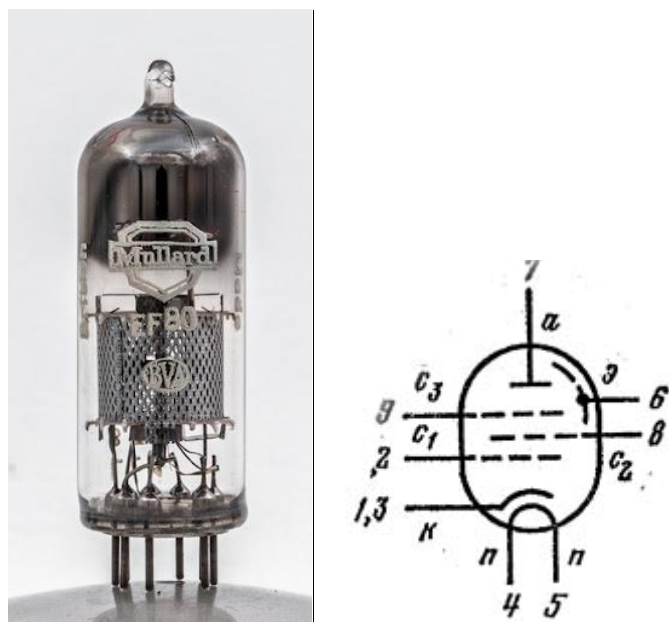


*Расчет драйвера на EF80 триодом  
(вторую сетку через резистор 100 Ом к аноду)*



*рис.1 Внешний вид и цоколевка EF80. Шестая ножка заземляется рядом с панелькой.*

От драйвера требуется не менее 6,5 В раскачки, чтобы прокачать 23 пФ входной динамической емкости выходной лампы с амплитудой тока 0,69 мА, и вписать его в напряжение с блока питания 249 В. Печатаем покрупнее график, оцениваем, прицеливаемся, надо выбрать рабочую ветвь смещения таким образом, чтобы соседние находились на одинаковом расстоянии, это залог низких искажений по 2-й гармонике.

Важно чтобы нижний конец линии динамической нагрузки не заходил на искривленные участки с несимметричным расположением, здесь живет 3-я гармоника, придающая звуку жесткость и резкость, уши от нее быстро устают, и рука непроизвольно тянется к регулятору громкости, чтобы ее уменьшить (укоротить линию динамической нагрузки).

Вторая гармоника может быть больше, это звуки окружающие нас с детства, уши к ним давно адаптировались, и она не раздражает, лишь очень тренированные уши замечают 3% искажений, наибольший вклад вносит АС, она, как всегда, является самым слабым звеном аудиосистемы.

Останавливаемся на -2 В, далее все проще. Выбираем напряжение анод-катод 175 В, проводим от него вертикальную линию до выбранного смещения -2 В, и в точке пересечения определяем ток покоя 11,6 мА. Остается нарисовать линию динамической нагрузки, по которой будет работать лампа и вычислены все характеристики, это не сложно.

Определяем падение напряжения и анодную нагрузку.

$$U_A = U_{БП} - U_a - U_{g1} = 249,0 - 175,0 - 2,0 = 72 \text{ В}$$

$$R_a = \frac{U_A}{I_a} = \frac{72,0}{0,0116} = 6207 \text{ Ом}$$

Теперь можно определить координаты линии динамической нагрузки.

$$U_A = (R_a * I_a) + U_a = (6207,0 * 0,0116) + 175,0 = 247 \text{ В}$$

Эту координату быстрее и проще можно посчитать в уме, вычитая из напряжения блока питания 249 В напряжение смещения 2 В, и получаем ту же самую цифру 247 В.

Вычисляем вторую координату.

$$I_A = \frac{U_A}{R_a} = \frac{247,0}{6207,0} = 0,0398 \text{ A}$$

Ставим их на осях ординат, и проводим между ними линию динамической нагрузки, она должна пройти через рабочую точку на ветви смещения -2 В. При должном усердии, слегка меняя наклон линейки, можно точно получить требуемую анодную нагрузку 6207 Ом.

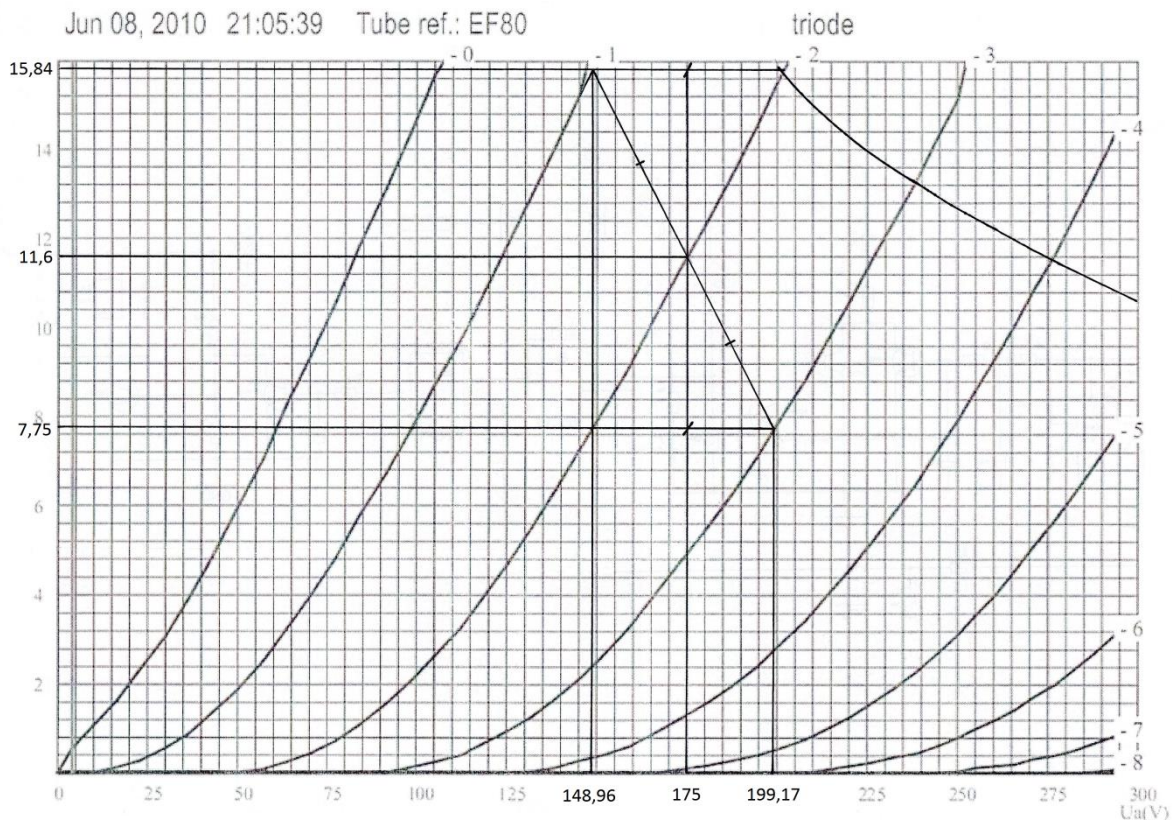


рис.2 График анодных характеристик EF80, рабочий режим. Разница в напряжении на положительной и отрицательной полуwave сигнала 7,7%.

Верхний конец линии динамической нагрузки имеет координаты напряжения и тока, 148,96 В и 15,84 мА, нижний 199,17 В и 7,75 мА, длина отрезков линии динамической нагрузки на положительной полуwave сигнала,  $a = 48,5$  мм, на отрицательной,  $b = 45$  мм, и между половинами напряжения смещения,  $c = 46,5$  мм., они будут нужны для вычисления коэффициента гармоник.

Расчеты от пика до пика, с учетом отрицательной полуwave сигнала, так точнее.

$$U_m = 199,17 - 148,96 = 50,21 \text{ В}$$

$$I_m = 15,84 - 7,75 = 8,09 \text{ мА}$$

На положительной полуwave это 4,24 мА, требовалось не менее 0,69 мА, имеем запас в 6 раз, возросшая амплитуда тока продавит входную динамическую емкость выходной лампы еще дальше на ВЧ, расширяя АЧХ.

$$R_a = \frac{50,21}{0,00809} = 6206 \text{ Ом}$$

Требовалось 6207 Ом, т.е. линия динамической нагрузки построена очень точно, и все расчеты

будут правильными. Берем такой резистор, и впаиваем его в анод лампы, на нем рассеивается мощность 0,86 Вт, ставим с запасом от перегрева на 4 Вт. Его номиналом регулируют выходное напряжение, больше номинал, линия динамической нагрузки ложится более полого, выходное напряжение возрастает, и наоборот.

Для вычисления внутреннего сопротивления из концов линии динамической нагрузки проводим горизонтальные линии до пересечения с рабочей ветвью смещения -2 В, и в точках пересечения определяем амплитуду напряжения. Вверху они пересеклись на 201,83 В, внизу на 148,96 В, т.е. амплитуда напряжения получается 52,87 В, амплитуда тока была вычислена выше, 8,09 мА, в этом случае внутреннее сопротивление в рабочей точке равно:

$$R_i = \frac{52,87}{0,00809} = 6535 \text{ Ом}$$

$$\mu = \frac{U_m}{U_{mg1}} = \frac{50,21}{2,0} = 25,1$$

Сразу вычислим коэффициент усиления каскада, нагруженного на резистор смещения выходной лампы 200 кОм, если этого не сделать сейчас, то остальные расчеты будут бесполезными.

$$K_{ус} = \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R_a} + \frac{R_i}{R_{см.}}} = \frac{25,1}{1 + \frac{6535}{6206} + \frac{6535}{200000}} = 12$$

При подаче на вход 1 В, на выходе с таким усилением получим 12 В, по условию задачи для полной раскачки выходной лампы с учетом потерь в межкаскадном конденсаторе требовалось 6,5 В, как видите это условие выполнено с большим запасом, т.е. чувствительность усилителя со входа получается лучше 1 В. Не исключено клиппирование выходной лампы, драйвер не перегрузится у него хороший запас.

Если усиления не хватает, то рабочую точку надо сдвинуть влево или вниз, или все вместе, в этом случае линия динамической нагрузки опускается ниже, увеличивая амплитуду напряжения. И наоборот, при избытке усиления, сдвигаем ее вправо.

Усиление можно уменьшить за счет уменьшения номинала резистора смещения выходной лампы, это пойдет только на пользу, т.к. межкаскадный конденсатор будет быстрее разряжаться, не затягивая фронты сигнала. Чем меньше номинал, тем четче удар, железное правило аудиофилов, и не вздумайте с ними спорить, проверено меломанами, и всем понравилось.

Проверим выходное сопротивление, оно тоже очень важно для согласования каскадов между собой, чем меньше, тем лучше.

$$R_{вых.} = \frac{R_a * R_i}{R_a + R_i} = \frac{6207 * 6535}{6207 + 6535} = 3110 \text{ Ом}$$

По существующему ГОСТ Р 51771 2001 сопротивление нагрузки источника, в данном случае это резистор смещения выходной лампы, должно быть не менее чем в 10 раз больше, можно ставить начиная от 33 кОм. Это дает возможность использовать межкаскадные конденсаторы большей емкости, чем она больше, тем глубже НЧ, но не переборщите, чем больше емкость, тем дольше он будет разряжаться, держа лампу в подзапертом состоянии. А время не ждет, музыка играет непрерывно, как некоторые выражаются, время начинает врать.

Рассчитаем номинал катодного резистора, на нем токи анода и экранной сетки суммируются:

$$R_k = \frac{2,0}{0,0116 + 0,0028} = 139 \text{ Ом}$$

На нем рассеивается ничтожная мощность, ставим на 0,125 Вт и более. Перед началом настройки его номиналом выставите ток покоя, выставлять надо именно ток покоя, а не напряжение смещения, из-за разброса характеристик ламп, такой настройки не избежать, поэтому обычно вначале ставят потенциометр, а после настройки заменяют на постоянный резистор.

Шунтирующий его конденсатор рассчитаем с помощью постоянной времени, это современная методика, в старину его расчет производили на нижнюю частоту 40 Гц, был даже ГОСТ, и под него писали учебники и учили студентов, будущих инженеров, которые на производстве внедряли полученные знания в жизнь.

Жизнь постепенно налаживалась, жить стали побогаче, аппаратура улучшалась и совершенствовалась, ГОСТ переписывали в сторону расширения АЧХ (см. ГОСТ 24388-88), и в расчетах от нижней частоты перешли ко времени полного заряда конденсатора, пока он полностью не зарядится, напряжение смещения не восстановится до расчетного уровня, и лампа отыграет недостоверно, инструмент будет лишь обозначен, и не более того. Я считаю такой подход наиболее верным.

Конденсатор полностью заряжается за время  $5\tau$  (см. рис.3).

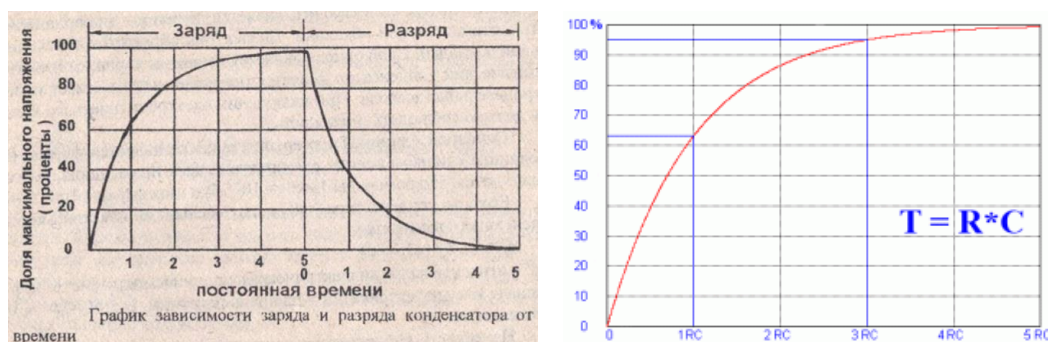


рис.3 График времени полного заряда конденсатора.

$$C_k = \frac{5T}{R_k}$$

В качестве  $\tau$  ( $T_{au}$ ), берут самый длинно звучащий инструмент (см. Кузнецов Л.А. Акустика музыкальных инструментов), для имеющейся АС по силам барабан бочка, время звучания которого 0,3 сек. (частота 41,2 Гц), пятикратный запас 1,5 сек, в этом случае потребуется конденсатор емкостью:

$$C_k = \frac{5\tau}{R_k} = \frac{1,5}{139,0} = 0,01079 \text{ Ф}$$

Ближайший номинал 10000,0х6,3 В. Этот конденсатор компенсирует ООС в катодной цепи, с ним громкость будет больше, раза в полтора-два, и НЧ поглубже, но из-за того, что он подкрашивает звук, не всем это нравится, и они говорят, пусть потише, но достовернее. На ваше усмотрение, но место на шасси предусмотрите, а вдруг понравится?

Для выравнивая тонального баланса его шунтируют конденсаторами небольшой емкости, но с хорошим диэлектриком, подбирая их на слух, приборы в этом случае не помощники. Работа эта длительная и нудная, наберитесь терпения, как профессор консерватории ставит голос любимому ученику, и усилитель отблагодарит вас отличным звуком на долгие годы.

Переходим ко входной цепи.

$$C_{\text{дин.}} = C_{\text{вх.}} + C_{\text{прох.}} (1 + K_{\text{ус.}}) = 7,5 + 0,012 (1 + 12) = 7,65 \text{ пФ}$$

Добавим 5~7 пФ емкости монтажа, и 120 пФ емкости межблочного кабеля (померьте у своего по старому ГОСТ на частоте 100 Гц), итого получается около 133 пФ, которые предстоит прокачать ЦАПу.

Рассчитаем скоростные характеристики драйвера, скорость нарастания (S.R.), и приведенную к 1 В амплитуды напряжения скорость нарастания (ПСН), в этих расчетах амплитуду напряжения и тока берут на положительной полуволне сигнала, это 26,04 В и 4,24 мА.

Скорость нарастания равна амплитуде тока, поделенной на заряжаемую емкость, драйвер прокачивает 23 пФ входной динамической емкости выходной лампы, тогда скорость нарастания получается:

$$S.R. = \frac{I_m}{C_{дин.} * 10^{-12}} = \frac{0,00424}{0,000000000023} = 184,347826 \text{ В/мксек}$$

$$ПСН = \frac{S.R.}{U_m} = \frac{184,347826}{26,04} = 7,07941 \text{ 1/мксек}$$

Это в 64 раза быстрее 0,11 1/мксек ПСН клавишина, самого быстрого из всех натуральных музыкальных инструментов, т.е. завала крутых фронтов сигнала не будет, все они будут воспроизведены узнаваемо, без искажений.

Не обращайтесь внимания на большое количество цифр после запятой, это особенность расчета по скорости нарастания, полученные результаты закладываются в последующие расчеты, и если их округлять, то будет ошибка.

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

$$F_v = \frac{ПСН * 10^6}{-0,17 \text{ дБ}} = \frac{7079410,0}{6,28} = 1127295 \text{ Гц}$$

А по -3 дБ, необходимо умножить еще на 4,92, итого получается более 5,5 МГц, т.е. это уже радиочастоты, со своими требованиями к короткому и жесткому монтажу, грамотно выбранной точкой заземления и быстрым блоком питания. Это потенциал драйвера.

Драйвер получается очень мощный, быстрый, с низкими искажениями, редко у кого такой встретишь. Основная проблема с которой можете столкнуться, это самовозбуждение (чувствуется ушами как излишняя резкость игры на гитаре), его обычно устраняют впаявая в цепь управляющей сетки резистора, номиналом до 1 кОм.

Следите чтобы не было земляных петель, и требуется очень быстрый блок питания, очевидно в помощь электролитам придется ставить полипропиленовые конденсаторы, они намного быстрее, полнее и энергичнее отдают свой заряд, это видно даже по мощности искры, которая у них мощнее.

От ЦАПа, с учетом получившейся ПСН, и двойным запасом (по Вальтеру Юнгу пятикратным), для прокачки неучтенных паразитных емкостей, потребуется амплитуда тока:

$$I_m = U_{вх.} * C_{дин.} * 10^{-12} * ПСН * 10^6 * 2 = 1,0 * 0,000000000133 * 7079410 * 2 = 0,0019 \text{ А}$$

Это приличная величина, и не каждый ЦАП с ней справится, если только без запаса, либо умоощняйте имеющийся.

И номинал регулятора громкости, тоже с двойным запасом:

$$R_{гр.} = \frac{U_{вх.}}{I_m} = \frac{1,0}{0,0019} = 526 \text{ Ом}$$

Сигнал безнадежно начинает портиться на сопротивлении более 600 Ом, поэтому его и взяли за основу студии звукозаписи и звукорежиссеры, это безусловно неподъемная величина, если вы чувствуете что ваш ЦАП ее не осилит, играет вяло, то увеличьте номинал регулятора громкости по закону Фехнера в два раза.

Я напоминаю о том, что это именно регулятор громкости, стоящий на входе усилителя, а не нагрузочное сопротивление внутри ЦАПа. Поэтому вскройте его, и убедитесь в том, что его там нет, если стоит, то его надо отключить, иначе на нем часть тока уйдет в землю еще внутри ЦАПа, и на вход усилителя придет меньше расчетного 1 В, мы же вели расчет на его получение уже с учетом потерь на всех паразитных емкостях в кабеле и лампе.

Если точно знаете сколько выдает ваш ЦАП, то расчет номинала регулятора громкости будет выглядеть так, например, мой выдает 1 В и 0,8 мА амплитуды тока, в этом случае расчет будет выглядеть так:

$$S.R. = \frac{I_m}{C_{дин.} * 10^{-12}} * 10^{-6} = \frac{0,0008}{0,000000000133} * 10^{-6} = 6,015037 \text{ В\мксек}$$

$$ПСН = \frac{S.R.}{U_m} = \frac{6,015037}{1,0} = 6,015037 \text{ 1/мксек}$$

$$R_{гр.} = \frac{U_{вх.}}{I_m} = \frac{1,0}{0,0008} = 1250 \text{ Ом}$$

Это уже по силам большинству источников.

### Справочные материалы



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР

## УСИЛИТЕЛИ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ БЫТОВЫЕ

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

ГОСТ 24388—88  
(СТ СЭВ 1079—78)

Издание официальное

С. 2 ГОСТ 24388—88

Таблица 1

Наименование параметра	Норма по группам сложности		
	0	1	2
Эффективный диапазон частот, ограниченный усилением, Гц, не менее	От 10 до 40000	От 20 до 25000	От 40 до 16000

рис.4 ГОСТ о полосе пропускания аппаратуры для звуковоспроизведения.



**Аппаратура радиоэлектронная бытовая**  
**ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ**  
**И ТИПЫ СОЕДИНИТЕЛЕЙ**

**Технические требования**

**4.6 Согласование предварительного усилителя с усилителем мощности**

Параметры предварительного усилителя и усилителя мощности должны соответствовать указанным в таблице 6.

Т а б л и ц а 6 — Параметры согласования предварительного усилителя с усилителем мощности

Параметр согласования			
выходной предварительного усилителя		входной усилителя мощности <sup>1)</sup>	
Наименование	Значение	Наименование	Значение
Выходное сопротивление источника, кОм, не более	1	Номинальное сопротивление источника, кОм	1
Номинальное сопротивление нагрузки <sup>2)</sup> , кОм	10	Входное сопротивление, кОм, не менее	10
Номинальное выходное напряжение <sup>3)</sup> , В	1	—	—
—	—	Минимальная ЭДС источника, В	1
—	—	ЭДС источника при перегрузке, В, не менее	8
Выходное напряжение, ограниченное искажениями, В, не менее	3	—	—

<sup>1)</sup> Для усилителей мощности, не имеющих регуляторов громкости, номинальная ЭДС источника соответствует минимальному значению при номинальном значении выходного напряжения.  
Если усилитель мощности имеет регулятор громкости, ЭДС источника при перегрузке должна быть более или равна 8 В.  
<sup>2)</sup> Значение сопротивления для предварительных усилителей, которые могут быть применены в системах звукоусиления, должно быть 1 кОм.  
<sup>3)</sup> Напряжение соответствует указанному при подаче на вход предварительного усилителя минимальной ЭДС источника, значение которой указано в ТУ на предварительный усилитель, и установке регулятора усиления в максимальное положение.

рис.5 ГОСТ, к руководству, нагрузка источника должна быть раз в 10 больше его выходного сопротивления. Это касается и ЦАП и драйвера.

**Т а б л и ц а 2.7. Приблизительное время протекания различных стадий переходных процессов**

Инструменты	Атака, мс	Средняя постоянная времени затухания, с	Глушение, с
Фортепиано	0,5...3	0,05...2	0,2...1
Щипковые	1...5	0,02...1	0,2...1
Смычковые	30...120	—	0,15...0,5
Язычковые	10...200	—	0,1...0,5
Духовые медные	20...100	—	0,05...0,5
Орган	50...1000	—	0,2...2
Ударные			
барабан	0,4...15	0,03...0,3	—
ксилофон	0,4...4	0,03...0,25	—

Кузнецов Л. А.

К89 Акустика музыкальных инструментов: Справ.—  
М.: Легпромбытиздат, 1989.— 368 с.: ил.—  
ISBN 5—7088—0166—2.

Рассмотрены основные акустические качества музыкальных инструментов, приведены их количественные и качественные характеристики.

Для инженеров-исследователей, разработчиков и инженерно-технических работников, занятых в сфере производства и ремонта музыкальных инструментов.

рис.6 Время звучания (не частота), музыкальных инструментов.

Выбор величины емкости переходного конденсатора. Чем больше емкость  $C_g$ , тем меньше искажения на низких частотах. С этой точки зрения желательно было бы применять большие переходные емкости. Однако увеличение этой емкости связано со следующими нежелательными явлениями:

а) чем больше емкость  $C_g$ , тем больше постоянная времени:

$$\tau_n = C_g \cdot \left( R_g + \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} \right).$$

В случае триода второе слагаемое обычно много меньше первого, и с достаточной степенью точности можно считать  $\tau_n \simeq C_g R_g$ . В случае пентода  $R_a \ll R_i$  и  $\tau_n \cong C_g (R_g + R_a)$ .

Как показал опыт, для того чтобы искажения по этой причине не повлияли заметно на качество звука, необходимо, чтобы  $\tau_n \leq 0,01 \div 0,02$  сек.

114

рис.7 Выбор емкости межкаскадного конденсатора.

Из учебника Хвиливицкого и Медяковой Расчет и проектирование усилителей низкой частоты, стр. 114.

„1" февраля 2025г.

Владимир Большаков