

Применение корректора Линквица (Linkwitz transformator) для усиления басов

Корректор Линквица для сабвуфера

Желание получить мощный и глубокий бас при просмотре фильмов и прослушивании музыки свойственно многим из нас, оно вполне понятно и естественно. Однако получить такой звук не всегда удается — дорогие и весьма громоздкие сабвуферы пока что не часто украшают интерьер наших квартир (ведь размером они почти с квартиру!). Получить же глубокий бас, с нижней граничной частотой от 15-20 Гц в маленьком объеме довольно проблематично. Вот, например, АЧХ сабвуфера, выполненного в акустическом оформлении типа «закрытый ящик» объемом 40 литров с отличной сабвуферной головкой Peerless 830842. Хорошо видно, что нижняя частота равна 60 Гц (то есть и не саб это вовсе!):

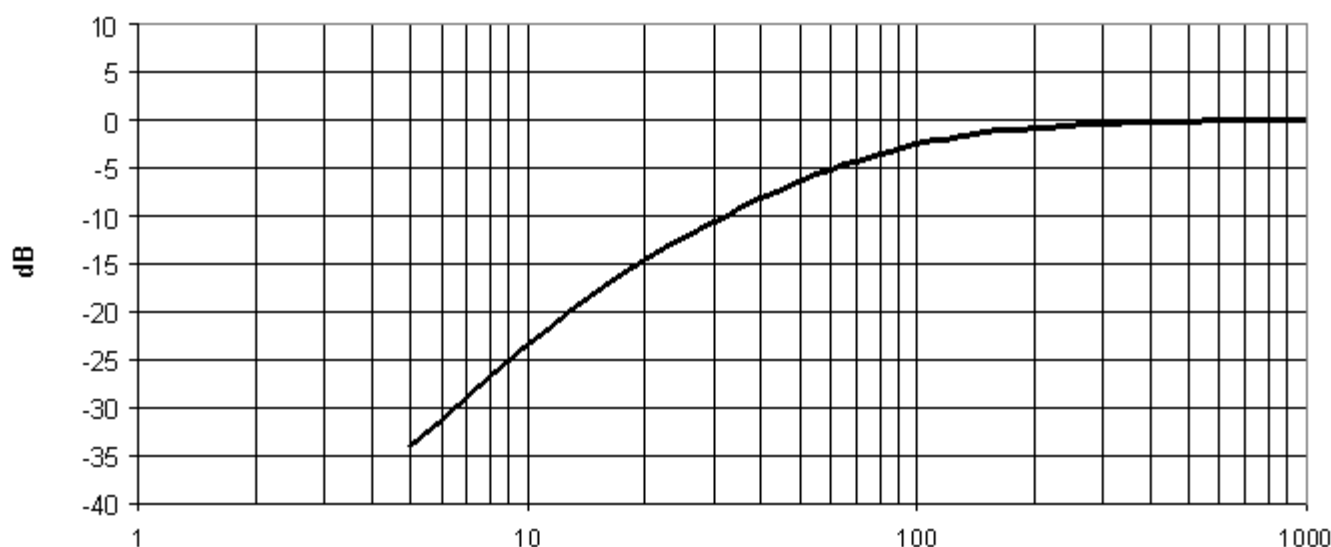


Рис.1. АЧХ сабвуфера в корпусе типа закрытый ящик (ЗЯ).

Ситуацию можно улучшить следующим образом — ввести некую эквализацию в исходный сигнал, грубо говоря, поднять тембр низких частот в усилителе сабвуфера таким образом, чтобы компенсировать это самое снижение громкости. При правильной настройке

корректирующей цепи, спад на низких частотах динамика полностью компенсируется и результирующая АЧХ получается линейной аж от 13 Гц! Главное здесь правильно подобрать корректирующую АЧХ:

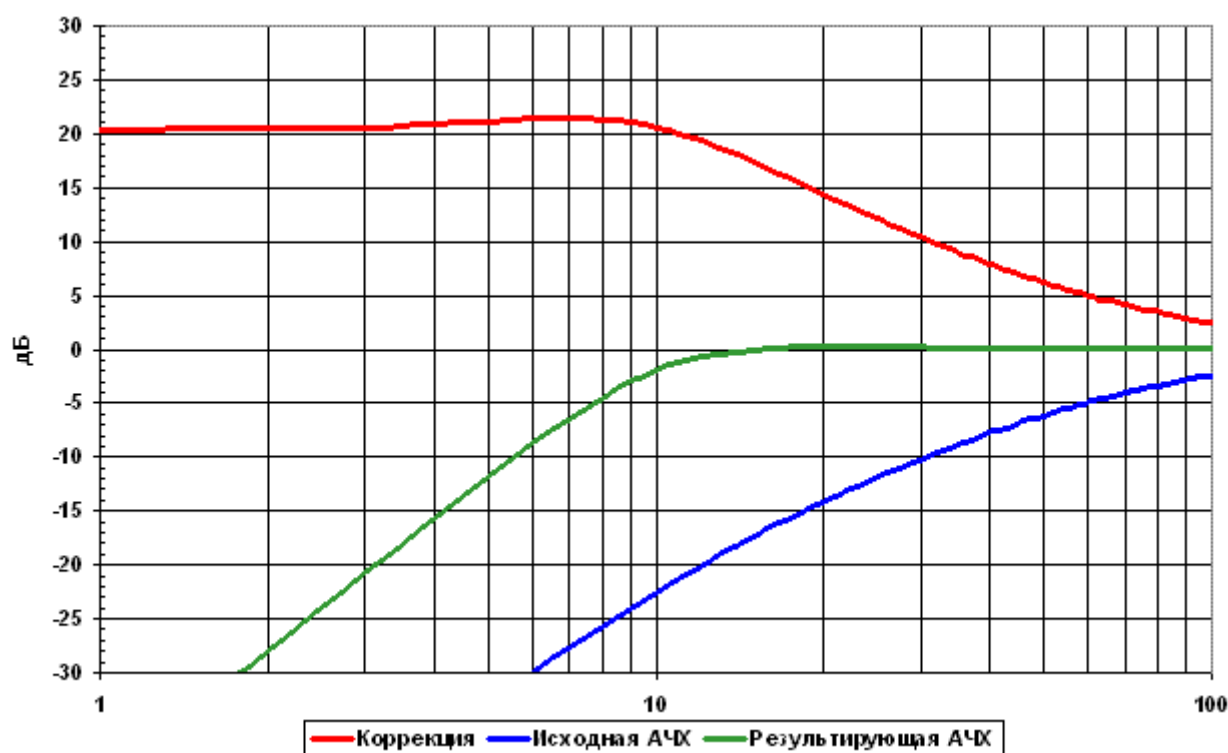


Рис. 2. Частотные характеристики сабвуфера, корректора и получившаяся результирующая.

Эту корректирующую АЧХ можно получить с помощью простой и остроумной схемы, известной как корректор (иногда его называют трансформатор, что не совсем правильно) Линквица (Linkwitz transform), предложенный инженером Зигфридом Линквицем (Siegfried Linkwitz). Схема не только корректирует нужным образом АЧХ, но еще и имеет специализированную ФЧХ — так, чтобы «подкорректированная» колонка полностью соответствовала реальной, имеющей совсем другие (намного лучшие) свойства:

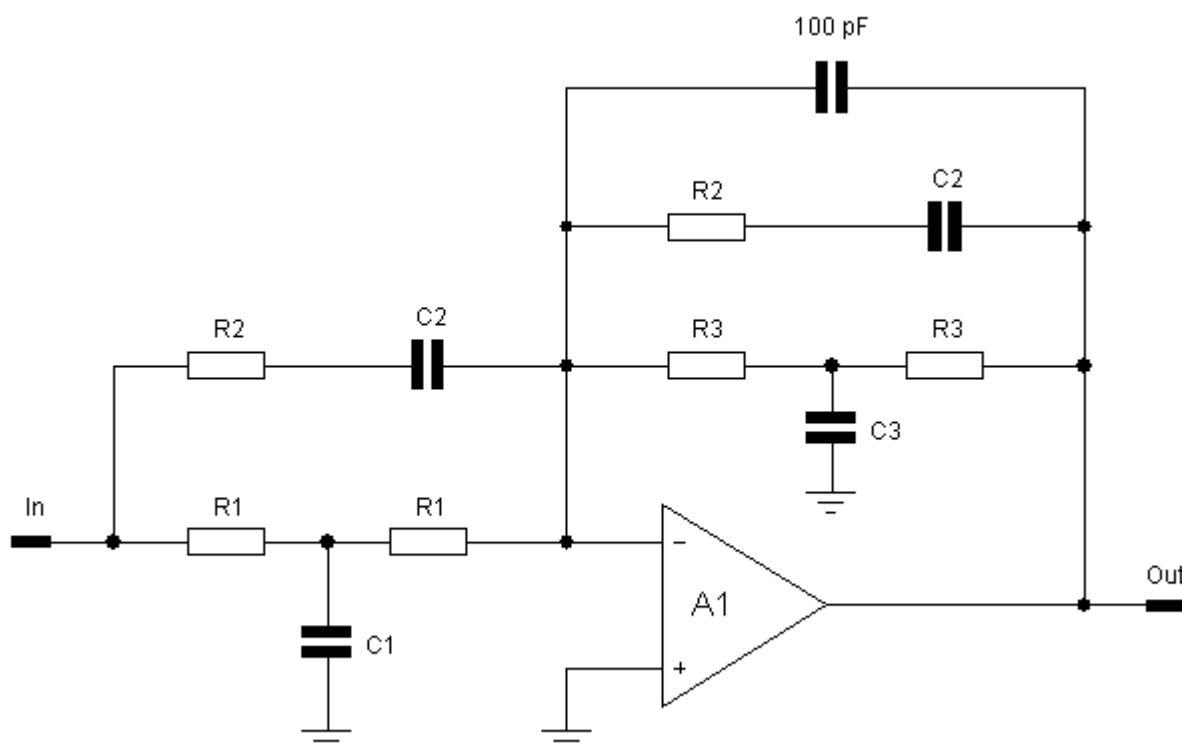


Рис. 3. Принципиальная схема корректора Линквица.

Внимание! Схема инвертирует фазу! В случае использования переключите переключатель фазы (или переверните динамики) в конструкции всей системы)!

ВНИМАНИЕ! ЭТА СХЕМА — ПРОСТО СПЕЦИАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМБРА И РАБОТАТЬ С НЕЙ ДИНАМИК ПОДКЛЮЧАТЬ НЕЛЬЗЯ — СГОРИТ! САМА СХЕМА ПОДКЛЮЧАЕТСЯ К ОТДЕЛЬНЫЙ БЛОК, ИЛИ ВСТРАИВАЕТСЯ В

Вот ссылка:

[Корректор, на сайте самого Линквица](#)

Естественно, такие великолепные характеристики, как и все на свете, даются не бесплатно. Цена расширения частотного диапазона вниз на 2-3 октавы — либо заметное снижение громкости при той же мощности усилителя, либо рост подводимой электрической мощности к динамику при той же его общей громкости. Посмотрим на красную линию на рисунке 2: на частоте 30 Гц подъем АЧХ составляет 10 дБ, значит мощность повышается в 10 раз. На частоте 20 Гц: 15 дБ = 32 раза, на частоте 10 Гц: 20 дБ = 100 раз соответственно!

Это что, значит 300 ваттный сабвуфер будет звучать как 10-ти ваттный, или даже 3-х ваттный?

Ну не совсем все так плохо. Ведь на частоте 30 Гц уровень сигнала меньше, чем на более высоких частотах, значит и перегрузка будет «не очень». На частоте 20 Гц сигнал еще меньше, а на 10 Гц так практически ничего и нет! На более высоких частотах где уровень сигнала больше — подъем АЧХ меньше, что дает не такую уж сильную перегрузку, как кажется на первый взгляд.

Я попытался оценить, насколько же реально возрастет общая подводимая мощность при использовании корректора Линквитца. Для этого нужно знать распределение спектра, а это штука довольно неопределенная. Для упрощения задачи, я разделил ее на две разные части: сабвуфер и «обычная» колонка. Разница между ними в том, что сабвуфер работает в узком диапазоне частот, причем весь этот диапазон попадает в область действия корректора и увеличение мощности для него будет более существенным, чем для широкополосной колонки, у которой значительная доля подводимой мощности приходится на диапазон выше 100 Гц, где корректор практически и не работает.

Итак сабвуфер.

Он используется и для музыки, и для кино, причем во втором случае он подключается к специальному низкочастотному каналу (LFE — канал низкочастотных эффектов), где уровень сигнала довольно высок. В музыке же содержание самых низких частот несколько меньше. Кривые плотности спектра, используемые в расчете, приведены на рис. 4 (распределение напряжения сигнала).

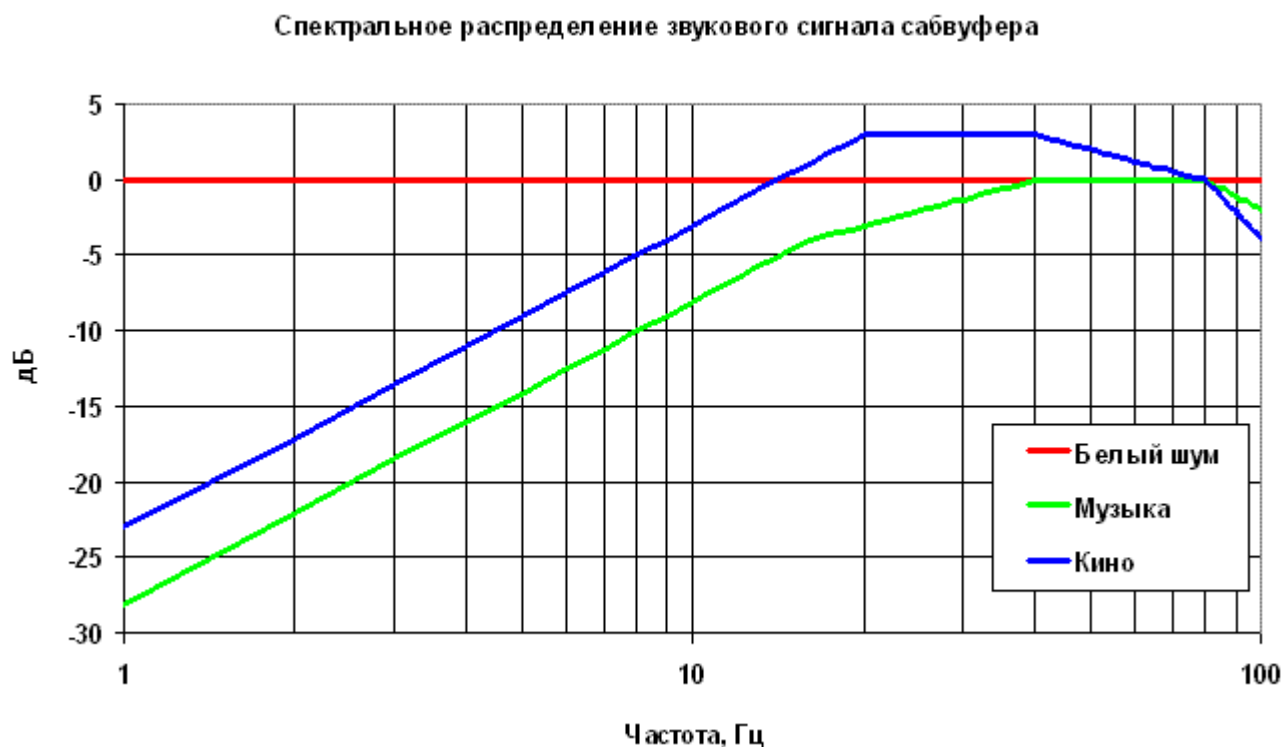


Рис. 4. Спектр, использованный для оценки перегрузки сабвуферов.

Третья кривая на графике — белый шум. Он включен в «состав команды» из следующих соображений. Спектр звукового сигнала во всем звуковом диапазоне частот распределен примерно по закону розового шума, у которого амплитуда падает пропорционально частоте. На низких частотах начинает проявляться обратная тенденция — амплитуда падает с понижением частоты. Если оба процесса компенсируют друг друга, то как раз и выходит такая ровненькая линия. Понятно, что эта зависимость оказывается «притянутой за уши», но с другой стороны, она удобна для оценки — реальная перегрузка с большой долей вероятности будет значительно меньше, чем для белого шума. Все эти кривые довольно условны, но более-менее, они отражают усредненные реальные зависимости.

Итак, что получается с учетом наших спектральных распределений?
Реальная перегрузка такова:

Перегрузка динамика сабвуфера, раз

Рабочий диапазон частот от:

Белый шум

Музыка

Кино

Здесь учтено два момента.

1. Сверху частотный диапазон ограничен значением 100 Гц. Выше сигнала нет вообще (для **нормальных** сабвуферов это довольно близко к реальности).
2. Снизу частотный диапазон ограничен частотами 5 и 15 Гц, ниже которых начинается спад амплитуды сигнала с наклоном 36 дБ/октава. Это также приводит модель в соответствие с жизнью. Какое значение использовать — выбирайте исходя из собственного уровня оптимизма.

Согласно моему взгляду на жизнь, перегрузка моделируемого мною сабвуфера составит 4-5 раз для музыки, и 10-11 раз в кино. Очень даже оптимистично звучит на фоне перегрузки в почти 105 раз, посчитанной «в лоб»! Причем даже в самом-пресамом худшем случае, перегрузка составит 15-20 раз — с этим уже можно жить!

Вывод: если я свой 60-ти ваттный сабвуфер заменю 300 ваттным, таким, как описан выше, я буду иметь при той же примерно громкости (и даже чуть выше за счет воспроизведения более низкочастотных составляющих) басы вплоть до 13 Гц. Ну-ка, догони!

Теперь рассмотрим коррекцию широкополосной колонки.

Тыловая колонка, описанная в статье **двухполосные колонки** ,
корректируется и подключается вот к **усилителю мощности на TDA7294** усилителю (с максимальной выходной мощностью на нагрузке 8 Ом порядка 25 Вт) через вот такой корректор:

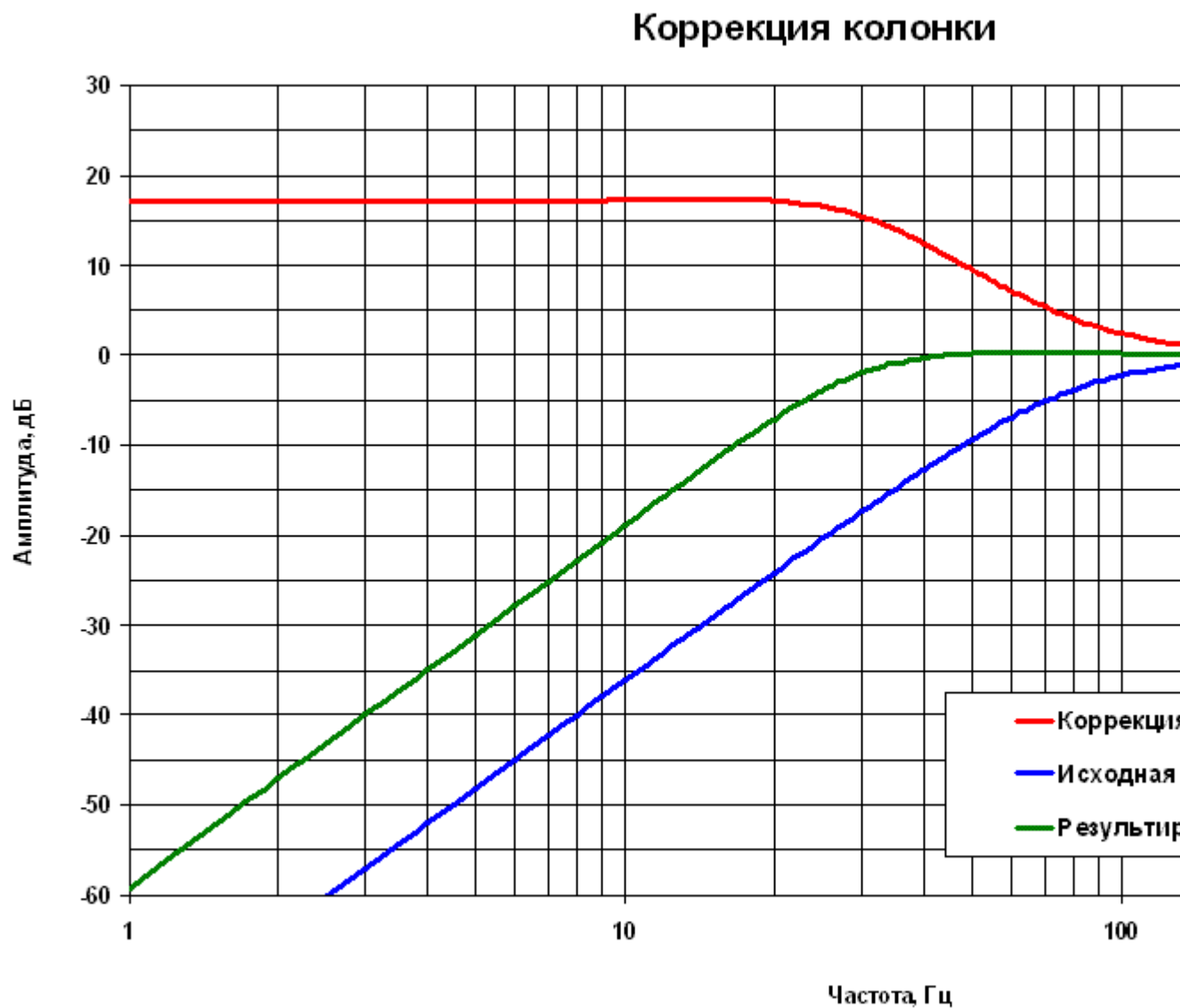


Рис. 5. Частотные характеристики исходной колонки, корректора и получившаяся результирующая.

Хорошо видно, что маленькая колонка должна играть нормально от 30 Гц, а с некоторым спадом громкости — так аж от 20!

Исходные данные я вводил такие:

Частота среза исходной колонки

Добротность исходной колонки

Результирующая частота среза

Результирующая добротность

И получил результаты расчета:

Элемент	Расчетное значение	
R1 =	8,73	kOhms
R2 =	76,73	kOhms
R3 =	62,11	kOhms
C1 =	1,572	μF
C2 =	0,033	μF
C3 =	0,2211	μF

Про точность соответствия номиналов деталей — смотрим еще ниже!

Я изготовил корректор и испытал его, но об этом ниже, а пока посмотрим на перегрузку. Здесь использовано другое распределение спектра сигнала, чем в сабвуфере:



Рис. 6. Спектр, использованный для оценки перегрузки широкополосных колонок.

В отличие от саба, здесь частотный диапазон равен 10 — 600 Гц. В этом диапазоне сосредоточено 70-80% звукового сигнала. Вид спектра несколько утрирован в сторону увеличения содержания низких частот, однако фонограммы с таким спектром наверняка существуют (я встречал). Это опять же устанавливает верхнюю планку, в реальности басов обычно меньше.

Что получается с перегрузкой? А вот что:

Перегрузка динамика колонки, раз

Синусоидальный сигнал при $f \rightarrow 0$

С учетом спектра сигнала

Опачки! Получили такую кучу басов практически бесплатно — 4 раза не перегруз! Проверяем все это на практике.

Первое, что хочется отметить — коррекция для слуха получилась не оптимальной, а несколько избыточной. А все из-за того, что я элементы

ставил не подбирая, а просто ближайшие по номиналу (а у конденсаторов на самом деле разброс о-го-го!). Да и не стоило задавать результирующую добротность, равную 0,8; а взять бы 0,7 или даже 0,65... После корректировки эквалайзером Винампа, стало хорошо. О том, насколько важны правильные номиналы — ниже!

А сколько стало баса!!!

Причем его не стало больше. Его стало глубже! Сохранилась упругость, сочность, мягкость, углубилась глубина (иначе не скажешь). Никакого бубнения, никакой нереальности. Просто словно колонку заменили заметно большей по объему... Басовые партии, где контрабас и бас-гитара играют от 40 Гц шли на ура. К сожалению, немного успел послушать.

Минусы? Минусы есть, как же без них. О главном минусе в конце. Некоторая зажатость как была, так никуда и не делась. Возможно это из-за объема всего лишь в 8 литров? Еще я не совсем понял как динамик работает ниже своей резонансной частоты (≈ 49 Гц). Появилось желание повысить выходное сопротивление усилителя на 2-3 Ома, чтобы сделать его «слегка источником тока». Мне кажется, что тогда на самых низких стало бы лучше. Хотя, возможно это особенность данного динамика. Тем более, что хорошенько послушать и погонять от генератора мне не удалось.

Теперь о главном. Да, уровень максимальной неискаженной громкости звучания снизился. Но не так, чтобы очень. Одна колонка с 13-ти сантиметровым динамиком и усилителем на 25 Вт играла довольно громко. Практически для дискотеки в комнате хватило бы.

Что интересно. На этих же фонограммах я тестировал свой сабвуфер Свен-620 после переделки. Так вот. Басы колонок с корректором Линквитца звучали в чем-то интереснее, чем на сабвуфере (хоть в сабе нет такой зажатости, но это его «ву-уф ву-уу-уф» не так хорошо, басы не такие четкие). Не скажу, что сабвуфер был очень хуже, но был более «размазанным» и «однообразным». Хотя «сотрясателем стен» в этой

парочке, все же является сабвуфер. Маленькая колонка его в этом плане не заменила.

Эксперимент N2. Я пересчитал и переделал корректор, задав нижнюю частоту 40 Гц и добротность, равную 0,65. Таким образом условия для колонки получились более «легкими». Кроме того, я довольно тщательно (но не супер) подобрал элементы схемы корректора. Что там с перегрузкой?

Перегрузка динамика колонки, раз

Синусоидальный сигнал при $f \rightarrow 0$

С учетом спектра сигнала

Еще я добавил фильтр инфранизких частот (сабсоник) 1-го порядка на частоту 30 Гц. Это еще более облегчило жизнь колонке. Вот тут я послушал основательно. Это получилось как раз то, что нужно — и басов не перебор, и они есть (расширение почти на октаву вниз), и перегрузка приемлимая. Но все же чего-то не хватало. И тут я взял резистор 2 Ом 5 Вт и подключил его последовательно с колонкой. После этого все встало на свои места (при этом низкие пришлось несколько опустить темброблоком, иначе выходил перебор, так как последовательный резистор увеличил добротность и количество низких). Правда на большой громкости все равно динамик пытается выйти из диапазона линейного хода, и на сильно басистых записях колонка лагает даже на не очень большой громкости.

Итак, выводы:

1. При использовании корректора Линквица реально снизить нижнюю рабочую частоту колонки на 1-2 октавы.
2. Наступает расплата за расширение частотного диапазона в виде увеличения мощности, требующейся для «раскачки» колонки.
3. Однако, эта перегрузка не такая уж и большая, как кажется на первый взгляд (но и не маленькая — иначе было бы все слишком просто).

4. При использовании корректора обязательно нужен фильтр инфранизких частот (сабсоник), причем хорошо бы 2-го порядка — убрать подъем от корректора и внести спад в сигнал ниже рабочей частоты. Это особенно актуально — ведь идет перегрузка, нужно экономить каждый ватт мощности и каждый миллиметр линейного хода диффузора динамика.
5. Даже если перегрузка динамика (и усилителя) по мощности не так уж и велика, нельзя забывать о величине линейного хода диффузора динамика. Линейный ход «сжирается» корректором со страшной силой. В моем эксперименте искажения начинались именно из-за того, что динамик «выскакивал» из диапазона линейного хода, так что экстрадлинноход — это то, что нужно для такого дела (или динамик с хорошим запасом линейного хода, например, намного большей мощности, чем нужно).
6. Если корректируется широкополосная колонка, то сильно «оттягивать» вниз ее АЧХ не стоит. Максимум октава. Особенно, если нижняя частота колонки выходит меньше, чем резонансная частота динамика.
7. Природу не обманешь. Лучше получить хорошие басы **акустически**, то есть **выбрав более подходящие динамики, корпус и акустическое оформление**.
8. Увеличение выходного сопротивления усилителя очень помогает динамику «в трудную минуту», когда ему приходится играть те басовые частоты, которые ему из-за всех сил мешает играть акустика корпуса колонки.
9. Опять же для колонки не нужно пытаться получить результирующую добротность большой. Значения 0,55-0,6 вполне достаточно, максимум 0,65, не больше. Увеличивая добротность мы улучшаем бас, но расплачиваемся красотой звука. Влияние результирующей добротности Q на АЧХ показано на рис. 7.
10. Если исходная добротность колонки невелика, то наилучший способ коррекции такой: сначала увеличивать выходное сопротивление усилителя до максимально возможного значения (исходя из пределов разумного), чтобы сделать АЧХ максимально ровной в области низких частот. А уж потом докорректировать АЧХ корректором Линквитца.