

# Ламповый оконечный двухтактный усилитель на 6Н23П и 6П43П.

(студенческий курсовой проект по теме «Ламповый звук»)

Сергей Комаров

В последние годы в технической литературе мало уделяется внимания ламповой схемотехнике и конструированию аппаратуры на радиолампах. Однако звучание ламповых усилителей до сих пор считается непревзойденным и «ламповый звук» среди меломанов, музыкантов и звукорежиссеров вызывает большой интерес. Ведущие фирмы по производству профессионального аудиооборудования включают в номенклатуру выпускаемых приборов ламповые микрофоны, ламповые предусилители, ламповые эквалайзеры и даже ламповые процессоры обработки звука. И эта техника имеет наивысшую ценовую категорию. Ламповые оконечные усилители в настоящее время занимают прочное место среди самых высококачественных аппаратов воспроизведения звука, отождествляя с собой такое понятие среди меломанов как Hi-End. Немногие сохранившиеся в мире промышленные производители радиоламп уже приобретены ведущими мировыми производителями, модернизированы и расширяют выпуск своей продукции. Радиолампы в области воспроизведения звука показали, что их преждевременно начали забывать, и что есть области радиотехники, где они с пришествием полупроводников несколько не сдали своих позиций.

Предлагаемый оконечный ламповый усилитель не претендует на предоставление слушателям звука Hi-End качества, однако обладает типичным приятным ламповым звучанием, содержит исключительно покупные радиоэлементы и может быть собран буквально за неделю радиолителем средней квалификации.

**Эта схема оказалась настолько удачной по своей простоте и дешевизне комплектующих, одновременно сочетая теплоту и приятность звучания даже при оценке профессиональными звукорежиссерами, что я уже второй год использую сборку этого усилителя в качестве курсового проекта для студентов первого курса факультета звукорежиссуры Гуманитарного института телевидения и радиовещания, в котором преподаю обзорный курс радиотехники.**

**Применение.** Усилитель (моноблок) предназначен для домашнего прослушивания компакт дисков (CD) на полочные акустические системы. Может быть использован гитаристами для домашних репетиций, вокалистами, для прослушивания своих записей, или для проведения домашних концертов. Особенно хорошо использовать этот усилитель при воспроизведении джазовых и блюзовых композиций, а также при озвучивании камерных концертов бардовской песни, где необходимо не только передать душевность звучания голоса и классической гитары, но и добавить теплоту звука, присущую исключительно ламповым оконечным усилителям.

**Параметры.** Максимальная выходная мощность усилителя на синусоидальном сигнале, измеренная на нагрузке 8 или 4 ома достигает 15 ватт. Диапазон частот по половинной мощности (0,707 по напряжению) от 40 Гц до 25 КГц. Чувствительность на частоте 1 КГц, при максимальной выходной мощности, – 1,55 вольта эффективного значения на несимметричном входе.

**Принципиальная схема.** Усилитель выполнен на трех радиолампах по классической двухтактной трансформаторной схеме и содержит два каскада – предварительный, на двойном триоде 6Н23П и оконечный на двух лучевых тетрадах 6П43П. Причем симметричным является не только выходной каскад усиления, но и предварительный, выполненный по схеме парафазного дифференциального усилителя с катодной связью.

Ток анода каждого триода 6Н23П составляет 5,8 мА, что задается резистором автосмещения (330 ом) в общей катодной цепи. Коэффициент усиления такой схемы от входа и до каждого из выходов равен 14. Предварительный каскад питается повышенным напряжением + 360 вольт от мостового выпрямителя, чтобы обеспечить высокую линейность усиления и лучшую симметрию схемы при несимметричном входном сигнале за счет большого значения резистора катодной связи (5,1 Ком) и, соответственно, большого падения напряжения на нем (+ 63 вольта). Также, исходя из требования высокой линейности усиления, выбрано распределение напряжений между сопротивлениями нагрузки – 140 вольт и триодами – 160 вольт.

Поскольку, при включении усилителя, во время разогрева ламп, напряжение после мостового выпрямителя на холостом ходу достигает 500 вольт, что превышает максимальное рабочее напряжение электролитических конденсаторов, в схеме используется цепочка из гасящего (2,7 Ком) и балластного (150 КОм) резисторов, защищающая схему от перенапряжения.

Для предотвращения фона переменного тока во входном каскаде при незаземленном катоде триодов (+ 63 вольта), потенциал накальной цепи с помощью делителя напряжения (резисторы 100 и 36 Ком) устанавливается положительным относительно катода и достигает + 95 вольт. Такое распределение потенциалов в катодной-накальной цепи запирает паразитный диод накал-катод и переменный ток от эмиссии нити накала не попадает в катодную цепь.

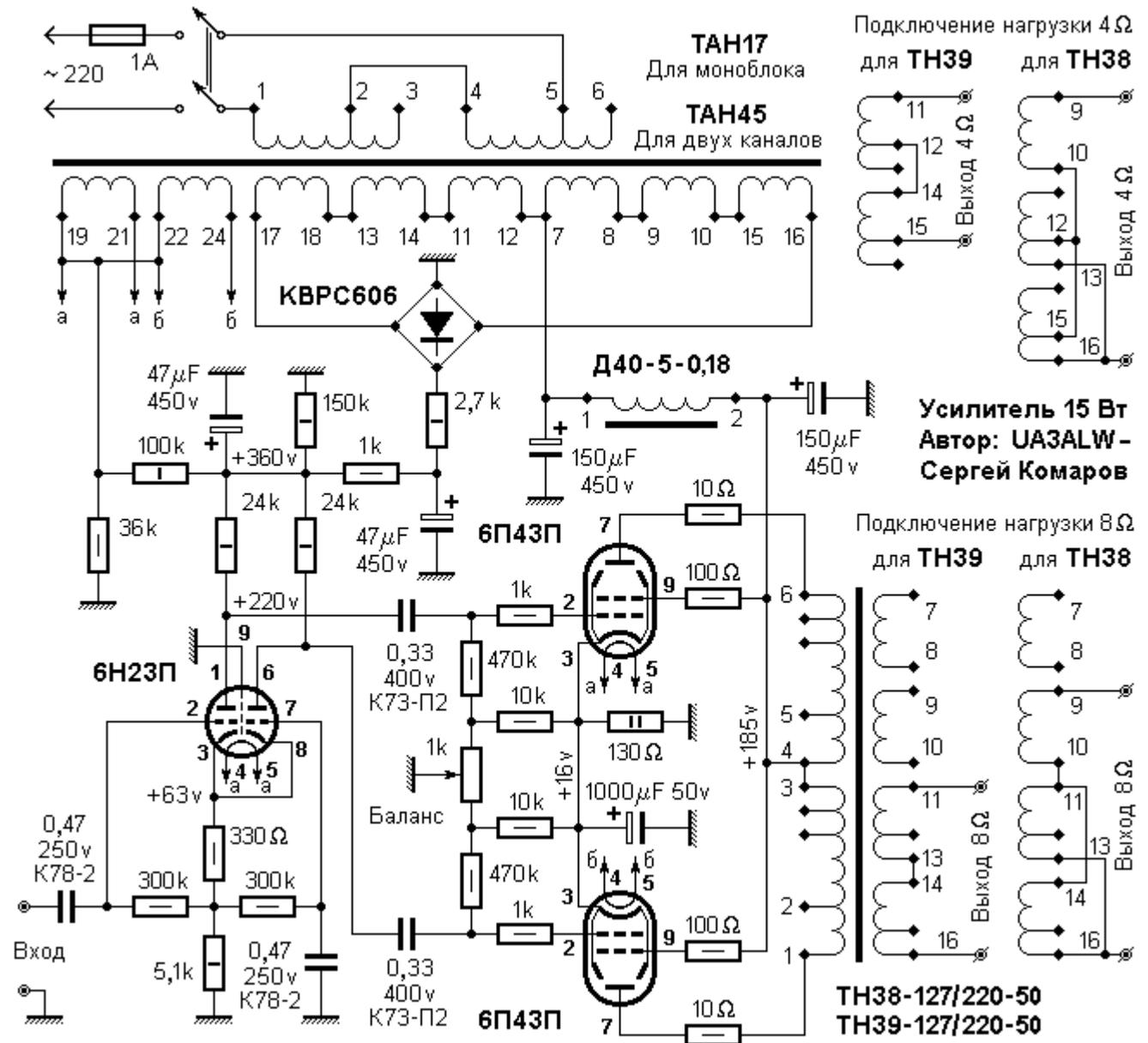
При желании подать на усилитель парафазный входной сигнал, необходимо инверсный сигнал подать на сетку второго триода через имеющийся в схеме конденсатор (0,47 мкФ) отсоединив его нижний по схеме вывод от общей шины. В этом случае чувствительность усилителя по каждому входу составит 2 x 0,775 вольта.

При желании ввести в усилитель обратную связь, ее стоит также завести на сетку второго триода, а сигнал обратной связи можно взять с обмотки 7 – 8 выходного трансформатора через резистивный или частотно-зависимый делитель напряжения, в зависимости от желаемых функций цепи ООС. В авторском макете для цели улучшения демпфирования использовался делитель напряжения из двух резисторов 10 и 1 Ком с коэффициентом передачи 0,091. Разумеется, при этом чувствительность усилителя уменьшилась. *Домашнее задание – нарисовать описанную здесь схему включения ООС.*

Выходной каскад усилителя работает в режиме класса АВ<sub>1</sub>. Параметры режима радиоламп: E<sub>a</sub> = 185 в, E<sub>g2</sub> = 185 в, R<sub>k</sub> = 130 Ω (E<sub>g1</sub> = минус 16 в), I<sub>o</sub> = 2 x 60 мА, I<sub>g2</sub> = 2 x 1,5 мА, R<sub>aa</sub> = 3250 Ω, U<sub>вх max</sub> = 2 x 11,3 в эфф. P<sub>вых</sub> = 14,4 Вт.

В цепях анода, управляющей и экранной сеток установлены антипаразитные резисторы, которые при регулировке усилителя используются также для измерения токов анодов и экранных сеток ламп.

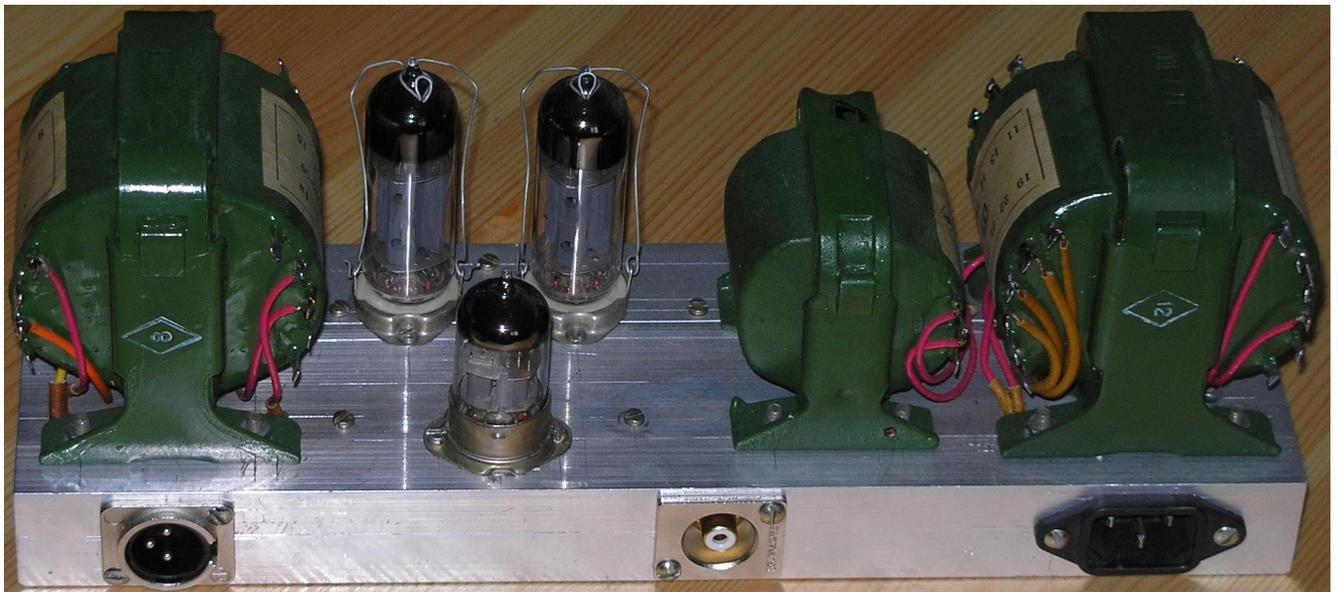
Выходной каскад питается от двухполупериодного выпрямителя, образованного двумя диодами моста с заземленными анодами, а потенциал + 210 вольт снимается со средней точки анодной обмотки.



**Конструкция.** Усилитель выполнен на металлическом шасси с использованием классического для ламповых схем навесного монтажа. Шасси усилителя может быть изготовлено либо из строительных дюралевых уголков 30 x 30 x 2 мм и 30 x 60 x 2 мм, оба длиной 300 мм, образующих П-образную конструкцию (так сделано в авторском макете), либо может быть согнуто из листовых материалов (сплавы АМЦ или АМГ) толщиной 2 мм. Возможно также использование для шасси конструкционной листовой стали толщиной 1,5 мм. Использование листовых материалов рекомендуется лишь в том случае, если в Вашем распоряжении имеется гибочное приспособление. Согнуть ровно на длине 300 мм листовой алюминий или сталь в домашних условиях практически не реально.

Две половинки шасси, в случае его выполнения из дюралевых уголков, скрепляются при установке на него трансформаторов, дросселя и ламповых панелей выходных ламп их крепежными винтами. При этом никакого дополнительного крепления не требуется.

Сверху, на шасси, размещаются силовой и выходной трансформаторы, дроссель сглаживающего фильтра, радиолампы и ось подстроечного резистора балансирования выходного каскада со стопорной гайкой. На одной боковой стенке (тыльной) размещены все три разъема (входной, выходной, сетевой). На другой боковой стенке (лицевой) размещен только выключатель сетевого электропитания. В подвале шасси, защищенном боковыми стенками, размещаются все остальные радиоэлементы усилителя и монтажные проводники.



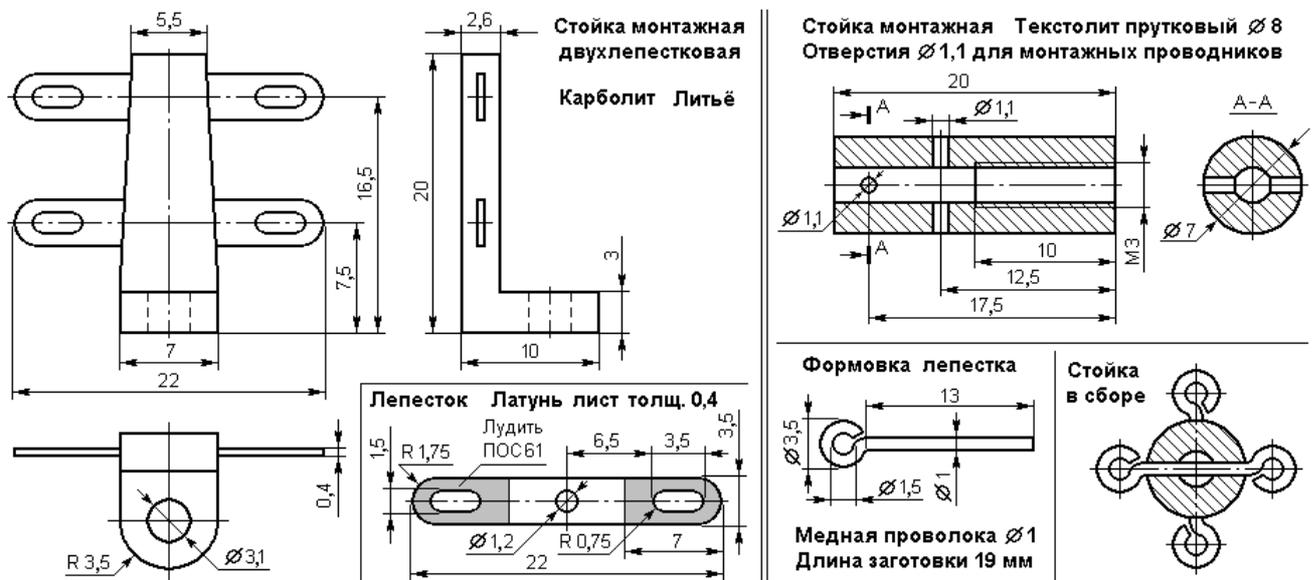
Электролитические конденсаторы закреплены с помощью хомутов шириной 12 - 15 мм из тонкой (0,4 мм) белой луженой жести, которую можно взять от пустых консервных банок из под тушенки или от использованных банок из под бензина для заправки зажигалок ZIPPO. Чтобы хомуты не царапали конденсаторы при их крепеже, а также для смягчения давления, перед установкой желательнo обмотать электролитические конденсаторы тремя – четырьмя слоями тонкой (0,15 мм) лакоткани.



В качестве монтажного проводника для «земляных» и накальных цепей используется медный луженый одножильный провод диаметром 0,8 мм на который одет **кембрик – хлопчатобумажная нитевая тканная трубка пропитанная и покрытая лаком**, с внутренним диаметром 1 мм. Использование именно такой исторической изоляции как кембрик (он появился еще в позапрошлом, XIX, веке, как изоляция проводов в электроприборах), отдающей в настоящее время архаизмом, но, тем не менее, сохранившейся и производящейся до сих пор (!), имеет под собой вполне обоснованное техническое решение. Ну, какая еще изоляция выдержит и будет долго исправно работать при соседстве с острыми кромками отверстий металлического шасси, будет обеспечивать механическую прочность и хорошую изоляцию при высоких напряжениях (сотни вольт) при температуре до 60 – 70 градусов, при длительной эксплуатации усилителя, где и радиолампы и трансформаторы отдают много тепла? Ведь все современные изоляционные материалы, разработанные для транзисторных или микросхемных конструкций, не выдерживают «ламповых» условий эксплуатации, навесного монтажа и довольно частых регулировок усилителя при каждой смене ламп!

Длинные соединения к трансформаторам и дросселю выполнены гибким монтажным проводом МГШВ-0,2. При прохождении провода МГШВ через отверстия в шасси на него в этих местах надеваются отрезки кембрика, внутренним диаметром 2 мм и длиной 20 - 25 мм.

Для дополнительных контактных опорных точек используются двухлепестковые монтажные стойки. При отсутствии монтажных стоек промышленного изготовления (литых из карболита) возможно использование самодельных – выточенных из пруткового текстолита по прилагаемому чертежу. В качестве монтажных лепестков в этом случае используется медная луженая проволока диаметром 1 мм, концы которой согнуты в колечки внешним диаметром 3,5 мм для удобства закрепления монтажных проводников.



В конструкции, выполненной по базовой схеме, использованы 4 монтажные стойки. В случае введения в усилитель обратной связи, ее элементы монтируются на пятой монтажной стойке, как это показано на фотографии подвала шасси.

**Детали.** В усилителе в основном используются радиодетали широкого применения, однако, некоторые из них необходимо использовать лишь те, которые указаны на принципиальной схеме, поскольку не все современные радиодетали способны качественно работать в ламповых схемах.

Постоянные резисторы типов МЛТ, С2-23. Переменный резистор ПП2-11, ПП3-43 со стопорением регулировочной оси контргайкой. Возможно также использование резисторов СПО, СП2-2, СП3-30, СП4-2м и других, габаритные размеры которых позволяют установить их в эту конструкцию.

**Очень важное дополнение!** Резисторы 10 Ом, которые стоят в анодных цепях выходных ламп нужно подобрать одинаковыми с точностью до 1 процента или лучше. Для этого нужно их купить штук десять – пятнадцать и цифровым тестером (мультиметром) отобрать пару одинаковых (или договориться с продавцом в магазине, и сделать такой отбор перед покупкой). При этом точное значение их номинала не столь важно и может отличаться в пределах 10-и процентов, главное, чтобы они были бы одинаковыми с высокой точностью. И пометьте как-нибудь отобранную пару резисторов, чтобы именно их установить в усилитель при монтаже.

Электролитические конденсаторы фирмы JAMICON на рабочую температуру не ниже 85 градусов, а лучше - на 105 градусов. Конденсаторы этой фирмы при весьма демократичной цене долговечны и хорошо работают в ламповых схемах при высоких напряжениях и высокой температуре.

Крайне не желательно использовать в усилителе дешевые электролитические конденсаторы. Экономия на радиокомпонентах приводит к плохому качеству звучания усилителя и к нестабильности его параметров во времени. К тому же, плохие (дешевые) электролитические конденсаторы имеют тенденцию течь, а иногда и взрываться, и пачкать электролитом окружающий монтаж. Так, что экономия - это себе дороже.

Входные и межкаскадные разделительные конденсаторы лучше использовать указанных на схеме типов. Входные – К78-2, межкаскадные К73-П2. Возможна замена межкаскадных конденсаторов также на К78-2, с рабочим напряжением не менее 400 вольт, поскольку, при включении и разогреве ламп усилителя на этих конденсаторах напряжение на короткое время достигает 400 вольт. Схемное соседство межкаскадных конденсаторов с мощными (1 ватт) резисторами анодной нагрузки предварительного каскада приводит к тому, что в процессе эксплуатации усилителя они нагреваются до температуры около 50 градусов. Для герметичных конденсаторов в металлическом корпусе со стеклянными впаянными изоляторами К73-П2 – это не страшно. Они от этого не высохнут и не закипают. Как себя в таких условиях будут вести конденсаторы современных типов (как правило, не герметичные, а бескорпусные, залитые компаундом), можно лишь предполагать. К тому же, от разделительных конденсаторов сильно зависит качество звучания усилителя.

Мостовой выпрямитель типа KBPC606 можно заменить на BR606 или на отечественный КЦ402А.

Радиолампы 6П43П можно заменить на 6П18П, при этом резистор в общей катодной цепи 130 Ом нужно будет уменьшить до 75 Ом. 6Н23П можно заменить на E88CC, например, фирмы TESLA. При этом в схеме усилителя никаких изменений не требуется, однако, его звучание изменится по характеру и станет более нежным и как бы интимным. А отечественная лампа 6Н23П дает в этой схеме очень четкий, прозрачный и музыкальный звук.

Ламповые панельки ПЛК-9-Д-60 – для выходных ламп и ПЛК-9-Д-35 для лампы предварительного каскада. Они отличаются лишь длиной фиксирующих пружинок, накидывающихся на баллон лампы.

В качестве сетевого разъема используется трехштырьковая «компьютерная» приборная вилка, которая позволяет подключать к усилителю стандартный шнур питания с европейской сетевой вилкой и заземляющим выводом.

Входной разъем - «тюльпан» с изолированным от корпуса внешним проводником, тип разъема – Розетка приборная с фланцем RCA - RJ-RU CANARE. Выходной разъем – Вилка приборная XLR – NC3MD-L-1 NEUTRIK. Разъемы усилителя хорошо видны на фотографиях.

Силовой трансформатор для питания моноблока ТАН17-127/220-50 или ТАН17-220-50. Возможна замена на ТАН31, но в этом случае придется раздвинуть установочные отверстия по 2 мм в каждую сторону по направлению вдоль шасси, поскольку межцентровой установочный размер у ТАН17 – 46 мм, а у ТАН31 – 50 мм. Во всем остальном у 17 и 31-ого ТАН-ов все идентично и даже размер шасси позволяет поместиться на нем более мощному трансформатору. Если же Вы хотите от одного силового трансформатора питать стереоусилитель (два моноблока, объединенных в одну конструкцию), то нужно взять более мощный типонаминал, имеющий те же самые напряжения и рассчитанный на большие токи: ТАН45-127/220-50 или ТАН45-220-50.

В качестве выходного трансформатора используется ТН39-127/220-50 или ТН38-127/220-50. Обращаю внимание, что силовые накальные трансформаторы серии ТН имеющие одну сетевую (нерасщепленную) обмотку только на 220 вольт, непригодны для использования в этой схеме в качестве выходного трансформатора.

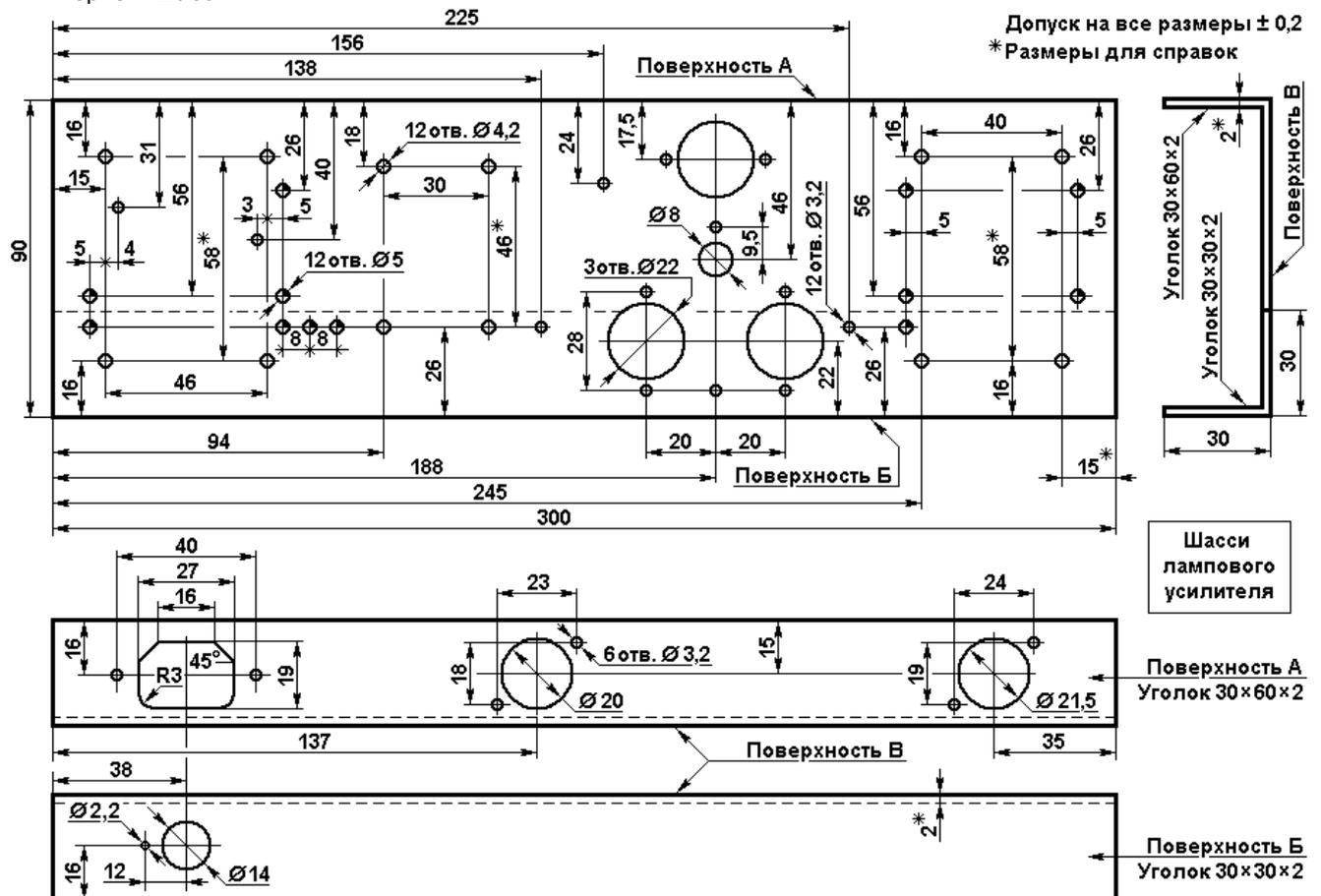
Дроссель сглаживающего фильтра Д40-5-0,18 можно заменить на Д31-5-0,14 но поскольку он имеет меньшие габариты и другие установочные размеры, потребуются незначительные изменения конструкции усилителя.

В усилителе использован плавкий предохранитель с выводами под пайку типа ВП1-2 на ток 1 ампер. Возможно использование предохранителя другого типа близких габаритных размеров и даже без выводов, припаяв к нему проволочные выводы из медного луженого одножильного провода диаметром 0,8 мм. Использование предохранителя с выводами под пайку экономит слесарные работы по установке патрона под сменный предохранитель, который в этой схеме не требуется, поскольку в усилителе присутствуют радиодетали исключительно промышленного изготовления достаточно высокой надежности. Однако, наличие в конструкции сетевого предохранителя обязательно по условиям электробезопасности.

Сетевой выключатель – тумблер ТВ1-2 или ТВ1-4. При изменении диаметра установочного отверстия можно использовать тумблеры ТП1-2 или МТ-3.

**Изготовление шасси.** Чертеж шасси выполнен таким образом, чтобы было удобно размечать отдельно каждый из уголков (30 x 30 x 2 и 30 x 60 x 2), то есть, размеры проставлены от двух баз. Для разметки шасси потребуется разметочный штангенциркуль. Собственно, для самого изготовления будут нужны следующие инструменты: ножовка по металлу (чтобы отпилить уголки нужной длины – 300 мм), плоский напильник с личной насечкой (чтобы обработать края спила и снять заусенцы), дрель и сверла соответствующих диаметров (указаны на чертеже), полукруглый напильник с драчевой насечкой, чтобы распилить отверстия большого диаметра после высверливания их по контуру мелким сверлом (например, 2 мм), настольные слесарные тиски с шириной губок не менее 60 мм (для того, чтобы зажать заготовки и детали шасси во время обработки), сверло, диаметром 7 - 8 мм, заточенное под углом 90 градусов, для того, чтобы снять заусенцы и сделать фаски во всех отверстиях шасси после их сверловки, точило и алмазный надфиль, чтобы затачивать сверла во время работы.

Чертеж шасси.



**Сборка усилителя.** Чтобы правильно собрать усилитель, необходимо соблюдать порядок сборки. Первым делом на шасси устанавливаются трансформаторы. Силовой трансформатор необходимо установить на шасси так, чтобы выводы его сетевой обмотки 1 – 6 были бы обращены к короткому краю шасси. При установке выходного трансформатора, необходимо его развернуть так, чтобы к краю шасси были бы обращены выводы его накальных обмоток 7 – 16.

Трансформаторы закрепляются винтами М4х12 и гайками М4. Под шляпку винта и под гайку подкладываются шайбы. Помимо этого, непосредственно под гайку кладется гровер. Винты вставляются таким образом, чтобы их шляпки оказались бы в подвале шасси, а гайки были бы обращены к трансформаторам. Под левый нижний крепежный винт силового трансформатора (см. монтажную схему подвала шасси), под шайбу, устанавливается «земляной» лепесток. Именно в этой одной точке шасси присоединяется к общему проводу схемы усилителя.

Затем на шасси устанавливается дроссель. Его выводы должны быть обращены к силовому трансформатору. Поскольку в крепежных отверстиях его лапок имеется резьба, он крепится только винтами М4х12 без гаек. Под шляпки винтов необходимо подложить шайбы.

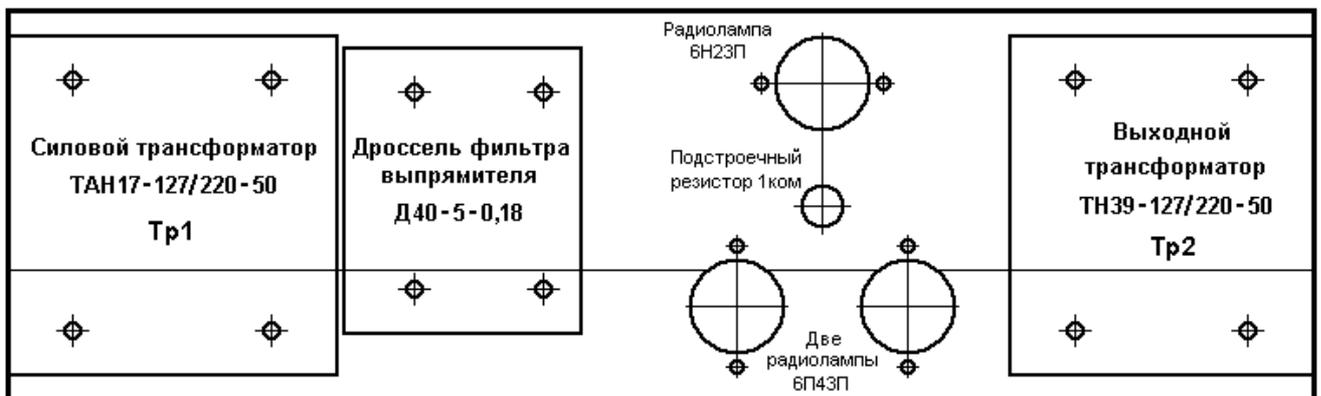
Далее, на шасси устанавливаются ламповые панельки и закрепляются винтами М3х6 с гроверами и гайками М3. Шайбы при креплении панелек не используются. После этого со стороны подвала шасси устанавливается переменный резистор баланса усилителя типа ПП2-11 и с верхней стороны шасси закрепляется с помощью штатных гровера и гайки. После затяжки крепежной гайки наворачивается стопорная гайка, фиксирующая положение оси резистора после регулировки. Внимание! Резьба на переменном резисторе ПП2-11 - пластмассовая. Поэтому сильно затягивать крепежную гайку не нужно, во избежание поломки резистора. Стопорную гайку слегка затянуть нужно будет после регулировки.

На боковые стенки шасси устанавливаются сетевой, входной и выходной разъемы и сетевой выключатель. Разъемы перед установкой разворачиваются так, чтобы их выводы оказались в положении, как это показано на монтажной схеме. Выключатель крепится штатной гайкой, а разъемы закрепляются винтами М3х10, гроверами и гайками М3. Шайбы при креплении этих разъемов не используются.

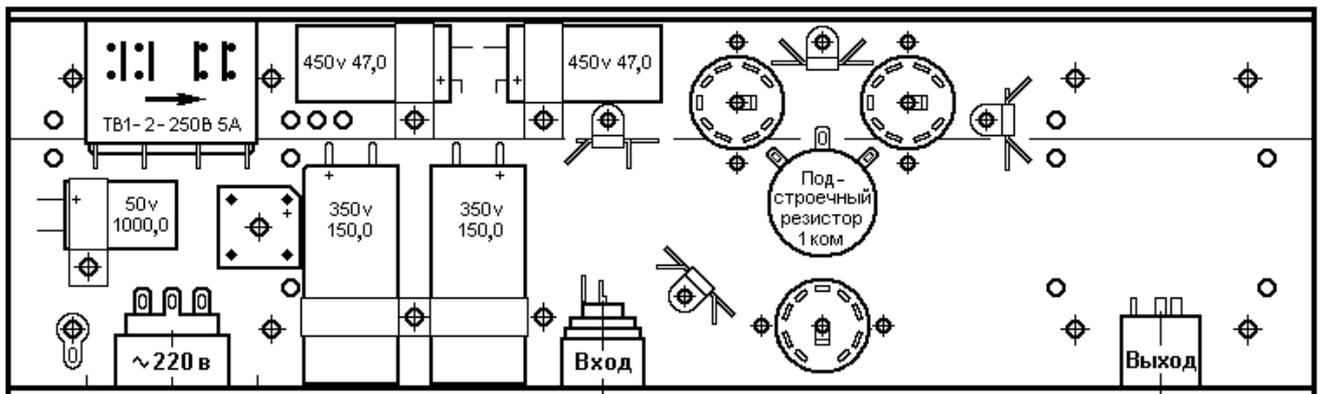
Затем в подвале шасси устанавливаются электролитические конденсаторы в соответствии с монтажной схемой и с обязательным соблюдением полярности выводов. Для этого потребуются отвернуть некоторые крепежные винты трансформаторов и дросселя. Крепежные хомуты вырезаются из жести по месту.

После этого в подвале шасси устанавливаются монтажные стойки. Перед установкой необходимо отформовать их выводы, и при креплении развернуть их так, как показано на монтажной схеме. Стойки крепятся винтами М3х12, шайбами, гроверами и гайками М3. При этом шайба кладется на крепежное ушко монтажной стойки, затем кладется гровер и заворачивается гайка. Под головку винта с верхней стороны шасси шайба не кладется.

И в последнюю очередь в подвале шасси устанавливается мостовой выпрямитель. Его нужно расположить, как показано на монтажной схеме. Ориентировку дает скошенный уголок и обозначенный вывод «+». Мост крепится винтом М3х12, шайбой, гровером и гайкой М3 аналогично креплению монтажных стоек.



Установка радиоэлементов на шасси усилителя



**Электрический монтаж.** Сначала устанавливаются необходимые перемычки на выводы трансформаторов. Соседние лепестки соединяются медным луженым одножильным проводом диаметром 0,7 – 0,8 мм. Более длинные перемычки выполняются проводом МГШВ 0,2.

Затем, выполняется монтаж накальных цепей. Берется намоточный провод, например ПЭВ-2-0,8, отмеряются отрезки нужной длины с небольшим запасом, зачищаются от изоляции на концах на длину 5 - 7 мм и залуживаются, на каждый проводник одевается кембрик толщиной 1 мм и проводники в кембрике скручиваются между собой. После этого, таким двойным проводом прокладываются накальные цепи к каждой лампе, как это показано на монтажной схеме и видно на фотографии. Проводники цепи накала необходимо уложить непосредственно на дно шасси.

Далее монтируются все сетевые соединения. После этого усилитель можно включить и убедиться, что лампы накаливаются. Право, это волшебное зрелище, когда еще совершенно не смонтированная конструкция уже начинает подавать первые признаки жизни! Огоньки катодов ламп – это красиво!

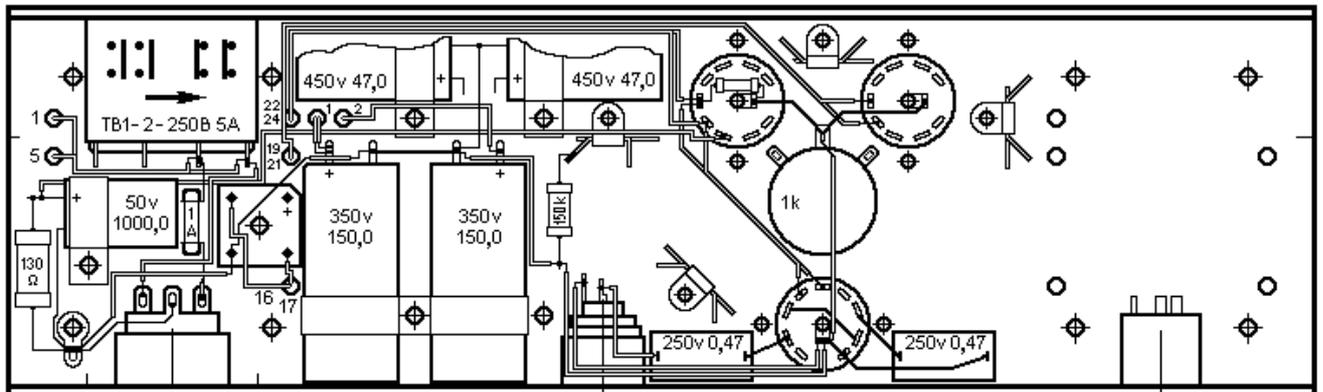
Следующим этапом будет прокладка «земли», то есть, общего провода. Он выполняется медным луженым одножильным проводом диаметром 0,7 – 0,8 мм. Можно опять взять намоточный провод диаметром 0,8 мм, зачистить его ножом от изоляции, аккуратно залудить по всей длине и им вести монтаж.

Затем, устанавливаем и припаиваем межкаскадные разделительные конденсаторы К73-П2. Они большие, занимают много места, и их нужно устанавливать одними из первых радиодеталей. Они должны висеть на своих выводах на расстоянии 4 - 5 мм над дном подвала шасси. Вслед за ними устанавливаем входные разделительные конденсаторы К78-2, они должны лежать на боковой стенке и на дне подвала шасси.

После этого устанавливаем катодную перемычку выходных ламп. Она выполняется голым медным луженым одножильным проводом диаметром 0,7 – 0,8 мм. Затем, по месту, монтируются все резисторы усилителя в произвольном порядке. Что и где удобнее монтировать. Не забудьте про общий катодный резистор выходных ламп. Он отнесен далеко от основной схемы усилителя, но включать усилитель без него, - это вывести из строя катодный электролитический конденсатор. Он просто взорвется, поскольку без катодного резистора на нем окажется около 200 вольт, а его максимальное рабочее напряжение всего 50. И перед установкой еще раз проверьте его номинал. Он должен быть 130 Ом.

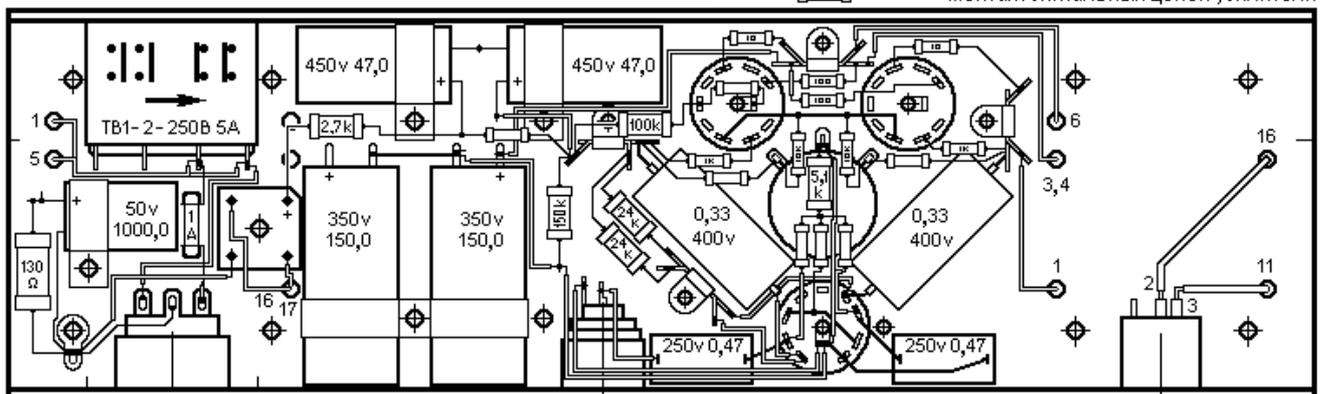
Затем подключается выходной трансформатор отрезками провода МГШВ 0,2. Проводники необходимо отмерить нужной длины по месту с небольшим запасом. Провода не должны идти в натяг, но и не должны болтаться и образовывать лишние петли. В местах прохода проводников через отверстия в шасси, необходимо на них надеть отрезки кембрика внутренним диаметром 2 мм и длиной 20 - 25 мм. Выходные обмотки выходного трансформатора и их соединения с выходным разъемом производится более толстым проводом МГШВ 1,0 или 1,5.

В последнюю очередь монтируется схема анодного выпрямителя и сглаживающего фильтра. Ну, чтобы не было соблазна включить выпрямитель без нагрузки и, тем самым, вывести из строя электролитические конденсаторы, а то и взорвать их.



Монтаж источника питания, накальных и "земляных" цепей усилителя

Монтаж сигнальных цепей усилителя



После окончания монтажа всего усилителя, необходимо проверить его по принципиальной схеме и устранить ошибки или установить недостающие соединения и детали. Такое случается нередко.

И самое последнее, но очень важное дело. Замерьте и сравните значения сопротивлений резисторов в анодных цепях выходных ламп (номинал 10 Ом) – те ли резисторы Вы установили. Они должны быть одинаковыми и подобранными с точностью до 1 процента или лучше!

**Предостережения и правила безопасности.** Перед первым включением усилителя, необходимо еще раз и весьма тщательно проверить правильность выполненного монтажа по принципиальной и монтажной схемам. Желательно делать это не самому, а попросить своего товарища, коллегу или более опытного радиолюбителя. Чужие ошибки, со стороны, видны лучше, чем свои. Особенно стоит обратить внимание на полярность включения мостового выпрямителя и электролитических конденсаторов. Ламповые конструкции, в отличие от транзисторных, содержат в себе высокие напряжения и достаточные мощности, чтобы при неверном монтаже произвести ощутимые разрушения или же привести к поражению электрическим током.

Настоятельно рекомендую выучить и соблюдать два правила при включении и регулировке ламповых схем.

**1. В комнате, где Вы ведете какие-либо работы с настраиваемой ламповой конструкцией должен находиться еще один взрослый человек.** Что бы было кому оказать Вам первую помощь. Обращаю внимание – напряжение до 1000 вольт не производит в организме человека смертельных разрушений. Но сердце от электрического шока может остановиться, будучи при этом совершенно здоровым. Поэтому, при поражении током, если человек потерял сознание, необходимо в первую очередь оторвать его от токонесущих проводов, положить на спину на ровную поверхность, расстегнуть одежду, и как можно быстрее убедиться бьется ли у него сердце. В случае его остановки начать делать непрямой массаж сердца и искусственное дыхание. При этом, на одно вдувание воздуха в легкие пострадавшего через рот, нужно делать 5 – 6 резких надавливаний на нижнюю треть грудной клетки, смещая ее на 4 – 5 сантиметров. После каждого надавливания следует быстро отнимать руки для свободного выпрямления грудной клетки. За минуту необходимо провести 48 – 50 надавливаний на грудную клетку и 10 – 12 вдуваний воздуха в легкие. И не прерываясь, как можно быстрее, вызвать скорую помощь, обязательно сказав, что у человека остановка сердца в результате поражения электрическим током, и Вы делаете ему искусственное дыхание и непрямой массаж сердца. При этом, останавливаться нельзя ни на минуту. И даже после того, как приехали медики! На три-пять секунд, чтобы быстро открыть им дверь – можно. И сразу же после этого продолжить и массаж сердца, и искусственное дыхание с большей интенсивностью. Прекратить делать массаж сердца и искусственное дыхание можно лишь после того, как пораженный ток человек сам об этом попросит.

Второе правило позволяет избежать вышеописанных неприятных последствий даже при поражении электрическим током. Ввел его в позапрошлом веке физик и электротехник Никола Тесла. И это правило носит его имя. Итак.

**2. Если нужно прикасаться к элементам схемы, находящимся под напряжением, делать это следует одной рукой, а вторую руку нужно засунуть в карман брюк.** В крайнем случае, если Вы не носите брюк, и на Вашем платье нет карманов, руку нужно убрать за спину. В этом случае, даже если вы одной рукой одновременно прикоснулись к двум элементам схемы находящимся под большой разностью потенциалов, Вас сильно «дернет», но к печальным последствиям такое поражение током не приведет. Лучше в карман убирать левую руку, а в схеме работать правой.

**Первое включение.** Первое включение и регулировка усилителя производятся без подключения к усилителю акустических систем и источника сигнала.

Перед тем, как включать усилитель в сеть, убедитесь, что в розетке действительно 220 вольт. Иначе проведение измерений с какой-либо точностью, не имеет смысла. Включите тестер на измерение переменного напряжения с пределом измерения не менее 300 вольт и одной рукой вставьте щупы тестера в гнезда электрической розетки. Тестер может показать значения напряжения в пределах от 198 до 242 вольт. То есть, 220 вольт, плюс-минус 10 процентов – это нормально. Однако все дальнейшие рассуждения и методика измерений приведены для случая, когда в розетке имеется точно 220 вольт. Ну и, разумеется, **приступая к работе с высокими напряжениями, обеспечьте выполнение правила номер один!** Высокими напряжениями, потенциально опасными для жизни, в электротехнике считаются напряжения выше 40 вольт.

Установите переменный резистор баланса усилителя в среднее положение, вставьте радиолампы. Выключатель питания установите в положение «выключено», подключите сетевой шнур и включите его в розетку с переменным напряжением 220 вольт, 50 Гц.

Подключите тестер с пределом измерения не менее 500 вольт постоянного напряжения минусовым щупом к шасси или к общему проводу, а плюсовым к точке схемы «+360 вольт», то есть, к «горячему» концу резистора 150 Ом. Закрепите щупы тестера с помощью «крокодилов». Включите выключатель питания. Наблюдайте, как измеряемое напряжение быстро возрастет до значения + 450 ... 470 вольт и затем, в течение одной минуты, по мере прогрева ламп, уменьшится до рабочего значения + 350 ... 360 вольт. Если все происходит именно так, значит, источник анодного питания предварительного каскада работает правильно.

Затем необходимо выключить усилитель тумблером питания и подождать, пока катоды ламп полностью «потухнут». Оставив отрицательный щуп тестера на общем проводе, положительный щуп с помощью зажима «крокодил» подключите к выводу 4 выходного трансформатора. **При этом помните и соблюдайте правило номер два!!!** На электролитических конденсаторах и после выключения питания заряд может сохраняться длительное время.

Включите усилитель. Наблюдайте, как напряжение быстро возрастает до значения 250 ... 270 вольт и затем, по мере прогрева ламп, уменьшается до рабочих 185 ... 190 вольт. После того, как напряжение установится в районе рабочего значения (плюс - минус 5 процентов), усилитель можно выключить и считать, что первое включение прошло успешно.

Если характер изменения напряжения иной или имеют место другие значения, то необходимо выключить усилитель и проверить правильность монтажа, исправность и номиналы радиодеталей.

**Регулировка.** Для регулировки усилителя потребуется отвертка, тестер с зажимами типа «крокодил» на обоих щупах, карандаш и лист бумаги.

Включите усилитель и дайте ему прогреться 3 – 4 минуты. Установите на тестере предел измерения 2 вольта постоянного напряжения. **Вспомните правило номер два!**

Замерьте тестером падение напряжения на резисторе 10 Ом в аноде верхней по схеме выходной лампы. Причем, отрицательный щуп подключите со стороны анода лампы, а положительный – со стороны вывода 6 выходного трансформатора. Показание вольтметра должно быть в пределах 0,5 – 0,6 вольта. Если напряжение меньше или больше, то, поворачивая отверткой ось подстроечного резистора «баланс», установите его в указанных пределах. Запишите значение напряжения, которое Вы выставили с точностью до трех знаков после запятой.

При измерении падения напряжения на анодных резисторах соблюдайте аккуратность! Неосторожное касание одним щупом тестера любой точки схемы, включая шасси, когда второй щуп тестера подключен к анодной цепи, приведет к выходу из строя тестера. Ведь он включен на предел измерения всего 2 вольта!

После этого, замерьте падение напряжения на резисторе 10 Ом в аноде нижней по схеме выходной лампы. Причем, отрицательный щуп подключите со стороны анода нижней лампы, а положительный – со стороны вывода 1 выходного трансформатора. Отсчитайте показание вольтметра с точностью до трех значащих цифр, и запишите его рядом с первым значением. Сложите эти два значения и сумму поделите пополам. Выставьте с помощью отвертки и переменного резистора «баланс» полученное Вами расчетное значение напряжения.

Теперь еще раз замерьте напряжение на анодном резисторе верхней лампы. Убедитесь, что и там тоже имеется в точности такое же значение напряжения. Если напряжения на анодных резисторах различны, то повторите измерения, расчет и регулировку резистора «баланс» до тех пор, пока не выставите на анодных резисторах обеих выходных ламп одинаковые напряжения. Как только это у Вас получилось, - регулировка закончена. Выключите усилитель, подождите пока лампы остынут (а конденсаторы разрядятся) и аккуратно затяните стопорную гайку подстроечного резистора.

Если же для установки одинаковых напряжений не хватает диапазона регулировки резистора, то необходимо заменить одну их выходных ламп. У этой пары оказался слишком большой разброс параметров. Далеко не все купленные Вами лампы окажутся пригодными для качественной работы в двухтактном усилителе. Разброс параметров радиоламп для этой схемы не должен превышать 10 процентов. В противном случае, при регулировке, Вы не сможете сбалансировать схему, и усилитель будет искажать громкие звуки. Поэтому, необходимо либо покупать подобранные пары радиоламп, либо производить их подбор самостоятельно, приобретая заведомо большее число ламп и выбирая из них те пары, при включении которых схема усилителя будет балансироваться наиболее точно (по центру резистора «баланс»). Идеальными парами можно в некотором приближении считать лампы, которые при смене их местами не требуют балансировки и обеспечивают одинаковые токи анода.

Ну и помните, что при смене ламп выходного каскада его регулировку следует повторять заново.

**Эксплуатация.** Ламповый усилитель в процессе своей работы греется. Греются радиолампы, силовой трансформатор и дроссель. Греются почти все резисторы, расположенные в подвале шасси. Греются довольно сильно. Но при этом все радиодетали для ламповых конструкций предназначены для работы при повышенных температурах. Поэтому для лампового усилителя в процессе его эксплуатации не нужны вентиляторы, однако, необходимо естественное, конвекционное охлаждение. Главное для обеспечения правильного температурного режима лампового усилителя – это дать ему естественный контакт с окружающим воздухом. То есть, либо усилитель должен эксплуатироваться в открытом виде как он показан на фотографии, либо к нему нужно сделать сетчатый или решетчатый защитный корпус, который будет свободно пропускать воздух ко всем элементам его конструкции. Причем, доступ воздуха необходим и к элементам в подвале шасси. Поэтому нельзя ставить усилитель на глухую поверхность. Либо под него нужно подложить поперечные рейки, сечением 15 x 15 мм из любого твердого материала, либо, закрыв подвал шасси снизу металлической решеткой, установить на нее ножки, которые будут обеспечивать нужное расстояние от опорной поверхности, до боковых кромок шасси. Ламповый усилитель нельзя помещать в закрытый корпус, в котором отсутствует приток внешнего воздуха. В таком случае радиодетали перегреются и быстро выйдут из строя.

В отличие от транзисторных усилителей, которые можно не выключать сутками, неделями и месяцами (имеется ввиду профессиональная аппаратура), попросту забыв про них, с ламповыми усилителями необходима внимательность и аккуратность. Включил, прогрел полчаса, послушал; закончил слушать – выключил! Однако, включать и выключать усилитель каждый час тоже не следует. Частые включения и выключения вредны для ламп, пожалуй, побольше, чем длительная работа. Увы, радиолампы не вечные, и требуют к себе уважения! И имеют свой хоть и довольно длительный, но ограниченный ресурс. Мало того, в процессе эксплуатации параметры радиоламп плавно деградируют. Поэтому, не стоит забывать про включенные ламповые усилители и расходовать попусту ресурс радиоламп. Ну, и иногда, в процессе эксплуатации нужно проверять балансировку усилителя.

А теперь подключайте к усилителю источник сигнала, акустическую систему, включайте его, дайте лампам прогреться 20 - 30 минут, и наслаждайтесь мягким, нежным и бархатным ламповым звучанием!

#### **Литература.**

1. С. Комаров, «УМЗЧ на "телевизионных" лампах с трансформаторами ТН». «Радио» № 12 за 2005 год и № 1 за 2006 год.
2. <http://www.radiostation.ru/home/usilitel.html>