

Стабилизаторы на ОУ и мощных полевых транзисторах с активным электронным фильтром и защитой от превышения тока

Часть 2

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

Во второй части статьи, посвящённой стабилизаторам с активным электронным фильтром, описываются устройство защиты от превышения тока, схема стабилизатора отрицательного напряжения и схемы индикации. Приведены печатные платы и фотографии устройств. Завершает статью пример практического применения стабилизаторов в источниках питания.

Устройство защиты от превышения тока (см. рис. 1 [4]) включает в себя шунт в виде токоизмерительного резистора R6 номиналом 5 мОм (для поверхностного монтажа размером 2512 и мощностью 2 Вт), классический дифференциальный усилитель (ДУ) [9] с коэффициентом усиления 100 на базе ОУ DA2 (OPA170 в корпусе SOT23-5) и четырёх резисторов R13–R16, оптронный симистор DA3 (MOC3023) и два резистора R17 и R18, предназначенных для настройки порогового тока. Поскольку вход опорного напряжения ДУ заземлён, выходное напряжение ДУ изменится относительно «земли» [9].

Работает устройство следующим образом. При токе 10 А падение напряжения на шунте R6 составляет

50 мВ. Это напряжение, усиленное ДУ в 100 раз, через резисторы R17 и R18 подаётся на анод светодиода оптронного симистора (вывод 1, DA3), катод которого (вывод 2, DA3) заземлён. Поскольку пороговый ток, открывающий оптосимистор и протекающий через светодиод, составляет около 2,5 мА, сумма номиналов R17 и R18 составляет около 2 кОм. Как видно из рисунка 1, симистор (выводы 4 и 6, DA3) включён между затвором и истоком T1, поэтому при токе 10 А симистор включается и своими выводами «закорачивает» затвор с истоком транзистора T1, отчего последний запирается и отключает всю силовую цепь, находящуюся справа по схеме от stocka. В связи с этим выходное напряже-

ние всего устройства падает практически до нуля, ток через шунт R6 прекращается, ток через светодиод пропадает, однако симистор, обладающий триггерным эффектом, остаётся включённым до тех пор, пока через него протекает ток. Протекание тока обеспечивает почти нулевой потенциал на выходе левого по схеме ОУ DA1 (вывод 3). Этот нулевой потенциал ОУ стремится сохранить. Работа ОУ обеспечивается тем, что он получает питание от RC-фильтра Ф1 (R11C11R12C12C13), питающегося входным напряжением. Таким образом, через симистор проходит ток от входного напряжения через резистор R4 до 1-го вывода DA1. В этом состоянии устройство может находиться сколь угодно долго, и единственным способом сбросить это состояние является выключение питания устройства и повторное его включение после полного разряда сглаживающих электролитических конденсаторов, установленных после выпрямителя. Время разряда этих конденсаторов составляет несколько минут, поэтому для ускоренного разряда можно предусмотреть резистор номиналом 6–10 Ом и кнопку, расположенную на задней стенке корпуса. Подобное устройство защиты показало надёжную работу и высокую повторяемость своих свойств [2, 3].

Время срабатывания устройства защиты составляет единицы миллисекунд, что является очень важным свойством. Кроме того, защита достаточно прецизионна. Если, например, настроить пороговый ток защиты в 10 А, то уже при токе 10,2 А она может сработать. Это необходимо учитывать, если ИП подключается не только к активной нагрузке, но и к реактивной, а именно к ёмкостной. Например, при подключении ИП к мощному звуковому усилителю, в котором имеются конденсаторы ёмкостью в сотни микрофарад, при включении питания их большой начальный ток заряда может превысить установленный порог защиты в 10 А. В результате сработает защита, усилитель не получит питания и, есте-

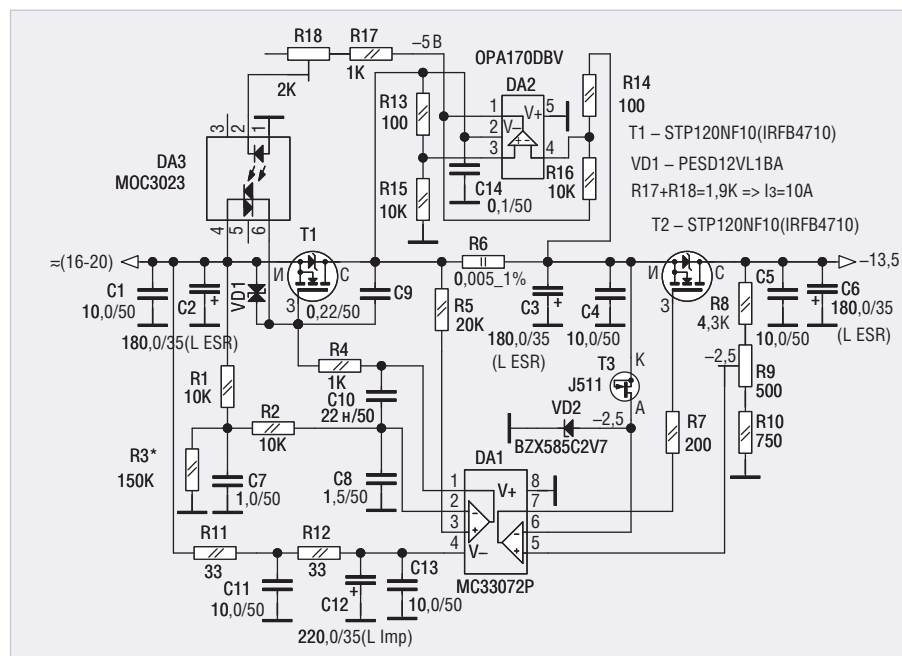


Рис. 8. Принципиальная схема стабилизатора –13,5 В

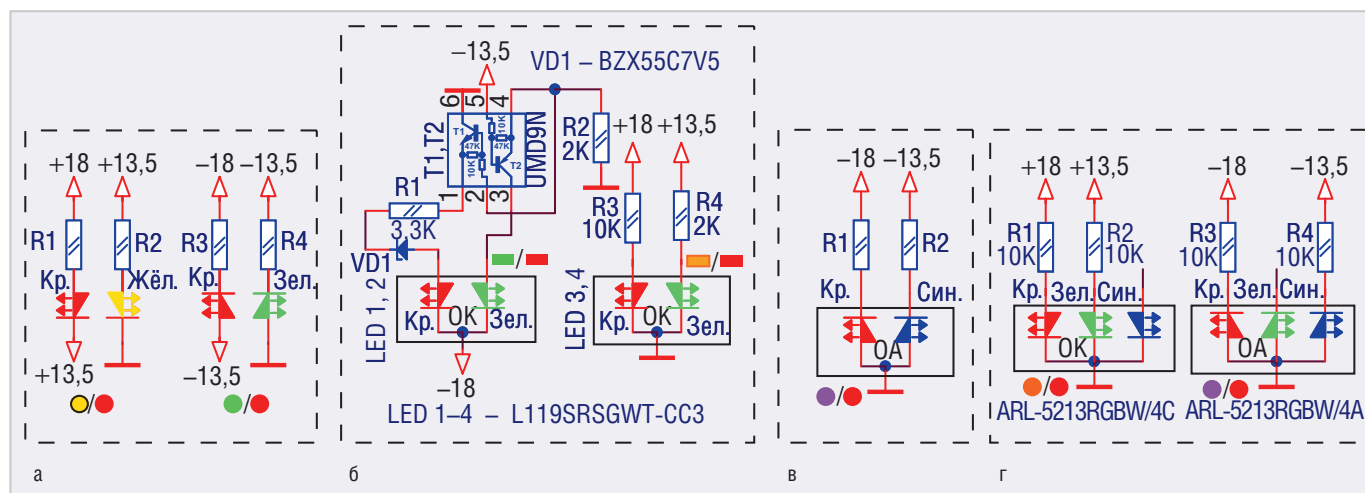


Рис. 9. Принципиальные схемы индикации наличия выходных напряжений на светодиодах: а) на одноцветных; б-в) на двухцветных; г) на трёхцветных

ственно, работать не будет. В этом случае порог защиты можно немного поднять, увеличив номинал переменного резистора R18.

Принципиальная схема фильтра-стабилизатора отрицательного напряжения представлена на рисунке 8. Её отличия от схемы фильтра-стабилизатора положительного напряжения заключаются в следующем:

- силовые транзисторы T1 и T2 (STP120NF10/IRF4710) – n-канальные;
- резистор R18 подключён к катоду светодиода оптрона (вывод 2, DA3), а анод (вывод 1, DA3) заземлён, поскольку выходное напряжение OУ DA2 – отрицательное (–5 В);
- полярность включения VD2, T3 и всех электролитических конденсаторов изменена на противоположную;
- в качестве основного OУ (DA1) использован OУ другого типа (MC33072P);
- резистор R3 имеет номинал 150 кОм.

В остальной схеме аналогична предыдущей и обладает теми же параметрами.

В схемах, представленных на рисунках 1 и 8, все постоянные резисторы, кроме R6, – резисторы для поверхностного монтажа с типоразмером 0603. Конденсаторы C2, C3 и C6 – электролитические с низким последовательным сопротивлением 8×11 мм, рассчитанные на максимальное напряжение 35 В. Конденсатор C12 – электролитический с низким импедансом 8×12 мм, рассчитанный на максимальное напряжение 35 В. Остальные конденсаторы – керамические для поверхностного монтажа, рассчитанные на напряжение 50 В. Типоразмер C1, C4, C5, C11 и C13 – 0805, остальных – 0603. Корпуса транзисторов T1 и T2 – TO-220, T3 – TO-92,

DA1 – DIP8, DA2 – SOT23-5, DA3 – DIP6. Подстроечные резисторы R9 и R18 – для поверхностного монтажа PVZ3A размером 3,6×3,1 мм. Корпус VD1 – SOD323, VD2 – SOD523.

Для индикации наличия в ИП напряжений питания и перегрузки [2, 3] может быть использована простейшая схема, состоящая из четырёх светодиодов со своими токоограничительными резисторами (см. рис. 9а) [2, 3]. В данном случае из конструктивных и эстетических соображений использована схема с двумя двухцветными красно-зелёными светодиодами с общим катодом L119SRSGWT-CC3 (см. рис. 9б).

Для индикации напряжения +13,5 В и перегрузки используется двухцветный светодиод LED 3, 4, который представляет собой два светодиода в одном корпусе: один – сверхъяркий красный, а второй – обычный зелёный. При работе стабилизатора в штатном режиме присутствуют оба напряжения (+18 и +13,5 В), поэтому горят оба светодиода. Общий цвет свечения LED 3, 4 в этом случае – жёлто-оранжевый. При перегрузке напряжение +13,5 В пропадает, зелёный светодиод гаснет, и общий цвет свечения становится красным. Номинал резисторов R3 и R4 подобран так, чтобы яркость зелёного и красного светодиодов была приблизительно одинаковой.

Для индикации напряжения –13,5 В и перегрузки используется такой же двухцветный светодиод LED 1, 2 и двухтранзисторная сборка UMD9N (T1, T2). При работе стабилизатора отрицательного напряжения в штатном режиме также присутствуют оба напряжения, в связи с чем транзистор T2 открыт, а T1 закрыт, поскольку на его базе нулевой и даже немного отрицательный потенциал

относительно эмиттера. В этом случае зелёный светодиод горит, а красный – нет, и общий цвет свечения двухцветного светодиода – зелёный. При перегрузке напряжение –13,5 В пропадает, транзистор T2 закрывается, открывая транзистор T1. В связи с этим зелёный светодиод гаснет, а красный загорается, и общий цвет свечения становится красным. Напряжение стабилитрона VD1 (7,5 В) и номиналы резисторов R1 и R2 подобраны таким образом, чтобы при изменении входного напряжения от –13,5 до –18 В как в штатном режиме, так и в режиме перегрузки горел только один из светодиодов. Если не устанавливать стабилитрон, то транзистор T1 сборки будет запирается не до конца, что приведёт к появлению слабого свечения красного светодиода, искажению чисто зелёного цвета и сделает его почти неотличимым от свечения светодиода LED 3, 4. Установка стабилитрона поднимает напряжение эмиттера T1 сборки на 7,5 В, что приводит к надёжному запирающему транзистора T1 при любом входном напряжении и чистому зелёному свечению светодиода LED 1, 2 в штатном режиме работы стабилизатора.

Таким образом, при работе обоих стабилизаторов в штатном режиме цвет свечения светодиода, индицирующего напряжение –13,5 В, – зелёный, а цвет свечения светодиода, индицирующего напряжение +13,5 В, – светло-оранжевый. При возникновении перегрузки по какому-либо напряжению цвет свечения соответствующего двухцветного светодиода становится красным.

Если использовать двухцветный красно-синий светодиод с общим анодом (см. рис. 9в), то проблему индикации отрицательного напряжения питания и

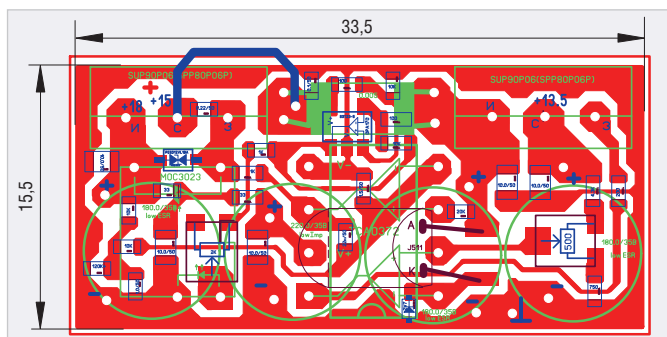


Рис. 10. Разводка платы стабилизатора +13,5 В

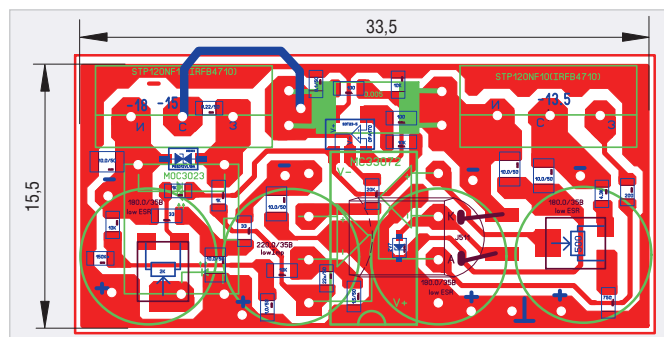


Рис. 11. Разводка платы стабилизатора -13,5 В

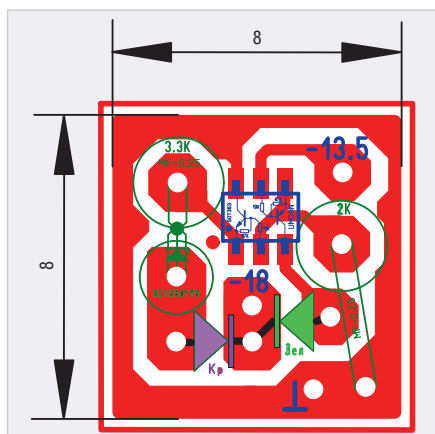


Рис. 12. Разводка платы индикации

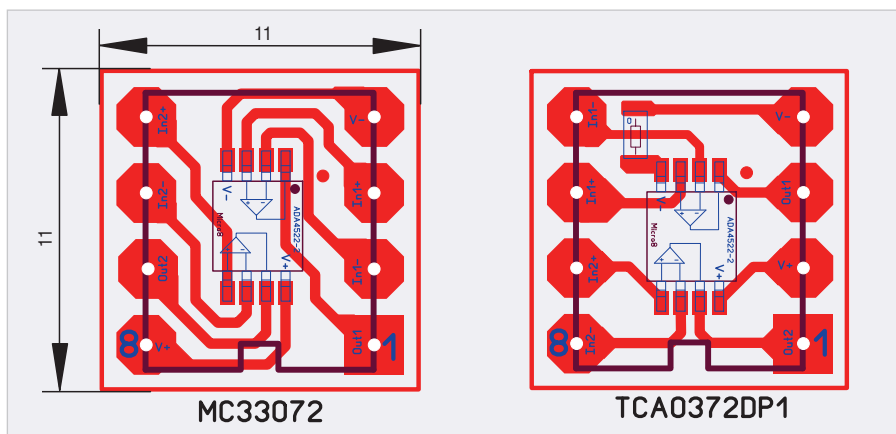


Рис. 13. Разводка плат-переходников для ADA4522-2

перегрузки можно решить без использования двухтранзисторной сборки. В схеме, показанной на рисунке 9в, при наличии обоих напряжений (-18 и -3,5 В) горят оба светодиода, и общий цвет свечения двухцветного светодиода – фиолетовый. При перегрузке напряжение -13,5 В пропадает, синий светодиод гаснет, и общий цвет свечения двухцветного светодиода – красный. Ещё одним вариантом построения схемы индикации является использование трёхцветных светодиодов (см. рис. 9г). Эти светодиоды достаточно яркие, поэтому номинал токоограничительных резисторов для них должен составлять не менее 10 кОм. Для чёткого визуального восприятия свечения предпочтительно использовать светодиоды с матовой линзой – ARL-521RGBW/4C и ARL-521RGBW/4A.

Разводка печатных плат устройств

Разводка печатных плат всех устройств выполнена в программе Sprint LayOut 6.0, а технология изготовления фотошаблонов и самих плат с высоким разрешением своими силами подробно описана в статьях [7, 8]. Файл с разводкой всех плат в формате *.laub приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

Платы стабилизаторов положительного и отрицательного напряжений (см. рис. 10, 11) имеют небольшой размер – 33,5×15,5 мм. На рисунках синим цветом обозначены компоненты для поверхностного монтажа, расположенные на стороне проводников, коричневым – транзистор с p-n-переходом J511 (Т3 на рис. 1, 8), который также расположен на стороне проводников. Зелёным цветом обозначены компоненты, установленные с обратной стороны платы с помощью навесного монтажа. В эту группу входят мощные транзисторы, две микросхемы в DIP-корпусах, шунт и электролитические конденсаторы. Перемычки сечением не менее 1 мм², соединяющие стоки мощных транзисторов с контактными площадками, к которым припаяны шунты, обозначены синим цветом.

Плата индикации, выполненная на транзисторной сборке, имеет размер всего 8×8 мм (см. рис. 12). Резисторы R1, R2 и стабилитрон VD1 (см. схему на рис. 9б) установлены на плате навесным монтажом вертикально. Резисторы R3 и R4 припаяны непосредственно к выводам светодиода LED 3, 4. Во избежание случайного замыкания выводов резисторов на центральный вывод светодиода на резисторы надета изолирующая трубка из ПВХ.

Печатные платы-переходники для микросхемы ADA4522-2 показаны

на рисунке 13, их размер составляет 11×11 мм.

На рисунках 14а и 14б представлены фотографии стабилизатора положительного напряжения со стороны проводников и со стороны навесных компонентов соответственно. Мощные транзисторы прикручиваются винтами М3 к радиаторам, установленным на задней стенке корпуса источника питания (см. далее), через керамические изолирующие прокладки с использованием теплопроводной пасты КПТ-8.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАБИЛИЗАТОРА

Рассмотрим пример применения описанных выше стабилизаторов в реальном источнике питания. ИП размещён в металлическом корпусе размером 245×245×57 мм (см. рис. 15а). К задней стенке винтами М3 крепится радиатор. В ней же прорезано прямоугольное окно для крепления стабилизаторов.

В качестве выпрямительных диодов были использованы диоды Шоттки DSA30I100PA производства компании IXIS с максимальным обратным напряжением 100 В и максимальным током 30 А. Можно также использовать недорогие диоды Шоттки MBR25100 с максимальным током 25 А и максимальным обратным напряжением 100 В.

В отличие от двухвыводного диода DSA30I100PA, диод MBR25100 представляет собой два диода с соединёнными катодами и имеет три вывода: два анода и объединённый катод. Каждый из четырёх диодов закреплён на небольшом радиаторе, что позволило не использовать изолирующую прокладку. Все четыре радиатора прикручены к пластине из 4-миллиметрового стеклотекстолита, которая крепится к днищу корпуса. Коммутация диодов произведена проводом МГТФ 1,0.

В ИП использовано 6 электролитических конденсаторов размером 30×35 мм и номиналом 10 000 мкФ с максимальным напряжением 50 В, т.е. по 30 000 мкФ для каждого из напряжений питания. Конденсаторы приклеены друг к другу двусторонней пористой лентой и стянуты между собой обычной изолянткой. Они также приклеены к днищу корпуса двусторонней пористой лентой и дополнительно прикручены двумя винтами М4 через прямоугольные стеклотекстолитовые шайбы. На шайбах расположены цементные резисторы номиналом 6,8 Ом мощностью 2 Вт, служащие для принудительного разряда конденсаторов. Одним выводом резисторы припаяны к шинам с выпрямленными напряжениями (на конденсаторах), а вторым – к проводам, соединяющимся с кнопками, которые коммутируют резисторы с земляной шиной (также на конденсаторах).

Земляная шина и шины питания, разведённые на конденсаторах, представляют собой медный лужёный провод диаметром 1,5 мм. Шины питания на конденсаторах соединены с входами стабилизаторов (выводами истоков транзисторов) многожильным проводом сечением $2,5 \text{ мм}^2$ в ПВХ-изоляции. Выходные напряжения стабилизаторов (выводы стоков транзисторов) соединены с выходным разъёмом XS20JK-4P(M) (XP1 на рис. 7 [4]) проводами такого же сечения. Сам выходной разъём закреплён на задней стенке корпуса. «Земля» стабилизаторов соединяется с «земляным» контактом выходного разъёма проводами МГТФ 0,3.

Светодиоды установлены на лицевой панели корпуса, а плата индикации приклеена двусторонней пористой лентой к её обратной стороне. Соединение светодиодов и платы индикации со стабилизаторами выполнено проводами МГТФ 0,1, сплетёнными в «косичку». Эти провода, обёрнутые изолянткой, приклеены к днищу корпуса двусторонней пористой лентой.

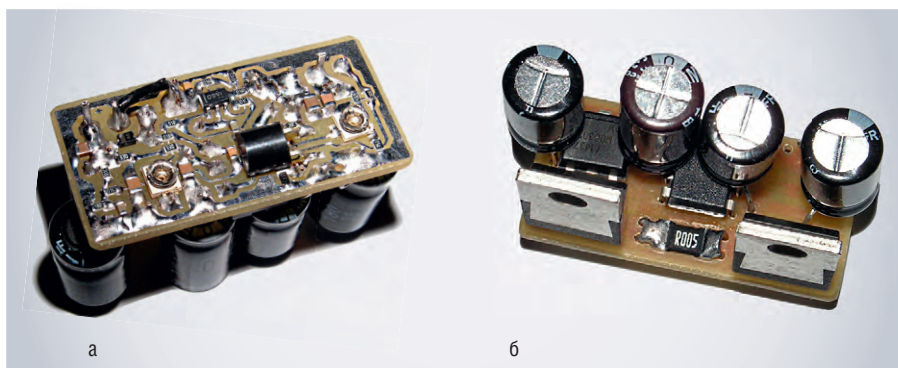


Рис. 14. Фотографии платы стабилизатора +13,5 В:

а) вид со стороны проводников; б) вид со стороны навесных компонентов

Тороидальный трансформатор размером 135×47 мм прикручен к днищу корпуса стандартным креплением: две резиновые прокладки, чашка и болт М6. Для того чтобы днище корпуса не прогибалось, на внешнюю сторону днища установлена стальная квадратная пластина размером $100 \times 100 \times 2,5$ мм, через которую пропущен болт. Параметры трансформатора следующие. Мощность – 250 Вт, две выходные полуобмотки имеют действующее напряжение холостого хода по 13,5 В и намотаны проводом ПЭТВ-2 диаметром 2 мм. Выпрямление организовано по полумостовой схеме со средней точкой. Первичная обмотка трансформатора одним концом соединена с первым контактом входного сетевого разъёма ~220 В, вторым – через предохранитель 3,15 А и двухпозиционный выключатель (10 А, 250 В) – со вторым его контактом. Корпус предохранителя и выключатель установлены на задней стенке корпуса. Хотя фильтры-стабилизаторы и оснащены высокоскоростной защитой по току, для повышения надёжности в устройстве предусмотрен стандартный предохранитель, поскольку при выходе из строя выпрямительных диодов токовая защита не срабатывает, в результате чего может выйти из строя трансформатор.

Схемы выпрямления, подключения выпрямителя к сглаживающим конденсаторам и другие описанные выше схемы подключения не приводятся в связи с их простотой. Фотография задней стенки корпуса ИП представлена на рисунке 15б.

Данный ИП хорошо зарекомендовал себя при питании звукового НЧ-усилителя [3]. Подключение к усилителю осуществлялось 3-жильным проводом ПУГНП сечением каждой жилы 4 мм^2 . Общий вид ИП показан на рисунке 15в.

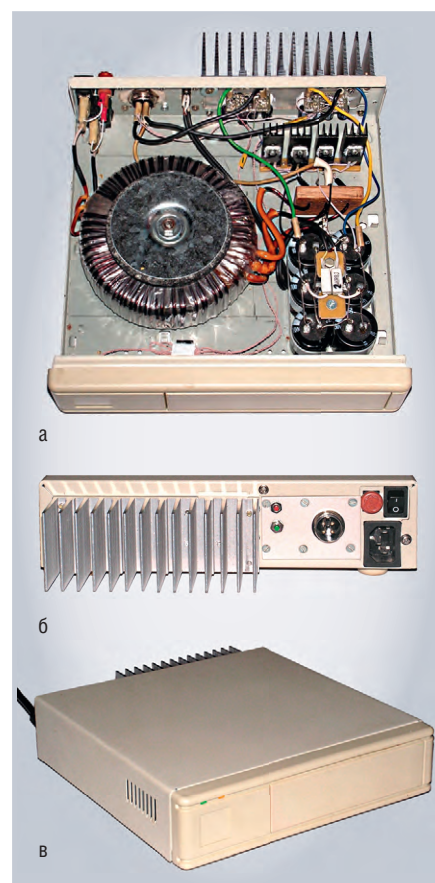


Рис. 15. Источник питания: а) в корпусе без крышки; б) задняя стенка; в) общий вид в корпусе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение активного фильтра на базе двухзвенного RC-фильтра, ОУ и мощного полевого транзистора подавляет размах пульсаций его выходного напряжения в 23 раза, что эквивалентно установке сглаживающих электролитических конденсаторов после выпрямителя ёмкостью до 1 Ф.

Использование ИОН на базе стабилизатора и полевого транзистора с р-n-переходом в стабилизаторе на ОУ и мощном полевым транзисторе существенно снижает шум его выходного напряжения, повышает коэффи-

циент стабилизации до 20 000 и позволяет существенно упростить его схему – стабилизатор сконструирован всего на одном ОУ.

Питание ОУ устройства выходным напряжением двухзвенного RC-фильтра полностью устраняет паразитную генерацию, самопроизвольное защёлкивание при включении, повышает плавность включения и позволяет использовать в фильтрах-стабилизаторах мощные полевые транзисторы (SUP90P06/STP120NF10) с большой крутизной передаточной характеристики и низким сопротивлением открытого канала (10 МОм), а также широкодоступные и недорогие двухканальные ОУ (ТСА0372DP1/МС33072Р).

Вышеперечисленные особенности активных электронных фильтров и стабилизаторов при совместном их применении позволяют им работать в широком диапазоне выходных токов и снижают размах пульсаций выходного напряжения до 1 мВ при токах до 9 А.


Высокоскоростная эффективная защита фильтров-стабилизаторов от превышения тока заданного порога

(в том числе от тока короткого замыкания) предотвращает повреждение подключённой нагрузки большими токами.

Применённая элементная база совместно с компонентами для поверхностного монтажа позволили сократить размеры плат устройств до 16×35 мм.

Использование стабилизаторов с активным фильтром в ИП вместо обычного повышения ёмкости сглаживающих конденсаторов до 200 000–300 000 мкФ и выше решает проблему подавления размаха пульсаций его выходных напряжений новым, но в то же время простым электронным способом. Такой подход позволяет существенно снизить массогабаритные и стоимостные характеристики ИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А. Использование мощных полевых транзисторов и операционных усилителей в прецизионных регуляторах и стабилизаторах напряжения // Современная электроника. 2012. № 7.
2. Кузьминов А. Активный фильтр на мощном полевом транзисторе и ОУ с защитой от превышения тока // Современная электроника. 2016. № 3.
3. Кузьминов А. Применение инструментального усилителя для мостового включения двух мощных ОУ. Часть 3 // Современная электроника. 2017. № 6.
4. Кузьминов А. Стабилизаторы на ОУ и мощных полевых транзисторах с активным электронным фильтром и защитой от превышения тока. Часть 1 // Современная электроника. 2017. № 9.
5. Кузьминов А. Стабилизаторы напряжения с активным фильтром // Радио. 2017. № 5.
6. Кузьминов А. Усовершенствованные стабилизаторы напряжения с активным фильтром // Радио. 2017. № 9.
7. Кузьминов А. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в любительских условиях // Радио. 2017. № 10.
8. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 8; 2011. № 1, 2.
9. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. – М.: Мир, 1982. 



Светопроводник к Вашему успеху



Световоды для SMD- и THT-светодиодов



Медицина

Особенности:

- Световоды со степенью защиты IP68
- Диапазон температур: –40...+85°C
- Возможно изготовление заказных изделий



официальный дистрибьютор

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIPRU ■ WWW.PROCHIPRU



НОВОСТИ МИРА

ОТКРЫТИЕ МЕМОРИАЛЬНОЙ ДОСКИ М.А. КАРЦЕВУ

4 декабря 2017 года, в День российской информатики, состоялось торжественное открытие мемориальной доски Михаилу Александровичу Карцеву – доктору технических наук, профессору, основателю и первому директору НИИ вычислительных комплексов.

На торжественном мероприятии присутствовали: Баранов Л.Д., генеральный директор НИИВК; Сорокин С.А., генеральный конструктор НИИВК; Зенин В.Н., первый заместитель генерального директора НИИВК; Журавлёва Т.Л., заместитель префекта ЮЗАО г. Москвы; Половинкин С.А., начальник отдела монументов, памятных знаков и мемориальных досок Департамента культурного наследия г. Москвы; Тихонов А.К. и Новиков М.Н., заслуженные архитекторы РФ, авторы мемориальной доски; Московский А.М., генерал армии; Азаров Г.И., генерал-майор; Смолевицкая М.Э., с.н.с., Политехнический музей; Пройдаков Э.М., Штейнберг В.Н., Виртуальный компьютерный музей; Удалов Н.Н., МЭИ.

С приветственной речью к собравшимся обратился генеральный директор НИИВК Л.Д. Баранов. Своё выступление он посвятил Михаилу Александровичу Карцеву и его роли в становлении института и развитии отрасли.

Почётное право открытия мемориальной доски было предоставлено соратнику М.А. Карцева и легенде НИИВК Ю.В. Рогачёву и сыну М.А. Карцева – к.б.н. В.М. Карцеву.

После открытия мемориальной доски присутствовавшие возложили цветы.

Из приветственной речи:

«Михаил Александрович Карцев вошёл в вычислительную технику в самом начале её зарождения и оставил яркий след в её развитии. Как главный конструктор электронных вычислительных машин, он принял участие в создании крупнейших проектов комплексной системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН), обеспечившей руководство страны достоверной информацией об обстановке в космическом пространстве.

Фундаментальные научные труды, реализованные Михаилом Александровичем в конкретных ЭВМ четырёх поколений, были опубликованы в пяти монографиях и вошли в сокровищницу мировой науки и техники.

В дальнейшем им сформировано целое направление вычислительной техники управляющих ЭВМ (реального времени), создана первая серийная многопроцессорная супер-ЭВМ.

Ему первому удалось создать серийную многопроцессорную машину – супер-ЭВМ М-10, намного и надолго превосходившую другие отечественные ЭВМ.

Суперкомпьютер М-10 был отмечен Государственной премией СССР, а Михаил Александрович награждён Орденом Ленина.

В 1967 году М.А. Карцеву была присуждена Государственная Премия СССР, в том же году он стал доктором наук, а позже – профессором.

В память о Михаиле Александровиче учреждены медаль имени М.А. Карцева, а также премия, присуждаемая молодым учёным института.

Своими разработками вычислительных машин четырёх поколений и научными трудами, созданными коллективом единомышленников, М.А. Карцев увековечил себя в человеческой памяти. Эта мемориальная доска – ещё одна степень почёта, которую Михаил Александрович Карцев, бесспорно, заслужил».

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

GENESYS™ Series

5 кВт (0...600 В / 0...500 А)

LAN / USB / RS-232 / RS-485

Масштабирование до 20 кВт



TDK-Lambda

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



ПРОСОФТ