

Электронный регулятор сварочного тока.

На различных машиностроительных предприятиях, судоремонтных и судостроительных заводах, там, где наблюдается большая концентрация сварочных рабочих мест, традиционно использовалась и используется многопостовая сварка постоянным и переменным током. Достоинством данного типа сварки является простота, безопасность и возможность экономии производственных площадей.

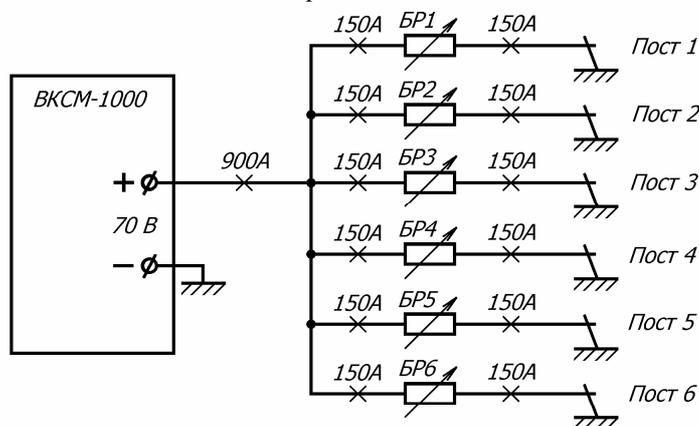


Рис. 1а

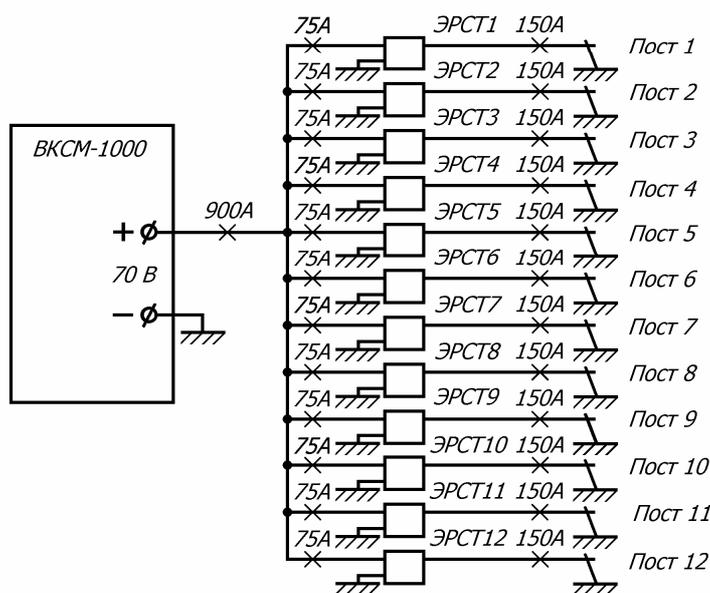


Рис. 1б

При многопостовой сварке несколько сварочных рабочих мест подключаются к одному многопостовому сварочному источнику (рис. 1а). Относительная независимость сварочных постов, работающих от одного общего источника, достигается тем, что каждый сварочный пост подключается через индивидуальный балластный реостат (БР), служащий для регулирования сварочного тока и получения необходимой крутопадающей нагрузочной характеристики. Использование БР является, возможно, наиболее простым, но не лучшим решением, т.к. при этом сильно снижается КПД. Низкий КПД обусловлен тем, что часть мощности рассеивается в виде тепла на БР. Так как напряжение сварочной дуги составляет 30 ... 50% от напряжения многопостового источника, то таким же является и КПД такого способа проведения сварочных работ.

Достижения современной электроники позволяют изготовить электронный аналог БР который будет иметь улучшенные эксплуатационные характеристики и при этом обладать КПД близким к 100%. На рис.1б изображен вариант, когда к одному многопостовому источнику, посредством электронных регуляторов сварочного тока (ЭРСТ), подключено в два раза большее количество рабочих мест и при этом многопостовой источник работает в обычном нагрузочном режиме. Выгода от такого решения очевидна, так как достигается одновременная экономия электроэнергии и оборудования при неизменном объеме сварочных работ.

В настоящее время различные фирмы, специализирующиеся в области сварочного оборудования, производят ЭРСТ, но стоимость их такова, что, в условиях отечественного производства, порой ставит под сомнение всякую экономическую эффективность от их применения. Например, ЭРСТ Multi-Weld 350 фирмы Lincoln Electric стоит 3349\$.

Целью данной статьи является желание поделиться опытом создания дешёвого сварочного регулятора. Только за счёт экономии электроэнергии описываемый ЭРСТ, при односменной работе, полностью окупается в течение года. Благодаря идеальным внешним характеристикам ЭРСТ обеспечивает лучшее формирование сварочного шва, практически отсутствует разбрызгивание металла. В ЭРСТ предусмотрена возможность регулировки наклона внешней динамической характеристики от крутопадающей до жёсткой. Данное обстоятельство позволяет использовать ЭРСТ как для ручной, так и для полуавтоматической сварки. Принцип работы ЭРСТ основан на модуляции входного напряжения полупроводниковым (ПП) ключом с последующей фильтрацией среднего значения напряжения. Благодаря тому, что ПП ключ имеет малую мощность рассеивания в закрытом и открытом состояниях, его КПД близок к 100%.

ЭРСТ оборудован защитами от неправильной полярности, от повышения или понижения питающего напряжения, от максимального тока и от перегрева. Указанный набор защит гарантирует надёжную работу ЭРСТ в производственных условиях.

Технические характеристики ЭРСТ:

Номинальный ток при ПВ=100%, А.....	315.
Минимальный ток, А.....	10.
Импульсный ток, А.....	500.
Напряжение питания, В.....	от 50 до 80.
КПД, %.....	92.

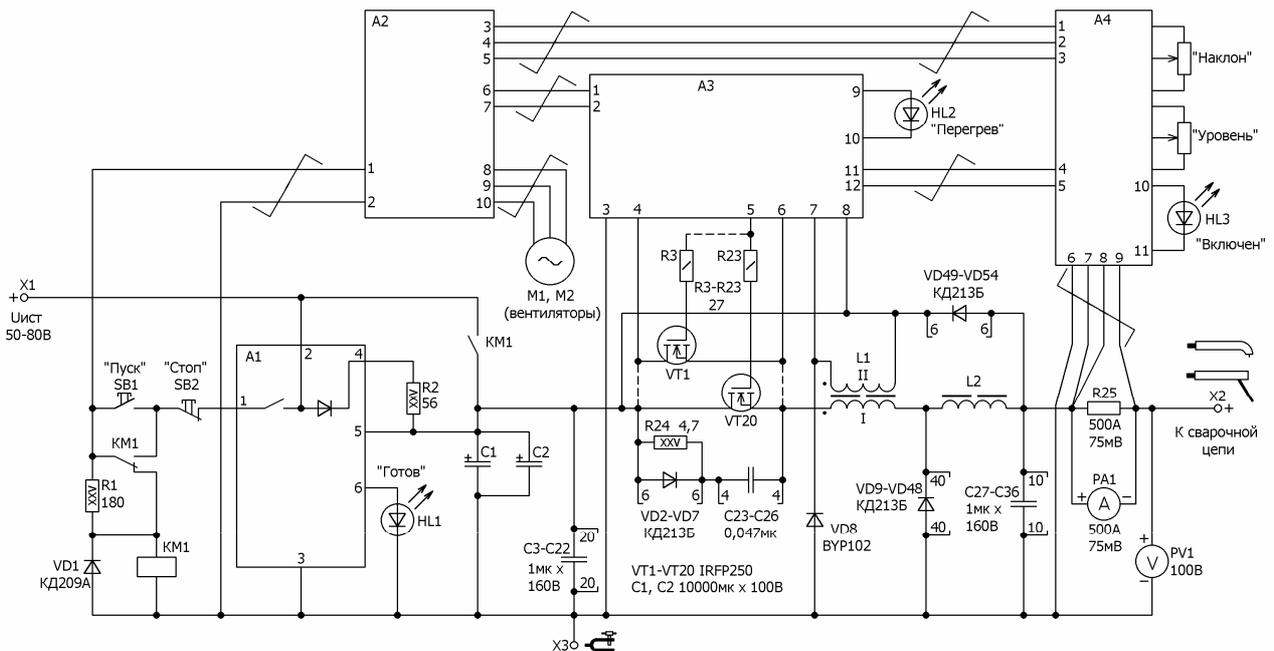


Рис.2

На рис.2 изображена общая электрическая принципиальная схема ЭРСТ. Основой ЭРСТ является импульсный понижающий преобразователь постоянного тока (chopper). Понижающий преобразователь состоит из электронного ключа (обычно роль ключа выполняет мощный биполярный или полевой транзистор), разрядного диода и сглаживающего фильтра. Тем, кто имеет желание подробнее узнать разобраться в работе понижающего преобразователя, можно порекомендовать воспользоваться литературой [1,2]. Ключевой транзистор VT1-VT20 преобразователя собран из 20-ти параллельно включенных MOSFET транзисторов IRFP250. MOSFET транзисторы характеризуются высоким быстродействием, малой мощностью управления и положительным ТКС проводящего канала. Последнее обстоятельство особенно важно, так как решает проблему выравнивания токов между параллельно включенными транзисторами. Разрядный диод VD9-VD48 состоит из 40-ка параллельно включенных диодов КД213Б. Сглаживающий фильтр ЭРСТ состоит из дросселя L2. Диоды КД213Б обладают большим временем обратного восстановления и поэтому для устранения сквозных токов, возникающих при открытии ключевого транзистора VT1-VT20, служит дроссель L1. При запитании разрядного диода VD9-VD48 излишки энергии, накопленные в дросселе L1, возвращаются в источник питания (конденсаторы фильтра C1, C2). Возврат энергии (рекуперация) возможен благодаря наличию у дросселя L1 обмотки II, последовательно с которой включен коммутирующий диод VD8.

Возвратный диод VD49-VD54, состоящий из 6-ти параллельно включенных диодов КД213Б, служит для рекуперации энергии, накопленной в дросселе L2, в источник питания, в момент резкого сброса нагрузки ЭРСТ. Резисторы R3-R23, включенные в цепи затворов транзисторов VT1-VT20, служат для предотвращения паразитного колебательного процесса в этих цепях.

Детали:

Транзисторы VT1-VT20 и диоды VD9-VD48 установлены на радиаторах, каждый из которых имеет охлаждающую поверхность 3400см². Для охлаждения радиаторов используются два вентилятора типа 1,25ЭВ-2,8-6-3270У4 суммарной производительностью 560м³/час.

Дроссель L1 намотан на ферритовом сердечнике М2000НМ строчного трансформатора ТВС110АМ(ТВС110ЛА) от старого лампового телевизора типа УНТ47/59. Первичная обмотка мотается лицендратом состоящим из 236-ти эмалированных проводов Ø0,55мм и содержит 2 витка. Вторичная обмотка мотается лицендратом состоящим из 10-ти эмалированных проводов Ø0,55мм и содержит 16витков. В оба зазора сердечника надо вставить немагнитные прокладки толщиной 3мм. Для обеспечения максимальной магнитной связи между обмотками, вторичную обмотку нужно расположить в объёме первичной. Провод вторичной обмотки, для предотвращения межвиткового или межобмоточного пробоя, необходимо обмотать лакотканью или фторопластовой лентой.

Дроссель L2 намотан на сердечнике Ш32х80 из трансформаторной стали с толщиной листа 0,35мм. Обмотка дросселя мотается лицендратом, состоящим из 330 эмалированных проводов Ø0,55мм, и содержит 8 витков. Сердечник дросселя собирается в стык. При сборке сердечника в зазор между пластинами различного типа необходимо вставить немагнитную прокладку толщиной 1,6...1,7мм.

Контактор КМ1 использован от осциллятора LHF500 фирмы КЕМРРЛ. Обмотка контактора была перемотана на напряжение 50В (оригинальная обмотка рассчитана на напряжение 24В). В качестве КМ1 можно использовать любой контактор, рассчитанный на коммутацию постоянного тока величиной не менее 200А.

В качестве реле К1(рис.2) использовано реле типа РЭС49, паспорт РС4.569.421-00 (так же подойдут РС4.569.421-04 и РС4.569.421-10).

Основные узлы

Рассмотрим назначение основных узлов ЭРСТ.

Клемма X1 ЭРСТ, при помощи гибкого провода, соединяется с плюсовой клеммой многопостового сварочного источника (МСИ). Минусовая клемма МСИ и клемма X3 ЭРСТ, подключаются к свариваемой конструкции, которая играет роль второго соединительного провода. Сварочный держатель подключается к клемме X2. При этом сварка производится на обратной полярности.

Конденсаторы С1, С2 и С3-С22 представляют из себя ёмкостный фильтр, который устраняет влияние индуктивности соединительных проводов и МСИ на работу ЭРСТ. Сразу после подключения ЭРСТ к МСИ осуществляется зарядка конденсаторов С1, С2 через зарядную цепочку, состоящую из внутреннего диода блока А1 и резистора R2. Контроль зарядки и входного напряжения ЭРСТ осуществляет блок А1. Если напряжение ЭРСТ в норме (в диапазоне от 50 до 80 В) и конденсаторы С1, С2 зарядились, то загорается индикатор HL1 "Готов" и срабатывает внутреннее реле блока А1, которое разрешает включение ЭРСТ. Для включения ЭРСТ необходимо кратковременно нажать на кнопку SB1 "Пуск". При этом срабатывает контактор КМ1, который своим блокконтактом шунтирует кнопку SB1 и становится на удержание через резистор R1. Своим силовым контактом КМ1 шунтирует зарядную цепочку.

После включения ЭРСТ, через блокконтакт контактора КМ1, подаётся питание на блок А2. Блок А2 служит для получения гальванически развязанных напряжений необходимых для питания блоков А3 и А4. Кроме этого блок А2 формирует трёхфазное напряжение 220В 50Гц необходимое для питания вентиляторов М1 и М2.

Блок А3 осуществляет управление ключевым транзистором VT1-VT20, а так же защиту его от перегрузки и перегрева. Кроме этого блок А3 запрещает отпирание ключевого транзистора до момента окончания цикла рекуперации дросселя L1. В случае перегрева ключевого транзистора его работа так же запрещается и загорается индикатор HL2 "Перегрев".

Блок А4 служит для контроля выходного тока и напряжения ЭРСТ, а так же для формирования, заданной органами управления "Наклон" и "Уровень", внешней нагрузочной характеристики регулятора сварочного тока.

Рассмотрим работу блока А1 (рис.3). Блок содержит узел двухпорогового компаратора, исполнительный релейный узел и узел контроля зарядки. Питание блока осуществляется непосредственно входным напряжением ЭРСТ (напряжение МСИ), которое понижается до необходимого уровня и стабилизируется параметрическим стабилизатором, собранным на резисторах R9, R10 и стабилитроне VD5.

Особенностью двухпорогового компаратора является применение специальных делителей, собранных на резисторах R1-R6 и стабилитронах VD1-VD3, позволяющего получить два порога срабатывания используя только один пороговый элемент DA1. Использование в делителях стабилитронов позволило получить

нелинейную зависимость коэффициента передачи делителя от входного напряжения.

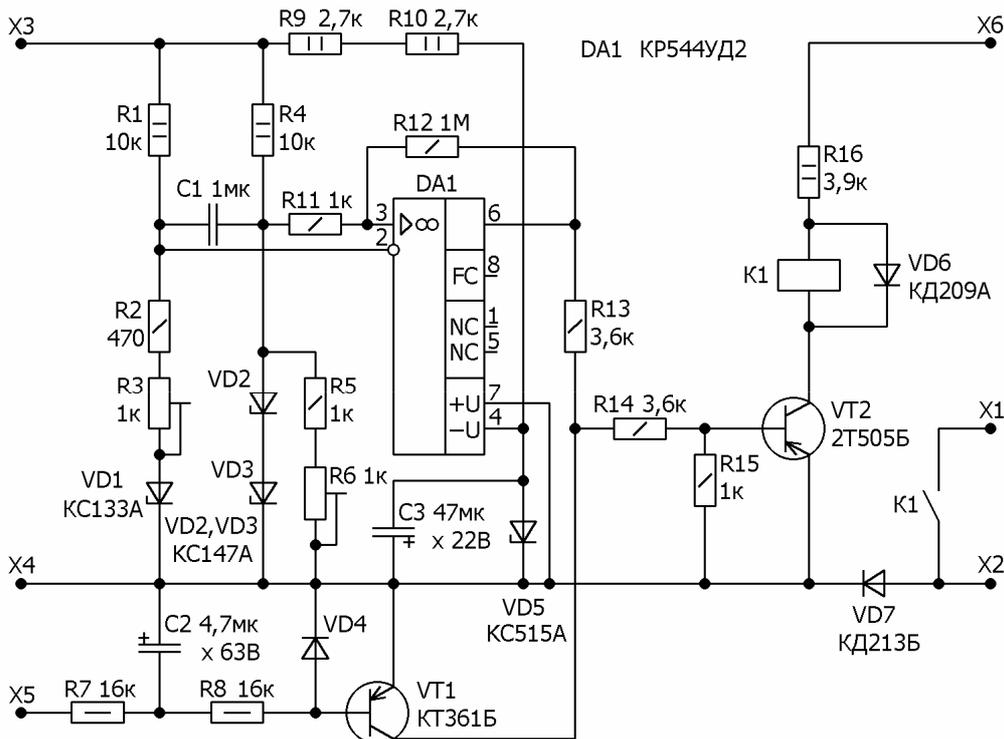


Рис.3

На рис.4 видно, что кривая 1, соответствующая делителю R1-R3, VD1, пересекается в двух точках с кривой 2, соответствующей делителю R4-R6, VD2, VD3. С помощью подстроечного резистора R3 настраивается верхний порог срабатывания компаратора (80В), а с помощью R6 нижний (50В). Резисторы R11, R12 позволяют получить чёткое, без “дребезга”, переключение компаратора DA1.

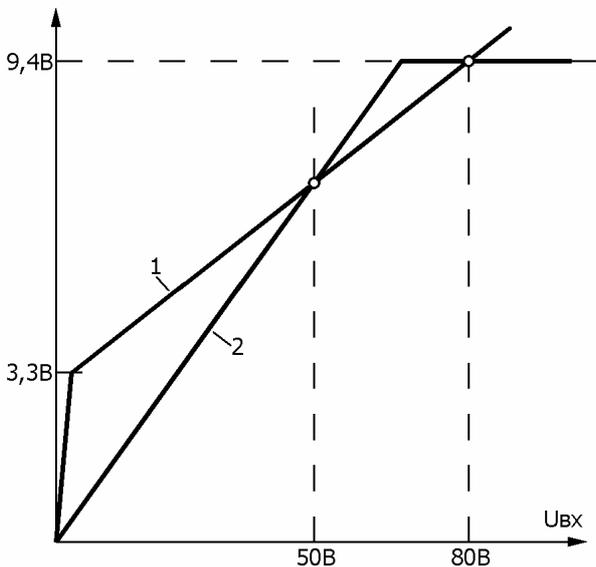


Рис.4

Исполнительный релейный узел собран на элементах VT2, VD6, K1 и R13-R16. Если напряжение источника в норме, то с выхода компаратора, через цепочку R13-R15, напряжение открывающей полярности поступает на базу транзистора VT2. Транзистор VT2 включает реле K1, которое своим контактом подаёт питание на кнопки SB1 и SB2 (рис.2). Резистор R16 создаёт необходимый токовый режим работы реле K1. Диод VD6 защищает транзистор VT2 от пробоя напряжением самоиндукции катушки реле K1, в момент его отключения. Диод VD7 защищает блок А1 от повреждения напряжением обратной полярности при ошибочном включении ЭРСТ.

Зачастую, в подобных устройствах, для зарядки конденсатора отводится некоторый промежуток времени. По истечении данного времени зарядный резистор шунтируется. Недостатком данного способа зарядки является то, что, например, при обрыве зарядного резистора к источнику питания будет

подключен незаряженный конденсатор, что может повредить его или же сам конденсатор (нечто подобное регулярно происходит в инверторных сварочных источниках ВДУЧ-160). В ЭРСТ используется специальный узел контроля зарядки, который содержит транзистор VT1, диод VD4, конденсатор C2 и резисторы R7, R8 и контролирует падение напряжения на зарядном резисторе R1(рис.2).

Рассмотрим работу источника питания ЗРСТ (блок А2 на рис.2). На рис. 5 изображена структурная схема источника питания. Нестабилизированное питание, с выхода многопостового сварочного источника (МСИ), поступает на вход понижающего стабилизатора напряжения. Полумостовой преобразователь преобразует постоянное напряжение 36В, поступающее с выхода стабилизатора напряжение, в переменное частотой 12,5 кГц, прикладываемое к первичной обмотке трансформатора. Благодаря тому, что преобразователь питается

стабилизированным напряжением, обеспечена групповая стабилизация напряжения, снимаемого со вторичных обмоток трансформатора. С выхода выпрямителя 1 питается трёхфазный мостовой преобразователь, который формирует трёхфазное напряжение 220В 50Гц, для питания вентиляторов, охлаждающих мощные коммутирующие элементы регулятора, а выпрямитель 2 питает узел управления им (блоки А3 и А4 на рис.2).

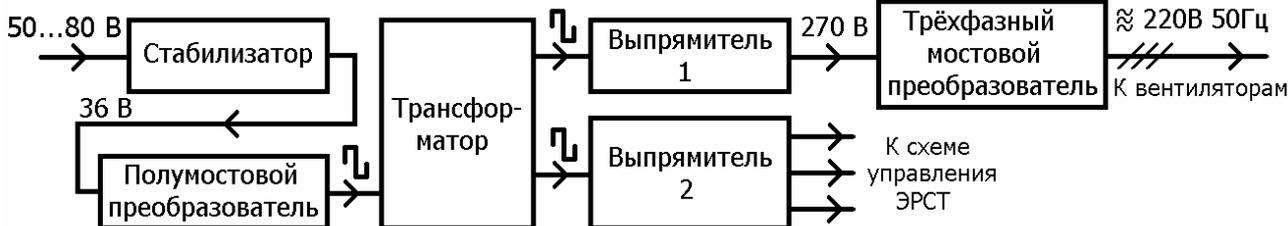


Рис.5

В процессе построения источника питания по-особому была решена проблема управления транзисторами полумостового и трёхфазного мостового преобразователей. Различными производителями, в том числе и отечественными, выпускается множество различных микросхем управления одноктактными и двухтактными преобразователями, рассчитанными на совместную работу с MOSFET и IGBT транзисторами. Но обычно выходные сигналы эти устройства формируют относительно общего провода питания, что делает проблематичным их использование для управления каскадами мостового или полумостового преобразователя. Дело в том, что управляющие электроды “верхних” транзисторов таких преобразователей не связаны с общим проводом. Для подобных преобразователей выпускаются специальные драйверные микросхемы [3]. Но, видимо из-за большой стоимости, эти микросхемы пока не получили широкого распространения среди радиолюбителей, которые предпочитают решать эту проблему по-своему [4, 5], используя элементы оптронной и трансформаторной гальванической развязки.

В качестве прототипа был принят узел (на рис.6 изображён усечённый вариант), использованный в импульсном понижающем стабилизаторе напряжения [6].

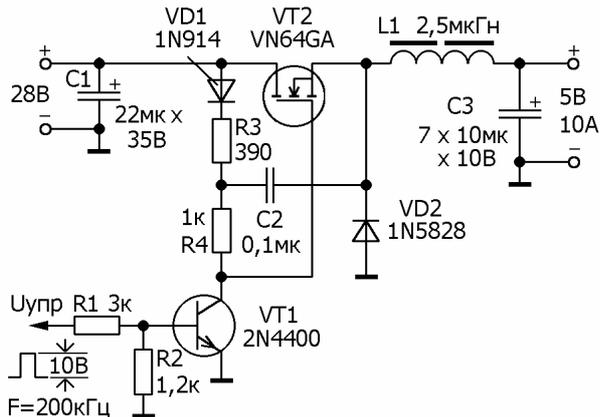


Рис.6

транзистор VT1 закрывается и к затвору транзистора VT2, через резистор R4, прикладывается открывающее напряжение заряженного конденсатора C2. Диод VD1 предотвращает разрядку конденсатора C2 через открытый транзистор VT2.

Энергия, накопленная конденсатором C2, частично расходуется на зарядку ёмкости Cзи транзистора VT2, но при поступлении следующего управляющего импульса цикл зарядки конденсатора C1 повторяется.

На рис.7 изображена схема узла управления транзисторами полумостового преобразователя, построенная по ранее описанному принципу. Здесь Uупр1 и Uупр2 противофазные сигналы, поступающие с узла управления (например с ШИМ-контроллера). Эти сигналы заставляют транзисторы VT3 и VT4 открываться и закрываться в противофазе.

Узел работоспособен при напряжении питания, не превышающем максимально допустимого напряжения между затвором и истоком полевого транзистора (например, для транзистора IRFZ44 фирмы International Rectifier эта величина $U_{зи}(U_{gs}) = \pm 20V$). При дальнейшем повышении напряжения питания происходит пробой изоляции между затвором и каналом транзистора VT3 и выход его из строя. Для пояснения сути работы узла обратимся к рис.8, где изображены временные диаграммы в характерных точках преобразователя для случаев активно-индуктивной и активно-ёмкостной нагрузок. В управляющих импульсных

Рассмотрим работу стабилизатора.

На вход буферной ступени, на транзисторе VT1, поступают управляющие импульсы напряжения открывающей полярности. Импульсы открывают транзистор VT1, замыкая затвор транзистора VT2 на общий провод. Транзистор VT2 закрывается, а диод VD2 открывается, создавая цепь протекания тока через дроссель L1. Через открытый диод VD2, исток транзистора VT2 и правая обкладка конденсатора C2 соединяются с общим проводом. Конденсатор C2 заряжается с выхода делителя напряжения R3, R4.

По окончании управляющего импульса

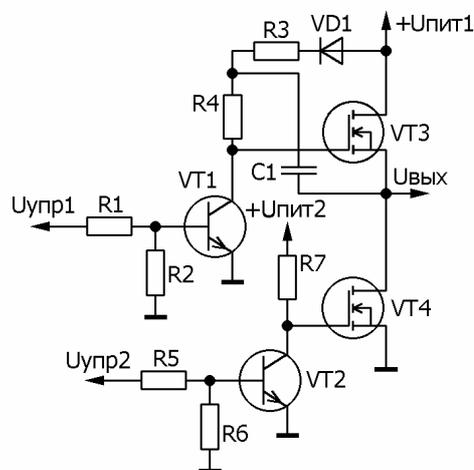


Рис.7

последовательностях $U_{кз VT1}$ и $U_{кз VT2}$ предусмотрена защитная пауза $t_{п}$, формируемая устройством управления для устранения сквозного тока через транзисторы преобразователя. Но, как видно из временной диаграммы, благодаря реакции нагрузки, выходное напряжение преобразователя сдвигается относительно управляющего в ту или иную сторону на время $t_{п}$. В этом случае, в паузе управляющего напряжения, к затвору и истоку транзистора прикладывается напряжение, равное напряжению питания.

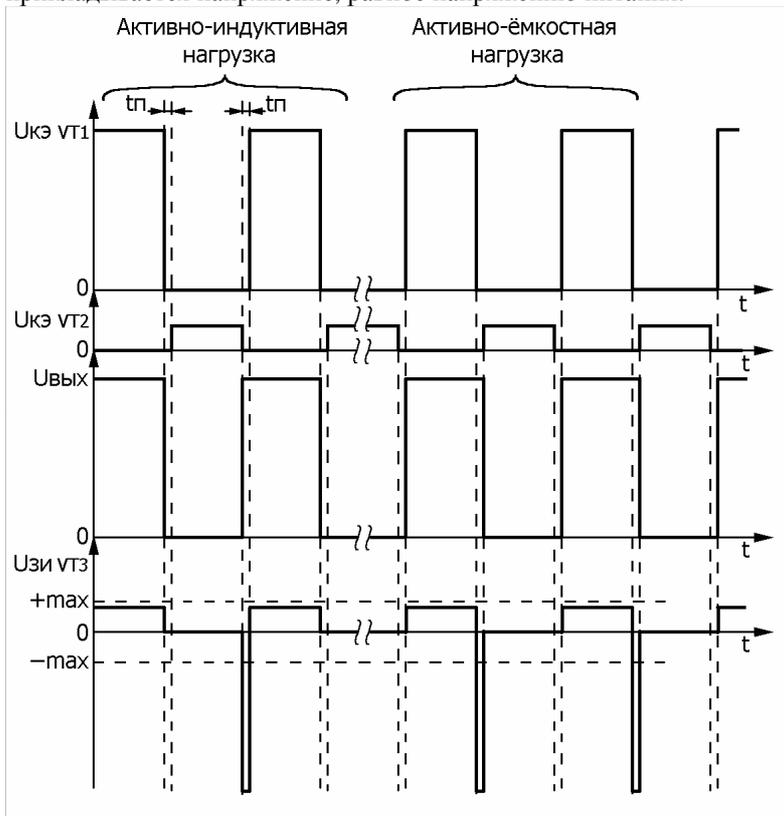


Рис.8

В узел по схеме на рис. 9 введены дополнительные элементы R8 и VD2, которые позволяют исправить отмеченный недостаток. Тогда в течении времени $t_{п}$, когда транзистор VT1 открыт, а $U_{вых}$ максимально, к диоду VD2 будет приложено открывающее напряжение, в результате чего он откроется и зашунтирует участок исток - затвор транзистора VT3 (иначе говоря напряжение $U_{зи VT3}$ снизится до прямого напряжения на диоде VD2), а всё напряжение $U_{вых}$ будет приложено к резистору R8. Резистор R8 ограничивает ток через диод VD2 и транзистор VT1 до необходимого уровня.

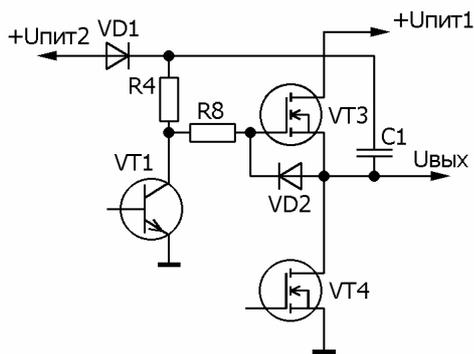


Рис.9

При большом напряжении питания преобразователя на резисторе R3 (рис. 7) будет бесполезно рассеиваться значительная мощность. Для исключения этих потерь конденсатор C1 можно заряжать через диод VD1, непосредственно от источника питания устройства управления, так, как это изображено на рис. 9.

На рис. 10 изображена принципиальная электрическая схема блока А2.

Входное напряжение стабилизатора, в номинальном режиме изменяется в пределах от 50 до 80 вольт, но в аварийном режиме МСИ ВКСМ-1000 может повыситься до 140 вольт. Подобрать готовую микросхему управления понижающим преобразователем, выдерживающую такие перегрузки не удалось и поэтому схема управления преобразователя собрана на дискретных элементах.

Внутренний стабилизатор напряжения +15 вольт собран по обычной схеме на элементах VT1, VD1, R1, R2. От этого стабилизатора осуществляется питание схемы управления источника. На резисторе R2 падает излишнее напряжение, что позволяет уменьшить мощность рассеиваемую на транзисторе VT1.

Выходное напряжение стабилизатора контролируется с помощью делителя напряжения R3, R4, R5, к выходу которого подключен узел сравнения DA1, R6, R7, который сравнивает выходное напряжение делителя с напряжением параметрического стабилизатора VD3, R8. С выхода узла сравнения усиленный сигнал рассогласования поступает на отрицательный вход компаратора DA3. На положительный вход компаратора DA3 подаётся пилообразное напряжение. В качестве источника пилообразного напряжения использован релаксационный генератор на однопереходном транзисторе VT2 и элементах VD5, C3, R9, R10. С помощью

подстроечного резистора R9 частота пилообразного напряжения устанавливается равной 25 кГц. Узел,

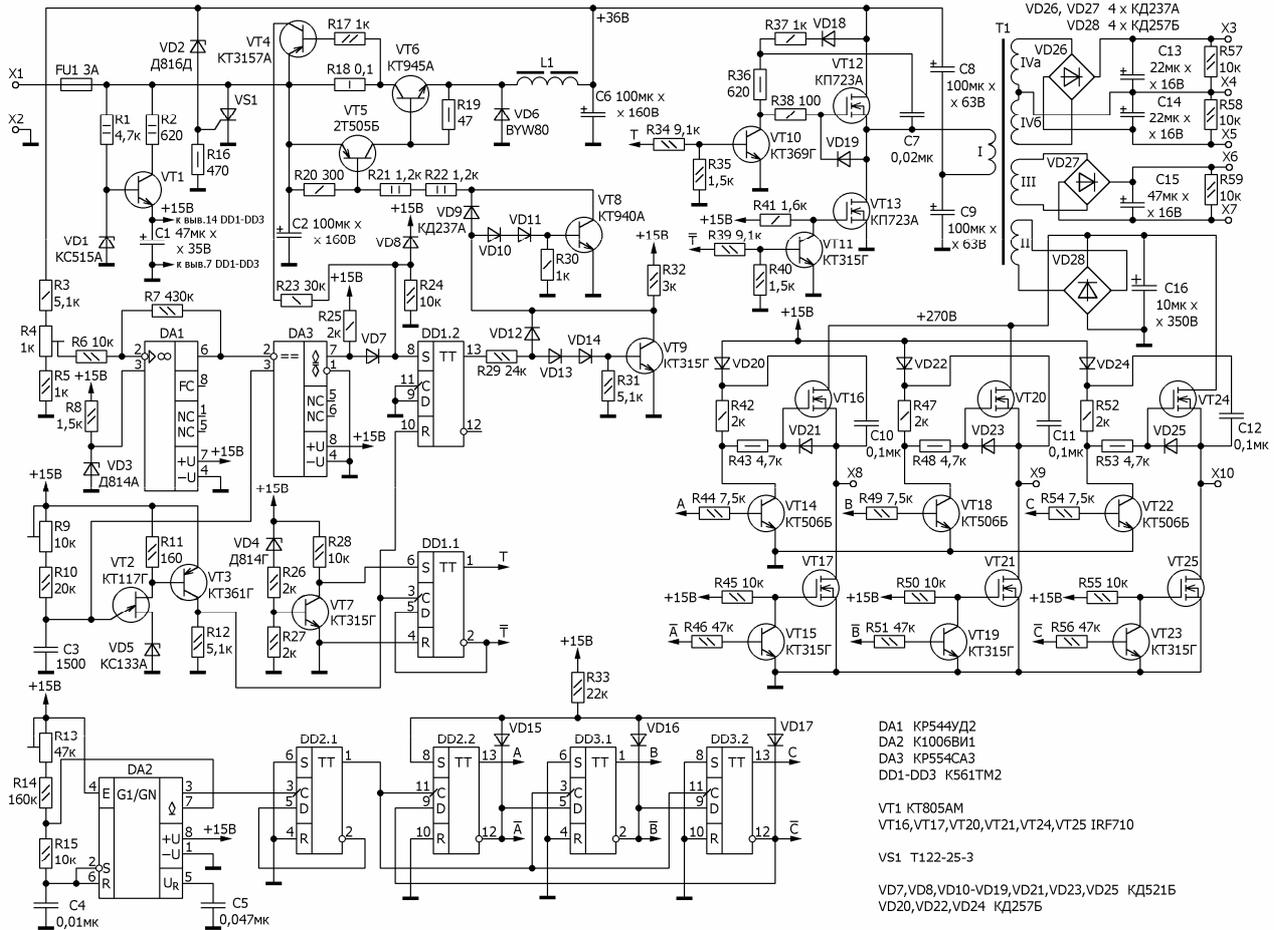


Рис. 10

собранный на элементах VT3, R11, R12, служит для формирования запускающих импульсов. В момент зарядки конденсатора C3 межбазовое сопротивление однопереходного транзистора VT2 максимально и через него протекает минимальный ток. Этот ток, протекая через резистор R11, не создаёт на нём падения напряжения достаточного для открытия транзистора VT3, транзистор VT3 закрыт и на выходе формирователя нет напряжения. При разрядке конденсатора C3 межбазовое сопротивление однопереходного транзистора VT2 уменьшается и через него протекает ток достаточный для открытия транзистора VT3. Транзистор VT3 открывается и на резисторе R12 выделяется запускающий импульс, который поступает на вход R триггера цикла DD1.2 и сбрасывает его. К входу S, триггера цикла, подключен выход компаратора DA3.

После сброса триггера цикла, начинается формирование нарастающего фронта пилообразного напряжения на положительном входе DA3. Как только пилообразное напряжение превысит величину напряжения рассогласования, на выходе компаратора DA3 появится высокий уровень, который установит триггер цикла. Время, в течение которого триггер цикла сброшен, зависит от величины напряжения рассогласования на выходе DA1.

Выходной сигнал триггера цикла усиливается по мощности двумя транзисторными каскадами, собранными по схеме Бакера на элементах VT9, VD12-VD14, R29, R31, R32 и VT8, VD9-VD11, R30, R21, R22, и поступает на составной транзистор VT5, VT6. Вся схема управления сфазирована таким образом, что при уменьшении выходного напряжения стабилизатора время открытого состояния транзистора VT5, VT6 увеличивается, а при увеличении наоборот.

В цепь коллектора мощного транзистора VT6 включен шунт R18, падение напряжения на котором контролируется узлом собранным на элементах VT4, R17. Коллектор транзистора VT4, через делитель напряжения R23, R24, VD8, подключен входу S триггера цикла DD1.2. Если ток в коллекторе транзистора VT6 превысит значение в 6-7 ампер, то транзистор VT4 откроется и, путём подачи высокого уровня на вход S триггера цикла, вынудит схему управления закрыть транзистор VT6. Таким образом осуществляется защита стабилизатора от перегрузки по току.

Если по какой-либо причине напряжение стабилизатора возрастет выше напряжения стабилизации стабилитрона VD2 (42,5-51,5 вольт), то тиристор VS1 откроется, что приведёт к выгоранию предохранителя FU1 и отключению стабилизатора от питающего напряжения. Таким образом осуществляется защита нагрузки стабилизатора от повышения его выходного напряжения.

Полумостовой преобразователь собран на элементах VT10-VT13, VD18, VD19, C7-C9, R34-R41. Запускающие импульсы частотой 25 кГц, с транзистора VT3, поступают на вход счётный вход С триггера DD1.1, с выхода которого снимаются противофазные сигналы управления полумостовым преобразователем Т и Т', имеющие частоту следования 12,5 кГц. В момент включения, узел на элементах VT7, VD4, R26-R28 блокирует работу полумостового преобразователя, пока напряжение питания схемы управления не достигнет 11-13 вольт.

Переменное напряжение частотой 12,5 кГц с выхода преобразователя поступает на первичную обмотку трансформатора Т1. С вторичных обмоток III и IV трансформатора Т1 снимаются напряжения необходимые для питания схемы управления ЭРСТ. Постоянное напряжение +270 вольт, необходимое для работы трёхфазного мостового преобразователя, снимается с выпрямителя VD29, подключенного к обмотке II трансформатора Т1. Конденсатор C16 сглаживает пульсацию выпрямленного напряжения.

На сдвиговом регистре DD2.2, DD3, VD15-VD17, R33 собран узел формирования трёхфазной последовательности управляющих сигналов для трёхфазного мостового преобразователя собранного на элементах VT14-VT25, VD21-VD26, C10-C12, R42-R56. Рабочая частота трёхфазного преобразователя задаётся генератором собранным на элементах DA2, C4, C5, R13-R15. Выходная частота задающего генератора делится на два делителем DD2.1. Рабочая частота задающего генератора в 600 Гц (что соответствует частоте трёхфазного напряжения равной 50 Гц) устанавливается подстроечным резистором R13.

Детали:

Дроссель L1 намотан на броневом сердечнике ОБ-30 из феррита 2000НМ и содержит 65-70 витков провода ПЭВ-2 Ø0,72-0,8. Между чашечками сердечника надо вставить прокладку из немагнитного материала (например из бумаги или слюды) толщиной 1,5 мм.

Трансформатор Т1 намотан на ферритовом кольцевом сердечнике К40х25х7,5 из феррита 2000НМ. Обмотка I содержит 51 виток провода ПЭВ-2 Ø0,72, обмотка II содержит 385 витков провода ПЭВ-2 Ø0,27, обмотка III содержит 17 витков провода ПЭВ-2 Ø0,23, обмотка IVa и IVб содержат по 21 витку провода ПЭВ-2 Ø0,18.

Транзистор VT6 и диод VD6 необходимо установить на радиаторы, изготовленные из листового алюминия толщиной 3-4 мм, размером 100х50 мм.

Источник питания формирует трёхфазное напряжение 220В 50Гц необходимое для питания двух вентиляторов типа 1,25ЭВ-1,8-6-3270У4 или аналогичных.

Настройка:

Первое включение источника питания производят без силовых транзисторов VT6, VT12, VT13 и резистора R19. Плавно повышая напряжение питания, необходимо убедиться в работоспособности стабилизатора +15В, на транзисторе VT1. Затем, с помощью осциллографа, проверяют работоспособность задающего генератора на транзисторе VT2 и устанавливают его рабочую частоту равной 25кГц. Частоту генератора на DA2 устанавливают равной 600 Гц.

Далее впаивают недостающие элементы стабилизатора и проверяют его работу сначала на холостом ходу, а затем, подключив нагрузочный резистор 18 ом, 100 вт. С помощью подстроечного резистора R4 выставляют выходное напряжение стабилизатора равным 36 вольт. Работу токовой защиты стабилизатора проверяют, кратковременно подключая к стабилизатору нагрузочное сопротивление величиной 3-4 Ом. При этом ток нагрузки стабилизатора не должен увеличиваться более 7-8 ампер.

Для проверки работоспособности полумостового преобразователя включают его по схеме рис. 11. Здесь в разрыв стоковой цепи транзистора VT12 включают резистор 100-200 ом, 2 вт. Первичную обмотку трансформатора Т1 временно отключают. После включения схемы, с помощью осциллографа, проверяют наличие импульсов, поступающих с устройства управления, а так же отсутствие импульсов сквозного тока на стоке транзистора VT12. При необходимости, путём уточнения величины резистора R41, добиться чтобы, в момент переключения транзисторов преобразователя, напряжение на стоке транзистора VT12 не уменьшалось до нуля.

После этого настройка источника питания считается окончанной и можно приступить к его эксплуатации, предварительно установив и подключив все недостающие элементы.

Обычно, сварочные источники ориентированы на определённый тип сварки (ручная, полуавтоматическая, автоматическая, с плавящимся электродом, с неплавящимся электродом ...). До недавнего времени созданию универсальных источников препятствовало то, что, обычно, внешние характеристики источника определялись конструкцией трансформатора. Если требовалась жёсткая нагрузочная характеристика, то трансформатор имел цилиндрические обмотки, а если падающие, то дисковые. Некоторый прорыв в этой области был получен за счёт использования магнитных усилителей, трансформаторов специальной конструкции (с магнитным шунтом), но при этом за универсальность приходилось платить значительным увеличением массы и габаритов источников. Достижения современной электроники (в основном в области силовой элементной базы)

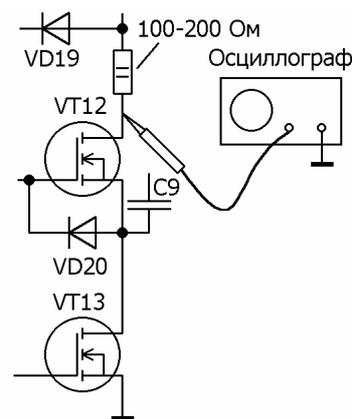


Рис.11

позволяют создавать малогабаритные универсальные сварочные источники, где внешние нагрузочные характеристики формируются не параметрически, а за счёт обратных связей по напряжению и току нагрузки.

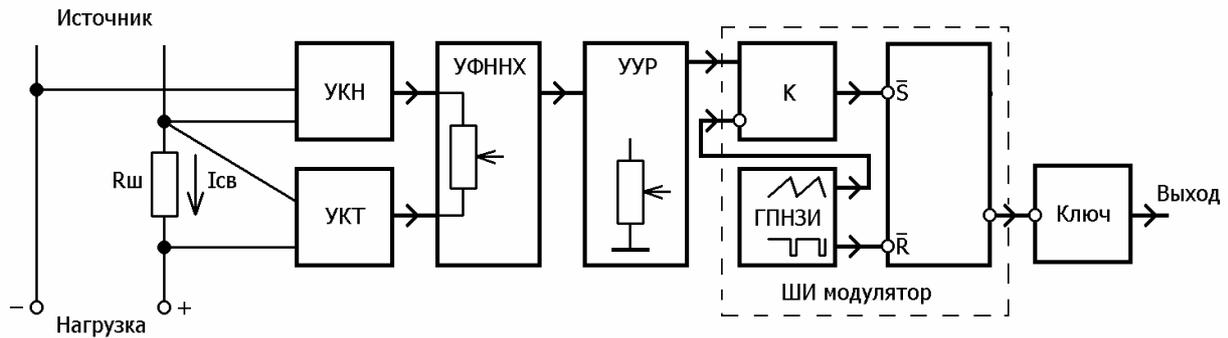


Рис.12

Рассмотрим работу блока управления ЭРСТ (блок А4 на рис.2). На рис. 12 изображена функциональная, а на рис.13 принципиальная схема блока. Питание блока осуществляется двухполярным напряжением 12В, поступающим с блока питания ЭРСТ. Для отсеивания помех, проникающих по цепям питания, служат LC фильтры L1, C10, C11 и L2, C12, C13.

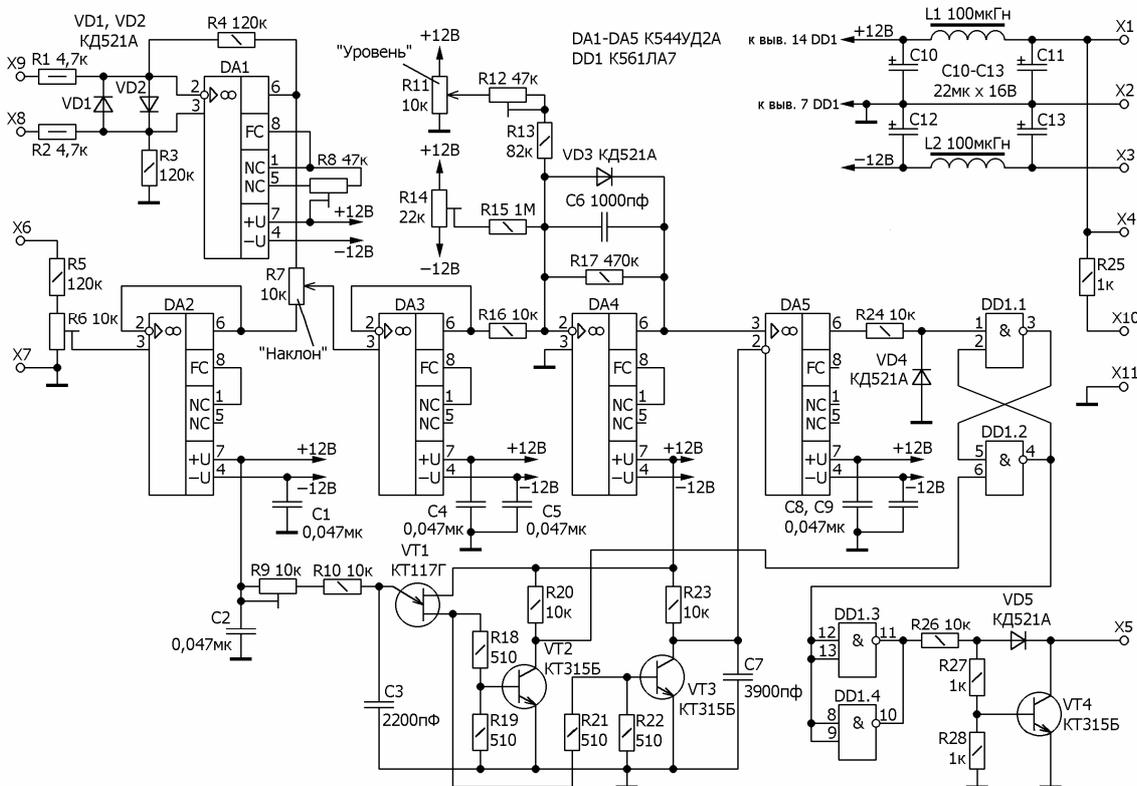


Рис.13

Для контроля выходного тока ЭРСТ служит узел контроля тока (УКТ), собранный на элементах DA1, VD1, VD2, R1-R4, R8. Узел собран по классической схеме дифференциального усилителя и в особых пояснениях не нуждается. Диоды VD1 и VD2 защищают операционный усилитель (ОУ) DA1 от перенапряжения.

Для контроля выходного напряжения ЭРСТ служит узел контроля напряжения (УКН), собранный на элементах DA2, R5, R6. ОУ DA2 включен по схеме повторителя.

Обычно, в промышленных универсальных сварочных источниках, изменение наклона нагрузочной характеристики производится скачком, с помощью соответствующего переключателя. Для получения максимальной универсальности в ЭРСТ был введён специальный узел формирователя наклона нагрузочной характеристики (УФННХ), собранный на элементах DA3 и R7, который позволяет плавно переводить ЭРСТ из режима стабилизации тока (крутопадающая характеристика) в режим стабилизации напряжения (жёсткая

характеристика). Возможность плавного изменения наклона внешней нагрузочной характеристики позволяет подобрать оптимальный режим для выбранного типа сварки. На крайние выводы резистора R7 поступают сигналы пропорциональные выходному току и напряжению ЭРСТ. С ползунка резистора снимается суммарный сигнал обратной связи, который усиливается по мощности повторителем на ОУ DA3 и поступает далее на узел усилителя рассогласования (УУР).

УУР собран на элементах DA4, VD3, C6, R11-R17. УУР представляет из себя обычный суммирующий усилитель на два входа. На первый вход (R16) поступает сигнал обратной связи. На второй вход (R12), с ползунка переменного резистора R11 "Уровень", поступает сигнал, задающий уровень выходного тока или напряжения источника. Суммирующий усилитель вычисляет разницу между сигналами обратной связи и задания, усиливает её и передаёт на вход ШИ модулятора. Резисторы R14, R15 нужны для установки начального смещения на выходе ОУ DA4, обеспечивающего минимальный ток сварки.

ШИ модулятор состоит из генератора пилообразного напряжения и запускающих импульсов (ГПНЗИ), компаратора (К) и RS-триггера. По классификации, изложенной в [1], в данном ШИ модуляторе изменение длительности импульса осуществляется модуляцией его фронта. Введение в схему модулятора RS-триггера позволило значительно увеличить его устойчивость к импульсным помехам.

ГПНЗИ собран на элементах VT1-VT3, C3, C7, R9, R10, R18-R23. Частотоподающим элементом ГПНЗИ служит релаксационный генератор на однопереходном транзисторе VT1. Частота генератора, в небольших пределах, может изменяться при помощи подстроечного резистора R9. В момент разрядки конденсатора C3 релаксационный генератор формирует короткий импульс, который открывает ключи на транзисторах VT2 и VT3. Ключ на транзисторе VT2 инвертирует этот импульс и сбрасывает RS-триггер, собранный на логических элементах 2И-НЕ DD1.1 и DD1.2. В этот момент ключ на транзисторе VT3 разряжает конденсатор C7. После этого, по мере зарядки конденсатора C7, через резистор R23, на нём формируется возрастающее пилообразное напряжение, которое прикладывается к инверсному входу компаратора DA5. В момент, когда пилообразное напряжение превысит напряжение УУР поступающее на прямой вход компаратора, на выходе DA5 будет сформирован отрицательный импульс, который установит RS-триггер. Сигнал низкого уровня, с выхода RS-триггера, инвертируется логическими элементами 2И-НЕ DD1.3, DD1.4 и поступает на вход ключа, собранного на элементах VT4, VD5, R26-R28. Ключ на транзисторе VT4 открывается и подаёт питание на светодиод транзисторного оптрона расположенного в блоке управления и защиты ключевого транзистора (блок А3 на рис.2).

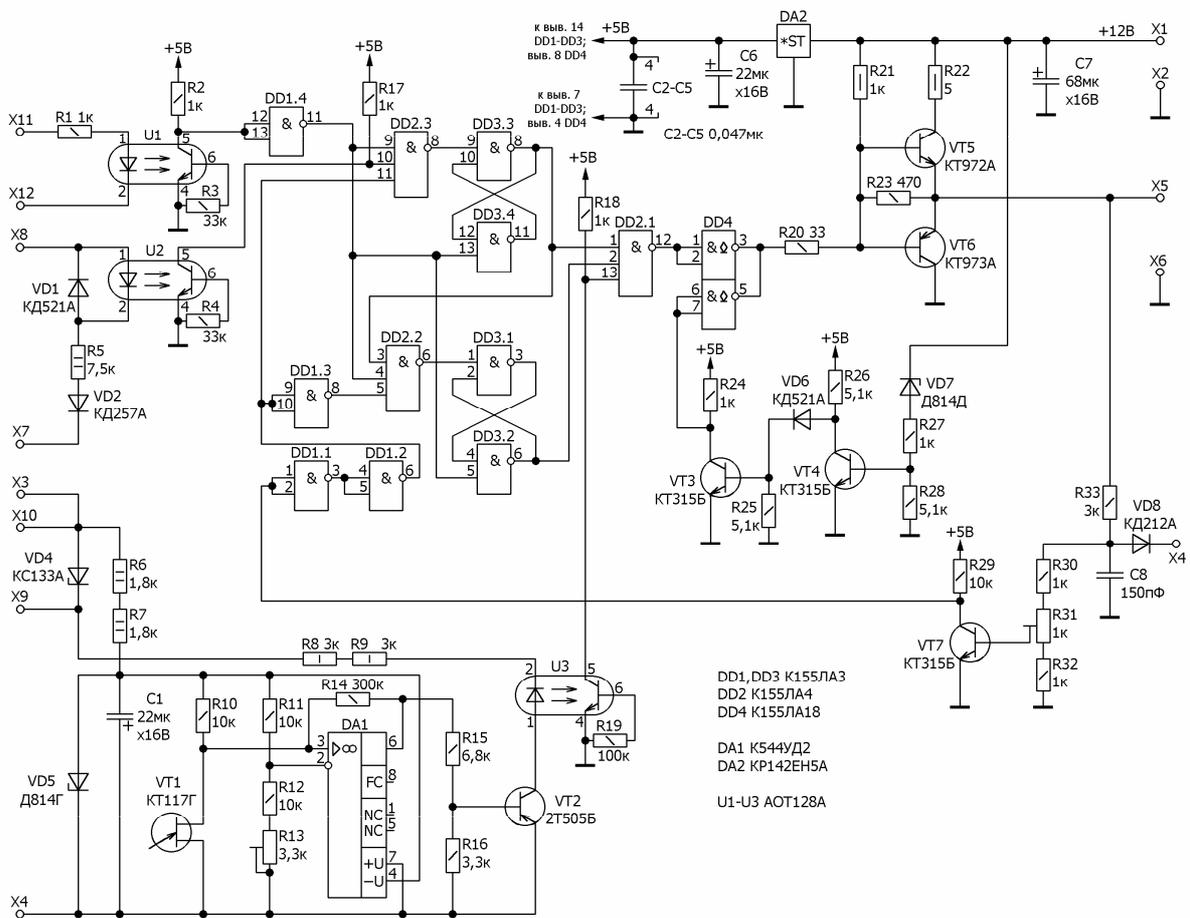


Рис. 14

На рис.14 изображена принципиальная электрическая схема блока А3, который состоит из узла формирователя управляющего напряжения (УФУН) и узла температурной защиты (УТЗ) мощного ключевого

транзистора ЭРСТ (транзисторы VT1-VT20 на рис. 2).

УФУН собран на элементах DD1-DD4, DA2, U1-U3, VT3-VT7, C2-C8, R1-R5 и R17-R33.

Питание логических микросхем УФУН осуществляется напряжением +5В с выхода стабилизатора DA2. Питание усилителя мощности, собранного на элементах VT5, VT6, R20-R23, осуществляется напряжением +12В, поступающим с блока питания ЭРСТ (блок А2 на рис. 2). Защита ключевого транзистора от перенапряжения в цепях управления, при неисправности блока питания, осуществляется узлом собранным на элементах DD4.2, VT3, VT4, VD6, VD7, R24-R28. Если напряжение питания УФУН увеличится до 15 вольт, то низкий уровень с выхода инвертора DD4.2 зашунтирует вход усилителя мощности, запрещая его работу.

Цепочка U2, VD1 и R5, VD2 служит для контроля цикла рекуперации дросселя L1 (рис. 2). В цикле рекуперации, диод VD8 (рис. 2) открыт и через упомянутую цепочку протекает ток, низкий уровень с коллектора транзистора оптрона U2 поступает на один из входов логического элемента (ЛЭ) DD2.3 и запрещает открытие ключевого транзистора.

Узел токовой защиты собран на элементах DD1.1-DD1.3, VT7, VD8, C8, R29-R33. Этот узел контролирует прямое падение напряжения на открытом ключевом транзисторе. В момент токовой перегрузки прямое падение напряжения на ключевом транзисторе резко повышается и транзистор VT7 открывается. Низкий уровень с коллектора транзистора VT7, через формирователь DD1.1, DD1.2 поступает на один из входов ЛЭ DD2.3 и, через инвертор DD1.3, на один из входов ЛЭ 3И-НЕ DD2.2, с выхода которого устанавливается триггер токовой защиты DD3.1, DD3.2. Триггер токовой защиты, с помощью ЛЭ 3И-НЕ DD2.1, запирает ключевой транзистор до конца рабочего цикла, когда триггер защиты будет сброшен низким уровнем сигнала ШИ модулятора с выхода инвертора DD1.4.

Связь с ШИ модулятором (блок А4 на рис.2) осуществляется через оптрон U1 и инвертор DD1.4. После открытия транзистора VT4 в блоке А4, с некоторой задержкой, на выходе инвертора DD1.4 появится высокий активный уровень, который поступит на один из входов ЛЭ DD2.3 D-триггера DD2.3, DD3.3, DD3.4. Если цикл рекуперации завершён и отсутствует токовая перегрузка, то на выходе цепочки DD2.1, DD4.1 появится высокий уровень, который через усилитель мощности на транзисторах VT5, VT6 поступит на затвор ключевого транзистора ЭРСТ.

УТЗ собран на элементах U3, DA1, VT1, VT2, VD4, VD5, C1, R6-R16. Однопереходной транзистор VT1 используется в качестве датчика температуры [7] и имеет непосредственный тепловой контакт с теплоотводом к которому непосредственно прикручены транзисторы VT1-VT20 (рис. 2). Питание УТЗ осуществляется непосредственно от входного напряжения ЭРСТ, через параметрический стабилизатор собранный на элементах VD5, C1, R6, R7.

Термодатчик VT1 включен в плечё моста R10-R13, к диагонали которого подключен компаратор DA1. Как только температура теплоотвода превысит 80°C, высокий уровень с компаратора DA1 откроет транзистор VT2, который создаст цепь протекания тока через резисторы R8, R9 и светодиод оптрона U3. При этом низкий уровень с коллектора транзистора оптрона U3, через ЛЭ DD2.1, запретит работу ключевого транзистора. Работа ключевого транзистора будет заблокирована, пока температура теплоотвода не снизится до 65°C. О срабатывании термозащиты сигнализирует светодиод HL2 (рис.2), установленный на передней панели ЭРСТ.

Настройка:

Предварительная настройка блока А4 сводится к настройке УКТ, УКН и частоты релаксационного генератора. При замкнутых клеммах X7-X9 блока А3, с помощью резистора, R8 выставляют нулевое напряжение на выходе ОУ DA1. Элементы УКТ выбраны таким образом, что при сварочном токе 315А (шунт R25(рис. 2) на 500А, 75мВ) на вы выходе DA1 будет напряжение 1.2В. Для настройки УКН на клеммы X6, X7 необходимо подать напряжение 40В (плюсом к X7) и с помощью резистора R6 выставить на выходе DA2 напряжение 1.2В. С помощью резистора R9 выставить частоту релаксационного генератора на транзисторе VT1 равной 25кГц.

Предварительная настройка блока А3 сводится к настройке порогов токовой и температурной защиты. Для настройки токовой защиты можно временно отрезать верхний вывод R33 от клеммы X5 и подключить к X1, а между клеммами X4 и X6 включить подстроечный резистор величиной 2кОм. Вращая навесной подстроечный резистор добиться между клеммами X4 и X6 напряжения 2.75В, что соответствует прямому падению напряжения на ключевом транзисторе при токе 500А и температуре кристалла 125°C. С помощью подстроечного резистора добиться низкого уровня на выходе формирователя DD1.1, DD1.2.

Для настройки термозащиты термодатчик VT1 необходимо поместить в термостат. Вполне подходящий, для данного применения, термостат можно соорудить из литровой банки с водой. С наружи банку, для термоизоляции, можно обмотать полотенцем. Воду подогревают кипятильником, а остужают, добавляя холодную воду. Температуру воды контролируют стеклянным термометром, имеющим шкалу 0-100°C. Для гидроизоляции термодатчика можно поместить в середину ПВХ трубки диаметром 8-10мм и длиной 400-500мм, которую потом изгибают вдвое. С помощью подстроечного резистора R13 добиться, чтобы светодиод HL2 (рис. 2) загорался при повышении температуры выше 80°C.

Окончательную настройку ЭРСТ производят нагрузив его на балластный реостат РБ300 или аналогичный. Резистор "Наклон" (R7 на рис. 13) ставят в верхнее, а резистор "Уровень" (R11 на рис. 13) в нижнее по схеме положение. На балластном реостате выставляют ток 10А. Включив ЭРСТ, с помощью подстроечного резистора R14, выставляют минимальный сварочный ток 10А. Затем на балластном реостате выставляют ток 315А и с

помощью подстроечного резистора выставляют максимальный сварочный ток 315А. После этого настройку можно считать оконченной и можно приступать к эксплуатации регулятора.

Список литературы:

1. Найвельт Г. С. и др. Справочник. Источники электропитания РЭА. М., Радио и Связь. 1986 год. Стр. 306-328.
2. Семёнов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. М., Солон-Р. 2001 год. Стр. 126-140.
3. Product Digest. International Rectifier's Shortform Catalog, 50th Anniversary Edition. March 1997, Стр. J36-J39.
4. А. Дубровский. Регулятор частоты вращения трёхфазных асинхронных двигателей. Радио №4 2001 год. стр. 42-43.
5. И. Полей. Преобразователь для питания бытовой аппаратуры. Радио №1 2003 год, стр. 29-32.
6. Р. Граф. Электронные схемы 1300 примеров. М., Мир, 1989 г., стр. 424.
7. В. Володин. Экономичное управление симистором. Радио №6 за 2003 год, стр. 27-28.