

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N 7 АД

### ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОФОНА МЕТОДОМ ВЗАИМНОСТИ

**Руководство к выполнению лабораторной работы по электроакустике**  
(дисциплины: «Акустика», ФОППИЗК и «Электроакустика и звуковое вещание»)

Автор- к.т.н. **Вологдин Э.И.**  
октябрь 2009 год

#### Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с методом измерения частотной характеристики микрофона, основанном на принципе взаимности обратимых электромеханических преобразователей. Измерения осуществляются в не заглушенном помещении с использованием компьютерных программ SpectraLab и MathCad.

#### Задание к лабораторной работе

- Изучить программу «SpectraLab» в объеме, необходимом для измерения частотной характеристики микрофона в не заглушенном помещении методом взаимности с помощью сигнала розового шума.
- Изучить метод измерения АЧХ микрофонов, основанный на принципе взаимности обратимых электромеханических преобразователей .
- Собрать на макете три частных схемы измерения АЧХ в октавной шкале частот и с помощью программы SpectraLab создать текстовые файлы трех АЧХ.
- Ввести текстовые файлы трех вспомогательных АЧХ в программу MathCad и рассчитать график частотной характеристики микрофона
- Определить частотный диапазон микрофона при допустимой неравномерности его АЧХ 10 дБ.
- Сформулировать выводы по результатам измерений и составить отчет по работе.

#### Функциональная схема измерений

На **рис.7.1.** приведена функциональная схема измерения АЧХ микрофона методом взаимности с помощью программы SpectraLab. При данном методе измерения используются две динамические головки громкоговорителя (Г1 и Г2) одного типа, испытуемый микрофон (М) и макет, на котором студентами собираются три схемы

измерений. При измерении АЧХ громкоговорители подключаются к выходу усилителя мощности  $U$  через добавочный резистор с сопротивлением 200 Ом.

Все измерения АЧХ производятся с использованием розового шума в октавной шкале частот в диапазоне 63..20000 Гц.

1. С помощью испытуемого микрофона  $M$  измеряется АЧХ громкоговорителя  $G_1$ , которая сокращенно обозначается как  $U$  и сохраняется в памяти компьютера в виде текстового файла **U.txt**.
2. С помощью испытуемого микрофона  $M$  измеряется АЧХ громкоговорителя  $G_2$ , которая сокращенно обозначается как  $V$  и сохраняется в памяти компьютера в виде текстового файла **V.txt**.
3. С помощью громкоговорителя  $G_1$ , используемого в качестве микрофона, измеряется АЧХ громкоговорителя  $G_2$ , которая сокращенно обозначается как  $W$  и сохраняется в памяти компьютера в виде текстового файла **W.txt**.

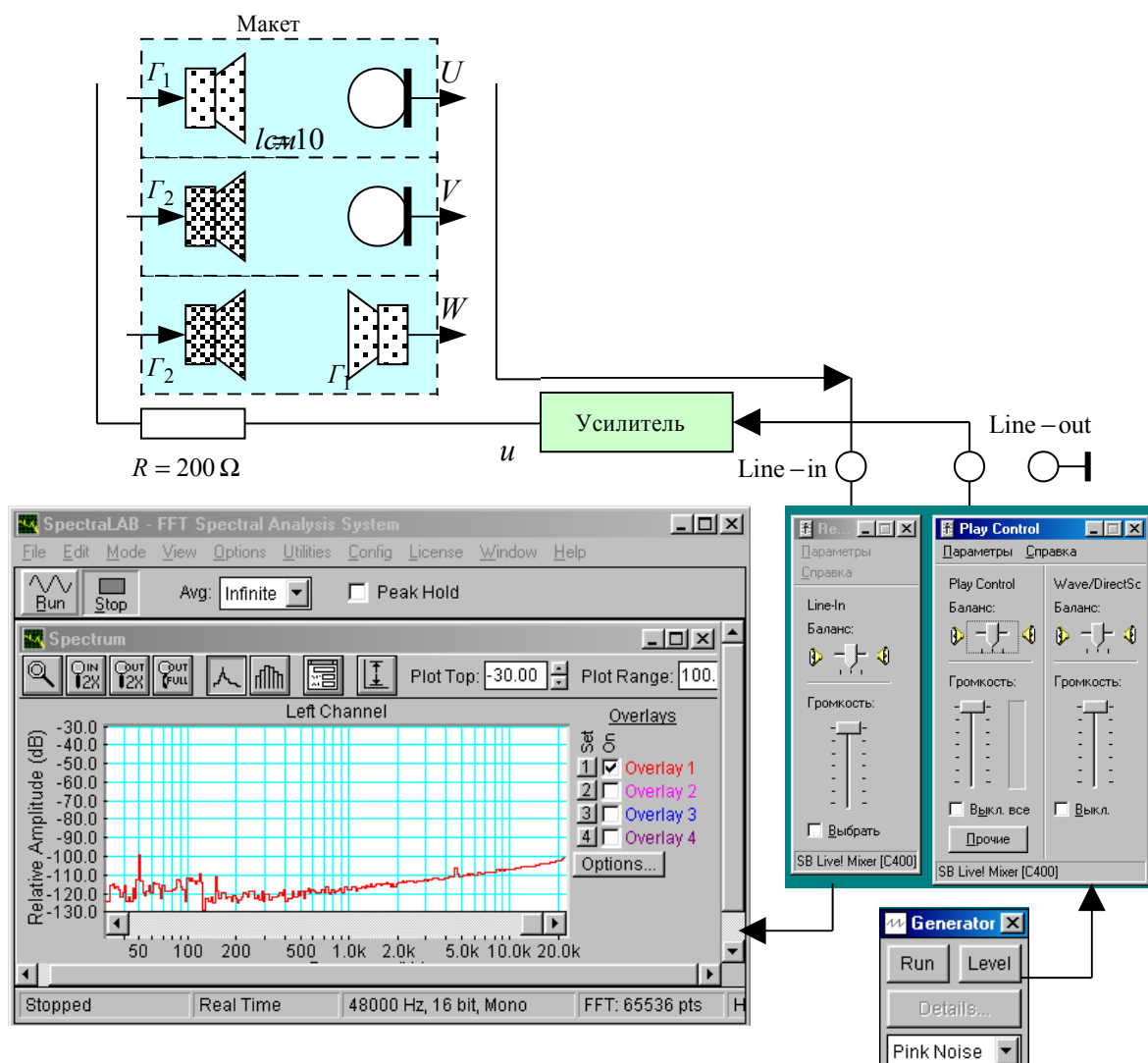


Рис.7.1. Схема измерения АЧХ микрофона методом взаимности

Далее эти три файла в виде таблиц вводятся в файл программы MathCad, в которой по ним рассчитывается и строится график АЧХ микрофона. Расчет АЧХ производится по формуле

$$E_{fdB} = 10 \lg K + 10 \lg K_{ac} - 10 \lg f_c + 0,5U + 0,5V - 0,5W$$

где  $E_{fdB}$  – вектор АЧХ микрофона,  $K = \frac{2l}{\rho \cdot i}$  – постоянное слагаемое,  $K_{ac}$  – коэффициент усиления звуковой карты (дБ),  $f_c$  – вектор средних частот полосы, в которой усредняется чувствительность микрофона,  $U$  – вектор уровней АЧХ Г1  $\Rightarrow$  микрофон,  $V$  – вектор уровней АЧХ Г2  $\Rightarrow$  микрофон,  $W$  – вектор уровней АЧХ Г2  $\Rightarrow$  Г1.

Уровень сигнала, подаваемого на вход измерительной схемы с усилителя, устанавливается регулятором громкости и двумя последовательными регуляторами **Wave** и **Play Control** звуковой карты. Для повышения помехозащищенности измерения производятся при максимально возможном высоком звуковом давлении (все регуляторы на максимум). С микрофона сигнал подается на линейный вход звуковой карты, так как при подключении к микрофонному входу из-за акустической обратной связи измерительная схема иногда возбуждается.

## Методические указания

### 4.1. Закон Фарадея и принцип взаимности

Закон Фарадея относится к поведению электрического проводника в постоянном магнитном поле. В соответствии с этим законом при принудительном колебательном движении не замкнутого проводника тока, например, в виде катушки, в постоянном магнитном поле на зажимах этого проводника возникает переменная электродвижущая сила (ЭДС). И наоборот, при протекании через катушку переменного тока возникает сила, которая приводит катушку в колебательное движение. Этот эффект называется принципом *взаимности*.

Наука, в которой изучается поведение проводника в магнитном поле, называется электродинамикой. На основе этой науки создаются излучатели звука – диффузорные электродинамические громкоговорители и приемники звуковых колебаний – электродинамические микрофоны. Это, так называемые, обратимые преобразователи. В микрофонах под действием силы (звукового давления) на зажимах катушки возникает ЭДС, а в громкоговорителях – под действием тока в катушке возникает сила, которая приводит в движение катушку и прикрепленный к ней диффузор громкоговорителя. Это значит, что громкоговоритель может работать как микрофон, правда низкого качества, а микрофон может использоваться как громкоговоритель, но уж очень плохого качества, и на практике этот эффект не используется. Таким образом, отличия динамических громкоговорителей и микрофонов носят чисто конструктивный характер.

У громкоговорителя в режиме излучения при протекании тока  $i$  по катушке возникает сила  $F$ , которая приводит диффузор в колебательное движение и создает звуковое давление  $P$  на расстоянии  $r$  от излучателя. У громкоговорителя в режиме приема звуковых колебаний (микрофон) под действием звукового давления диффузор приходит в колебательное движение с колебательной скоростью  $V$ . Напряжение на зажимах катушки  $U$  пропорционально колебательной скорости (это производная смещения диффузора по времени). В электродинамике доказывается, что все эти параметры у обратимого преобразователя связаны соотношением

$$\frac{F}{i} = \frac{U}{V} \quad (1)$$

Обратимые преобразователи характеризуются чувствительностью в режиме излучения  $E_{si}$  и чувствительностью  $E_{smic}$  в режиме приема звуковых колебаний. Чувствительность  $E_{si}$  определяет связь между током в катушке и колебательной

скоростью диффузора, чувствительность  $E_{smic}$  определяет связь между звуковым давлением и напряжением на зажимах катушки. На основе равенства (1) в электродинамике доказывается, что эти чувствительности связаны равенством

$$E_{si} = \frac{\rho \cdot f}{2 \cdot r} \cdot E_{smic} \quad (2)$$

где  $\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$  – статическая плотность воздуха,  $f$  – частота звуковых колебаний. Это расчетное соотношение является основой измерения чувствительности микрофоном методом взаимности. Важно, что в этой формуле отсутствуют параметры самого преобразователя.

## 4. 2.Динамические микрофоны

### 4.2.1. Принцип работы

Принцип работы электродинамического микрофона основывается на законе Фарадея о поведении замкнутого электрического проводника в постоянном магнитном поле. В соответствии с этим законом колебательное движение замкнутого проводника в виде катушки в постоянном магнитном поле приводит к возникновению переменного тока в этом проводнике. Если же проводник не замкнут, то на его зажимах возникает переменное напряжение. Если на катушке закреплена мембрана и на нее действует звуковой поток, то это и есть динамический микрофон. В общем случае микрофон представляет собой четырехполюсник с механическим входом и электрическим выходом.

Электродинамический микрофон и электродинамический громкоговоритель – это обратимые преобразователи. В первом случае под действием силы возникает ЭДС, а во втором - под действием тока возникает сила. Это значит, что громкоговоритель может работать как микрофон, а микрофон может использоваться как громкоговоритель. Отличия носят только конструктивный характер.

### 4.2.2. Конструкция

Электродинамические (динамические) микрофоны по конструкции и назначению могут существенно отличаться. В лабораторной работе исследуется катушечный

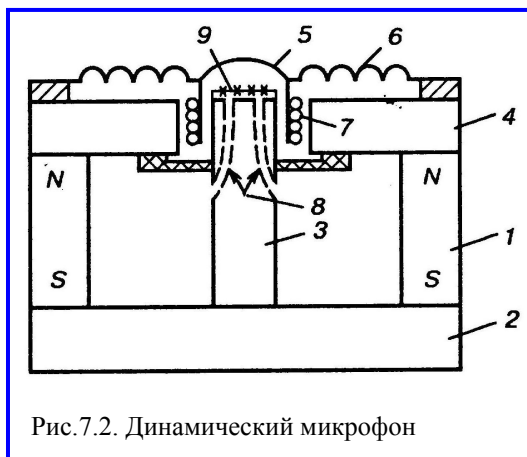


Рис.7.2. Динамический микрофон

электродинамический микрофон – приемник давления. Его упрощенная конструкция приведена на [рис.7.2](#). Магнитная система микрофона состоит из постоянного магнита цилиндрической формы 1 и магнитопровода, состоящего из нижнего круглого фланца 2, цилиндрического сердечника 3 и верхнего круглого фланца с центральным круглым отверстием. Между сердечником и верхним фланцем создается кольцеобразная магнитная щель, где магнитное поле имеет радиальное направление. Магнитная цепь изготавливается из материалов с очень высокой магнитной проницаемостью.

Подвижная система включает в себя очень легкую диафрагму 5 куполообразной формы. Крепится она к фланцу при помощи гофрированного воротника 6. С диафрагмой жестко связана катушка, находящаяся в радиальном магнитном поле. При колебаниях диафрагмы под действием звукового поля витки катушки пересекают магнитное поле и на зажимах катушки возникает ЭДС. Воздушные каналы 8 в сердечнике повышают чувствительность микрофона.

### 4.2.3. Основные характеристики микрофона

Катушечные динамические микрофоны обладают сравнительно большой неравномерностью частотной характеристики (до 15...20 дБ в рабочем диапазоне). Из-за очень малой массы подвижной системы частота механического резонанса очень высока, а нижняя граница обычно не ниже 300 Гц. Поэтому АЧХ имеет медленный подъем с низких частот до частоты резонанса. Усложнением конструкции микрофона можно расширить частотный диапазон до 50...10000 Гц.

Чувствительность микрофона тем выше, чем больше диаметр диафрагмы, больше число витков катушки и больше магнитная проницаемость магнитной системы. В то же время, чем больше диаметр диафрагмы, тем ниже верхняя граничная частота. Верхний предел определяется отношением диаметра диафрагмы к длине волны звука. Увеличение этого отношения является причиной спада АЧХ на высоких частотах. Микрофон перестает принимать звуковые колебания, когда длина волны становится равной диаметру диафрагмы. Для расширения частотного диапазона динамических микрофонов их мембрана делается как можно меньшего диаметра, при этом, естественно, существенно снижается чувствительность. Применяются эти микрофоны в основном для речи. Для записи музыкальных передач используются только широкополосные динамические микрофоны (50...15000 Гц).

### 4.2.3. Чувствительность микрофона

Чувствительность связывает напряжение (в милливольтках) на выходе микрофона и звуковое давление (в Паскалях) на его мембрану. Часто она измеряется в децибелах относительно напряжения 1 В. Динамические микрофоны имеют чувствительность около 2 мВ/Па, это минус 54 дБ, чувствительность электретных микрофонов значительно выше.

Измерение чувствительности, особенно в широком диапазоне частот, является очень серьезной проблемой, так как в принципе нет источников звуковых колебаний с равномерным звуковым давлением во всем звуковом диапазоне частот. Калибровка микрофонов производится только в специализированных лабораториях, это очень трудоемкая и длительная операция.

### 4.3. Измерение чувствительности методом взаимности

Идея метода измерения чувствительности микрофона методом взаимности базируется на использовании в качестве источника звуковых колебаний

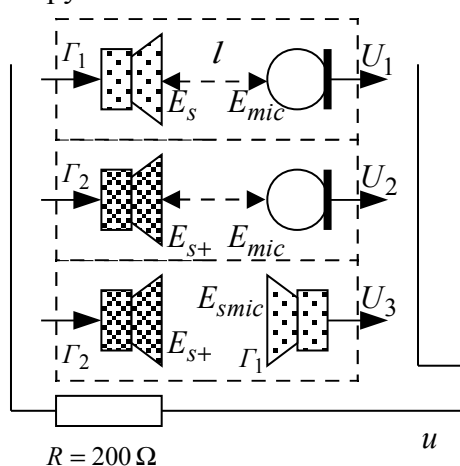


Рис.7.3. Схема измерения АЧХ микрофона методом взаимности

чувствительности микрофона..

Такая схема измерений приведена на рис.7.3. В этой схеме от генератора через усилитель мощности подается на вход схемы измерения напряжение  $u$  с частотой  $f$ .

Под действием этого напряжения при подключении громкоговорителей  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  через резистор  $R$  протекает один и тот же ток  $i$ . Для этого сопротивление  $R$  должно быть достаточно большим.

Составление системы уравнений с помощью этой схемы производится в три этапа. Сначала подключается громкоговоритель  $\Gamma_1$  и измеряется напряжение  $U_1$ . Затем подключается громкоговоритель  $\Gamma_2$  и измеряется напряжение  $U_2$ . На третьем этапе вместо микрофона подключается громкоговоритель  $\Gamma_1$  и измеряется напряжение  $U_3$ . В результате составляется система из трех уравнений

$$\begin{aligned} U_1 &= i \cdot E_s \cdot E_{mic} \\ U_2 &= i \cdot E_{s+} \cdot E_{mic} \\ U_3 &= i \cdot E_{s+} \cdot E_{smic} \end{aligned} \quad (3)$$

В этой системе 4 неизвестных, но с помощью равенства (2) система приводится к виду

$$\begin{aligned} U_1 &= i \cdot E_s \cdot E_{mic} \\ U_2 &= i \cdot E_{s+} \cdot E_{mic} \\ U_3 &= i \cdot E_{s+} \cdot E_s \cdot \frac{2 \cdot r}{\rho \cdot f} \end{aligned} \quad (4)$$

Решение системы имеет вид

$$E_{mic} = \sqrt{\frac{2 \cdot r \cdot U_1 \cdot U_2}{\rho \cdot f \cdot U_3 \cdot i}} \quad (5)$$

Для практической реализации этой схемы измерения постоянство тока независимо от частоты можно обеспечить, используя генератор тока, или включая последовательно с катушкой громкоговорителя резистор, сопротивление которого существенно больше сопротивления катушки на частоте механического резонанса. Большие ошибки могут внести шумы помещения, поэтому желательно измерения проводить в заглушенной камере.

Частотный диапазон используемых громкоговорителей не должен быть уже частотного диапазона микрофона, так как если даже один из громкоговорителей не излучает в каком либо участке частотного диапазона, то, как видно из формулы (5) измеренная чувствительность будет равна 0 или бесконечности.

Равенство (5) определяет чувствительность микрофона на одной частоте. Измерение частотной характеристики обычно производится на частотах треть октавного ряда, поэтому в звуковом диапазоне приходится использовать до 30 частот и на каждой частоте выполнять по три измерения. Очень длительная и трудоемкая операция. Применяемые при измерении АЧХ громкоговорители обычно имеют крайне неравномерную частотную характеристику. В не заглушенном помещении эта неравномерность становится еще больше из-за неизбежных отражений. Из-за этого даже небольшая ошибка в установке частоты тестового сигнала может приводить к очень большим погрешностям измерения АЧХ микрофона.

Программа SpectraLab предоставляет возможность осуществлять измерение АЧХ микрофона методом взаимности с помощью сигнала розового шума с применением усреднения в выбранной полосе частот: 1/12, 1/6, 1/3 или 1 октава. Это позволяет существенно снизить влияние неравномерности АЧХ используемых громкоговорителей и акустического шума помещения на результаты измерений.







Если используется логарифмическая шкала амплитуд и октавная шкала частот, то формула (5) в векторной форме принимает вид

$$E_{fdB} = 10 \lg K + 10 \lg K_{ac} - 10 \lg f_c + 0,5U + 0,5V - 0,5W \quad (6)$$

где  $E_{fdB}$  – вектор АЧХ микрофона,  $K = \frac{2l}{\rho \cdot i}$  – постоянное слагаемое,  $l = 0,01$  м,  $\rho = 1,23$  кг/м<sup>3</sup>,  $i = \frac{u}{R}$ ,  $u$  – напряжение на выходе усилителя,  $R = 200$  Ом,  $K_{ac}$  – коэффициент усиления звуковой карты (дБ),  $f_c$  – вектор средних частот полосы, в которой усредняется чувствительность микрофона,  $U$  – вектор уровней АЧХ Г1  $\Rightarrow$  микрофон,  $V$  – вектор уровней АЧХ Г2  $\Rightarrow$  микрофон,  $W$  – вектор уровней АЧХ Г2  $\Rightarrow$  Г1. В программе SpectraLab средние частоты полос шума и векторы уровней АЧХ представляются в виде таблиц и сохраняются в виде текстовых файлов с расширением .txt

## 5. Порядок выполнения лабораторной работы

### 5.1. Функции кнопок управления:

- кнопкой с пиктограммой  осуществляется автоматическая установка пределов измерения по вертикальной оси шкалы анализатора спектра, фазометра или осциллографа
- кнопкой с пиктограммой  устанавливается частотный диапазон шкалы от 1 Гц до частоты Найквиста
- кнопкой с пиктограммой  вызывается маркер, которым устанавливается желаемый частотный диапазон шкалы
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются тонкими линиями
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются вертикальными линиями или столбиками
- кнопкой с пиктограммой  открывается меню анализатора спектра, фазометра или осциллографа, в котором вводятся необходимые опции.
- кнопкой **Run** включаются все измерительные приборы
- кнопкой **Stop** выключаются все измерительные приборы и запоминаются результаты измерений
- в меню **Avg** задается число усредняемых результатов измерения
- в окошке **Peak Hold** включается функция удержания пиковых значений напряжения

### 5.2. Исходные данные для расчетов:

Ориентировочная чувствительность микрофона  $h = 2$  мВ/Па (минус 54 дБ).

Коэффициент усиления микрофонного усилителя  $K_{ma} = 44$  (33дБ).

Фактическое расстояние между микрофоном и громкоговорителем  $l = 0,01$  м.

Плотность воздушной среды  $\rho = 1,23$  кг/м<sup>3</sup>

Ток через головку громкоговорителя  $i = 50$  мА

Среднеквадратическое значение напряжения сигнала с уровнем 0 дБ на линейном входе звуковой карты  $U_0 = 1$  В(rms).

### 5.3. Подготовка к измерениям

Конфигурация схемы измерения частотной характеристики громкоговорителя и ввод необходимых опций производится с помощью загрузочного файла **LR-7.AD.cfg**. На экран монитора вызываются окно программа SpectraLab и окно анализатора спектра. Микрофон размещается по оси громкоговорителя на расстоянии примерно 10 см.

В лабораторной работе измеряется АЧХ микрофона методом взаимности с помощью программы SpectraLab. При данном методе измерения используются две динамические головки громкоговорителя (Г1 и Г2) одного типа, испытуемый микрофон (М) и макет, на котором студентами собираются три схемы измерений. При измерении АЧХ громкоговорители подключаются к выходу усилителя мощности У через добавочный резистор с сопротивлением 200 Ом.

Все измерения АЧХ производятся с использованием розового шума в октавной шкале частот в диапазоне 63..20000 Гц.

1. С помощью испытуемого микрофона М измеряется АЧХ громкоговорителя Г1, которая сокращенно обозначается как U и сохраняется в памяти компьютера в виде текстового файла **U.txt**.
2. С помощью испытуемого микрофона М измеряется АЧХ громкоговорителя Г2, которая сокращенно обозначается как V и сохраняется в памяти компьютера в виде текстового файла **V.txt**.
3. С помощью громкоговорителя Г1, используемого в качестве микрофона, измеряется АЧХ громкоговорителя Г2, которая сокращенно обозначается как W и сохраняется в памяти компьютера в виде текстового файла **W.txt**.

Далее эти три файла в виде таблиц вводятся в файл программы MathCad, в которой по ним рассчитывается и строится график АЧХ микрофона. Расчет АЧХ производится по формуле


$$E_{fdB} = 10 \lg K + K_{ac} - 10 \lg f_c + 0,5U + 0,5V - 0,5W$$


где  $E_{fdB}$  – вектор АЧХ микрофона,  $K = \frac{2l}{\rho \cdot i}$  – постоянное слагаемое,  $K_{ac}$  – коэффициент

усиления звуковой карты (дБ),  $f_c$  – вектор (таблица) средних частот полосы, в которой усредняется чувствительность микрофона,  $U$  – вектор (таблица) уровней АЧХ Г1  $\Rightarrow$  микрофон,  $V$  – вектор (таблица) уровней АЧХ Г2  $\Rightarrow$  микрофон,  $W$  – вектор (таблица) уровней АЧХ Г2  $\Rightarrow$  Г1. Вычисления осуществляются по правилам матричного анализа по специальной программе MathCad

- Включите компьютер
- Включите питание громкоговорителя (тумблер питания находится на задней стенке)
- Скопируйте с рабочего стола файл «Отчет LR-7 AD» на свою флешкарту, дайте ему свое имя в виде: «Группа»\_ «Фамилия (работавшего на клавиатуре)»\_ «Номер ЛР»\_ «Дата».
- Откройте этот файл и сверните его окно.


В файл этого отчета вы будете копировать все экспериментальные графики, и заносить в таблицы отчета результаты измерений сразу в процессе их получения. В день выполнения лабораторной работы отчет в электронном виде необходимо сдать преподавателю, только тогда работа считается выполненной.

- Кнопкой с пиктограммой  откройте окно программы **SpectraLab**. Не меняйте размеры этого окна, они согласованы с Вашим отчетом
- Сделайте обязательные установки в микшере **Play Control**

Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте его окно. Затем после команд **Параметры  $\Rightarrow$  Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Воспроизведение**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Play Control**, **Wave (Звук)** и **Line in**, по команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором включите первые два регулятора и поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы. Регулятор **Line in** **обязательно выключите**. После этого окно микшера можно свернуть или вообще закрыть.

- Сделайте обязательные установки в микшере **Record Control**



Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте окно микшера **Play Control**. Затем после команд **Параметры**  $\Rightarrow$  **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Запись**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Microphone** и **Line in**. По команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы.

- Курсором сначала включите регулятор **Microphone**, затем переключите в режим **Line in**

Измерения производятся при достаточно высокой громкости звука, поэтому старайтесь, чтобы длительность каждого измерения не превышала 10...30 секунд. Соблюдайте полную тишину в течение этого времени.

## 5.4. Измерение частотных характеристик U, V и W

- Загрузите файл **LR-7.AD.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения настоящего раздела лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-7. AD.cfg**.

Следующие четыре пункта, выделенные курсивом, выполняются автоматически при загрузке файла, **LR-7.ADcfg**, необходимо проверить, что эти установки выполнены

- В меню ***Avg*** устанавливается число усреднений – ***infinite***.
- В меню генератора выбирается сигнал ***Pink Noise***.
- В меню ***Options*** в окне ***Scaling Control*** выбирается частотная шкала с усреднением в интервале 1 октава

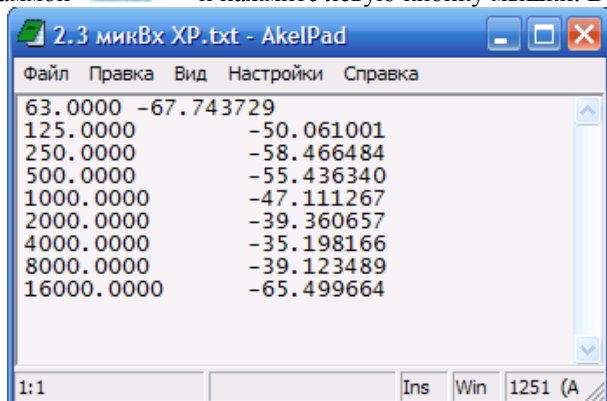
### 5.4.1. Измерение частотной характеристики U

- Соберите на макете измерительную схему U (громкоговоритель Г1 и микрофон М).
- По команде **Run** начните измерение АЧХ громкоговорителя Г1 - U. Через 20...40 с, когда график на экране дисплея перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений, командой **Set** сохраните график АЧХ в одной из ячеек памяти
- Сохраните график частотной характеристики в виде текстового файла **U.txt**. (рис.7.4)

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **“Copy as a Text”**. Направьте курсор на кнопку с



пиктограммой и нажмите левую кнопку мышки. В открывшемся меню WordPad



2.3 микВх ХР.txt - AkelPad

Файл	Правка	Вид	Настройки	Справка
63.0000	-67.743729			
125.0000	-50.061001			
250.0000	-58.466484			
500.0000	-55.436340			
1000.0000	-47.111267			
2000.0000	-39.360657			
4000.0000	-35.198166			
8000.0000	-39.123489			
16000.0000	-65.499664			

1:1      Ins    Win    1251 (A)

Рис.7.4. Фрагмент таблицы данных АЧХ

вставьте Ваш файл в виде таблицы, выделите и удалите строки таблицы выше 63 Гц. Нажмите кнопку **Файл**, в выпадающем меню выберите **Safe As** (сохранить как), в появившемся меню ука

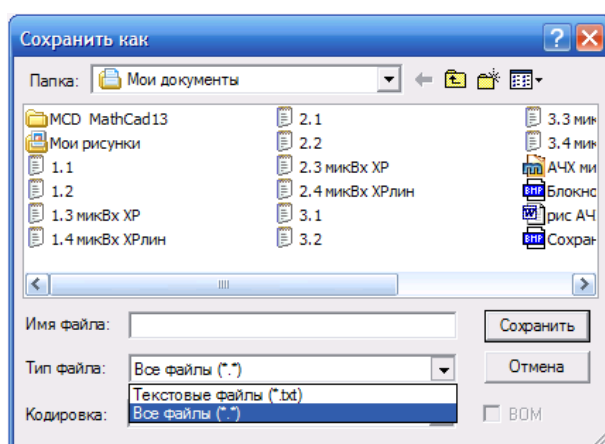


Рис.7.5. Сохранение 3 таблиц данных АЧХ

жите папку, где сохранить файл (Документы), в окне **Тип файла** выберите **Текстовые файлы**, и сохраните файл под именем **U** (рис.7.5).

#### 5.4.2. Измерение частотной характеристики V

- Соберите на макете измерительную схему V (громкоговоритель Г2 и микрофон М).
- По команде **Run** начните измерение АЧХ. Через 20...40 с, когда график на экране дисплея перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений, командой **Set** сохраните график АЧХ в одной из ячеек памяти
- Сохраните график частотной характеристики в виде текстового файла **U.txt**.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **Copy as a Text**. Направьте курсор на кнопку с



пиктограммой **Блокнот** (Блокнот, WordPad...) и нажмите левую кнопку мышки. В открывшемся окне, используя левую и правую кнопки мышки, вставьте Ваш файл в виде таблицы в виде двух колонок (частота и уровень), выделите и удалите строки таблицы выше 63 Гц. Нажмите кнопку **Файл**, в выпадающем меню выберите **Safe As** (сохранить как), в появившемся окне укажите папку, где сохранить файл (Документы), в окошке **Тип файла** выберите **Текстовые файлы**, и сохраните файл под именем V.

#### 5.4.3. Измерение частотной характеристики W

- Соберите на макете измерительную схему W (громкоговоритель Г2 и в качестве микрофона громкоговоритель Г1).
- По команде **Run** начните измерение АЧХ. Через 20...40 с, когда график на экране дисплея перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений, командой **Set** сохраните график АЧХ в одной из ячеек памяти.
- Сохраните график частотной характеристики в виде текстового файла **W.txt**.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **Copy as a Text**. Направьте курсор на кнопку с



пиктограммой **Блокнот** (Блокнот, WordPad...) и нажмите левую кнопку мышки. В открывшемся окне, используя левую и правую кнопки мышки, вставьте Ваш файл в виде таблицы, выделите и удалите строки таблицы выше 63 Гц. Нажмите кнопку **Файл**, в выпадающем меню выберите **Safe As** (сохранить как), в появившемся окне укажите папку, где сохранить файл (Документы), в окошке **Тип файла** выберите **Текстовые файлы**, и сохраните файл под именем W.

- Скопируйте графики частотных характеристик U, V и W (рис.7.6) в файл вашего отчета.

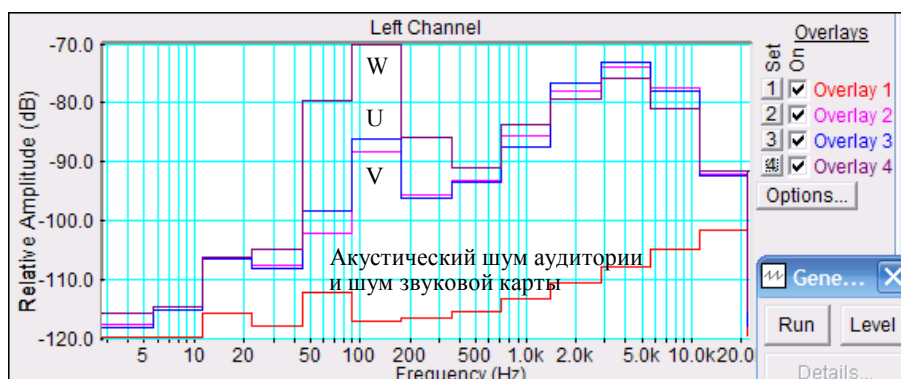


Рис.7.6. АЧХ функций W, U и V

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Copy as a bitmap”. Откройте файл вашего отчета LR-7 и вставьте в него график, подпишите название рисунка.

#### 5.4.4. Закройте окно программы SpectraLab

### 5.5. Расчет и построение графика АЧХ микрофона в программе MathCad



- Кнопкой с пиктограммой «АЧХ микрофона» откройте окно файла программы MathCad

5.5.1. Введите таблицу данных АЧХ микрофона текстового файла **U.txt** в открытый файл программы MathCad

- В окне программы MathCad направьте курсор на таблицу ранее введенных данных **U**, выделите ее и удалите
- В меню **Insert** выделите **Component**, в выпадающем меню выберите **Data Import Wizard** и нажмите кнопку **Next**
- В окне **Data Import Wizard** в меню **File Format** выберите **Delimited Text** и нажмите кнопку **Browse**
- В появившемся окне **Документы** выберите и откройте ваш файл **U-** на экране появляется таблица данных АЧХ **U**. Направьте курсор на пустое место названия таблицы, с клавиатуры введите ее имя **U**.

5.5.2. Введите таблицу данных АЧХ микрофона текстового файла **V.txt** в открытый файл программы MathCad. Повторите операции по п.5.5.1

5.5.3. Введите таблицу данных АЧХ микрофона текстового файла **W.txt** в открытый файл программы MathCad.. Повторите операции по п.5.5.1. и тогда на графике появляется рассчитанная АЧХ микрофона (рис.7.7).

На этом графике используется октавная шкала частот и 0 соответствует частота 62,5 Гц. В этой шкале частота определяется равенством

$$F = 62,5 \cdot 2^y \text{ Гц}$$

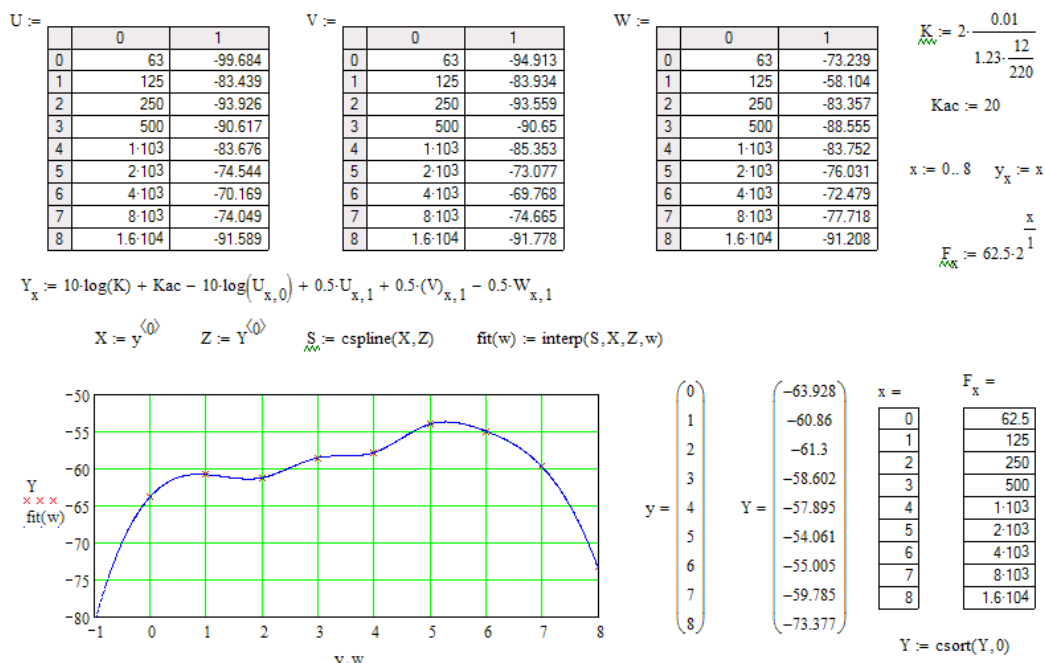


Рис.7.7. Программа MathCad расчета АЧХ микрофона

## • 5.

5.5.4.Скопируйте график рассчитанной частотной характеристики микрофона (рис.7.8) в файл вашего отчета.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Сору ”. Откройте файл вашего отчета LR-7 и вставьте в него график, подпишите название рисунка.

5.5.5.По заданной неравномерности АЧХ микрофона 10 дБ по графику АЧХ

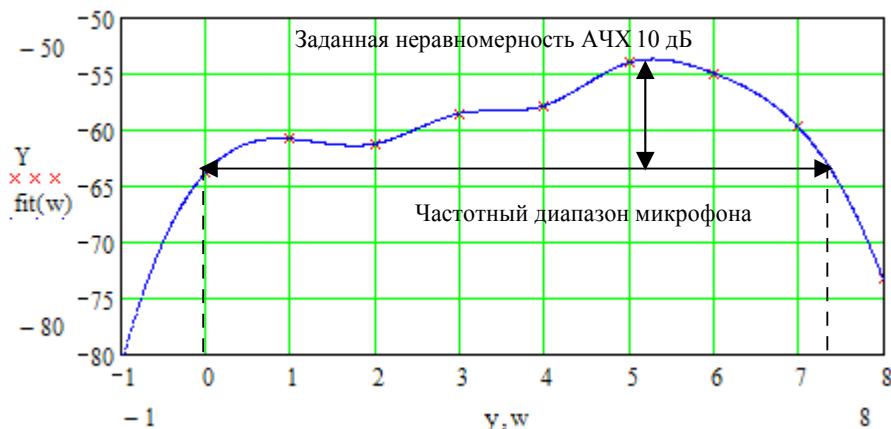


Рис.7.8. Измеренная АЧХ микрофона

определите частотный диапазон микрофона, выделите его на графике.

Для этого на графике АЧХ микрофона в Вашем отчете проведите горизонтальную линию ниже максимального значения АЧХ на 10 дБ. Из точек пересечения этой линии с АЧХ опустите на шкалу частот вертикальные линии, это будут верхняя и нижняя границы диапазона. Рассчитайте их по приведенной выше формуле. На приведенном рисунке нижняя граничная частота  $y = 0$  ( $F = 63$  Гц), верхняя граничная частота  $-y = 7,2$  ( $F = 9200$  Гц).

## 6.Контрольные вопросы.

21. Дайте определение термину «чувствительность микрофона».

22. В каких абсолютных и относительных единицах измеряется чувствительность микрофона.
23. Перечислите основные типы микрофонов
24. Принцип работы динамического микрофона
25. Устройство динамического микрофона
26. Как зависит чувствительность динамического микрофона от размера его мембраны
27. Как зависит частотная характеристика динамического микрофона от размера его мембраны
28. Что понимается под термином «обратимые» электромеханические преобразователи
29. В чем заключается принцип взаимности
30. В чем заключается идея измерения АЧХ методом взаимности, каковы требования к используемым при измерениях динамическим головкам громкоговорителей

## **7. Содержание отчета**

- 7.1. Титульный лист
- 7.2. Цель работы
- 7.3. Задание к лабораторной работе
- 7.4. Функциональная схема измерений
- 7.5. Результаты измерений в виде графиков
- 7.6. Таблицы с результатами измерений и расчетов
- 7.7. Выводы по результатам измерений

## **8. Литература**

Вологдин Э.И. Основы электроакустики. Методическое пособие. ГУТ, 2008.