

## Фантомный усилитель



### ПРЕДИСЛОВИЕ

Описываемый ниже усилитель позволяет услышать потрясающую по чистоте и детализации звуковую картину, созданную для вас исполнителем, обладает отличными техническими параметрами и не требует для сборки дорогих и дефицитных деталей. К тому же он дает творческий простор для дальнейшего его совершенствования. Финансовые затраты минимальны, многие из вас найдут все необходимое в своих запасах.

Его основные достоинства:

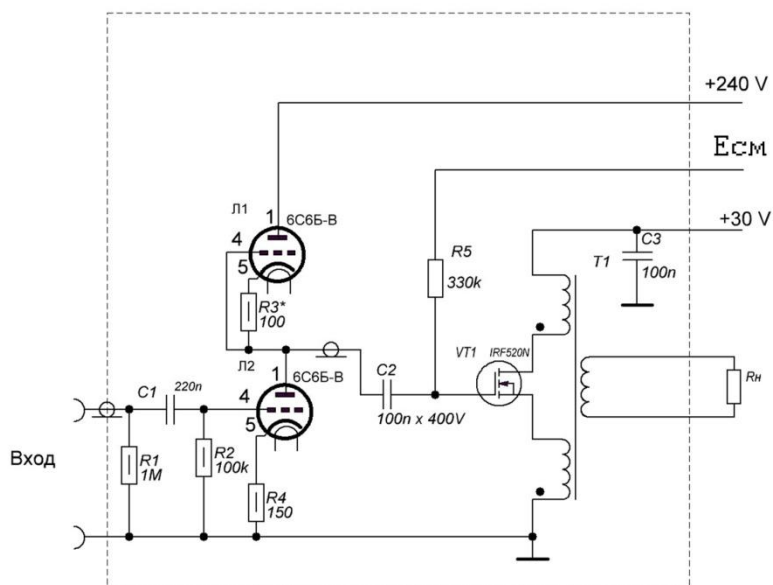
1. Чистый и детальный звук
2. Отсутствие петли ООС
3. Высокая линейность (КНИ= 0,04% при  $P_{ном}$  2x8 Вт, диапазон частот 20-20000 Гц)
4. Простота схемы и отсутствие дорогих и дефицитных деталей
5. Низкие требования к блоку питания
6. Не нужна схема защиты АС
7. Навесной монтаж – проще сборка, нет паразитных связей и меньше наводок
8. И многие другие – низкий уровень шума, отсутствие фазовых искажений, устойчивость к самовозбуждению, очень высокий КПД для класса А – до 50% и др.

В данном описании у меня цель помочь людям, которые если и не впервые держат паяльник, то могут не во всем достаточно хорошо разбираться. Поэтому излишняя детальность кого-то может утомить, другим необходима. Заранее извиняюсь за возможные шероховатости в изложении сути и деталей, в любом случае предлагаю внимательно прочитать до конца это описание, прежде чем приступать к набору элементов и сборке усилителя.

Старайтесь всё делать не торопясь, аккуратно и тщательно. Заранее облучивайте все места пайки, надёжно закрепляйте все элементы конструкции, т.к. монтаж навесной. Приемы монтажа и правила сборки такого рода усилителей подробно описаны в книге Гапоненко С.В. «Лампово-транзисторные усилители своими руками». Желательно иметь её под рукой в бумажном варианте. По моему мнению – это настольная книга всех желающих собирать своими руками качественную звукотехнику.

## ОПИСАНИЕ

Схема для сборки:

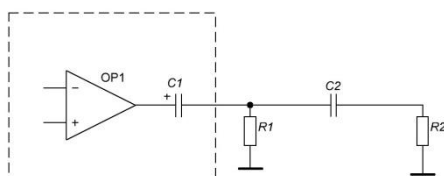


Входной каскад ламповый, по схеме с динамической нагрузкой, выходной - фантомный. Вместо Л1 можно установить резистор 15k на 2W, R4 придется заменить на 620 Ом и зашунтировать емкостью на 100 мкф параллельно пленочному 0,1 мкф. Все это приведет к ухудшению звучания, заметному на слух, лучше не экономить на лампе. Вообще, динамическая нагрузка значительно уменьшает искажения и выходное сопротивление каскада, будь то лампа или транзистор. А низкое выходное сопротивление позволит уменьшить наводки на входе полевика и применять полевики с большей входной емкостью без ущерба для АЧХ.

Провода от ламп к транзисторам желательно экранировать, C2 и R5 ставить рядом с полевиком. Ламповый каскад желательно разместить рядом со входными клеммами и по возможности экранировать. Регулятор громкости (если он предусмотрен) ставить там же, удлинив его шлиц.

Теперь о назначении, номиналах и типах примененных элементов.

R1 необходимо ставить, если на входе не предусмотрен регулятор громкости. Я поясню это нижеприведенной схемой, которая используется в 99,9% выходных каскадов предусилителей грамзаписи, звуковых карт, плееров и т.д.:



При отсутствии R1 электролит C1, имеющий (каким бы хорошим он не был) ток утечки, через какое-то время разрядится в ноль, при этом вся постоянная составляющая будет приложена к C2. Но, как известно, для нормальной работы электролитического конденсатора ему необходимо приложенное напряжение. Иначе он искажает сигнал, так что R1 ставим.

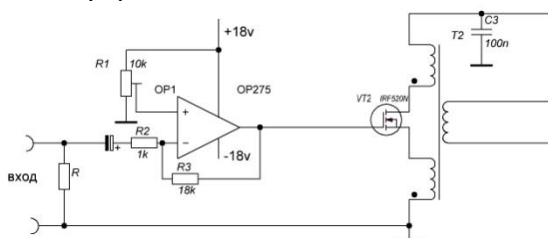
Далее, С1 и С2 желательно подобрать наилучшего качества из имеющихся в распоряжении. Предпочтение отдаем полистирольным К71-4, или импортным, как на фото:



Буквенное обозначение, расположенное ниже номинала, означает допустимое напряжение, в частности К=63V, У=400V, У=450V, V=500V. Если таковых не оказалось, я ставлю импортные керамические, нормальный звук, в крайнем случае МБМ, МБГО, и ни в каком – лавсановые. В данной схеме их всего два на канал, они совершенно не нагружены и работают в очень легком режиме.

Тип резисторов не критичен, я ставил МЛТ 0,5. R3 подбирается по оптимальному току и напряжению на аноде лампы Л1. Для 6С6Б это 8-9мА и 90-120V соответственно. Более точно R3 желательно подобрать по минимуму вносимых искажений в процессе тестов готового усилителя в программе RMAA, об этом позже. В моих экземплярах R3 варьировались от 100 до 560 ом.

Сами лампы. Да и собственно, почему ламповый входной каскад? Можно поставить на входе кошерный операционник, [OP275](#) например. Стоимость на алишке 50 руб. с доставкой за 1шт., два операционника в корпусе, примерно столько стоит одна 6С6Б. Пробовал, немного упрощенная схема ниже:



Все работает, параметры отличные. Правда, звук безликий, какой-то стерильный. А хочется, чтобы слух радовало. С лампами другое дело – появляется изюминка, своеобразный окрас.

Вернемся к исходной схеме. В ней применимы любые триоды, проверялось звучание 6Н1П, 6Н2П, 6Н3П, 6Н23П. Не очень понравилось, либо жестко лампово, либо на слух заметны искажения. Лампы проверялись советские, не б/у, пробовались по несколько экземпляров каждой. Захотелось вернуться к 6С6Б. Лампы доступные, звучат очень достойно, занимают мало места, паять удобно. Более дефицитные и дорогие лампы звучат лучше, но я не могу их рекомендовать широкому кругу самодельщиков как раз в виду их дефицитности.

Далее по схеме у нас VT1. Проверялись разные биполярные, IGBT и полевые, каждый со своей схемой смещения и полярностью питания (включая германиевые П213-П217, П210 и даже –П4б). Звук у всех вполне достойный, но для биполярных и IGBT приходилось вводить стабилизацию тока покоя от температуры. А это лишние элементы

входной цепи, которые могут влиять на звучание. IGBT представляют собой составной полевой+биполярный транзистор, выполненный на одном кристалле. Отсюда все его плюсы и минусы, включающие непостоянство тока покоя при нагреве. У полевых транзисторов такой зависимости нет, даже при нагреве до 90 градусов ток покоя либо остается прежним, либо увеличивается очень незначительно.

Пробовались в этой схеме многие из имеющихся на тот момент у меня мощных полевиков, в т.ч. и из импульсных блоков питания. На слух разницы не было, да и тесты показывали идентичный результат – фантом он и есть фантом. Так что можно ставить любые, у которых допустимы ток стока не менее 10А, предельное напряжение не менее 100V, и допустимая рассеиваемая мощность при T=90C не менее 50W. У полевиков допустимая рассеиваемая мощность падает при росте температуры, для отдельных типов значительно. Примененные [IRF520N](#) в отличие от большинства n-канальных полевиков имеют малую входную емкость и соответственно меньше нагружают входной каскад, распространены и доступны.

В окончательном варианте конструкции я поставил два IRF520N в параллель. На качестве звука не сказалося, сделано для удобства отвода тепла. Радиатор большой, для равномерности теплоотвода транзисторы расположены на равном расстоянии от центра и краев радиатора. Транзисторы предварительно установлены на алюминиевые пластины от радиаторов, взятых от «Радиотехники У-101», которые через слюдяные пластины установлены собственно на сами радиаторы. Радиаторы взяты от какого-то старинного регулятора температуры, валявшегося в гараже. Площадь поверхности не менее 20 кв.см. на каждый ватт рассеиваемой мощности, у моих радиаторов площадь около 800 кв.см., рассеивают по 35 W и нагреваются до 50 град. Можно устанавливать транзисторы, не изолируя их от радиаторов, тогда придется позаботиться об изоляции самих радиаторов от корпуса, и в случае их размещения внутри корпуса, их эффективность снизится и придется увеличивать их площадь. Но это на ваше усмотрение, в одном из собранных мной вариантов был один IRF240N посередине радиатора и прекрасно работал. Да, и ни в коем случае не изолируйте транзисторы от радиатора серыми импортными теплопроводящими пластинками, с большой вероятностью транзисторы сразу перегреются.

Стабилитрон VD1 защищает полевик от разных нестандартных ситуаций в процессе сборки и наладки и может быть удален в собранной и проверенной конструкции.

Далее – выходной трансформатор. Сердечник желательно Ш-образный, марка стали предпочтительно Э310-Э330, допустимы Э41-Э43 толщиной пластины не более 0,35 мм. Все испробованные сердечники типа ШЛ показали худшие результаты, особенно в области низких частот. Завала по АЧХ у них нет, но неискаженная выходная мощность на нижней границе диапазона меньше раза в два. Хорошие результаты показали сердечники от выходных каскадов старых ламповых приемников, магнитофонов и пр., а также от их блоков питания, главное – иметь пару одинаковых.

Для фантомного каскада неискаженная выходная мощность примерно равна 1/2 квадрата площади сердечника в см<sup>2</sup>. Расчет грубый, с запасом, но рабочий.

Что касается проводов обмоток. Я бы рекомендовал следующий расчет диаметра провода обмоток, хотя можно пользоваться любым предложенным в интернете. Зная,

какую  $R_{\text{вых}} = \frac{S^2}{2}$  мы можем получить с нашей конструкции, и зная  $R_{\text{н}}$  вашей конкретной АС, рассчитываем ток вторичной обмотки  $I_{\text{н}} = \sqrt{(P_{\text{вых}} \div R_{\text{н}})}$ . Плотность тока в такого рода сердечниках 3-5 А/мм<sup>2</sup>, примем 4 А/мм<sup>2</sup> и рассчитаем диаметр провода во вторичной обмотке:

$$d = 2\sqrt{(I_{\text{н}} \div \pi)};$$

Предлагаю  $R_{\text{н}}$  принимать 8 Ом, в этом случае удобно будет мотать трансформатор четырьмя сложенными вместе проводами одинакового сечения. Межслойная изоляция не повредит, либо лентой ФУМ, либо малярной. Предварительно длину провода можно рассчитать, зная среднюю длину витка, площадь окна сердечника, коэффициент заполнения окна (около 0,35) и суммарное сечение обмоток. Мотаем до заполнения каркаса все обмотки сложенными вместе проводами в одну сторону, начала обмоток с одной стороны каркаса, концы – с противоположной. На начало и конец обмотки желательно надевать кембрик или термоусадку, обязательно оставляем выводы обмоток сантиметров по двадцать пять – будет удобно при монтаже в корпусе. Схемы коммутации обмоток на разную нагрузку:



Шестиомную нагрузку можно подключать к любой схеме, которая больше понравится по звучанию.

Толщина прокладки в сердечнике – около 0,2 мм, лучше выполнить ее из прочного материала, чтобы в процессе сборки сердечника она не повредилась. Ни в каком парафине ничего проваривать и заливать разными компаундами не нужно.

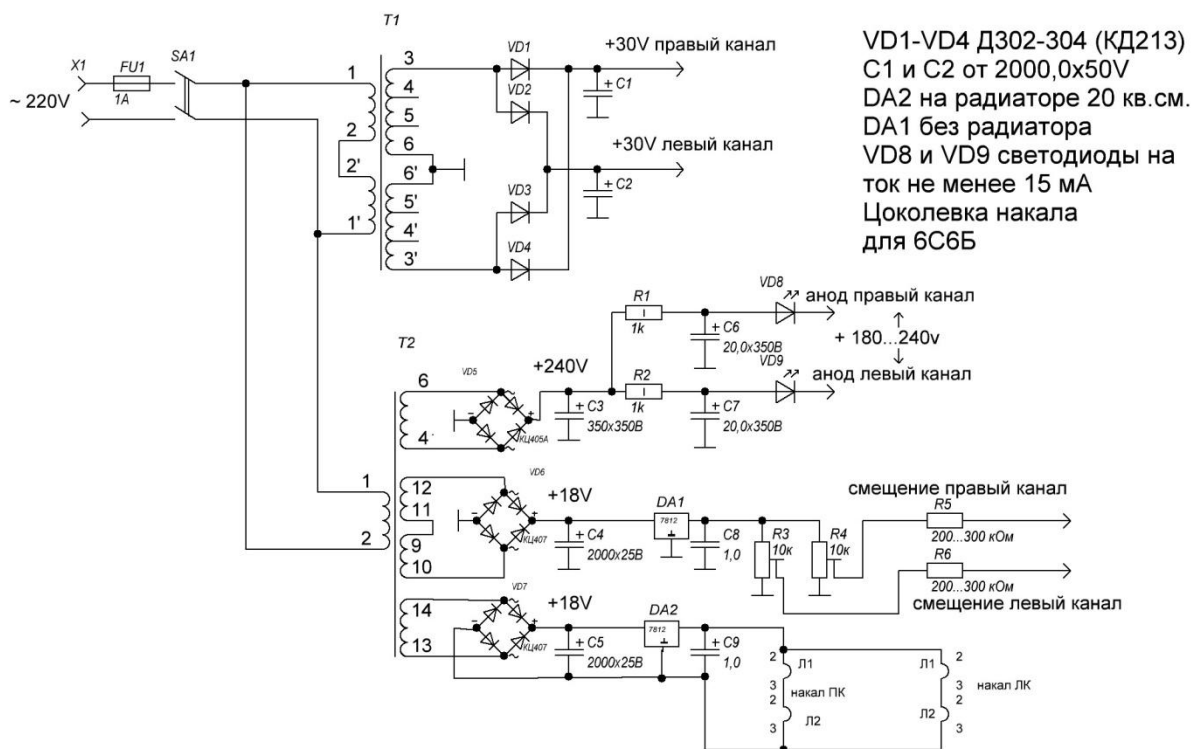
Как видим, выходной трансформатор достаточно прост в изготовлении. Пока я тестировал схему фантома, перемотал целую кучу трансов на разных сердечниках и могу сказать – это несложно. По сути, мотаем одну обмотку несколькими сложенными вместе проводами. Самым прикольным был вариант, сделанный из ТВЗ 1-9. Сматываем первичную обмотку, она у них намотана снаружи. Затем берем 5- метровый кусок компьютерной медной витой пары из 4-х проводов и мотаем до заполнения каркаса. Получится около 35 витков. Собираем сердечник с родной прокладкой и соединяем последовательно по 2 обмотки для стока и истока. Питание фантома – 12В. На выходе – импортные 6-омные 11 – сантиметровые двухполосные колонки. Звук шикарный, правда всего около 2-3 Вт честного звука на канал. Но для небольшой комнаты вполне может хватить. Если такой транс вас устроит, лучше его намотать 4-мя сложенными вместе проводами ПЭВ-2 0,6.

В собранной мной конструкции выходные трансформаторы перемотаны из силовых, Ш-образных неизвестной марки стали сердечников, площадь сердечника 5,3 кв.см. Были выбраны просто потому, что имели достаточное сечение, было 2 одинаковых и у них

были удобные каркасы. Все обмотки ПЭВ-2  $d=0,7\text{мм}$ , уместилось по 120 витков. Реальная неискаженная  $P_{\text{max}}=17\text{ Вт}$  на  $R_n=6\text{ Ом}$ .

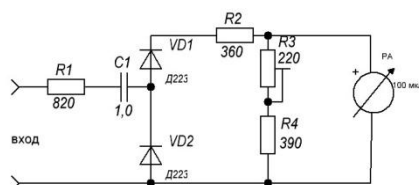
## БЛОК ПИТАНИЯ

Блок питания не имеет никаких особенностей. Силовой трансформатор для питания выходного каскада взят от «Радиотехники У-101», для питания ламповой части – от какого-то приемника. Основным критерий – допустимые токи вторичных обмоток и необходимые нам напряжения. Нижеприведенная схема успешно работает, но в принципе можно собирать блок питания по вашей собственной схеме, лишь бы он выдавал необходимые напряжения и токи. Элементы блока питания недефицитны, можно заменять аналогами. Питание накала стабилизировано по той причине, что стабильность эмиссии катода очень важна для режима работы лампы. Конденсаторы фильтра питания оконечного каскада НЕ ВЛИЯЮТ НА КАЧЕСТВО ЗВУКА! Не нужно применять миллионы микрофард, можно ставить любые – хоть К-50-6, хоть [JAMICON](#), смотрите по свободному пространству в конструкции и бюджету. С3, С6, С7 подойдут от ламповых телевизоров. Остальные детали самые обычные. Германиевые Д302 были применены исходя из небольшого падения напряжения на них, годятся любые на ток 2-3А и  $U_{\text{обр}} > 70\text{V}$ .



Согласен, схема БП сложнее схемы самого фантома, но если вас это утешит, то у других усилителей она более сложна и требовательна к комплектующим. Увы, обычно БП еще и самое тяжелое и габаритное создание практически в любом усилителе. Мною проверено питание этого усилителя от самодельного импульсного БП с очень компактными размерами и весом. Вроде бы не было разницы в звучании, но я не сторонник совмещать аналог и импульс в одной коробке, так что такой БП не рекомендую.

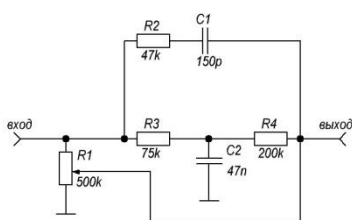
## СХЕМА ИНДИКАЦИИ



На самом деле индикаторы конечно не обязательны. В этой конкретной конструкции они выполняют три функции. Во-первых, оживляют лицевую панель, иначе кроме выключателя питания и регулятора громкости там расположить нечего, скучно. Во-вторых, их подсветка показывает разогрев анодов входного каскада. Ну, и в-третьих, конечно видим уровень выходного сигнала, пусть и грубовато.

## РЕГУЛЯТОР ГРОМКОСТИ

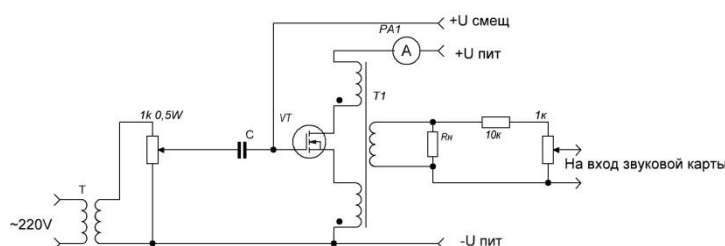
Увы, не все источники звука имеют встроенный регулятор входного напряжения, в частности мой проигрыватель винила. И я решил в своей конструкции регулятор громкости предусмотреть. Мало того, мне нравится не громкий звук, и тогда нужна хоть и не большая, но тонкомпенсация. Если она не нужна, можно установить регулятор громкости на максимум, и слушать звук как он есть. В любом случае, решать вам, на всякий случай вот схема примененного регулятора громкости :



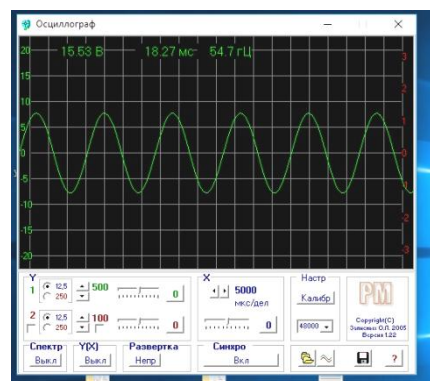
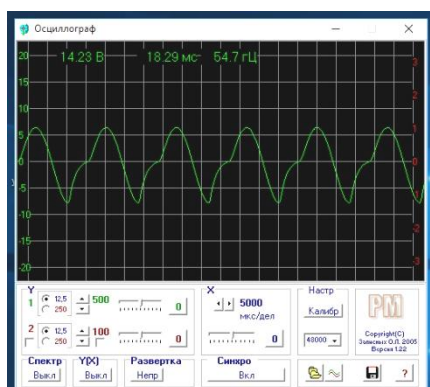
## НАЛАЖИВАНИЕ

Вся настройка усилителя сводится к установке напряжения смещения полевика и режима входной лампы (в такой последовательности).

Итак, наш усилитель собран, блок питания проверен и **не подключен к нему!** Смещение полевиков пока на нуле. Налаживаем каналы по одному. В цепь питания выходного каскада включаем амперметр, желательно обычный стрелочный от автомобильного зарядного устройства, но в принципе подойдет и китайский мультиметр с пределом измерения тока 10А. Подсоединяем цепи питания и смещения выходного каскада, на вход подаем переменку 0-15V 50Гц, выход контролируем осциллографом, включаем. Ниже приведена схема для случая, если нет в наличие обычного осциллографа и генератора ЗЧ, выдающего такого напряжения:

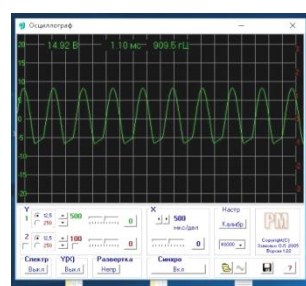
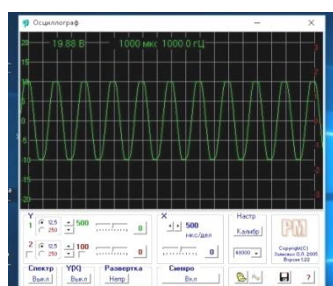


Конечно, для настройки лучше использовать обычный осциллограф, но если его нет, можно для эмуляции осциллографа использовать свободно распространяемую программу «osc122», это не принципиально, есть и другие виртуальные осциллографы. Далее, увеличиваем входное напряжение и начинаем прибавлять напряжение смещения на затворе полевика. При недостаточном смещении увидим осциллограмму слева. При правильном подборе – ту, которая справа:



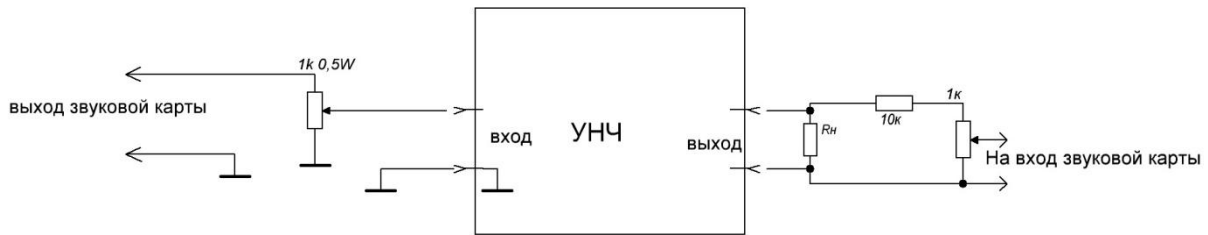
При оптимальном смещении на затворе полевика на частоте около 50 Гц ограничение выходного сигнала при повышенном входном напряжении будет симметричным и без видимых искажений синусоиды (не считая ограничения сверху и снизу). Ток каскада при этом, в зависимости от исполнения выходного трансформатора, обычно в пределах 0,6-1,2А.

После этого выключаем питание, разряжаем высоковольтные конденсаторы БП, подключаем выходной каскад к аноду Л2 и подаем питание на входной каскад. Включаем усилитель и после прогрева ламп проверяем напряжение на аноде Л2 (вольтметр должен быть достаточно высокоомным, подойдет тот же китайский мультиметр с пределом измерения 1000V). Оно должно быть около половины питания (90-120V). Если не так, ищем ошибки в монтаже, но не забываем после выключения питания разряжать высоковольтные конденсаторы БП. Если все в порядке, подаем на вход усилителя напряжение с генератора ЗЧ (обычного или эмулированного в ПК) и смотрим осциллографом форму сигнала на выходе фантома. Если выходной трансформатор выполнен правильно и из хорошего железа, равномерное ограничение выходного сигнала, отрегулированное на низкой частоте, сохранится во всем диапазоне частот – фото слева. Если железо не очень хорошее, то на частоте около 1 кГц увидим правую картинку:

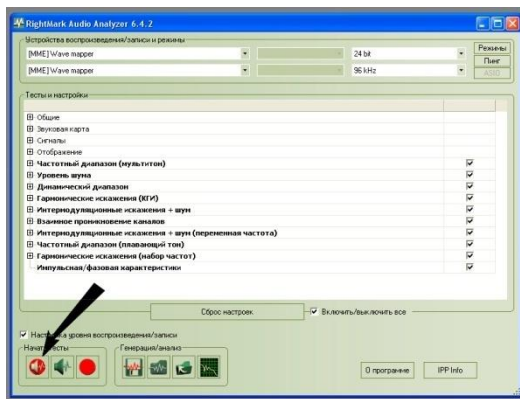




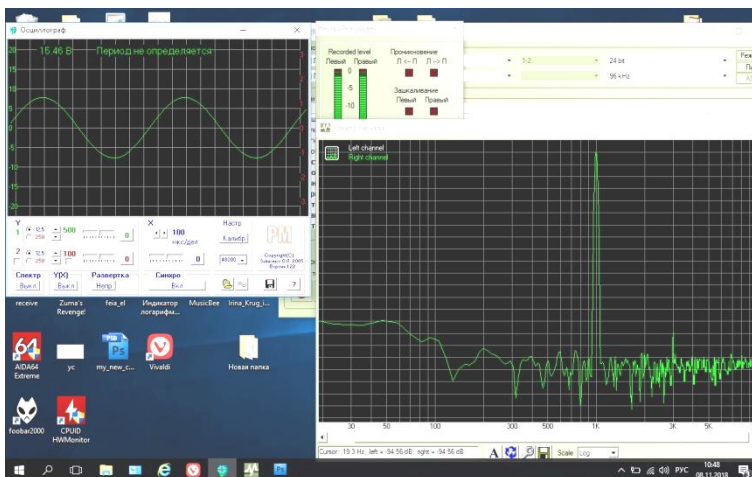
Напряжение смещения не меняем, просто максимальное неискаженное выходное напряжение будет определяться способностью выходного трансформатора передавать неискаженный сигнал именно в области низких частот. На средних и высоких частотах все выходные трансформаторы работают лучше, чем на низких. Далее, последовательно с R3 подключаем **подстроечный резистор на 470 Ом-1 кОм** и запускаем тестовую программу RMAA. В ней делаем необходимые настройки по звуковой карте и выбираем те тесты, которые хотим провести (как правило, нужные галочки уже стоят). Выход звуковой карты – на вход усилителя, вход карты – присоединяем к выходу усилителя:



Нажимаем на кнопку «начать тесты – воспроизведение и запись»:



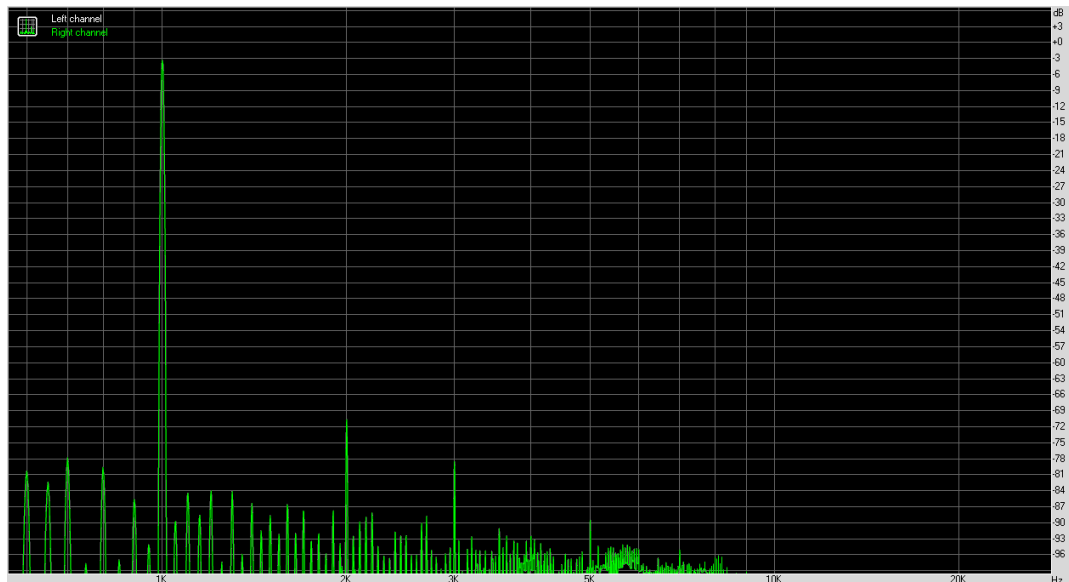
Запускаем осциллограф на ПК, на мониторе видим такую картинку:



Программа RMAA начинает периодически генерировать тестовый сигнал 1 кГц на выходе звуковой карты, выходной сигнал с усилителя мы наблюдаем в окне осциллографа. Доводим уровень сигнала на входе усилителя до начала ограничения выходного сигнала и уменьшаем его на 25%. Это будет соответствовать нашей номинальной выходной мощности. Справа в окошке программы RMAA мы увидим спектр выходного сигнала, номи-

нальный анализируемый уровень которого можно выставить переменным резистором на входе звуковой карты. Затем, подбирая режим лампового каскада, минимизируем спектр гармоник выходного сигнала. Замеряем суммарное значение R3 и устанавливаем ближайший номинал. После этого проводим полный тест – смотрим АЧХ, динамический диапазон, уровень шума и пр.

Вот реальная картинка одного из тестов в процессе наладки, полученная в RMAA:



Видим, что уровень второй гармоники - 69.6 db, что соответствует 0.000331, или 0,0331% от основного сигнала, третьей соответственно - 78db или 0,0126%, четвертая не видна, а пятая - 87 db или 0,004%. Гармоники большего порядка меньше уровня шума. Это при выходной мощности 12W. При меньшей выходной мощности гармоники равномерно уменьшались до уровня шума. На графике ауральных гармоник это выглядит примерно так:

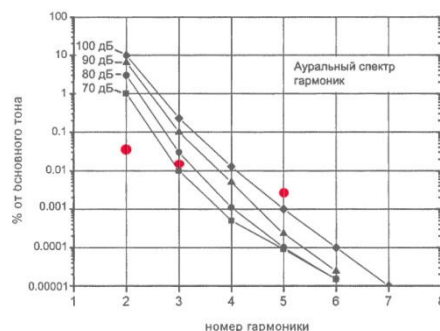


Рис. 1.2. Спектр гармоник, генерируемых ухом человека

Нас здесь немного не устраивает только величина 5 гармоники, можно ее уменьшать подбором режима лампы или заменой разделительных конденсаторов, либо оставить как есть. На уровень гармоник на таких микроскопических значениях начинают влиять даже сигнальные кабели невысокого качества.

Следует заметить, что параметры встроенных звуковых карт ПК обычно уступают параметрам настраиваемого усилителя, тем не менее, можно если и не снять точные характеристики усилителя, то настроить его.

На этом настройка одного канала закончена, аналогично настраиваем другой.

В заключение приведу ссылки для установки приборов на ПК:

<http://audio.rightmark.org/downloads/rmaa6.exe> программа RMAA

<http://zapisnyh.narod.ru/gen32.zip> генератор НЧ

<http://zapisnyh.narod.ru/osc122.zip> осциллограф

С уважением Сергей Фальков, Самара.