

Переменное напряжение сигнала в цепи анода выходной лампы  $\Delta u_{\text{вых}}$  определяется соотношением  $\Delta u_{\text{вых}} = \Delta i_a * R_a$

Введение в выходной каскад отрицательной обратной связи по току через резистор  $R_k$ , а также использование ультралинейной схемы включения пентодов и тетродов, приводит к уменьшению чувствительности выходного каскада дополнительно в 1,2–1,5 раза, что также следует учитывать при расчете  $U_{\text{вх}}$ .

Если расчетная выходная мощность каскада недостаточна, можно прибегнуть к параллельному включению двух выходных ламп, что приведет к изменению некоторых параметров выходного каскада. У параллельно включенных ламп изменяется внутреннее сопротивление  $R_i$ . Поэтому при расчетах следует пользоваться эквивалентным сопротивлением  $R_{i \text{ экв}}$ . Для двух параллельных ламп, работающих в режиме А,  $R_{i \text{ экв}} = R_i / 2$ , для режима В  $R_{i \text{ экв}} = R_i / 4$ . Соответственно изменится оптимальное сопротивление анодной нагрузки  $R_a$ , а также увеличится в два раза максимальное значение анодного тока, что и позволит увеличить выходную мощность. На практике мощность увеличивается не в два раза, а немного меньше из-за неравномерного распределения токов между лампами. Для выравнивания токов можно включить в катодную цепь каждой лампы небольшое сопротивление порядка десятков-сотен Ом.

#### 4. ФАЗОИНВЕРТОР

Фазоинвертор является специфическим каскадом, применяемым в двухтактных усилителях для расщепления сигнала на две противофазные полуволны. Поскольку любой каскад с нагрузкой в анодной цепи инвертирует сигнал, очень часто применяется простая схема фазоинвертора на двух усилительных каскадах (рис. 5).

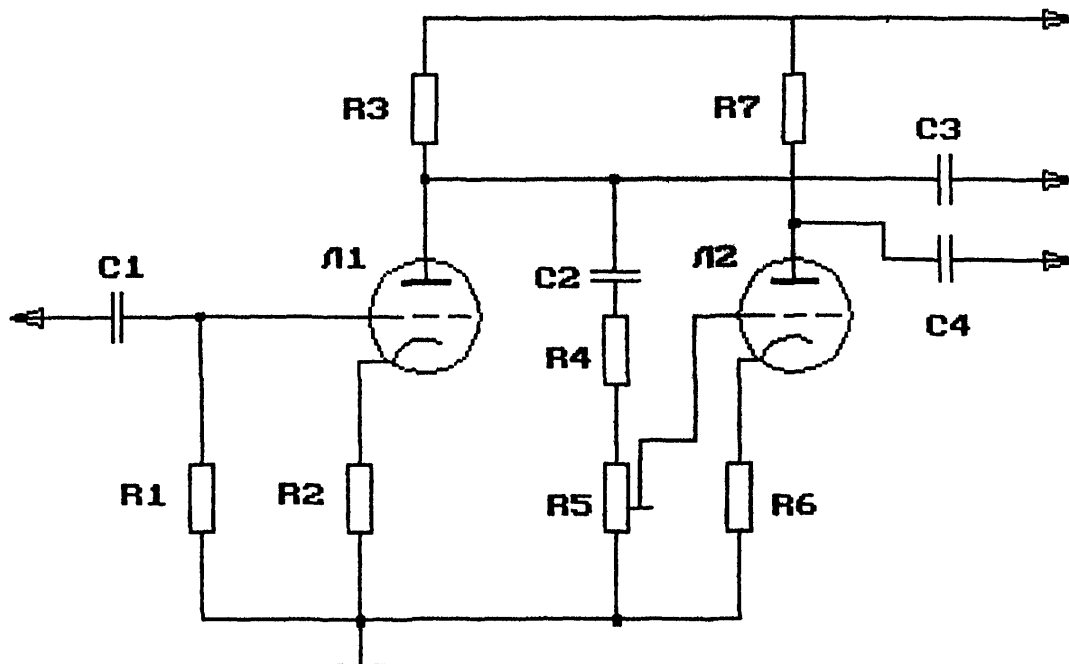


Рис. 5. Двухкаскадный фазоинвертор

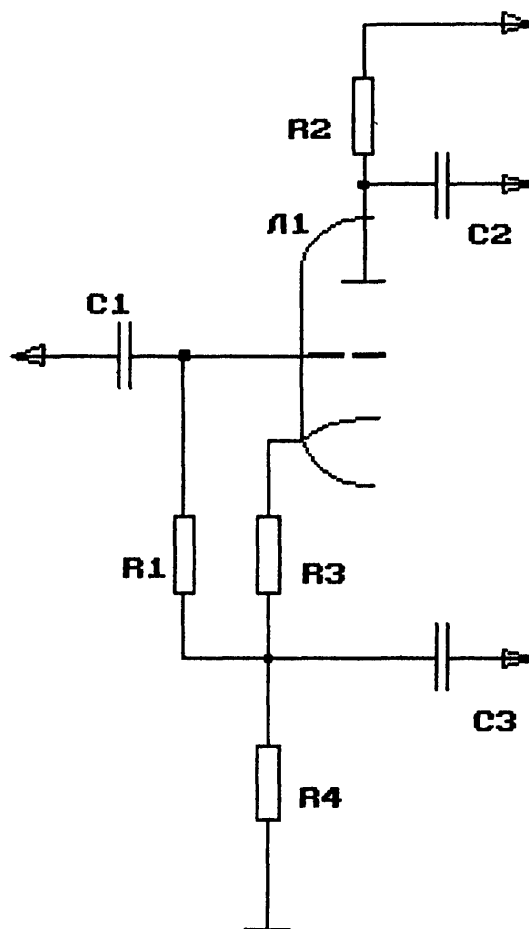
Рис. 6. Фазоинвертор на основе катодного повторителя

Фазоинвертор представляет собой два усилительных каскада с общим катодом, которые будут подробнее рассмотрены ниже. Сигнал с выхода первого каскада поступает на один из входов двухтактного каскада, а также через делитель напряжения  $R4R5$  на вход второго инвертирующего каскада. Подстроечным резистором  $R5$  уровень сигнала на входе устанавливается таким, чтобы выходные напряжения обеих половолн были равны. Достоинством схемы на рис.5 является усиление входного сигнала. К сожалению, эта схема имеет серьезные недостатки и не может быть использована в высококачественных усилителях.

Во-первых, она вносит больше фазовых и частотных искажений, чем другие схемы фазоинверторов, из-за наличия большего числа разделительных конденсаторов. Во-вторых, данная схема не обладает стабильностью параметров и нуждается в профилактических регулировках при старении ламп и при их замене.

Значительно большей стабильностью обладает схема на основе катодного повторителя с расщепленной нагрузкой (рис.6).

В этой схеме резисторы  $R2$  и  $R4$  служат нагрузками каскада, на которых выделяется противофазный сигнал. Резистор автоматического смещения  $R3$  задает ток покоя каскада, а сеточный резистор  $R1$  определяет входное сопротивление. Так как падение напряжений на резисторах  $R2$  и  $R4$  создается одним и тем же током  $\Delta i_a$ , равенство напряжений половолн сигнала определяется только равенством сопротивлений этих резисторов и не зависит от параметров лампы. Применяв в качестве сопротивлений  $R2$  и  $R4$  прецизионные резисторы с допуском 0,5–1%, можно получить высокую точность половолн сигнала. Эта схема не требует регулировок при замене лампы. Недостатком этой схемы является то, что такой каскад имеет усиление меньше 1, что в ряде случаев можно компенсировать, применив в выходном каскаде лампы с большим коэффициентом усиления. Можно также ввести дополнительный драйверный каскад между фазоинвертором и выходным каскадом, однако дополнительный каскад внесет дополнительные частотные, фазовые и нелинейные искажения.



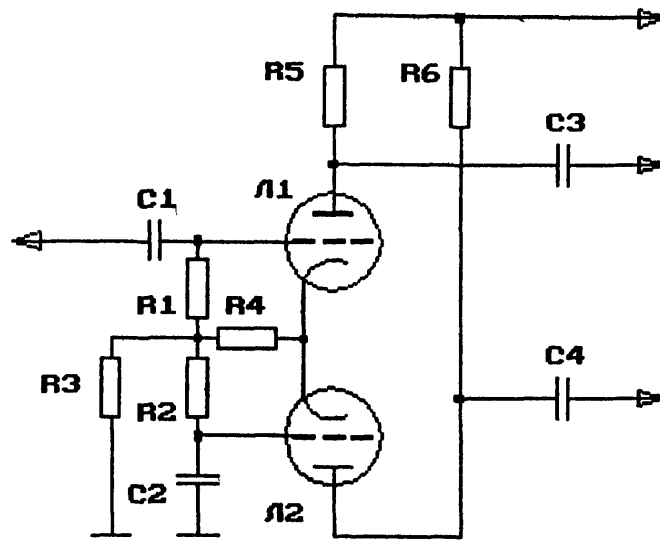


Рис.7. Фазоинвертор на основе балансного каскада

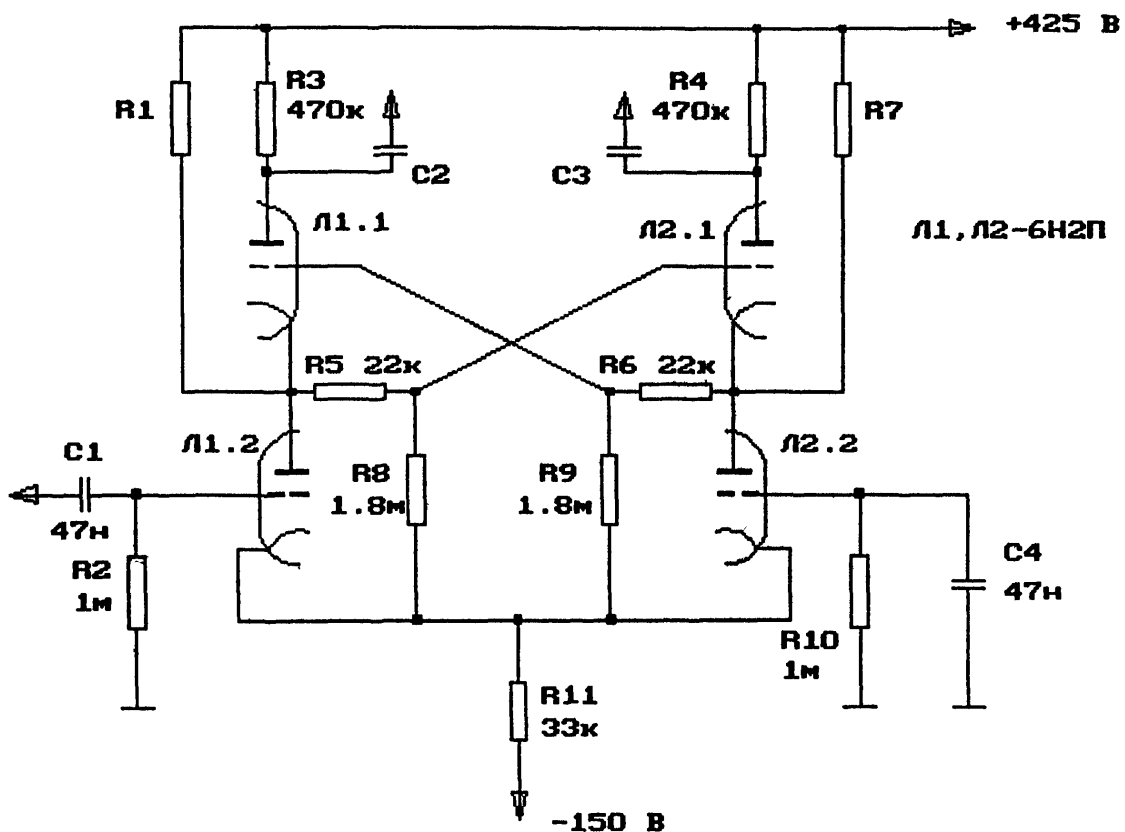


Рис.8. Самобалансирующий каскодный фазоинвертор

Гораздо совершеннее схема на основе балансного каскада усиления (рис.7). Данная схема является схемой самобалансирующегося фазоинвертора. Каскад на лампе Л1 – усилитель с общим катодом. Лампа Л2 включена по схеме с общей сеткой и управляется катодным током лампы Л1 через общий катодный резистор R3. Сетки обеих ламп подключены к общему резистору автоматического смещения R4, что обеспечивает равенство напряжений смещения и, следовательно, анодных токов покоя. Сетка лампы Л2 заземлена по переменному току через конденсатор C2. Для обеспечения высокой точности расщепленного сигнала в каче-

стве анодных сопротивлений  $R_5$  и  $R_6$  следует применить прецизионные резисторы. Такой фазоинвертор, обладая большим усилением, может сделать ненужным применение на входе усилителя предварительного каскада усиления.

Усовершенствовав схему на рис.7 с помощью применения каскодных усилителей, можно получить фазоинвертор с выходным напряжением до 100 В. Схема такого фазоинвертора приведена на рис.8.

Благодаря перекрестным связям эта схема автоматически балансируется по постоянному току. Введение резисторов  $R_1$  и  $R_7$  позволяет обеспечить большой динамический диапазон и высокий коэффициент усиления сигнала. Значения этих резисторов подбираются таким образом, чтобы ток через лампы Л1, Л2 и резисторы  $R_1$  и  $R_7$  был примерно равным. В схеме на рис.8 коэффициент усиления составляет около 500. Такой фазоинвертор можно применить с выходным каскадом на лампах, предназначенных для источников питания. Такие лампы часто применяются в выходных каскадах из-за большой рассеиваемой мощности и большого анодного тока, однако они обладают очень низким коэффициентом усиления и требуют большого напряжения раскачки. Примером таких ламп являются триоды 6С19П, 6Н13С, 6С41С, 6С33С и др.

## 5. ВХОДНОЙ КАСКАД

Задачей входного каскада является обеспечение заданной чувствительности усилителя, т.е. усиление входного сигнала до уровня, необходимого для работы фазоинвертора или выходного каскада. Кроме того, входной каскад определяет уровень шумов всего усилителя, так как шумы первого каскада могут быть сопоставимы с уровнем входного сигнала и усиливаются последующими каскадами. Поэтому во входных каскадах нужно применять малошумящие лампы и принимать дополнительные меры по снижению шумов: экранировать входную лампу, удалять ее от выходных ламп и трансформаторов и т.д.

Обычно входной каскад строится на одном триоде по схеме с общим катодом (рис.9).

Резистор автоматического смещения  $R_k$  определяет ток по-

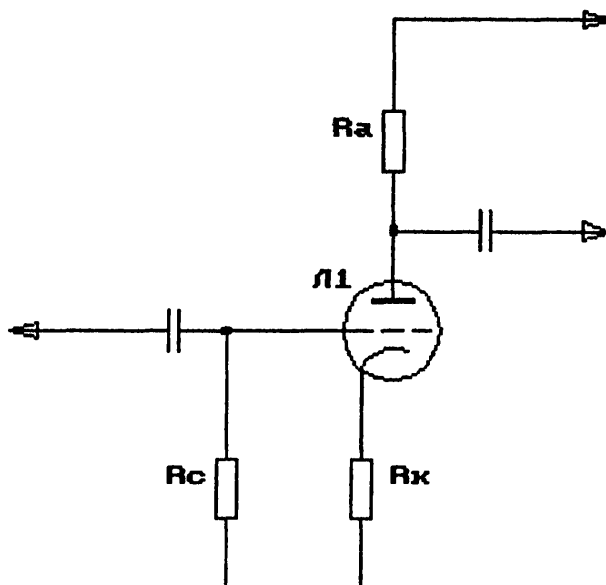


Рис. 9. Усилительный каскад с общим катодом