

Калибровка измерительного комплекса при измерении акустических характеристик с помощью Arta Software

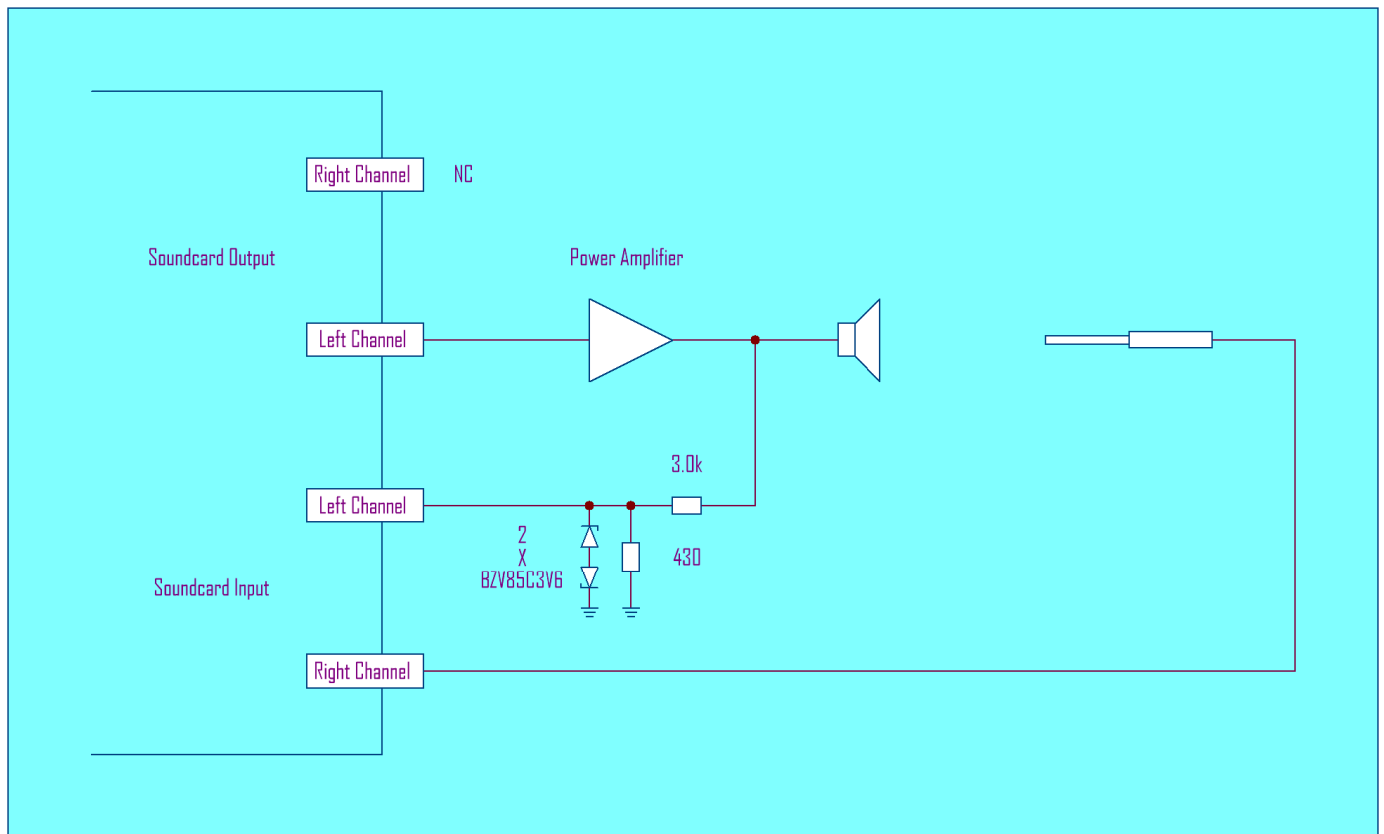
Калибровка Arta выполняется с единственной целью – получением абсолютных значений звукового давления. Сама процедура достаточно проста, но поскольку конфигурация измерительного комплекса может различаться, то и действия, проводимые во время калибровки, могут претерпевать некоторые изменения. Здесь я опишу методику калибровки, которая выполняется при использовании внешней звуковой карты Creative E-MU 0404 USB.



Эта карта в своем составе имеет микрофонные усилители с фантомным питанием, а потому позволяет подключать измерительные микрофоны без использования дополнительного оборудования. Еще одна особенность карты – это возможность использования обоих каналов независимо. То есть, при подключении к одному из каналов измерительного микрофона с фантомным питанием, второй канал может работать с обычным линейным источником сигнала. Регулировка усиления входного сигнала для каждого канала производится отдельно, но, в отличие от других аналогичных изделий, в минимальном положении регуляторов коэффициент усиления составляет не близкое к нулю значение, но единицу для балансного входного сигнала. Небалансный же входной сигнал ослабляется на приблизительно 6 дБ.

Очень важным инструментом при проведении калибровки является точный широкополосный вольтметр переменного тока. Не мультиметр Mastech, и не «стрелочник», но именно вольтметр. При измерении напряжения переменного тока вольтметр должен обладать малой погрешностью измерений и достаточным количеством разрядов дисплея. Четырех или более разрядов будет достаточно. Относительная погрешность измерений – не более $\pm 0.5\%$. Будет просто отлично, если вольтметр калиброван, а еще лучше поверен. Я использую вольтметр В7-38, полный же список оборудования следующий:

- Ноутбук Dell Inspiron 1720
- Звуковая карта Creative E-MU 0404 USB
- Усилитель мощности Sony TA-FE900R
- Вольтметр В7-38
- Микрофон измерительный Nady CM 100
- Регулируемая стойка для микрофона
- Несколько кабелей для соединения оборудования



Measurement Scheme

На изображении Measurement Scheme приведена схема подключения оборудования. Резисторы и стабилитроны, образующие делитель напряжения, служат для ослабления сигнала с выхода усилителя и защиты входа звуковой карты от опасных величин напряжения как постоянного, так и переменного тока. У меня делитель напряжения смонтирован в штекере TRS:



Использование интегрированного усилителя мощности возможно только в одном случае – при наличии функции Source Direct. Эта функция подключает источник сигнала в обход регулировок тембра и баланса. Если данной функции нет, использование интегрированного усилителя недопустимо.

Небольшое отступление по поводу E-MU 0404 USB. Эта звуковая карта имеет балансные входы и выходы. Поскольку схема измерений небалансная, то и соединять при калибровке входы и выходы звуковой карты необходимо по небалансной схеме. В этом случае на входном разъеме, который используется для подключения сигнала от делителя, или при проведении калибровки используется только +IN, а -IN подключается к GND. Измерительный же микрофон подключается балансным кабелем XLR, поскольку значение чувствительности для него действует именно при таком подключении. Для небалансного выхода у карты предназначен отдельный разъем – Phone MiniJack размером 3.5 мм.

Итак, выполняем запуск программы **Arta Software** -> **Arta**. Откроется окно программы **Impulse Response**.

В меню **Setup** необходимо выбрать пункт **Audio Devices**. Откроется окно **Audio Devices Setup**:

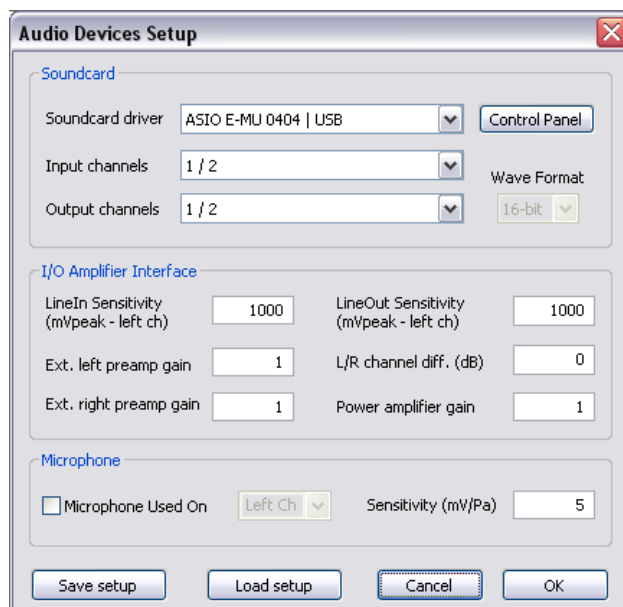


Figure 01

Здесь в поле **Soundcard driver** необходимо выбрать используемую звуковую карту. На данный момент существует версия Arta Software 1.7.0, которая поддерживает работу с ASIO. Если используемая звуковая карта также поддерживает эту функцию, то в списке оборудования будет соответствующий пункт, который и следует выбрать. Каналы ввода и вывода звука устанавливаются соответственно в полях **Input channels** и **Output channels**. Остальные поля предназначены для установления значений, полученных в результате настройки и калибровки. К ним вернемся позже. Нажимаем **OK** и возвращаемся в главное окно программы.

Далее в меню **Setup** необходимо выбрать пункт **Calibrate devices**. Откроется окно для калибровки:

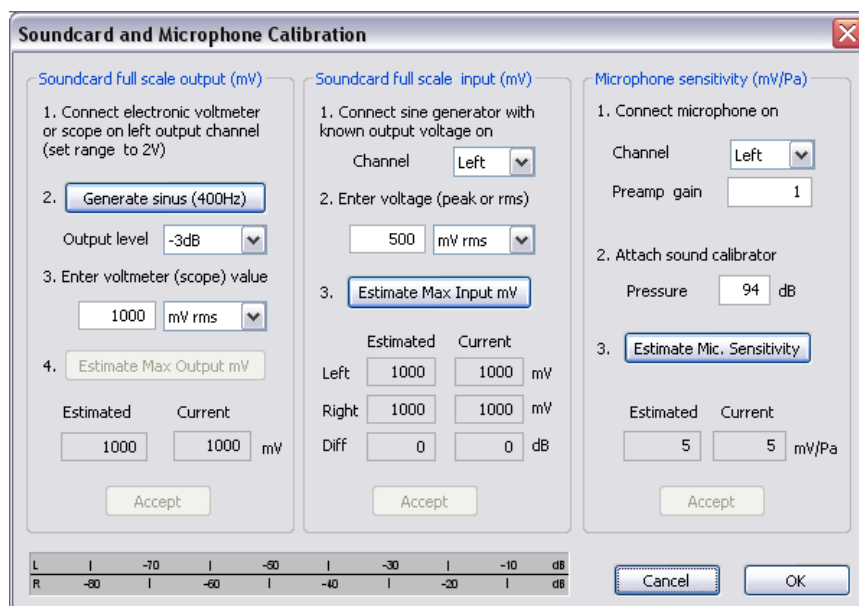


Figure 02

Все регуляторы звуковой карты – входные и выходные – необходимо установить в минимальное положение. К выходу левого канала звуковой карты подключаем вольтметр. В окне калибровки нажимаем кнопку **Generate sinus (400Hz)**. Настройкой уровня выходного сигнала звуковой карты по вольтметру устанавливаем значение напряжения около 1000 mV. Я установил 1.0020 v. Записываем это значение в блокнот или тетрадку, оно понадобится нам позже. После установки необходимо нажать кнопку **Generate sinus (400Hz)**, чтобы остановить генерацию выходного сигнала. В поле **Enter voltmeter (scope) value** необходимо указать получившееся значение. В моем случае: 1002.0 mV rms. Значение mV peak указывается в том случае, если измерительный прибор отображает не среднеквадратичное (rms), но пиковое значение амплитуды (peak). Указав значение, нажимаем кнопку **Estimate Max Output mV**, а затем расположенную ниже кнопку **Accept**. Программа укажет расчетные значения в полях **Estimated** и **Current**, а также автоматически установит значение в поле **Enter voltage (peak or rms)** для калибровки линейных входов – часть окна с названием **Soundcard full scale input (mV)**. Переходим к этой части.

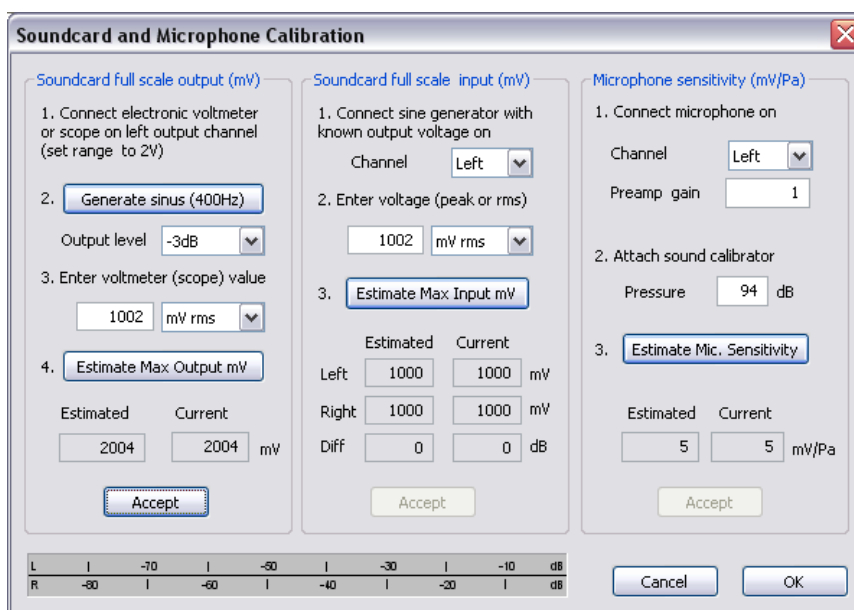


Figure 03

Выполняем соединение выхода левого канала звуковой карты с входом левого канала (напомню, для E-MU 0404 USB это соединение выполняется небалансным, а регулировка усиления на входе устанавливается в крайнее левое положение – минимальное усиление). В поле **Channel** устанавливаем значение **Left** и нажимаем кнопку **Estimate Max Input mV**. Несколько секунд программа будет проводить измерение входного уровня, а кнопка изменит название на **Wait**.

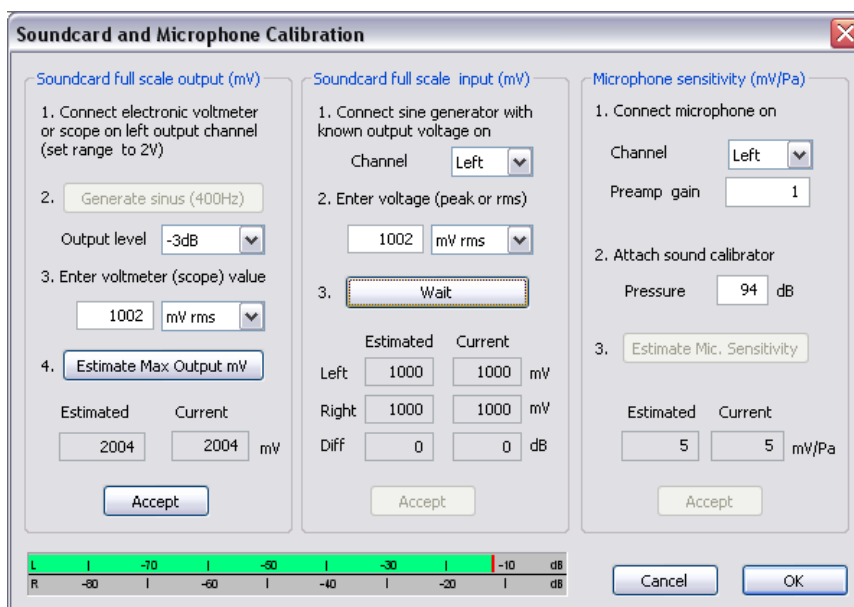


Figure 04

По окончании измерений в поле **Estimated** будет указано измеренное значение для левого канала. Далее выполняем соединение выхода левого канала звуковой карты с входом правого канала (не забываем о регуляторе усиления входного сигнала, который устанавливается в минимальное положение), а в поле **Channel** устанавливается значение **Right**. Нажимаем кнопку **Estimate Max Input mV** и ждем завершения измерений. По окончании калибровки правого канала все поля **Estimated** будут заполнены. Нажимаем расположенную ниже кнопку **Accept**, после чего будут заполнены поля **Current**.

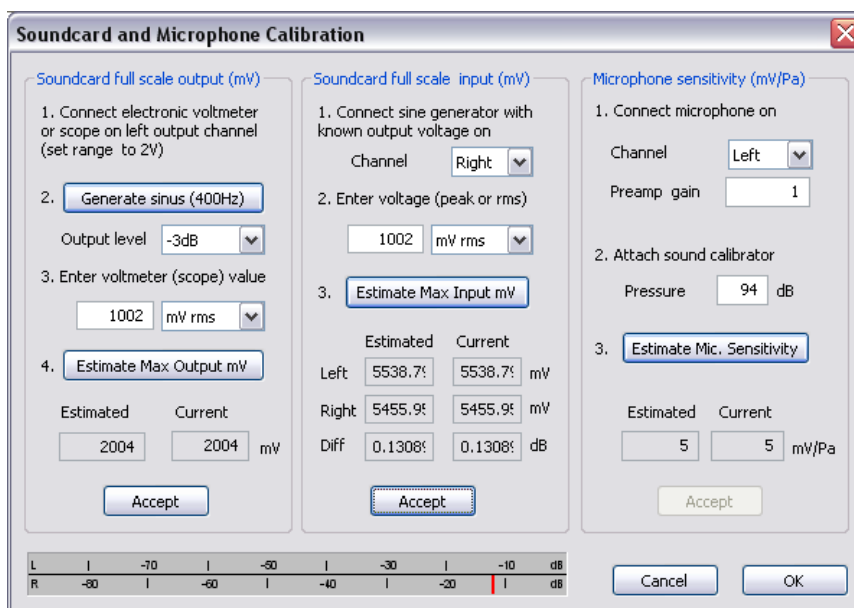


Figure 05

Теперь выполняем соединение выхода левого канала звуковой карты с входом усилителя мощности. К выходу усилителя мощности подключаем делитель напряжения и оставляем его неподключенным к входу звуковой карты. Очень желательно подключить к выходу усилителя нагрузку – акустическую систему – чтобы избежать изменения выходного напряжения, связанного с коэффициентом демпфирования усилителя. В окне калибровки запускаем генератор нажатием кнопки **Generate sinus (400Hz)**. Подключаем к выходу усилителя вольтметр. **Регулировкой уровня на усилителе** устанавливаем коэффициент усиления около 3, то есть около 3 v выходного напряжения. Я установил 3.013 v. Записываем это значение. Подключаем вольтметр к выходу делителя напряжения и записываем измеренное значение. В моем случае: 0.3965 v. Останавливаем генерацию нажатием кнопки **Generate sinus (400Hz)** в окне калибровки. Нажимаем кнопку **OK** и возвращаемся в главное окно программы.

В меню **Audio Devices Setup** теперь заполнена часть полей:

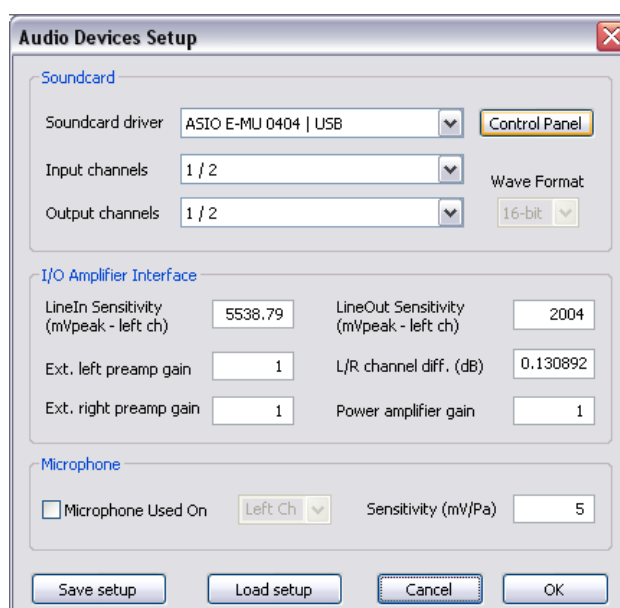


Figure 06

Выполняем соединение оборудования по схеме Measurement Scheme. Установку акустической системы желательно выполнять на удалении от пола на расстояние 0.5-1.0 м. Стойка с микрофоном располагается таким образом, чтобы обеспечить расстояние 1 м между микрофоном и передней панелью акустической системы строго на оси ВЧ излучателя. За прецизионной установкой с точностью до миллиметра гнаться не нужно, достаточно отклонения ± 10 мм. Важно выполнить установку с минимальным вертикальным и горизонтальным углом отклонения от оси акустической системы. В противном случае результаты измерений могут быть искажены для систем с узкой диаграммой направленности.



Выполнив установку и подключение оборудования, переходим в меню **Record -> Impulse response / Time record**.

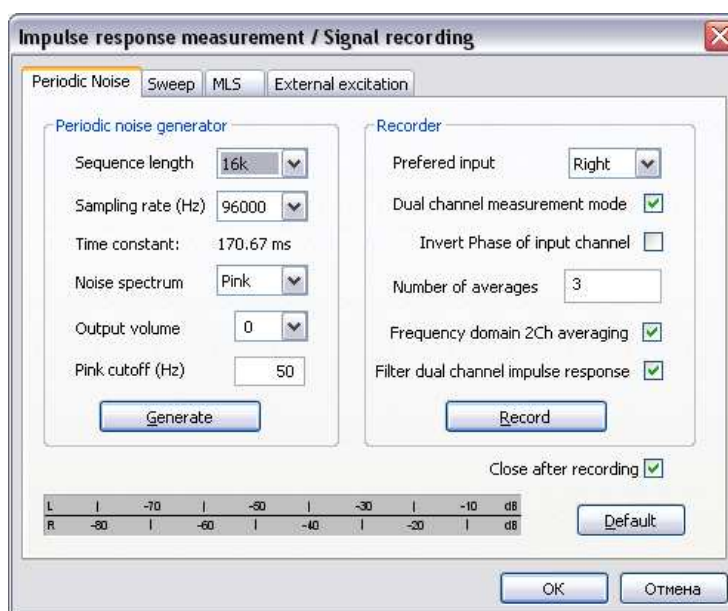


Figure 07

Подробно о проведении измерений я рассказывал в материале о комплексных измерениях в Arta Software, поэтому останавливаться на этом процессе не буду.

Нажатием кнопки **Generate** запускаем генератор периодического шума. Шкала внизу отобразит уровень входных сигналов для обоих каналов. Регулировкой усиления входного сигнала для каждого канала устанавливаем уровни входных сигналов величиной около -10 дБ (Figure 08).

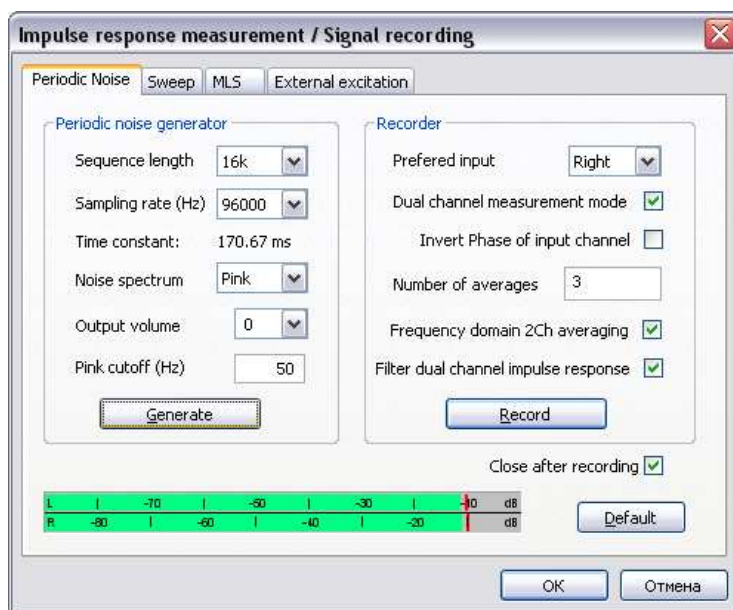


Figure 08

По окончании установки останавливаем генератор нажатием кнопки **Generate** и закрываем окно. Теперь имеется некий коэффициент усиления для каждого входного канала, который необходимо определить. Самым удобным способом является спектральный анализ, который можно провести встроенными в Arta возможностями, нажав кнопку **Spa** на панели инструментов. Но этот анализатор относительно груб, так как отображаемое значение уровня входного сигнала выполняется с разрешением 0.1 дБ. Я пользуюсь программой **SpectraPLUS**, возможности которой более обширны.

Разбираем схему измерений и подключаем выход левого канала звуковой карты к входу левого канала.

Запустив и настроив **SpectraPLUS**, необходимо задействовать встроенный генератор. Указываем для правого канала пункт **Digital Zero**, а для левого – **Multiple Tones** и нажимаем кнопку **Details**.

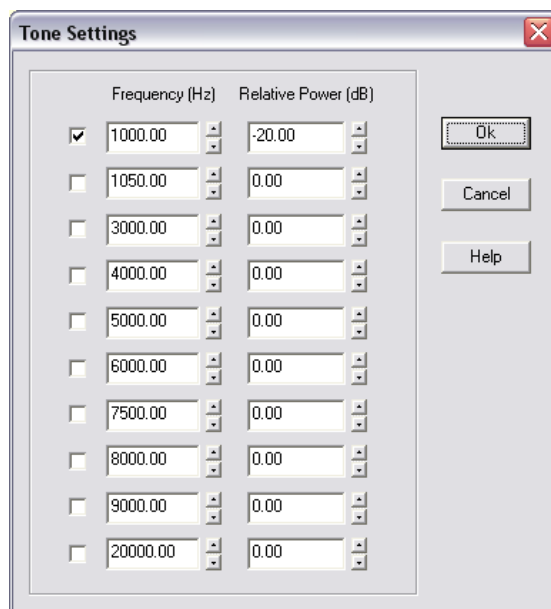


Figure 09

Поскольку уровень входного сигнала усиливается, чтобы не перегрузить вход звуковой карты в поле **Relative Power (dB)** необходимо указать значение меньше нуля. Это выполняется простым подбором: если вход звуковой карты клипширует, просто уменьшается значение выходного сигнала в указанном поле. **Но, ни в коем случае не трогайте регулятор выходного уровня звуковой карты, поскольку установленное им значение выходного напряжения уже принято как калибровочное.**

Выполнив настройку **SpectraPLUS** и запустив анализ, включаем отображение амплитуды входного сигнала.

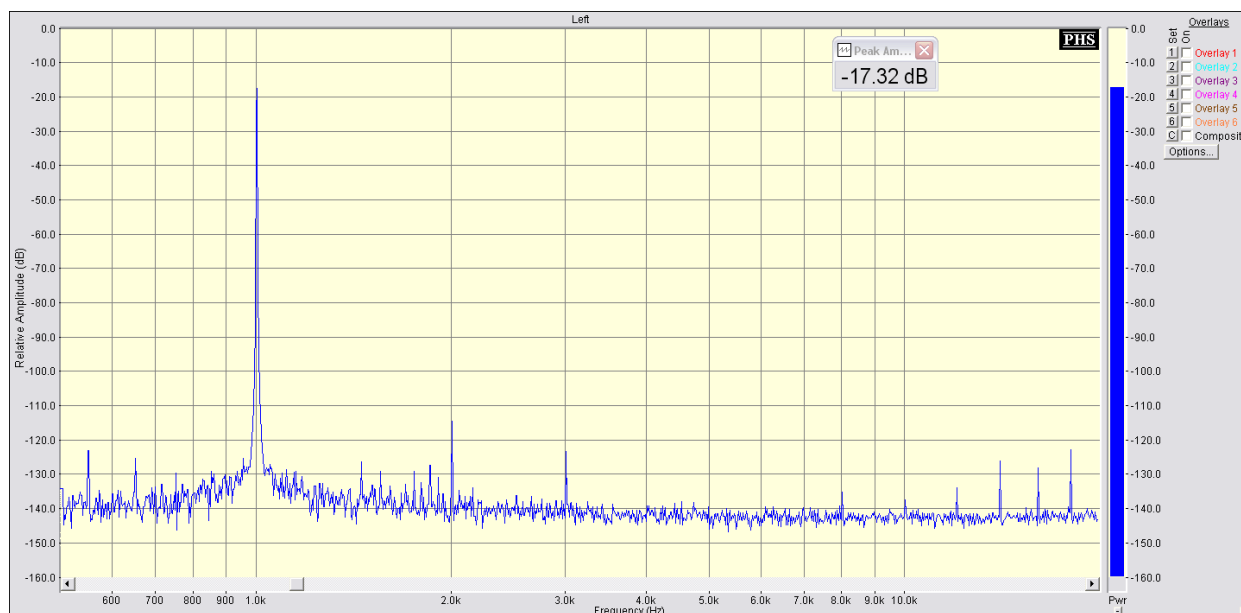


Figure 10

Сейчас значение амплитуды входного сигнала составляет -17.32 дБ. Записываем или запоминаем это значение, оно потребуется в дальнейшем как ориентир. Чтобы определить коэффициент усиления, необходимо перевести регулятор усиления входного сигнала (в данном случае, левого канала) в крайнее левое положение. Переводим.

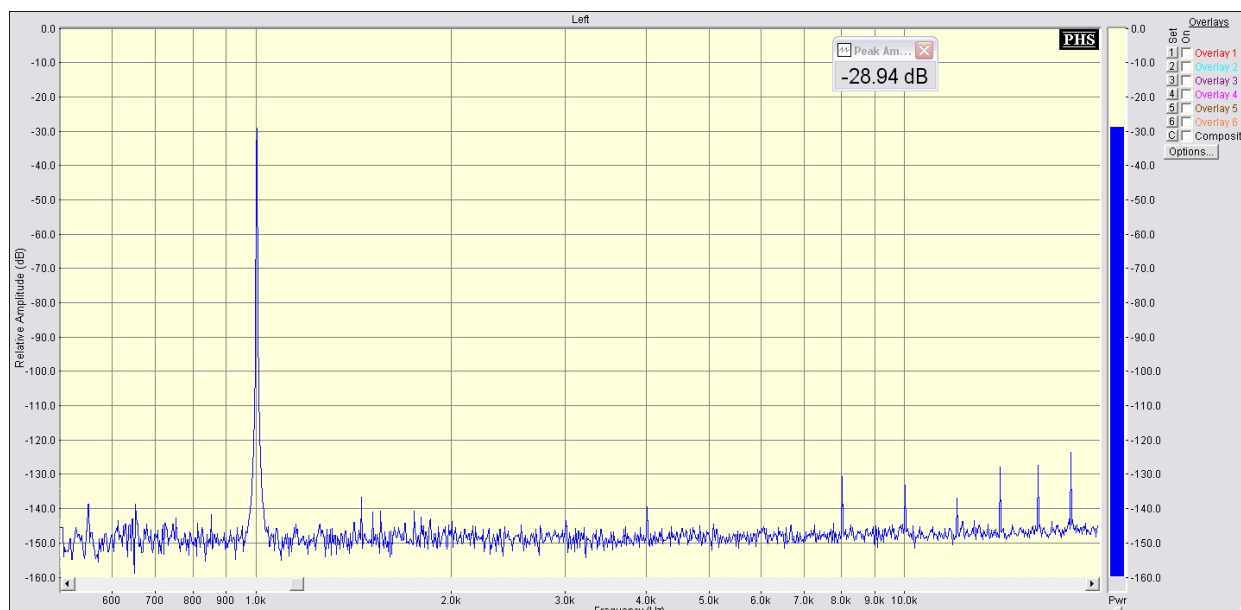


Figure 11

Сейчас значение амплитуды входного сигнала составляет -28.94 дБ. Обязательно записываем это значение. Вернуть обратно усиление, соответствующее амплитуде -17.32 дБ, очень сложно, но это и не нужно. Просто увеличивайте усиление, пока значение амплитуды не составит значение, близкое к -17.32 дБ. Я установил -17.68 дБ (Figure 12). Записываем получившееся значение. Для расчета коэффициента усиления потребуются два значения: в положении минимального усиления (-28.94 дБ) и в положении установленного усиления (-17.68 дБ).

Подключаем выход левого канала звуковой карты к входу правого канала и проводим процедуру, аналогичную вышеописанной. В процессе обязательно записываем получившиеся относительные значения уровней.

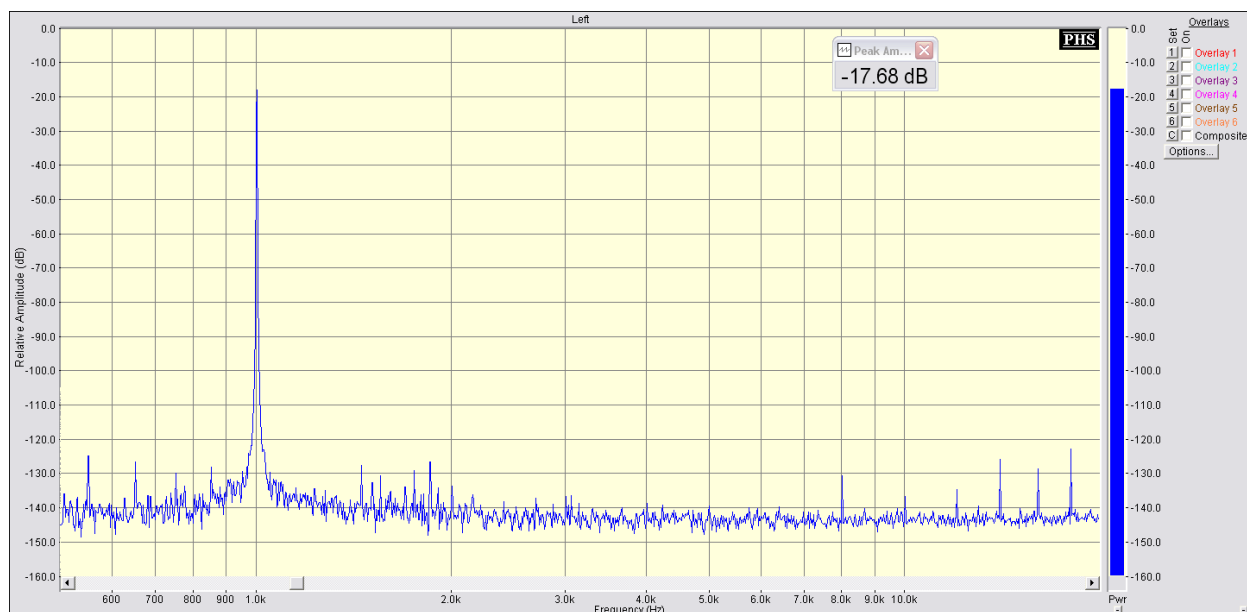


Figure 12

Теперь можно рассчитать коэффициенты усиления. В моем случае для левого канала коэффициент усиления составляет $28.94 - 17.68 = 11.26$ дБ. Для правого: 41.45 дБ. Поскольку для коэффициентов усиления Arta использует не децибелы, но разы, необходимо сделать соответствующий перевод. Получается 3.655889 и 118.167057 для соответственно левого и правого каналов. Записываем эти значения. Теперь у нас имеется все необходимое, чтобы указать недостающие калибровочные значения:

- 1) выходное напряжение звуковой карты: 1.0020 v;
- 2) выходное напряжение усилителя мощности: 3.013 v;
- 3) выходное напряжение делителя: 0.3965 v;
- 4) коэффициент усиления предварительного усилителя левого канала: 3.655889;
- 5) коэффициент усиления предварительного усилителя правого канала: 118.167057.

Из этого рассчитываем коэффициент усиления для усилителя мощности: $3.013 / 1.0020 = 3.006986$. Поскольку для левого канала действует как усиление предварительным усилителем, так и ослабление на делителе напряжения, то сначала рассчитываем коэффициент усиления делителя: $0.3965 / 3.013 = 0.131596$. Теперь рассчитываем коэффициент усиления для левого канала: $0.131596 * 3.655889 = 0.481100$.

Возвращаемся в меню **Audio Devices Setup** и устанавливаем недостающие значения. Для поля **Ext. left preamp gain** значение 0.481100, для поля **Ext. right preamp gain** значение 118.167057, для поля **Power amplifier gain** значение 3.006986.

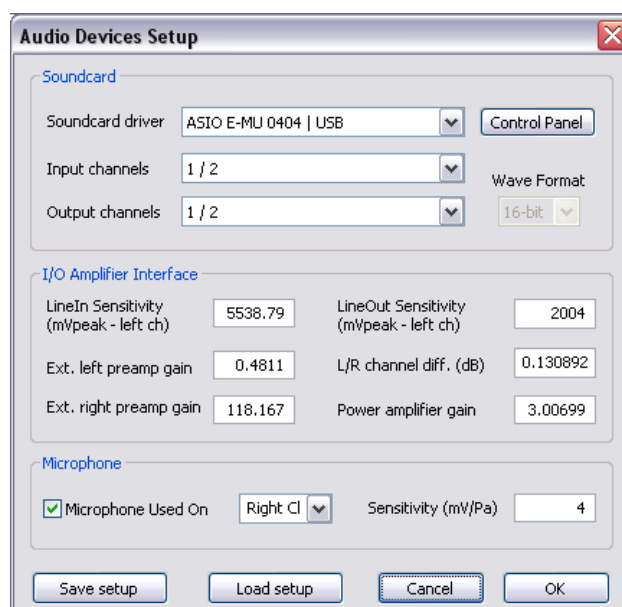


Figure 13

Чувствительность микрофона Nady CM 100 составляет такое же значение, как и для близнеца Behringer ECM8000, то есть 4 mV/Pa. Устанавливаем галочку **Microphone Used On**, указываем канал подключения микрофона, и в поле **Sensitivity (mV/Pa)** устанавливаем значение 4. Калибровка завершена. Нажимаем **ОК** и возвращаемся в главное окно программы.

Теперь можно собрать схему измерений и запустить процесс.

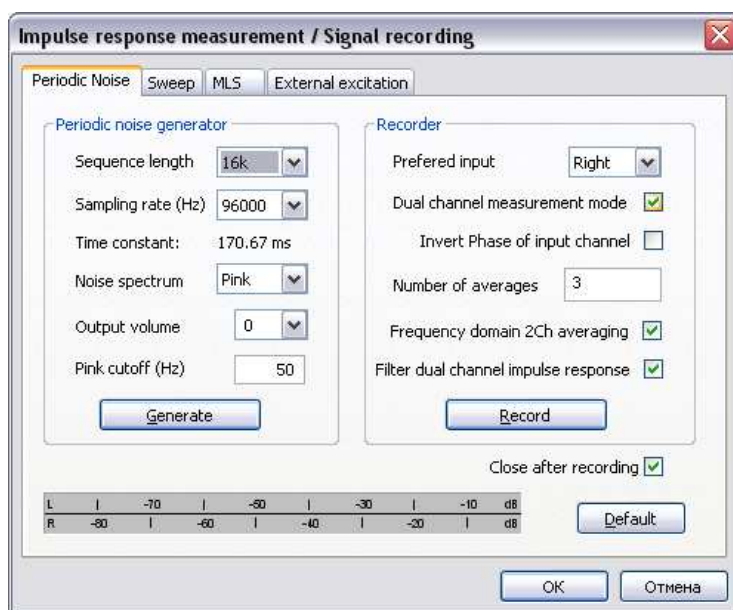


Figure 14

Устанавливаем в качестве тестового сигнала периодический шум, указываем измерительный канал и двуканальные измерения. Проводим измерения и выводим результаты.

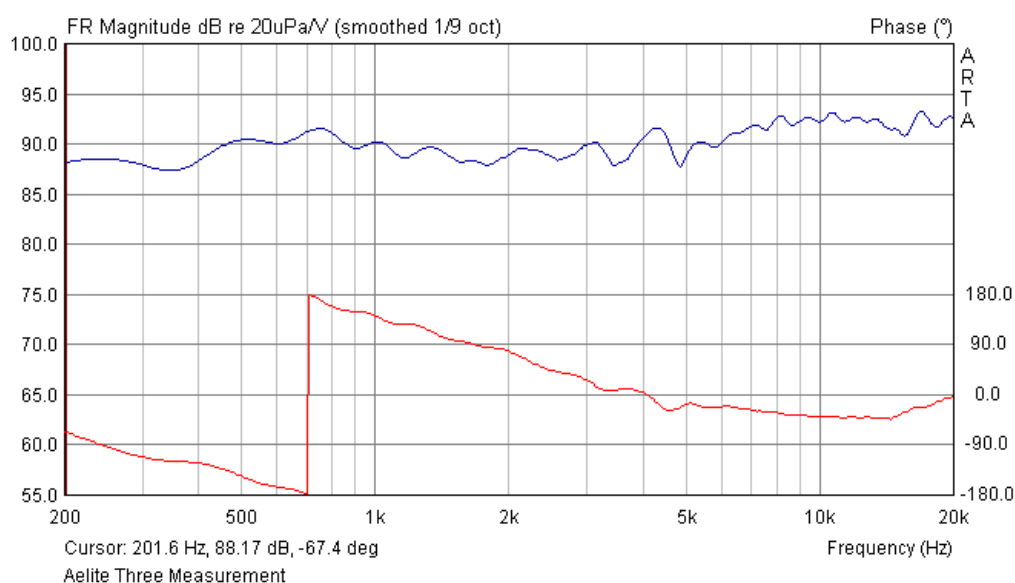


Figure 15

Особенность программы такова, что значения звукового давления в единицах **dB re 20uPa/V** соответствуют измерениям **dB/2.83V/m**. Единицы выбираются в меню **View -> Sound pressure units** окна **Smoothed frequency response**. Если установить **dB re 20uPa/2.83V**, то абсолютные значения звукового давления окажутся завышенными в эти самые 2.83 раза. Справка программы на этот счет умалчивает, ограничившись кратким описанием единиц:

dB re 20uPa/1V - unit for pressure level in acoustical standards
dB re 20uPa/2.83V - usual unit for the loudspeaker sensitivity

Если же из эстетических соображений хочется видеть на экране корректные значения при единицах **dB re 20uPa/2.83V**, то значение чувствительности микрофона следует увеличить в 2.83 раза.

Можно сказать, мне относительно повезло, поскольку я могу проконтролировать результаты измерений. Моя домашняя акустическая система – это британские Acoustic Energy Aelite Three. Данная акустическая система была в тестовой лаборатории редакции журнала «СалонAV» и прошла процедуру измерений. Их оборудование калибровано, а измерения проводятся при подведении напряжения 2.83 v к акустической системе независимо от ее номинального сопротивления.

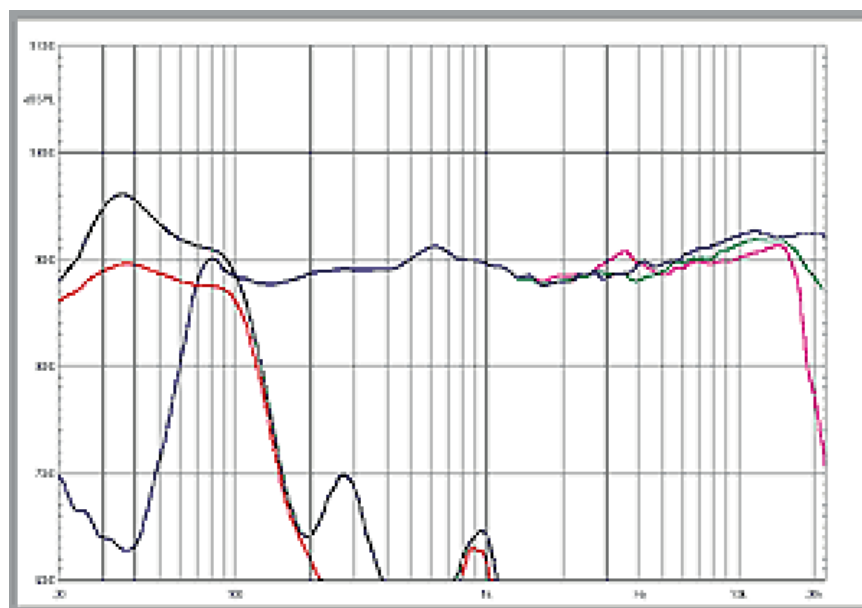


Figure 16

Это изображение я сохранил из архива с сайта журнала. Изображение пришлось увеличить, поэтому цифры практически нечитаемые. В журнале это изображение с более высоким разрешением и шкалу хорошо видно. Она составляет от 60 до 110 дБ. Ради интереса я отмасштабировал изображение и совместил его с собственными результатами измерений. Сравнение можно видеть ниже.

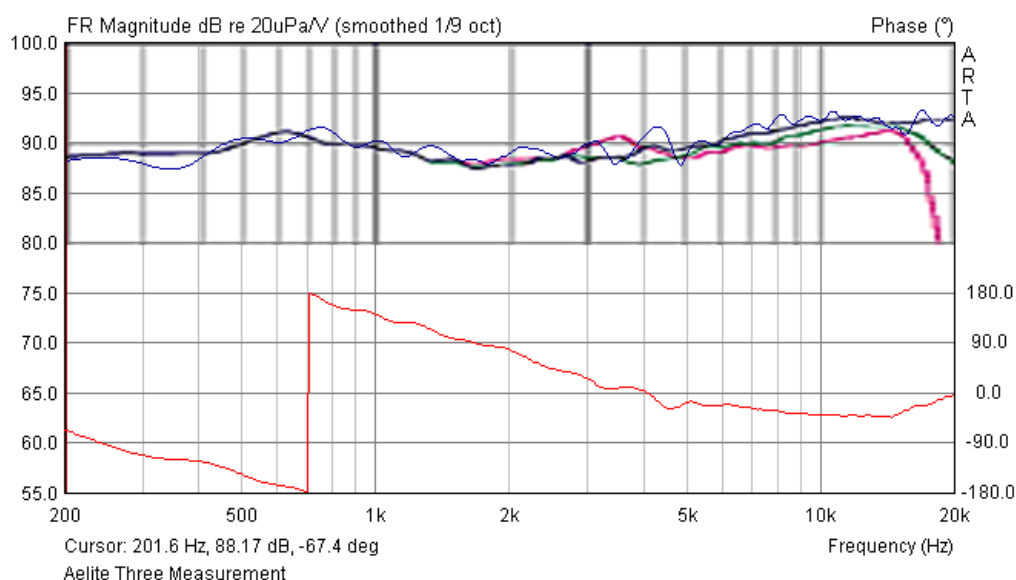


Figure 17

На следующем изображении я, как и в «Салоне», использовал сглаживание 1/3 октавы и включил увеличение толщины линий. Отображение ФЧХ за ненадобностью отключил.

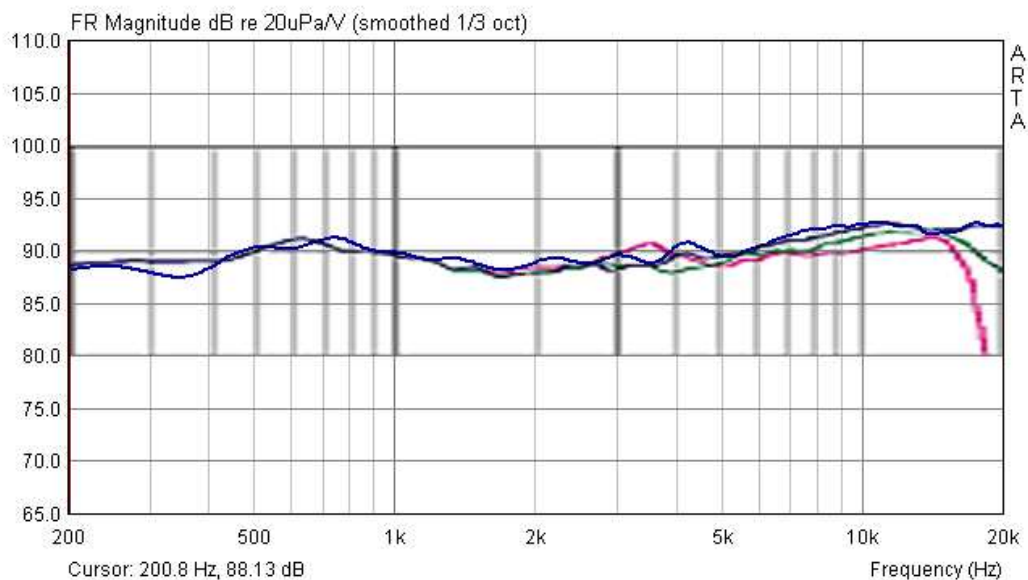


Figure 18

Отдельно хочу рассказать об измерениях в ближнем поле и измерениях, проводимых с расстояния, отличного от 1 м между лицевой панелью акустической системы и микрофоном. Чтобы не перегрузить микрофон и тракт высокими значениями звукового давления, в окне **Impulse response measurement / Signal recording** следует воспользоваться полем **Output volume**. В этом поле возможна установка значения от 0 до -20 с шагом 1. При выборе любого значения программа автоматически внесет необходимые изменения так, словно измерения проводились при стандартном выходном сигнале. Если расстояние до микрофона отлично от 1 м, коррекцию следует учитывать самостоятельно. Здесь все просто. Например, изменение расстояния с 1 м на 10 см вызовет прирост звукового давления в 10 раз ($100\text{см}/10\text{см}=10$). Следовательно, в окне **Smoothed frequency response** следует воспользоваться пунктом меню **Edit -> Scale level**. Поскольку 10 раз это 20 дБ, то в поле **Enter value in dB to scale magnitude** необходимо указать -20 дБ. При измерениях с расстояния 50 см прирост звукового давления составит 2 раза, то есть 6 дБ.

13.01.2011г.