

(часть третья или продолжение...)↓

Применяемые каскады усиления выглядят так:

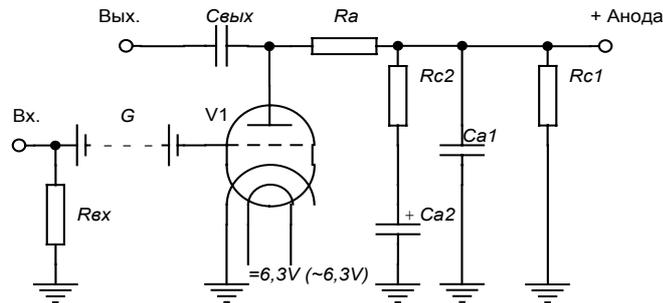


Рис.20

Конечно, допускается и приветствуется применение трансформаторных и дроссельных каскадов. Но мы формально (хотя бы в пределах нашей работы) «будем применять» реостатные каскады усиления (см. [0]).

Комментарии к схеме на рис.20.

1. Применяется батарея гальванических элементов **G** для создания запирающего потенциала на сетке лампы (отрицательного относительно катода). В указанном включении батарея практически «вечна». Потенциал (напряжение) на сетке стабильнее, чем может дать любой известный нам стабилитрон, а шумы от батарейки неизмеримы, т.е. такие маленькие.
2. Катод надёжно «заземлён» и поэтому экранирует сеточную цепь от нити подогревателя. Т.е. «наводки» от накала минимальны. Не шумит и катодный резистор потому, что его нет.
3. Реостат (сопротивление) анодной нагрузки **R_a** очень желательно «выполнить из проволоки». Но подойдут боруглеродистые и просто углеродистые резисторы (ВС, УЛИ, БЛП и т.д.). Мощность, рассеиваемая на них «в режиме», должна быть более, чем в два раза ниже номинальной. Требования «по материалу и режиму» к другим резисторам схемы аналогичны.
4. Выходной конденсатор **C_{вых}** – из слюды и серебра! Но подойдёт и алюминий с полипропиленом (полистиролом).
5. Прокомментируем подробно схему «анодной батареи» конденсаторов. Конденсатор **C_{a1}** по качеству неотличим от **C_{вых}**, а по номиналу не должен уступать последнему. Конденсатор **C_{a2}** – электролитический и, в общем-то, тоже должен быть хорошим. Но, как известно, «электролиты хуже плёнки». Причин тому много. Мы эдак поразмыслили и пришли к выводу, что основная «причина» - нелинейность и нестабильность «внутреннего» полного (комплексного) сопротивления электролитических конденсаторов. Причём, эти нелинейность и нестабильность носят «мгновенный, гистерезисный, полупроводниковый и токовый» характер. И мы просто добавили к этой нелинейности существенную «линейность» в виде резистора **R_{c2}**, «застабилizировав» ток через электролит. Нам оппоненты могут возразить: ведь, назначение анодного конденсатора в том, чтобы сделать для переменной составляющей анодного тока лампы как можно меньшее сопротивление, а вы его увеличиваете! А давайте ориентировочно оценим номинал **R_{c2}**. Обычно $R_a \approx 3 \div 10 R_i$, где **R_i** – выходное сопротивление лампы в рабочей точке (триодный каскад). $R_i \approx 2 \div 50 \text{ k}\Omega$. Если выбрать $R_{c2} \approx 0,1 R_i$, то уменьшения коэффициента усиления каскада практически не произойдёт. Выберем $R_{c2} = 200 \Omega$, что ориентировочно в 100 раз больше предполагаемой нелинейной компоненты внутреннего

сопротивления электролитического конденсатора C_{a2} . Сопротивление $R_{c1} \approx 10 R_a$ не даёт задерживаться электрическим зарядам на обкладках C_{a1} и C_{a2} при выключении электропитания на «долгое время». Может быть даже R_{c1} снижает интенсивность абсорбционных процессов в C_{a2} . Или его (R_{c1}) роль – добавить «благородства» в звучание каскада путём искусственного старения анодных конденсаторов (контролируемый и линейный ток утечки)? Во всяком случае R_{c1} не вредит звучанию. Не верите?

6. Накал каскада (даже первого!) усиления по схеме на рис.20 может осуществляться переменным током (см. выше п.2 комментария). Но, конечно, лучше, на всякий случай, 6,3V «выпрямить». Рекомендации в [9],[10] по поводу «компенсаций», «5V или 7V», «положительного потенциала на подогревателе» нами не поддерживаются. Поддерживается «средняя точка накала» как «искусственная», так и «естественная» (см.[0],[10]). Лучше, конечно, применять «естественную», трансформаторную «среднюю точку».
7. Все анодные напряжения, подаваемые на каскады усилителя-корректора от выпрямителя, должны быть хорошо отфильтрованы от «пульсаций». Уровень «пульсаций» 100Hz (60Hz - для однополупериодного выпрямителя, находящегося в США, Японии и других странах с левосторонним движением) – ниже –80dB относительно сигнального «нуля децибеллов» на выходе данного каскада усилителя. Таким образом, мы «разделяем роли фильтрующих конденсаторов»: в каскадах усиления C_{a1} и C_{a2} наряду с $C_{вых}$ – конденсаторы «звуковые», а не «сглаживающие» и/или «развязывающие», как принято у классиков (см. [0]).

2.1.1.2 Электрические режимы.

В общем случае это – вопрос и компетенция, например, источника [0]. Но, с другой стороны, сигнальные напряжения на электродах ламп имеют свои специфические «виниловые» величины. Из них самыми важными на наш взгляд являются максимальные сигнальные напряжения на входе RIAA-корректора.

С.Маляков в [2] приводит следующие значения для «усреднённого звукоснимателя»: 20Hz, $U_{max}=5mV$; 1000Hz, $U_{max}=50mV$; 20000Hz, $U_{max}=500mV$. (Здесь U_{max} – максимально возможный сигнал «среднего» датчика (звукоснимателя) на входе RIAA-корректора при проигрывании грампластинок, в том числе и «повреждённых», на 45 и/или 33,3 об/мин).

Эти максимальные напряжения совпадают с оценками в [3],[4] и [6].

Таким образом, усилитель-корректор должен нормально работать при уровнях на 40dB выше номинального 0dB (5mV).

Начало «ненормальной работы» каскада или конец «нормальной работы» мы понимаем так: едва заметные *глазу* искажения (заострения и/или уплощения) вершин усиленной каскадом синусоиды, которую мы наблюдаем на экране осциллографа. Уровни сигнала, на которых происходят такие явления, предлагаем назвать *перегрузочными*, а их относительную величину – *перегрузочной способностью* усилителей-корректоров (относительно «пластиночного» 0dB) в данном «месте» усилителя-корректора. Теперь можно говорить, например, о перегрузках по входу и/или выходу с указанием номера каскада, где происходит перегрузка.

Считается, что перегрузка по входу лампового «маломощного» каскада происходит каждый раз при превышении сигнальным напряжением величины запирающего потенциала сетки даже, если искажения «на осциллографе» не наблюдаются. Поэтому сеточный потенциал первого каскада должен быть меньше нуля на полвольта, а ещё лучше – на вольт.

*Т.к. мы применяем для сеточного смещения гальванические элементы с э.д.с. порядка 1,5V, то перегрузочная способность по входу наших корректоров всегда раза в три больше, а значит – «лучше», необходимой. Это снижает **вероятность** появления электрических нелинейных искажений типа «ограничение» и/или «компрессия», т.е. грубых нелинейных эффектов. А физиологически слушателю теперь не мешают внимать фонограмме, например, царпины на ней.*

Ещё лучше и физиологически и осциллоскопически будут обстоять дела, если ввести коррекцию во входную цепь (рис.9 и рис.17б), т.к. входные уровни повышаются к «высоким» частотам, а коррекция «по τ_1 » их (уровни) снижает. Поэтому схема по рис.17б с батарейкой от часов (наручных) за 10 американских центов и лампой 6Н2П за 20 американских центов может обеспечить перегрузочную способность усилителя RIAA-коррекции по входу выше 50dB. Что и не снилось японской «Ямахе», описанной в [6].

Для схем на рис.17 перегрузочная способность одноимённых по номеру каскадов будет разной и разной для разных частот и зависит от предшествующей корректирующей цепи и лампы. Поэтому, в каждом конкретном случае, надо её (перегрузку) или «измерять» или «вычислять». Однако, достаточно просто её можно приблизительно вычислить для всего усилителя-корректора, предположив, что «внутри» усилителя-корректора перегрузок «по сеткам» не происходит. Для реостатного каскада напряжение выходного сигнала не может превысить половины питающего анод выходной лампы напряжения. Если разделить эту половину на общий коэффициент усиления (см. п.1.2.2), то получим максимально допустимую амплитуду входного напряжения. А, поделив её на 5mV, получим приблизительную перегрузочную способность усилителя-корректора по **выходу**.

Пример. Усилитель состоит из двух реостатных каскадов на лампе 6Н2П по схеме на рис.17б. Общй коэффициент усиления с учётом коррекции – 500. Напряжение анодного питания +300V.

Определяем приблизительную перегрузочную способность: $150/500=0,3V$; $0,3/0,005=60 \rightarrow 36dB$. Ошибка составляет 1-2dB (на частоте 1000Hz).

Указанный выше способ ориентировочной оценки перегрузочной способности опирается на «энергетические» критерии. «Спектральные» критерии игнорируются.

С другой стороны, «спектральные» критерии уже учтены в самой коррекции. Характеристики (преэфзис-деэмфзис) коррекции выбирались как компромисс между «геометрическими» и «механическими» возможностями канала передачи аудиоинформации и слышимыми «ухудшениями» звука на «приёмном конце» (абстрактно и формально – «количеством теряемой» аудиоинформации). Как выбирался «ноль децибеллов колебательной скорости записи» и почему «тау один равно тау один» и т.д. подробно, дотошно и неоднократно описано в литературе, например, в [1], [3]. Мы не склонны считать, что характеристики коррекции окончательны и обжалованию не подлежат. Но, раз «запись сделана с τ_1, τ_2 и τ_3 », то тут уж хочешь - не хочешь – следуй за Стандартом.

А как будут обстоять дела с «перегрузками» в усилителе с «отрицательными обратными связями»? Куда девать «энергетические» критерии? А «скорость нарастания» и «спектральные» критерии – то же самое? ... Вот, вот.

Про лампы и общий коэффициент усиления скажем вот что. Т.к. модуль ЧХВ (5) на «стандартной» частоте 1000Hz приблизительно равен 0,1 (см. Табл.1 в Приложении 1), то любая «пассивная» реализация этого коэффициента передачи в «лучшем случае» ослабляет синусоиду 1000Hz в 10 раз. В п.1.2.2 мы заявили, что общий коэффициент усиления усилителя RIAA-коррекции должен находиться в пределах 30÷600. Таким образом, от двух (трёх) ламповых реостатных каскадов необходимо получить усиление минимум в 300 раз. Если использованы

одинаковые лампы, то каскад должен усиливать сигнал приблизительно в 17 раз. Практически все лампы удовлетворяют этому условию. А если нет (6Н6П, 6Н8С и т.д.), то ничто не мешает применить «вторую» лампу с $\mu > 20$. Ну, и так далее.

Сопротивление анодной нагрузки в реостатном каскаде «по переменному току» всегда меньше, чем «по постоянному», и это надо учитывать. Мы рекомендуем выбирать номиналы корректирующей цепи таким образом, чтобы минимальное входное сопротивление корректирующего четырёхполюсника было не меньше величины сопротивления анодного резистора для «высокоомных» ламп (6Г2, 6Г7, 6Н9С и т.д.) и не меньше пятикратной величины анодного резистора для «низкоомных» ламп (6Н6П, 6Ж4, 6С45П и т.д.).

Для более подробного изучения «анодных проблем» мы настоятельно рекомендуем книгу [0].

2.1.1.3 Шумы.

Проблемы с «шумами в корректорах» есть и немалые. Однако, тепловой и дробовый шумы при уровнях ниже $-70 \div -75$ dB относительно «пластиночного» 0 dB в данном «месте» усилителя совершенно не мешают внимать граммофонной информации. Более того, уверенно **регистрируются** аудиторией сигналы с уровнями на $10 \div 20$ dB ниже уровня таких шумов. Наши рекомендации по выбору номиналов элементов корректирующих цепей даны с учётом психофизиологических особенностей восприятия аудиоинформации на фоне звуковой (шумовой) «засветки». Критерий: $-70 \div -80$ dB «не взвешенного» уровня шума в данном «месте» усилителя-корректора. Как и при определении перегрузочной способности корректора (см. п.2.1.1.2), в расчёт здесь принимаются «энергетические» критерии. «Спектральные» критерии игнорируются (почему – см. в п.2.1.1.2, где соображения об «их» учёте в коррекции при записи).

Толчком к определению «критерия пороговой заметности» сигнала на фоне «белого» шума ($-10 \div -20$ dB) в серии ЧАСТНЫХ субъективных экспертиз послужили следующие рассуждения.

Из описаний экспертиз «по Сапожкову» [5] и «Блауэрту» [11] выходит так, что маскировка сигнала шумом очень сильно зависит от маскируемого сигнала и, конечно, от эксперта. Мы спросили друг друга: а когда мать уже слышит плач своего чада среди бури завывающей? (Т.е. надо бы поставить эксперимент «наоборот» «по Сапожкову»). А затем попытались «теоретически» ответить на вопрос: если пороги заметности изменения уровня (громкости) у широкополосного сигнала и у шума одинаковы (ведь шенноновские «энтропийные информативности» у них приблизительно равны) и составляют, например, 0,5 dB, то сколько «одного надо прибавить к другому» для «заметности»? Т.е. $X^2 + I^2 = (1,06)^2$, где X – сигнал; I – шум; $1,06 - 0,5$ dB. Откуда $X \approx 0,35 \rightarrow -9$ dB. Не больше! В «чулане» у Лихницкого тоже есть работы с подобными, но экспериментальными оценками. Но «тогда» мы о них (о работах) только догадывались. И потом, какая разница «кто был первым»? Говорят, что уши у людей были всегда. Странно только, почему «официальные» сведения о таких порогах мало доступны широкой публике?

Основной вклад в шумы усилителей-корректоров на вакуумных триодах с «малым» коэффициентом усиления (μ) и без «обратных связей» вносят корректирующие цепи (точнее – тепловые шумы активных сопротивлений, входящих в состав межкаскадных или входных корректирующих четырёхполюсников и нагрузок), а в корректорах на триодах с «большим» μ , в основном, шумят сами лампы.

Укажем на основные «причины» шумов в корректирующих цепях. Ограничимся только актуальными для нас и наших расчётов случаями, т.е. схемами по рис.17а-в.

Если коррекция «по τ_1 » «стоит» после коррекции «по τ_2 и τ_3 » так, как, например, на рис.17а и 17в, то можно считать, что «полоса шумов» корректирующих цепей ограничена частотой $\Delta F=f_1 \approx 2122\text{Hz}$.

Если коррекция «по τ_1 » «стоит» на входе и до коррекции «по τ_2 и τ_3 » так, как, например, на рис.17б, то можно считать, что «полоса шумов» корректирующих цепей ограничена частотой $\Delta F=f_b \approx 20000\text{Hz}$.

В Ниспадающей Частотной Ступени (рис.3 и рис.17б), в основном, «шумит» резистор R2.

В «сосредоточенной» «традиционной» коррекции (рис.12 и рис.17а), в основном, «шумит» сумма резисторов R2+R3.

В коррекции «с τ_1 на входе» (рис.9, 10 и 17б) «шумит» резистор R1.

«Шумовые» ограничения на максимальные величины резисторов в цепи коррекции находятся из знаменитой формулы Найквиста:

$$u_{\text{ш}} = \sqrt{4k \cdot T \cdot \Delta F \cdot R};$$

$$R \leq \frac{u_{\text{ш}}^2}{4k \cdot T \cdot \Delta F} \approx 61,7 \frac{u_{\text{ш}}^2 (\mu\text{V})}{\Delta F (\text{kHz})} (\text{k}\Omega), \quad (15)$$

где

$u_{\text{ш}}$ – напряжение шумов, соответствующее уровню $-70 \div -80\text{dB}$ относительно «стандартных» входных 5mV на 1000Hz , в данном «месте» схемы (V);

k – постоянная Больцмана ($k \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$);

T – абсолютная температура (K);

R – сопротивление (Ω);

ΔF – «полоса шумов» (Hz).

Последняя дробь в формуле (15) «облегчена» для температуры 20°C , напряжения в μV и «полосы шумов» в kHz. Результат - в k Ω .

Например, рассмотрим и сравним требования к номиналам сопротивлений корректирующей цепи для схемы по рис.17а, если входной каскад выполнен на лампе 6Н6П ($\mu=20$) (1-й вариант) и на лампе 6С4П ($\mu=50$) (2-й вариант).

Коэффициент усиления реостатного каскада на 6Н6П ориентировочно равен 15. Коэффициент передачи «традиционной» корректирующей цепи приблизительно равен для данной схемы 0,1. Общй коэффициент передачи: первый каскад + корректирующая цепь $\approx 1,5$. На входе второго каскада сигнал, соответствующий входным 5mV (1000Hz), равен $7,5\text{mV}$. Уровню шумов в -80dB соответствует напряжение $0,75\mu\text{V}$. Т.к. можно считать, что «полоса пропускания» ограничивается фильтром RC первого порядка с «частотой среза» $f_1 = 1/2\pi\tau_1 \approx 2122\text{Hz}$, а «шумят» в этой полосе «только» резисторы R2 и R3, то по формуле (15) при $t = 20^\circ\text{C}$ найдём ограничение на номиналы R2 и R3: $R2+R3 \leq 16,5\text{k}\Omega$.

Аналогичные вычисления для лампы 6С4П ($\mu=50$) дают $R2+R3 \leq 117\text{k}\Omega$.

В первом случае (6Н6П) номиналы резисторов приблизительно соответствуют «рекомендации» $10R_i$, а во втором (6С4П) – намного «её» превышают. Следовательно, если выбрать для каскада на 6С4П резисторы $R2+R3 \leq 16,5\text{k}\Omega$, то вклад резисторов в шумы будет незначителен. Сильнее будет шуметь лампа, но шумы лампы 6С4П «лежат» гораздо ниже -80dB .

Почти все (независимо от типа) исправные «маломощные» лампы по своим «шумовым» свойствам подходят к применению в усилителях RIAA-коррекции. Но некоторые экземпляры имеют заметный «фликкер-шум». К сожалению, «фликкер» ничем кроме, как заменой лампы, устранить нельзя. Поэтому повышенный и заметный «фликкер-шум» мы классифицируем как

неисправность самой лампы. И проблема решается сама собой: хочешь хороший звук – меняй лампу.

Всё сказанное здесь про «фликкер» справедливо и для других компонентов схем от батареек и конденсаторов с резисторами до ламповых панелек и входных/выходных разъёмов. «Фликкер» и «нестабильный контакт» очень сильно «похожи» друг на друга. А их влияние на звук – безобразно и отвратительно. А вот с «короблениями» и царапинами на пластинках можно мириться. Хотя, конечно, лучше иметь ровные и не поцарапанные пластинки.

2.1.1.4 «Паразитные параметры и связи».

Как и во всех реальных усилителях, в усилителях-корректорах присутствуют (с точки зрения конструктора и изготовителя) нежелательные, неучтённые, незамеченные и т.д. электрические связи между деталями, частями и группами этих деталей. Обычно такие связи называют «паразитными». В названии чувствуется флёр многовековой борьбы Человека с грызунами, сорняками, гельминтами и прочей нечистью. Не будем оригинальными, если скажем: электрические гигиена и санитария – вот главные орудия инженера в борьбе за чистый и непорочный виниловый звук! Мойте руки до и после! И с мылом. Но не надо же делать из борьбы культа! И думать надо головой. Например, «ёмкость монтажа» принципиально устранить нельзя. Однако, её влияние можно свести к минимуму, применяя достаточно «низкоомные цепи». «Крупная» деталь (слюдяной конденсатор ССГ в корректирующей цепи) имеет заметную ёмкость «на корпус» - так делайте так, чтобы она (ёмкость) не «мешала», а «работала» и т.д.

Аналогично «решается» проблема с внешними по отношению к корректору как к изделию нежелательными электромагнитными воздействиями. Но универсального рецепта нет.

Интересно вот что (и это заметили давно). Для «высокоомных» цепей существенны «электрические (ёмкостные)» связи и наводки. Для «низкоомных» - «магнитные (индуктивные)». Следовательно, есть какой-то «универсальный оптимум омности» по минимуму внешнего электромагнитного воздействия. Так вот, не зря для «простых, открытых цепей» выбран стандарт нагрузочного сопротивления 600Ω. «Ага-а! – скажет скептик, - а вы всё лампы применяете, ведь у транзисторов 600Ω - норма». Как бы не так! «Выходное сопротивление» почти всех полупроводниковых усилительных приборов - высокое, а характеристики у них, приборов, - «пентодные». Как нам кажется, режим «насыщения» и «низкоомная нагрузка» - главные виновники транзисторного звучания. Ну, и, конечно, обратные связи. Введение их расширяет ареал расселения паразитов. Куда смотрит санэпидемстанция?

2.1.2 Лампы.

В своих усилителях-корректорах мы используем исключительно лампы с подогревными катодами. Использованию прямонакальных ламп мешают очень серьёзные причины, которые отравляют нам и лампам жизнь, и которых мы здесь касаться не будем. Но мы усиленно ищем противоядия и способы их введения. Пока что нам не удалось получить достойный звук от «прямонакальных» RIAA-корректоров.

Мы **рекомендуем** к применению в RIAA-корректорах следующие типы ламп советского производства (где надо – триодное включение):

6Н1П, 6Н2П, 6Н6П, 6Н9С, 6Н7С, 6Н8С, 6Г2, 6Г7, 6Ж7, 6Ж4, 6Ж9П, 6Ж32П, 6Н16Б, 6Н28Б, 6П9 (!), 6П14П (!), 6С2Б, 6С3Б, 6С3П, 6С4П, 6С5С, 6С2С, 6С7Б, 6С15П, 6С45П, 6С37Б, 6С51Н.

Мы **не рекомендуем** применять в RIAA-корректорах следующие лампы:

6Н23П, 6Н24П, 6Н14П, 6Ф12П, 6Ф1П, 6Ж52П, 6Ж51П, 6С52Н, 6С53Н, 6С62Н, 6Н3П, 6С1П, 6Ж1П, 6Ж4П, 6Ж5П...

Конечно, оба списка не исчерпывают всех вариантов и возможностей. А наши коллеги и оппоненты могут даже энергично протестовать против некоторых позиций. Честно скажем, нам очень хочется сделать корректор на 6Н10С, но видели мы её только на картинке. А корректор на 6П14П великолепен! Отвратительно хрустит двухкаскадник на 6Н23П. С другой стороны, о вкусах немцы, говорят, не спорят: «что русскому хорошо...». Натюрлих.

2.1.3 Конденсаторы и резисторы.

Мы придерживаемся ортодоксальных взглядов относительно пассивных компонентов усилителей-корректоров (см. Комментарии к схеме на рис.20). Так вот, здесь мы укажем на рекомендуемые типы резисторов и конденсаторов советского производства. Необходимое условие: деталь должна быть исправной!

2.1.3.1 Конденсаторы.

Мы *рекомендуем* применять в RIAA-корректорах следующие типы конденсаторов советского производства (в порядке приоритета).

«Плёночные» конденсаторы: ССГ, КСГ, СГО, К31П5-5, ПО, ПМ-1, К70-8, К70-6, К70-4, К70-7, МПГГ, МПГО, СГМ, К31П-4, К31-10, К31-11, МПО, МПГЦ, К71-4, К71-8, К71-6, К71-7, КСО, КСОТ, К31П-5-2÷4, К31-3, К72-..., ФТ, ФЧ, К78-2...

Электролитические конденсаторы: К50-29, К50-31. (Других «хороших» советских «электролитов» мы не знаем).

Необходимо помнить, что некоторые экземпляры (даже очень многие) конденсаторов «имеют» повышенный фликкер-шум, особенно - конденсаторы с обкладками, нанесёнными на диэлектрик путём металлизации и «порошковыми» соединениями выводов с обкладками (КСО, КСОТ, К71-..., К78-... и т.д.).

Номинальное рабочее напряжение применяемого конденсатора (надпись на корпусе) должно быть более чем на 20% выше максимально возможного по электрической ситуации в схеме. А лучше – вдвое.

«Стабильность» ёмкости исправных «плёночных» конденсаторов указанных типов, которая важна для обеспечения «стабильности» частотно-задающих цепей, достаточна для того, чтобы сделать «эталонный усилитель-корректор мирового уровня», например, для лаборатории Международной Электротехнической Комиссии где-нибудь в Берне (Швейцария). Однако, к звуку «эталонность» не имеет никакого отношения.

2.1.3.2 Резисторы.

Мы *рекомендуем* применять в RIAA-корректорах следующие типы резисторов советского производства (в порядке приоритета):

С5-5, С5-25, С5-42, С5-41, С5-44, МРХ, ПТМН, С5-27, С5-53, С5-54, С5-55, С5-58, С5-60, С5-61, БЛП, УЛИ, УЛД, ВС, С1-8...

Замечания, сделанные в отношении конденсаторов по «исправности», «номиналу», «стабильности» и «фликкер-шумам», остаются в силе и в отношении резисторов с поправкой: номинальная мощность резистора – в два раза выше электрически необходимой в схеме.

Мы считаем также, что «паразитные индуктивность и ёмкость» проволочных резисторов в усилителях RIAA-коррекции в расчёт принимать не следует.

2.2 Расчёты.

2.2.1 Общие замечания.

Расчёты посвящены, в основном, корректирующим цепям. Выбор типов ламп, их электрических режимов и нагрузок на «постоянном токе» считается выполненным (см. п.2.1).

В реостатном каскаде присутствует разделительный конденсатор, например, $C_{\text{вых}}$ на рис.20. Как известно, его ($C_{\text{вых}}$) влияние на ЧХ каскада существенно на низких частотах, начиная с 0Hz и до «частоты среза» $f_{\text{ср}} = 1/2\pi C_{\text{вых}} R_{\text{вх}}$, где $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление межкаскадного четырёхполюсника «на постоянном токе». Рекомендуют (см. [0], [4],[2] и т.д.) выбирать $f_{\text{ср}} \leq 0,1f_{\text{н}}$, где $f_{\text{н}}$ – «нижняя частота воспроизводимого диапазона» (конец цитаты). Подобрать или найти «большой» разделительный конденсатор аудиофильского качества не всегда удаётся: то деталей нет (до 90-х годов прошлого века), то денег нет (их нет всегда). Поэтому мы остановились на компромиссном ассортименте: 100nF слюды (полистирола) советского производства (КСГ, ССГ, К71-7 и т.д.), не взирая на то, что $f_{\text{ср}} \leq 0,1f_{\text{н}}$ явно мало для трансклюкации релятивистских явлений на низах. Для того, чтобы правильно настроить ЧХ четырёхполюсника коррекции, можно на время измерений и настройки поставить какой-нибудь неаудиофильский, но «большой» конденсатор с малой утечкой, например, К73-17, МБГО и т.д., ориентируясь на $f_{\text{ср}} \leq 0,01f_{\text{н}}$, при этом $f_{\text{н}} \approx 16\text{Hz}$. После того, как весь усилитель-корректор будет настроен и впаяны на место «хорошие» конденсаторы, Вы будете иметь звук с простым, но очень правильным по нашему, бразильскому пониманию качеством. Т.е. мы просто-напросто закрываем глаза на присутствие $C_{\text{вых}}$ в схемах и считаем, что «полоса пропускания» усилительного каскада ничем не ограничена. Иное будет всегда оговариваться конкретно, например, влияние на ЧХ входной ёмкости и/или внутреннего сопротивления лампы.

О шумах корректирующих четырёхполюсников к уже сказанному (см. п.2.1.1.3) добавим вот что. Существенное значение имеет такой шум для ламп с малым μ (порядка 20), если, конечно, лампа применяется в первом каскаде. Отягчающее обстоятельство – относительная «высокоомность» самой лампы такой, как, например, 6Н8С. «Высокоомность» заставляет выбирать большие величины R_2 и R_3 (рис.12), R_2 (рис.3) и R_1 (рис.7), а сигнал на входе второго каскада мал. В таких случаях надо «проверять» (после вычислений величин элементов) четырёхполюсники «на шумы», например, так, как было показано в п.2.1.1.3. Подозрения должны падать прежде всего на каскады с параметрами ламп $\mu < 30$, $R_i > 10\text{k}\Omega$ т.е. на лампы с малой из-за «подсевшего» и/или «маломощного» катода крутизной. Как правило, это - старые лампы старых типов 6С5, 6С2С, 6Н8С, 6Ж7 и т.д.. Но звук у них просто восхитительный и замечательный! Так, что рискуйте: ведь, только прослушивание – повод к окончательному диагнозу и приговору, но, однако, надо же сначала сделать корректор! (Интересно, а как «себя поведут» электрометрические лампы (ЭМ-4, ЭМ-7, ЭМ-9 и т.д.)? Кто-нибудь пробовал?)

При использовании «современных» и «свежих» ламп Вы сугубо конкретно обречены на успех в борьбе с Броуновским Движением и Вторым Началом Термодинамики.

2.2.2 Расчёт элементов схемы «традиционной» коррекции (рис.12).

1. Ориентировочно выбираем R_1 и C_2 , руководствуясь следующими критериями:

а) $C_2 \geq 1000\text{pF}$, чтобы меньше влияла входная ёмкость лампы и её, ёмкости, релятивистские компоненты (эффект Миллера, параметрическая «электронная» ёмкость и т.д.);

б) $R1 \geq 2R_a$ для «высокоомных» ламп, $R1 \geq 5R_a$ для «низкоомных» ламп (см. п. 2.1.1.2), где R_a – «анодный» резистор лампы (см. рис.20);

в) $R1C2 \leq \tau_3\tau_1/\tau_2 = 10\tau_1 = 750\mu\text{s}$ т.к., если $R1C2 > \tau_3\tau_1/\tau_2$, то резистор $R3$ не реализуем ($R3 < 0$).

Для указанных минимальной $C2 = 1\text{nF}$ и максимальной постоянной времени $R1C2 = 750\mu\text{s}$ максимальная величина $R1$ «ограничена сверху» значением $750\text{k}\Omega$. С другой стороны, чем ёмкость $C2$ больше, тем лучше. Но уменьшается максимально допустимая величина $R1$ и «стремится к нулю» $R3$. И так далее.

2. Ориентировочно выбираем величину $C1$ по ф-ле

$$C1 = \frac{\tau_3 - 2\tau_2 + \tau_1 - C2R1 + \sqrt{(\tau_3 - \tau_1 - C2R1)^2 + 4C2R1(\tau_2 - \tau_1)}}{2R1} \approx \quad (F).$$

$$\approx \frac{2,62 \cdot 10^{-3} - C2R1 + \sqrt{(3,11 \cdot 10^{-3} - C2R1)^2 + 0,972 \cdot 10^{-3} C2R1}}{2R1}$$

3. По ориентировочным значениям $C1$ и $C2$ выбираем (по надписи на корпусе) конденсаторы и как можно точнее измеряем их ёмкости. К этим измеренным значениям добавляем по 100pF на «входную ёмкость» для $C2$ и на «монтаж» для $C1$. Если $C1$ и $C2$ включены «одним концом в землю» так, как показано на рис.12, то точно учесть «конструктивные» ёмкости можно при настройке ЧХ резисторами $R1$, $R3$ и (если $C1$ «мала») $R2$.

4. Находим $R1$, $R2$ и $R3$ по формулам

$$\left\{ \begin{array}{l} R2 = \tau_2 / C1 \approx 0,318 \cdot 10^{-3} / C1; \\ R3 = \frac{\tau_3 + \tau_1 - \sqrt{(\tau_3 - \tau_1)^2 + 4(\tau_3 - \tau_2)(\tau_2 - \tau_1)} \frac{C2}{C1}}{2C2} \approx \frac{3,26 \cdot 10^{-3} - \sqrt{9,64 \cdot 10^{-6} + 2,78 \cdot 10^{-6} \frac{C2}{C1}}}{2C2}; \quad (\Omega), \\ R1 = \frac{\tau_3 - 2\tau_2 + \tau_1 + \sqrt{(\tau_3 - \tau_1)^2 + 4(\tau_3 - \tau_2)(\tau_2 - \tau_1)} \frac{C2}{C1}}{2(C1 + C2)} \approx \frac{2,62 \cdot 10^{-3} + \sqrt{9,64 \cdot 10^{-6} + 2,78 \cdot 10^{-6} \frac{C2}{C1}}}{2(C1 + C2)} \end{array} \right.$$

где $C1$ и $C2$ - ранее измеренные и откорректированные на «монтаж» ёмкости.

Если Читатель вдруг решит, что лучше иметь $R3 = 0$ (при этом $R1C2 = 750\mu\text{s}$), то по выбранному выше $C1$ (или $C2$) он может вычислить все другие необходимые величины: $C2$ ($C1$), $R1$ и $R2$. Формулы – в п.1.2.8.1 (формула (146)).

Заметим, что для облегчения настройки, всё-таки надо брать $R3 \neq 0$. Ну, хоть самую малость, например, $1\text{k}\Omega$. Изменяя эти $1\text{k}\Omega$ (переменный резистор), можно «не трогать» $C2$. Поэтому $C2$ надо брать «чуть-чуть» меньше, чем при $R3 = 0$.

5. Зная R_a и R_i («внутреннее» сопротивление лампы в «рабочей точке»), вычисляем $R_{\text{вых}}$ каскада.

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_i R_a}{R_i + R_a} \quad (\Omega).$$

6. Зная сопротивление утечки $R_{\text{ВХ}}$ (см. рис.20), а также - $R_{\text{ВЫХ}}$ и $R1$, вычисляем $R'1$.

$$R'1 = \frac{R1(R_{\text{ВХ}} + R_{\text{ВЫХ}}) - R_{\text{ВЫХ}}R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ВХ}} - R1} \quad (\Omega).$$

Для того, чтобы «входное сопротивление» межкаскадного четырёхполюсника было побольше, надо $R_{\text{ВХ}}$ «включить» в точку 1 (рис.12).

Помните, что сопротивление «сеточной цепи» второй лампы составит $R_{\text{ВХ}}+R3$ и не должно превысить допустимое для лампы.

Для «реализуемости» $R'1$ необходимо также, чтобы $R1 < R_{\text{ВХ}}$. Обычно, чтобы «усиление не терялось» выбирают $R_{\text{ВХ}} > 7 \div 8 R1$. С другой стороны, лампа следующего каскада «хорошо себя ведёт», если брать $R_{\text{ВХ}}$ поменьше.

7. Величины $R'1$ и $R3$ уточняются при настройке. Величину $R2$ допустимо определять только вычислениями, если $C1$ достаточно большая по сравнению со 100pF («монтаж») величина, например, 10nF . В противном случае и $R2$ уточняется при настройке.

8. Расчёт окончен. Если б Вы только знали, сколько он нам кровушки попил прежде, чем стать таким лёгким, словно пена морская. Да! Не забудьте проверить $R2+R3$ «на шумы» в «полосе» $\Delta F \approx 2,1\text{kHz}$ (ф-ла (15)).

2.2.3 Расчёт элементов схемы коррекции по типу Ниспадающей Частотной Ступени (рис.3).

1. Ориентировочно выбираем величину $R1$, руководствуясь критерием $R1 \geq 2R_a$ для «высокоомных» ламп, $R1 \geq 5R_a$ для «низкоомных» ламп (см. п. 2.1.1.2), где R_a – «анодный» резистор лампы (см. рис.20).

2. Ориентировочно выбираем величину $C1$ по ф-ле

$$C1 = \frac{\tau_3 - \tau_2}{R1} \approx 2,86 \cdot 10^{-3} / R1 \quad (\text{F}).$$

3. По ориентировочному значению $C1$ выбираем (по надписи на корпусе) конденсатор и как можно точнее измеряем его ёмкость. К этому измеренному значению добавляем 100pF на «монтаж». Если $C1$ включён «одним концом в землю» так, как показано на рис.3, то точно учесть «конструктивную» ёмкость можно при настройке ЧХ резистором $R1$ и (если $C1$ «мала») $R2$.

4. Находим $R1$ и $R2$ по формулам

$$\begin{cases} R1 = \frac{\tau_3 - \tau_2}{C1} \approx \frac{2,86 \cdot 10^{-3}}{C1}; \\ R2 = \tau_2 / C1 \approx 0,318 \cdot 10^{-3} / C1 \end{cases} \quad (\Omega),$$

где $C1$ - ранее измеренная и откорректированная на «монтаж» ёмкость.

5. Зная R_a и R_i («внутреннее» сопротивление лампы в «рабочей точке»), вычисляем $R_{\text{ВЫХ}}$ каскада.

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_i R_a}{R_i + R_a} \quad (\Omega).$$

6. Зная сопротивление утечки $R_{\text{ВХ}}$ (рис.20), а также - $R_{\text{ВЫХ}}$ и $R1$, вычисляем $R'1$.

$$R'1 = \frac{R1(R_{\text{ВХ}} + R_{\text{ВЫХ}}) - R_{\text{ВЫХ}} R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ВХ}} - R1} \quad (\Omega).$$

Для того, чтобы «входное сопротивление» межкаскадного четырёхполюсника было побольше, надо $R_{\text{ВХ}}$ «включить» в точку U (рис.3) или в точку 2 (рис.4).

Помните, что сопротивление «сеточной цепи» второй лампы не должно превысить допустимое значение.

Для «реализуемости» $R'1$ необходимо также, чтобы $R1 < R_{\text{ВХ}}$. Обычно, чтобы «усиление не терялось» выбирают $R_{\text{ВХ}} > 7 \div 8 R1$. С другой стороны, лампа следующего каскада «хорошо себя ведёт», если брать $R_{\text{ВХ}}$ поменьше.

7. Величина $R1$ уточняется при настройке. Величину $R2$ допустимо определять только вычислениями, если $C1$ достаточно большая по сравнению со 100pF («монтаж») величина, например, 10nF . В противном случае и $R2$ уточняется при настройке.

8. Расчёт окончен. Без лишних слов, не забудьте проверить $R2$ «на шумы» в «полосе» $\Delta F \approx 20\text{kHz}$ или $\Delta F \approx 2,1\text{kHz}$ по ф-ле (15) (см.п2.1.1.3).

2.2.4 Расчёт элементов схемы коррекции «по τ_1 » (рис.7).

1. Ориентировочно выбираем $R1$ и $C1$, руководствуясь следующими критериями:

а) $C1 \geq 1000\text{pF}$, чтобы меньше влияла входная ёмкость лампы и её, ёмкости, релятивистские компоненты (эффект Миллера, параметрическая «электронная» ёмкость и т.д.);

б) $R1 \geq 2R_a$ для «высокоомных» ламп, $R1 \geq 5R_a$ для «низкоомных» ламп (см. п. 2.1.1.2), где R_a – «анодный» резистор лампы (см.рис.20);

Для указанной минимальной $C1=1\text{nF}$ максимальная величина $R1$ «ограничена сверху» значением $75\text{k}\Omega$ (для $\tau_1=75\mu\text{s}$). Таким образом, чтобы «не терять усиления», лампа, работающая на цепь по рис.7, должна быть не очень «высокоомной». Хотя, «не смертельно» изменить критерий для $C1$, например, в 10 раз в сторону уменьшения. Но мы не рекомендуем это делать. Лучше «лампу изменить».

2. Теперь ориентировочно вычислим величину $C1$ по ф-ле

$$C1 = \frac{\tau_1}{R1} = 75 \cdot 10^{-6} / R1 \quad (\text{F}).$$

3. По ориентировочно вычисленному значению $C1$ выбираем (по надписи на корпусе) конденсатор и как можно точнее измеряем его ёмкость. К этому измеренному значению добавляем 100pF на «монтаж». Если $C1$ включён «одним концом в землю» так, как показано на рис.7, то точно учесть «конструктивную» ёмкость можно при настройке ЧХ резистором $R1$.

4. Находим $R1$ по формуле

$$R1 = \frac{\tau_1}{C1} = \frac{75 \cdot 10^{-6}}{C1} \quad (\Omega),$$

где $C1$ - ранее измеренная и откорректированная на «монтаж» ёмкость.

5. Зная R_a и R_i («внутреннее сопротивление лампы в «рабочей точке»), вычисляем $R_{\text{вых}}$ каскада.

$$R_{\text{вых}} = \frac{R_i R_a}{R_i + R_a} \quad (\Omega).$$

6. Зная сопротивление утечки $R_{\text{вх}}$ (рис.20), а также - $R_{\text{вых}}$ и $R1$, вычисляем $R'1$.

$$R'1 = \frac{R1(R_{\text{вх}} + R_{\text{вых}}) - R_{\text{вых}} R_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}} - R1} \quad (\Omega).$$

Для того, чтобы «входное сопротивление» межкаскадного четырёхполюсника было побольше, надо $R_{\text{вх}}$ «включить» в точку U (рис.7) или в точку 2 (рис.8).

Помните, что сопротивление «сеточной цепи» второй лампы не должно превысить допустимое значение.

Для «реализуемости» $R'1$ необходимо также, чтобы $R1 < R_{\text{вх}}$. Обычно, чтобы «усиление не терялось» выбирают $R_{\text{вх}} > 7 \div 8 R1$. С другой стороны, лампа следующего каскада «хорошо себя ведёт», если брать $R_{\text{вх}}$ поменьше.

7. Величина $R1$ уточняется при настройке.

8. Очевидно, расчёт окончен. Если очень надо, то можно проверить $R1$ «на шумы» в «полосе» $\Delta F \approx 2,1 \text{ kHz}$ (ф-ла (15)).

2.2.5 Мы считаем, что для схемы «коррекции с τ_1 на входе» (рис.10), т.е. на «природной» индуктивности звукоснимателя, нерационально предлагать какие-либо расчётные соотношения. Легче всего, единственный «внешний» элемент коррекции ($R1$) определять в эксперименте (см. ниже).

2.2.6 Пример расчёта.

Задание.

Представьте себе! Однажды...

(продолжение следует...)↓