

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ

Источники питания для сварки

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ

1.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСТОЧНИКОВ

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

В прогнозах развития сварочного производства в России и за рубежом не отмечается существенного количественного роста производства сварочных источников — в этом нет необходимости. Основным направлением их развития является качественное совершенствование. Будет меняться структура выпуска источников, при этом существенно снизится доля трансформаторов, будет прекращен выпуск преобразователей. Существенно возрастет доля выпрямителей, особенно инверторных и транзисторных. Значительно увеличится номенклатура и объем выпуска специализированных источников. Непрерывно ведется работа по улучшению сварочных свойств источников. Наиболее важно решить вопросы улучшения возбуждения дуги и уменьшения разбрызгивания металла, управления переносом электродного металла и формированием шва.

1.2. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ИСТОЧНИКОВ

Источник питания входит в состав любой установки для дуговой и электрошлаковой сварки. Он снабжает дугу или электрошлаковый процесс электрической энергией необходимых параметров. При дуговой сварке применяются токи от 1 до 3000 А при напряжении от 8 до 140 В. Сварка может выполняться на постоянном и переменном токе как при непрерывной, так и при импульсной подаче энергии. В зависимости от вида электрической энергии и характера ее преобразования различают следующие типы источников питания.

Трансформатор понижает переменное напряжение сети до необходимого при сварке. Выпрямитель преобразует энергию сетевого переменного тока в энергию постоянного сварочного тока. Генератор преобразует механическую энергию вращения в электрическую энергию постоянного тока. Преобразователь является комбинацией трехфазного асинхронного двигателя переменного тока и сварочного генератора и, следовательно, преобразует сетевую энергию в используемую для сварки энергию постоянного тока.

Агрегат состоит из двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока, в нем для получения сварочного тока используется химическая энергия сгорания жидкого топлива.

Различают источники общепромышленного и специального назначения. К общепромышленным относятся источники для ручной сварки покрытыми электродами и механизированной сварки в углекислом газе и под флюсом, они предназначены в основном для сварки углеродистых и легированных сталей средней толщины. Специализированные источники разработаны для сварки тонколистовых изделий и цветных металлов, а также для выполнения процессов, родственных сварке — наплавка, напыление, резка. Эти источники отличаются относительной сложностью, насыщены элементами автоматики, обладают высокими сварочными свойствами.

2. СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

2.1.1. Статические характеристики источников

Внешняя вольт-амперная характеристика источника представляет собой зависимость $U_{и} = f(I_{д})$, которую в общем виде получим из анализа схемы энергетической системы «источник- дуга» (рис. 2.1,а). В ней источник имеет постоянную электродвижущую силу $E_{и}$ и внутреннее сопротивление $Z_{и}$, состоящее из активной $R_{и}$ и индуктивной $X_{и}$ составляющих. На внешних зажимах источника имеем напряжение $U_{и}$. В последовательно соединенной цепи «источник- дуга» идет сварочный ток $I_{д}$, одинаковый для дуги и источника. Нагрузкой источника является дуга с активным сопротивлением $R_{д}$, падение напряжения на ней $U_{д} = I_{д}R_{д}$.

Источник может работать в одном из трех режимов: холостой ход, нагрузка, короткое замыкание.

При холостом ходе дуга не горит, ток отсутствует ($I_d = 0$). В этом случае напряжение источника, называемое напряжением холостого хода, имеет максимальное значение $U_0 = U_o = E_u$.

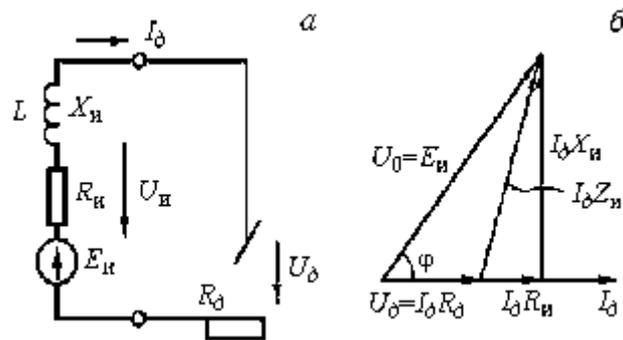


Рис.2.1.Обобщенная схема системы "источник-дуга" (а) и её векторная диаграмма (б)

При нагрузке по дуге и источнику идет ток I_d , напряжение U_u ниже, чем при холостом ходе, на величину падения напряжения внутри источника.

При коротком замыкании $U_d = 0$, поэтому и напряжение источника $U_u = 0$. Ток короткого замыкания $I_k = U_0 / Z_u$.

Экспериментально внешняя характеристика источника снимается измерением напряжения U_u и тока I_d при неизменных значениях U_0 , R_u , X_u и плавном изменении сопротивления нагрузки R_d , при этом дуга обычно имитируется линейным активным сопротивлением- балластным реостатом.

Графическое представление полученной зависимости $U_u = f(I_d)$ и есть внешняя вольт- амперная характеристика источника. При уменьшении сопротивления нагрузки R_d увеличивается ток I_d и снижается напряжение источника U_u . Таким образом, в общем случае внешняя вольт- амперная характеристика источника- падающая.

Внешняя ватт-амперная характеристика $P_u = f(I_d)$, построенная при тех же условиях, что и $U_u = f(I_d)$, показывает, как при изменении сопротивления нагрузки R_d (и тока I_d) будет меняться полезная активная мощность P_u , т.е. мощность, отдаваемая источником нагрузке. Максимум полезной мощности достигается при равенстве сопротивления нагрузки и источника ($R_d = Z_u$). Такой режим называют согласованным.

Оценим энергетическую эффективность различных источников и режимов их работы. Источник, рассчитанный для работы в согласованном режиме, наименее материалоемок, т.е. наиболее экономичен при изготовлении. Однако это не значит, что он также наиболее экономичен при эксплуатации.

Очевидно, что для повышения коэффициента полезного действия, т.е. повышения эффективности расходования энергии, следует уменьшать внутреннее сопротивление источника R_u и увеличивать сопротивление нагрузки R_d . Самый высокий коэффициент, близкий к 1, получается при самых малых сварочных токах, когда R_d приближается к бесконечности. В согласованном режиме коэффициент существенно ниже.

2.1.2. Динамические свойства источника

Переходные процессы в системе «источник постоянного тока — линейное активное сопротивление» проще, чем в системе с дугой, это облегчает анализ динамических свойств источника. Рассмотрим осциллограмму тока при переходе такой системы, показанной на рис. 2.1, от режима холостого хода к короткому замыканию, а затем к режиму нагрузки.

Переходные процессы в реальной системе «источник — дуга» чрезвычайно динамичны. Интер-валы установившегося состояния длятся не более нескольких секунд. Реальная осциллограмма сварочного тока выявляет непрерывную череду переходных процессов, редко завершающихся до конца, а зачастую накладывающихся друг на друга. Переходные процессы возникают как в результате целесообразных управляющих, так и вредных возмущающих воздействий. Управляющие воздействия со стороны сварщика вызывают переход от режима холостого хода к короткому замыканию и далее к режиму нагрузки, плавное снижение тока при удлинении дуги в конце сварки и т.д. Возмущающие воздействия могут быть внешними, такими, как колебания напряжения сети, или внутренними, возникающими, например, при капельном переносе электродного металла. Импульсные воздействия могут генерироваться источником для управления переносом электродного металла и формированием шва. Но чаще пульсирующий характер питающего напряжения считается недостатком, такое напряжение имеют, например, трехфазные сварочные выпрямители и особенно однофазные выпрямители без сглаживающего фильтра. В режиме непрерывного переходного процесса идет сварка дугой переменного тока. В этой связи возникает вопрос о правомерности понятия статической вольт- амперной характеристики применительно к источникам переменного и выпрямленного несглаженного тока. Однако доказано, что если статическая характеристика такого источника построена для действующих (или средних) значений тока и напряжения, то почти все выводы, полученные для источника постоянного тока, с известной точностью распространяются и на нее.

В простейших источниках необходимый уровень динамических свойств обеспечивался подбором таких

параметров источника, как напряжение холостого хода U_0 , внутреннее сопротивление Z_i , а также индуктивность сварочной цепи L .

Другой принцип (координатный) заключается в программном управлении, т.е. изменении тока и напряжения во времени в соответствии с жестким алгоритмом. Быстродействие таких систем связано с частотой срабатывания силовых элементов источника. Лучшим быстродействием обладают инверторные выпрямители, у которых на промежуточной стадии преобразования энергии частота достигает 1—100 кГц.

Развиваются также источники с обратными связями. В них с помощью датчиков тока и напряжения контролируется фактическое значение характеристик переходного процесса (пикового тока, длительности короткого замыкания и т.д.), а после сопоставления их с регламентированными значениями система управления воздействует на источник, приводя эти характеристики в норму. Этот принцип управления динамическими свойствами назван компенсационным.

Разумеется, в конкретном источнике могут сочетаться несколько принципов управления.

2.2. СВАРОЧНЫЕ СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ

2.2.1. Общее понятие о сварочных свойствах

Сварочное свойство источника — это зависящее от его электрических параметров качество выполнения им одной из функций, связанных с обеспечением технологического процесса сварки.

Назовем сварочные свойства в порядке перечисления соответствующих им функций источника.

Надежность зажигания дуги является важным свойством источника, поскольку влияет на качество начального участка шва, а при сварке короткими швами — и на производительность.

Устойчивость и стабильность процесса сварки оказывает непосредственное влияние на качество шва, постоянство его ширины и глубины проплавления.

Эффективность регулирования (настройки) параметров режима характеризует источник потому, что его регулятором настраиваются обычно сила тока или напряжение дуги, оказывающие влияние на производительность и качество сварки.

Характер переноса электродного металла в той степени, в которой зависит от источника, определяется параметрами режима, но особенно связан с величиной и скоростью изменения тока при технологических коротких замыканиях каплями электродного металла с поверхностью сварочной ванны. Желателен струйный или мелкокапельный перенос без чрезмерного разбрызгивания электродного металла.

Качество формирования шва от источника зависит косвенно и особенно связано с устойчивостью и стабильностью процесса сварки. Если процесс неустойчив, то в результате частых обрывов дуги получается неровный шов. В случае устойчивого, но нестабильного (по величине тока и напряжения) процесса также наблюдается непостоянство размеров шва, хотя и в меньшей степени, чем при неустойчивом процессе.

Критерии оценки сварочных свойств могут быть непосредственными и косвенными.

Оценка сварочных свойств источников выполняется в соответствии с ГОСТ 25616-83 «Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств»

2.2.2. Начальное зажигание дуги

Под начальным зажиганием дуги понимают процесс возбуждения дуги в начале сварки. От него нужно отличать повторное зажигание после случайных обрывов дуги, которое выполняется теми же способами, что и начальное, но происходит в более благоприятных условиях при уже разогретых электродах. Непосредственным критерием при оценке надежности начального зажигания принято считать процент успешных попыток или количество попыток до первой успешной.

Практическое применение при дуговой сварке нашли два способа начального зажигания:

- высоковольтным искровым разрядом,
- разрывом цепи короткого замыкания электрода на изделие.

Зажигание дуги высоковольтным разрядом иллюстрирует рис. 2.2. При этом параллельно основному источнику подключается вспомогательный высоковольтный источник малой мощности. По соображениям безопасности он выполняется импульсным или высокочастотным (частота $f > 100$ кГц). Назначение высоковольтного источника — пробить искрой, т.е. ионизировать межэлектродный промежуток, по которому затем пойдет ток от основного источника.

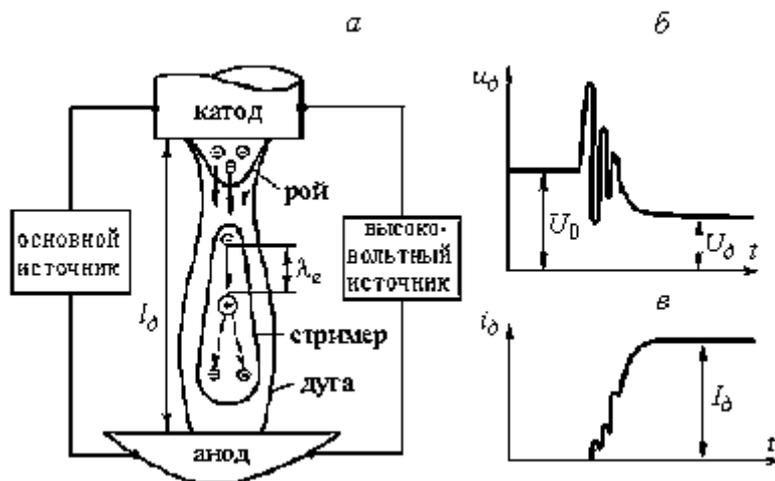


Рис.2.2. Схема процесса (а) и осциллограммы напряжения (б) и тока (в) при зажигании дуги высоковольтным разрядом

Для повышения надежности зажигания следует увеличивать напряжение высоковольтного источника $U_{ви}$ или снижать длину дуги $l_δ$. Напряженность поля, достаточная для пробоя высокочастотным разрядом воздуха между электродами при комнатной температуре и атмосферном давлении, составляет около 10 кВ/см. При распространенных длинах дуги 2 — 5 мм напряжение высоковольтного высокочастотного источника — осциллятора — должно составлять около 2000 — 5000 В.

Зажигание дуги разрывом цепи короткого замыкания внешне выглядит довольно просто (рис. 2.3). При замыкании электрода на изделие сопротивление нагрузки составляет всего 0,01 — 0,2 Ом, поэтому ток короткого замыкания достигает сотен ампер. С начала короткого замыкания (точка 1) напряжение источника резко снижается до сравнительно низкой величины $U_{ик} = 2 — 5$ В. Ток короткого замыкания быстро возрастает до пикового значения $I_{кп}$, а затем несколько снижается до установившегося значения I_k . Разрыв цепи короткого замыкания (точка 2) происходит через $t_k = 0,01 — 1$ с после начала процесса в результате отдергивания электрода или разрушения перемычек между электродом и изделием.

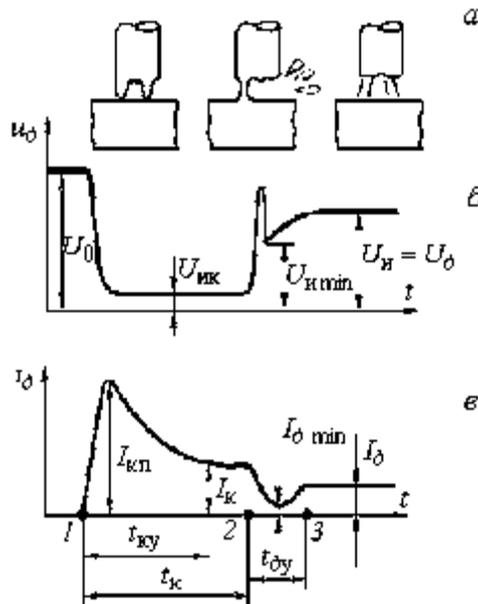


Рис.2.3. Стадии процесса (а) и осциллограммы напряжения (б) и тока (в) при зажигании дуги разрывом цепи короткого замыкания

Приведенные на рис. 2.3 осциллограммы получены при зажигании дуги с покрытым электродом от сварочного генератора. Однако установленные при этом качественные зависимости могут быть распространены и на другие типы источников и виды дуговой сварки.

Оценим условия надежного зажигания. На первой стадии необходимо обеспечить энергичный разрыв цепи короткого замыкания. При недостаточной плотности тока в электроде (менее 20 А/мм²) жидкие перемычки между электродом и изделием не взрываются, а, наоборот, застывают. «Примерзание» электрода можно предотвратить его резким отдергиванием или увеличением тока. Естественное превышение тока короткого замыкания I_k над

сварочным в 1,2 — 5 раз, наблюдающееся у большинства источников, благоприятствует надежному зажиганию. На второй стадии важно, чтобы напряжение источника было достаточным для питания дуги.

2.2.3. Принципиальная устойчивость системы «источник—дуга»

Дуговой разряд называется устойчивым, если он существует непрерывно в течение длительного времени без обрывов и коротких замыканий. Поэтому в качестве непосредственного критерия для оценки устойчивости можно принять частоту обрывов дуги или количество обрывов при полном расплавлении одного электрода. Устойчивость зависит как от технологических, так и электрических характеристик процесса.

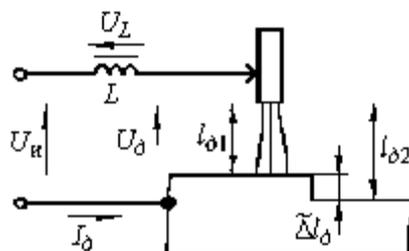


Рис.2.4. Система "источник - дуга" при малом возмущении по длине дуги

Сформулируем понятие принципиальной устойчивости энергетической системы «источник питания—дуга».

Система «источник—дуга» принципиально устойчива, если в результате отработки малых возмущений она приходит в установившееся состояние, характеризующееся равенством подаваемой и потребляемой энергии и малыми отклонениями тока и напряжения от исходного состояния.

Система «источник—дуга» устойчива при малых возмущениях, если разность дифференциальных сопротивлений дуги и источника в точке пересечения их характеристик положительна.

2.2.4. Устойчивость при значительных возмущениях

Выполнение условия принципиальной устойчивости системы «источник—дуга» необходимо, но не достаточно для обеспечения устойчивого горения дуги в реальных условиях сварки. После рассмотрения устойчивости «в малом» переходим к анализу устойчивости «в большом». При дуговой сварке наиболее значительными возмущениями являются колебания длины дуги. Чем больше удастся удлинить дугу без ее обрыва, тем устойчивей процесс.

Разрывная длина дуги для оценки эластичности обычно определяется в следующем эксперименте. Электрод зажимается в штативе, после чего возбуждается дуга. По мере плавления или медленного подъема электрода дуга непрерывно удлиняется вплоть до обрыва. Разрывная длина дуги l_{dp} , т.е. длина в момент, предшествующий обрыву, и принята в качестве непосредственного критерия устойчивости дуги при значительных ее колебаниях. Для анализа устойчивости «в большом» воспользуемся статическими характеристиками дуги $U_d = f(I_d)$ и источника $U_n = f(I_d)$ (рис. 2.5).

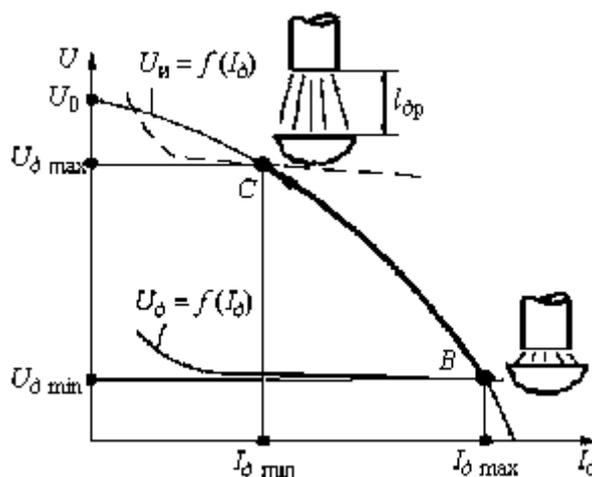


Рис.2.5. Схема эксперимента по оценке устойчивости при значительном удлинении дуги

2.2.5. Устойчивость при сварке с короткими замыканиями

При сварке плавящимся электродом возмущения вызываются капельным переносом электродного металла. Особые требования предъявляются к динамическим свойствам источника, если перенос сопровождается короткими замыканиями капли на изделие.

Характеристики переноса при естественных технологических коротких замыканиях иллюстрируются рис.2. 6. Такие замыкания характерны для механизированной сварки в углекислом газе от источника с низким напряжением. На стадии дугового разряда (1) происходит плавление электрода и образование капли. По мере роста капли при непрерывной подаче электрода длина дуги сокращается, а напряжение падает. Стадия дугового разряда продолжается в течение времени $t_d = 0,005 — 0,1$ с. Затем капля касается ванны расплавленного металла, при этом дуга гаснет, напряжение резко снижается, а ток возрастает — наступает стадия короткого замыкания. Ее длительность $t_k = 0,001 — 0,01$ с. В начале стадии короткого замыкания (2) капля касается ванны на очень небольшой площади. Искривление линий тока, проходящих через жидкую перемычку между каплей и ванной, вызывает появление электродинамических сил, сжимающих перемычку и препятствующих переходу капли в ванну. Но при благоприятном ходе процесса переноса капля сливается с ванной и перетекает в нее (3). Это приводит к образованию тонкой перемычки уже между каплей и электродом. Окончательное разрушение перемычки происходит под действием сжимающих электродинамических сил, а также благодаря перегреву и взрывному испарению металла перемычки при возрастании плотности тока в ней (4). После разрыва цепи короткого замыкания дуга повторно зажигается (5), при этом напряжение источника быстро восстанавливается до значения U_d , а ток снижается до $I_d \min$ с последующим плавным нарастанием до I_d . Описанные явления регулярно повторяются.

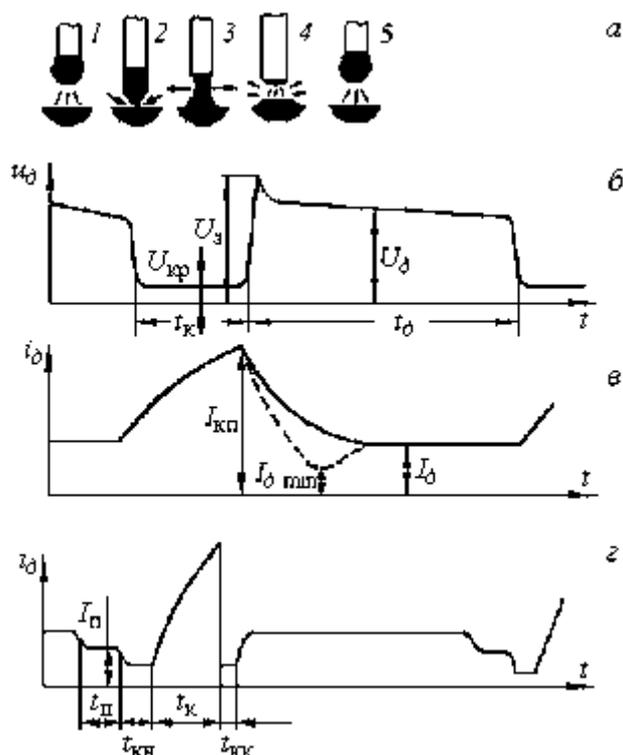


Рис.2.6. Процесс переноса капли с коротким замыканием (а) и осциллограммы напряжения и тока дуги при естественном (б,в) и управляемом (г) переносе

Такой процесс, несмотря на резкие изменения параметров, обеспечивает практически равномерное плавление электродного и основного металла и образование сплошного ровного шва, что позволяет говорить о технологической устойчивости процесса, не смешивая его с классическим понятием устойчивости как длительной неизменности характера электрических процессов.

Условием технологической устойчивости процесса с естественными короткими замыканиями следует считать регулярную смену стадий дугового разряда и короткого замыкания.

2.2.6. Стабильность параметров режима сварки

Если в системе «источник—дуга» обеспечена устойчивость в широком диапазоне возмущений, имеет смысл оценивать стабильность параметров режима — тока и напряжения. Отклонения силы тока от заданной сказываются на глубине провара, доле основного металла в шве и величине усиления шва. При увеличении тока глубина провара возрастает, что может привести к прожогам, при уменьшении тока возможен непровар корня шва. Отклонения напряжения дуги вызывают пропорциональные изменения ширины шва.

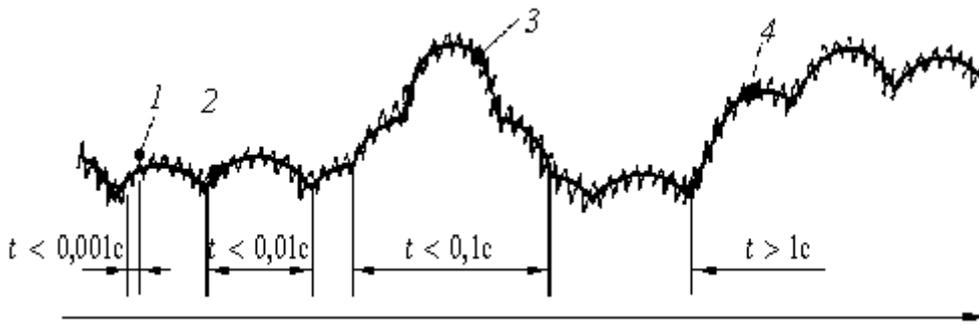


Рис.2.7. Осциллограмма тока при дуговой сварке с типичным возмущением

Возмущения, нарушающие стабильность параметров режима, могут иметь периодический, импульсный и скачкообразный характер (рис. 2.7).

2.2.7. Регулирование (настройка) режима сварки

Общий принцип настройки режима любых источников без обратных связей может быть изложен безотносительно к их устройству и принципу действия. Энергетические параметры режима сварки — сила тока I_d и напряжение дуги U_d — обычно настраиваются перед началом сварки с помощью регуляторов, имеющих в составе источника, воздействием на напряжение холостого хода источника U_0 или его внутреннее сопротивление Z_i .

Для увеличения силы тока нужно увеличить напряжение холостого хода U_0 или снизить сопротивление источника Z_i .

В общем случае и дуга, и источник являются нелинейными электрическими элементами, поэтому параметры режима определяют графически — по пересечению вольт-амперных характеристик источника и дуги (рис. 2.8). Поскольку из технологических соображений напряжение дуги с ростом тока обычно увеличивают, то характеристику дуги заменяют возрастающим графиком условной рабочей нагрузки $U_p = f(I_d)$. Источник можно характеризовать диапазоном регулирования тока $I_{d \min} - I_{d \max}$ или кратностью регулирования тока $I_{d \max} / I_{d \min}$.

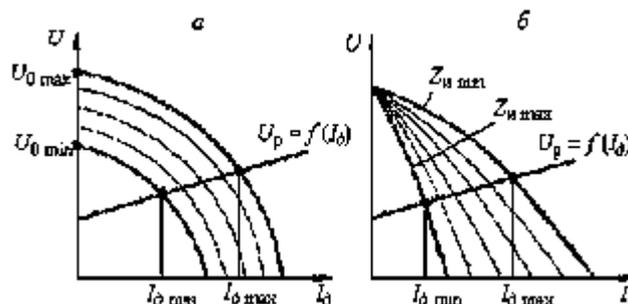


Рис.2.8. Внешние характеристики источника при настройке сварочного тока изменением напряжения холостого хода (а) и сопротивления (б) источника

Большинство серийных источников обеспечивает плавное регулирование, но иногда регулятор позволяет изменять U_0 или Z_i только дискретно. Например, число витков при витковом регулировании может быть только целым. В данном случае регулирование получается ступенчатым, при этом разрыв между смежными значениями токов не должен превышать 7,5 % большего из них. Для увеличения кратности регулирования плавное регулирование иногда дополняют ступенчатым на 2 — 3 ступени, при этом диапазоны регулирования ступеней должны перекрываться.

2.2.8. Автоматическое регулирование параметров режима

Автоматическое регулирование — процесс, при котором обеспечивается поддержание заданного значения регулируемого параметра с помощью специального регулятора благодаря действию обратных связей. Автоматические регуляторы в составе источников обычно предназначены для стабилизации их тока или напряжения.

Стабилизированный источник с обратной связью по силе сварочного тока. С датчика тока, например, шунта RS , снимается сигнал обратной связи в виде напряжения $U_{dм}$, пропорционального силе тока ($U_{dм} = I_d R$). Этот сигнал сопоставляется в устройстве сравнения УС с сигналом задания $U_{зт}$, пропорциональным необходимому току, и разность двух сигналов воздействует на напряжение холостого хода U_0 или сопротивление источника Z_i , а поэтому и на фактическое значение силы тока I_d .

Саморегулирование повышает запас устойчивости системы «источник—дуга», а при возмущении по длине дуги делает систему астатической, т.е. гарантирует после отработки возмущения полное восстановление длины дуги, а также ее напряжения и тока.

Успешно, хотя и со статической ошибкой, обрабатываются и другие возмущения — по напряжению сети, по скорости подачи проволоки и т.д. В системе АРДС отсутствует автоматический регулятор, но и сварщик в отличие от ручной сварки не может оказать корректирующее воздействие на процесс при появлении возмущения, следовательно, поддержание непрерывного горения дуги обеспечивается за счет специфических свойств элементов, входящих в систему.

Саморегулирование — это способность энергетической системы «источник—аппарат—дуга» без специального регулятора восстанавливать дуговой промежуток вследствие изменения скорости плавления электрода, т.е. поддерживать устойчивое горение дуги при умеренных возмущениях.

Система автоматического регулирования напряжения с воздействием на скорость подачи электродной проволоки показана на рис. 2.9. Здесь напряжение дуги U_d с помощью устройства сравнения УС сопоставляется с заданным напряжением U_{zn} , сформированным в задатчике напряжения ЗН. Разность $U_d - U_{zn}$ через усилитель У подается на якорь двигателя исполнительного механизма ИМ, который с помощью редуктора Р и подающего ролика перемещает проволоку со скоростью подачи V_n .

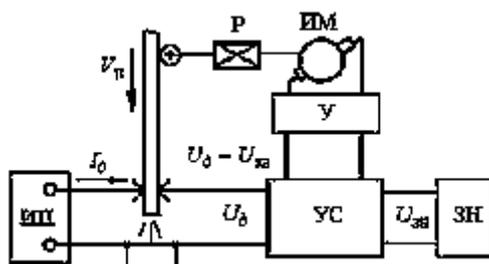


Рис.2.9. Блок-схема системы автоматического регулирования напряжения дуги

Система автоматического регулирования напряжения дуги обеспечивает устойчивое ее горение благодаря изменению скорости подачи электрода с целью восстановления дугового промежутка при умеренных возмущениях.

2.2.9. Управление переносом электродного металла

Механизм переноса электродного металла. Капля расплавленного металла на электроде находится под действием нескольких сил. Сила тяжести F_T направлена вниз, она зависит от диаметра капли d_k . Сила реактивного давления F_p паров испаряющегося металла отбрасывает каплю от ванны. Сила поверхностного натяжения F_n стремится уменьшить поверхность капли и поэтому препятствует ее отделению. Электродинамическая сила $F_{\text{э}}$ вызвана искривлением линий тока и пропорциональна квадрату силы тока, ее радиальная составляющая $F_{\text{эр}}$ стремится пережать шейку капли, а осевая составляющая $F_{\text{эо}}$ отбрасывает каплю к детали.

Разработано несколько технологических приемов для улучшения характера переноса. В тех случаях, когда нельзя увеличивать ток выше $I_{кр}$, можно обеспечить спокойный перенос крупных капель, переходя к обратной полярности дуги для уменьшения силы реактивного давления паров, используя электроды с основным или рутиловым покрытием. Другая группа приемов обеспечивает снижение $I_{кр}$ с тем, чтобы перенос имел струйный характер. С этой целью на поверхность электрода наносят вещества для снижения сил поверхностного натяжения и используют аргон и его смеси вместо активных газов, таких, как углекислый газ. Наконец, измельчению капель способствуют импульсные магнитные и механические воздействия, например, вибрация электрода.

2.2.10. Управление формированием сварного шва

Некоторые характеристики качества сварного шва прямо или косвенно зависят от свойств источника. Таковы количественные — глубина провара, ширина шва, высота усиления и качественные характеристики — подрезы, включения, чешуйчатость. При низких надежности зажигания и устойчивости процесса дуга горит с частыми и длительными перерывами, в результате образуется неровный шов с непроварами, перетяжками и включениями окислов и шлака. Например, при сварке электродами с фтористо-кальциевым покрытием обрыв дуги длительностью более 0,3 с уже приводит к образованию пор в шве. При устойчивом, но нестабильном процессе дефекты формы не столь значительны, но все же заметны. Они обнаруживаются при отклонении тока и напряжения длительностью более 1 с.

Программное управление отдельными стадиями процесса сварки предполагает задание длительности нарастания тока $t_{нар}$ в начале и длительности спада $t_{спад}$ в конце сварки. Плавное нарастание тока в начале бывает полезно при механизированной сварке тонкого металла, чтобы предотвратить начальный прожог при медленном

трогании сварочного аппарата. Плавное снижение тока в конце сварки используется особенно широко с целью постепенного заполнения кратера шва при механизированной сварке неплавящимся электродом.

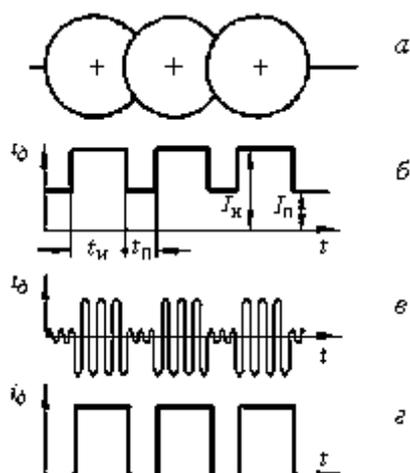


Рис.2.10. Схема формирования шва (а) и осциллограммы тока (б,в,г.) при сварке пульсирующей дугой

Сварка пульсирующей дугой рекомендуется для соединения деталей малой толщины при использовании покрытых и неплавящихся электродов. В отличие от импульсно-дуговой сварки с управляемым переносом здесь импульсы имеют вид, позволяющий управлять формированием шва на весу (рис. 2.10,б). За время импульса t_n на изделии образуется круглая ванночка небольших размеров, металл которой в течении паузы $t_п$ успевает закристаллизоваться. Параметры импульса — ток I_n и время t_n — подбираются так, чтобы обеспечить полное проплавление без прожога изделия, а параметры паузы — в основном время $t_п$ — так, чтобы гарантировать перекрытие ванночек для получения сплошного шва (рис. 2.10,а).

2.3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

2.3.1. Источники для ручной сварки покрытыми электродами

Охарактеризуем условия сварки, оказывающие влияние на выбор источника. Ручная сварка производится покрытыми электродами диаметром от 2 до 6 мм на токах от 50 до 350 А при напряжении от 20 до 40 В. Зажигание дуги выполняется разрывом цепи короткого замыкания—«отдергиванием» или «чирканьем», сварку сопровождают значительные колебания длины дуги. Вольт-амперная характеристика дуги при ручной сварке имеет падающий и жесткий участки (рис. 2.11,а). На падающем участке дифференциальное сопротивление дуги достигает $r_d = -0,1$ В/А, на основном (жестком) $r_d \sim 0$.

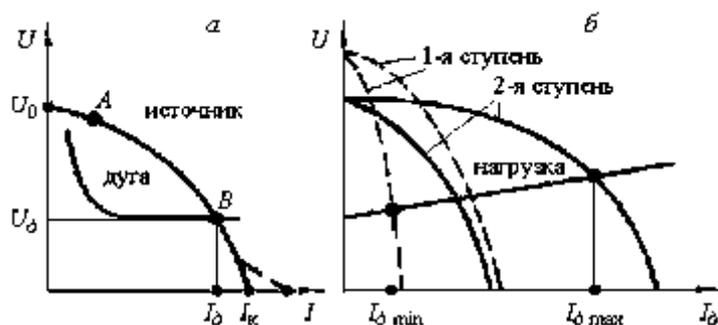


Рис.2.11. Характеристики источника для ручной дуговой сварки

2.3.2. Источники для механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе

Сварка в углекислом газе, аргоне и их смесях с кислородом ведется на постоянном токе с использованием проволоки диаметром от 0,5 до 2,4 мм (в аргоне — до 5 мм) на токе от 50 до 600 А при напряжении от 15 до 40 В. Благодаря высокой плотности тока ($J > 100$ А/мм²) вольт-амперная характеристика дуги возрастающая — от +0,01 до +0,1 В/А.

При сварке в углекислом газе используют в основном источники с пологопадающей характеристикой (рис. 2.12,а). В этом случае при выполнении условия принципиальной устойчивости обеспечивается еще и высокое быстродействие системы регулирования. Допустимо также применение источников с жесткой и даже пологовозрастающей характеристикой. В современных источниках ценой некоторого усложнения конструкции добиваются увеличения напряжения холостого хода примерно до $U_0 = (1,5 — 2) U_d$, но не ниже 40 В (рис. 2.12,б, кривая 2).

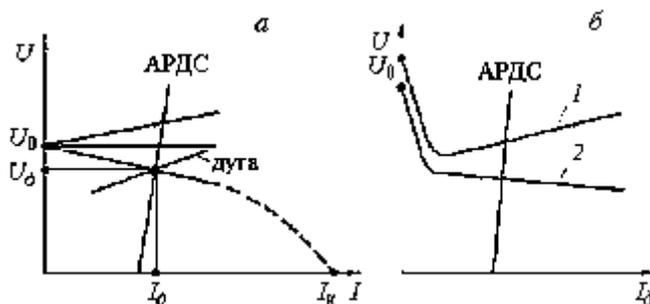


Рис. 2.12. Характеристики источника для механизированной сварки в защитном газе

Источник с возрастающей внешней характеристикой (рис. 2.12,б, кривая 1), автоматически обеспечивающий это соотношение, назван оптимизированным.

При аргоно-дуговой сварке плавящимся электродом дуга значительно устойчивей, крупнокапельный перенос при низких токах идет гораздо спокойней, а более благоприятный струйный перенос достигается простыми технологическими приемами (увеличением плотности тока, нанесением активирующих покрытий на проволоку). Поэтому при сварке тонкой проволокой аппаратом системы АРДС используют источники с полого- и даже крутопадающей характеристикой (рн от -0,04 до -0,2 В/А) со сравнительно низкой скоростью нарастания тока короткого замыкания 10 — 30 кА/с. При сварке проволокой большого диаметра (более 3 — 4 мм) рекомендуется использовать аппарат системы АРНД в сочетании с источником, имеющим крутопадающую характеристику.

2.3.3. Источники для механизированной сварки под флюсом

Сварка под флюсом выполняется проволокой диаметром от 1 до 6 мм на токе от 150 до 2000 А при напряжении от 22 до 76 В. Зажигание дуги осуществляется разрывом цепи короткого замыкания при отдергивании или перегорании электрода. Расплавленный шлак шунтирует дугу, что несколько ухудшает зажигание дуги и снижает ее устойчивость. Вольт-амперная характеристика дуги жесткая или возрастающая (гд от 0 до +0,05 В/А). График условной рабочей нагрузки по требованию стандарта соответствует соотношению $U_p = 19 + 0,037I_d$ при токе до 1000 А и соотношению $U_p = 13 + 0,0315I_d$ — при токе до 2000 А. Для поддержания непрерывного горения дуги при сварке электродом до 4 — 5 мм используют эффект саморегулирования, при большем диаметре применяется автоматическое регулирование напряжения дуги. Требования к источнику существенно различаются в зависимости от способа поддержания дуги.

При сварке аппаратами с постоянной скоростью подачи проволоки, работающими по принципу саморегулирования, источник должен иметь пологопадающую характеристику с гн от -0,01 до -0,1 В/А. При этом обеспечивается достаточная устойчивость системы «источник—дуга» и высокое быстродействие процесса саморегулирования. Из-за шунтирующего действия расплавленно-го шлака напряжение холостого хода приходится увеличивать до 80 — 140 В, а поскольку это ухудшает безопасность труда, снабжать источник устройством для его выключения сразу после прекращения сварки.

При сварке аппаратами с автоматическим регулированием напряжения дуги источник должен иметь крутопадающую характеристику с рн от -0,05 до -0,3 В/А. При этом обеспечивается устойчивость системы «источник—дуга» и высокая стабильность тока, тогда как автоматический регулятор обеспечивает высокое быстродействие и стабилизацию напряжения дуги. Напряжение холостого хода источника должно быть высоким (80 — 140 В), а сила тока короткого замыкания — сравнительно небольшой — $I_k = (1,5 — 2)I_d$, поскольку зажигание выполняется с отдергиванием электрода от изделия. Напряжение дуги задается автоматическим регулятором ($U_d \sim U_{зн}$), поэтому регулятор источника используется для настройки тока.

2.4. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ

2.4.1. Единая система обозначения и классификация источников

Единая система обозначения изделий электротехнической промышленности, распространяемая и на источники, содержит в себе и элементы классификации. Приведем пример расшифровки обозначения, например,

трансформатора марки ТДФЖ-1002 У3:

- Т — тип источника (трансформатор);
- Д — вид сварки (дуговая);
- Ф — способ сварки (под флюсом);
- Ж — тип внешней характеристики (жесткая);
- 10 — номинальный ток в сотнях А (на 1000 А);
- 02 — регистрационный номер разработки;
- У — климатическое исполнение (для стран с умеренным климатом);
- 3 — категория размещения (для работы в помещениях).

Таким образом, источники классифицируются:

- 1) по типу (первая буква в обозначении): трансформатор (Т), генератор (Г), преобразователь (П), агрегат (А), выпрямитель (В), специализированный источник — установка (У);
- 2) по виду сварки (вторая буква): для дуговой (Д), для плазменной (П) сварки;
- 3) по способу сварки: в защитных газах (Г), под флюсом (Ф), универсальный (У), покрытыми электродами (без обозначения);
- 4) по виду внешней характеристики: жесткая (Ж), падающая (П);
- 5) по количеству обслуживаемых постов: многопостовой (М), однопостовой (без обозначения);
- 6) по величине номинального тока (одна или две первые цифры означают округленную величину тока в десятках или сотнях ампер);
- 7) по климатическому исполнению (последняя буква): для стран с холодным (ХЛ), умеренным (У) или тропическим (Т) климатом;
- 8) по категории размещения (последняя цифра): для работы на открытом воздухе (1), под навесом (2), в неотопляемом помещении (3), в отопляемом помещении (4).

Источники могут также классифицироваться по принципу действия и конструктивному оформлению.

3. СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

3.1.1. Дуга переменного тока цепи с резистором

Устойчивость горения дуги при сварке на переменном токе ниже, чем на постоянном. Действительно, при чистоте переменного напряжения сети 50 Гц сварочный ток 100 раз в секунду снижается до 0 и меняет направление на обратное, причём после каждого такого обрыва дуга должна возбуждаться снова. Таким образом при сварке на переменном токе источник должен обладать специфическим свойством — обеспечивать надёжность многократного повторного зажигания.

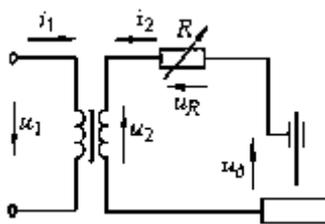


Рис.3.1. Схема питания дуги переменного тока в цепи с резистором

Рассмотрим работу источника переменного тока — трансформатора с резистором в цепи дуги (рис 3.1). Трансформатор понижает сетевое напряжение до необходимого при сварке, резистор формирует падающую внешнюю характеристику и используется для настройки тока.

Процесс повторного зажигания дуги при переходе тока через ноль рассмотрим по осциллограммам. В конце предыдущего полупериода с момента t_1 напряжение трансформатора становится недостаточным для питания дуги ($u_2 < U_d$), в результате дуга угасает, а ток резко снижается. С момента угасания t_1 температура межэлектродного промежутка $T_э$ падает (рис.3.2,б), а его сопротивление $R_э$ резко возрастает (рис.3.2,в).

Динамическая вольт-амперная характеристика дуги $u_d = f(i_2)$, отражающая связь мгновенных значений напряжения и тока при их быстром изменении, характерном для сварки на переменном токе с частотой 50 Гц, показана на рисунке 3.3. Её можно построить по данным осциллограммы рис. 3.2,а или получить на осциллографе, подавая на горизонтальную развёртку сигнал, пропорциональный току, а на вертикальную — напряжение дуги.

3.1.2. Дуга переменного тока в цепи с индуктивностью

Если включить в цепь дуги и вторичной обмотки трансформатора катушку индуктивности L (рис. 3.4.), она будет выполнять несколько функций. Обладая значительным реактивным сопротивлением $X_L = \omega L$, она обеспечивает значение падающей внешней характеристики. По этой же причине её используют для регулирования режима. Наконец, как будет показано ниже, она способствует повышению устойчивости горения дуги переменного тока.

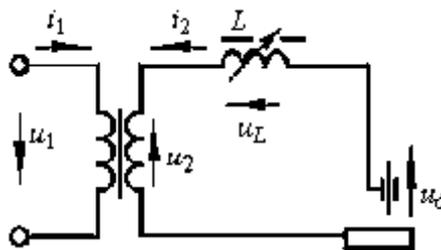


Рис.3.2. Схема питания дуги переменного тока с катушкой индуктивности

Благодаря введению индуктивности в цепь дуги переменного тока наблюдается сдвиг фаз тока и напряжения, поэтому переход тока через нуль происходит при высоком напряжении трансформатора, что повышает надёжность повторного зажигания и устойчивость горения дуги переменного тока.

3.1.3. Требования к параметрам источника переменного тока

Амплитуда напряжённости на индуктивности должна быть не ниже напряжения повторного зажигания дуги. Для обеспечения устойчивого горения дуги переменного тока напряжение холостого хода трансформатора назначают тем больше, чем больше напряжение дуги и напряжение повторного зажигания.

3.1.4. Назначения, достоинства и недостатки сварочных трансформаторов

Сварочный трансформатор преобразует сетевое напряжение (220 или 380 В) в пониженное (меньше 140 В), необходимое для сварки. В массовом порядке выпускаются только однофазные трансформаторы, предназначенные для ручной дуговой сварки покрытыми электродами и для механизированной сварки под флюсом. Требования к их конструкции и техническим характеристикам изложены в ГОСТ 95-77 «Трансформаторы однофазные однофазные для автоматической дуговой сварки под флюсом».

Трансформаторы должны обеспечивать лёгкое зажигание и устойчивое горение дуги при использовании электродов с высокими стабилизирующими свойствами, предназначенных специально для сварки на переменном токе. Если использовать электроды с низкими стабилизирующими свойствами, например, с фтористо-кальциевым покрытием, то сварочные свойства трансформатора становятся неудовлетворительными, особенно при токе ниже 100 А. Вообще, низкая устойчивость горения дуги переменного тока является недостатком сварочных трансформаторов. Другой важный недостаток простейших трансформаторов - низкая стабильность режима, обусловленная зависимостью от колебаний напряжения сети.

Главным достоинством трансформаторов является низкая стоимость их изготовления, они в 2-4 раза дешевле выпрямителей и в 6-10 раз дешевле агрегатов одинаковой мощности. Они дешевле и в эксплуатации, имеют сравнительно высокий коэффициент полезного действия (около 0.7-0.9) и низкий удельный расход электроэнергии (около 2-4 кВт*ч на 1кг расплавленного электродного металла). Трансформаторы проще в эксплуатации, легко поддаются ремонту.

В зависимости от электромагнитной схемы и способа регулирования с нормальным рассеянием:

1. Трансформаторы амплитудного регулирования с нормальным рассеянием:
 - а) с дросселем с воздушным зазором;
 - б) с дросселем насыщения;
 - в) со встроенной реактивной обмоткой.
2. Трансформаторы амплитудного регулирования с увеличенным рассеянием:
 - а) с подвижными обмотками;
 - б) с подвижным магнитным шунтом;
 - в) с подмагничиваемым шунтом;
 - г) с реактивной обмоткой;
 - д) с разнесёнными обмотками.
3. Трансформаторы фазового регулирования (тиристорные):
 - а) с импульсной стабилизацией;

- б) с подпиткой;
- в) циклоконвертор.

3.2. ТРАНСФОРМАТОРЫ С НОРМАЛЬНЫМ РАССЕЯНИЕМ

3.2.1. Электромагнитная схема трансформатора

В основе работы трансформатора лежит явление электромагнитной индукции, заключающаяся в том, что при изменении магнитного потока внутри контура, охваченного проводником, в этом проводнике возникает электродвижущая сила (ЭДС), а при замыкании проводника - в нём появляется ток.

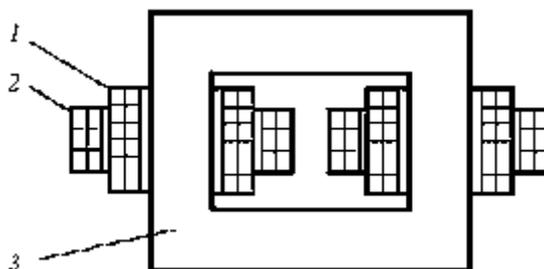


Рис.3.3. Конструктивная схема трансформатора с нормальным рассеянием

Сварочный трансформатор с нормальным рассеянием (рис.3.3) обычно имеет стержневой магнитопровод 3, цилиндрические первичную 1, и вторичную 2 обмотки, каждая из которых состоит из двух катушек. Электрическая энергия сети подаётся на первичную обмотку и преобразуется в ней в энергию магнитного потока, которая по магнитопроводу передаётся вторичной обмотке, где снова преобразуется в электрическую и подаётся дальше на сварочную дугу. Число витков вторичной обмотки меньше, чем у первичной, т.е. трансформатор понижает сетевое напряжение до необходимого при сварке. Вторичные катушки концентрично надеты на первичные, поэтому почти весь поток, создаваемый первичной обмоткой, сцепляется и со вторичной. Поток рассеяния, создаваемый одной обмоткой, но не сцепляющийся с другой, очень мал. Поэтому такая конструкция и называется трансформатором с нормальным рассеянием. Его индуктивное сопротивление невелико, поэтому внешняя характеристика - почти жёсткая. Следовательно, один трансформатор для ручной дуговой сварки использоваться не может, его дополняют индуктивной катушкой - дросселем.

3.2.2. Дроссель с воздушным зазором

Трансформатор с нормальным рассеянием имеет жёсткую характеристику, и поэтому не пригоден для ручной дуговой сварки. Его обычно дополняют реактивной катушкой - дросселем с воздушным зазором в магнитной цепи. Дроссель имеет магнитопровод, обмотку и подвижный магнитный пакет. Обмотка включается последовательно в цепь вторичной обмотки трансформатора, она обладает большим индуктивным сопротивлением. Это, и способствует получению падающей характеристики. Магнитный пакет может перемещаться с помощью привода, что вызывает изменение индуктивного сопротивления обмотки и, следовательно, тока. Кроме того, дроссель сдвигает фазы тока и напряжения источника, что повышает устойчивость дуги переменного тока.

Падающая характеристика при использовании трансформатора с нормальным рассеянием получается благодаря включению в цепь его вторичной обмотки дросселя - реактивной катушки с большим реактивным сопротивлением.

Плавное регулирование сварочного тока в трансформатора с дросселем осуществляется изменением индуктивного сопротивления дросселя за счет изменения воздушного зазора в его магнитной цепи, иногда оно дополняется ступенчатым витковым регулированием первичной или вторичной обмотки трансформатора.

3.2.3. Дроссель насыщения

Индуктивное сопротивление дросселя можно регулировать не только механическим, но и электрическим путём. Этот принцип реализован в конструкции дросселя насыщения (рис. 3.4.). Он имеет броневой магнитопровод 4, обмотку управления 3, питающуюся от вспомогательного источника постоянного тока, и две вспомогательно соединённые рабочие обмотки 1 и 2, включённые в цепь дуги переменного тока. Принцип работы дросселя насыщения основан на взаимодействии магнитных потоков обмотки управления и рабочих обмоток. При включении обмотки управления в цепь постоянного тока в магнитопроводе появится постоянный поток управления Φ_u , зависящий от тока I_u и числа витков обмотки управления W_u .

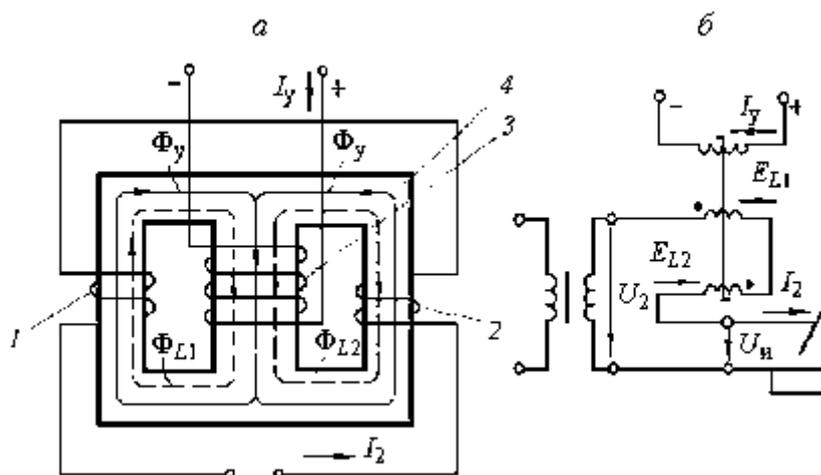


Рис.3.4. Дроссель насыщения

Рабочие обмотки дросселя насыщения намотаны на крайних стержнях таким образом, чтобы их потоки в среднем стержне были направлены встречно. Поэтому в среднем стержне практически отсутствует переменный поток, и в обмотке управления не наводится переменная ЭДС основной частоты, что облегчает её работу.

Переменная составляющая магнитного потока в крайних стержнях наводит в рабочих обмотках ЭДС $E_{L1}=E_{L2}$, подобно тому, как это происходит в дросселе с воздушным зазором. Следовательно, дроссель насыщения обладает значительным индуктивным сопротивлением X_L и может использоваться с трансформатором с нормальным рассеянием для формирования падающей внешней характеристики.

Для плавного регулирования режима с помощью дросселя насыщения меняют ток в обмотке управления, витковое регулирование изменением W_u и W_L обычно не используется.

Электрическое регулирование сварочного тока обладает важными достоинствами: плавность, компактность регулятора, возможность дистанционного и программного управления, отсутствие подвижных частей, что повышает надёжность и долговечность источника. Его недостатком является перерасход активных материалов - трансформаторного железа и обмоточных проводов, а также относительная сложность конструкции.

3.3. ТРАНСФОРМАТОРЫ С УВЕЛИЧЕННЫМ РАССЕЯНИЕМ

3.3.1. Электромагнитная схема трансформатора

В отличие от силовых трансформаторов несварочного назначения, у которых потери магнитных потоков стремятся уменьшить, большая часть сварочных трансформаторов специально разработана с увеличенным магнитным рассеянием. Это достигается размещением первичной и вторичной обмотки на значительном расстоянии друг от друга. Проще всего пояснить принцип увеличения магнитного рассеяния на примере трансформатора, у которого первичная и вторичная обмотки разнесены на разные стержни (рис.3.5). Обычно такой трансформатор имеет цилиндрические (реже дисковые) первичную 1 и вторичную 2 обмотки и стержневой магнитопровод 3.

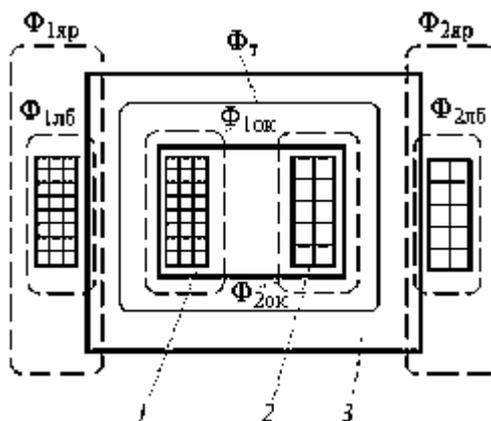


Рис.3.5. Конструктивная схема и распределение магнитных потоков в трансформаторе с разнесёнными обмотками

3.3.2. Формирование падающей внешней характеристики в трансформаторе с увеличенным рассеянием в конус

При размещении первичной и вторичной обмоток на значительном расстоянии друг от друга в трансформаторе возникают большие потоки магнитного рассеяния, в результате чего с увеличением тока нагрузки снижаются поток, сцепляющиеся со вторичной обмоткой, и вторичное напряжение, что и объясняет наличие падающей внешней характеристики.

3.3.3. Регулирование режима в трансформаторе с увеличенным рассеянием

Изменение числа витков первичной и вторичной обмотки. От части витков сделаны отпайки, так что при пересоединении проводов, соединяющих трансформатор с сетью и нагрузкой, фактически меняется число витков, участвующих в работе. При изменении числа витков первичной обмотки $W1$ по соотношению меняется напряжение холостого хода $U0$ и пропорционально ему вторичный ток $I2$.

При регулировании изменением числа витков первичной обмотки приходится завышать сечение магнитопровода, а при регулировании по вторичной стороне - сечение обмоточного провода. Поэтому витковое регулирование используется редко и только в дополнение к другим способам.

Перемещение магнитного шунта. На пути потоков рассеяния $\Phi1p$ и $\Phi2p$ устанавливается пакет трансформаторного железа, который выполняет роль магнитного шунта, т.е. участка магнитной цепи, параллельного основному магнитопроводу. Магнитный шунт может перемещаться.

Подмагничивание магнитного шунта. Магнитный шунт может быть и неподвижным. В этом случае его сопротивление Rmp изменяется благодаря обмотке, питаемой постоянным током через регулировочный реостат. При увеличении тока управления увеличивается и поток $\Phiу$, что приведёт к насыщению железа шунта, т.е. увеличению его магнитного сопротивления Rmp . А это, как уже было показано выше, вызовет увеличение сварочного тока $I2$.

Изменение степени разнесения обмоток. Здесь часть витков вторичной обмотки $W2a$ находится на том же стержне, что и первичная обмотка, между ними установлена нормальная магнитная связь. Две другие катушки с числом витков $W2b$ и $W2в$ разнесены с первичной обмотки на разные стержни, их магнитная связь с первичной обмоткой ослаблены.

Использование реактивной обмотки. Такая дополнительная обмотка устанавливается на пути потоков рассеяния, в режиме нагрузки в этой обмотке находится ЭДС.

При последовательном согласном соединении реактивной обмотки со вторичной их ЭДС складываются, что даёт ступень больших токов. При последовательном встречном включении их ЭДС вычитаются, в результате имеем диапазон малых токов.

Перемещение обмоток. Первичная и вторичные обмотки могут находиться на одном стержне, но на значительном расстоянии друг от друга, в результате чего получаются большие потоки рассеяния $\Phi1p$ и $\Phi2p$. Регулирование режима в этом случае осуществляется с изменением расстояния между обмотками.

Изменение соединения катушек первичной и вторичной обмоток. Если первичная и вторичная обмотки содержат каждая по две катушки, открывается ещё одна возможность ступенчатого регулирования. В варианте I используется половина обмоток трансформатора - одна первичная и одна вторичная катушка, в этом случае сопротивление трансформатора $Xm1 = X'1 + X2$. В варианте II две катушки первичной обмотки соединяются последовательно, две катушки вторичной обмотки соединены также последовательно. При этом индуктивное сопротивление двух половин трансформатора складываются, поэтому сопротивление трансформатора $Xm2 = 2X'1 + 2X2 = 2Xm1$ - вдвое выше, чем в первом варианте, а ток - соответственно ниже. В варианте III катушки первичной обмотки соединены параллельно, так же параллельно соединены и катушки вторичной обмотки. При параллельном соединении складываются уже не сопротивления, а проводимости двух половин.

При таком регулировании напряжение холостого хода не меняется.

3.3.4. Трансформатор с подвижными обмотками

Принцип действия такого трансформатора иллюстрирует рисунок 3.6. Наибольшее распространение получила конструктивная схема трансформатора со стержневым магнитопроводом 3, цилиндрическими первичной 1 и вторичной 2 обмотками, разбитыми каждая на две катушки. Подвижная обмотка (обычно вторичная) перемещается винтовым приводом 4. Основной поток трансформатора $\Phiт$ замыкается по магнитопроводу, а потоки рассеяния $\Phi1p$ и $\Phi2p$ - по воздуху в пространстве между первичной и вторичной обмотками.

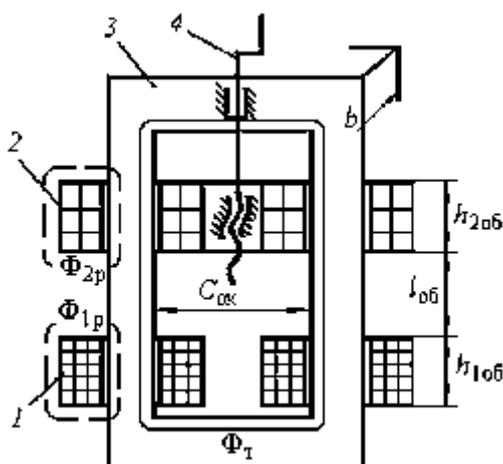


Рис.3.6. расчётная схема трансформатора с подвижными обмотками

Падающая внешняя характеристика у трансформатора с подвижными обмотками получается благодаря увеличенному магнитному рассеянию, вызванному размещением первичной и вто-ричной обмоток на значительном расстоянии друг от друга.

Плавное регулирование режима, как уже отмечалось, производится благодаря перемещению подвижных обмоток. Ступенчатое увеличение тока осуществляется переключением катушек первичных и вторичных обмоток с последовательного на параллельное соединение.

Регулирование тока у трансформатора с подвижными обмотками осуществляется за счёт изменения его индуктивного сопротивления: плавно- перемещение обмоток, ступенчато- переключением соединения катушек параллельно или последовательно.

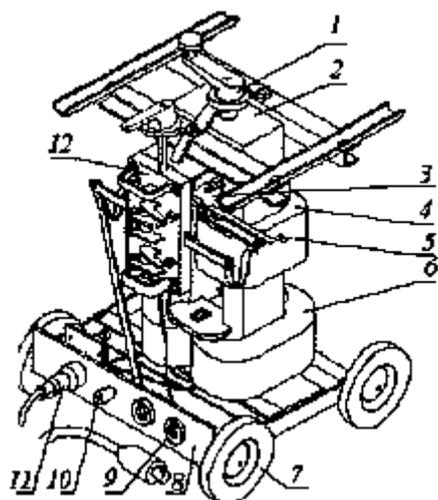


Рис.3.7. Конструкция трансформатора ТДМ - 317 У2

Трансформатор типа ТДМ-317 У2 является типичным примером серийной конструкции с подвижными обмотками (рис.3.7). Он имеет стержневой магнитопровод 2, первичную 6 и вторичную 4 обмотки, переключатель диапазонов тока 12, регулятор тока 1, раму 8, колеса 7 и не показанный на рисунке кожух. Магнитопровод набран из холоднокатаных лакированных пластин высококремнистой трансформаторной стали марки 3414 толщиной 0,35 мм. Первичная и вторичная обмотки имеют по две катушки, расположенные попарно на стержнях магнитопровода.

3.3.5. Трансформатор с подвижным магнитным шунтом

Принцип действия трансформатора рассмотрим по рис.3.8. Он имеет неподвижные первичную 1 и вторичную 2 обмотки, стержневой магнитопровод 3 и подвижный магнитный шунт 4. Каждая обмотка имеет по две катушки, размещённые на разных стержнях. Потоки рассеяния Φ_{1p} и Φ_{2p} замыкаются через магнитный шунт.

Падающая характеристика у трансформатора с магнитным шунтом получается благодаря увеличенному рассеянию, вызванному размещением первичной и вторичной обмоток на значительном расстоянии друг от друга и наличием магнитного шунта.

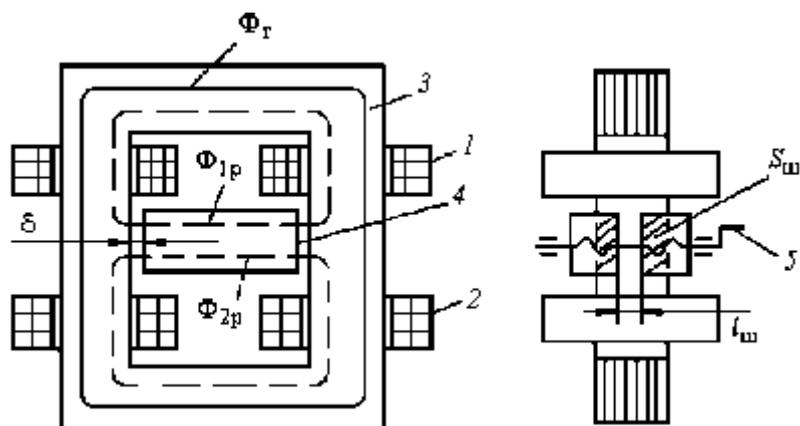


Рис.3.8. Конструктивная схема трансформатора с подвижным магнитным шунтом

Регулирование режима в трансформаторе с магнитным шунтом осуществляется: плавно- перемещением магнитного шунта, ступенчато- переключением обмоток и изменением степени разнесения обмоток по стержням.

3.3.6. Трансформатор с подмагничиваемым шунтом

В массовом порядке выпускались трансформаторы для механизированной сварки под флюсом типов ТДФ-1001УЗ и ТДФ11601 УЗ.

Трансформатор ТДФ-1001 (рис.3.9) имеет стержневой магнитопровод 3 и неподвижный шунт 4 также стержневого типа. Магнитная проводимость шунта регулируется с помощью обмотки управления 5, питаемой постоянным током. Превичная обмотка 1, состоящая из двух параллельно соединённых катушек, закреплена у верхнего яра. Вторичная обмотка 2 состоит из трёх частей по две параллельно соединённых катушек в каждой: катушки 2а расположена рядом с первичной обмоткой, а катушки 2б и 2в отделены от первичной обмотки магнитным шунтом. Поэтому потоки рассеяния весьма велики.

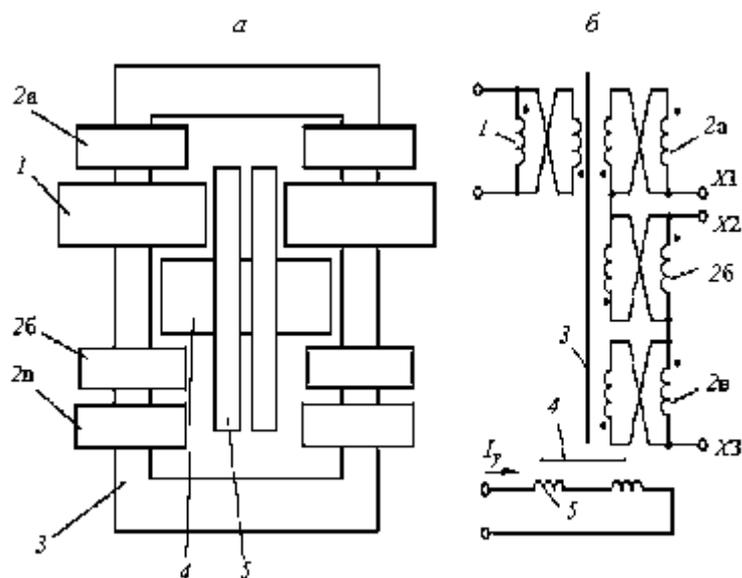


Рис.3.9. Конструктивная (а) и упрощённая принципиальная (б) схемы трансформатора с подмагничивающим шунтом

Падающая характеристика у трансформатора с подмагничиваемым шунтом получается благодаря увеличенному рассеянию, вызванному размещением первичной и вторичной обмоток (или части последних) на значительном расстоянии друг от друга и наличием магнитного шунта.

Основной способ регулирования режима заключается в изменении индуктивного изменения трансформатора при изменении магнитного сопротивления шунта.

3.3.7. Трансформатор с реактивной обмоткой

Иногда возникает необходимость в дешёвом трансформаторе с низким ПН и узким диапазоном регулирования, например, при сварке на монтаже или в быту. Такой простейший трансформатор (рис.3.10) имеет стержневой магнитопровод 3, первичную 1 и вторичную 2 обмотки, разнесённые на разные стержни. Поэтому потоки рассеяния замыкаются не только по лобовым поверхностям и в окне магнитопровода, но ещё и по воздуху между верхними нижним ярмами ($\Phi_{1яр}$ и $\Phi_{2яр}$). Такую конструкцию называют трансформатором с ярмовым рассеянием.

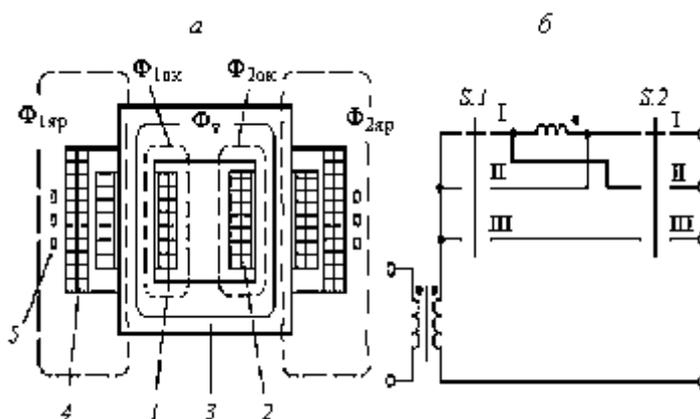


Рис.3.10. Конструктивная (а) и упрощённая принципиальная (б) схемы трансформатора с реактивной обмоткой

Трансформатор с обмотками, размещёнными на разных стержнях, имеет падающую внешнюю характеристику благодаря увеличенному магнитному рассеянию как между стержнями, так и между ярмами магнитопровода.

Для регулирования режима используют реактивную обмотку 4, сцепляющуюся с потоками ярмового рассеяния. На рис.3.10,б показано, что с помощью переключателя S эта обмотка последовательно соединена со вторичной.

3.3.8. Трансформатор с разнесёнными обмотками

Простейший трансформатор с разнесёнными на разные стержни обмотками может регулироваться и за счёт изменения числа витков вторичной и первичной обмотки. К сожалению, при этом одновременно меняется и напряжение холостого хода. Кратность такого регулирования не превышает 2. Поэтому витковое регулирование только за счёт увеличения или уменьшения числа витков обмоток в серийных конструкциях не применяется. Заметный эффект достигается при совмещении витков регулирования с изменением степени разнесения обмоток по стержням.

На рис.3.11 показан трансформатор, у которого вторичная обмотка разнесена на разные стержни, тогда как первичная расположена на левом стержне.

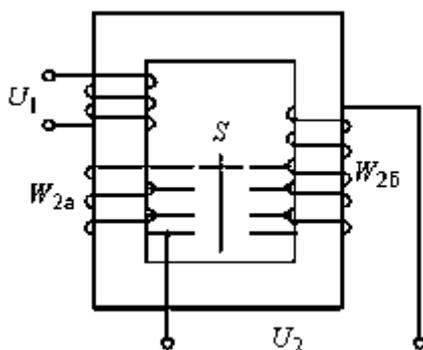


Рис.3.11. Конструктивная схема трансформатора с витковым регулированием

По схеме рис.3.11 изготавливается трансформатор ТСБ-145 на три ступени регулирования, он снабжён вентилятором и втычным переключателем ступеней. Подобную схему имеет и трансформатор ТДС-140. Выпускается также нерегулируемый трансформатор ТС-50.

3.3.9. Трансформатор с индуктивностью и ёмкостью

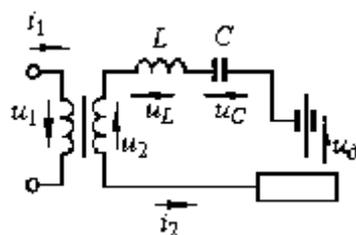


Рис.3.12. Принципиальная схема трансформатора с индуктивностью и ёмкостью в цепи дуги

Устойчивость горения дуги при использовании трансформатора с индуктивностью и ёмкостью - высокая, поскольку повторное зажигание происходит при совместном питании дуги от трансформатора и ёмкости.

Практически это означает, что при ручной дуговой сварке в случае использования достаточной ёмкости напряжение холостого хода можно снизить примерно до $U_0 = 35-40$ В без опасности снижения устойчивости горения дуги. Снижение U_0 приводит к увеличению коэффициента трансформации $n = U_1/U_0 = I_2/I_1$ и пропорциональному снижению первичного тока I_1 . На этой основе удаётся разработать сварочный трансформатор на ток I_2 до 100А, питающийся от осветительной сети с $U_1=220$ В и первичным током 15А.

3.3.10. Трансформатор с импульсным стабилизатором

Импульсный стабилизатор горения дуги (ИСГД) представляет собой генератор пиковых импульсов высокого напряжения, подаваемых на дугу в момент перехода тока через нуль. Благодаря этому обеспечивается надёжное повторное зажигание дуги, что и гарантирует высокую устойчивость горения дуги переменного тока.

Рассмотрим схему стабилизатора СД-3. Его основными частями являются трансформатор питания T , коммутирующий конденсатор C и тиристорный коммутатор $V1, V2$ с системой управления A . Стабилизатор питает дугу параллельно основному источнику G -сварочному трансформатору.

3.4. ТРАНСФОРМАТОРЫ С ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

3.4.1. Принципиальная схема тиристорного трансформатора

Тиристорным трансформатором (рис.3.13) принято называть комбинацию собственно трансформатора T и полупроводникового регулятора $V1, V2$ с системой управления. Трансформатор T служит для понижения сетевого напряжения до необходимого при сварке, иногда также используется для получения необходимой внешней характеристики и регулирования режима. Но обычно две последние функции - формирование характеристики и настройка режима - выполняются тиристорным регулятором. Фазовое управление, отличающее тиристорный трансформатор от ранее рассмотренных трансформаторов с амплитудным регулированием, осуществляется именно полупроводниковым регулятором.

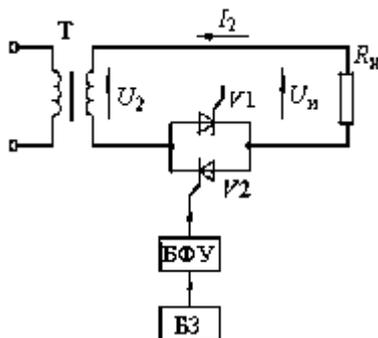


Рис.3.13. Принципиальная схема тиристорного трансформатора

Регулятор может устанавливаться как в первичной, так и во вторичной цепи трансформатора, поэтому его коммутирующие элементы $V1$ и $V2$ должны иметь достаточную мощность. В этом качестве чаще всего используются силовые управляемые вентили - тиристоры. В состав регулятора входят также блок фазового управления (БФУ), формирующий импульсные сигналы для включения тиристоров, и блок задания (БЗ), с помощью которого настраиваются необходимое значение тока или напряжения.

3.4.2. Регулирование режима в тиристорном трансформаторе

Фазовое регулирование режима в тиристорном трансформаторе заключается в изменении угла включения тиристорov, в результате чего изменяется часть напряжения трансформатора, подаваемая на нагрузку.

Фазовое регулирование, обладая всеми достоинствами электрического регулирования, имеет и недостатки. Один из них заключается в том, что для коммутирования сварочного тока приходится использовать дорогие мощные тиристоры или увеличивать их число для установки на параллельную работу. Этот недостаток устраняется включением тиристорного коммутатора в первичную цепь трансформатора. Главный же недостаток заключается в снижении устойчивости горения дуги переменного тока.

3.4.3. Формирование внешних характеристик в тиристорном трансформаторе

Необходимые внешние характеристики формируются в тиристорном трансформаторе естественным образом — в зависимости от индуктивного сопротивления трансформатора, и искусственно — с помощью обратных связей по току и напряжению, вводимых в тиристорный регулятор.

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРОЧНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЯХ

4.1.1. Устройство, классификация, достоинства

По конструкции силовой части выпрямители можно разделить на шесть групп. Более ранняя и простая конструкция у выпрямителя, регулируемого трансформатором. Его силовая часть состоит из трансформатора Т, выпрямительного блока VD на неуправляемых вентилях и сглаживающего дросселя L. Трансформатор в такой схеме используется для понижения напряжения, формирования необходимой внешней характеристики и регулирования режима. Некоторое применение нашел выпрямитель с дросселем насыщения. Дроссель насыщения LS применяют для формирования внешней характеристики и регулирования режима. Более совершенны и распространены тиристорные выпрямители. Тиристорный выпрямительный блок VS за счет фазового управления моментом включения тиристорov обеспечивает регулирование режима, а при введении обратных связей по току и напряжению — также и формирование любых внешних характеристик. Иногда тиристорный регулятор VS устанавливают в цепи первичной обмотки трансформатора Т, тогда выпрямительный блок VD может быть собран из неуправляемых вентилей— диодов. Транзисторный регулятор VT, наоборот, устанавливают в цепи сварочного тока, с его помощью легко реализовать программное управление процессом сварки. Оригинальна схема инверторного выпрямителя. Инвертор UZ преобразует постоянное напряжение выпрямительного блока VD1 в высокочастотное переменное, которое затем понижается трансформатором Т и выпрямляется блоком VD2. Воздействуя на параметры инвертора, регулируют режим и формируют внешние характеристики выпрямителя. В состав любого выпрямителя входят также вентильатор, пускорегулирующая и контрольная аппаратура. Тиристорные, транзисторные и инверторные выпрямители имеют более сложные схемы управления с цепями формирования управляющих сигналов и обратных связей.

Выпрямители классифицируют также по типу внешних характеристик. При механизированной сварке в углекислом газе и под флюсом для комплектования аппаратов, действующих по принципу саморегулирования дуги, применяют однопостовые выпрямители с жесткими, а также с пологопадающими и пологовозрастающими характеристиками. Эти выпрямители имеют, как правило, трансформатор с нормальным рассеянием. Регулятор выпрямителя используется для настройки сварочного напряжения. В настоящее время используются следующие способы регулирования напряжения: витковое (выпрямитель с трансформатором с секционированными обмотками), магнитное (выпрямитель с трансформатором с магнитной коммутацией, выпрямитель с дросселем насыщения), фазовое (тиристорный выпрямитель), а также импульсное (частотное, широтное и амплитудное в транзисторном и инверторном выпрямителе).

Для ручной сварки предназначены выпрямители с крутопадающими характеристиками. Требования к таким выпрямителям изложены в ГОСТ 13821-77 "Выпрямители однопостовые с падающими внешними характеристиками для дуговой сварки".

При сопоставлении с трансформаторами главными достоинствами сварочных выпрямителей как источников питания постоянного тока считают высокие надежность зажигания и устойчивость горения дуги. По сравнению с вращающимися источниками (преобразователями и агрегатами) выпрямители обладают следующими преимуществами: более высокий КПД, малые масса и габариты, отсутствие вращающихся частей, высокая надежность.

4.1.2. Конструкции трансформаторов в составе сварочных выпрямителей

В выпрямителе трансформатор выполняет функции понижения напряжения, а иногда еще формирования необходимой внешней характеристики и регулирования режима. Поэтому трансформаторы сварочных выпрямителей имеют такое же устройство и принцип действия, как и трансформаторы. Однофазные трансформаторы используют в выпрямителях сравнительно редко.

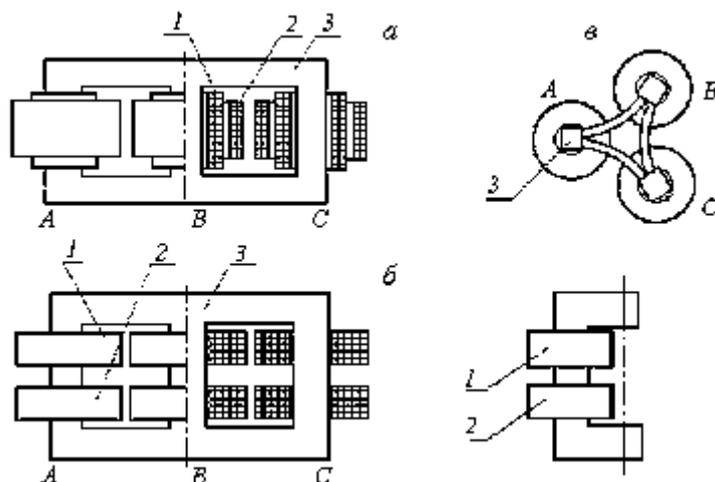


Рис.4.1. Конструкции трёхфазных трансформаторов с нормальным (а) и увеличенным (б,в) рассеянием

На каждом из трех стержней магнитопровода 3 обычно размещается по одной первичной 1 и одной вторичной 2 обмотке соответствующей фазы. Трансформатор с нормальным магнитным рассеянием (рис. 4.1,а) имеет жесткую внешнюю характеристику. При размещении первичной и вторичной обмоток на значительном расстоянии друг от друга получают трансформатор с увеличенным рассеянием и падающей внешней характеристикой (рис. 4.1,б).

Магнитопроводы, изображенные на рис. 4.1,а и б, называют несимметричными. Действительно, магнитное сопротивление на пути потока, создаваемого обмотками фазы В, меньше, чем для фаз А и С, поэтому ток в фазе В выше, чем в фазах А и С, а в кривой выпрямленного тока появляется гармоническая составляющая. Симметричный магнитопровод (рис. 4.1,в) имеет более сложное устройство, дороже в изготовлении.

4.1.3. Вентили, используемые в сварочных выпрямителях

Используют преимущественно кремниевые силовые вентили: неуправляемые (диоды), непонностью управляемые (тиристоры) и управляемые (транзисторы).

Принцип работы диода рассмотрим на примере простейшей схемы однополупериодного выпрямления (рис. 4.2). В положительном полупериоде синусоидального напряжения питающей сети диод V оказывается включенным в прямом направлении (рис. 4.2,а). Поскольку при этом его сопротивление мало, прямой ток $i_{пр}$ (рис. 4.2,б) сравнительно велик.

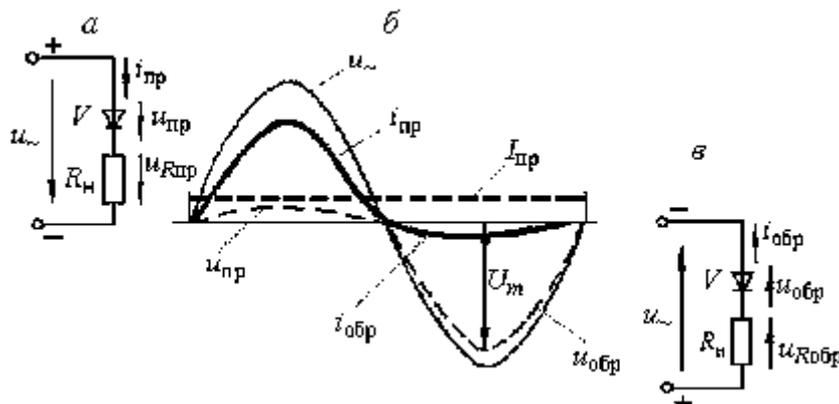


Рис.4.2. Осциллограммы (б) и работа диода при прямом (а) и обратном (в) включении в цепи переменного тока

Практически все напряжение сети приложено к нагрузке R_n , а падение напряжения на диоде $u_{пр}$ не превышает 1—2 В. В отрицательном полупериоде (рис. 4.2,в) диод включен в обратном направлении, его сопротивление резко возрастает, а ток $i_{обр}$ снижается почти до нуля. На нагрузку напряжение почти не подается, поскольку практически все напряжение сети приложено к разрыву цепи, образованному закрытым диодом. Таким образом, если пренебречь незначительным обратным током $i_{обр}$, по нагрузке идет прерывистый ток одного направления — выпрямленный ток $i_d = i_{пр}$. Его усредненное за полный период значение — $I_{пр}$.

Рассмотрим работу тиристора (рис. 4.3,а). Для отпирания тиристора необходимо выполнить два условия. Во-первых, его следует включить в прямом направлении, т.е. потенциал его анода А должен быть выше потенциала

катода К. Во-вторых, на его управляющий электрод УЭ необходимо подать положительный относительно катода импульс напряжения. Поэтому в положительном полупериоде тиристор отпрется с задержкой на электрический угол α , соответствующий подаче импульса управления. Следовательно, среднее значение выпрямленного тока I_{np} , пропорциональное заштрихованной площади, для тиристора меньше, чем для диода, и к тому же снижается при увеличении задержки включения.

Запирание обычного тиристора снятием импульса управления невозможно, он выключается только в конце полупериода при снижении переменного напряжения до нуля. Поэтому тиристор называют неполностью управляемым вентиляем. В течение отрицательного полупериода тиристор заперт. Таким образом, тиристор можно использовать не только для выпрямления, но и для регулирования тока.

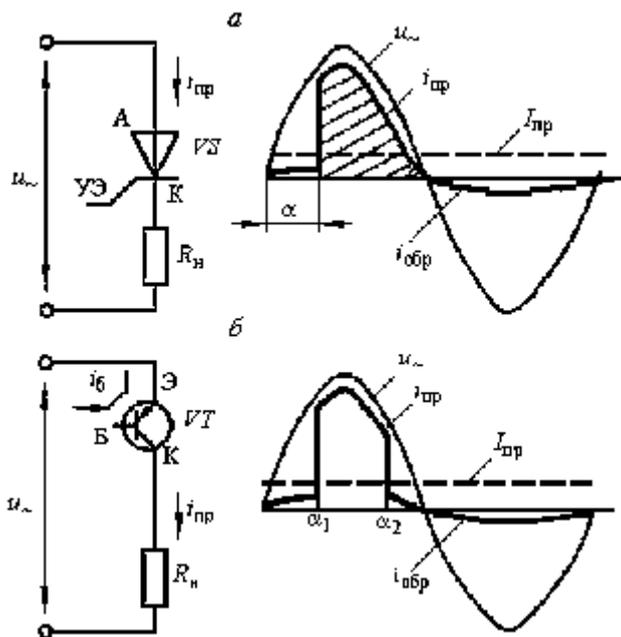


Рис.4.3. Тиристор (а) и транзистор (б) в цепи переменного тока

Силовые транзисторы разработаны сравнительно недавно. Хотя они еще ненадежны и дороги, ожидается их широкое внедрение благодаря уникальным возможностям регулирования, которые они предоставляют. В сварочных выпрямителях перспективна схема с общим эмиттером ОЭ (рис. 4.3,б). Обычно транзистор используется в качестве ключа. В положительном полупериоде, пока в режиме отсечки до момента $a1$ на базу Б не подан ток i_b , практически отсутствует и прямой ток i_{np} коллектора К, а значит, и ток в нагрузке. При подаче достаточно большого тока базы i_b транзистор в момент $a1$ перейдет сразу в режим насыщения, в котором прямой ток коллектора i_{np} резко возрастает до значения, ограниченного только напряжением питающей сети U_{\sim} и сопротивлением нагрузки R_n . При снятии тока базы в момент $a2$ резко снизится и прямой ток.

4.2. ВЫПРЯМИТЕЛИ, УПРАВЛЯЕМЫЕ ТРАНСФОРМАТОРОМ

4.2.1. Формирование внешних характеристик выпрямителя с помощью трансформатора

При нагрузке возможны три различных режима работы.

В 1-м режиме при очень высоком напряжении дуги зажигание происходит только в те интервалы времени, когда текущее значение напряжения источника выше напряжения дуги ($u_{\sim} > U_d$). В каждый момент ток протекает по двум вентилям или вовсе отсутствует. Колебания тока при этом значительны. Двухвентильный режим 1 наблюдается при $U_d = (0,95 - 1)U_0$.

Во 2-й режим выпрямитель переходит при снижении напряжения дуги, когда $U_d = (0,7 - 0,95)U_0$, и соответствующем увеличении тока.

В 3-й режим выпрямитель переходит при дальнейшем снижении напряжения дуги, когда $U_d = (0 - 0,7)U_0$.

Падающая характеристика получается у выпрямителя благодаря значительным потерям напряжения при затянутой коммутации, вызванным большим индуктивным сопротивлением трансформатора.

Выпрямители для механизированной сварки в углекислом газе, где нужны пологопадающие внешние характеристики, комплектуются трансформатором с нормальным рассеянием и работают во 2-м режиме. Напротив, выпрямители для ручной дуговой сварки с целью получения крутопадающих характеристик комплектуются трансформатором с увеличенным рассеянием и работают в основном в 3-м режиме.

4.2.2. Выпрямитель, управляемый трансформатором с секционированными обмотками

Такой простейший выпрямитель предназначен для механизированной сварки в углекислом газе и, следовательно, должен иметь жесткую (пологопадающую) внешнюю характеристику. Он состоит (рис. 4.4,а) из понижающего трехфазного трансформатора Т с нормальным рассеянием, переключателя ступеней S, силового выпрямительного блока V на неуправляемых вентилях и сглаживающего дросселя L. Выпрямительный блок обычно собирается по трехфазной мостовой схеме (рис. 4.4,а), однако находит применение и шестифазная с уравнивающим реактором L1 (рис. 4.4,б). Линейный дроссель L включают для уменьшения разбрызгивания при сварке.

Выпрямитель с трансформатором с секционированными обмотками имеет пологопадающую внешнюю характеристику благодаря малому сопротивлению трансформатора и выпрямительного блока.

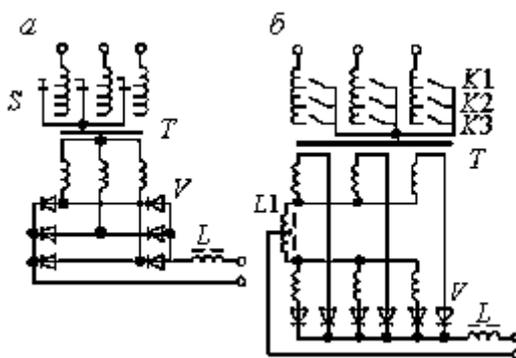


Рис.4.4. Упрощённые схемы выпрямителей, управляемых трансформатором с секционированными обмотками

Регулирование напряжения холостого хода и рабочего напряжения осуществляется благодаря секционированию первичной и вторичной обмоток трансформатора.

К недостаткам такого выпрямителя относят отсутствие стабилизации выпрямленного напряжения и перерасход обмоточных материалов, т.к. на высших ступенях регулирования часть витков первичной обмотки не используется. Главные его достоинства — простота и надежность.

4.2.3. Выпрямитель, управляемый трансформатором с магнитной коммутацией

Выпрямитель этого типа (рис. 4.5) также предназначен для механизированной сварки в углекислом газе. Он имеет оригинальную конструкцию трансформатора. В нижних окна магнитопровода находятся первичные обмотки ОП с числом витков $W1$ и нерегулируемые части ОВН вторичных обмоток с числом витков $W2н$. Стержни трансформатора соединены внизу неуправляемыми ярмами с. Имеются также управляемые верхние а и средние б ярма, подмагничиваемые обмотками постоянного тока ОУ1 и ОУ2. В верхних окнах находятся регулируемые части ОВР вторичных обмоток с числом витков $W2р$. Части ОВН и ОВР каждой вторичной обмотки соединены последовательно согласно.

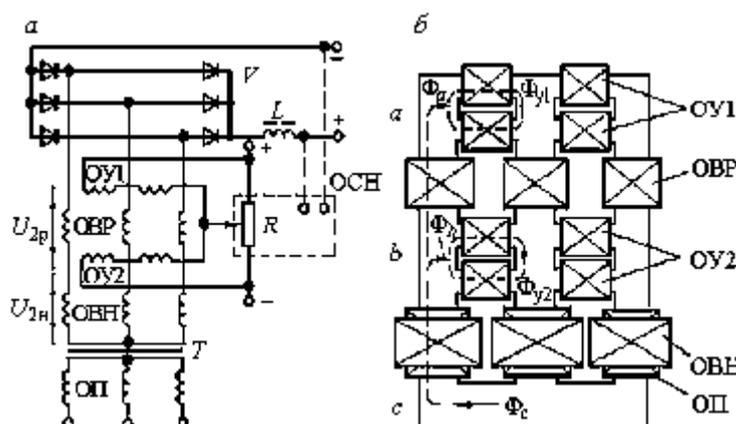


Рис.4.5. Выпрямитель управляемый трансформатором с магнитной коммутацией: а- упрощённая принципиальная схема; б- конструкция трансформатора

Регулирование напряжения выпрямителя осуществляется за счет магнитной коммутации, обеспечивающей изменение потока в регулируемой вторичной обмотке.

Жесткая внешняя характеристика выпрямителя получается благодаря малому рассеянию

трансформатора с магнитной коммутацией, а также за счет обратной связи по напряжению.

От выпрямителя, управляемого трансформатором с секционированными обмотками, рассмотренная конструкция выгодно отличается плавным регулированием и стабилизацией напряжения, однако имеет более сложный и дорогой трансформатор.

4.2.4. Выпрямитель, управляемый трансформатором с увеличенным рассеянием

Принцип действия такого выпрямителя, предназначенного для ручной сварки, иллюстрирует рис. 4.6. В состав выпрямителя входят трехфазный понижающий трансформатор Т и выпрямительный блок V, собранный по трехфазной мостовой схеме. У трансформатора (рис. 4.6) три подвижные обмотки 1 (обычно первичные) установлены в обойме и перемещаются по вертикали. Три неподвижные обмотки 2 (вторичные) жестко закреплены на магнитопроводе 3.

Благодаря большому расстоянию между первичными и вторичными обмотками трансформатор имеет увеличенное рассеяние, что и обеспечивает получение крутопадающей внешней характеристики выпрямителя.

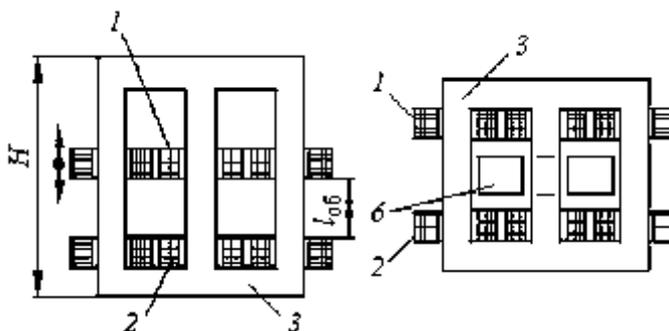


Рис.4.6. Выпрямитель, управляемый трансформатором с увеличенным рассеянием

Регулирование тока выпрямителя осуществляется изменением индуктивного сопротивления трансформатора за счет перемещения его трехфазных обмоток, а также изменения их соединения.

4.3. ТИРИСТОРНЫЕ И ТРАНЗИСТОРНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

4.3.1. Фазовое регулирование режима в тиристорном выпрямителе

Фазовое регулирование заключается в изменении угла управления тиристором, приводящем к изменению части напряжения трансформатора, подаваемого тиристорным выпрямительным блоком на нагрузку.

Фазовое регулирование обладает всеми достоинствами электрического регулирования: компактность и высокая надежность бесконтактных органов управления, плавность и высокая кратность регулирования напряжения, простота дистанционного и программного управления.

Главный недостаток фазового регулирования заключается в значительной пульсации выпрямленного напряжения. При $\alpha > 60^\circ$ в кривой выпрямленного напряжения появляются разрывы. Более того, даже в интервале $0 < \alpha < 60^\circ$, несмотря на непрерывность кривой u_v , кривая сварочного тока i_d прерывиста, если напряжение дуги достаточно велико. Разрывы кривой тока возникают в интервалы, когда $u_v < U_d$.

Приемы снижения пульсации напряжения и тока приведены на схемах, используемых в серийных тиристорных выпрямителях (рис. 4.7). Обычно с этой целью устанавливают сглаживающий дроссель L, иногда с обратным диодом VD (рис. 4.7,а). В те моменты, когда мгновенное значение выпрямленного напряжения уменьшается, сварочный ток поддерживается энергией, запасенной дросселем в предыдущий промежуток времени. Обратный диод особенно полезен при глубоком регулировании ($\alpha > 60^\circ$), поскольку позволяет дросселю поддерживать ток i_d в моменты, когда тиристоры не пропускают ток i_d . В результате кривая тока сглаживается. Для практически полного сглаживания тока во всем интервале регулирования α от 0 до 90° необходимо, чтобы сопротивление дросселя $X_L = \omega L$ было существенно выше сопротивления нагрузки — дуги ($\omega L > 5R_d$). Такой мощный дроссель слишком дорог и велик, к тому же чрезмерно замедляет переходные процессы при зажигании дуги и переносе электродного металла. Поэтому индуктивность назначают на уровне $L = 0,2 — 0,5$ мГн только из соображения уменьшения разбрызгивания, не стремясь к полному сглаживанию кривой тока. Обычно применяется дроссель с воздушным зазором на 2 — 3 ступени (рис. 4.7,б).

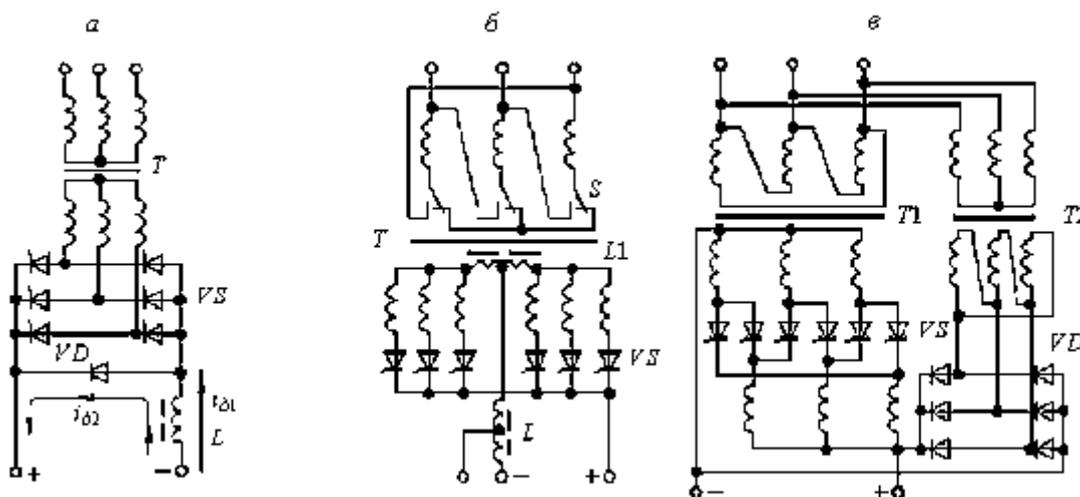


Рис.4.7. Упрощённые схемы тиристорных выпрямителей: а- с трёхфазной мостовой; б- с шестифазной с уравнивающим дросселем; в- с кольцевой схемой выпрямления

Для снижения пульсации напряжения разумно также ограничивать глубину фазового регулирования, например до $\alpha = 60^\circ$. Чтобы кратность регулирования напряжения при этом не снизилась, фазовое регулирование дополняют ступенчатым, например, изменяя соединение обмоток трансформатора. На рис. 4.7,б переключатель S показан в положении, обеспечивающем соединение первичных обмоток в звезду, что дает низ-ший диапазон регулирования сварочного напряжения. При другом положении переключателя обмотки соединяются треугольником, и выпрямленное напряжение увеличивается в 1,73 раза.

Наконец, устойчивое горение дуги при глубоком фазовом регулировании достигается введением блока подпитки (рис. 4.7,в). Блок представляет собой вспомогательный маломощный выпрямитель, состоящий из трансформатора T2 с увеличенным рассеянием и блока неуправляемых вентилей VD. Его ток заполняет паузы в кривой тока основного источника.

4.3.2. Формирование внешних характеристик в тиристорном выпрямителе

Необходимые (жесткие или крутопадающие) внешние характеристики в тиристорном выпрямителе могут быть сформированы как естественным, так и искусственным способом.

Естественные внешние характеристики имеют наклон, зависящий от сопротивления трансформатора.

Необходимый тип естественной внешней характеристики тиристорного выпрямителя задается конструкцией трансформатора. Жесткие характеристики получаются при использовании трансформатора с нормальным рассеянием, крутопадающие — трансформатора с увеличенным рассеянием.

Искусственные внешние характеристики формируются за счет обратных связей. В этом случае выпрямитель нужно представить как замкнутую систему автоматического регулирования тока или напряжения (рис. 4.8). На приведенной функциональной схеме толстой линией выделены элементы, обязательные для любого тиристорного выпрямителя. В силовой части схемы напряжение сети преобразуется трансформатором с нормальным рассеянием и после выпрямления тиристорным блоком и сглаживания фильтром подается на дугу. В слаботочной части блок задания БЗ формирует сигнал задания тока U_{zt} или напряжения U_{zn} , а блок фазового управления БФУ передает его к тиристорному блоку, формируя импульсы управления. Для создания системы автоматического регулирования с цепями обратных связей необходимы, кроме того, датчики выпрямленного напряжения и тока, датчик сетевого напряжения, а также блок сравнения БС сигнала задания с сигналом датчика. В конкретной конструкции может быть как одна из показанных пунктирной линией обратных связей, так и несколько.

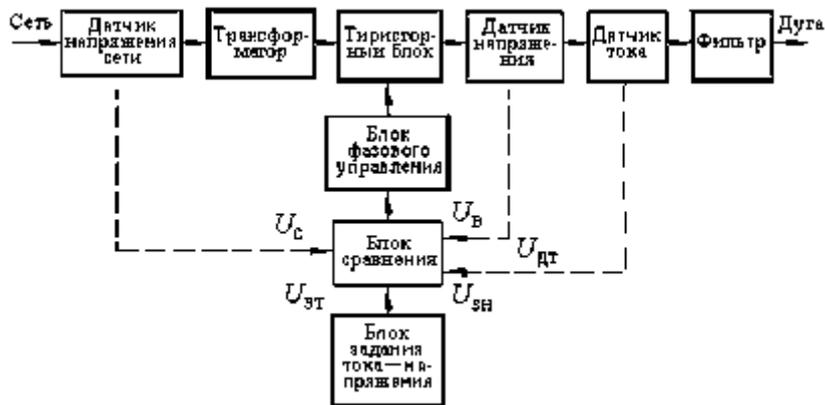


Рис.4.8. Блок-схема тиристорного выпрямителя с обратными связями

Искусственные внешние характеристики в тиристорном выпрямителе получаются благодаря обратным связям по напряжению или току. Стабилизация напряжения при жестких внешних характеристиках достигается введением отрицательной обратной связи по сварочному или сетевому напряжению. Крутопадающую характеристику обеспечивает введение отрицательной обратной связи по току.

4.3.3 Выпрямитель с тиристорным выпрямительным блоком

Выше было показано, что на основе одной и той же силовой части тиристорного выпрямителя с помощью слаботочных цепей управления можно сформировать и жесткие, и крутопадающие характеристики. Поэтому большинство тиристорных выпрямителей разработаны как универсальные.

Универсальный выпрямитель ВДУ-505 (рис. 4.9) имеет в своем составе автоматический выключатель QF, пускатель К, силовой трансформатор Т, уравнивающий дроссель L1, силовой блок тиристорov V1, линейный дроссель L2, а также не показанные на схеме вентиляторы и цепи управления. Силовой понижающий трансформатор имеет нормальное рассеяние, что позволяет применять его при формировании как жестких, так и крутопадающих характеристик. Силовой выпрямительный блок собран из тиристорov T-160-3 по шестифазной схеме с уравнивающим дросселем, которая обеспечивает самую низкую токовую загрузку вентиляей.

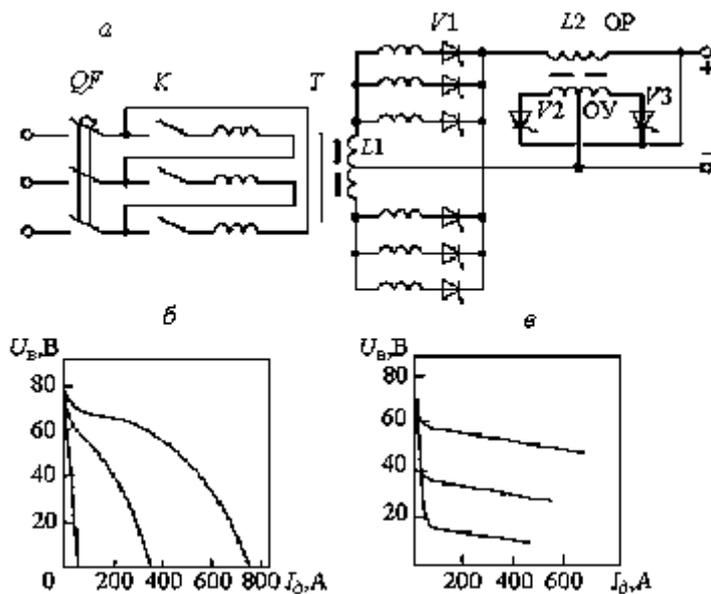


Рис.4.9. Выпрямитель ВДУ-505 УЗ: а- упрощённая принципиальная схема; б- падающие; в- жёсткие внешние характеристики

Линейный дроссель L2 предназначен для сглаживания выпрямленного тока, а при сварке в углекислом газе также для уменьшения разбрызгивания. При ручной сварке с крутопадающими характеристиками дроссель имеет максимальную индуктивность — 0,5 мГн. При механизированной сварке в углекислом газе с жесткими характеристиками его индуктивность меняется автоматически в зависимости от режима сварки следующим образом. При низких режимах наблюдается значительная пульсация выпрямленного тока, протекающего по рабочей обмотке ОР дросселя. Поэтому в обмотке управления ОУ индуктируются большие ЭДС и ток,

замыкающийся по вентилям V2, V3 и дуге. Этот ток создает с помощью обмотки управления большой магнитный поток, сильно насыщающий железо дросселя. Поэтому при низких режимах дроссель имеет малую индуктивность, при высоких — большую индуктивность.

Дроссель с управляемой индуктивностью изменяет характер переходных процессов при сварке в углекислом газе, существенно снижая разбрызгивание электродного металла. Процесс короткого замыкания капель корректируется на всех трех этапах. В начале короткого замыкания дроссель L2 имеет максимальную индуктивность (около 0,5 мГн), поэтому ток нарастает сравнительно медленно, не препятствуя слиянию капли с ванной. На втором этапе вступает в действие обмотка управления ОУ, в которой возникает большая ЭДС, индуктированная всплеском тока в рабочей обмотке ОР. При этом тиристор V3 открывается, а V2 — закрывается. Ток, протекающий по тиристорам V3 и обмотке ОУ, создает магнитный поток, насыщающий сердечник дросселя и резко снижающий его индуктивное сопротивление. Поэтому ток короткого замыкания на втором этапе нарастает быстрее, вызывая сбрасывание капли в ванну. Третий этап начинается со спада тока, который вызовет смену знака ЭДС обмотки ОУ. По этой причине закрывается тиристор V3, а V2 — открывается. При этом ЭДС обмотки ОУ будет подпитывать дугу, не допуская резкого провала сварочного тока после короткого замыкания, что способствует повышению устойчивости процесса, особенно при низких режимах.

Система управления выпрямителя, собранная на интегральных микросхемах, показана на функциональной схеме (см. рис. 4.8). Для получения крутопадающих характеристик (рис. 4.9,б) используется отрицательная обратная связь по току, одновременно с ней действует обратная связь по напряжению сети, что позволяет стабилизировать ток при колебаниях сетевого напряжения. При сварке с жесткими характеристиками (рис. 4.9,в) стабилизация напряжения обеспечивается обратными связями по сварочному и сетевому напряжению. Для получения небольшого заданного наклона характеристик используется также ослабленная обратная связь по току. При отсутствии сварочного тока обратная связь по сварочному напряжению отключена и тиристоры переходят к полнофазному включению ($\alpha = 0^\circ$), что обеспечивает высокое напряжение холостого хода при сварке на жестких характеристиках. В результате улучшается зажигание дуги и устойчивость при малых токах.

Другие выпрямители отличаются от ВДУ-505 конструктивным оформлением, схемой выпрямления, типом вентиля и способом сглаживания тока и напряжения. Одинаковую с ВДУ-505 схему имеют выпрямители ВДУ-506 и ВДУ-507. Ранее выпускался выпрямитель ВДУ-504 (см. рис. 4.7,б). В отличие от ВДУ-505 он имел два диапазона регулирования напряжения при соединении первичных обмоток в звезду или треугольник, линейный дроссель на две ступени индуктивности и схему управления на дискретных полупроводниковых элементах. Небольшие отличия имеются в конструкциях других универсальных выпрямителей. Выпрямитель ВДУ-306, кроме жесткой и крутопадающей характеристики, имеет еще и комбинированную характеристику — жесткую в диапазоне больших токов и крутопадающую (ри от -0,1 до -0,2 В/А) при малых токах. Это повышает эластичность дуги при малых токах, что особенно важно при выполнении вертикальных швов. Выпрямитель ВДГ-401 предназначен для механизированной сварки в углекислом газе и имеет только жесткие характеристики. Выпрямитель ВДУ-602 предназначен для комплектации двухрежимного полуавтомата и позволяет дистанционно с пульта автомата включать тот или иной из двух заранее настроенных режимов. Выпрямитель ВДУ-1201, предназначенный для механизированной сварки в углекислом газе и под флюсом, имеет шестифазную кольцевую схему выпрямления, собранную из таблеточных тиристоров Т-500.

Технико-экономические показатели тиристорных выпрямителей лучше, чем у диодных. Так, коэффициент полезного действия при номинальном режиме составляет около 0,7 — 0,85, а коэффициент мощности — 0,6 — 0,65. При жестких характеристиках оба показателя выше, чем при крутопадающих. Удельный расход электроэнергии при ручной дуговой сварке составляет 4 — 5,5 кВт·ч на 1 кг расплавленного металла.

4.3.4. Выпрямитель с тиристорным регулятором в первичной цепи

Для выпрямителей на токи более 1000 А рациональна установка тиристорного регулятора в первичной цепи трансформатора подобно тому, как это было выполнено в конструкции тиристорного трансформатора (разд. 3.4.4). При этом снижается коммутируемый тиристорами ток, что позволяет использовать маломощные массовые тиристоры без их параллельного соединения.

Рассмотрим конструкцию мощного выпрямителя ВДУ-1604, предназначенного для механизированной сварки под флюсом и в углекислом газе. Первичные обмотки силового трансформатора Т соединены треугольником, в каждую фазу включено по два тиристора, соединенных встречно-параллельно. Тиристорный блок VS используется для регулирования режима и формирования необходимой внешней характеристики. Функция выпрямления тока передана диодному блоку VD, включенному в цепь вторичных обмоток по кольцевой схеме. Кремниевые диоды изготавливают на большие токи, и их использование в мощном выпрямителе не встречает затруднений. Кольцевая схема их соединения требует сравнительно простого и экономичного трансформатора. В цепи выпрямленного тока установлен сглаживающий дроссель L из четырех секций. В диапазоне малых токов используют две последовательно соединенные секции с общей индуктивностью 0,5 мГн, при большом сварочном токе используют три параллельно соединенные секции с общей индуктивностью 0,07 мГн.

Тип внешней характеристики зависит от положения переключателя S. При первом положении в блок сравнения БС проходит только сигнал отрицательной обратной связи по току ОСТ, в этом случае формируются крутопадающие характеристики с наклоном от -0,02 до -0,2 В/А. Во втором положении переключателя действуют

оба сигнала обратной связи—по току ОСТ и напряжению ОСН, при этом положопадающие внешние характеристики имеют наклон от 0,011 до -0,015 В/А. В третьем положении действует только обратная связь по напряжению, что приводит к формированию стабилизированных (жестких) характеристик с наклоном от -0,006 до -0,009 В/А. Схемой управления предусмотрено также форсирование режима в начале сварки. С этой целью зажигание дуги происходит при максимальном токе благодаря полнофазному включению тиристоров ($\alpha = 0$). При появлении сварочного тока сигнал о начале сварки СНС с дросселя L поступает в блок сравнения БС, в результате чего форсирование прекращается.

В составе выпрямителя имеются также автоматический выключатель, вентилятор, приборы контроля и сигнализации. Схемой предусмотрена возможность параллельного соединения двух выпрямителей для получения тока до 3000 А с настройкой режима на одном из них.

Подобную конструкцию имеет и выпрямитель ВДУ-1202, однако в нем используется шестифазная нулевая схема соединения диодов и более простой сглаживающий дроссель.

4.3.5. Выпрямитель с транзисторным регулятором

Транзисторный регулятор, как правило, устанавливается в цепи постоянного, т.е. сварочного тока. Чаще всего в качестве такого регулятора используется силовой транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером (ОЭ). При недостаточной мощности одиночного транзистора используют несколько параллельно соединенных транзисторов или транзисторных модулей, т.е. конструктивно и схемно оформленных устройств. Обычно транзистор работает в режиме ключа, т.е. при достаточной величине тока базы почти мгновенно из состояния отсечки переводится в состояние насыщения. Ключевой режим принят потому, что в отличие от режима усилителя потери энергии на транзисторе при этом минимальны, что гарантирует высокий КПД и сравнительно малый нагрев транзистора. Используются как биполярные, так и полевые транзисторы. Биполярные транзисторы имеют большую номенклатуру, лучше освоены и дешевле в производстве. Полевые МДП-транзисторы имеют больший КПД и более высокое быстродействие.

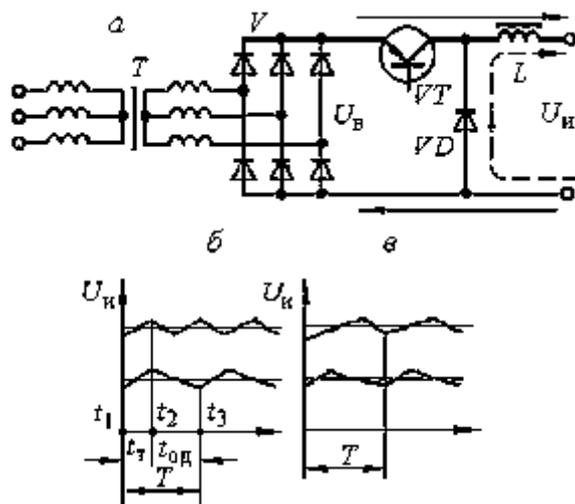


Рис.4.10. Принципиальная схема (а) и осциллограммы при частотном (б) и широтном (в) регулировании транзисторного источника

Регулирование напряжения выполняется частотно-импульсным (рис. 4.10,б) и широтно-импульсным (рис. 4.10,в) способами. Если при постоянной длительности включенного состояния транзистора t_t увеличить частоту его включений (рис. 4.10,б), это вызовет сокращение интервала работы дросселя на разрядку тод и, следовательно, увеличение среднего напряжения на выходе источника $U_{и}$.

При широтном регулировании частота включения транзистора f , так же как и период следования импульсов $T = 1 / f$, остается постоянной. В этом случае при увеличении длительности включенного состояния транзистора t_t напряжение источника $U_{и}$ возрастает (рис.4.10,в).

Частотное регулирование технически проще осуществимо, при широтном регулировании меньше пульсации тока и выше быстродействие системы управления. Транзисторные источники наибольшее распространение нашли в составе установок для специальных способов сварки.

4.4. ВЫПРЯМИТЕЛИ С ДРОССЕЛЕМ НАСЫЩЕНИЯ

4.4.1. Регулирование режима с помощью дросселя насыщения

Простейший дроссель насыщения (рис. 4.11) имеет стержневой или тороидальный магнитопровод, обмотку управления ОУ, питаемую постоянным током, и рабочую обмотку ОР переменного тока, подключенную в цепь нагрузки R_n через диод VD.

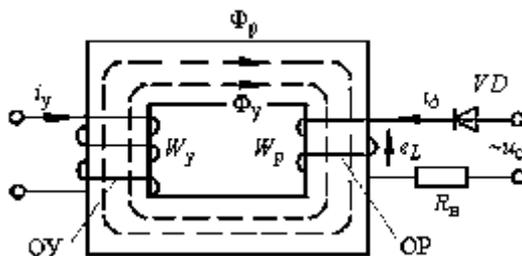


Рис.4.11. Конструкция дросселя насыщения

Регулирование режима с помощью дросселя насыщения заключается в изменении задержки включения тока нагрузки в пределах полупериода при изменении начального намагничивания сердечника.

Крутопадающие внешние характеристики формируются с помощью дросселя насыщения, работающего в режиме с компенсированными намагничивающими силами. Но такой выпрямитель имеет большую массу и стоимость, поэтому после появления тиристорных выпрямителей он уже не выпускается. Наилучшим образом дроссель насыщения раскрыл свои возможности при работе в режиме с самоподмагничиванием, в котором формируются ломаные характеристики с жестким рабочим участком и высоким напряжением холостого хода.

4.4.2. Выпрямитель, управляемый дросселем насыщения с самоподмагничиванием

Принцип действия такого выпрямителя иллюстрирует рис. 4.12. Трехфазный трансформатор Т с нормальным рассеянием понижает напряжение. Дроссель насыщения L имеет 6 сердечников, на каждом из которых намотано по одной рабочей обмотке ОР. Обмотки управления ОУ и смещения ОСМ охватывают все 6 стержней. В цепи обмотки управления имеется регулировочный реостат R. В цепи каждой рабочей обмотки установлено по вентилю силового выпрямительного блока V,

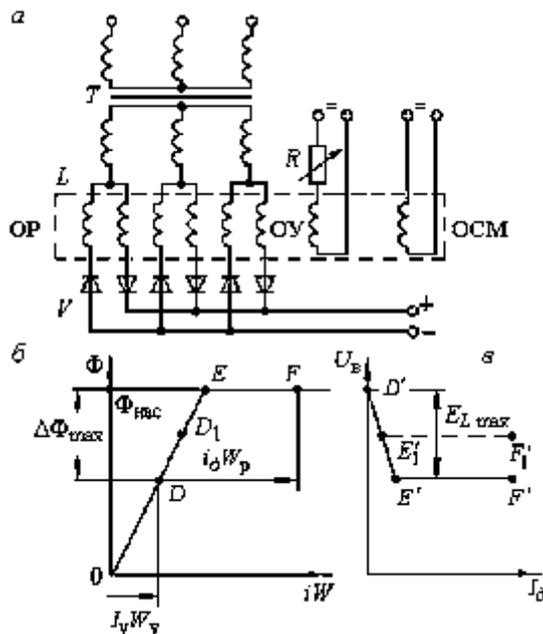


Рис.4.12. Выпрямитель управляемый дросселем насыщения с самоподмагничиванием: а- упрощённая принципиальная схема; б- кривая намагничивания магнитопровода дросселя; в- внешняя характеристика

поэтому по обмоткам идет ток только одного направления, так что намагничивающие силы рабочих обмоток и обмотки управления всегда совпадают. Такая конструкция называется дросселем с самонасыщением или самоподмагничиванием.

Жесткая внешняя характеристика с повышенным напряжением холостого хода получается у выпрямителя благодаря использованию дросселя насыщения с самоподмагничиванием, потери напряжения у которого при больших токах не зависят от нагрузки.

Выпрямленное напряжение плавно регулируется изменением тока обмотки управления.

Благодаря самоподмагничиванию коэффициент усиления дросселя по току получается очень высоким — около 200.

Сварочные свойства выпрямителя с дросселем насыщения достаточно высоки. Повышенное напряжение холостого хода, в 1,5 — 3 раза превышающее сварочное, способствует надежному начальному зажиганию. Устойчивое горение дуги наблюдается во всем диапазоне регулирования напряжения за исключением самого низкого напряжения — здесь, как и при фазовом регулировании, наблюдается режим прерывистого тока. Для устранения этого дефекта глубину плавного регулирования снижают, дополняя его ступенчатым. Кроме того, устойчивости процесса способствует и специальный сглаживающий дроссель, который ликвидирует провалы в кривой сварочного тока после короткого замыкания. Индуктивность дросселя, достигающая 0,5 мГн при высоких сварочных режимах, автоматически снижается при низких режимах. Это позволяет уменьшать разбрызгивание во всем диапазоне регулирования. Кратность плавно-ступенчатого регулирования сварочного напряжения превышает 2,5, что вполне отвечает технологическим требованиям.

4.5. ИНВЕРТОРНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

4.5.1. Принцип действия инверторного выпрямителя

Схема выпрямителя с транзисторным инвертором (рис. 4.13) наиболее удобна для объяснения процесса инвертирования. Сетевой выпрямительный блок $V1$ преобразует переменное напряжение сети в постоянное, которое сглаживается с помощью низкочастотного фильтра $L1 — C1$. Затем выпрямленное напряжение $u_{вс}$ преобразуется в однофазное переменное $u1$ высокой частоты с помощью инвертора на двух транзисторах $VT1$ и $VT2$. Далее напряжение понижается трансформатором T до $u2$, выпрямляется блоком вентилей $V2$, проходит через высокочастотный фильтр $L2 — C2$ и подается на дугу в виде сглаженного напряжения $u_{в}$.

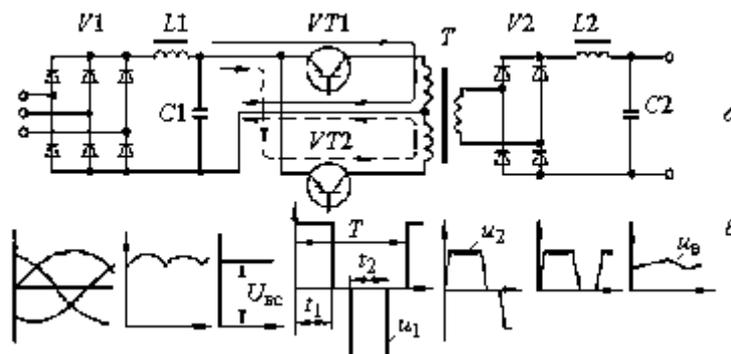


Рис.4.13. Принципиальная схема (а) и осциллограммы напряжений (б) выпрямителя с транзисторным инвертором

Инвертор — это устройство, преобразующее постоянное напряжение в высокочастотное переменное.

Конвертор — устройство для понижения или увеличения постоянного напряжения с промежуточным высокочастотным звеном.

Регулирование режима сварки осуществляется несколькими способами. Например, при увеличении напряжения сетевого выпрямителя $U_{вс}$ увеличивается и амплитуда высокочастотного напряжения $U2$ и среднее значение $U_{в}$ выпрямленного напряжения.

В инверторном выпрямителе используется амплитудное, широтное и частотное регулирование режима.

Внешние характеристики инверторного выпрямителя зависят главным образом от конструктивных особенностей инвертора и трансформатора. Естественная внешняя характеристика собственно инвертора АИН почти жесткая. Но поскольку индуктивное сопротивление трансформатора X_t , пропорциональное частоте инвертирования f , велико даже при небольшом магнитном рассеянии, то характеристика выпрямителя в целом получается падающей. Обычно же внешние характеристики формируются искусственно с помощью системы управления.

В инверторном выпрямителе сравнительно легко получить ломаную внешнюю характеристику, сформированную из нескольких участков. Крутопадающий участок необходим для задания сравнительно высокого напряжения холостого хода, что полезно при зажигании дуги. Пологопадающий основной участок обеспечивает эффективное саморегулирование при механизированной сварке в углекислом газе. Вертикальный участок ограничивает сварочный ток, что предотвратит прожог при сварке тонкого металла. Последний участок задает величину тока короткого замыкания. Разумеется, положение каждого участка настраивается с помощью отдельных регуляторов. Так, при сварке в углекислом газе перемещением по вертикали участка регулируется сварочное напряжение, а при сварке покрытыми электродами перемещением участка устанавливается сила тока.

И все же инверторный выпрямитель дороже других источников, поэтому его рекомендуют использовать в тех случаях, где имеют значение малые масса и габариты — при сварке на монтаже, в быту, на ремонтных работах. В

эксплуатации такой источник чрезвычайно экономичен. Его коэффициент мощности $\cos\phi$ близок к 1, т.к. он не потребляет реактивной мощности. Его КПД не ниже 0,7, а иногда достигает 0,9. Главный недостаток инверторного выпрямителя заключается в чрезмерной сложности устройства и связанной с этим низкой надежности и ремонтпригодности. Специфическим недостатком является также повышенный шум, издаваемый высокочастотным трансформатором, выходным фильтром и дугой. Радикальный способ борьбы с шумом заключается в повышении рабочей частоты сверх 20 кГц, что выводит акустический эффект за пределы слышимого звука. Частным недостатком выпрямителей с транзисторным инвертором является их малая мощность. Дело в том, что отечественные силовые транзисторы на ток больше 20 А пока еще не освоены серийно. Решение проблемы — в использовании не полностью управляемых силовых вентилях — тиристорах.

4.5.2. Выпрямитель с тиристорным инвертором

При конструировании тиристорного инвертора главная трудность заключается в необходимости выключения тиристора для прекращения каждого импульса. Как известно, тиристор, установленный в цепи постоянного тока, невозможно выключить снятием сигнала управления (если не считать специальных запираемых тиристоров). Принципиально для его выключения необходимо снизить до 0 анодный ток, а после прекращения тока некоторое время поддерживать обратное напряжение для восстановления запирающих свойств. Это возможно, если параллельно или последовательно с тиристором включить конденсатор, разрядом или зарядом которого прекращается ток в анодной цепи тиристора. Поэтому различают параллельный и последовательный тиристорные инверторы (рис.4.14).

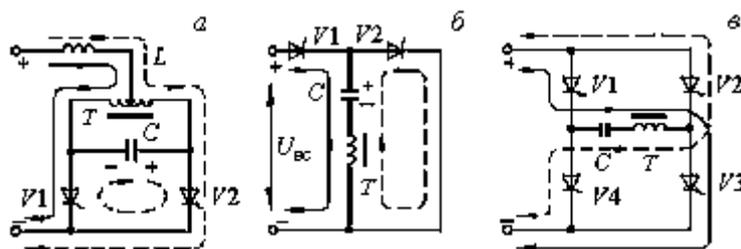


Рис.4.14. Схемы тиристорных параллельных (а) и последовательных (б,в) инверторов

Резонансный последовательный инвертор, собранный по симметричной полумостовой схеме (рис.4.15), наиболее распространен. В сравнении с мостовой схемой здесь не только достигается экономия тиристоров, но и прощается система управления.

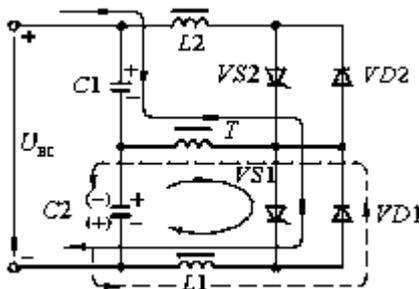


Рис.4.15. Принципиальная схема резонансного последовательного инвертора

Универсальный тиристорный выпрямитель ВДУЧ-301 У3 с последовательным резонансным инвертором (рис. 4.16) — одна из первых серийных отечественных конструкций.

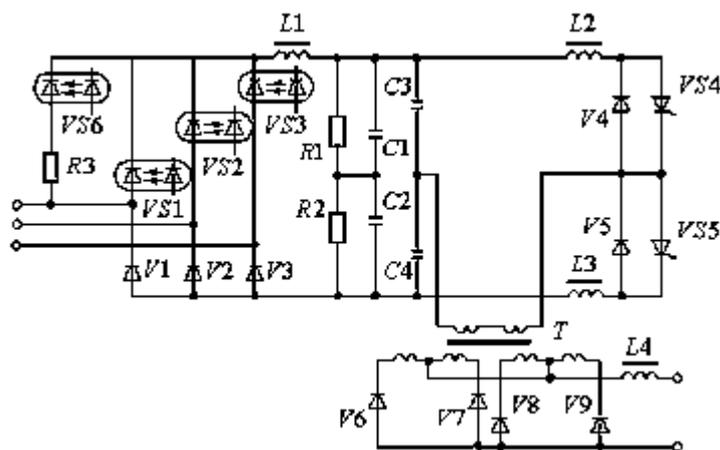


Рис.4.16. Упрощённая принципиальная схема выпрямителя ВДУЧ-301 У3

Другие конструкции выпрямителей, как правило, также имеют тиристорный резонансный инвертор, собранный по симметричной полумостовой схеме. Выпрямитель ВДЧ-122 предназначен для ручной дуговой сварки, он может использоваться для питания пульсирующей дуги. Выпрямитель ФЕБ-160 является универсальным источником, предназначенным для ручной и механизированной сварки в углекислом газе. Его схемой предусмотрена возможность питания привода шлангового аппарата, а также запуск двигателя внутреннего сгорания. Выпрямители ПИРС-160, ВДУЧ-161, ДС-250 У, ВДУЧ-315, ФЕБ-350 и ПИРС-500 также являются универсальными. Выпрямители ВДУЧ-16, ДС-140 и ТИР-ВЧ-125 РС предназначены для ручной дуговой сварки, но могут использоваться и для сварки неплавящимся электродом. Источник ТИР-МАГ-500 предназначен для сварки в углекислом газе.

Высокой степенью совершенства обладают универсальные источники PS-2800 и PS-5000 финской фирмы «Кемпши». Они положены в основу так называемой мультисистемы, в которой на базе общего источника могут комплектоваться сварочные установки четырех разных типов. В простейшем случае один только источник используется для ручной дуговой сварки. Во втором варианте источник дополняется блоком цикла с осциллятором, а также газовой аппаратурой и горелкой для аргоно-дуговой сварки. В этом варианте, кроме постоянного тока, возможна также сварка алюминиевых сплавов знакопеременными прямоугольными импульсами регулируемой амплитуды и продолжительности. В третьем варианте установка комплектуется приводом подачи электродной проволоки и становится пригодной для механизированной сварки в защитном газе. Наконец, в четвертом варианте последняя установка дополняется блоком импульсов для сварки плавящимся электродом в инертном газе с управляемым переносом.

4.5.3. Выпрямитель с транзисторным инвертором

Схемное решение транзисторного инвертора проще, чем у тиристорного.

Двухтактный мостовой инвертор показан на рис. 4.17,а. В первом полупериоде (такте) система управления запускает транзисторы VT1 и VT4, и ток идет по первичной обмотке трансформатора в направлении, показанном тонкой линией. Во втором полупериоде путь тока через транзисторы VT2 и VT3 показан пунктирной линией.

Однотактный полумостовой инвертор на рис. 4.17,б приведен в составе конвертера, он имеет половинное количество транзисторов. В момент t_1 при отпирании транзисторов VT1 и VT2 по первичной обмотке трансформатора идет импульс тока, показанный тонкой линией. Затем следует пауза $t_2 - t_4$, после чего в этом же направлении проходит такой же импульс тока (рис.4.17,в). Таким образом, в однотактном инверторе ток оказывается переменным только по величине, но не по направлению. Недостатком такой схемы являются значительные перенапряжения на транзисторах в момент их выключения. Этот дефект устраняется при установке диодов VD1, VD2. С момента t_2 выключения транзисторов энергия, запасенная в индуктивности первичной цепи, возвращается в сеть. При этом по первичной обмотке через диоды по пути, показанному пунктирной линией, идет ток, постепенно снижаясь к моменту t_3 .

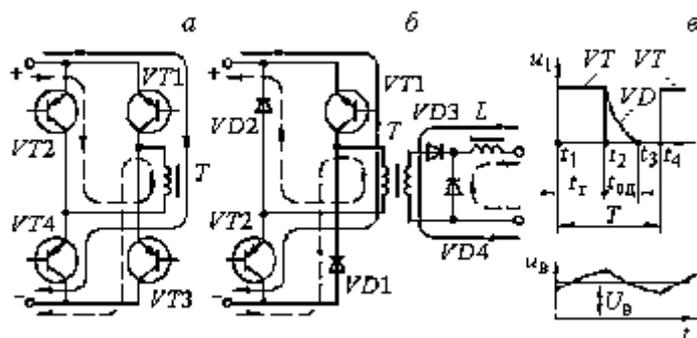


Рис.4.17. Схемы транзисторных инверторов

Инверторный выпрямитель LHL-315 шведской фирмы «ЭСАБ» показан на рис. 4.18.

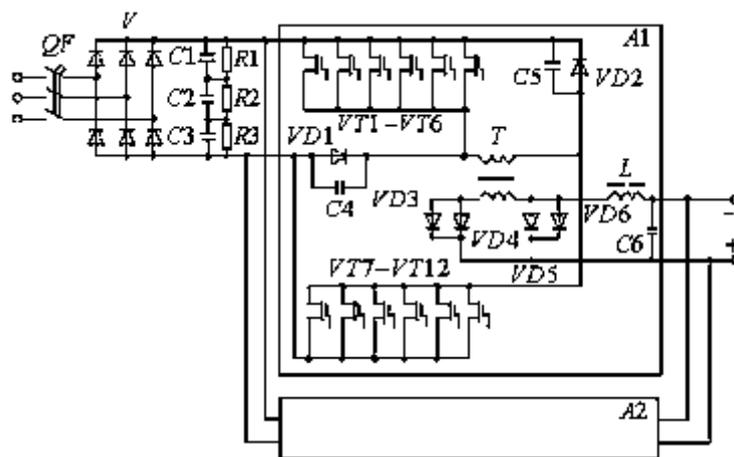


Рис.4.18. Упрощённая принципиальная схема выпрямителя LHL-315

Выпрямитель предназначен для ручной сварки покрытыми электродами и имеет крутопадающую внешнюю характеристику, сформированную системой управления. Подобным же образом, но только с одним одноктактным инвертором выполнен портативный выпрямитель «Кэдди». Самая малая его модификация на 130 А имеет массу 8 кг и переносится, как сумка, на ремне.

Последние разработки в области транзисторных инверторов представлены конструкцией выпрямителя LUC-500 той же фирмы «ЭСАБ». Он является универсальным, т.е. пригодным как для ручной дуговой сварки, так и механизированной в защитных газах, в том числе импульсно-дуговой. В нем используется инвертор с частотой 48 кГц на мощных МОП- транзисторах. Источник снабжен микропроцессорным устройством «Аристо», реализующим принцип синергетического управления, т.е. автоматической настройки режима по математической модели.

Выпрямитель TS-330 «Трансинергик» австрийской фирмы «Фрониус» с транзисторным инвертором на 60 кГц также является универсальным синергетическим источником. Установка режима выполняется с помощью регуляторов, на которых указаны марка свариваемого металла и диаметр электродной проволоки. В памяти машины содержатся 18 стандартных программ и до 32 подобранных сварщиков. Предоставлен и широкий выбор вариантов программного управления. Эта же фирма выпускает компактный источник TP-200 «Транспокет» для ручной дуговой сварки с транзисторным инвертором с частотой 30 кГц.

Хорошими сварочными свойствами обладает также легкий инверторный выпрямитель «Мастер-3500» фирмы «Кемпи», предназначенный для ремонтных и монтажных работ с использованием покрытых электродов. В нем используются биполярные транзисторы с улучшенным охлаждением, что существенно повышает их нагрузочную способность и надежность.

Из отечественных источников с транзисторным инвертором следует отметить выпрямители ДС140.3 и ДС250.3. Последний собран по одноктактной полумостовой схеме с широтно-импульсным регулированием и предназначен для ручной дуговой сварки, в том числе на импульсном режиме. Он имеет кроме плавного регулирования сварочного тока еще и независимую настройку тока короткого замыкания. Предусмотрено также форсирование режима при зажигании дуги и снижение напряжения холостого хода до безопасного значения.

4.6. МНОГОПОСТОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

4.6.1. Общие сведения о многопостовых системах

При наличии в цехе большого количества постов сварки рационально использование многопостовых систем питания (от 4 до 30 постов на один источник). Многопостовые трансформаторы в настоящее время серийно не выпускаются. Многопостовые выпрямительные системы изготавливают на токи 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 4000 и 5000 А. По назначению различают системы для ручной сварки, для механизированной сварки в углекислом газе и универсальные.

Система имеет общий источник, шинопровод и постовые устройства (рис. 4.19). Перспективны два варианта систем: выпрямитель с постовыми реостатами, дросселями или полупроводниковыми регуляторами и трансформатор с постовыми управляемыми выпрямительными блоками.

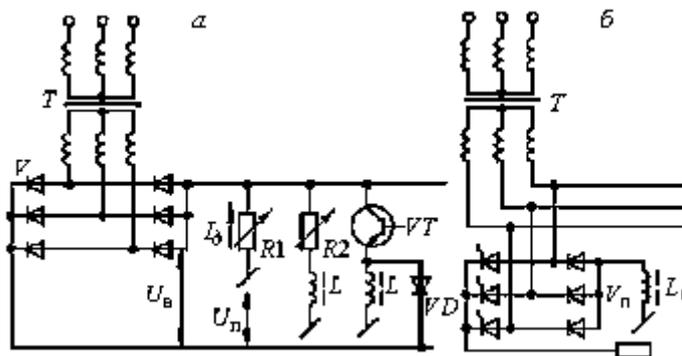


Рис.4.19. Упрощённые принципиальные схемы многопостовых выпрямительных систем: а- с постовыми регуляторами; б- с постовыми выпрямительными блоками

Любая из систем должна иметь развязку постов, т.е. обеспечивать независимость работы постов друг от друга. Поэтому внешняя характеристика общего источника должна быть жесткой. Действительно, при падающей характеристике короткое замыкание на одном из постов вызвало бы снижение напряжения и погасание дуги на других постах. Кроме того, для развязки ток короткого замыкания поста должен быть ограничен, например, наличием балластного реостата или дросселя.

Наиболее распространена простейшая система (рис. 4.19,а). В ней используется многопостовой выпрямитель, состоящий из трансформатора Т и силового выпрямительного блока V.

4.6.2. Многопостовые выпрямители

Выпрямители для ручной дуговой сварки обычно изготавливают по схеме рис. 4.19,а. Для обеспечения жесткой характеристики трехфазный понижающий трансформатор должен иметь минимальное рассеяние, иногда его первичные обмотки секционируют для регулирования выпрямленного напряжения в небольших пределах. В мощных выпрямителях используют все разновидности шестифазной схемы выпрямления, обеспечивающей экономию на вентилях. Применяют как штыревые, так и таблеточные вентили на ток 200, 320, 400, 500 А с воздушным, реже водяным охлаждением. Крутизна внешней характеристики не превышает 0,01 В/А. Сварочные свойства выпрямительных систем с балластными реостатами близки к аналогичным характеристикам однопостовых выпрямителей, но из-за значительных потерь в реостатах удельный расход электроэнергии здесь составляет 6—8 кВт·ч/кг.

Выпрямители для сварки в углекислом газе должны удовлетворять несколько более жестким требованиям. Во-первых, поскольку по технологическим соображениям не допускаются колебания рабочего напряжения более чем на $\pm 1,5$ В, напряжение выпрямителя должно быть стабилизировано с точностью не ниже ± 5 %, а внешняя характеристика должна иметь наклон не более 0,002 В/А. Второе отличие заключается в необходимости регулирования напряжения с кратностью около 2. В-третьих, постовое устройство должно ограничивать разбрызгивание металла.

В качестве многопостовых могут применяться универсальные выпрямители типов ВДУ-1201, ВДУ-1202, ВДУ-1604, при этом используют жесткие характеристики с плавной регулировкой напряжения.

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕНЕРАТОРАХ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ, АГРЕГАТАХ

Сварочный генератор преобразует механическую энергию вращения якоря в электрическую энергию постоянного тока, необходимую для сварки. Генератор поставляется потребителю отдельно или в комплекте с приводным двигателем. Преобразователи, представляющие собой комбинацию асинхронного трехфазного двигателя переменного тока и сварочного генератора постоянного тока, используются для ручной дуговой и механизированной сварки в углекислом газе в основном в цеховых условиях. Агрегаты, состоящие из двигателя внутреннего сгорания и сварочного генератора, применяют в основном при ручной сварке в полевых условиях, на

монтаже и ремонте, где отсутствует электрическая сеть питания.

Различают коллекторные и вентильные генераторы.

1. Коллекторные

- а) с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой;
- б) с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой;
- в) универсальный с независимым возбуждением.

2. Вентильные

с индукторным генератором переменного тока и трехфазной мостовой схемой выпрямления.

5.2. КОЛЛЕКТОРНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

5.2.1. Общее устройство

Основными элементами сварочного коллекторного генератора постоянного тока являются: статор с корпусом, четырьмя основными магнитными полюсами и обмотками возбуждения; якорь с сердечником, в пазах которого уложена обмотка; коллектор, набранный из медных изолированных пластин; четыре токосъемные щетки, а также выводные зажимы.

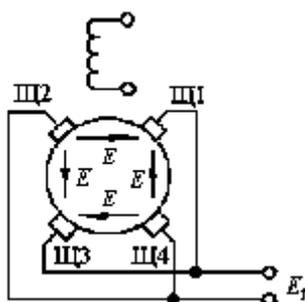


Рис.5.1. Конструктивная схема коллекторного генератора

Щеточно-коллекторное устройство обеспечивает получение постоянной ЭДС генератора при переменной ЭДС отдельных проводников, выполняя функцию механического выпрямления тока.

5.2.2. Генератор независимого возбуждения с последовательной размагничивающей обмоткой

На рис. 5.2 приведена упрощенная принципиальная схема генератора. Он имеет всего одну пару щеток и одну пару полюсов. На одном из полюсов намотана независимая обмотка НО, получающая питание от постороннего источника постоянного тока. На другом полюсе намотана размагничивающая обмотка ПР, включенная последовательно с якорем и нагрузкой. Таким образом, магнитный поток создается совместным действием независимой и последовательной обмоток. Это, как будет показано ниже, обеспечивает формирование крутопадающей внешней характеристики генератора. Плавное регулирование режима выполняется с помощью реостата R1, грубое — изменением числа витков последовательной обмотки и включением балластного реостата R2.

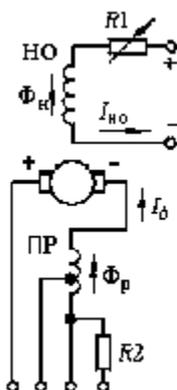


Рис.5.2. Принципиальная схема генератора с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Падающая внешняя характеристика у генератора с последовательной обмоткой получается благодаря ее размагничивающему действию.

Регулирование режима выполняется: плавно — изменением тока независимой обмотки и грубо — секционированием последовательной обмотки и включением балластного реостата.

5.2.3. Генератор с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Обычно генератор имеет статор с четырьмя основными полюсами и цилиндрический якорь с коллектором и четырьмя основными и одной дополнительной щеткой. На рис. 5.3 показана упрощенная двухполюсная конструкция генератора. Кроме основных щеток a и b , установленных на геометрической нейтрали, генератор имеет еще и дополнительную щетку c , используемую для питания намагничивающей параллельной обмотки НО.

Генератор сконструирован таким образом, что напряжение на щетках a — с почти не меняется с изменением нагрузки, поэтому и ток намагничивающей обмотки I_{HO} практически не зависит от тока нагрузки I_d . Это улучшает сварочные свойства генератора и сближает их со свойствами генератора с независимым возбуждением. Поток параллельной НО и последовательной ПР обмоток направлены встречно, поэтому генератор имеет падающую внешнюю характеристику. Регулирование режима, так же как и у генератора с независимым возбуждением, выполняется: плавно — изменением тока в цепи намагничивающей обмотки и грубо — секционированием последовательной обмотки.

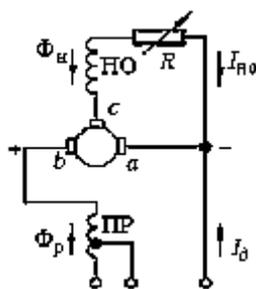


Рис.5.3. Принципиальная схема генератора с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

Технико-экономические показатели коллекторного генератора сравнительно низкие. Коэффициент полезного действия генератора 0,5 - 0,7, а с учётом КПД приводного двигателя и ещё ниже. Поэтому у преобразователей расход энергии весьма велик - 5 - 8 кВт*ч на 1кг расплавленного электродного металла. Для агрегатов с дизельным двигателем соответствующая характеристика -1,5 - 3кг топлива на 1кг металла, с бензиновым двигателем - 3 - 5кг топлива.

5.3. ВЕНТИЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

5.3.1. Общее устройство, достоинства и назначение

Как известно, вентильным генератором принято называть комбинацию генератора переменного тока и выпрямительного блока. Переменный ток обычно вырабатывается синхронным генератором с ротором явнополюсной конструкции или индукторным генератором.

Синхронный генератор работает следующим образом (рис. 5.4,а). К обмотке возбуждения 4 ротора 3 с помощью двух контактных щеток 6 и колец 5 подводится сравнительно небольшой постоянный ток, в результате чего создается вращающийся магнитный поток возбуждения Φ_v , замыкающийся по железу ротора и статора 2. При перемещении потока относительно неподвижной силовой обмотки 1 в ней создается переменная ЭДС, направление которой в части витков показано на рисунке в соответствии с правилом правой руки.

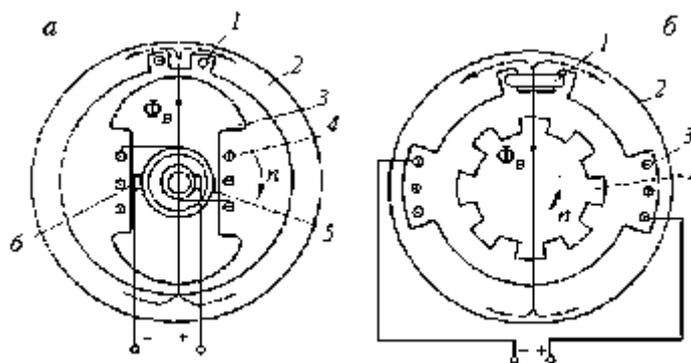


Рис.5.4. Конструкция синхронного (а) и индукторного (б) генераторов переменного тока

Индукторный генератор (рис.5.4,б) имеет зубчатый ротор-индуктор 4, а обмотка возбуждения 3, питаемая постоянным током, размещена на статоре 2. Обмотка возбуждения создает постоянную намагничивающую силу, но поток возбуждения $\Phi_{\text{в}}$, пронизывающий силовую обмотку 1, имеет пульсирующий характер, поскольку магнитное сопротивление на его пути меняется при вращении ротора. Поток максимален при совпадении оси силовой обмотки с зубцом ротора и минимален при совпадении со впадиной ротора. Поэтому в силовой обмотке создается переменное напряжение $U_{\text{г}}$. На рис. 5.4,б полюса выше горизонтали являются южными, а ниже — северными, поэтому такой генератор называют разноименно-полюсным.

5.3.2. Одноименно-полюсный индукторный генератор

Устройство однофазного индукторного генератора (рис. 5.5) несколько проще, чем у трехфазного, поэтому сначала рассмотрим работу однофазного. Он имеет зубчатый статор — якорь 2, состоящий из двух пакетов из листовой электротехнической стали, и зубчатый ротор — индуктор 1, состоящий из двух пакетов, сдвинутых друг относительно друга на 180 электрических градусов (на один зубец). Между двумя пакетами статора закреплена кольцевая обмотка возбуждения 3, питаемая постоянным током. Силовая обмотка 4 переменного тока уложена в пазах статора. Поток возбуждения $\Phi_{\text{в}}$ идет по оси ротора, а затем звездообразно разветвляется, проходит через зубчатый пакет ротора по полюсам статора и замыкается по корпусу генератора. На рис. 5.5 тонкой линией показана только часть потока возбуждения, пронизывающая катушку силовой обмотки на одном из полюсов статора. Катушки могут соединяться друг с другом как последовательно, так и параллельно. У изображенного на рис. 5.5 генератора все полюса ближнего пакета статора являются южными, а дальнего пакета — северными. Такую конструкцию принято называть одноименно-полюсной в отличие от показанной на рис. 5.4,б.

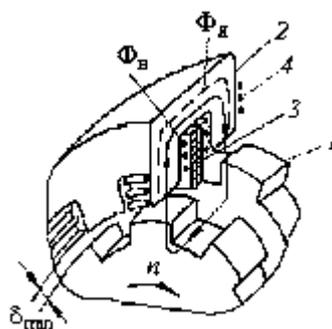


Рис.5.5. Конструктивная схема индукторного двухпакетного генератора

Индукторный генератор имеет естественную крутопадающую характеристику, что вызвано действием потоков рассеяния и потока реакции якоря, обладающего размагничивающим действием.

Регулирование режима вентильного генератора осуществляется на стадии переменного тока: плавно — изменением тока обмотки возбуждения, ступенчато — изменением соединения силовых обмоток (звезда, треугольник, параллельно).

6. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

6.1. ИСТОЧНИК ДЛЯ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В ИНЕРТНОМ ГАЗЕ

6.1.1. Особенности горения дуги и требования к источникам

связи L4 этого осциллятора соединена последовательно с основным источником, высокочастотный ток замыкается по цепи L4 — С — дуга. В этой цепи высокое напряжение осциллятора почти полностью приложено к дуге, а источник шунтирован конденсатором С, имеющим малое сопротивление для высоких частот. Недостатком такого осциллятора являются большие размеры катушки связи L4, по которой идет сварочный ток. Поэтому осцилляторы последовательного включения изготовляют на ток не более 400 А, в качестве примера можно привести осциллятор.

Главным преимуществом импульсных возбуждателей в сравнении с осцилляторами является отсутствие опасного высокого напряжения низкой частоты. Некоторые из них не имеют и разрядников, что повышает их надежность и снижает уровень радиопомех.

Импульсный стабилизатор предназначен для повторного зажигания дуги переменного тока, особенно при переходе к полупериоду обратной полярности. При сварке алюминия неплавящимся электродом стабилизатор должен генерировать пиковый импульс с амплитудой напряжения $U_{и} = 200 — 600$ В. Стабилизатор с частотой следования импульсов 50 Гц стимулирует зажигание дуги только обратной полярности, с частотой 100 Гц — дуги и обратной, и прямой полярности.

Устройства подавления постоянной составляющей переменного тока улучшают условия работы сварочного трансформатора, при этом подавление может быть полным или частичным. Простейшее устройство подавления включает в свой состав диод и резистор. Ток обратной полярности идет беспрепятственно через диод. Ток прямой полярности идет через резистор и поэтому снижается. При переходе на новый режим резистор необходимо заново настраивать. Этот способ из-за больших потерь в резисторе рекомендуется только для маломощных источников.

6.1.3. Источники постоянного тока

Пост аргоно-дуговой сварки на постоянном токе можно собрать на основе источника общепромышленного назначения. Для этих целей пригодны выпрямители для ручной сварки с крутопадающей характеристикой, например, серии ВД, или тиристорные выпрямители серии ВДУ. Кроме того, необходимы осциллятор или возбуждатель, дополненные фильтром высокой частоты. Однако более эффективно использование комплектных специализированных источников, описываемых ниже. Подробно рассмотрим конструкцию специализированной инверторной установки УДГ-350 (рис. 6.2). Она предназначена для аргоно-дуговой сварки как непрерывной, так и пульсирующей дугой. В ее состав входят автоматический выключатель QF, сетевой фильтр C1—C6, L1—L3, сетевой выпрямительный блок VD, сглаживающий дроссель L4 и четыре транзисторных

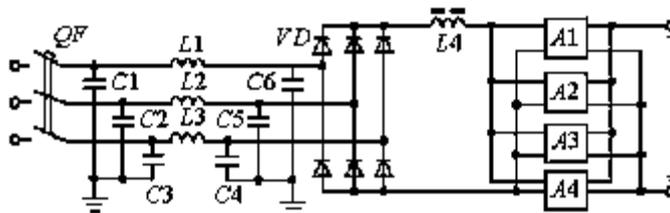


Рис.6.2. Упрощённая схема установки УДГ-350 УХЛ4

инверторных модуля А1—А4. Каждый инверторный модуль в свою очередь собран из 10 транзисторов по ранее описанной однотактной полумостовой схеме. В составе каждого модуля имеются собственный высокочастотный трансформатор и выпрямительный блок с фильтром. Благодаря этому повышается надежность работы источника, поскольку после выхода из строя одного из модулей установка продолжает работать, хотя и при меньшем токе. Частота инвертора достигает 16 кГц. Внешние крутопадающие характеристики сформированы за счет обратной связи по току, установка обеспечивает плавное регулирование тока с высокой кратностью, а также плавное нарастание тока и заварку кратера. Предусмотрена индикация работоспособности отдельных узлов, что облегчает пуско-наладочные работы. Подобное устройство имеют установки УДГ-1601 и УДГ-2504, а также выпрямитель ВДЧИ-252.

6.1.4. Источники переменного тока

Пост аргоно-дуговой сварки на переменном токе можно собрать из сварочного трансформатора с механическим регулирующим устройством типа ТДМ или СТШ, возбуждателя-стабилизатора ВСД-01 или БП-80 и конденсаторной батареи для подавления постоянной составляющей тока. При сварке на малых токах, если допустимо контактное зажигание дуги, используют трансформаторы ТДК-315 или «Разряд», укомплектованные импульсными стабилизаторами дуги на 50 или 100 Гц. Ниже описаны более эффективные комплектные источники.

Подробно рассмотрим конструкцию специализированной установки УДГ-501-1 (рис.6.3). В состав установки входят автоматический выключатель QF, пускатель К1, силовой трансформатор Т с переключателем S, диодно-тиристорное устройство VD, VS, блок поджига G с фильтром L, C1, а также не показанные на схеме вентилятор, газовый клапан и система

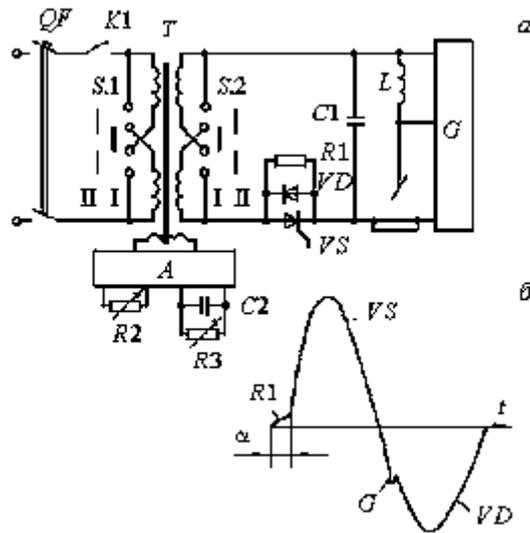


Рис.6.3. Упрощённая схема (а) и осциллограмма (б) установки УДГ-501-1 УХЛ4

управления. Силовой трансформатор Т с подмагничиваемым шунтом имеет крутопадающую характеристику. Для ступенчатого регулирования тока используют переключатель S, в положении II он обеспечивает параллельное соединение катушек первичной и вторичной обмоток, при котором ток в 3 — 4 раза выше, чем при последовательном соединении, получаемом в положении I. Плавное регулирование тока осуществляется с помощью обмотки шунта, которая получает питание от блока А через резистор R2 «Ток». Заварка кратера обеспечивается плавным снижением тока обмотки шунта при разряде конденсатора C2 на переменный резистор R3 «Время заварки».

6.1.5. Универсальные по роду тока источники

Желательно, чтобы один источник годился для сварки алюминиевых сплавов на переменном токе и остальных металлов на постоянном. Такой источник называют универсальным по роду тока.

Установка УДГУ-302 УХЛ4 (рис. 6.4) имеет в своем составе автоматический выключатель QF, контактор К, силовой трансформатор Т1 с увеличенным рассеянием, вентильный блок V1 — V6, блок подпитки V7, V8, R, импульсный

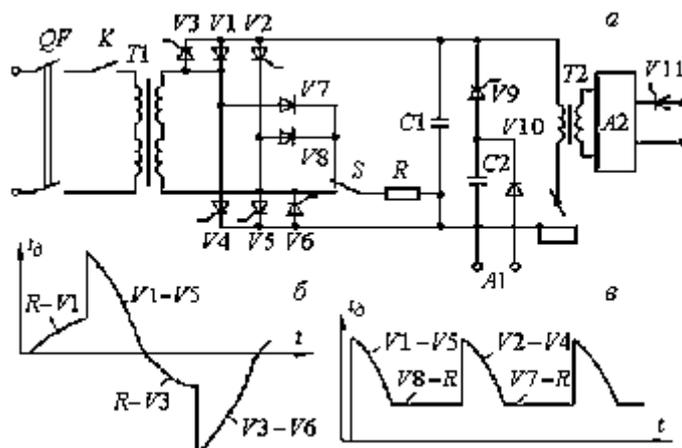


Рис.6.4. Упрощённая схема (а), осциллограмма переменного (б) и постоянного (в) тока установки УДГУ-302 УХЛ4

стабилизатор А1 и возбудитель дуги А2. При сварке на переменном токе работают диод V1, нерегулируемый, т.е. полнофазно включаемый тиристор V3 и попеременно включаемые регулируемые тиристоры V5, V6. Так, в полупериоде прямой полярности ток идет по цепи Т1—V5—дуга—V1—Т1, а в полупериоде обратной полярности по цепи Т1—V3—дуга—V6—Т1. С помощью тиристоров V5, V6 не только регулируется ток и формируется падающая характеристика, но еще и подавляется постоянная составляющая. При сварке на постоянном токе работают диод V1 и тиристоры V2, V4, V5, образуя несимметричную однофазную мостовую схему выпрямления, в которой поочередно работают то пара вентилях V1, V5, то пара V2, V4. При сварке на постоянном и переменном токе используется блок подпитки. При сварке на постоянном токе подпитка при указанном на схеме положении

контакта S образована диодами V7, V8 и балластным реостатом R. При сварке на переменном токе контакт S переключается, поэтому подпитка выполнена прямо от трансформатора T1 через балластный реостат R. Осциллограмма переменного тока показана на рис. 6.4,б, а постоянного тока — на рис. 6.4,в.

6.1.6. Источники разнополярных импульсов

Источник с индуктивными накопителями энергии (ИНЭ) И126 предназначен для сварки алюминия разнополярными импульсами (рис. 6.5). В его состав входят два автономных источника постоянного тока — регулируемые выпрямители G1 и G2, а также индуктивные накопители — дроссели L1 и L2, разделительные диоды VD1 и VD2, тиристорный коммутатор VS1, VS2 и коммутирующий конденсатор C. Как видно, выпрямитель G1 с накопителем L1 питает дугу прямой полярности по цепи G1—L1— дуга—VD2—VS2, а выпрямитель G2 с накопителем L2 питает дугу обратной полярности по цепи G2—L2— дуга—VD1—VS1.

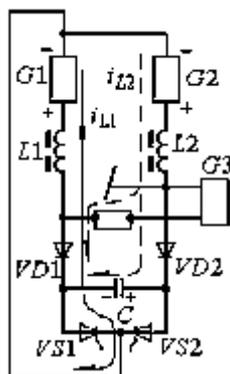


Рис.6.5. Силовая часть схемы источника разнополярных импульсов И-126

При колебаниях напряжения дуги ток импульса благодаря высокой электромагнитной инерции накопителей практически не меняется, следовательно, крутопадающая внешняя характеристика в источнике с ИНЭ формируется параметрически. Для начального зажигания дуги источник комплектуется осциллятором параллельного включения G3 с фильтром высоких частот. Система управления обеспечивает плавное нарастание тока в начале и плавный спад в конце сварки.

Источники с ИНЭ могут генерировать и униполярные импульсы для сварки пульсирующей дугой других металлов за исключением алюминия.

6.1.7. Высокочастотные источники

В качестве примера рассмотрим источник ИПИД-80 (рис. 6.6). В его состав входят понижающий трансформатор T, неуправляемый выпрямитель VD, транзисторный регулятор мощности VT1, коммутатор высокочастотных импульсов VT2, осциллятор G и система управления. Транзисторный регулятор VT1 осуществляет широтно-импульсное регулирование режима с частотой 1 — 2 кГц. Он состоит из двух транзисторных ключей, работающих со сдвигом по фазе на 180°.

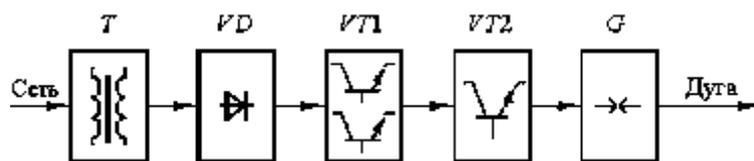


Рис.6.6. Блок-схема высокочастотного источника ИПИД-80

Регулятор, используя сигналы обратной связи по току и напряжению, формирует необходимые внешние характеристики. Благодаря высокому быстродействию транзисторного регулятора источник может быстро переходить от одного типа характеристики к другому. Так, при контактном поджиге дуги в течение десятых долей секунды используется крутопадающая характеристика, что предотвращает перегрев вольфрамового электрода. После этого за тысячные доли секунды источник переходит к работе с пологопадающей характеристикой, при которой благодаря своеобразному саморегулированию по плавлению основного металла стабилизируются размеры сварочной ванны.

6.2. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ СЖАТОЙ ДУГИ

6.2.1. Особенности горения сжатой дуги и требования к источникам

Сжатая дуга используется при плазменной сварке, наплавке, резке и напылении, а также при плазменно-механической обработке.

Плазменная сварка и наплавка выполняются с помощью плазматрона, изображенного на рис. 6.7,а. Дуга, горящая между вольфрамовым электродом и деталью, сжимается потоком аргона, проходящего по каналу сопла диаметром от 0,5 до 6 мм. По сравнению со свободной дугой сжатая дуга имеет более высокую температуру (до 20000 К на оси столба), повышенную проплавливающую способность и высокую пространственную устойчивость.

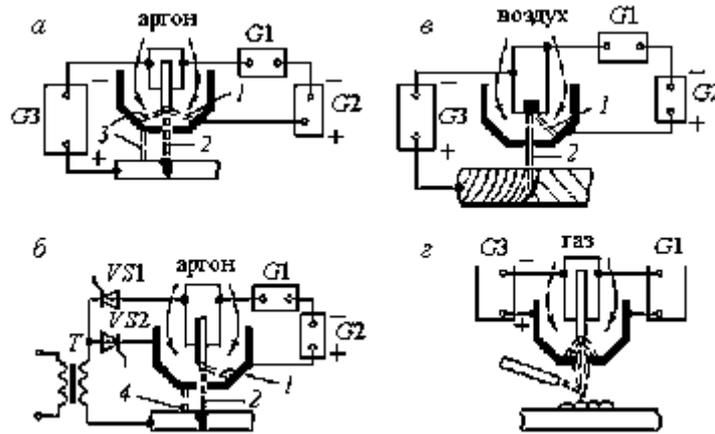


Рис.6.7. Схемы плазменных процессов: а- сварки на постоянном токе; б- сварки на переменном токе; в- резки; г- напыления

Начальное зажигание дежурной дуги выполняется осциллятором или возбудителем G1, обычно последовательного включения. Источник дежурной дуги G2 должен обеспечивать небольшой ток (до 20 А). В качестве такого источника используют маломощный выпрямитель с крутопадающей характеристикой или питают дежурную дугу от основного источника через балластный реостат.

Требования к основному источнику G3, как и при сварке свободной дугой, определяются родом сварочного тока и характером его модуляции.

Плазменная резка (рис. 6.7,в) выполняется за счет расплавления металла сжатой дугой и удаления его из полости реза благодаря кинетической энергии плазменной струи. Благодаря использованию электродов со стойкими циркониевыми и гафниевыми вставками резка выполняется с использованием дешевого сжатого воздуха.

Плазменно-механическая обработка (токарная, строгальная) — процесс, родственник плазменной резке. Плазматрон разогревает поверхность обрабатываемой детали, в результате чего значительно повышается подача, а следовательно, и производительность черновой обработки, особенно труднообрабатываемых твердых металлов. Требования к источнику те же, что и при плазменной резке.

Плазменное напыление (см. рис. 6.7,г) происходит при косвенном нагреве детали и плавлении порошка плазменной струей. Дуга горит только в плазматроне между электродом и соплом. Отдельный источник дежурной дуги здесь не нужен, в остальных требованиях к источнику совпадают с изложенными выше.

6.2.2. Источники для плазменной сварки

Рассмотрим устройство установки УПНС-304 (рис. 6.8). Она предназначена для сварки большинства металлов сжатой дугой прямой полярности и для сварки алюминиевых сплавов дугой обратной полярности как в непрерывном, так и импульсном режиме. В состав установки входит порошковый питатель и насадка на плазматрон, позволяющие выполнять плазменную наплавку. Установка также может использоваться для аргоно-дуговой сварки свободной (несжатой) дугой. Ее источник питания имеет автоматический выключатель QF, магнитный пускатель К, понижающий трехфазный трансформатор Т, силовой блок выпрямления V4 — V9, блок выпрямления дежурной дуги V1 — V3 с балластными реостатами, переключатель диапазонов S и блок поджигания с возбудителем G.

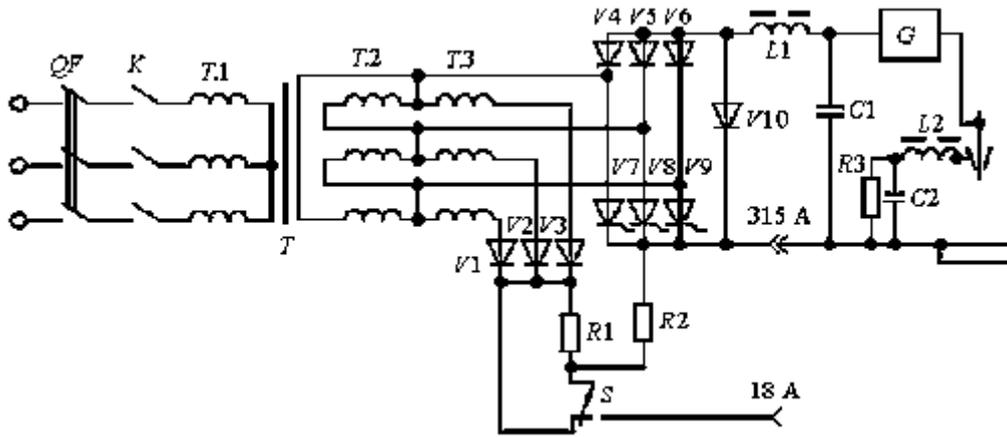


Рис.6.8. Упрощённая схема УПНС-304

В диапазоне больших токов (315 А) основная дуга «электрод—деталь» питается от вторичных обмоток Т.2, соединенных треугольником, и полупроводимой трехфазной мостовой схемы, собранной из диодов V4 — V6 и тиристоров V7 — V9.

6.2.3. Источники для микроплазменной сварки

Аппарат МПА-160 (рис. 6.9) предназначен для плазменной, микроплазменной и аргоно-дуговой сварки на постоянном токе, в том числе пульсирующей дугой. Аппарат имеет неуправляемый выпрямительный блок VD1, многозвенный тиристорный последовательный инвертор UZ1 с выпрямительным блоком VD2 для питания основной дуги и транзисторный инвертор UZ2 для питания дежурной дуги. Схема одного из звеньев основного инвертора приведена на рис. 6.9,б. При

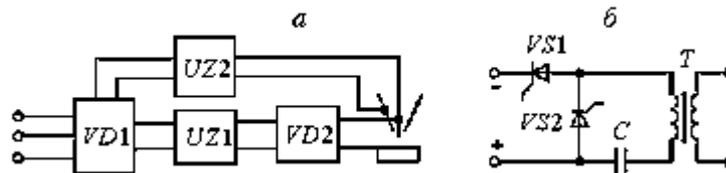


Рис.6.9. Блок-схема (а) и принципиальная схема тиристорного инвертора (б) источника МПА-160

поочередном включении тиристоров VS1 и VS2 происходит заряд и разряд конденсатора С, импульсы этого тока с помощью трансформатора Т передаются нагрузке. Сварочный ток регулируется изменением емкости конденсатора и частоты запуска тиристоров, которая может достигать 20 кГц. Достоинством инверторного источника является малая масса и широкие возможности регулирования режима.

6.2.4. Источники для плазменной резки

Источник БЭП-40 (рис. 6.10) может использоваться для плазменной резки, сварки, наплавки и напыления. Он состоит из

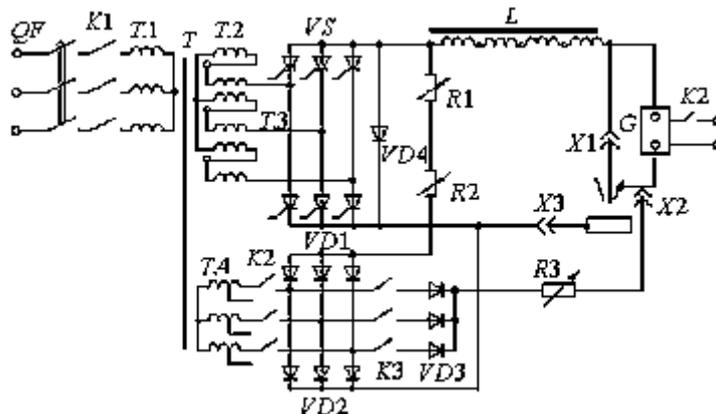


Рис.6.10. Упрощённая схема источника БЭП-40 (БЭП-80)

двух крупных конструктивных блоков — трансформаторного и выпрямительного. В состав трансформаторного блока входят автоматический выключатель QF, электромагнитный контактор K1, понижающий трехфазный трансформатор Т и дроссель L. Выпрямительный блок содержит блок тиристоров VS с обратным диодом VD4, блоки диодов VD1 — VD3, контакторы K2, K3 и балластные реостаты R1 — R3. В состав источника также входит внешний электронный блок управления с устройством поджига дуги G. Источник работает в одном из четырех режимов.

6.3. ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО — ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

6.3.1. Требования к источникам

Управляемый перенос электродного металла может быть реализован посредством модулирования сварочного тока с помощью источника. Способ механизированной сварки плавящимся электродом в аргоне и его смесях с модулированием тока получил название импульсно-дуговой сварки. Главным достоинством импульсно-дуговой сварки является возможность в 2 — 3 раза уменьшить нижний предел тока, при котором еще обеспечивается мелкокапельный перенос, и, следовательно, сваривать металл сравнительно малой толщины без опасности прожога и недопустимого разбрызгивания. Поскольку импульсный ток гарантирует направление переноса капли вдоль оси электрода, это облегчает сварку в вертикальном положении.

Типы импульсных источников, получившие наибольшее распространение — это приставки с емкостным накопителем энергии, тиристорные источники, источники с полупроводниковыми коммутаторами, инверторные источники.

Требования к источникам для импульсно-дуговой сварки в аргоне и его смесях сформулированы довольно четко. Ток импульса I_i для надежного сбрасывания капли должен превышать критический ток $I_{кр}$, соответствующий мелкокапельному переносу. При сварке проволокой от 0,8 до 2,5 мм он настраивается на уровне 200 — 1500 А. Длительность импульса должна регулироваться от 1 до 10 мс. Для того чтобы обеспечить принцип «один импульс на одну каплю», желательно стабилизировать энергию импульса.

6.3.2. Тиристорные источники

Серийно выпускается тиристорный выпрямитель ВДГИ-302 (рис. 6.11). Сетевое напряжение с помощью автоматического выключателя QF и пускателя К подается на однофазный понижающий трансформатор Т с нормальным рассеянием. Напряжение вторичной обмотки выпрямляется блоком вентилей VD1, VD2, VS1 — VS6 с двумя дросселями L1, L2. В этом блоке диоды VD1, VD2 работают в любом режиме. Тиристоры VS1, VS2 используются для генерирования пиковых импульсов. Амплитуда и длительность импульсов задается углом управления тиристоров, частота (50 или 100 Гц) зависит от того, один или оба тиристора используются. Тиристоры VS3, VS4 создают базовый ток, сглаженный дросселем L1. Фазовое управление тиристорами VS3, VS4 используется для настройки среднего значения напряжения дуги. Однако при глубоком регулировании в кривой базового тока появляются провалы. Поэтому схема дополняется цепью подпитки, обеспечивающей небольшой, но хорошо сглаженный ток. В ней применены оптронные тиристоры VS5, VS6, управляемые световым потоком светодиодов, что обеспечивает гальваническую развязку, т.е. независимость работы цепей управления от воздействия высокочастотных помех сварочной цепи. В цепи подпитки используется дроссель L2 с большой индуктивностью.

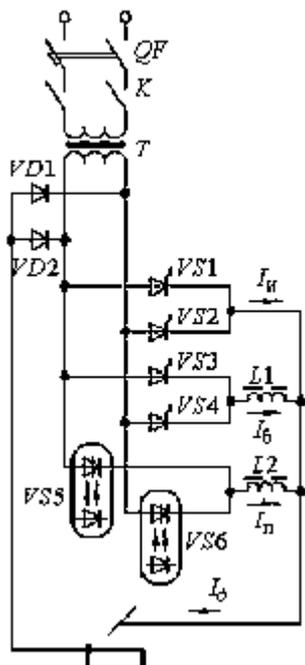


Рис.6.11. Схема силовой части выпрямителя ВДГИ-302 У3

Выпрямитель может работать как в режиме импульсного, так и базового тока. Однако преимущественно используется совместный режим работы всех цепей, при котором сварочный ток получается как сумма токов импульсного, базового и подпитки.

6.3.3. Источники с полупроводниковыми коммутаторами

В транзисторном источнике (рис. 6.12) сетевое напряжение понижается трансформатором с нормальным рассеянием T и выпрямляется неуправляемым вентильным блоком $VD1$ подобно тому, как это делается в сварочном выпрямителе общепромышленного назначения. Но в отличие от последнего для управления импульсным током источник дополняется коммутатором, состоящим из силового транзистора VT , токоограничивающего дросселя L и обратного диода $VD2$.

Система управления $A1$ задает режим работы транзистора. В ее составе имеется коммутатор задания $K3$, с помощью которого последовательно вводятся заданные значения $I_{ст}$ сварочного тока: базового $I_{б min}$ и $I_{б max}$ и импульсного $I_{и min}$ и $I_{и max}$. В устройстве сравнения CU заданное значение $I_{ст}$ сопоставляется с фактическим сварочным током $I_{д}$, измеренным

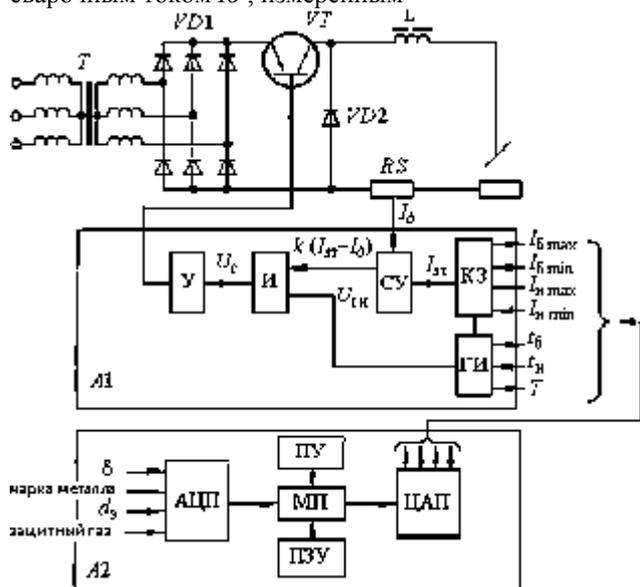


Рис.6.12. Упрощённая принципиальная схема источника с транзисторным коммутатором

датчиком тока RS. В схему совпадения И, кроме разностного сигнала $k(I_{zm} - Id)$, подаются также от генератора ГИ импульсы U_{zi} , параметры которых устанавливаются заранее: t_b — длительность базового тока, t_i — длительность импульсного тока, T — период следования импульсов. При совпадении во времени положительного сигнала $k(I_{zm} - Id)$ и импульса U_{zi} на выходе схемы И возникают импульсы U_c , которые через усилитель У подаются на базу силового транзистора VT.

6.4. ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ

6.4.1. Особенности горения трехфазной дуги

При сварке трехфазной дугой две фазы источника питания подключаются к электродам, третья — к изделию. Трехфазная дуга состоит из трех отдельных дуг, горящих в одном общем плавильном пространстве: две зависимых дуги (между электродами и изделием) и одна независимая (между электродами). Нагрузка, таким образом, может быть соединена только по схеме треугольника. В каждый момент времени может гореть не более двух дуг. Временами (при неблагоприятных условиях повторного зажигания) может гореть всего одна дуга. Вероятность того, что не горит ни одна дуга, очень мала. Повторное зажигание происходит с высокой надежностью, практически без пика зажигания в условиях, когда дуговой промежуток достаточно ионизирован другой, еще горячей дугой, и температура активных пятен достаточно велика. Поэтому напряжение холостого хода U_0 источника питания может быть значительно снижено — $U_0 = (1,2 - 1,25)U_d$. Вообще устойчивость горения трехфазной дуги очень высокая.

6.4.2. Схемы питания трехфазной дуги с использованием однофазных трансформаторов

Специальные трехфазные трансформаторы для трехфазной дуговой сварки в настоящее время не выпускаются. Иногда для этих целей приспособляют трехфазные понижающие трансформаторы другого назначения.

Наиболее широко используются схемы, собранные из однофазных трансформаторов. Три одинаковых трансформатора могут быть соединены как звездой, так и треугольником (рис. 6.13,а). Номинальная мощность каждого должна быть не менее $1/3$ мощности трехфазной дуги, которую будет питать схема. Производительность поста сварки трехфазной дугой в 2 — 2,5 раза выше, чем однофазной при одинаковых токах в электродах. Следовательно, трансформаторы в этой схеме недогружены.

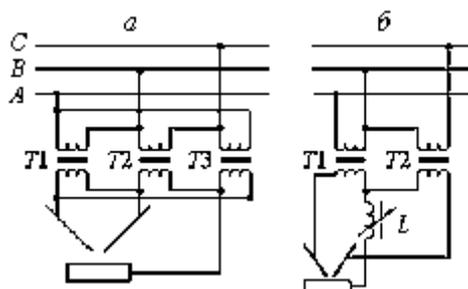


Рис.6.13. Схемы питания трёхфазной дуги

Правильней поэтому использовать схему питания трехфазной дуги, состоящую из двух трансформаторов. Наибольшее распространение получила схема открытого треугольника (рис. 6.13,б), обеспечивающая одинаковое напряжение питания всех трех дуг. Схему приходится дополнять дросселем в цепи изделия. В противном случае невозможно раздельное регулирование тока в изделии. Кроме того, при этом возникает двухдуговой режим, что снижает технологические свойства трехфазной дуги.

6.5. ТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

Для обеспечения электрошлакового процесса используется в основном переменный ток. Трансформаторы для электрошлаковой сварки классифицируют по способу регулирования напряжения и числу фаз. Рассмотрим наиболее распространенные типы (рис. 6.14).

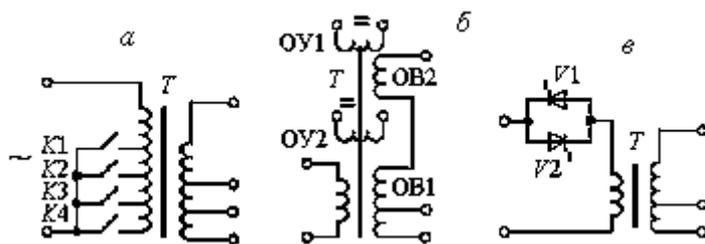


Рис.6.14. Схемы трансформаторов для электрошлаковой сварки

Однофазный трансформатор нормального рассеяния с секционированными обмотками (рис. 6.14,а) имеет практически жесткую характеристику с наклоном не более 0,01 В/А. Грубое регулирование напряжения перед сваркой осуществляется перестановкой переключки в цепи вторичной обмотки. Витковое регулирование на первичной стороне с помощью контакторов К1 — К4 обеспечивает изменение напряжения мелкими ступенями до 2 — 3 В и, как правило, возможно под нагрузкой. Трансформатор с магнитной коммутацией (рис. 6.14,б) имеет магнитную схему, подобную трансформатору для дуговой сварки с подмагничиваемым шунтом. При изменении тока в обмотках управления ОУ1 и ОУ2 меняется поток, пронизывающий дополнительную вторичную обмотку ОВ2, и за счет этого плавно изменяется вторичное напряжение трансформатора. Грубое регулирование возможно секционированием основной вторичной обмотки ОВ1.

Трансформатор с тиристорным коммутатором V1 — V2 в цепи первичной обмотки (рис. 6.14,в) обеспечивает плавное регулирование напряжения за счет изменения угла включения тиристоров. В отличие от трансформатора для дуговой сварки здесь нет необходимости в цепях подпитки, поскольку электрошлаковый процесс идет устойчиво при любых углах управления. Все три показанных типа трансформаторов возможны и в трехфазном варианте.

7.1. ВЫБОР, МОНТАЖ И ПУСК ИСТОЧНИКОВ

7.1.1. Методика выбора

Требования технологического процесса сварки стоят на первом месте среди критериев выбора. К ним относятся способ и вид сварки, род тока, диапазон сварочных режимов и т.д. Немаловажное значение имеют также цена и технико-экономические показатели источника. Все эти сведения обычно приводятся в справочниках, каталогах и номенклатурных списках заводов-изготовителей.

Систему обслуживания принимают в зависимости от количества постов сварки, компактно расположенных в цехе или на стройке. Многопостовые системы экономичны уже при количестве однотипных постов более четырех.

Способ сварки следует задать уже в начале выбора, поскольку от него зависят такие важные параметры источника, как тип внешней характеристики, напряжение холостого хода, кратность тока короткого замыкания и т.д.

Тип источника принимается в основном по соображениям экономичности и мобильности. Сварочные трансформаторы в 2 — 3 раза дешевле выпрямителей, просты в обслуживании и неприхотливы в эксплуатации. Выпрямители как источники постоянного тока обеспечивают более устойчивое горение дуги и, следовательно, более высокое качество сварки, особенно при токе менее 100 А. Агрегаты используются на монтаже и в строительстве в отсутствии сети электрического тока.

Уточнение выбора может быть выполнено с помощью критериев отраслевого стандарта ОСТ 16.0.800.669-79 «Оборудование электросварочное. Оценка уровня качества», хотя обычно он используется для аттестации оборудования перед массовым выпуском.

7.1.2. Размещение и подключение

Категория размещения источников питания учитывается при конструировании их кожухов и оболочек. Сварочные агрегаты, имеющие категорию размещения 1, могут эксплуатироваться на открытом воздухе, поскольку имеют собственную крышу и капот, защищающие их от дождя и снега. Сварочные трансформаторы, допускающие категорию размещения 2, могут работать под навесом. При этом они подвержены колебаниям температуры и влажности воздуха, но защищены от воздействия осадков. Большинство остальных источников (трансформаторы, выпрямители, преобразователи) изготавливаются по категории размещения 3, т.е. могут работать в закрытых помещениях (цехах) без регулирования климатических условий. Четвертая категория размещения (в помещениях с регулируемым климатом) рекомендуется только для источников с водяным охлаждением.

В сварочном цехе источники располагаются в отдельном помещении (машинном зале) или непосредственно у рабочих мест. В машинном зале улучшаются условия эксплуатации, обслуживания и ремонта, особенно многопостовых источников, но при этом увеличиваются расход сварочных кабелей и потери энергии. При

размещении источников в цехе их устанавливают вблизи стен или колонн, чтобы не занимать производственную площадь. Сварочные источники не нуждаются в фундаменте и устанавливаются прямо на полу.

7.1.3. Соединение источников на параллельную и последовательную работу

Особенности соединения на параллельную работу иллюстрирует рис. 7.1. Первичные обмотки трансформаторов Т1 и Т2 с помощью рубильников или автоматических выключателей Q1 и Q2 подключают обязательно к одинаковым линейным проводам трехфазной питающей сети, с тем, чтобы фазы вторичных ЭДС совпадали (рис. 7.1,а). Со вторичной стороны необходимо попарно соединить зажимы одинаковой полярности. С этой целью произвольно соединяют пару зажимов, например, X1 и X3, и на холостом ходу прибором PV проверяют напряжение между зажимами X2 и X4. Если напряжение близко к нулю, зажимы найдены верно. Если напряжение равно сумме $U_{01} + U_{02}$, следует поменять соединение зажимов. Во вторичной цепи устанавливают также рубильник Q3, с его помощью одна из пар зажимов (X2 и X4) соединяется уже после включения в сеть обоих трансформаторов, что предотвращает появление внутриконтурного тока большой величины.

Особенности соединения выпрямителей иллюстрирует рис. 7.1,б. Соединение диодных выпрямителей не вызывает особых трудностей. Внутриконтурные токи в таких схемах невозможны, поскольку к выпрямительному блоку они прикладываются в обратном направлении. Наиболее часто на параллельную работу соединяют многопостовые выпрямители. Они подключаются к общей магистрали тока по мере необходимости, причем некоторые из них могут находиться в резерве на случай выхода из строя работающего источника. Вентильные генераторы соединяются так же, как и диодные выпрямители. Выпрямители с тиристорными выпрямительными блоками соединять на параллельную работу не рекомендуется, поскольку у них даже при незначительном различии углов управления сильно отличается нагрузка.

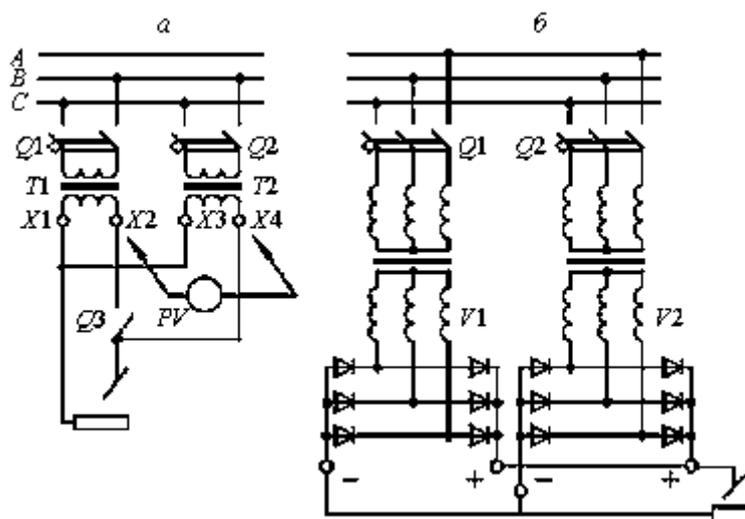


Рис.7.1. Схемы соединения на параллельную работу трансформаторов (а) и выпрямителей (б)

Последовательное соединение источников используется в том случае, когда необходимо повысить напряжение холостого хода и рабочее напряжение, например, при плазменных процессах. При этом плюсовой зажим одного источника соединяется с минусовым другого, а два оставшиеся соединяются с нагрузкой. Напряжение холостого хода в такой схеме, а ток

7.2. ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ИСТОЧНИКОВ

7.2.1. Организация обслуживания и ремонта

Система технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта (ППР) разработана для обеспечения бесперебойной и длительной работы электросварочного оборудования. С учетом действия этой системы завод-изготовитель дает гарантии отдельных показателей надежности. Так, наработка на отказ составляет не менее 1000—4000 часов при доверительной вероятности 0,8. Ресурс работы источников до капитального ремонта устанавливается на уровне 13—20 тысяч часов. Средний срок службы до списания составляет для агрегатов 3—4 года, а для трансформаторов и выпрямителей—5—8 лет.

Процедуры обслуживания и ремонта обычно указываются в технической инструкции на источник. Ежедневное

обслуживание источника выполняется сварщиком перед началом работы. Он осматривает источник для выявления внешних повреждений, проверяет наличие заземления, крепление сварочных кабелей и герметичность газовых и водяных коммуникаций.

Периодическое обслуживание выполняется наладчиком. Один раз в месяц источник очищают от пыли струей воздуха и чистой ветошью, зачищают от нагара контакты, измеряют сопротивление изоляции, у коллекторного генератора проверяют состояние коллектора и щеток. Раз в три месяца проверяют аппаратуру управления и входные фильтры. Каждые шесть месяцев меняют смазку в подшипниках, смазывают ходовые винты и другие трущиеся части, подтягивают болтовые соединения, проверяют состояние проводов, пайки и изоляции.

Текущий ремонт, как правило, выполняется наладчиком прямо на посту сварки без полной разборки, но с отключением от сети. При этом устраняются неисправности путем замены или восстановления отдельных частей, что и обеспечивает работоспособность источника до более серьезного ремонта. Следовательно, работоспособным может быть и не полностью исправный источник (например, при неработающем амперметре).

Средний ремонт выполняется, как правило, на ремонтном участке, при этом ресурс источника восстанавливается частично путем замены или восстановления только некоторых его частей.

Капитальный ремонт может выполняться на ремонтном участке или на специализированном ремонтном предприятии. При этом добиваются исправности источника с полным восстановлением его ресурса. Для этого приходится заменять и восстанавливать любые части источника, в том числе базовые, такие, как обмотка, вентильный блок, блок управления.

7.2.2. Устранение неисправностей

Перед поиском неисправностей следует ознакомиться с устройством, принципом действия и электрической схемой источника по его техническому описанию.

Поиск неисправностей начинают с внешнего осмотра источника со снятым кожухом. Иногда при обнаружении подозрительного элемента или блока его заменяют заведомо исправным и включают источник, наблюдая поведение этого элемента и работу источника в целом. Более эффективен способ поочередного отключения блоков или элементов, после каждого отключения на источник подают напряжение и одновременно наблюдают, не исчез ли при этом признак дефекта. Возможен и обратный этому способ последовательного подключения элементов и блоков. Трудоемким, но и более эффективным является способ измерения сопротивлений элементов (прозвонка) и напряжений в контрольных точках, а также осциллографирование.

7.3. БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ

7.3.1. Требования безопасности и эргономики к конструкции источников

При конструировании и изготовлении источников учитывают положения Системы стандартов безопасности труда (ССБТ), и в частности ГОСТ 12.2.007.8-75 «Устройства электросварочные и для плазменной обработки». По этому стандарту первичные цепи источников рассчитывают на подключение к сети переменного тока напряжением не более 660 В, обычно — на 380 В. Бытовые источники обычно подключают к сети 220 В. Напряжение холостого хода источника при ручной дуговой сварке на переменном токе ограничивается 80 В эффективного значения, на постоянном токе — 100 В среднего значения, при механизированной сварке под флюсом — 140 В. При плазменных процессах напряжение холостого хода не должно превышать при ручной резке 180 В, при полуавтоматической — 300 В, при автоматической — 500 В.

Источники, как и другие виды электротехнических изделий, по способу защиты человека относят к одному из пяти классов: 0, 0I, I, II и III. К классу 0 относятся источники, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и не имеющие заземления. Таковы, например, агрегаты с двигателями внутреннего сгорания. Большая часть источников относится к классам 0I и I, они имеют по крайней мере рабочую изоляцию и болт для заземления. Бытовые источники относятся к классу II и имеют двойную изоляцию, поскольку бытовая сеть обычно не имеет линии заземления.

Эргономические требования относятся, в частности, к наружной окраске источников. Принято окрашивать источники в немаркированные нейтральные цвета — серый, стальной, темно-зеленый. Источники повышенного напряжения, например, для плазменной резки, для привлечения внимания, наоборот, окрашивают в яркий цвет — желтый или красный. Приборы и органы управления источников располагают на высоте от 600 до 1800 мм от пола на передней вертикальной или горизонтальной поверхности. Кнопка «аварийный стоп» выполняется в виде красного грибка диаметром не менее 40 мм, удобной для нажатия формы. Источники для механизированной сварки снабжаются пультом дистанционного управления.

7.3.2. Меры безопасности при эксплуатации источников

В соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» сварщики относятся к группе II по электробезопасности персонала, обслуживающего электроустановки. Для лиц с группой II обязательны элементарное техническое знакомство с электроустановками, отчетливое представление об опасности электрического тока, знание основных мер предосторожности при работе, практические навыки оказания первой помощи пострадавшим. К работам по эксплуатации и обслуживанию источников сварщик допускается после инструктажа на конкретном оборудовании и проверки знаний. Работы, связанные с подключением и ремонтом источников, сварщику запрещены. Этим занимается электромонтер с более высокой III группой по электробезопасности. Для этих лиц, в дополнение к вышеперечисленным для группы II требованиям, обязательны знакомство с устройством и обслуживанием электроустановок, знание правил допуска к работе и специальных правил безопасности при подключении и ремонте электроустановок.

Одной из причин электротравматизма при сварке является поражение сварщика высоким (сетевым) напряжением. В частности, высокий потенциал может появиться на кожухе или в цепях сварочного напряжения при повреждении изоляции. В этом случае при одновременном касании земли и кожуха тело сварщика окажется включенным в цепь с высокой разностью потенциалов. Такую ситуацию и должно предотвратить заземление. Заземляющий провод соединяет кожух с землей, поэтому разность потенциалов между ними близка к нулю даже при описанной аварийной ситуации. Обязательно также заземление зажима сварочного напряжения, соединенного со свариваемым изделием. Не допускается последовательное включение в заземляющий провод кожухов нескольких источников. Недопустимо также использование сварочного провода, подключаемого к изделию, в качестве заземляющего, так же как и использование для заземления металлоконструкций зданий и трубопроводов. Иногда вместо заземления используется защитное зануление, т.е. соединение кожуха с нулевым проводом питающей трехфазной сети. В этом случае при попадании высокого напряжения на кожух образуется цепь короткого замыкания «фаза — кожух — нулевой провод», что приводит к срабатыванию защиты и отключению источника от сети.

В процессе эксплуатации исправного источника возможно поражение сварщика низким (сварочным) напряжением, типично поражение напряжением холостого хода. Поэтому, например, при механизированной сварке под флюсом, работа источника в режиме холостого хода ограничивается по времени, что предусмотрено схемой системы управления. При ручной сварке опасность повышается при сварке на переменном токе, внутри металлических сосудов, а также на открытом воздухе из-за действия атмосферных осадков и другой влаги. В этом случае рекомендуется использовать устройства снижения напряжения холостого хода.

7.3.3. Устройства снижения напряжения холостого хода

Такое устройство должно автоматически снижать напряжение холостого хода источника для ручной дуговой сварки до значения не более 12 В не позднее, чем через 1 с после размыкания сварочной цепи. Зажигание дуги при использовании такого устройства несколько затруднено.

На рис. 7.2 приведена упрощенная схема блока снижения напряжения холостого хода сварочных трансформаторов БСНТ-08-1 У2. На схеме также показан сварочный трансформатор Т с автоматическим выключателем QF. В составе блока имеются силовой контактор КМ, трансформатор тока Т1, трансформатор питания Т2 с плавкими предохранителями F1 и F2, вспомогательное реле К, сигнальные лампы HL1 и HL2, кнопки контроля S1 и S2, а также система управления А. Основными элементами системы управления являются измеритель сопротивления сварочной цепи А.1, основной А.2 и резервный А.3 таймеры, триггер управления А.4 и симистор VS, с помощью которого и запускается силовой контактор КМ. Блок питается сетевым напряжением через разъем X3, что контролируется лампой HL1 «Сеть». Электродержатель подключается сварочным кабелем к разъему X1 блока, а вторичная обмотка сварочного трансформатора — к разъему X2. Система управления через контакт КМ.4 соединена с корпусом блока, так что без заземления корпуса и свариваемого изделия блок работать не будет, благодаря чему обеспечивается дополнительная защита сварщика.

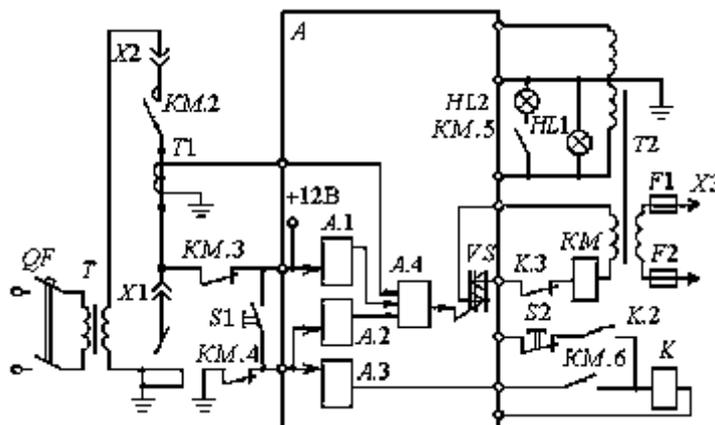


Рис.7.1. Упрощённая схема блока БСНТ-08-1 У2

В режиме холостого хода контактор КМ не работает, поэтому цепь дуги разорвана силовым контактом КМ.2. При этом на межэлектродный промежуток от системы управления через вспомогательные контакты КМ.3 и КМ.4 подается безопасное напряжение 12 В. Зажигание дуги начинается коротким замыканием электрода на изделие. При уменьшении сопротивления межэлектродного промежутка ниже 300 Ом измеритель сопротивления сварочной цепи А.1 дает команду триггеру А.4, а тот с помощью симистора VS подает напряжение трансформатора Т2 на обмотку КМ контактора. При этом замыкается силовой контакт КМ.2 и на дугу подается напряжение сварочного трансформатора Т. Далее система управления удерживается во включенном состоянии благодаря работе трансформатора тока Т1, который подает сигнал на триггер управления при горячей дуге. Таким образом, предотвращаются случайные срабатывания блока, не поддержанные включением сварочного тока. О включении сварочного трансформатора сигнализирует лампа НЛ2 «напряжение больше 12 В», включающаяся в результате замыкания контакта КМ.5.