

Ярославский на 6AG7 Владимир Мудрый

Аналогом этой лампы является отечественная 6П9, звук которой нравится многим любителям лампового звука, но 6AG7 звучит еще лучше, что и побудило меня сделать расчет на этой лампе. Это клон предыдущего усилителя с таким же названием, будут лишь уточнены некоторые режимы. Графики очень похожи, так что расхождения незначительные.

Акустика на 10" широкополосных динамиках Philips AD 1065/M8 (буква М-ферритовый магнит), частота резонанса 55 Гц, частотный диапазон 60~18000 Гц, мощность 10 Вт, омическое сопротивление катушки 7,1 Ом, в ЗЯ чистым объемом 83 литра, задняя стенка легкоъемная, что позволяет быстро превратить ее в ОЯ со своим звуковым почерком, это необходимо делать на некоторых музыкальных жанрах, что очень удобно.

С многополосными АС пентоды не играют, у них на границах диапазона растут фазовые искажения, а у пентодов в этих местах максимум усиления, и они со всей силой высвечивают эти искажения, слушать становится невозможно. Максимум что они еще осилит, это 2-х полоска с фильтром 1-го порядка, т.е. пищалка через конденсатор 1~3 мкФ.

Расчеты должны начинаться с акустики, со снятого графика импеданса, должна рассчитываться аудиосистема, а не отдельное ее звено, иначе они не споются, и кто-то из них пойдет доживать свой век на антресоли, в гараж или на разборку. Не бывает универсальных усилителей одинаково играющих с любой акустикой, как и акустики одинаково играющих с любым усилителем, сколько было разочарований от только что купленной АС или усилителя, послушали в магазине, или добрых советов, понравилось, привезли домой, полное разочарование и горе.

График импеданса снимался методом замещения, я его считаю наиболее точным. От него нам надо знать разбег (m), от пика до провала в разгах, это $22/8,3 = 2,65$ раза, акустика с разбегом импеданса в два раза считается очень хорошей, но и дорогая.

На провале импеданса линия динамической нагрузки встает круто, амплитуда тока максимальная, а поскольку именно ток, а не напряжение толкает катушку в магнитном поле создавая звуковое давление (Лоренцова сила), то громкость максимальная. На пике импеданса наоборот, линия динамической нагрузки опускается вниз, амплитуда тока, а вместе с ней и громкость уменьшается. И чем больше разбег импеданса, тем сильнее и заметнее изменения в звуке. Ищите или заказывайте акустику с небольшим разбегом импеданса.

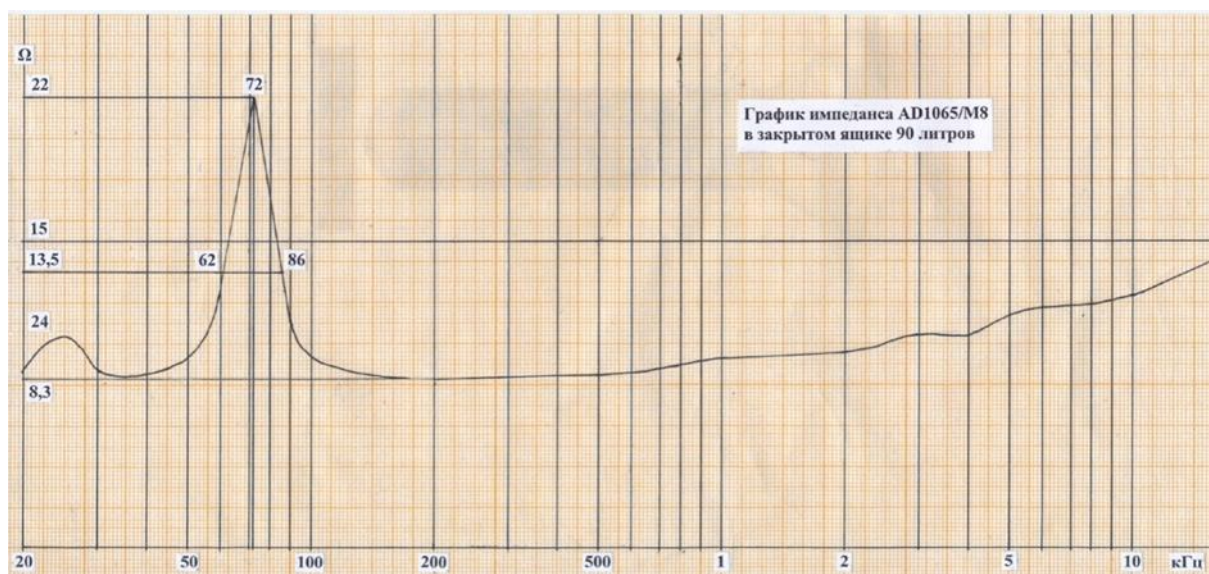


рис.1 График импеданса АС на 10" динамиках Philips AD 1065/M8.

Горизонтальная линия проведена от 20 кГц (это 15 Ом), и пересекает правый скат пика импеданса на 84 Гц, будем считать это рабочим диапазоном, т.е. от 84 Гц до 20 кГц что по силам пентодному усилителю. На НЧ пентоды проигрывают триодам, виной всему большое внутреннее сопротивление, но на СЧ-ВЧ участке АЧХ, им нет равных, чистота, прозрачность и воздушность

тракта просто потрясает, слышно все, включая артефакты записи и косяки сведения режиссерами, и по этой причине некоторым его звучание не нравится, но пентоды в этом не виноваты, они высвечивают лишь то, что им подают на вход.

Но если запись хорошая, можно заслушаться и выпасть из времени, восторг и эмоции зашкаливают, кто-то начинает стучать руками и притоптывать ногами, а кто-то украдкой смахивает слезу, сил нет описать свои чувства и люди начинают выражать их образами, сиреновой дымкой, теплым воздухом средиземноморья и т.д. и т.п.



рис.2 Philips AD 1065/M8. Ободок из пенопласта болотного цвета, задубевший и понемногу крошится. Наружный диаметр корзины 261 мм, внутренний (посадочное место) 231 мм, и толщина обода 9 мм.

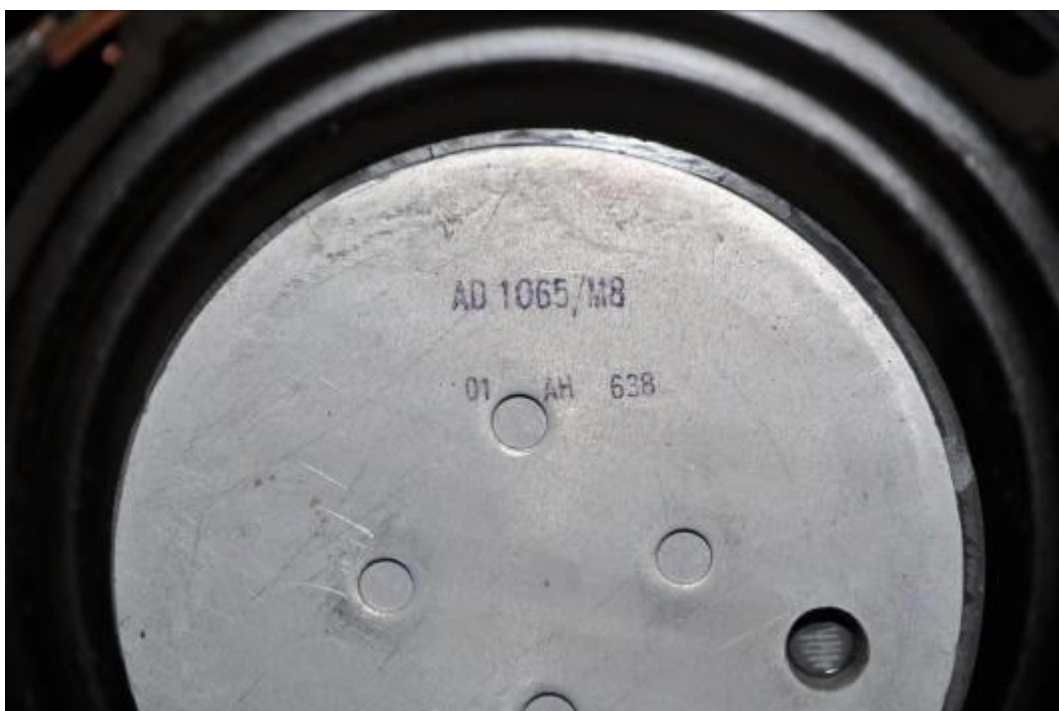


рис.3 Маркировка динамика, М-ферритовый магнит, W-альнико, 8-сопротивление катушки.

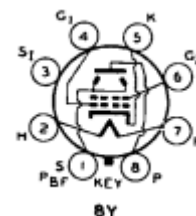
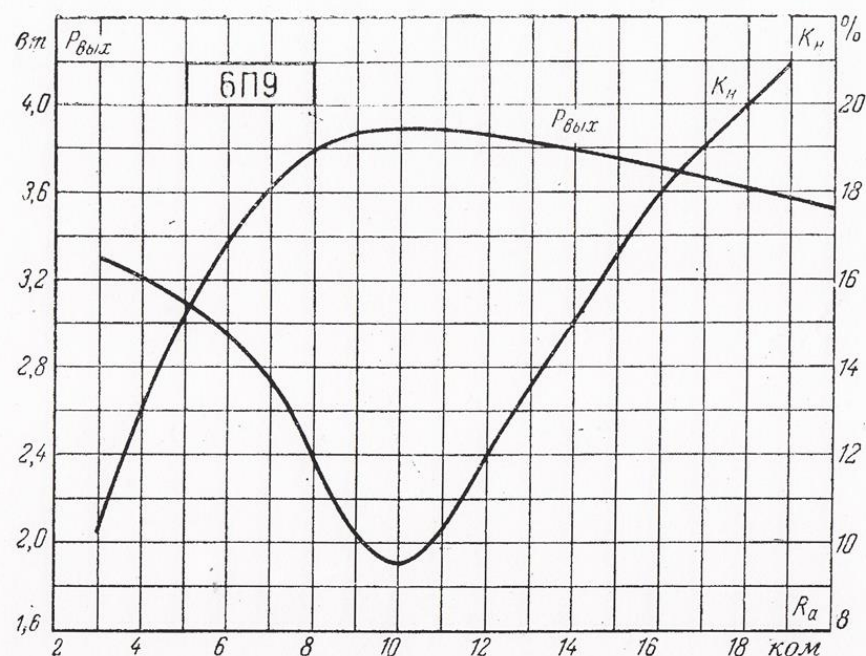


рис.4 6AG7 внешний вид и цолевка, в среднем 3500 руб. за подобранную пару.



Динамические характеристики выходной мощности ($P_{\text{вых}}$) и коэффициента нелинейных искажений (K_n) лампы 6П9 в зависимости от сопротивления анодной нагрузки

рис.5 График зависимости искажений от выходной мощности. Как видим, оптимальная нагрузка 10 кОм.

Рисуем кривую максимальной рассеиваемой мощности анодом 8,7 Вт и экранной сеткой 2 Вт. Выходить за нее нежелательно, во избежание перегрева лампы. Выбираем рабочую точку вблизи нее 280 В, здесь самый линейный режим, смещение -3 В, соседние ветви лежат на равном расстоянии, это залог низких искажений. От 280 В проводим вертикальную линию до пересечения с ветвью смещения -3 В, и в точке пересечения определяем ток покоя 30 мА. Оптимальная анодная нагрузка для этого типа ламп 10 кОм, здесь минимальные искажения и максимальная выходная мощность, осталось ее нарисовать.

$$U_A = (R_a * I_a) + U_a = (10000 * 0,03) + 280 = 580 \text{ В}$$

$$I_A = \frac{U_A}{R_a} = \frac{580}{10000} = 0,058 \text{ A}$$

Ставим их на осях координат, и проводим между ними линию динамической нагрузки, она должна пройти через рабочую точку на ветви смещения -3 В. Раскачка от CD стандартная, по ГОСТ +1 В, т.е. от -2 В до -4 В.

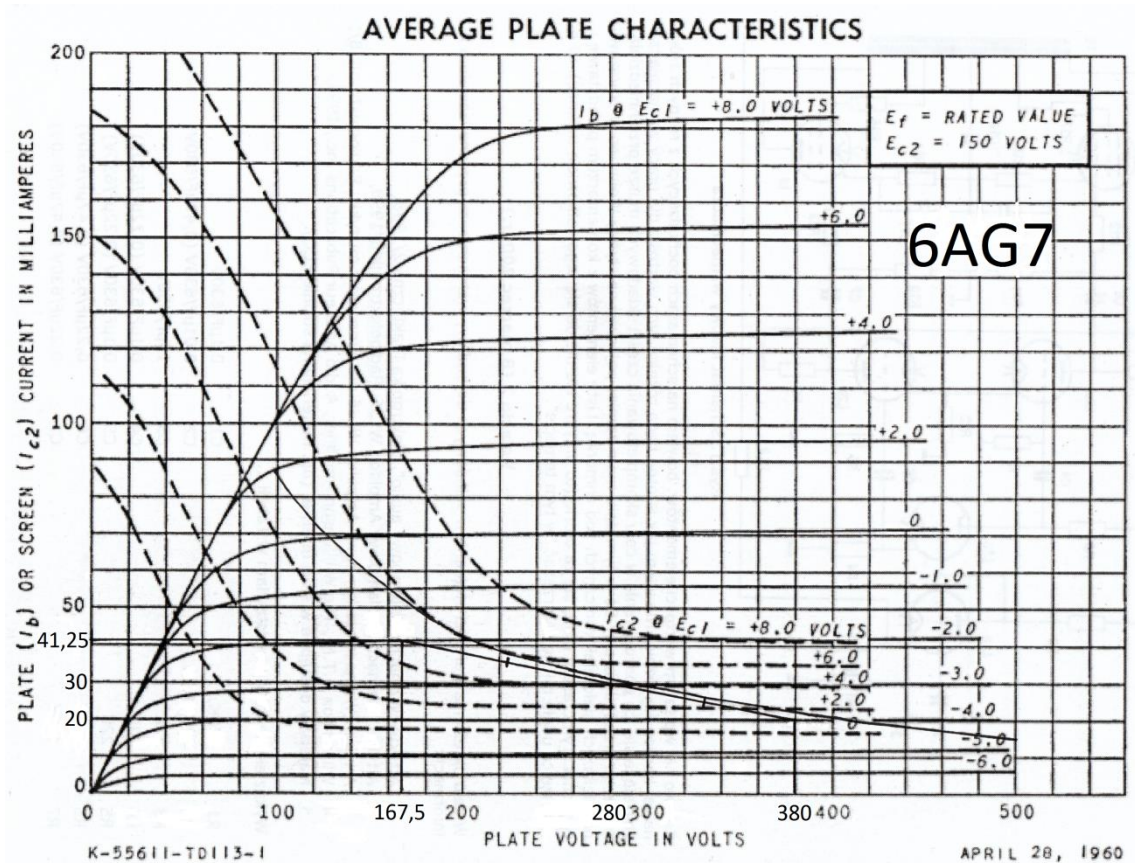


рис.6 График анодных характеристик 6AG7, рабочий режим.

Верхний конец имеет координаты напряжения и тока 167,5 В и 41,24 мА, нижний 380 В и 20 мА, длина отрезка линии динамической нагрузки на положительной полуволне сигнала, $a = 44,5$ мм, на отрицательной, $b = 39,5$ мм, и между половинами напряжения смещения, $c = 42$ мм, с их помощью произведем графический расчет искажений. Расчеты от пика до пика сигнала, так точнее, учитывается и отрицательная полуволна сигнала.

$$U_m = 380,0 - 167,5 = 212,5 \text{ В}$$

$$I_m = 41,25 - 20,0 = 21,25 \text{ мА}$$

$$R_a = \frac{212,5}{0,02125} = 10000 \text{ Ом}$$

У ламп с горизонтальным расположением ветвей смещения очень трудно взять значения напряжения и тока, поэтому я использую тонкую стальную линейку, у нее риски гораздо ближе к графику, чем у пластмассовых или деревянные, т.е. точность выше. Для измерения внутреннего сопротивления из концов линии динамической нагрузки проводим перпендикуляры до пересечения с рабочей ветвью смещения, нам надо определить амплитуду напряжения и тока. Вверху они пересеклись на 30 мА, внизу на 28,75 мА, т.е. амплитуда тока составила 1,25 мА,

амплитуда напряжения была вычислена выше, и составила 212,5 В. В этом случае внутреннее сопротивление лампы равно:

$$R_i = \frac{212,5}{0,00125} = 170000 \text{ Ом}$$

Красивые получаются цифры, анодная нагрузка 10 кОм и внутреннее сопротивление 170 кОм, уверяю вас и в расчетах присутствует своя эстетика, смотреть приятно на результаты труда.

$$\alpha = \frac{10000}{170000} = 0,0588$$

Проверим неравномерность напряжения на АЧХ, чтобы не загромождать формулу, альфу предварительно переведем в триодный вид, $\alpha = 1/0,0588 = 17$. В этой формуле m-разбег импеданса от пика до провала в размах, вот для чего был нужен график импеданса, на нем разбег составил 2,65 раза.

$$\text{ХдБ} = 20 \log \frac{1 + \frac{1}{\alpha}}{1 + \frac{1}{m * \alpha}} = 20 \log \frac{1 + \frac{1}{17}}{1 + \frac{1}{2,65 * 17}} = 0,3 \text{ дБ}$$

На АЧХ практически ровная линия, это потенциал усилителя, как видите он очень высокий. К сожалению его ухудшит АС и комната для прослушивания, их настройка нелюбимое занятие владельцев, и они после безуспешных попыток ее бросают, и слушают то, что есть, а потом говорят о том, что звук пентода им не нравится. Пентодные усилители очень чувствительны к выбору акустики, имея очень высокий коэффициент усиления, особенно на пиках и краях диапазона, а это НЧ и ВЧ участки АЧХ, они честно высвечивают все их недостатки. Постарайтесь облегчить им работу приобретая акустику с невысокими пиками и ровным импедансом в рабочей полосе частот, Montana KAS или WAS им не по зубам, а хозяину горе. По крайней мере избегайте фазоинверторов.

$$\begin{aligned} K_{g2} &= 0,5 \frac{a - b}{a + b} * 100\% [\text{мм}] = 0,5 \frac{44,5 - 39,5}{44,5 + 39,5} * 100 \% = 3\% \\ K_{g3} &= 0,5 \frac{2c - (a + b)}{a + b + c} * 100\% [\text{мм}] = 0,5 \frac{2 * 42 - (44,5 + 39,5)}{44,5 + 39,5 + 42} * 100 \% = 0 \end{aligned}$$

Как видим, 3-я гармоника, придающая звуку жесткость и резкость, отсутствует, преобладает вторая, это т.н. теплый ламповый звук, знакомый нам с детства по радиоприемникам. Это натуральные звуки окружающие нас с малых лет, уши к ним давно адаптировались, и она не раздражает, лишь очень тренированные уши начинают ее замечать с 3%, не увидит их и осциллограф, он начинает показывать с 5~7%. Так что на период настройки он нам не помощник, ищите измеритель искажений, либо осваивайте компьютерные программы, например, Шмелева.

Выходная мощность:

$$\sim P = 0,125 * U_m * I_m = 0,125 * 212,5 * 0,00125 = 0,03125 \text{ Вт}$$

$$P = \eta * \sim P = 0,926 * 0,03125 = 0,0289 \text{ Вт}$$

Это достаточная величина для комфортного прослушивания, в стерео удваиваем. Мне неоднократно приходилось наблюдать реакцию владельцев в разных городах и комнатах, после предложения померить ее комфортный уровень, который обычно лежит в пределах 0,15-0,25 Вт, чему они искренне удивлялись, т.к. считали что слушают гораздо громче.

По-поводу выходной мощности надо помнить о том, что это коммерческий прием, направленный на увеличение продаж, они десятилетиями забивали нам головы. В природе мощность не существует, это искусственная величина придуманная инженерами для сравнения, и подгонки параметров под ГОСТ, она широко используемая бухгалтерами для начисления нам платы за электроэнергию.

В формуле мощности надо смотреть на ее составляющие, напряжение и ток, у пентодов в этом плане заметное преимущество перед триодами, поэтому они и звучат громче. Это не я придумал, это давным-давно доказал Лоренц в своих опытах с проводником в магнитном поле, для нас важна его идея применимая в катушке динамика двигающая диафрагму и издавая звук, т.е. звуковое давление. Чем больше ток, тем громче звучит усилитель, можете проверить на телефоне, включив вместо наушников на 32 Ом другие, на 16 Ом. В ламповых усилителях этого добиваются крутым наклоном ветвей смещения, особенно это эффективно у ламп с веерным расположением ветвей смещения, либо в крайнем случае параллеля их. С горизонтальным не пойдет, у них как ни наклоняй линию динамической нагрузки, ток не увеличивается, ветви параллельные, это чистопородные ИТУНЫ, порода такая, не только у собак и лошадей, но и у ламп.

Я пишу это на всякий случай для людей сомневающих в том, стоит ли делать одноламповый усилитель, хватит ли мне громкости? Хватит. Нагрузите только его одним широкополосным динамиком на бумажном подвесе с чувствительностью не менее 92 дБ, и на полной громкости будет приходить жена и просить убавить громкость.

Есть много людей собравших усилитель на 6П9, и очень довольных его звуком, так вот у 6AG7 он еще лучше.

$$\mu = \frac{U_m}{\Delta U_{g1}} = \frac{212,5}{2,0} = 106,25$$

$$S_{\text{стат.}} = \frac{I_m}{\Delta U_{g1}} = \frac{21,25}{2,0} = 10,625 \text{ мА/В}$$

$$S_{\text{дин.}} = S_{\text{стат.}} \cdot \frac{R_i}{R_a + R_i} = 10,625 \cdot \frac{170000}{10000 + 170000} = 10 \text{ мА/В}$$

$$K_{\text{ус.}} = S_{\text{дин.}} \cdot R_a = 0,01 \cdot 10000 = 100$$

Как вам такой результат? Думаете что это фантастика, как бы не так, это ваша головная боль по борьбе с фоном и подбором акустики, он по честному покажет все ваши недоработки, кому-то прибавит энтузиазма по их устранению, поиску новых комплектующих, а кто-то сложит руки, и скажет, ну его нафиг, не мой это звук. Это люди слабые духом, нытики, а не любители повозиться с лампами и порадоваться результату.

Одноламповые усилители это для людей сильных духом, творческих, ищущих пути воплощения своей мечты. Они как магнитом притягивают к себе единомышленников, группируя и удваивая, утраивая усилия на тернистом пути достижения высококачественного звука. Именно они, а не нытики, расширяли звуковой диапазон начиная с 40 Гц и ниже, и с 6~8 кГц, вначале до 16 кГц (дирижер Филадельфийского симфонического оркестра Стоковский, обратите внимание это не инженер и не чиновник из министерства), а потом и выше.

Не верьте тем, кто говорит, что в ламповых усилителях все изобретено до нас, это неправда, это опять нытики и лодыри, люди не творческие, им бы лишь ничего не делать, а сидеть на форумах и жаловаться. Процесс изобретения продолжается и до наших дней, я примерно до 2000 г. получал по подписке из библиотек патенты на изобретения ламповых усилителей, потом отказался, потому, что понял, процесс изобретения продолжается и до наших дней. Так что творите, это ваш путь к своей мечте.

Огромный коэффициент усиления вытащит из записи все нюансы, всю мелочь и мусор, ваше внимание будет акцентировано на звуках, а не на музыке, что быстро надоест.

Это 0,94μ, нормально для выходного каскада, при подаче на вход от пика до пика 2 В, с таким коэффициентом усиления на выходе получим 200 В, а не 212,5 В рассчитанных выше. Имейте это в виду, т.е. и выходная мощность будет немного поменьше, усиление лампы и каскада-это разные вещи. Можете пересчитать выходную мощность, поделив его на коэффициент трансформации и умножив на КПД, какое будет напряжение на нагрузке, а затем и мощность.

Входная динамическая емкость (для пентодов в отличие от триодов, вместо Кус. ставят μ).

$$C_{\text{дин.}} = C_{\text{вх.}} + C_{\text{вых.}} + C_{\text{спрх.}} (1 + \mu) = 5,2 + 7,5 + 0,06 (1 + 106,25) = 19 \text{ пФ}$$

Добавим 5~7 пФ емкости монтажа, и 120 пФ емкости межблочного кабеля (померьте у своего на частоте 100 Гц), итого набирается около 145 пФ, которые предстоит прокачать ЦАПу.

Для проверки скоростных характеристик необходимо знать межобмоточную емкость, которую предстоит прокачать лампе. На имеющемся трансформаторе я намерил ее 3445 пФ, амплитуда тока на положительной полуволне сигнала 11,25 мА, и напряжения 112,5 В, в этом случае скорость нарастания сигнала равна:

$$S.R. = \frac{I_m}{C * 10^{-12}} * 10^{-6} = \frac{0,01125}{0,000000003445} * 10^{-6} = 3,265602 \text{ В/мксек}$$

$$ПСН = \frac{S.R.}{U_m} = \frac{3,265602}{112,5} = 0,029028 \text{ 1/мксек}$$

Верхняя граница на 98% от полной выходной мощности т.е. по -0,17 дБ, равна:

$$F_v = \frac{ПСН * 10^6}{-0,17 \text{ дБ}} = \frac{29028}{6,28} = 4622 \text{ Гц}$$

А по -3 дБ надо еще умножить на 4,92, итого получается 22,7 кГц, как раз типовая величина для лампового усилителя.

От ЦАПа, чтобы прокачать входную динамическую емкость 145 пФ с двойным запасом на неучтенные емкости, потребуется амплитуда тока:

$$I_m = U_m * C * 10^{-12} * ПСН * 10^6 * 2 = 1,0 * 0,00000000145 * 29028 * 2 = 0,0000084 \text{ А}$$

И номинал регулятора громкости тоже с двойным запасом:

$$R_{\text{гр.}} = \frac{1}{C_{\text{дин.}} * 10^{-12} * ПСН * 10^6 * 2} = \frac{1}{0,00000000145 * 29028 * 2} = 119048 \text{ Ом}$$

Проверяем, амплитуда тока 0,0000084 А на резисторе 119048 Ом создаст падение напряжения 1 В, все точно, т.е. расчеты правильные, и можно спокойно продолжать далее.

Расчет питания экранной сетки.

Из напряжения с блока питания 296 В вычитаем требуемое напряжение 150 В, и остается 146 В, которое надо погасить балластным резистором. Потребляемый ток на эту лампу я не нашел,

поэтому воспользуемся аналогом 6П9, у нее при смещении -3 В, потребляемый ток 6 мА, будем работать с ним. Все равно потребуетсЯ настройка, так что большой ошибки не будет.

$$R_э = \frac{146}{0,006} = 24333 \text{ Ом}$$

На нем рассеивается мощность 0,88 Вт, ставим с запасом от перегрева на 3~4 Вт. Его номиналом будете настраивать минимум искажений, при увеличении напряжения ветви смещения расходятся, при снижении сжимаются, и при каком-то одном, конкретном для этого экземпляра лампы, длина отрезков линии динамической нагрузки становится одинаковой, т.е. искажения минимальные.

Эта настройка завязана с током покоя, настроил одно, ушло второе, и так несколько раз, пока не добьетесь нужного результата. Обычно на этот период в цепь катода и экранной сетки ставят потенциометры, которые после настройки заменяют на постоянные резисторы.

В современных расчетах высококачественных усилителей нижнюю частоту берут 1~2 Гц, это делают для того, чтобы избавиться от фазовых искажений, полностью от них не избавиться, а вот задвинуть за границы слышимости можем.

$$C_э = \frac{1000000}{6,28 * f_n * 0,1 \sim 0,2 R_э} = \frac{1000000}{6,28 * 10 * 2433,3 \sim 4866,6} = 3,3 \sim 6,5 \text{ мкФ}$$

Конденсатор в этой цепи должен быть быстродействующим, чтобы успеть восстановить напряжение, т.е. и цепь заряда тоже должна быть скорострельной, источник заряда иметь низкое внутреннее сопротивление. Самый лучший вариант, отдельный блок питания, но это удорожает конструкцию, решайте самостоятельно.

От отдельной стабилизации экранной сетки пользы мало, при колебаниях в сети, ток анода относительно экранной будет гулять, внося дополнительную паразитную модуляцию, привнося в звук то, чего изначально не было записано нотами, если стабилизировать, то тотально все, включая накал.

Электролиты не желательно, они работают гораздо медленнее бумажных и пленочных конденсаторов, оставляя часть заряда неиспользуемой, это видно даже по мощности искры. Лучше всего в этой цепи работают бумагомасяные, бумажные и пленочные конденсаторы. Обычно для быстродействия их шунтируют конденсаторами небольшой емкости с хорошим диэлектриком, полистирольные, полипропиленовые, фторопластовые по 0,15~0,22 мкФ, иногда для прозрачности и воздушности добавляют слюдяные с серебряным напылением ССГ конденсаторы 1500~2800 пФ. Эта настройка исключительно на слух.

Экранная сетка стоит на пути пролета электронов, и любая нестабильность питания дополнительно модулирует его, внося окраску в звук. Отнеситесь к ее настройке как профессор к любимому ученику, ставя ему голос, и усилитель отблагодарит вас отличным звуком на долгие годы.

Рассчитаем цепь питания катодной цепи. При автоматическом смещении токи анода и экранной сетки суммируются, правда их можно разделить, подав отдельное питание на экранную сетку, а ее саму посадить не на землю, а на катод, в этом случае путь тока не пойдет через катодный резистор, и график будет точно соответствовать справочному.

Чтобы еще больше сгладить колебания тока экранной сетки, напряжение питания подгружают отдельным резистором с экранной сетки на катод, выбирая его номинал таким образом, чтобы ток через него был раза в три больше тока экранной сетки.

$$R_k = \frac{3,0}{0,03 + 0,006} = 83,3 \text{ Ом}$$

На нем рассеивается мощность 0,11 Вт, ставим с запасом от перегрева на 0,5 Вт, поскольку он настроечный, то на принципиальной схеме обозначаем звездочкой.

Шунтирующий его конденсатор компенсирует обратную связь в катоде, с ним громкость

больше раза в полтора, и НЧ поглубже, но из-за того, что он подкрашивает звук, некоторые говорят, пусть потише, но достовернее. Решайте сами, нужен он вам или нет, но место на шасси для него на всякий случай предусмотрите.

По поводу его расчета существует несколько методик, в старину, когда полоса пропускания была небольшой, а промышленность не выпускала конденсаторы большой емкости, инженеры вели его расчет из условия воспроизведения нижней частоты 40 Гц.

Постепенно, по мере улучшений условий жизни, ее стали расширять, промышленность тоже подтянулась с конденсаторами большой емкости, частоту вначале понизили с 40 Гц до 20 Гц, а потом отказались по ней считать, и перешли на постоянную времени, т.е. главным условием стало время полного заряда конденсатора, это 5τ. Пока конденсатор полностью не зарядится напряжение смещения не восстановится, и лампа отыграет на нерасчетном напряжении смещения, т.е. недостоверно.

Отсюда вновь условие, цепь заряда должна быть быстродействующей, а скорость отдачи заряда высокой, что требует отказа от электролитов, но куда же без них, но вновь требуется шунтирование быстродействующими конденсаторами.

За основу берут самый НЧ инструмент, который способна воспроизвести ваша АС без искажений, и под нее считают емкость. Это современная методика требующая дополнительных расходов, промышленности она не приемлема, аппаратура резко дорожает, да и конструктор всегда в затруднении уложиться в отпущенную сумму бухгалтерией и ГОСТ, самодельщику это нипочем, он волен делать так, как хочет, они всегда идут впереди, зачастую добиваясь гораздо лучших результатов.

Если начать со старины, то инженеры считали размашисто, особо не напрягаясь на мелочах.

$$C_k = \frac{5 \sim 10}{6,28 * f_n * R_k} = \frac{5 \sim 10}{6,28 * 40 * 83,3} = 0,000239 \sim 0,000478 \text{ Ф}$$

Это 250,0~470,0 мкФ, обычная величина на большинстве схем тех лет. Иногда считали так, еще проще, не надо было заглядывать в справочник, по памяти:

$$C_k = \frac{160000}{f_n * R_o} = \frac{160000}{40 * 8,33} = 480,0 \text{ мкФ}$$

R_o-реактивное сопротивление C_k на f_n. Его надо брать раз в 10 меньше R_k.

Расчет по постоянной времени выглядит так. Берется время звучания инструмента (не его частота, некоторые путают эти понятия), например, барабан бочка 0,3 сек. (41,2 Гц), и делают пятикратный запас, т.е. 1,5 сек., в этом случае номинал конденсатора должен быть таким:

$$C_k = \frac{5\tau}{R_k} = \frac{1,5}{83,3} = 0,018 \text{ Ф}$$

Это 18000,0х6,3 В. Постоянная времени имеет пятикратный запас, т.е. в течении этого времени просадки напряжения не будет, и лампы отыграет так, как положено, на расчетном напряжении смещения. Продвинутые аудиофилы довели постоянную времени этой цепи до 40 сек, и сидят посмеиваясь в усы над потугами желающих понять, как это у него здорово звучит, в чем секрет? Критикующие как только узнают, так сразу покрутят пальцем у виска, им это кажется глупостью. Малограмотные тут же начнут покупать кучу конденсаторов, наращивая емкость до чудовищных величин, облизываясь в предвкушении от чуда. И о ужас, чуда не произошло, а случился облом, но кто же в этом признается, тем более на весь Интернет, и они пополняют ряды бывалых неудачников.

А умные предварительно посчитают, каким током будет заряжаться эта емкость, и сколько на это потребуется времени? Если лампа слабая, как например, 6Ж8, 6Н... и проч, то уже и музыка закончилась, а конденсатор все еще не зарядился до нужного напряжения, и смещение не восстановилось. Так что работа головой всегда эффективнее работы руками, тем более это бесплатно, голова то своя.

У 6AG7 суммарного тока покоя и тока экранной сетки 36 мА достаточно для его быстрой зарядки, и поддержания потом на все время игры. Для него такая емкость как море, зачерпнув из него ведро воды, его уровень, т.е. напряжение не понизится.

Английская школа производящая расчеты тоже по постоянной времени, на примере М.Джонс, который в расчеты закладывает нижнюю частоту 1~2 Гц, и считает, раз R_a и R_i лампы включены параллельно R_k 83,3 Ом, то лампа видит сопротивление:

$$R_{л} = \frac{R_a + R_i}{\mu + 1} = \frac{10000 + 170000}{106,25 + 1} = 1678,3 \text{ Ом}$$

А т.к. на эквивалентной схеме оно включено параллельно R_k 83,3 Ом, то общее сопротивление равно:

$$R_{общ.} = \frac{R_{л} * R_k}{R_{л} + R_k} = \frac{1678,3 * 83,3}{1678,3 + 83,3} = 79,4 \text{ Ом}$$

Для высококачественных усилителей частоту среза он берет 1 Гц, тогда C_k :

$$C_k = \frac{1}{6,28 * f_n * R_{общ.}} = \frac{1}{6,28 * 1 * 79,4} = 0,002 \text{ Ф}$$

Это 2000,0 мкФ, что заметно меньше отечественной школы расчета. Считайте так, как вам кажется более правильно, но это будет ваш расчет и опыт постройки усилителя своей мечты.

Главное о чем надо помнить при расчетах по постоянной времени, это уравнивать постоянные времени катодной и анодной цепи, $R_k C_k$ и $R_a C_2$ блока питания, они должны работать согласованно, как шестеренки в механизме, без проскальзывания. Разрядившись, один узел должен успеть зарядить второй.

Это как задача про бассейн с двумя трубами, из одной вытекает, из второй втекает, и задача обеспечить неизменным уровень воды, в данном случае напряжения без его просадки на самых длинных НЧ звуках, когда токопотребление максимальное.

Задержка, или недостаток емкости приведет к неполноценному воспроизведению, инструмент будет лишь обозначен, и не более того, в народе такие усилители называют пыхтелками или пукалками.

Ошибка может заключаться в том, что расчет по постоянной времени произведен только для одного узла, без привязки к остальным, или разными методами. Поэтому он должен быть произведен по одной методике, от начала до конца, смешивание разных из них приведет к каше в звуке, и неудовлетворению от только что законченной работы.

$$U_H = \sqrt{P * R_H} = \sqrt{0,52 * 11,6} = 2,46 \text{ В}$$

$$I_H = \frac{2,46}{11,6} = 0,212 \text{ А}$$

Пригодится при расчете сечения провода вторички, она, согласно ГОСТ, должна иметь сопротивление раз в 20~30 меньше сопротивления АС, что потребует секционирования.

$$n = \sqrt{\frac{R_a * \eta}{R_H}} = \sqrt{\frac{10000 * 0,926}{11,6}} = 28,254$$

Выходной трансформатор

В связи с тем, что акустика поменялась, пришлось пересчитать и трансформатор, оставив расчетную анодную нагрузку 10 кОм, т.е. наклон линии динамической нагрузки оставлен прежний, это очень важно, чтобы не переписывать все страницы расчетов.

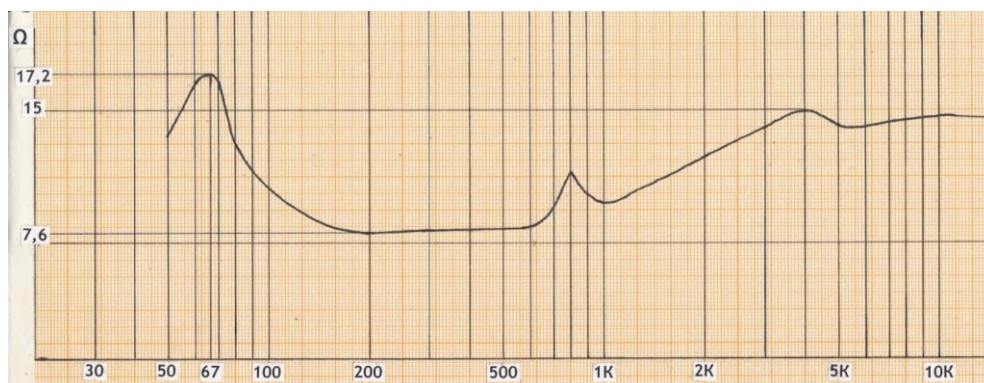


рис.7 График импеданса моей АС на динамиках от 10MAC-1M. Разбег импеданса от пика до провала всего лишь 2,26 раза, т.е. качание линии динамической нагрузки небольшое.

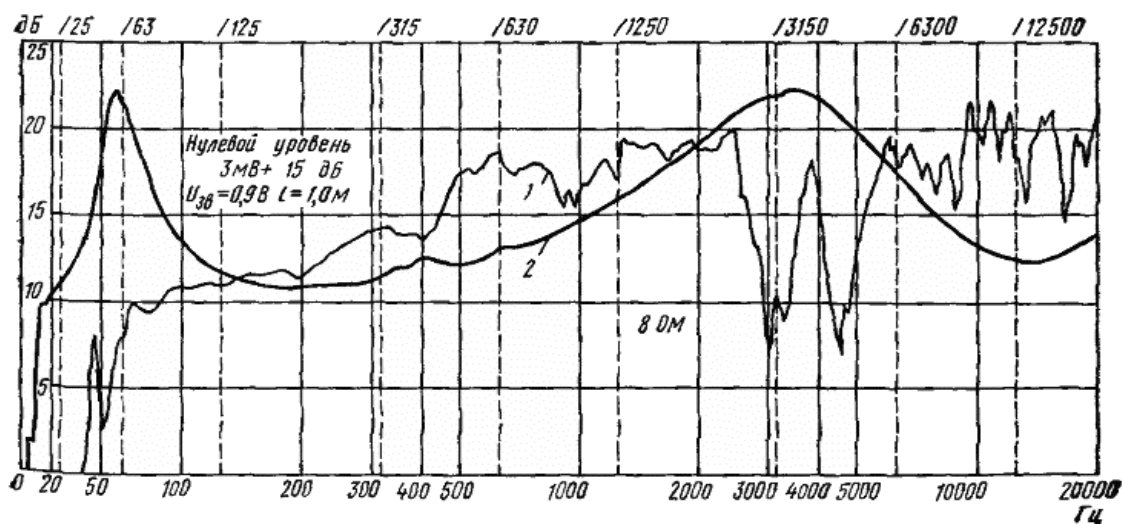


рис.8 АЧХ и импеданс заводской 10MAC-1M.

Железо от какого-то специального трансформатора, он разобран, очищен и отмыт. Я не знаю где они стояли, но получение 20~25 Гн гарантирую.

Сердечник ШЛМ сечением $S_c = 2,54 * 1,9 = 4,83$ кв.см., окно $S_o = 5,6 * 2,1 = 11,76$ кв.см., средняя длина магнитной силовой линии $l_m = 17$ см, длина среднего витка 18 см., толщина пластин 0,35 мм, в расчетах начальную магнитную проницаемость можно заложить 500 (см.Таблицу 11.2). Прикинем его мощность:

$$P_{габ.} = S_{ок} * S_c * \eta = 11,76 * 4,826 * 0,96 = 54,5 \text{ Вт}$$

Для выходной мощности 0,5 Вт имеем запас в 109 раз.

Катушка изготовлена новая из 1,2 мм стеклотекстолита, габарит для намотки 48x18 мм., под него и подбирают провод, чтобы поместились все витки.

Акустика для него 8 Ом, под нее надо пересчитать коэффициент трансформации, чтобы получить $R_a = 10000$ Ом, КПД у меня был вычислен заранее, и составил 0,96.

$$n = \sqrt{\frac{R_a * \eta}{R_H}} = \sqrt{\frac{10000 * 0,96}{8}} = 34,641$$

Для вторички подобран ПЭВ-2 1,06 (1,14 по изоляции, $\rho = 0,017 \text{ Ом/м}$), между щечками помещается 39 витков, три слоя, итого в секции 117 витков. Всего будет две секции вторички, нам надо получить ее омическое сопротивление раз в 20–30 меньше сопротивления АС, поэтому приходится делать несколько секций, соединяя их для уменьшения сопротивления в параллель.

Все эти расчеты надо производить заранее, чтобы не было огорчения от того, что витки не поместились, или анодная нагрузка получилась не та, на какую рассчитывали. Она определяет наклон линии динамической нагрузки, по которому производят вычисления, т.е. от точности наклона будет зависеть конечный результат.

Таблица 11.2

Материал	μ_k
Высококачественная трансформаторная сталь горячего проката (Э42, Э43)	400
Высококачественная трансформаторная сталь холодного проката (Э310, Э320, Э330)	500
Трансформаторная сталь с повышенной начальной проницаемостью (Э46)	600



рис.9 Заготовка для выходного трансформатора.

Изготовление выходного трансформатора

После того как расчеты закончены, переходят к изготовлению выходного трансформатора. Старый разбирают, моют, красят, и изготавливают новую катушку из стеклотекстолита 1,2 мм. Детали склеивают цианакрилатом, ребра от проникновения влаги заклеивают скотчем, предварительно закруглив их надфилем. Первый слой имеет самый острый перегиб провода, эмаль лопается, и со временем под нее проникает влага, это видно по потемневшим участкам меди.

Не исключено что попадают очень ржавые сердечники, их надо тщательно осмотреть, выявить расслоившиеся пластины, залить в них цианакрилат, и стянуть в тисках до полного высыхания. Затем аккуратно сточить наплывы лака, и ржавчины, которые могут помешать установке в катушку, протереть ацетоном и перед покраской загрунтовать.

В процессе разборки ни в коем случае по ним нельзя стучать молотком, иначе потеряем магнитную проницаемость, а вместе с ней и индуктивность. Через дощечки, или кусочки фанеры зажимаем в тиски, и покачивая вытаскиваем из катушки, помогая плоской отверткой. Для выравнивания индуктивности перемешиваем сердечники из одной катушки с другой.

При разборке не исключено что у арматуры могут отломиться ушки, для их восстановления сбоку приклепывают новое крепление. Как видите, возни с ними много, но после покраски их приятно взять в руки, собрать и полюбоваться результатом собственных трудов.

Затем нарезают полоски изоляции, на этот раз использовал кальку, толщиной 0,04 мм. Для удобства и быстроты нарезки бахромы, ее наматывают на подходящий стаканчик от лекарства, отступив от края 1,5-2 мм, и бокорезами с победитовыми губками режут край ленты. В этом случае все зубчики получаются аккуратные и одинаковой длины, такие бокорезы не мнут бумагу, а прорезают ее со щелчком.



рис.10 Комплект железа подготовлен к покраске. Катушка новая.



рис.11 Нарезка бахромы и ее внешний вид, смотрите какая аккуратная.

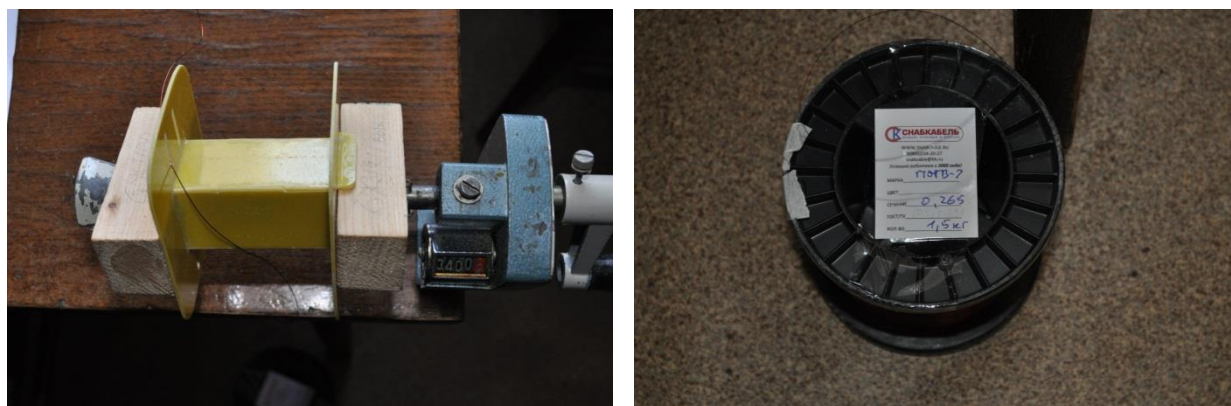


рис.12 Установка катушки в станок для намотки. Боковые рейки не дают раздаваться щечкам, предохраняя катушку от разваливания витками. Катушку с проводом ставим на пол, на торец, в этом случае не будет барашков.



рис.13 Уточняется диаметр провода, на протяжении 20 м диаметр по изоляции от 1,08 до 1,13 мм (бывало и хуже). Если этого предварительно не делать, то витки могут не поместиться.

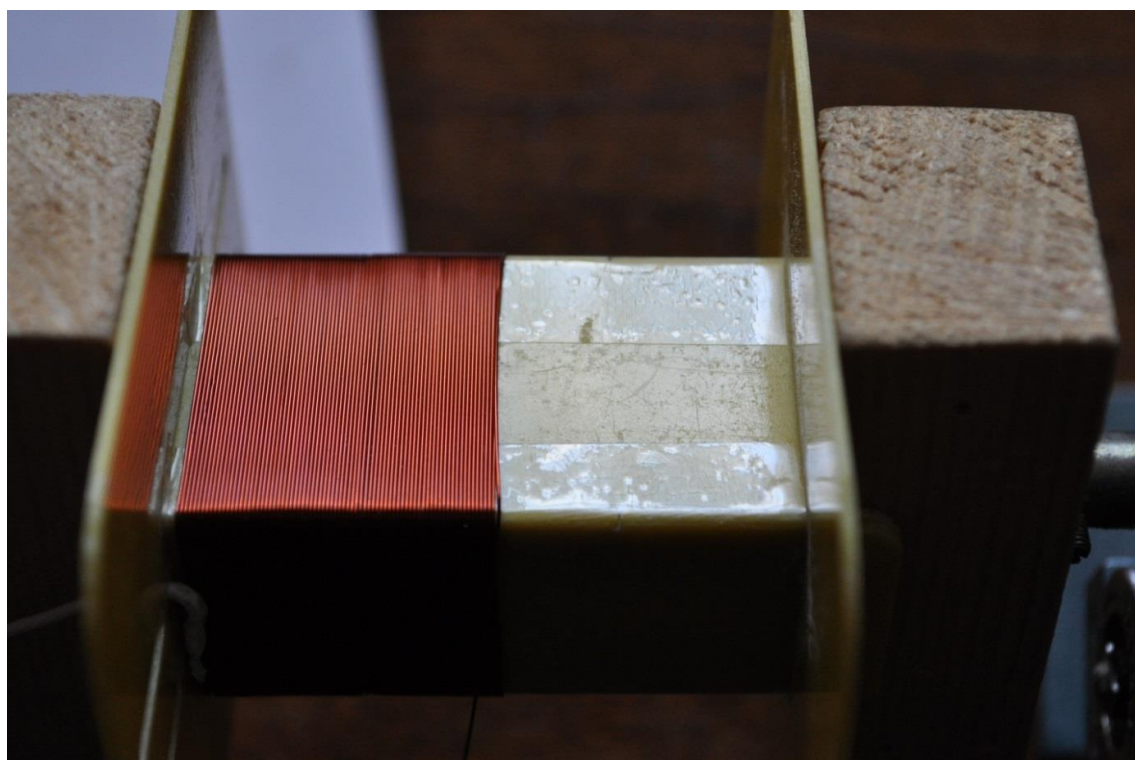


рис.14 Начало намотки, обратите внимание на заклеенные скотчем ребра.

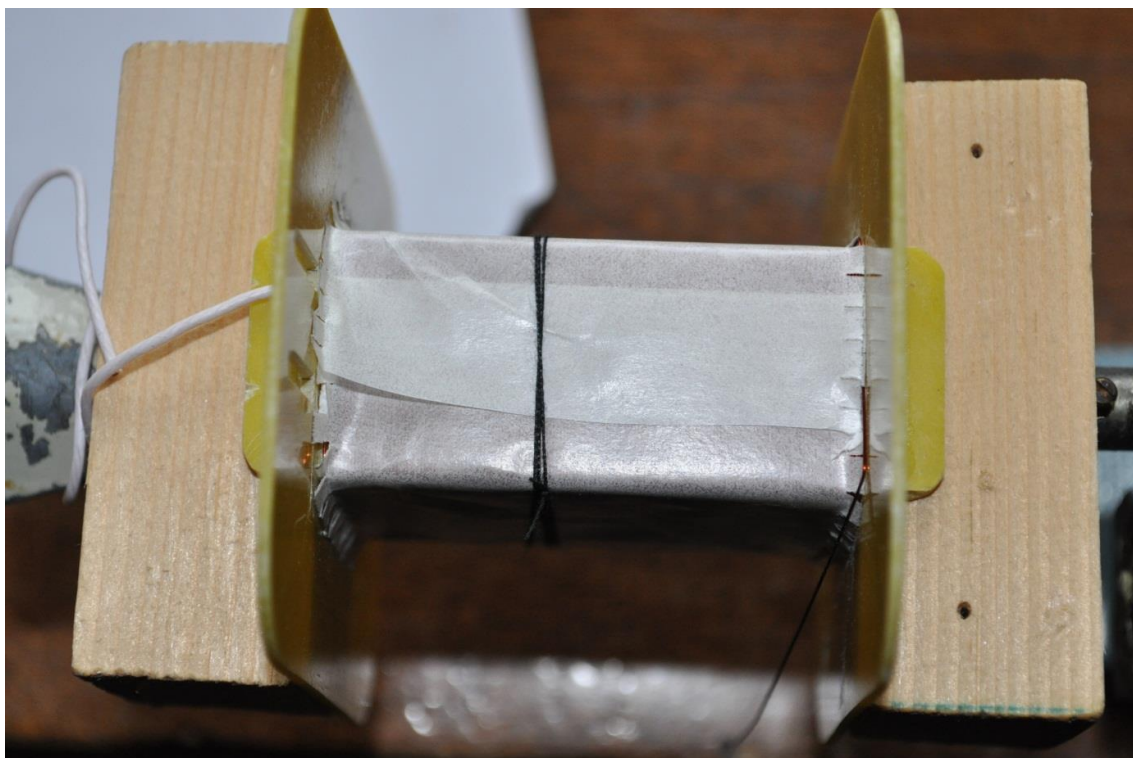


рис.15 Бумагу перевязываем нитками, иначе к концу намотки она сползает, оголяя крайние витки.

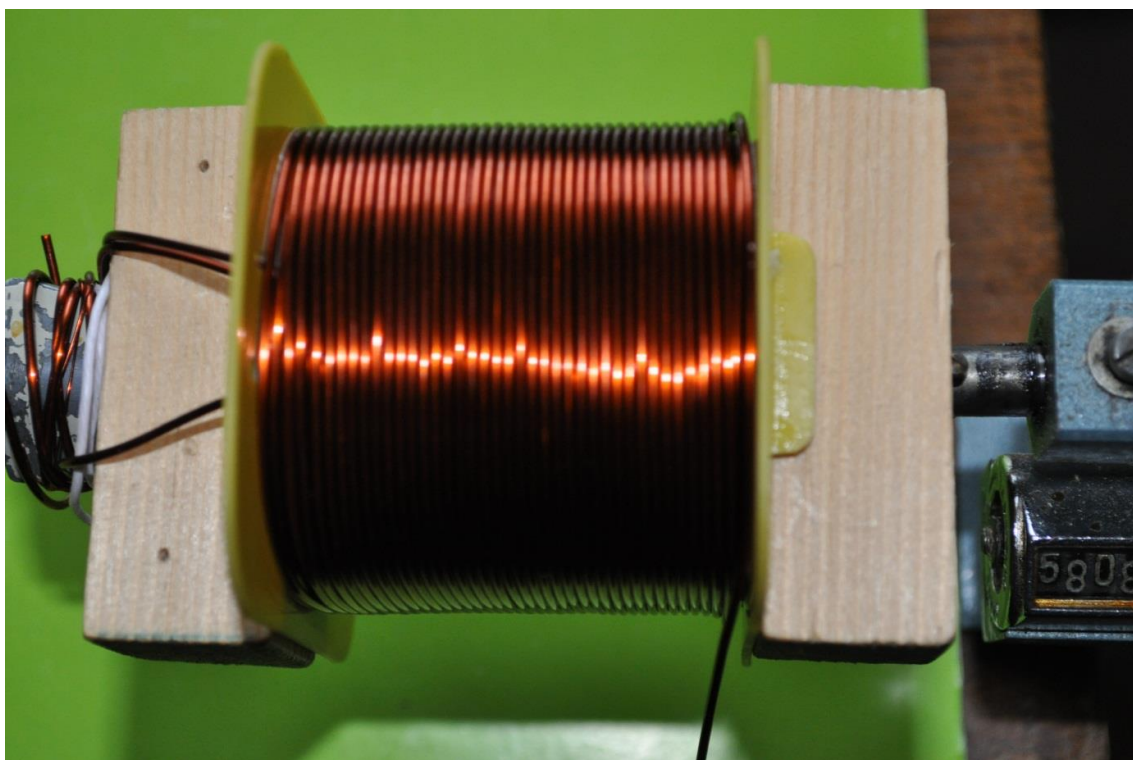


рис.16 Провод вторички очень толстый, станок не осилит, пришлось одной рукой вращать катушку, а второй натягивать провод и укладывать витки вплотную, подгибая ногтем, чтобы между ними не было воздушных просветов.

Схема намотки:

===== Два слоя кальки по 0,04 мм

o ____ 4088 вит.

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____ Первичка, 6 слоев по 152-153 вит., всего 878 вит.

===== Два слоя кальки по 0,04 мм

0 118 вит

0

0 Вторая секция вторички, тоже 118 витков

===== Калька два слоя

o ____ 3210 витков

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____ Вторая секция первички, 15 слоев по 152-153 витка, всего 2154 витков.

o ____

===== Два слоя кальки

0 118 вит.

0

0 Вторички ПЭТВ-2 1,06 (1,13 по изоляции), 39 вит. в слое, 3 слоя и 118 вит.

===== Два слоя кальки по 0,04 мм

o ____ 1056 вит.

o ____

o ____

o ____

o ____

o ____ Один слой кальки 0,04 мм

o ____ Начало намотки, провод ПЭТВ-2 0,265 (0,3), 150-153 витка в слое, всего 7 слоев и 1056 вит.

Высота намотки:

$$28 * 0,3 = 8,4 \text{ мм}$$

$$6 * 1,13 = 6,78$$

$$35 * 0,04 = 1,4$$

Итого: 16,58 мм

Запас на выпучивание $18 - 16,58 = 1,42$ мм, помещаются.

С таким количеством витков коэффициент трансформации получается 34,644, с ним надо работать и далее.

Обмеры готового трансформатора показали сопротивление первичной обмотки 195,14 Ом, первая секция вторички 0,29 Ом, вторая 0,4 Ом, разница 138%, это первая причина фазового набега, вот почему я иногда обе секции вторички мотаю одна на другой, без разноса на катушке. В этом случае разница в длине длина провода минимальная, что положительно сказывается на звуке. Фазовые искажения гораздо заметнее гармонических, и от них надо избавляться еще на стадии проектирования. Основоположник Hi-Fi Вильямсон писал о 20 градусах на 10 Гц, надо еще учитывать фазовые искажения от межкаскадного конденсатора.

Общее сопротивление вторички измеренное микропроцессорным MS5308 составило 0,18 Ом, это в 64 раза меньше расчетного сопротивления АС 11,6 Ом, отличный результат, учебники и ГОСТ писали о том, что оно должно быть меньше раз в 20~30.

После изготовления трансформаторов они были обмерены, и результаты сведены в Таблицу 1.

Таблица 1

	№1	№2
L1	26,80 Гн	25,30 Гн
LII	29,36 мГн	26,44 мГн
r1	194,27 Ом	192,17 Ом
r2	0,18 Ом	0,18 Ом
C	3218 пФ	3242 пФ
Ls	0,03 Гн	0,03 Гн
Rн	11,6 Ом	11,6 Ом
Ra	10002 Ом	10002 Ом
η	0,96	0,96

Проверим точность изготовления, т.е. наклон линии динамической нагрузки. Вначале вычислим приведенное сопротивление и КПД:

$$r_{p2} = r_2 * n^2 = 0,18 * 34,644^2 = 216,0 \text{ Ом}$$

$$\eta = 1 - \frac{r_1 + r_{p2}}{R_n * n^2} = 1 - \frac{194,27 + 216,0}{8,0 * 34,644^2} = 0,96$$

Проверяем получившуюся анодную нагрузку:

$$R_a = \frac{R_n * n^2}{\eta} = \frac{8,0 * 34,644^2}{0,96} = 10002 \text{ Ом}$$

Практически прямое попадание, она требовалась 10000 Ом, так что линия динамической нагрузки пойдет точно как на графике, и все расчеты будут верными. Иными словами, мы только что очень точно согласовали анодную нагрузку с АС, это обошлось мне в 4500 руб. лишь на покупку нужного провода.

Индукция в рабочей точке:

$$B_p = 10000 \sqrt{\frac{\sim P * 2}{S * l_m}} = 10000 \sqrt{\frac{0,564 * 2}{4,83 * 17}} = 1172 \text{ Гс}$$

Она должна находиться в пределах 500~1500 Гс, т.е. выбрана на линейном участке петли гистерезиса. А теперь проверим максимальную магнитную индукцию на нижней частоте 25 Гц, для этой формулы амплитуда напряжения берется на положительной полуволне сигнала.

$$B_m = \frac{10000 * U_m}{4,44 * f_n * w_1 * S_c} = \frac{10000 * 112,5}{4,44 * 25 * 4053 * 4,83} = 0,518 \text{ Т}$$

Это выше рекомендаций учебников для высококачественных усилителей, т.е. 25 Гц это предел, а вот 30 Гц трансформатор воспроизведет без искажений, если они и будут, то от АС, она, как всегда, является самым слабым звеном аудиосистемы.

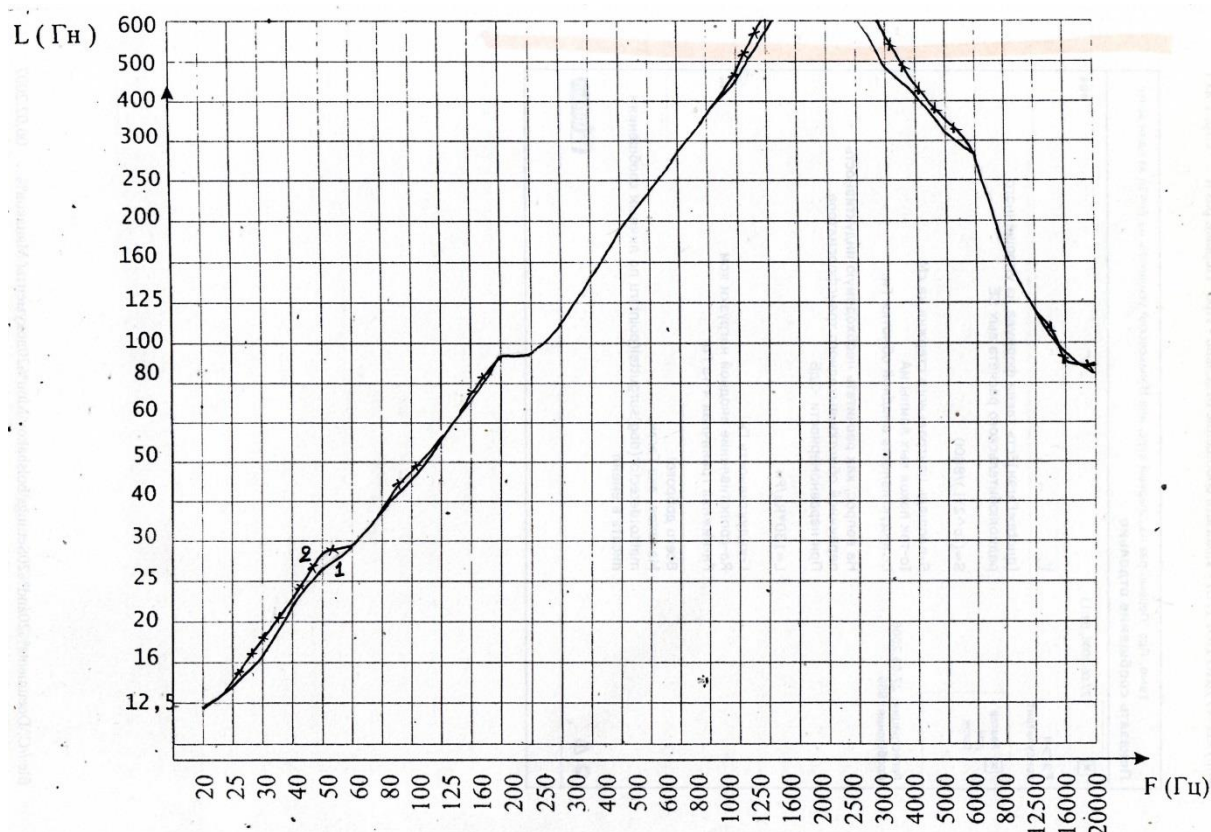


рис.17 График индуктивно-частотной характеристики (ИЧХ) выходных трансформаторов.

Это не АЧХ, а зависимость индуктивности от частоты, т.е. их резонансы и отдача, даже несведущему человеку видно, что наибольшая отдача ожидается на СЧ-ВЧ участке АЧХ, но и на НЧ достаточно индуктивности, чтобы справиться с большинством музыкальных инструментов, не подвела бы только АС. Небольшие уступочки связаны с переключением диапазонов вольтметра. В целом видно, что трансформаторы идентичны, это признак высокой квалификации намотчика, и то, что сталь из одной партии.

Картинка не очень хорошая для звукового трансформатора, в идеале со 100 Гн должна быть плоская часть, иногда в виде колокола без острого горба, предполагаю это 400-герцовая сталь, очень ярко выражена высокая добротность с выпячиванием средних частот, для пентодного усилителя это любимый диапазон.

Проверим скоростные характеристики, скорость нарастания сигнала (S.R.), и приведенную скорость нарастания (ПСН), в этих расчетах амплитуда напряжения тока берутся на положительной полуволне сигнала. Скорость нарастания сигнала равна амплитуде тока, поделенной на заряжаемую емкость.

$$S.R. = \frac{I_m}{C \cdot 10^{-12}} \cdot 10^{-6} = \frac{0,01225}{0,000000003218} \cdot 10^{-6} = 3,806712 \text{ В/мксек}$$

$$ПСН = \frac{S.R.}{U_m} = \frac{3,806712}{112,5} = 0,033837 \text{ 1/мксек}$$

От ЦАПa чтобы прокачать общую емкость 145 пФ лампы с двойным запасом потребуется амплитуда тока:

$$I_m = U_{вх.} \cdot C_{дин.} \cdot 10^{-12} \cdot ПСН \cdot 10^6 \cdot 5 = 1,0 \cdot 0,00000000145 \cdot 33837 \cdot 2 = 0,0000098 \text{ А}$$

Номинал регулятора громкости, тоже с учетом двойного запаса:

$$R_{гр.} = \frac{1}{\frac{1}{C_{дин.}} \cdot 10^{-12} \cdot ПСН \cdot 10^6 \cdot 5} = \frac{1}{0,000000000145 \cdot 33837 \cdot 2} = 102040 \text{ Ом}$$

Проверяем, амплитуда тока 0,0000098 А на резисторе 102040 Ом создаст падение напряжения 1 В, все точно, можно спокойно продолжать далее. Ставим типовой на 100 кОм.

$$F_B = 0,16 \sqrt{\frac{1}{L_s \cdot C}} = 0,16 \sqrt{\frac{1}{0,03 \cdot 0,000000003218}} = 16284 \text{ Гц}$$

$$F_H = \frac{R_a \cdot R_i}{6,28 \cdot L(R_a + R_i)} = \frac{10002 \cdot 170000}{6,28 \cdot 25,3(10002 + 170000)} = 59,0 \text{ Гц}$$

$$F_0 = \sqrt{f_H \cdot f_B} = \sqrt{59 \cdot 16284} = 980 \text{ Гц}$$

По исследованиям в 1970 г. (труды НИКФИ №56), основная полоса мощности джаза лежит на 500 Гц, классической музыки на 1 кГц, как видим его предпочтения классика, но и с джазом он справится.

Частота резонанса трансформатора:

$$F_{рез.} = \frac{1}{6,28 \sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28 \sqrt{26,8 \cdot 0,000000003218}} = 542 \text{ Гц}$$

С ней надо сравнивать частоту резонанса блока питания, которая должна быть ни октаву ниже, у нас это условие выполнено.

$$R_{вых.} = (R_i + r_1 + \frac{r_2^2}{n}) \cdot n = (170000 + 194,27 + \frac{0,18^2}{0,0289}) \cdot 0,0289 = 142 \text{ Ом}$$

С таким выходным сопротивлением динамику без разницы сопротивление кабелей к АС, т.е. они могут быть как тонкими, так и длинными. Не спешите в этом случае делать замечание владельцу, на его, якобы неправильные кабели, он знает что делает.

$$K_d = \frac{8,0}{142} = 0,06$$

С таким коэффициентом демпфирования динамик полностью раздемпфирован, и торможение катушки после окончания звука осуществляется лишь за счет жесткости подвеса, т.е. он становится чрезвычайно легким для управления. Малейшее изменение тока приводит ее в движение, а это микродинамика, самые мелкие звуки которые глушились более громкими, становятся слышны, в звуке становится слышно намного больше, а учитывая коэффициент усиления под 100, сами понимаете какие высокие требования должны предъявляться не только к качеству записей, но и фильтрации питающих напряжений, качеству пайки и деталям. В общем будьте готовы повозиться с его настройкой, тракт получается чрезвычайно прозрачным и воздушным.

Поскольку трансформаторы обмерены, можно рассчитать требуемое напряжение с блока питания. На сопротивлении 194,27 Ом ток покоя 30 мА создаст падение напряжения 5,83 В, плюс напряжение 280 В анод-катод, и 3 В автоматическое смещение, итого с блока питания должно

поступать 289 В.

Для питания экранной сетки нам надо погасить излишки напряжения 139 В, при потребляемом токе 6 мА потребуется гасящий резистор номиналом:

$$R_{\text{э}} = \frac{139}{0,006} = 23167 \text{ Ом}$$

На нем рассеивается мощность 0,83 Вт, ставим с запасом от перегрева на 3~4 Вт. Его марка влияет на подкраску звучания, поэтому ставим самого высокого качества. Обозначаем эти номиналы на принципиальной схеме, готовим шасси и начинаем сборку.

Блок питания

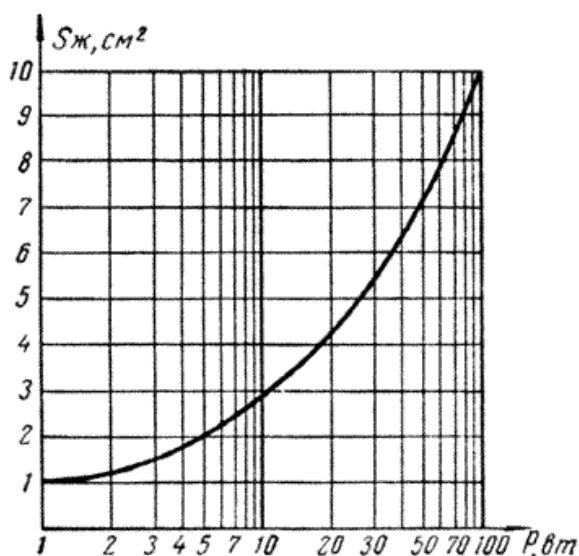


рис.18 Выбор сечения трансформатора в зависимости от потребляемой мощности.

Блок питания тоже должен обеспечить постоянную времени 1,5 сек., т.е. $1,5 = R_a C_2$.

$$C_2 = \frac{1,5}{10000} = 0,00015 \text{ Ф}$$

Это 150,0х400 В. Небольшая емкость позволяет использовать полипропиленовые ДПС конденсаторы, они работают гораздо энергичнее электролитов, с ними динамика просто уххх... Заодно и в цепь питания экранной сетки ставим такие же, т.е. максимально избавляемся от электролитов.

Первый конденсатор после диодного моста перед дросселем С1, нужен для подавления пульсаций, т.е. фона сети. Лучше всего с этой задачей справляются бумагомасляные К42-19х600 В, и полипропиленовые конденсаторы.

В старину считали просто, и очень размахисто, что породило в неокрепших головах мысль о том, что мол сколько не поставь, все равно заработает:

$$L_{\text{др.С1}} = \frac{25}{S} \quad [S = 0,1 \sim 0,5]$$

Т.е. произведение $L_{\text{др.С1}}$ должно быть от 50 до 250. Далее, если известна индуктивность дросселя, например, 8,728 Гн, то емкость конденсатора должна быть:

$$C1 = \frac{50 \sim 250}{8,728} = 6,0 \sim 28,0 \text{ мкФ}$$

Ставим полипропиленовый 40,0 мкФх400 В, диаметром 35 мм. Меняя его номинал, можно подобрать выходное напряжение с блока питания до 30% без перемотки трансформатора, что иногда очень удобно.

Дроссель

$$L_{\min} = 0,00106 \frac{U_H}{I_H} = 0,00106 \frac{296}{0,036} = 8,716 \text{ Гн}$$

$$L = \frac{U_H}{1000 I_H} = \frac{296}{1000 * 0,036} = 8,222 \text{ Гн}$$

При невыполнении этих условий будут выбросы напряжения при включении/выключении или при резком изменении тока нагрузки.

$$L = \frac{U_H}{6 * 3,14 * f_c * I_H} = \frac{296}{6 * 3,14 * 50 * 0,036} = 8,728 \text{ Гн}$$

Как видим, расчет по нескольким формулам дает приблизительно один и тот же результат.

$$w1 = 1200\sqrt{L} = 1200\sqrt{8,728} = 3545 \text{ вит.}$$

$$S_c = \frac{L * I^2}{20000 * I_3} = \frac{8,728 * 36,0^2}{20000 * 0,12} = 4,71 \text{ кв.см.}$$

Это достаточное сечение, на котором может поместиться нужное количество витков провода 0,315 мм, нужную индуктивность подгоните толщиной прокладки.

Постоянная времени τ (Тау), катодной и анодной цепей связаны уравнением:

$$\frac{R_k * C_k * R_i}{R_a + R_i} = C2 * R_a$$

*К.Э. Эрглис, И.П. Степаненко „Электронные усилители”, М. 64, формула 9.9

$$\frac{83,3 * 0,018 * 170000}{10000 + 170000} = 1,42 \text{ сек}$$

Есть незначительная разница, на которую можно не обращать внимание, т.к. в процессе настройки номинал катодного резистора может измениться. Ее устраняют добавлением недостающих микрофард в нужную цепь, убавлять нежелательно, пострадают НЧ, они и так не глубокие.

Необходимо проверить эффективность подавления пульсаций блока питания, и в необходимых случаях добавить микрофард, учтите, маркировка на корпусе конденсатора никогда не совпадает с

его реальной емкостью, я обычно проверяю их емкость перед установкой, и еще ни разу не видел совпадения, так что расчеты могут расходиться с реальными, проверяйте то, что ставите.

Остаточные пульсации на первом конденсаторе фильтра С1 емкостью 40 мкФ.

$$\sim UC1 = \frac{I_n}{2 * f_c * C1} = \frac{0,036}{2 * 50 * 0,00004} = 9 \text{ В}$$

Как видите, чем больше емкость первого конденсатора в знаменателе, тем меньше пульсация, поэтому он и нужен для подавления фона.

Рассчитаем коэффициент подавления фильтра (для 2-х полупериодного выпрямителя частота сети 100 Гц):

$$K_{\phi} = 4 * 3,14^2 * f_c^2 * L_{др.} * C2 * 10^{-6} = 4 * 3,14^2 * 100^2 * 8,728 * 0,00015 = 516$$

Остаточное напряжение пульсаций на выходе фильтра (С2):

$$\sim UC2 = \frac{UC1}{K_{\phi}} = \frac{9}{516} = 0,017 \text{ В (p-p)}$$

Незначительная величина, не слышимая ушами. Все будет зависеть от грамотного монтажа, размещения трансформаторов относительно друг-друга, и разводки земли.

Таким образом, емкостью конденсатора С1 дают фон, а емкость конденсатора С2 служит для других целей, из нее усилитель черпает энергию, она для него как водохранилище, а емкостью первого конденсатора гасим на ней волнение, до уровня тихой ряби.

Остатки этого напряжения будут гулять по цепям усилителя, попадая в АС. Прикинем уровень фона, для этого напряжение на нагрузке 2,46 В переведем в милливольты (2460 мВ), уровень шума при К.З. входа и максимальной громкости на нагрузке намерили 0,65 мВ:

$$U_{\phi} = -20 \log \frac{U_{\text{вых.}}}{U_{\text{ш}}} = -20 \log \frac{2460}{0,65} = -71,6 \text{ дБ}$$

Тишина гробовая. Как посчитать децибелы? Зайдите в Калькулятор, выберете Инженерный, наберете 3784,615, затем $\log * 20$ и получите 71,6 дБ, не забудьте поставить минус.

Частота резонанса блока питания:

$$F_{\text{рез.}} = \frac{1}{6,28 \sqrt{L_{др} C2}} = \frac{1}{6,28 \sqrt{8,728 * 0,00015}} = 4,4 \text{ Гц}$$

Она должна быть ниже частоты резонанса выходного трансформатора 542 Гц, и обязательно ниже нижней частоты, усиливаемой усилителем 20 Гц. Эти частоты должны быть разнесены друг от друга достаточно далеко, иначе, если они окажутся рядом, то это обострит общий резонанс усилителя с перемещением токопотребления и тонального баланса на СЧ, бас станет выпирающим, вялым, а звучание тарелок навязчивым. Не ленитесь делать такую проверку, меньше времени потратите на настройку и доводку.

Про стабилизацию накала. Делать его всегда полезно в силу причин, озвученных мной выше. Апгрейд усилителя лучше всего начинать с нее, это дает заметный результат, услышите послезвучия, которые я называю самой вкуснятиной в звуке. Это объем помещения за счет эха от стен, это эмоции певцов и музыкантов, и много чего другого, чего не описать словами, а можно лишь почувствовать. Струна контрабаса ведь не сразу замолкает после щипка, как и тарелки продолжают еще звенеть некоторое время после удара палочками.

Стабилизатор накала 6,3 В.

Стабилизатор накала позволяет улучшить качество звуковоспроизведения, при правильно выбранных режимах можно услышать послезвучия, самую вкуснятину в музыке. Это эмоции певцов и музыкантов, объем помещения, локализацию на сцене. Затраты копеечные, а польза заметная. Из-за нестабильности сети, ток накала гуляет, меняя ток анода, и смещая рабочую точку.

Лампа потребляет по накалу 6,3 В и 0,3 А, микросхему LM317Т можно использовать без радиатора, у нее ток до 1,5 А, но для подстраховки (или на случай работы с другой лампой), подберем небольшой радиатор размерами 5,0х2,0 см с 8 ребрами, ориентировочная площадь охлаждения 70 кв.см. Из расчета 15-20 кв.см на 1 Вт рассеиваемой мощности, это дополнительно составит 4 Вт, при входном напряжении 10 В и токе 0,3 А, вполне достаточно для наших целей чтобы она не перегрелась.

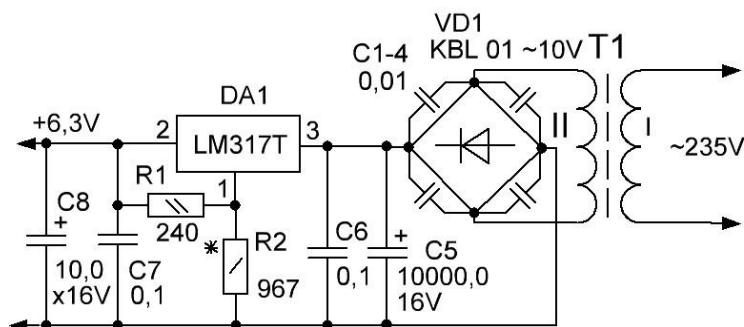


рис.19 Принципиальная схема стабилизатора накала.

Схема типовая, из даташита, обращаю внимание на то, что из-за очень большого усиления при неудачном монтаже она склонна к самовозбуждению на очень высоких частотах, его не услышать, но оно добавляет грязи в звучание. Посмотрите осциллографом с полосой до 150 МГц, нет ли чего подозрительного? Очень много подделок, ищите с буквами LT, они меньше всего шумят.

Сам производитель для борьбы с этим явлением рекомендует распаивать конденсатор 0,1 мкФ не далее 5 см от ее входа, а ее саму, с этой же целью, лучше всего посадить на радиатор через изолятор, пластинку слюды с термопастой КПТ-8.

Диодный мост KBL01, 100V, 3A, с запасом по току, взят исключительно из-за размеров кристалла. Для подавления мультипликативных помех из сети, зашунтирован керамическими конденсаторами небольшой емкости 0,01 мкФх35 В. На входе и выходе м/с как можно ближе к выводам, для подавления самовозбуждения установлены пленочные конденсаторы по 0,1 мкФ.

На входе стабилизатора стоит электролитический конденсатор 10000,0х16 В, на выходе 10,0х16 В. Силовой трансформатор надо рассчитывать на 10 В, 0,5 А.

Номинал резистора R1 240 Ом стандартный, из даташита, им устанавливают образцовое напряжение 1,25 В, такой и поставил.

Рассчитаем номинал резистора R2. Напряжение накала 6,3 В, ток управляющей цепи возьмем с запасом 100 мкА (0,0001 А, бывает до 500 мкА, зависит от экземпляра).

$$R2 = 240 \left(\frac{6,3}{1,25} - 1 \right) = 967 \text{ Ом}$$

На схеме он обозначен звездочкой, им подбираем напряжение на нагрузке 6,3 В. У меня такого не нашлось, поставил 961 Ом, с ним напряжение на нагрузке составило 6,26 В.

Выходное напряжение с таким резистором:

$$U_{\text{вых.}} = 1,25 \left(1 + \frac{967}{240} \right) + 0,0001 * 961 = 6,38 \text{ В}$$

Проверяем, ток текущий через R1, R2, должен быть не менее 5 мА:

$$I_{упр.} = \frac{6,38}{240 + 967} = 0,0053 \text{ A}$$

Все в норме, и это значит, что расчеты верные. Напряжение стабильно 6,26 В, не менялось в течение всего времени работы, ничего не пришлось настраивать, расчеты точные. Радиатор холодный.

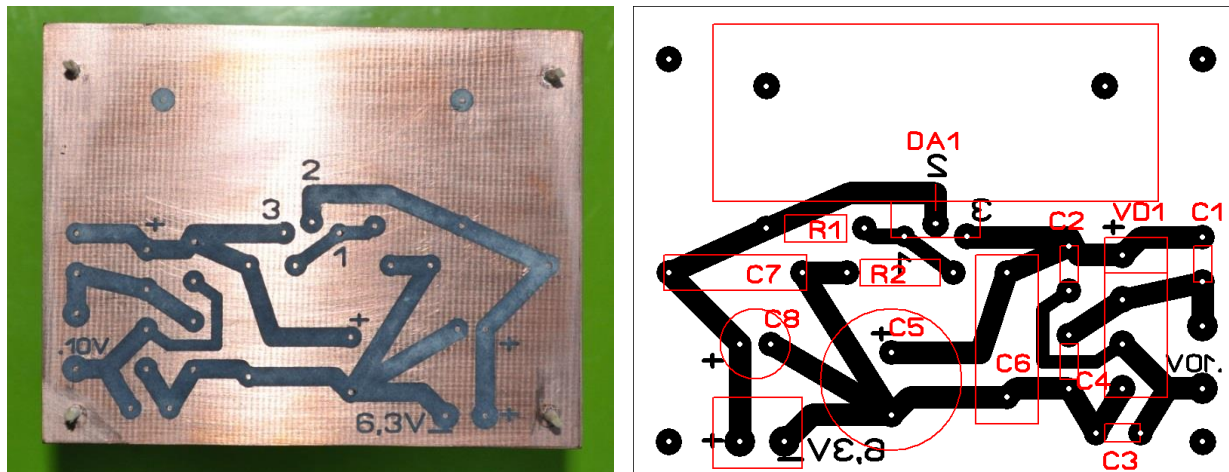


рис.20 Печатная плата (не зеркалить), и расположение деталей на ней.

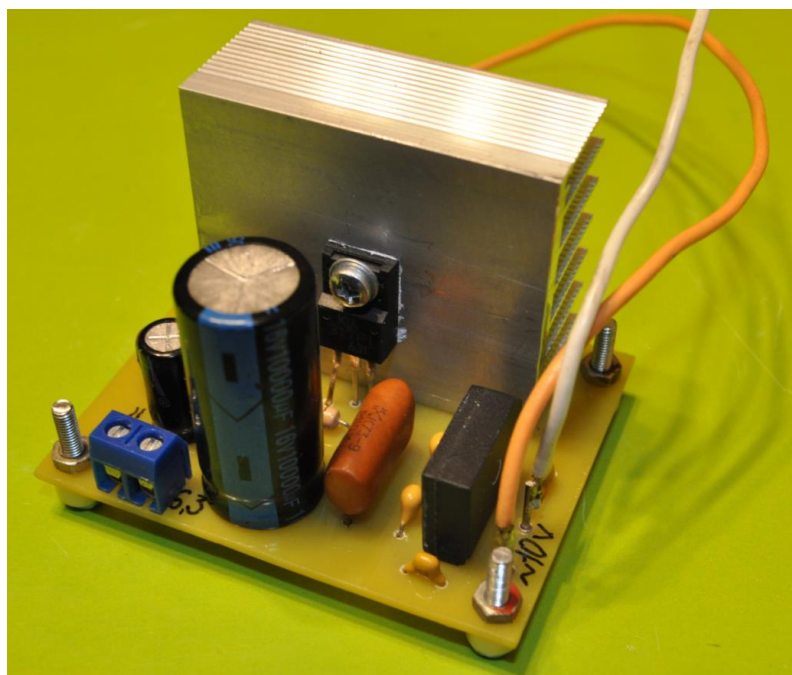


рис.21 Внешний вид готового стабилизатора.

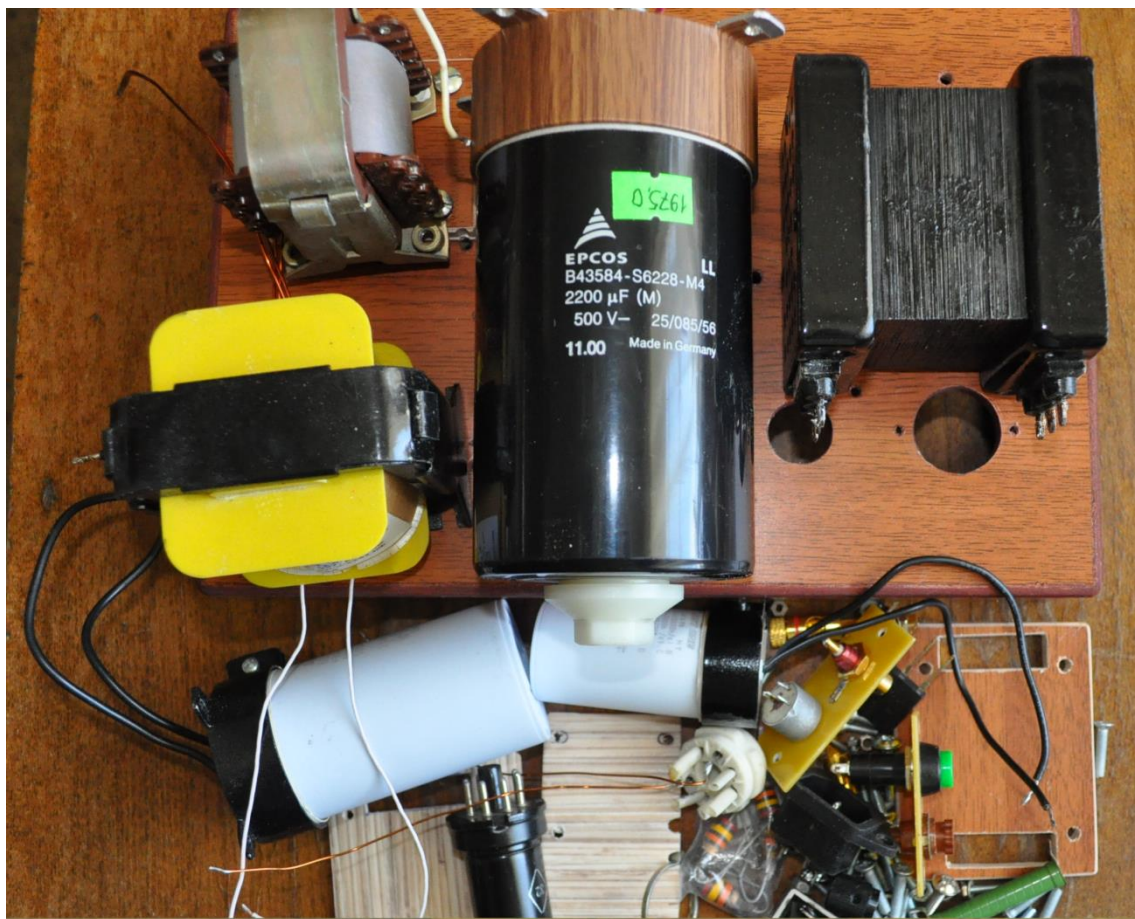


рис.22 Набор деталей для сборки.



рис.23 Вид спереди.



рис.24 Вид сбоку.

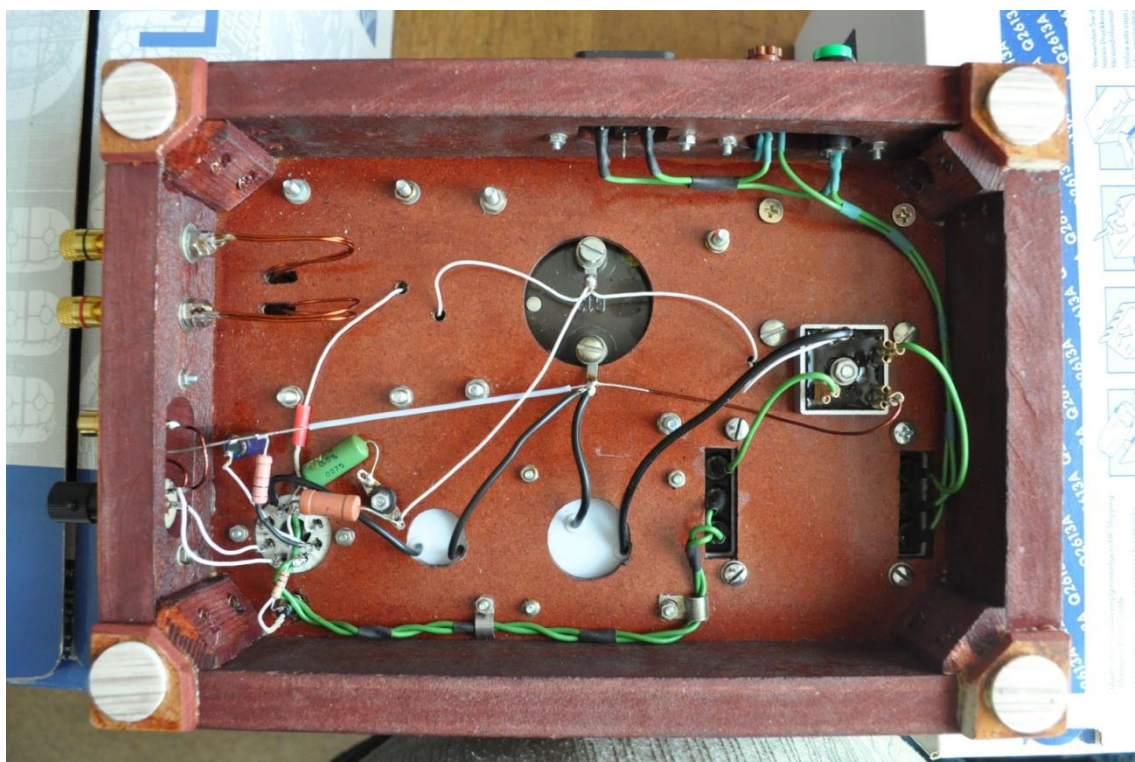


рис.25 Вид на монтаж.

from RMA release #187
May 24, 1939



#187
5/14

Video Beam Power Amplifier

RCA-6AG7 is a heater-cathode type of metal tube intended for use primarily in the output stage of the video amplifier of television receivers. It may also be used advantageously in television transmitters as a coupling device between video-frequency stages and transmission lines.

The design of the 6AG7 features not only an exceedingly high value of transconductance but also high plate-current capability. As a result, a large voltage for modulating a Kinescope can be built up across the relatively low load resistance required for coupling the 6AG7 to the Kinescope.

TENTATIVE CHARACTERISTICS and RATINGS

HEATER VOLTAGE (A.C. or D.C.)	6.3	Volts
HEATER CURRENT	0.65	Ampere
DIRECT INTERELECTRODE CAPACITANCES: °		
Grid to Plate	0.060 max.	µµf
Input	12	µµf
Output	12	µµf
Grid to Screen	5 approx.	µµf
Grid to Cathode and Heater	7 approx.	µµf
Heater to Cathode	11 approx.	µµf
MAXIMUM OVERALL LENGTH	3-1/4"	
MAXIMUM DIAMETER	1-5/16"	
BASE	Small Wafer Octal 8-Pin	

CHARACTERISTICS

PLATE VOLTAGE	300	Volts
SCREEN VOLTAGE	300	Volts
GRID VOLTAGE	-10.5	Volts
INTERLEAD SHIELD	Connected to ground	
AMPLIFICATION FACTOR	770	
PLATE RESISTANCE	0.1	Megohm
TRANSCONDUCTANCE	7700	Micromhos
PLATE CURRENT	25	Milliamperes
SCREEN CURRENT	6.5	Milliamperes

MAXIMUM RATINGS and TYPICAL OPERATING CONDITIONS

VIDEO VOLTAGE AMPLIFIER - Class A

PLATE VOLTAGE	300 max.*	Volts
SCREEN VOLTAGE	300 max.*	Volts
PLATE DISSIPATION	8.7 max.*	Watts
SCREEN INPUT	2 max.*	Watts

° With shell connected to cathode.
* Design maximum for 117-volt line.

Copyright, 1939,
RCA Manufacturing Co., Inc.

6AG7-5-39

рис.26 6AG7 характеристики.

„18" мая 2021 г.

Владимир Большаков