

напряжения, и, как следствие, при включении нагрузки можно отказаться от "плавающего нуля" выпрямителя, включая нагрузку на заземленный провод средней точки питания.

В результате применения "параллельного канала" удается снизить выходное сопротивление усилителя от 0,3...0,5 Ом до сотых долей ома. значительно снизить нелинейные искажения, одновременно уменьшив требования к подбору пар оконечных транзисторов.

"Параллельный канал" и усилитель с его включением не склонны к самовозбуждению и, как правило, работают сразу, требуется лишь включить "параллельный канал" на предварительно настроенный и работоспособный гибридный усилитель. Налаживание "параллельного канала", после установки нулевого значения напряжения на выходе усилителя подстроечным резистором R18, сводится к подбору резистора R15 до получения минимального сигнала на выходе DA1 (вывод 6). В случае, если на выходе DA1 будет наблюдаться значительный низкочастотный сигнал, следует подобрать конденсатор C8 по минимальному значению этого сигнала. Конденсаторы C8 — K73-17 на напряжение не менее 250 В, C9, C10 — того же типа, но на меньшее напряжение.

Микросхему KP140UD8A в "параллельном канале" можно заменить на любые ОУ с полевыми транзисторами на входе, обеспечивающие аналогичные электрические параметры. Стабилитроны VD1, VD2 заменимы любыми с напряжением стабилизации 14...16 В при токе 12...20 мА.

От редакции. В ОУ подавление синфазных сигналов эффективно только на низких частотах, но уже на средних и тем более высоких звуковых частотах в ОУ общего применения оно заметно снижается (примерно как коэффициент усиления). Возможно, именно с этим связано замечание автора о "незначительном снижении качества звучания".

При наличии синфазных сигналов на входах ОУ для него полезно ввести следующее питание, улучшающее подавление синфазных сигналов и нелинейные искажения в ОУ на высоких частотах. Второй путь — применение высокочастотных ОУ. Эти способы должны заметно улучшить компенсацию искажений в более широкой полосе частот.

Редактор — А. Соколов, графика — Ю. Андреев

РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА "РАДИО"

Стоимость модульной рекламы можно определить, умножив полное число символов в объявлении (включая знаки препинания и пробелы) на коэффициент 3.

Вот пример для объявления в 257 символов: $257 \times 3 = 771$ руб. Эта сумма и подлежит оплате.

"УМЗЧ с малыми интермодуляционными искажениями"

Печатная плата, монтаж узлов и блоков

А. ШАМАЕВ, г. Обнинск Калужской обл.

Некоторых радиолюбителей, заинтересовавшихся транзисторным усилителем Я. Токарева ("Радио", 2003, № 8, с. 20—23), в повторении конструкции останавливало отсутствие рисунка печатной платы. В этой статье представлена печатная плата, разработанная с учетом авторских рекомендаций. Двухканальный усилитель, собранный на таких платах, проверен в работе, он обеспечил высокое качество звучания различных музыкальных программ.

В статье также изложены рекомендации по конструкции теплоотвода, монтажу и сборке устройства.

На страницах журнала невозможно было не заметить авторские работы Я. Токарева [1, 2] по усилителям высокой верности воспроизведения. Совокупность технических решений, нацеленных на воспроизводимость и высокую надежность работы этих УМЗЧ, сделала их оригинальными и привлекательными для повторения в радиолюбительских условиях. Повторив усилитель [2] в макетном исполнении, я всецело убедился в том, что у этого усилителя превосходный динамический диапазон; совместно с акустической системой INFINITY Alpha 40 он отчетливо передает голоса и инструменты второго и третьего планов. Этот усилитель работает надежно и устойчиво, с очень низким уровнем собственных шумов.

Грамотно собранный из проверенных деталей усилитель совершенно не требует дополнительных настроек, кроме указанных автором в статье. После подбора необходимых деталей, элементов и узлов для усилителя не обязательно отбирать транзисторы по параметрам.

Понятно, что неверно сконструированный усилитель способен свести на нет достоинства схемотехники, ориентированной на достижение высокого качества звуковоспроизведения. Поэтому, приступая к конструированию платы УМЗЧ, я внимательно изучил статью С. Агеева [3], которая стала отличным методическим пособием, где изложены рекомендации по конструированию УМЗЧ высокого класса.

Монтаж элементов одного канала усилителя выполнен на печатной плате, размещенной между двумя радиаторами—теплоотводами для мощных транзисторов. Плату изготавливают из фольгированного с двух сторон стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм. На рис. 1 показано размещение деталей. Чертежи печатной платы представлены на рис. 2 (см. с. 40, 41).

На плате нумерация выводов микросхемы серии K140UD17 соответствует корпусу 3101.8-1. При небольшой коррекции рисунка печатной платы можно использовать ее аналоги с нумерацией выводов, соответствующей авторской схеме, — отечественные ОУ серий KP140UD17 или KP544UD12 в корпусе 2101.8-1 либо импортный аналог серии OPA77GP (DIP-8).

Особенность этой платы состоит в том, что на ней возможно монтировать как оригинальный УМЗЧ из [2], так и более мощный его вариант с дополнительными включенными параллельно транзисторами во второй и третьей ступенях выходного каскада (рис. 3). Такое решение было принято из-за отсутствия транзисторов 2SA1216, 2SC2922, поэтому менее мощные транзисторы 2SA1215, 2SC2921 (их подделки встречаются гораздо реже!) установлены по два в соответствующих плечах выходного каскада. В этом варианте УМЗЧ напряжение питания выходного каскада поднято до 2×40 В.

На этой плате, помимо деталей собственно усилителя, устанавливаются конденсаторы и диоды выпрямителя блока питания. В отверстие на плате, расположенное между транзисторами VT13, VT14, впаивают провод сечением 2...2,5 мм для соединения фольги общего провода с корпусом усилителя. Транзисторы VT8, VT9, VT16, VT17 нужно установить на небольшие теплоотводы, такие как, например, HS315. В связи с высокой плотностью монтажа элементы C2, C3, R19, R51 (на плате показаны со стороны деталей), R24, VD3, VD4, C13 смонтированы на плате со стороны печатных проводников. Конденсаторы и диоды выпрямителей питания, перенесенные на платы усилителей, получили дополнительный индекс 2 в позиционных обозначениях на рисунке платы, а блокировочные кон-

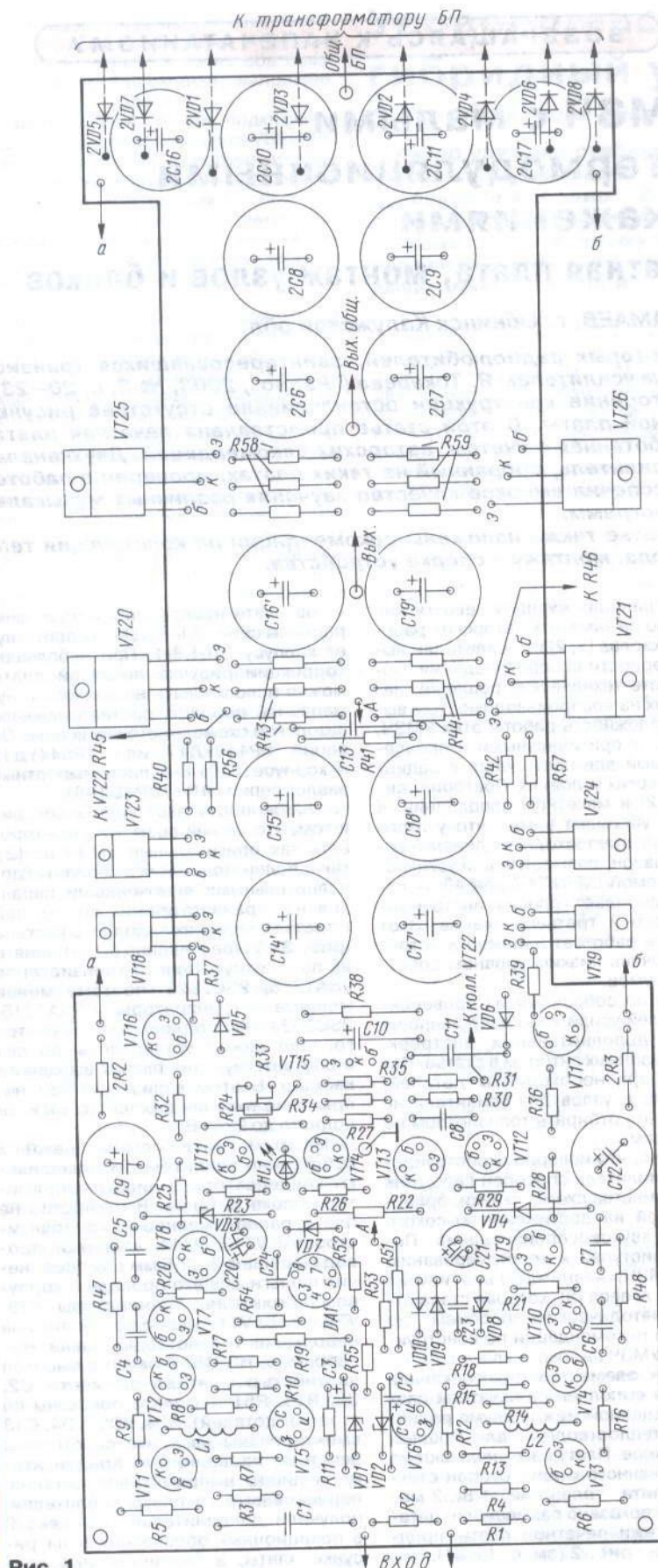


Рис. 1

денсаторы C14—C19 заменены оксидными конденсаторами большой емкости. Включение нескольких параллельно включенных оксидных конденсаторов эффективно снижает их общую индуктивность монтажа в цепях эмиттеров наиболее мощных транзисторов достигается параллельным соединением двух-трех резисторов мощностью по 1 Вт с эквивалентным сопротивлением, соответствующим указанному на схеме значениям R43, R44, R58, R59.

В усилителе применены теплоотводы (все из дюралюминия Д16) размерами 150×70 мм; имеющие 16 ребер с шагом 10 и высотой 40 мм. Поверхности теплоотводов, к которым крепят транзисторы, обрабатывают с высокой чистотой на фрезерном или шлифовальном станке. Далее из дюралюминия толщиной 8...9 мм изготавливают пластину 1 (рис. 4), она жестко соединяет два теплоотвода вместе. Ширина пластины обязательно должна превышать ширину платы выходного каскада на 1...1,5 мм. В местах соединения пластины с теплоотводами просвета быть не должно, поэтому боковые стороны пластины также требуют высокой точности и чистоты обработки на вышеупомянутых станках. Эта пластина, прежде всего, является проводником тепла от двух теплоотводов к термодатчику VT15, который крепят к торцу пластины винтом М3 посередине, со стороны усилителя напряжения. Для улучшения теплопередачи и ускорения реакции термодатчика пластина максимально заужена, насколько позволили детали выходного каскада.

При разметке отверстий для крепления пластины к теплоотводам обязательно нужно позаботиться, чтобы крепление пластины оказалось на 1,5 мм выше нижней кромки теплоотводов, т. е. пластина не должна прикасаться к дну корпуса и отдавать в него тепло. Платину 1 крепят к теплоотводам восемью винтами М3 (см. рис. 4). При креплении теплоотводов к дну корпуса между теплоотводом и днищем размещают шайбы из текстолита толщиной 1 мм (рис. 5).

После сборки УМЗЧ были проведены испытания эффективности термостабилизации тока покоя. Усилитель в течение двух часов проработал на максимальной мощности при сопротивлении нагрузки 4 Ом, при этом ток покоя выходных транзисторов снижался со 100 до 80...90 мА в плече.

Для крепления выходных транзисторов к теплоотводам проводят сначала разметку: на плоскости каждого теплоотвода наносят продольную линию на расстоянии 22,5...23,5 мм от сопрягаемого с пластиной 1 края теплоотвода, в зависимости от выбранной ее толщины. Тут важно учесть расстояние в 13 мм между платой и пластиной (рис. 5) — это минимальный размер для размещения конденсатора К73-17 1,5 мкФ на 160 В (C13).

Далее в просверленные отверстия платы вставляют выводы транзисто-

Корпус 2

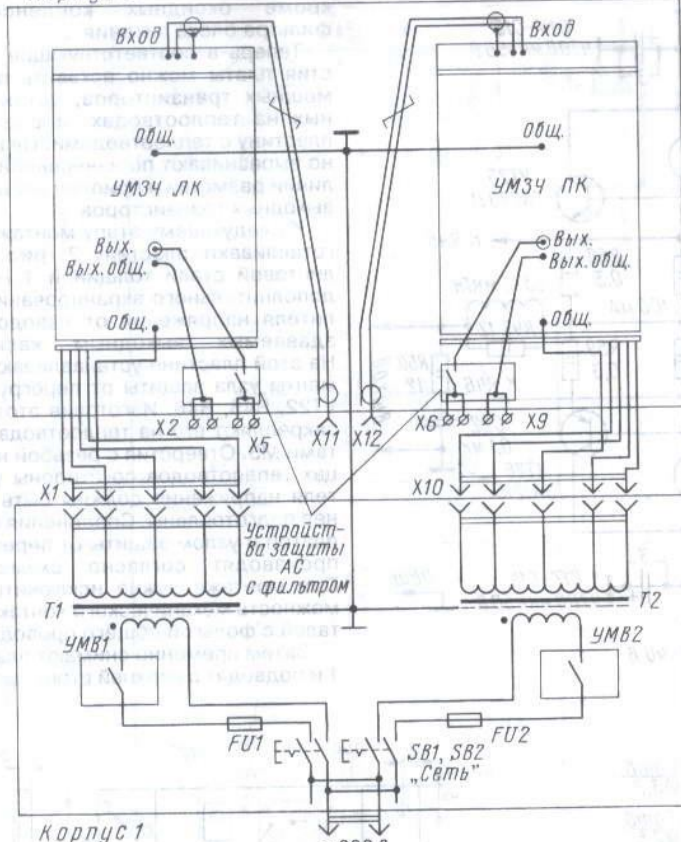


Рис. 9

провода сечением 2,5 мм — сигнальный выход, общий выход, общий провод блока питания. Провод цепи обратной связи и перемычки питания +48 В, -48 В сечением соответственно 0,5 и 0,75 мм² запаивают с нижней стороны платы. С целью минимизации наводок на провод цепи обратной связи целесообразно надеть стальную (из луженой жести) тонкостенную трубку диаметром 6...8 и длиной 45...50 мм, максимально придвинув ее к точке соединения резисторов R43, R44 с этим проводом. Трубку надежно приклеивают к нижней стороне платы и небольшим отрезком провода соединяют ее с корпусом, например, под винт, крепящий транзистор VT15 к пластине. Далее устанавливают на плату все оксидные конденсаторы и расплаивают их выводы, затем промывают плату спиртом, наносят теплопроводную пасту на боковые стороны пластины 1 и вновь закрепляют ее на теплоотводах. Термодатчик VT15 прижимают к торцу этой пластины с применением той же пасты, изолировав теплоотводящую поверхность транзистора прокладкой из слюды. Далее устанавливают пластину 3 — теплоотвод размерами 125×25×6 мм из дюралюминия (рис. 7). На ней закрепляют диоды выпрямителя питания 2VD1—2VD4 КД2997А и плату 2 (рис. 8) из стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм размерами 102×20 мм, на которой соединяют выводы диодов

выпрямителей питания 2VD1—2VD4, 2VD5—2VD8 и выпрямители питания с проводами, идущими от вторичных обмоток трансформатора.

Для выпрямителя питания с диодами 2VD1—2VD4 сечение провода — примерно 2,5 мм², для 2VD5—2VD8 — 1 мм². Установив диоды на пластине 3, формируют их выводы. Затем припаивают плату 2 к этой пластине, припаивают выводы мощных диодов, провода питания и диоды выпрямителя питания 2VD5—2VD8. Диоды 2VD1—2VD4 прижимают к пластине через прокладку из слюды с применением теплопроводящей пасты и припаивают выводы диодов выпрямителей питания к печатным проводникам питающих цепей усилителя на плате.

Два собранных усилителя устанавливают на дно корпуса и обводят карандашом ребра теплоотводов, после чего в промежутках между ребрами высверливают в дне отверстия для вентиляции. Отверстия в крышке корпуса высверливают произвольно в местах расположения теплоотводов.

Устройство защиты и задержки подключения нагрузки выполнено по схеме из [4], хотя возможно применение и иного варианта. Выходной фильтр УМЗЧ с устройством защиты громкоговорителя от постоянного напряжения на выходе и задержки подключения АС для каждого канала собствен-

(Окончание см. на с. 40)

Использование напряжения USB-порта для питания активной АС накладывает определенные ограничения на мощность УМЗЧ, так как подводимое к нему напряжение — 5 В, а максимальный ток ограничен — 0,5 А. Поэтому максимальная выходная мощность стереофонического усилителя должна быть не более 2×(0,5...1) Вт, что, в принципе, достаточно для пользователя ноутбука. При работе совместно со стационарным ПК и громкоговорителями 10MAC-1, 15AC-404, S-30 мощность усилителя достаточна для озвучивания небольшого помещения.

На рис. 1 представлена схема усилителя. Он собран на микросхеме DA1 K174YH22 в типовом включении.

Основные технические характеристики

Номинальная (максимальная) выходная мощность, Вт	2×0,3 (2×0,45)
Коэффициент гармоник (при P _{вых} = 0,1 Вт), %	0,2
Номинальное входное напряжение, мВ	200
Сопротивление нагрузки, не менее, Ом	4
Потребляемый ток в паузе, мА	15

Уровень входного стереосигнала регулируют сдвоенным переменным резистором R1. Делители R2R4 и R3R5 обеспечивают уровень входного сигнала на уровне 20 мВ, так как коэффициент усиления УМЗЧ микросхемы DA1 составляет 39 дБ.

Печатная плата усилителя, выполненная из фольгированного текстолита толщиной 1,5 мм, приведена на рис. 2. Громкоговорители BA1, BA2 — малогабаритные пассивные АС "First" в пластмассовом корпусе. На лицевой стороне АС правого канала сверлят отверстие под регулятор громкости. От платы усилителя распаивают четыре кабеля — к выходу звуковой карты, к USB-разъему ПК и к двум громкоговорителям. Печатная плата вставляется в направляющие "салазки", выполненные из полистирола толщиной 1,5 мм и приклеенные к внутренним сторонам боковых стенок корпуса громкоговорителя. Таким образом, после сборки корпуса печатная плата будет жестко зафиксирована. Полярность питания 5 В на USB-розетке типа А, установленной в компьютере, показана на рис. 3. Общий вид платы внутри громкоговорителя показан на рис. 4, а внешний вид АС — на рис. 5.

В усилителе использованы постоянные резисторы МЛТ-0,125, переменный — любой сдвоенный малогабаритный с логарифмической характеристикой сопротивления 10...100 кОм, например, РП1-54, СПЗ-33 (печатная плата разведена под сдвоенный переменный резистор из магнитолы "First"), оксидные конденсаторы — импортные, остальные — К10-17Б. Микросхема K174YH22 полностью взаимозаменяема с импортными аналогами KA2209, TDA2822M, U2822B, U2823B.

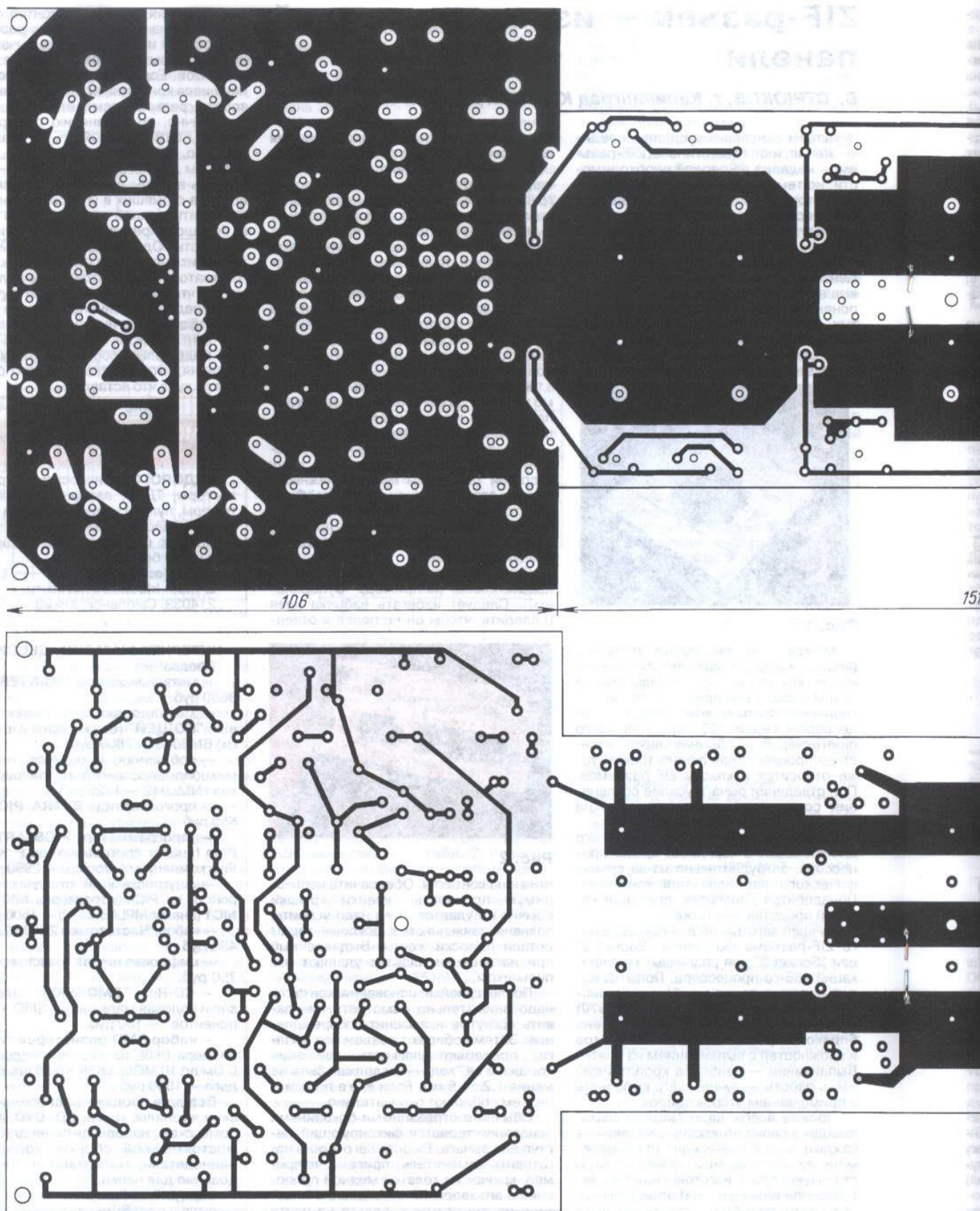
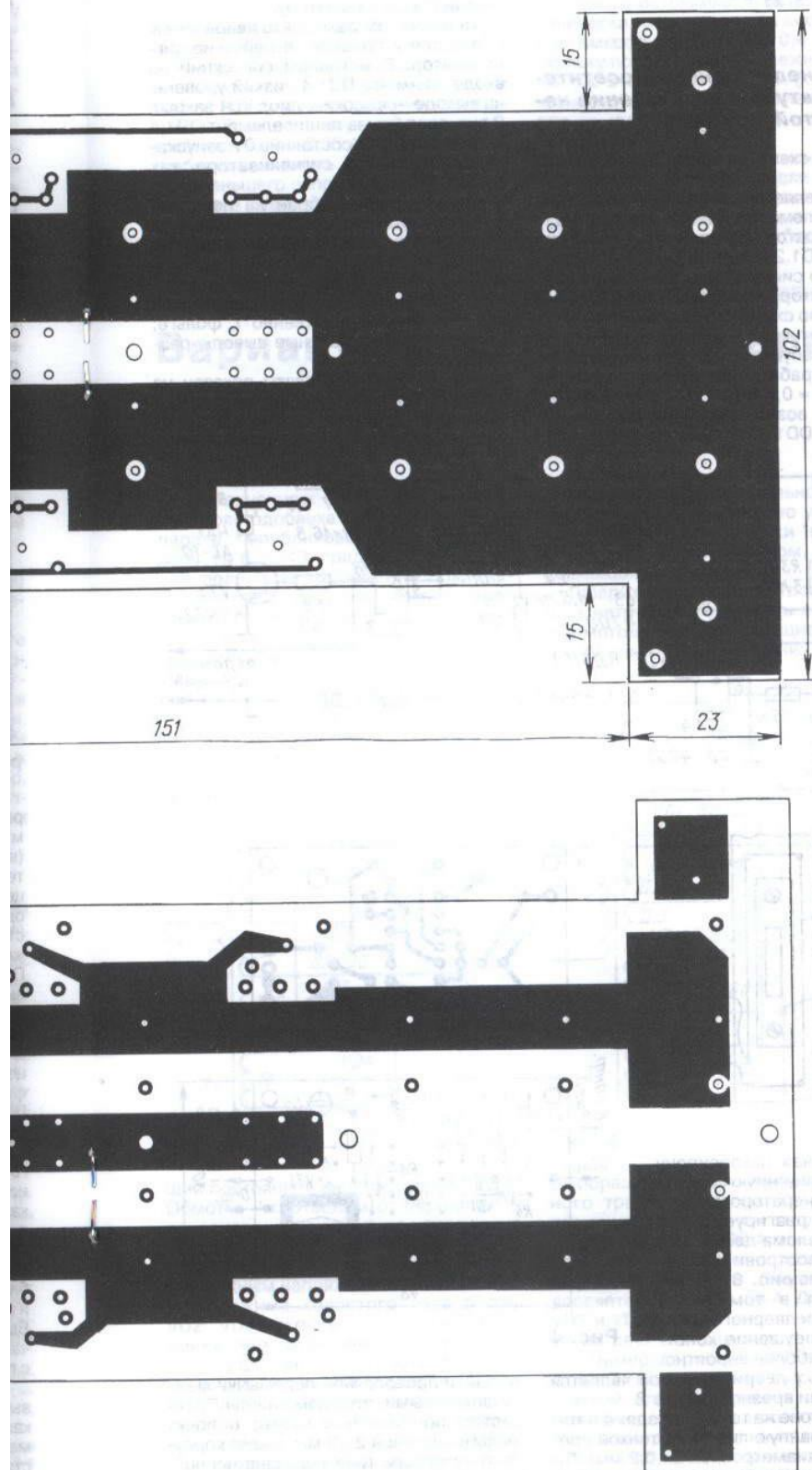


Рис. 2

"УМЗЧ с малыми интермодуляционными искажениями"

Печатная плата, монтаж узлов и блоков

Окончание. Начало см. на с. 15



ный. Их монтируют на двух платах, которые закрепляют гайками на клеммах, предназначенных для подключения кабелей к громкоговорителям.

Известно, какое важное значение имеет блок питания в усилителях высокой верности воспроизведения. Статья М. Корзинина [5] помогает решить ряд важных вопросов при конструировании блока питания УМЗЧ высокой верности. Исходя из стандартных размеров и функциональности блоков усилителя, я выполнил их в виде двухкорпусной конструкции с одинаковыми размерами 430×375×75 мм каждый. В одном корпусе находятся два канала УМЗЧ, в другом — два тороидальных сетевых трансформатора габаритной мощностью 250 Вт каждый. Каждый канал усилителя соединен с корпусом БП через отдельный разъем. Длина соединительных проводов цепей питания — по 90 мм, эти провода скручены в жгут. В корпусе БП также расположены два устройства мягкого включения УМЗЧ [6].

Схема межблочных соединений усилителя приведена на рис. 9. Таким образом, каналы усилителя разделены по типу двойного моно, что благоприятно сказывается на верности воспроизведения и минимизирует петли общего провода. В связи с тем что теплоотводы УМЗЧ находятся в закрытом корпусе (фото — на первой странице обложки журнала), при условиях долговременной эксплуатации его на близкой к максимальной мощности целесообразно улучшить охлаждение усилителя, установив в крышке корпуса БП один-два бесшумных вытяжных вентилятора, направляющих воздушный поток вверх.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токарев Я. УМЗЧ на полевых транзисторах. — Радио, 2002, № 8, с. 13, 14.
2. Токарев Я. УМЗЧ с малыми интермодуляционными искажениями. — Радио, 2003, № 8, с. 20—23.
3. Агеев С. Сверхлинейный УМЗЧ с глубокой ООС. — Радио, 1999, № 10—12; 2000, № 1, 2, 4—6, 9—11.
4. Шушурин В. Усилитель мощности. — Радио, 1980, № 11, с. 27—31.
5. Корзинин М. Источники питания УМЗЧ высокой верности. — Радио, 1997, № 12, с. 41—43, 45.
6. Корзинин М. Устройство "мягкого" включения УМЗЧ. — Радио, 1994, № 4, с. 11, 12.

Редактор — А. Соколов, графика — Ю. Андреев, фото — автора