. Более высокий $\cos \varphi$ (по сравнению с однофазными).

3. Благоприятная форма импульсов тока с широкими возможностями регулирования.
4. Отсутствие влияния на сварочный ток ферромагнитных масс свариваемых деталей.

Используются для точечной, рельефной, шовной и стыковой сварки.

2.2.6. Конденсаторные машины

Электрическая схема конденсаторной машины приведена на рисунке 113. В – выпрямитель, К – коммутатор, R_з – зарядный резистор.

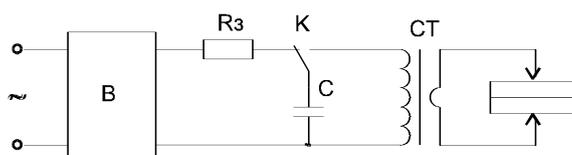


Рисунок 113 – Схема конденсаторной машины

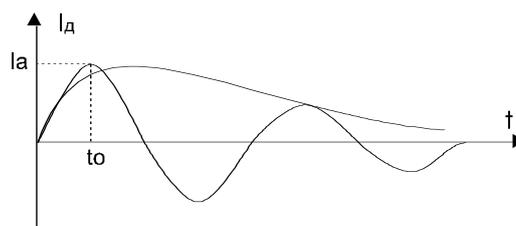


Рисунок 114 – Диаграммы изменения тока сварки

Используется промежуточный сварочный трансформатор СТ. В зависимости от R, L, C возможны следующие законы изменения тока сварки - рисунок 114:

- 1) неколебательный процесс;
- 2) колебательный процесс.

Время заряда конденсатора $t_3 = 3\tau_3 = 3R_3C$, энергия конденсатора $W_C = \frac{U_C^2}{2}$. Условие отсутствия колебательного процесса: $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.

При $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ возникает колебательный процесс.

Желательно, чтобы не было колебательных процессов. Величину и форму импульса регулируют изменением зарядного напряжения, коэффициента трансформации и емкости конденсатора C. При увеличении напряжения на конденсаторе увеличивается энергия, накопленная на конденсаторе и поэтому требуется конденсатор меньшей емкости. Если бы конденсатор был во

вторичной цепи, то пришлось бы применять вентили на более высокие токи, а они дорогие. Из технологических соображений иногда регулируют передний фронт импульса. Требуемую форму кривой тока сварочной цепи получают путем включения в разрядную цепь дополнительной реактивной катушки (увеличивают индуктивное сопротивление) с железным сердечником, имеющим небольшой зазор. Пока сердечник не насыщен скорость нарастания тока мала (τ велико). После насыщения катушка мало влияет на переходный процесс. Можно также включить несколько конденсаторов, имеющих разную емкость и зарядное напряжение. Подключая их поочередно, можно получить требуемую форму импульсов тока.

Достоинства конденсаторных машин:

1. Равномерное потребление энергии из сети.
2. Высокий $\cos \varphi$.
3. Возможность получения кратковременного импульса.

Недостатки:

1. Невозможность изменения силы тока в процессе сварки (при автоматическом управлении).
2. Громоздкость батарей конденсаторов в мощных машинах.

Конденсаторные машины применяются в точечной, рельефной сварке деталей небольшой толщины (до 0.7 мм) и точечной сварке алюминиевых деталей толщиной до 25 мм.

2.3. Аппаратура управления машинами контактной сварки

Рассмотрим назначение и структуру аппаратуры управления (АУ). АУ выполняет следующие функции:

1. Включение и выключение сварочного тока.
2. Регулирование силы тока.
3. Регулирование продолжительности и формы импульса.
4. Регулирование последовательности отдельных этапов цикла сварки.
5. Стабилизация параметров и режимов сварки.
6. Включение и регулирование усилия сжатия электродов, изменение скорости вращения роликов (шовные машины) или перемещения подвижной плиты (стыковые машины) и т. п.

В производстве эксплуатируются АУ нескольких поколений:

1. Аппаратура с релейно-контактными элементами, радиолампами, вакуумными вентилями.
2. Тиристоры, транзисторы, интегральные микросхемы.
3. БИС, элементы вычислительной техники.

- механические контакторы;
- электромагнитные контакторы;
- вентильные (ионные или тиристорные).

Механические контакторы раньше применялись в машинах малой мощности. Их контактная система работает от механизма создания усилия через систему тяг, рычагов, кулачков. Такие контакторы асинхронно включают сварочный ток. Контактная система быстро изнашивается из-за электрической дуги при разрыве цепи.

Электромагнитные контакторы по конструкции напоминают электромагнитные пускатели. Обычно однополюсные с улучшенной динамической характеристикой и устройством гашения дуги. Производительность, надежность низкая.

Электромагнитные контакторы используют в точечных машинах малой мощности и некоторых типов стыковых машин.

Контакторы игнитронные и тиристорные имеют по два вентилья, включенных встречно-параллельно. Тиристорные контакторы имеют срок службы до 12 тыс. час, малые габариты и массу, высокий КПД (падение напряжения на открытом тиристоре 0.5-1.5 В), могут эксплуатироваться в любом пространственном положении. Недостаток – чувствительны к перенапряжениям.

Игнитроны применяются в мощных машинах, малочувствительны к перегрузкам, но мала длительность работы из-за третьего включающего электрода. Срок службы ≈ 1000 час. Недостатки:

- большие габариты;
- требуют установки только в вертикальное положение (из-за ртути);
- низкая надежность;
- малый КПД.

Работают контакторы на R-L нагрузку. Включение и выключение такой нагрузки имеет особенности. Ток отстает от напряжения на угол $0-90^\circ$. Синхронное включение тока происходит при определенном постоянном $\angle \alpha$. При $\alpha > \varphi$ появляется свободная составляющая тока - рисунок 117. В течение первого полупериода $I > I_b$, а во втором $I < I_b$. Поэтому при $\alpha > \varphi$ возможен полуволновой эффект, когда при управлении узкими импульсами оказывается включенным только один из тиристоров за счет того, что к моменту включения второго тиристора первый не успевает закрыться. Наилучший эффект при $\alpha = \varphi$, т.к. включение происходит сразу на полный ток ($i_c = 0$).

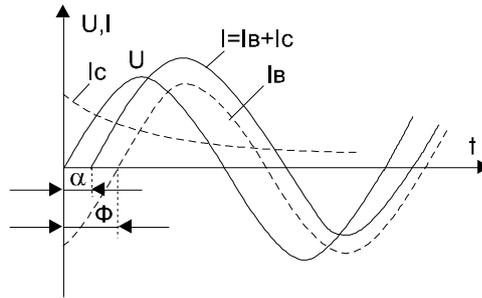


Рисунок 117 – Диаграммы напряжения и токов

При применении тиристорных контакторов происходит синхронное выключение, при котором тиристор выключается, когда ток спадает до нуля. Синхронный контактор должен отсчитывать четное число импульсов сварочного тока, что исключает подмагничивание сварочного трансформатора.

При асинхронном выключении (у механических и электромеханических контакторов) ток еще продолжает протекать некоторое время - рисунок 118. Следовательно, подгорают контакты, поэтому низкая надежность.

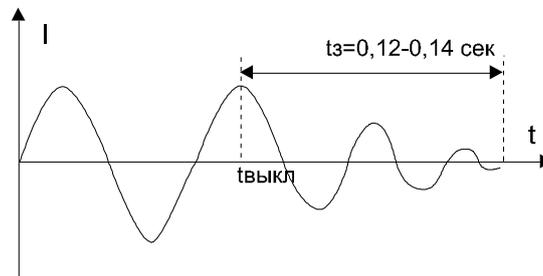


Рисунок 118 – Диаграмма тока

Схема тиристорного контактора приведена на рисунке 120.

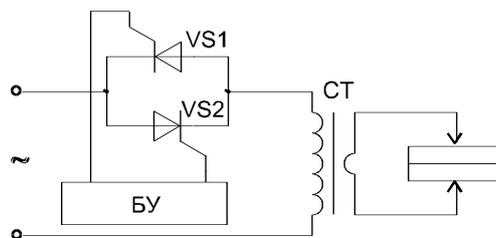


Рисунок 120 – Схема тиристорного контактора

Простейшая схема включения тиристоров с помощью контактов реле показана на рисунке 121.

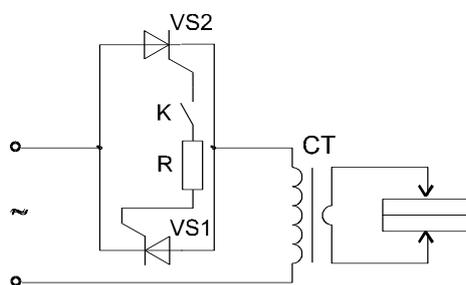


Рисунок 121 - Схема включения тиристоров

Тиристорные контакторы используют в машинах малой мощности. Тиристоры обычно имеют радиаторы с водяным охлаждением.

2.3.2. Аппаратура для управления циклом сварки контактных машин

Последовательность действия механизмов машины (особенно для точечной и рельефной сварки) обеспечивается регуляторами времени или регуляторами цикла сварки. Обычно применяют регуляторы, выполняющие жесткую программу, при которой число регулируемых интервалов (до 6) и их последовательность не меняют. Они обеспечивают один и тот же порядок включения машины, позволяя регулировать лишь время отдельных выдержек. Для отсчета времени используются реле времени (механические, пневматические, электронные).

Механические обычно используются для машин с электрическим приводом. Они представляют собой валик с несколькими насаженными на него кулачками. При вращении кулачки замыкают (размыкают) электрические контакты. Механические реле времени не пригодны для малых отсчетов времени, зато имеют высокую надежность.

Пневматические реле времени основаны на пропускании воздуха через калибровочные отверстия (набирает или сбрасывает давление и замыкается контакт). Применяются редко.

Электронные реле времени применяются наиболее часто. Бывают непрерывные или дискретные. Непрерывные используют заряд конденсатора через резистор, а дискретные подсчитывают импульсы.

напряжение с частотой 50 гц, связанное по фазе с напряжением питания. Со схемы И1 напряжение подается на Т3 и в момент первого пропадания напряжения на входе И1 срабатывает Т3. Напряжение левого плеча Т3 поступает через схему И2 на выдержку $2t$ (сварка). Одновременно напряжением на левом плече Т3 закрывается диод Д3 и на вход У2 поступает напряжение с фазовращателя 5. Импульсы с фазовращателя 5 включают тиристорный контактор. Через промежуток времени, установленный на выдержке времени $2t$ (сварка) на ее выходе появится напряжение, которое через Д5 поступает на правое плечо Т4 и открывает его. Т4 перебрасывается и с левого плеча напряжение подается на И3 и выдержку $3t$ (проковка). На схему И3 поступает также напряжение с Т2. Выходное напряжение схемы И3 перебрасывает Т3 в первоначальное состояние, а диод Д3 снова будет шунтировать импульсы с фазовращателя 5 и сварочный ток выключается (проковка). Через промежуток времени выдержки $3t$ (проковка) напряжение с ее выхода через диод Д2 поступает на правое плечо Т1 и переводит его в исходное состояние. При этом снимается напряжение с У1 и выдержки $1t$ (сжатие), клапан выключается, электроды поднимаются. Одновременно появляется напряжение на входе выдержки $1t$ (пауза) и через диод Д4 - на левом плече Т4, который возвращается в исходное состояние. На выходе выдержки $4t$ (пауза) через установленное время вновь появляется напряжение. Если К замкнут, то цикл повторяется.

Технические характеристики наиболее известных регуляторов

Таблица 3

Параметр	РЦС-301У4	РЦС-103У4	РЦС-502У4	БУ-5ИПС
Число интервалов цикла	3	4	5	6
Допустимые колебания напряжения сети, %	+5, -15	+10, -15	+10, -15	+5, -15
Принцип отсчета интервалов	Аналоговый с синхронизацией	Аналоговый с синхронизацией	Аналоговый с синхронизацией	Цифровой
Пределы регулирования интервалов, сек	0.06-3.5	0.02-2	0.02-2	0.02-2
Сварка				
Другие режимы	0.1-1	0.06-1.4	0.02-2	0.02-2
Исполнительное устройство для включения тока	Бесконтактное фазоимпульсное устройство	Бесконтактное фазоимпульсное устройство	Бесконтактное фазоимпульсное устройство	Бесконтактное фазоимпульсное устройство
Для включения клапана	Бесконтактный транзисторно-тиристорный ключ	Бесконтактный транзисторно-тиристорный ключ	Бесконтактный транзисторно-тиристорный ключ	Бесконтактный транзисторно-тиристорный ключ
Глубина регулирования сварочного тока, %	60-100	40-100	40-100	40-100
Модуляция сварочного тока, сек	-	-	Нарастание и спад, 0.4	Нарастание, 0.3
Стабилизация сварочного тока, %	-	-	±3	±3
Наибольшая производительность, цикл/мин	200	300	600	-
Масса	10	15	27	25

В РЦС-502 к четырем выдержкам добавлен интервал «Предварительное сжатие».

БУ-5ИПС обеспечивает пульсирующую сварку с регулируемым числом импульсов 1-10 сек с интервалом между импульсами 0.02-0.2 сек. Регулятор управляет двумя электропневматическими клапанами, обеспечивающими различные циклы изменения усилия на электродах. Возможны более сложные циклы, например: сжатие – подогрев – сварка – охлаждение – отжиг – пауза – задержка понижения давления – понижение давления – пауза.

2.3.3. Синхронные прерыватели

Это устройства для включения и выключения тока (контакторы), аппаратура для точного регулирования режима сварки (тока сварки и его продолжительности). Применяют для точечной и шовной сварки, когда к поддержанию режима предъявляются повышенные требования. Раньше выпускались прерыватели типа ПИТ, ПИШ. С 1985 г – ПК, ПКТ. Они могут работать в режимах точечной и шовной сварки.

В режиме точечной сварки прерыватель пропускает один импульс тока. Для следующего импульса надо разомкнуть и снова замкнуть цепь пуска. Точечные прерыватели обычно работают совместно с регуляторами цикла сварки.

В режиме шовной сварки прерыватель пропускает периодически повторяющиеся импульсы тока, разделенные паузой.

3. Установки для плазменной сварки и резки

Плазменная сварка или резка представляет собой разновидность электрической сварки или резки плавлением, выполняемых сжатой дугой, получаемой за счет интенсивного охлаждения сварочной дуги. Температура внутри сжатой дуги может изменяться в диапазоне 1000-30000⁰С. Для плазменной сварки или резки используют специальную горелку, называемую плазмотроном. Устройство плазмотрона показано на рисунке 123. Между электродом 1 и соплом 2 подается плазмообразующий газ ПОГ (аргон, гелий), между соплом 2 и корпусом 3 - защитный газ (аргон, гелий, углекислый газ, азот). Дуга возникает между электродом 1 и соплом 2.

В зависимости от материала изделия плазменную сварку проводят на постоянном токе прямой полярности (плюс на изделии) или в импульсном режиме.

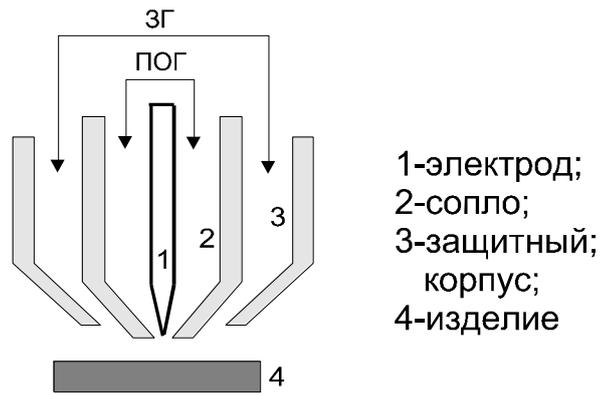


Рисунок 123 – Устройство плазмотрона

Схема установки плазменной резки показана на рисунке 124

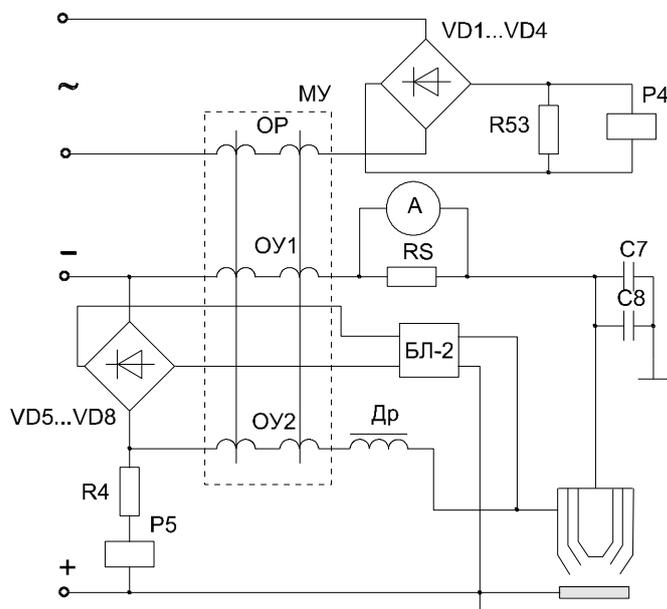


Рисунок 124 – Схема установки плазменной резки

Установка рассчитана на сварочный ток 500 А и имеет узлы и детали, унифицированные со сварочными автоматами. Предназначена для механизированной сварки постоянным током. На прямой полярности варят медь, латунь, нержавеющую сталь. В автоматическом режиме установка обеспечивает :

1. Возбуждение дуги.
2. Плавное увеличение сварочного тока после возбуждения основной дуги, включение механизма перемещения головки и механизма подачи присадочной проволоки с выдержкой времени.

3. Плавное снижение сварочного тока и скорости подачи присадочной проволоки в конце сварки.
4. Продувку газа после обрыва дуги.

Кроме того, обеспечивается ограничение времени работы блока возбудителя дуги (БЛ-2). Продолжительность включения 1 сек. Частота включения не более шести в минуту.

Работа установки в автоматическом режиме.

При нажатии кнопки ПУСК включается источник питания, реле Р5 и электро-газовый клапан ЭМ-1. Возбудитель дуги (БЛ-2) представляет собой генератор высокочастотных импульсов (осциллятор). Он питается от силовой цепи через диодный мост Д-30 (т. к. на БЛ-2 постоянная полярность). Одновременно в плазмотрон подается плазмообразующий и защитный газ. Высоковольтный разряд возбудителя проходит по цепи БЛ-2 – сопло-электрод – конденсаторы С7, С8 – земля. Конденсаторы С7, С8 пропускают высоковольтный импульс возбудителя шунтируют источник питания и защищают его от высоковольтного напряжения.

Дроссель Др препятствует разряду возбудителя через реле Р5 и R4. В промежутке электрод – сопло возбуждается дежурная дуга, ток которой ограничивается резистором R4. Дежурная дуга выдувается из сопла плазмотрона потоком плазмообразующего газа. При соприкосновении факела дежурной дуги с изделием возбуждается дуга между электродом и изделием - основная дуга. При этом нарушается баланс токов, проходящих через обмотки управления магнитного усилителя МУ – ОУ1, ОУ2, срабатывают реле Р4 и Р5, выключается возбудитель дуги. Идет плавное увеличение сварочного тока с заданной интенсивностью и с выдержкой времени включаются приводы перемещения сварочной головки и подачи присадочной проволоки – идет сварка.

Если в течение 1 секунды с момента нажатия кнопки ПУСК не зажглась основная дуга, то отключается источник питания и возбудитель дуги. Повторный пуск возможен только через 9 секунд. Кроме автоматического, предусмотрены также ручной и наладочный режимы.

Параметры режимов сварки раскрыты в таблице 4.

Таблица 4

Материал	Толщина, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона (защитный), л/мин	Расход аргона (плазмообразующий), л/мин	Полярность
АМГ-6	6	300-350	18-22	20-25	0.5-1.5	обратная

АМГ-6	10	350-380	13-15	20-25	0.5-1.5	обратная
АМГ-6	12	350-380	11-13	20-25	0.5-1.5	обратная
АМГ-6	16	400-450	6-8	20-25	0.5-1.5	обратная
М1	5	280-320	10-15	15-20	1.5-2	прямая
М1	6	420-450	5-6	15-20	1.2-2.5	прямая

АМГ-6 – алюминиевый сплав, М1 – медь.

Список литературы

1. Розаренов Ю.М. Оборудование для электрической сварки плавлением. Машиностроение, 1987.
2. Закс М.И., Каганский Б.А., Печенин А.А. Трансформаторы для электродуговой сварки. Энергоатомиздат, 1988.
3. Закс М.И. Сварочные выпрямители. Энергоатомиздат, 1983.
4. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги. Высшая школа, 1982.
5. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие /Под ред. В.В. Смирнова. Энергоатомиздат, 1986.
6. Малышев Б.Д., Мельник В.И., Гетия И.Г. Ручная дуговая сварка. Стройиздат, 1990.
7. Резницкий А.М., Коцюбинский В.С. Ремонт и наладка электросварочного оборудования. Машиностроение, 1991.