

Однополярное питание аудиоусилителя на мощных ОУ в мостовом включении

Часть 1

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

В статье описывается альтернативный вариант питания аудиоусилителя на мощных операционных усилителях (ОУ), включённых в мостовом режиме работы, от однополярного стабилизированного источника питания (ИП) напряжением 28 В и простейшего формирователя половинного напряжения (14 В), используемого в качестве искусственного земляного потенциала. Преимущество такого питания – двукратное снижение количества выпрямительных диодов, сглаживающих электролитических конденсаторов и наличие всего одного стабилизатора напряжения (вместо двух – в двухполярном ИП).

Но главный эффект от применения такого ИП – полное исключение 50 Гц фона в акустической системе (АС) при отсутствии звукового сигнала или в паузе между фонограммами. В статье приведены принципиальные схемы, разводка плат и фотографии применённых устройств: стабилизатора 28 В на базе мощного полевого транзистора IRFP4710 и ОУ MC33072/MC34072 и формирователя искусственной земли на базе мощного ОУ LA6500. Даны рекомендации по их настройке и тестированию, а также показаны результаты их работы.

Введение

В усилителях мощности звуковой частоты (УМЗЧ) на базе мощных ОУ (например, LM3886, LM4780, TDA7293 и др.), работающих в стандартном включении, акустическая система одним концом (+) подключена к выходу ОУ, а второй её конец (–) заземлён. Для такого режима работы ОУ, как правило, используется двухполярный источник питания. Такой ИП выдаёт два напряжения питания – положительное $+U_{п}$ и отрицательное $-U_{п}$ – относительно общего земляного провода (например, ± 14 В и земля). Поскольку АС заземлена, а из ИП выходят три провода: $+U_{п}$, $-U_{п}$ и силовая земля, причём земляной провод должен обеспечивать прохождение большого тока, то все три провода должны обладать достаточно большим поперечным сечением. Помимо силовой земли в ОУ присутствует ещё вспомогательная земля, к которой подключаются электролитические конденсаторы (по питанию, с вывода Mute и др.), положенные в штатном режиме работы ОУ, различные RC-цепочки, подключаемые к ОУ, а также земляной вывод самого ОУ (GND). Кроме того, имеется ещё так называемая сигнальная земля, которая также должна подключаться к общему земляному проводу. В таком режиме работы ОУ основным источником помех является сило-

вая земля. Во-первых, потому, что по этому проводу передаются пульсации выпрямленного напряжения (100 Гц), т.к. сглаживающие конденсаторы ИП заземлены, во-вторых, по этому же проводу неизбежно проходят наводки сетевого напряжения (50 Гц), и, наконец, большие токи силовой земли ОУ являются существенным источником перекрёстных помех. Всё это приводит к тому, что в АС при отсутствии аудиосигнала прослушивается относительно высокий уровень фона (в основном, частотой 50 Гц), избавиться от которого практически невозможно, даже несмотря на то, что стабилизаторы ИП имеют достаточно низкий уровень размаха пульсаций выходных напряжений (до нескольких мВ и меньше).

Если же ОУ включён в мостовом режиме работы, то АС подключается к выходам двух ОУ, на вход первого из которых подаётся прямой аудиосигнал, а на вход второго – инверсный [1, 2]. В этом случае «+» АС подключается к выходу первого ОУ, а «–» АС – к выходу второго, или, другими словами, роль виртуальной силовой земли выполняет выход второго ОУ. А раз так, то силовая земля при таком включении не требуется, хотя вспомогательная и сигнальная земли всё равно должны присутствовать. Здесь следует заметить, что токи

вспомогательной земли на порядок меньше токов силовой, не говоря уже о сигнальной, токи которой ничтожно малы.

Но из двухполярного ИП, как уже было упомянуто выше, выходят три провода: $+U_{п}$, $-U_{п}$ и силовая земля (по которой и передаются все помехи). Автор задался вопросом: если силовая земля не нужна, нельзя ли вообще исключить земляной провод, приходящий из ИП, и использовать только два провода: $+U_{п}$ и $-U_{п}$, а для вспомогательной земли использовать искусственно созданную землю из двух напряжений $+U_{п}$ и $-U_{п}$. В этом случае все помехи останутся в ИП и передаваться в аудиоусилитель уже не будут. Таким образом, если используется двухполярный ИП с напряжениями $+U_{п}$ и $-U_{п}$, то аудиоусилитель будет питаться однополярным напряжением U , равным $2U_{п}$, из которого будет создана искусственная земля, напряжение на которой будет равно половине U . Создание такой искусственной земли не представляет особой проблемы, поскольку она легко может быть получена с помощью хорошо известных схем преобразователей однополярного напряжения в двухполярное. Есть, конечно, некоторые нюансы таких схем, но это уже другой вопрос (который в том числе и является предметом настоящей статьи).

Как показал эксперимент автора (см. далее), если питать аудиоусилитель однополярным напряжением питания, а для вспомогательной земли использовать искусственно созданную таким образом землю, то все помехи (и главное, 50-герцовый фон) не только снижаются, а вообще полностью исчезают.

Но тут возникает ещё один вопрос: а нужен ли вообще двухполярный ИП со стабилизированными напряжениями, например ± 14 В, который автор использовал для питания аудиоусилителя [3, 4], если вместо него можно использовать один однополярный ИП с напряжением 28 В. Такой ИП, во-первых, в 2 раза проще (и дешевле) двухполярного, во-вторых, двукратно снижается количество дорогих сгла-

живающих электролитических конденсаторов и выпрямительных диодов. В-третьих, мощность трансформатора также может быть несколько снижена. Как показал эксперимент автора (см. далее), это вполне возможно. Мало того, размах пульсаций такого ИП также несколько снижен.

Таким образом, дальнейшее изложение будет построено следующим образом. Вначале будут рассмотрены принципиальные схемы преобразователя однополярного напряжения в двухполярное и однополярного стабилизатора на напряжение 28 В, затем будет приведена разводка плат этих устройств и их фотографии, и далее будут обсуждены результаты их работы.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВ

Хорошо известная схема преобразователя однополярного напряжения в двухполярное состоит из стандартного ОУ (например, TL072), включённого как повторитель напряжения, выставляемого подстроечным резистором делителя напряжения, подключённого к двум напряжениям питания. В качестве упрочняющих ток используются два биполярных транзистора противоположной полярности (например, KT815 и KT814), коллекторы которых подключены к напряжениям питания (к положительному – коллектор прп-транзистора, к отрицательному – коллектор рпр), эмиттеры и базы транзисторов объединены; к базам подключён выход ОУ, а с эмиттеров снимается напряжение земли (в связи с простой схема не приводится). Такую схему автор не рискнул бы использовать, поскольку выходные транзисторы никак не защищены от перегрузки по току, и при выходе из строя одного из них моментально выходит из строя второй, а с ним и ОУ, и нагрузка (например, аудиоусилитель).

Схема преобразователя (формирователя) может быть значительно упрощена (см. рис. 1), если в качестве ОУ использовать не стандартный, а мощный ОУ, например LA6500 (DA1), максимальный выходной ток которого составляет 1 А, причём в ОУ предусмотрен ограничитель такого тока (Current Limiter). ОУ также включён как повторитель напряжения, т.е. его выход (4-й вывод DA1) соединён с инвертирующим входом (2-й вывод DA1). Входное напряжение, получаемое с делителя напряжения R1, R2, R3, подключён-

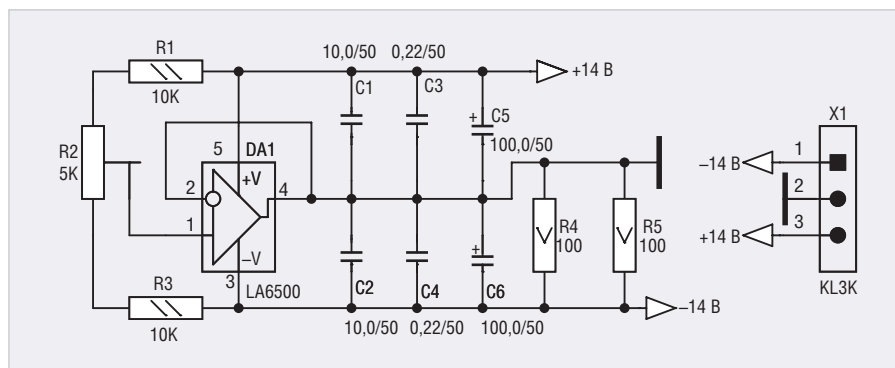


Рис. 1. Принципиальная схема формирователя искусственной земли

ного к напряжениям питания (+14 В и -14 В) и снимаемое с движка подстроечного резистора R2, подключено к неинвертирующему входу ОУ (1-й вывод DA1). Конденсаторы C3, C4 предназначены для штатного режима работы ОУ, а C1, C2, C5 и C6 предотвращают самовозбуждение ОУ. Подтягивающие к напряжению -14 В резисторы R4 и R5 компенсируют перекокс токов аудиоусилителя, отбираемых от положительного напряжения (около 0,5 А) и отрицательного (не более 0,1 А). Здесь следует заметить, что хотя ОУ LA6500 и имеет ограничение по току в 1 А, максимальный ток нагрузки ОУ не должен превышать 0,25 А, иначе выходное напряжение будет уже зависеть от тока нагрузки.

Для увеличения нагрузочной способности ОУ по положительному напряжению (т.е. для исключения его зависимости от тока нагрузки в 0,5 А по положительному напряжению) и используются подтягивающие резисторы R4, R5. Необходимо также отметить, что увеличение нагрузочной способности ОУ с помощью подтяжки его выхода к какому-либо из напряжений питания с помощью резисторов является достаточно широко распространённой практикой. Аналогичные подтягивающие к положительному напряжению питания резисторы используются в цифровых микросхемах и микроконтроллерах, а некоторые из них выпускаются вообще без подтягивающих резисторов (с так называемым открытым коллектором), и подтягивающие резисторы положены таким цифровым микросхемам и микроконтроллерам для их штатной работы.

Некоторые цифровые микросхемы выпускаются с так называемым открытым эмиттером, где установка подтягивающих резисторов к отрицательному напряжению питания (земле) также обязательна (как раз рассматриваемый вариант). Другое дело, что токи в стандартных ОУ и цифровых микро-

схемах не превышают 10–20 мА, поэтому подтягивающие резисторы имеют номиналы, измеряемые в кОм, и малые мощности (0,25 Вт и меньше). Резисторы же R4 и R5 (для работы с токами в сотни мА) должны быть рассчитаны на мощность 5 Вт, и, кроме того, их желательно устанавливать на радиатор, т.к. они довольно сильно нагреваются. Вместо них можно использовать один цементный резистор 47 Ом 7 Вт (SQP), отечественный резистор С5-47 10 Вт (47 или 51 Ом) в металлическом охладителе, который легко прикручивается к радиатору двумя винтами, или его китайский аналог.

Необходимо добавить, что микросхема LA6500 достаточно распространена, легкодоступна, недорога (не более 60 рублей за штуку) и выпускается в транзисторном корпусе TO220-5, который также легко может быть установлен на радиатор. Входные напряжения (-14 В и +14 В) подключаются соответственно к 1-му и 3-му контактам трёхконтактной клеммы X1, а выходное напряжение земли снимается с её 2-го контакта. Как видно на рисунке 1, схема формирователя достаточно проста, а потому её плата легко разводится.

Как было отмечено во введении, искусственно созданная земля по вышеприведённой схеме и однополярное питание аудиоусилителя (без силовой земли) привели к тому, что в АС полностью исчез 50-герцовый фон. В эксперименте в качестве ИП использовался двухполярный ИП, описанный в [1], который был подключён к аудиоусилителю без земляного провода. В этом ИП используется активный фильтр на полевом транзисторе и стабилизатор также на полевом транзисторе (по каждому из двух питающих напряжений), а защита от превышения тока отсутствует.

В принципе, на этом можно было бы и закончить статью, однако, как было отмечено во введении, вместо двупо-

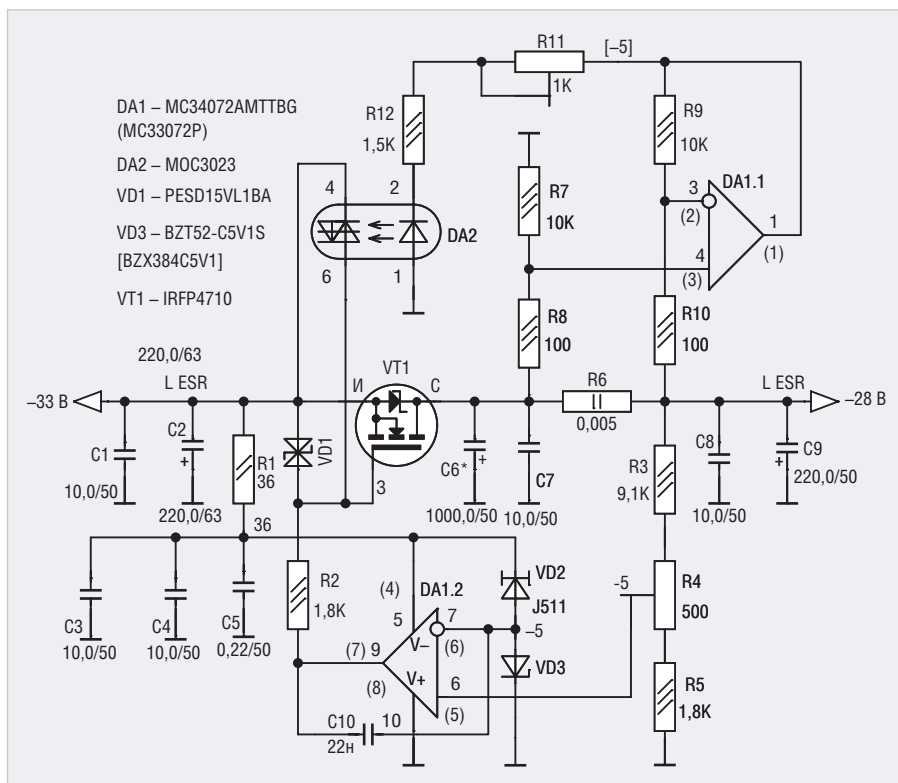


Рис. 2. Принципиальная схема стабилизатора -28 В

лярного ИП можно применить более простой однополярный ИП с питающим напряжением 28 В.

СХЕМА СТАБИЛИЗАТОРА для однополярного ИП

Схема стабилизатора для такого однополярного ИП (см. рис. 2) была разработана на основе схемы, опубликованной автором в статье [3]. В этой статье достаточно подробно описана схема двух идентичных однополярных стабилизаторов с защитой от превышения тока с выходным напряжением 15 В, включённых последовательно (для получения двуполярного ИП). Поэтому, на взгляд автора, подробное описание схемы на рисунке 2 не имеет смысла. Однако краткое её описание и некоторые моменты, связанные с корректировками схемы в связи с более высоким напряжением (28 В), приводятся ниже.

Вначале расскажем о самой идее работы схемы. В схеме стабилизатора положительной полярности на основе n-канального полевого транзистора, включённого стандартным способом, как известно, входное напряжение подаётся на сток транзистора, а выходное снимается с его истока, т.е. входное напряжение более положительно, чем выходное. При этом для того чтобы открыть транзистор, на его затвор должно быть подано напряжение, превышающее напряжение истока (а значит, и напряжение сто-

ка, т.е. входное напряжение) на несколько вольт (2–5 В). Но где его взять, если кроме входного напряжения другого напряжения нет? Однако если транзистор перевернуть, т.е. поменять местами сток и исток, и на его исток подать входное отрицательное напряжение (как на схеме выше), то на стоке будет напряжение также более положительное по отношению к истоку, или, другими словами, транзистор будет работать в штатном режиме. При этом для того чтобы открыть транзистор, на его затвор необходимо подать напряжение более положительное, чем напряжение истока, т.е. входное напряжение, или, другими словами, это напряжение должно быть не выше входного (как в стандартном режиме), а ниже его (по абсолютному значению), т.е. ближе к земле на те же 2–5 В. Если, например, входное напряжение составляет -40 В, то напряжение, поданное на затвор, должно быть -38...-35 В. Такое напряжение может быть легко подано на затвор с выхода ОУ, питаемого входным напряжением (-40 В). В этом и состоит основная идея схемы.

Есть и некоторые нюансы схемы, которые отличаются от той, что была приведена в статье [3]. Здесь необходимо отметить, что, поскольку в схеме могут быть использованы микросхемы ОУ в разных корпусах, отличающиеся номерами выводов, при дальнейшем изложении будут использованы номера выводов микросхемы ОУ

МС34072МТТБГ (DA1), а номера выводов микросхемы МС33072Р указаны на рисунке 2 в скобках.

1. Вместо двунаправленного защитного стабилитрона PESD12VL1BA, рассчитанного на напряжение 12 В и применённого в схеме, о которой рассказывалось в статье [3], в текущей схеме использован стабилитрон PESD15VL1BA (VD1), который защищает переход затвор-исток от перенапряжения при включении питания. Напряжение защиты VD1 увеличено до 15 В (максимальное напряжение затвор-исток транзистора IRFP4710 (VT1) составляет ± 20 В).
2. Для питания ОУ DA1 (МС33072Р/МС34072АМТТБГ) и источника опорного напряжения (ИОН) на базе стабилизатора тока J511 (VD2) и стабилитрона BZX384C5V1 (VD3) вместо двухзвенного НЧ RC-фильтра применён более простой однозвенный RC-фильтр R1, C3, C4, C5, в котором использованы исключительно керамические конденсаторы (электролитические конденсаторы, как показала практика, применять здесь нежелательно).
3. В связи с иным выходным напряжением стабилизатора (-28 В вместо -15 В) номиналы резисторов делителя напряжений R3, R4, R5 также изменены для того, чтобы на неинвертирующем входе ОУ DA1 (6-й вывод) при выходном напряжении -28 В было напряжение -5 В.
4. Для получения стабильного тока для питания стабилитрона VD3 (на 5,1 В), установленного в ИОН, вместо микросхемы LM334Z использован диодный стабилизатор тока J511 (VD2). Такой диодный стабилизатор тока в зарубежной литературе именуется Constant Current Diode (CCD) и представляет собой полевой транзистор (JFET), у которого затвор соединён с истоком. При напряжении между стоком и истоком, превышающем 10 В, такой транзистор входит в насыщение, и при дальнейшем росте напряжения ток сток-исток практически не меняется, т.е. этот транзистор является источником стабильного тока. При входном напряжении 15 В и напряжении стабилизации 5,1 В стабилитрона применение J511 исключено, поскольку ему требуется напряжение более 10 В (а разница составляет $15 \text{ В} - 5,1 \text{ В} = 9,9 \text{ В}$), а микросхема LM334Z работоспособна уже при напряжении 1,5 В. Но в нашем случае минимальное входное напряжение (32 В) намного превышает 10 В,

поэтому и использован стабилизатор тока J511, который имеет кардинально меньший шум по сравнению с микросхемой LM334Z, т.к. основан на простом физическом принципе, а LM334Z включает в себя несколько транзисторов и других компонентов, и поэтому её шум существенно повышен.

5. В схему добавлен конденсатор C10, включённый в отрицательную обратную связь (ООС) ОУ DA1.2 (между его выходом – 9-й вывод – и инвертирующим входом – 7-й вывод) и предназначенный для подавления самовозбуждения ОУ, проявляющегося при более высоком напряжении.
6. Номинал резистора R2, включённого между выходом ОУ (9-й вывод DA1) и затвором транзистора VT1, увеличен почти в 2 раза: 1,8 К вместо 1 К (R14 в статье [3]). Это сделано в связи с тем, что входное напряжение более высокое, а поддерживающий включённое состояние оптосимистора ток (4-й и 6-й выводы DA2) должен оставаться на прежнем уровне (как при 15).
7. В схему на рисунке 2 добавлен конденсатор C6* ёмкостью не менее 1000 мкФ, подключённый к стоку VT1 (и к левому по схеме выводу токоизмерительного резистора R6) по следующей причине.

Роль резистора R6 номиналом 5 мОм заключается в том, что при токе в 10 А падение напряжения на нём составит 50 мВ (что нетрудно подсчитать). Это напряжение, усиленное дифференциальным усилителем (на основе ОУ DA1.1 и резисторов R7 – R10) в 100 раз, т.е. до 5 В [3], через резисторы R11 (им подстраивают порог) и R12 подаётся на катод инфракрасного светодиода оптрона DA2 (2-й вывод), а анод этого диода (1-й вывод) заземлён. При превышении тока порога 10 А светодиод загорается, отчего фотосимистор оптрона включается и своими выводами (4-й и 6-й выводы DA2) закорачивает затвор с истоком транзистора, в связи с чем транзистор закрывается, выходное напряжение стабилизатора падает практически до нуля, и ток через резистор R6 становится также нулевым. При этом ток через светодиод также пропадает, и он перестаёт светить. Но поскольку оптосимистор обладает триггерным эффектом, он не выключается, т.к. через него протекает поддерживающий его включённое состояние ток: он течёт от входного напряжения через резистор R2 до выхода ОУ DA1.2 (9-й вывод), на котором в этом режи-

ме потенциал почти равен напряжению земли. В этом состоянии схема может находиться сколь угодно долго, и единственным выходом из этого состояния является выключение питания и после полного разряда сглаживающих электролитических конденсаторов, использующихся в выпрямительной схеме (см. далее), повторное его включение.

Таким способом и осуществляется защита по току. Но причём же здесь конденсатор C6*? О нём в описании схемы защиты не сказано ни слова. Тут всё дело в том, что описанная схема защиты хорошо работает на активную (резистивную нагрузку). Но если нагрузка имеет реактивную (в данном случае ёмкостную) составляющую, а в аудиоусилителе имеется масса различных электролитических конденсаторов общей ёмкостью более 1000 мкФ, то схема защиты при включении питания ведёт себя по-другому. При включении питания, поскольку конденсаторы усилителя разряжены, в соответствии с теорией переходных процессов возникает достаточно большой зарядный ток, который существенно больше порогового тока в 10 А, установленного в схеме защиты. А поскольку схема защиты достаточно быстродействующая (время срабатывания защиты составляет не более 1–2 мс), этот большой ток заряда, проходя через резистор R6, приводит к срабатыванию защиты, в результате чего усилитель не получает питания и, естественно, работать не будет. При выключении питания и повторном его включении (после разряда сглаживающих электролитических конденсаторов в выпрямителе – см. далее) вся описанная последовательность повторяется, т.е. усилитель питания не получит. Но если перед R6 установлен конденсатор C6*, ёмкость которого (в данном случае это 1000 мкФ) соизмерима с ёмкостью всех конденсаторов усилителя (более 1000 мкФ), то при включении питания весь ток, протекающий через открытый транзистор, уже некоторым образом перераспределяется: одна (меньшая) часть этого тока идёт на заряд конденсатора C6*, а вторая (ток через резистор R6) – на заряд конденсаторов усилителя. Причём вторая часть тока в этом случае уже меньше порогового тока, а потому ток заряда конденсаторов усилителя при включении питания уже не приводит к срабатыванию защиты.

Ёмкость конденсатора C6* была подобрана экспериментально: минимальная ёмкость, при которой не срабатывает защита, составила около 800 мкФ (470 мкФ + 330 мкФ). Поэтому авто-

ром и выбрана ёмкость C6* 1000 мкФ (с запасом). Если ёмкостная составляющая нагрузки меньше, то и ёмкость конденсатора C6* можно уменьшить, в противном случае – увеличить. Кроме того, если при установке конденсатора C6* конкретной ёмкости (например, 1000 мкФ) защита иногда срабатывает, а иногда нет, её можно несколько заглубить, например на 1–2 А, подкрутив резистор R11. Ведь ничего критического не произойдёт, если защита будет срабатывать при токе, например, 12 А, а не 10 А, поскольку основное назначение такой защиты – не допустить выхода из строя стабилизатора и нагрузки при коротком замыкании.

Помимо прочего, конденсатор C6* несколько снижает уровень пульсаций выходного напряжения, правда, не особенно существенно (не более чем на 10–15%), но этого от него и не требуется. А вот свою основную функцию – предотвращение срабатывания защиты при включении питания – он выполняет безукоризненно.

Если к выходу стабилизатора подключается нагрузка, то выходное напряжение падает, в связи с чем падает и напряжение на движке R4 и одновременно на неинвертирующем входе ОУ DA1.2 (6-й вывод), что приводит к снижению выходного напряжения этого ОУ (9-й вывод DA1.2) и, соответственно, снижению напряжения на затворе транзистора VT1, отчего транзистор приоткрывается, восстанавливая выходное напряжение стабилизатора до прежнего уровня.

В ИП применён силовой трансформатор Т1 (см. рис. 3) мощностью 300 Вт с первичной обмоткой, рассчитанной на входное переменное напряжение ~220 В и двумя вторичными обмотками с выходными напряжениями по ~15 В, соединёнными последовательно (со средней точкой) и рассчитанными на максимальный ток 10 А. Выходное напряжение ~30 В, снятое с двух вторичных обмоток, выпрямленное четырьмя диодами Шоттки DSA30I100PA (VD1–VD4) с максимальным током 30 А и максимальным обратным напряжением 100 В и сглаженное четырьмя конденсаторами C1–C4 ёмкостью 10000 мкФ каждый с максимальным напряжением 50 В и составляющее около –40 В без нагрузки, подавалось на вход стабилизатора (см. рис. 2). При максимальной нагрузке (около 2,7 Ом – см. далее) выходное напряжение выпрямителя падало с –40 В до –31 В при токе 10,5 А. Выходное напряжение выпрямителя на рисун-

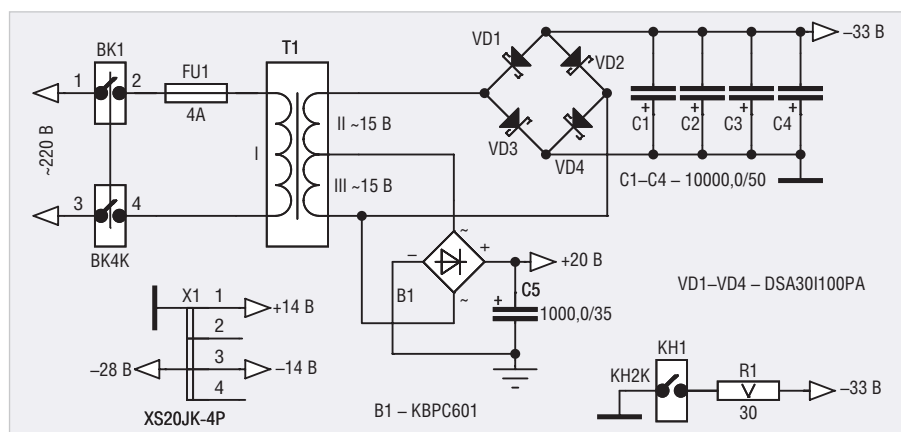


Рис. 3. Принципиальная схема вспомогательных устройств ИП

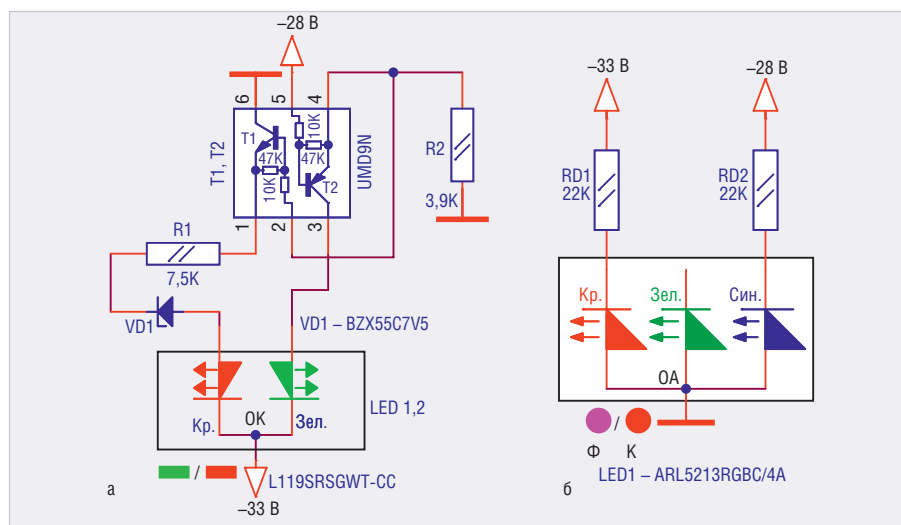


Рис. 4. Принципиальная схема индикации наличия напряжения питания и перегрузки: а) на базе двухцветного светодиода с общим катодом и двухтранзисторной сборки; б) на базе трёхцветного (RGB) светодиода с общим анодом

ке 3 условно обозначено как -33 В. Для принудительного охлаждения радиатора (при необходимости и, скорее, для страховки от перегрева), на котором укреплен силовой транзистор (VT1, см. рис. 2), автор использовал устройство на базе термистора, включающее два вентилятора при температуре около $+50^{\circ}\text{C}$ и выключающее их при снижении температуры до $+44^{\circ}\text{C}$. Устройство подробно описано автором в статье [5]. Для работы этого устройства требуется нестабилизированный источник питания с напряжением 15–20 В. Для этого автор использовал одну из вторичных обмоток трансформатора, выпрямитель KBPC601 (B1) и сглаживающий конденсатор ёмкостью 1000 мкФ с максимальным напряжением 35 В (C5). Если трансформатор не имеет средней точки, то для получения напряжения, требующегося для работы устройства принудительного охлаждения, можно использовать ещё один такой же формирователь по схеме, представленной на рисунке 1.

Включение трансформатора в сеть ~ 220 В осуществляется с помощью 4-контактного выключателя BK1, а для защиты ИП дополнительно используется предохранитель, рассчитанный на 4 А (FU1). Принудительная разрядка конденсаторов C1–C4 через резистор 30 Ом (R1) при срабатывании защиты осуществляется 2-контактной кнопкой KH1. Выходное напряжение стабилизатора (-28 В и земля – см. рис. 2) подключено к 4-контактному разъёму XS20JK-4P (X1, см. рис. 3) с максимальным током 25 А на контакт. К этому разъёму подключается ответный разъём двухпроводного кабеля питания усилителя. В качестве такого кабеля используется гибкий медный провод ПУГНП 2×4 (две жилы сечением 4 мм² каждая).

Разъём X1, держатель предохранителя и кнопка KH1 расположены на задней стенке корпуса ИП, а сетевой провод ~ 220 В выведен наружу и закреплён также на задней стенке корпуса с помощью гермоввода.

Для индикации наличия напряжения питания и перегрузки могут быть использованы схемы, приведённые на рисунке 4. Подробное описание схем, рассчитанных на напряжение 14 В, можно найти в работе автора [6], однако в связи с 2 раза повышенным напряжением (28 В) в схемах изменены номиналы резисторов.

В схеме на рисунке 4а номинал резистора R1 увеличен до 7,5 К, а R2 – до 3,9 К. При штатном режиме работы, когда присутствуют оба напряжения стабилизатора (входное и выходное), горит зелёный светодиод, а при срабатывании защиты (при перегрузке) выходное напряжение пропадает, зелёный светодиод гаснет, и загорается красный светодиод (оба светодиода расположены в одном корпусе двухцветного светодиода с общим катодом L119SRSGWT-CC – LED1,2).

В схеме на рисунке 4б номиналы резисторов RD1 и RD2 увеличены до 22 К. В штатном режиме работы горят оба светодиода – красный и синий – и общий цвет трёхцветного светодиода с общим анодом ARL5213RGBC/4A – LED1 фиолетовый. При перегрузке синий светодиод гаснет, и общий цвет светодиода LED1 становится красным. В данном ИП автор использовал схему, представленную на рисунке 4а, а двухцветный светодиод был расположен на лицевой поверхности корпуса.

В следующей части статьи будет рассказано о разводке плат устройств, их настройке, тестировании и результатах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А.Ю. Применение инструментального усилителя для мостового включения двух мощных ОУ. Современная электроника. 2017. № 4–7.
2. Кузьминов А.Ю. Усовершенствованный УМЗЧ на базе ИУ и мощных ОУ. Современная электроника. 2019. № 5.
3. Кузьминов А.Ю. Двухканальный сетевой источник питания с низким уровнем пульсаций и токовой защитой. Радио. 2018. № 4.
4. Кузьминов А.Ю. Усовершенствованный двуполярный стабилизатор на ОУ и мощных полевых транзисторах с токовой защитой и ультранизким уровнем пульсаций. Радиолюцман. 2019. № 3.
5. Кузьминов А.Ю. Управление включением вентилятора для поддержания оптимальной температуры радиатора охлаждения. Радиолюцман. 2019. № 6, 7.
6. Кузьминов А.Ю. Двуполярный стабилизатор на ОУ и мощных полевых транзисторах с токовой защитой. Ч. 2. Радиолюцман. 2018. № 5





МОСКВА '20
Экспоцентр

31 марта – 2 апреля

+7 (495) 78-601-78 | expocontrol.online

12-я тематическая выставка-форум приборов и средств для проведения измерений и испытаний и обеспечения контроля качества

Оптическая и промышленная метрология Контроль формы Акустика
Пробоподготовка Испытательное оборудование КИПиА Ударные стенды
Климатические испытания Виброиспытания Механические испытания
Многофункциональные измерительные системы 3D сканирование КИМ

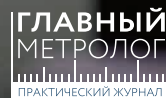
в рамках выставки



**METROLOGY
DAYS**
MOSCOW

Законодательная, научная и
практическая метрология
открытые лекции и семинары

Медиа-партнёр:



При поддержке:



Реклама