

---

## ОДНОТАКТНЫЙ ЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ НАУШНИКОВ

---

С. КУНИЛОВСКИЙ

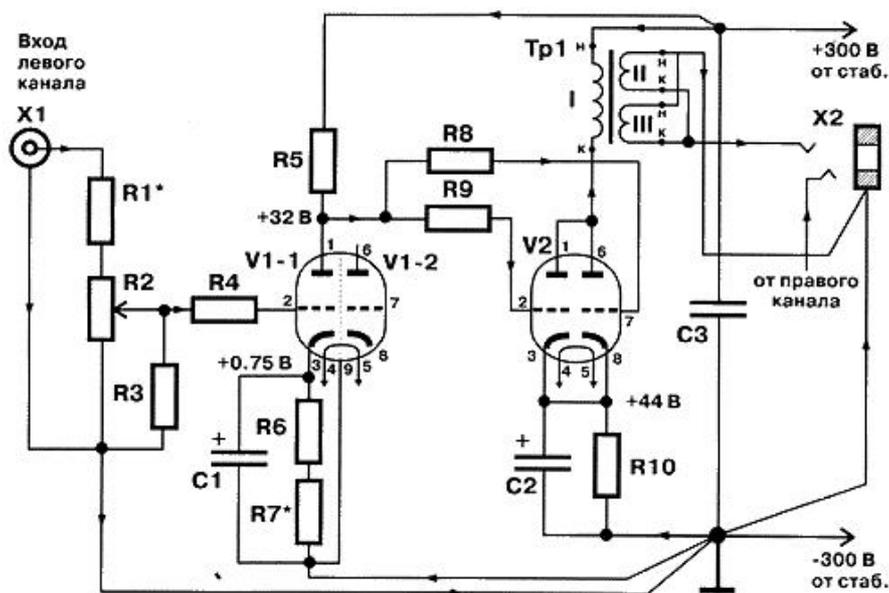
Выполняя данное в "АМ" №4 (9) 96 обещание, предлагаю вниманию заинтересованных читателей второй вариант телефонного лампового усилителя, на этот раз с выходным трансформатором. Если описанный ранее усилитель предназначался для работы с головными телефонами, имеющими сопротивление от 100 до 600 Ом, то этот усилитель может работать с нагрузками от 15 до 600 Ом.

Какой из усилителей целесообразнее сделать?

Безтрансформаторный изготовить гораздо легче, так как нет необходимости мотать достаточно сложные и трудоемкие выходные трансформаторы, для которых еще нужно найти исходные материалы. Кроме того, отсутствие этих трансформаторов означает и отсутствие паразитных высокочастотных резонансов, которые, даже находясь довольно далеко за диапазоном слышимых частот и имея слабо выраженный характер, все же оказывают отрицательное влияние на звук, когда работают с некоторыми типами наиболее высококачественных наушников. Вообще говоря, конструкция и качество изготовления выходного трансформатора во многом определяют качество звука, и когда трансформатора нет, открывается больше возможностей улучшить звучание с помощью тщательного подбора компонентов, то есть резисторов, конденсаторов, разъемов, проводов и т.д. С другой стороны, основной недостаток безтрансформаторного усилителя - относительно высокое выходное сопротивление и, как следствие, не очень большой коэффициент демпфирования подвижной системы телефонов (это отношение сопротивления, точнее, импеданса телефонов к выходному сопротивлению, точнее, выходному импедансу усилителя). Практика сравнительного прослушивания показывает, что для некоторых типов телефонов оказывается недостаточным даже коэффициент 3-4, и выходное сопротивление усилителя продолжает влиять на их амплитудно-частотную характеристику и качество переходного процесса. Кстати, отсюда с очевидностью вытекает недостаток широко используемой схемы подключения головных телефонов к выходу усилителя мощности через довольно высокоомный делитель напряжения.

Главное достоинство трансформаторного телефонного усилителя в том, что его можно довольно легко приспособить к широкому диапазону нагрузок, одновременно обеспечив хорошее демпфирование, - это делает его применение универсальным. К достоинствам можно также отнести меньший коэффициент гармоник в основном диапазоне рабочих частот, достигаемый благодаря достаточно легкой нагрузке на выходной триод (однако на самых низких и самых верхних частотах коэффициент гармоник в силу некоторых принципиальных свойств трансформатора растет). Говоря о легкости нагрузки, я имею в виду, что приведенная к аноду выходной лампы нагрузка оказывается весьма высокоомной, много больше выходного сопротивления лампы, и линия нагрузки на выходной характеристике лампы идет под небольшим углом, обеспечивая работу с минимальными искажениями (для лампового триода в этом отношении идеальной является нагрузка с бесконечно большим сопротивлением - на выходной характеристике это будет горизонтальная линия). По той же самой причине нет никакой необходимости в двухтактном выходном каскаде и, соответственно, не нужен обеспечивающий его работу парафазный каскад. Таким образом, естественно будет применить одноктактный выходной каскад на триоде, работающем в классе А. При этом ток покоя лампы будет являться подмагничивающим для выходного трансформатора, и его сердечник должен иметь немагнитный зазор, исключающий насыщение магнитопровода и выводящий его в наиболее линейную область петли гистерезиса. Малые искажения и высокий коэффициент демпфирования такого выходного каскада не требуют введения какой-либо обратной связи, и это благоприятно сказывается на качестве звучания.

Перейду к описанию принципиальной схемы предлагаемого телефонного усилителя. В нем используются всего три лампы: одна 6Н23П-ЕВ (6Н23П) и две 6Н6П (6Н6П-И). Каждый канал усилителя (см. рис. 1) двухкаскадный, с гальванической связью между каскадами. Разделительные конденсаторы, заметно влияющие на звук, в усилителе отсутствуют.



R1*	МЛТ-0,5-33 кОм ±5%
R2	СПЗ-33-68 кОм
R3	МЛТ-0,5-1 МОм ±5%
R4	МЛТ-0,5-820 Ом ±5%
R5	МЛТ-0,5-360 кОм ±5%
R6	МЛТ-0,5-820 Ом ±5%
R7*	МЛТ-0,5-180 Ом ±5%
R8, R9	МЛТ-0,5-820 Ом ±5%
R10	МЛТ-2-2,2 кОм ±5%
C1	К50-24-16В-470 мкФ
C2	К50-24-63В-1000 мкФ
C3	МБГО-300В-10 мкФ
V1	6Н23П-ЕВ
V2	6Н6П
Tr1	трансформатор выходной
X1	гнезда RCA
X2	гнездо телефонное стерео

\* подбираются при настройке  
 C3 общий для левого и правого каналов  
 На схеме указано соединение Tr1 для нагрузки 15-100 Ом

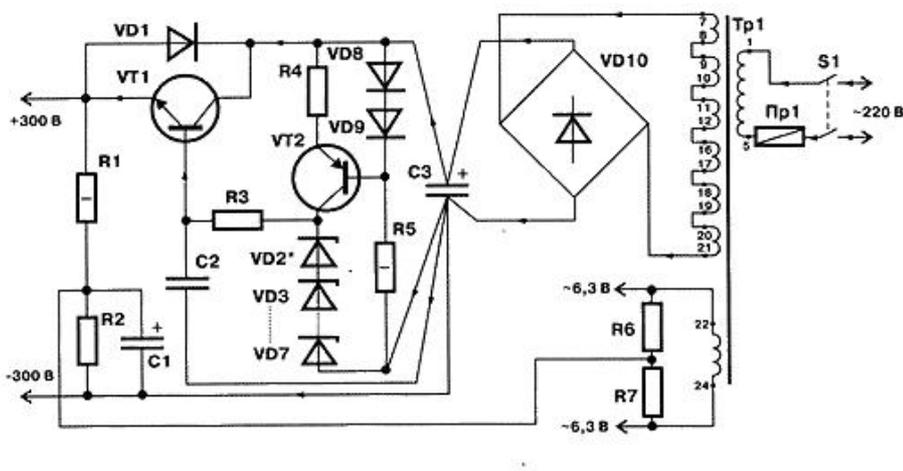
Рис. 1

Первый каскад построен на половине V1-1 двойного триода 6Н23П-ЕВ (вторая половина VI-2 лампы используется во втором канале) по схеме резистивного усилителя с заземленным катодом. Для исключения отрицательной обратной связи резисторы R6 и R7 автоматического смещения зашунтированы конденсатором C1. В цепь сетки лампы включен резистор R4, предотвращающий возникновение паразитных колебаний. Резистор R3 исключает "повисание" сетки лампы в случае потери контакта в движке регулятора громкости R2. Подбором резистора R1 на входе производится начальная балансировка коэффициентов усиления каналов усилителя. Таким же образом можно оптимизировать чувствительность в каждом конкретном случае применения усилителя. Нагрузкой первого каскада служит резистор R5. Ток анода лампы 0,75 мА. Номинальный коэффициент усиления каскада - 26.

Второй каскад с трансформаторной нагрузкой в цепи анода гальванически соединен с первым и представляет собой усилитель с общим катодом, работающий в классе А. Усилительным элементом V2 является двойной триод 6Н6П, обе половины которого соединены параллельно, при этом в цепях сеток триодов имеются свои собственные антипаразитные резисторы R8 и R9. В цепи катодов стоит резистор автоматического смещения R10, зашунтированный конденсатором C2. Суммарный ток анода второго каскада 20 мА. Коэффициент передачи с сеток на аноды лампы V2 - 15. Коэффициент передачи с сеток на нагрузку зависит от схемы включения вторичной обмотки выходного трансформатора (параллельная или последовательная) и сопротивления используемых телефонов и составляет 0,3 и 0,435 для нагрузок 15 и 100 Ом соответственно при параллельном включении обмоток и 0,8 и 0,92 для нагрузок 150 и 600 Ом при последовательном включении обмоток. Выходное сопротивление усилителя составляет около 5 Ом при параллельном включении вторичной обмотки трансформатора и около 20 Ом - при последовательном. Максимальная выходная мощность/выходное напряжение при нагрузке 150 Ом - 300 мВт/6,75 В и при нагрузке 600 Ом - 100 мВт/7,8 В (последовательное включение); при нагрузке 15 Ом - 450 мВт/2,6 В и при нагрузке 100 Ом - 140 мВт/3,7 В (параллельное включение). Для подавляющего большинства моделей динамических телефонов мощности в 100 мВт совершенно достаточно.

Чувствительность усилителя - 0,5 В при максимальной выходной мощности. Верхняя граница полосы пропускания по уровню -3 дБ составляет не менее 60 кГц при самой низкоомной нагрузке и около 100 кГц при самой высоко-омной. Нижнюю границу полосы пропускания измерить не удалось, во всяком случае, на частоте 17 Гц (самой нижней у моего ГЗ-102) уменьшения амплитуды не отмечено. Нелинейные искажения определяются преимущественно второй гармоникой и составляют 2-3% при максимальной выходной мощности на частоте 1 кГц (по третьей гармонике - примерно 0,3%). При нормальной громкости искажения по второй гармонике на порядок ниже (падают пропорционально уменьшению сигнала) и совсем уж малы по третьей (амплитуда третьей гармоники падает пропорционально квадрату уменьшения выходного напряжения).

Конденсатор C3 (рис. 1) является выходным элементом стабилизатора электропитания, установленным на плате усилителя (или в непосредственной близости от него). В источнике анодного питания этого варианта телефонного усилителя (рис. 2) имеется стабилизатор постоянного напряжения, что может быть очень полезно в том случае, если стабильность питающей сети оставляет желать лучшего (у меня дома, например, сетевое напряжение постоянно колеблется от 180 до 230 В!).



R1	МЛТ-1-360 кОм ±5%
R2	МЛТ-0.5-75 кОм ±5%
R3	МЛТ-0.5-20 кОм ±5%
R4	МЛТ-0.5-150 Ом ±5%
R5	МЛТ-1-360 кОм ±5%
R6, R7	МЛТ-0.5-820 Ом ±5%
C1	К50-35-63В-10 мкФ
C2	МБГО-300В-4 мкФ
C3	К50-27-450В-220 мкФ
VD1	КД226
VD2*	подбирается при настройке
VD3..VD7	КС551А
VD8, VD9	КД521
VD10	КЦ402
VT1	КТ829А
VT2	КТ851А
Pr1	предохранитель 0,5 А
S1	сетевой выключатель =250 В/2 А
Tr1	ТАН71

Рис. 2

Стабилизатор состоит из источника тока на транзисторе VT2, резисторах R4, R5 и диодах VD8, VD9. Источник питает стабилизированным током последовательно соединенные стабилитроны VD2-VD7. При этом пять стабилитронов одинаковые, типа КС551А, а тип шестого необходимо подбирать в каждом конкретном случае (из-за разброса номинального напряжения стабилизации стабилитронов) для получения суммарного напряжения + (300±10) В. Стабилизированное напряжение с цепочки стабилитронов через RC-фильтр R3, C2 поступает на базу составного транзистора VT1, с эмиттера которого напряжение +300 В подается на оба канала усилителя для питания анодных цепей. Между эмиттером и коллектором этого транзистора включен обратно смещенный диод VD1, предохраняющий транзистор от электрического "пробоя" при выключении усилителя. Выпрямитель источника питания состоит из диодного моста VD10 и накопительного конденсатора C3. Элементы R1, R2, R6, R7, C1 служат для подачи в цепь накала лампы положительного потенциала +52 В, который уменьшает фон, возникающий из-за питания нитей накала переменным током.

При изготовлении усилителя основное внимание следует уделить выходным трансформаторам левого и правого каналов (см. рис. 3).

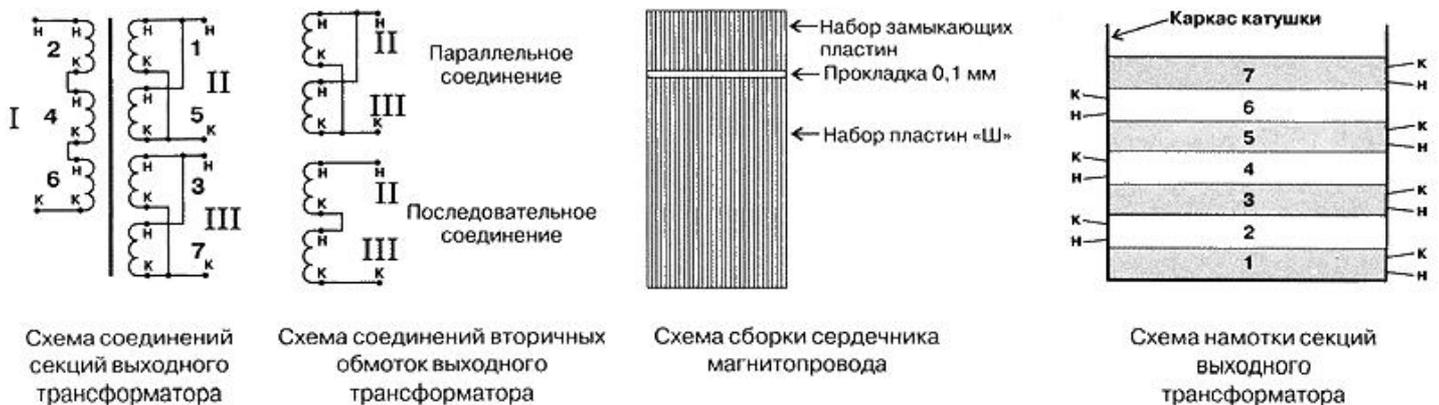


Рис. 3

Магнитопроводы УШ 16 x 24 с пластинами толщиной 0,3 мм и каркасы катушек проще всего взять от унифицированных телевизионных выходных трансформаторов ТВЗ-1-9. При этом трансформаторы надо будет аккуратно разобрать, разогнув лапки обойм крепления магнитопровода. Затем катушки снимаются с магнитопровода, каркасы освобождаются от провода и перематываются, после чего трансформаторы собираются в обратном порядке. ТВЗ-1-9 имеют требуемый зазор в магнитопроводе, и его надо просто сохранить при сборке. Надетые на трансформаторы обоймы крепления необходимо плотно обжать на магнитопроводах тисками (но не молотком!). Катушка каждого выходного трансформатора секционированная, это нужно для увеличения полосы пропускания. Секций семь: три в первичной обмотке и четыре во вторичной. Номера секций соответствуют порядку их намотки на каркас. Секции 1, 3, 5 и 7 относятся к вторичной обмотке и содержат по 150 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,3 мм (два слоя), намотанных виток к витку. Секции 2, 4 и 6 относятся к первичной обмотке: 2 и 6 секции содержат по 1500 витков (6 слоев), а 4 секция - 2 000 витков (8 слоев) провода ПЭВ-2 диаметром 0,08 мм. Выводы начала и конца каждой секции пропускаются через отверстия в каркасе катушки, при этом первичная обмотка выводится на одну сторону, а вторичная - на другую, и они соответственно маркируются. Между секциями обмоток прокладывается изоляция толщиной 0,1 мм из пяти слоев микалентной бумаги или одного слоя локоткани. Поверх последней секции накладывается изоляция в два раза толще. Наматывая катушку, ее необходимо

хорошенько проварить в расплавленном парафине, стеарине или церезине. **Компаундами катушку не пропитывать!** Секции первичной и вторичной обмоток соедините на приклеенных к трансформатору промежуточных расшивочных колодках в соответствии со схемой (см. [рис. 3](#)). Получившиеся две половины вторичной обмотки (II и III) в дальнейшем могут быть соединены или параллельно (начало II с началом III, конец II с концом III) для сопротивлений нагрузки от 15 до 100 Ом, или последовательно (конец II с началом III) для сопротивлений нагрузки от 150 до 600 Ом. Использовать переключатель для коммутации половины вторичной обмотки, на первый взгляд, удобно, но это внесет лишние нелинейные сопротивления контактов и может ухудшить звук.

Транзистор VT1 стабилизатора питания необходимо установить на изолированный от корпуса радиатор площадью около 100 см<sup>2</sup>. Под корпус транзистора лучше положить слюдяную изоляционную прокладку толщиной 0,05-0,1 мм, в противном случае радиатор окажется под напряжением +350 В.

Левый и правый каналы усилителя целесообразно будет разместить на одной плате (не обязательно печатной, можно использовать и навесной монтаж) толщиной 1,5-3 мм, лучше из гетинакса. На другой такой же плате смонтируйте элементы источника питания (кроме силового трансформатора). При компоновке элементов усилителя в корпусе постарайтесь разместить трансформаторы подальше друг от друга, особенно выходные от силового. Лучше еще и развернуть их друг относительно друга на 90°, чтобы уменьшить взаимные магнитные наводки.

Общие рекомендации по конструированию усилителя - экранирование, компоновка, выбор элементов, в том числе и проводов, - были уже даны в "АМ" №4 (9) 96. В авторском экземпляре трансформаторного телефонного усилителя были использованы следующие типы элементов: все резисторы, за исключением R10, который был проволочным в керамическом корпусе, - южнокорейские угольные (*Мощность одного такого резистора 0,25 Вт. Когда нужна большая мощность рассеивания, используются несколько резисторов. Их соединяют последовательно, чтобы увеличить максимально допустимое прикладываемое к ним напряжение*); регулятор громкости - дискретный, РП-1-57; конденсаторы в катодах - "Philips"; накопительный конденсатор выпрямителя корейский "Samhwa"; телефонное гнездо - "Neutrik". Монтажные провода были сделаны из кабеля "Recoton Road Gear OFC Speaker Wire 10GA": кабель расплетается на стренги, которые затем заключаются в лакотканевые (**ни в коем случае не полихлорвиниловые!**) трубки, причем направление провода получается противоположным направлению надписи на кабеле.

Налаживание усилителя сводится к подбору типа шестого стабилитрона для получения напряжения +300 В на выходе стабилизатора при отключенной плате усилителя, подбору резисторов R7 в катодах половинок первой лампы до получения на катодах выходных ламп каналов напряжения +(42.. 44) В и балансировке усиления каналов подбором резисторов R1.

Перед началом первого прослушивания оставьте усилитель включенным на сутки, чтобы успели сформироваться электролитические конденсаторы. Перед каждым серьезным прослушиванием дайте усилителю прогреться около часа. Не забывайте периодически промывать все разъемы ваткой, смоченной в спирте. Полярность сетевой вилки также влияет на звук.