

The amplifier with cross coupling of stages.

УСИЛИТЕЛЬ С ПЕРЕКРЕСТНОСВЯЗАННЫМИ КАСКАДАМИ И С ОДНОТАКТНЫМ ИЛИ ДВУХТАКТНЫМ ВХОДОМ

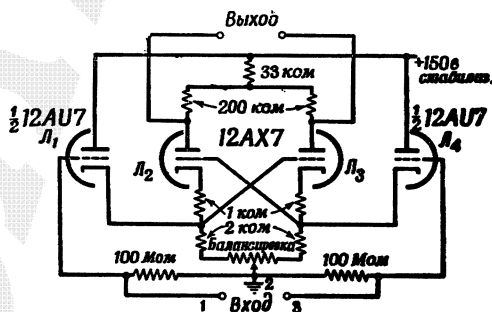
Ван-Скойок, Варнке

Принципиальная схема входного каскада с перекрестной связью приведена на фиг. 1. Поскольку схема симметрична, потенциалы катодов ламп L_1 и L_2 в режиме покоя равны между собой. При однотоктном входе сигнал подается на зажимы 1—2 или 3—2. Напряжение сигнала на L_2 является разностью потенциалов на катоде L_4 и L_1 . Напряжение сигнала на L_3 имеет ту же величину, но противоположный знак. Следовательно, изменение напряжения на аноде L_2 равно по величине изменению напряжения на аноде L_3 , но сдвинуто по фазе относительно него на 180° .

Например, при подаче на сетку L_1 положительного напряжения разность потенциалов между катодом L_1 и землей увеличивается, в то время как в цепи L_4 никаких изменений не происходит. Это увеличение потенциала катода L_1 соответствует появлению положительного напряжения на сетке L_3 и отрицательного напряжения на сетке L_2 . Таким образом, на сетках ламп L_2 и L_3 возникают равные и противоположные по знаку сигналы и

соответственно изменяются напряжения на их анодах.

При подаче входного сигнала на сетку L_4 процессы в схеме протекают аналогично, однако фаза выходного напряжения относи-

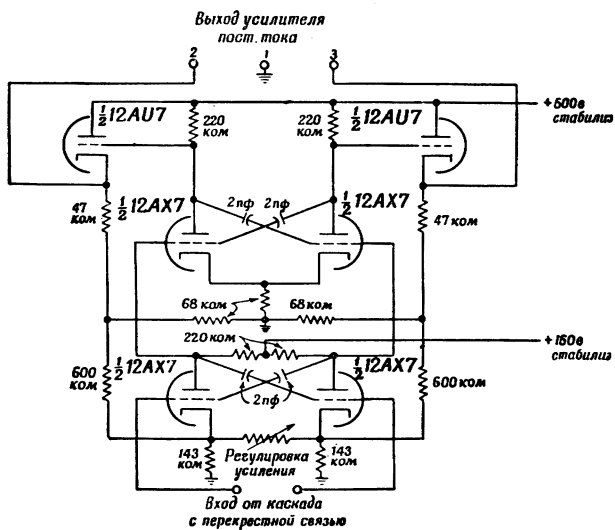


Фиг. 1. Принципиальная схема входного каскада с перекрестной связью.

тельно входного изменяется на обратную. Если сигнал делится между двумя сетками, как это имеет место при двухтактном входе, напряжение между сетками L_2 и L_3 изменяется так же, как и ранее, однако в этом случае соответственно перераспределяются потенциалы катодов L_1 и L_4 . Отсюда видно, что такая схема

с перекрестной связью может использоваться в качестве двухтактного входного каскада или сбалансированного фазоинверсного каскада. Всякие напряжения фона или сигнала, одновременно и в фазе поступающие на оба входа, эффективно подавляются.

На практике в качестве ламп L_1 и L_4 обычно используются триоды с малым коэффициентом усиления, а в качестве L_2 и L_3 — триоды с большим коэффициентом усиления. Для балансировки всего усилителя служит потенциометр на 2 ком с переключателем на



Фиг. 2. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя с перекрестной связью на входе и катодным повторителем на выходе.

10 положений. В качестве сопротивлений во входных сеточных цепях, обозначенных на схеме 100 Мом, применены сопротивления величиной 110 Мом. При параллельном соединении каждого из этих сопротивлений с сопротивлением изоляции промежутка сетка — катод (1000 Мом) получается результирующее входное сопротивление 100 Мом. Отрицательное смещение для триодов 12AX7 получается за счет включения сопротивлений 1 ком в цепи катодов этих ламп.

Один из способов подачи сигналов на вход этого каскада состоит в присоединении сеток к противоположным точкам обычного четырехплечего моста, который может быть составлен из тензометрических датчиков или других элементов с переменным сопротивлением. Точка присоединения минуса анодного питания к мосту должна быть подобрана так, чтобы установить сбалансированные между собой началь-

ные значения сеточного напряжения ламп L_1 и L_4 , заключенные между нулем и $+10$ в, так как перекрестносвязанный входной каскад может удовлетворительно работать при любом напряжении, лежащем в этих пределах. Выход моста может быть одиночным или двухтактным в зависимости от того, используется ли в мосте одна или две ветви с изменяемыми сопротивлениями. Если датчик присоединен к одной из сеток, то между второй сеткой и землей включается конденсатор емкостью 0,1 мкф. Это делается с целью компенсации возможного неравенства напряжений на сетках за счет сеточных токов.

Остальные каскады усилителя лучше всего рассматривать совместно, поскольку все они охватываются обратной связью. Эта часть усилителя с непосредственной связью между каскадами, показанная на фиг. 2, состоит из двух двухтактных каскадов усиления на лампах 12AX7 и двухтактного катодного повторителя на лампах 12AU7, обеспечивающего низкоомный выход.

Первый из названных двух усилительных каскадов обладает малым коэффициентом усиления из-за наличия обратной связи по току, получающейся за счет больших сопротивлений в катодных цепях. Второй каскад является более или менее обычным двухтактным усилителем без обратной связи; благодаря большому общему катодному сопротивлению в этом каскаде происходит выравнивание обоих входных сигналов в том случае, если они неодинаковы. Обычный каскад собран на лампе 12AU7 по схеме двухтактного катодного повторителя, что способствует улучшению частотной характеристики усилителя. Низкое выходное сопротивление необходимо для уменьшения влияния емкости кабелей, соединяющих усилитель с электронно-лучевой трубкой, расположенной в отдельном блоке.

Напряжение обратной связи через две Т-образные цепочки на сопротивлениях подается с выходных зажимов катодного повторителя на катоды ламп первого каскада (см. фиг. 2). В случае если катоды ламп первого каскада соединены между собой, обратная связь отсутствует и усилитель обладает максимальным усилением. Следовательно, переменное сопротивление, включенное между обоими катодами входной лампы, служит регулятором усиления, так как оно меняет коэффициент обратной связи в этой части усилителя. При изменении величины этого сопротивления от 0 до ∞ коэффициент усиления может изменяться в 500 раз.

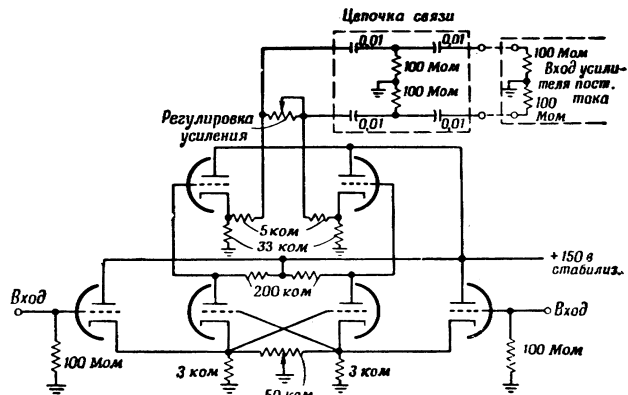
В широкополосных усилителях триоды заменяются редко, в особенности триоды с большим коэффициентом усиления, вследствие их большой эквивалентной входной емкости, приблизительно равной произведению коэффициента усиления каскада на величину емкости сетка — анод лампы. В двухтактном усилителе вредное влияние эквивалентной входной емкости можно устранить, применив способ простой перекрестной нейтрализации, для чего в каждом каскаде между анодом и сеткой противоположной лампы необходимо включить емкость, приблизительно равную емкости сетка — анод этой лампы. Таким способом эквивалентная входная емкость триода может быть сделана равной или даже меньшей емкости сетка — катод. Эквивалентная выходная емкость лампы при этом приблизительно удваивается. Можно показать, что для целей широкополосного усиления триоды в двухтактных каскадах с нейтрализацией могут дать не худшие результаты, чем пентоды при равной крутизне. Нейтрализация каскадов на лампах 12AX7 выполняется посредством конденсаторов емкостью 2 нф , как показано на схеме фиг. 2.

Схема предварительного усилителя, показанная на фиг. 3, в основном совпадает со схемой ранее описанного каскада с перекрестной связью (см. фиг. 1), однако в ней добавлен оконечный катодный повторитель. Входной и оконечный каскады работают на лампах 12AU7, а перекрестносвязанный каскад — на лампе 12AX7. Между катодами включен потенциометр на 50 ком , служащий для устранения фона. Положение движка этого потенциометра изменяется лишь при смене лампы, причем новое положение подбирается путем подачи сигнала на соединенные параллельно сетки обеих входных ламп и перемещения движка потенциометра до получения минимального выходного напряжения. Таким образом можно достигнуть уменьшения фона примерно в 1000 раз.

Непосредственная связь между каскадами применена для исключения влияния различия в величинах утечек в конденсаторах связи. Балансный регулятор чувствительности позволяет изменять усиление в 10 раз, т. е. на 20 дб ступенями через 5 дб . Максимально возможное усиление всей системы составляет $2,5 \cdot 10^6$. При этом максимальное усиление, которое можно использовать при наличии шумов, равно примерно $2,5 \cdot 10^5$, причем на верхней и нижней предельных частотах 50 кгц и $0,2\text{ гц}$ выходная мощность падает в 2 раза.

Вследствие малого потребления энергии подобными усилителями оказалось целесообразным применять один источник для одновременного питания четырех усилителей. Такой стабилизированный блок питания подает на каждый усилитель 150 в при токе 12 ма (входной каскад) и 500 в при токе 8 ма (остальные каскады).

Нити накала ламп четырех усилителей питаются от двух отдельных трансформаторов накала с напряжением $6,3\text{ в}$. Вторичная обмотка одного из этих трансформаторов, питающих нити накала ламп последних трех каскадов всех четырех усилителей, не заземлена. У обмотки второго трансформатора, пи-



Фиг. 3. Схема предварительного усилителя с цепочкой связи на выходе и усилительным каскадом с перекрестной связью.

тающего подогревателя ламп предварительных каскадов усиления и перекрестносвязанных каскадов усилителей постоянного тока, заземлен средний вывод. Так как величина напряжения накала, задаваемого вторым трансформатором, довольно критична, он питается от стабилизатора переменного напряжения. Питание нитей накала переменным током несколько необычно для усилителей постоянного тока, однако при этом существенно упрощается схема питания, так как отпадает необходимость в стабилизированном источнике постоянного тока, при котором приходится тщательно подбирать потенциалы катодов и нитей накала.

Описанные усилители были разработаны в основном для использования при измерениях напряжений, давлений, температур, скоростей и ускорений. Они могут найти применение и в других областях, например в медицинских исследованиях, в счетно-решающих устройствах и осциллографах.