

## Ламповый УЗЧ

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень

E-mail: ua9laq@mail.ru

К созданию этого УЗЧ меня подтолкнуло щемящее чувство ностальгии по ушедшим годам, "тёплым" душевным ламповым схемам. В свою очередь захотелось отойти от традиций и опробовать некоторые маленькие, давно мучившие меня, задумки. Усилитель звуковых частот, схема которого изображена на рис. 1, следует считать экспериментальным, и его детали, как и их номиналы, – заменямыми, подбираемыми по вкусам и предпочтениям конструктора, желательно с использованием измерительной аппаратуры.

Что сразу бросается в глаза, так это – отсутствие, как такового, отдельного фазовращающего каскада при двухтактном выходном. Но, обо всём по порядку. Сигнал с высокомоменного источника, например, со звукоснимателя электропроигрывавшего устройства грамзаписей, через разделительный конденсатор C1 подаётся на сетку предварительного каскада, выполненного на левом (по схеме) триоде VL1.1 лампы 6Н2П, усиливается им и, через разделительный конденсатор C2, поступает на переменный резистор – регулятор громкости – R3, с движком которого необходимая часть сигнала, выбранная

слушателем, поступает на управляющую сетку второго триода лампы – VL1.2. Далее, усиленный сигнал, через разделительный конденсатор C3, приходит на управляющую сетку одного из лучевых тетродов комбинированной лампы ГУ-19 VL2 и, усиливвшись, выделяется на первичной обмотке выходного трансформатора T2, служащего для согласования высокого выходного сопротивления лампового каскада с низким сопротивлением нагрузки и разделения постоянного анодного напряжения и переменного усиленного ЗЧ. Второй (нижний по схеме) тетрод VL2 включен по схеме с заземлённой управляющей сеткой (не изменяет фазы усиливаемого сигнала, в отличие от верхнего тетрода) и служит для подкачки, при общем катоде, в схеме двухтактного выходного каскада, напряжение ЗЧ, как и в обычном двухтактном усилителе, в конечном итоге, складывается на T2 в фазе и увеличивает выходную мощность УЗЧ.

На лампе VL1 собран классический двухкаскадный усилитель напряжения ЗЧ, лампа может быть заменена на однотипные по цоколёвке 6Н1П, 6Н23П (первая с одной и той же "обвязкой" показала больший уровень

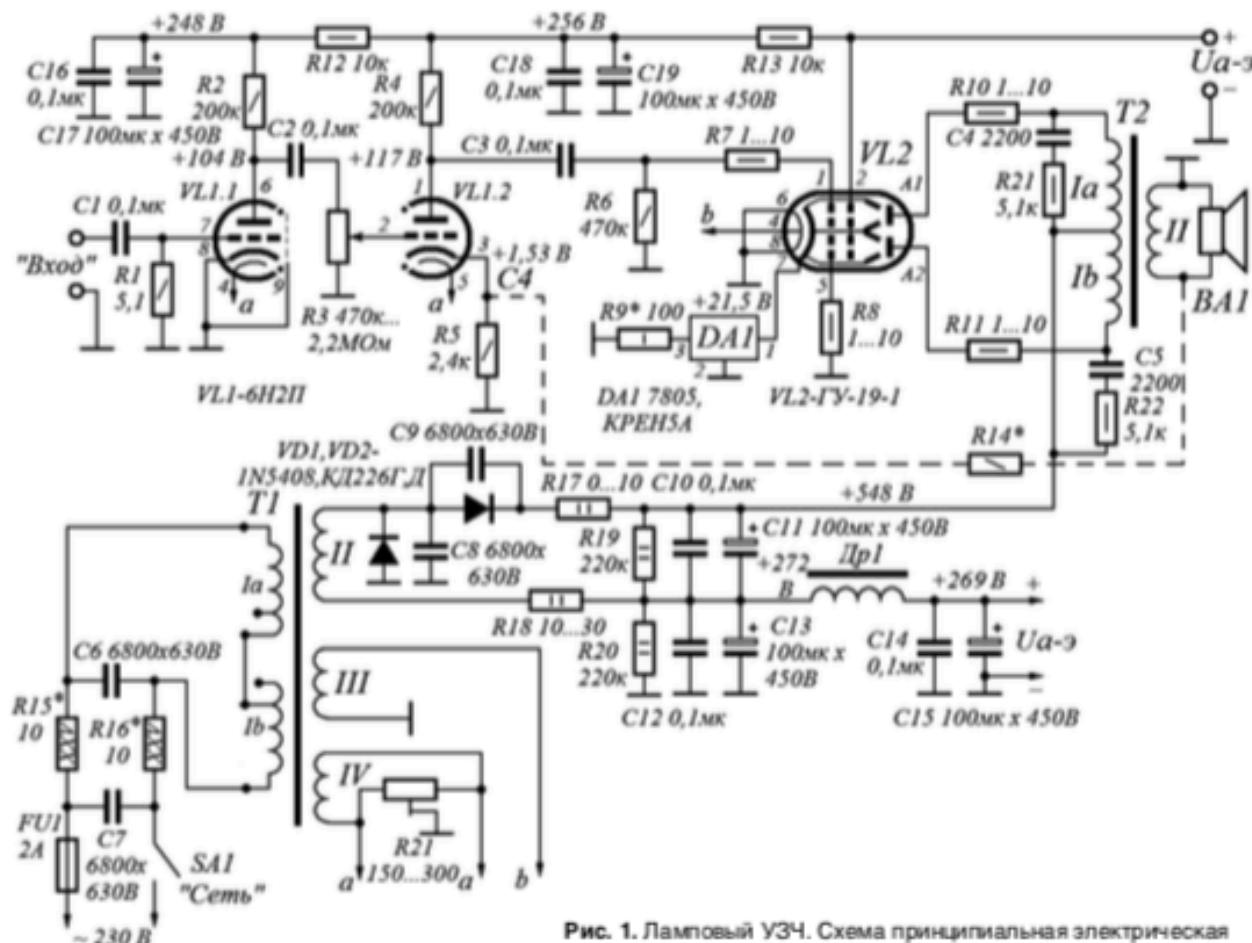


Рис. 1. Ламповый УЗЧ. Схема принципиальная электрическая

фона и шума, вторая – меньший, чем 6Н2П, каждый тип ламп требует подбора режима и отдельной балансировки по цепи накала), или, – на два отдельных триода, с установками дополнительных ламповых панелек и изменениями цоколёвок, например, 6С3П, один пентод, например, 6Ж9П (или два в триодном включении).

Лампа VL2 ГУ-19 выбрана с запасом по мощности для экспериментов, может быть заменена парой подходящих триодов, тетродов или пентодов, рассчитанных на применение в оконечных каскадах, а также – одной из комбинированных: ГУ-17, ГУ-32, ГУ-18, ГУ-29 и т.п. (6Р3С можно применить тоже, но этот вариант – хуже). В каждом случае, следует скорректировать напряжения на электродах ламп и их режимы.

Регулятор громкости – переменный резистор R3 установлен на входе второго каскада, где, при регулировке уровня ЗЧ, он создаёт менее заметные шумы и трески. Для упрощения, при проверенной надёжности R3, он является резистором утечки управляющей сетки лампы VL1.2, давая возможность снижать усиление сигнала в УЗЧ, при перемещении движка потенциометра вниз (по схеме рис. 1). Переходные конденсаторы между каскадами и на входе УЗЧ выбраны с довольно большой ёмкостью 0,1 мкФ. При желании, их ёмкость может быть уменьшена для сокращения полосы усиливаемых частот снизу.

В качестве выходного трансформатора, для каскада на VL2, применён унифицированный накальный трансформатор ТН-46, можно и другие из этой серии, например, ТН-36, с секционированной первичной обмоткой, рассчитанной на подключение в сеть с напряжениями 110/127/220 В, используются обе полуобмотки полностью. Возможно применение и других подобных силовых трансформаторов, при этом обмотка накала ламп используется для подключения нагрузки (громкоговорителя ВА1). Конечно, изготовленные специальные выходные трансформаторы под каждый тип радиоламп, с секционированием обмоток и размещением их секций одна внутри другой, дадут лучшие результаты для идеальной работы усилителя, но здесь такая задача не ставилась. При применении трансформаторов серии ТН, как правило (ТН-36, ТН-46, ТН-60, ТН-61) имеются четыре одинаковых вторичных обмотки, которые можно использовать для подключения к нагрузке (нагрузкам) различным образом: присоединяя нагрузку, например, 8 Ом к одной или двум, соединённым последовательно вторичным обмоткам, нагрузку сопротивлением 4 Ома – к обмоткам, соединённым согласно параллельно. Напряжение ЗЧ с усилителя может быть подано в общую трансляционную сеть, с соединёнными последовательно всех четырёх вторичных обмоток T2.

Параллельно первичным полу-обмоткам T2 включены RC-цепочки, уравнивающие сопротивления этих полу-обмоток на высоких частотах с сопротивлением на низких и средних частотах ЗЧ диапазона и предотвращающие междупитковые пробои, при рассогласовании или обрыве цепи нагрузки и наличии колебаний

верхних частот на максимальной громкости работы усилителя. Все операции при создании выходного трансформатора своими руками специально для лампы ГУ-19 со схемой обмоток можно найти по адресу [7].

Силовой трансформатор T1 может быть применён от старой ламповой аппаратуры, например, от радиоприёмников второго и первого классов. Трансформатор имеет, кроме первичной секционированной, вторичные: повышающую, для питания анодных и экранных цепей и две накальных: одну, намотанную довольно тонким проводом (здесь в УЗЧ от неё питается накал лампы VL1 – для устранения наводок на катоды VL1, применена балансировка напряжения относительно общего провода), и другую, намотанную более толстым проводом, от неё питается накал лампы VL2 (обе половины нити накала соединены параллельно – под напряжение 6,3 В). Силовые трансформаторы старой ламповой аппаратуры были рассчитаны на подключение в сеть с разными напряжениями (110/127/220/237 В), отсюда – их секционированные первичные обмотки, которые переключались на нужное напряжение специальными переключателями-замыкателями. Ныне, установлен единый стандарт для бытовых электросетей 230 В и старые силовые 220-вольтовые трансформаторы стали больше гудеть и греться, но, главное не в этом: теперь и питающие через такие трансформаторы нити накалов ламп будут перегреваться и перегорать значительно быстрее, при этом, раскаляя катоды до неведанной ранее температуры... Для борьбы с этим явлением и возврата питания на "круги своя", следует переключить первичные обмотки силовых трансформаторов на 237 В, хотя не во всех сетях это даст результат, либо подобрать мощные резисторы в цепи первичной обмотки силового трансформатора, за счёт тока в первичной обмотке, и вызванного им падения напряжений на резисторах уменьшающие питающее напряжение на первичных обмотках силовых трансформаторов. Дополнительное гасящее сопротивление подбирается из расчёта получения накального для ламп напряжения 6,3 В, при напряжении в сети 230 В. Сопротивление подобранных резисторов разбито на два одинаковых (R15, R16 – рис.1), которые монтируются в оба провода сети переменного тока и позволяют, при применении дополнительных конденсаторов, осуществить простой сетевой фильтр, ослабляющий помехи для УЗЧ, проникающие через сеть. В цепи первичной обмотки установлен плавкий предохранитель FU1 и тумблер SA1 – выключатель сети. В цепи вторичной повышающей обмотки II трансформатора T1 установлен диодный удвоитель напряжения (здесь: два диода КД226Г, Д или 1N5408), зашунтизованный каждый конденсатором 6800 пФ...0,01 мкФ на рабочее напряжение 400...600 В (обычно – 630 В) для устранения детектирования более высокочастотных колебаний, в том числе и гармоник сети, проникающих к диодам, для которых сеть является антенной, – осуществляется дополнительная защита для УЗЧ от помех мультиплексивного характера, а, значит, и для усиливаемых сигналов. В современных условиях, лучше всего, если пойти по пути

уменьшения воздействия помех на усиливаемые сигналы, необходимо смонтировать УЗЧ на стальном шасси (или/и применить закрытый стальной корпус), с отдельным качественным заземлением. На все входящие провода необходимо установить токовые компенсационные трансформаторы, применять дифференциальные входы по усилившему сигналу, однако, тема защиты от помех – не тема этой статьи.

Для уменьшения воздействия друг на друга (наводок), необходимо сориентировать выходной трансформатор и дроссель питания относительно силового трансформатора так, чтобы наводки от последнего ощущались самым минимальным образом. Для этого нужно, например, к первичной обмотке выходного трансформатора (или к обмотке дросселя) подключить вольтметр переменного напряжения с пределом в 1 В и, включив силовой трансформатор в сеть, уловить минимальные показания вольтметра, меняя взаимную ориентацию трансформаторов, при минимальном или рабочем расстоянии между ними можно применить дополнительный УЗЧ, включая на вход которого обмотки дросселя или выходного трансформатора, на слух определять минимальные наводки на них со стороны работающего силового трансформатора. Как правило, это будет расположение при перпендикулярной ориентации катушек и магнитопроводов трансформаторов. Дальнейшему подавлению наводок элементов, содержащих катушки, друг на друга будет способствовать заключение силового трансформатора (как генератора наводок) в глухой стальной экран из стали толщиной не менее 1 мм и далее, – экранировка выходного трансформатора и дросселя питания.

Потенциометр (переменный резистор) R3 должен иметь экранирующий металлический колпачок (деталь конструкции, который соединяется или конструктивно или коротким проводком с металлическим корпусом-шасси УЗЧ), подвод сигнала УЗЧ осуществляется также экранированным шнуром, однако, необходимо помнить, что входное сопротивление УЗЧ – высокое, отсюда, либо длина такого шнура должна быть небольшой (иначе, он будет вносить эквивалентную ёмкость, включенную параллельно входу УЗЧ и тем большую, чем больше его (шнура) длина), что будет "затягивать" высокие частоты в музыкальной программе, наконец. Небольшое отступление: когда-то мне, можно сказать, в "прошлой жизни", пришлось соединять со входом трансляционного усилителя выход трансляционного же приёмника (из одного комплекта радиоузла). Чтобы отградить от наводок вход усилителя, для соединения применил экранированный провод длиной примерно 3 метра (приёмник и усилитель находились в разных местах), включил и приёмник и усилитель, но как ни старался, а сигнала – нет! Пришлось "чесать репу": оказывается, при высокомомных цепях, ёмкость центральная жила – оплётка шнура оказалась настолько большой, что сигналы до частот в единицы герц оказались подавленными ("развязанными" на общий провод)! Проверил, соединив устройства просто двумя проводами, –

всё встало на свои места. И экранировку линии теперь можно вести только с цепями согласования по входу и выходу, например, с помощью понижающих трансформаторов или системы: (катодный, эмиттерный, истоковый) повторитель – с одной стороны, и усилитель с общими (сеткой, базой, затвором) – с другой. Пугаться не нужно, обычно предлагаемый усилитель подключают обычными короткими проводами по входу, располагая источник сигнала рядом, а про "сюрпризы" – нужно просто знать. Именно, с целью наименьшего влияния на соединительные линии, входы и выходы устройств приводят к низким сопротивлениям (импедансам), позволяющим минимально воздействовать на параметры передаваемых сигналов, при защите их извне с помощью экранирования. Для уменьшения влияния на вход УЗЧ высокочастотных (радио)наводок, с управляющими сетками лампы VL1 на корпус УЗЧ, следует припасть конденсаторы в сотню-другую пФ (на схеме рис. 1 не показаны).

При условии подачи высокого анодного напряжения на анод выходной лампы до 600 В и выше (при применении БП собственной конструкции), следует не превышать напряжение экранной сетки VL2 намного более 250 В, а резистор, включенный в цепь катода VL2, в качестве нагрузки стабилизатора тока подбирать в пределах 82...100 Ом (чем больше сопротивление, тем меньше ток покоя лампы). Кстати, если потребуется коррекция режима работы оконечного каскада, то все манипуляции в цепи катода следует проводить при выключенном усилителе: вывод катода, отключенный от корпуса, находится под высоким потенциалом анодного источника! Возможен удар током, если, при не выключенном питании УЗЧ, отключить резистор нагрузки (R9) стабилизатора тока от общего провода, то дополнительно выйдет из строя ИМС DA1. При желании подключить к усилителю цепь отрицательной обратной связи (широкополосной или частотно-зависимой), следует соединить один из выводов вторичной обмотки трансформатора, подключенной к нагрузке, через резистор или параллельную RC-цепочку (подобранных по необходимым характеристикам, номиналам) к катоду триода VL1.2. При возникновении генерации, соединить с корпусом другой провод вторичной обмотки, так как ООС превратилась в ПОС (положительную обратную связь) и требуется изменить фазу сигнала в её цепи.

В оконечном каскаде в цепи управляющих сеток и анодов последовательно включены антипаразитные резисторы, для повышения устойчивости УЗЧ (сопротивления резисторов могут варьироваться в пределах 1...10 Ом (и более) и должны быть подобраны попарно для применения в симметричной двухтактной схеме).

УЗЧ, согласно принятой ныне тенденции High End класса, не должен иметь регуляторов тембра, передавая спектр усиливающего сигнала "один к одному". Для упрощения усилителя, это требование выполняется и здесь (для полного соответствия, следует проверить по приборам и подстроить АЧХ УЗЧ, если в том будет необходимость). Желающим можно без труда ввести и

регуляторы "подъёма-завала" АЧХ УЗЧ (регуляторы тембра), пользуясь материалами статей, приведёнными в списке литературы.

Да, "ламповые гуру" найдут ещё множество нюансов, соблюдая которые можно создавать УЗЧ самого лучшего качества, но моя цель: направить любознательных именно на постижение этих нюансов самостоятельно, зря, хотя не все, но всё же, – "подводные камни", споткнувшись о которые, они не "разобьют себе носа".

Принцип выполнения выходного каскада можно применить и при конструировании радиочастотных двухполупериодных выходных каскадов, например, на той же лампе ГУ-19-1. Разница заключается в том, что, если на ЗЧ микросхема стабилизатора тока ещё как-то "проглотит" ЗЧ колебания (хотя здесь – между катодом лампы VL2 и ИМС DA1 можно попытаться включить резистор небольшого сопротивления, подбрав его сопротивление экспериментально – катодная цепь низкоомна, и между ним и ИМС включить развязывающий по ЗЧ на корпус конденсатор), другое дело – РЧ, высокочастотные колебания необходимо развязать на входе DA1 РЧконденсатором на корпус и между катодом лампы и ИМС необходимо установить катушку (дроссель), индуктивность которой подобрать экспериментально по идентичности амплитуд противофазных напряжений на паразитной нагрузке лампы – минимуму искажений сигнала на выходе каскада. Определённую помощь в конструировании подобных каскадов усиления мощности может оказать прочтение материала [8].

Для сборки УЗЧ пришлось сначала изготовить стенд – шасси из дюралюминия толщиной 2 мм. Размеры крохотчатого шасси 300x210x50 мм. Передняя стенка – 300x155 мм. Внутри шасси установлена вставка из лужёной жести ГЖК толщиной 0,25 мм, по его образующей, позволяющей осуществить пайку к общему проводу в любом месте. Сверху шасси установлены: силовой трансформатор – Т1, дроссель фильтра анодно-экранированного питания – Др1, выходной трансформатор – Т2, радиолампы VL1 и VL2, конденсаторы фильтра питания. Рядом с лампой VL1 со стороны подвала шасси установлен подстроечный резистор балансировки напряжения питания цепи накала VL1 относительно шасси (общего провода) – R21 (рис. 1), его ось выведена наверх шасси. Между силовым трансформатором и дросселем в подвале шасси расположены резисторы R15 и R16 в цепи первичной обмотки Т1, их корпуса привёрнуты к шасси с использованием пасты КПТ-8 для отвода тепла. Между этими резисторами припаяны конденсаторы C6 и C7, которые с мощными гасящими резисторами образуют простой сетевой RC-фильтр.

Поскольку аноды лампы VL2 находятся сверху шасси, то и соединение с Т2 выполнено также сверху, тогда как сеточные цепи находятся под шасси, нужно соблюдать осторожность – анодные цепи лампы находятся под высоким напряжением! Панель VL2 смонтирована на втулках (отщепена под шасси), воздушный поток из-под шасси обтекает баллон лампы и эффективно её охлаждает. Лампа VL1 установлена в керамическую

панель ПЛК9-Э, которая имеет в комплекте цилиндрический алюминиевый экран, который повышает устойчивость УЗЧ к самовозбуждению (паразитная связь VL1 с анодными цепями VL2). Применённая в первом каскаде УЗЧ схема смещения, за счёт сеточного тока, позволяет уменьшить наводку фона 50 Гц со стороны накала, поскольку катод соединён непосредственно с общим проводом. Вторым методом уменьшения шумов и наводок со стороны накала VL1 служит балансировка напряжения в этой цепи относительно шасси, при этом и не заземлённый непосредственно катод второго триода VL1 не внесёт существенного фона, тем более, что полезный сигнал будет уже усилен первым триодом и доля вносимого в сигнал фона вторым триодом, за счёт этого, будет уменьшена. Регулятор уровня сигнала установлен после первого каскада из соображения снижения шорохов и тресков при регулировании, на первый каскад можно подавать сигнал уже отрегулированный по амплитуде. На переднюю стенку стенд-шасси установлены для экспериментальных целей ещё два регулятора и два входа для реализации наных микшерного устройства (может быть использовано и для регулирования уровня сигнала по входу УЗЧ) – нет на схеме рис. 1. Реализация оконечного каскада УЗЧ без стандартного фазовращателя позволяет высвободить один каскад, что упрощает УЗЧ, позволяет сократить количество радиоламп в нём. При желании в УЗЧ (подключить к катоду VL1.2) может быть введена отрицательная обратная связь через резистор с одного из проводов, идущих к громкоговорителю ВА1 (определить практически – с какого), другой провод, идущий к ВА1, должен быть соединён с общим проводом. На заднюю стенку шасси установлены: ответная часть стандартного соединителя под компьютерный сетевой шнур, держатель сетевого предохранителя, четыре зажимных клеммы: одна под заземление, одна общая для выводов под разные сопротивления нагрузки, и для фазных выходов, которых может быть и больше, чем два.

В качестве выходного трансформатора применён унифицированный сетевой накальный трансформатор ТН-46-127/220-50, первичные обмотки которого соединяются согласно последовательно, крайние точки соединяются с анодами VL2, на среднюю точку подается анодное напряжение. Вторичные обмотки могут соединяться согласно последовательно или согласно параллельно под определённое сопротивление нагрузки. В качестве дросселя в цепи фильтра анодно-экранированного напряжения применена первичная обмотка 400-герцового силового трансформатора, можно использовать и небольшие силовые 50-герцевые силовые трансформаторы в таком включении или дроссели питания. Индуктивность дросселя должна быть от 1 до 5 Гн, диаметр провода обмотки должен пропускать анодный и экраный токи без значительного нагрева. Для увеличения степени подавления фона, параллельно обмотке дросселя можно подобрать конденсатор, настроив параллельный контур "катушка дросселя - дополнительный конденсатор" на частоту неподавленного фона (здесь: 50 Гц).



Рис. 2

В качестве трансформатора T1 применён силовой трансформатор от лампового вещательного радиоприёмника второго класса (или первого класса), имеющий, кроме сетевой секционированной, повышающую и две накальные обмотки, а также вывод междуобмоточного экрана. На внешней изоляции обмоток трансформатора имеется надпись "ВОЛГА" и номер по ТУ 0.005.090. Поиск по ТУ (техническим условиям) в Интернете мне выдал тип трансформатора – ТС-009. У трансформатора пришлось снять переключатель напряжения сети и обрезать "лишние" выступающие за габариты сердечника трансформатора части крепления переключателя.

Электролитические конденсаторы фильтра (здесь: все по 100 мкФ x 450 В) смонтированы выводами вверх на плате, которая крепится с помощью стоек сверху шасси, в средней его части. На плате можно смонтировать до восьми конденсаторов ёмкостью 100...220 мкФ на рабочее напряжение 400...450 В. Расположенные сверху выводы конденсаторов позволяют легко и быстро менять конфигурацию фильтра питания, подбирая оптимум. Перед конструированием УЗЧ была дилемма: то ли использовать одно повышенное анодно-экранированное напряжение (один высоковольтный источник) и доводить до соответствующих электродов ламп напряжение, подбирая сопротивления резисторов, кстати, на фильтр здесь подаются пульсации в 100 Гц, то ли оставить высокое напряжение с удвоителя только как анодное для VL2, а экранное на эту же лампу и анодное на анодах обоих триодов VL1 подавать с середины (с однополупериодного выпрямителя с пульсациями 50 Гц). Помочь сгладить пульсации, в этом случае, помогают как дроссель Dr1, так и увеличенные ёмкости конденсаторов многозвездного фильтра питания... Электролитические конденсаторы фильтра питания C11 и C13 ёмкостью 100...470 мкФ на напряжение 400...450 В должны быть одинаковой ёмкости и шунтированы уравнивающими резисторами R19, R20, которые также способствуют довольно быстрому разряду конденсаторов после отключения питания УЗЧ. Остальные электролитические конденсаторы могут быть увеличены по ёмкости,

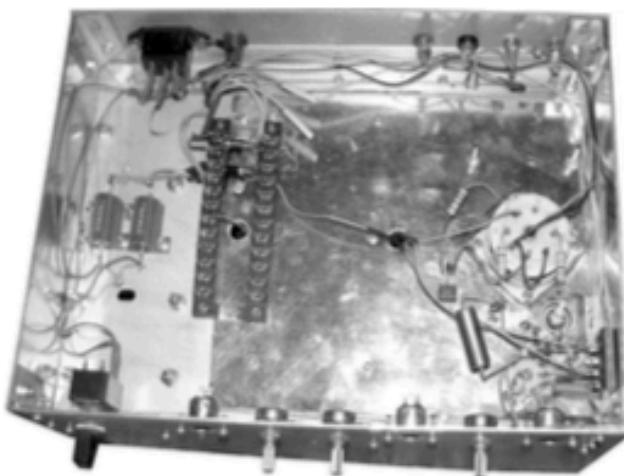


Рис. 3

относительно экспериментальных 100 мкФ, а рабочее напряжение может быть уменьшено до 300 В.

Данный усилитель выполнен как экспериментальный, на стенде-шасси, где что-то может меняться, перепаиваться и не доведён до "выставочного" состояния. Он может работать круглосуточно, если предусмотреть более мощный блок питания, для усиления по паре часов в день, пойдёт и этот. В качестве опции можно предусмотреть двухполупериодное выпрямление и для "низковольтного" анодно-экранированного источника питания, что безусловно снизит фон переменного тока, с которым можно мириться и при однополупериодном выпрямлении, да, если ещё и увеличить ёмкости конденсаторов фильтра... Фото стенда-шасси, использованного мной для эксперимента, приведены на рис. 2-3.

Уменьшение сопротивления резистора R9 до 82 Ом будет способствовать переводу усилителя в класс, близкий к А, хотя и класс АВ (R9 = 100 Ом) для двухтактных схем является оптимальным, при приемлемом качестве, снижаются энергозатраты и нагрев. Полные технические характеристики усилителя не снимались и здесь не приводятся, каждый конструктор, по имеющимся приборам, определит их сам.

#### Литература

1. В. Павлов. Высококачественный усилитель НЧ. - Радио, 1061, №10, стр. 44...45.
2. Н. Зыков. Усилитель НЧ с экспандером. - Радио, 1966, №12, стр. 29...32 и вкладка.
3. В. Беседин. Надоели "барабаны", включайте экспандер. - Радиомир, 2011, №3, стр. 3...6.
4. В. Беседин. Надоели "барабаны", включайте УМЗЧ с экспандером. - Радиолюбитель, 2015, №11, стр. 8...12.
5. О. Платонов. Двухтактный стереоусилитель на 6П14П. - Радио, 2010, №5, стр. 14...16.
6. В. Большов. Усилитель низкой частоты. - Радио, 1965, №7, стр. 33...35 и вкладка.
7. Выходной трансформатор для ГУ-19 - <https://www.youtube.com/watch?v=uZpLaKs-hR8>
8. И. Гончаренко. Цепь смещения – <http://id2kq.de/pa/1-6.htm>