

# ПРОЕКТ ДИПОЛЬНОЙ АКУСТИКИ

Соколов А.Ю.  
3D Acoustic Research  
[www.3Dar.ru](http://www.3Dar.ru)

## 1. Введение

Возможно, данный проект не станет «последней» колонкой, и он больше представляет исследование, чем законченное изделие. Тем не менее, сам результат по комбинации НЧ и СЧ динамиков, и способ, с помощью которого можно «сделать бас» в щите достаточно малого размера – произвели на меня впечатление. Баса в действительности не так много, примерно от 90 Гц. С другой стороны, он достаточно пологий, 6дБ/окт. Но я думаю, нижняя граница в данном проекте определялась также и наличием заданных динамиков.

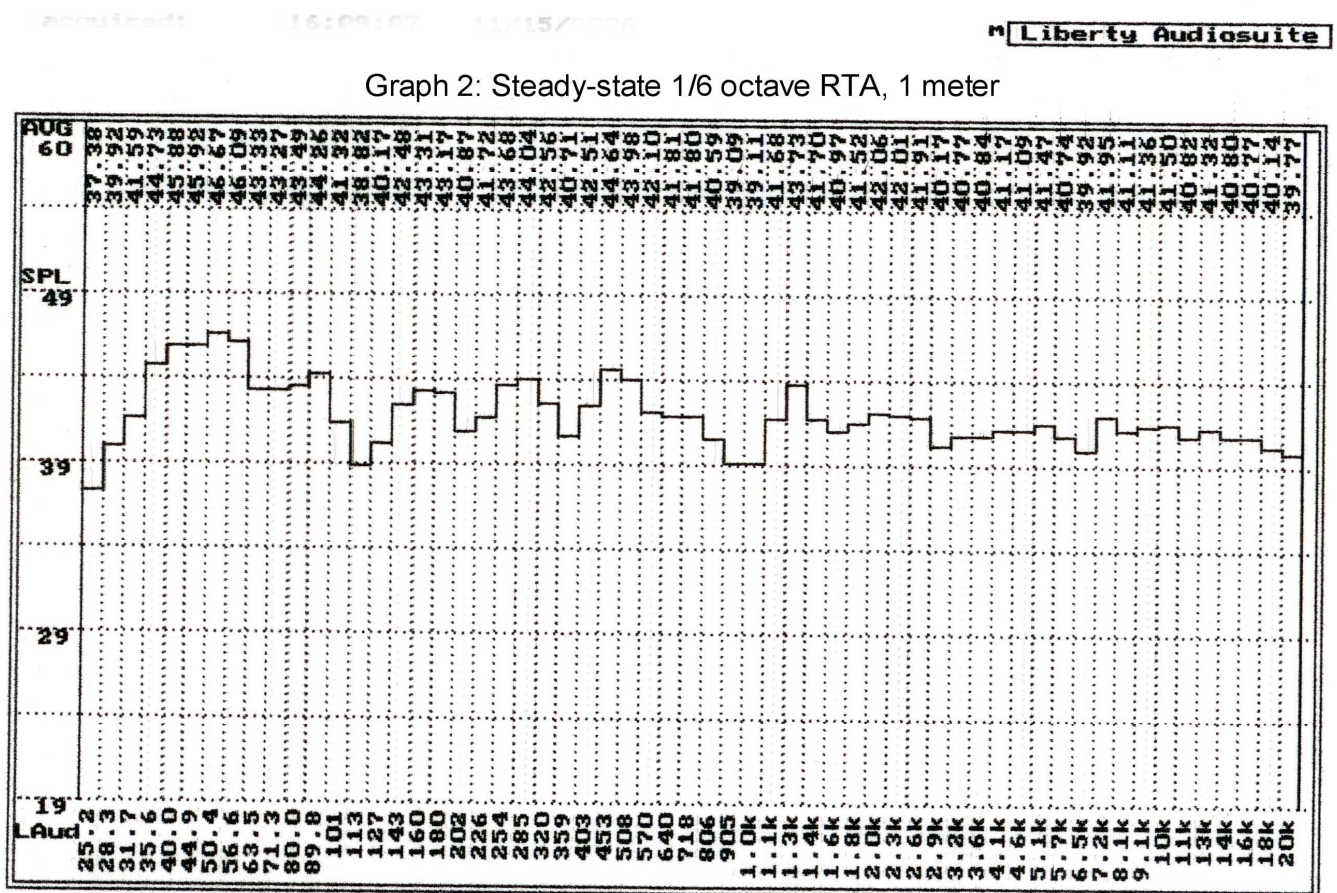


Идея проекта началась со знакомства с коммерческими колонками Jamo R909. Как такое может работать? В этих колонках используется пара 15 дюймовых драйверов с огромным запасом по ходу диффузора, и компенсация падения отдачи НЧ с помощью кроссовера.



Технической информации по Jamo 909 немного. Фирма рисует пояснительный график с умогательными наклонами характеристик, поясняющих, как 100 дб каждого 15 “ НЧ динамика в паре превращаются в полку примерно 88 дб, и стыкуется с небольшим СЧ динамиком на 250 Гц. В рекламном буклете также указывается, что используется фильтр второго порядка, хотя самой схемы кроссовера мне найти не удалось.

Существуют измерения АЧХ данных колонок (см. рис, с сайта <http://www.regonaudio.com/Jamo909Measurements.html>), согласно которым бас там «действительно есть».



АЧХ Jamo R909 (<http://www.regonaudio.com/Jamo909Measurements.html>)

Приступая к данному проекту, я планировал нечто похожее как у Jamo, с тем отличием, что динамики у меня были 12 дюймов вместо 15”, и причем в двух модификациях. Но об этом чуть

позже. Я также хотел испытать активный кроссовер. И рассчитывал на наш симулятор, который позволяет предсказать АЧХ без учетов влияния отражений комнаты.

Тем не менее, испытания внесли свои коррективы, выводы из которых можно сформулировать примерно так:

- требуется очень взвешенный выбор динамиков НЧ, а также нижнего предела по НЧ, так как динамики работают с достаточной перегрузкой из-за акустического короткого замыкания НЧ волн в диполе.

- активный усилитель баса – с одной стороны действительно позволял слышать бас с маленького экрана, однако звук при этом был мутным, видимо из-за перегрузки динамиков, а еще из-за значительного спектра гармоник транзисторного усилителя, проникающих в СЧ область. Это довольно непростая задача – сделать хороший усилитель, вкачивающий в НЧ 20 Вт электрической мощности, для обеспечения одного эквивалентного ватта в обычном оформлении.

- НЧ динамик желательно иметь примерно такой же «породы» как и СЧ динамик. Моя попытка состыковать одну НЧ двенашку с «немного другой по характеру», несмотря на то, что на АЧХ это выглядело неплохо, мне не очень понравилась. СЧ динамики 12” оказались более высокого класса.

В результате различных экспериментов было решено не гнаться за самым глубоким басом, и использовать два одинаковых лучших динамика 12 дюймов. В конце концов, в следующий раз можно сделать экран побольше. Прилепить сзади крылышки, или поставить на низ динамик большего калибра и более чувствительный. А в данном проекте получилось примерно так:

В экране 50 x 100 см бас начинает «пропадать» примерно ниже 180-200 Гц. Если подключить второй такой же динамик, который будет работать ниже этой частоты, то с учетом того, что в сумме два динамика дают +6 дБ отдачи, а в экране спад НЧ составляет 6 дБ на октаву, то можно рассчитывать на НЧ от 90-100 Гц. Собственно, так и получилось, как будет видно из дальнейшего.

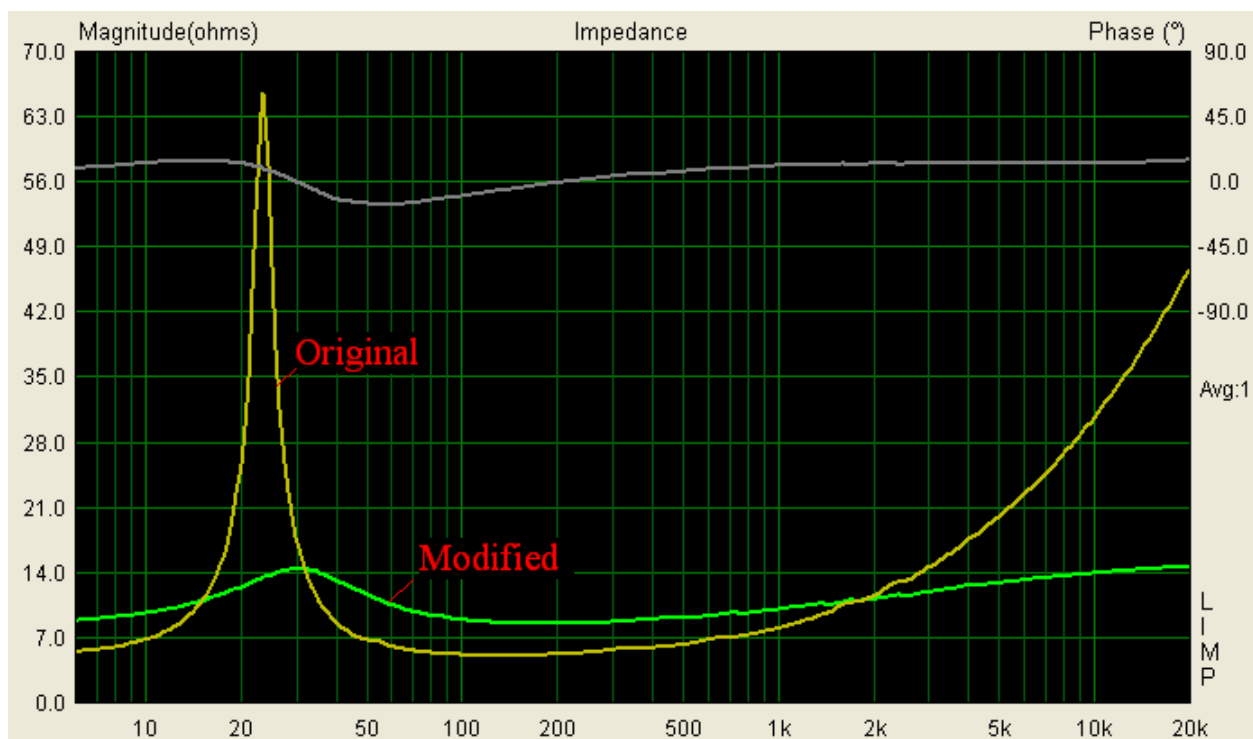
Хотелось бы также подчеркнуть еще одно отличие этого проекта от Jamo R909. Я использовал динамики с высокой добротностью и низкой частотой резонанса, поэтому весь спад на НЧ выше  $F_s$  у динамиков составляет действительно 6 дБ/октаву. Этот факт мы и будем использовать.

Наконец, хотелось бы в данной статье продемонстрировать, что использование 3D Response превращает разработку АС в увлекательное занятие с достаточно предсказуемым результатом. И что сами авторы программы активно ее используют в собственных целях.

## 2. Динамики Виктора Павлова

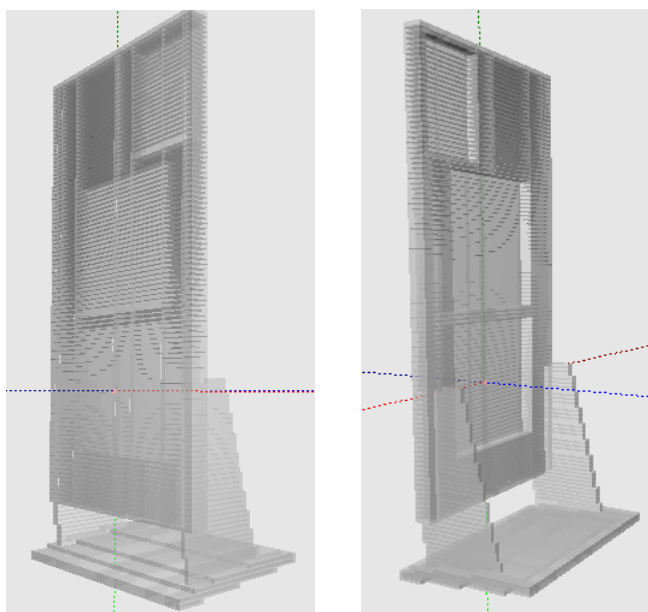
Волею судьбы мне достались уникальные динамики, изготовленные для меня Виктором Павловым. Случилось так, что у меня оказались 2 пары одинаковых динамиков - до доработки, и после. В качестве «донора» для доработки послужили JBL 123A1. Разница между ними существенная. Я никогда не рассматривал JBL 123A1 как широкополосный динамик (хотя в оригинальных мониторах L100 он звучал до 1500 Гц, правда было это в 70-80ые годы). Виктор превратил JBL 123A1 по звуку почти в широкополосник. Сравнивая оба, можно сказать, что оригинал играет кашу, а новый – дает лучшее разрешение и точность по времени. Это основная характеристика – правильный темп музыки и временная разборчивость. Как это делается, я комментировать не буду. С точки зрения формальных параметров можно обратить внимание на очень низкий по амплитуде резонанс и низкую индуктивность катушки, которая в оригинале составляла 0.7 мГн, а стала примерно 0.25 мГн. Это при том, что оригинал был 4.5 ома, а заказаны были ГГ на 8 ом. См. рис. Индуктивность

немного меняется в рабочем диапазоне, от 0.2 до 0.35 мГн, значение 0.25 получается при измерении прибором на 1 кГц. Это значение и использовалось в расчете.  
Электронный адрес В. Павлова: [g.udwin@ru.net](mailto:g.udwin@ru.net)



*Изменения параметров динамиков JBL 123A1 до и после доработки*

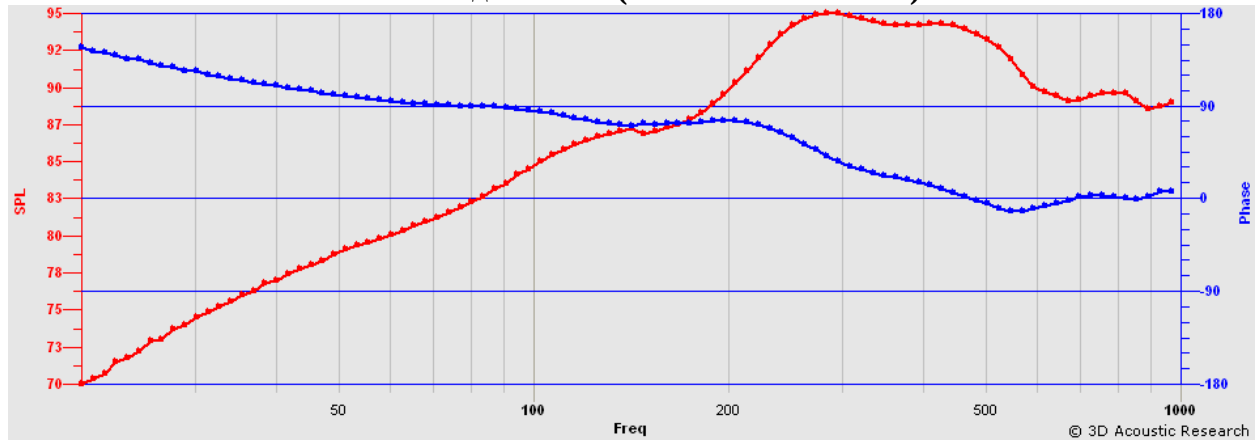
### 3. Расчет в 3D Response



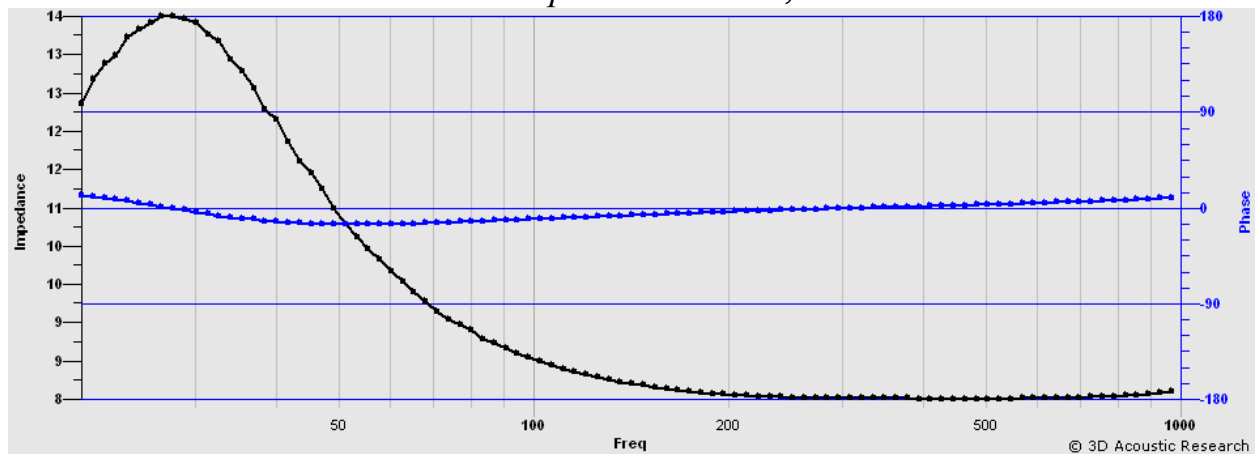
Размеры экрана были введены в симулятор (см. рис), динамики Виктора обмеряны, и был выполнен расчет отдельно для всех трех динамиков, т.е. самой нижней двенашки, двенашки посередине экрана, и би дьюмовой SB acoustics, установленной сверху и сбоку на съемной плате.

После расчета были сняты АЧХ и фаза излучения каждого ГГ в одной заданной точке, а именно на расстоянии 1 м перпендикулярно плоскости экрана напротив центрального ГГ. С учетом небольшого наклона экрана назад эта точка оказывается на высоте примерно 80 см от пола.

Нижний динамик (modified JBL 123A1)

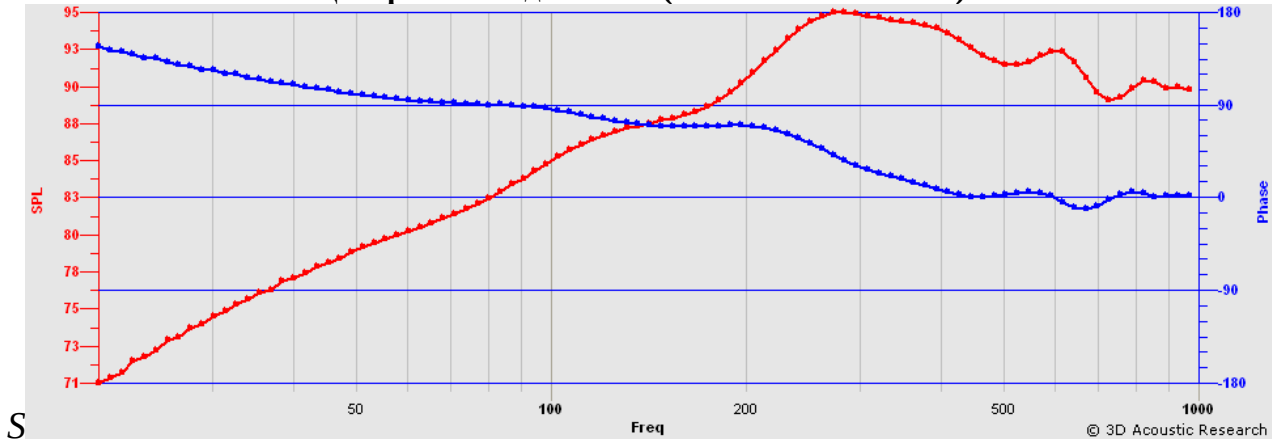


АЧХ в контрольной точке, 2.83 V

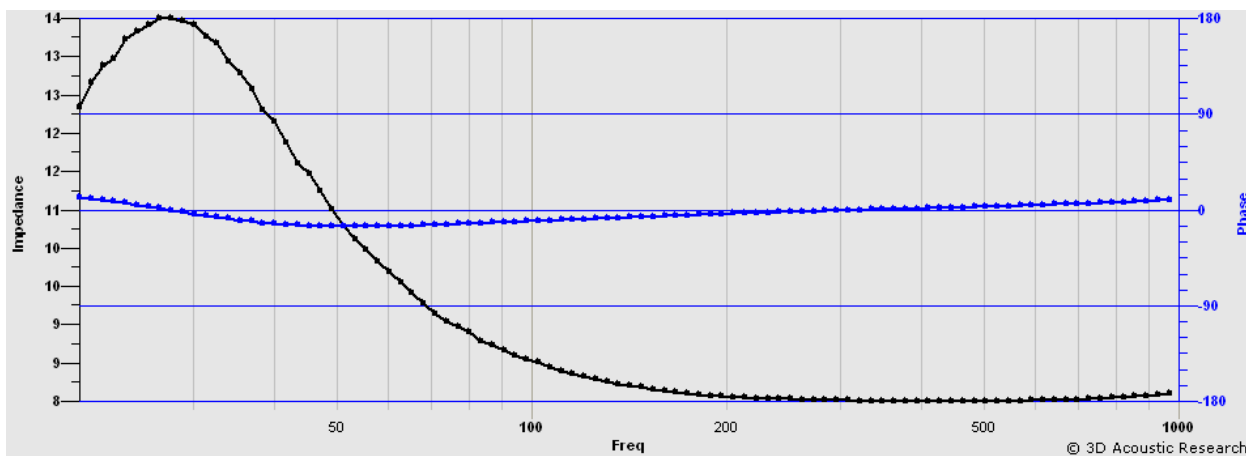


Импеданс динамика

Центральный динамик (modified JBL 123A1)

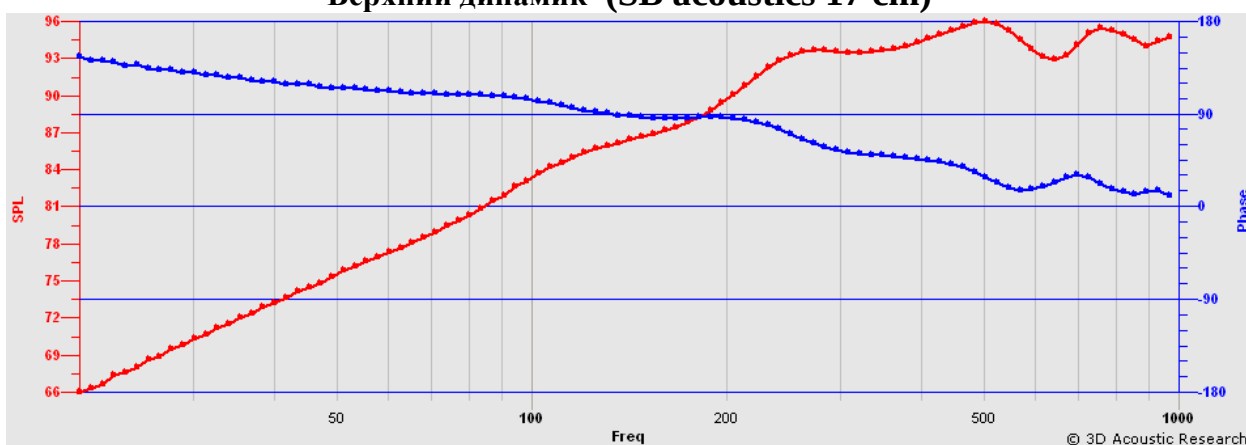


АЧХ в контрольной точке, 2.83 V

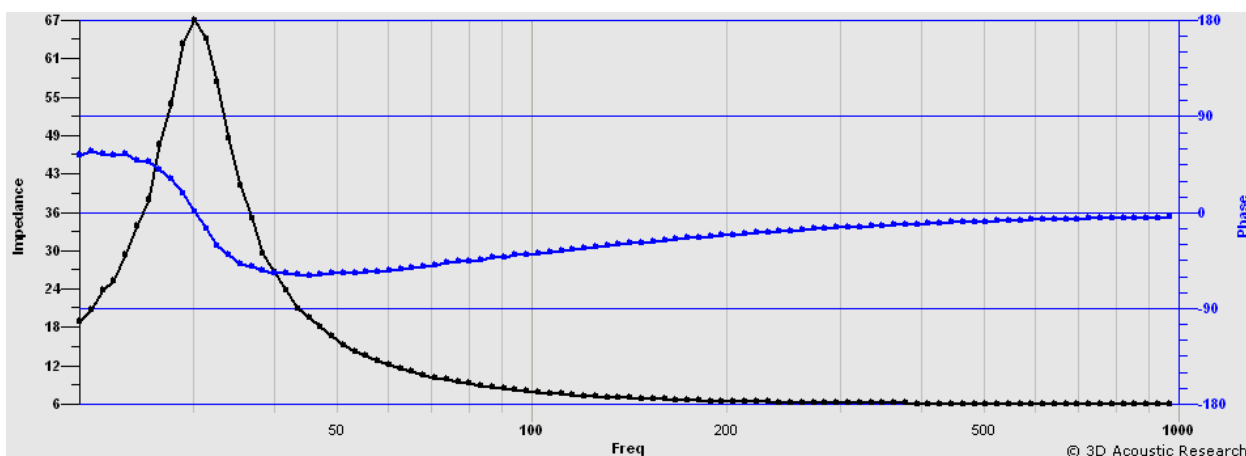


*Импеданс динамика*

### Верхний динамик (SB acoustics 17 cm)



*АЧХ в контрольной точке, 2.83 V*



*Импеданс динамика*

## 4. Кроссовер

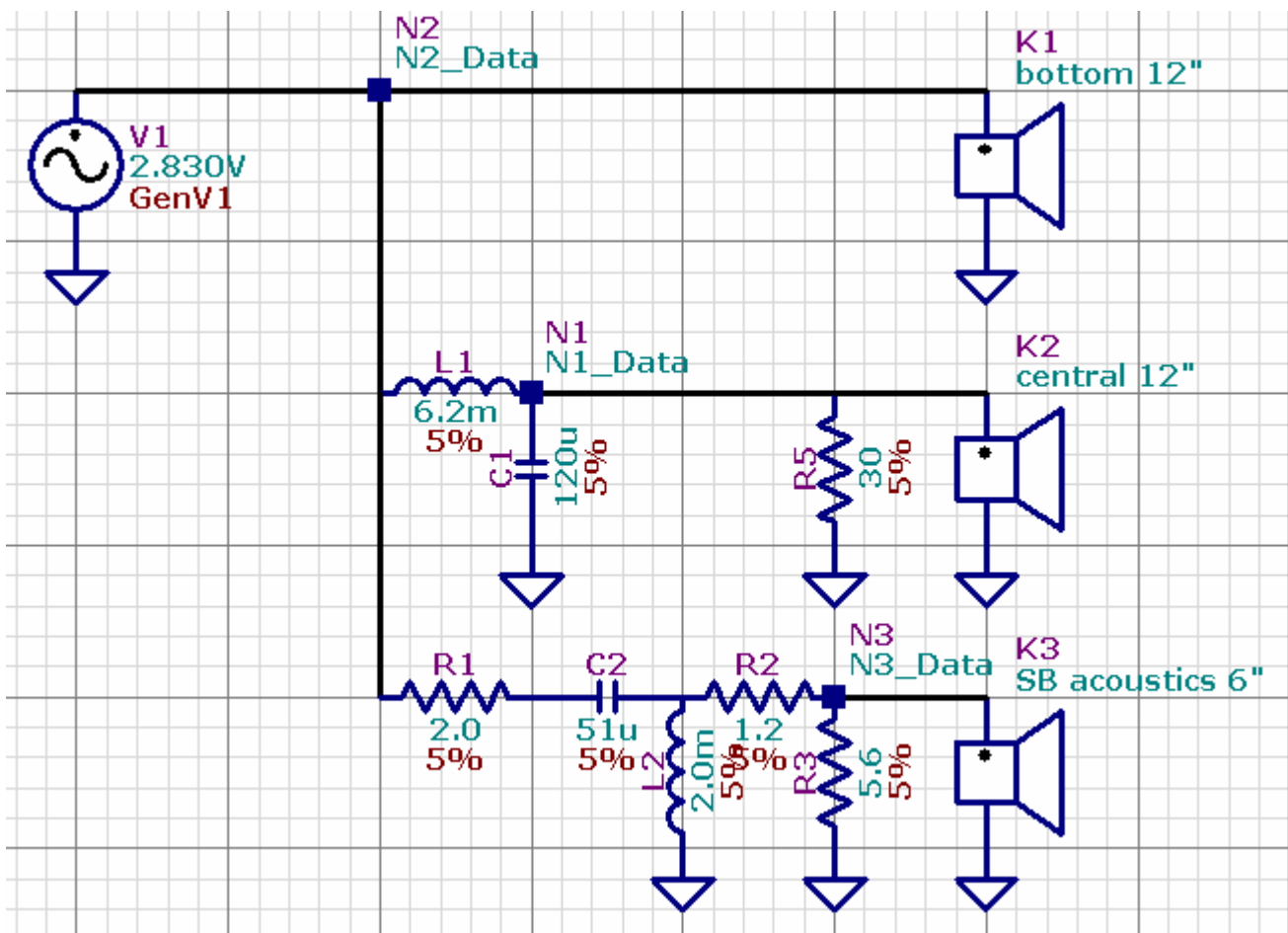
Рассчитанные кривые импортировались в Leap Crossover Shop.

Идея кроссовера достаточно проста:

1. Один 12" играет в полную полосу, второй ему «на подмогу» ниже частоты экрана.
2. Вопрос выбора порядка фильтра для второго динамика решается так: он должен вычитать первый большой горб первого динамика на АЧХ (который образуется за счет сложения в фазе переднего и заднего излучения). Такое удается сделать при четном порядке фильтра, и следовательно - с учетом максимальной простоты – это будет фильтр второго порядка.
3. Как оказывается, после оптимизации параметров фазовая характеристика является плавной и достаточно монотонной. И всего имеет наклон 45 градусов на октаву в области НЧ. Достаточно сложно получить такое от общепринятого фазоинвертора. Вот тут и пригодился наш симулятор – поскольку ровные неискаженные комнатными резонансами кривые нельзя снять с помощью микрофона (если конечно у Вас жилая комната, а не безэховая камера).

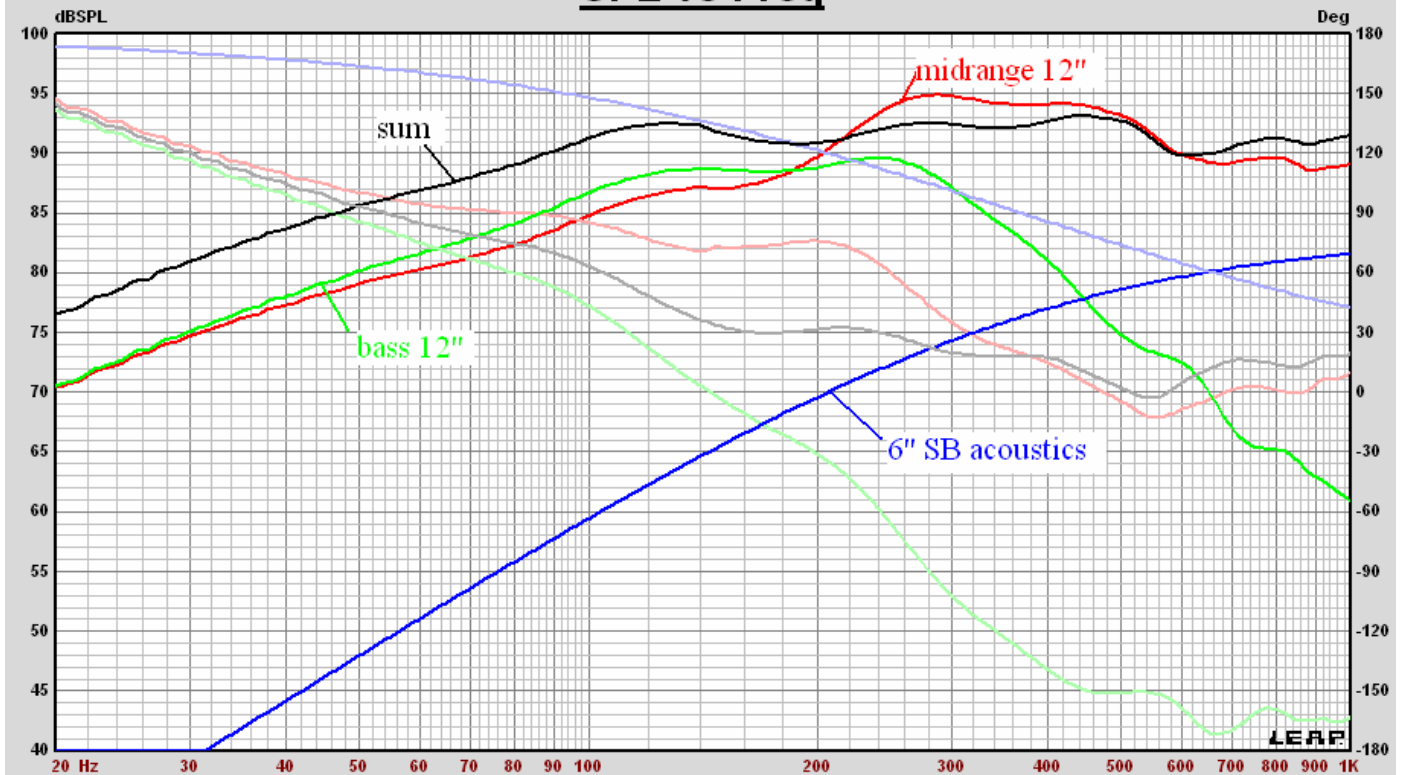
Мне захотелось испытать вариант Appolito, когда басовый динамик расположен по центру, а два других играют СЧ. Правда, в нашем случае один СЧ ГГ немного больше «по калибру» другого.

Резистор R5 дополнительно стабилизирует добротность L1-C1 фильтра, см. графики напряжения. Графики фазы показаны более тусклыми цветами.

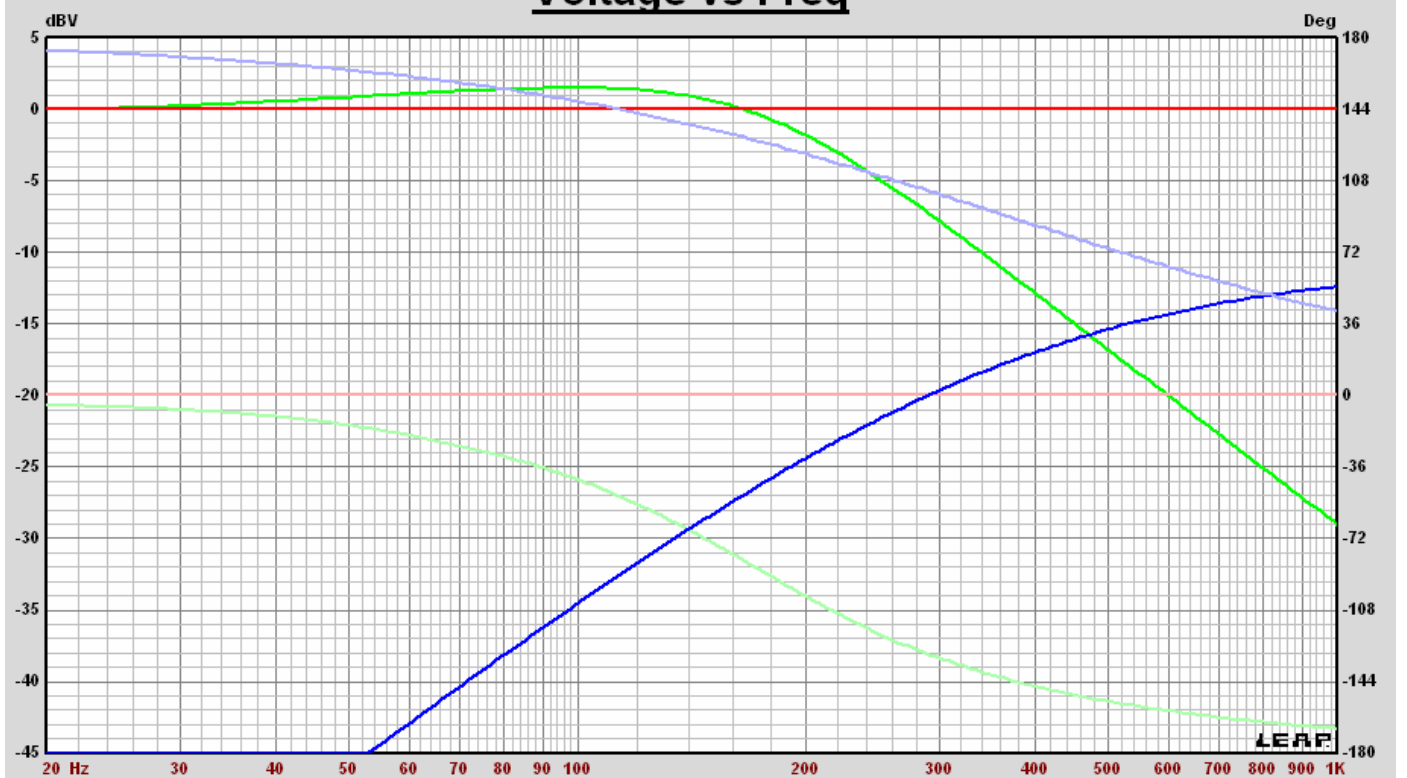




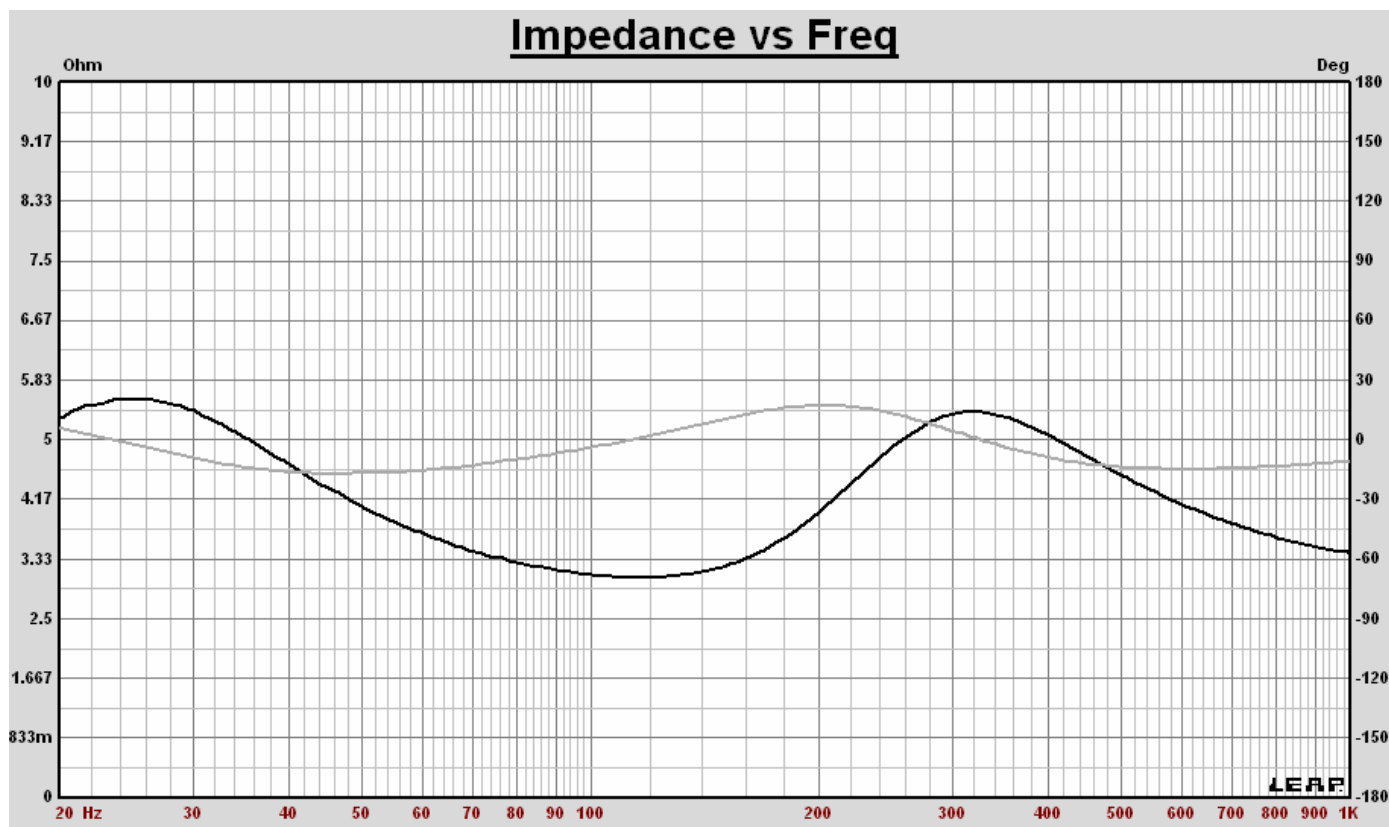
## SPL vs Freq



## Voltage vs Freq







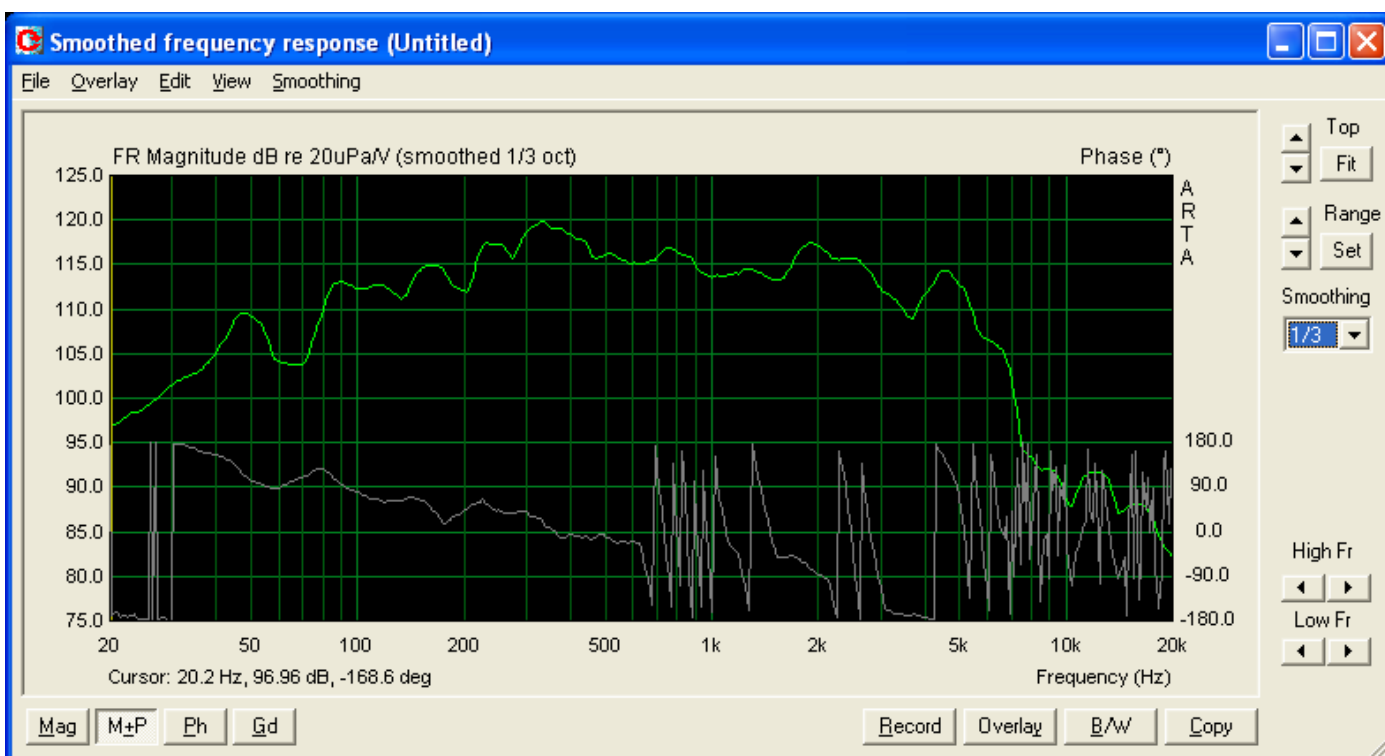
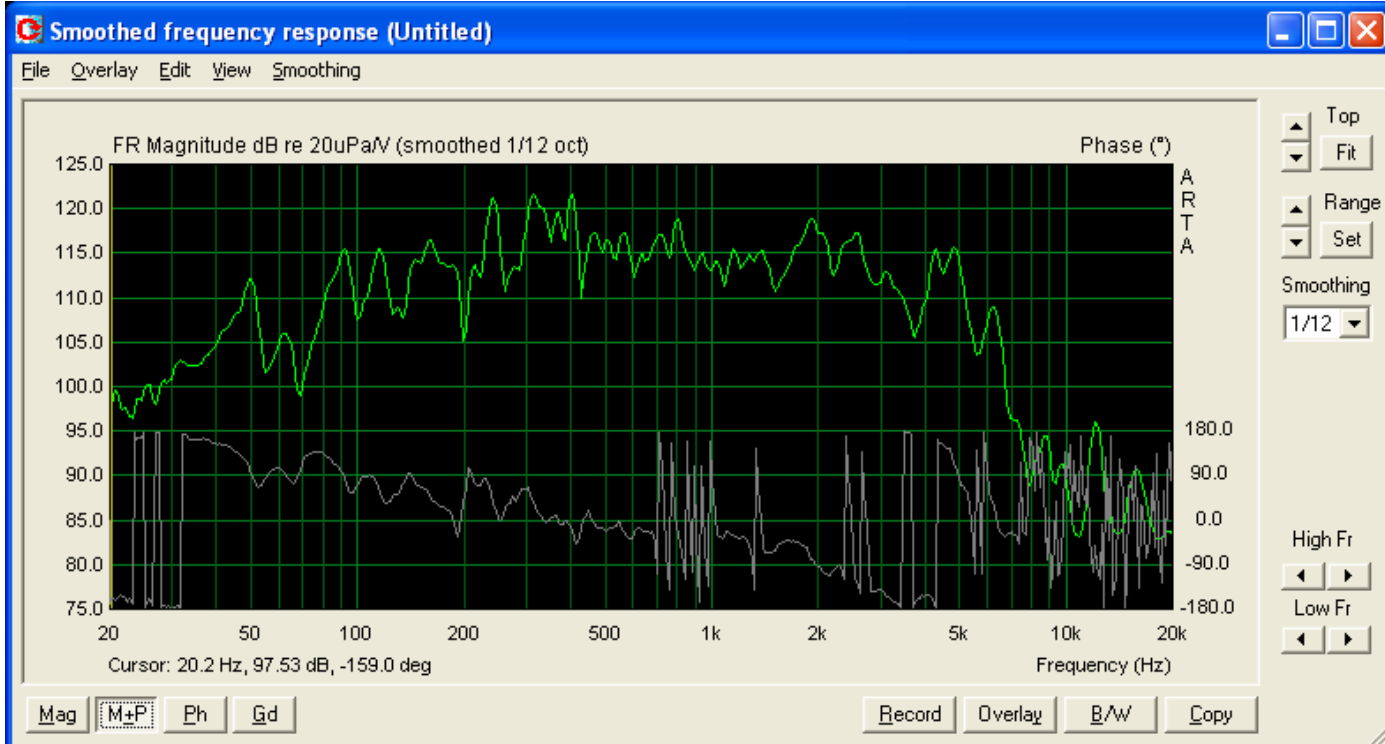
#### 4. Сравнение расчета с измерениями

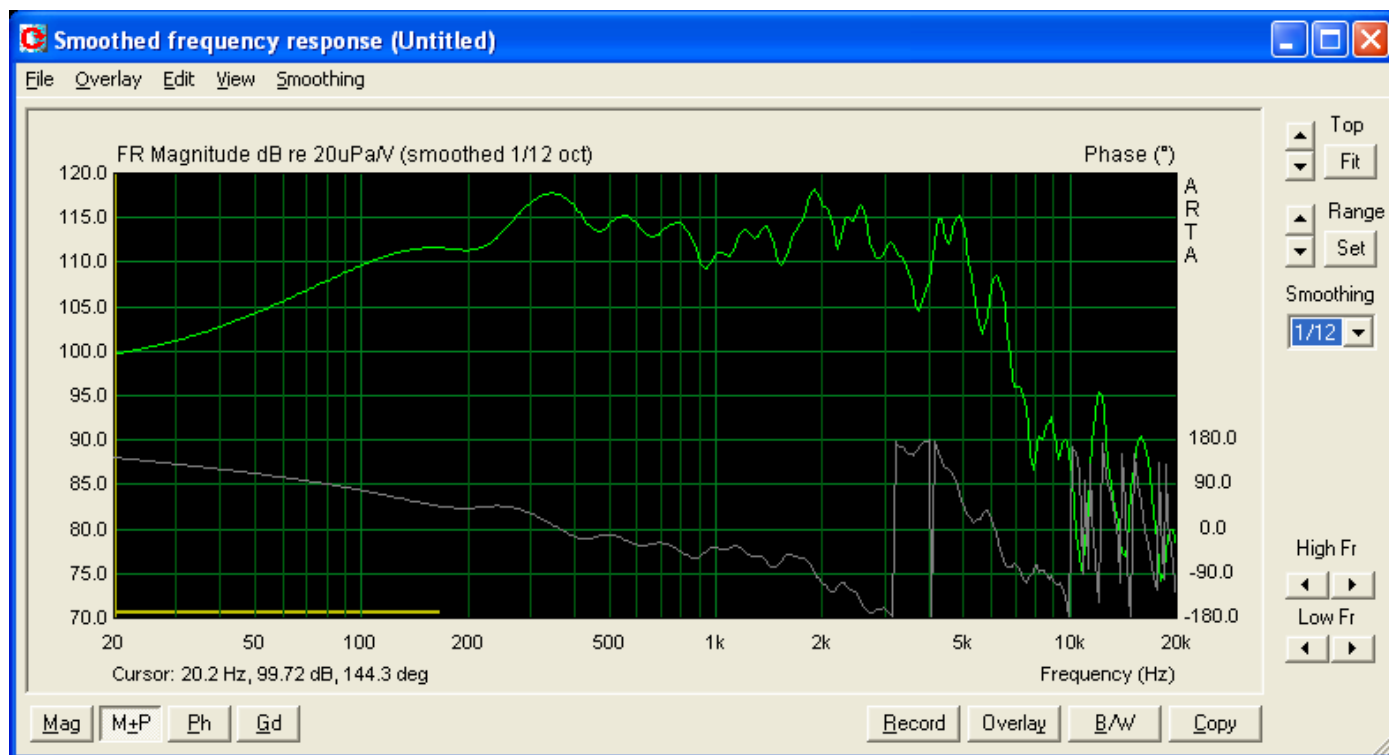
Рассчитанные кривые сравнивались с реальными измерениями с помощью программы ARTA. Колонка стояла на мягком ковре в жилой комнате, и дополнительно на пол перед микрофоном клалось мягкое одеяло, чтобы минимизировать отражения от пола.

Для каждого измерения приводится 3 графика – 1/12 октавы, сглаженный 1/3 октавы и в окне измерения 6 мс, т.е с отсечением переотражений комнаты. Последний график справедлив примерно выше частоты 200 Гц (см. желтую полосу внизу графиков в той области, где этот метод перестает работать).

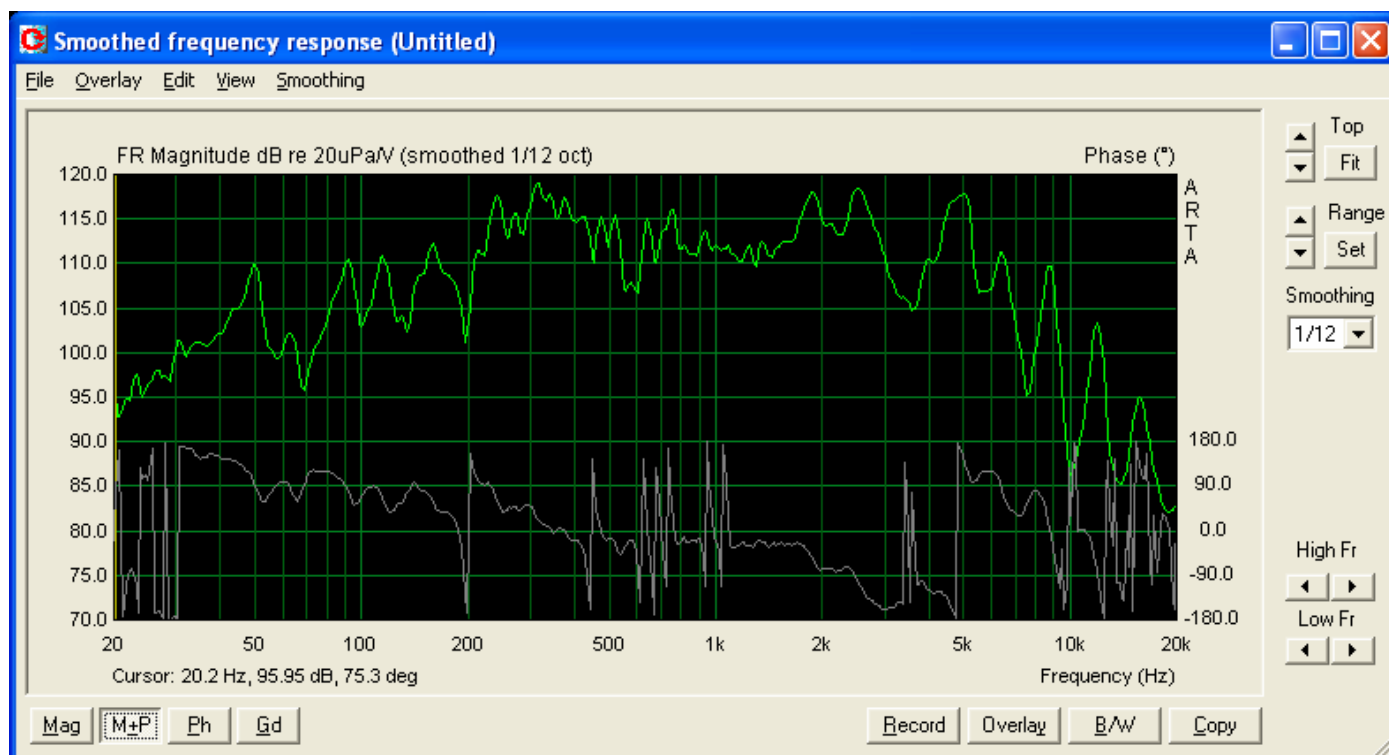
#### Измерения отдельных динамиков без кроссовера

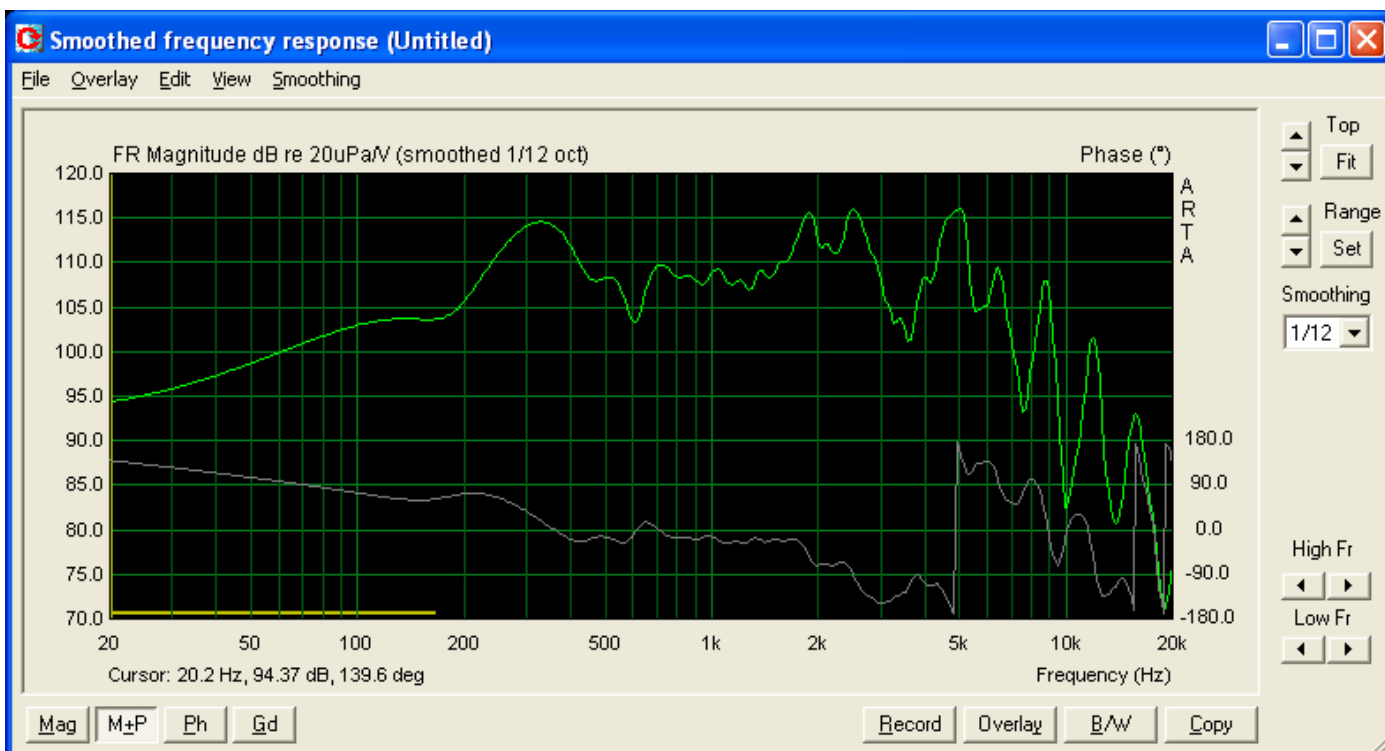
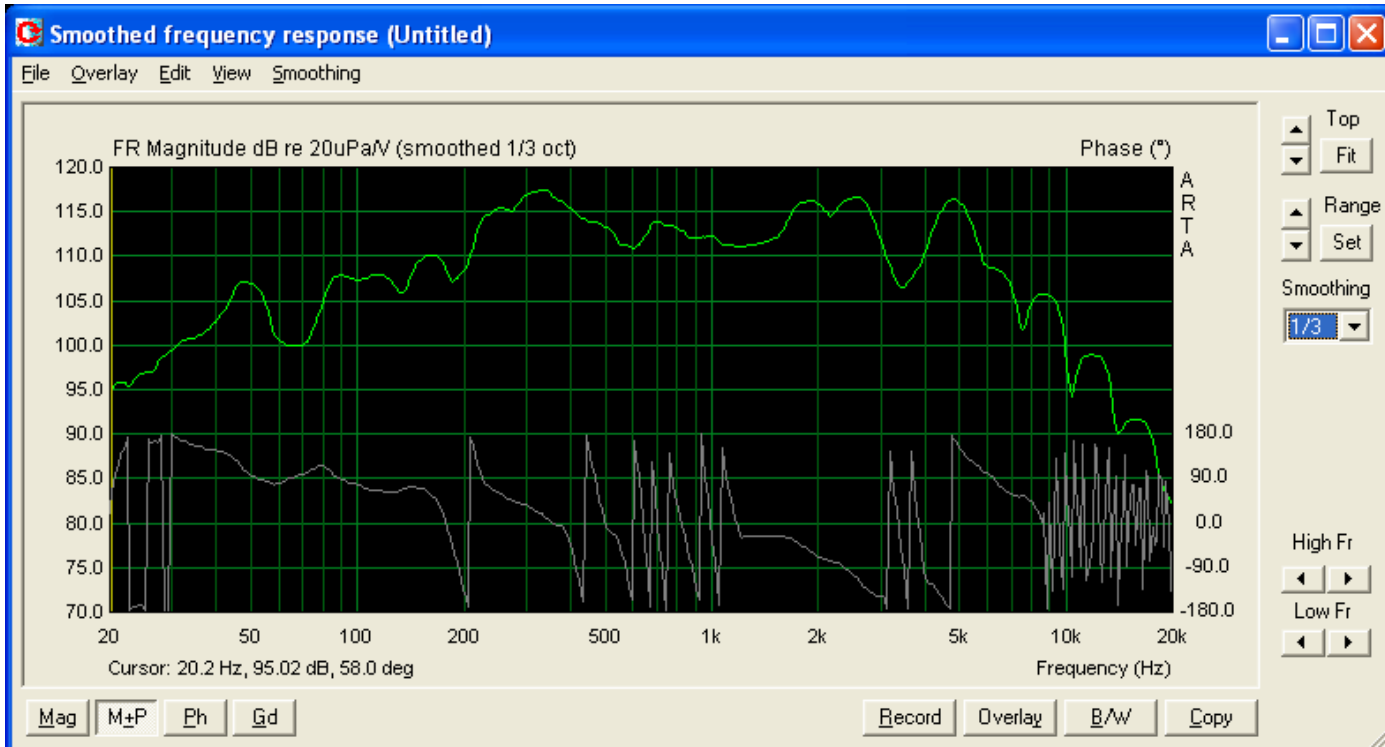
##### Нижний ГГ (12 дюймов)



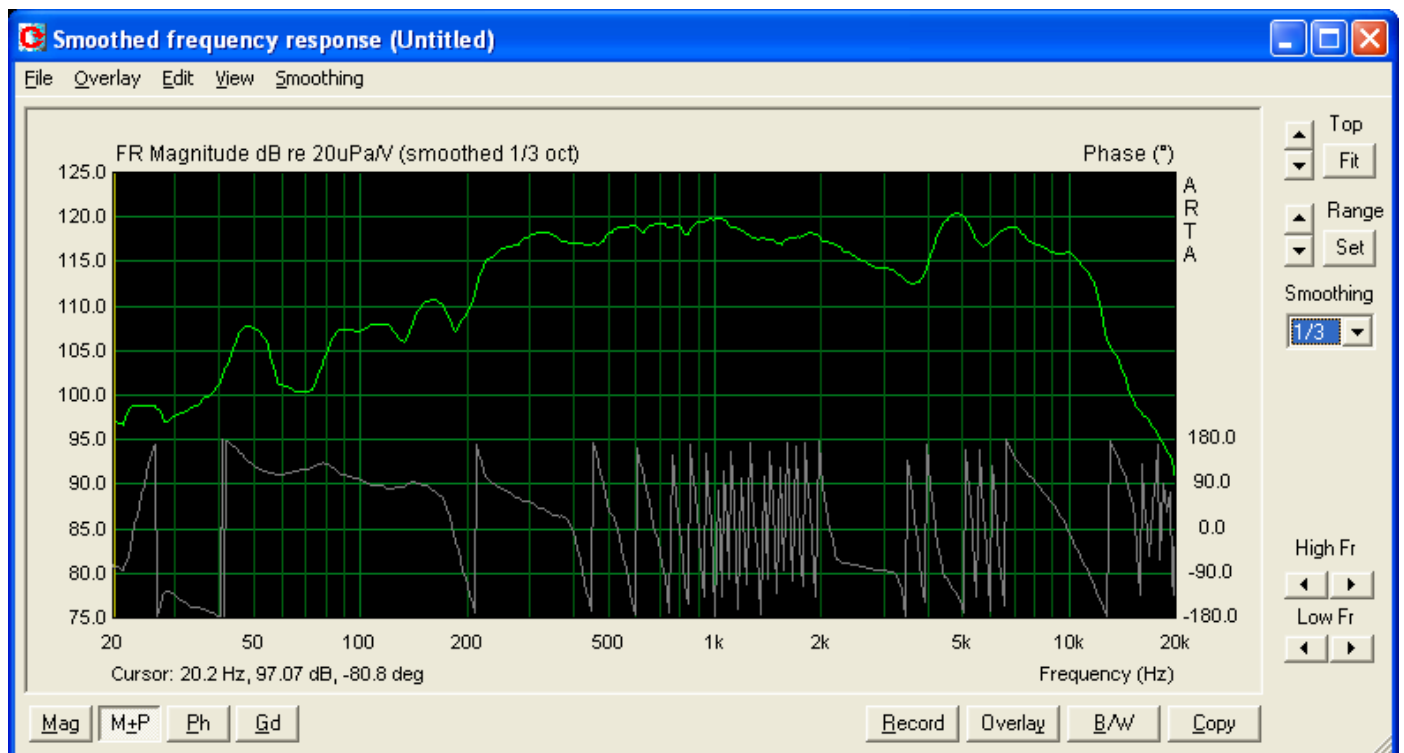
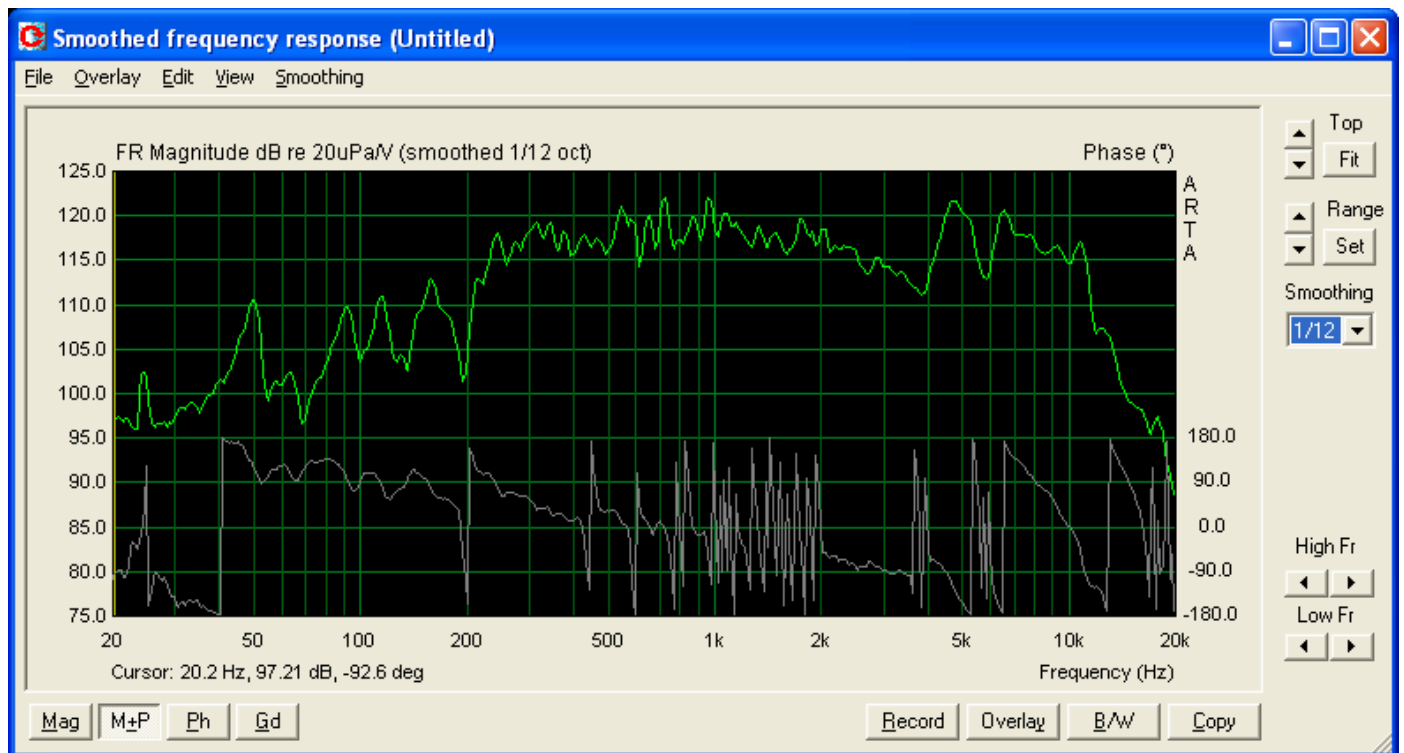


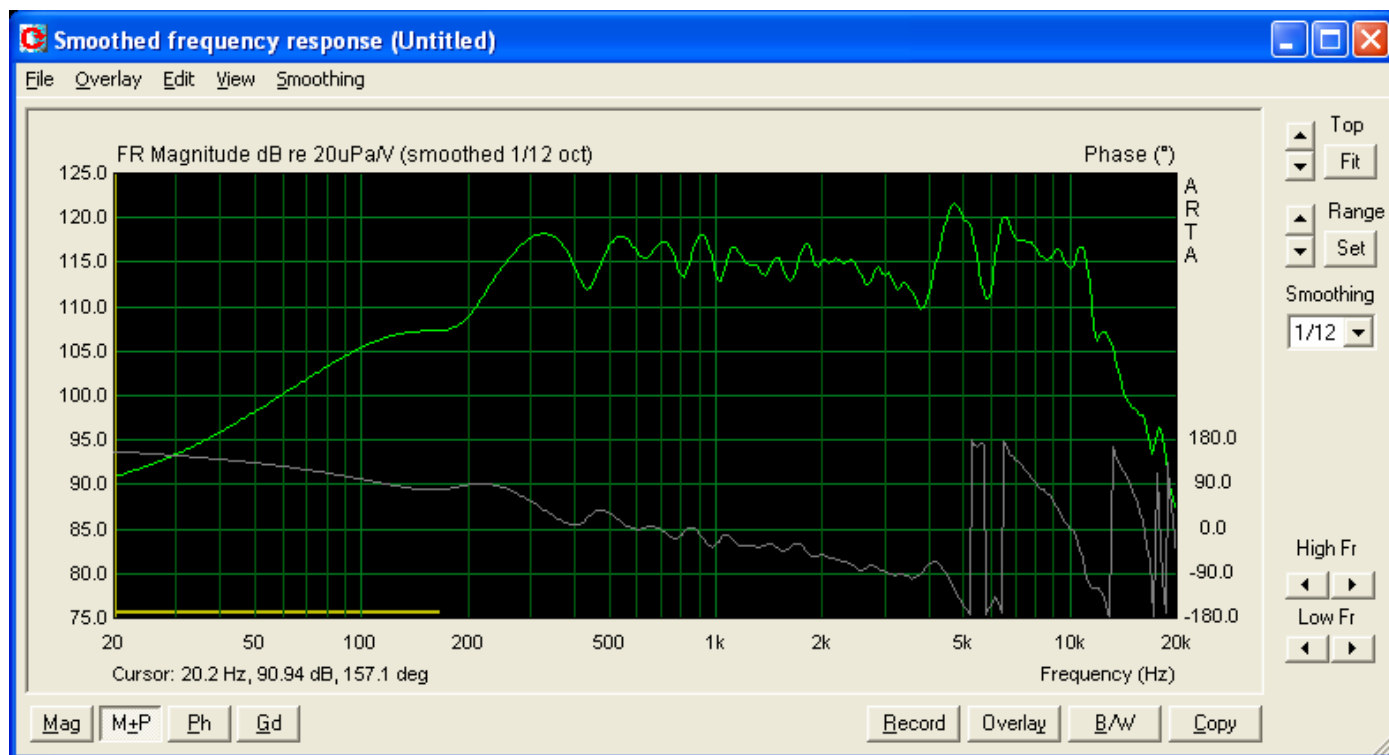
### Центральный ГГ (12 дюймов)



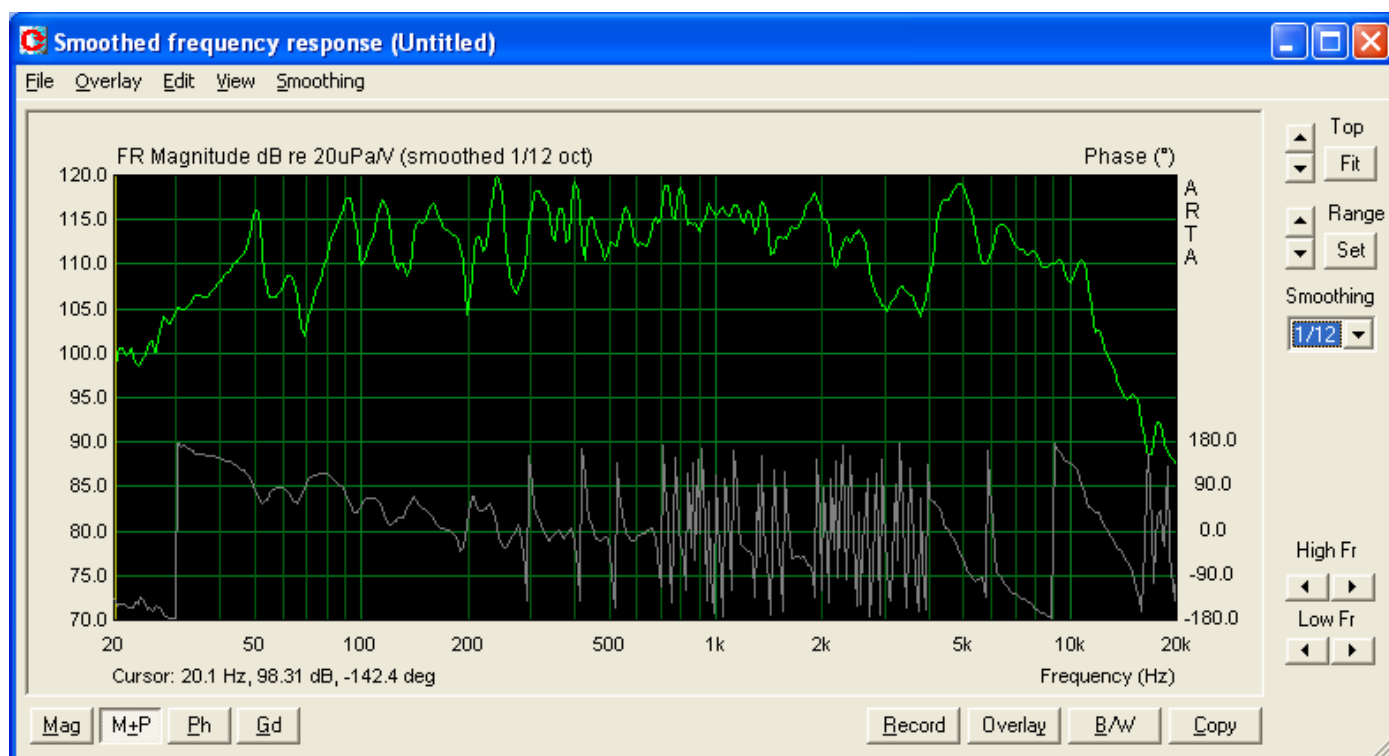


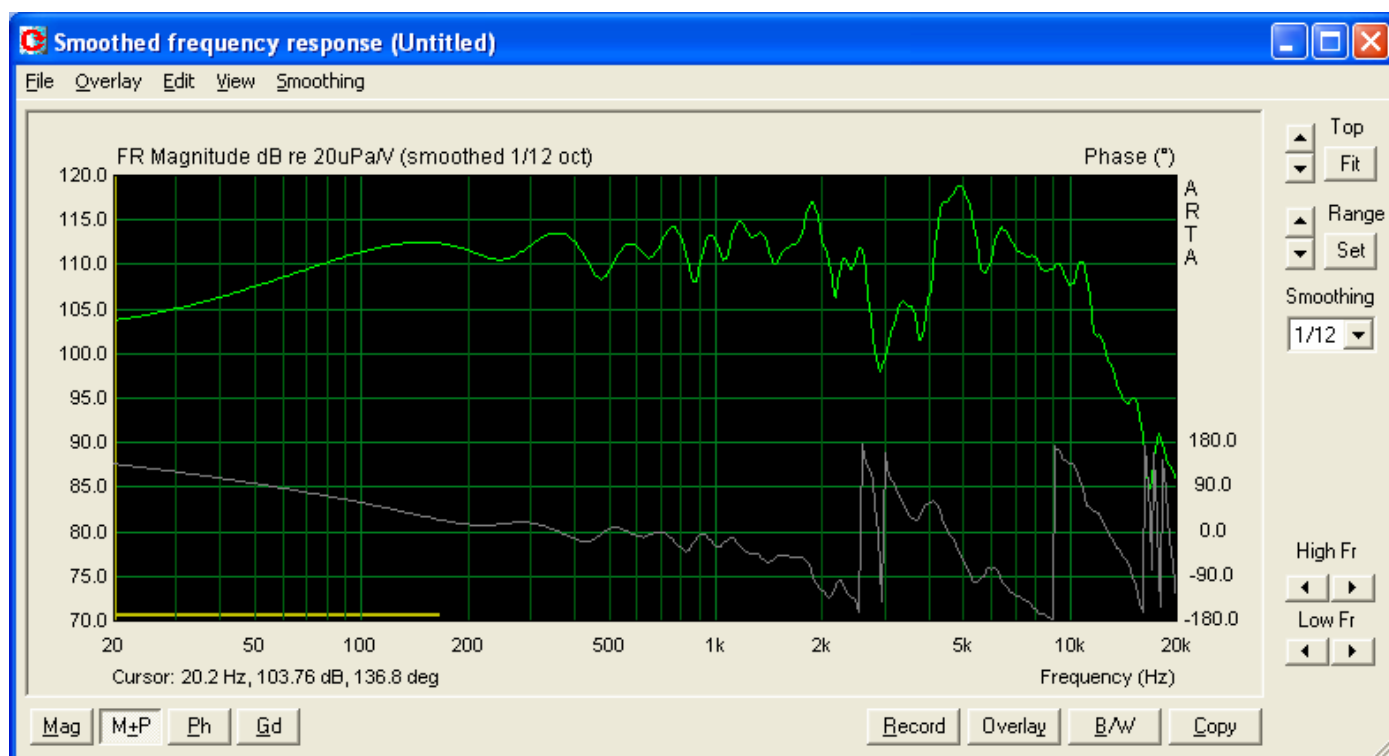
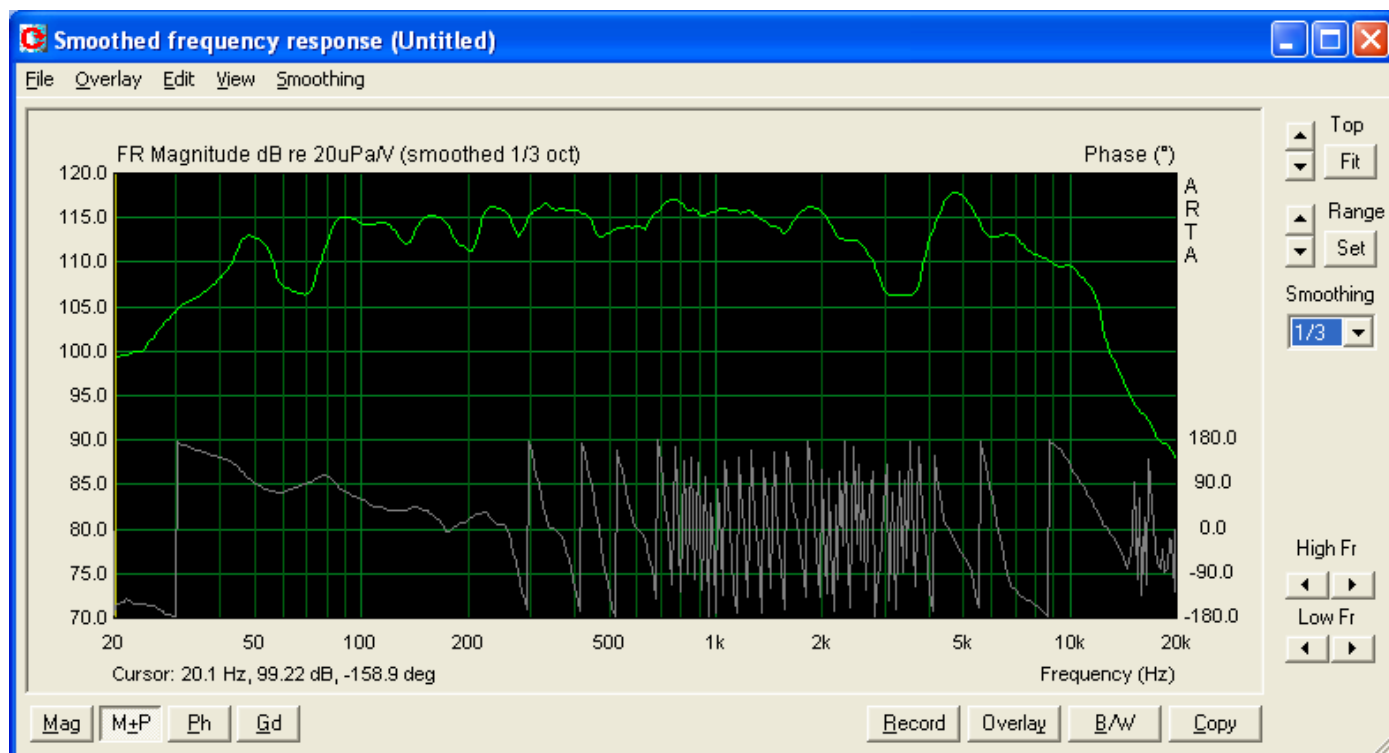
## Верхний ГГ (6 дюймов)





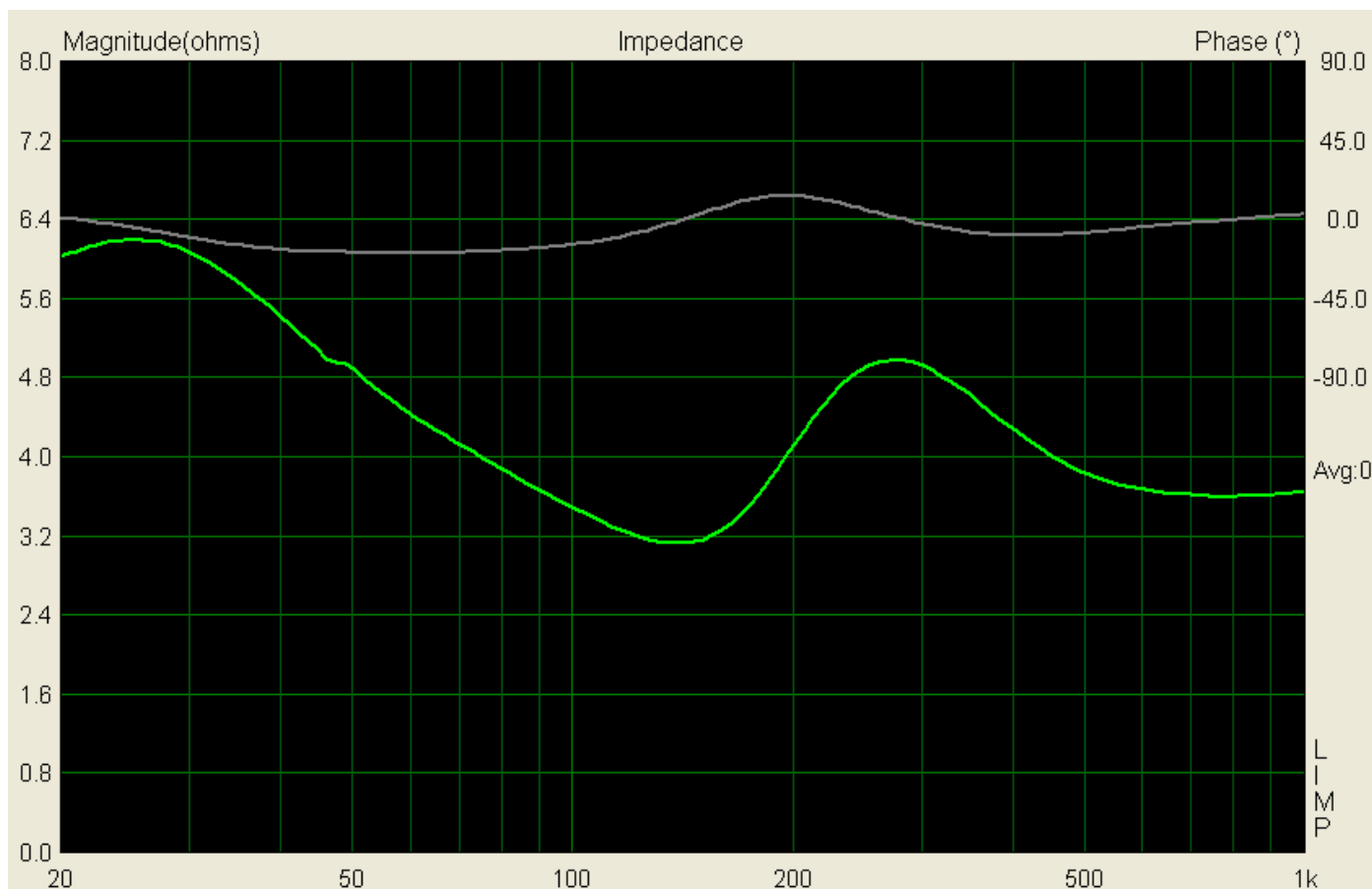
### Общая АЧХ с кроссовером





Общий импеданс





## 5. Заключение

Итак, благодаря симулятору мы получили вполне предсказуемый результат – в той области, где и выполнялся расчет, т.е. до 1 кГц. Рассчитанные кривые неплохо согласуются с измерениями.

Расчет позволяет правильно интерпретировать измерения: видно, что в измерениях от АС, а что от комнатных резонансов.

Мы получили то, за что и боролись - достаточно когерентную по фазе АС с минимальным набегом 45 град на октаву ниже 200 Гц. И действительно, на слух АС звучит собрано на мидбасе и середине.

Хотя баса немного, но спадает он всего 6 дБ на октаву ниже 90 Гц.

Думается, что сделав экран побольше, или используя частично ОЯ с небольшими крыльями в глубину, вполне реально таким способом получить НЧ от 60-70 Гц.