

ПРОСТОЙ И ДОСТУПНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ V.20MAX

Блок питания был создан на базе схем: 16у2, разработанной участником форума сайта «Паяльник» под ником Владимир65 и ее модом, созданным участником того же форума Николаем Шумейко, как дальнейшее совершенствование ПидБП и улучшение его параметров.

Также хочется выразить благодарность авторам, чьи плоды труда были использованы для данной модификации, за качество работы и подсказки в процессе создания данного блока питания.

Блок питания может быть построен на базе микросхемы счетверенного операционного усилителя типа LM324, TL074, TL084, MC33079 или TLE2074, который и был применен в последующем. Как выяснилось, схема прекрасно работает и с быстрыми ОУ (в том числе подключалась через переходник и LM6172), требуется лишь только точная настройка последующих каскадов. При этом, с увеличением быстродействия ОУ, повышаются эксплуатационные характеристики БП. Возможна работа как с ОУ, способными работать в схеме с однополярным питанием (например, LM324), так и с ОУ, корректно работающими в схеме только при двухполярном питании (например, TL074, TL084 или TLE2074). При этом никаких переделок платы не нужно, а отрицательное плечо питания собирается на отдельной плате. Также возможна сборка на плате родной схемы ПидБП версии 16у2 без каких-либо ее изменений.

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКА ПИТАНИЯ

Выходное напряжение	0 ~ 30 В
Выходной ток	0 ~ 3 А
Уровень шума и пульсации	- Стабилизация напряжения ≤ 700 мкВ
	- Ограничение тока ≤ 5 мВ
Влияние нагрузки	≤ 0,001%
Время переходных процессов при изменении нагрузки от 0 до максимума	≤ 36мкс
Амплитуда выбросов при изменении нагрузки от 0 до максимума	≤ 0,2 В
Амплитуда выбросов при восстановлении из режима короткого замыкания	≤ 1 В

ПРЕДИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ БЛОКА ПИТАНИЯ

Так, исторически сложилось, что когда мне понадобился универсальный блок питания, то в силу тех или иных причин выбор пал на схему ПидБП v.16y2.

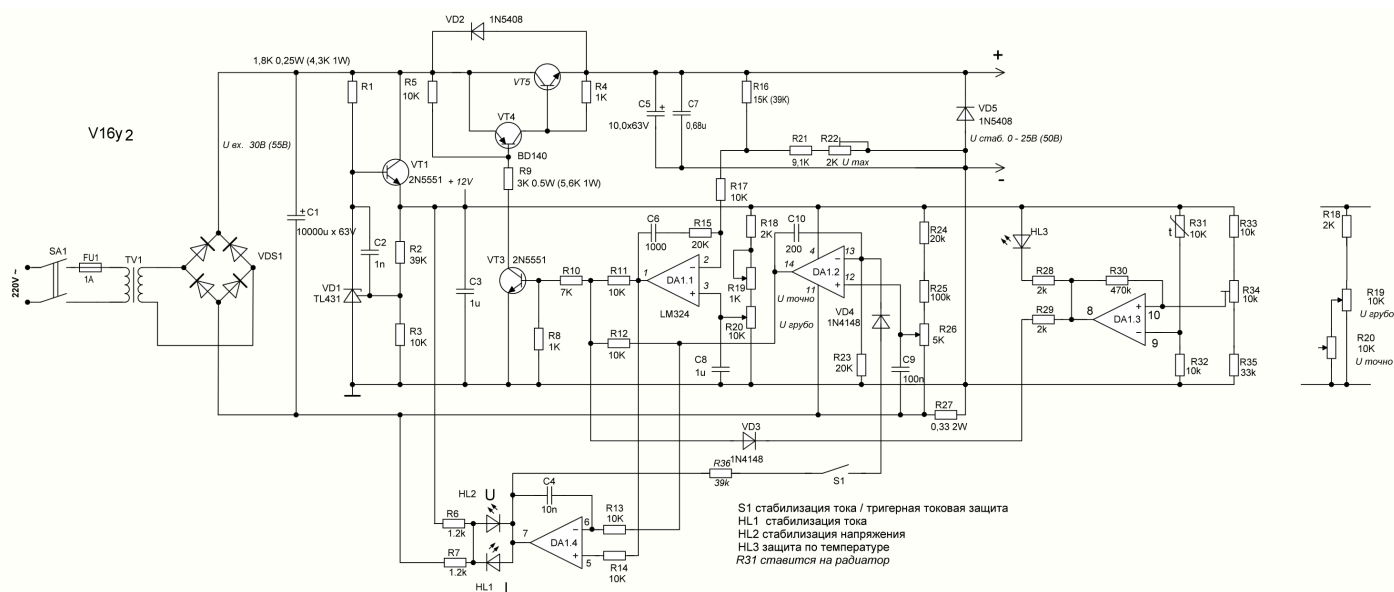


Рис. 1. Принципиальная схема ПидБП v.16y2.

И все последующие доработки выполнялись уже на базе этой схемы и платы. Поэтому у блока питания не только несколько изменилась схема, но он обзавелся рядом дополнительных модулей и плат, тем не менее основная схема осталась на плате ПидБП версии 16y2.

Если исходить из того, что скорость регулировки напрямую связана с величиной выбросов (меньше время для роста уровня выброса), то чем выше скорость обработки сигнала, тем короче, а отсюда и меньше по амплитуде будут выбросы и переходные процессы. К сожалению, LM324 не является достаточно быстрым операционным усилителем, а выбор быстрых и способных работать корректно в данном блоке питания, с однополярным питанием, микросхем крайне скуден. Так БП обзавелся двухполярным питанием. Расширился список возможного применения ОУ, стало возможным применять более быстрые операционные усилители, а отсюда улучшились и его параметры. Но и требования к настройке БП при этом тоже выросли.

По мере перехода от LM324 к более быстрым ОУ – характеристики БП улучшались. Так, например, замена LM324 на TL074 или TL084 позволила уменьшить амплитуду выброса при снятии нагрузки в режиме стабилизации напряжения, выходном $U=10V$ и при нагрузке сопротивлением 10 Ом на 30-50%. При использовании же ОУ TLE2074 этот выброс удалось понизить еще в 2 раза. Также оставили отличное впечатление ОУ, изготовленные компанией Texas Instruments на заводах в Сингапуре и Мексике.

Кроме того, использование однополярного питания вынуждает подавать его на ОУ через шунт (иначе ОУ не будет видеть часть тока), что в свою очередь добавляет помех в работу схемы.

Наличие достаточно больших сопротивлений в базовой цепи транзистора VT3 и разница в рабочих диапазонах напряжений этого транзистора и ОУ тоже приводит к задержкам. В результате с выхода ОУ были убраны все сопротивления, ОУ подключен через диоды, а рабочий диапазон напряжений скорректирован делителем в цепи эмиттера транзистора VT3. Что привело к значительному сокращению переходных периодов в работе БП.

Чтобы получить корректную работу силовых транзисторов и оптимальный режим их работы, на выход блока питания был установлен генератор стабильного тока на транзисторах VT8 и VT9, смещающий рабочую точку силовых транзисторов в нужный диапазон. Что еще больше сократило время реакции БП на изменения нагрузки.

Так, как окончательно победить переходные процессы при переходах регулировки от ограничения тока к стабилизации напряжения (например выход из режима короткого замыкания) не удалось, на выход блока питания был установлен активный фильтр на транзисторе VT7, который срезает их до уровня 0,6-1В. При этом изначальный уровень выбросов доходил до 3,5В.

Большая чувствительность операционных усилителей приводит к возникновению наводок на цепи регулировки напряжения и тока (особенно). Для их устранения были введены дополнительные цепи коррекции, внесены изменения в схему подключения, в результате удалось получить снижение пульсаций, например, в режиме ограничения тока до уровня 4мВ и менее.

К этому моменту уже стало понятно, что потребителей тока по напряжению +12В достаточно много и это сказывается на стабильности работы блока питания. Поэтому было решено отвязать опорное напряжение для блоков стабилизации напряжения и ограничения тока от напряжения питания схемы управления. Для этого был добавлен в схему ИОН на микросхеме REF102AP. В результате чего в значительной степени повысилась стабильность выходных параметров. Кроме того, данный ИОН имеет гораздо более низкий уровень шумов на выходе, чем может обеспечить стабилизатор на базе TL431.

После всех, выше приведенных изменений, пришло понимание, что схема может давать на выходе гораздо более меньшие шумы, чем были на тот момент у блока питания. Источником их как раз и был стабилизатор напряжения +12В с достаточно шумной TL431. Для устранения данных проблем было сделано следующее. Скорректирована схема и заменен выходной транзистор VT1 на дарлингтон. Между стабилизатором +12В и схемой управления установлен активный фильтр шумов на микросхеме DA1 и транзисторе VT2, в результате чего шумы и пульсации по напряжению +12В снизились с 1мВ до уровня 300-400мкВ. При этом на выходе блока питания пульсации исчезли вовсе, а шумы снизились с 1,5мВ до уровня 700мкВ при максимальном напряжении и нагрузке.

Ниже приведена схема со всеми доработками:

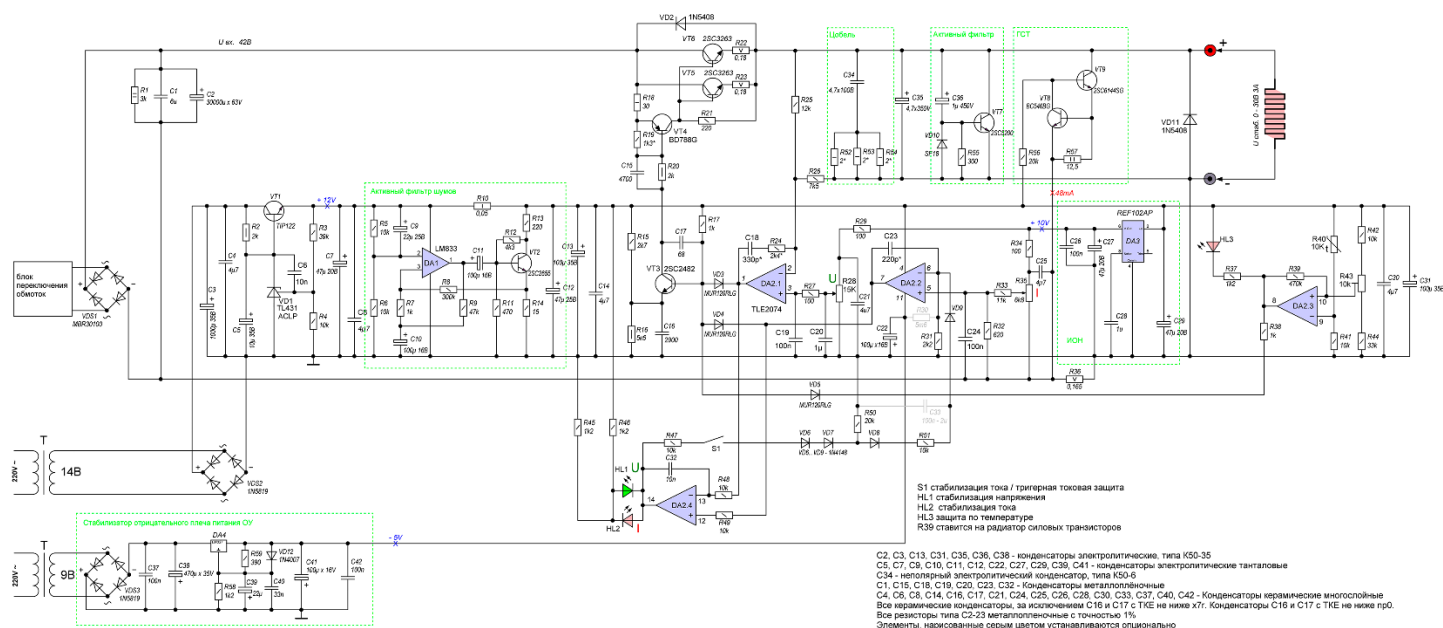


Рис. 2. Принципиальная схема ПидБП v.20max.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СХЕМЫ

Блок, выполняющий функцию стабилизации и регулировки напряжения, выполнен на ОУ DA2.1. На выход данного ОУ, вывод 1, подключен усилитель тока на транзисторе VT3, который в свою очередь управляет составным транзистором, собранным на транзисторах VT4, VT5 и VT6. Стабилизация осуществляется за счет обратной отрицательной связи следующим образом: Резистор R17, формирует ток, поступающий на базу транзистора VT3 и открывает его, соответственно открываются транзисторы VT4, а за ним VT5, VT6. Напряжение с выхода БП через делитель напряжения на резисторах R25 и R26 поступает на инвертирующий вход ОУ DA2.1 вывод 2. Это напряжение сравнивается с опорным напряжением, установленным переменным резистором R28, с которого поступает на прямой вход ОУ DA2.1, вывод 3, и разница вычитается из открывающего напряжения транзистор VT3.

Блок, выполняющий функцию ограничения и стабилизации тока, выполнен на ОУ DA2.2. Уровень, при котором будет происходить ограничение тока устанавливается переменным резистором R35, подключенным через делитель напряжения на резисторах R32 и R33, к прямому входу ОУ DA2.2, вывод 5. Напряжение, падающее на резисторе R36, поступает на инвертирующий вход ОУ DA2.2 вывод 6 через резистор R31. До тех пор, пока оно ниже, чем установлено на прямом входе ОУ DA2.2, на выходе данного ОУ, вывод 7, поддерживается высокий уровень напряжения, диод VD4 закрыт и на работу схемы блок ограничения тока не влияет. Как только напряжение на инвертирующем входе ОУ DA2.2 окажется выше, чем установленное на прямом, ОУ переключится и начнет понижать напряжение на выходе ОУ DA2.2, вывод 7. В результате чего диод VD4 откроется, ток, проходящий через базу транзистора VT3, начнет уменьшаться, а транзистор закрываться, что в свою очередь приведет к закрытию силовых транзисторов и уменьшению выходного напряжения. В результате ток, протекающий через резистор R36, снизится, уменьшая падение напряжения на нем до уровня, установленного переменным резистором R35.

Блок, выполняющий функцию термозащиты силовых транзисторов, выполнен на ОУ DA2.3. К инвертирующему входу ОУ 2.3, вывод 9, через делитель напряжения подключен NTC термистор R40, установленный на радиатор силовых транзисторов. При нагреве его сопротивление уменьшается, что приводит к увеличению напряжения на инвертирующем входе ОУ. До тех пор, пока оно ниже, чем на прямом входе ОУ DA2.3, вывод 10, на выходе ОУ DA2.3, вывод 8, поддерживается высокий уровень напряжения, в результате чего диод VD5 и светодиод HL3 закрыты и на работу схемы данный модуль не влияет. Когда напряжение на инвертирующем входе ОУ DA2.3 станет выше, чем на прямом, ОУ переключится и напряжение на выходе ОУ упадет до минимума. Диод VD5 откроется, что приведет к уменьшению тока базы транзистора VT3 и его закрытию. Что в свою очередь приведет к закрытию силовых транзисторов. Загорится светодиод HL3, сигнализируя о перегреве силовых транзисторов. Температура срабатывания защиты устанавливается подстроечным резистором R43. А силовые транзисторы будут закрыты до тех пор, пока не остынут до температуры, заданной резистором R39, образуя петлю гистерезиса.

Блок, выполняющий функцию индикации и триггерной защиты, выполнен на ОУ DA2.4.

Индикация: ОУ DA2.4 работает в режиме компаратора, сравнивая напряжения на выходах ОУ DA2.1 и ОУ DA2.2. Когда БП работает в режиме стабилизации напряжения на инвертирующем входе ОУ DA2.4, вывод 13, напряжение выше, чем на прямом, вывод 12. Напряжение на выходе ОУ DA2.4, вывод 14, устанавливается около 0. Горит светодиод HL1. При работе БП в режиме ограничения тока, напряжение на прямом входе будет больше, чем на инвертирующем, напряжение на выходе ОУ DA2.4 устанавливается на уровне около 10В. Горит светодиод HL2.

Триггерная защита: когда выключатель S1 замкнут (триггерный режим включен), при наступлении режима ограничения тока, загорается светодиод HL2, на выходе ОУ DA2.4, вывод 14, устанавливается высокое напряжение, которое с выхода ОУ DA2.4 поступает на инвертирующий вход ОУ DA2.2. На выходе ОУ DA2.2 напряжение падает до минимума, диод VD4 открывается, а транзисторы VT3, VT4 и VT5, VT6 закрываются. Падение напряжения на резисторе R36 уменьшается, но напряжение на инвертирующем входе ОУ DA2.2, вывод 6, остается выше, чем напряжение на прямом входе, вывод 5. Силовые транзисторы остаются закрытыми. Кратковременным размыканием выключателя S1 производится сброс триггерной защиты. Диоды VD6-VD9 устраняют влияние работы блока индикации на работу БП в режиме стабилизации напряжения.

Опорное напряжение величиной 10В для работы блоков стабилизации напряжения и ограничения тока формирует ИОН, выполненный на микросхеме REF102AP по стандартной схеме и обозначенный DA3.

Питание блока управления БП осуществляется от отдельной обмотки трансформатора, а напряжение 12В задает параметрический стабилизатор, собранный на стабилитроне TL431 (VD1) и транзисторе VT1. Для окончательного

подавления шумов и помех по питанию +12В на операционном усилителе DA1 и транзисторе VT2 собрана схема шумоподавления (взято отсюда: <http://techlib.com/electronics/finesse.html>). В результате чего шумы и пульсации по питанию 12В не превышают уровня 400 мкВ. Это же напряжение, +12В, является опорным для работы защиты от перегрева выходных транзисторов и выходного ГСТ, поэтому подключать к нему что-либо еще крайне не рекомендуется. В случае применения ОУ TL074, TL084, MC33079 или TLE2074 отрицательное плечо стабилизатора собирается на отдельной плате.

ДЕТАЛИ И КОНСТРУКЦИЯ

С целью получения повторяемости и высоких характеристик БП все резисторы установлены металлопленочные, типа С2-23 с точностью 1% соответствующей мощности. Шунт R36 набран из 20 металлопленочных резисторов мощностью 1Вт типа С2-23 с точностью 1% сопротивлением 3,3 Ома. Использование тут цементных резисторов нецелесообразно, т.к. на выходе будет получен дрейф по току в силу их низкой термостабильности. Переменные резисторы R28 и R35 могут быть применены типа СП5-35 с индексами А или Б либо СП35-39. Тут следует учесть большую чувствительность и малые токи управления ОУ, поэтому, для их подсоединения, следует применять экранированные провода и заземлять корпуса потенциометров. В противном случае будут необоснованно большие шумы на выходе БП.

Все электролитические конденсаторы C2, C3, C13, C31, C35, C36, C38 типа К50-35 на соответствующие напряжения. Конденсатор C34 – электролитический неполярный, типа К50-6 на напряжение не ниже 100В. Конденсаторы керамические, многослойные, типа К10-17Б: C4, C6, C8, C14, C16, C17, C21, C24, C25, C26, C28, C30, C33, C37, C40, C42 – с ТКЕ не ниже $\times 7r$, а конденсаторы C16 и C17 с ТКЕ не ниже $p0$. Конденсаторы C21 и C25 установлены на переменных сопротивлениях. Остальные конденсаторы металлопленочные (C1, C15, C18, C19, C20, C23, C32), типа К73-17.

Диоды VD3, VD4 и VD5 ультрабыстрые (импульсные) с минимальным прямым напряжением. VD6-VD9 – типа 1N4148.

Конденсатор C33 устанавливается в том случае, если есть желание получить задержку при срабатывании триггерной защиты. Например, для того чтобы дать время зарядиться конденсаторам подключаемой схемы или нагреться нити накала лампочки без завышения ограничения тока. Время задержки увеличивается с увеличением емкости конденсатора.

Транзисторы целесообразно выбирать по следующему принципу: Граничная частота коэффициента передачи тока транзистора VT3 должна быть выше частоты единичного усиления ОУ. Граничная частота коэффициента передачи тока каждого последующего транзистора в цепочке VT3-VT4-VT5...VT6 должна быть выше или равна предыдущему. В случае невыполнения этого требования придется дополнительно бороться с возбуждением БП, вызванного перерегулировками, что в свою очередь значительно ухудшит параметры БП. В случае применения любого из транзисторов с граничной частотой коэффициента передачи тока менее 10МГц (даже при применении LM324) наблюдались завалы на меандре. По этой причине и были выбраны транзисторы VT3 - 2SC2482 (50МГц), VT4 - BD788G (50МГц) и VT5...VT6 - 2SC3263 (60МГц). В данном блоке питания применялись транзисторы со следующими $h_{21э}$: VT3 – 60...70, VT4 – 150...160, VT5 и VT6 – 70...80.

Выбор транзисторов в выходном ГСТ аргументирован наименьшим падением напряжения перехода коллектор-эмиттер.

Схема управления БП была собрана на 6-х односторонних печатных платах (как процесс совершенствования версии 16у2):

1. Плата непосредственно ПидБП.
2. Плата источника опорного напряжения.
3. Плата выходного ГСТ.
4. Плата цобеля (опять-таки добавлялся во время настройки, устанавливается в основную плату).
5. Плата активного фильтра на транзисторе VT7.
6. Плата стабилизатора отрицательного плеча питания ОУ.
7. Плата активного фильтра шумов.

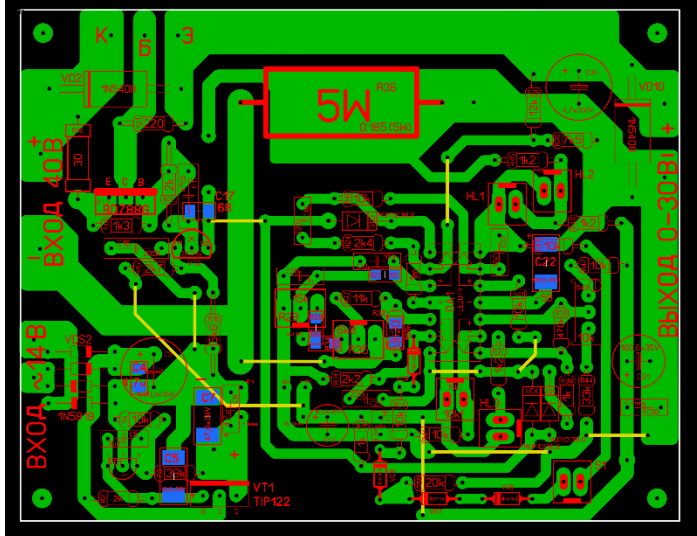


Рис. 3. Плата ПидЛБП

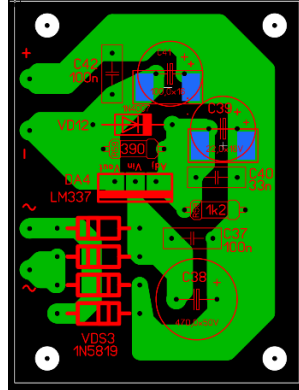


Рис. 4. Плата стабилизатора -5В

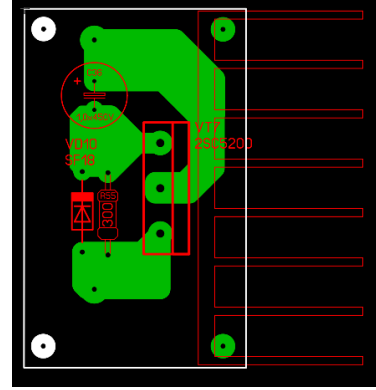


Рис. 5. Плата активного фильтра

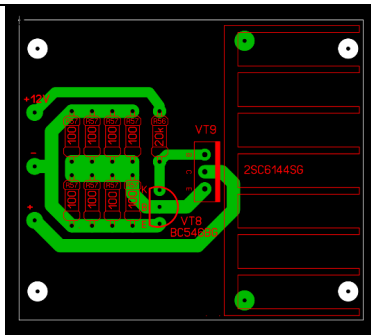
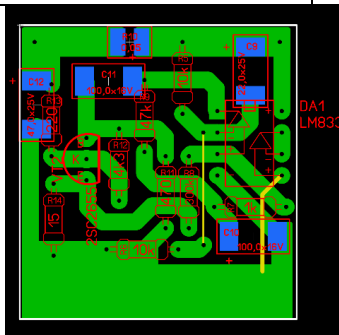


Рис. 6. Плата ГСТ



**Рис. 7. Плата активного
фильтра шумов**

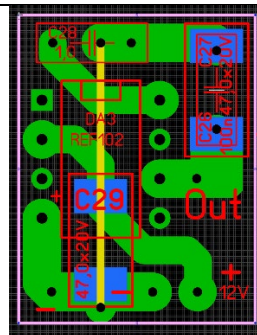


Рис. 8. Плата источника опорного напряжения

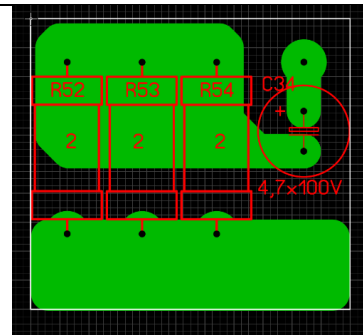


Рис.8. Плата цобеля

В зависимости от желания на плате может быть собран вариант как для однополярного питания (не устанавливать блокировочный конденсатор по отрицательному плечу (C22), установить перемычку, соединяющую 11 вывод ОУ с нижним, по схеме, выводом переменного сопротивления R35), так и двухполярного (отрицательное плечо БП необходимо собрать на отдельной плате, подключить к общему и минусу C22). Кроме того, если привести номиналы в соответствие со схемой 16у2, то у вас и получится полноценная версия 16у2.

Настройка.

Правильно собранная схема из исправных деталей начинает работать сразу.

Амплитуда напряжения питания схемы управления блока питания контролируется на эмиттере VT1 (12В). При необходимости подстраивается делителем R3, R4. В случае возбуждения TL431 - устраняется подбором конденсатора С6.

Настройка активного шумоподавителя, выполненного на микросхеме DA1 и транзисторе VT2 производится за счет подбора номиналов резисторов R8 и R10 по получению наименьшего шума на выходе.

Установка верхнего предела напряжения производится при верхнем положении потенциометра R28 за счет изменения в небольших пределах резистора R26.

Установка максимального тока ограничения производится подбором номиналов делителя, выполненного на резисторах R32 и R33, при верхнем положении потенциометра R35.

Величина тока выходного ГСТ (48 мА), собранного на транзисторах VT8 и VT9, устанавливается подбором сопротивления R57 (на плате разведены в виде 8 резисторов 0,25Вт сопротивлением 100 Ом, включенных в параллель).

Формула для расчета сопротивления ГСТ: $R=0,6/I(A)$

Настройка температуры срабатывания модуля температурной защиты силовых транзисторов производится подстроечным резистором R43. Для этого необходимо установить резистор R43 в крайнее верхнее положение, нагреть датчик температуры (термистор R40) до температуры 60°C и вращая ручку потенциометра добиться того момента, когда напряжение на выходе БП исчезнет и загорится светодиод HL1. При необходимости, температуру включения БП, после остывания выходных транзисторов можно изменить резистором R39. Для более точной настройки процедуру требуется повторить несколько раз, нагревая термистор и контролируя температуру отключения блока питания.

В случае возникновения возбуждения стабилизатора напряжения, необходимо найти баланс между сопротивлением делителя R25 и R26, резистором R24 и емкостью конденсатора C18. При этом следует учитывать, что увеличение сопротивления делителя и емкости конденсатора C18, а уменьшение значения резистора R24 – уменьшает склонность БП к возбуждению, но увеличивает амплитуду и длительность выбросов. Противоположные действия – вызывают и противоположные изменения в характеристиках. Необходимо найти баланс между этими параметрами, когда БП будет вести себя устойчиво при минимальных выбросах.

В случае возбуждения каскада ограничения тока – следует подобрать величину конденсатора C23. Возможно, потребуется последовательно с ним поставить и подобрать сопротивление.

Также необходимо учитывать тот факт, что составной транзистор БП VT4-VT5...VT6 имеет большой коэффициент усиления по току. Рассогласованность во входном сигнале и коэффициенте усиления будет приводить как к увеличению амплитуды выбросов, так и к увеличению длительности переходных процессов, а возможно и к генерации из-за перерегулировок. Регулируется в небольших пределах резистором R19 по наименьшим выбросам и уменьшению времени переходных процессов.

В случае возникновения колебаний, вызванных работой ООС каскада, выполненного на транзисторе VT3, необходимо подобрать минимальное значение конденсатора C17 до устранения колебаний как для блока стабилизации напряжения, так и для блока ограничения тока, во всех режимах их работы.

В случае возникновения резонансных колебаний на выходе БП необходимо подобрать сопротивления R52-R54 в цепи цоколя с общим сопротивлением в рамках 0,5-1 Ом. Но при этом учитывать, что увеличение сопротивления будет приводить к увеличению длительности переходных процессов, поэтому стоит стремиться к минимальным значениям при стабильной работе БП. Отчасти увеличение длительности выбросов здесь можно скорректировать увеличением тока выходного ГСТ, но это в свою очередь будет увеличивать нагрузку на силовые транзисторы и снижать КПД блока питания.

В случаях, когда из-за несбалансированности входов ОУ по току не уменьшается ограничение тока до 0 может потребоваться установка и подбор резистора R30.

В связи с большой чувствительностью ОУ блока питания и для устранения наводок крайне рекомендую экранировать:

- отсек с трансформатором (-ми);
- провода, идущие к базам силовых транзисторов;
- провода, идущие от эмиттеров силовых транзисторов;
- провода, идущие к переменным резисторам платы ПидЛБП.

Во время настройки следует учитывать, что работа БП с коммутатором нагрузки и без него – это разные режимы, работу которых необходимо проверять отдельно.

СТАБИЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ. ШУМ И ПУЛЬСАЦИИ

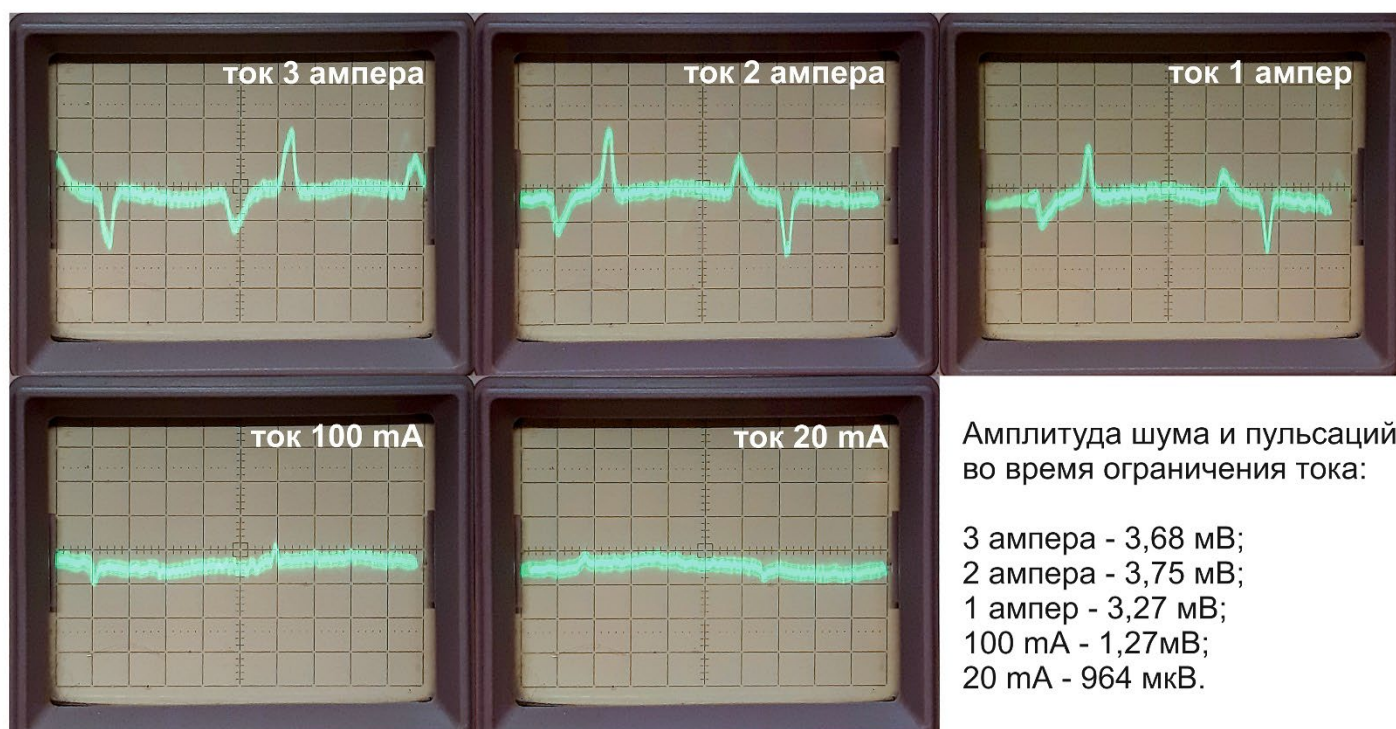
Осциллограф на выходе БП. Вход закрыт.



ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКА. ШУМ И ПУЛЬСАЦИИ

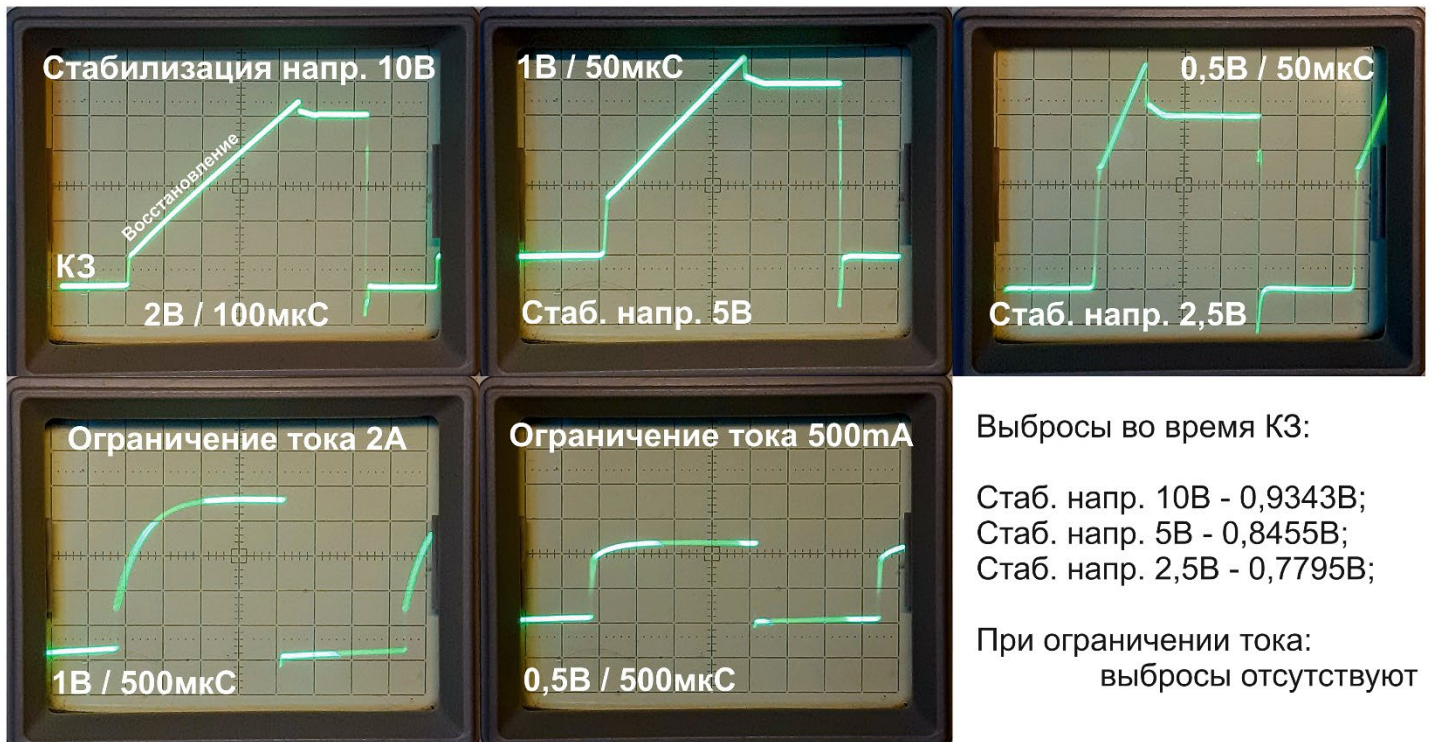
Осциллограф на выходе БП. Вход закрыт.

Развертка: - по вертикали 1мВ,
- по горизонтали 2мС



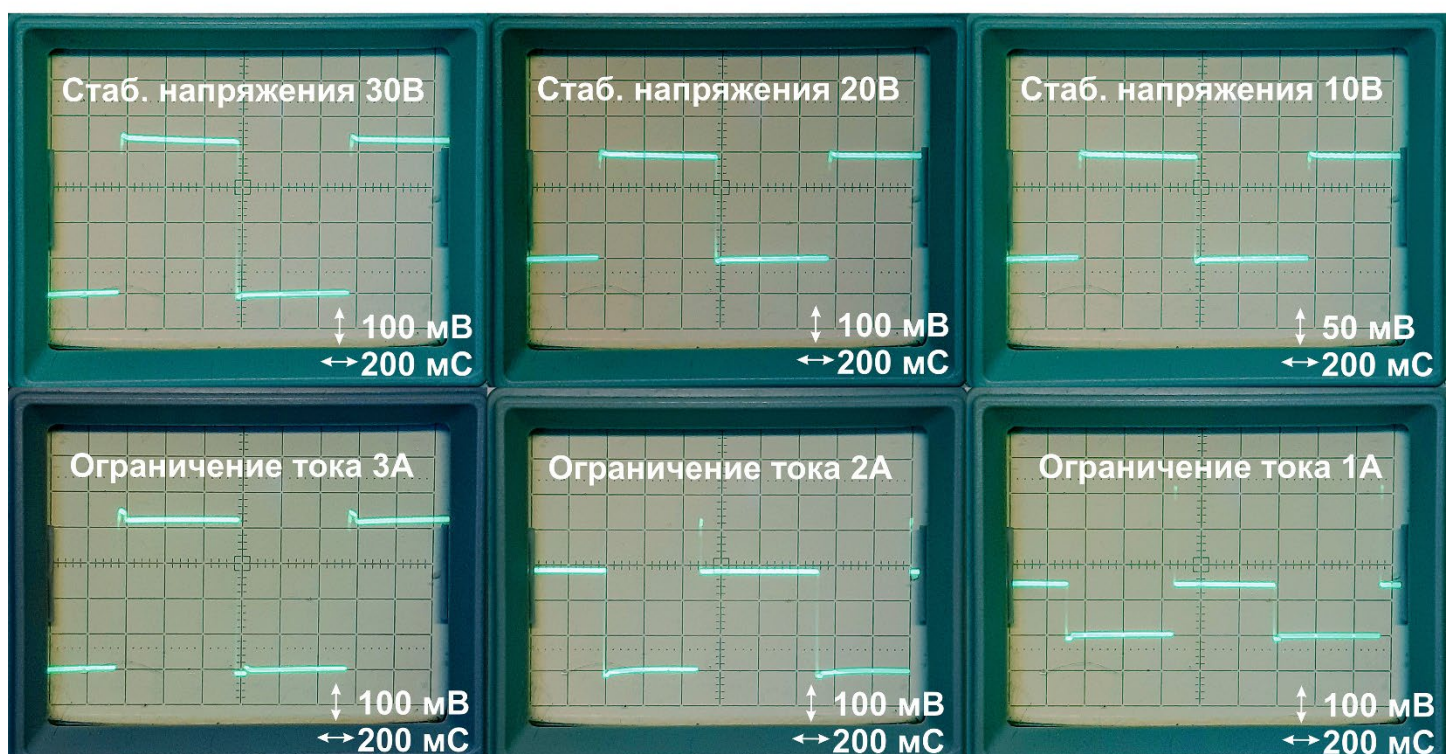
ВЫБРОСЫ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Осциллограф на выходе БП. Вход закрыт.



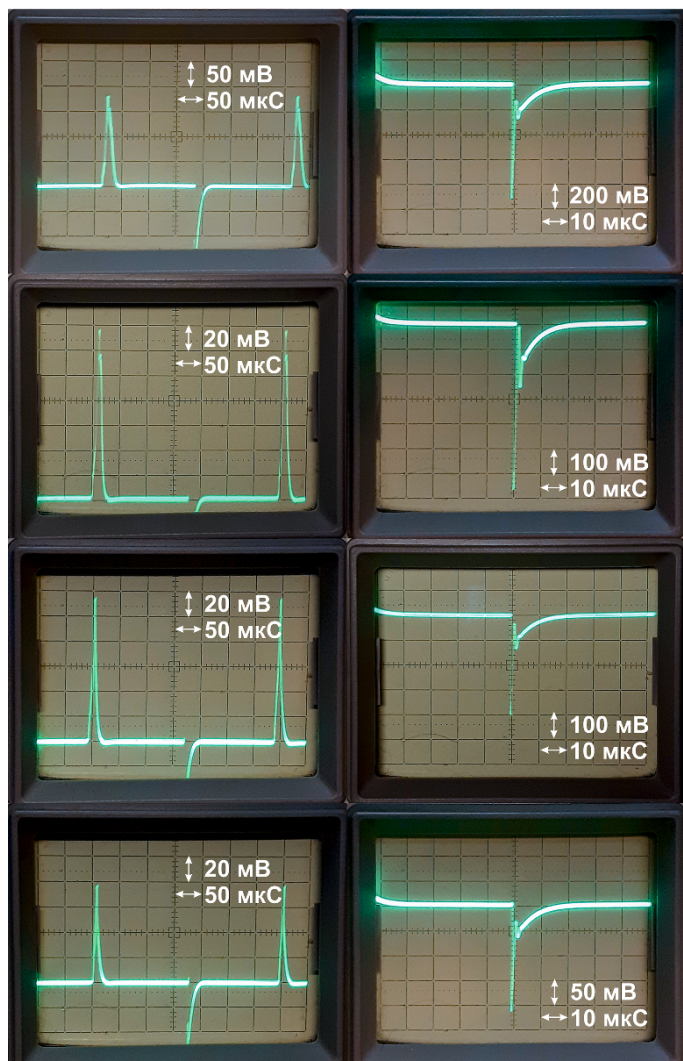
ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШУНТЕ

Вход осциллографа закрыт.



ВЫБРОСЫ И ПРОВАЛЫ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ НАГРУЗКИ

Осциллограф на выходе БП. Вход закрыт.



На выходе БП - 30В. Нагрузка 10 Ом.
Провал при подключении нагрузки - 0,92В;
Время переходных процессов - 34мкс;
Выброс при отключении нагрузки - 0,182В;
Время переходных процессов - 36мкс;
Изменение напряжения под нагрузкой: +300мкВ.

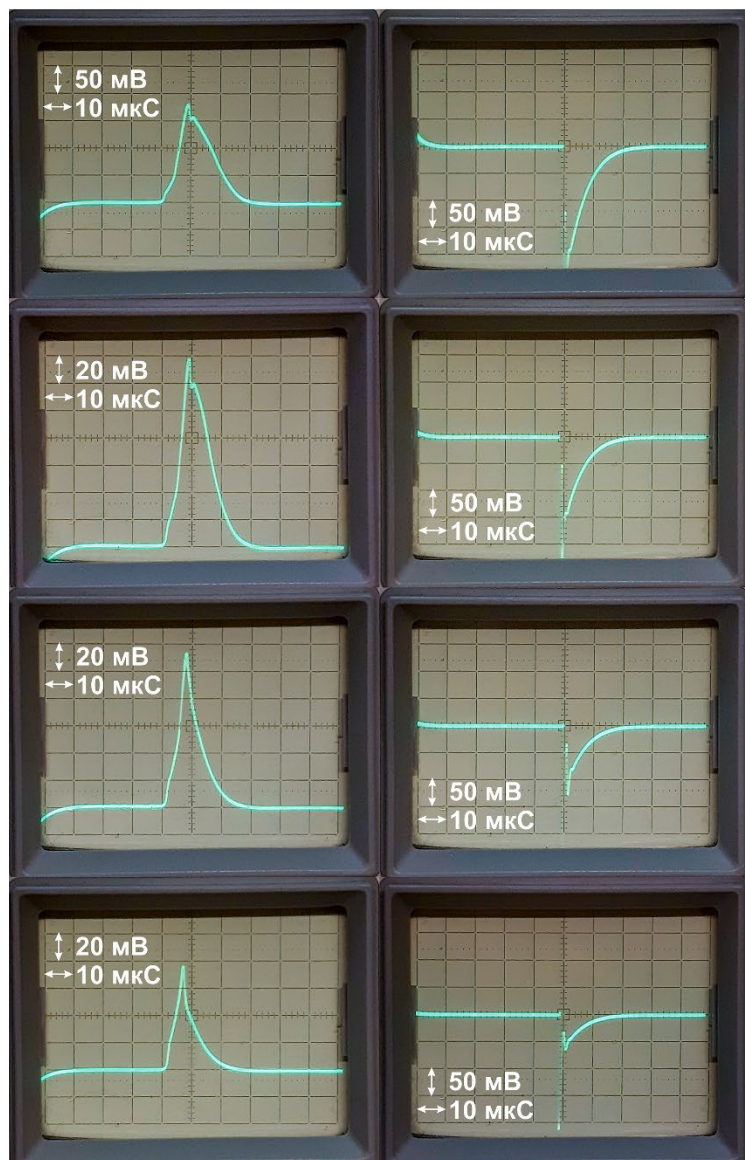
На выходе БП - 20В. Нагрузка 10 Ом.
Провал при подключении нагрузки - 0,67В;
Время переходных процессов - 30мкс;
Выброс при отключении нагрузки - 0,139В;
Время переходных процессов - 34мкс;
Изменение напряжения под нагрузкой: +175мкВ.

На выходе БП - 10В. Нагрузка 10 Ом.
Провал при подключении нагрузки - 0,4В;
Время переходных процессов - 28мкс;
Выброс при отключении нагрузки - 0,114В;
Время переходных процессов - 32мкс;
Изменение напряжения под нагрузкой: +85мкВ.

На выходе БП - 5В. Нагрузка 10 Ом.
Провал при подключении нагрузки - 0,215В;
Время переходных процессов - 26мкс;
Выброс при отключении нагрузки - 0,076В;
Время переходных процессов - 30мкс;
Изменение напряжения под нагрузкой: +25мкВ.

ВРЕМЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ НАГРУЗКИ

Осциллограф на выходе БП. Вход закрыт.



На выходе БП - 30В. Нагрузка 10 Ом.
Выброс при отключении нагрузки - 0,182В;
Время переходных процессов - 36мкс;
Провал при подключении нагрузки - 0,92В;
Время переходных процессов - 34мкс;

На выходе БП - 20В. Нагрузка 10 Ом.
Выброс при отключении нагрузки - 0,139В;
Время переходных процессов - 34мкс;
Провал при подключении нагрузки - 0,67В;
Время переходных процессов - 30мкс;

На выходе БП - 10В. Нагрузка 10 Ом.
Выброс при отключении нагрузки - 0,114В;
Время переходных процессов - 32мкс;
Провал при подключении нагрузки - 0,4В;
Время переходных процессов - 28мкс;

На выходе БП - 5В. Нагрузка 10 Ом.
Выброс при отключении нагрузки - 0,076В;
Время переходных процессов - 30мкс;
Провал при подключении нагрузки - 0,215В;
Время переходных процессов - 26мкс;