

(часть четвёртая или продолжение...)↓

2.2.6 Пример расчёта.

Задание.

Представьте себе! Однажды, к нам заходим мы с ящиком новых, как в армии поётся, муха не занималась на них академической греблей, железных, в звёздах военной приёмки 6Г2. Звёзды так и играют всеми спектральными составляющими Света Белого. Количество в ящике – выбирай любую. Конечно же, мы ставим нам вопрос с задачей: а ну-ка, хлопцы, шоб к утру на них (6Г2) был корректор с переключателем анженерной конструкции типов корректирующих цепей: одна цепь по «традиционной» схеме (рис.17а), а другая - «с τ_1 на входе» (рис.17б)! Звукосниматель, известное дело – «Корвет–008». И чтоб не только звёзды на них, на лампах, играли. Нам Кусевицкого хочется послушать. Ну, и так далее.

Выполнение.

Начали мы со схемы. Что она – двухкаскадная, сомнений нет! А вот с переключателем помаялись. С третьего раза получился. Из хрусталя. Фа-фа. Ля-ля. Трудность заключалась вот в чём. Чтобы адекватно сравнивать цепи коррекции, необходимо «уравнять» нагрузку первого каскада для различных четырёхполюсников. Критерий равенства их (четырёхполюсников) минимальных входных сопротивлений оказался слишком сложным для расчёта элементов R и C. (Сложности возникли по критерию «реализуемости» элементов R и C. Появились эдакие кубические неравенства с тремя степенями свободы. Жуть.) И вот мы говорим нам: ну, давайте просто приравняем $R1$ (рис.12) к $R1$ (рис.3), ведь $R1+R2$ (рис.3) будет тогда отличаться от $R1+(R2R3)/(R2+R3)$ (рис.12) не более, чем на одну «свою» десятую. Ясно стало и легко. Что $C1$ (рис.12) не будет равен $C1$ (рис.3), мы к тому времени уже поняли. Поэтому получились два «независимых» корректирующих четырёхполюсника с полным набором элементов R и C в каждом.

И вот ОНА, в муках рождённая:

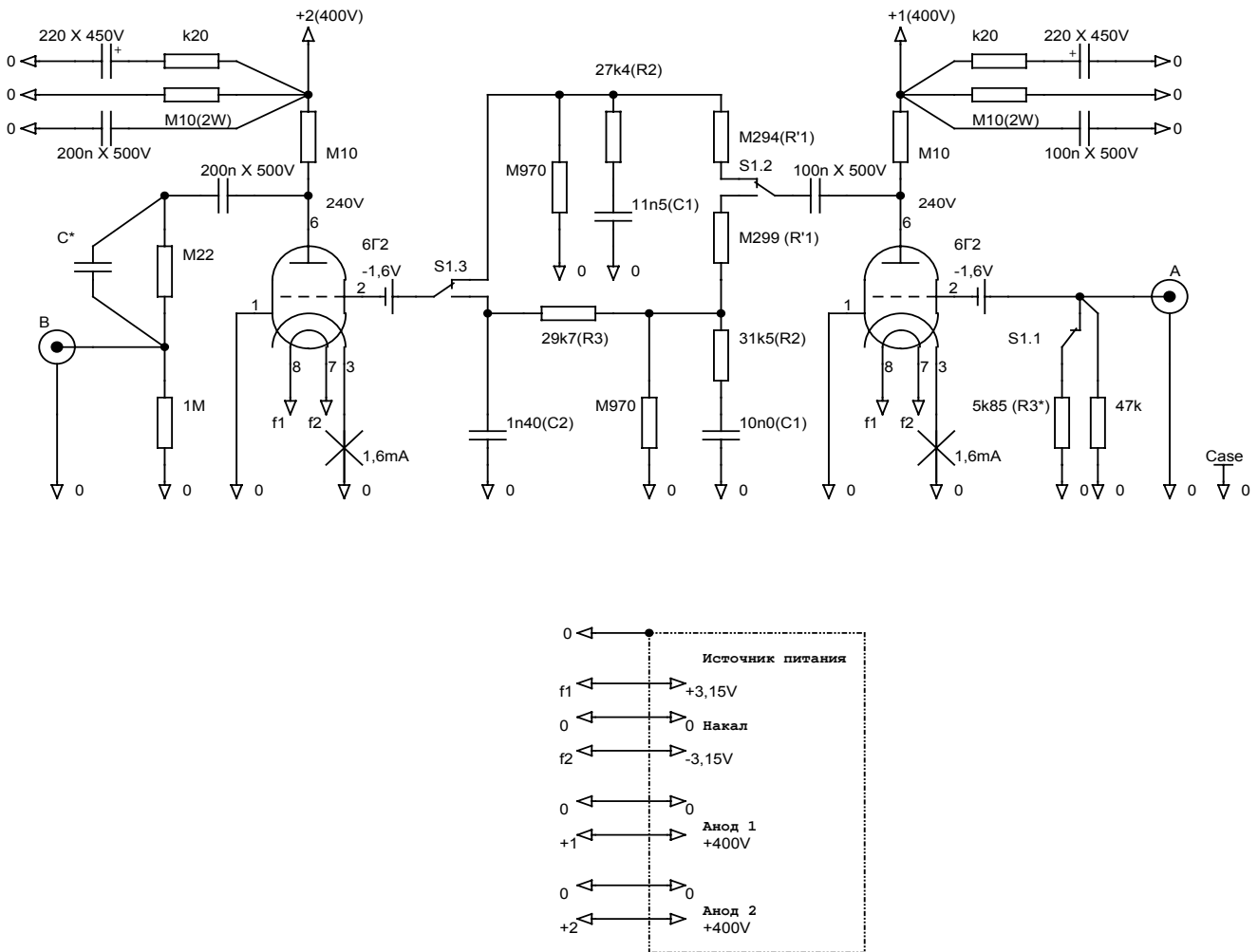


Рис.21

И назвали мы ЕЁ (нет, нет: у нас – мальчик!) в тот час просто: ГУСЬ-ХРУСТАЛЬНЫЙ. Мабене. Есть же «Кембридж Аудио», «Чикаго Трибьюн» и «Апрелевский Завод», в конце-концов. Но Силиконовая Долина далеко, а Гусь-Хрустальный близко. Да и мы, как все одесситы, в глубине души - заядлые стеклодувы. Бывало такое из плавленого кварца сварганим, что хоть святых выноси. Вот, например, схему придумали. Может кому и сгодится.

Комментарий.

Каскады усиления описаны ранее (см. п.2.1.1.1). Коэффициент усиления каждого каскада ≈ 57 . На входной «нагрузке» какого-нибудь усилителя-регулятора в $47\text{k}\Omega$ общий коэффициент усиления ≈ 50 . На выходе стоит цепь «кабельной компенсации» $C^* // 220\text{k}\Omega$. В оригинале «кабельная компенсация» отсутствует: $C^* = 0$. Переключатель – в положении « τ_1 на входе». Если желающим «повторить» этот RIAA-корректор понадобится «поставить» параллельно стандартным входным $47\text{k}\Omega$ рекомендованную производителем «ёмкость нагрузки» ($C_{\text{вх}}$) звукоснимателя, то группу переключателя S1.1 надо использовать «на перекидку» и переключать $R^* 3$ и $47\text{k}\Omega // C_{\text{вх}}$ «независимо». На нашей схеме величина резистора $R^* 3$ зависит от $47\text{k}\Omega$ (см. ниже в расчётах). Второй канал идентичен. «Заземление» и «зануление» «средних точек» и «нулей» источника питания сделано на общей (толстой, медной ($2 \times 4\text{mm}$)) шине в корпусе корректора. Источник питания – в отдельном корпусе и общей шины «внутри» не имеет. Соединён с корректором через

«военный» многоштырьковый разъём (на схеме не показан). Детали – хорошие: $C_{\text{вых}}$, C_{a1} – КСГ; C_{a2} – «Ничикон» (мабене) (см. п.2.1.1.1); резисторы – С5-5, МРХ, БЛП, УЛИ, УЛД; батарейки – от часов наручных («Grado»); разъёмы-гнезда А и В – СР-75-154П (Ø22mm), не для красоты, а для крепости; панельки ламповые – керамические с «трёхслойными ножами»; переключатель – тоже керамический ПГ. Ну, и так далее... Ах, да! Питается этот Гусь из еввророзетки (см. Введение, где про письмо О.Хавина) переменным током формой похожей на синусоиду в 50Hz и действующим значением напряжения 170÷250V (как ему, болезному, повезёт). Жрёт немного, и в этом – главное его достоинство и отличие от домашней скотинки.

Расчёт.

По п.2.2.2.

$$1. \quad R1 \rightarrow 250k\Omega; C2 \rightarrow 1,5nF; C2R1 = 0,375 \cdot 10^{-3} s < 750\mu s.$$

2.

$$C1 \approx \frac{2,62 \cdot 10^{-3} - 0,375 \cdot 10^{-3} + \sqrt{(3,11 \cdot 10^{-3} - 0,375 \cdot 10^{-3})^2 + 0,972 \cdot 10^{-3} \cdot 0,375 \cdot 10^{-3}}}{2 \cdot 250 \cdot 10^3} \approx 10,10nF$$

$$3. \quad \text{Выбрали, измерили и вычислили: } C1 = 10,0nF \text{ (КСГ-1)} + 100pF \text{ (монтаж)} = 10,1nF; C2 = 1,4nF \text{ (КСГ-1)} + 100pF \text{ (монтаж)} = 1,5nF; C2/C1 \approx 0,149; C1 + C2 = 11,6nF.$$

4.

$$\left\{ \begin{array}{l} R2 \approx 0,318 \cdot 10^{-3} / 10,1 \cdot 10^{-9} \approx 31,5k\Omega; \\ R3 \approx \frac{3,26 \cdot 10^{-3} - \sqrt{9,64 \cdot 10^{-6} + 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot 0,149}}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}} \approx 29,7k\Omega; \\ R1 \approx \frac{2,62 \cdot 10^{-3} + \sqrt{9,64 \cdot 10^{-6} + 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot 0,149}}{2 \cdot 11,6 \cdot 10^{-9}} \approx 250k\Omega. \end{array} \right.$$

$$5. \quad R_a = 100k\Omega; R_i = 60k\Omega; R_{\text{вых}} = 60 \cdot 100 / (60 + 100) = 37,5k\Omega.$$

$$6. \quad R_{\text{вх}} = 1M\Omega - 29,7k\Omega \approx 970k\Omega \text{ (максимально допустимое сопротивление в цепи сетки – } 1M\Omega);$$

$$R'1 = \frac{250(970 + 37,5) - 37,5 \cdot 970}{970 - 250} \approx 299k\Omega.$$

7. Для того, чтобы можно было «подстраивать» ЧХ к требуемой (см. п.2.3.5), составляем R3 из двух резисторов: одного «постоянного» 27kΩ, а другого подстроечного 6,2kΩ. Аналогично - R'1: 270kΩ («постоянный») + 62kΩ (подстроечный). Т.к. C1 – «большая» по сравнению со 100pF ёмкость, то R2 подбираем с точностью «до трёх значащих цифр». Резистор R_{вх} можно «точно» не подбирать, достаточно «двух цифр».

По п.2.2.3.

$$1. \quad \text{Примем } R1 = 250k\Omega \text{ (см. выше, где мы маялись со схемкой).}$$

$$2. \quad C1 = 2,86 \cdot 10^{-3} / 250 \cdot 10^3 \approx 11,4nF.$$

3. Выбрали, измерили и вычислили: $C1=11,5\text{нФ}$ (КСГ-1) + 100пФ (монтаж) = $11,6\text{нФ}$.
4. $R1=2,86 \cdot 10^{-3} / 11,6 \cdot 10^{-9} \approx 247\text{к}\Omega$; $R2=0,318 \cdot 10^{-3} / 11,6 \cdot 10^{-9} \approx 27,4\text{к}\Omega$.
5. $R_{\text{вых}}=37,5\text{к}\Omega$ (см. выше).
6. Примем $R_{\text{вх}}=970\text{к}\Omega$, как и для «традиционной» коррекции. Тогда

$$R'1 = \frac{247(970 + 37,5) - 37,5 \cdot 970}{970 - 247} \approx 294\text{к}\Omega.$$

7. Для того, чтобы можно было «подстраивать» ЧХ к требуемой (см. п.2.3.4), составляем $R'1$ из двух резисторов: $270\text{к}\Omega$ («постоянный») + $62\text{к}\Omega$ (подстроечный). $R2$ подбираем с точностью «до трёх значащих цифр». Резистор $R_{\text{вх}}$ можно «точно» не подбирать, достаточно «двух цифр».

Интересно нам нас проверить. Минимальное входное сопротивление «традиционного» четырёхполюсника будет $R'1 + R3R2R_{\text{вх}} / (R2R3 + R_{\text{вх}}(R2 + R3)) =$
 $= 299 + 29,7 \cdot 31,5 \cdot 970 / (31,5 \cdot 29,7 + 970(31,5 + 29,7)) \approx 314\text{к}\Omega$. Минимальное входное сопротивление Ниспадающей Частотной Ступени $R'1 + R2 R_{\text{вх}} / (R2 + R_{\text{вх}}) = 294 + 970 \cdot 27,4 / (970 + 27,4) \approx 320\text{к}\Omega$. «Расхождение» - 2%!

8. (Для обоих «случаев» коррекции). Проверяем оба четырёхполюсника «на шумы».

Коэффициент усиления каскада ≈ 57 . Коэффициент передачи четырёхполюсников (1000Hz) $\approx 0,1$. Всё вместе $\approx 5,7$, а напряжение «стандартных» входных 5мВ на входе второго каскада $\approx 29\text{мВ}$. Уровню -80дБ соответствуют $\approx 2,9\mu\text{В}$. По ф-ле (15):

для «традиционной» коррекции $R2 + R3 \leq 61,7 \cdot (2,9)^2 / 2,1 \approx 250\text{к}\Omega$;

для « τ_1 на входе» $R2 \leq 61,7 \cdot (2,9)^2 / 20 \approx 26\text{к}\Omega$.

Для « τ_1 на входе» шумы корректирующей цепи будут большие, чем при «традиционной» коррекции, но «они» только «вступили в пределы допустимого». Считаем требования «по шумам» выполненными. (В противном случае нам пришлось бы уменьшать все резисторы и «одновременно» увеличивать все ёмкости RC-четырёхполюсника).

9. Рассчитываем $R*3$. По экспериментальным данным (методику см. ниже в п.2.3.2) вышло так, что необходимое нагрузочное сопротивление для звукоснимателя «Корвет-008», приводящее к этой самой коррекции «по τ_1 на входе», составляет $\approx 5,2\text{к}\Omega$ для правого канала (для левого – чуть-чуть меньше). Согласно схеме рис.21 оно ($5,2\text{к}\Omega$) должно получиться при параллельном соединении стандартных $47\text{к}\Omega$ с пока неизвестным $R*3$: $5,2 = 47 \cdot R*3 / (47 + R*3)$. Откуда $R*3 = 5,2 \cdot 47 / (47 - 5,2) \approx 5,86\text{к}\Omega$ и «в подстройке не нуждается».

Тут также очень интересно «оценить шумы» резистора $R*3$. Т.е. вычислим приблизительно отношение сигнала ($0\text{дБ} \rightarrow 5\text{мВ}$) к тепловому шуму резистора $R*3$. По ф-ле (15) для 20°C ; $5,2\text{к}\Omega$ и $\Delta F=20\text{кГц}$ (см. п.2.1.1.3) находим напряжение шумов $u_{\text{ш}} \approx 1,3\mu\text{В}$. А сигнал на входе корректора будет $0,85 \cdot 5\text{мВ} = 4,3\text{мВ}$ (см. п.1.2.6). Отношение сигнала к шуму $D = 4,3\text{мВ} / 1,3\mu\text{В} \approx 3300 \rightarrow 70\text{дБ}$.

Практика показала, что субъективно эти 70дБ при «нормальной» громкости совершенно не мешают слушать пластинки. Оценим «по нашему» динамический диапазон «воспроизводимых звуков» (D_{max}). Т.к. допускаются уровни записи на пластинку с «перегрузками» $+14\text{дБ}$, а «под шумами ещё слышны» уровни -10дБ (см. п.2.1.1.3), то $D_{\text{max}} \approx 70 + 14 + 10 = 94\text{дБ}$ (!).

Очевидно, что Ниспадающая Частотная Ступень шумит здесь у нас значительно меньше (напомним, что критерий выбора R2 «по шумам» -80dB относительно входных 5mV).

Интересно также, что «шумы» при входных 47kΩ «упадут» в $\sqrt{47/5,2} \approx 3,0$ раза, или на 9,6dB. Несмотря на столь значительный проигрыш «по шумам», корректор в режиме «τ₁ на входе» примерно во столько же раз «лучше» переносит перегрузки. И нам этот режим нравится больше. И вообще, Гусь-Хрустальный затем и появился на свет, чтобы показать «два разных качества» в одном, так сказать, флаконе.

Тут мы осмелимся вспомнить про шумы и нелинейность как о двух качествах одного явления – **помехи** сигналу. При «высокой» линейности уменьшается мультипликативная помеха звуковой картине. А при «низких» шумах – уменьшается аддитивная помеха. Оба качества помехи можно толковать как «замутнённость» (или «неясность») звуковой картины. А при «плавном» размене «линейность – шумы» гипотетически возможен какой-то оптимум по «ясности» этой звуковой картины. Такой «комплексный подход» известен давно и широко применяется для оценки реальной селективности профессиональных радиоприёмников. Но и «там» очень много белых пятен. И обычная ныне в Хай-Энде стратегия «без обратных связей и на лампах» тоже не нова для радиоприёма. Проблема «ограниченности повышения реальной (!) линейности и селективности тракта только противосвязью» (конец цитаты) встала во весь рост при появлении в элементной базе радиотехники доступных и несекретных СВЧ транзисторов к началу 70-х годов прошлого века. И в этом весь парадокс. Смотрите, что творится! «На входе» какого-нибудь «Плэсси» за 15 килобаксов стоит УВЧ на полевом транзисторе «вертикальной структуры». Он, УВЧ, - «однотактный, трансформаторный» и с ООС только по «постоянному току». При этом мощность на «нагрев воздуха» $\approx 7 \div 10W$ (1980г.). Может «они там сегодня» уже лампы на вход ставят? Мы вот ставим (см. рис.21 и 22).

10. Расчёт окончен. Остались настройки (см. п.2.3).

2.2.7 Ещё один практический пример схемы и расчёта.

На сей раз особо растекаться мыслью по древу (сами знаете какому) не будем. Схема выполнена на «низкоомных» лампах, согласно рис.17в.

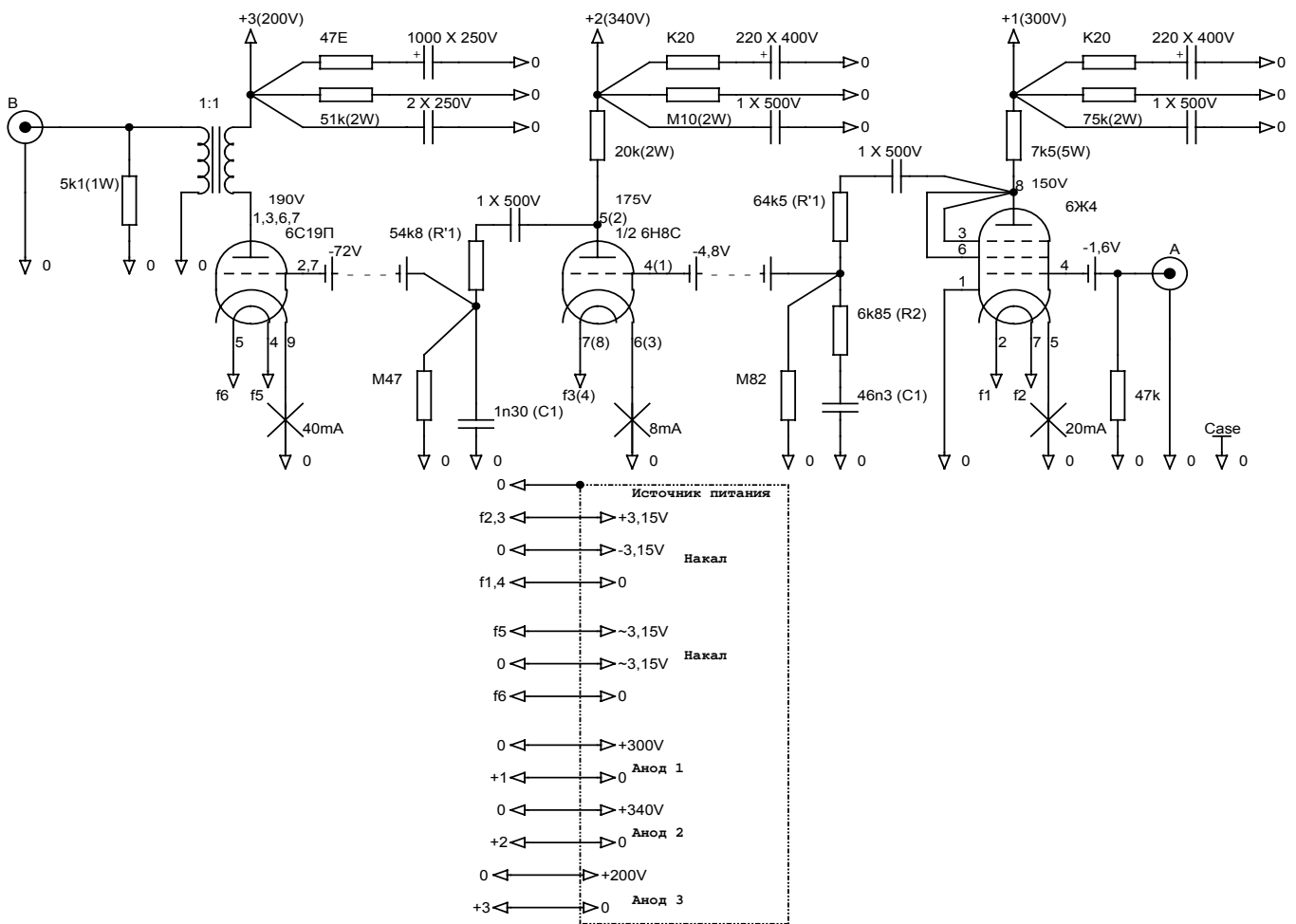


Рис.22

Комментарии к схеме.

У «схемы» большое энергопотребление (жрёт от источника питания «по анодам» $\approx 20W$). Но низкие шумы (меньше $-80dB$) и достаточно высокая перегрузочная способность ($\approx 50dB$, $5mV$, $1000Hz$). Выходной каскад – на популярной 6С19П обеспечивает низкое выходное сопротивление ($\approx 1,2k\Omega$) и чуток (1,9) добавляет усиления. Т.к. для $1,2k\Omega$ «хороший» выходной конденсатор будет просто необъятным, мы применили трансформатор 1:1. Сэкономили. Железо и катушка – ТВЗ от телевизоров (помните, такие, чёрно-белые, ламповые). Количество витков одной обмотки ≈ 3500 , диаметр провода с изоляцией $\approx 0,15mm$. Зазор не трогали $\approx 0,15mm$. Одним словом – хаенд-буфер. Мы не могли обойти стороной легендарную советскую 6Н8С с нержавеющей, железным цоколем. И – вот она, во втором каскаде (т.к. в первом её применять опасно (см. п.2.2.1)). Используется «половинка». Другая половинка – в другом канале. Очень даже красиво получилось: четыре по углам, одна в центре (так выглядит в плане весь усилитель). Работает 6Н8С на «коррекцию по τ_1 » (см. рис.17в). Входной каскад на «малошумящей, чёрной» 6Ж4 в триодном включении. Она обладает хорошим усилением (в нашем каскаде – 30) и низким выходным сопротивлением ($R_i \approx 3k\Omega$), что полезно: корректирующая цепь будет меньше шуметь. Ответственность за применение «входной рекомендованной ёмкости» в данной схеме RIAA-корректора (рис.22) перекладывается на плечи заинтересованных в этом лиц, согласно стечению

кабельно-картриджных соединительных обстоятельств. Конденсаторы: электролиты – «Ничикон»; «плёнка» - К70-7 (корректирующие цепи), МПГО (анодные цепи); резисторы – С5-5, МРХ, БЛП, УЛИ, УЛД; батарейки (49 шт.) – от часов швейцарской фирмы «Grado» (про часы – шутка, но батареек таки 49); разъёмы, панельки и т.д. – см. п.2.2.6. Общй коэффициент усиления - $67 \div 74$. Корректор зарекомендовал себя хорошо, и ему пожизненно (навсегда) присвоено почётное звание **СТУДИЙНЫЙ-ПЕРСОНАЛЬНЫЙ**.

Расчёт по п.2.2.3.

1. $R1 \geq 5 \cdot 7,5 \text{ k}\Omega = 37,5 \rightarrow 62 \text{ k}\Omega$.
2. $C1 \approx 2,86 \cdot 10^{-3} / 62 \cdot 10^3 \approx 46 \text{ nF}$.
3. Выбрали, измерили и вычислили: $C1 = 46,3 \text{ nF}$ (К70-7) + 100 pF (монтаж) = 46,4 nF.
4. $R1 \approx 2,86 \cdot 10^{-3} / 46,4 \cdot 10^{-9} \approx 61,6 \text{ k}\Omega$; $R2 \approx 0,318 \cdot 10^{-3} / 46,4 \cdot 10^{-9} \approx 6,85 \text{ k}\Omega$.
5. $R_{\text{вых}} = 7,5 \cdot 3 / (7,5 + 3) \approx 2,14 \text{ k}\Omega$ ($R_i \approx 3 \text{ k}\Omega$).
6. $R'1 = (61,6(820 + 2,14) - 820 \cdot 2,14) / (820 - 61,6) \approx 64,5 \text{ k}\Omega$ ($R_{\text{ex}} = 820 \text{ k}\Omega$).
7. Для подстройки ЧХ к требуемой (см. п.2.3.4) составляем резистор $R'1$ из двух: $56 \text{ k}\Omega + 15 \text{ k}\Omega$ (подстроечный). Т.к. $C1$ – «большая», то резистор $R2$ подбираем «точно» - с тремя значащими цифрами (+/-0,1%).
8. Проверяем $R2$ на «шумы». Сигнал на входе второго каскада (с пластинки – 5 mV) $\approx 15 \text{ mV}$. Уровню шумов –80 dB соответствует $1,5 \mu\text{V}$. По ф-ле (15) ($\Delta F = 2,1 \text{ kHz}$, т.к. « τ_1 стоит на выходе»): $R2 \leq 61,7 \cdot (1,5)^2 / 2,1 \approx 66,1 \text{ k}\Omega$. Что и требовалось.

Расчёт по п.2.2.4.

1. $C1 \geq 1000 \text{ pF}$; $R1 \geq 2 \cdot 20 = 40 \rightarrow 50 \text{ k}\Omega$.
2. $C1 = 75 \cdot 10^{-6} / 50 \cdot 10^3 = 1,5 \text{ nF}$.
3. Выбрали, измерили и вычислили: $C1 = 1,3 \text{ nF}$ (К70-7) + 100 pF (монтаж) = 1,4 nF.
4. $R1 = 75 \cdot 10^{-6} / 1,4 \cdot 10^{-9} \approx 53,6 \text{ k}\Omega$.
5. $R_{\text{вых}} = 8 \cdot 20 / (8 + 20) \approx 5,71 \text{ k}\Omega$ ($R_i \approx 8 \text{ k}\Omega$).
6. $R'1 = (53,6(470 + 5,71) - 470 \cdot 5,71) / (470 - 53,6) \approx 54,8 \text{ k}\Omega$ ($R_{\text{ex}} = 470 \text{ k}\Omega$).
7. Для подстройки ЧХ к требуемой (см. п.2.3.3) составляем резистор $R'1$ из двух: $51 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega$ (подстроечный).
8. На «шумы» не проверяем.

2.2.8 Расчёт RC-элементов других схем RIAA-коррекции (см. Теорию).

Они (элементы) могут быть вычислены аналогично. Мы постарались сделать всё, чтобы Человек, владеющий алгеброй и физикой в рамках «полного общего среднего образования» (конец цитаты), не стесняясь собственных знаний и способностей, разработал сам методику расчётов. У тебя, Читатель, должно это получиться лучше, чем у нас. Но самое главное – быть заинтересованным, ищущим и не теряющим Надежды Странником по топологиям и джунглям RIAA-коррекции. Впереди тебя ждёт такой аналоговый звук, что почтительно присядут в беспомощном «Ку!» любители (... тут явилась Самоцензура. Она сказала: «Резать!» И мы отрезали...) колбасы.

2.3 Измерения и настройки частотных характеристик усилителей RIAA-коррекции.

2.3.1 Общие замечания.

Мы считаем, что...

(продолжение следует...)↓