

Н. ЗЫКОВ

Усилители низкой частоты со сплавными транзисторами в выходном каскаде плохо воспроизводят высшие частоты звукового диапазона. Это объясняется тем, что низкочастотные транзисторы типов П201-гП203; П4; 11210; 11214 и т. п. имеют низкую граничную частоту усиления в схемах с общим эмиттером я общим коллектором ($f_{г} > k_{гц}$), и при работе на полную мощность в области высоких частот перегреваются, и часто выходят из строя. Нелинейные искажения в выходных усилителях на высоких частотах весьма значительны. Все эти причины резко ограничивают применение транзисторных усилителей 114 в высококачественных магнитофонах, радиолах и телевизорах.

Указанные недостатки устраняются при использовании в выходных каскадах конверсионных транзисторов средней и большой мощности. Применение таких транзисторов позволяет реализовать все преимущества транзисторных схем — высокий к. п. д., малый вес и большую долговечность при весьма высокой верности воспроизведения в широком диапазоне частот.

К наиболее распространенным и сравнительно недорогим относятся отечественные германиевые конверсионные транзисторы средней мощности типов П601И, П601АИ, П601БИ, П602И, П602АИ, П605 и П606. Эти транзисторы характеризуются высокой граничной частотой усиления. Для частот звукового и ультразвукового диапазона усиление практически определяется статическим коэффициентом усиления $B_{ст}$.

На рис. 1 показана зависимость коэффициента усиления от частоты для транзисторов типов 11201-11203 и транзисторов П601-П602. Если у транзисторов типа ГТ201-ГТ203

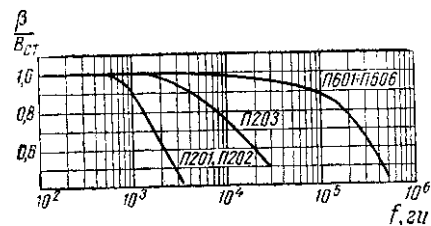


Рис. 1

коэффициент $f_{г} \# CT$ на частотах 2-г $TM4$ $k_{гц}$ начинает резко падать, то у транзисторов П601-М1606 на частоте порядка 100 $k_{гц}$ этот коэффициент еще близок к единице.

Величина нелинейных и интермодуляционных искажений в подобных усилителях, собранных на транзисторах типа 11601-П606, может быть весьма незначительной и, что наиболее важно, в отличие от большинства ламповых, практически не изменена в диапазоне частот от 20 $гц$ до 20 $k_{гц}$ и составляет обычно 0,5-1,0, 7% при 0,5-0,8 максимальной выходной мощности.

При проектировании выходных каскадов усилителей 114 на транзисторах 11601-11606 необходимо учитывать некоторые особенности, присущие этим транзисторам. Во-первых, конверсионные транзисторы, в отличие от плоскостных, имеют очень малое максимально допустимое обратное напряжение, прикладываемое к переходу база-эмиттер (для 11605 и 11606 оно составляет всего один вольт, а для П601И, П601АИ, Г1601БИ, ППИ)211, 11602АИ — 0,5 $в$).

Исходя из этой особенности, необходимо принимать специальные меры для того, чтобы обратное напряжение не превышало предельно допустимой величины. Во-вторых, транзисторы П601-П606 имеют большое сопротивление насыщения $B_{нас}$, которое достигает 3-4 $ом$ при токах коллектора, близких к максимальному значению $I_{к, макс}$, и тогда падение напряжения на коллекторном переходе $U_{кп}$ может составлять 4-6 $в$. Большое сопротивление насыщения приводит к снижению максимального к. п. д. выходного каскада при работе на низкочастотную нагрузку:

$$\eta_{н} = \frac{I_{к} B_{н}}{I_{к} B_{нас} + I_{к} R_{н}} = 0,75 (75\%)$$

где: $B_{н}$ — сопротивление нагрузки, $ом$; $B_{нас}$ — сопротивление насыщения транзистора (для транзисторов П601-П606 $B_{нас} = 3-4$ $ом$); $R_{н}$ — добавочный резистор в цепи эмиттера, $ом$.

На рис. 2 приведен график зависимости выходной мощности и к. п. д. описываемых ниже усилителей от сопротивления нагрузки. Как видно из графика, к. п. д. выходного каскада, выполненного на транзисторах

П605 выше при работе на более высокоомную нагрузку.

Для бестрансформаторного варианта усилителей (рис. 3, 4) максимальная неискаженная выходная мощность может быть подсчитана по следующим формулам:

$$P_{н} = \frac{U_{к, макс}^2}{4 R_{н}}$$

где: $B_{н}$ — сопротивление нагрузки, $ом$;

$I_{к, макс}$ — пиковое значение коллекторного тока, $а$.

Определяя нагрузочные соотношения, следует учитывать, что они ограничиваются предельно допустимыми значениями $I_{к, макс}$, $U_{к, макс}$ и $R_{к, макс}$, которые приводятся в паспорте для каждого транзистора.

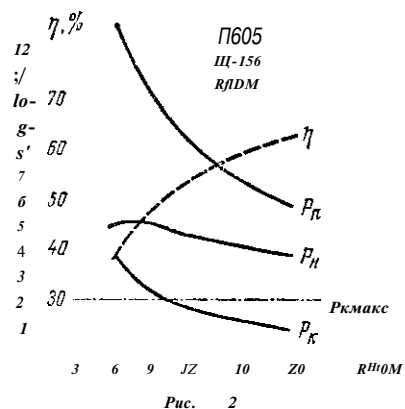


Рис. 2

Наилучшим тепловым режимом и наибольшим к. п. д. обладают двухтактные схемы, работающие в режиме класса В. Для транзисторов П601-П606 коллекторный ток покоя I_0 выбирается в пределах 10-1-25 $ма$. При этом мощность, рассеиваемая транзистором, составляет десятки милливольт. Мощность, рассеиваемая транзистором в рабочем режиме, подсчитывается по формуле:

$$P_{р} = I_{к, макс}^2 R_{к} = 4 I_{к, макс}^2 R_{к}$$

Приведенные в справочниках предельно допустимые значения мощности, рассеиваемой транзисторами П601И-П606 с теплоотводом, будут равны 3 $вт$. Однако при эксплуатации усилителя в реальных условиях температура окружающей среды может достигать 45-50° С, что связано с уменьшением предельно допустимой мощности рассеяния. Эта взаимосвязь характеризуется формулой:

$$P_{р} = \frac{P_{р, макс}}{1 + \frac{T - T_{н}}{C_{л}}}$$

где: T — тепловое сопротивление переход-корпус транзистора в °С cm . Для транзи-

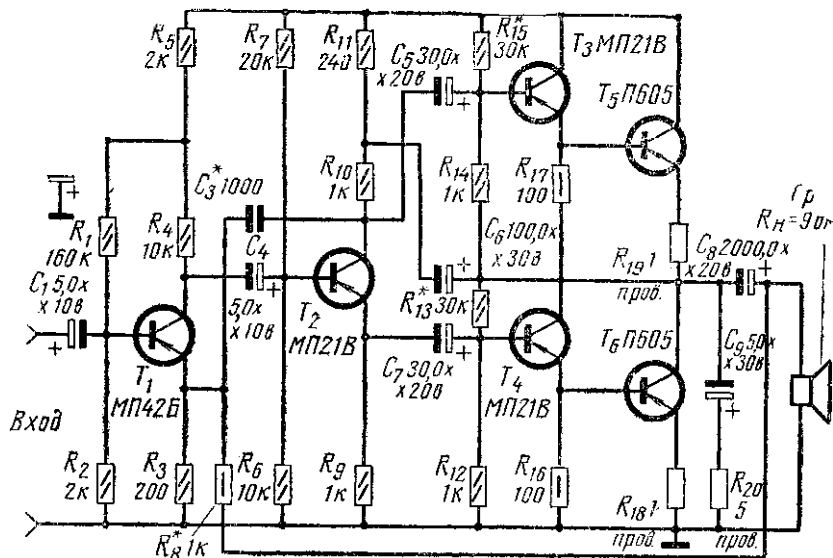


Рис. 3

сторов П(Ю1-т-П60) Я_{пк} = -15° C/ПЦ
 теплое сопротивление корпуса транзистора — окружающая среда в ° C/см (оно зависит от качества теплоотвода; при использовании теплоотвода с общей поверхностью охлаждения 300 см² РК&b°C/см).
 Мощность постоянного тока, потребляемая оконечным каскадом от источника питания, подсчитывается по формуле:

К. п. д. оконечного каскада можно определить по формуле:

Произведем примерный расчет оконечного каскада по схеме, приведен-

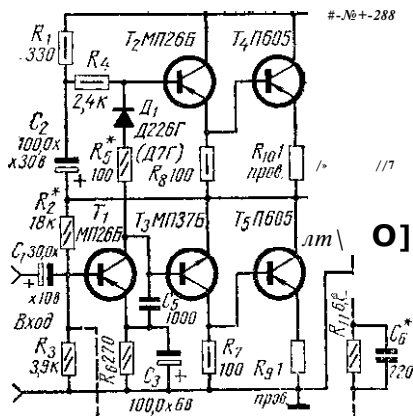


Рис. 4

ной на рис. 4, в котором используются транзисторы типа Г1605.

Дано: $I_{п} \sim 24$ в, $R^* \sim 1$ ом; $H_{п} = 9$ ом; $h_{Y} \sim 4$ ома; $I_{а-1}$ б
 "среды" ~ 10 C/см; $I_{пк} \sim 5$ C/см.

Определим пиковое значение тока в нагрузке:

$$W = 9 + 4 + 1 = 0,85 \text{ а}$$

Максимальная мощность, отдаваемая в нагрузку, равна:

$$9 \cdot 0,85^2 = 6,8$$

Подсчитаем мощность, рассеиваемую каждым транзистором:

$$I_{п} \sim 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ в;}$$

$$I_{пк} \sim 0,85 \cdot 1 = 0,85 \text{ в;}$$

$$I_{пк}^2 \cdot R_{пк} = 0,85^2 \cdot 10 = 0,72 \text{ вт}$$

Проверим, не превышает ли мощность, рассеиваемая транзистором Рк, предельно допустимую $R_{к \text{ макс}}$ для данных транзисторов при температуре окружающей среды, равной +45° С:

$$R_{к \text{ макс}} \sim 15 + 5 \cdot 0,2 = 16 \text{ вт}$$

Определим мощность, потребляемую от источника питания и к. п. д. оконечного каскада:

$$P_{п} = \frac{2 \cdot I_{п} \cdot I_{пк}}{n} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 0,85}{3,14} \approx 6,5 \text{ вт;}$$

$$\eta = \frac{P_{н}}{P_{п}} = \frac{3,15}{6,5} \approx 0,48 \text{ (48\%)}$$

Ниже приводится описание нескольких вариантов оконечных усилителей НЧ, выходные каскады которых выполнены на транзисторах

типа П605. Они пригодны для использования в магнитофонах, радиодах, телевизорах с выходной мощностью до 3—4 вт.

Схема одного из вариантов оконечного усилителя показана на рис. 3. Возбуждение оконечного каскада на транзисторах T_3 и T_4 осуществляется фазоинвертером с разделенной нагрузкой на транзисторе T_2 и эмиттерными повторителями на T_3 и T_4 , назначение которых — согласование низкого входного сопротивления транзисторов T_3 и T_4 с выходным сопротивлением фазоинвертера.

Так как транзисторы T_2, T_3, T_4 включены последовательно, то напряжение, прикладываемое к коллекторному переходу этих транзисторов равно:

$$U_{пк} = E_{п} - U_{э} \sim 21,5 \text{ в}$$

Полученное значение предопределяет применение во втором и третьем каскадах усилителя (Г²—Г⁴) высоковольтных транзисторов типа МП21 В и МП26.

Усилитель на нагрузке 9-М2 ом развивает около 3 вт выходной мощности. При отрицательной обратной связи глубиной 26 дб величина входного сигнала должна быть около 1 в. Входное сопротивление усилителя — 2 ком. Частотная характеристика равномерна в диапазоне частот от 30 гц до 30 кгц.

На рис. 4 приведена принципиальная схема простого усилителя 114 универсального назначения. В зависимости от напряжения источника питания его можно использовать либо в переносных конструкциях, либо в стационарных. При напряжении питания 28—30 в максимальная выходная мощность усилителя может достигать 1 вт для нагрузок от 10 до 18 ом (см. рис. 2). Если усилитель должен питаться от источника с напряжением 12 в, его выходная мощность не будет превышать 0,8-И),9 вт для громкоговорителя с сопротивлением 4,5-6 ом. Частотная характеристика усилителя равномерна в диапазоне частот от 30-40 гц до 40-50 кгц.

Чувствительность усилителя 150—4-250 мв, при входном сопротивлении около 400 ом. Если ввести дополнительную цепь отрицательной обратной связи, как это показано пунктиром на рис. 4, то ее глубина составит 16—20 дб. Следует учитывать, что входное сопротивление усилителя при этом упадет до 100—4-150 ом.

Усилитель отличается тем, что возбуждение оконечного каскада в нем осуществляется транзисторами разной проводимости по так называемой схеме с дополнительной симметрией фазоинверсионного каскада.

Для переносных или автомобильных радиоприемников, магнитофо-

нов с повышенной выходной мощностью можно рекомендовать усилитель, приведенный на схеме рис. 5. Его выходная мощность $2,7 > 3$ Вт на нагрузке $4-5$ Ом. В зависимости от глубины отрицательной обратной связи, определяемой резистором R_6 , сигнал, подаваемый на вход усилителя, может изменяться в пределах от $0,1$ до $0,5$ В. Применение в этом усилителе выходного трансформатора Tp объясняется низким напряжением источника питания и значительной выходной мощностью. В остальном схема усилителя аналогична приведенной на рис. 3. Трансформатор намотан на тороидальном сердечнике марки ОЛ-25/40-20. Его первичная обмотка содержит 2×200 витков провода ПЭВ-1 $0,33$, вторичная — 100 витков провода ПЭВ-2 $0,8$. Трансформатор можно намотать и на сердечнике из трансформаторной стали марки Э320 с сечением порядка 2 см². Число витков обмоток можно не изменять.

Рассматриваемый усилитель работает в режиме класса В, поэтому расчетные соотношения, приведенные выше, справедливы и для данного усилителя. Если коэффициент трансформации выходного трансформатора не равен 1, то величину $k_{\text{м}}$ необходимо рассчитать с нагрузкой $Z_{\text{н}}$, приведенной к первичной обмотке трансформатора:

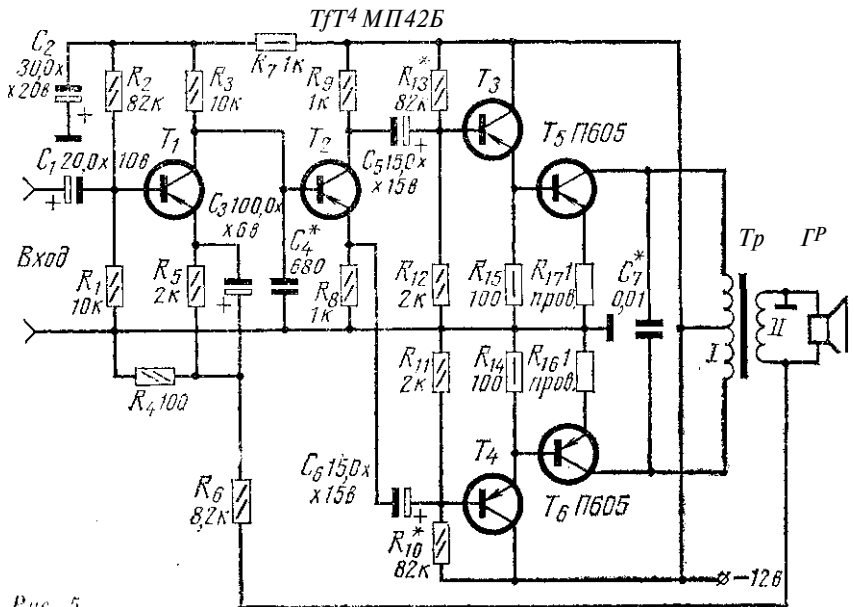


Рис. 5

$$P \sim B$$

где: $B_{\text{н}}$

число витков одного плеча первичной обмотки,

$T_{\text{н}}$ — число витков вторичной обмотки выходного трансформатора.

В заключение необходимо сказать, что все рассмотренные усилители отличаются невысоким входным сопротивлением (порядка $1-3$ ком) и предназначены для работы от предварительных усилителей НЧ, которые должны содержать в себе необходимые элементы согласования, усиления и регулирования.

ПРИБОРЫ „ВИДЯТ” НОЧЬЮ

(Окончание. Начало на стр. 17)

Расположив полученные сигналы соответствующим образом, можно получить тепловое изображение объектов или тепловую карту местности. Такие приборы называются тепловизорами. Записанную ими информацию можно передавать по радиолинии, подобно телевизионным сигналам.

Радиометры и тепловизоры различают излучения с разницей температур в сотые доли градуса, а чувствительность их настолько высока, что они могут обнаруживать тепловое излучение земной поверхности и ее атмосферы (облаков) даже из Космоса.

Однако на выходе радиометра нет сигналов, характеризующих положение обнаруженных объектов в пространстве, или, как говорят, нет пеленга на эти объекты. Попробуем такой сигнал получить. Уберем эталонный излучатель и заменим модулятор 2 таким, какой показан на рисунке. Этот модулятор также выполнен в виде непрозрачного для ИК-лучей диска, в котором одна половина состоит из радиально расположенных прозрачных и непрозрачных секторов (растра), а другая — из концентрических. При пересечении потока излучения концентрическим растром модуляции (прерывания) потока не производится: на выходе усилителя будет постоян-

ный сигнал независимо от положения изображения цели «Ц» в плоскости модулятора. При подходе радиального растра ниток модулируется, глубина модуляции или величина потока, поступающего на приемник, как это видно из рисунка, изменяется при радиальном перемещении изображения «Ц». Начало же модуляции определяется угловым положением изображения «Ц». Таким образом фаза выходного сигнала и его величина определяют координаты изображения цели в плоскости модулятора, которые характеризуют положение цели в пространстве по отношению к оптической оси прибора. Приборы, определяющие направление на цель по ее тепловому излучению, называются теплопеленгаторами.

Поставив такой прибор на управляемую ракету и подав выходной сигнал на механизм отклонения рулей, получают инфракрасную систему самонаведения. Такие системы могут применяться, например, в ракетах класса «воздух—воздух» и в зенитных управляемых ракетах (ЗУР).

Таковы некоторые примеры использования инфракрасных лучей в военном $\% > \text{ле}$.

И. УСОЛЬЦЕВ