

Усилитель с выходным каскадом, усиливающим напряжение сигнала [22]. В устройстве применены симметричные выходные каскады на транзисторах разной структуры, включенных по схеме с общим эмиттером. Преимуществом таких каскадов по сравнению с традиционными (усиливающими ток) является возможность получения от них усиления по напряжению, что позволяет уменьшить напряжение сигнала на выходе предшествующего каскада. Вследствие этого при максимальной амплитуде сигнала транзисторы предоконечного каскада не входят в области, близкие к отсечке и насыщению, появляется возможность введения местных ООС, развязывающих фильтров в цепях питания. В результате оказывается возможным значительно снизить нелинейные искажения даже при неглубокой ООС, охватывающей весь усилитель. Другое достоинство выходного каскада, усиливающего напряжение сигнала, — высокий коэффициент использования напряжения питания, что очень важно для переносной радиоаппаратуры с автономным источником питания.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	60...20 000
Номинальная выходная мощность, Вт, на нагрузке сопротивлением 8 Ом при коэффициенте гармоник до 1 % и напряжении питания, В:	
9	0,8
12	1,8
Номинальное входное напряжение, мВ	7
Пределы регулирования тембра (на частотах 100 Гц и 10 кГц), дБ	±12
Входное сопротивление, кОм	15
Интервал напряжений питания, в котором сохраняется работоспособность усилителя, В	3...12

Усилитель для переносного радиоприемника (рис. II.3) состоит из входного каскада на транзисторе $V1$, пассивного регулятора тембра, дифференциального каскада на транзисторах $V2, V3$, предоконечного каскада на транзисторе $V5$ с источником тока на транзисторе $V7$ и окончного (выходного) каскада на транзисторах $V8—V11$. Применение в качестве нагрузки предоконечного каскада ($V5$) источника тока на транзисторе $V7$ позволило уменьшить влияние нелинейности входных характеристик транзисторов $V8, V9$ и тока покоя транзисторов $V10, V11$. Жесткая стабилизация постоянной составляющей на выходе усилителя достигнута введением глубокой ООС по постоянному току, охватывающей все каскады, кроме первого.

Для уменьшения нелинейных искажений транзисторы $V10, V11$ необходимо подобрать с близкими значениями статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$. Диод $V6$ размещают на теплоотводе одного из выходных транзисторов ($V10$ или $V11$). Ток покоя (2,5...3 мА) этих транзисторов устанавливают подбором резистора $R19^*$.

Симметричный выходной каскад с усилением по напряжению целесообразно использовать в устройствах с ОУ. Принципиальная схема одного из таких устройств показана на рис. II.4.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	10...60 000
Максимальная выходная мощность, Вт, (при коэффициенте гармоник не более 2 % и частоте 1000 Гц) на нагрузке сопротивлением, Ом:	
8	12
4	24
Номинальное входное напряжение, В	1
Входное сопротивление, кОм	1,3

Усилитель содержит каскад предварительного усиления на ОУ $A1$, источник тока на транзисторе $V2$ и выходной каскад на транзисторах $V3—V6$. Ток покоя транзисторов $V5, V6$ (около 5 мА) устанавливают при налаживании подбором резистора $R6^*$. Для температурной стабилизации режима работы этих транзисторов стабилитрон $V1$ необходимо установить на их теплоотводе:

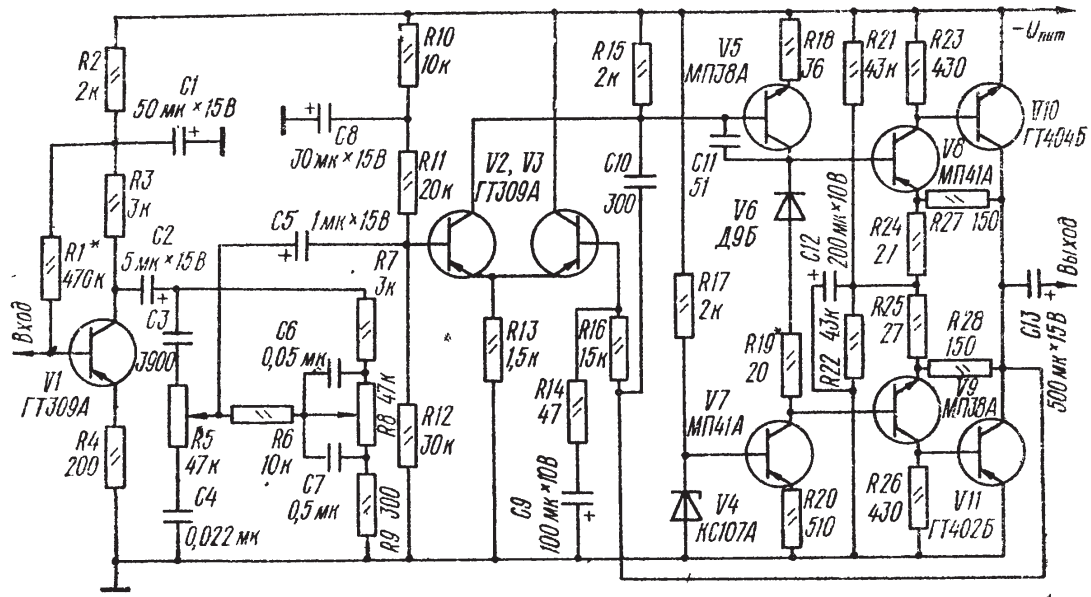


Рис. II.3

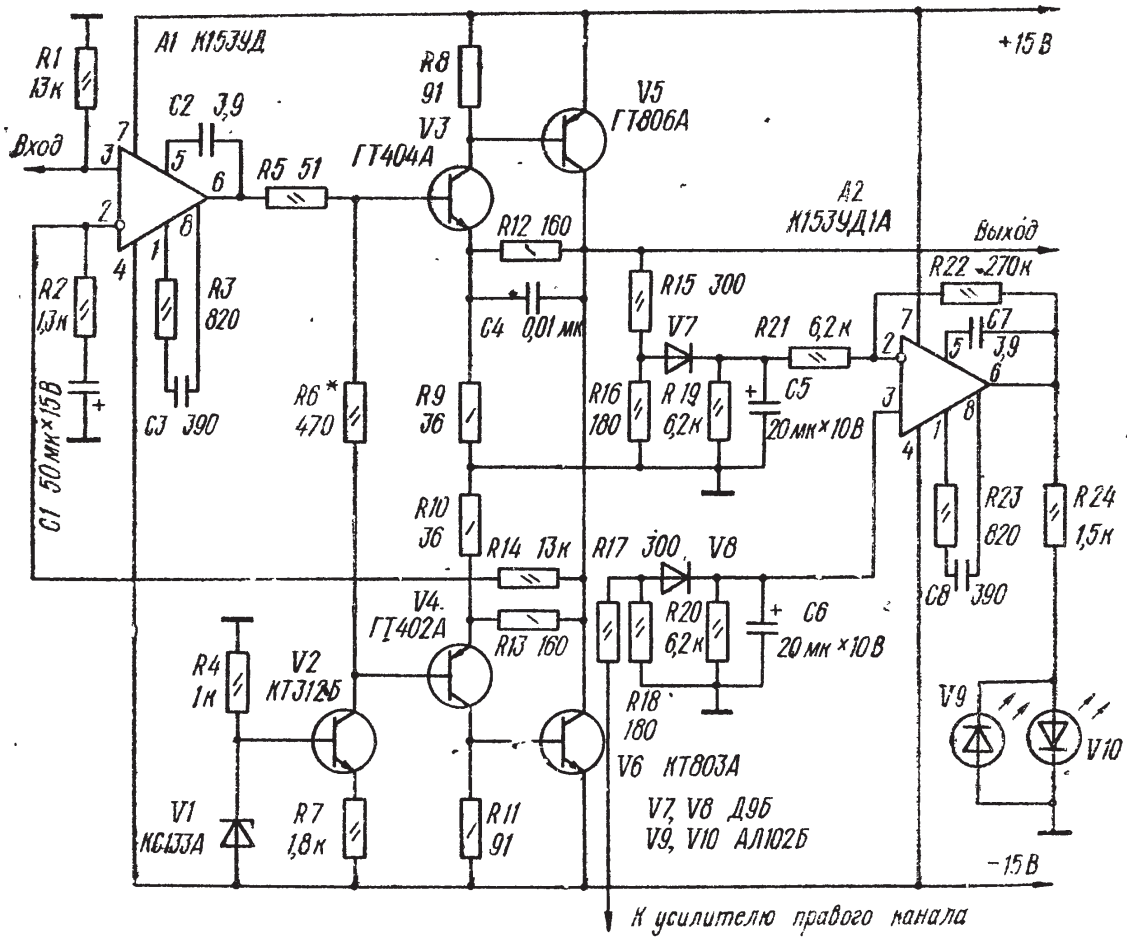


Рис. II.4

Кроме элементов усилительного тракта устройство содержит индикатор стереобаланса, состоящий из выпрямителей сигналов левого (V7) и правого (V8) каналов, ОУ А2 и светодиодов V9, V10. С появлением сигнала на входе усилителя конденсаторы C5 и C6 заряжаются до напряжений, соответствующих средним уровням сигналов соответственно левого и правого каналов. При равных сигналах в обоих каналах выходной ток ОУ А2 отсутствует, и светодиоды V9, V10 не светятся. Нарушение стереобаланса приводит к тому, что напряжения на входах ОУ А2 становятся разными, и его выходной ток заставляет светиться один из светодиодов (тот, который соответствует каналу с большим уровнем сигнала). Разность выходных сигналов усилителя мощности, на которую реагирует индикатор, составляет около 200 мВ.

Для питания усилителя необходим стабилизированный источник.

Усилитель с согласующим трансформатором [11]. Особенностью устройства является применение для связи предоконечного каскада с оконечным изготовленного по специальной технологии согласующего трансформатора. Это позволило при небольшом количестве деталей получить высокую стабильность работы усилителя, избавило от необходимости защиты оконечного каскада от короткого замыкания в нагрузке. В оконечном каскаде усилителя можно использовать транзисторы со сравнительно небольшим (равным напряжению питания) предельным напряжением между эмиттером и коллектором.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот (при спаде амплитудно-частотной характеристики на краях не более 3 дБ), Гц	5...100 000
Номинальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 4 Ом (при коэффициенте гармоник не более 1%), Вт	20
Номинальное входное напряжение, мВ	100
Входное сопротивление, кОм	45
Относительный уровень шумов и фона, дБ	-65

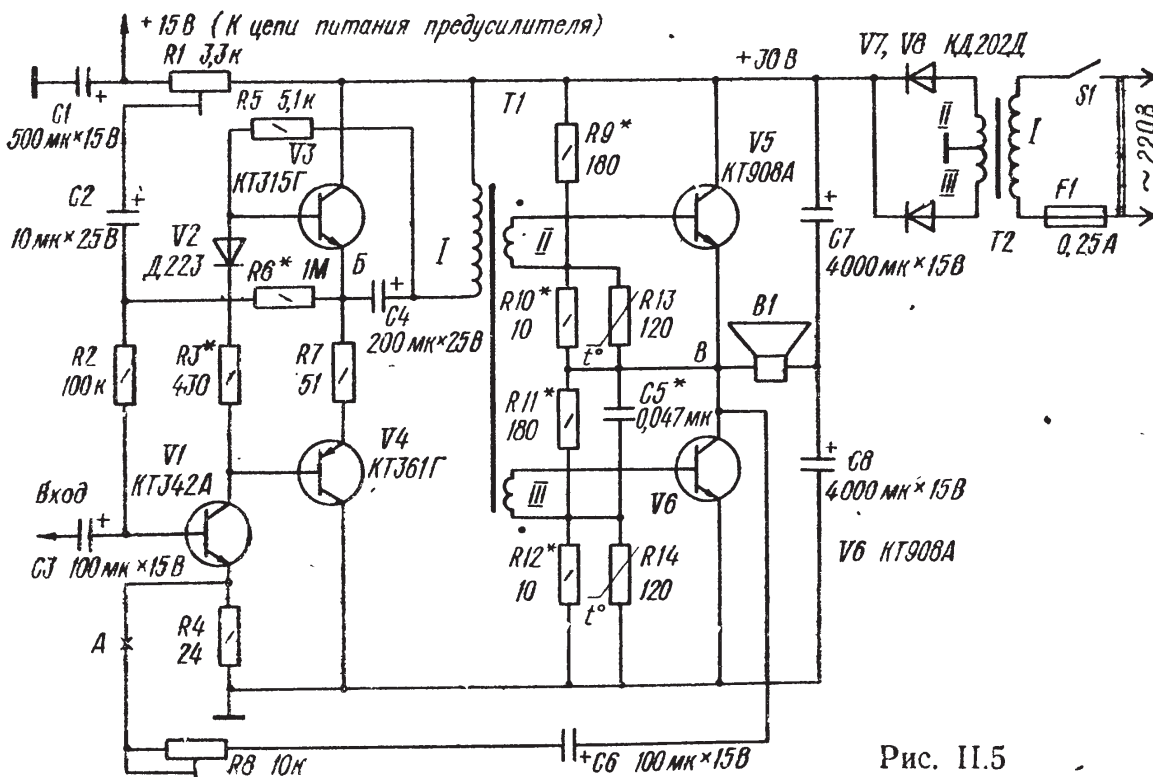


Рис. II.5

Усилитель (рис. II.5) содержит двухкаскадный усилитель напряжения сигнала на транзисторах V1, V3, V4 и оконечный каскад на транзисторах одинаковой структуры V5, V6. Нагрузка — громкоговоритель B1 — включена в диагональ моста, образованного транзисторами V5, V6 и конденсаторами C7, C8, что позволило улучшить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в области низших частот.

Усилитель охвачен общей ООС, напряжение которой снимается с нагрузки и подается в цепь эмиттера транзистора $V1$. Еще одна ООС — местная — создается через цепь $R2R6^*$, соединяющую выход предоконечного каскада со входом первого. Переменная составляющая тока замыкается через цепь $C2R1C1$. Одновременно конденсатор $C2$ и резистор $R1$ этой цепи вместе с резистором $R2$ обеспечивает компенсацию пульсаций частотой 100 Гц, проникающих на вход усилителя через цепь $R8C6$ при питании нестабилизированным напряжением. Подстроечный резистор $R1$ и конденсатор $C1$ образуют развязывающий фильтр в цепи питания предварительного усилителя. В случае, если для питания предварительного усилителя используется другой источник, конденсатор $C1$ необходимо шунтировать резистором сопротивлением 3 кОм.

В предоконечном и оконечном каскадах усилителя необходимо использовать транзисторы с близкими в парах статическими коэффициентами передачи тока $h_{21Э}$. Транзисторы $V5$ и $V6$ должны быть установлены на теплоотводах с охлаждающей поверхностью площадью около 400 см². Терморезистор $R13$ следует приклеить к корпусу первого из них, $R14$ — к корпусу второго.

Для согласующего трансформатора $T1$ подойдет любой магнитопровод площадью сечения 1,5...2,5 см², например Ш12 × 16. Обмотку наматывают жгутом из восьми сложенных вместе проводов: шести — марки ПЭВ-2 — 0,17 и двух — ПЭВ-2 — 0,31. После намотки концы проводов облуживают, выявляя с помощью омметра каждый из проводов ПЭВ-2 — 0,17 и, соединив их последовательно, получают обмотку I . Оставшиеся два провода ПЭВ-2 — 0,31 используют в качестве обмоток II и III .

Трансформатор питания $T2$ намотан на магнитопроводе УШ20 × 30. Обмотка I содержит 1600 витков провода ПЭВ-2 — 0,41, обмотки II и III — по 185 витков провода ПЭВ-2 — 0,9 (намотка в два провода).

Налаживание начинают с установки режимов транзисторов по постоянному току. Повернув движок подстроечного резистора $R1$ в крайнее левое (по схеме) положение и разорвав цепь ООС в точке A , подбором резистора $R6^*$ добиваются в точке B напряжения, равного половине напряжения питания. Затем, подбирая резисторы $R9^*$, $R11^*$, устанавливают такое же напряжение в точке B . Подбором этих же резисторов добиваются требуемого (450...500 мА) тока покоя транзисторов оконечного каскада.

После этого от генератора сигналов подают на вход усилителя напряжение 3...10 мВ частотой 20 кГц и с помощью осциллографа проверяют форму выходного напряжения. Искажения ее в виде «ступеньки» устраняют, увеличивая ток покоя транзисторов $V3$, $V4$. Проще всего это сделать, временно заменив резистор $R3^*$ переменным (сопротивлением 1 кОм). Увеличивая его сопротивление до исчезновения искажений, необходимо следить за тем, чтобы ток покоя транзисторов $V3$, $V4$ (его удобно контролировать по падению напряжения на резисторе $R7$) не превысил 10...12 мА. Симметричности ограничения сигнала, превышающего номинальный уровень, добиваются подбором резисторов $R10^*$, $R12^*$.

После этого восстанавливают цепь общей ООС и с помощью подстроечного резистора $R8$ восстанавливают ее глубину 20 дБ. Уменьшив сигнал на входе до нуля, подстроечным резистором $R1$ добиваются минимума пульсаций частотой 100 Гц на нагрузке. Эту операцию выполняют с подключенным к цепи питания предварительным усилителем. Для получения малых нелинейных искажений выходное сопротивление этого усилителя не должно выходить за пределы 1...5 кОм. Минимума искажений на высших частотах звукового диапазона добиваются подбором конденсатора $C5^*$.

Простой усилитель мощности [26] предназначен для работы в любительском радиоконтакте.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот (при спаде АЧХ на краях не более 2 дБ), Гц	16...60 000
Номинальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 4 Ом (при коэффициенте гармоник не более 0,5 %), Вт	20
Номинальное входное напряжение, В	0,8
Входное сопротивление, кОм	10

Усилитель (рис. II.6) содержит входной дифференциальный каскад ($V1$, $V2$), каскад усиления напряжения сигнала ($V4$) со стабилизатором тока ($V5$), фазоин-

версный предоконечный каскад (V7, V8) и оконечный каскад (V9, V10). Транзистор V6 обеспечивает необходимое начальное напряжение смещения на базах транзисторов V7, V8, а также стабилизирует ток покоя транзисторов оконечного каскада V9, V10 при изменении температуры. Применение во втором каскаде усилителя источника тока на полевом транзисторе V5 позволяет снизить нелинейные искажения и получить на нагрузке усилителя амплитуду сигнала, близкую к напряжению источника питания. Дальнейшее снижение искажений достигнуто применением глубокой ООС по переменному току, охватывающей весь усилитель. Напряжение ООС снимается с выхода усилителя и подается в цепь базы транзистора V2 через делитель напряжения, образованный резисторами R6, R7 и конденсаторами C4, C5.

Вместо указанных на схеме, в усилителе можно использовать любые транзисторы серий КТ301, КТ315, ПЗ07 (V1, V2, V6); КТ203, ГТ321, МП21 (V4); КП302 (с индексами А—В), КП303 (V5); КТ503 (с индексами А—Г), ГТ404 (Б—Г) (V7); КТ502 (А—Г), ГТ402 (Б—Г) (V8); КТ908, КТ808, КТ802—КТ805 (V9,

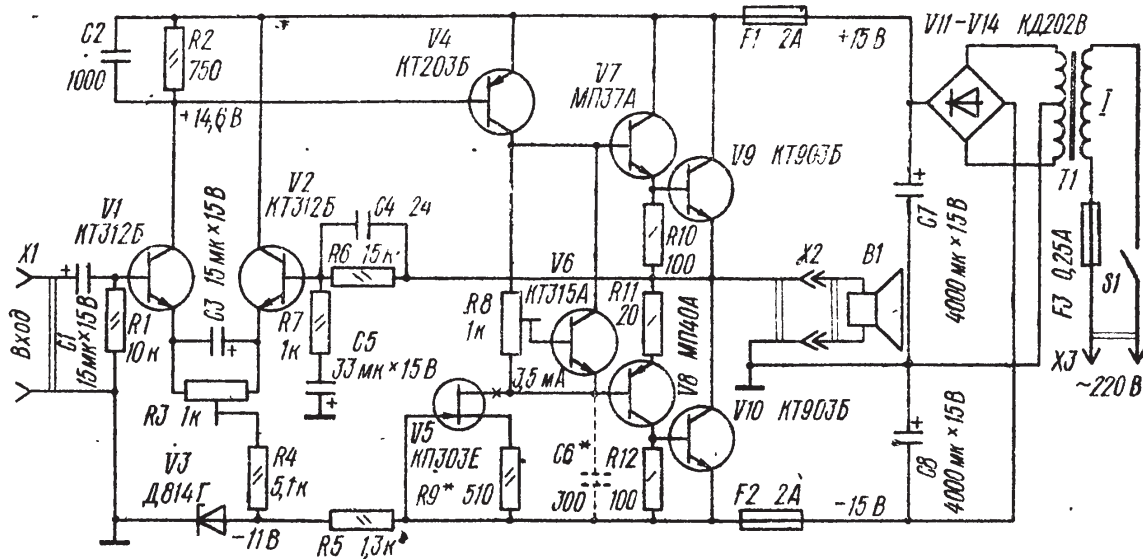


Рис. II.6

V10). Полевой транзистор V5 и резистор R9* подбирают до установки в усилитель следующим образом. Исток транзистора соединяют с отрицательным полюсом какого-либо источника питания напряжением 10...15 В через соединенные последовательно постоянный резистор сопротивлением 27...33 Ом и переменный резистор сопротивлением 3,3 кОм. К этому же полюсу источника подсоединяют и затвор транзистора. Сток соединяют с положительным полюсом через миллиамперметр с пределом измерений 5 мА. Уменьшая сопротивление в цепи истока, устанавливают ток стока в пределах 3,5...4,5 мА. Затем измеряют общее сопротивление в цепи истока и находят таким образом сопротивление резистора R9*.

Транзисторы V9, V10 закрепляют на теплоотводах с площадью охлаждаемой поверхности не менее 300 см². Для отвода тепла от транзисторов V7, V8 используют отрезки (длиной 20...35 мм) латунных или дюралюминиевых трубок подходящего диаметра, плотно надетые на корпуса транзисторов.

Трансформатор питания выполнен на магнитопроводе из пластин Ш20 (толщина набора 40 мм). Обмотка I содержит 1250 витков провода ПЭВ-2 — 0,3, обмотка II — 2 × 74 витка провода ПЭВ-2 — 1,0.

Налаживают усилитель при подключенном к выходу эквиваленте нагрузки (резистор сопротивлением 4 Ом, рассчитанный на рассеяние мощности 20...25 Вт). Отсутствия постоянного напряжения на выходе добиваются подстроечным резистором R3, ток покоя оконечного каскада (30...40 мА) устанавливают подстроечным резистором R8.

Пары транзисторов V1 и V2, V7 и V8, V9 и V10 рекомендуются подобрать по статическому коэффициенту передачи тока $h_{21Э}$ (различие коэффициентов в парах не должно превышать 20%). При этом желательно, чтобы произведения статических коэффициентов транзисторов V7, V9 и V8, V10 были одинаковыми.

Термостабильный усилитель мощности [2]. Отличительная особенность устройства — предельная простота и высокая температурная стабильность, позволяющая эксплуатировать транзисторы выходного каскада при температуре переходов, близкой к предельной.

Основные параметры

Номинальная выходная мощность, Вт, на нагрузке сопротивлением 4 Ом	25
Номинальное входное напряжение, В	1
Коэффициент гармоник, %, не более, на частоте, Гц:	
1 000	0,1
5 000	0,14
10 000	0,2
20 000	0,35
Коэффициент интермодуляционных искажений (при подаче сигналов частотой 160 Гц и 1,4 кГц и отношении амплитуд 4:1), %, не более	0,3
Полоса мощности, Гц	20...150 000
Максимальная скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	8
Входное сопротивление, кОм	150

Усилитель (рис. II.7) — двухкаскадный. Первый каскад выполнен на ОУ А1, второй — на транзисторах V3, V5—V7. Для получения максимально возможного размаха усиленного сигнала применено так называемое «плавающее» питание ОУ (за счет подачи в цепь питания части выходного сигнала через резистор R6). В основу выходного каскада положена схема так называемого «параллельного» усилителя, нашедшего применение в маломощных (до 1 Вт) усили-

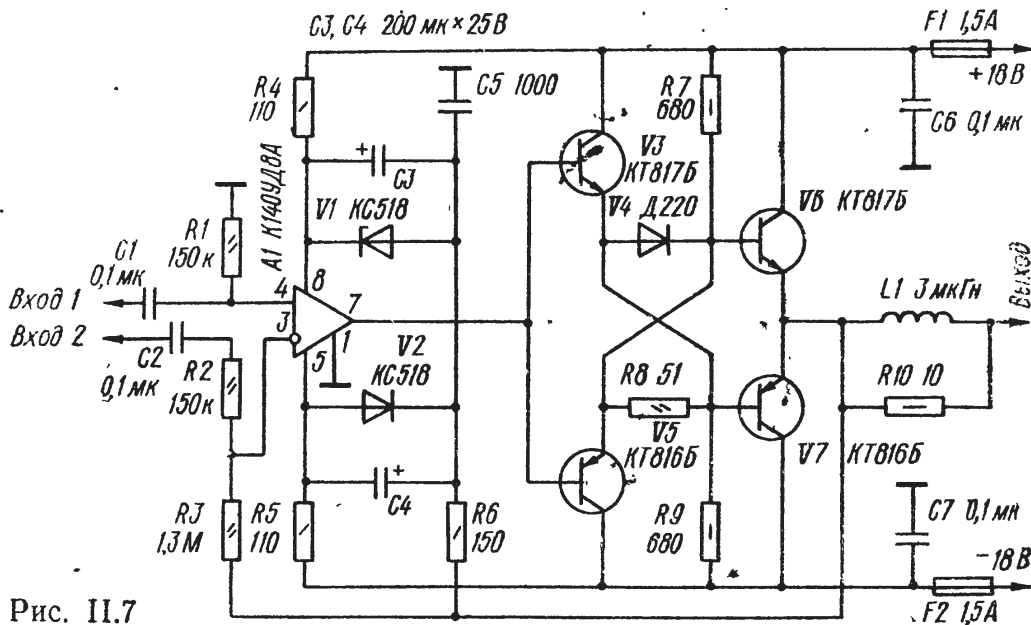


Рис. II.7

телях мощности. Для улучшения амплитудной характеристики между базами транзисторов V6, V7 включен диод V4. При отсутствии сигнала и до тех пор, пока он не достигнет определенного уровня, этот диод закрыт и на работу каскада не влияет. В момент ограничения нарастающего в положительную сторону сигнала, когда токи через резистор R7 и базу транзистора V6 становятся равными, и транзистор V5 закрывается, напряжение обратного смещения на диоде V4 начинает уменьшаться, так как транзистор V3 открыт, и сигнал на его эмиттере продолжает увеличиваться. Наконец, наступает момент, когда диод открывается, и вместо канала усиления V5—V6, образуется канал V3—V4—V6. При усилении сигнала, нарастающего в отрицательную сторону, аналогично образуется канал V5—V4—V7. Резистор R8, шунтирующий диод V4, устраняет резкие изломы выходного сигнала в моменты закрывания транзисторов V3, V5 и открывания диода V4.

Высокая термостабильность усилителя достигается использованием хорошей тепловой связи между транзисторами V3, V6 и V5, V7.

Наличие двух входов упрощает использование усилителя в многополосных системах с разделительными фильтрами на входе. Так, в двухполосной системе достаточно установить всего лишь один фильтр верхних частот между входами одного из усилителей (низкочастотный сигнал образуется в результате вычитания сигналов со входа и выхода фильтра). При использовании инвертирующего входа 2 следует помнить, что сопротивление источника сигнала входит в цепь отрицательной обратной связи, охватывающей ОУ А1, поэтому оно не должно превышать 15 кОм. Неиспользуемый вход в любом случае необходимо соединить с общим проводом. Для повышения устойчивости усилителя против самовозбуждения на входе необходимо включить фильтр нижних частот с частотой среза 20 кГц.

Указанные параметры получены при питании усилителя от стабилизированного источника. Если же источник нестабилизированный, напряжение питания необходимо понизить на 20 %.

Транзисторы V3, V6 и V5, V7 закреплены попарно на пластинчатых теплоотводах размерами 80 × 70 мм, изготовленных из листового алюминиевого сплава толщиной 2 мм, анодированного в черный цвет. Перед установкой охлаждающие поверхности транзисторов необходимо смазать смазкой ЦИАТИМ-201. Транзисторы устанавливают по обе стороны теплоотвода и закрепляют одним винтом с гайкой. Для обеспечения надежного теплового контакта в течение всего времени эксплуатации под гайки необходимо подложить разрезные стопорные шайбы. Усилитель с указанными теплоотводами работоспособен при температуре окружающего воздуха до 35 °С. Ток покоя (при нормальной температуре — около 50 мА) увеличивается при прогреве не более чем на 15 %.

Вместо ОУ К140УД8А в усилителе можно использовать ОУ К140УД8Б, К140УД6, К140УД10, К140УД11, К544УД1, К574УД1. Катушку L1 можно намотать на каркасе диаметром 7 и длиной 25 мм. Она в этом случае должна содержать 30 витков провода ПЭВ-2 — 1,0, намотанных в два слоя.

Правильно собранный усилитель налаживания не требует.

Экономичный усилитель [13]. Особенностью усилителя является синхронное (с сигналом) питание каскада на операционном усилителе изменяющимися напряжениями и применение в выходном каскаде режима В.

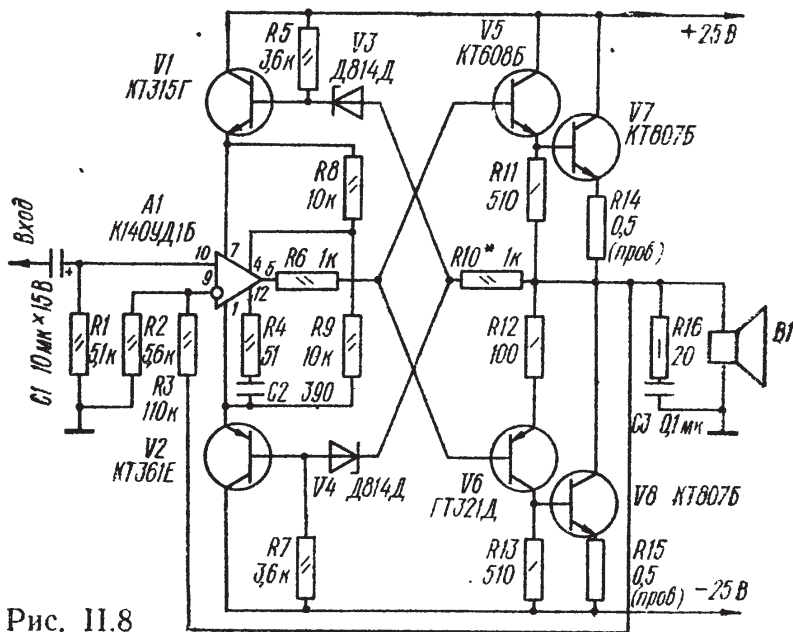


Рис. 11.8

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	10...50 000
Номинальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 8 Ом (при коэффициенте гармоник 0,2 %), Вт	10
Номинальное входное напряжение, В	1
Входное сопротивление, кОм	5
Ток покоя, мА	15

Усилитель (рис. 11.8) содержит каскад усиления напряжения сигнала на операционном усилителе А1 и выходной каскад на транзисторах V5—V8. В отсутствие сигнала транзисторы V5—V8 закрыты, чем и обуславливается малый ток, потребляемый усилителем. При этом напряжение в точке соединения стабилитронов V3, V4 и резистора R10* равно нулю, а на выводах питания операционного усилителя поддерживается равным номинальным напряжениям пита-

ния стабилизаторами на транзисторах $V1, V2$. С появлением сигнала на входе напряжение в точке соединения стабилитронов изменяется на величину выходного сигнала. В результате от операционного усилителя оказывается возможным получить значительно большее напряжение сигнала, чем при обычном питании. Резистор $R10^*$, соединяющий стабилитроны с выходом усилителя, уменьшает максимальное напряжение на входах операционного усилителя (по постоянному току они, как видно из схемы, соединены с общим проводом, поэтому синфазное изменение напряжений питания эквивалентно подключению к ним источника синфазного сигнала).

Усилитель не боится перегрузок по входу и коротких замыканий в нагрузке. Если это случится, то коэффициент усиления операционного усилителя резко уменьшится (в результате снизится и выходное напряжение), а его выходной ток (а следовательно, и выходной ток всего усилителя) будет ограничен резистором $R6$.

Коэффициент усиления усилителя определяется отношением сопротивлений резисторов $R3$ и $R2$ цепи ООС ($K = 1 + R3/R2$). Последняя снижает выходное сопротивление усилителя, улучшая его работу в области низших частот, и стабилизирует напряжение на нагрузке — громкоговорителе $B1$.

Налаживание усилителя заключается в проверке постоянного напряжения на нагрузке (оно должно быть близко к нулю) и подборе резистора $R10^*$. На время налаживания его удобно заменить переменным (сопротивлением $2,7 \dots 3;3$ кОм). Подавая на вход усилителя переменное напряжение от генератора звуковой частоты, уменьшают сопротивление резистора до получения на экране осциллографа максимально возможного неискаженного выходного сигнала. Чрезмерно уменьшать сопротивление резистора $R10^*$ не рекомендуется, так как это приведет к снижению устойчивости работы усилителя (он может перейти в триггерный режим). При существенном (более $\pm 0,1$ В) отличии напряжения на выходе от нуля следует подобрать резистор $R1$.

Экономичный усилитель с повышенной термостабильностью [1]. Использование в оконечном каскаде режима В полностью сняло проблему температурной стабилизации тока покоя, сделало усилитель экономичным и термостабильным. К числу достоинств такого усилителя относится также его способность работать от источника питания с повышенными пульсациями. Усилитель предназначен для работы с предварительным усилителем; выходное сопротивление которого не превышает 200 Ом.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	20...20 000
Номинальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 8 Ом (при коэффициенте гармоник в номинальном диапазоне частот не более 0,5%), Вт	30
Номинальное входное напряжение, В	1,5
Фазовый сдвиг в номинальном диапазоне частот	10°
Температурный интервал устойчивой работы усилителя, °С	-20...+60

Первый каскад усилителя (рис. II.9) собран на операционном усилителе $A1$. Для того чтобы скорость нарастания сигнала на входе усилителя не превысила допустимого значения, применен фильтр нижних частот $R1C1/R2$ с частотой среза около 20 кГц. Усиливаемый сигнал подается на инвертирующий вход операционного усилителя, сигнал ООС (с выхода усилителя) — на его неинвертирующий вход. Конденсатор $C2$ корректирует фазовую характеристику усилителя в области высоких частот. Частота среза каскада (с учетом коррекции через конденсатор $C3$) — около 30 кГц.

Второй каскад выполнен на транзисторах $V4—V7$ по схеме двухтактного каскадного усилителя. Частота среза этого каскада 4,7 МГц. Помимо инвертирования сигнала, он выполняет функции генератора стабильных токов смещения для транзисторов предоконечного каскада на транзисторах разной структуры $V8$ и $V9$. Включенные в их эмиттерные цепи резисторы $R12, R13$ создают местные ООС по току, что вместе со стабильными токами смещения и определяет высокую термостабильность усилителя в целом. Ток покоя транзисторов $V8, V9$ равен 30 мА (при температуре 60 °С он возрастает до 50 мА). Частота среза этой ступени усилителя 130 кГц.

Транзисторы оконечного каскада V_{10} , V_{11} включены по схеме эмиттерного повторителя и работают без начального смещения, т. е. при токе покоя, равном нулю. Для снижения неизбежных в этом случае искажений типа «ступенька» введен резистор R_{14} . Благодаря этому при малых уровнях сигнала, когда транзисторы V_{10} , V_{11} закрыты, на нагрузку работает предоконечный каскад. Частота среза каскада на транзисторах V_{10} , V_{11} — около 140 кГц.

Для работы в этом усилителе пригоден операционный усилитель с коэффициентом усиления напряжения не менее 2000. Транзисторы оконечного каскада желательно подобрать с одинаковыми коэффициентами передачи тока ($h_{21Э} \gg 50$). Вместо транзисторов ГТ321А в усилителе можно применить транзисторы КТ626 (с буквенными индексами А, Б, В), вместо ГТ905А и ГТ806В — соответственно КТ814Г и КТ816Г.

Катушка L_1 (30 витков) намотана в два слоя проводом ПЭВ-2 — 1;0 на каркасе диаметром 7 и длиной 25 мм.

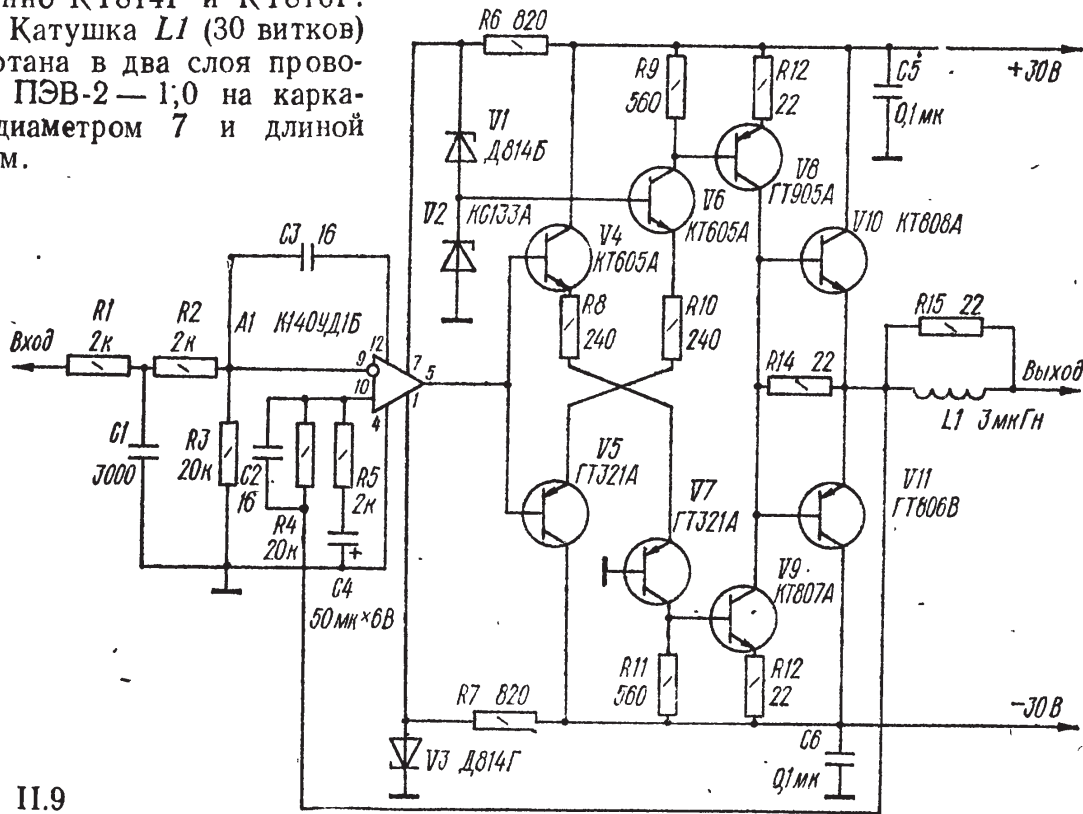


Рис. II.9

Для охлаждения транзисторов V_8 , V_9 применен теплоотвод П-образной формы, согнутый из полосы (размеры 100×50 мм) листового алюминиевого сплава толщиной 2 мм. Размеры основания теплоотвода — 50×50 мм, полки (на них закреплены транзисторы) — примерно 25×50 мм. Теплоотвод крепят на монтажной плате с таким расчетом, чтобы выводы транзисторов можно было соединить с остальными деталями короткими проводниками. Транзисторы V_{10} и V_{11} устанавливают на универсальных теплоотводах типа 8.650.022 с эффективной площадью охлаждения 300 см^2 .

Налаживания усилитель не требует. Перед подключением громкоговорителя необходимо убедиться, что постоянное напряжение на выходе не превышает $\pm 0,1 \text{ В}$, а ток покоя транзисторов V_8 , V_9 — 50 мА.

Усилитель с синфазным стабилизатором режима [3] рассчитан на работу с предварительным усилителем-темброблоком на операционном усилителе. Отличительная особенность устройства — наличие эффективного стабилизатора тока покоя транзисторов дифференциальных каскадов.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	10...250 000
Номинальная выходная мощность, Вт, на нагрузке сопротивлением 8 Ом	12
Номинальное входное напряжение, В	1
Коэффициент гармоник, %, при номинальной выходной мощности на частоте, Гц;	

1000
 20 000
 Относительный уровень шумов и фона, дБ
 Выходное сопротивление, кОм

0,02
 —80
 15.

Усилитель (рис. II.10) содержит два дифференциальных каскада усиления напряжения сигнала на транзисторах $V1, V2$ и $V4, V5$ и выходной каскад усиления тока на транзисторах $V6—V9$. Функции стабилизатора режима выполняет транзистор $V3$, база которого соединена с эмиттерной цепью транзисторов второго дифференциального каскада, а коллектор — с эмиттерной цепью транзисторов первого каскада. Возникающая при этом ООС по синфазной составляющей сигнала симметрирует дифференциальные каскады и повышает устойчивость к пульсациям и колебаниям питающего напряжения.

Транзистор $V3$ закреплен на теплоотводе транзистора $V8$ выходного каскада, поэтому он выполняет еще и функции термостабилизатора режима. Ток через

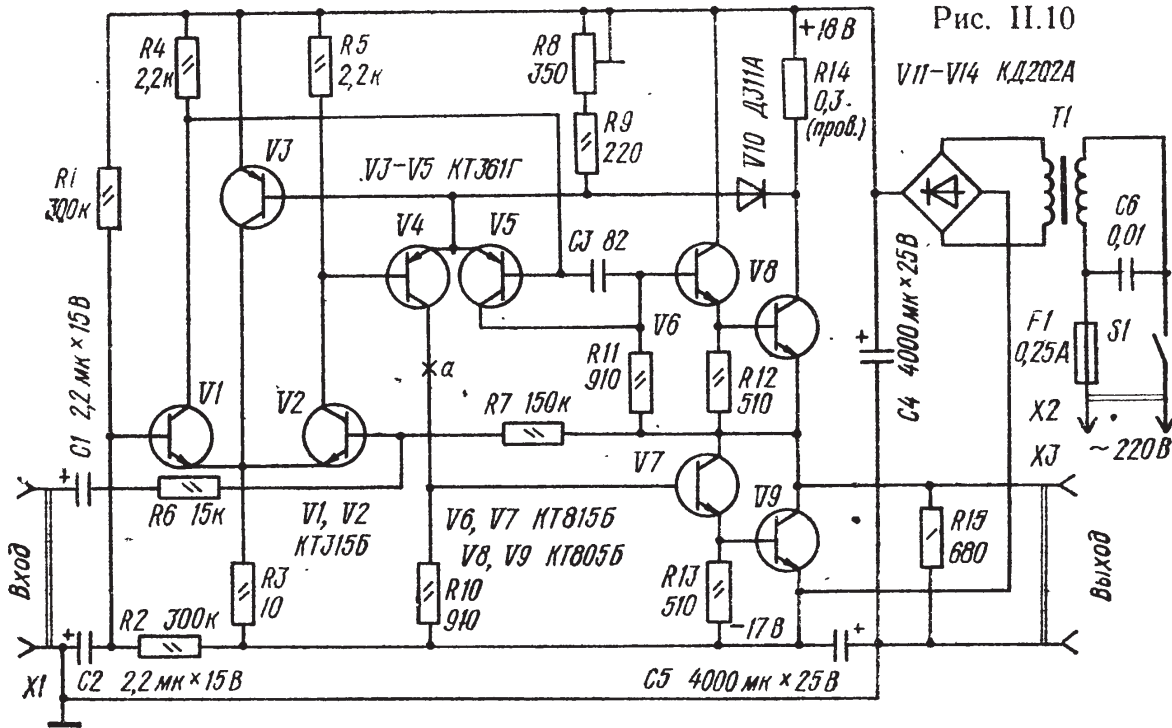


Рис. II.10

$V11—V14$ КД202А

транзистор $V3$ (40...60 % тока транзисторов $V1, V2$) необходимо учитывать при расчете сопротивления резистора $R3$. При замене этого резистора источником тока усилитель может работать при напряжении питания от 12 В до значения, предельного для используемых транзисторов. Если напряжение питания больше 36 В, в разрыв коллекторной цепи транзистора $V4$ (в точке a) рекомендуется включить еще один транзистор структуры $p-n-p$ (его базу соединяют с коллектором транзистора $V7$). Возникающее при этом смещение уровня сигнала обеспечит тепловой баланс усилителя и равенство напряжений на коллекторах транзисторов $V4, V5$.

Для балансировки усилителя неинвертирующий вход (база транзистора $V1$) соединен со средней точкой делителя напряжения $R1R2$. Это позволило упростить узел защиты транзисторов выходного каскада от перегрузки по току: в данном усилителе он состоит из резистора $R14$ в коллекторной цепи транзистора $V8$ и диода $V10$, соединяющего эту цепь с базой транзистора $V3$.

Кроме указанных на схеме, в усилителе можно использовать транзисторы КТ361Б, КТ361Г, КТ361Е, КТ209Е, КТ209К ($V1, V2$); КТ315Б, КТ315Г, КТ315Е, КТ342А, КТ342Д ($V3—V5$); КТ626Б, ($V6, V7$); КТ816Б, КТ816В, КТ818Б ($V8, V9$). Статические коэффициенты передачи тока $h_{21Э}$ пар транзисторов $V6, V7$ и $V8, V9$ должны быть по возможности близкими. При такой замене полярность включения источника питания, электролитических конденсаторов и диода $V10$ необходимо изменить на обратную.

Усилитель нетрудно приспособить и для работы на нагрузку сопротивлением 4 Ом (выходная мощность при напряжении питания 35 В увеличится до

10 В). Для этого сопротивление резистора R_8 необходимо уменьшить до 6,5 кОм; R_7 — до 68 кОм, R_9 — до 90 Ом, R_{10} и R_{11} — до 680 Ом. Входное сопротивление после таких изменений снизится до 6,5 кОм.

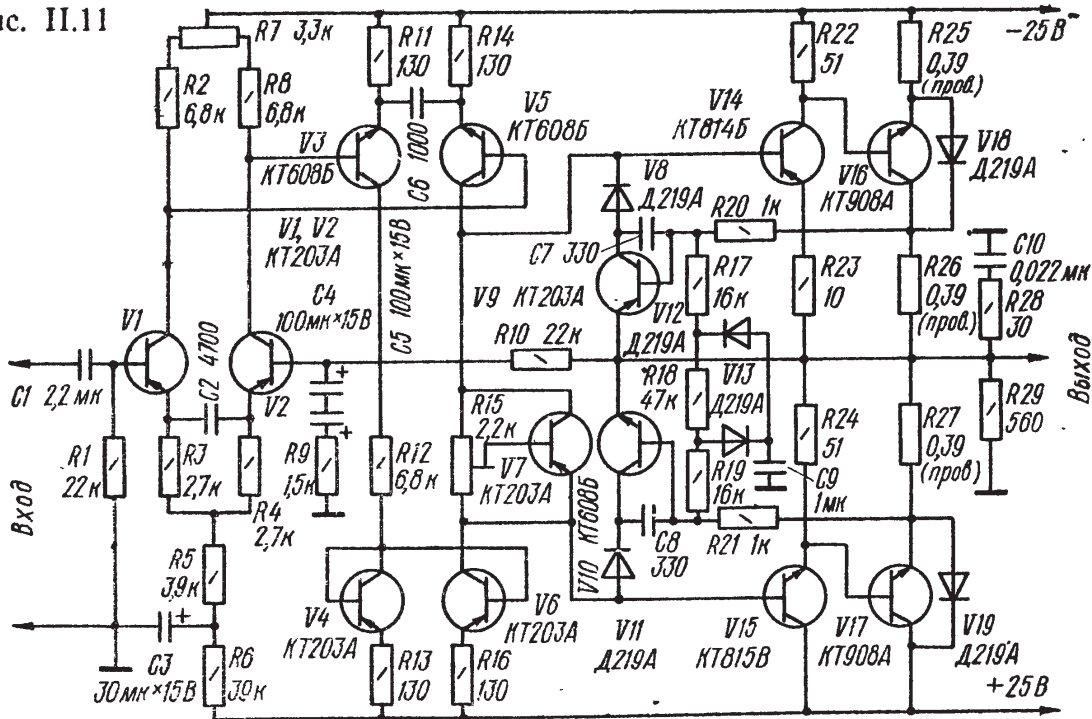
Налаживание усилителя сводится к установке тока покоя выходного каскада подстроечным резистором R_8 . Если ограничение сигнала наступает неодновременно (из-за неодинакового усиления плеч выходного каскада), подбирают резисторы R_{10} , R_{11} (в плече, где ограничение наступает раньше, сопротивление резистора следует увеличить, а в другом — настолько же уменьшить). Из-за неизбежного при этом нарушения балансировки второго дифференциального каскада изменять сопротивления резисторов более чем на $\pm 20\%$ (от номиналов, указанных на схеме) не рекомендуется.

Усилитель с малыми динамическими искажениями [5]. Так называемые динамические интермодуляционные искажения возникают в транзисторных усилителях при резких перепадах уровня сигнала. Особенно заметны эти искажения при воспроизведении музыкальных программ. Для сведения таких искажений к минимуму в данном усилителе широко использованы местные ООС по току, применено так называемое «токовое зеркало», улучшающее симметрию усиляемого сигнала на входе оконечного каскада, использована коррекция АЧХ по опережению.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	16...100 000
Номинальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 8 Ом (при коэффициенте гармоник 0,35 % на частотах 63, 1 000 и 10 000 Гц), Вт	20
Номинальное входное напряжение, В	1
Относительный уровень шумов и фона, дБ	-60

Рис. II.11



Усилитель (рис. II.11) содержит входной дифференциальный каскад на транзисторах V_1 , V_2 , симметрирующий каскад на транзисторах V_3 , V_5 с «токовым зеркалом» на транзисторах V_4 , V_6 , выходной каскад на транзисторах V_{14} — V_{17} и устройство защиты от короткого замыкания в нагрузке на транзисторах V_9 , V_{10} .

Резисторы R_3 , R_4 в эмиттерных цепях транзисторов первого каскада создают местную ООС по току, повышающую линейность и входное сопротивление каскада, а также улучшающую его симметричность. Резисторы R_{11} , R_{14} создают местную ООС во втором каскаде. Коррекция АЧХ по опережению осуществляется конденсаторами C_2 и C_6 .

Выходной каскад выполнен по традиционной схеме с фазоинвертором на транзисторах разной структуры *V14*, *V15*. Ток покоя транзисторов *V16*, *V17* устанавливается подстроечным резистором *R15* и стабилизируется при изменении температуры транзистором *V7*, имеющим с одним из них тепловую связь. Диоды *V18*, *V19* защищают транзисторы выходного каскада от перенапряжений при индуктивном характере нагрузки.

Усилитель охвачен ООС, напряжение которой снимается с нагрузки и через цепь *R10C4C5R9* поступает на вход первого каскада (в цепь базы транзистора *V2*). Цепь *R28C10* повышает устойчивость усилителя против самовозбуждения.

Устройство защиты выходного каскада от короткого замыкания в нагрузке выполнено по мостовой схеме. Для отрицательной полуволны усиливаемого сигнала мост образован сопротивлением нагрузки и резисторами *R26*, *R20* и *R17*. В диагональ моста включен эмиттерный переход транзистора *V9*. При резком снижении сопротивления нагрузки баланс моста нарушается, транзистор *V9* открывается и своим малым сопротивлением участка эмиттер — коллектор шунтирует (через диод *V8*) вход предоконечного каскада на транзисторе *V14*. В результате ток выходного каскада мгновенно ограничивается. Для положительной полуволны сигнала мост образован сопротивлением нагрузки и резисторами *R27*, *R21* и *R19*, в диагональ моста включен эмиттерный переход транзистора *V10*.

Для хорошей линейности усилителя пары транзисторов *V1* и *V2*, *V3* и *V5* *V4* и *V6*, *V16* и *V17* необходимо подобрать по статическому коэффициенту передачи тока $h_{21Э}$

Транзисторы *V14*, *V15* установлены на П-образных теплоотводах, согнутых из полосы листового (толщиной 2 мм, шириной 20 мм) алюминиевого сплава (размеры теплоотвода — 20 × 25 × 15 мм). Теплоотводы каждого из транзисторов *V16*, *V17* должны иметь охлаждающую поверхность площадью около 250 см². К одному из этих теплоотводов приклеивают транзистор *V7* клеем 88-Н.

Налаживание усилителя сводится к устранению (подстроечным резистором *R7*) постоянного напряжения на выходе и установке (подстроечным резистором *R15*) тока покоя выходного каскада в пределах 80...100 мА.

Усилитель с малыми динамическими искажениями и повышенной термостабильностью [21]. Снижение динамических искажений в усилителе достигнуто расширением полосы пропускания исходного (без общей ООС) усилителя, применением линейризующих местных ООС и соответствующим выбором частот среза амплитудно-частотных характеристик каскадов. Высокая термостабильность обеспечивается местными ООС, применением в предоконечном каскаде транзисторов, корпуса которых имеют одинаковые тепловые сопротивления, и сравнительно большим (около 250 мА) током покоя транзисторов окончного каскада.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	20...20 000
Номинальная выходная мощность (в номинальном диапазоне частот), Вт:	
на нагрузке сопротивлением 8 Ом при коэффициенте гармоник 0,5 %	20
на нагрузке сопротивлением 4 Ом при коэффициенте гармоник 0,8 %	25
Номинальное входное напряжение на нагрузке сопротивлением 8 Ом (при выходной мощности 20 Вт)	1
Частота среза без ООС (при выходной мощности 1 Вт), кГц	30
Глубина ООС, дБ	20
Относительный уровень шумов и фона, дБ	-70

Усилитель (рис. II.12) — трехкаскадный. Первый каскад — дифференциальный на транзисторах *V1*, *V2*, подобранных по статическому коэффициенту передачи тока $h_{21Э}$ и напряжению эмиттер — база. Для получения достаточно высокого входного сопротивления, низкого уровня шумов и предотвращения самопрогрева переходов коллекторный ток этих транзисторов выбирают равным 250 мкА. Суммарный эмиттерный ток транзисторов стабилизируется стабилитроном *V13*. Местная ООС в первом каскаде создается включением в эмиттерные цепи транзисторов *V1*, *V2* резисторов *R2*, *R3*.

Второй каскад собран на составном транзисторе V4V5. Местная ООС здесь осуществляется через резистор R10, соединяющий коллектор транзистора V5 с эмиттером транзистора V4. Нагрузкой каскада являются генератор тока на транзисторах V6, V8, резистор R16 и входное сопротивление каскада на транзисторах V9, V10. Составной транзистор, генератор тока и резистор R16 образуют эквивалентный источник напряжения сигнала для выходного каскада. Возникающая при этом 100 %-ная ООС по напряжению исключает нелинейность коэффициента передачи тока и повышает частоту среза каскада.

Выходной каскад выполнен на транзисторах V9—V12. Для обеспечения высокой термостабильности в предоконечном каскаде применены транзисторы

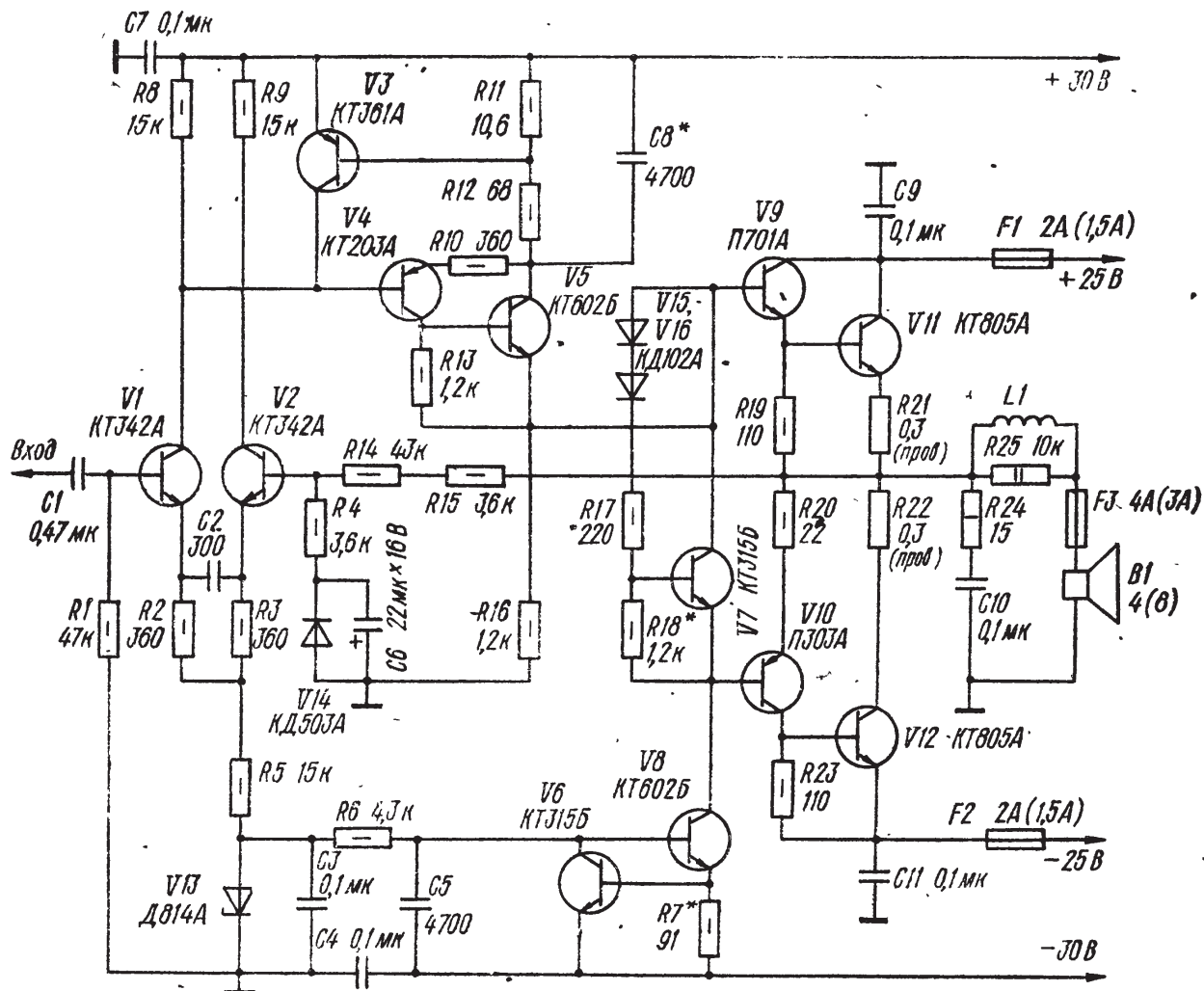


Рис. П.12

П701А и П303А, корпуса которых имеют одинаковые тепловые сопротивления. Большой ток покоя транзисторов V11 и V12 позволяет уменьшить искажения типа «ступенька» и исключить переходной процесс в главной петле ООС (R15, R14, R4, C6) из-за геттового удара при резком перепаде уровня выходного сигнала. Термостабилизация тока покоя осуществляется транзистором V7. Диоды V15, V16 его цепи смещения размещены на теплоотводе одного из транзисторов окончного каскада. АЧХ усилителя корректируется конденсаторами C2 и C8*.

От короткого замыкания в нагрузке и перегрузки по току усилитель защищают предохранители F1—F3, транзистор V3 и диод V14. Транзистор V3 ограничивает ток составного транзистора на уровне 55...60 мА при перегорании любого из предохранителей, диод V14 ограничивает отрицательное напряжение на базе транзистора V2 на уровне 0,7 В при перегорании предохранителя F1.

Транзисторы V5, V8 закреплены на П-образных теплоотводах, согнутых из листовой меди толщиной 1 мм. Размеры основания каждого из теплоотводов — 23 × 23 мм, полка — 10 × 23 мм. Тепловое сопротивление такого теплоотвода — примерно 35 °С/Вт. Теплоотводы транзисторов V11, V12 согнуты из листовой ме-

ди толщиной 2 мм. Каждый из них состоит из двух П-образных частей, склепанных по углам оснований медными заклепками. Размеры оснований — 80 × 80 мм, полук — 25 × 80 мм. Тепловое сопротивление — 3,6 °С/Вт. Диоды *V15*, *V16* вклеены в отверстия в теплоотводе транзистора *V11*.

Катушка *L1* намотана проводом ПЭВ-2 — 0,5 виток к витку до заполнения корпуса резистора *R25* (МЛТ-2). Отклонение сопротивлений от указанных на схеме номиналов всех резисторов, кроме *R24* и *R25*, не должно превышать ± 5 %.

Первой налаживают часть усилителя, питающуюся от источника напряжением ± 30 В. Для этого удаляют предохранители *F1* — *F3*, разрывают соединение эмиттера транзистора *V5* с базой транзистора *V9*, а также коллектора транзистора *V8* с базой транзистора *V10*. Эмиттер транзистора *V5* временно соединяют с коллектором транзистора *V8*, а точку соединения резисторов *R14* и *R15* — с общим проводом. Подбором резистора *R7** (в сторону уменьшения, начиная со 100 Ом) добиваются нулевого напряжения на коллекторе транзистора *V8*. Это напряжение не должно выходить за пределы ± 1 В как сразу после подачи питания, так и после десятиминутного прогрева транзисторов.

Симметричность ограничения сигнала проверяют с помощью осциллографа, подав на вход усилителя переменное синусоидальное напряжение 100 мВ. Размах напряжения на коллекторе транзистора *V8* должен быть не менее ± 24 В, а частота среза — не ниже 200 кГц. Для проверки переходной характеристики первых двух каскадов эмиттер транзистора *V5* подключают к точке соединения резисторов *R14*, *R15* и подают на вход прямоугольные импульсы амплитудой 0,5 В и частотой 1 кГц. Импульсы на экране осциллографа должны иметь крутые (без выбросов) фронт и спад. При необходимости подбирают конденсатор *C8**.

После этого восстанавливают все соединения в соответствии со схемой, устанавливают на место предохранители *F1*—*F3*, замыкают накоротко катушку *L1*, включают между точкой соединения резисторов *R14*, *R15* конденсатор емкостью 5...10 мкФ, а к выходу усилителя подсоединяют резистор сопротивлением 8 Ом с рассеиваемой мощностью 25...30 Вт. Включив питание, измеряют постоянное напряжение на выходе усилителя (оно не должно выходить за пределы ± 100 мВ), уровень фона (допустимый размах пульсаций частотой 100 Гц — не более 100 мВ) и амплитуду неискаженного выходного сигнала (на нагрузке сопротивлением 8 Ом — не менее 20 В). Ток покоя транзисторов *V11*, *V12* (250 мА) устанавливают подбором резистора *R18** (в сторону уменьшения, начиная с 5...10 кОм). После этого конденсатор, соединяющий резисторы *R14*, *R15* с общим проводом, удаляют, и налаживание можно считать законченным.

Высококачественный усилитель класса В [7]. Особенность устройства — применение для снижения нелинейных искажений так называемой прямой связи.

Основные параметры

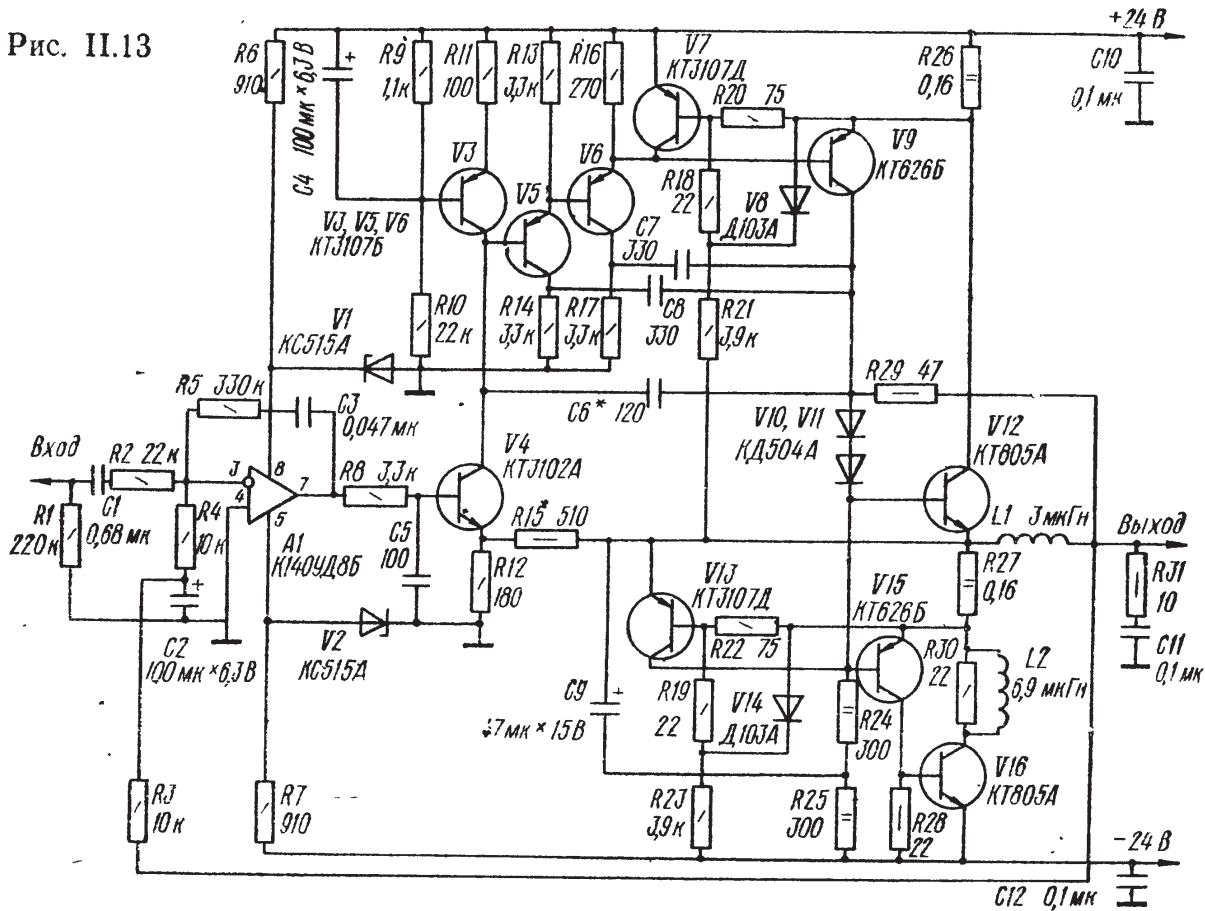
Номинальный диапазон частот, Гц	20...20 000
Номинальная выходная мощность (в номинальном диапазоне частот), Вт:	
на нагрузке сопротивлением 8 Ом при коэффициенте гармоник не более 0.02 %	30
на нагрузке сопротивлением 4 Ом	40
Чувствительность, мВ	200
Входное сопротивление, кОм	20
Относительный уровень шумов и фона, дБ	-75

Усилитель (рис. II.13) содержит четырехкаскадный предварительный усилитель, работающий в режиме А (микросхема *A1* и транзисторы *V3*—*V6*, *V9*), выходной каскад, работающий в режиме В (транзисторы *V12*, *V15*, *V16*), и устройство защиты выходного каскада от перегрузок и короткого замыкания в нагрузке (*V7*, *V13*). Первый каскад предварительного усилителя собран на ОУ *A1*, второй — на транзисторе *V4* с динамической нагрузкой (*V3*) в коллекторной цепи, третий — на транзисторе *V9*. Двойной эмиттерный повторитель на транзисторах *V5*, *V6* согласует входное сопротивление каскада на транзисторе *V9* с выходным сопротивлением каскада на транзисторе *V4*. Коэффициент усиления первого каскада на частотах выше 20 Гц приблизительно равен 15. Благодаря глубокой ООС по постоянному току через резистор *R3* на выходе усилителя ЗЧ поддерживается нулевой потенциал. Применение в выходном каскаде режи-

ма В позволило повысить его КПД и полностью исключить необходимость термостабилизации тока покоя.

Для снижения нелинейных искажений, свойственных режиму В, в усилитель введены элементы $C6^*$, $R15$, $R29$, $L1$, образующие сбалансированный мост, в одну из диагоналей которого включен выходной каскад, а в другую — нагрузка (громкоговоритель). Упрощенно механизм компенсации искажений состоит в том, что напряжение искажений, возникающее в выходном каскаде, не может вызвать появления сигнала искажений, если мост сбалансирован. Благодаря резистору $R29$ нелинейные продукты в спектре выходного тока компенсируются «исправляющим» током, текущим через этот резистор прямо в нагрузку. При этом наиболее эффективно компенсируются высшие гармоники (сопротивление рези-

Рис. II.13



стора $R29$ выбрано так, что указанные токи на этих частотах одинаковы по значению и противоположны по направлениям). Из-за наличия активной составляющей в полном сопротивлении катушки $L1$ баланс моста на низких частотах нарушается. Малый уровень нелинейных искажений на этих частотах обеспечивается в основном глубокой (50...70 дБ) ООС, напряжение которой поступает с выхода усилителя в цепь эмиттера транзистора $V4$ (через делитель $R15R12$).

Устройство защиты ограничивает ток через транзисторы $V12$, $V16$ на уровне 3,5 А при перегрузке усиливаемым сигналом и на уровне 1,5 А при коротком замыкании в нагрузке. В верхнем (по схеме) плече усилителя эти функции выполняет транзистор $V7$. В отсутствие сигнала через резисторы $R26$, $R20$, $R18$ и $R21$ течет постоянный ток, создающий на первых двух из них падение напряжения около 0,45 В. При появлении сигнала, нарастающего в положительную сторону, падение напряжения на резисторе $R20$ уменьшается, а на резисторе $R26$ (оно обусловлено в основном коллекторным током транзистора $V12$) — увеличивается. В момент, когда суммарное напряжение на резисторах $R26$ и $R20$ достигает значения 0,65...0,7 В, транзистор $V7$ открывается и участком эмиттер—коллектор шунтирует резистор $R16$, ограничивая тем самым рост коллекторного тока транзистора $V12$. Диод $V8$ предотвращает срабатывание устройства защиты из-за увеличения падения напряжения на резисторе $R20$ в моменты, когда выходное напряжение изменяется в отрицательную сторону.

Аналогично (при изменении полярности усиливаемого сигнала) работает и устройство защиты нижнего (по схеме) плеча усилителя. Элементы $R30$, $L2$, $C11$, $R31$, $C10$, $C12$ предотвращают самовозбуждение усилителя.

Вместо указанных на схеме в усилителе можно использовать операционные усилители К140УД8Б, К140УД7, К153УД6, транзисторы КТ342Г, КТ315 с индексами В, Г, Д, Е ($V4$); КТ361В ($V3$, $V5$, $V6$); КТ361Д ($V7$, $V13$); КТ626А, КТ626В ($V9$, $V15$); любые кремниевые диоды, рассчитанные на прямой ток 10 мА ($V8$, $V14$) и 50 мА ($V10$, $V11$).

Катушки $L1$ и $L2$ намотаны виток к витку в два слоя проводом ПЭВ-2.— 1,0 на каркасах диаметром 7 и длиной 28 мм и содержат соответственно 30 и 46 витков.

Транзисторы $V9$, $V12$, $V15$ и $V16$ закреплены на теплоотводе с охлаждающей поверхностью площадью около 900 см² и изолированы от него слюдяными прокладками толщиной 0,1 мм.

Питается усилитель от двухполупериодного (мостового) выпрямителя с фильтрующими конденсаторами емкостью 10 000 мкФ. В выпрямителе использованы диоды КД203В. Трансформатор питания выполнен на тороидальном магнитопроводе с внешним диаметром 100, внутренним — 64 и высотой 32 мм. Первичная обмотка (на 220 В) содержит 1130 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,51, вторичная — 2 × 104 витка провода ПЭВ-2 — 1,3. Между обмотками помещен электростатический экран в виде одного слоя провода ПЭВ-2 — 0,21. Средняя точка вторичной обмотки и каждый из конденсаторов фильтра, подключенных к положительному и отрицательному выводам выпрямителя, соединены с выводом электростатического экрана и общим проводом усилителя.

Налаживание усилителя сводится к балансировке моста $C6R29L1R15$ подбором конденсатора $C6^*$ на частоте 50...100 кГц. При этом добиваются минимальных искажений синусоидального сигнала на экране осциллографа.

Высококачественный усилитель мощности [7] предназначен для работы с предварительным усилителем, обеспечивающим выходное напряжение 2 В. Отличительные черты усилителя — высокая устойчивость к самовозбуждению и очень малые нелинейные искажения.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот, Гц	20...20 000
Номинальная выходная мощность, Вт, на нагрузке сопротивлением 8 Ом	35
Коэффициент гармоник, %, не более, в номинальном диапазоне частот при выходном напряжении, В:	
2	0,002
3	0,005
4	0,007
8	0,02
17	0,05
Относительный уровень шума и фона при замкнутом нагрузке входе, дБ	—104

Усилитель (рис. II.14) содержит два каскада усиления напряжения сигнала. Первый из них — дифференциальный, на транзисторах $V1$, $V2$ с источником тока в эмиттерных цепях на транзисторе $V5$. Второй каскад выполнен на транзисторах $V7$, $V8$. Выходной каскад — квазикомплементарный, на транзисторах $V15$ — $V18$. Необходимое для работы выходного каскада напряжение смещения создается устройством, собранным на транзисторе $V14$ и диодах $V9$ — $V11$. Температурная стабилизация тока покоя транзисторов $V17$, $V18$ (220...250 мА) осуществляется за счет тепловой связи между корпусом одного из них и корпусом транзистора $V14$. Терморезистор $R20$ служит для температурной компенсации дрейфа нуля выходного напряжения усилителя; для этого терморезистор установлен на теплоотводе транзистора $V8$.

Малые нелинейные искажения и высокая стабильность усилителя обусловлены в основном ООС, охватывающей выходной каскад. Напряжение обратной связи снимается с делителя $R25R26$ и подается на вход каскада через транзистор $V13$. Это требует увеличения тока покоя транзисторов $V8$, $V13$ до 25 мА и установки их, как и транзисторов $V15$ — $V18$, на теплоотводе. Цепи $L4R48$ и $C12R49$ выравнивают нагрузку выходного каскада на высоких частотах.

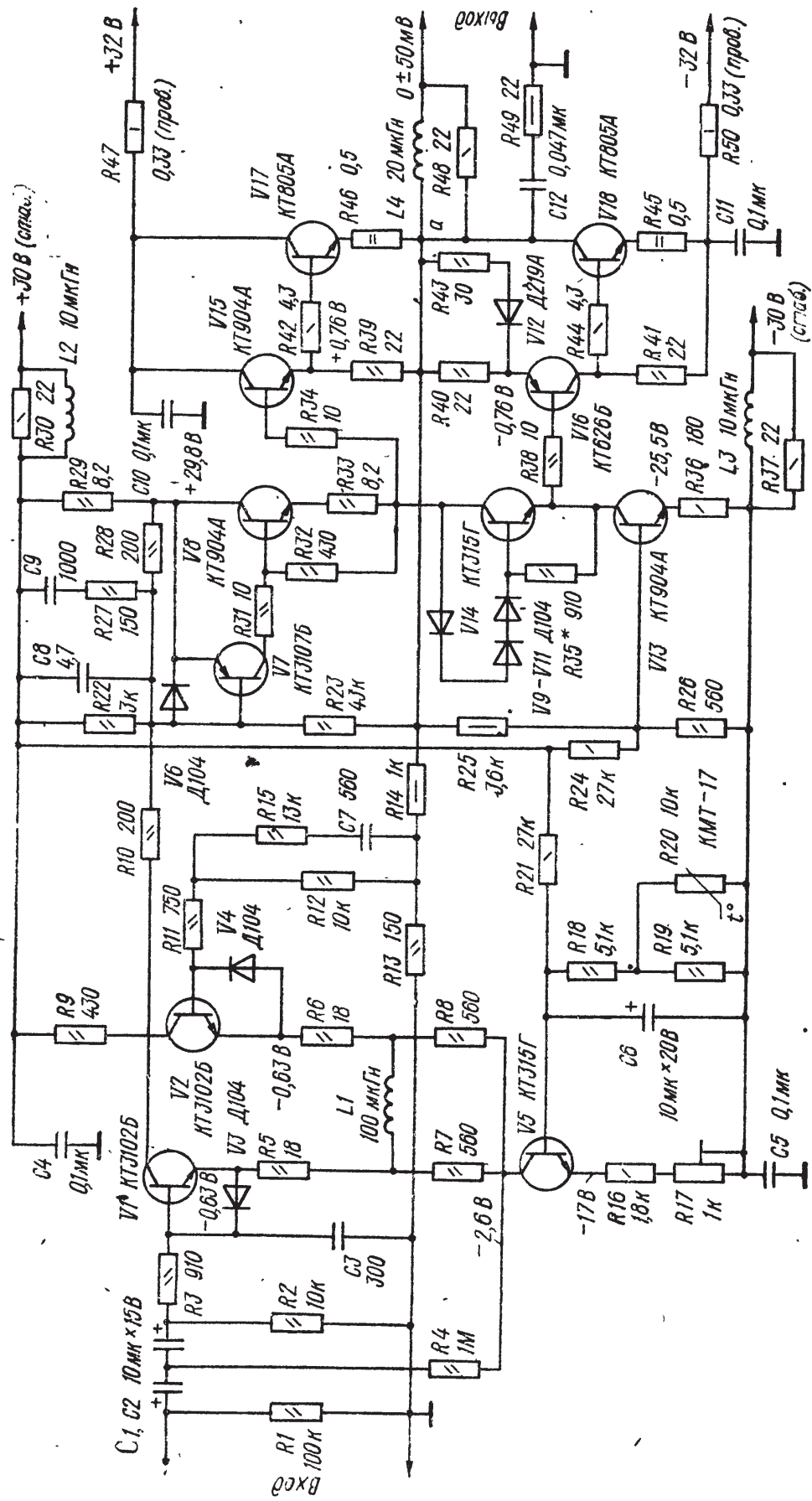


Рис. П.14

Еще одна местная отрицательная обратная связь (глубиной около 15 дБ) охватывает выходной каскад и предшествующий ему каскад усиления на транзисторах V7, V8. Напряжение обратной связи подается с выхода усилителя через резистор R23 на базу транзистора V7. Цепь C8R27C9 ослабляет эту связь на высоких частотах, предотвращая самовозбуждение охваченных ею каскадов, и сужает полосу пропускания до 300...350 кГц.

Полоса пропускания первого каскада (примерно 30 кГц) и глубина обратной связи (около 30 дБ в диапазоне звуковых частот), охватывающей весь усилитель мощности через делитель напряжения R13R14, выбраны с таким расчетом, чтобы общая обратная связь на частотах выше 1 МГц не действовала. Сужение полосы пропускания первого каскада достигнуто включением в эмиттерные цепи транзисторов V1, V2 катушки L1 и отделением базы второго из этих транзисторов от выхода усилителя резисторами R12, R15 (они увеличивают спад АЧХ каскада с ростом частоты). Цепь R15C7 корректирует фазу в области высших частот звукового диапазона.

Вместо указанных на схеме в усилителе можно использовать транзисторы КТ644А, КТ644В (вместо КТ626Б); КТ805Б, КТ903А, КТ908А (вместо КТ805А); КТ3102А, КТ3102В, КТ3102Д (вместо КТ3102Б); КТ373Г (вместо КТ3107Б). Диоды Д104 можно заменить диодами Д219А, Д219Б, Д220А, Д220Б.

Катушки L1—L3 могут быть любой конструкции, но с малой собственной емкостью. Первую из них, например, можно намотать проводом ПЭВ-2 диаметром 0,15 мм (35 витков) на унифицированном трехсекционном каркасе, помещенном в арматуру от фильтра ПЧ транзисторного приемника «Сокол», вторую и третью — монтажным проводом площадью сечения 0,1 мм² (12...15 витков) на ферритовых (400НН) кольцах типоразмера К10 × 6 × 4. В качестве катушек L2, L3 можно использовать унифицированные дроссели Д-0,1, Д-0,2. Катушка L4 намотана в 4 слоя на каркасе диаметром 15 мм и содержит 40 витков провода ПЭВ-2 — 1,0.

Для питания выходного каскада усилителя пригоден обычный двуполярный выпрямитель с фильтрующими конденсаторами емкостью не менее 10 000 мкФ и быстродействующей защитой от перегрузок по току. Источник питания каскадов усиления напряжения сигнала должен быть стабилизированным. Напряжение пульсаций не должно превышать 2 мВ.

Налаживание усилителя сводится к устранению (подстроечным резистором R17) постоянной составляющей напряжения на выходе, установке (подбором резистора R35) требуемого тока покоя выходного каскада и к проверке устойчивости работы усилителя (если взамен указанных на схеме применены транзисторы других типов). Критерий устойчивой работы — отсутствие самовозбуждения при увеличении глубины любой ООС с выхода усилителя на 10 дБ. При недостаточной устойчивости необходимо подобрать конденсаторы C8, C9 и резистор R28.

Усилитель может работать на нагрузку сопротивлением 4 Ом. Для этого необходимо уменьшить напряжение питания выходного каскада до ± 24 В (потребляемый ток при этом увеличится примерно в 1,5 раза), а индуктивность катушки L4 — до 10 мкГн.

Трехполосный усилитель [28]. Разделение сигнала на полосы в тракте предварительного усиления — эффективный путь повышения качества звуковоспроизведения. Это позволяет снизить интермодуляционные искажения, сравнительно простыми средствами получить линейную амплитудно-частотную характеристику по звуковому давлению, упростить конструкцию усилителей мощности, так как каждый из них работает в узкой полосе частот.

Основные параметры

Номинальный диапазон частот (при неравномерности АЧХ не более ±3 дБ), Гц	20...200 000
Частоты раздела, Гц	400 и 4000
Номинальная выходная мощность, Вт, канала:	
НЧ и СЧ на нагрузке сопротивлением 8 Ом	14
ВЧ на нагрузке сопротивлением 16 Ом	5
Коэффициент гармоник, %, при выходной мощности 4 Вт, на частоте, Гц:	
100	0,4
1 000	0,7
10 000	0,4
20 000	0,5

Относительный уровень шумов и фона, дБ, канала:	
НЧ	-90
СЧ и ВЧ	-80
Переходное затухание между каналами, дБ, на частоте, Гц:	
1 000	70
20 000	50

Каждый канал устройства (усилитель — стереофонический) состоит из блока разделительных фильтров с регулируемыми коэффициентами передачи отдельно в низкочастотной (НЧ), среднечастотной (СЧ) и высокочастотной (ВЧ) полосах сигнала и трехполосного усилителя мощности.

Блок фильтров (рис. II.15) содержит переключатель уровня сигнала ($S1$), регулятор громкости ($R2$), два усилительных каскада ($V1, V2$) с включенными на входе фильтрами верхних ($C2R3C3R4C4R5$) и нижних ($R7C6R8C7R9C8$) частот и два эмиттерных повторителя ($V3, V4$) также с фильтрами верхних ($C16R18C17R19C18R20$) и нижних ($R17C11R14C12R15C13$) частот на входе.

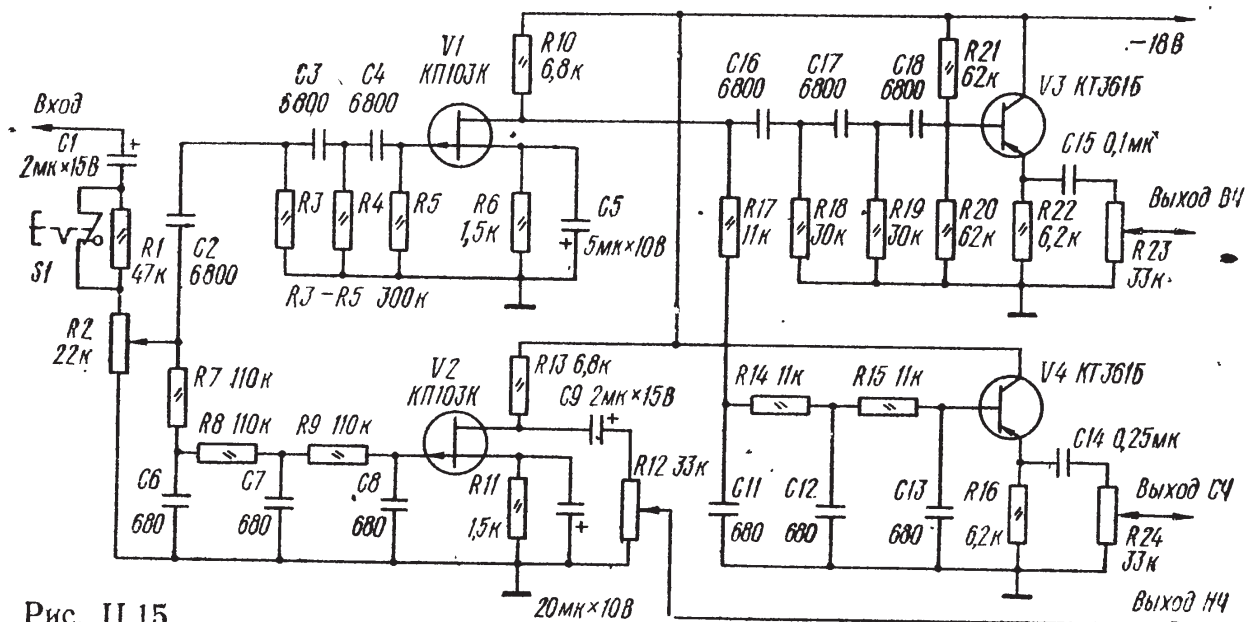


Рис. II.15

Частоты среза первых двух фильтров — 400 Гц, вторых — 4000 Гц. Таким образом, с движка переменного резистора $R12$ на вход соответствующего полосового усилителя поступают составляющие частотой ниже 400 Гц, с движка резистора $R24$ — частотой от 400 до 4000 Гц, а с движка резистора $R23$ — частотой выше 4000 Гц.

Каждый из полосовых усилителей мощности (рис. II.16) выполнен на одном ОУ и двух комплементарных парах транзисторов. Схемы усилителей СЧ и НЧ полос сигнала практически идентичны и отличаются только тем, что последний охвачен цепью положительной обратной связи (ПОС) по току. Сигнал этой связи снимается с движка подстроечного резистора $R10$ и через резистор $R9$ подается на неинвертирующий вход ОУ $A3$. Выходные каскады усилителей СЧ и НЧ полос работают в режиме В, усилителя ВЧ полосы — в режиме АВ.

Принципиальная схема двуполярного блока питания усилителя изображена на рис. II.17. Переключателем $S2$ порог срабатывания электронной защиты можно установить равным 1 или 3 А. Напряжения ± 18 и ± 18 В используются для питания усилителей СЧ и НЧ полос, а также выходного каскада усилителя ВЧ полосы, ± 12 и ± 12 В — для питания ОУ $A1$ этого усилителя. От маломощного стабилизатора напряжения на транзисторе $V8$ питается блок фильтров.

Кроме указанных на схеме, в усилителях СЧ и НЧ можно использовать ОУ К140УД6А, К140УД6Б, К140УД8А, К140УД8Б, К553УД1. Комплементарные пары транзисторов КТ502Б, КТ503Б можно заменить парами КТ502Г, КТ503Г; КТ502В, КТ503В, а также (в усилителе ВЧ) парой транзисторов КТ361Е, КТ315Е. Статические коэффициенты передачи тока заменяющих транзисторов должны быть не менее 40. Для получения малых нелинейных искажений пары транзисторов выходных каскадов рекомендуется подобрать по коэффициенту $h_{21Э}$ с отклонением не более $\pm 10\%$ ($V7, V8$ и $V13, V14$) и $\pm 20\%$ (все остальные).

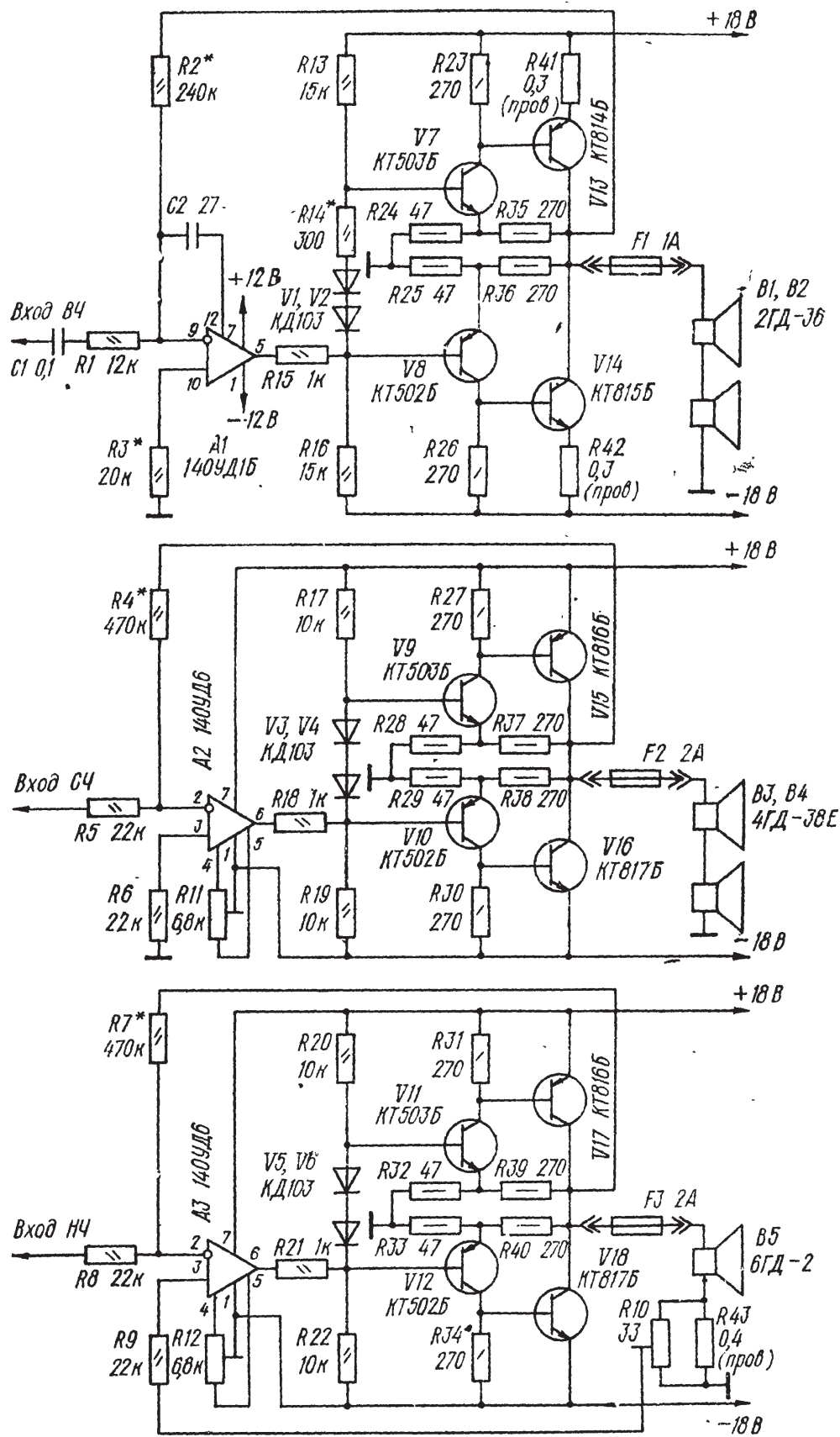


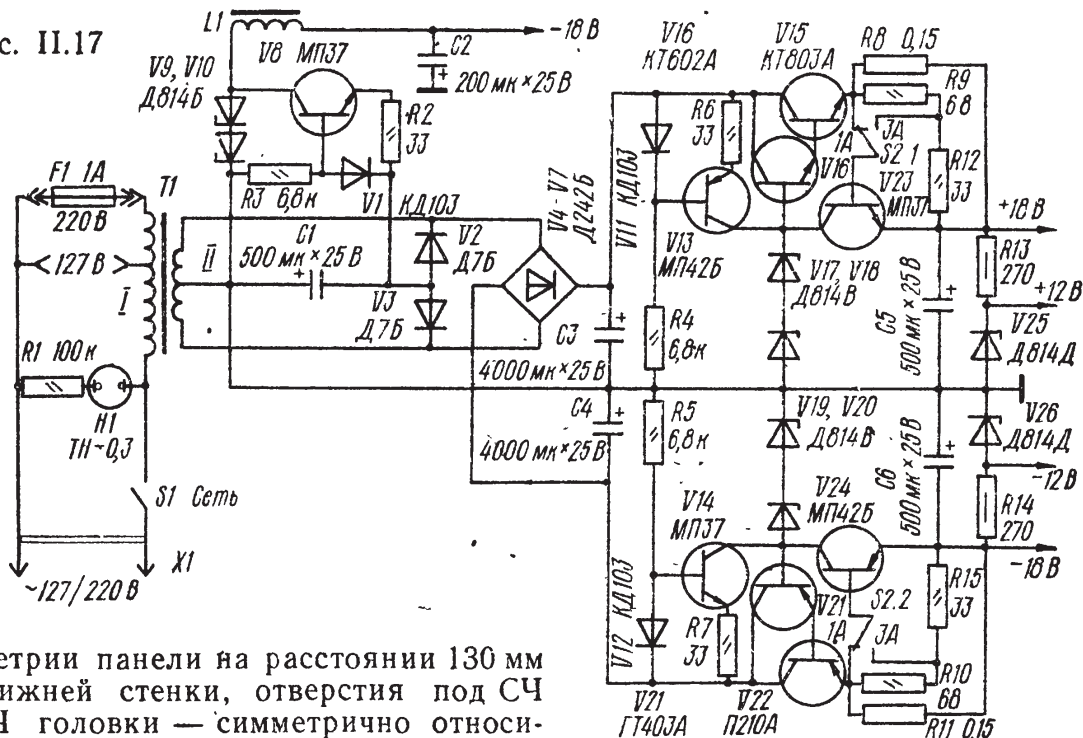
Рис. Ц.16

Транзисторы $V13-V18$ (см. рис. II.16) необходимо установить на ребристые теплоотводы с эффективной площадью $300...400 \text{ см}^2$, транзисторы $V15$ и $V22$ (рис. II.17) — на теплоотводы с примерно вдвое большей площадью.

Трансформатор $T1$ блока питания намотан на виток тороидальном магнитопроводе внешним диаметром 115, внутренним 60 и высотой 40 мм. Обмотка I содержит 880 витков провода ПЭЛ — 0,6 с отводом от 510-го витка, обмотка II — 2×70 -витков провода ПЭЛ — 1,5. Дроссель $L1$ намотан на магнитопроводе из пластин Ш10 (толщина набора 10 мм). Его обмотка содержит около 1000 витков провода ПЭЛ — 0,17.

Громкоговорители выполнены в виде фазоинверторов. Корпуса (наружные размеры $320 \times 240 \times 500 \text{ мм}$) изготовлены из древесно-стружечной плиты толщиной 20 мм. НЧ головка укреплена на передней панели изнутри, все остальные — снаружи. Отверстие под НЧ головку расположено на вертикальной оси

Рис. II.17



симметрии панели на расстоянии 130 мм от нижней стенки, отверстия под СЧ и ВЧ головки — симметрично относительно этой оси (каждая пара на одном уровне) на расстоянии соответственно 310 и 420 мм от той же стенки и 130 и 165 мм одна от другой. От остального объема корпуса СЧ головки изолированы колпаком в виде полуцилиндра диаметром 130 мм из дюралюминия толщиной 0,5 мм. Полуоснования колпака изготовлены из листового пенопласта толщиной 15 мм. Отверстие под туннель фазоинвертора (тонкостенная — 1,5 мм — картонная труба внутренним диаметром 45 и длиной 150 мм) расположено в верхней части передней панели между ВЧ головками. Частота настройки фазоинвертора 30 Гц. Все соединения в корпусе герметизированы пластилином. Стенки кроме передней, выложены уплотненным (толщиной 30 мм) слоем ваты, прижатой к ним пластмассовой сеткой. Между передней стенкой и корпусом проложена микропористая резина.

Первым налаживают блок фильтров. Установив движки резисторов $R2$, $R12$, $R24$ и $R23$ (см. рис. II.15) в верхнее (по схеме) положение, подают на вход переменное напряжение 200 мВ частотой 200, 2 000 и 10 000 Гц и измеряют напряжения на выходах блока. Если эти напряжения окажутся меньше 800 мВ, транзисторы $V1$ и $V2$ заменяют другими, с большей крутизной.

Налаживание усилителей мощности ведут при токе срабатывания защиты 1 А. Ток покоя транзисторов $V13$, $V14$ (около 100 мА) устанавливают подбором резистора $R14$, минимум постоянного напряжения на выходе (допустимое значение $\pm 0,1...0,2 \text{ В}$) — подбором резистора $R3^*$. Отсутствия постоянного напряжения на выходах усилителей СЧ и ВЧ полос добиваются подстроечными резисторами $R11$ и $R12$.

После этого на вход блока фильтров подают напряжение 100 мВ частотой 200 Гц и подбором резистора $R7^*$ устанавливают на эквиваленте нагрузки уси-

лителя НЧ напряжение 10,5 В. Аналогично на частотах 2 и 10 кГц подбором резисторов $R2^*$ и $R4^*$ устанавливают на эквиваленте нагрузки усилителя СЧ напряжение 10,5 В, а на эквиваленте нагрузки усилителя ВЧ — 9 В. В последнюю очередь подбирают глубину ПОС. Подключив громкоговорители и установив движки резисторов $R12$ и $R23$, $R24$ (см. рис. II.15) в нижнее (по схеме) положение, подают на вход музыкальный сигнал с преобладанием басовых звуков. Постепенно перемещая движок резистора $R12$ вверх, добиваются наиболее приятного звучания низших звуковых частот.

2. УЗЛЫ УСИЛИТЕЛЕЙ ЗЧ. ПРИСТАВКИ К УСИЛИТЕЛЯМ

Электронные переключатели входов [17] позволяют свести к минимуму наводки на коммутируемые цепи, упрощают конструкцию и повышают надежность звуковоспроизводящего устройства.

Переключатель на два входа (рис. II.18) собран на интегральном коммутаторе К190КТ2, объединяющем в своем корпусе четыре полевых МОП-транзистора с каналом n -типа. Два из них использованы для коммутации сигналов, поданных на входы 1, 2, два других — для коммутации светодиодов $V1$ и $V2$, индицирующих состояние устройства. Коммутатор сигналов выполнен по схеме триггера с автоматическим смещением. Коммутируемые сигналы подаются через конденсаторы $C1$ и $C2$ на стоки полевых транзисторов, выбранный сигнал снимается со стока. При касании сенсорных контактов $E1$ и $E2$ на выход коммутатора подается сигнал со входа 2 (зажигается светодиод $V1$), при касании контактов $E2$ и $E3$ — со входа 1 (зажигается светодиод $V2$). Если необходимо, чтобы с включением питания коммутатор устанавливался в определенное состояние, ем-

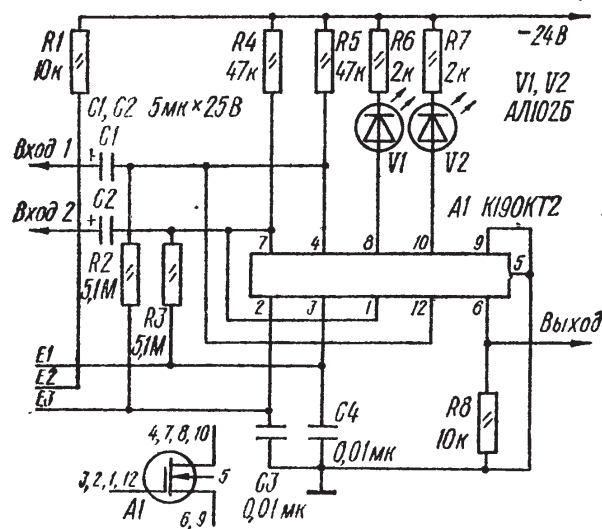


Рис. II.18

костью конденсатора ($C3$ или $C4$), соединенного с затвором транзистора, который должен оставаться закрытым, надо увеличить в 1,5...2 раза по сравнению с указанной на схеме. Для получения коэффициента передачи, близкого к единице, выходные сопротивления источников сигнала не должны превышать 1—2 кОм.

Переключатель на четыре входа (рис. II.19) предназначен для стереофонического устройства. Коэффициент гармоник при входном напряжении до 1 В не превышает 0,15 %. Сопротивление нагрузки должно быть не менее 47 кОм.

Как видно из схемы, переключатель выполнен на транзисторной сборке $A1$, четырех тринисторах ($V1$, $V3$, $V5$, $V7$) и двух пятиканальных коммутаторах К190КТ1. Сенсорные контакты $E2$ — $E5$ соединены с базами транзисторов сборки $A1$. В исходном состоянии все транзисторы этой сборки, тринисторы и электронные ключи коммутаторов $A2$, $A3$ закрыты, и светодиоды $V2$, $V4$, $V6$, $V8$ не светятся. При касании сенсорных контактов $E1$ и $E2$ транзистор сборки $A1$, база которого (вывод 11) соединена с контактом $E2$, открывается, и импульс его коллекторного тока заставляет открыться тринистор $V5$. В результате загорается светодиод $V6$, на затворы соответствующих транзисторов микросхем $A2$, $A3$ (выводы 7) подается напряжение отрицательной полярности, и они открываются, соединяя линейный выход приемника со входом усилителя ЗЧ. При касании другой пары контактов коммутатор работает аналогично, при этом ранее открытый тринистор закрывается под действием напряжений на обкладках соединенных с его анодом конденсаторов $C1$ — $C4$. Для уменьшения проникания на выход сигналов отключенных источников программ на подложки транзисторов микросхем $A2$, $A3$ (выводы 5) подано положительное напряжение.

В устройстве предусмотрена возможность перевода усилителя ЗЧ в монофонический режим работы. Для переключения режимов используется двухвходов-