

# ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НЧ

НА ТРАНЗИСТОРАХ С НИЗКОЙ ГРАНИЧНОЙ ЧАСТОТОЙ

А. АБРАМОВ

В последние годы среди радиолюбителей укоренилось мнение, что на транзисторах с низкой граничной частотой невозможно построить усилитель высокого качества. Действительно, выходные транзисторы с низкой граничной частотой имеют относительно большие входные и проходные емкости и не позволяют получить достаточно линейную частотную характеристику усилителя. Завал частотной характеристики на высших звуковых частотах можно было бы выправить с помощью отрицательной обратной связи, но тогда усилитель на транзисторах с низкой граничной частотой начинает возбуждаться. Это заставляет конструктора применять более дорогие и редкие транзисторы с высокой граничной частотой.

Всегда ли это оправдано? Опыт автора показал, что если для возбуждения выходных транзисторов использовать транзистор средней мощности с высокой граничной частотой, то оконечный усилитель можно охватить достаточно глубокой отрицательной обратной связью, не рискуя ввести его в режим генерации. Обратная связь позволяет получить отличную частотную характеристику при весьма малых нелинейных искажениях в области звуковых частот.

Здесь некоторые читатели могут возразить автору, ссылаясь на то, что действие отрицательной обратной связи в усилителях на транзисторах с низкой граничной частотой на высших звуковых частотах, уменьшается и нелинейные искажения возрастают. Но не нужно забывать, что параметры такого, например, широкораспространенного транзистора с низкой граничной частотой как П4 за время его выпуска непрерывно улучшались и если в усилителе на транзисторах П4 выпуска 1958 г. можно было получить полосу рабочих частот 20 кГц, то на тех же транзисторах выпуска 1965 г. — 50 кГц, а на аналогах транзисторов П4 — П217 выпуска 1969 г. удастся получить полосу до 100 кГц и соответственно весьма малые нелинейные искажения.

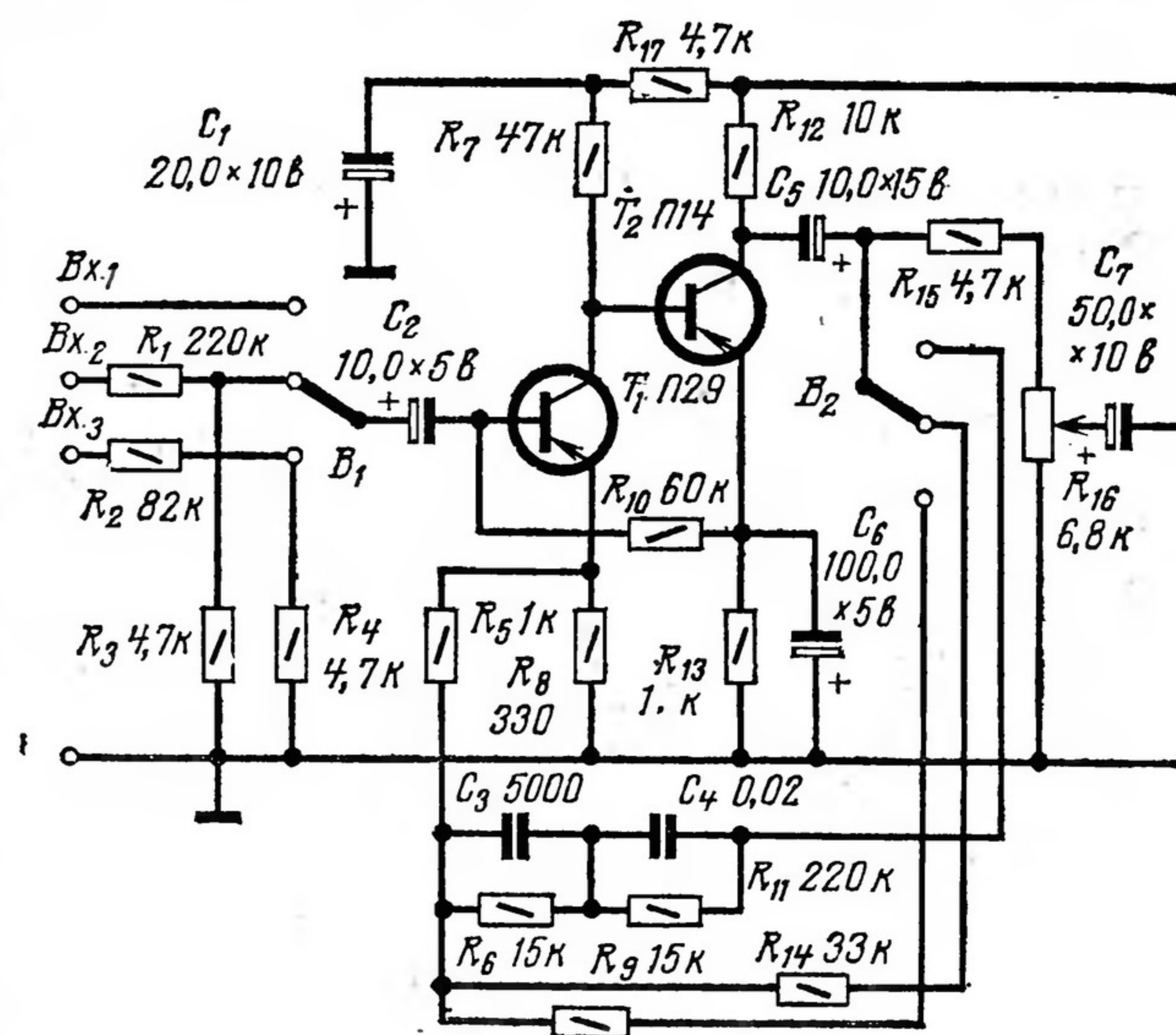
Существует еще один недостаток выходных транзисторов с низкой граничной частотой, который состоит в том, что на высоких частотах их коллекторный ток значительно возрастает, транзисторы разогреваются и выходят из строя. Поэтому параметры элементов разработанного усилителя выбраны таким образом, что коллекторный ток выходных транзисторов на частоте 20 кГц увеличи-

вается незначительно. Усилитель не нуждается в стабилизаторе питающего напряжения и в защите выходных транзисторов от короткого замыкания. Выходная мощность усилителя 8 Вт при нагрузке 8 Ом и входном напряжении 2—3 мВ. Частотная характеристика усилителя на частоте 20 Гц имеет подъем 0,8 дБ, а на частоте 20 кГц завал — 1 дБ. Уровень шумов — 50 дБ, нелинейные искажения типа «ступенька» практически отсутствуют. Ток покоя выходных транзисторов — 11 мА.

Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 1. Первый и второй каскады собраны на транзисторах  $T_1$  и  $T_2$  по схеме с общим эмиттером, отличающейся малым уровнем шума. Переключателем  $B_1$  можно выбрать желаемый источник сигнала: звукосниматель, радиоприемник или магнитофон. Коррекция сигналов, поступающих от перечисленных источников, осуществляется с помощью цепи частотно-зависимой отрицательной обратной связи, элементы которой выбираются переключателем  $B_2$ . Напряжение обратной связи снимается с коллектора транзистора  $T_2$  и подается в цепь эмиттера транзистора  $T_1$ . С нагрузки транзистора  $R_{12}$  сигнал поступает на регулятор громкости  $R_{16}$  и далее на каскады усиления напряжения на транзисторах  $T_3$ ,  $T_4$ . В цепи отрицательной обратной связи, охватывающей эти каскады, включены регуляторы тембра низших  $R_{25}$  и высших  $R_{24}$  частот. В средних положениях регуляторов тембра частотная характеристика усилителя линейна в пределах рабочего диапазона частот. Фильтр  $Др_1$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{15}$ ,  $C_{16}$ , настроенный на частоту 5-6 кГц, позволяет избавиться от шума при прослушивании старых, многократ-

но использованных пластинок. Отдельные элементы фильтра переключаются переключателями  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $B_5$ . В положении «1» фильтр снижает напряжение этой частоты на 9 дБ, в положении «2» на 20 дБ, в положении «3» фильтр из схемы исключается.

Для согласования каскадов предварительного и оконечного усилителя служит эмиттерный повторитель на транзисторе  $T_5$ , с нагрузки которого сигнал поступает на транзистор  $T_6$  и далее на транзистор  $T_7$ . С нагрузки транзистора  $T_7$  усиливаемый сигнал поступает на фазоинверсный трансформатор  $Тр_1$ . Назначение трансформатора — подать одинаковые по величине, но разные по фазе напряжения на базы выходных транзисторов  $T_8$  и  $T_9$ . Использование трансформатора не совсем удобно, но он избавляет радиолюбителей от необходимости подбора двух одинаковых транзисторов с разной проводимостью для фазоинверсного каскада. Работают выходные транзисторы в режиме класса В. В цепи их эмиттеров включены стабилизирующие резисторы  $R_{41}$ ,  $R_{42}$ . Подбирая сопротивление этих резисторов, можно



выровнить токи выходных транзисторов, и таким образом получить минимальный коэффициент нелинейных искажений сигнала. Нагружен усилитель на два последовательно соединенных громкоговорителя 4ГД-28. Питается он от двупольного выпрямителя, выполненного по мостовой схеме на диодах  $D_2-D_5$ . Такое питание позволяет применить в усилителе транзисторы любой проводимости и электролитические конденсаторы с низким рабочим напряжением. Глубокая отрицательная обратная связь (до 32 дБ) в оконечных каскадах усилителя позволяет обойтись без сглаживающего дросселя и стабилизатора напряжения питания. Напряжение обратной связи снимается с выхода усилителя и через резистор  $R_{34}$  подается в цепь эмиттера транзистора  $T_6$ .

### Детали и конструкция

Усилитель смонтирован на текстолитовой плате размером  $268 \times 180 \times 4$  мм (см. рис. 2). На ней размещены: переходной трансформатор  $Tr_1$ , радиаторы с выходными транзисторами, монтажная плата с деталями каскадов оконечного усилителя, силовой трансформатор с электролитическими конденсаторами и выпрямительные диоды.

Данный усилитель может быть использован как один из каналов стереофонического усилителя. Вариант такого усилителя показан на приведенной выше фотографии. В отличие от широко распространенных стереофонических усилителей он имеет отдельные для каждого канала регуляторы громкости. Детали каскадов предварительного усиления

Рис. 1

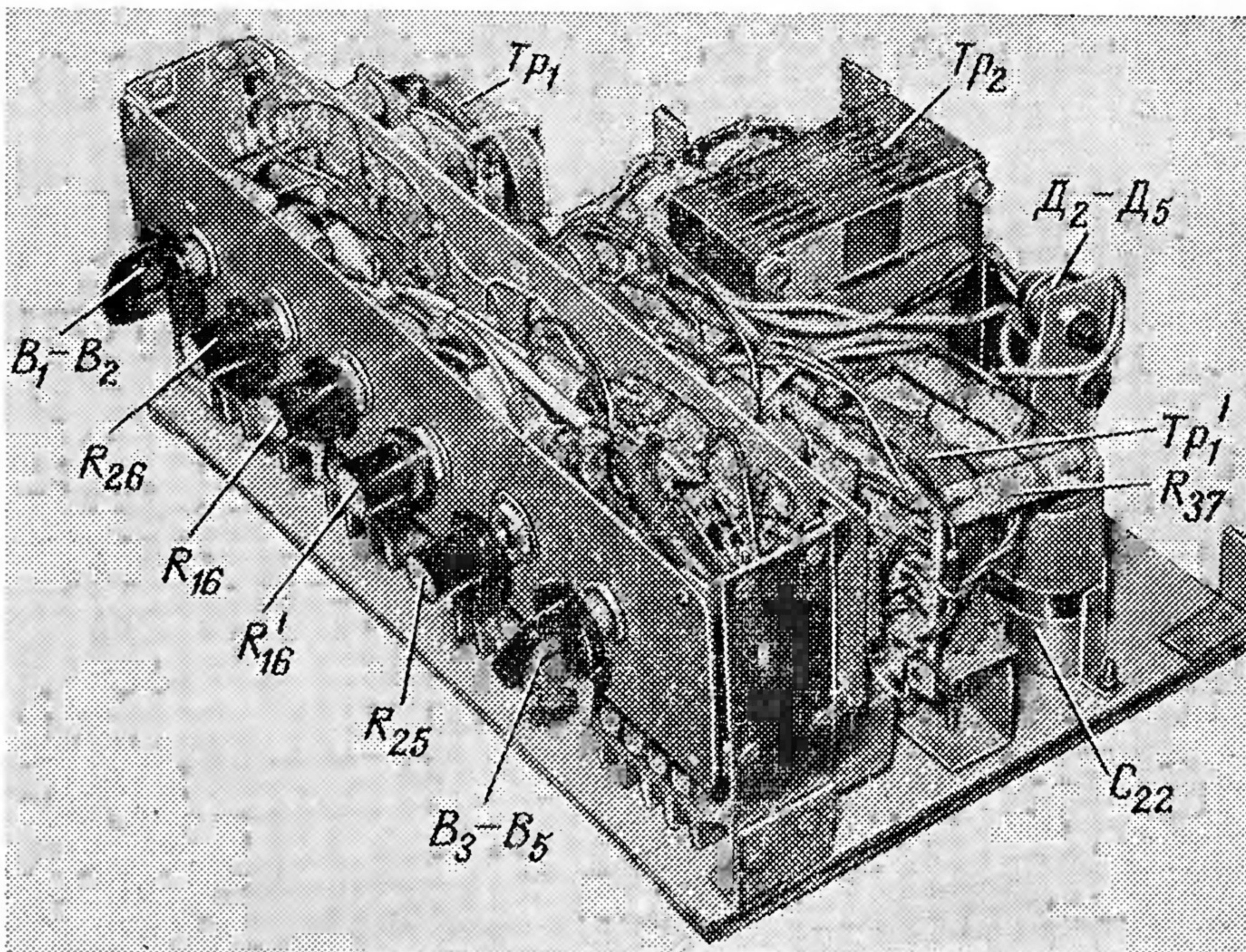
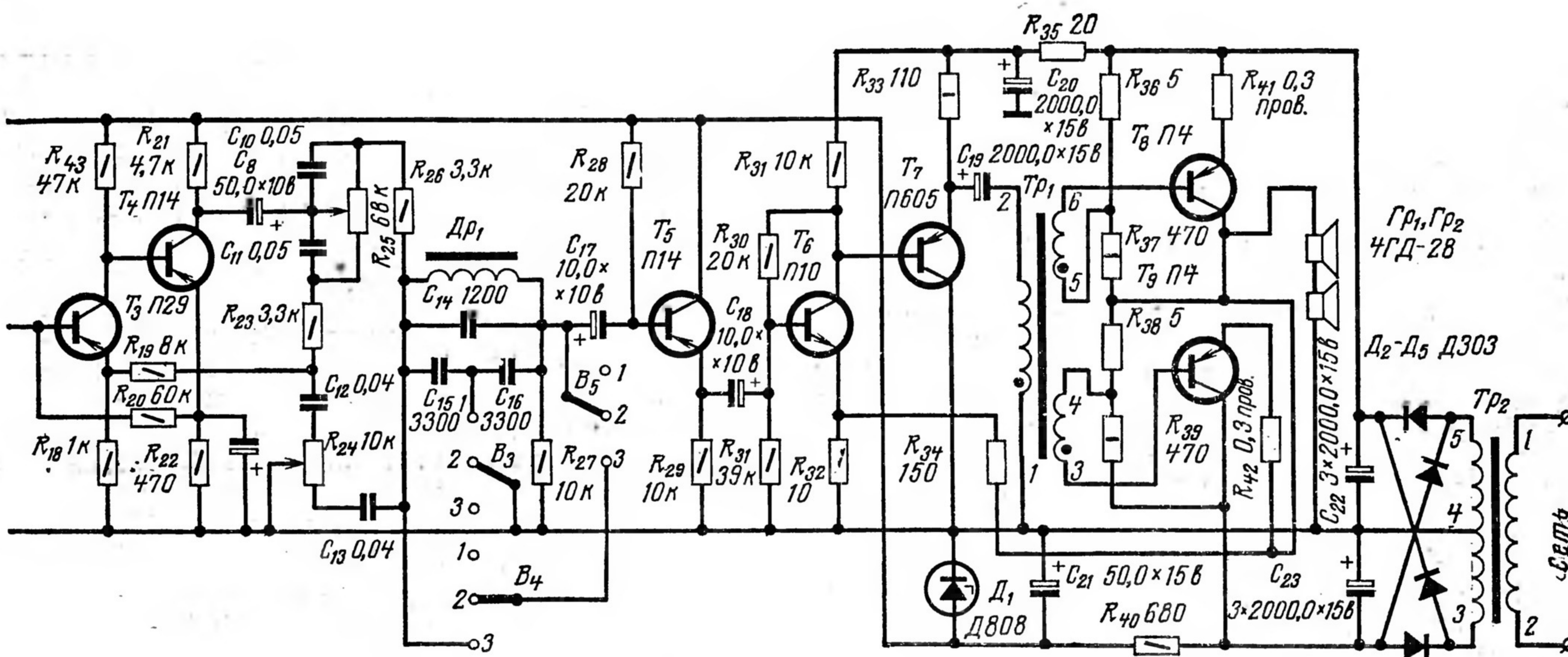


Рис. 2

размещены на гетинаксовой пластине размером  $260 \times 60 \times 4$  мм (рис. 3). Переключатели рода работы и переменные резисторы смонтированы на дюралюминиевой пластине размером  $260 \times 60 \times 3$  мм. Обе эти пластины собраны в единый блок размером  $260 \times 50 \times 60$  мм, который укреплен на стойках основной панели над радиаторами выходных транзисторов.

В данной конструкции используется силовой трансформатор от магнитофона «Яуза-5». Его сердечник выполнен из пластин Ш19, толщина набора 38 мм. Число витков сетевой обмотки не изменяется. Понижаю-

щую обмотку следует перемотать. Она намотана в два провода и содержит 100 витков провода ПЭВ-1 0,8. Переходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш10, толщина набора 10 мм. Все три обмотки наматывают одновременно (в три провода), они содержат по 300—400 витков провода ПЭВ-1 0,22. Дроссель  $Dr_1$  намотан на торопидальном сердечнике с внешним диаметром 30 мм и внутренним 18 мм из феррита с магнитной проницаемостью



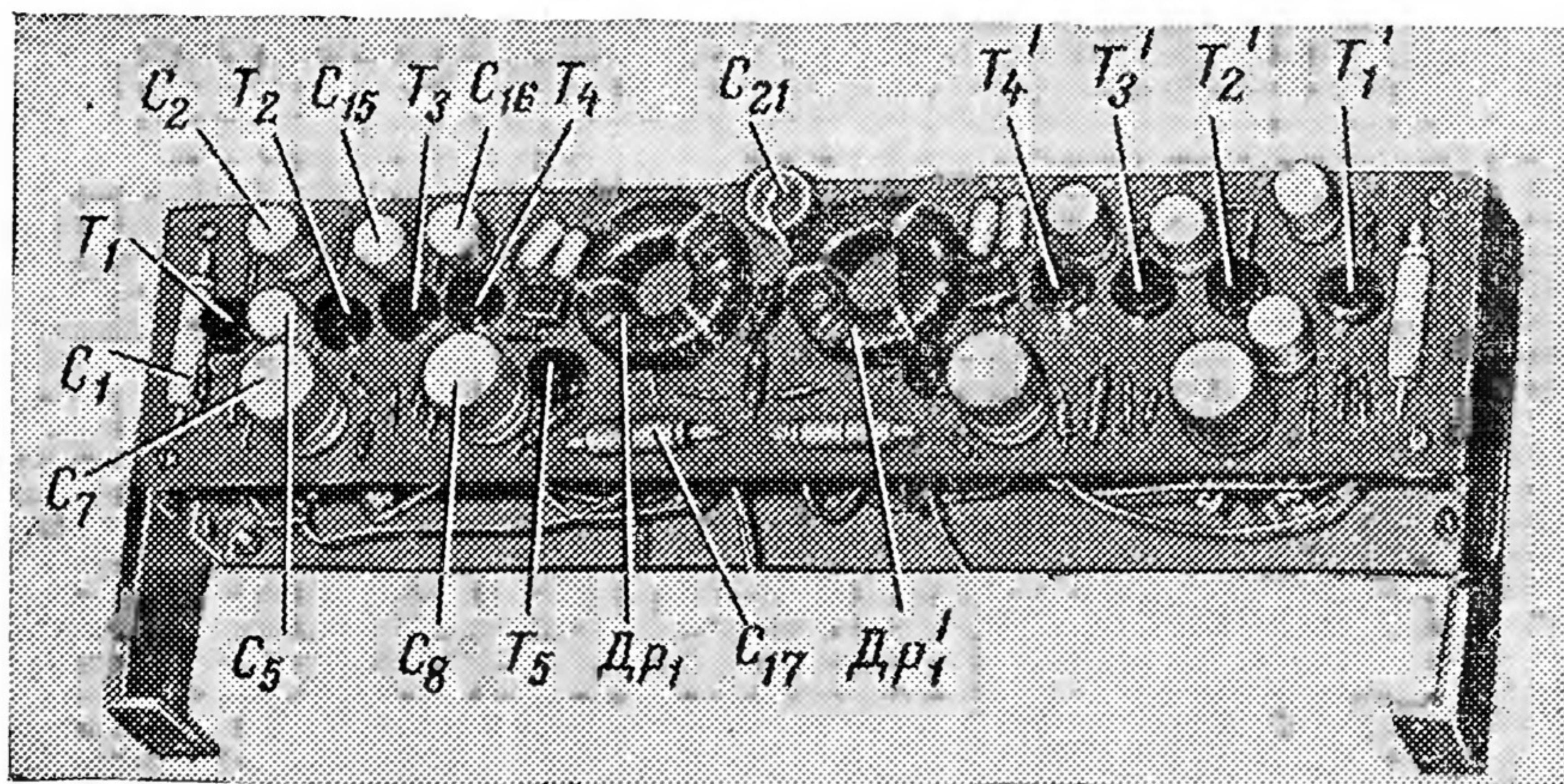


Рис. 3

2000. Обмотка дросселя содержит 485 витков провода ПЭЛШО 0,1. Переменные резисторы  $R_{24}$  и  $R_{25}$  имеют кривую изменения сопротивления типа А, а  $R_{16}$  типа В. Резисторы  $R_{32}$ ,  $R_{35}$ ,  $R_{36}$ ,  $R_{38}$ ,  $R_{41}$ ,  $R_{42}$  самодельные, они выполнены из марганцевого провода диаметром 0,1 мм. Резисторы  $R_{41}$ ,  $R_{42}$  выполнены в виде двух толстых медных проволок, между которыми припаян провод большого сопротивления длиной 150—200 мм. Изменяя длину этого провода, можно регулировать сопротивление резистора.

### Налаживание усилителя

Налаживание усилителя следует начинать с оконечного каскада, для этого на первичную обмотку трансформатора  $Tr_1$  следует подать напряжение сигнала порядка долей вольта, например от накальной обмотки силового трансформатора, а к эквиваленту нагрузки (резистор сопротивлением 6—8 Ом) — вольтметр постоянного тока. При идентичных параметрах плеч выходного каскада на нагрузке нет постоянного напряжения при любом сигнале. Если же стрелка вольтметра все же

отклонится, необходимо при слабом сигнале подобрать сопротивления резисторов  $R_{36}$  и  $R_{38}$ , а при сильном —  $R_{41}$  и  $R_{42}$ . Сбалансировав выходной каскад, следует определить отдаваемую им мощность. Затем, подключив звуковой генератор к базе транзистора  $T_6$ , нужно снова определить отдаваемую усилителем мощность. Если во втором случае мощность будет меньше, необходимо установить больший ток транзистора  $T_7$ , уменьшив сопротивление резисторов  $R_{30}$  или  $R_{35}$ . Ток транзистора  $T_7$  должен быть таким, при котором обеспечивается симметричное ограничение положительной и отрицательной полуволн синусоиды. Такая сравнительно простая регулировка позволяет обойтись без специальных устройств, защищающих выходные транзисторы. При коротком замыкании в нагрузке транзистор  $T_7$  ограничивает ток выходных транзисторов и предохраняет их от пробоя.

Перед окончательным измерением выходной мощности полезно произвести ее ориентировочный расчет. Известно, что выходная мощность зависит от напряжения питания и сопротивления нагрузки. Таким образом, если напряжение на конденсаторе  $C_{22}$  составляет 13,5 в, а сопротивление нагрузки равно 10 Ом, то допустив, что на транзисторе  $T_8$  и резисторе  $R_{41}$  падает 1,5 в, можно определить ток через нагрузку  $13,5 - 1,5 \text{ в} / 10 \text{ Ом} = 1,2 \text{ а}$ , а отсюда выход-

ную мощность  $\frac{1,2 \cdot 12}{2} = 7,2 \text{ Вт}$ . Таким

расчетом можно пользоваться при определении выходной мощности любого транзисторного усилителя.

Проверив мощность усилителя, следует установить чувствительность оконечного каскада в пределах 0,5 в. Делается это путем изменения глубины отрицательной обратной связи

с помощью подбора сопротивления резистора  $R_{34}$ . Чем больше сопротивление резистора  $R_{34}$ , тем выше чувствительность усилителя.

Особое внимание следует обратить на порядок включения обмоток трансформатора  $Tr_1$ , поскольку при неправильном включении возможно самовозбуждение усилителя. Иногда самовозбуждение наблюдается при замене эквивалента нагрузки громкоговорителями. В этом случае генерацию можно устранить, включив конденсатор емкостью 0,05 мкФ параллельно выходным гнездам усилителя. При налаживании предварительного усилителя на базу транзистора  $T_5$  подают сигнал от звукового генератора и, подбирая сопротивление резистора  $R_{28}$ , добиваются одинакового ограничения положительной и отрицательной полуволн синусоидального сигнала, в режиме максимальной мощности.

При неудачном сочетании транзисторов в оконечном каскаде хорошо налаженный усилитель начинает генерировать при подаче сигнала на базу транзистора  $T_5$ . Генерацию можно снять включением резистора сопротивлением около 500 Ом в провод, соединяющий предварительный усилитель с оконечным. В регуляторе тембра желательно подобрать RC-элементы с одинаковыми номиналами:  $R_{23} = R_{26}$ ,  $C_{11} = C_{10}$ ,  $C_{16} = C_{15}$ . Фильтр срезания шума настраивают подбором емкости конденсатора  $C_{14}$ .

Чувствительность предварительного усилителя должна быть равна 2—3 мВ. Она получается при применении транзисторов  $T_1 - T_5$  с  $B_{ст} = 20 - 30$ . Чувствительность можно снизить, увеличив глубину обратной связи, уменьшением сопротивления резистора  $R_{19}$ . В этом случае повысится глубина регулировки тембра.

Последним этапом регулировки предварительного усилителя является подбор сопротивлений резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  с тем, чтобы при переключении с одного источника сигнала на другой не нужно было дополнительно регулировать громкость. В процессе налаживания усилителя необходимо установить режимы транзисторов, приведенные в таблице. Режимы измерены вольтметром с входным сопротивлением 10 Мом. Напряжения на электродах транзисторов  $T_1 - T_7$  измерены относительно общего провода, а  $T_8$  и  $T_9$  относительно их эмиттеров,

Обозначение по схеме	$U_K, \text{ в}$	$U_Э, \text{ в}$	$U_Б, \text{ в}$
$T_1$	-0,5	-0,04	-0,1
$T_2$	-1	0,4	-0,52
$T_3$	-0,62	-0,1	-0,2
$T_4$	-2,5	-0,5	-0,62
$T_5$	-7,2	-6,4	-6,6
$T_6$	+3,2	0	+0,1
$T_7$	0	+3,2	+3,4
$T_8$	-14	0	-0,2
$T_9$	-14	0	-0,2