

АРТА

Программа для
Измерение импульсного отклика и
Анализ спектра и частотной характеристики в реальном времени

Руководство пользователя

Версия 1.9.3

Иво Мательян

Арталабс
Я. Родина 4,
21215 Кагель Лукшич, Хорватия

Ноябрь 2019 г.

Copyright © Иво Мательян, 2004–2019. Все права защищены.

Содержание

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| 1,1 р.ТРЕБОВАНИЯ..... | 6 |
| 1.1.1 Звуковые карты..... | 6 |
| 1,2 МизмерениеСЭТУП..... | 8 |
| 1,3 АФПервыйТой..... | 12 |
| 1,4 АудиоЧАСАппаратное ОбеспечениеСЭТУП..... | 14 |
| 1.4.1 Настройка аудиодрайвера WDM для Windows XP..... | 15 |
| 1.4.2 Настройка аудиодрайвера WDM для Windows Vista / 7 / 8 / 10..... | 17 |
| 1.4.3 Настройка драйвера ASIO..... | 19 |
| 1,5 Салибрация..... | 20 |
| 1.5.1 Калибровка левого канала выхода звуковой карты..... | 21 |
| 1.5.2 Калибровка входных каналов звуковой карты..... | 21 |
| 1.5.3 Калибровка микрофона..... | 22 |
| 1.5.4 Компенсация частотной характеристики..... | 22 |
| 1,6 р.ОТАТИНГТУРНТАБЛЕДРЕКАСЭТУП..... | 23 |
| 1.6.1 Внешний драйвер файла .exe..... | 24 |
| 1.6.2 Внутренний драйвер для проигрывателя Outline ET 250-3D..... | 24 |
| 1.6.3 Тестирование драйвера проигрывателя..... | 24 |
| 1,7 ГЭТТИНГМАГЫГРАФЫ ИВТИНДОС..... | 25 |
| 2 АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА..... | 27 |
| 2.1 Тестирование звуковой карты..... | 27 |
| 2,2 ТонСПЕКТРЭСТИМУАЦИЯПРОЦЕДУРА..... | 31 |
| 2.2.1 Усреднение спектра..... | 33 |
| 2.2.2 Окно сигналов..... | 34 |
| 2.2.3 Настройка графика спектра..... | 35 |
| 2.2.4 Настройка цветов графика и стиля сетки..... | 36 |
| 2,3 ФЧастотАррАзрЕшениеДПФИОстАве-БиАнализЕры..... | 37 |
| 2,4 среднеквадратичное значение лэвел..... | 40 |
| 2,5 ТонТМерЭКорД..... | 41 |
| 2,6 МмониторингСПЕКТРЫВтиДеБАНДСигНАлы..... | 43 |
| 2,7 ТлонпЭриодичныйНуаЗа..... | 45 |
| 2,8 Тотдых сТВоСинеСзАжигАНИЕ..... | 47 |
| 2.8.1 Определения интермодуляционных искажений..... | 48 |
| 2,9 ТонМультиТонТотдых..... | 50 |
| 2,10 МмониторингМизмерениеДдинаМика..... | 51 |
| 2,11 СПЕКТРОВЕРЛЕЙ..... | 51 |
| 2,12 ССИГНАЛЫ ГЕНЕРАТОРА В А.WAV-ФАЙЛ..... | 53 |
| 3 ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТНОЙ АЧХ | 54 |
| 3,1 ЛТИ Инпут/ Овыходные отношения..... | 54 |
| 3,2 ДуалСханнельСсистема СнепрерывныйНуаЗаЭвозбУждение..... | 56 |
| 3,3 ДуалСханнельСсистема спЭриодичныйНуаЗаЭвозбУждение..... | 57 |
| 3,4 СинглСханнельСсистема дляФчастотАрэспонсеЭСТИМУАЦИЯ..... | 59 |
| 4 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ..... | 60 |
| 4,1 ЕдСЭряинтерфейс длярЭал-ТимЕМизмерениеФчастотАрэспонсе..... | 60 |
| 4,2 Ддинамическийранж вФчастотАрэспонсеМразмеры..... | 63 |
| 4,3 ФРнакладки..... | 66 |
| 4,4 ГЭТТИНГампульсрответ отМизмереноФчастотАрэспонсе..... | 67 |
| 4,5 СсистемаДэлайЭСТИМУАЦИЯ..... | 70 |
| 4,6 ПИР Филес..... | 71 |
| 4.6.1 Формат файла PIR..... | 71 |
| 4.6.2 Экспорт и импорт файлов PIR..... | 73 |
| 4.6.3 Экспорт (пространственной группы) частотных характеристик..... | 74 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5 ИЗМЕРЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛА..... | 75 |
| 5.1 ЯмпульсрэспонсеМизмерение спЭриодичныйНУазаЭвозбуждение..... | 75 |
| 5.2 ЯмпульсрэспонсеМизмерение сСВЕРТ-синусЭвозбуждение..... | 77 |
| 5.3 ЯмпульсрэспонсеМизмерение сМЛС Евозбуждение..... | 79 |
| 5.4 ЯмпульсрэспонсеМизмерение сЭВнешнийЭвозбуждение иТнастроенныйрзапись..... | 81 |
| 5,5 ТнастроенныйСзажиганиерзапись..... | 82 |
| 5.5.1 Регистрация триггерного сигнала с внешним возбуждением и оценкой спектра | 82 |
| 5.5.2 Запись триггерного сигнала с внутренним сигналом и генерация триггера..... | 84 |
| 5,6 BASICЭдайтингппроцедуры..... | 85 |
| 6 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НА основе ИМПУЛЬСНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ..... | 87 |
| 6,1 Гатедямипульс иФчастотарэспонсе..... | 87 |
| 6.1.1 Стробруемая импульсная характеристика..... | 87 |
| 6.1.2 Стробированная частотная характеристика | 90 |
| 6.1.3 Минимальная фаза, групповая задержка и искажение точки пересечения фазы..... | 93 |
| 6.1.4 Управление наложениями | 94 |
| 6.1.5 Редактирование сглаженной частотной характеристики..... | 96 |
| 6.1.6 Масштабирование дифракции низкочастотного громкоговорителя..... | 97 |
| 6.1.7 Повторное измерение | 98 |
| 6.1.8 Одновременное измерение частотной характеристики и гармонических искажений | 98 |
| 6,2 Сответ тЭп..... | 101 |
| 6,3 ЯмпульсрэспонсеЭнvelope(ETC – ЕнергияTIMECURVE)..... | 102 |
| 6,4 Сумулятивсспектр..... | 104 |
| 6.4.1 Кумулятивный спектральный распад..... | 104 |
| 6.4.2 Кратковременное преобразование Фурье..... | 108 |
| 6,5 БурстДесау с ПЕРИОДИЧНОЙ ШКАЛОЙ ВРЕМЕНИ..... | 110 |
| 6.5.1 Классическое тестирование синусоидальных импульсов..... | 110 |
| 6.5.2 Важность временной шкалы, основанной на периоде..... | 110 |
| 6.5.3 Вейвлет-анализ для быстрой оценки огибающих затухания всплесков..... | 111 |
| 6.5.4 Процедура получения графика затухания всплеска..... | 112 |
| 6.5.4 Сравнение графиков затухания всплесков и графиков CSD..... | 114 |
| 6.5.5 Частотно-временное разрешение | 116 |
| 7 ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЯ..... | 117 |
| 7.1 ИСО 3382 ПАРАМЕТРЫ..... | 117 |
| 7,2 АкустикаЭнергияДесау..... | 124 |
| 7,3 СПАЦИАЛЬНЫЙАкустикаПАРАМЕТРЫ..... | 127 |
| Ранние измерения латеральной энергии | 127 |
| Межушная кросс-корреляция – IACC | 127 |
| Измерение пространственных параметров..... | 128 |
| Оценка пространственных параметров по ранее измеренным импульсным характеристикам | 130 |
| 8 РАЗБОРЧИВОСТЬ РЕЧИ..... | 131 |
| 8.1 МТФ – МодуляцияТРАНСФЕРФПоезание..... | 131 |
| 8.2 СТИ-СпичтПЕРЕДАЧАЯНДЭКС..... | 133 |
| 8.2.1 Как стандарт IEC определяет STI | 133 |
| 8.2.2 Измерение STI для неусиленного речевого сигнала..... | 135 |
| 8.2.3 Измерение STI усиленного речевого сигнала..... | 142 |
| 8.2.4 Измерение СТИ на больших расстояниях..... | 143 |
| 8.3 НТИи%АЛминусы..... | 143 |
| 9 ИНСТРУМЕНТОВ..... | 145 |
| 9,1 ДнаПРАВЛЕННОСТЬПАТТЕРНС..... | 145 |
| 9.1.1 Основные определения | 145 |
| 9.1.2 Типы диаграмм направленности в ARTA..... | 145 |
| 9.1.3 Создание диаграмм направленности в ARTA..... | 149 |
| 9.14 Формат файлов DPF | 154 |
| 9.15 Автоматическая регистрация пространственной группы импульсных реакций..... | 154 |
| 9.16 Экспорт (пространственной группы) частотных характеристик..... | 156 |
| 9.2 ЯинТЕГРАЦИЯСПЛ МРАЗМЕРЫ иДАТАЛОГИНГ..... | 158 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.2.1 Основные определения интегрирующего измерителя звукового давления..... | 158 |
| 9.2.2 Работа с ARTA SPL-Meter..... | 161 |
| 9,3 ОСТАВЕБИСПЛ МЭТЕР и НУАЗАРАТИНГ..... | 164 |
| Уровень шума в зданиях..... | 167 |
| 9,4 ТХИРДОСТАВЕБИСПЛИЛНАРУЖНОСТЬМЭТЕР..... | 171 |
| Модель громкости Цвикаера..... | 174 |
| 9,5 ТХИРДОСТАВЕСПЛИЛНАРУЖНОСТЬТІМЕРЭКОРД..... | 175 |
| 9,6 ТВО-КАНАЛВОЛТАЖЛЭВЕЛМЭТЕР и ТХИРДОСТАВЕАНАЛИЗЕР..... | 177 |
| ЛИТЕРАТУРА | 180 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ – МЕНЮ, ПАНЕЛИ ИНСТРУМЕНТОВ И ЯРЛЫКИ..... | 183 |

1. Введение

ARTA — это программа для измерения импульсной характеристики, анализа спектра в реальном времени и измерения частотной характеристики в реальном времени. Это инструмент для акустических измерений и «точечного» тестирования качества звука в системах связи.

ARTA имеет функции следующих измерительных систем:

1. Система измерения импульсной характеристики с генераторами сигналов: периодический белый шум, периодический розовый шум, MLS, линейный и логарифмический синусоидальный сигнал.
2. Двухканальный анализатор Фурье с генераторами сигналов: белого шума, розового шума, периодического белого шума и периодического розового шума.
3. Одноканальный анализатор Фурье с генераторами сигналов: периодический белый шум и периодический розовый шум.
4. Анализатор спектра, октавной полосы и КНИ с генераторами сигналов: синусоидальный, двухсинусоидальный, многотональный, белый шум, розовый шум, периодический белый шум и периодический розовый шум.
5. Триггерная область хранения с анализом стробируемого спектра и кратковременным преобразованием Фурье.
6. Двухканальный измеритель уровня напряжения и третьоктавный анализатор.

Примечание: Режимы 2 и 3 также можно использовать для оценки импульсной характеристики.

С калиброванным микрофоном ARTA можно использовать в качестве виртуального измерителя звукового давления IEC класса 1 с режимами реального времени:

1. Интеграция измерителя SPL с 24-часовой регистрацией данных,
2. Измеритель октавного уровня звукового давления с рейтингом шума (NR, NC, PNC, RC, NCB),
3. Измеритель звукового давления третьей октавы с отчетом об определенной громкости, громкости в Sone и уровне громкости в телефоне.

ARTA также является мощным анализатором:

1. Стробированная частотная характеристика,
2. Сглаженная АЧХ (в 1/n-октавных полосах),
3. Переходный процесс,
4. Огибающая импульсной характеристики (ETC – кривая),
5. Кумулятивный спектр, водопадные кривые и сонограммы затухания всплеска,
6. Распад энергии в ревербирующей среде,
7. Акустические параметры помещения
8. Показатели разборчивости речи: MTF, STI, RASTI, %AL.
9. Диаграмма направленности громкоговорителя

1.1 Требования

Требования для использования программного обеспечения ARTA:

- Операционные системы: Windows XP/Vista/7/8/10.
- Класс процессора Pentium, тактовая частота 1 ГГц или выше, объем памяти 256 МБ для Windows XP или 2 ГБ для Vista/Windows 7/8/10.
- Полнодуплексная звуковая карта с синхронными часами для AD и DA преобразователей
- Драйвер звуковой карты WDM или ASIO (ASIO — торговая марка и программное обеспечение Steinberg Media Technologies GmbH).

Установка этого программного обеспечения проста: возьмите программу установки ARTA и запустите ее или просто скопируйте файлы «ARTA.exe» и «ARTA.chm» в какую-нибудь папку и создайте ярлык для «ARTA.exe». Все данные реестра будут сохранены автоматически при первом запуске программы.

Файлы с расширением **«.ПИР»** зарегистрированы для открытия с помощью ARTA. Они содержат данные периодической импульсной характеристики (PIR) или записи времени сигнала. Результаты других типов измерений (частотная характеристика и спектр) могут быть сохранены в файле в формате ASCII или в виде наложения. ARTA может экспортировать и импортировать файлы в различных форматах (.wav, .tim и .txt).

ARTA не выгружает графики на принтер, вместо этого все графики можно скопировать в буфер обмена и вставить в другие приложения Windows или сохранить в виде графических файлов (.bmp, .png).

Windows рассматривает стандартный дисплей компьютера как устройство с разрешением 96 точек на дюйм (точек на дюйм). Многие современные дисплеи имеют более высокое разрешение DPI, и Windows может рассматривать их как устройства с разрешением от 96 до 300 DPI, позволяя пользователю настраивать масштабирование дисплея от 100% до 300%. Если изменения в разрешении на дюйм не реализованы в приложении должным образом, Windows масштабирует размер графики приложения путем грубого масштабирования растрового изображения окна приложения. Начиная с версии 1.9.2 программное обеспечение ARTA «совместимо с высоким разрешением», что означает, что настройки DPI при запуске Windows определяют размер элементов окна ARTA. Если пользователь Windows изменит масштаб отображения, потребуются перезагрузка или повторный вход в систему, и ARTA примет новую настройку DPI во всех графических операциях.

1.1.1 Звуковые карты

ARTA успешно используется со всеми звуковыми картами, имеющими драйвер WDM или ASIO.

Совместимость с различными версиями операционной системы зависит от драйвера.

Звуковые карты делятся на три группы:

- стандартные звуковые системы, встроенные в материнскую плату компьютера,
- дополнительные звуковые карты для шины PCI или ISA,
- звуковые системы, подключаемые к компьютеру через интерфейс USB или Firewire.






| XLR-мама | XLR – мужской | TPC 6,3 мм и 3,5 мм | ТС 6,3мм и 3,5 мм | РКА |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |
| контакт 1 – земля контакт 2 - плюс контакт 3- минус | контакт 1 - земля контакт 2 - плюс контакт 3- минус | Т (наконечник) – плюс R (кольцо) – минус S (гильза) – земля | Т (наконечник) – плюс S (гильза) – заземление | булавка - плюс охранник - земля |
| сбалансированный микрофонные кабели | сбалансированный микрофонные кабели | балансные кабели или несбалансированное стерео кабели | несбалансированные кабели (коаксиальный кабель) | несбалансированный кабели (коаксиальный кабель) |

Таблица 1.1 Разъемы и кабели, используемые в аудиосистемах

В зависимости от целевой группы пользователей звуковые карты различаются по типу входных/выходных разъемов и необходимой кабельной разводке. Основные характеристики разъемов и кабелей приведены в таблице 1.1.

- В стандартных звуковых картах ПК используются стереокабели и разъемы mini-TRS (рис. 1.1).
- Полупрофессиональные звуковые карты высокого качества используют разъемы RCA и несимметричные соединения (рис. 1.2).
- В профессиональных звуковых картах используются разъемы TRS 6,3 мм для балансного подключения, разъемы TS 6,3 мм для несимметричного подключения и разъемы XLR (Cannon) для балансного подключения микрофона (рис. 1.3).

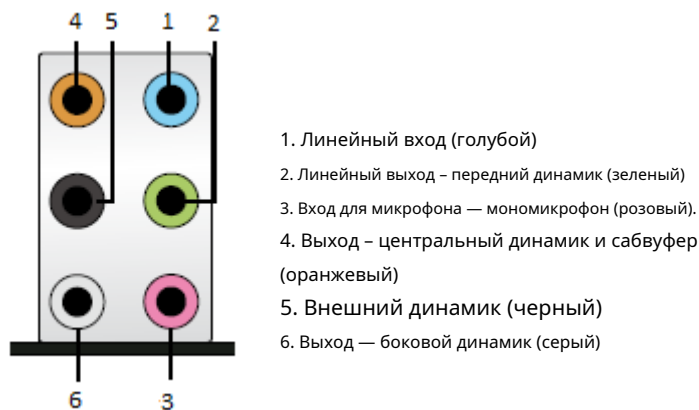


Рисунок 1.1 Аудиоразъемы на материнской плате ПК (пример для системы объемного звучания 5+1).

Стандартные стереосистемы ПК имеют три разъема (1, 2 и 3 на материнской плате). Аудиосистемы Surround 5+1 имеют три дополнительных разъема (4, 5 и 6 на материнской плате). Один из выходов предназначен для подключения наушников с номинальным сопротивлением 32 В. Для тестирования звуковой карты мы будем использовать шлейфовое соединение линейного входа (синий) и линейного выхода (зеленый) с помощью стереокабеля с разъемами mini-TRS. Входное сопротивление входа Line-In на большинстве звуковых карт ПК составляет 10-20 кОм.

На ноутбуках и ноутбуках обычно есть только выход для наушников и вход для микрофона. Эти системы не подходят для использования с ARTA, поскольку они не могут проводить измерения в двухканальном режиме, поскольку вход микрофона является моноканалом.

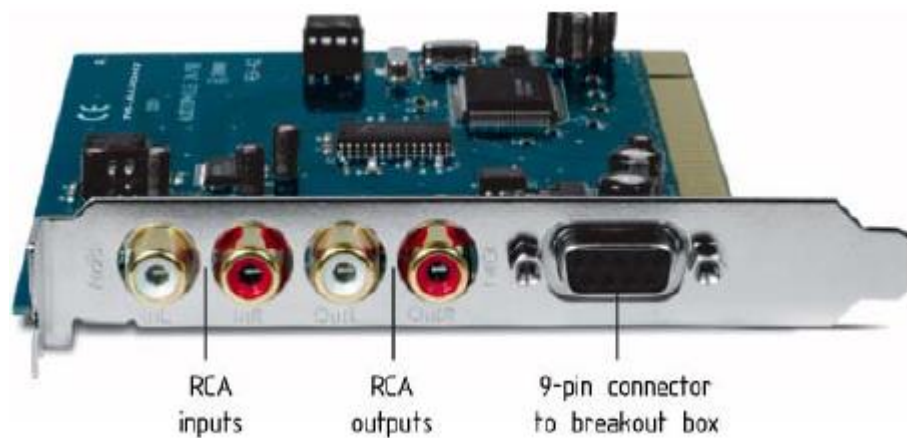


Рисунок 1.2 Карта PCI с разъемами RCA (например, Terratec EWX24/96 или M-Audio Audiophile 24/96). Имеются отдельные разъемы для левого канала (белого цвета) и правого канала (красного цвета).



Рисунок 1.3 Профессиональная звуковая система с интерфейсом Firewire, разъемами TRS и XLR.

На рис. 1.3 показан пример высококачественной профессиональной звуковой системы Firewire. На передней панели расположены два микрофонных входа XLR. В центре разъема XLR вставлен разъем TS. Он служит входом для музыкальных инструментов. Входное сопротивление приборного входа от 470 кОм до 1 МОм. Оба входа имеют регулятор громкости. Микрофонные входы можно переключить на фантомное питание, что обеспечивает подачу напряжения 48 В на контакты 2 и 3 микрофонного разъема XLR. Далее имеется общий регулятор громкости для регулировки выходного уровня и уровня входного монитора. Наконец, имеется регулятор громкости для наушников и стереоразъем TRS для наушников. На задней панели расположены два балансных входа, два балансных выхода, оптические разъемы SPDIF и два разъема Firewire.

1.2 Настройка измерения

В этом документе мы имеем в виду следующие настройки измерения:

1. Двухканальная установка измерения.
2. Настройка одноканального измерения.
3. Полу-двухканальная установка измерения.
4. Петля для тестирования звуковой карты

Общая схема измерения для тестирования системы показана на рис. 1.4. Левый канал линейного выхода звуковой карты используется как выход генератора сигналов. Левый линейный вход используется для записи выходного напряжения ИУ, а правый линейный вход используется для записи входного напряжения ИУ. При одноканальной настройке записывается только выходное напряжение ИУ. В полудвухканальной схеме правый линейный вход используется для измерения напряжения правого линейного выхода. При настройке обратной связи левый линейный выход подключается к левому линейному входу, а правый линейный выход подключается к правому линейному входу.

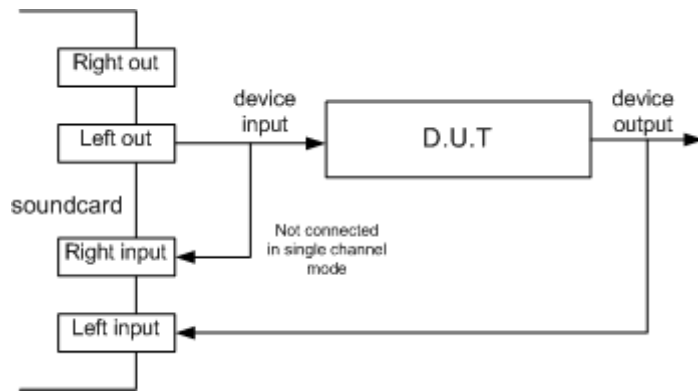


Рисунок 1.4Общая настройка измерений для тестирования реакции системы (DUT = тестируемое устройство)

Установки для акустических измерений показаны на рисунках 1.5, 1.6, 1.7 и 1.8.

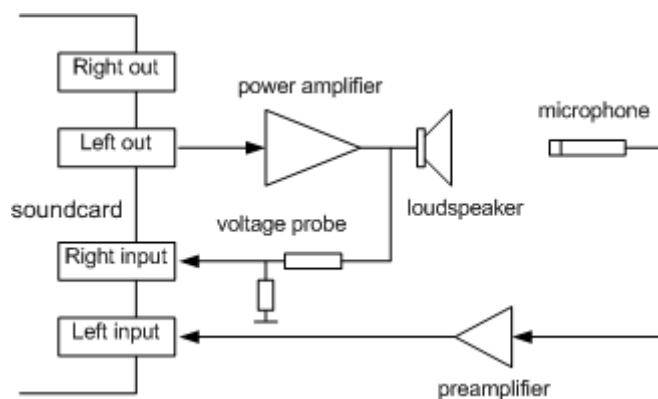


Рисунок 1.5Двухканальная измерительная установка для акустические измерения

Для защиты входа звуковой карты от высокого напряжения, которое может генерироваться усилителем мощности, рекомендуется использовать схему пробника напряжения, как показано на рис. 1.6. Номиналы резисторов R1 и R2 имеют выбираться для произвольного затухания (т.е. R1 = 8200 Ом и R2 = 910 Ом дает пробник с затуханием -20,7 дБ (0,0923), если звуковая карта имеет обычное входное сопротивление – 10 кОм).

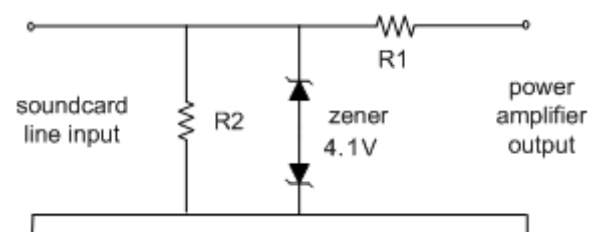


Рисунок 1.6Пробник напряжения с входным каналом звуковой карты защита от перегрузки

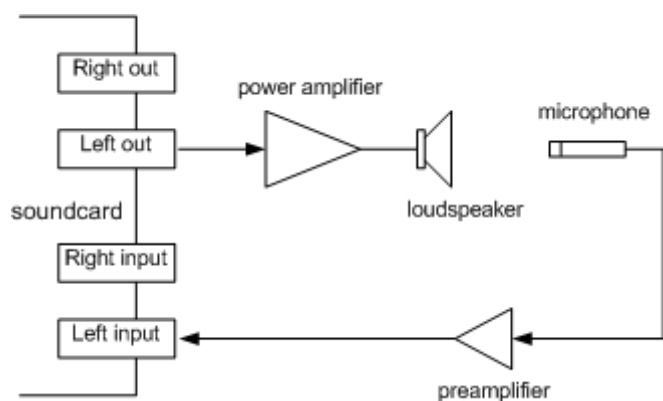


Рисунок 1.7Одноканальная измерительная установка для акустических измерений

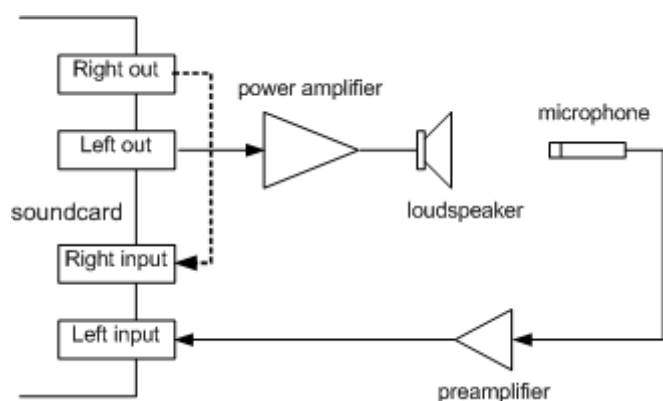


Рисунок 1.8Полудвухканальная измерительная установка для акустических измерения

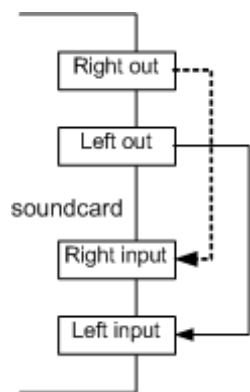


Рисунок 1.9Настройка обратной связи для тестирования звуковой карты

ARTA также предназначена для «точного» тестирования качества звука в системах связи. На рис. 1.10 показана установка для тестирования таких систем. Интерфейс с мобильными телефонами может быть реализован с помощью ввода-вывода гарнитуры. Интерфейс стандартной телефонной линии (POTS) показан на рис. 1.11.

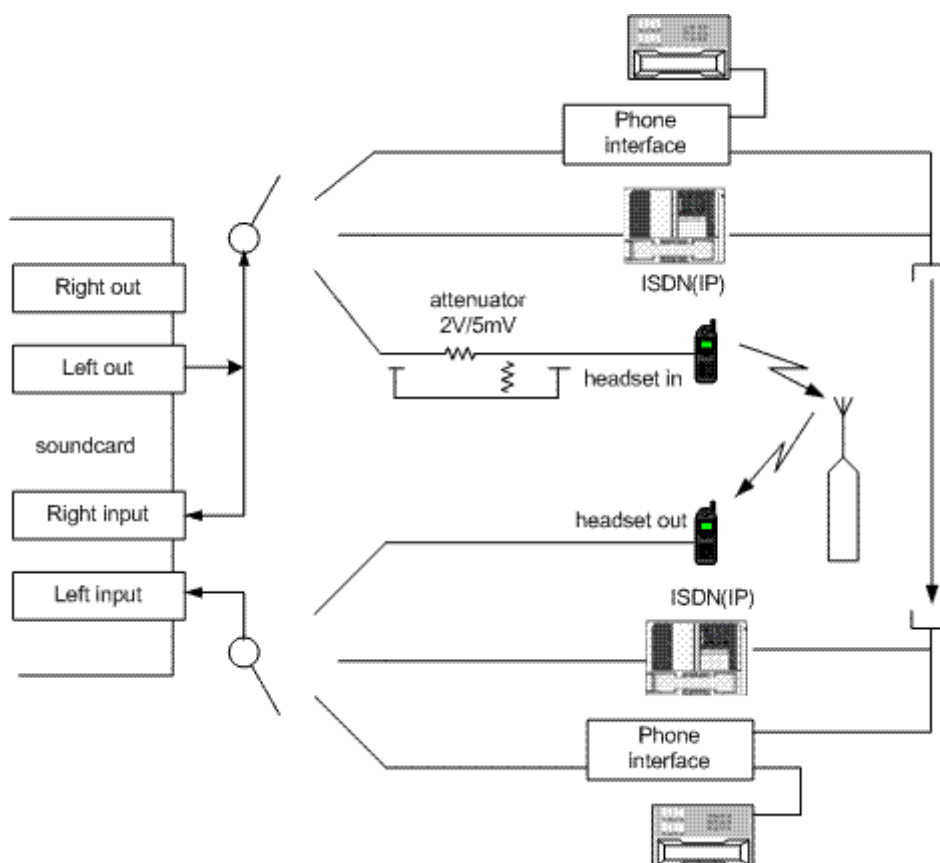


Рисунок 1.10 Измерительная установка для тестирования систем связи

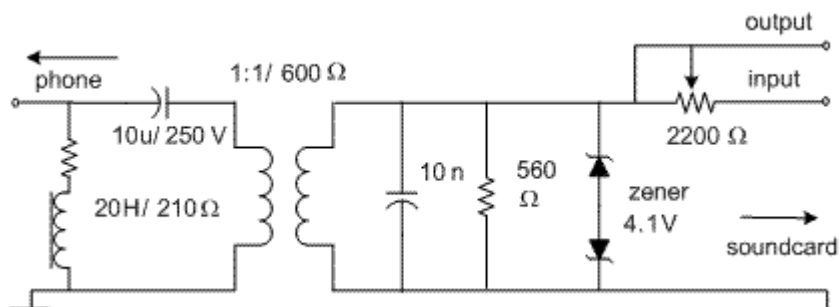


Рисунок 1.11 Интерфейс от ввода-вывода звуковой карты к стандартной телефонной линии (POTS)

АРТА может измерять частотную и импульсную характеристики, искажения синусоидальных, двухсинусоидальных и многотональных сигналов, оценивать задержки, эхо и индекс передачи речи. Для обхода изменяющегося во времени поведения этих систем применяется специальная методика измерения с прерывистым шумовым возбуждением (автоматическая регулировка усиления, шумоподавление, голосовая активация).

1.3 Первое прикосновение

При запуске ARTA вы увидите окно программы, как показано на рисунке 1.12. Это окно называется *Окно импульсного отклика* (окно беса). В первую очередь он будет использоваться для отображения импульсной характеристики, а также для отображения временной записи захваченных сигналов.

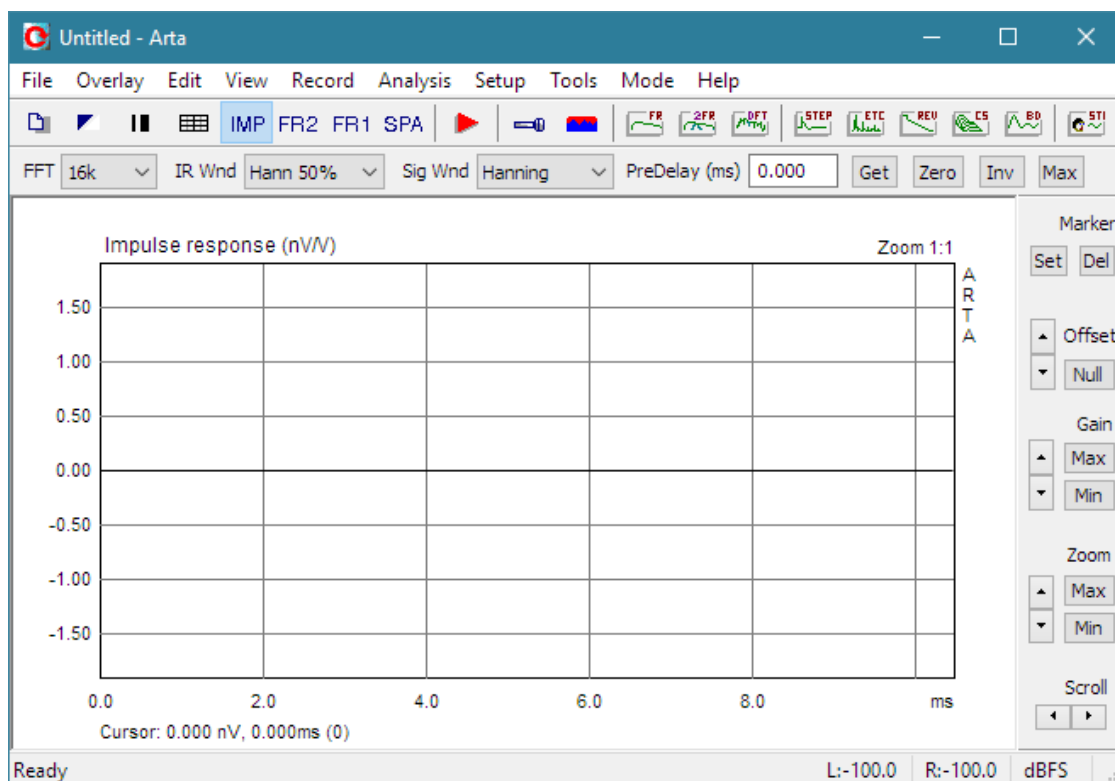


Рисунок 1.12 Окно импульсного отклика

С помощью меню **Режим**, вы можете переключиться на три окна частотной области для анализа в реальном времени:

- Окно измерения двухканальной частотной характеристики
- Окно измерения одноканальной частотной характеристики
- Окно анализатора спектра

Режим измерения также можно выбрать, щелкнув следующие значки на панели инструментов:

- ИМП** - Окно импульсной характеристики/записи сигнала
- ФР2** - Окно измерения двухканальной частотной характеристики
- ФР1** - Окно измерения одноканальной частотной характеристики
- СПА** - Окно анализатора спектра

Окно «Импульсный отклик» наиболее важно для анализа реакции системы. Более подробно это будет описано после того, как мы покажем, как анализировать спектр и частотную характеристику системы.

Теперь щелкните эти меню или значки на панели инструментов, чтобы увидеть, как работают окна измерений.

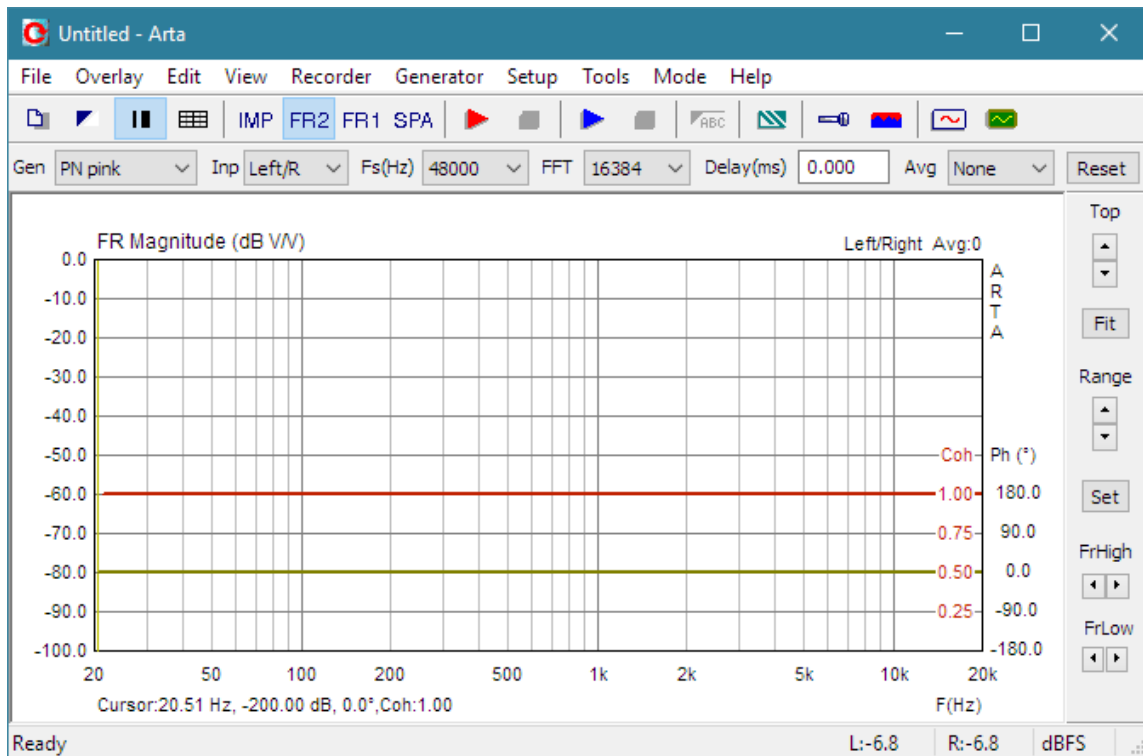


Рисунок 1.13Окно двухканальной частотной характеристики –ФР2(одноканальная частотная характеристика окно -ФР1выглядит так же)

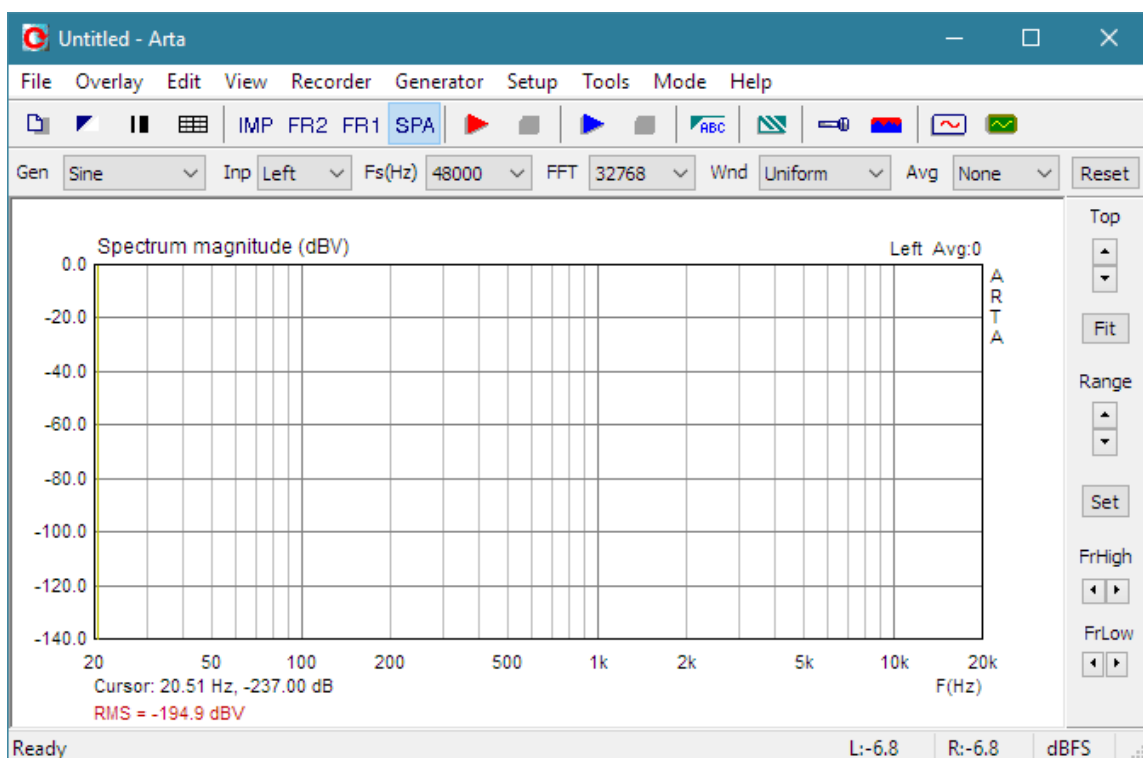


Рисунок 1.14Окно анализатора спектра

1.4 Настройка аудиооборудования

Прежде чем приступить к измерениям, вам необходимо настроить оборудование и аудиоустройства, щелкнув меню.

Настройка->Аудиоустройства или щелкнув значок на панели инструментов. Вы получите диалоговое окно настройки аудиоустройств, показанное на рис. 1.15.

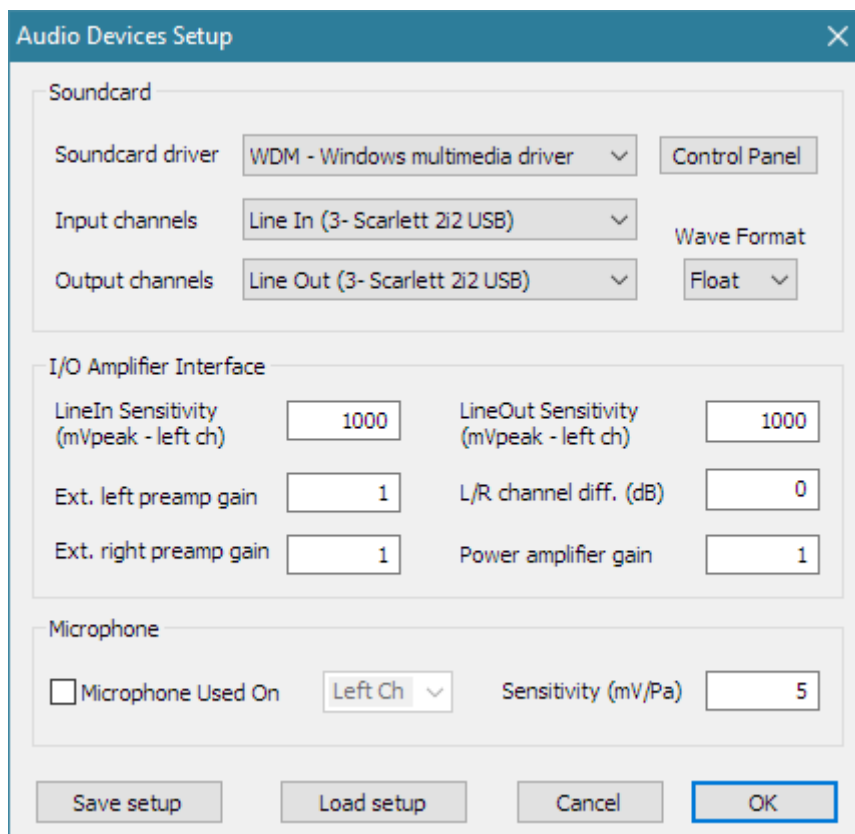


Рисунок 1.15 Диалоговое окно настройки аудиоустройств

The 'Настройка аудиоустройств' диалоговое окно имеет следующие элементы управления:

В разделе **Звуковая карта:**

Драйвер звуковой карты-выбирает тип драйвера звуковой карты (WDM – драйвер мультимедиа Windows или один из установленных драйверов ASIO).

Входные каналы-выбирает входные стереоканалы звуковой карты. Драйвер ASIO может иметь большое количество каналов.

Устройство вывода-выбирает выходные стереоканалы звуковой карты.

Обычно пользователь выбирает входные и выходные каналы одной и той же звуковой карты (обязательно в режиме драйвера ASIO).

Панель управления Кнопка – если выбран драйвер WDM, открывается звуковой микшер в Windows 2000/XP или панель управления звуком в Vista/Win7. Если выбран драйвер ASIO, откроется панель управления ASIO.

Волновой формат-в Windows 2000/XP выбирается формат волны Windows: 16-битный, 24-битный, 32-битный или Float. Float означает 32-битный формат IEEE с плавающей запятой одинарной точности. При использовании высококачественной звуковой карты рекомендуется использовать 24-битный или 32-битный режимы (многие звуковые карты заявлены как 24-битные, но их реальное битовое разрешение меньше 16 бит). В Windows Vista/7 рекомендуется выбирать тип разрешения Float. Этот элемент управления не действует в режиме ASIO, где битовое разрешение необходимо настроить на панели управления ASIO.

В разделе **Интерфейс усилителя ввода-вывода:**

Чувствительность линейного входа-вводит чувствительность линейного входа (т.е. пиковое напряжение в мВ, соответствующее полному возбуждению линейного входа).

Чувствительность линейного выхода-вводит чувствительность левого линейного выхода (т.е. пиковое напряжение в мВ, соответствующее полному возбуждению линейного выхода).

Внеш. усиление предусилителя-Если вы подключаете предусилитель или пробник напряжения к линейным входам, вам следует ввести коэффициент усиления предусилителя или затухание пробника в поле редактирования, в противном случае установите его на единицу усиления.

разница каналов LR - вводит разницу между уровнем левого и правого входных каналов в дБ. **Коэффициент усиления усилителя мощности**-Если вы подключаете усилитель мощности к линейному выходу и при необходимости калибруете результаты в одноканальной настройке, вам необходимо ввести коэффициент усиления напряжения усилителя мощности.

Лучший способ ввести эти значения — следовать процедуре калибровки, описанной в следующей главе.

В разделе **Микрофон**:

Чувствительность-входит чувствительность микрофона в мВ/Па.

Микрофон используется-установите флажок, если вы используете микрофон и хотите, чтобы график масштабировался в дБ относительно 20 мкПа или дБ относительно 1 Па. Также используйте поле со списком, чтобы выбрать канал, к которому подключен микрофон (мы настоятельно рекомендуем использовать левый канал звуковой карты в качестве входного канала микрофона).

Данные настройки можно сохранить и загрузить, нажимая кнопки '**Сохранить настройку**' и '**Загрузить настройки**'. Установочные файлы имеют расширение .cal.

Важное примечание: отключите линейный и микрофонный каналы на выходном микшере звуковой карты; в противном случае вы можете получить положительный отзыв во время измерений. Если вы используете профессиональную звуковую карту, отключите прямой мониторинг линейных входов или мониторинг с нулевой задержкой.

1.4.1 Настройка аудиодрайвера WDM для Windows XP

После выбора звуковой карты пользователю необходимо отключить (отключить звук) линейный вход и микрофонные входы в выходном микшере. Кроме того, пользователю необходимо выбрать, какой вход будет использоваться для записи: линейный вход или микрофон (Mic). Для стандартных звуковых карт ПК процедура следующая:

- 1) В диалоге настройки аудиоустройства ARTA нажмите кнопку '**Панель управления**' открыть Windows '**Основной объем**' диалоговое окно, которое показано на рис. 1.17.
- 2) Нажмите на меню '**Параметры->Свойство**' и выберите канал звуковой карты, который будет использоваться для вывода (воспроизведения), как показано на рис. 1.17.
- 3) Отключить линейный вход и каналы микрофона в диалоговом окне «Мастер». **Объем** (рис. 1.16).
- 4) Установите максимальную громкость и громкость Wave Out.
- 5) Нажмите на меню '**Опция->Свойство**' и выберите канал звуковой карты, который будет использоваться для ввода, и включите каналы линейного входа и микрофона в микшере записи.
- 6) Выберите линейный вход или микрофонный вход. Обычно ARTA использует вход Line In, к которому следует подключить внешний микрофонный усилитель.
- 7) Установите регулятор громкости линейного входа в более низкое положение. Позже это будет уточнено.

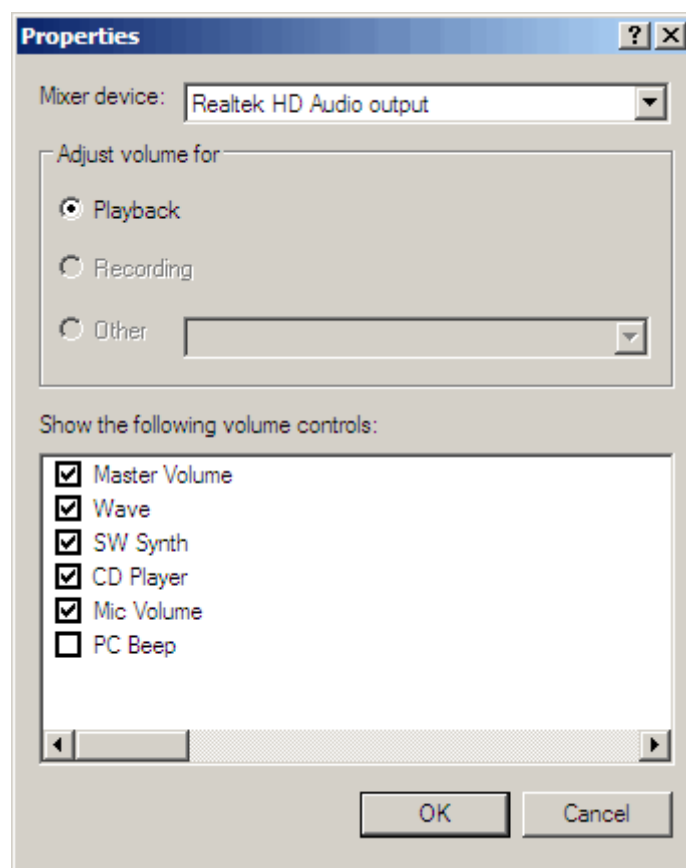


Рисунок 1.16Диалог выбора звуковой карты и каналов ввода/вывода

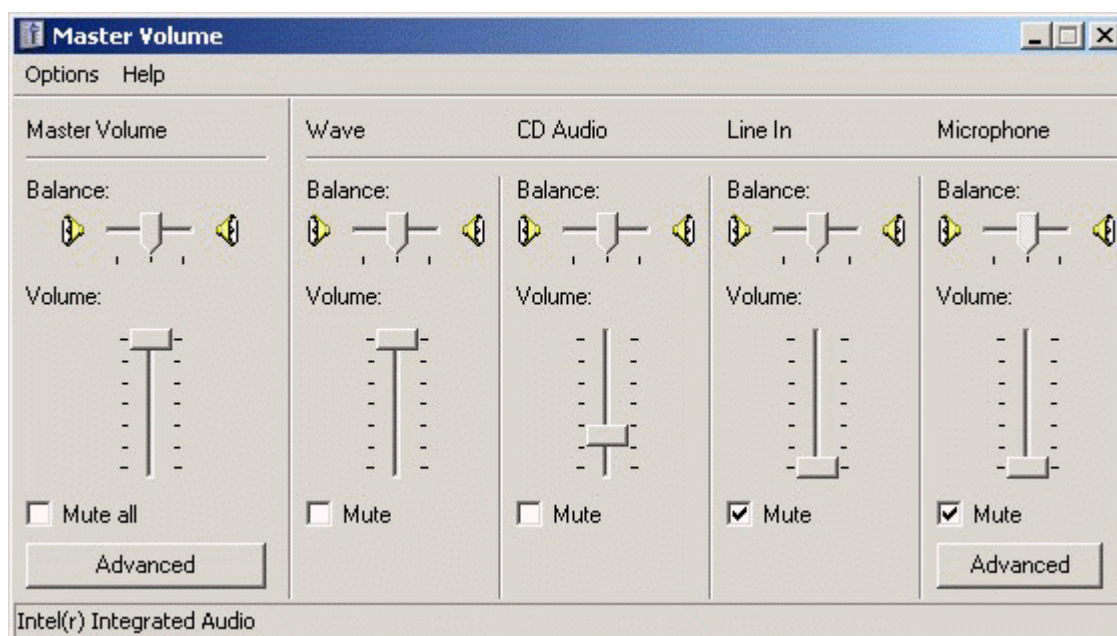


Рисунок 1.17Типичная настройка выходного микшера звуковой карты в Windows XP

Примечание. Большинство профессиональных звуковых карт имеют собственную программу для настройки входного и выходного канала или аппаратное управление входным мониторингом, а также регуляторы входной и выходной громкости.

1.4.2 Настройка аудиодрайвера WDM для Windows Vista/7/8/10

Microsoft изменила свой подход к управлению звуковыми устройствами в Vista/Win7/Win8/Win10. Теперь операционная система (также иногда совместно с управляющими программами профессиональных звуковых карт) отвечает за настройку собственной частоты дискретизации и битового разрешения звуковой карты. Операционная система меняет собственное разрешение на формат с плавающей запятой для высококачественного микширования и, в конечном итоге, для преобразования частоты дискретизации.

Для ARTA это означает, что настоятельно рекомендуется использовать разрешение 'Плавать' и установите частоту дискретизации в собственный формат. Доступ к этим значениям находится в 'Панель управления звуком Windows', который пользователь получает, нажав на кнопку 'Панель управления' в 'Настройка аудиоустройства' диалог.

На рис. 1.18 показана панель управления Vista/Win 7, имеющая четыре страницы свойств.

На первом этапе пользователь должен настроить **Страница воспроизведения** затем повторите ту же процедуру для **'Страница записи'**. Этапы регулировки следующие:

- 1) Нажмите на информацию о канале, чтобы выбрать канал воспроизведения. Не рекомендуется использовать измерительный канал в качестве аудиоканала по умолчанию.
- 2) Нажмите кнопку **'Характеристики'** чтобы открыть канал **'Звуковые свойства'** диалог.
- 3) Нажмите на вкладку **'Уровни'**, чтобы открыть выходной микшер (как на рис. 1.19). Затем отключите звук на каналах линейного входа и микрофона, если они есть.
- 4) Нажмите на вкладку **'Передовой'**, чтобы установить разрешение канала и частоту дискретизации (как на рис. 1.20)
- 5) Повторите предыдущую процедуру с 1) по 4) для канала записи и выберите ту же частоту дискретизации, что и для канала воспроизведения.

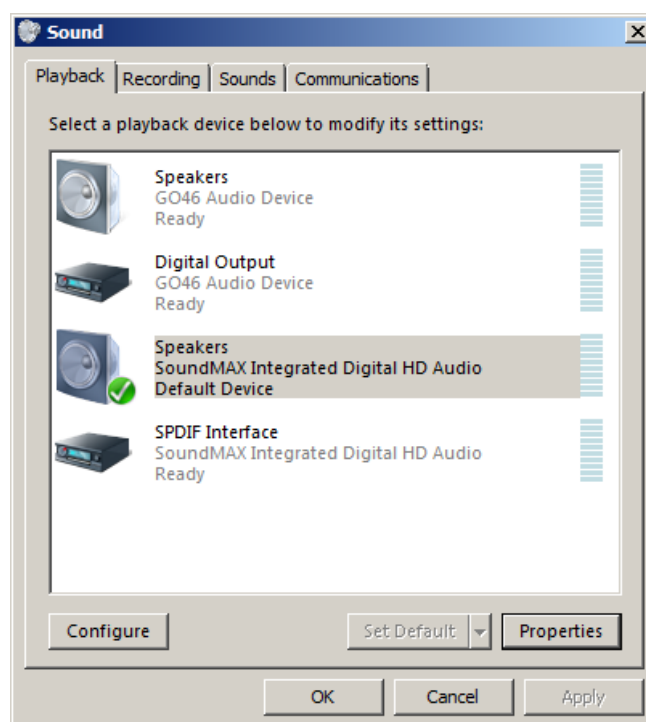


Рисунок 1.18 Панель управления звуком Vista

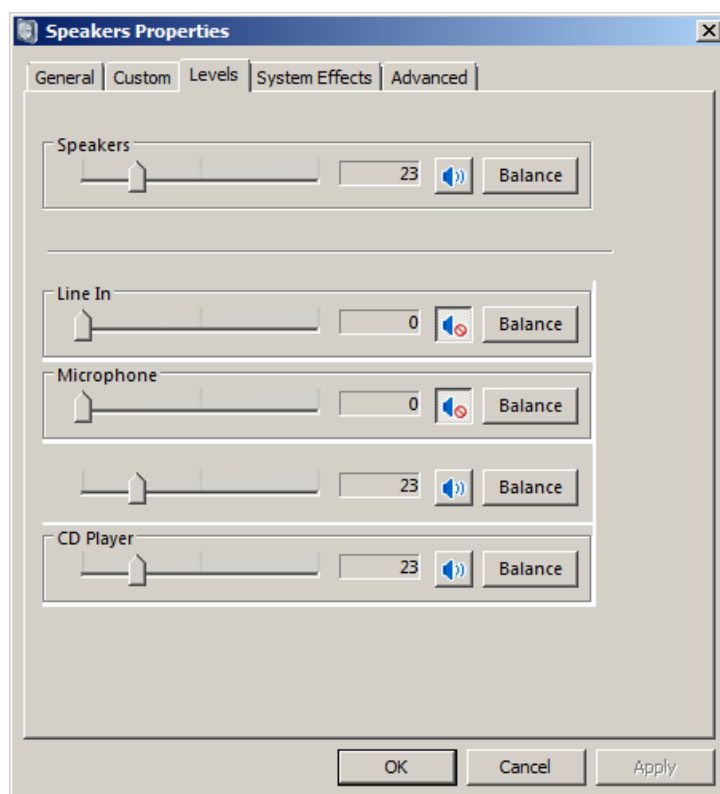


Рисунок 1.19Свойства канала воспроизведения – Выходные уровни

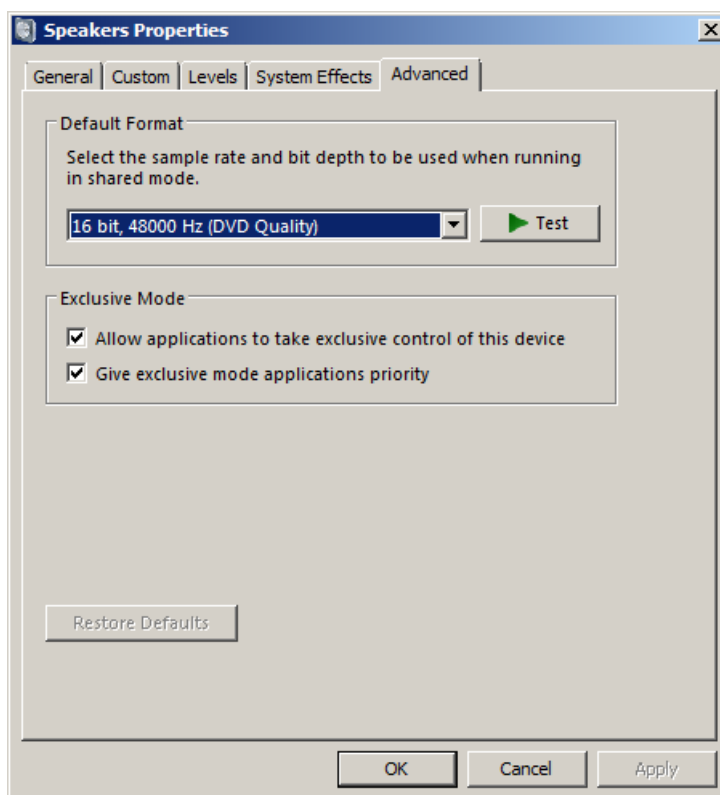


Рисунок 1.20Установка собственного битового разрешения и частоты дискретизации в Vista

Примечание: Многие драйверы нестабильны в Windows 7. В этом случае используйте драйвер ASIO, если он доступен для вашей звуковой карты.

1.4.3 Настройка драйвера ASIO

Драйверы ASIO отделены от управления операционной системой. У них есть собственная панель управления для настройки собственного разрешения и размера буфера памяти. Буфер используется для передачи выборочных данных из драйвера в пользовательскую программу. Пользователь открывает панель управления ASIO, нажав кнопку '**Панель управления**' в ARTA '**Настройка аудиоустройства**' диалог. На рис. 1.21 показан пример панели управления ASIO.

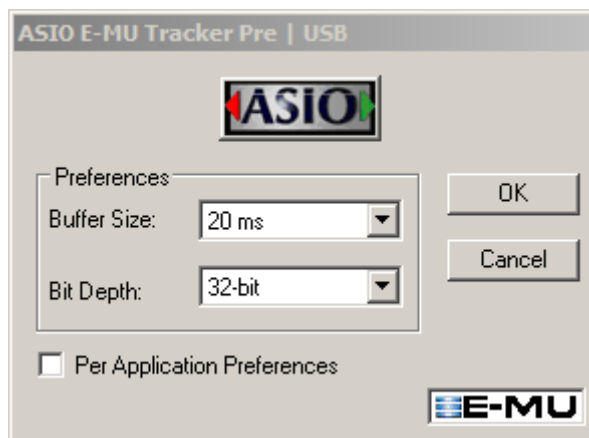


Рисунок 1.21 E-MU Tracker Pre ASIO Панель управления для настройки битового разрешения и размера буфера

В музыкальных приложениях пользователь обычно устанавливает размер буфера настолько маленьким, насколько это возможно для стабильной работы. Это обеспечивает минимальную задержку ввода/вывода (задержку, вносимую системой).

В ARTA задержка не является проблемой, как она встречается в программном обеспечении, но не рекомендуется использовать буфер размером более 2048 сэмплов или меньше 256 сэмплов. Некоторые панели управления ASIO выражают размер буфера в семплах, тогда как другие выражают размер буфера во времени [мс]. В этом случае мы можем рассчитать размер в выборках, используя следующее выражение:

$$\text{размер буфера[образцы]} = \text{размер буфера[мс]} \times \text{частота дискретизации[кГц]} / \text{число_каналов}.$$

ARTA автоматически устанавливает размер буфера для сигнала длительностью 10 мс (т.е. 512 выборки для частоты дискретизации 48 кГц, 1024 выборки для частоты дискретизации 96 кГц и 2048 выборки для частоты дискретизации 192 кГц).

ARTA всегда работает с двумя входными каналами и двумя выходными каналами, рассматривая их как левый и правый стереоканалы. Поскольку ASIO поддерживает многоканальные устройства, пользователю необходимо выбрать в диалоговом окне «**Настройка аудиоустройства**» какая пара каналов будет использоваться в ARTA (1/2, 3/4, ..).

Примечание: ARTA закрывается и освобождает драйвер ASIO, когда измерение прекращается, но если драйверу требуется длительное время для загрузки в память, ARTA все время оставляет драйвер открытым.

1.5 Калибровка

Калибровка — это процесс, который определяет отображение внутренних цифровых значений $D[j]$ к значениям внешнего аналогового напряжения $B[j]$. Индекс j обозначает значение сигнала, выбранное во времени/частота дискретизации. Для линейной системы это отображение определяется одним фактором, называемым *чувствительность*;

$$\text{Чувствительность} = B[j] / D[j], \quad \text{где } |D[j]| \leq 1, j = 0, 1, 2, \dots$$

В программном обеспечении ARTA дискретные значения $D[j]$ — значения с плавающей запятой в диапазоне от -1 до 1. Единица измерения *чувствительность* это Вольт как $D[j]$ безразмерен. Мы также будем использовать единицу мВ. Приведенное выше определение также справедливо для среднеквадратичных значений периодических сигналов;

$$\text{Чувствительность} = V_{\text{rms}} / D_{\text{rms}}$$

Максимально возможное значение дискретной последовательности $D[j]$ равно 1. Это дает нам альтернативное определение чувствительности как максимальное пиковое значение напряжения (или значение полной шкалы), которое может быть записано (или сгенерировано) цифровыми приборами;

$$\text{Чувствительность} = V_{\text{пик_макс}}(\text{Вольты}).$$

Команда меню **Настройка->Калибровка устройств** открывает диалоговое окно **'Калибровка звуковой карты и микрофона'** показано на рис. 1.22. Этот диалог позволяет настроить чувствительность входных и выходных каналов звуковой карты. Это же диалоговое окно служит для калибровки чувствительности микрофона. Чувствительность микрофона определяет соответствие звукового давления на мембране микрофона напряжению, создаваемому микрофоном. Имеет единицу измерения мВ/Па.

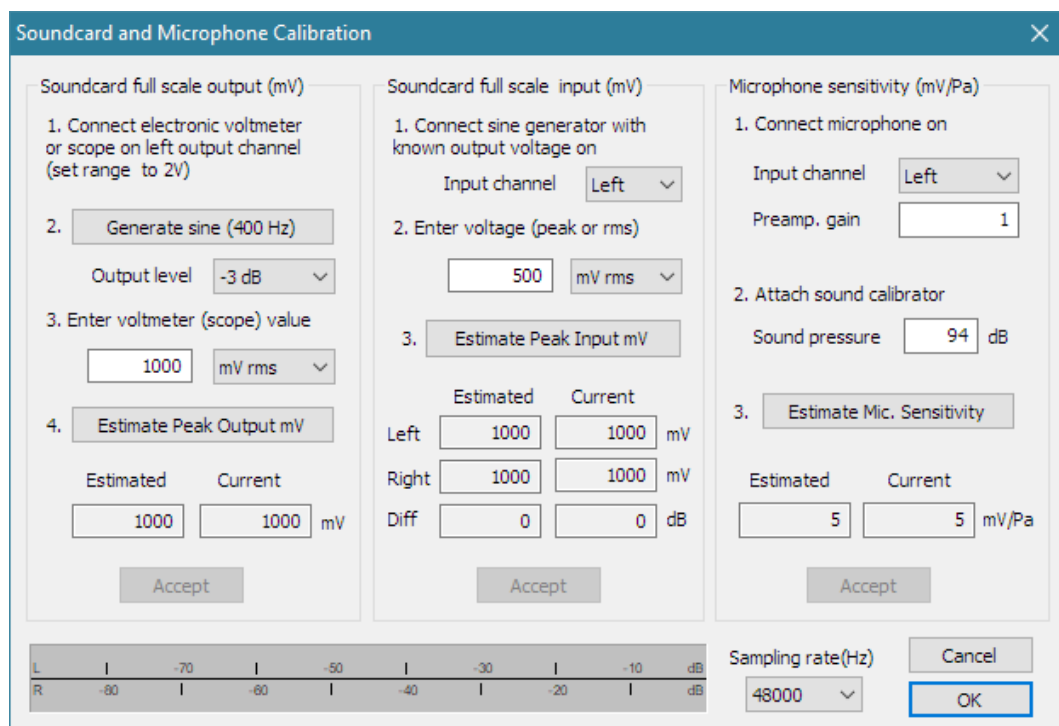


Рисунок 1.22 Диалоговое окно калибровки звуковой карты и микрофона

Диалоговое окно имеет три раздела для:

- (а) калибровка левого канала выхода звуковой карты,
- (б) калибровка левого и правого каналов входа звуковой карты и

(в) калибровка микрофона.

Во время калибровки частоту дискретизации можно установить на 44100 или 48000 Гц, используя поле со списком в нижней части диалогового окна.

1.5.1 Калибровка левого канала выхода звуковой карты

Рекомендуется следовать следующей процедуре:

1. Подключите электронный вольтметр к левому каналу линейного выхода.
2. Установите '**Выходной уровень**' регулятор до -3 дБ или меньше.
3. Нажмите кнопку '**Генерация синуса (400 Гц)**' и программа генерирует выходной синусоидальный сигнал с пиковым значением, которое на 3 дБ ниже значения полной шкалы (или другого значения, установленного с помощью **Выходной уровень** контроль). Надпись на кнопке изменится на '**Остановить генератор**'.
4. Введите показания вольтметра в поле редактирования (**вмВ, среднеквадратичное значение**). (Обратите внимание, что среднеквадратичное значение на 3 дБ или в 1,414 раза ниже пикового значения). Если вы прочитали пиковое значение из осциллографа в поле со списком, выберите «**мВ пик**».
5. Нажмите кнопку '**Остановить генератор**', затем нажмите кнопку '**Оцените пиковый выходной сигнал, мВ**'.
6. Ориентировочная стоимость будет показана в поле «**Оцененный**». Следующее уравнение используется для определения чувствительности:

$$\text{Чувствительность} = \frac{\text{Максимальный пиковый выходной сигнал}}{1,41421 \cdot \text{Врмс} \cdot 10^{\frac{\text{Выходной уровень}}{20}}}$$

Если выходной уровень генератора был установлен на -3 дБ, это значение будет в два раза превышать среднеквадратичное показание вольтметра.

7. Если вас устраивает измерение, нажмите кнопку '**Принимать**', и расчетное значение станет текущим значением '**Чувствительность линейного выхода**'. Кроме того, оно будет введено как значение для калибровки входного канала.

Важное примечание: Калибровка действительна до тех пор, пока мы не изменим регулятор выходной громкости.

1.5.2 Калибровка входных каналов звуковой карты

Вы можете использовать внешний синусоидальный генератор или выходной канал звуковой карты для калибровки входных каналов. В обоих случаях необходимо измерить значение выходного напряжения генератора.

Если вы используете выходной канал звуковой карты в качестве калиброванного генератора:

1. Установите громкость левого линейного входа на определенное значение. Начните с максимальной громкости или минимального усиления, если ваша звуковая карта имеет встроенный предусилитель. Позже вы сможете выполнить калибровку для другого коэффициента усиления предусилителя.
2. Подключите левый выход к левому каналу линейного входа.
3. Нажмите кнопку '**Генерация синуса (400 Гц)**' и контролировать уровень входного сигнала по нижним пик-метрам. Если вход звуковой карты прерывается, уменьшите уровень входной громкости. Как вариант можно понизить уровень генератора (но тогда нужно замерить выходное напряжение *Врмс* снова).
4. Введите в поле редактирования значение напряжения генератора (но только если оно отличается от значения, использованного при калибровке выходного канала (1.5.1)).
5. Нажмите кнопку '**Оцените пиковое входное напряжение, мВ**', и программа рассчитает чувствительность как отношение *Врмс/Докторс*.
6. Если вас устраивают замеры, нажмите кнопку '**Принимать**', и расчетное значение станет текущим значением '**Чувствительность линейного входа**'.
7. Повторите шаги 1–6 для правого входного канала.

Это рекомендуемая процедура, поскольку она гарантирует возможность подключения звуковой карты в режиме обратной связи. Если вы хотите откалибровать входные каналы с регулировкой входной громкости, установленной на максимум, многие звуковые карты требуют снижения уровня выходного канала.

Важное примечание: Калибровка действительна до тех пор, пока мы не изменим регулятор входной громкости.

1.5.3 Калибровка микрофона


Для калибровки микрофона необходим звуковой калибратор. Затем:

1. Подключите микрофонный предусилитель ко входу звуковой карты (левому или правому).
2. Введите коэффициент усиления предусилителя.
3. Прикрепите звуковой калибратор к микрофону.
4. Нажмите кнопку '**Оцените чувствительность микрофона**'.
5. Если вас устраивает измерение, нажмите кнопку «Принять».

Примечание: Если вы не знаете коэффициент усиления предусилителя, вы можете установить произвольное значение усиления (например, 1), но это значение должно использоваться в качестве коэффициента усиления предусилителя в **Настройка аудиоустройств** диалоговое окно.

1.5.4 Компенсация частотной характеристики

Качество измерений зависит от качества используемых датчиков, то есть микрофонов. В ARTA можно ввести АЧХ датчиков и произвести компенсацию их АЧХ (путем применения обратной ЧЧ датчика к измеренной ЧХ).

Команда меню **Настройка->Компенсация FR** или щелкните значок  чтобы открыть диалоговое окно "**Частотная характеристика для компенсации**", показано на рис. 1.23. В диалоговом окне имеется несколько элементов управления и график, показывающий частотную характеристику, которая будет использоваться для компенсации ЧР.

Кнопка **Нагрузка** открывает диалог для загрузки файлов ASCII, содержащих данные частотной характеристики. Имя файла должно иметь расширения .MIC, .TXT или .FRD, а данные должны вводиться в виде строк текста. Строки, начинающиеся с цифры или точки, должны содержать как минимум два значения: первое значение — это частота в Гц, а второе значение — величина частотной характеристики в дБ. Третье значение является необязательным. Это может быть значение фазы или любой другой текст, который будет рассматриваться как комментарий. Все остальные строки рассматриваются как комментарии. После успешного чтения файла компенсации путь к файлу будет показан в поле под графиком.

Например, файл «MB550-B.mic» (показан на рис. 1.23) имеет содержимое:

```
микрофон    m6550
частота (Гц) Магн (дБ)
48.280      0,34
48.936      0,28
49.601      0,21
. . . . .
```

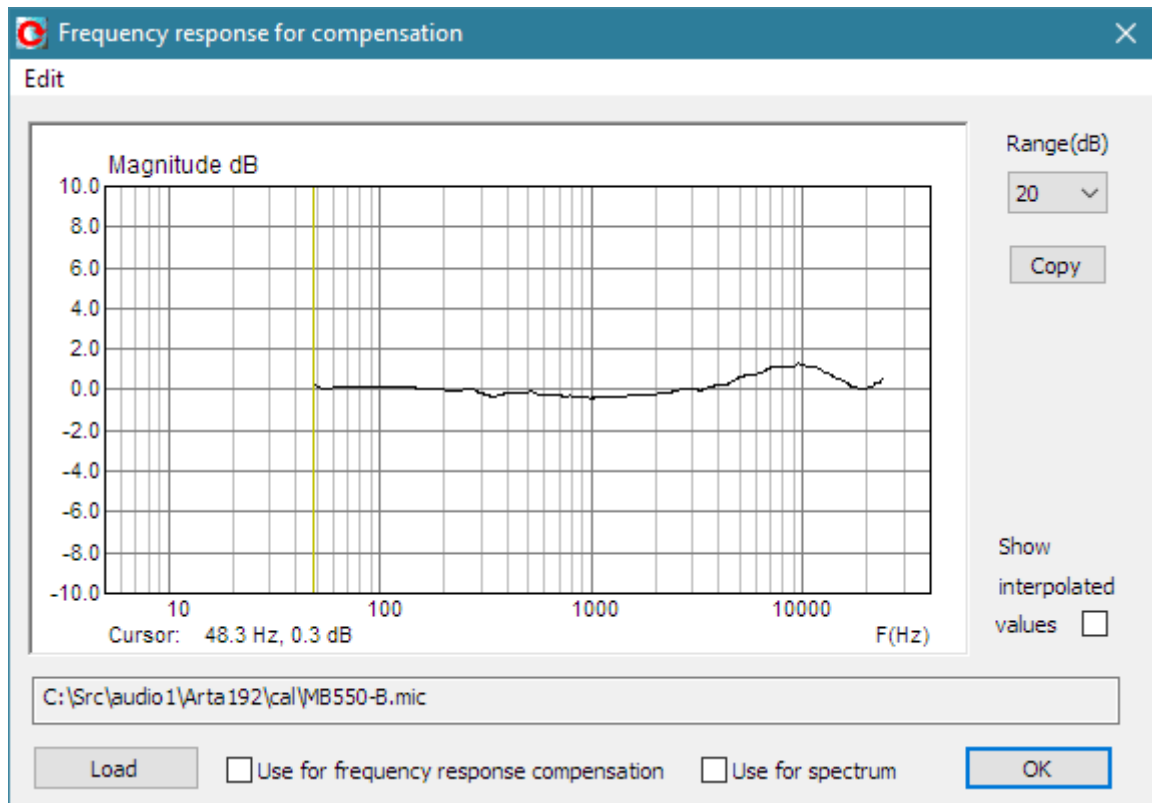


Рисунок 1.23 Типичная частотная характеристика электретного микрофона.

Флажок **'Показать интерполированные значения'** позволяет нам увидеть интерполированную кривую FR, которая будет использоваться для компенсации FR.

Кнопка **'Копировать'** копирует изображение текущего графика в буфер обмена Windows.

Поле со списком **'Диапазон (дБ)'** устанавливает динамический диапазон амплитуды графика (10-100 дБ).

Флажок **'Использование для компенсации частотной характеристики'** включает/отключает компенсацию частотной характеристики.

Флажок **'Использовать для спектра'** включает/выключает компенсацию амплитуды спектра. Эта компенсация также используется при расчете гармонических и интермодуляционных искажений.

Для компенсации уровней FR или Spectrum мы используем уравнение:

$$\text{Исправленный уровень(дБ)} = \text{Измеренный уровень(дБ)} - \text{Уровень компенсации(дБ)}$$

1.6 Настройка драйвера поворотного проигрывателя

Команда меню **Настройка->Вращающийся проигрыватель** открывает диалоговое окно **'Настройка драйвера вращающегося проигрывателя'** показано на рис. 1.24. Он используется для настройки проигрывателя, изготовленного своими руками, или проигрывателя Outline ET250-3D, которые обычно используются для автоматизированных измерений полярных диаграмм.

Можно использовать два типа драйверов:

1. Внешний .exe-файл драйвера DIY-проигрывателя,
2. Внутренний драйвер для проигрывателя Outline ET 250-3D.

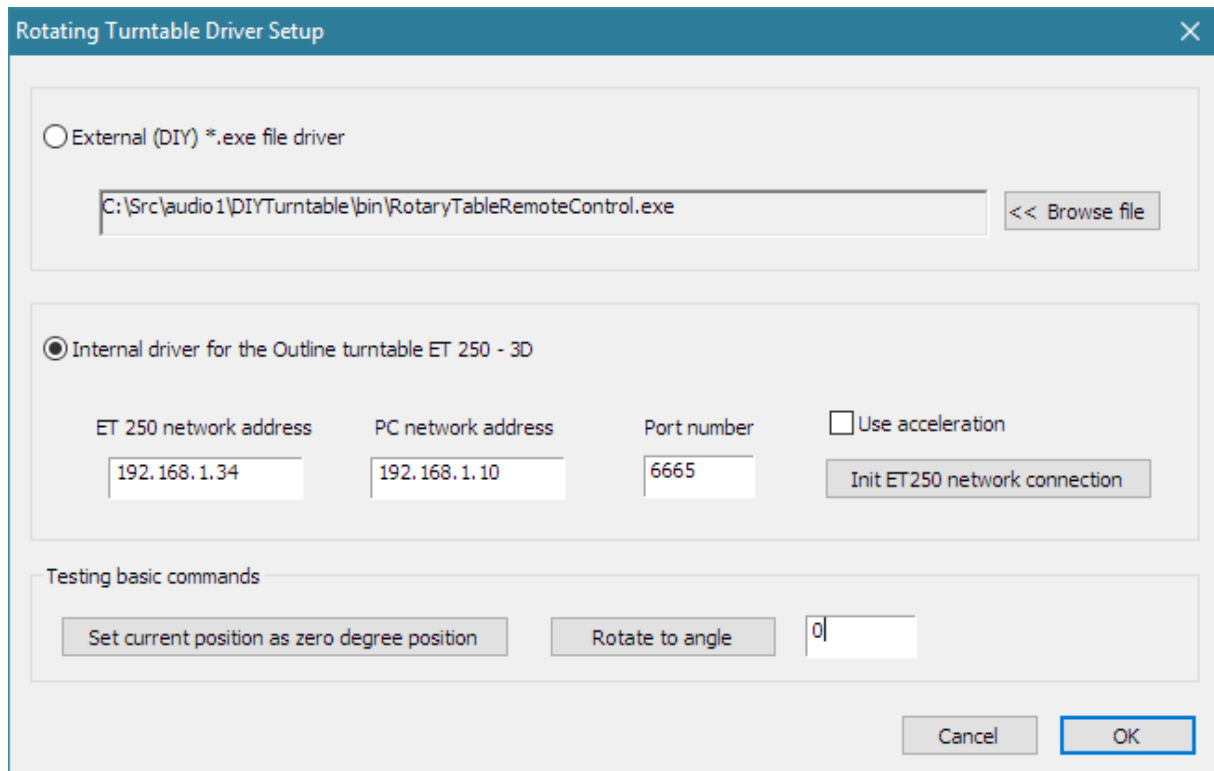


Рисунок 1.24 Диалоговое окно настройки драйвера вращающегося проигрывателя

1.6.1 Внешний драйвер файла .exe

Команда кнопки '<<Просмотреть файл' открывает диалог выбора пути и имени файла DIY-драйвера .exe. Требуется, чтобы файл драйвера .exe представлял собой программу, принимающую два типа аргументов командной строки:

1. Первый тип команды имеет аргумент, обозначаемый -r, он сбрасывает поворотный стол и устанавливает текущее положение как положение нулевого угла.
2. Второй тип команды имеет аргумент в виде целого числа в диапазоне от -360 до 360 и представляет собой команду для поворота проигрывателя на угол, заданный этим аргументом.

1.6.2 Внутренний драйвер для проигрывателя Outline ET 250-3D

ARTA имеет встроенный драйвер для проигрывателя ET250-3D Outline. Этот проигрыватель должен быть подключен к сетевому порту Ethernet. Для настройки драйвера проигрывателя пользователю необходимо ввести три строки: сетевой IP-адрес ET 250, локальный IP-адрес ПК и номер порта. Значения IP-адресов можно получить с помощью программы командной строки, которая поставляется вместе с программой установки проигрывателя.

После ввода IP-адресов пользователь должен нажать кнопку 'Инициализировать сетевое подключение ET250' и по желанию установить флажок 'Используйте ускорение' если требуется более быстрое (но более требовательное) вращение проигрывателя. **Примечание:** Перед использованием в ARTA запустите поставленную программу настройки и убедитесь, что проигрыватель работает.

1.6.3 Тестирование драйвера проигрывателя

Для проверки драйвера проигрывателя доступны две команды:

1. Сброс проигрывателя осуществляется нажатием кнопки 'Установить текущую позицию как позицию нуля градусов'.
2. Поворот поворотной платформы на угол (значение от -360 до 360), введенный в поле редактирования, осуществляется нажатием кнопки 'Повернуть на угол'.

1.7 Получение изображений графиков и окон

Изображения графиков и окон можно скопировать в буфер обмена Windows или сохранить в файл в трех форматах изображений: .png, .bmp и .jpg. Рекомендуется использовать .png формат.

Получить копию полного изображения окна очень просто. Пользователю необходимо одновременно нажимать клавиши **Ctrl+П**. После выполнения этой команды изображение окна будет сохранено в системном буфере обмена. Оттуда пользователь может вставить его в другие открытые приложения Windows (MS Word, MS Paint). Ключи **Ctrl+Альт+П** активируют команду, чтобы сохранить это изображение в файле.

Чтобы скопировать или сохранить изображение графика, отображаемого внутри окна, пользователю необходимо одновременно нажать клавиши **Ctrl+С** или активировать команду меню '**Правка->Копировать**', или нажмите соответствующую '**Копировать**' кнопку. в панель инструментов главного окна, '**Копировать**' Кнопка 'отображается в виде значка на панели инструментов.

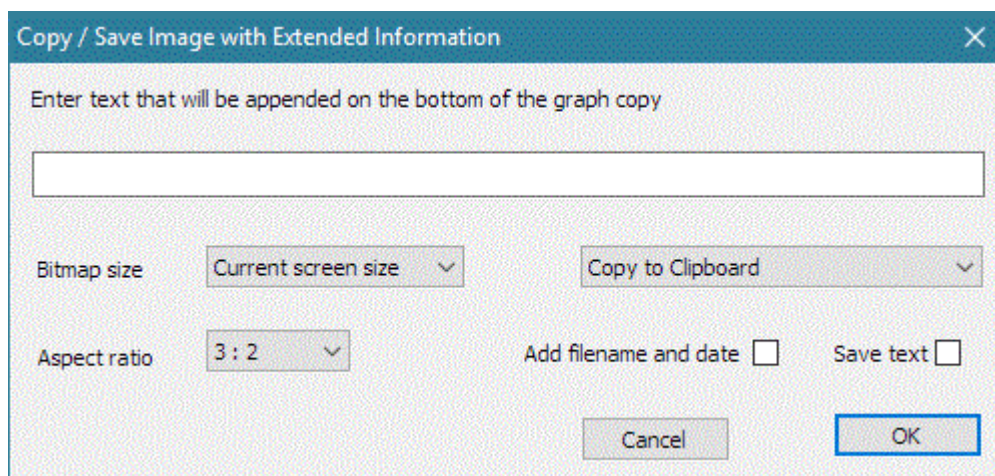


Рисунок 1.25 Диалоговое окно 'Копирование/сохранение изображения с расширенной информацией'

The **Копировать** команда открывает диалоговое окно '**Копирование/сохранение изображения с расширенной информацией**', показано на рисунке 1.25. Здесь пользователю необходимо настроить следующие параметры:

1. Используя поле со списком над кнопкой «ОК», пользователь выбирает один из трех режимов сохранения изображения:
Скопировать в буфер обмена, **Сохранить в файли** **Сохранить в файл + скопировать в буфер обмена**.
2. В **Поле редактирования** пользователь по желанию вводит текст, который будет добавлен внизу графика.
3. Установите флажок '**Добавить имя файла и дату**' позволяет добавить на график текст, показывающий имя файла, дату и время. Если существуют наложенные кривые, их имена и знаки цвета линий добавляются внизу графика.
4. Установите флажок '**Сохранить текст**' позволяет сохранить введенный текст для следующей операции копирования.
5. Поле со списком '**Соотношение сторон**' включает копирование графиков с фиксированным соотношением сторон: 3:2 и 2:1.
6. **Размер растрового изображения** выбирается путем выбора одного из следующих элементов в поле со списком:

- Текущий размер экрана — пользователь регулирует ширину и высоту графика.
- Самый маленький - ширина графика 500 точек
- Маленький - ширина графика 600 точек
- Середина - ширина графика 800 точек
- Большой - ширина графика 1000 точек
- Х Большой - ширина графика 1200 точек
- ХХ Большой - ширина графика 1500 точек
- ХХХ Большой - ширина графика 2000 точек

Размер, превышающий «Большой», обеспечит качество стиля публикации, если графики нарисованы с толстыми линиями и сетками. Толстые линии и сетки рисуются шириной в 2 пункта. Пользователь выбирает толщину в каждом окне графика с помощью команды меню. **Правка->Толстые линии** и **Правка->Толстая сетка**.

Кнопка **'ХОРОШО'** копирует график в системный буфер обмена или открывает диалог для ввода имени файла, в котором будет сохранено изображение. Кнопка **'Отмена'** отменяет операцию копирования.



2 Анализатор спектра

Анализатор спектра ARTA реализован как анализатор спектра реального времени на основе БПФ. Встроенный генератор выдает следующие сигналы: синусоидальный, двухсинусоидальный, прямоугольный, треугольный, многотональный, белый шум, розовый шум, периодический белый шум (ПН белый), периодический розовый шум (ПН розовый) и периодический речевой шум (ПН речь).

Работа с анализатором спектра будет объяснена в ходе процедуры тестирования звуковой карты.

2.1 Тестирование звуковой карты

Самый простой способ проверить качество звуковой карты — это **Режим анализатора спектра**.

1. Сделайте **петлевое соединение** для тестирования звуковой карты.
2. Нажмите меню **Режим** -> **Анализатор спектра** или щелкните значок на панели инструментов  **СПА**.
3. Нажмите меню **Генератор** -> **Настройка** или щелкните значок на панели инструментов . Вы получите диалоговое окно, показанное на рис. 2.1.

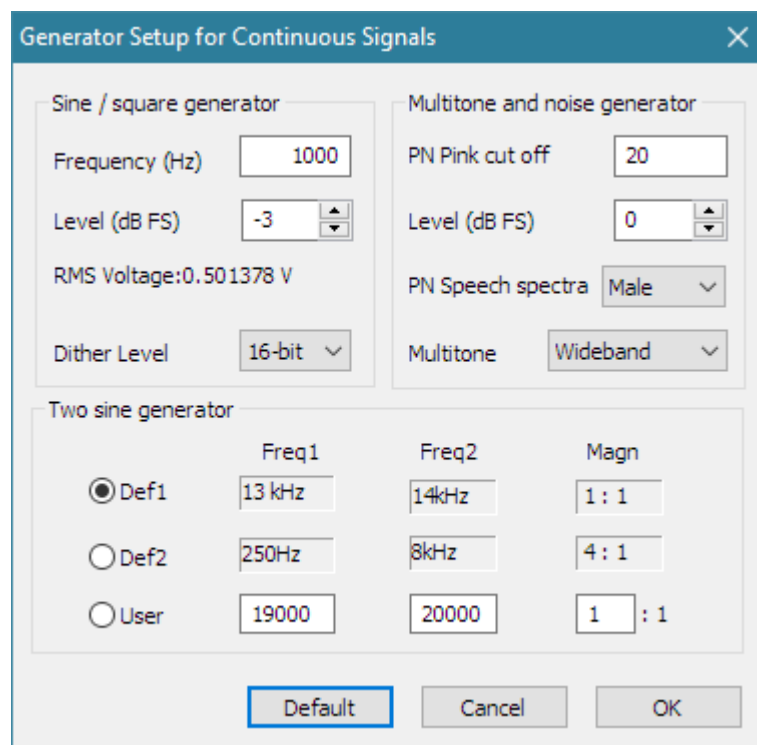


Рисунок 2.1 Диалоговое окно настройки генератора сигналов

В этом диалоговом окне имеются следующие элементы управления:

Генератор синуса/квадрата раздел:

Частота-вводит частоту синусоидального сигнала в Гц.

Пиковый уровень-выбирает пиковый уровень выходного сигнала относительно пикового уровня полной шкалы (от 0 дБ до -90 дБ).

Среднеквадратичное напряжение-показывает значение напряжения линейного выходного канала (для калиброванной системы)

Уровень дизеринга-выбирает: Нет, 16 бит, 18 бит или 20 бит.

Два синусоидальных генератора

Раздел позволяет выбрать три возможных комбинации соотношений частот и величин:

Def1-устанавливает $f_1=13$ кГц, $f_2=14$ кГц, соотношение амплитуд 1:1.

Защита 2-устанавливает $f_1=100$ Гц, $f_2=8$ кГц, соотношение амплитуд 1:4.

Пользователь - вводит две синусоидальные частоты и соотношение амплитуд.

Примечание. Пиковый уровень двухсинусоидального сигнала определяется в разделе «Синусоидальный генератор» — «Управление пиковым уровнем».

Многотональный и шумовой генератор раздел:

Выходной объем - выбирает выходной уровень по полной шкале в диапазоне от 0 дБ до -50 дБ. **PN**

Розовый обрезанный - входит в нижнюю границу частоты в Гц для периодического розового шума.

Многотональный - выбирает тип многотонального сигнала (Широкополосный, Речевой диапазон, ITU-T O.81, Низкая декада, Высокая декада, Синус+квадрат).

Примечание 1: ПШ (периодический шум) — периодический шумоподобный сигнал с контролируемым уровнем спектра и случайной фазой.

Периодический шум и многотональность, принадлежащие к классу мультисинусоидальных сигналов (будет объяснено позже).

Примечание 2. Тестовый сигнал джиттера представляет собой синусоидальный сигнал с частотой, равной 1/4 частоты дискретизации, и с младшим битом, переключаемым на частоту, равную 1/192 частоты дискретизации.

Примечание 3. Многотональные тестовые сигналы содержат смесь синусоидальных сигналов с разными амплитудами и фазами. Их использование будет объяснено позже.

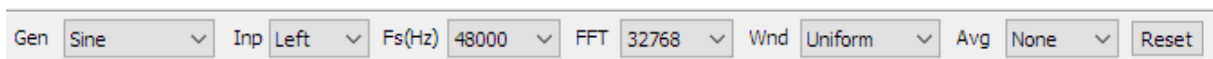
Теперь выберите параметры синусоидального генератора:

Частота: 1000 Гц **Пиковый**

уровень: -3 дБ **Уровень**

дизеринга: 16 бит.

4. С помощью диалоговой панели выберите:



Генерал: Синус

Фс (Гц): 48000

БПФ: 16384

ветер: Кайзер5

Среднее: Никто

(частота выборки или частота дискретизации) (количество выборок в кадре анализа БПФ) (окно сигнала для подавления утечки при анализе БПФ) (усреднение сигнала)

Те же параметры можно настроить в диалоговом окне. '**Настройка спектрального анализа**' показано на рис. 2.2. (вы можете получить его, нажав на меню **Настройка->Измерение**). Используя это диалоговое окно, вы устанавливаете (1) предпочтительный входной канал, (2) параметры усреднения и (3) разрешение БПФ.

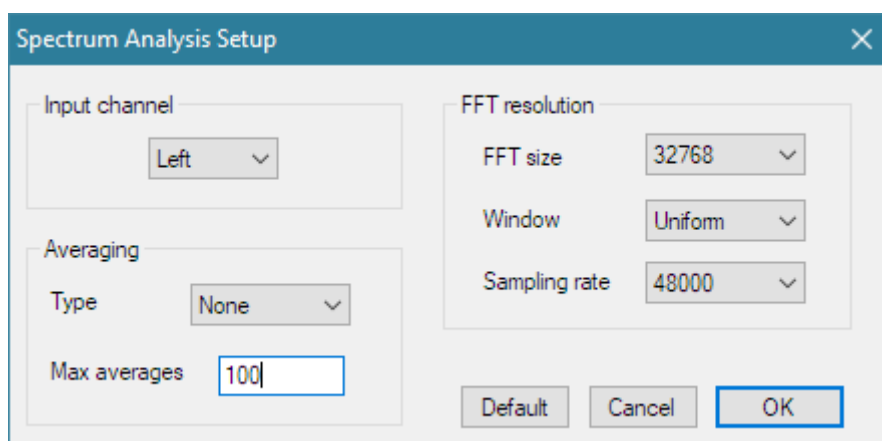


Рисунок 2.2 Установка спектрального анализа

В этом диалоговом окне имеются следующие элементы управления:

Входной каналраздел:

Поле со списком выбирает левый или правый канал в качестве активного входного канала звуковой карты.

Усреднениенаборы разделов:

Тип: Нет, Линейный, Экспоненциальный или Удержание пика. **Макс.**

средние значения:максимальное количество средних значений.

Разрешение БПФнаборы разделов:

Размер БПФ: количество выборок в блоке БПФ (4096, 8192, 16384, 32768, 65536 и 131072),


Окно: Окно Uniform, Hanning, Blackman3, Blackman4, Kaiser5, Kaiser7 или Flat Top. **Частота**

выборки: 8000, 11025, 16000, 22050, 32000, 44100, 48000, 88200 или 96000 Гц.

5. Выберите: **Явходной канал:** Левый.

6. Подготовьте звуковой микшер Windows:

- Включить канал линейного входа
- Отключите звук канала линейного входа в выходном микшере.
- Установите громкость линейного выхода для максимальной выходной чувствительности.
- Установите громкость линейного входа, близкую к минимальной входной чувствительности.

7. По команде меню**Настройка->Масштабирование спектра** (),или *нажав правую кнопку мыши на графике область заголовка*,вы получите диалоговое окно'**Масштабирование спектра**'(показано на рис. 2.3). Используйте это диалоговое окно, чтобы установить (1) масштабирование величины, (2) взвешивание мощности и (3) меры искажения.

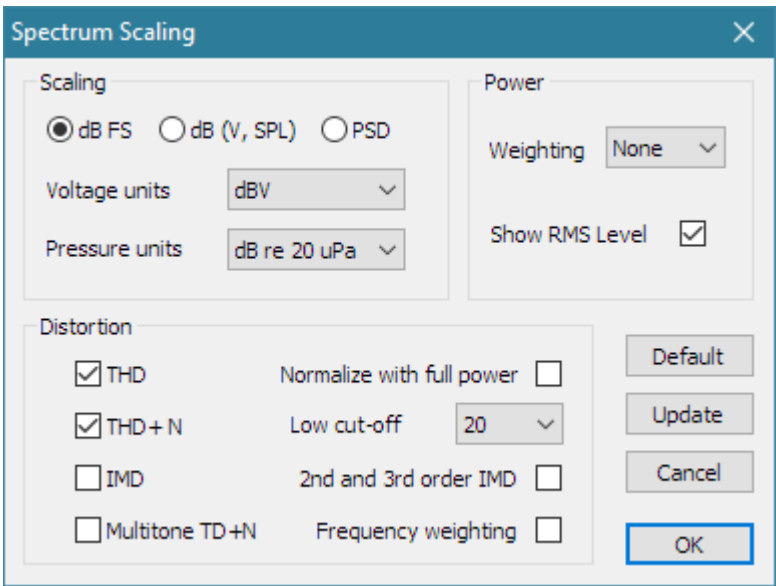


Рисунок 2.3Масштабирование спектра

Масштабированиераздел:

Масштабирование величины:dBFS (дБ относительно полной шкалы),

дБВ или SPL (уровень звукового давления),

PSD (режим спектральной плотности мощности в дБВ/√Гц).

Единицы измерения напряжения: дБВ или дБу,

Единицы измерения давления: дБ относительно 20и Па или

дБ относительно 1 Па (действительно только в том случае, если микрофон подключен и включен).

Властьраздел:

Взвешивание мощностиПоле со списком — выбирает: Нет, фильтр А, В или С для взвешенной оценки мощности сигнала.

Показать уровень RMS—установите флажок, чтобы отобразить уровень мощности в нижней части графика.

Искажениераздел:

КНИ—установите этот флажок, чтобы отобразить общее гармоническое искажение (THD) при тестировании синусоидального отклика. **КНИ+Ш**—

установите этот флажок, чтобы отобразить общее гармоническое искажение + шум при тестировании синусоидального отклика. **ИМД**—установите

флажок, чтобы показать интермодуляционные искажения (IMD) при тестировании двух синусоидальных характеристик,

или переходные интермодуляционные искажения (DIM) при многоканальном тестировании прямоугольных и синусоидальных сигналов. **Многоканальный**

TD+N—установите этот флажок, чтобы отобразить общее искажение + шум (TD+N) при тестировании многоканального отклика.

Нормализовать с полной мощностью—проверьте, чтобы THD нормализовался с учетом мощности сигнала, включая высшие гармоники. **Поле со списком низкой частоты среза (Гц)**—устанавливает срез по низкой частоте при измерениях THD+N.

2nd и 3rd-заказать ИМД—отметьте, чтобы показать 2nd и 3rd-порядок IMD определен в стандартах SMPTE, DIN, CCIF и IEC.

Частотное взвешивание—установите флажок использовать частотную коррекцию (A,B,C) при измерениях THD+N и TD+N.

8. Установите следующие флажки: THD, THD+N и Show RMS level.

9. Начните запись, щелкнув значок на панели инструментов (или через меню **Регистратор->Выполнить**). Вы должны получить ответ, подобный показанному на рис. 2.4. Этот рисунок можно получить операцией копирования/вставки (меню **Правка->Копировать**).

Медленно увеличивайте громкость линейного входного канала (с помощью микшера звуковой карты), пока не достигнете пикового уровня, близкого к -3 дБ полной шкалы.

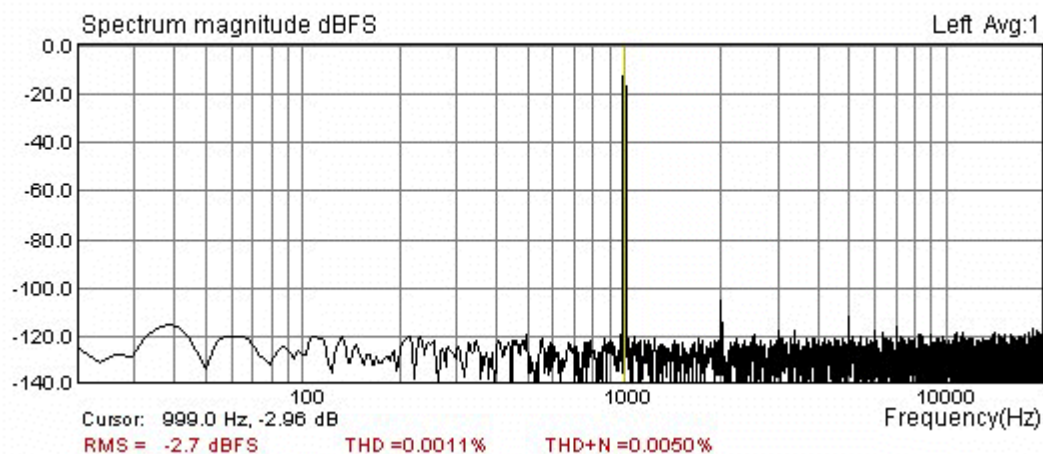


Рисунок 2.4 Спектр синусоидального генератора 1 кГц звуковой карты Terratec EWX 24/96 в настройке шлейфа.

Окно сигнала: Kaiser5, размер БПФ: 16384, частота кадров: 48000 Гц.

В нижней части рис. 2.4 показано значение спектра в позиции курсора (частота и величина), среднеквадратичный уровень и искажения. Курсор рисуется в виде тонкой линии, которую можно перемещать, нажимая левую кнопку мыши или нажимая левую и правую клавиши клавиатуры.

Если значение THD+N ниже 0,1%, звуковая карта пригодна для использования.

Если значение THD+N ниже 0,01%, у вас хорошая звуковая карта.

Примечание: Во время измерения вы можете использовать панель управления для изменения типа усреднения, сброса усреднения, изменения частоты дискретизации, изменения типа сигнала возбуждения и размера БПФ. Вы можете изменить любые параметры графика (динамический диапазон, диапазон частот и ось) в диалоговом окне. **«Настройка графика спектра»** (вы получите его, щелкнув меню **Настройка->Настройка графика** или щелкнув правой кнопкой мыши в области графика). Самый простой способ настроить поля графика — использовать правую панель управления. Функции кнопок панели поясняются на рисунке 2.5.

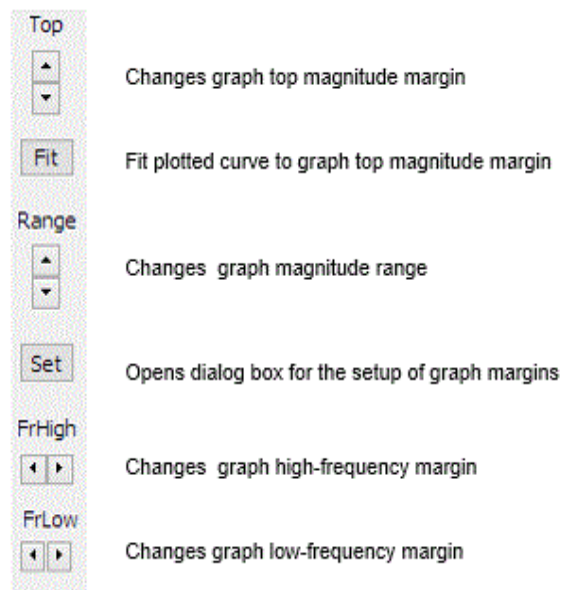


Рисунок 2.5 Панель управления для настройки полей графика (также используется для окон частотной характеристики)

Примечание: Полезными сочетаниями клавиш для изменения верхнего поля величины графика являются клавиши «Вверх» и «Вниз», а также колесо прокрутки мыши (они перемещают график вверх и вниз).

2.2 Процедура оценки спектра

Спектр, показанный на рис. 2.4, получается следующей процедурой:

1. Входной сигнал дискретизируется с частотой f_s и преобразуется в дискретную последовательность $x[n]$ длины $N = \text{Размер БПФ}$ (количество выборок в окне сбора данных равно '**Размер БПФ**' и может быть установлен: 4096, 8192, 16384, 32768, 65536 или 131072).
2. Дискретная входная последовательность умножается на оконную последовательность $w[n]$ (будет объяснено позже)
3. Дискретное преобразование Фурье.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] w[n] e^{-j 2\pi k n / N}$$

рассчитывается с использованием алгоритма БПФ. Он дает спектральные компоненты как комплексные значения на дискретных частотах.

$$X[k] = |X[k]| e^{j\phi[k]}$$

где Δf — это спектральное разрешение ДПФ

$$\Delta f = f_s / N$$

Для реальных сигналов существуют $N/2$ односторонние спектральные компоненты мощности:

$$r_0 = |I_{K0} / H|^2 - \text{компонент постоянного тока}$$

$$r_k = |I_{Kk} / H|^2, \quad k = 1, 2, \dots, N/2 - 1$$

4. Спектр магнитуды отображается в одном из следующих режимов масштабирования:

| Режим масштабирования | Уровень | Единицы |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Пиковый уровень (см. полный масштаб) | 10 журнал(2 r_k) | дБФС |
| Уровень среднеквадратичного значения (Спектр мощности) | 10 журнал(r_k - (входная_чувствительность / усиление_предусилителя) ²) | дБВ (или дБу) |
| Спектральная плотность мощности | 10 журнал(r_k - (input_sensitivity/preamp_gain) ² / -ж) | дБВ/-Гц (или дБу/-Гц) |

Примечание 1: Если окно сигнала W_H применяется, то значения спектра делятся на масштабный коэффициент, равный среднему значению окна W_H в режиме уровня RMS или среднеквадратического значения окна W_H в режиме спектральной плотности мощности.

$$W_{AVG} = \frac{1}{H} \sum_{H=0}^{H-1} W_H$$

$$\text{Среднеквадратическое значение} = \sqrt{\frac{1}{H} \sum_{H=0}^{H-1} W_H^2}$$

Заметка 2: Если флажок **Использовать микрофон** включен в диалоговом окне **Настройка аудиоустройства**, то уровни RMS или PSD повышаются на $20 \log_{10}(2 \cdot 10^{-5} \text{ Па})$ - чувствительность микрофона (мВ/Па).

5. График спектра показывает уровни спектральных величин в виде линейного графика.

Примечание: Спектр ДПФ определяется на дискретном наборе частот, поэтому было бы более уместно показать спектр в виде дискретной гистограммы, но когда мы имеем дело с большим количеством спектральных компонентов, как в случае с ARTA, линейный график дает лучшее визуальное понимание спектральных величин.

В нижней части рис. 2.4 показано:

- среднеквадратичное значение** - Среднеквадратический уровень входного сигнала - определяется как $10 \log_{10}$ (сумма всех компонентов спектра мощности ДПФ). Если взвешивание мощности, в **Масштабирование спектра** диалоговое окно, установлен на фильтр А, В или С, то каждый спектральный компонент перед суммированием спектра взвешивается с помощью амплитудной характеристики фильтров А, В или С (определение этих фильтров см. в разделе 2.4).
- КНИ** - общее гармоническое искажение - определяется как процент квадратного корня из отношения суммы мощностей высших гармоник ($ЧАС_2, ЧАС_3, \dots$) в степени основной гармоники сигнала ($ЧАС_1$).

$$КНИ = 100 \sqrt{\frac{ЧАС_2^2 + ЧАС_3^2 + \dots + ЧАС_N^2}{ЧАС_1^2}} (\%) = 100 \sqrt{\frac{\text{HarmonicPower}}{\text{Фундаментальная мощность}}} (\%)$$

Часто используется альтернативное определение:

$$КНИ = 100 \sqrt{\frac{ЧАС_2^2 + ЧАС_3^2 + \dots + ЧАС_N^2}{ЧАС_1^2 + ЧАС_2^2 + ЧАС_3^2 + \dots + ЧАС_N^2}} (\%) = 100 \sqrt{\frac{\text{HarmonicPower}}{\text{Мощность сигнала}}} (\%)$$

В знаменателе используется полная искаженная мощность сигнала. Это определение наиболее близко к значению гармонических искажений, которые измеряются аналоговыми приборами в маломощных системах.

В системе с высоким уровнем шума лучшим показателем качества является THD+N.

- **КНИ+Ш**—общее гармоническое искажение плюс шум - определяется как процент квадратного корня отношения суммы мощностей высших гармоник и мощности шума к общей мощности сигнала, которая также включает в себя искажения и мощность шума:

$$КНИ+Ш = 100 \sqrt{\frac{HarmonicPower + ШумМощность}{Фундаментальная\ мощность}} (\%)$$

Альтернативное определение:

$$КНИ+Ш = 100 \sqrt{\frac{HarmonicPower + ШумМощность}{Суммарная\ мощность}} (\%)$$

В аналоговых приборах $HarmonicPower + ШумМощность$ получается путем применения режекторного фильтра к основной частоте. Среднеквадратичное значение измеряемого сигнала (*Суммарная мощность*) и среднеквадратичное значение сигнала с вырезанной основной гармоникой измеряются в некоторой заранее заданной полосе частот, обычно от некоторой границы низкой частоты (10, 20 или 100 Гц) до границы высокой частоты (22, 30 или 80 кГц). ARTA не использует ограничение высоких частот. Это автоматически делается фильтром сглаживания входного АЦП. Порог низких частот может быть установлен пользователем.

Точную фильтрацию гармоник и шума можно выполнить, применяя компенсацию частотной характеристики с помощью обратного фильтра полосы пропускания.

Примечание: Если на входе карты нет сигнала, то **среднеквадратичное значение** показывает входной канал **Серийный номер** соотношению.

Оба определения THD и THD+N предложены в разных стандартах. Первое определение становится все более популярным при измерениях АЦП/ЦА преобразователей, стандарт ANSI также использует его для измерений в слуховых аппаратах. Альтернативное определение используется в старых приборах и для измерений громкоговорителей. При КНИ < 10% оба типа измерений дают схожие, почти идентичные результаты.

2.2.1 Усреднение спектра

Усреднение спектра мощности дает оценку спектральных величин сигналов, длина которых превышает одну полученную последовательность. ARTA предлагает усреднение мощности с линейным и экспоненциальным взвешиванием, а также усреднение по пиковому значению.

Упражнение: Установите усреднение на линейное, экспоненциальное или с удержанием пика и обратите внимание на различное поведение.

Примечание: Усреднение мощности не снижает уровень шума. Это просто средний уровень шума.

Вот краткое объяснение взвешивания при усреднении мощности. Для M входных последовательностей со спектральными компонентами $I_{k,j}$, $k=1, 2, \dots, N/2-1$, усредненные спектральные величины $D_{k,j}$ получаются следующим образом:

- **Линейное усреднение**—усредненные спектральные величины $D_{k,j}$ из M входных последовательностей получаются путем суммирования спектра мощности с равным весом $1/M$.

$$D_{k,j} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M |I_{k,j}|^2$$

- **Экспоненциальное усреднение**—обычно используется для мониторинга медленно меняющихся спектров. Он подчеркивает недавние события, сглаживает высокочастотные колебания и выявляет долгосрочные тенденции. ARTA использует сглаживающий фильтр, который имитирует аналоговый фильтр нижних частот первого порядка с постоянной времени T :

$$D_{k,j} = a D_{k,j-1} + (1-a) |I_{k,j}|^2$$

Константа a равно $T_{жс}/(T_{жс}+1)$. В ARTA, T предопределено как 10 - время сбора одной последовательности.

- **Пиковое удержание** – на самом деле это не усреднение, просто $Д_{жм}$ равны максимальным значениям спектральных компоненты,

$$Д_{жм} = \text{Макс}(|И_{жс}|) \quad И_{жс} = 1, 2, \dots, M$$

Вы можете ограничить максимальное количество средних значений в 'Настройка спектрального анализа' диалоговое окно, представленное на рис. 2.2 (его можно вызвать, щелкнув меню **Настройка -> Измерение**).

Примечание: При классической оценке спектра мощности обычно усредняют перекрывающиеся записи времени. Это не реализовано в окне ARTA SPA, поскольку ARTA в основном предназначено для измерения реакций системы с предопределенными типами сигналов, которые периодически появляются в окне анализа.

2.2.2 Окно сигналов

Анализ ДПФ дает точный спектр только в том случае, если полученный сигнал является периодическим в пределах окна сбора данных. Если это не так, необходимо применить окно сигнала для подавления ошибок «утечки» (т.е. при анализе спектра синусоидального сигнала эти ошибки приводят к появлению спектра боковых лепестков – см. рис. 2.6а). Окно сигнала — это операция, при которой входная последовательность $И_{жс}$ умножается на последовательность равной длины $Ш_{ж}$, это называется сигнальным окном. ARTA предлагает следующие окна сигналов: Uniform, Flat-top, Hanning, Blackman3, Blackman4, Kaiser5 и Kaiser7. Они определены в таблице 2.1.

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Униформа (прямоугольная) | $Ш_{ж} = 1$, для $н = 0, 1, 2, \dots, H-1$ |
| Ханнинг | $Ш_{ж} = 0,5 (1 - \cos(й_{ж}))$, $й_{ж} = 2 \cdot н / H$ |
| Блэкман 3 срока | $Ш_{ж} = 0,42 - 0,5 \cos(й_{ж}) + 0,08 \cos(2й_{ж})$; |
| Блэкман 4 срока (Блэкман – Харрис) | $Ш_{ж} = 0,35875 - 0,48829 \cos(й_{ж})$ $+ 0,14128 \cos(2й_{ж}) - 0,01168 \cos(3й_{ж})$; |
| Плоская вершина | $Ш_{ж} = 1 - 1,93 \cos(й_{ж}) + 1,29 \cos(2й_{ж})$ $- 0,388 \cos(3й_{ж}) + 0,0322 \cos(4й_{ж}) / 4.6402$ |
| Кайзер5 (- = 5-) | $Ш_{ж} = \frac{\sqrt{1 - \frac{ 2н - H + 1 }{H - 1}}}{\sqrt{1 - \frac{ 2к - K + 1 }{K - 1}}}$ <p>где $я_{жс} = \frac{1}{K} \sum_{к=0}^{K-1} И_{жс}$</p> |
| Кайзер7 (- = 7-) | |

Таблица 2.1 Определение сигнальных окон, используемых в ARTA

При применении сигнального окна рекомендуется следовать следующим правилам:

- для непрерывных непериодических сигналов (шума) используйте окно Ханнинга
- для измерения гармонических и интермодуляционных искажений используйте окно Kaiser5 или Blackman4, а для получения 24-битного разрешения используйте окно Kaiser7.
- для калибровки синусоидальным сигналом используйте окно с плоской вершиной
- для периодического шума, многотональных сигналов и других сигналов, которые являются периодическими в пределах окна сбора данных, используйте окно Равномерное

Упражнение: Измените окно сигнала и повторите измерения. Типичные результаты показаны на рис. 2.6.

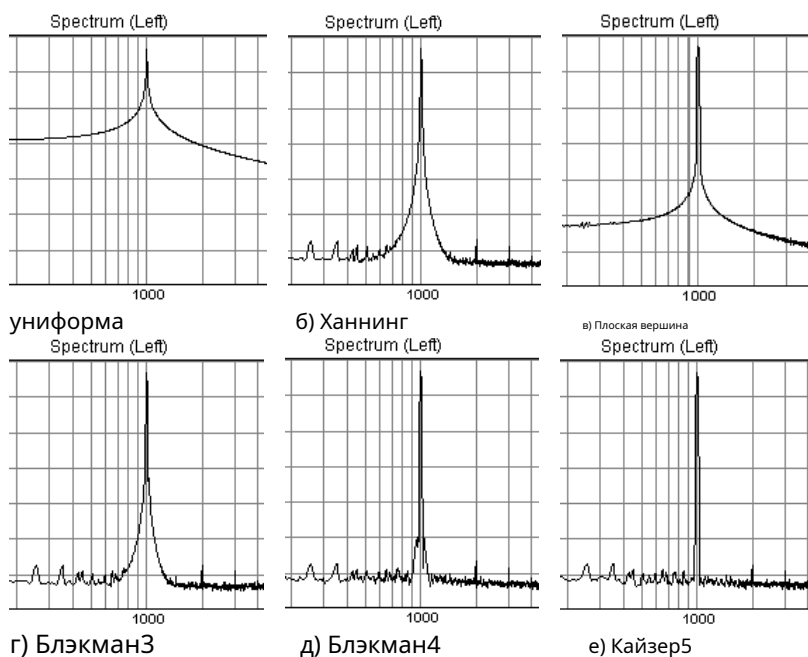


Рисунок 2.6 Спектр синусоидального сигнала частотой 1000 Гц с наложенными окнами:

униформа,
б) Ханнинг,
в) с плоской вершиной,
г) Блэкман3,
д) Блэкман4,
е) Кайзер5

(Показаны величины 20 дБ/дел).

2.2.3 Настройка графика спектра

Команда меню **Настройка->Настройка графика** (или щелчок правой кнопкой мыши в области графика), открывает диалоговое окно **Настройка графика спектра** (рис. 2.7). Используйте это диалоговое окно для настройки (1) показанного динамического диапазона, (2) показанного диапазона частот и (3) разрешения по оси частот.

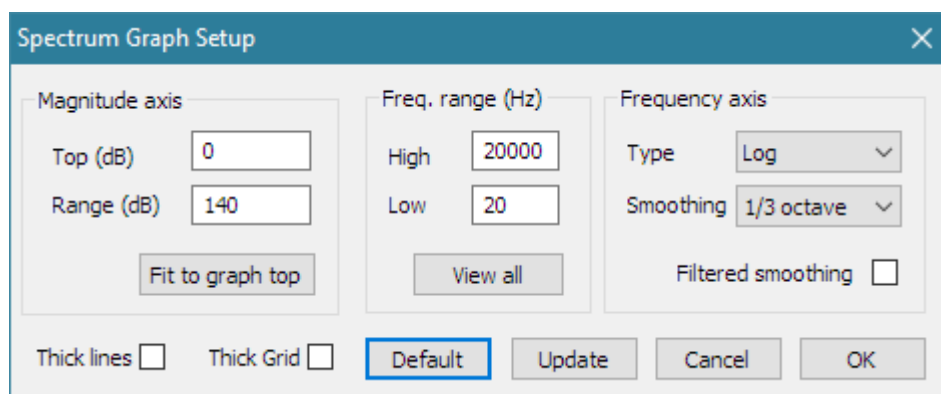


Рисунок 2.7 Диалоговое окно для настройки графика спектра

Ось величины/раздел:

Верх (дБ)—вводит уровень в дБ для верхнего края графика.

Диапазон (дБ)—входит в диапазон величин графика.

Частота. диапазон (Гц)раздел:

Высокий—вводит самую высокую показанную частоту (в Гц).

Низкий—вводит самую низкую отображаемую частоту (в Гц).

Посмотреть все—устанавливает низкие и высокие частоты, чтобы обеспечить просмотр всех компонентов спектра ДПФ.

Ось частотыраздел:

Тип—Доступны четыре типа разрешения оси частоты:

Линейный—Спектр ДПФ показан на линейной оси частот, **логарифмический**—Спектр ДПФ показан на логарифмической оси частот, **Октавное сглаживание**—показаны уровни мощности в сглаженных (свирированных) октавных полосах, **Октавные полосы**—показаны уровни мощности в дискретных октавных диапазонах (имитируют RTA).

Сглаживание—Режимы октавного сглаживания и октавных полос полезны для мониторинга спектра широкополосных сигналов. Частотное разрешение этих режимов можно установить на 1/п-октаву, где п может быть: 1,2,3,6,9,12 и 24.


Фильтрованное сглаживание—Сглаживающие 1/п-октавные фильтры по умолчанию имеют характеристики кирпичной стены, но если вы установите флажок '**Фильтрованное сглаживание**', тогда сглаживающие фильтры будут иметь характеристики фильтров IEC класса I (шестиполосные полосовые фильтры Баттерворта).

Толстые линии—Флажок устанавливает ширину линий графика в две точки **Толстая**

сетка—Флажок устанавливает ширину линий сетки графика в две точки

2.2.4 Настройка цветов графика и стиля сетки

Цвета графика можно изменить в двух категориях: фон и передний план.

- О Пользователь устанавливает цвет фона «Черный» или «Белый», щелкнув команду меню «**Редактировать-> Ч/Б цвет фона**» или щелкнув значок на панели инструментов. 
- О Пользователь устанавливает произвольный цвет переднего плана для каждого элемента графика, щелкнув команду меню '**Редактировать->Цвета и стиль сетки**'. Это открывает '**Настройка цвета**' диалоговое окно, показанное на рис. 2.8. Нажатие левой кнопки мыши на прямоугольнике именованного цвета открывает стандартное диалоговое окно Windows. **Цвет**' показано на рис.2.9.

Примечание 1:Если флажок '**Все наложения одного цвета**' установлен флажок, все наложения будут отображаться одним цветом.

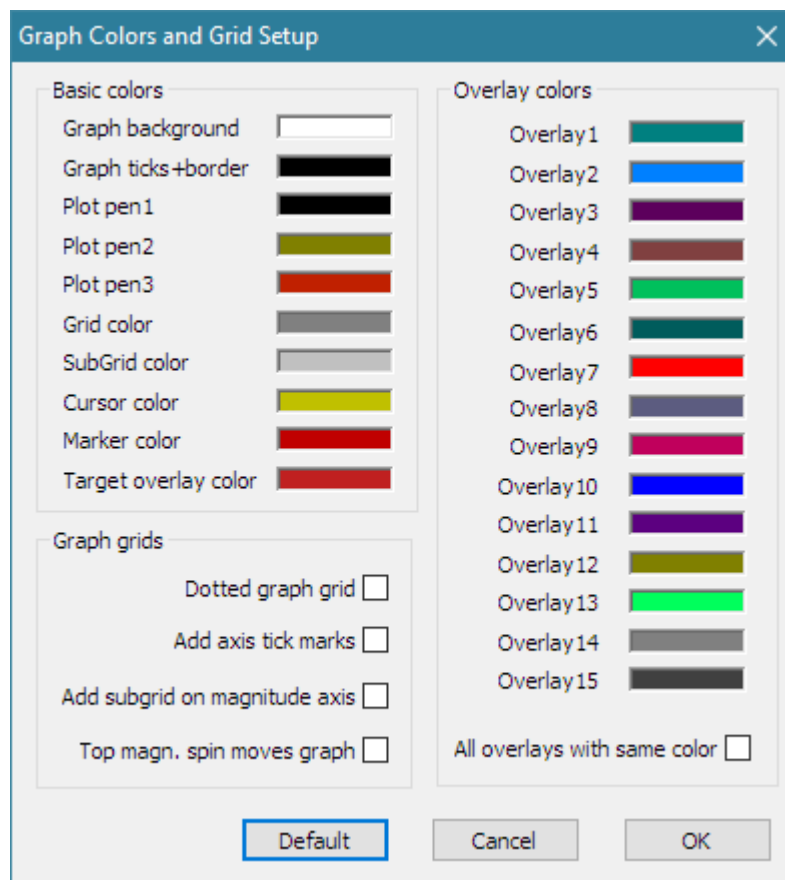


Рисунок 2.8Диалоговые окна настройки цвета графика (для черного и для белого графика используются разные цвета). фон)

Цвета используются для построения кривых следующим образом:

Перо графика 1 используется для построения графика стробируемой импульсной характеристики, спектра и величины FR, перо графика 2 используется для построения графика фазы, Перо графика 3 используется для построения графика нерегулируемой импульсной характеристики и функции когерентности.

Стиль сетки графика определяется тремя опциями:

- Если флажок **'Пунктирная сетка графика'** установлен флажок, сетка на всех типах графиков будет отображаться пунктиром.
- Если флажок **'Добавить отметки осей'** установлен флажок, оси графиков FR и спектра будут отмечены делениями.
- Если флажок **'Добавить подсетку по оси величин'** установлен флажок, графики FR и спектра будут иметь более плотную сетку величин. Эта опция отключает опцию пунктирной сетки.
- Пользователь может настроить вертикальную ось на графиках частотной характеристики и величины спектра, используя управление вращением **'Вершина'** или вращая колесо мыши. Если флажок **'Верхняя магн. график спиновых ходов'** установлен флажок, кнопка вращения «Δ» перемещает построенную кривую величины вверх на шаг, равный вертикальному делению сетки, в противном случае верхнее поле графика увеличивается на ту же величину, а построенная кривая перемещается вниз. Функция колеса мыши ведет себя так же.

Кнопка **'По умолчанию'** восстанавливает цвета и стиль сетки по умолчанию.

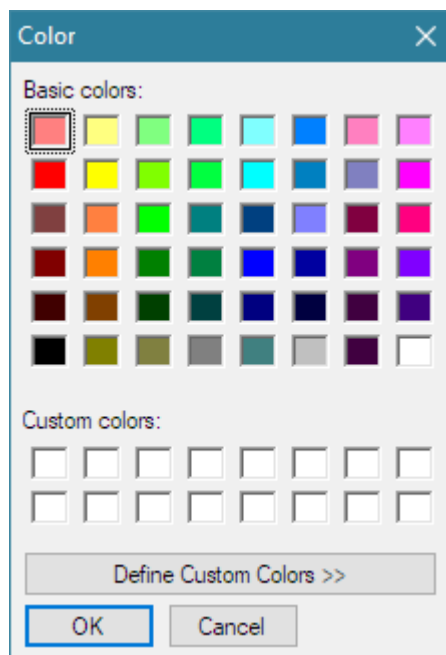


Рисунок 2.9 Стандартная палитра цветов Windows

2.3 Частотное разрешение анализаторов DFT и октавного диапазона

Частотное разрешение определяется как минимальная разница частот, необходимая для различения двух спектральных составляющих. Это зависит от (1) частоты дискретизации (f_c), (2) «Размер БПФ» и (3) окно прикладного сигнала.

DTF-анализ *Н* входные образцы дают *N/2* спектральных компонента, спектр мощности которых равен мощности сигнала, который можно получить с идеальной полосой пропускания. *фильтр с постоянной полосой пропускания*

$\omega_k = \omega_c / H$, на частотах $\omega_k = \omega_c \cdot k$, $k=0,1,2,...,H/2-1$. Полоса пропускания также зависит от применяемого окна сигнала. В Таблице 2.2 показаны эффективная полоса пропускания шума и подавление боковых лепестков окон сигнала, которые используются в ARTA.

| ОКНО | эффективная полоса пропускания | подавление боковых лепестков |
|-----------------|--------------------------------|------------------------------|
| УНИФОРМА | 1.0 | 13 дБ |
| ХЕННИНГ | 1,5 | 31,5 дБ |
| БЛЭКМАН3 | 1,7268 | 66 дБ |
| БЛЭКМАН4 | 2,0044 | 94 дБ |
| КАЙЗЕР5 | 2,2183 | 130 дБ |
| КАЙЗЕР7 | 2,6849 | 160 дБ |
| ПЛОСКАЯ ВЕРШИНА | 3,7703 | 73,6 дБ |

Таблица 2.2Характеристики сигнальных окон ARTA

В анализаторах октавных полос спектр мощности измеряется на некоторой частоте. ω_k в полосе частот, которая имеет **постоянная относительная полоса пропускания**. В 1/п-октавном фильтре относительная полоса пропускания равна

$$\omega_k = \omega_c \cdot 2^{\frac{1}{N} - 2 \cdot \frac{k}{N}}$$

Например, 1/3-октавный фильтр имеет полосу пропускания 23% от центральной частоты.

Центральные частоты 1/п октавных полос определяются выражением:

$$\omega_k = \omega_{k-1} \cdot 2^{\frac{1}{N}}, \quad \omega_{k-1} = 2^{-\frac{1}{N}} \omega_k$$

с частотой 1 кГц, используемой в качестве опорного значения. Эта формула дает значения, близкие к стандартным частотам ISO, указанным в таблице 2.3.

| | | |
|---------|-------|-------|
| 16,0 | 20,0 | 25,0 |
| 31,5 | 40,0 | 50,0 |
| 63,0 | 80,0 | 100 |
| 125 | 160 | 200 |
| 250 | 315 | 400 |
| 500 | 630 | 800 |
| 1000 | 1250 | 1600 |
| 2000 г. | 2500 | 3150 |
| 4000 | 5000 | 6300 |
| 8000 | 10000 | 12500 |
| 16000 | 20000 | 25000 |

Таблица 2.3ISO 266 — Предпочтительные центральные частоты 1/1- и 1/3-октавных полос. (Первый столбец показывает частоты 1/1-октавного диапазона)

В окне Спектральный анализ оценка мощности октавной полосы определяется путем суммирования спектральных мощностей элементов разрешения ДПФ, находящихся внутри 1/п-октавной полосы частот. Реализованы два метода суммирования, как показано на рис. 2.10., и определяются следующим образом:

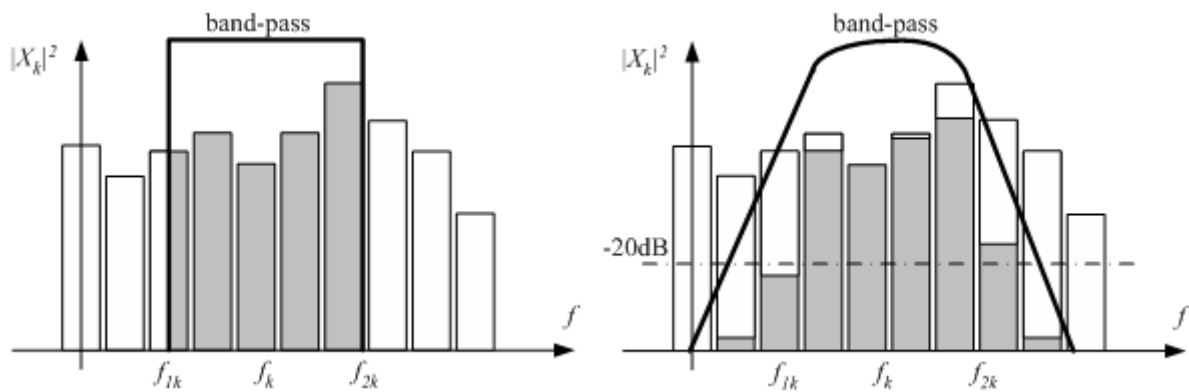


Рисунок 2.10 Суммирование спектральных мощностей в полосе пропускания
а) кирпичного фильтра, б) 6-полюсного полосового фильтра Баттерворта

Власть P_k , в группе $J1_{\text{тыс.}} - Jk - J2_{\text{тыс.}}$, можно оценить двумя способами:

1. *Выходная мощность полосового фильтра кирпичной стены* - Во-первых, предполагается, что каждая компонента ДПФ дает постоянную спектральную плотность мощности $Gn/$ - в области частот $n - J/2 - J - n - J + J/2$ (таким образом мы получаем кусочно-непрерывную спектральную плотность). Затем мощность в полосе получается как интеграл от непрерывной функции спектральной плотности из $J1_{\text{тыс.}}$ - $J2_{\text{тыс.}}$. Этот процесс проиллюстрирован на рисунке 2.10а). Самая низкая частота определяется частотой элемента ДПФ, который имеет относительную полосу пропускания, равную $1/n$ -октава.
2. *Выходная мощность 6-полюсного полосового фильтра Баттерворта* - Во-первых, спектр мощности взвешивается с помощью квадрата величины отклика полосового фильтра. Затем, оценивается как сумма спектральных составляющих мощности между частотами, на которых отклик фильтра составляет -20 дБ. Этот процесс проиллюстрирован на рисунке 2.10б). Кроме того, требуется, чтобы в эту полосу вносили вклад как минимум три спектральных компонента ДПФ. Это требование означает, что полоса пропускания $1/n$ -октавной полосы должна быть более чем в два раза больше ширины полосы разрешения ДПФ, что дает самую низкую частоту $1/n$ -октавного диапазона. n -октавная полоса – это:

$$J_{\text{л}}^{\text{должен}} - 2c \frac{J}{H} \frac{1}{\left(\frac{1}{2^{2n}} - \frac{1}{2^{2n}} \right)}$$

Например, для частоты дискретизации $f_c = 48000$ Гц и количество семплов $N = 16384$, самая низкая частота спектров ДПФ равна 2,93 Гц, самая нижняя $1/3$ -октавная полоса - 25 Гц и самая нижняя $1/12$ -октавная полоса - 100 Гц.

Первый метод является предпочтительным для анализа с высоким разрешением, но если пользователь хочет получить отклик, максимально приближенный к отклику $1/n$ -октавных аналоговых фильтров или к отклику психоакустических фильтров с критической полосой, второй метод дает лучшие результаты.

Спектральная плотность мощности принадлежащий k -я полоса равна $P_k / (J2_{\text{тыс.}} - J1_{\text{тыс.}})$.

2.4 Среднеквадратический уровень

Среднеквадратический уровень сигнала показан на графике слева внизу, на рис. 2.4, но только при условии, что диалоговое окно 'Масштабирование спектра'(Рис 2.3) отметил кнопку 'Показать уровень RMS'. Единицей измерения среднеквадратического уровня является dBFS, dBV или dBu, но если используется микрофон, то единицей измерения является дБ относительно 20 мкПа или дБ относительно 1 Па.

В том же диалоговом окне имеется раздел «Мощность — взвешивание», где пользователь выбирает применить к входному сигналу один из стандартных взвешивающих фильтров IEC 60651 (тип А, В или С). Соответственно, к маркировке уровня добавляется текст (А), (В) или (С). Частотная характеристика этих весовых фильтров показана на рис. 2.11.

Рисунок 2.11Частотная характеристика А, В и С (IEC 60651)

Среднеквадратичное значение определяется как:


$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_{T_0}^{T_0+T} |A_{\text{сиг}}(t)|^2 dt}$$

ARTA использует константу интегрирования $T_{\text{равн}}$ равна длительности одного блока БПФ (примеры приведены в таблице 2.4).

| | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| БПФ-длина | 4096 | 8192 | 16384 | 32768 | 65636 | 131072 |
| T (фс = 48000 Гц) секунд | 0,085 | 0,170 | 0,341 | 0,682 | 1,365 | 2.730 |
| T (fs = 44100 Гц) секунд | 0,093 | 0,185 | 0,371 | 0,743 | 1,486 | 2,972 |

Таблица 2.4Длительность FFT-блока (для частот дискретизации 48000 Гц и 44100 Гц).

2.5 Рекорд времени

Запись времени последнего захваченного сигнала можно увидеть в меню '**Рекорд времени**' окно (показано на рис. 2.12). Его можно активировать, щелкнув меню **Регистратор->Запись времени** или щелкнув панель инструментов .

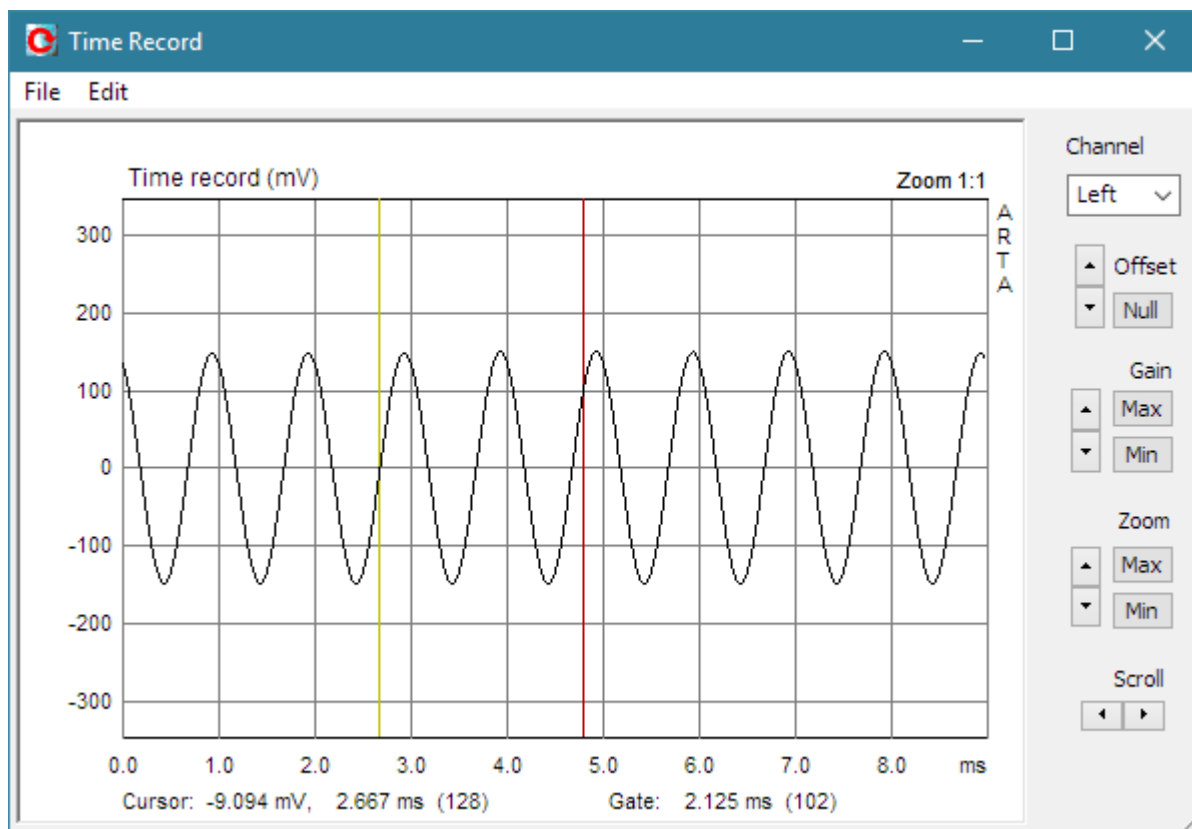


Рисунок 2.12 Запись времени последнего захваченного сигнала

График показывает правильно масштабированную временную запись входного сигнала. Желтая линия обозначает **курсор** положение, а красная линия обозначает **маркер** позиция.

Пользователь устанавливает положение курсора, нажимая и перетаскивая левую клавишу мыши, а положение маркера, нажимая и перетаскивая правую клавишу мыши. Двойной щелчок правой кнопкой мыши включает и выключает маркер.

The '**Курсор**': метка обозначает амплитуду сигнала в позиции курсора (время в мс или позиция отсчета - в фигурных скобках). '**Ворота**': метка обозначает разницу во времени (и в выборках) между курсором и маркером.

Кнопки на правой панели служат командами для **Прокрутки** сигнальный график, чтобы **Увеличить** заговор, чтобы изменить **Приоритеты** вертикальный **Компенсировать**.

Коэффициент масштабирования отображается над правым верхним углом графика. Это записывается как соотношение $l:n$, где l означает количество пикселей, используемых для рисования **образцы** сигналов. **Максимальный зум** определяется соотношением 8:1, **нормальный зум** определяется в соотношении 1:1 и **минимальный зум** определяется соотношением 1: m , где m = длина сигнала/ширина графика в пикселях.

Увеличитькоманды:**Вверх** -увеличивает коэффициент масштабирования. **Вниз**-

уменьшает коэффициент масштабирования.

Мин -устанавливает минимальный коэффициент масштабирования (чтобы показать почти все образцы сигнала). **Макс**

-устанавливает максимальный коэффициент масштабирования, следуя этим правилам:

- Если маркер установлен, то все образцы между курсором и маркером будут показаны с максимально возможным коэффициентом масштабирования.
- Если маркер выключен, график масштабируется до соотношения 1:1, а позиция курсора устанавливается на первую точку графика (или до соотношения 8:1, если предыдущий коэффициент масштабирования меньше или равен 1:1).

Приросткоманды:**Вверх** -увеличивает коэффициент усиления. **Вниз**-уменьшает коэффициент усиления. **Мин** -устанавливаетминимальный коэффициент усиления. **Макс** -устанавливает

максимальный коэффициент усиления.

Компенсироватькоманды:**Вверх** -увеличивает вертикальное смещение. **Вниз**-уменьшает вертикальное смещение. **Нулевой** -

устанавливает вертикальное смещение равным нулю.

Прокруткакоманды:**Левый**–прокручивает график влево.**Верно**–прокручивает график вправо.**'Канал'**Поле со списком показывает используемый в данный момент канал (левый или правый).

Вы также можете использовать следующие сочетания клавиш:

ВверхВниз

изменить выигрыш,

Ctrl+ВверхCtrl+Вниз

изменить вертикальное смещение,

ЛевыйиCtrl+Влево

прокрутить график влево,

ВерноиCtrl+Вправо

чтобы прокрутить сюжет вправо,

Shift+Влевои

перемещать курсор влево и вправо, чтобы

Shift+ВправоиPgDown

изменить коэффициент масштабирования.

Дель

установить позицию курсора на

Ctrl+Дел

0, удалить маркер,

Ctrl+Инс

установить маркер на позиции курсора,

Сочетания клавиш активны, если окно графика находится в фокусе. Фокус устанавливается щелчком мыши в области графика.

Перетаскивание мыши в области метки прокручивает график по горизонтали и вертикали. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области оси времени переключает маркировку положения времени/выборки.

Команды меню:**Файл****Экспорт ASCII**-сохраняет данные времени и амплитуды в текстовом файле.**Информация**-открывает окно сообщения, в котором показано среднеквадратичное значение сигнала и коэффициент амплитуды. Если маркер установлен, среднеквадратичное значение определяется для стробируемой части сигнала.**Редактировать****Копировать**–копирует окно графика в буфер обмена.**Цвет фона ЧБ**–меняет цвет фона на задний или белый. **Толстые линии**–задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка**–задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

2.6 Мониторинг спектров широкополосных сигналов

Находясь в установке измерения Loopback, мы будем исследовать следующие случайные сигналы возбуждения:

- постоянный белый шум - использовать окно Хэннинга и усреднение
- постоянный розовый шум - использовать окно Хэннинга и усреднение
- периодический белый шум (PN белый) - использовать равномерное окно и не усреднять
- периодический розовый шум (PN розовый) - использовать равномерное окно и не усреднять
- периодический речевой шум (этот сигнал используется исключительно при оценке индекса передачи речи – STI)

Примечание: Классические аудиоанализаторы реального времени используют возбуждение розового спектра для октавного или октавно-сглаженного анализа отклика громкоговорителя. В идеальном случае (после усреднения) возбуждение розового спектра дает ровный отклик в режиме спектра мощности (дБFS или дБВ RMS). Если мы используем возбуждение белого спектра, то анализ октавной полосы или октавного сглаживания дает плоский отклик в режиме PSD (режим спектральной плотности мощности).

Важно изучить характеристики сигналов белого и розового спектра, поскольку они будут использоваться для оценки частотной и импульсной характеристик.

Упражнение:

Сначала установите:

| | |
|------------------|-----------------------------------------------------|
| Генератор: | белый шум |
| Масштабирование: | PSD |
| Размер БПФ: | 32768 |
| Фс (Гц): | 48000 |
| Окно: | Ханнинг |
| О. ось: | Октавное сглаживание, 1/3 окт., от 20 до 20 000 Гц. |
| Усреднение: | Нет. |

Вы получите спектр, показанный на рис. 2.13.

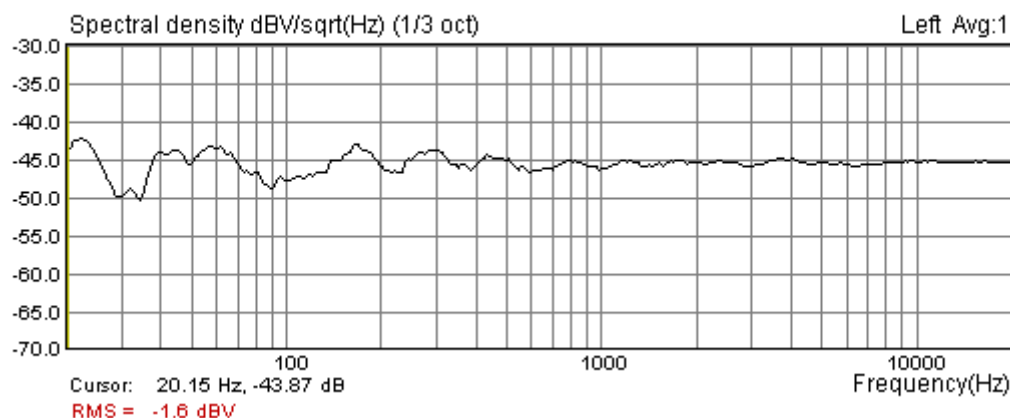


Рисунок 2.13 Спектральная плотность генератора белого шума, сглаженная по октаве (масштабирование PSD)

Обратите внимание, что спектральная плотность короткой «белой» последовательности не является плоской. Пульсации очень высокие (~10 дБ). Если повторить измерения в режиме усреднения, установленном на Линейный, то после 20 усреднений мы получим спектр, показанный на рис. 2.14. Пульсации снижены до -1 дБ. Используя 100 средних значений, пульсацию можно снизить до -0,2 дБ.

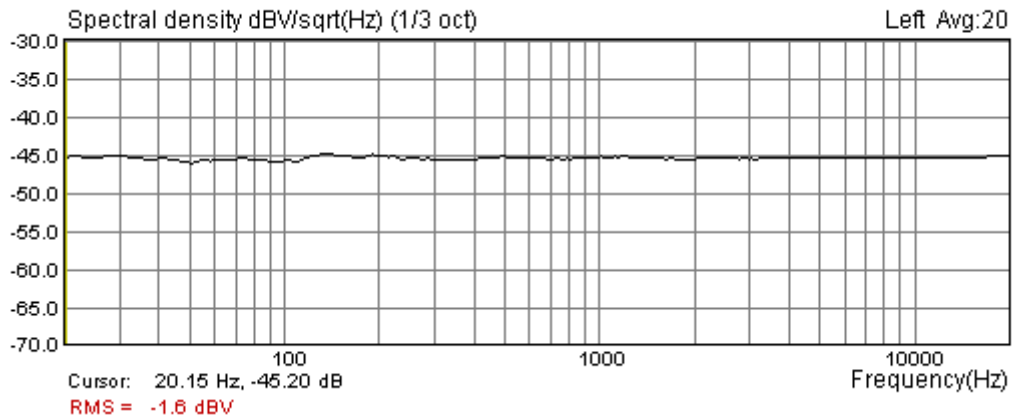


Рисунок 2.14 Спектральная плотность белого шума, сглаженная по октаве, после 20 усреднений (масштабирование PSD).

Теперь, если мы изменим на:

Генератор: **ПН белый**(периодический белый шум)
Окно **Униформа**

получим спектр, показанный на рис. 2.15.

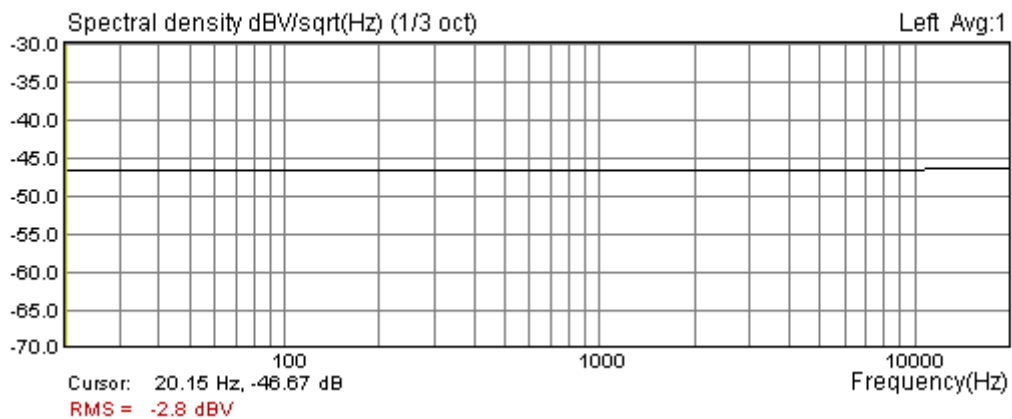


Рисунок 2.15 Октавная сглаженная спектральная плотность периодического белого шума

Очевидно, что сигнал периодического шума имеет совершенно ровную спектральную плотность без усреднения и без какого-либо оконного преобразования сигнала.

Примечание: Тот же результат можно получить с периодическим возбуждением розовым шумом (PN Pink) и масштабированием, установленным на dBFS или dBV.

2.7 Периодический шум

Периодический шум — это сигнал, принадлежащий к классу мультисинусоидальных сигналов со случайной фазой (RPMS). Это периодический сигнал нулевого постоянного тока, который содержит M синусоидальные компоненты, каждая из которых имеет случайную фазу:

$$r(t) = \sum_{k=1}^M A_k \sin(2\pi f_k t + \phi_k), \quad \phi_k = \text{случайный } -0,2\pi \text{ до } 0,2\pi$$

В ARTA широкополосный мультисинусоидальный сигнал генерируется с использованием обратного ДПФ:

$$r_H = \sum_{k=0}^{H-1} \frac{1}{H} A_k e^{j2\pi f_k t} e^{j2\pi f_k H}$$

где $A_k = \begin{cases} 0, & k=0 \\ A_k, & k=1 \dots H-1 \end{cases}$, $\phi_k = \begin{cases} 0, & k=0 \\ \text{случайный } -0,2\pi \text{ до } 0,2\pi, & k=1 \dots H-1 \end{cases}$

В ARTA реализованы три типа периодического шума:

1. **Белый ПН** - в нем есть $A_k = \text{const}$ и белый спектр.
2. **Розовый ПН** - в нем есть $A_k = 2A_{2k}$, а спад спектральных величин составляет 3 дБ/окт (после некоторой частоты среза - см. рис. 2.16). В ARTA переменную частоту среза низких частот можно изменить в диалоговом окне **'Настройка генератора сигналов'**. Розовый шум обычно используется в октавной полосе или в режимах сглаживания октав $1/n$ со масштабированием в дБВ (см. рис. 2.17), поскольку он дает линейную частотную характеристику в полосах с постоянной относительной полосой пропускания.
3. **Речь ПН** - его спектральные величины определены стандартом IEC 60268-16 для измерения индекса передачи речи (см. рис. 2.18).

Амплитуды этих сигналов имеют нормальное распределение, а пик-фактор составляет 12-13 дБ. Путем дальнейшей обработки пик-фактор можно снизить до значений ниже 6 дБ. В ARTA реализована периодическая генерация шума с пик-фактором менее 10 дБ.

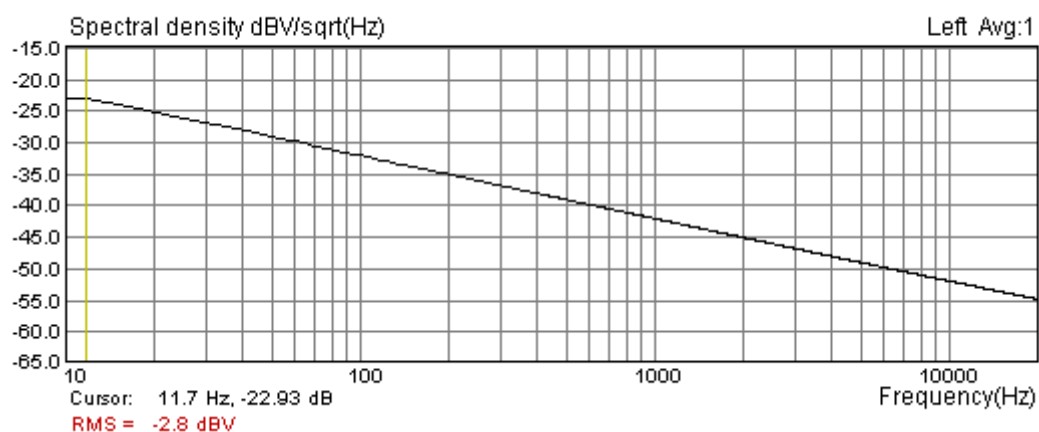


Рисунок 2.16 Спектральная плотность периодического розового шума, сглаженная по октаве (PSD Scaling)

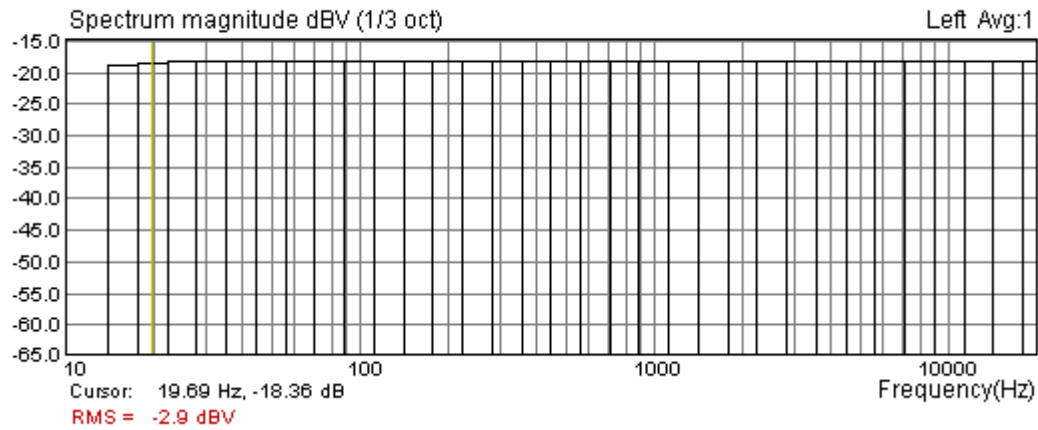


Рисунок 2.17Октавный спектр периодического розового шума (масштабирование дБВ)

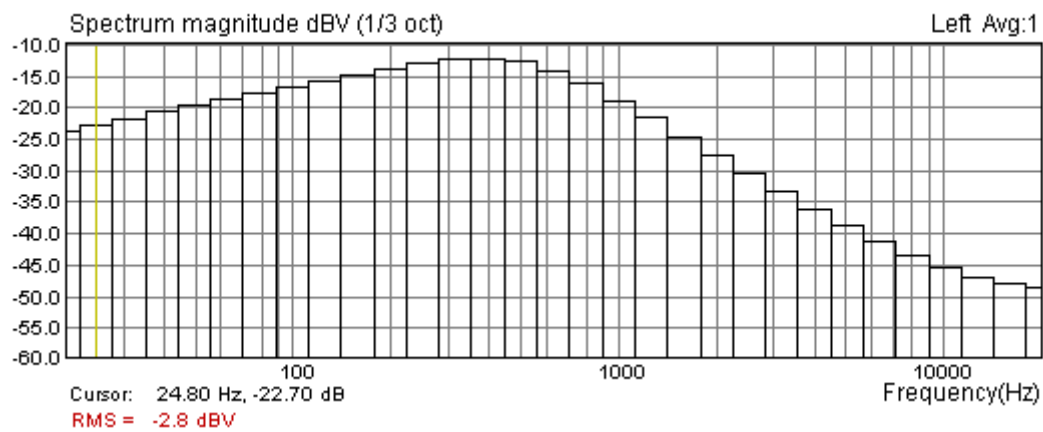


Рисунок 2.181/3-октавный спектр периодического «речевого» шума

2.8 Тестирование с использованием двухсинусоидального сигнала

Возбуждение двумя синусоидальными сигналами обычно используется для измерения интермодуляционных искажений. В диалоговом окне **'Настройка генератора сигналов'** Пользователь может выбрать две предопределенные настройки измерения (11 кГц и 12 кГц с соотношением амплитуд 1:1 и 100 Гц и 8 кГц с соотношением амплитуд 4:1) или установить выбор, определяемый пользователем (две синусоидальные частоты и соотношение амплитуд).

Для измерения интермодуляционных искажений выполните следующую процедуру: 1. Тип

генератора: Два синусоидальных генератора.

2. В **'Масштабирование спектра'** диалоговом окне установите флажок IMD, как показано на рис. 2.19.

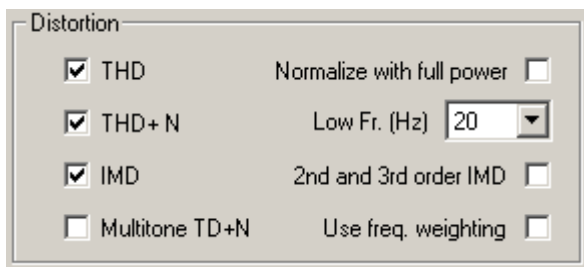


Рисунок 2.19

3. В диалоговом окне **'Настройка генератора сигналов'**, в разделе «Пользователь» установите две синусоидальные частоты на 11000 Гц и 12000 Гц, а соотношение амплитуд — на 1:1, как показано на рис. 2.20.

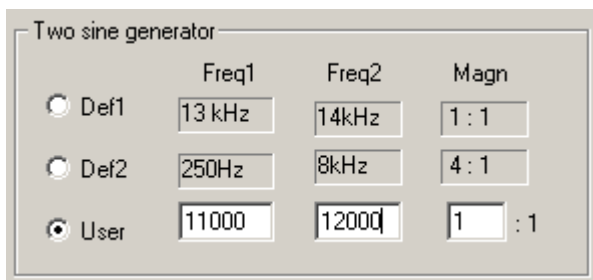


Рисунок 2.20

4. Установите:

| | |
|-----------------------------|----------|
| Масштабирование оси частот: | Бревно |
| Усреднение: | Линейный |
| Окно: | Кайзер5 |

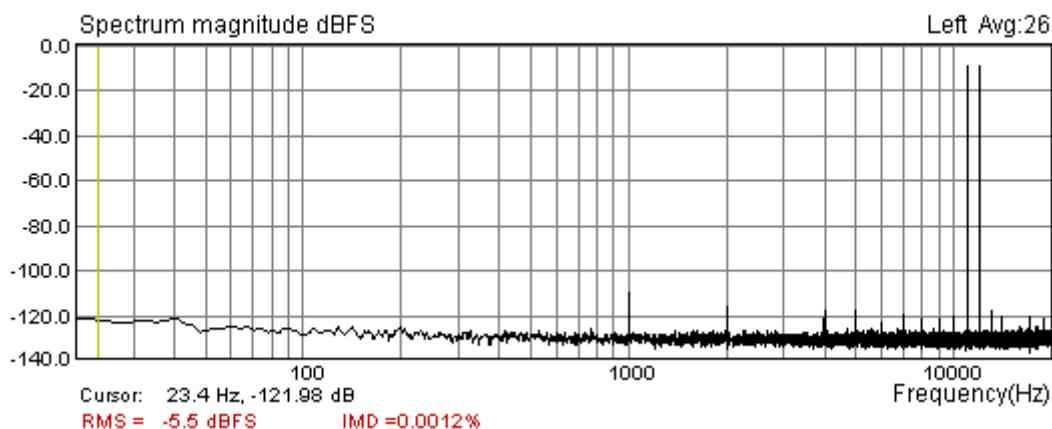


Рисунок 2.21 Интермодуляционные искажения звуковой карты Terratec EWX 24/96 (измерения проводились с помощью двух синусоиды: 11 кГц и 12 кГц)

В примере на рис. 2.21 показан спектр интермодуляции для возбуждения 11 кГц и 12 кГц. Обратите внимание на доминирующую составляющую интермодуляции на частоте 1 кГц (это разница между 11 кГц и 12 кГц).

2.8.1 Определения интермодуляционных искажений

Нелинейные интермодуляционные искажения характеризуются появлением на выходе устройства частот, представляющих собой линейные комбинации основных частот и всех гармоник, присутствующих во входных сигналах. Сами по себе гармонические компоненты обычно не считаются характеризующими интермодуляционные искажения.

Чтобы объяснить, как ARTA оценивает интермодуляционные искажения, мы используем обозначение $\gamma(n\phi_1 - m\phi_2)$ для выражения величины компонента интермодуляционного спектра на частоте $n\phi_1 - m\phi_2$. Спектр сигнала возбуждения имеет две составляющие с величинами $\gamma(j_1)$ и $\gamma(j_2)$. Обычно говорят, что $n\phi_1 - m\phi_2$ является компонентом искажения порядка $n+m$.

Существует несколько способов выразить процент интермодуляционных искажений:

- Силовой метод
- СМПТЭ (Общество инженеров кино и телевидения) и стандартный метод DIN 45043
- Стандартный метод IEC-60286
- Стандартный метод CCIF (теперь ITU-T)

Здесь мы кратко обсудим эти методы.

Силовой метод

Интермодуляционные искажения рассчитываются как квадратный корень из отношения суммы мощностей компонентов интермодуляционных продуктов к общей мощности сигнала.

$$ИМД_{\text{власть}} = 100 \sqrt{\frac{\sum_{m, n \neq 0} \gamma^2(n\phi_1 - m\phi_2)}{\sum_{m, n \neq 0} \gamma^2(j_1) + \sum_{m, n \neq 0} \gamma^2(j_2)}} \%$$

В ARTA используются только самые крупные компоненты, для $1 < m, n < 8$.

Метод МЭК 60268

Для измерений громкоговорителей стандарт IEC 60268-5 определяет два фактора:

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент модуляционных искажений 2-го порядка} &= 100 \frac{\gamma(j_2 + j_1) + \gamma(j_2 - j_1)}{\gamma(j_2)} \% \\ \text{Коэффициент модуляционных искажений 3-го порядка} &= 100 \frac{\gamma(j_2 + 2j_1) + \gamma(j_2 - 2j_1)}{\gamma(j_2)} \% \end{aligned}$$

Эти факторы показывают доминирующие интермодуляционные искажения, когда $j_2 \gg j_1$, т.е. для тестирования громкоговорителей мы используем $j_2 = 8,5j_1$.

Для измерения искажений усилителя, когда $j_2 = j_1$, стандарт IEC 60268-3 определяет два фактора:

$$\text{Коэффициент искажения разностной частоты 2-го порядка } DFD2 = 100 \frac{\gamma(j_2 - j_1)}{\gamma(j_1) + \gamma(j_2)} \%$$

$$\text{Коэффициент искажения разностной частоты 3-го порядка} \quad ДФДЗ = 100 \frac{A(2f_2 - f_1) + A(2f_1 - f_2)}{A(f_1) + A(f_2)} \%$$

Метод DIN 45043 (SMPTE)

Этот метод предполагает, что $f_2 \gg f_1$, обычно $f_1 = 250$ Гц, $f_2 = 8000$ Гц по DIN, или $f_1 = 60$ Гц, $f_2 = 7000$ Гц в стандарте SMPTE. Отношение амплитуд $A(f_1):A(f_2) = 4:1$.

Метод измерения SMPTE определен для аналоговых приборов. Во-первых, выходной искаженный сигнал фильтруется фильтром верхних частот на частоте 2000 Гц, чтобы устранить влияние компонентов $A(f_1)$. Затем отфильтрованный сигнал демодулируется по амплитуде на частоте f_2 и фильтр нижних частот на частоте 700 Гц, чтобы получить мощность компонентов модуляции на уровне $f_2 - f_1$. Используются всего несколько компонентов. Наконец, искажение IM выражается как квадратный корень из отношения мощности модуляции к мощности $A(f_2)$.

ARTA следует определению из стандарта DIN, называемому общим коэффициентом интермодуляции:

$$ИМД_{DIN} = 100 \sqrt{\frac{-(A(f_2 + nf_1) + A(f_2 - nf_1))^2}{A^2(f_2)}}$$

В этом выражении амплитуды боковых полос суммируются и выражаются в процентах от уровня верхней частоты. Этот коэффициент интермодуляции очень близок к значению интермодуляционных искажений, которые можно измерить с помощью аналоговых приборов SMPTE.

Метод CCIF (ITU-T)

Стандарт CCIF для измерения интермодуляционных искажений рекомендует возбуждение с двумя близко расположенными частотными компонентами $f_2 - f_1$. Рекомендуется использовать $f_1 = 13$ кГц, $f_2 = 14$ кГц в системе с ограничением 15 кГц, или $f_1 = 19$ кГц, $f_2 = 20$ кГц для тестирования усилителя. Рекомендуемое соотношение амплитуд $A(f_1):A(f_2) = 1:1$.

Доминирующие продукты интермодуляции находятся на разных частотах. DFD второго порядка находится на частоте $f_2 - f_1$, DFD третьего порядка находятся на частотах $2f_2 - f_1$, $2f_1 - f_2$, затем следует DFD на частотах $3f_2 - 2f_1$, $3f_1 - 2f_2$, ... и так далее.

Многие аналоговые приборы, соответствующие стандарту CCIF, измеряют только 2nd-порядково-разностные частотные искажения DFD2, т.е.

$$ИМД_{CCIF} = ДФД_2 \text{ (в аналоговых приборах)}$$

Некоторые приборы CCIF также измеряют искажения разностной частоты 3-го порядка DFD3.

Из-за близкого разделения частот этот метод также применяется в некоторых анализаторах с качающейся частотой.

Современные анализаторы БПФ способны измерять все продукты искажений. ARTA сообщает DFD2 и DFD3, а также общее интермодуляционное искажение (IMD), рассчитанное методом мощности с использованием двадцати самых сильных компонентов интермодуляционного спектра.

Расчет и отчет об интермодуляционных искажениях в ARTA

ARTA использует все описанные методы для расчета интермодуляционных искажений. Выбор используемого метода определяется автоматически из соотношения частот f_2/f_1 , следующим образом:

- Если $f_2/f_1 < 2$ ARTA использует метод CCIF и сообщает об искажениях разностной частоты DFD2 и DFD3 плюс IMD (определяется методом мощности).
- Если $f_2/f_1 > 7$ ARTA использует метод DIN (SMPTE) и сообщает об искажениях модуляции: IMD_{DIN}, MD2 и MD3.
- Если $2 < f_2/f_1 < 7$ ARTA использует метод Power и сообщает IMD

Если соотношение амплитуд отличается от рекомендаций в стандартах, пользователь должен сообщить об этом дополнительно.

2.9 Многотональное тестирование

Многотональное тестирование становится очень важным для тестирования качества аудиосигналов с цифровым кодированием. Многофон относится к классу мультисинусоидальных сигналов. Это сумма нескольких синусоидальных сигналов с постоянной амплитудой и фазой, оптимизированных для получения наименьшего пик-фактора.

В ARTA реализованы следующие многотональные сигналы:

- Широкополосный диапазон Синусоидальные сигналы с интервалом 1/3 октавы от 20 до $f_c/2$. Крест-фактор составляет 12 – 1 дБ.
- Речевой диапазон Линейно разнесенные синусоидальные сигналы от 100 Гц до 500 Гц, а также синусоидальные сигналы с интервалом 1/3 октавы от 500 Гц до 8 кГц. Фазы оптимизированы для коэффициента амплитуды 10–1 дБ.
- МСЭ-T 0.81 39 синусоидальных сигналов с частотой 100 Гц (от 100 Гц до 3800 Гц). Фазы определяются в соответствии с Рекомендацией ITU-T 0.81. Крест-фактор составляет 10–1 дБ.
- Низкий десятилетний диапазон Десять синусоидальных сигналов, разнесенных на 1/3 октавы в младшей декаде диапазона дискретизации. Крест-фактор составляет 10–2 дБ.
- Высокий десятилетний диапазон Десять синусоидальных сигналов, разнесенных на 1/3 октавы в старшей декаде диапазона дискретизации. Крест-фактор составляет 10–2 дБ.
- Квадрат + синус Сумма периодических прямоугольных импульсов частоты $f_1=3,18$ кГц и синус частоты $f_2=15$ кГц, с амплитудным соотношением $B_1:B_2=4:1$, обычно используется для тестирования переходных интермодуляционных искажений (DIM). Для тестирования усилителей рекомендуется использовать частоту дискретизации 192 кГц или 96 кГц. DIM в процентах определяется выражением [57]:

$$DIM = 100 \cdot \frac{B_{nt}}{B_2} \cdot \frac{1}{B_1} \quad (57)$$

где B_{nt} – амплитуда интермодуляционной составляющей $f_2 - n f_1$, где n является положительным целым числом и B_2 – амплитуда синусоиды.

Все многотональные компоненты генерируются так, что каждая частота синуса совпадает с частотой элементов разрешения ДПФ. Поэтому, при анализе отклика на многотональность нам не нужно применять оконную обработку сигнала. На рис. 2.22 показан спектр «речевого» многофона, проходящего через систему GSM. Обратите внимание на высокий процент искажений.

Примечание: Термин TD+N (общее искажение + шум) довольно новый. Это пока не принято ни в одном стандарте. Его значение таково: **TD+N — это процент квадратного корня из отношения мощности всех шумовых элементов к мощности многофонного сигнала. Интермодуляционные искажения в режиме Square+sinus выражаются в DIM (%).**

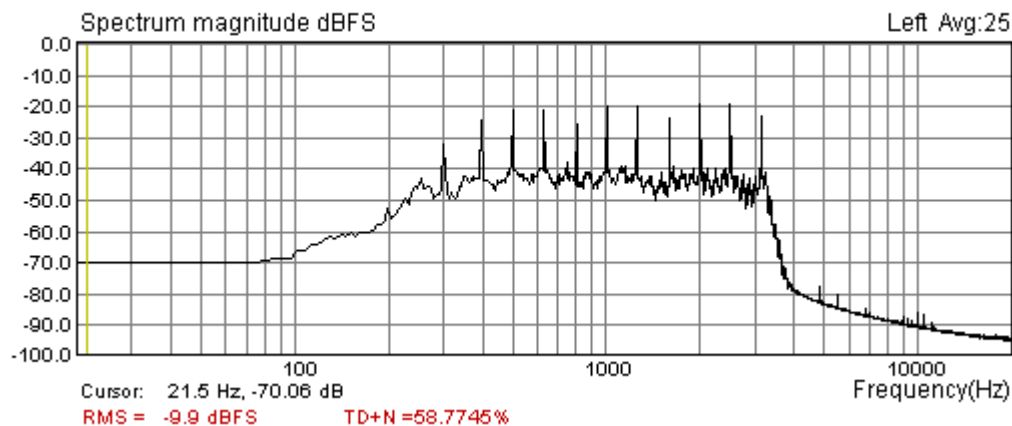


Рисунок 2.22 Спектр «речевого» многотона проходил через два мобильных телефона в системе GSM.

Примечание: Тестирование на искажения многотонального сигнала кажется единственной значимой мерой искажений в кодированных системах.

2.10 Мониторинг динамики измерений

Во время измерений пользователь может проверить динамический диапазон измерений в полях пик-метров строки состояния, показанных на рис. 2.23.

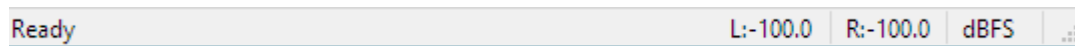


Рисунок 2.23 Строка состояния окон ARTA

Левый текст показывает текущий контекст меню. В правом текстовом поле указана единица измерения.

Текстовые поля L: и R: показывают максимальные полномасштабные уровни левого и правого входных каналов во время измерения. Эти «пиковые измерители» имеют динамический диапазон от -100 до 0 dBFS.

Если входные каналы перегружены, на пик-метрах отображается надпись «OVR!».

2.11 Наложение спектра

Наложение представляет собой кривую, которая постоянно отображается рядом с отображаемой в данный момент измеренной кривой. Во время или после измерений пользователь может установить текущую кривую в качестве наложения, щелкнув команду меню **Наложение->Установить** или нажав клавиши клавиатуры **Ctrl+A**. Помимо величины спектра и кривых наложения, график может показать разницу между величиной спектра и наложением. Чтобы это включить, пункт меню **Наложение->Показать отличие от наложения** необходимо проверить.

В качестве примера на рисунке 2.24 показаны три кривые: черная кривая показывает величину спектра после 100 усреднений, зеленая кривая показывает наложение, полученное из спектра после 2 усреднений, а синяя кривая показывает разницу величины спектра и наложенной кривой.

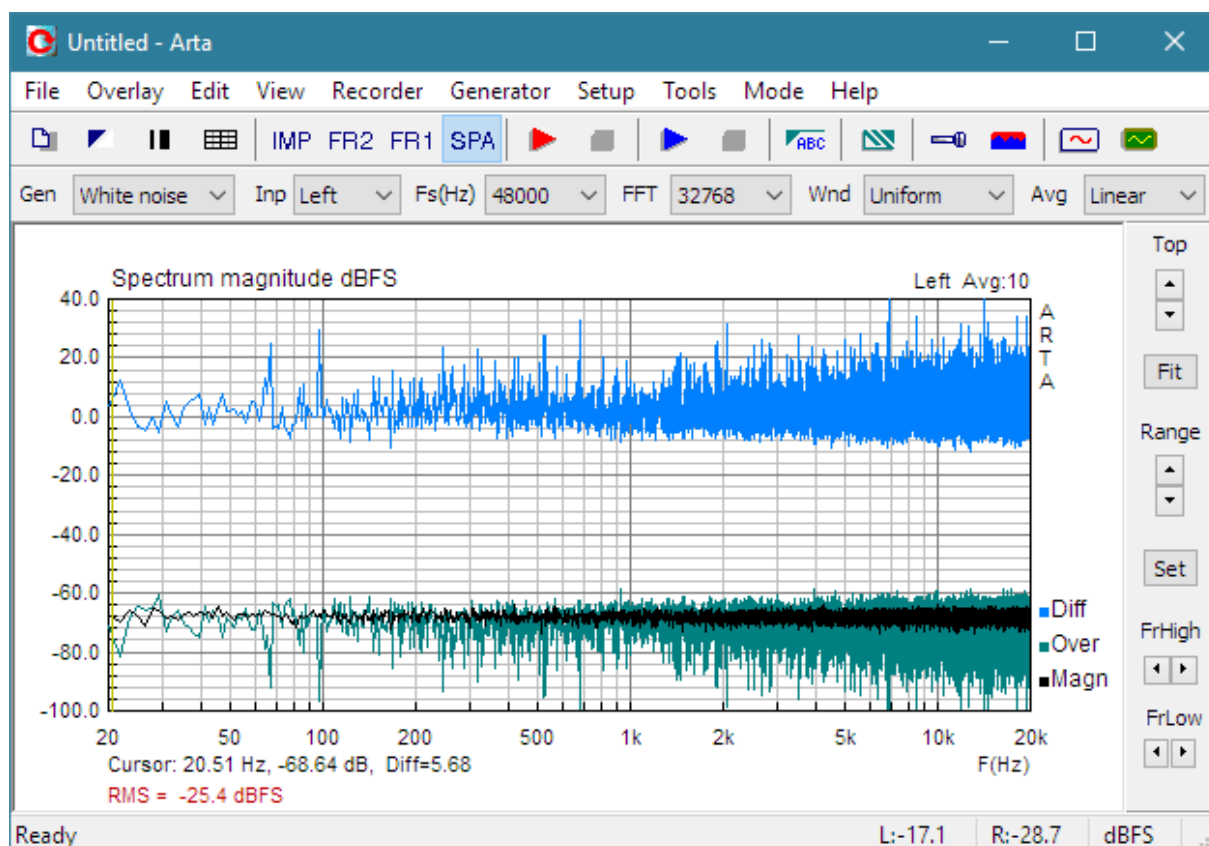


Рисунок 2.24 Черная кривая показывает величину спектра после 100 усреднений, зеленая кривая показывает наложение, получено из спектра после двух усреднений, синяя кривая показывает разницу между спектрами величина и кривая наложения.

Наложение можно удалить командой меню **Наложение -> Удалить**.

Оверлей можно сохранить на диск (команда меню **Наложение -> Сохранить**) или загрузен с диска (команда меню **Наложение -> Загрузить**).

Наложения сохраняются в файлах двоичного формата с расширением «.OVS».

Практически таким же образом используются накладки в окне АЧХ, но они сохраняются в файлах с расширением .OVF.

Примечание: Значения текущей кривой спектра можно сохранить в текстовых файлах (команда меню **Файл -> Экспорт ASCII** или **Файл -> Экспорт CSV**). Сохраненный файл содержит строки текста со значениями частоты в Гц и амплитуды в дБ.

Примечание: Уровень наложения зависит от типа масштабирования спектра. Если оно сделано в режиме PSD, оно действительно в этом режиме. То же самое справедливо и для режима спектра мощности (дБВ, дБФС).

2.12 Сохранение сигналов генератора в файл .wav

Иногда необходимо использовать внешний генератор сигналов, например, для проверки акустики в автомобиле или для проверки проигрывателя компакт-дисков. Все сигналы, которые может генерировать ARTA (шум, синусоидальный сигнал и джиттер, многотональный сигнал), можно сохранить в виде файла Microsoft .wav. Команда меню **Генератор->Сохранить в файле .wav.** в режиме **ФР2, ФР1** и **Спенсильвания** открывает диалоговое окно **'Сохранить сигнал генератора'**, как показано на рис. 2.25.

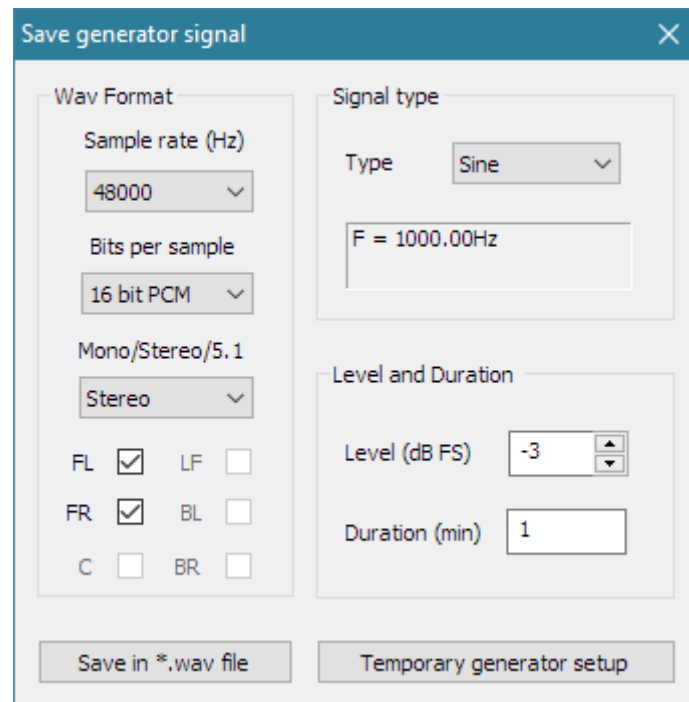


Рисунок 2.25 Диалоговое окно для создания многоканальных файлов .wav с сигналами, генерируемыми ARTA.

Три раздела служат для установки типа сигнала, формата файла wav, уровня и продолжительности сигнала. После правильной настройки кнопка **'Сохранить в файл *.wav'** открывает диалоговое окно для сохранения файла. Если необходима более расширенная настройка генератора, ее можно активировать, нажав кнопку **'Временная установка генератора'**. Это откроет **'Настройка генератора сигналов'** диалоговое окно (как показано на рис. 2.1).

WAV-формат раздел имеет следующие элементы управления:

Частота дискретизации (Гц) - устанавливает частоту дискретизации.

Битов на выборку - устанавливает количество бит в выборке, закодированной PCM (16, 24 или 32).

Моно/Сtereo/5.1 - устанавливает количество каналов: моно, стерео или многоканальное 5.1.

Флажки FL, FR,, C, LF, BL, BC установить, какой канал в многоканальном потоке будет содержать генерируемый сигнал (FL – передний левый, FR – передний правый, C – центральный, BL – задний левый, BR – задний правый и LF – низкочастотный).

Тип сигнала раздел имеет следующие элементы управления:

Тип - устанавливает тип сигнала, который будет сгенерирован (синусоидальный, двухсинусоидальный, тест на джиттер, многотональный, непрерывный белый шум, непрерывный розовый шум, периодический шум: PN белый, PN розовый, PN речь).

Текстовое поле показывает частоту синусоидального или двухсинусоидального сигналов, как показано в поле редактирования. Чтобы изменить это (нажмите кнопку «Временная настройка генератора»).

Уровень и продолжительность раздел имеет следующие элементы управления:

Уровень (дБFS) - редактирует амплитуду сигнала относительно значения полной шкалы PCM.

Продолжительность (мин) - редактирует продолжительность сигнала в минутах.

3 Теория измерений частотной характеристики

3.1 Соотношение ввода/вывода LTI

Измерение частотной характеристики основано на классическом анализе Фурье, который утверждает, что каждый временной сигнал с конечной энергией имеет соответствующее преобразование Фурье. При системном анализе мы предполагаем, что линейная нестационарная (LTI) система возбуждается сигналом $x(t)$ и на выходе имеет сигнал $y(t)$. Оба сигнала $x(t)$ и $y(t)$ имеют соответствующие преобразования Фурье $X(f)$ и $Y(f)$.

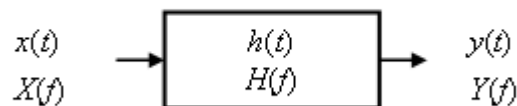


Рисунок 3.1 Система LTI

Взаимосвязь между входом и выходом системы LTI в частотной области может быть выражена как:

$$Y(f) = X(f) H(f)$$

где комплексная функция $H(f)$ называется *частотная характеристика*:

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = |H(f)| e^{j\phi(f)}$$

$|H(f)|$ называется *отклик величины*, и $\phi(f)$ называется *фазовая характеристика*. Частотная характеристика показывает, как система меняет величину и фазовый спектр входного сигнала.

Обратное преобразование Фурье частотной характеристики называется *импульсивный ответ*. Мы обозначаем его как $h(t)$.

Продукт $X(f) H(f)$ имеет пару Фурье во временной области, определяемой сверткой $x(t) * h(t)$. Эта свертка равна выходному сигналу $y(t)$:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

Функция $h(t)$ называется *импульсивный ответ* системы, так как это реакция системы на импульс - функцию возбуждения. Очевидно, как и при анализе свертки $x(t) * h(t)$, мы получаем:

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \delta(t - \tau) d\tau$$

Частотная характеристика системы обычно оценивается с использованием перекрестного спектра ввода-вывода и входного автоспектра. Перепирав выражение для передаточной функции в следующем виде:

$$ЧАС_{xy}(ж) = \frac{Дa(ж)}{Икс(ж)} = \frac{Дa(ж) Икс^*(ж)}{Икс(ж) Икс^*(ж)} = \frac{C_{xy}(ж)}{C_{xx}(ж)}$$

мы можем получить частотную характеристику, разделив перекрестный спектр ввода-вывода на входной автоспектр (звездочка обозначает комплексно-сопряженное значение). Это уравнение обычно называют *ЧАС-оценщик*.

Пары преобразований Фурье перекрестного спектра $C_{xy}(ж)$ и входной автоспектр $C_{xx}(ж)$ — взаимная корреляция $p_{xy}(τ)$ и автокорреляция ($p_{xx}(τ)$) т.е.

$$\begin{array}{ll} p_{xy}(τ) - C_{xy}(ж) & \text{«взаимная корреляция»} \\ p_{xx}(τ) - C_{xx}(ж) & \text{«автокорреляция»} \end{array}$$

Если вход системы имеет белый спектр ($C_{xx}(ж)=1$), тогда $p_{xx}(τ)=δ(τ)$, импульсная характеристика равна взаимной корреляции ввода-вывода;

$$ЧАС(τ) = p_{xy}(τ), \text{ если вход имеет белый спектр}$$

Используя ЧАС-Оценка частотной (и импульсной) характеристики важна, так как будет показано, что эта оценка имеет хорошие свойства по снижению влияния шума и искажений. Предшествующая теория справедлива только для бесшумной среды и для сигнала возбуждения, имеющего бесконечную длительность. На практике всегда присутствует некоторый шум, и мы можем анализировать только сигналы конечной продолжительности.

На рис. 3.2 показана измерительная система, типичная для акустических измерений. Сигнал, сгенерированный компьютером g , после ЦАП-фильтрации с передаточной функцией D , применяется к тестовой системе, имеющей передаточную функцию ЧАС. Обратите внимание, что ЧАС представляет собой наилучшую линейную аппроксимацию возможной нелинейной передаточной функции. Шумом генератора пренебрегаем. Выходной сигнал испытательного устройства вместе с аддитивным шумом системы n принимается компьютером как дискретная последовательность сигналов y . Процесс сбора данных подразумевает использование сглаживающего фильтра, имеющего передаточную функцию A .

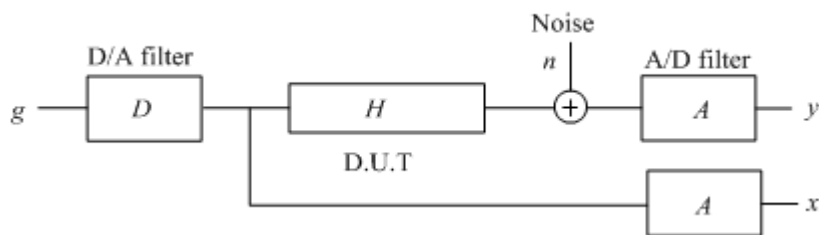


Рисунок 3.2 Блок-схема измерительной системы

Примечание: При акустических измерениях пренебрегаем влиянием шума генератора и шума во входном канале. Икс, так как они значительно меньше шума и искажений в выходном канале y .

В двухканальной системе входные данные для тестового устройства принимаются компьютером в виде дискретной последовательности. Икс. В одноканальной системе мы не измеряем сигнал на входе системы, а рассматриваем известный сигнал g как возбуждение системы.

В следующих разделах мы обсудим двухканальные и одноканальные системы измерения.

3.2 Двухканальная система с непрерывным шумовым возбуждением

В классическом анализаторе Фурье возбуждение представляет собой случайный шум, а частотная характеристика оценивается путем деления усредненного перекрестного спектра X_{xy} на усредненный автоспектр I_{xx} . Входные и выходные дискретные последовательности $x(n)$ и $y(n)$. Мы определяем ЧАС-оценщик как:

$$CHS(f) = \frac{\langle X_{xy}(f) \rangle}{\langle I_{xx}(f) \rangle} \quad (CHS\text{-оценщик})$$

где $CHS(f)$ обозначает предполагаемую частотную характеристику. Скобки $\langle \rangle$ обозначают усредненное значение. ЧАС-оценщик дает смещенную оценку реальной передаточной функции $H(f)$, который зависит от шума, искажений и задержки между входным и выходным каналом.

Когда только шум способствует смещению, эффект усреднения можно выразить уравнением:

$$CHS(f) = CHS(f) + \frac{\sqrt{N} \langle H(f) A(f) I_{xx}^*(f) \rangle}{N \langle I_{xx}(f) \rangle} = CHS(f) + \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{\langle H(f) G^*(f) D^*(f) \rangle}{\langle I_{xx}(f) \rangle}.$$

Обратите внимание, что составляющая сигнала суммируется когерентно, а стохастическая часть шума суммируется по мощности.

Вывод состоит в том, что усреднение снижает уровень шума пропорционально квадратному корню из числа усреднений, тем самым улучшая соотношение сигнал/шум измерений на $10 \log(N)$. Если присутствуют нелинейные искажения, то часть шума системы когерентна с сгенерированным сигналом, и лучшей мерой пропорциональности шум+искажение и числа средних значений является $1/\rho$, где ρ — функция когерентности ввода-вывода, определяемая как:

$$\rho = \frac{|\langle X_{xy} \rangle|^2}{\langle I_{xx} \rangle \langle I_{yy} \rangle}$$

Функция когерентности является мерой доли мощности, которая связана с линейными операциями над сигналом $x(n)$. При оценке передаточной функции функция когерентности является полезной проверкой качества используемых данных. Максимальное значение когерентности — 1. В ARTA вы можете отображать когерентность, поэтому можно проверить когерентность, связанную с «двухканальными» измерениями. Практически мы должны иметь ρ близко к 1, чтобы гарантировать хорошую оценку, но мы должны иметь в виду, что когерентность имеет смысл только в том случае, если количество средних значений больше 1.

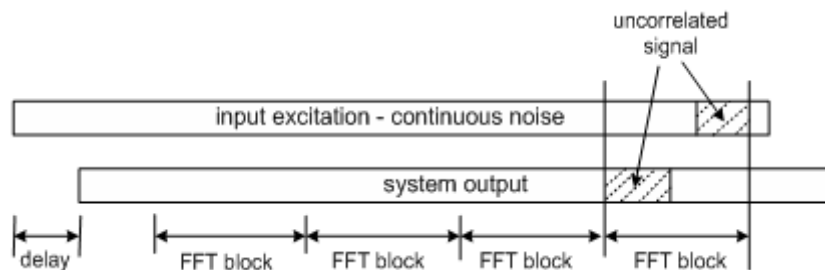


Рисунок 3.3. Иллюстрация некоррелированной оценки в классическом анализаторе Фурье

Основными проблемами классического анализатора Фурье с непрерывным шумовым возбуждением являются:

- Сигнал возбуждения не имеет постоянного спектра. Это создает частотно-селективное шумовое смещение. Он высок на частотах, где спектр генератора имеет провалы. Это смещение разрешения можно значительно уменьшить, увеличив количество циклов усреднения. Рекомендуется провести не менее 8 усреднений спектра и контролировать функцию когерентности.
- В системе с большой задержкой между входом и выходом (см. рис. 3.3), т.е. при измерении отклика громкоговорителя в помещении или отклика систем связи с большой задержкой, корреляция между измеренными входным и выходным сигналами будет низкой. В ARTA есть возможность задержки захвата входного канала, поэтому такого рода ошибки можно исключить. Но если мы измеряем частотную характеристику в условиях сильной реверберации, невозможно компенсировать все возможные задержки.

Обе проблемы можно устранить, используя периодическое шумовое возбуждение.

3.3 Двухканальная система с периодическим шумовым возбуждением

Если возбуждение осуществляется с помощью N различных периодических шумовых последовательностей, оценка частотной характеристики также может иметь вид:

$$CH(f) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{D_{aj}(f)}{X_{jK}(f)}$$

Такой тип усреднения называется *асинхронное усреднение в частотной области*. Теоретически он обладает той же способностью снижать шум и искажения, что и ЧАС-оценщик, но использование ЧАС-предпочтительнее, поскольку он позволяет нам контролировать функцию когерентности. В ARTA мы называем оба метода *усреднение в частотной области*.

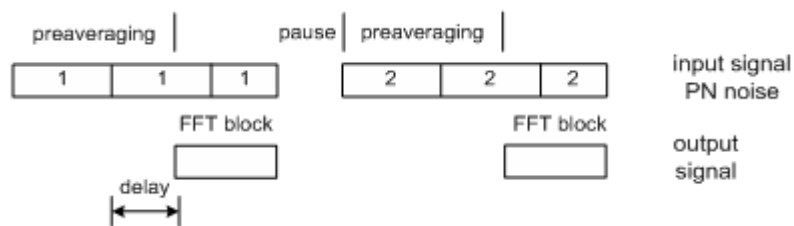


Рисунок 3.4 Иллюстрация формирования и сбора сигналов в асинхронной частотной области
процесс усреднения

Для корректной реализации необходимо соблюдение трех условий:

- Начало сбора данных должно быть после цикла предварительного усреднения, необходимого для достижения установившегося отклика.
- После каждого полученного блока генерация сигнала должна быть остановлена и сгенерирована новая ПШ-последовательность.
- Длина блока БПФ должна быть равна длине сгенерированной периодической шумовой последовательности. Это гарантирует, что генерируемые и полученные сигналы всегда коррелируют, поэтому не будет смещения из-за задержки ввода/вывода.

Этот метод возбуждения - *спрерывистый периодический шум* является лучшим выбором для измерения частотной характеристики в системах связи, активируемых голосом и имеющих изменяющуюся во времени обработку сигнала (автоматическую регулировку усиления и шумоподавление). Прерывающийся шум удерживает канал связи в «активном» состоянии, а измерения проводятся за небольшой интервал времени для обеспечения стационарности системы.

Если возбуждение осуществляется одной периодической последовательностью, повторяющейся H раз (рис. 3.5), оценка может иметь вид:

$$\bar{Y}(f) = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H \bar{Y}_h(f) \quad \bar{X}(f) = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H \bar{X}_h(f) \quad \bar{H}(f) = \frac{\bar{Y}(f)}{\bar{X}(f)}$$

Такой тип усреднения называется *синхронное усреднение во временной области*. Эта оценка уменьшает случайный шум системы, но не может уменьшить нелинейные искажения и стационарный шум, который является периодическим в течение периода возбуждения.

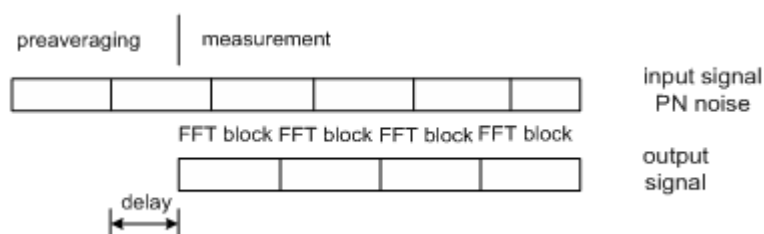


Рисунок 3.5 Иллюстрация генерации и сбора сигналов во временной области синхронно процесс усреднения

Качество оценки частотной характеристики зависит от шума следующим образом:

1. Влияние шума велико на частотах вблизи $f_c/2$, где мы пропускаем энергию возбуждения, которая фильтруется сглаживающим цифро-аналоговым фильтром. В ARTA задача решается путем цифровой фильтрации расчетной импульсной характеристики на частоте ниже частоты среза сглаживающего фильтра преобразователя.
2. Влияние шума также велико на крайне низких частотах, поскольку система связана по переменному току. Это означает, что необходимо использовать звуковые карты с очень низкой частотой среза.

При акустических измерениях период мультисинусоиды должен быть больше времени реверберации. T_{60} . Следующие рассуждения могут подтвердить это требование. Акустический отклик помещения имеет ширину полосы резонансных пиков, равную $2,2/T_{60}$. Если мы выберем, чтобы разность частот между двумя мультисинусоидальными компонентами была меньше половины этого значения, чтобы обеспечить создание всех резонансов помещения, мы можем заключить, что период периодического шума должен быть равен или больше времени реверберации. Также отсюда следует, что длина цикла предварительного усреднения должна быть больше или равна времени реверберации.

3.4 Одноканальная система для оценки частотной характеристики

В одноканальной системе измеряется только выходной сигнал ИУ. Сигнал возбуждения не измеряется на входе ИУ, а предполагается, что это известный сигнал, который генерируется в памяти компьютера. Блок-схема измерительной системы представлена на рис. 3.6.

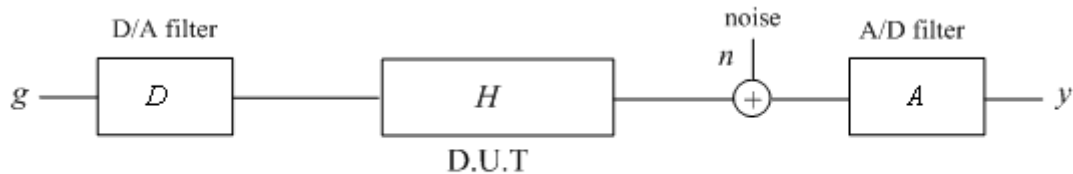


Рисунок 3.6 Блок-схема одноканальной системы измерения (D – цифро-аналоговый преобразователь, A – аналого-цифровой преобразователь, g – формируемый дискретный сигнал)

Предполагаемая частотная характеристика $ЧАС$ представляет собой отношение перекрестного спектра $ЮГ^*$ и автоспектр *ГАРАНТИРОВАННАЯ ПОБЕДА**:

$$ЧАС_{\epsilon}(ж) = \frac{D_a(ж) r^*(ж)}{r(ж) r^*(ж)} = \frac{H(A) F(D) A(ж) H(ж) r^*(ж)}{r(ж) r^*(ж)}$$

В лучшем случае, т.е. при отсутствии шума, мы получаем:

$$ЧАС_{\epsilon}(ж) = ЧАС(ж) A(ж) D(ж)$$

Мы видим, что расчетная частотная характеристика всегда смещена передаточными функциями аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей. Как можно было бы подумать на первый взгляд, это не так уж и плохо, потому что таким образом мы получаем хорошее соотношение сигнал/шум на крайне низких и высоких частотах (АЦП и ЦАП отфильтровывают спектр на низких и близких частотах). ж/2). Это особенно важно, если мы используем дешевые звуковые карты, у которых может быть не очень низкая частота среза.

Теоретически метод усреднения из двухканальной системы можно применить к одноканальной системе, но из-за ограничений звукового драйвера Windows, который не поддерживает синхронность между воспроизведением и записью сигнала, только синхронное усреднение во временной области. может быть применено. Фазовый отклик не может быть оценен с абсолютной точностью.

Заключить:

Одноканальную систему рекомендуется использовать в качестве системы измерения, когда мы используем звуковую карту низкого качества, которая генерирует высокий уровень шума и имеет высокий уровень межканальных перекрестных помех.

Он подходит для измерения амплитуды частотной характеристики, но не дает точной абсолютной фазовой характеристики.

Если мы хотим использовать микрофонный канал звуковой карты, то мы можем применить только одноканальную систему, поскольку вход микрофона на всех стандартных звуковых картах является монофоническим.

4 Измерение частотной характеристики в реальном времени

4.1 Пользовательский интерфейс для измерения частотной характеристики в реальном времени

Измерением частотной характеристики в реальном времени можно управлять из двух окон:

- ФР2

ФР1
- Двухканальное окно частотной характеристики

Одноканальное окно частотной характеристики

Оба окна имеют одинаковую форму пользовательского интерфейса со следующими функциональными различиями:

1.

В одноканальном режиме сигналом возбуждения должен быть периодический шум, а в двухканальном режиме сигналом возбуждения также может быть непрерывный шум и любой широкополосный внешний сигнал (например, музыка).
2.

В одноканальном режиме отображается только величина частотной характеристики, тогда как в двухканальном режиме также могут отображаться фазовая характеристика и функция когерентности.

Управление измерениями осуществляется с помощью команд меню, диалоговых окон, значков панели инструментов (рис. 4.1) и панели управления (рис. 4.2).

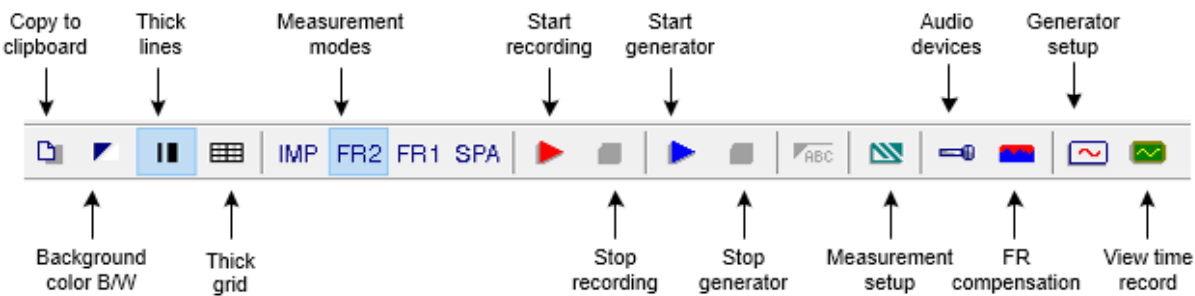


Рисунок 4.1Окно частотной характеристики — значки панели инструментов

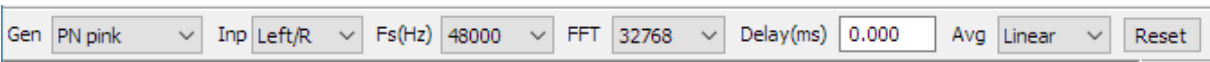


Рисунок 4.2Окно частотной характеристики – панель управления

Панель управления имеет следующие элементы управления:

| | |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Генерал | - выбирает тип сигнала генератора |
| Вход | - выбирает входные каналы |
| Фс (Гц) | - выбирает частоту дискретизации |
| БПФ | - выбирает количество выборок в блоке БПФ |
| Задержка (мс) | - вводит задержку в измеряемую систему (используется только в двухканальном режиме) |
| Среднее | - выбирает тип усреднения (Нет, линейное, экспоненциальное) |
| Перезагрузить | - сбросить усреднение |

Чтобы выполнить измерение частотной характеристики в реальном времени, выполните следующие действия:

1.

Войдите в одно- или двухканальное окно частотной характеристики и подключите измерительную систему, как показано в главе 1.

2. Активируйте '**Настройка аудиоустройства**' диалоговое окно, щелкнув меню **Настройка->Аудиоустройства** или через щелкнув значок на панели инструментов. Используйте это диалоговое окно для настройки параметров ввода-вывода звуковой карты, усиления пробника напряжения, усиления усилителя мощности (только для 1-канального режима) и чувствительности микрофона (если вы используете микрофон). Более подробную информацию см. в разделе 1.4.

3. Активируйте '**Настройка генератора сигналов**' диалоговое окно, щелкнув меню **Генератор->Настроить** или щелкнув значок на панели инструментов. Используйте это диалоговое окно, чтобы выбрать тип сигнала возбуждения (белый шум, розовый шум, белый ПН, розовый ПН). В одноканальном режиме допускается только периодическое шумовое возбуждение (ПН белый или ПН розовый). Если вы используете розовое возбуждение ПН, установите срез по низкой частоте. Также установите громкость звука звуковой карты. **Примечание:** выбор типа генератора обычно осуществляется с помощью панели управления.

4. Активируйте '**Настройка измерения частотной характеристики**' диалоговое окно, щелкнув меню **Настроить->Измерение** или щелкнув значок на панели инструментов. Это диалоговое окно показано на рис. 4.3.

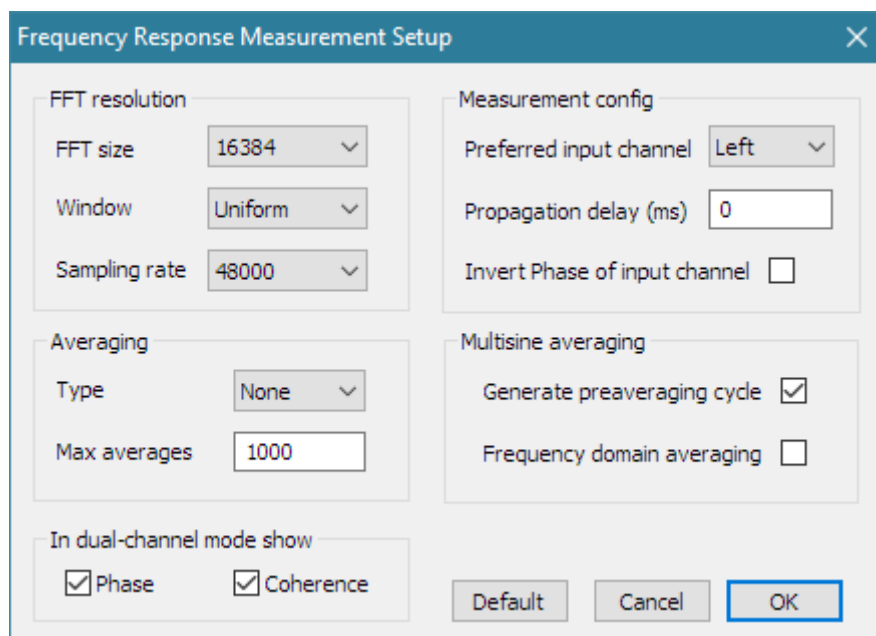


Рисунок 4.3 Диалоговое окно настройки измерения АЧХ

Диалоговое окно настройки измерений используется следующим образом:

Разрешение БПФ раздел:

Размер БПФ—выбирает количество выборок в блоке БПФ.

Частота выборки—выбирает частоту дискретизации в Гц.

Окно—выбирает окно сигнала (используется только при непрерывном шуме или внешнем возбуждении).

Усреднение раздел:

Тип—выбирает тип усреднения (Нет, линейное, экспоненциальное). **Макс.**

средние значения—вводит максимальное количество усреднений.

Конфигурация измерений раздел:

Предпочтительный входной канал—выбирает входной канал звуковой карты, используемый для измерения выходного сигнала тестируемого устройства. **Задержка распространения**—вводит задержку в измеряемую систему (не используется в 1-канальном режиме).

Инvertировать фазу входного канала—установите флажок для изменения полярности входного сигнала.

Мультиинусное усреднение раздел:

Предварительное усреднение–установите флажок для активации цикла предварительного усреднения (как правило, этот флажок следует всегда устанавливать).

Усреднение в частотной области–установите флажок, чтобы использовать усреднение в частотной области (не используется в 1-канальном режиме).

В двухканальном режиме шоу–выбирает настройку графика для двухканального режима (амплитуда, величина + фаза и величина + когерентность или величина + фаза + когерентность). В одноканальном режиме отображается только амплитудная характеристика.

Фаза–установите флажок, чтобы включить фазовый график FR. **Согласованность**–установите флажок, чтобы включить график когерентности FR.

5. Активируйте '**Настройка графика частотной характеристики**' диалоговое окно, щелкнув меню **Настройка->Настройка графика** или щелкнув мышью в области графика. Это диалоговое окно показано на рис. 4.4. Используйте это диалоговое окно для настройки (1) показанного динамического диапазона, (2) показанного диапазона частот и (3) разрешения по оси частот.

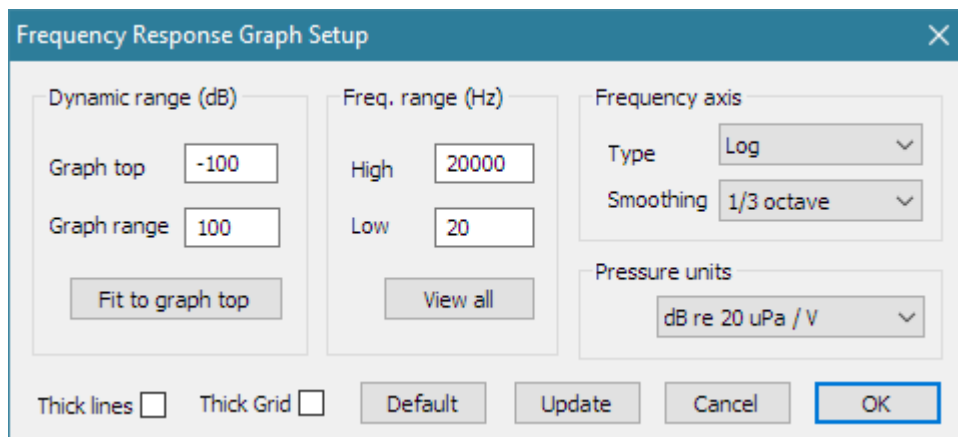


Рисунок 4.4 Настройка графика частотной характеристики

Элементы управления в этом диалоговом окне:

Динамический диапазонраздел:

Верхняя граница графика (дБ)–вводит уровень в дБ для верхнего края графика.

Диапазон графика (дБ)–входит в диапазон величин графика.

Подогнать график сверху–устанавливает значение Top (в дБ) от максимальной величины текущего графика.

Частота. диапазон (Гц)раздел:

Высокий–вводит самую высокую показанную частоту (в Гц).

Низкий–вводит самую низкую отображаемую частоту (в Гц).

Посмотреть все–эта кнопка устанавливает низкие и высокие частоты, чтобы обеспечить просмотр всех компонентов спектра ДПФ.

Ось частотыраздел:

Тип–Доступны четыре типа разрешения оси частоты:

Линейный–линейная ось частоты,

логарифмический–логарифмическая ось частот,

Октавное сглаживание–октавные полосы с логарифмическим качанием,

Октавные полосы–дискретные октавные полосы.

Сглаживание–устанавливает разрешение сглаживания на 1/п-октаву, где п может принимать значения: 1,2,3,6,9,12 и 24.

Сглаживающий фильтр имеет характеристики фильтра IEC класса I (шестиполосный полосовой фильтр Баттерворта).

Толстые линиии**Толстая сетка**флажки устанавливают толщину линии и сетки на 1 или 2 точки.

6. Наконец, вы можете начать измерение, щелкнув меню **Регистратор->Выполнить** или щелкнув значок на панели инструментов.

Во время измерений вы можете использовать панель управления для изменения типа усреднения, сброса усреднения, изменения частоты дискретизации, а также изменения типа сигнала возбуждения и размера БПФ. Вы также можете изменить любые параметры графика (динамический диапазон, диапазон частот и ось), активировав кнопку **Настройка графика** диалоговое окно (нажмите меню **Настройка->Настройка графика** или щелкните правой кнопкой мыши в области построения). Полезными сочетаниями клавиш для изменения верхнего предела величины графика являются клавиши «Вверх» и «Вниз» и колесо прокрутки мыши. Они «перемещают сюжет вверх и вниз».

7. Вы можете остановить измерения в любой момент, щелкнув меню **Диктофон->стоп** или нажав кнопку значок панели инструментов. Длительность измерения зависит от типа усреднения. Если усреднение не используется, измерения повторяются до тех пор, пока пользователь не остановит запись. Если используется усреднение, измерения прекращаются при достижении максимального количества циклов усреднения или при прерывании записи пользователем.

4.2 Динамический диапазон измерений частотной характеристики

В следующем примере будет показано, как проверить доступный динамический диапазон при измерении частотной характеристики в режимах FR1 и FR2.

Начать с буквы **F** режим. Подключите звуковую карту в режиме шлейфа (левый и правый канал) и установите:

Тип генератора: Розовый PN

Уровень генератора: 0 дБ

БПФ: 32768

Усреднение: Нет

Начать запись левого канала. Вы получите картину частотной характеристики обратной связи, как показано на рис. 4.5.

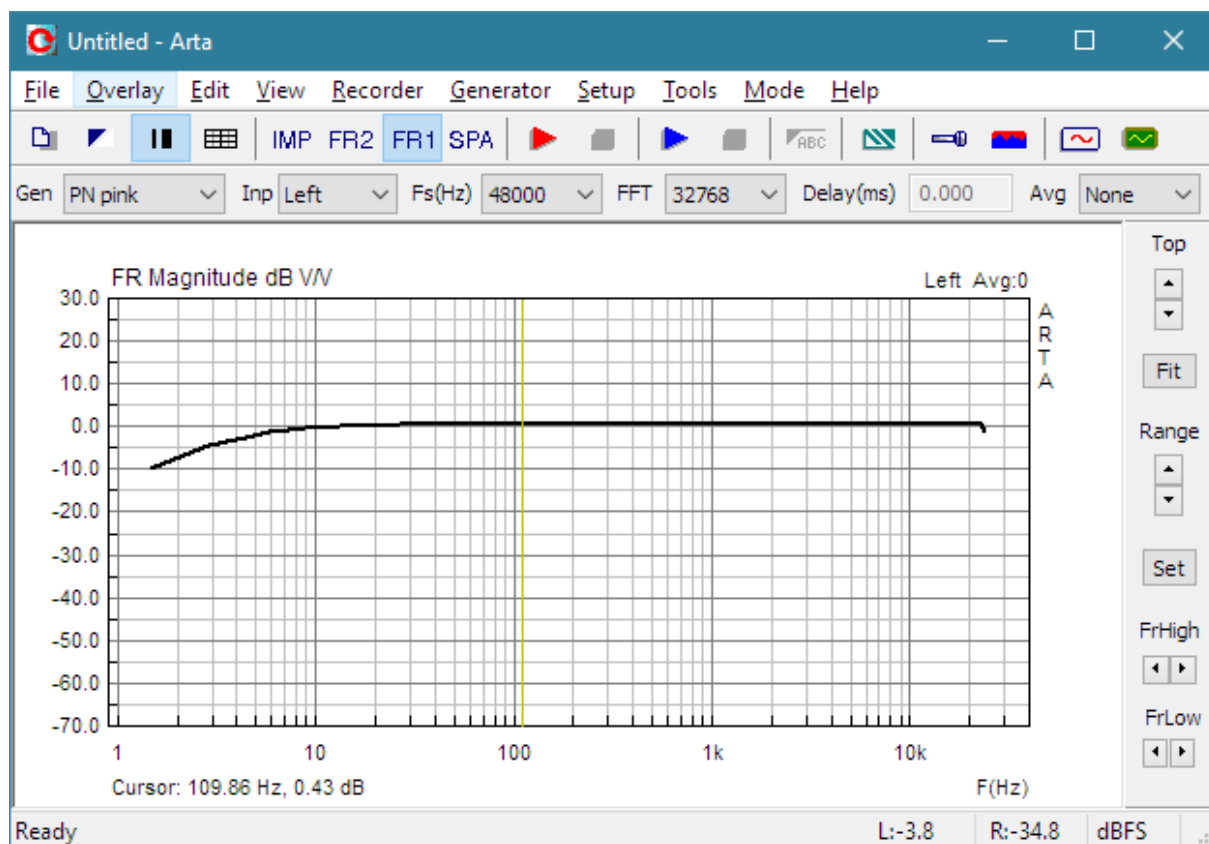


Рисунок 4.5 Частотная характеристика звуковой карты SC1 в режиме шлейфа

Теперь отключите генератор и измерьте реакцию. Сейчас вы измеряете уровень шума входного канала. Выполните измерение без усреднения и сохраните измеренную кривую как наложение (команда меню **Файл->Установить как наложение**). Затем повторите измерение с усреднением = 100.

В обоих случаях установите ось частоты в '**Настройка графика частотной характеристики**' к '**Октава сглажена**' с резолуцией '**1/3 октавы**'.

Вы получите кривую минимального уровня шума, как показано на рисунке 4.6. Обратите внимание, что абсолютный уровень шума фактически дает нам максимальный динамический диапазон, который можно получить с помощью звуковой карты.

Мы видим, что усреднение снижает уровень шума и увеличивает динамический диапазон, но не одинаково на всех частотах.

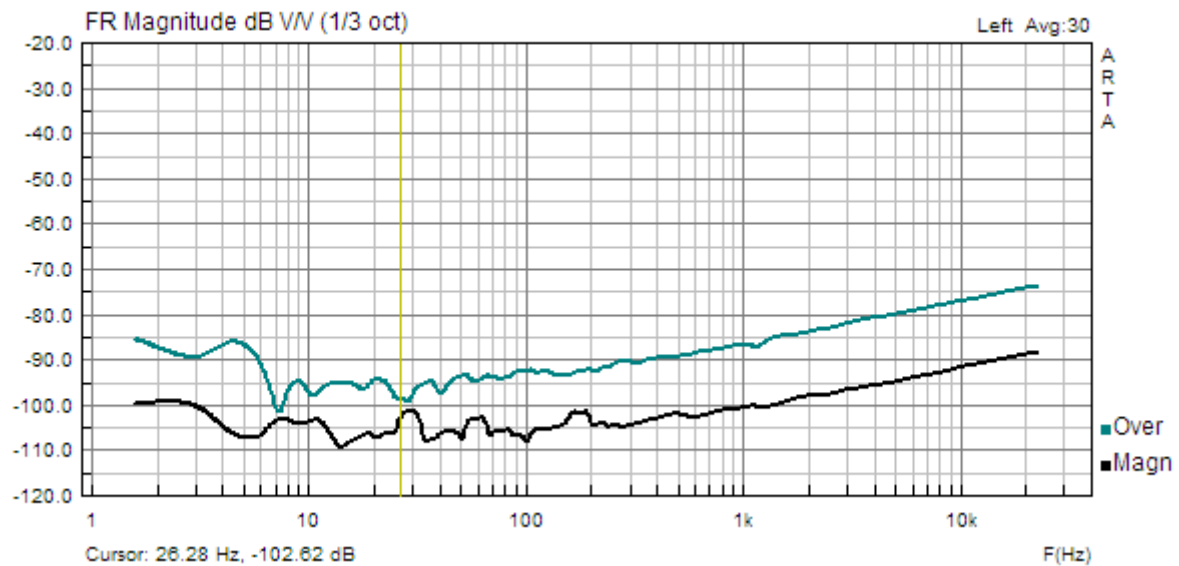


Рисунок 4.6 Динамический диапазон в режиме FR1 для недорогой звуковой карты SC1, без усреднения (верхняя кривая) и с усреднением (нижняя кривая).

Теперь подключите правый канал в режиме шлейфа и повторите измерение в режиме FR2. Вы можете проверить '**Усреднение в частотной области**' режим в '**Настройка измерения частотной характеристики**', поскольку усреднение в частотной области дает немного больший динамический диапазон, чем усреднение во временной области, при измерении систем, которые демонстрируют нелинейные искажения.

Вы получите почти идеально ровную частотную характеристику, но динамический диапазон в режиме FR2 может быть уменьшен, как показано на рисунке 4.7.

Причина того, что некоторые звуковые карты имеют уменьшенный динамический диапазон в режиме FR2, связана с большими перекрестными помехами от опорного канала, который должен быть подключен к генератору в режиме FR2.

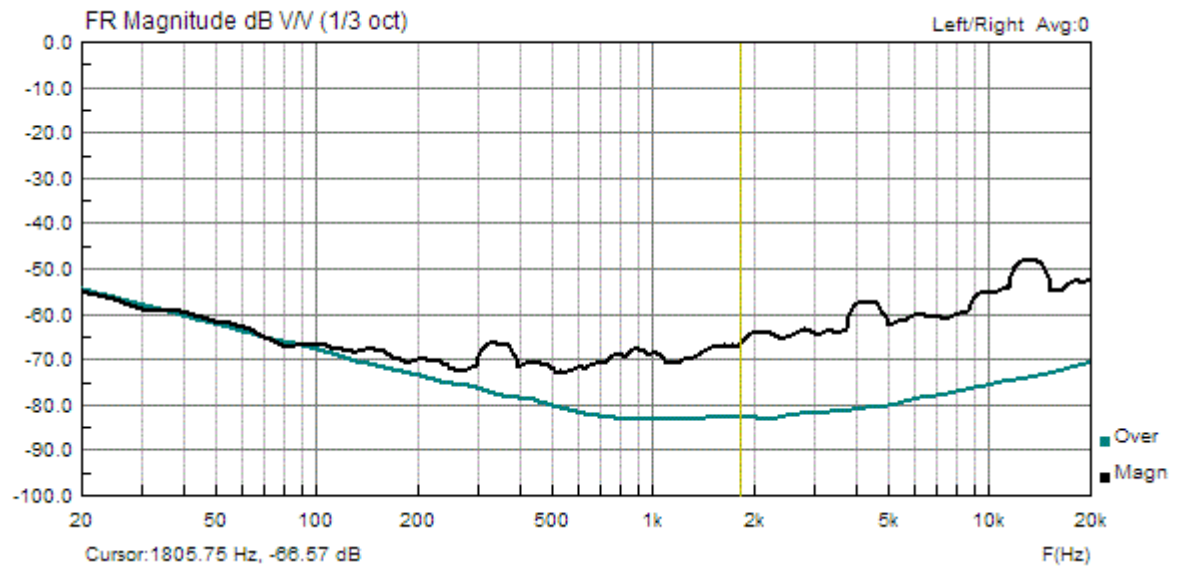


Рисунок 4.7Динамический диапазон в режиме FR2 для недорогой звуковой карты SC1, без усреднения (верхняя кривая) и с усреднением (нижняя кривая)

На рисунке 4.8 показан минимальный уровень шума в режимах FR1 и FR2 для высококачественной звуковой системы RME Babyface Pro. Мы видим отличные результаты в обоих режимах FR1 и FR2.

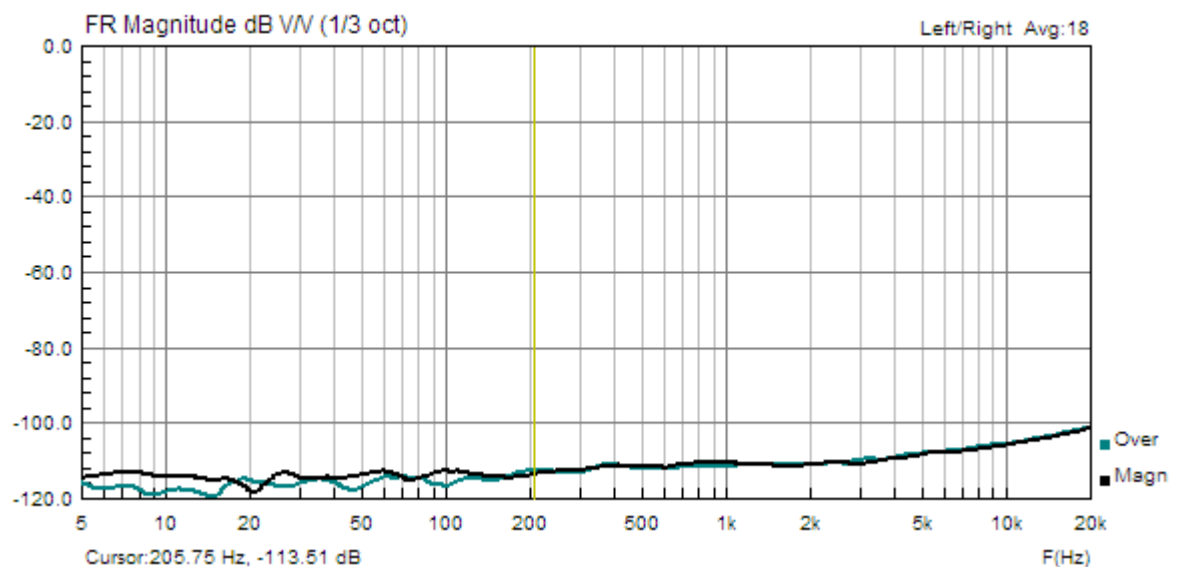


Рисунок 4.8Динамический диапазон в режиме FR1 и FR2 для звуковой карты RME Babyface Pro.

Помните: используйте режим FR2 только в том случае, если ваша звуковая карта имеет низкие перекрестные помехи между входными каналами.

Примечание:В предыдущих примерах показаны сглаженные на 1/3 октавы кривые. Сглаживание кривой частотной характеристики осуществляется иначе, чем сглаживание амплитуды спектра. Подход ARTA заключается в том, чтобы сначала интерполировать и усреднить частотную характеристику по логарифмической оси частот, а затем выполнить сглаживание путем свертки этой характеристики с характеристикой полосового 6-полюсного фильтра Баттерворта.

4.3 Накладки FR

В окне частотной характеристики следующие команды меню предназначены для манипуляций с наложением:

Наложение

Установить наложение—устанавливает текущий FR как

наложение **Удалить наложение**—удаляет наложение

Наложение нагрузки—загружает файл наложения FR

Сохранить наложение—сохраняет FR в файле наложения

Создать целевой ответ—генерирует наложение с откликом стандартных кроссоверных фильтров **Загрузить**

целевой ответ—загружает целевой ответ из файла ASCII **Удалить целевой ответ**—удаляет целевую кривую

Установить наложение—устанавливает текущий FR как наложение

Показать отличие от наложения—переключатели, чтобы показать разницу величины от уровня наложения

Здесь мы имеем дело с тремя типами наложений:

Первый тип можно установить из текущей построенной кривой с помощью команды '**Наложение->Установить наложение**' или загрузить с диска командой '**Наложение->Загрузить наложение**'. Можно отобразить только одно наложение этого типа. Этот тип наложения можно сохранить на диск с помощью команды '**Наложение->Сохранить наложение**'. Имена файлов оверлеев имеют расширение '.ovf'.

Второй тип наложений — это определяемые пользователем ответы целевого фильтра. Их можно создать с помощью диалогового окна '**Ответ целевого фильтра**' показано на рисунке 4.9. Активируется командой меню '**Наложение->Сгенерировать целевой ответ**'.

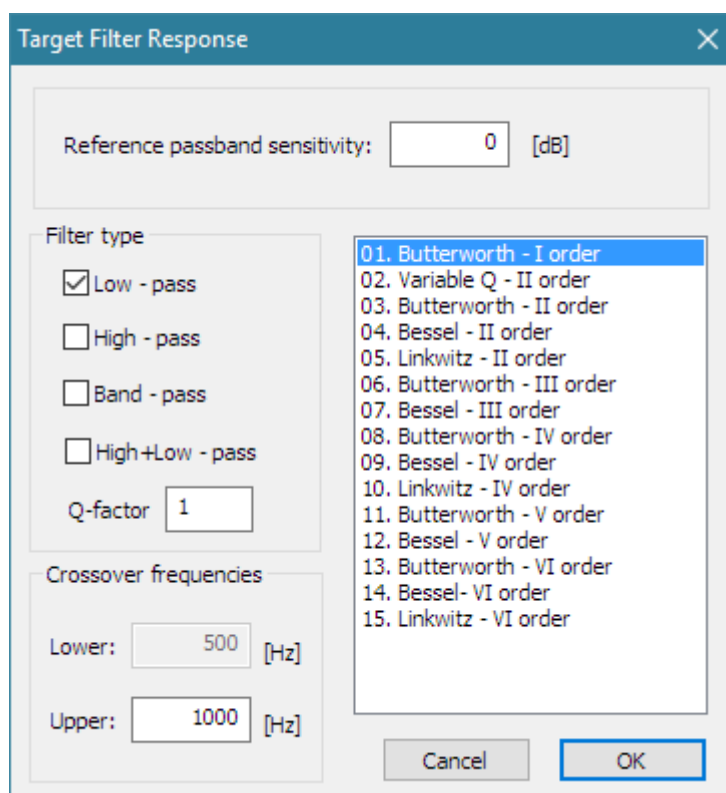


Рисунок 4.9Диалоговое окно для создания наложения с характеристикой целевого фильтра кроссовера громкоговорителя

Выбор целевых характеристик фильтра осуществляется из набора оптимального кроссоверного фильтра громкоговорителя. Пользователь выбирает тип оптимального кроссоверного фильтра в правом списке и устанавливает параметры этого фильтра:

Эталонная чувствительность полосы пропускания—произвольное значение чувствительности полосы пропускания громкоговорителя

Тип фильтра-низкочастотный, высокочастотный, полосовой или каскад нижних и верхних частот **Q-фактор**-

Поле редактирования предназначено для ввода Q-фактора фильтра второго порядка.

Частоты разделения-два поля редактирования предназначены для ввода нижних и верхних частот кроссовера.

Третий тип наложений — это определяемые пользователем произвольные ответы, загружаемые из файла ASCII (командой меню «**Наложение->Загрузить целевой ответ**»).

Контент должен быть отформатирован в хорошо известных.ФРДформат:

* ведущая звездочка может использоваться для обозначения необязательного комментария.

| * частота | величина (дБ) |
|-----------|---------------|
| 1000 | 32 |
| 1020 | 33 |
| 1040 | 34 |
| ... | ... |

При желании третий столбец может содержать значение фазы.

4.4 Получение импульсной характеристики на основе измеренной частотной характеристики

Здесь мы обсудим, как получить импульсную характеристику из измеренной частотной характеристики. В качестве примера возьмем частотную характеристику системы GSM, показанную на рис. 4.10.

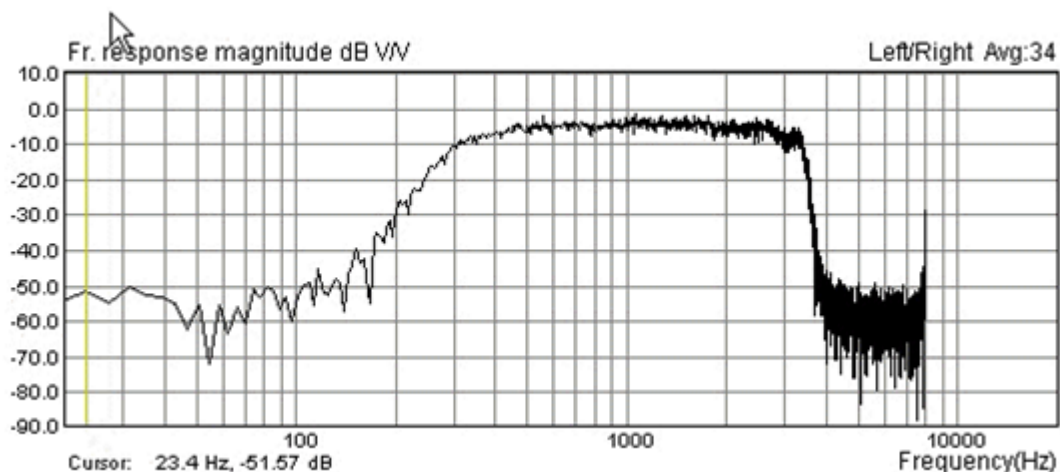


Рисунок 4.10 Частотная характеристика системы GSM. (режим FR2, $f_s = 16000$ Гц, линейное усреднение, размер блока БПФ 4096 отсчетов или 235 мс, генератор: PN розовый с частотой среза 200 Гц).

Щелкнув значок на панели инструментов **ИМП** (или меню **Режим->Импульсный отклик**) открывает диалоговое окно, показанное на рис. 4.11. Подтверждение на вопрос: «Преобразовать в импульсную характеристику» с помощью 'Да' Кнопка открывает **Окно импульсного отклика** (рис. 4.12), содержащие временную картину импульсной характеристики.

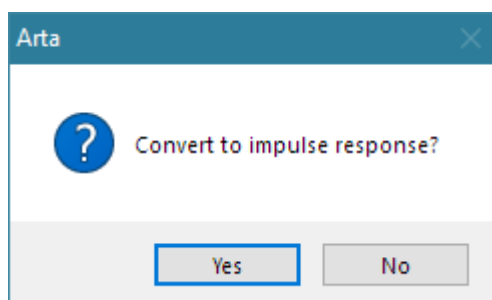


Рисунок 4.11 Диалоговое окно для получения импульсной характеристики из частотной характеристики

Примечание: преобразование в импульсную характеристику также можно выполнить с помощью команды меню 'Файл->Сохранить как PIR'. Эта команда преобразует текущую частотную характеристику в импульсную характеристику и сохраняет ее как текущий файл .PIR.

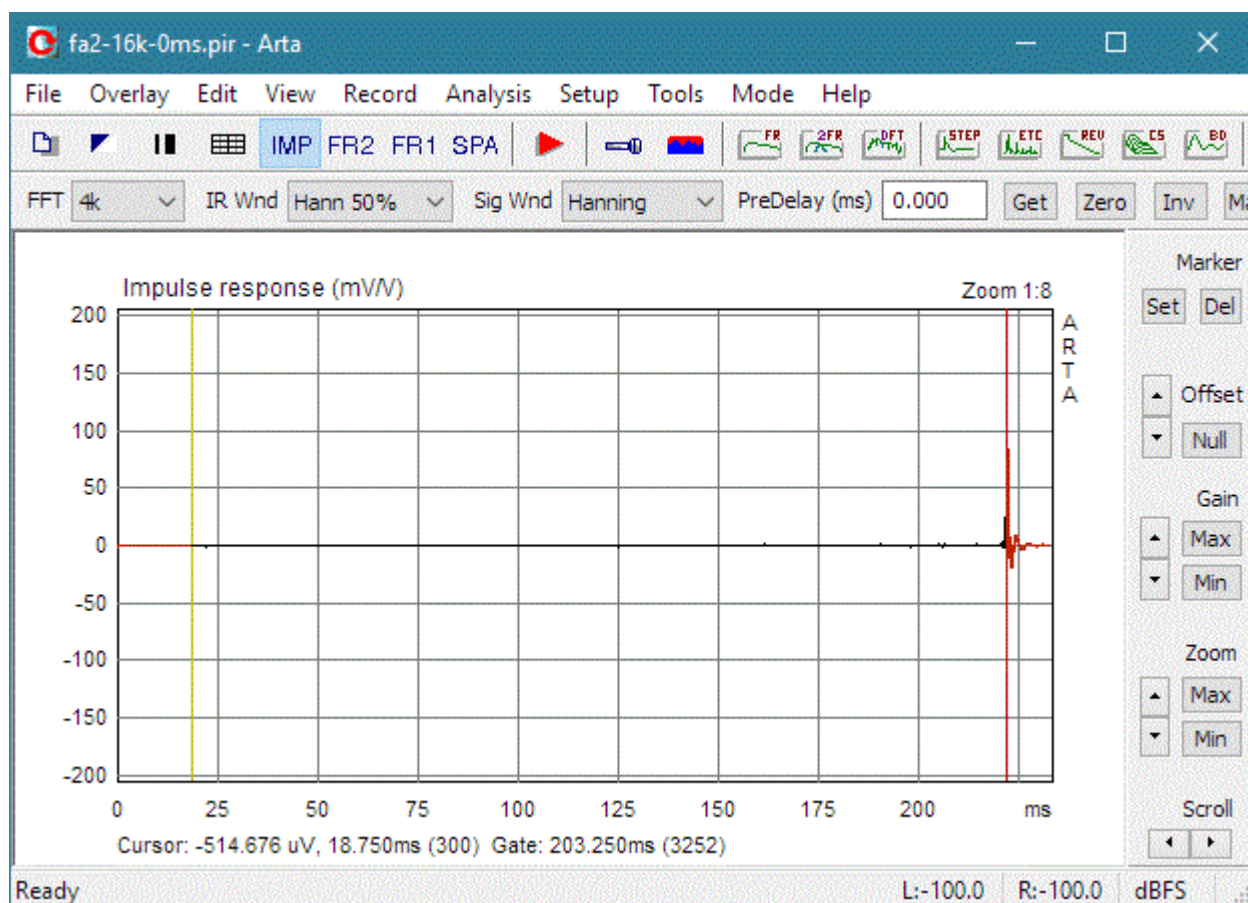


Рисунок 4.12 Окно импульсного отклика

В окне «Импульсный отклик» мы можем управлять видом импульсного отклика таким же образом и с теми же элементами управления, что и в окне записи времени.

Желтая линия обозначает положение курсора, а красная линия обозначает положение маркера.

The '**Курсор**Метка : ' обозначает отчет о значении сигнала в позиции курсора (время в мс или позиция выборки в фигурных скобках). '**Ворота**Метка : ' обозначает отчет о разнице во времени (и выборках) между

курсор и маркер. Альтернативно его можно установить командой меню '**Просмотр->Время ворот (м при 344 м/с)**', чтобы показать эквивалентное расстояние распространения звуковой волны.

Положение маркера и курсора можно изменить, нажимая и перетаскивая левую и правую клавиши мыши. Двойной щелчок правой кнопкой мыши включает и выключает маркер. То же самое можно сделать с помощью кнопок '**Набор**' и '**Дель**' на правой панели. Командная кнопка '**Макс**' на верхней панели управления установит курсор в положение максимума импульсной характеристики. Остальные кнопки служат для **масштабирования** сюжета внутри и снаружи, чтобы изменить **прироста** вертикаль **компенсировать**. Кнопка управления масштабированием '**Минь**' устанавливает минимальный коэффициент масштабирования для отображения почти всех образцов сигнала.

Кнопка управления масштабированием '**Макс**' устанавливает максимальный коэффициент масштабирования для отображения образцов сигнала между курсором и маркером, но если маркер выключен, график масштабируется до нормального коэффициента масштабирования (1:1) или максимального масштабирования (8:1), если он был меньше или равен к нормальному коэффициенту масштабирования.

Вы также можете использовать следующие сочетания клавиш:

| | |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ВверхиВниз клавиши Ctrl+Вверхи | - изменить выигрыш |
| Ctrl+Вниз клавиши Левый | - изменить вертикальное смещение |
| Ctrl+Влево клавиши Верной | - прокрутить сюжет влево |
| Ctrl+Вправо клавиши Shift+Влево | - прокрутить сюжет вправо |
| Shift+Вправо клавиши PgUp | - перемещать курсор влево и вправо |
| PgDown клавиши Дель | - изменить коэффициент масштабирования |
| Дом | - чтобы установить позицию курсора на 0, |
| Ctrl+Домой | - чтобы установить позицию курсора на исходную позицию 300, |
| Ctrl+Дел | - чтобы установить положение маркера на контрольную позицию 300, |
| Ctrl+Инс | - удалить маркер, |
| | - установить маркер на позиции курсора, |

Перетаскивая мышью в области метки, прокручивайте график по горизонтали и вертикали.

Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области оси времени переключает маркировку положения времени/выборки.

В этом примере курсор установлен на **исходное положение** (индекс образца 300) и маркер (красная линия) устанавливается в положение ИК-максимума. Метка «Gate» показывает разницу между положением маркера и курсора (на самом деле она дает нам величину системной задержки, в данном случае она составляет 204,75 мс).

Примечание:

В двухканальном режиме измерения ARTA устанавливает опорное положение нулевой (временной) задержки в индексе выборки 300. Сигнал может существовать ниже этого индекса в результате сглаживания и предварительного звонка КИХ-фильтра.

В одноканальном режиме измерения положение нулевой задержки неизвестно, поскольку оно зависит от переменной задержки компьютера. ARTA устраняет эту переменную задержку и задержку, помещая в исходную позицию (индекс 300) первый семпл, амплитуда которого на 20 дБ ниже максимума импульсной характеристики. Это означает, что измеренный по одному каналу IR не может быть использован для оценки абсолютной фазы и задержки системы.

В настройке измерений один параметр - *системная задержка* - является весьма произвольным. Задержка всегда присутствует при акустических измерениях (из-за распространения звука от громкоговорителя к микрофону). Он также всегда присутствует во всех системах с цифровой обработкой, особенно; он довольно велик в системе GSM.

Если повторить измерения, но с полем редактирования '**Задержка (мс)**' в окне Fr2, установленном на 203,25 мс, мы получим импульсную характеристику, показанную на рис. 4.13.

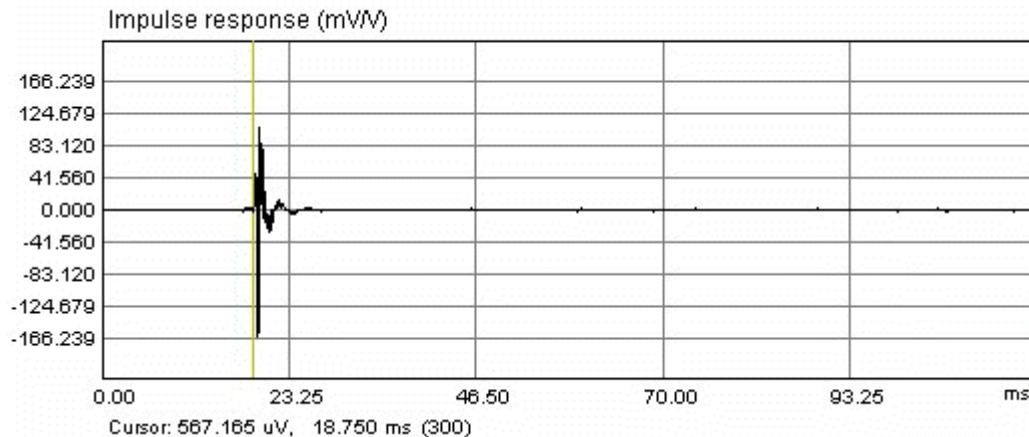


Рисунок 4.13 Импульсная характеристика измерена с компенсацией задержки распространения

Теперь максимум импульсной характеристики близок к опорному положению «нулевой задержки». Это означает, что измерения проводятся с максимально коррелированными сигналами ввода-вывода.

Чрезвычайно важно правильно оценить задержку при измерении при непрерывном шумовом возбуждении.

4.5 Оценка задержки системы

Фиксированная задержка в измеряемой системе, например задержка звуковой волны от громкоговорителя до микрофона или задержка в системах цифровой обработки, может быть легко оценена (с точностью до одной выборки) по положению максимума обобщенной взаимной корреляции. функция возбуждения системы и измеряемый отклик. Обобщенная функция взаимной корреляции получается путем применения обратного преобразования Фурье к нормализованной функции взаимного спектра.

Процедура оценки задержки в ARTA с использованием обобщенной взаимной корреляции:

1. Выполните измерение частотной характеристики в режиме FR2 с помощью поля редактирования на панели инструментов. **Задерживать** установлено на ноль.

2. Нажмите команду меню '**Регистратор->Оценка кросскорреляции/задержки**'.

3. Откроется диалоговое окно '**Взаимная корреляция входных каналов**' показано на рис. 4.14. График в диалоговом окне показывает обобщенную функцию взаимной корреляции левого и правого каналов. Нулевое время (также точка нулевой задержки) расположено в центре графика. В правом верхнем углу графика есть метка, показывающая предполагаемую задержку в количестве выборок и в мс. Он получается из временного положения максимума функции взаимной корреляции. То же значение отображается в поле редактирования «Задержка (мс)».

4. При нажатии кнопки «Принять» это значение будет автоматически перенесено в окно FR2 как значение системной задержки. Принимается только положительное значение задержки. Если задержка имеет отрицательное значение, необходимо поменять входные каналы. Другие элементы управления на правой панели инструментов и команды меню имеют те же функции, что и элементы управления и меню окна записи времени, описанного в разделе 2.5.

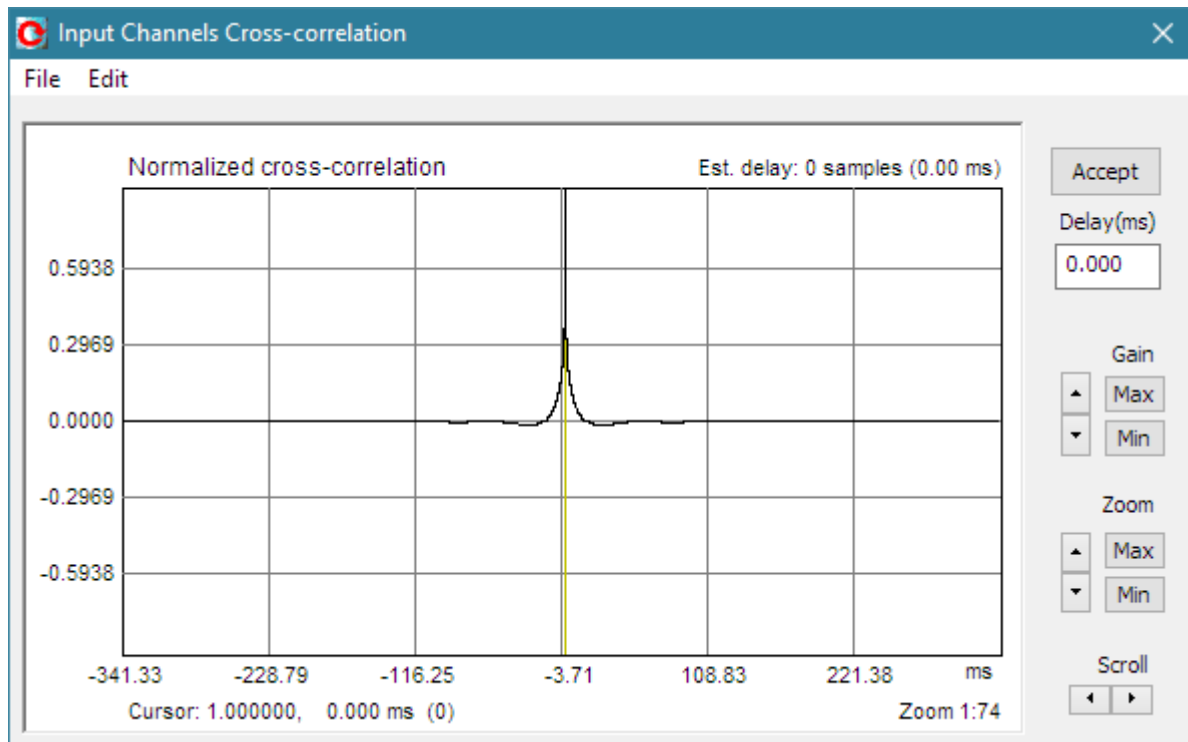


Рисунок 4.14 Диалог представления взаимной корреляции сигналов входного канала

4.6 PIR-файлы

4.6.1 Формат файла PIR

АРТА использует специальный двоичный формат для хранения измеренных данных импульсной характеристики в файлах, имена которых заканчиваются расширением .PIR. Эти файлы также используются для сохранения временной записи входного сигнала.

Формат двоичного файла .PIR следующий:

| | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| символьная подпись файла[4] | // четыре символа подписи: 'P','I','R','\0' // версия формата |
| беззнаковая целочисленная версия; | файла, начиная с 0x0100 // длина определяемого |
| int инфоразмер; | пользователем текста в конце файла // |
| интервал зарезервировано1; | 0; |
| интервал зарезервировано2 | // 0; |
| плавающее значение fskГц; | // частота дискретизации в кГц // |
| частота дискретизации int; | частота дискретизации в Гц |
| длина целого числа; | // Длина последовательности PIR |
| целое устройство ввода; | // 0 – датчик напряжения, 1-микрофонный, 2-акселерометр // |
| плавающее устройство sens; | V/V или В/Па (для микрофонного входа) |
| интервал измерения_типа; | // 0- сигнал записан - внешнее возбуждение // 1- ИК - |
| | одноканальный режим |
| | // 2- ИК - двухканальный режим |
| интервал среднего типа; | // тип усреднения (0-разовое или 1-частотное) // количество |
| интервал нумавг; | усреднений, используемых в измерениях // |
| int bfiltered; | принудительная фильтрация сглаживания в 2-канальном |
| int гентип; | режиме // тип генератора |
| плавать влево; | // пиковое значение (ссылка 1.0) в левом входном канале // |
| плавать по пику вправо; | пиковое значение (ссылка 1.0) в правом входном канале // |
| int генподтип; | (0-папа, 1-мама для Speech PN ... |
| # if (версия >= 0x0101) int | |
| курсорпос; | // позиция курсора (0..длина-1) |
| int маркерпос; | // позиция маркера (0..длина-1 или -1(не показано)) |

еще

плавать зарезервировано3;

плавать зарезервировано4;

окончание

float pir[длина]; // сами данные PIR // определяемый

char infotext[информационныйразмер]; пользователем текст

----- Типы

генераторов (gentype):

| | | |
|--------------|--------------------|----|
| # определять | SIG_NONE | 0 |
| # определять | SIG_NOISE_WHITE | 1 |
| # определять | SIG_NOISE_PINK | 2 |
| # определять | SIG_RPMS_WHITE | 3 |
| # определять | SIG_RPMS_PINK | 4 |
| # определять | SIG_RPMS_SPEECH | 5 |
| # определять | SIG_SINE | 6 |
| # определять | SIG_SINE_TWO_FR | 7 |
| # определять | SIG_MULTITONE | 8 |
| # определять | SIG_TYPE_SQUARE | 9 |
| # определять | SIG_TYPE_TRIANGLE | 10 |
| # определять | SIG_TYPE_JITTER | 11 |
| # определять | SIG_TYPE_MLS | 12 |
| # определять | SIG_TYPE_SWEEP_LIN | 13 |
| # определять | SIG_TYPE_SWEEP_LOG | 14 |
| # определять | SIG_TYPE_PULSE | 15 |
| # определять | SIG_TYPE_BURST | 16 |

Подтипы генератора (gensubtype) определены для типа SIG_RPMS_SPEECH:

определять PN_SPEECH_SPECTRUM_MALE 0

определять PN_SPEECH_SPECTRUM_FEMALE 1

Помимо данных измерений файлы .PIR могут содержать определяемый пользователем текст произвольной длины. Пользователь может ввести текст в поле редактирования 'Информация о файле' диалог (см. рис. 4.15). Это диалоговое окно можно открыть, щелкнув команду меню **Файл->Информация**.

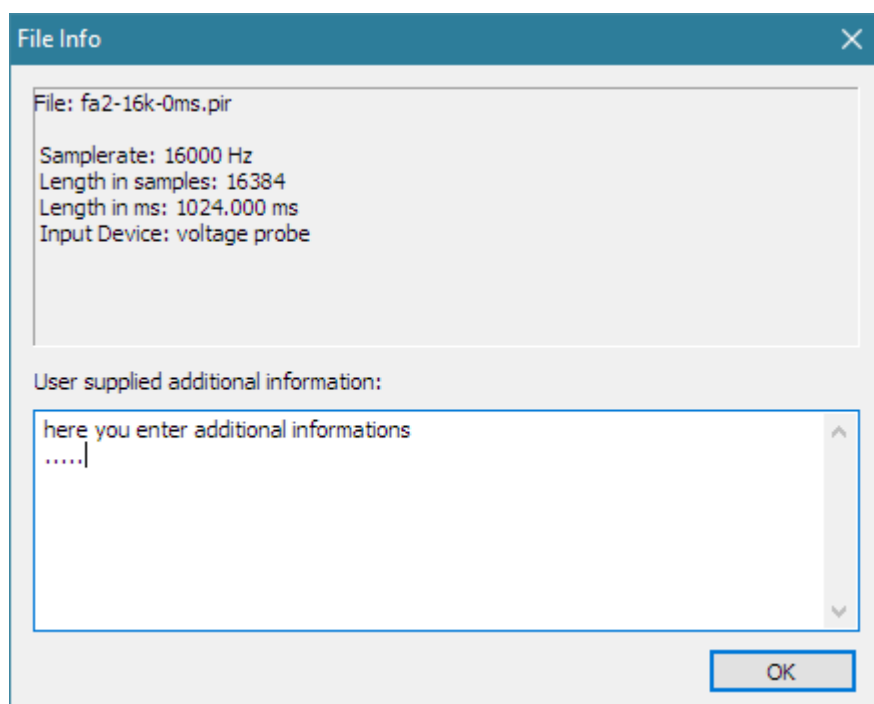


Рисунок 4.15 Диалог просмотра и ввода информации о файле

4.6.2 Экспорт и импорт файлов PIR

Арта может **экспортировать** данные импульсного отклика в трех форматах:

1) 16-битный файл Microsoft .wav (максимальное значение PIR установлено на значение 32000)

2) ASCII-файл MLSSA

// Каждая строка начинается с пробела в следующем порядке: Ноль (0).

Интервал выборки в миллисекундах. Общее
количество точек данных для отслеживания.
Данные точки.

Заголовок НИТЬ.

3) ASCII-файл – текстовый файл со строками комментариев и строками с двумя столбцами данных (время в секундах и амплитуда в вольтах).

```
//      Некоторые комментарии
// время (сек)  амплитуда (В)
0,01          0,234
0,02          0,45
0,03          - 0,98
0,04          . . .
```

Арта может **импортировать** данные импульсного отклика в пяти форматах:

1.Файл Microsoft .wav (максимальное значение .wav установлено как значение 1,0 в файле .pir)

2.Формат WinMLS WMB

3.Двоичный файл MLSSA .tim

4.Файл MLSSA ASCII — как описано выше.

5.Файл ASCII — как описано выше (также принимает формат времени CLIO ASCII)

Чтобы настроить параметры загрузки PIR-файла и импорта/экспорта, появится диалоговое окно '**Настройка загрузки файлов и импорта/экспорта**' можно использовать (рис. 4.16.). Открывается командой меню '**Файл->Параметры**'.

После принятия решения, импортировать ли запись времени сигнала или импульсную характеристику, вы выбираете команду меню '**Файл->Импорт**', откроется пять вариантов:

WAV-файл-импортирует данные импульсного отклика из файла Microsoft .wav.

WMB-файл-импортирует данные импульсного отклика из файла WinMLS

Файл MLSSA .TIM-импортирует данные импульсного отклика из файла MLSSA .TIM **ASCII-файл MLSSA**-

импортирует данные импульсного отклика из файла в формате MLSSA ASCII. **ASCII-файл**-импортирует данные импульсного отклика (время-амплитуда) из файла в формате ASCII

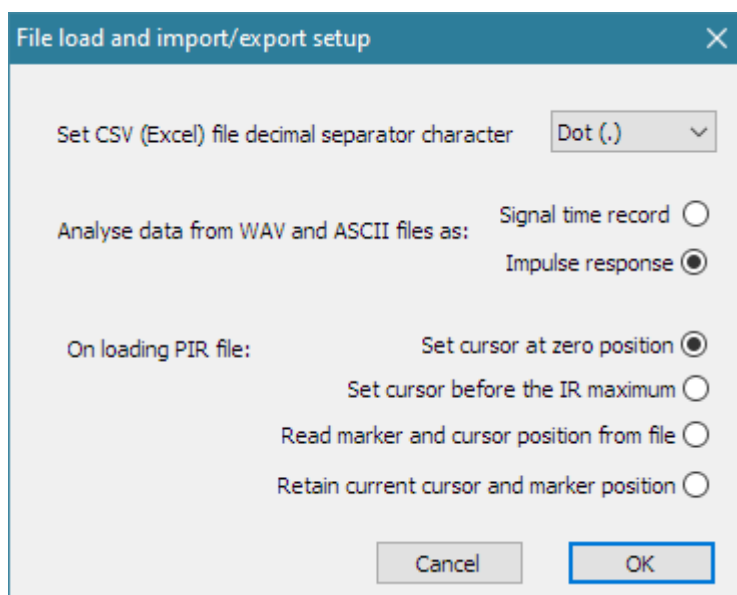


Рисунок 4.16 Диалоговое окно для настройки параметров загрузки файла и импорта/экспорта.

Если вы решите импортировать из wav-файлов, откроется диалоговое окно, показанное на рис. 4.17. Он содержит элементы управления для выбора смещения начального кадра выборки и одного из записываемых каналов.

Моно, стерео и многоканальные файлы принимаются с разрешением 16, 24 и 32 бита PCM и 32 битного формата с плавающей запятой, ограниченного интервалом значений от -1 до +1.

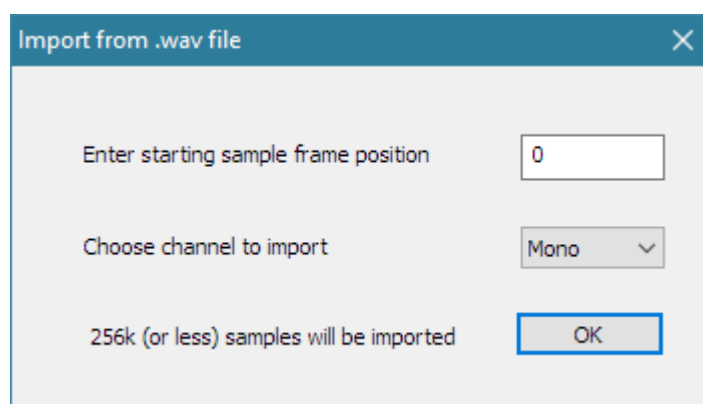


Рисунок 4.17 Диалог настройки импорта сигнала из wav файла


Диалоговое окно на рис. 4.16 также определяет, как будут отображаться маркер и курсор после загрузки файлов .pir.

Используются четыре переключателя: '**Установить курсор в нулевое положение**' (маркер выключен), '**Установите курсор в положение перед максимумом ИК**' (маркер выключен), '**Чтение позиции маркера и курсора из файла**' и '**Сохранять текущую позицию курсора и маркера**'.

4.6.3 Экспорт (пространственной группы) частотных характеристик

На основании измеренных значений IR, сохраненных в файлах PIR, ARTA может рассчитать и экспортировать частотную характеристику в текстовый файл. Это получается из диалогового окна, которое открывается командой '**Файл->Экспорт (пространственной) частотной характеристики**'. Эту операцию также можно применить к нескольким файлам PIR, если имена этих файлов имеют «пространственную форму», используемую для обозначения угла внеосевых измерений громкоговорителя. Подробное описание этой операции дано в главе 9.15.

5 Измерение импульсного отклика и запись сигнала

Окно Импульсный отклик имеет панель инструментов и диалоговую панель. Значки и элементы управления на этих полосах в основном используются для настройки и выполнения различных анализов измеренной импульсной характеристики. Только один значок панели инструментов () и команда меню (**Запись->Импульсный отклик/Запись времени сигнала**) посвящены измерениям. При их активации открывается диалоговое окно для прямого измерения импульсной характеристики с использованием четырех типов сигналов возбуждения: периодический шум, качающийся синусоидальный сигнал, двоичные последовательности максимальной длины (MLS) и внешнее возбуждение.

The 'Измерение импульсного отклика/запись сигнала' Диалоговое окно показано на рис. 5.1. Это лист свойств с четырьмя страницами:

- **Периодический шум**-используется для измерения ИК при периодическом шумовом возбуждении,
- **Мест**и-используется для измерения ИР при синусоидальном возбуждении,
- **МЛС**-используется для измерения ИР с последовательностью максимальной длины,
- **Внешнее возбуждение**-используется для измерения ИК и для регистрации триггерного сигнала.

В заголовке страницы показано, какой тип сигнала будет использоваться для возбуждения системы. Позже будет обсуждено, когда использовать тот или иной тип возбуждения.

Страницы: **Периодический шум**, **Мест**и **МЛС** используются для измерения импульсной характеристики, а страница с именем **Внешнее возбуждение** может использоваться для измерения импульсной характеристики с использованием внешнего импульсного возбуждения или для регистрации триггерного сигнала.

5.1 Измерение импульсного отклика при периодическом шумовом возбуждении

Принципы измерения импульсной характеристики такие же, как и в анализаторе Фурье, описанном ранее. Разница лишь в том, что при этом измерении мы не видим результаты измерений в реальном времени. Результаты измерений доступны при возврате в окно импульсного отклика.

Чтобы произвести измерение импульсной характеристики, пользователю необходимо выполнить четыре действия:

1. Настройте параметры измерения.
2. нажать на кнопку **Записывать** и дождаться окончания измерения (во время измерений кнопка **Записывать** имеет серый цвет).
3. Контролируйте входные уровни. Если какой-либо входной сигнал обрезан, прекратите измерение, нажав кнопку **Записывать** еще раз и уменьшите входную или выходную громкость. В нижней части диалогового окна вольтметр показывает пиковое входное напряжение во время записи или генерации сигнала. Обратите внимание, что полосы VUmeter меняют цвет на красный, если входные каналы перегружены.
4. Измерение обычно прекращается, когда получены все средние значения. Если флажок **Закрывать после записи** установлен флажок, диалоговое окно закроется, в противном случае пользователю придется нажать кнопку **Хорошо** и вернуться в **Окно импульсного отклика**.

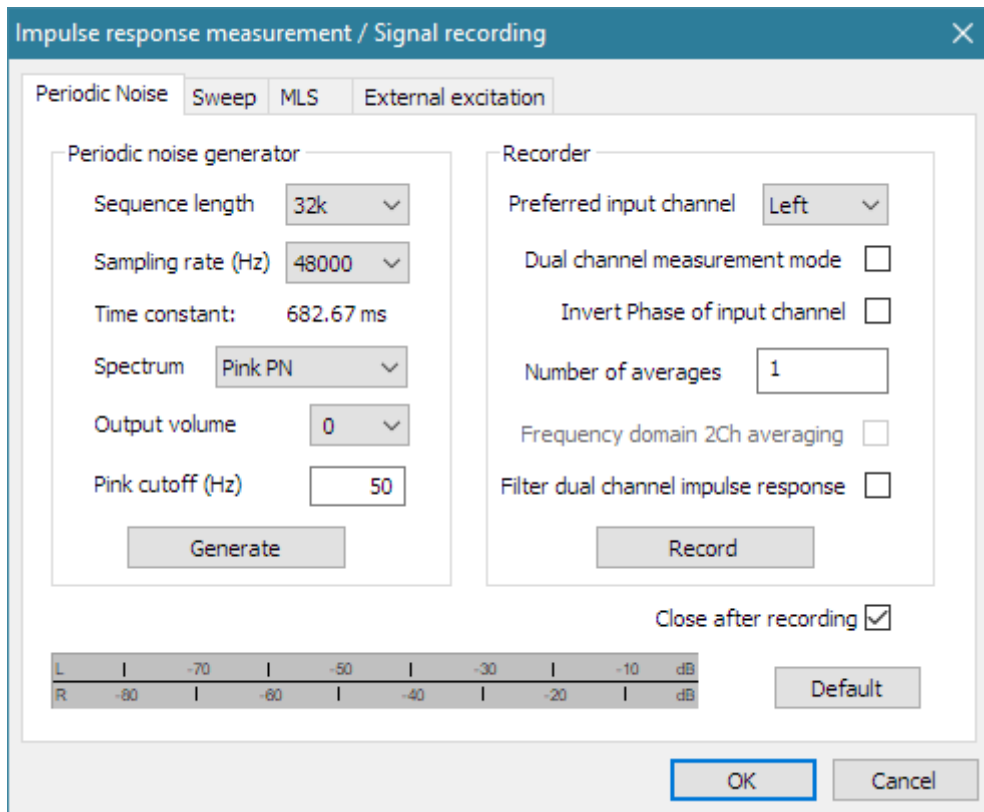


Рисунок 5.1 Диалоговое окно для измерения импульсной характеристики с использованием периодического шумового возбуждения

Органы управления, используемые для измерения импульсной характеристики при периодическом шумовом возбуждении:

Длина последовательности—выбирает количество выборок в одном периоде периодического шума.

Частота выборки—выбирает частоту дискретизации.

Шумовой спектр—выбирает форму спектра шума (Розовый, Белый или Речевой).

Выходной объем—выбирает выходную громкость в дБ.

Розовый срез-Гц—входит в частоту среза периодического розового шума.

Предпочтительный входной канал—выбирает входной канал звуковой карты, используемый для измерения выходного сигнала тестируемого устройства.

Двухканальный режим—выбирает двухканальный или одноканальный режим.

Инvertировать фазу входного канала—установите флажок, чтобы изменить полярность входного сигнала.

Количество средних значений—вводит число средних значений.

Усреднение по 2 каналам в частотной области—установите флажок, чтобы установить усреднение в частотной области.

Фильтровать двухканальный ответ—установите флажок, чтобы использовать «антиалиасинговую» фильтрацию импульсной характеристики (удаляет шум вблизи $f/2$ в двухканальном режиме). **Генерировать**—запускает или останавливает генератор.

Записывать—запускает или останавливает измерение (запись и генерацию сигнала).

Закрыть после записи—установите флажок, чтобы закрыть диалоговое окно сразу после завершения записи. **По умолчанию**—устанавливает настройки по умолчанию.

ХОРОШО—закрывает диалоговое окно и возвращается в окно импульсной характеристики, которое будет содержать вновь записанную периодическую импульсную характеристику.

Отмена—закрывает диалоговое окно и возвращается в окно импульсной характеристики, не меняя его содержимого.

5.2 Измерение импульсного отклика с синусоидальным возбуждением

Обычно синусоидальный сигнал определяется как синусоидальный сигнал $h(\tau)$ с изменяющейся во времени фазовой функцией $\phi(\tau)$:

$$h(\tau) = \sin(2\pi\phi(\tau))$$

Мгновенная частота этого сигнала определяется как:

$$f(\tau) = \frac{d\phi(\tau)}{d\tau}$$

В ARTA используются два типа качающегося синуса; один с линейной, а другой с логарифмической частотно-временной зависимостью. Линейный синусоидальный сигнал определяется следующей фазовой функцией:

$$\phi(\tau) = \frac{f_1 \tau + (f_2 - f_1) \tau^2 / 2T}{2\pi}$$

где T обозначает общую продолжительность развертки (в секундах), f_1 — стартовая частота и f_2 — это стоповая частота.

Логарифмический синус с качающейся частотой определяется, согласно Фарине [7], со следующей фазовой функцией:

$$\phi(\tau) = \frac{f_1 T}{\ln(f_2/f_1)} \left(e^{\frac{\tau}{T} \ln(f_2/f_1)} - 1 \right)$$

В обоих случаях пик-фактор составляет 3 дБ, что намного ниже, чем пик-фактор шума. Это означает, что измерение с помощью качающегося синуса дает высокое отношение сигнал/шум.

Как ARTA использует качающийся синус при измерении импульсной характеристики?

ARTA рассматривает качающийся синус как непериодический сигнал и использует его в качестве сигнала возбуждения в анализаторе Фурье с ЧАСТОТНЫМ ОЦЕНЩИКОМ. Основная идея показана на рис. 5.2. Сначала генерируется синусоидальная последовательность длины N . В то же время ARTA начинает собирать блок из $2N$ выборок для анализа БПФ. Удвоение длины полученной последовательности важно при акустических измерениях, поскольку оно гарантирует сбор всех отражений в помещении. Дополнительным требованием при акустических измерениях является то, чтобы длительность генерируемой последовательности была больше времени реверберации помещения.

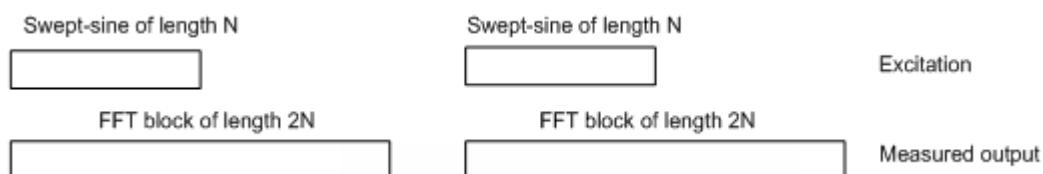


Рисунок 5.2 Принципы генерации качающегося синуса и сбора сигналов в ARTA

Примечания: Развертка синуса — это оптимальный сигнал возбуждения для быстрого измерения акустического импульсного отклика без усреднения. Он дает лучшую оценку, чем другие сигналы возбуждения в слегка изменяющихся во времени средах и для слегка нелинейных систем.

Развертка синуса не является лучшим сигналом возбуждения, если окружающая среда генерирует большой уровень цветного или импульсивного шума. Это также дает плохую оценку в системе, которая имеет частотно-чувствительную автоматическую регулировку усиления или автоматическое подавление шума. В этих случаях периодическое шумовое возбуждение дает лучшую оценку.

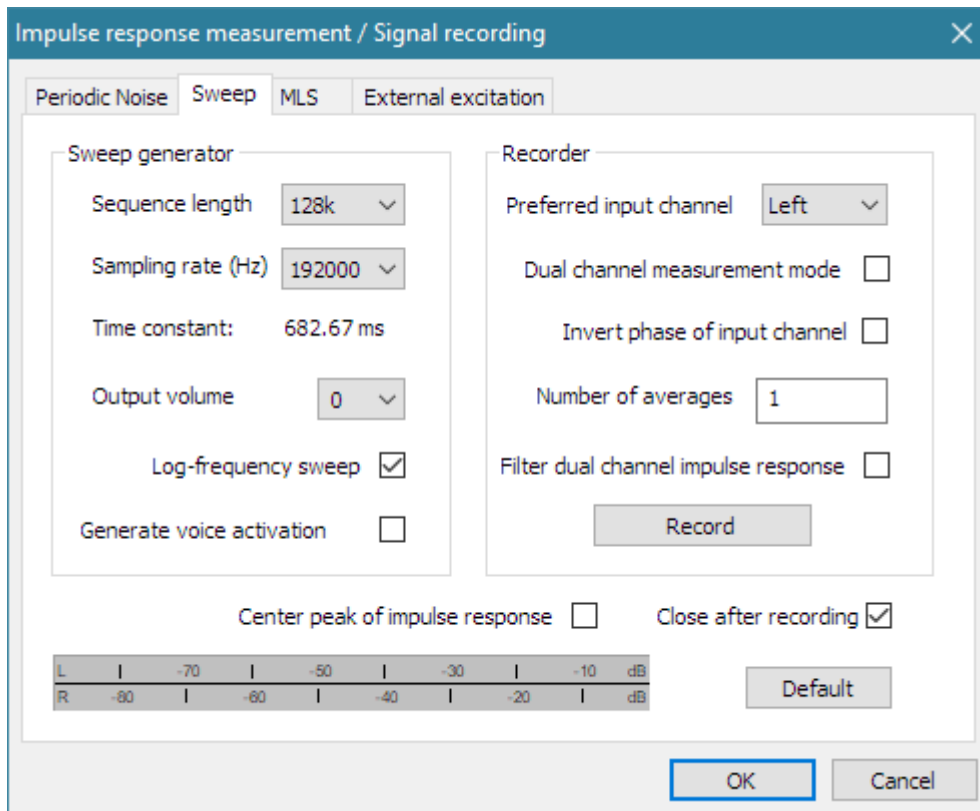


Рисунок 5.3 Диалоговое окно для измерения импульсной характеристики с использованием качающегося синуса.

Следующие элементы управления используются для измерения импульсной характеристики с использованием синусоидального возбуждения:

Длина последовательности—выбирает количество выборок в одном периоде качающегося синуса. **Частота выборки**—выбирает частоту дискретизации. **Выходной объем**—выбирает выходную громкость в дБ.

Логарифмическая развертка—выбирает линейную или логарифмическую зависимость времени от частоты.

Создать голосовую активацию—установите флажок для активации голосового сигнала. Это необходимо в системе голосового управления.

Предпочтительный входной канал—выбирает входной канал звуковой карты, используемый для измерения выходного сигнала тестируемого устройства. **Двухканальный режим измерения**—установите флажок для режима двухканального измерения.

Инvertировать фазу входного канала—установите флажок для изменения полярности входного сигнала. **Количество средних значений**—входит в число усреднений, хотя усреднение используется редко. **Записывать**—запускает или останавливает измерения (запись и генерацию сигнала).

Фильтровать двухканальный ответ—установите флажок, чтобы использовать «антиалиасинговую» фильтрацию импульсной характеристики (чтобы убрать шум вблизи $f/2$ при выполнении двухканального измерения).

Центральный импульсный отклик—установка этого флажка позволяет зарегистрировать часть некаузальной импульсной реакции (предшествующей началу). Эта часть импульсной характеристики (при оценке с логарифмической разверткой) содержит изображения импульсной характеристики, вызванные искажениями.

Закреть после записи—установите флажок, чтобы закрыть диалоговое окно сразу после завершения записи. **По умолчанию**—устанавливает настройки по умолчанию.

ХОРОШО—закрывает диалоговое окно и возвращается к окну импульсной характеристики, которое будет содержать вновь измеренную периодическую импульсную характеристику.

Отмена—закрывает диалоговое окно и возвращается в окно импульсной характеристики, не меняя его содержимого.

5.3 Измерение импульсного отклика с возбуждением MLS

Сигнал последовательности максимальной длины (MLS) представляет собой импульсный сигнал с квазислучайным обменом состояниями: +1 и -1. Его можно анализировать как двоичную последовательность из N нулей или единиц, периодическую с периодом $N = 2^m - 1$. MLS может быть сгенерирован с помощью сдвиговых регистров, подключенных в конфигурации обратной связи. Соединения обратной связи определяются некоторым примитивным полиномом m -й разности. Например, на рис. 5.4 показано создание одной MLS-последовательности с полиномом

$$P(x) = x^4 + x^3 + 1$$

Это полином четвертого порядка, и сгенерированная последовательность MLS имеет длину (период) $H = 2^4 - 1 = 15$.

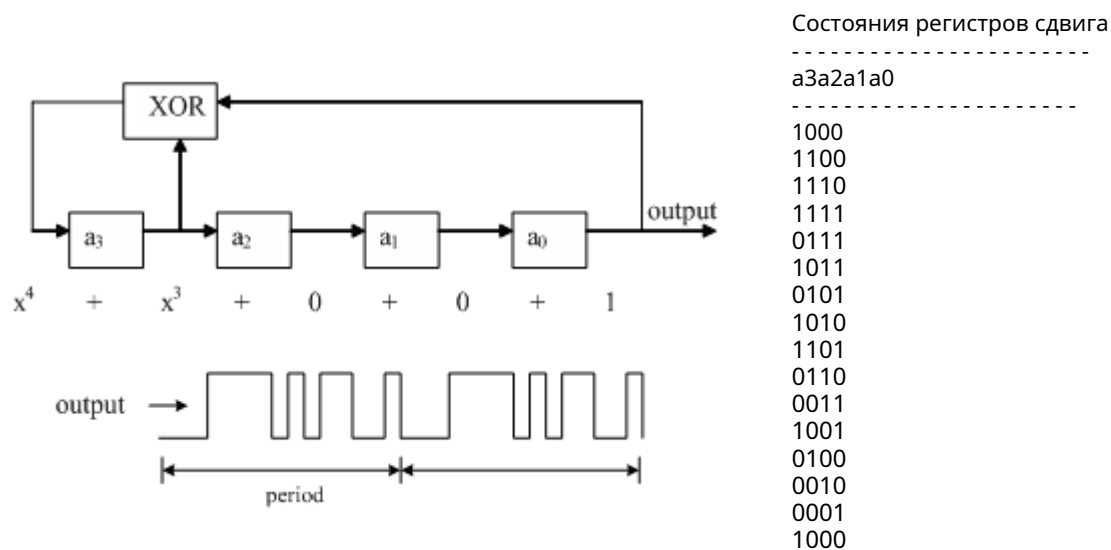


Рисунок 5.4 Генерация последовательности MLS с помощью сдвиговых регистров

Каждая последовательность MLS имеет следующие характеристики:

1. Автокорреляционная функция постоянна $\rho_{xx}(k) = \begin{cases} 1 & k=0 \\ -1/H & k \neq 0 \end{cases}$
2. Значение постоянного тока равно $1/H$
3. Пик-фактор равен 1 (0 дБ).

При большом значении N значение постоянного тока ($1/N$) приближается к нулю. Тогда автокорреляция равна 1 при $k=0$, в противном случае она равна нулю. Спектр мощности S_{xx} и автокорреляция ρ_{xx} являются парой Фурье:

$$S_{xx}(k) = \frac{1}{H} \rho_{xx}(k) e^{-j2\pi k/H} \quad \rho_{xx}(k) = \begin{cases} 1 & k=0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$

Этот спектр мощности является константой, что означает, что последовательность MLS имеет белый спектр. Когда возбуждение системы имеет белый спектр, тогда взаимная корреляция выходного сигнала с входным сигналом пропорциональна импульсной характеристике системы ($h(t) = p_k(x)$).

Простое аппаратное обеспечение и быстрые корреляционные вычисления были основной причиной популярности приборов на основе MLS. Корреляцию с последовательностью MLS можно выполнить с помощью преобразования Адамара, которое является более быстрым алгоритмом, чем БПФ.

Вторая причина популярности MLS — это теоретическое свойство MLS, заключающееся в том, что он имеет минимально возможный пик-фактор. На практике, когда MLS генерируется звуковой картой, это не так, поскольку сигнал MLS изменяется на выходе «сглаживающего» фильтра ЦАП и проходит через любой другой фильтр. Пик-фактор от 6 дБ до 9 дБ обычно используется на выходах звуковой карты ПК.

Самая большая проблема с сигналом MLS заключается в том, что некоторые из подпоследовательностей MLS коррелированы и могут вызывать серьезные искажения при измерении отклика нелинейных систем. Вот почему качающийся синус и периодический шум являлись лучшими сигналами для измерения частотной характеристики систем, демонстрирующих небольшую нелинейность.

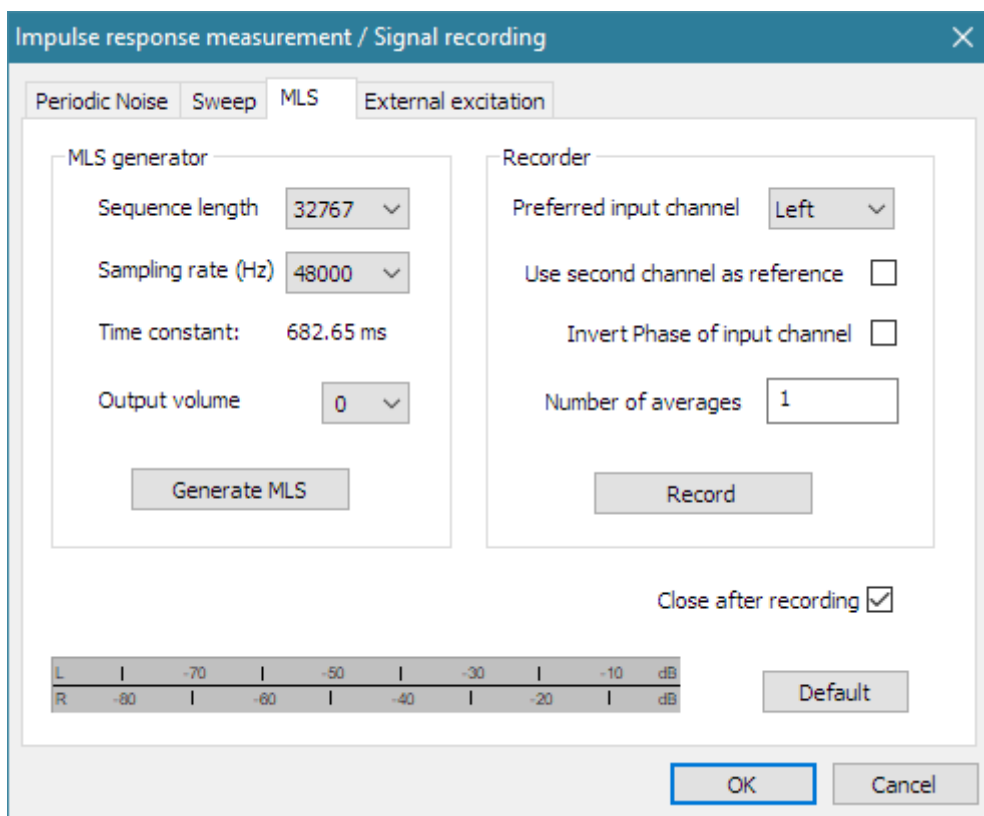


Рисунок 5.5 Диалоговое окно для измерения импульсной характеристики с помощью MLS

Следующие элементы управления используются для измерения импульсной характеристики с использованием возбуждения MLS:

Длина последовательности-выбирает количество выборок в одном периоде

MLS. **Частота выборки**-выбирает частоту дискретизации. **Выходной объем**-

выбирает выходную громкость в дБ.

Предпочтительный входной канал-выбирает входной канал звуковой карты, используемый для измерения выходного сигнала

тестируемого устройства. **Используйте второй канал в качестве эталона**-флажок для настройки измерения в полудуплексном режиме

(задержка ввода/вывода оценивается с точностью до одного отсчета).

Инvertировать фазу входного канала-установите флажок для изменения полярности входного сигнала.

Количество средних значений-вводит количество усреднений (используйте синхронное усреднение). **Записывать**

-запускает или останавливает измерения (запись и генерацию сигнала).

Закрыть после записи-установите флажок, чтобы закрыть диалоговое окно сразу после завершения записи. **По умолчанию**-устанавливает настройки по умолчанию.

ХОРОШО -закрывает диалоговое окно и возвращается к окну импульсной характеристики, которое будет содержать вновь измеренную периодическую импульсную характеристику.

Отмена -закрывает диалоговое окно и возвращается в окно импульсной характеристики, не меняя его содержимого.

При использовании сигнала MLS допускается только одноканальная или полудвухканальная конфигурация измерения. В полудвухканальной конфигурации второй канал используется в качестве эталона времени, но оценка импульсной характеристики выполняется так же, как и в одноканальной системе (таким образом, задержка ввода/вывода может быть оценена с точностью до одной выборки, но расчетная передаточная функция смещена с передаточными функциями аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей).

5.4 Измерение импульсного отклика при внешнем возбуждении и записи по триггеру

При измерениях акустики помещения импульсную характеристику можно измерить, используя пистолетный выстрел или взрыв воздушного шара в качестве внешнего импульсного возбуждения. Этот тип измерений может дать лучшие результаты, чем методы корреляции, в условиях, изменяющихся во времени, с быстрыми изменениями температуры воздуха и потоками воздуха.

На рис. 5.6 показано диалоговое окно измерения с внешним импульсным возбуждением. Это диалоговое окно также можно использовать для записи любого типа сигнала в виде записи временного ряда.

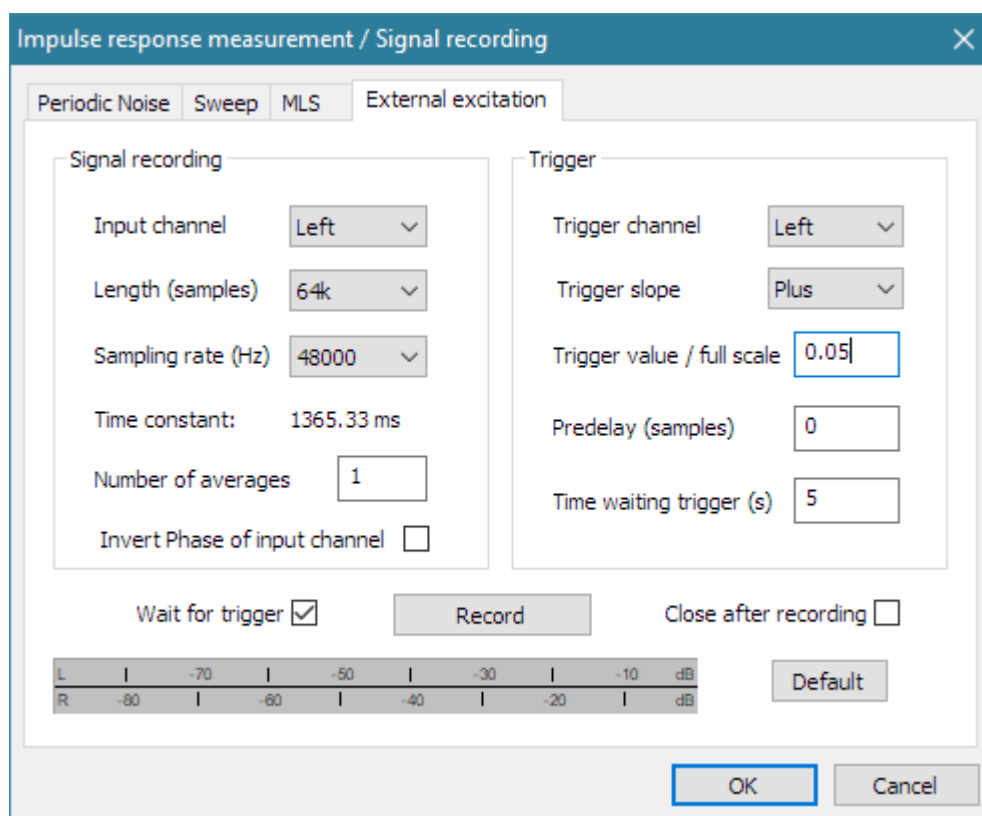


Рисунок 5.6 Диалоговое окно для измерения импульсной характеристики с использованием внешнего импульсного возбуждения или для общей записи сигналов

Для измерения импульсной характеристики или записи сигнала с использованием внешнего возбуждения используются следующие органы управления:

Входной канал -выбирает входной канал звуковой карты, используемый для записи сигнала.

Длина (образцы)–выбирает количество сэмплов для записи. **Частота дискретизации (Гц)**–выбирает частоту дискретизации. **Постоянная времени**–показывает продолжительность записанного сигнала.

Количество средних значений–вводит количество усреднений (используйте синхронное усреднение по времени).

Инвертировать фазу входного канала–установите флажок для изменения полярности входного сигнала. **Подождите триггера**–установите флажок, чтобы включить начало записи при достижении уровня триггера. **Триггерный канал**–выбирает входной канал звуковой карты, который будет использоваться для захвата триггерного сигнала. **Наклон триггера**–выбирает крутизну (плюс или минус) триггерного сигнала.

Триггерное значение / полная шкала–вводит значение триггера (относительно полной шкалы), при котором начинается запись сигнала. Положительное или отрицательное значение относится к положительной или отрицательной амплитуде сигнала запуска.

Предварительная задержка (примеры)–вводит количество выборок для записи до точки запуска. Если введено отрицательное значение, оно обозначает количество выборок, которые будут пропущены при записи после точки запуска.

Триггер времени ожидания–вводит количество секунд ожидания триггера. **Записывать**–запускает или останавливает измерения (запись и генерацию сигнала).

Закрыть после записи–установите флажок, чтобы закрыть диалоговое окно сразу после завершения записи. **По умолчанию**–устанавливает настройки по умолчанию.

ХОРОШО–закрывает диалоговое окно и возвращается в окно Imp, которое будет содержать вновь записанный сигнал.

Отмена–закрывает диалоговое окно и возвращается в окно Imp, не меняя его содержимого.

Некоторые общие рекомендации по измерению импульсной характеристики:

- Система на основе MLS уступает системам с качающейся синусоидальной частотой или системам с периодическим шумом при реализации с помощью обычной звуковой карты ПК.
- Система на основе качающегося синуса дает наилучшую оценку в среде с низким уровнем шума.
- Измерительная система с периодическим возбуждением розовым шумом дает наиболее надежную оценку и может рассматриваться как система общего назначения.
- Внешнее импульсное возбуждение дает наилучшую оценку в изменяющейся во времени среде.

5.5 Запись сигнала по сигналу

Часто бывает полезно записать переходные сигналы, а затем провести спектральный анализ части этого сигнала. В ARTA для получения записи времени сигнала применимы две процедуры измерения: одна с внешним возбуждением, которая также служит сигналом запуска, и другая, которая использует внутренне генерируемые сигналы для возбуждения и запуска.

5.5.1. Регистрация триггерного сигнала с внешним возбуждением и оценкой спектра.

Страница «Внешнее возбуждение» может использоваться для записи любого типа входного сигнала и функционировать как цифровое хранилище с длиной записи от 4 до 256 тысяч выборок. Запуск может применяться с обоих каналов.

На рисунке 5.7 показана временная запись синусоидального сигнала в окне Imp. Уровень триггера составлял 0,01 FS, с предварительной задержкой 30 выборок. Спектр этого сигнала можно получить командами меню: **Анализ->Одностробо́вая сгла́женная частотная характеристика/спектри** или **Анализ->Несгла́женная частотная характеристика ДПФ/Спектр**. Эти команды открывают диалоговое окно 'Спектр', что показано на рисунке 5.8. В нем есть элементы управления и параметры масштабирования, как описано ранее для окна анализа спектра в реальном времени. спд

Четыре параметра определяют, как оценивается спектр:

- **Длина БПФ**–который задается на панели управления или в диалоговом окне 'Параметры импульсного отклика и спектрального анализа', который открывается командой меню **Настройка->Параметры анализа** (см. рис. 6.4).
- **Сиг Внд**–Окно сигнала для анализа спектра, которое задается в диалоговой панели или в диалоговом окне **Настроить->Параметры анализа**. Выбор окон такой же, как и в окне анализа спектра, с добавлением экспоненциального окна, которое часто используется при анализе переходных сигналов.
- **Позиция курсора**–рассматривается как первая выборка в блоке БПФ, размер которой определяется длиной БПФ.

- **Положение маркера** – рассматривается как позиция последней выборки, использованной в анализе БПФ. При оценке спектра, если длина шлюза меньше длины БПФ, блок БПФ дополняется нулями. Если длина шлюза больше длины БПФ, то блоки БПФ, перекрывающиеся по времени на 50 %, усредняются по мощности.

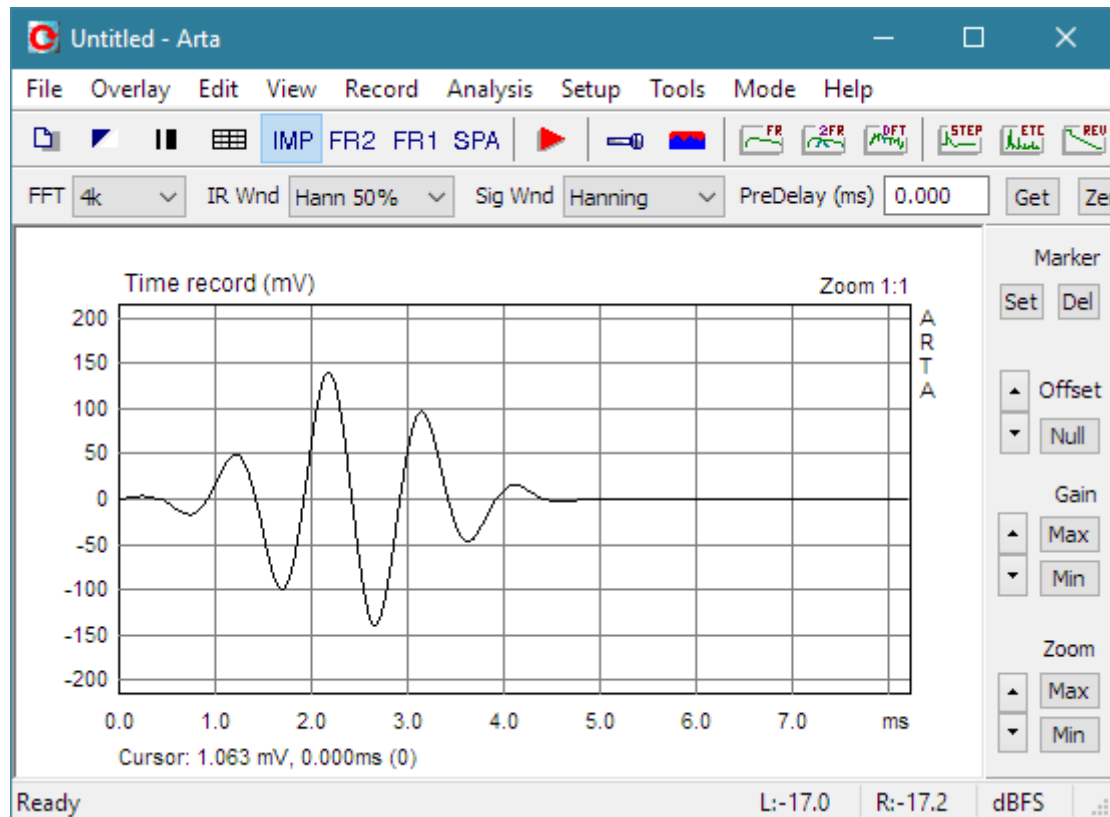


Рисунок 5.7 Запись времени синусоидального сигнала.

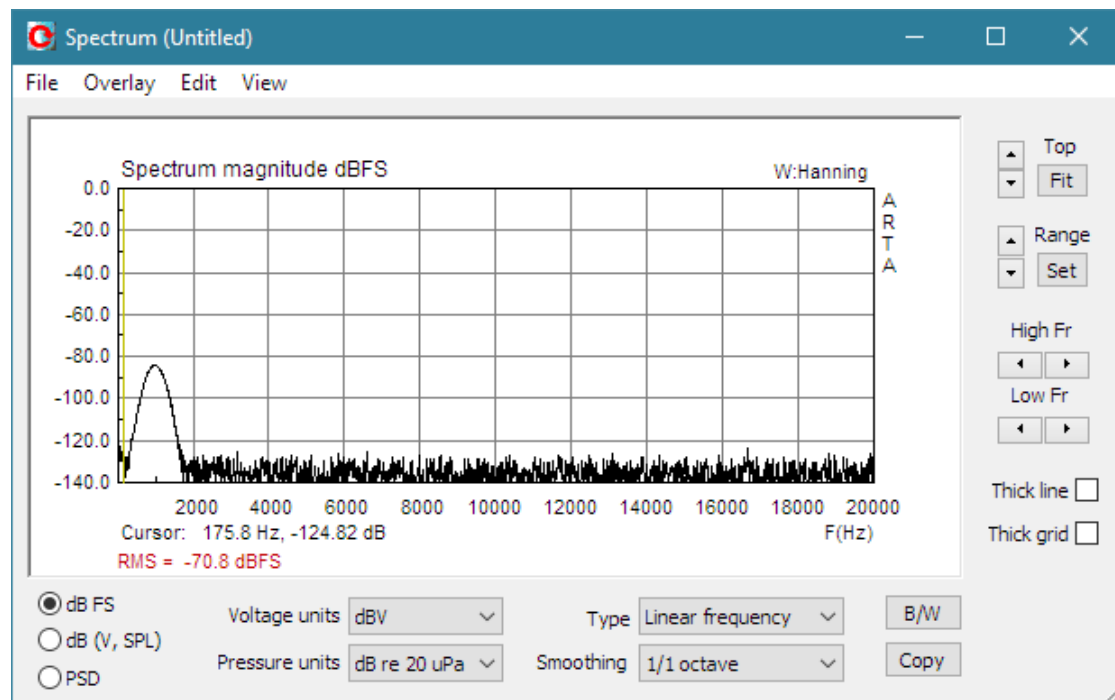


Рисунок 5.8 Спектр записанного синусоидального сигнала, полученный с длиной БПФ = 1024.

5.5.2 Запись триггерного сигнала с внутренним сигналом и генерация триггера

ВБесокно команды меню '**Запись->Запись времени сигнала**'открывает диалог'**Генерация и запись сигналов**', показанный на рис. 5.9.

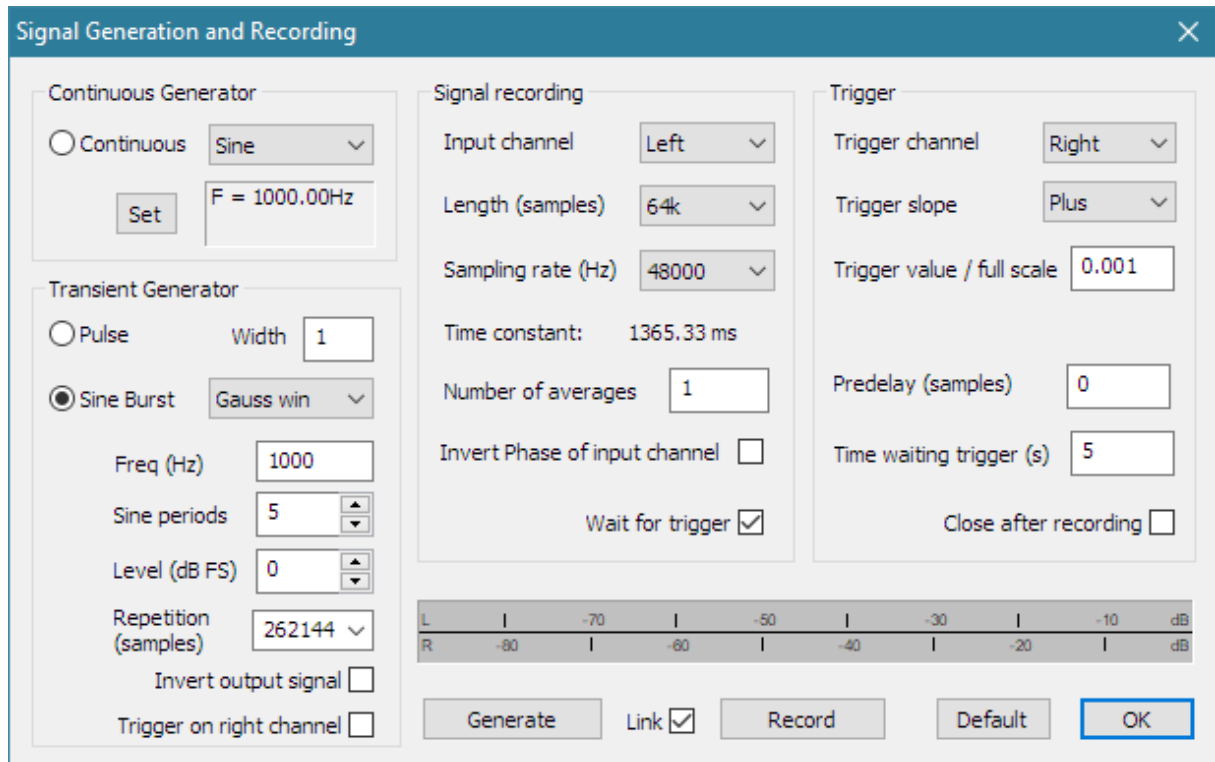


Рисунок 5.9Диалоговое окно для генерации сигнала и запуска записи

Элементы управления в разделах '**Запись сигнала**' и '**Курок**' объяснены в предыдущем разделе (под рис. 5.6).

Два диалоговых раздела (**Непрерывный генератор**/ **Переходный генератор**) определите генератор сигналов следующим образом:

Три переключателя выбирают тип генератора:

- **Генератор непрерывного действия**–с типами сигналов, которые используются в окне анализа спектра. Кнопка '**Набор**' открывает диалог настройки генератора непрерывного действия.
- **Генератор импульсов**–с регулируемой шириной импульса (вводится в образцы в поле редактирования '**Ширина**').
- **Синусоидальный генератор**–с регулируемой формой огибающей пакета (Равномерная, Треугольная, Блэкмана и Гаусса), частотой, количеством периодов синуса, выходным уровнем и частотой повторения в выборках.

Флажок '**Инвертировать выходной сигнал**' включает инвертирование сигнала генератора.

Флажок '**Триггер по правому каналу**' включает генерацию импульсного триггерного сигнала на выходе правого канала.

Кнопка '**Генерировать**'-запускает генерацию сигнала.

Кнопка '**Записывать**'-начинает измерение с записи входного сигнала. Если флажок '**Связь**' отмечен, нажатие на кнопку '**Запись**' также запускает генератор.

5.6 Основные процедуры редактирования

Подменю **Редактировать** позволяет использовать следующие команды для редактирования импульсной характеристики:

Инвертировать - меняет полярность импульсной характеристики, просто меняя знак импульсной характеристики.

Поворот на курсоре - изменяет импульсную характеристику так, что текущая точка курсора становится первой точкой импульсной характеристики, а точка, предшествующая курсору, становится последней точкой импульсной характеристики. Это полезно для редактирования периодической импульсной характеристики (полученной с периодическим шумом или с помощью MLS).

Усечь до [курсor, маркер] - удаляет из текущих частей ответа за пределами [курсора, маркера].

Шкала - используется для умножения импульсной характеристики на произвольную константу или значение арифметического выражения. Эта команда открывает 'Пир-масштабирование' диалоговое окно, показанное на рис. 5.10.

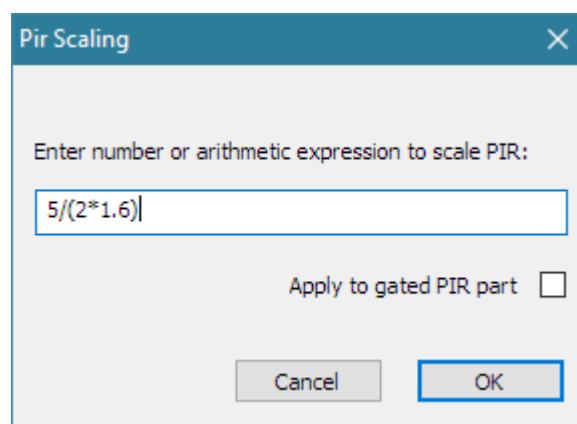


Рисунок 5.10 Диалоговое окно произвольного масштабирования импульсной характеристики

В поле редактирования пользователь вводит константу с плавающей запятой или арифметическое выражение, состоящее из:

- целые числа и числа с плавающей запятой,
- операторы - в порядке приоритета: возведение в степень (\wedge), умножение (*, /), сложение (+, -)
- фигурные скобки () для группировки.

Пример: Допустимым выражением для ввода эквивалентной шкалы 0,7 дБ является выражение 10 (0,7/20).

Масштабирование часто используется для масштабирования отклика громкоговорителя в ближнем поле, чтобы получить оценку отклика в дальнем поле.

Пример: Измерение отклика громкоговорителя в помещении не может дать нам оценку басового отклика в свободном поле. Чтобы получить это, мы измеряем басовую характеристику ближнего поля громкоговорителя. $P_{НФ}$ масштабируйте отклик с коэффициентом, равным отношению радиуса мембраны к двойному нормальному измеренному расстоянию. r .

$$p_{\text{far}} = \frac{p_{\text{near}}}{2r}$$

Полученные таким образом отклики являются хорошим приближением отклика громкоговорителя в свободном поле, установленного в бесконечной перегородке (2-), для частот ниже 200 Гц.

Передискретизация на более низкую частоту - выполняет повторную выборку ИР или сигнала на некоторую более низкую частоту дискретизации. Параметры передискретизации пользователь настраивает в диалоговом окне 'Понижение разрешения', показанный на рис. 5.11. Пользователь вводит значения для 'Новая частота дискретизации' и 'Фактор сглаживания', который определяет характеристики фильтра сглаживания, который применяется в цифровой области перед процессом прореживания. Коэффициент 0,5 дает плавный спад высоких частот в полосе пропускания в одну октаву, а коэффициент 0,95 дает самый крутой спад.

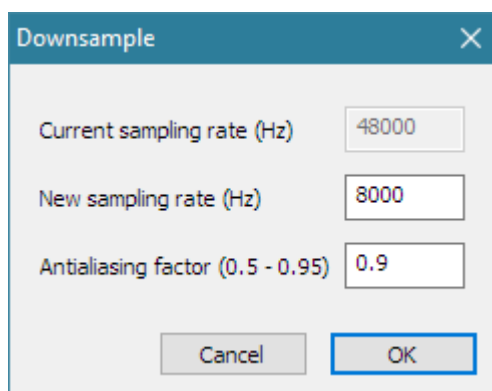


Рисунок 5.11 Диалоговое окно 'Понижение разрешения'

Масштабировать реакцию акустической модели – преобразует ответ с помощью $1:n$ масштаб акустического модельного пространства и компенсирует высокочастотное поглощение воздушного звука.

В архитектурной акустике при проектировании акустики помещения можно использовать уменьшенную модель помещения и анализировать реакцию помещения при высокочастотном импульсном возбуждении. Для масштаба модели $1:n$ необходимо произвести измерение с частотой дискретизации примерно n -раз больше, чем следует сделать в целевом помещении нормальных размеров. Чтобы получить целевой отклик из отклика модели, нам необходимо преобразовать частоту дискретизации и компенсировать отклик из-за чрезмерного поглощения воздуха на высоких частотах. Пользователь настраивает параметры трансформации масштабной модели в диалоговом окне '**Масштабная модель**', показанный на рис.5.12.

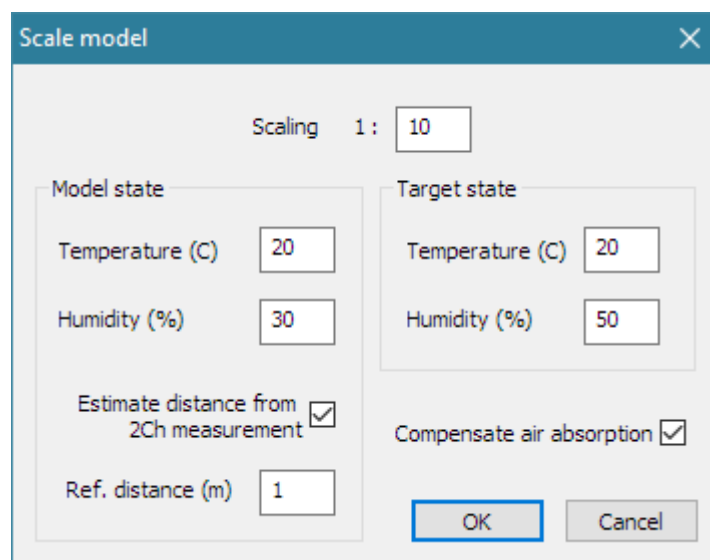


Рисунок 5.12 Диалоговое окно 'Масштабная модель'

Если флажок '**Компенсация поглощения воздуха**' не отмечен, процедура масштабирования равна изменению частоты дискретизации для **Масштабирование** фактор, иначе **Температура** и **Влажность** акустического **Состояние модели** и **Целевое состояние** используются для расчета звукопоглощения воздуха, как это определено в стандарте ISO 9613-1 [56]. Данные о поглощении используются для генерации обратного фильтра, который динамически применяется к той части отклика, где сигнал превышает шум. Обратная, зависящая от времени фильтрация начинается с точки «нулевого времени» в IR. «Нулевое время» определяется автоматически, если измерение производилось в двухканальном режиме, в противном случае пользователю необходимо ввести значение **Базовое расстояние** от динамика к микрофону.

6 Системный анализ по импульсному отклику

Импульсный отклик является фундаментальной характеристикой системы. Используя его, АРТА может оценить следующее:

1. Закрытый и 1/*n*-октавная сглаженная частотная характеристика,
2. Переходный процесс,
3. Огибающая импульсного отклика (или энергетическая кривая времени – ETC),
4. Кумулятивный спектр, кривая спектрального затухания (CSD) и затухание всплеска (BD),
5. Кривая затухания энергии и акустические параметры помещения,
6. Функция передачи речевой модуляции (MTF)
7. Индекс передачи речи (СТИ и РАСТИ).

Эти анализы можно активировать из подменю **Анализ** либо щелкнув левой кнопкой мыши по одному из «зеленых» значков панели инструментов, показанных на рис. 6.1.

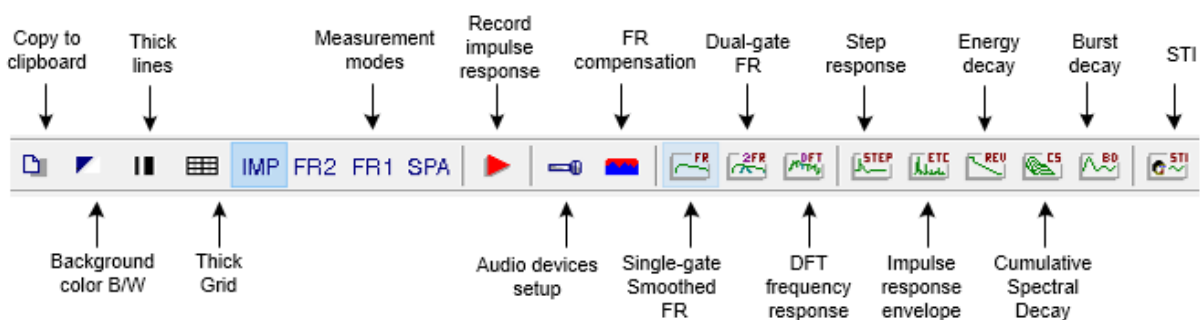


Рисунок 6.1 Окна импульсной реакции – значки на панели инструментов

В следующих разделах описываются методы анализа импульсной характеристики.

6.1 Строблируемый импульс и частотная характеристика

6.1.1. Строблируемая импульсная характеристика

Во многих случаях полезно анализировать только часть импульсной характеристики – так называемую *строблированную импульсную характеристику*. Преобразование Фурье (DFT) этой «временной» части импульсного отклика дает нам *строблированную частотную характеристику*.

На рис. 6.2 показаны основные компоненты, определяющие «строблируемую» часть импульсной характеристики: курсор, маркер и длина блока БПФ.

АРТА следует следующим правилам:

1. Если маркер активен, то *ворота* определяется как часть импульсной характеристики между курсором и маркером. При анализе БПФ все выборки, находящиеся за пределами вентили, обнуляются.
2. Если маркер неактивен, то *gate* определяется как часть импульсной характеристики, которая начинается с позиции курсора и имеет длину, равную длине текущего БПФ. Чтобы установить текущий длину БПФ можно использовать в диалоговой панели (рис. 6.3) или активировать опцию 'Настройка анализа импульсного отклика' диалоговое окно.

Закрытые и незакрытые части импульсной характеристики показаны разными цветами.

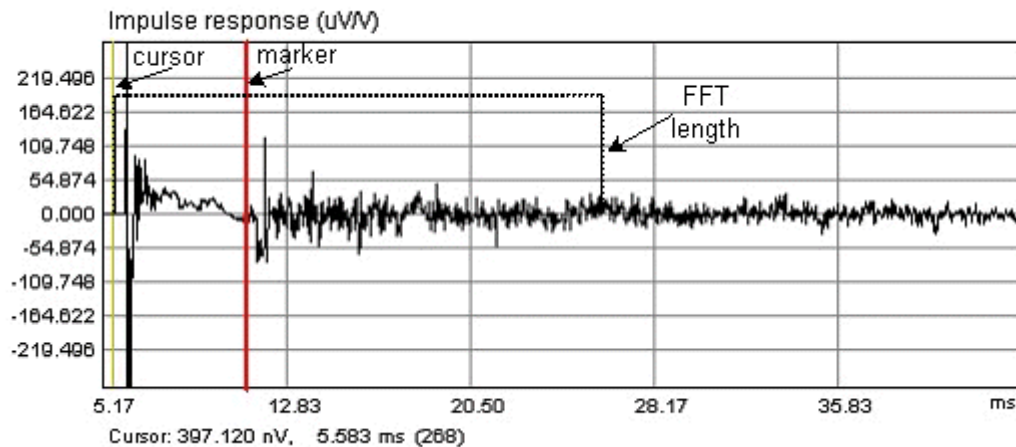


Рисунок 6.2 Компоненты, определяющие «стробируемую» часть импульсной характеристики: курсор, маркер и длина блока БПФ.

При анализе отклика громкоговорителя *ворота* обычно выбирается в качестве начальной части PIR, в которой отражения волн в помещении минимальны. Это мотивировано психоакустическими данными о том, что наша слуховая система подавляет отражения в первые 10–20 мс. Более поздние отражения с задержкой не менее 100 мс способствуют ощущению громкости. После этого '*время суммирования громкости*' отражения опять-таки не способствуют повышению громкости. Это означает, что для субъективно подтвержденной оценки частотной характеристики громкоговорителя, которая будет соответствовать нашему ощущению тонального баланса громкоговорителя, необходима система с двойным затвором. Для удаления отражений нам нужен короткий временной гейт (*Ворота1*), но из требований к временной полосе следует, что использование Gate1 делает недействительной оценку FR на низких частотах. Что мы можем сделать, чтобы получить более приемлемый отклик на низких частотах, так это использовать затвор большего размера. *Ворота2*. Следуя закону суммирования громкости, *Ворота2* будет установлено между 100 и 200 мс. Обе ценности, *Ворота1* и *Ворота2* устанавливает пользователь с помощью диалогового окна '**Настройка диалога импульсного отклика**', что показано на рис. 6.4. Если маркер установлен, то курсор и маркер определяют *Ворота1* как и в случае одновентильного анализа.

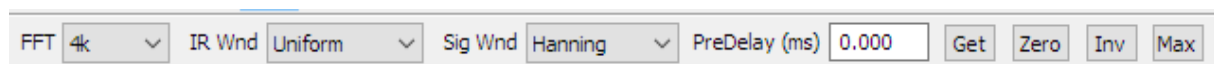


Рисунок 6.3 Диалоговая панель окна Импульсный отклик

Диалоговая панель элементы управления:

БПФ-выбирает размер блока БПФ

ИК ветер-выбирает тип окна, который будет применяться к хвостовой части стробируемой части IR при анализе частотной характеристики.

Сиг Внд-выбирает тип окна, которое будет применено к блоку БПФ записанного переходного сигнала при анализе спектра.

Предварительная задержка (мс)-вводит временной интервал от положения курсора в качестве опорного положения для оценки фазовой или групповой задержки (обычно это расстояние от положения курсора до положения максимума импульсной характеристики).

Получать-получить временной интервал между курсором и маркером и установить его как задержку для оценки фазы. **Ноль**-установите задержку на ноль.

Инв-изменить полярность импульсной характеристики.

Макс-установите курсор в положение максимального значения импульсной характеристики.

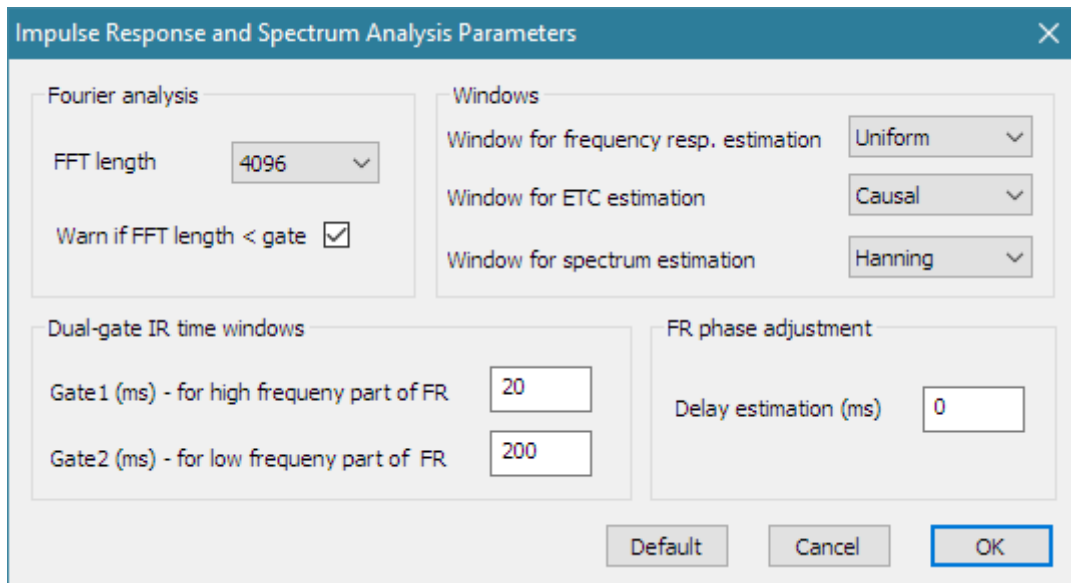


Рисунок 6.4 Диалоговое окно настройки импульсной характеристики и анализа спектра

Фурье-анализ элементы управления разделом:

Длина БПФ-выбирает длину (размер) блока БПФ.

Предупреждать, если длина БПФ < ворота-флажок, который будет выдавать предупреждение, если длина БПФ меньше длины логического элемента.

Окнараздел:

Окно частоты соотв. оценка-выбирает типы окон: Uniform, Hann12%, Hann25% или Hann 50%.

Окно оценки ЕТС -выбирает окно для оценки ЕТС (огibaющей импульсной характеристики):
Равномерное, Полу-Ханна, Речевое, Причинное.

Окно оценки спектра -выбирает типы окон: Uniform, Hanning, Blackman3, Blackman4, Kaiser5, Kaiser7, FlatTop и Exponential.

Регулировка фазы FRраздел:

Оценка задержки (мс)-устанавливает интервал времени от положения курсора в качестве опорного положения для оценки фазы (обычно это расстояние от положения курсора до положения максимума импульсной характеристики).

Двойные ИК-окна времени воротраздел:

Gate1 (мс) – для высокочастотной части FR-устанавливает временной интервал от позиции курсора для высокочастотной характеристики FR.

Gate2 (мс) – для низкочастотной части FR-устанавливает временной интервал от позиции курсора для низкочастотной характеристики FR.

Прежде чем оценивать стробируемую частотную характеристику на основе временной импульсной характеристики, мы должны установить тип окна, которое будет применяться *кворота*. Могут быть применены следующие окна: Uniform, Hann12%, Hann25% или Hann 50%. Знак процента после имени Ханн означает, что половина окна Хэннинга применяется к проценту конечной части строга, чтобы плавно ослабить импульсную характеристику. Пример окна Hann12% показан на рис. 6.5. Эти окна также применимы при двойном анализе *Ворота1* часть ПИР.

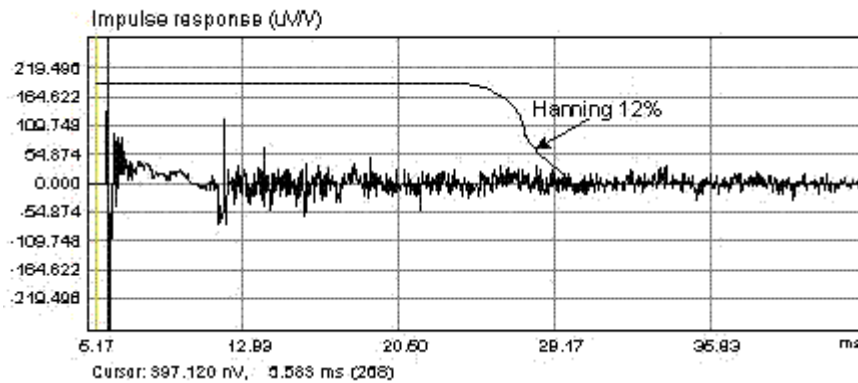


Рисунок 6.5 Пример импульсной характеристики громкоговорителя в небольшой комнате (также показано окно Hanning12% — оно определяет часть импульсной характеристики, которая будет использоваться для оценки «стробированной» АЧХ)

6.1.2 Стробированная частотная характеристика

Следуя предыдущему определению анализа окон с одним и двумя затворами, в ARTA определены два типа стробируемой частотной характеристики:

- *Частотная характеристика с одним стробом* — получается путем применения ДПФ к произвольно выбранной части ИР, называемой *воротами*. Пользователь устанавливает ворота как область между курсором и маркером. Если строб не определен маркером, строб автоматически устанавливается на длину блока ДПФ, начиная с позиции курсора. Длина блока ДПФ задается пользователем в окне Панели инструментов или в диалоговом окне '**Настройка анализа импульсного отклика**' показано на рис. 6.4.
- *Частотная характеристика с двойным стробированием* — получается путем объединения двух частотных характеристик, полученных путем применения ДПФ к двум перекрывающимся частям ИР, называемого *Ворота1* и *Ворота2*. *Ворота1* используется для определения высокочастотной характеристики, тогда как *Ворота2* используется для определения низкочастотной характеристики. Оба вентили начинаются с позиции курсора, за несколько выборок до максимума импульсной характеристики. *Ворота1* определяется как область между курсором и маркером или (если маркер отсутствует) заданным интервалом времени, длина которого задается в диалоговом окне '**Настройка анализа импульсного отклика**'. Длина *Ворота2* определяется пользователем в диалоговом окне '**Настройка анализа импульсного отклика**'. Этот тип отклика используется только для оценки отклика громкоговорителя.

Для получения стробируемой частотной характеристики можно использовать три команды меню:

'Анализ->Сглаженная частотная характеристика с одним затвором' - открывает окно, в котором отображается сглаженная АЧХ.

'Анализ->Сглаженная частотная характеристика с двойным стробированием' - открывает окно, в котором отображается сглаженная частотная характеристика с двойным стробированием.

«Анализ->Частотная характеристика ДПФ (одинарный)» - открывает окно, показывающее несглаженную частотную характеристику.

Примечание 1: Несглаженная частотная характеристика содержит сложные компоненты ДПФ импульсной характеристики.

Заметка 2: Сглаживание частотной характеристики выполняется в логарифмически разнесенных частотных точках с помощью 1/ноктавных фильтров.

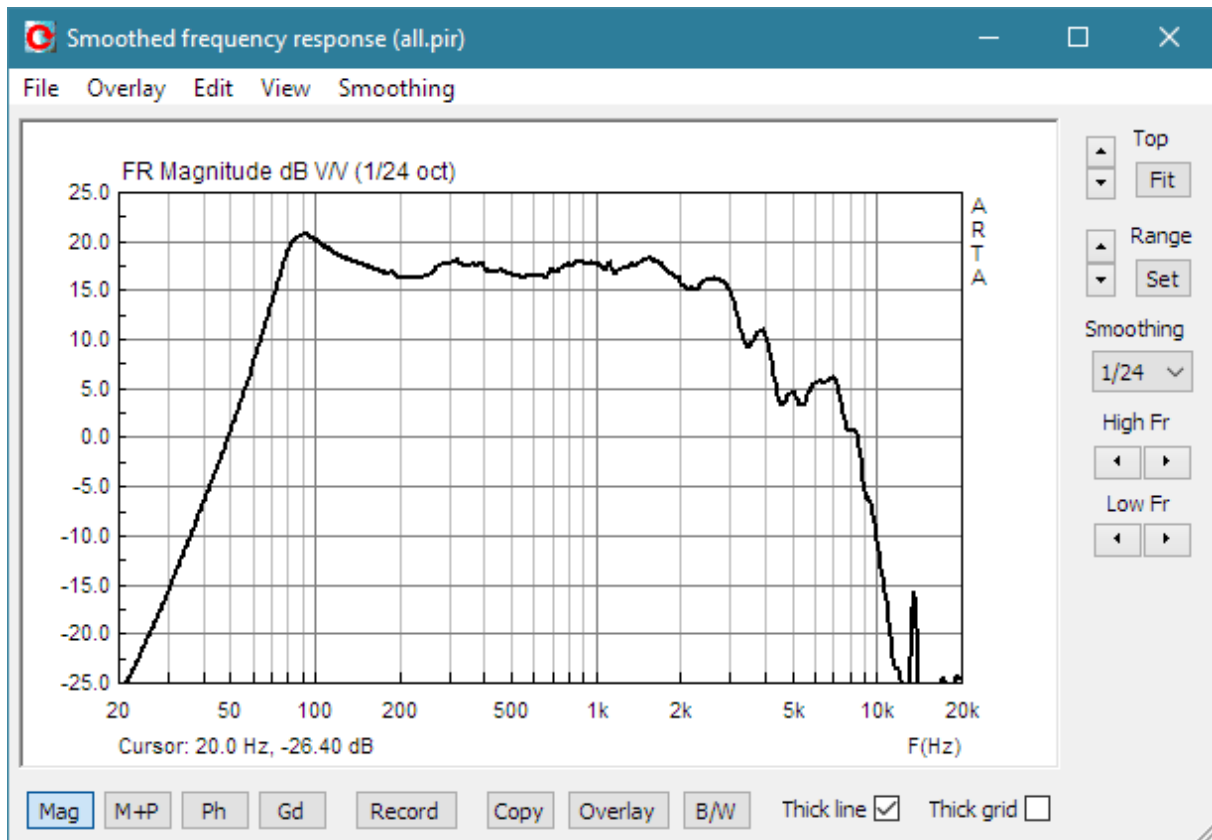


Рисунок 6.6 'Окно сглаженной АЧХ' (Горизонтальная полоса, нарисованная цветом курсора, обозначает область частот, в которой требования к пропускной способности не выполняются.).

На рисунке 6.6 показано: **Сглаженное окно частотной характеристики**. Правая панель содержит элементы управления настройкой границ графика (те же элементы управления находятся в окнах Спектр и Частотная характеристика). Дополнительное поле со списком **Сглаживание** может использоваться для установки разрешения сглаживания. Нижняя панель имеет несколько кнопок:

Маг кнопка - выбирает график величины. **М+П** кнопка - выбирает график «Магнито + фаза». **Ph** кнопка - выбирает Фазовый график. **Б-г** кнопка - выбирает график групповой задержки. **Записывать** кнопка - для повторения измерения. **Наложение** кнопка - для управления наложениями. **Копировать** кнопка - для копирования графика в буфер обмена. **Ч/Б** кнопка - для изменения цвета фона **Толстая линия** флажок - установить ширину пера линии на 1 или 2 точки **Толстая сетка** флажок - установить ширину пера сетки на 1 или 2 точки

Окно частотной характеристики ДПФ выглядит так же (но без меню и элементов управления сглаживанием и наложением).

На рисунке 6.7 показаны примеры несглаженных и сглаженных на 1/3 октавы частотных характеристик. Сравнение двух кривых показывает, что сглаженная характеристика дает нам «основную тенденцию» и фактически лучшее понимание частотной характеристики. Высокие пульсации несглаженной частотной характеристики (DFT) являются следствием отражений в помещении.

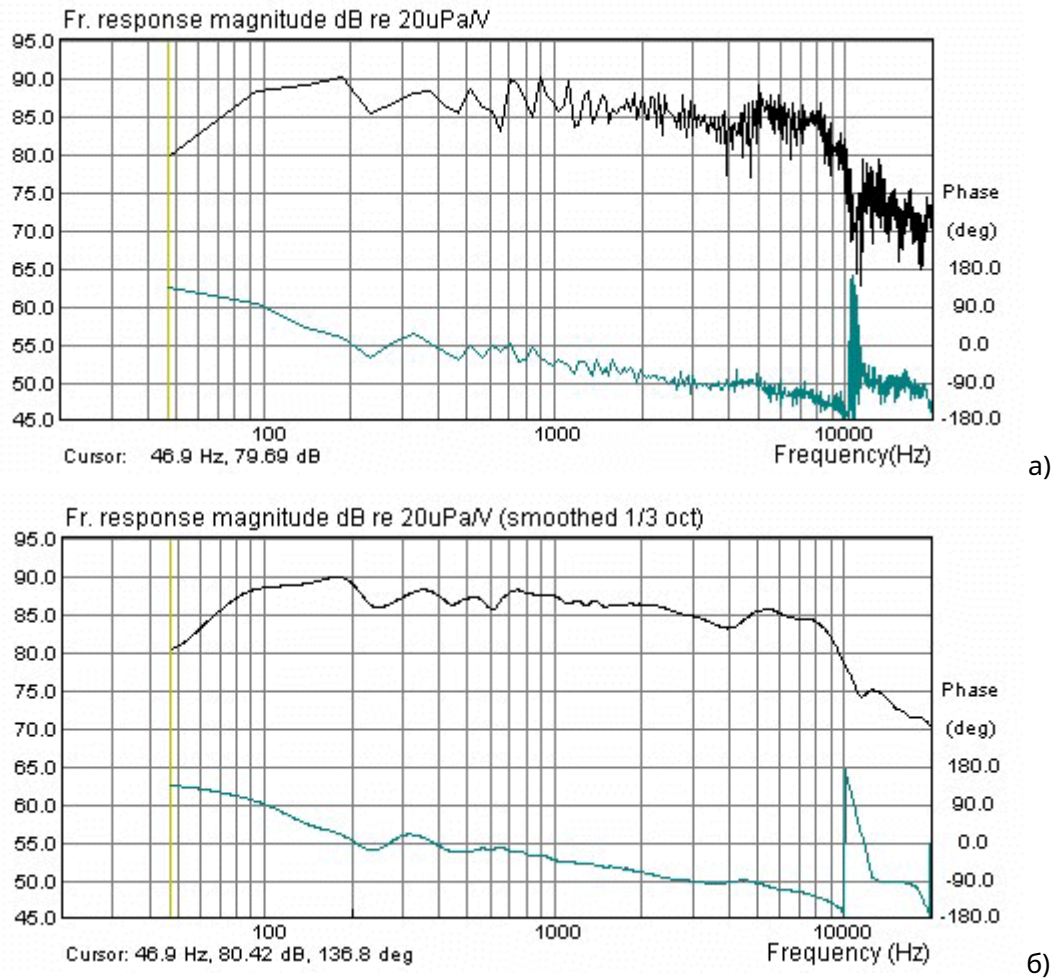


Рисунок 6.7Пример а) неоглаженной и б) сглаженной на 1/3 октавы частотной характеристики

ARTA предлагает сглаживание в 1/1, 1/2, 1/3, 1/6, 1/12 и 1/24 октавы. Сглаживающие фильтры описаны в разделе 2.3.

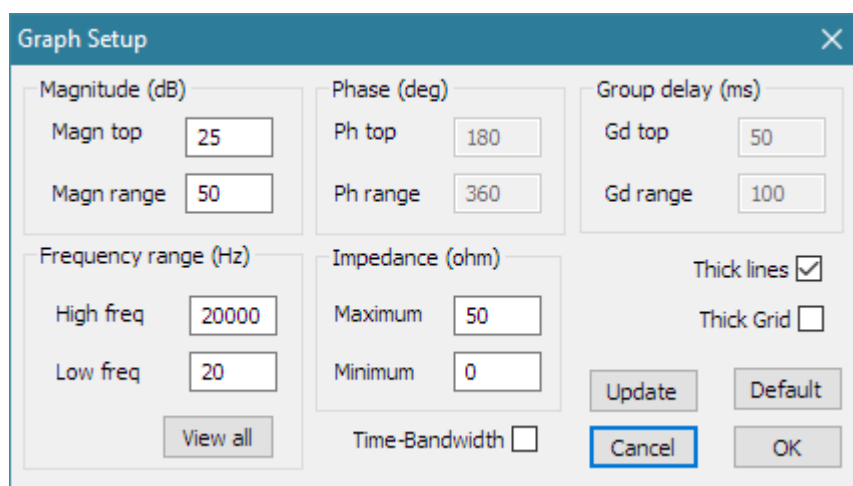


Рисунок 6.8Диалоговое окно настройки графика.

Поля графика и настройки представления можно настроить с помощью правой панели управления или в диалоговом окне «Настройка графика», показанном на рис. 6.8. (команда меню 'Просмотр->Настройка'). Управление как в Спектруме и

Окна частотной характеристики. Кроме того, пользователь может настроить диапазон графика фазовой и групповой задержки и использовать два дополнительных флажка:

Толстые линии флажок - установить ширину пера линии на 1 или 2 точки

Толстая сетка флажок - установить ширину пера сетки на 1 или 2 точки

Временная полоса пропускания отключить построение кривых на частотах, где стробирование делает произведение временной полосы меньше 1.

Применение стробирования длительностью T влияет на разрешение по частоте. Если коробка '**Временная полоса пропускания**' (или меню **Просмотр->Требования к временной полосе пропускания**), то ARTA показывает только компоненты АЧХ для частот, превышающих $\omega > 1/T$. Если эта опция не отмечена, то ARTA отображает все элементы разрешения по частоте ДПФ, а горизонтальная полоса внизу графика обозначает область частот, где требования к временной полосе пропускания не выполняются (рис. 6.6).

В приложении дано полное описание меню в **Сглаженная частотная характеристика** окно и **Частотная характеристика ДПФ** окно.

6.1.3 Минимальная фаза, групповая задержка и искажение точки пересечения фазы

Кроме **Величина** и **Фаза** графики, которые пользователь может просмотреть **Минимальная фаза** сюжет, **Искажение точки пересечения фазы** сюжет и **Групповая задержка** сюжет. Манипуляции с режимами построения АЧХ осуществляются с помощью меню **Вид**. Он имеет следующие всплывающие элементы:

Величина - показывает величину частотной характеристики. **Магн+Фаза** - показывает величину и фазу частотной характеристики.

Фаза - показывает фазу частотной характеристики, минимальную фазу или искажение точки пересечения фазы.

Групповая задержка - показывает групповую задержку.

Минимальная фаза - установите флажок, чтобы показать минимальную фазу системы.

Фаза разворачивания - установите флажок, чтобы показать развернутую фазу. **Лишняя**

фаза - проверьте наличие избыточной фазы.

Превышение групповой задержки - установите флажок, чтобы отобразить избыточную групповую задержку.

Фазовые искажения - установите этот флажок, чтобы отобразить искажение точки пересечения фазы.

Единицы звукового давления

дБ относительно 20 мПа/1 В – единица уровня давления по акустическим стандартам. дБ относительно 20 мПа/2,83 В – обычная единица чувствительности громкоговорителя. дБ относительно 1 Па/1 В – единица измерения уровня давления в рекомендациях ITU-T.

Настраивать - открывает диалоговое окно настройки полей графика.

Требования к временной полосе пропускания - если этот флажок установлен, кривые строятся только для частот, где произведение ширины полосы пропускания больше 1.

Простое определение **минимальная фаза** это: Фазовые характеристики системы, для которых может быть реализована эквивалентная система с такими же характеристиками величины и минимальными изменениями фазы (на всех частотах). Разность между фазовой и минимальной фазовыми характеристиками обычно называют **избыточная фаза**.

Математически минимальную фазу можно оценить по величине частотной характеристики с помощью преобразования Гильберта. ARTA, как и другие подобные программы, использует ДПФ для расчета преобразования Гильберта. Он вводит периодичность в оценку минимальной фазы и дает результат, близкий к истинной минимальной фазе, только на частотах ниже $\omega/4$.

Чтобы определить групповую задержку и фазовые искажения, мы сначала анализируем частотную характеристику. $H(j\omega)$ в следующей форме:

$$H(j\omega) = |A(\omega)| e^{j\phi(\omega)} = |A(\omega)| e^{j\phi(\omega)}$$

где: $A(\omega)$ – $|H(j\omega)|$ это отклик величины, $\phi(\omega)$ — фазовая характеристика и $\phi(\omega)$ — логарифм амплитудного отклика.

При анализе сигналов мы определяем фазовую задержку как:

$$T_d = - \frac{\phi'(\omega)}{\omega}$$

Следуя предыдущим определениям, мы определяем систему как идеальную, если фазовая задержка и величина имеют постоянные значения, не зависящие от частоты.

Для реальных систем мы определяем *линейное искажение* частотной характеристики как:

$$\frac{1}{\text{ЧАС}(j)\text{Д}(j)} = \frac{\Phi - \text{И}(\tau)}{\Phi - \text{ЧАС}(\tau)} \stackrel{\text{"=" ДЖ}}{=} \frac{\text{Д}(-)}{\text{Д}(-)} - \frac{\text{Д}(-)}{\text{Д}(-)}$$

где Φ обозначает преобразование Фурье.

Это выражение показывает, что существует два типа линейных искажений – за счет изменения величины и фазы.

Действительная часть этого выражения определяется как групповая задержка. T_g :

$$T_g = - \frac{\text{Д}(-)}{\text{Д}(-)} \stackrel{\text{"=" повторно}}{=} \frac{-\Phi - \text{И}(\tau)}{-\Phi - \text{ЧАС}(\tau)}$$

Это выражение показывает, что групповую задержку можно оценить по импульсной характеристике системы. Для получения приемлемой оценки групповой задержки необходимо выполнение двух условий:

1. Импульсная характеристика должна полностью затухать внутри стробируемой области,
2. Групповая задержка должна быть меньше половины размера БПФ. Если это условие не выполнено, мы получим отрицательное значение групповой задержки.

Иногда полезно проанализировать *избыточная групповая задержка*. Это групповая задержка, полученная из-за избыточной фазы.

Тем не менее, иногда используется одна мера для выражения фазовой нелинейности в электронных аудиосистемах [59, 60, 61, 62]. Он определяется как фазовый сдвиг несущей относительно ее огибающей для любого сигнала, проходящего через систему:

$$\phi(-) = -\phi(-) - T_g(-)$$

Если разделить это уравнение на $\phi(-)$ получим *дифференциальная задержка времени*, в чем разница между фазовой задержкой и групповой задержкой:

$$\phi'(-) = \frac{\phi'(-)}{\phi(-)} = \frac{\phi'(-)}{\phi(-)} + \frac{\phi'(-)}{\phi(-)} = T_d(-) - T_g(-)$$

Фазовые искажения являются хорошим показателем фазовой нелинейности только в системах, в которых нет отражения сигнала, т. е. они хороши для анализа откликов электронных фильтров, но непригодны для анализа откликов громкоговорителей.

6.1.4 Управление наложениями

Всплавающее окно частотной характеристики Пользователь может установить текущую кривую частотной характеристики в качестве наложения, а также определить некоторые наложенные кривые в качестве характеристики целевого фильтра кроссовера.

Манипуляции с наложениями выполняются с помощью меню **Наложение**. Оно имеет следующие всплывающие элементы:

Установить как наложение - сохраняет текущую кривую как наложенную кривую

Установить как наложение Под курсором - сохраняет часть текущей кривой под курсором как наложение. **Установить как наложение Над курсором** - сохраняет часть текущей кривой над курсором как наложение. **Загрузить наложения** - загружает ранее сохраненные наложения из двоичного файла «.sfo». **Сохранение наложений** - сохраняет все наложенные кривые в двоичном файле «.sfo».

Управление наложениями-открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений FR» для редактирования списка наложений. **Удалить все**-удаляет все наложения. **Удалить последний**-удаляет последние наложения.

Создать целевой ответ-генерирует наложение с откликом стандартных кроссоверных фильтров.

Загрузить целевой ответ-загружает наложение из файла ASCII (формат .FRD). **Удалить целевой ответ**-удаляет целевую кривую.

Наложение импеданса нагрузки-Наложение импеданса нагрузки из файла ASCII (формат .ZMA) или файла .LIM

Удаление наложений импеданса-удаляет все наложения импеданса

Команда меню '**Создать целевой ответ**' предназначен для создания наложений, которые имеют характеристики оптимального отклика кроссоверного фильтра, а команда меню «Загрузить целевой ответ» предназначена для загрузки произвольного целевого объекта из файла ASCII (в формате .FRD). Последние два меню предназначены для настройки наложений кривых импеданса, которые можно загрузить из двоичного файла .LIM или из файла .ZMA в формате ASCII.

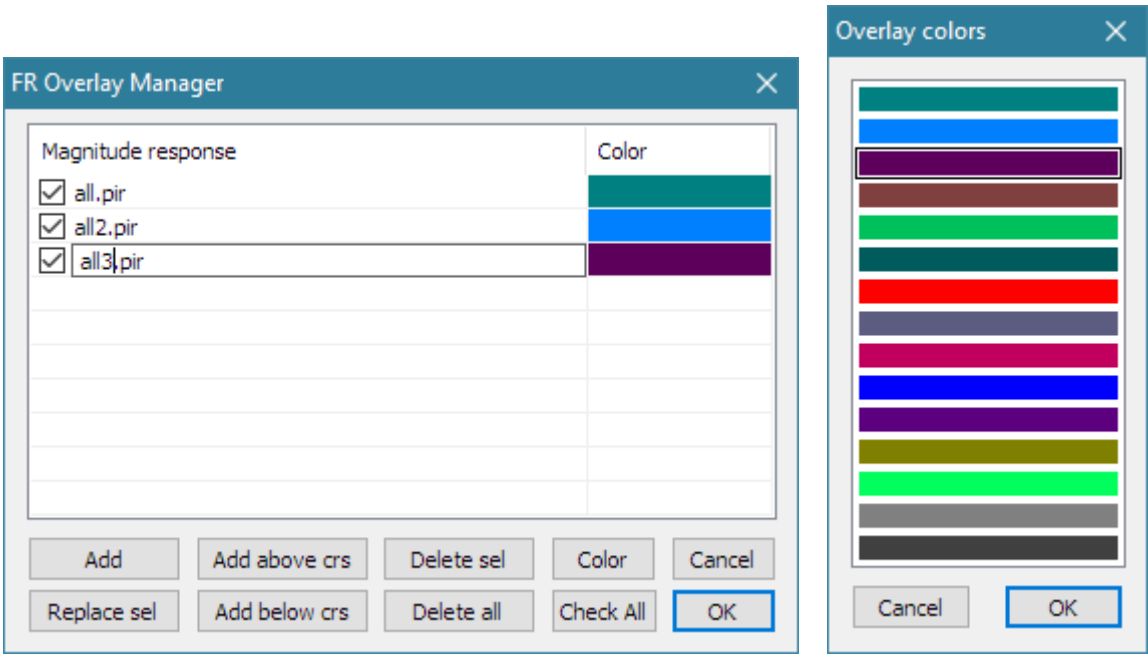


Рисунок 6.9Диалоговые окна '**Менеджер наложений FR**' и '**Наложение цветов**'

Расширенные манипуляции с наложениями можно выполнить с помощью диалогового окна '**Менеджер наложений FR**' (рис. 6.9). Активируется командой меню '**Наложение->Управление наложениями**'.

Некоторые диалоговые кнопки повторяют команды меню:

Добавлять-устанавливает текущую кривую в качестве наложения.

Добавить выше crs-сохраняет часть текущей кривой над курсором как наложение.

Добавьте ниже crs-сохраняет часть текущей кривой под курсором как наложение.

Удалить все-удаляет все наложения.

Другие кнопки позволяют выполнять расширенные операции с выбранными элементами списка:

Заменить сел-заменяет выбранное наложение активной кривой тока. **Удалить выбор**-удаляет выбранные наложения.

Цвет-меняет цвет выбранных элементов с помощью диалогового окна '**Наложение цветов**'показано на рисунке. 6.9.

Щелчок мышью по элементу списка имеет следующие эффекты:

Один клик-выбирает предметы.

Одиночный щелчок по флажку-сделать наложение видимым или невидимым. **Двойной**

клик-включить редактирование названий наложений.

Все элементы списка можно сделать видимыми, нажав кнопку 'Отметить все'.

6.1.5 Редактирование сглаженной частотной характеристики

Пункт меню **Редактировать** имеет следующие всплывающие элементы:

Копировать-копирует растровое изображение графика в буфер обмена. **Цвета и стили сетки**-настраивает цвета графиков и стиль сетки. **Толстая линия**-если этот флажок установлен, толщина текущего пера увеличивается. **Толстая сетка**-если этот флажок установлен, толщина текущего пера сетки увеличивается. **Вырезать под курсором**-обрезает значения графика под курсором. **Вырезать над курсором**-обрезает значения графика над курсором.

Уровень шкалы-масштабирует фактический уровень с произвольным коэффициентом (разница в дБ).

Дифракция НЧ-бокса-масштабирует уровни с помощью передаточной функции дифракции корпуса НЧ-динамика. **Вычесть наложение**-вычитает уровни наложенного графика из текущего графика. **Вычесть из наложения**-вычесть уровни текущего графика из наложенного графика.

Средняя мощность с наложениями-делает текущую величину средней мощности текущей величины и величин видимых наложений и, при необходимости, стирает все видимые наложения.

Объединить наложение под курсором-объединяется с текущими значениями наложения кривой под курсором.

Объединить наложение над курсором-объединяется с текущими значениями наложения кривой над курсором.

Задержка для оценки фазы-редактирует значение задержки для оценки фазы, ранее определенное в окне Импульсная характеристика.

Предметы '**Вырезать ниже курсора**', '**Вырезать над курсором**' и '**Уровень шкалы**' обычно используются для «объединения» двух графиков; один для высоких частот, другой для низких частот.

То же самое можно сделать с помощью '**Объединить**' команда. В этом случае полученную кривую можно экспортировать в файл ASCII (величина+фаза).

Пункт меню '**Уровень шкалы**'-открывает диалоговое окно, в котором пользователь вводит произвольный уровень (в дБ) для масштабирования амплитудного отклика. Эта операция не меняет импульсную характеристику. Он просто меняет отображаемую в данный момент частотную характеристику.

Пункты меню **Вычесть наложение** и **Вычесть из наложения** может использоваться для получения разницы двух ответов (т.е. калибровки ответа микрофона с другим - калиброванным). После этих операций кривая наложения становится невидимой.

Пункт меню **Средняя мощность с наложениями** позволяет создать новый график активной величины, который представляет собой среднее значение активной величины плюс существующие наложенные величины. Пользователь выбирает, будут ли существующие наложения удалены после этой операции.

Примечание: Операции **Вычесть**, **Объединить** и **Власть** среднее значение может быть реализовано только в том случае, если кривая тока и видимые наложения были созданы из импульсных характеристик, имеющих одинаковую частоту дискретизации и одинаковый размер БПФ.

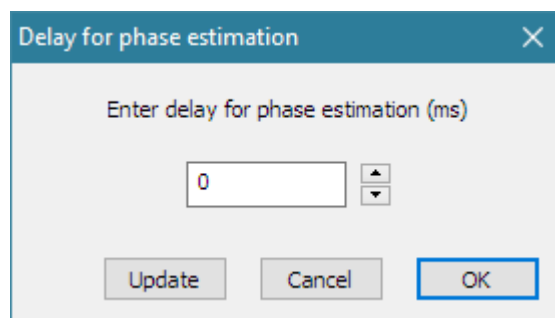


Рисунок 6.10 Диалоговое окно для ввода задержки для оценки фазы (кнопка '**Обновлять**' обновляет текущий фазовый график со значением, введенным в поле редактирования. Кнопки вращения автоматически изменяют задержку с шагом 10 микросекунд и обновить фазовый график)

Пункт меню 'Задержка для оценки фазы' открывает диалоговое окно (показано на рис. 6.10), в котором пользователь вводит произвольное значение задержки в миллисекундах для изменения фазовой характеристики. Эта операция не меняет импульсную характеристику. Он просто меняет отображаемую в данный момент частотную характеристику.

6.1.6 Масштабирование дифракции низкочастотного громкоговорителя

Пункт меню 'Дифракция НЧ-бокса' открывает диалоговое окно (показано на рис. 6.11). В этом диалоге пользователь вводит форму коробки (сферическая, квадратная или прямоугольная), ширину и высоту перегородки громкоговорителя. Эти значения используются для определения масштабирующей передаточной функции $B_T(j\omega)$, который используется для оценки отклика в свободном поле по отклику громкоговорителя, который измеряется, установленный в бесконечной перегородке (или в ближнем поле).

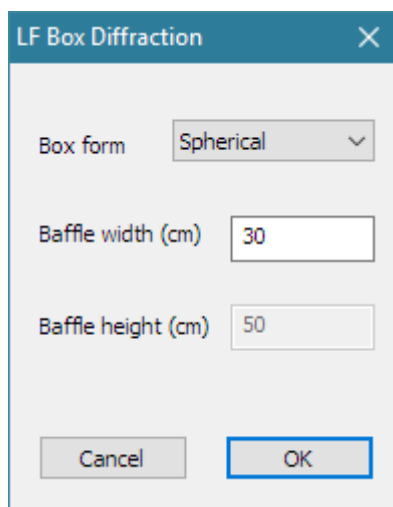


Рисунок 6.11 Диалоговое окно 'Дифракция НЧ-бокса'

АРТА использует следующее выражение для передаточной функции масштабирования НЧ-дифракции:

$$B_T(j\omega) = \frac{1 + j\omega/\omega_0}{2 + j\omega/\omega_0}$$

где $\omega_0 = 42,7 / d$ для сферы диаметром d , или $\omega_0 = 34,16 / d$ для квадратной коробки шириной d . Эти значения получены путем численной аппроксимации передаточной функции $B_T(j\omega)$ с передаточной функцией сферического корпуса громкоговорителя. Эту передаточную функцию также называют 2-/4-эквалайзером, поскольку она дает разницу между низкочастотным откликом громкоговорителя в полупространстве (2-) и откликом в полном пространстве (4-). Для прямоугольной коробки с шириной передней перегородки $ши$ и высотой $час$, АРТА использует - в качестве приближения - эквивалентный квадрат шириной $d = \sqrt{ши \cdot час}$.

На рис. 6.12 показан пример измеренного отклика громкоговорителя ближнего поля (верхняя кривая) и расчетного отклика в свободном поле (нижняя кривая). На очень низких частотах разница уровней составляет 6 дБ.

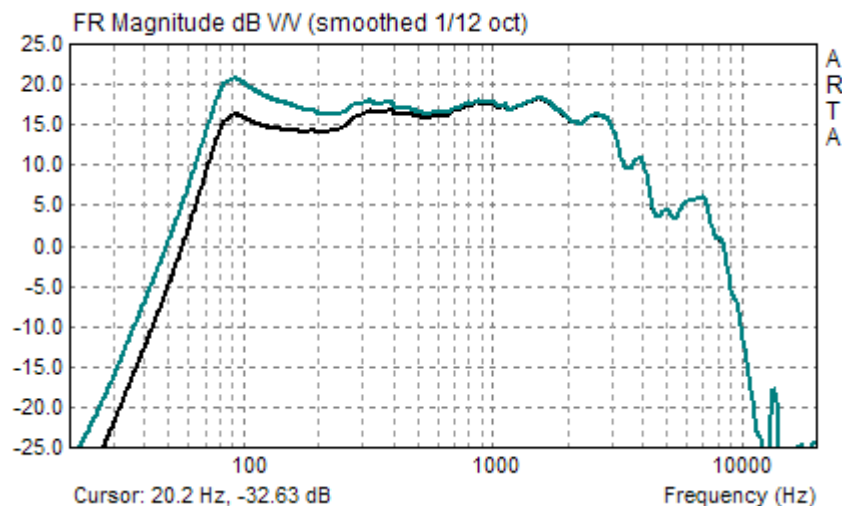


Рисунок 6.12 Отклик громкоговорителя ближнего поля (верхняя кривая) и 2-/4-эквалайзерный отклик (нижняя кривая) изгиб).

6.1.7 Повторное измерение

Находясь в окне сглаженной или ДПФ частотной характеристики, пользователь может повторить измерение, выполнив команду меню **'Файл->Повторить измерение PIR'**. Эта команда открывает диалог для измерения PIR. После измерения частотная характеристика автоматически рассчитывается с использованием текущего размера БПФ, положения курсора и маркера в окне PIR.

Полезное сочетание клавиш для быстрого повторения измерения — нажатие клавиш **Альт+Р** дважды.

Импульсный отклик можно сохранить, выполнив команду меню **'Файл->Сохранить PIR как..'**.

6.1.8 Одновременное измерение частотной характеристики и гармонических искажений

Используя метод Фарина [7], ARTA может одновременно оценивать частотную характеристику и уровни гармонических искажений на основе измеренного PIR. Для применения этого метода должны быть выполнены следующие условия измерения:

- 1) Импульсная характеристика должна быть измерена с помощью логарифмического синусоидального возбуждения (определено в разделе 5.2).
- 2) Длина последовательности возбуждения должна быть 64k или больше.
- 3) Измерения необходимо проводить в **Одноканальный режим'**, с флажком **'Центральный пик импульсной характеристики'** выбран (см. рис. 5.3).

После получения импульсной характеристики в окне ПИР пользователю необходимо:

- 1) поместите курсор на несколько семплов перед пиком импульсной характеристики (но менее чем за 250 семплов до пика) и
- 2) нажимать клавиши **Шифт+F12** или нажмите команду меню **'Анализ->Частотная характеристика и искажения'**

АРТА автоматически производит все необходимые расчеты и показывает результаты в окне **'Частотная характеристика и искажения'**, показанный на рис. 6.13 и 6.14. В зависимости от состояния кнопки с надписью **'Расст.(%)'** он показывает уровень гармоник (H2, H3, H4) в дБ или процент искажений (D2, D3, D4).

Уровень гармонических искажений выражается как:

$$Дя(дБ) = Mg - Hя, я=2,3,4$$

Процентное значение гармонических искажений выражается как:

$$Дя(\%) = (10^{(Mг - Привет)/20}) * 100, я=2,3,4$$

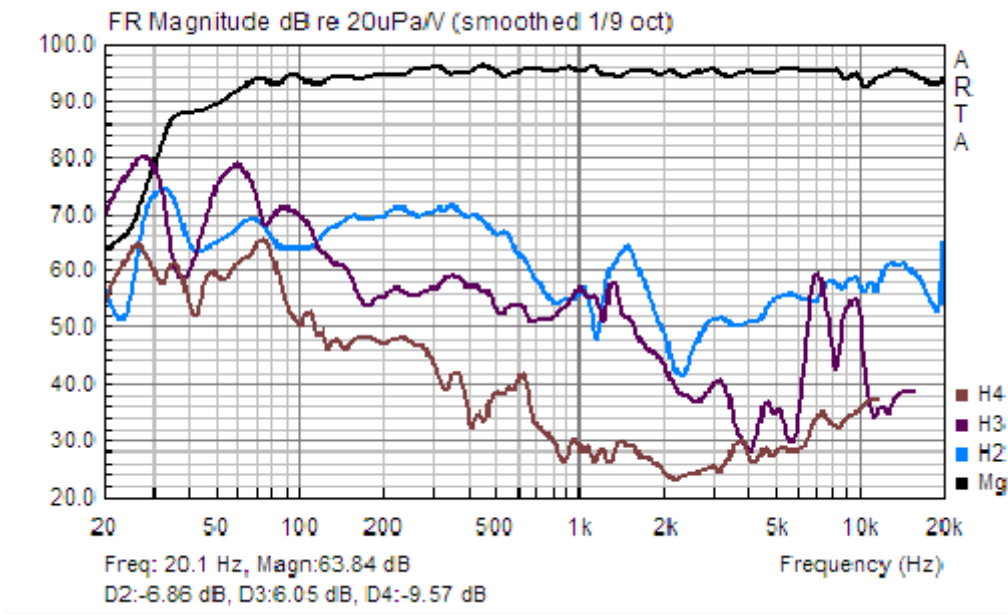


Рисунок 6.13 «Частотная характеристика и искажения» 'окно – с кнопкой 'Расст.(%)' выпущенный. Верхняя кривая графика показывает величину частотной характеристики, а нижние кривые, обозначенные как H2, H3 и H4, показывают уровень гармонических искажений. Курсор показывает уровни искажений (D2, D3 и D4).

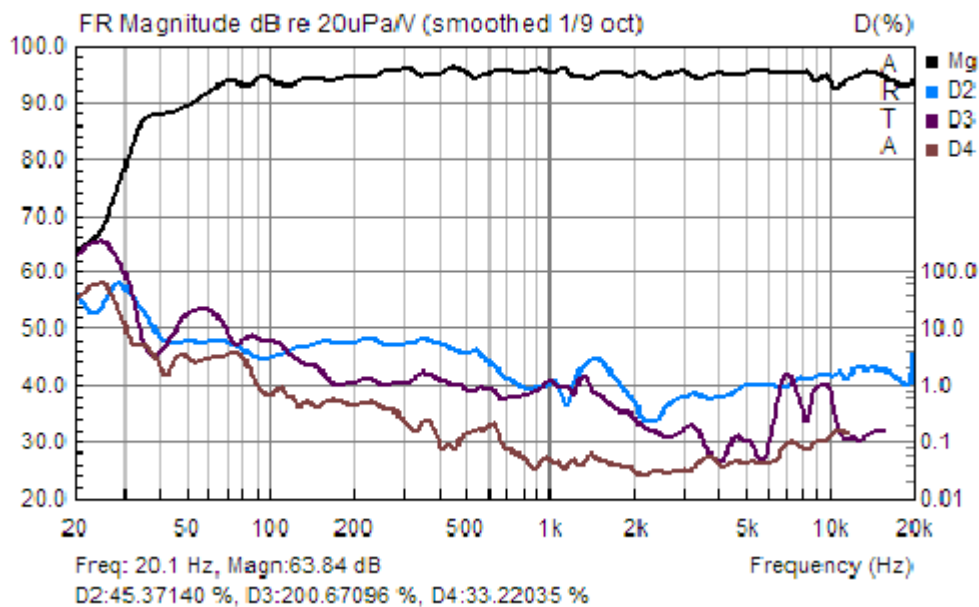


Рисунок 6.14 «Частотная характеристика и искажения» 'окно – с кнопкой 'Расст.(%)' толкнул. Верхняя кривая графика показывает величину частотной характеристики, а нижние кривые, обозначенные как D2, D3 и D4, показывают процентное значение гармонических искажений.

Манипуляции с графом аналогичны процедурам работы с графами в ARTA. **Окно сглаженной частотной характеристики.**

Полную настройку графика можно выполнить, нажав команду меню 'Просмотр->Настройка', или щелкнув правой кнопкой мыши в области графика. Откроется диалоговое окно 'Настройка графика величины/искажения', что показано на рис. 6.15.

Диалоговое окно содержит обычные элементы управления для настройки полей графика. Три флажка в разделе «Показать уровень гармоник» можно использовать для выбора того, какие гармонические искажения будут отображаться.

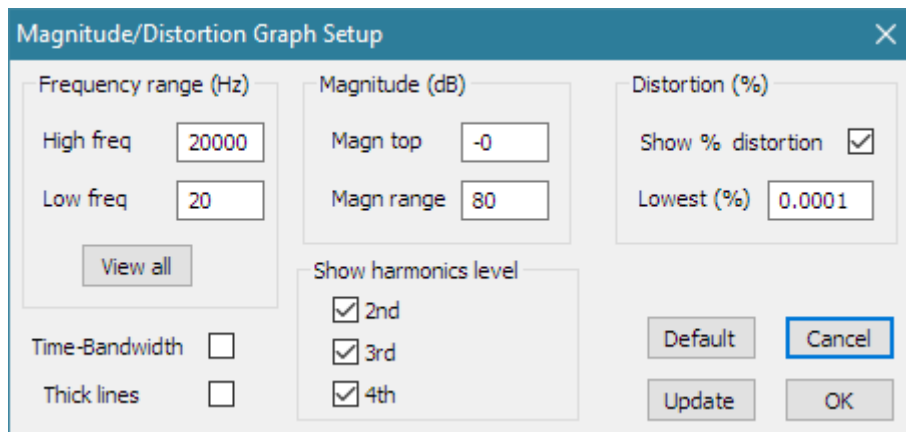


Рисунок 6.15 Диалоговое окно для настройки графика величины/искажения

Метод Фарина основан на следующих рассуждениях:

Мгновенная частота синусоидального сигнала определяется как: $\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}$. Если мы хотим найти для какое время задержки $-t(H)$ мгновенная частота логарифмического качающегося синуса будет равна H умноженное на фактическое, мы получаем выражение:

$$-t(H) = T \frac{\ln(H)}{\ln(\omega_2/\omega_1)}$$

где T - продолжительность развертки, ω_1 - стартовая частота и ω_2 это частота остановки

Это уравнение показывает, что часть логарифмического синусоидального отклика, вызванная гармоническими искажениями, будет расположена на оси времени с постоянной разницей во времени относительно неискаженного отклика, независимой от текущей частоты развертки. ARTA использует корреляцию входных и выходных сигналов для получения импульсной характеристики системы. Математически корреляция с некоторым сигналом равна свертке с обращенным во времени сигналом. Можно заключить, что часть импульсной характеристики, вызванная искажениями, будет располагаться во времени перед линейной частью импульсной характеристики. Точнее, можно сказать, что H -я гармоника искаженного выходного сигнала порождает искаженный «образ» импульсной характеристики, который позиционируется $-t(H)$ время до линейной импульсной характеристики и пропорционально амплитуде искажений. На рисунке 6.16 ясно показан пример PIR, где импульсному отклику предшествует «изображение импульсного отклика, вызванное искажением».

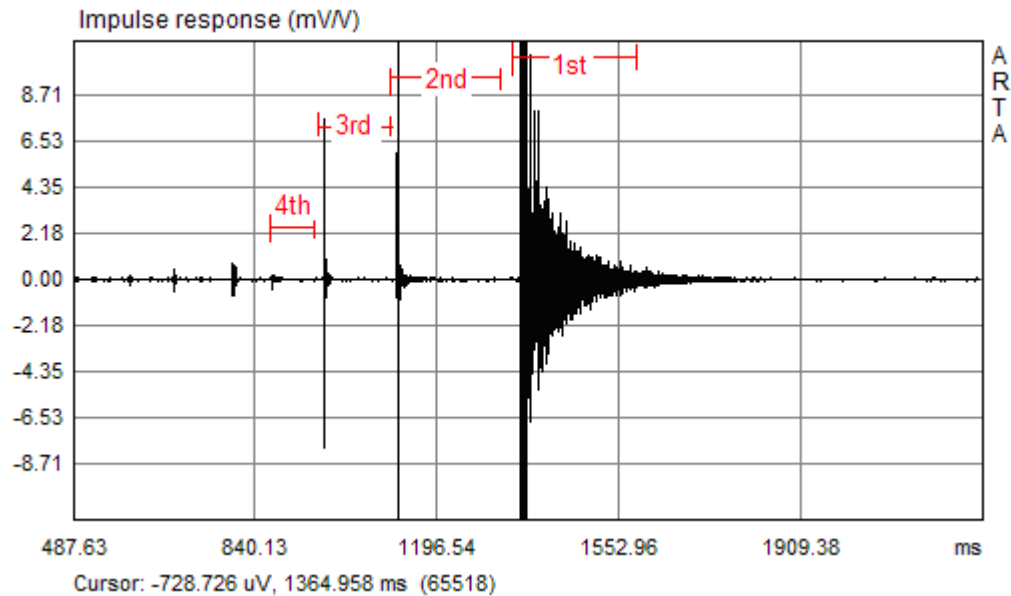


Рисунок 6.16 Импульсная характеристика небольшого мультимедийного динамика (импульсная характеристика увеличена практически полностью, с максимальным усилением). Красные линии обозначают линейный IR и IR, вызванный искажениями, для 2nd, 3rd и 4th гармонических.

Начальные положения для этих IR, вызванных искажениями, оцениваются ARTA автоматически из $-T(H)$ уравнение. В расчетах все части откликов PIR стробируются с временным интервалом, равным расстоянию от отклика 4-й до 3-й гармоники.

Проблема этого метода заключается в том, что он дает результаты, которые не полностью изолируют конкретное гармоническое искажение от других типов искажений, отражений или артефактов, вызванных шумом. Преимущество состоит в том, что этот метод позволяет гораздо быстрее понять структуру и частотные характеристики гармонических искажений, чем это возможно при использовании других методов измерения.

Для получения достоверных результатов измерения следует проводить в помещении с низким уровнем реверберации и импульсного шума.

6.2 Переходная характеристика

Переходная характеристика получается как интеграл по времени от импульсной характеристики. Проверка переходной характеристики полезна для мониторинга поведения низкочастотной системы и временной настройки громкоговорителей в многодрайверных коробках.

ARTA показывает переходную характеристику в отдельном временном окне. Мы получаем это окно, щелкнув меню 'Анализ->Шаговый отклик' или щелкнув значок на панели инструментов .

На рис. 6.16 показан пример переходной характеристики в системе наушников.

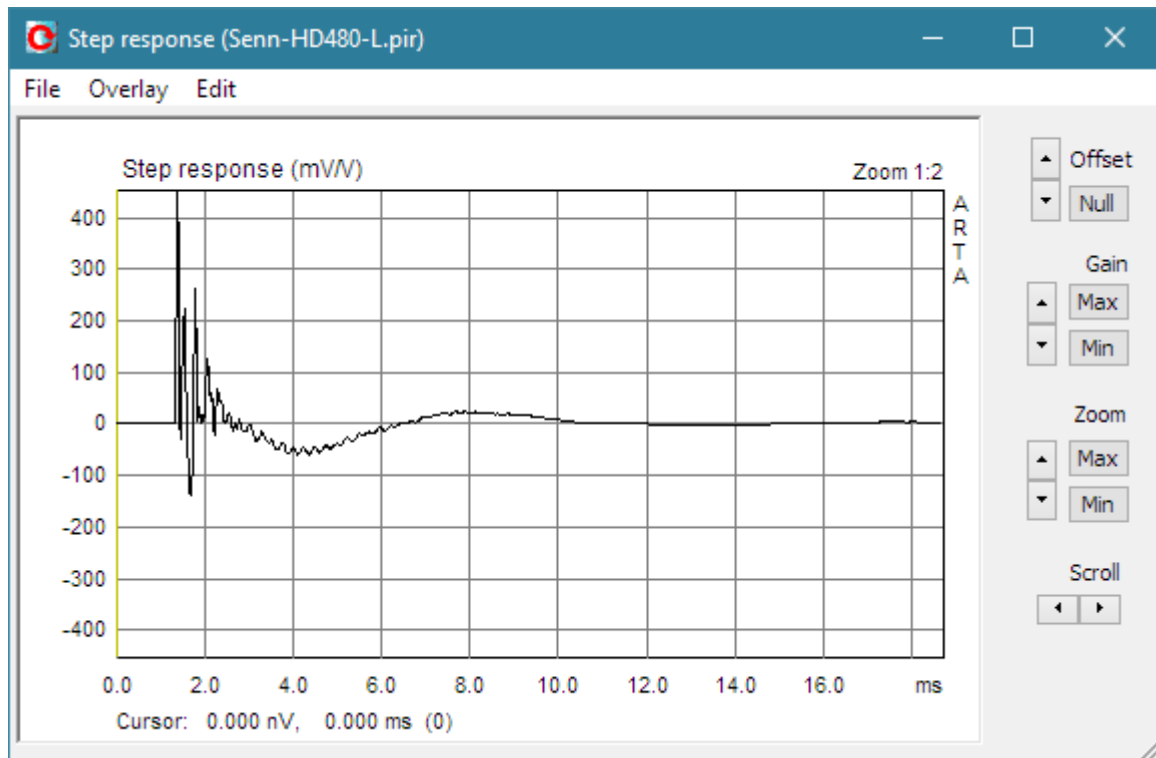


Рисунок 6.16 Пример переходной характеристики в системе наушников

Элементы управления на правой панели такие же, как в окне «Импульсный отклик» или «Запись времени». Команды меню позволяют сохранить пошаговый отклик в текстовом файле (**Файл->Экспорт ASCII** или **Файл->Экспорт CSV**), сохраняя построенную кривую как наложение (**Наложение->Установить как наложение**), сохраняя растровое изображение графика в буфер обмена (**Правка->Копировать**), изменение цвета фона графика (**Правка->Цвет фона Ч/Б**) и настройку толщины рисуемых линий (**Правка->Толстые линии**).

Установить или удалить маркер можно одинарным или двойным щелчком правой кнопки мыши, а также командами меню (**Правка->Установить маркер** и **Правка->Удалить маркер**).

6.3 Огибающая импульсной характеристики (ETC – кривая энергии-времени)

При акустических измерениях для мониторинга отражений и реверберации в помещении полезно анализировать огибающую импульсной характеристики, также называемую кривой энергии-времени (ETC).

Огибающая сигнала $x(t)$ представляет собой огибающую абсолютных значений сигнала. Математически это определяется как величина аналитического сигнала $x(t) + j \sim$

$$I_{K\zeta}(t), \text{ выражением:}$$

$$e(t) = \sqrt{I_{K\zeta}(t) + I_{K\zeta}(t)^{1/2}},$$

где $\sim I_{K\zeta}(t)$ — преобразование Гильберта функции $I_{K\zeta}(t)$,

$$\tilde{I}_{K\zeta}(t) = \text{ЧАС} I_{K\zeta}(t) = - \frac{1}{\pi} \frac{I_{K\zeta}(-)}{t - \tau} d\tau = \frac{1}{\pi} I_{K\zeta}(t) - \frac{1}{t}.$$

Преобразование Гильберта представляет собой свертку $I_{K\zeta}(t)$ и $1/(-t)$. Простой способ получить его — умножить в частотной области:

$$\tilde{I}_{K\zeta}(t) = \Phi^{-1} \text{--} d\text{жзнак}(-) I_{K\zeta}(j) \text{--} \Phi^{-1} \text{--} d\text{жзнак}(-) \Phi I_{K\zeta}(t) \text{--},$$

$$\text{где: } \text{знак}(-) = \begin{cases} -1 & \text{за} > 0 \\ 0 & \text{за} = 0 \\ 1 & \text{за} < 0 \end{cases} \quad \Phi = \frac{-1}{-T} \text{ж} \text{знак}(-)$$

В ARTA получаем огибающую импульсной характеристики в отдельном окне, нажав меню '**Анализ** - **И Т. Д.**' или щелкнув значок на панели инструментов. На рис. 6.17 показан ETC отклика громкоговорителя.

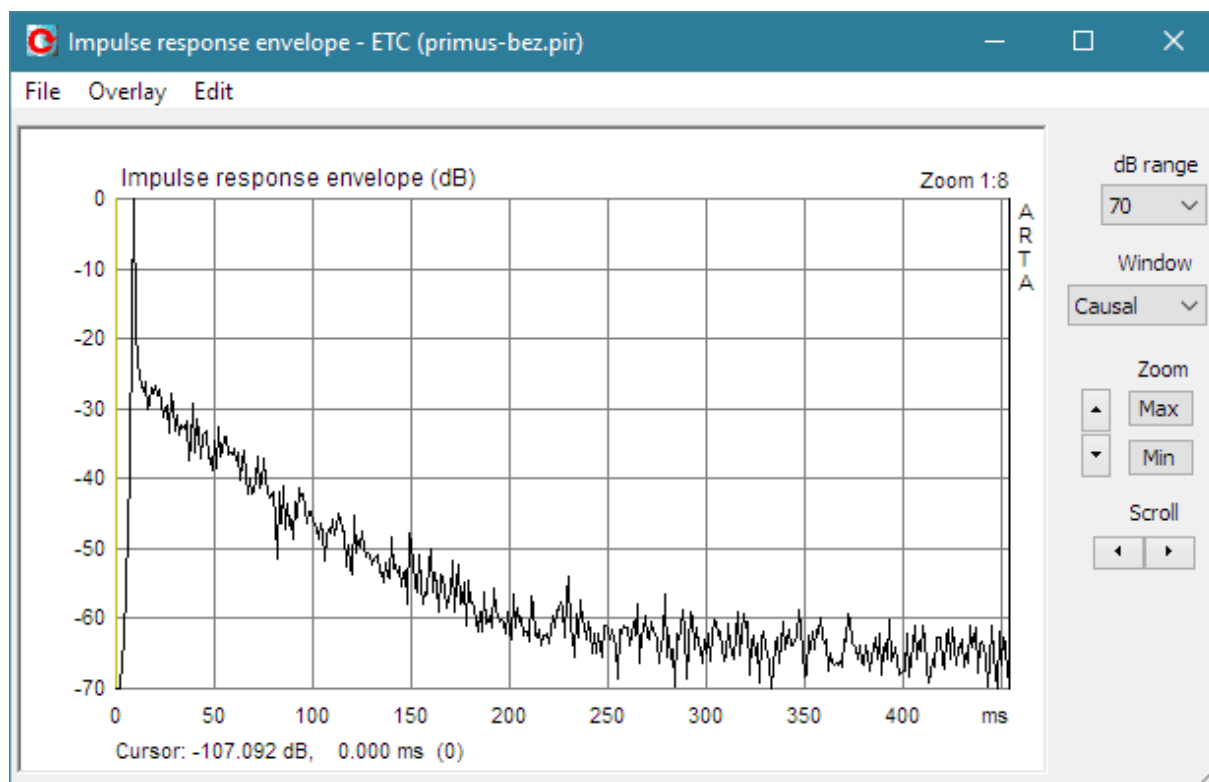


Рисунок 6.17 Огибающая импульсной характеристики (ETC) отклика громкоговорителя

В правой части окна расположены следующие элементы управления:

| | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------|
| диапазон дБ | - устанавливает диапазон магнитуд. |
| Окно | - выбирает тип окна: Равномерное, Полу-Ханна, Речевое, Причинное. |
| Увеличить | - устанавливает коэффициент масштабирования по горизонтали. |
| Прокрутка | - перемещает сюжет влево или вправо. |

Команды меню такие же, как и в окне пошагового ответа.

Примечания:

Большинство систем измерения используют обозначение ETC (кривая энергии-времени), но мы предпочитаем название «огибающая импульсной характеристики». Название ETC было придумано Ричардом Хейзером, который отметил, что ортогональность аналитических компонентов сигнала аналогична обмену потенциальной и кинетической энергией в акустических волнах. Его вывод не имеет серьезного теоретического обоснования, поскольку аналитические компоненты порождают не причинную функцию, тогда как энергия должна быть причинной функцией.

Чтобы приблизить кривую ETC к причинно-следственной функции, ARTA может применить следующие окна к данным частотной области:

- Окно Полу-Ханна – обычное использование (небольшое подавление крайне низких и высоких частот),
- Речевое окно – используйте для расширения речевого диапазона (подавление низких и высоких частот),

- Причинное окно – используйте, если импульсный отклик получен при возбуждении MLS.
- Униформа – использовать без окна.

6.4 Кумулятивный спектр

Кумулятивный спектр обозначает различные типы графиков, отображающих частотно-временные характеристики сигнала. Его получают путем последовательного применения преобразования Фурье и соответствующих окон к перекрывающимся блокам сигнала. В ARTA реализованы два типа накопительного спектра:

1. **Кумулятивный спектральный распад (CSD)** – использует БПФ и модифицированное прямоугольное окно для анализа затухания спектра импульсной характеристики. В основном он используется при анализе импульсной характеристики громкоговорителя. CSD — полезный инструмент для обнаружения резонансов громкоговорителей.
2. **Кратковременное преобразование Фурье (STF)** использует БПФ и окно Хэннинга для анализа изменяющегося во времени спектра записанных сигналов.

6.4.1 Кумулятивный спектральный распад

Кумулятивный спектральный затух определяется Бантоном и Смоллом [38] как частотно-временная функция:

$$C(\tau, \omega) = \int_0^\infty h(\tau - \tau') \gamma(\tau') e^{-j\omega \tau'} d\tau'$$

где $h(\tau)$ — функция импульсного отклика и $\gamma(\tau)$ — функция единичного шага.

Теоретически $C(\tau, \omega)$ представляет собой преобразование Фурье части импульсной характеристики, определяемой по времени $\tau' = \tau$ до бесконечности, как показано на рис. 6.18.

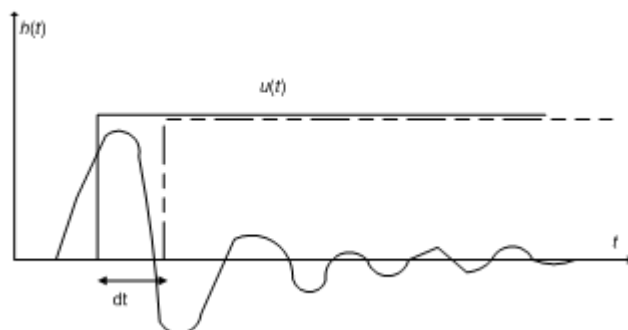


Рисунок 6.18 Построение интегральной функции $C(\tau, \omega)$.

Чтобы лучше понять значение этой функции, умножим $C(\tau, \omega)$ на $e^{j\omega \tau}$,

$$C(\tau, \omega) e^{j\omega \tau} = \int_0^\infty h(\tau - \tau') \gamma(\tau') e^{j\omega(\tau - \tau')} d\tau'$$

Далее пишем уравнение только для мнимой части. Мы получаем:

$$\text{Im}\{C(\tau, \omega) e^{j\omega \tau}\} = \int_0^\infty h(\tau - \tau') \gamma(\tau') \sin(\omega(\tau - \tau')) d\tau'$$

Интеграл в правой части представляет собой свертку импульсной характеристики системы, $h(\tau)$ и функция возбуждения

$$j(\tau) = \gamma(\tau) \sin(\tau)$$

которая представляет собой синусоидальную функцию, существующую во времени $t < 0$ и быть нулем от $t = 0$. Поскольку реакция линейной системы на синусоидальную функцию также является синусоидальной функцией, мы можем заключить, что $-C(t, \cdot)$ представляет собой огибающую отклика синусоидальной функции после выключения возбуждения.

Повторное применение преобразования Фурье каждый раз для части импульсной характеристики, опережающей по времени на интервал Δt , получим частотно-временную функцию, как на рис. 6.19. Для оценки преобразования Фурье ARTA использует БПФ и заменяет функцию единичного шага аподизирующей оконной функцией конечной длины. Чтобы избежать резкого обрезания импульсной характеристики в прямоугольном окне, ARTA применяет постепенно увеличивающееся и падающее окно (пользователь может выбрать время нарастания аподизирующего окна от 0,02 до 1 мс).

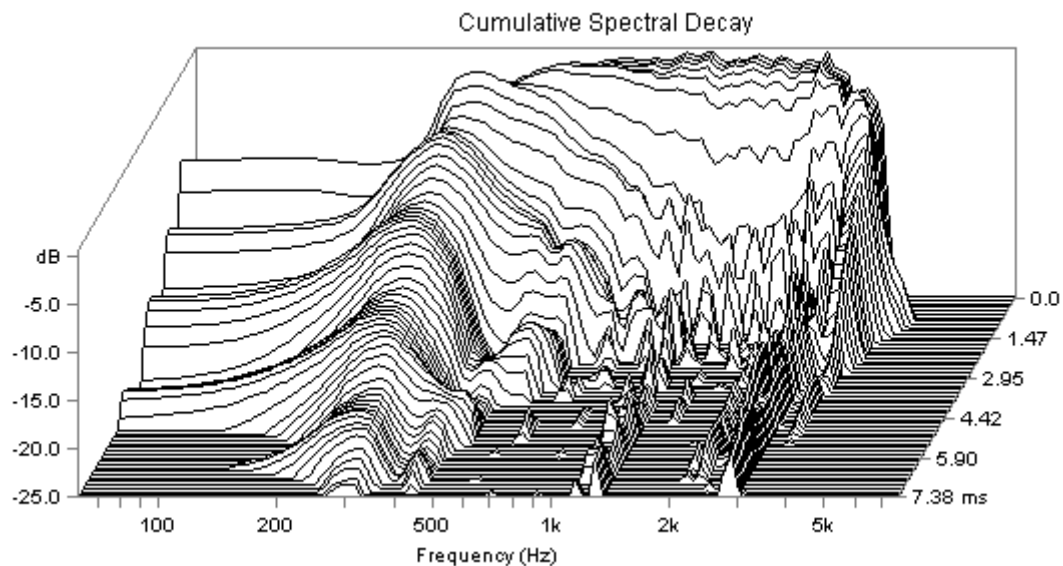


Рисунок 6.19 Кумулятивный спектральный распад в системе GSM

ARTA показывает кумулятивный спектральный распад в отдельном окне. Чтобы получить его, мы обычно следуем следующей процедуре:

- 1) Загрузите или запишите импульсную характеристику
- 2) Найдите положение пикового значения импульсной характеристики и установите курсор за несколько отсчетов до него.
- 3) При желании установите маркер в некоторой позиции после позиции пикового значения импульсной характеристики. Часть импульсной характеристики после положения маркера не будет использоваться при расчете CSD.
- 4) Нажав команду меню '**Анализ-кумулятивный спектр**', который открывает диалоговое окно '**Настройка совокупного спектра**' (рис. 6.20), задайте параметры частотно-временного преобразования CSD.
- 5) Установите сдвиг блока БПФ в диапазоне от 2 до 10 отсчетов. Обратите внимание, что больший сдвиг затеняет проявление высокочастотных резонансов.
- 6) Кумулятивный спектральный распад будет показан после нажатия кнопки '**ХОРОШО**'.
- 7) В диалоге '**Кумулятивный спектр**' выберите типы графиков «водопад» или «сонограмма» и установите другие параметры представления.

Совокупный спектр затухания может быть представлен в виде водопадного графика или сонограммы. Кривые графика водопада могут быть нарисованы цветами, которые зависят от величины. Сонограмма представляет собой график функции, величина которой выражается заранее определенным числом и порядком цвета, называемые палитрой (рис. 6.21). Использование цветовой палитры с небольшим количеством дискретных цветов усиливает контуры в цветовой плоскости (ср. рис. 6.22 и рис. 6.23).

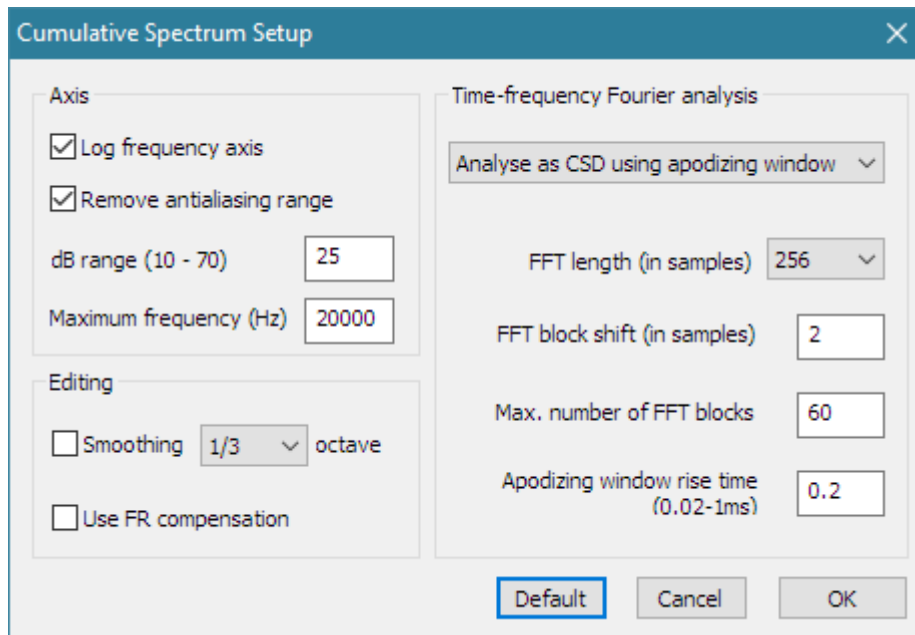


Рисунок 6.20 Диалоговое окно настройки совокупного спектра

Диалоговое окно «Настройка совокупного спектра» имеет следующие элементы управления:

Осьраздел:

Логарифмическая ось частоты—установите флажок, чтобы использовать логарифмическую ось частоты, в противном случае используется линейная ось. **Удалить диапазон сглаживания**—установите флажок, чтобы удалить спектральные элементы рядом с $f_s/2$. **диапазон дБ**—входит в динамический диапазон в дБ.

Максимальная частота(Гц) — вводит максимальную отображаемую частоту.

Редактированиераздел:

Сглаживание—выбирает 1/n-октавное сглаживание амплитуды спектра.

Октава —выбирает 1/1, 1/2, 1/3, 1/6, 1/12 или 1/24 октавы.

Использовать компенсацию FR —флажок для применения компенсации FR (если она определена).

Частотно-временной анализ Фурьераздел:

Верхнее поле со спискомвыбирает тип анализа:**CSD с прямоугольным окном**или**STF с окном Ханнинга**. ARTA автоматически устанавливает режим CSD, если окно Imp содержит импульсную характеристику, или режим STF, если окно Imp содержит записанный сигнал.

Длина БПФ—выбирает количество выборки в блоке БПФ.

Сдвиг блока БПФ (в выборках)—вводит количество выборки, на которые сдвигается блок БПФ при последовательном анализе Фурье.

Макс. количество блоков БПФ—вводит максимальное количество сдвинутых блоков БПФ.

Аподизация времени подъема окна—входит во временной интервал в начале и конечной части прямоугольного окна, к которому применяется окно Blackman4.

Кнопка **По умолчанию** сбрасывает значения по умолчанию.

Кнопка **ХОРОШО** открывает окно графика CSD.

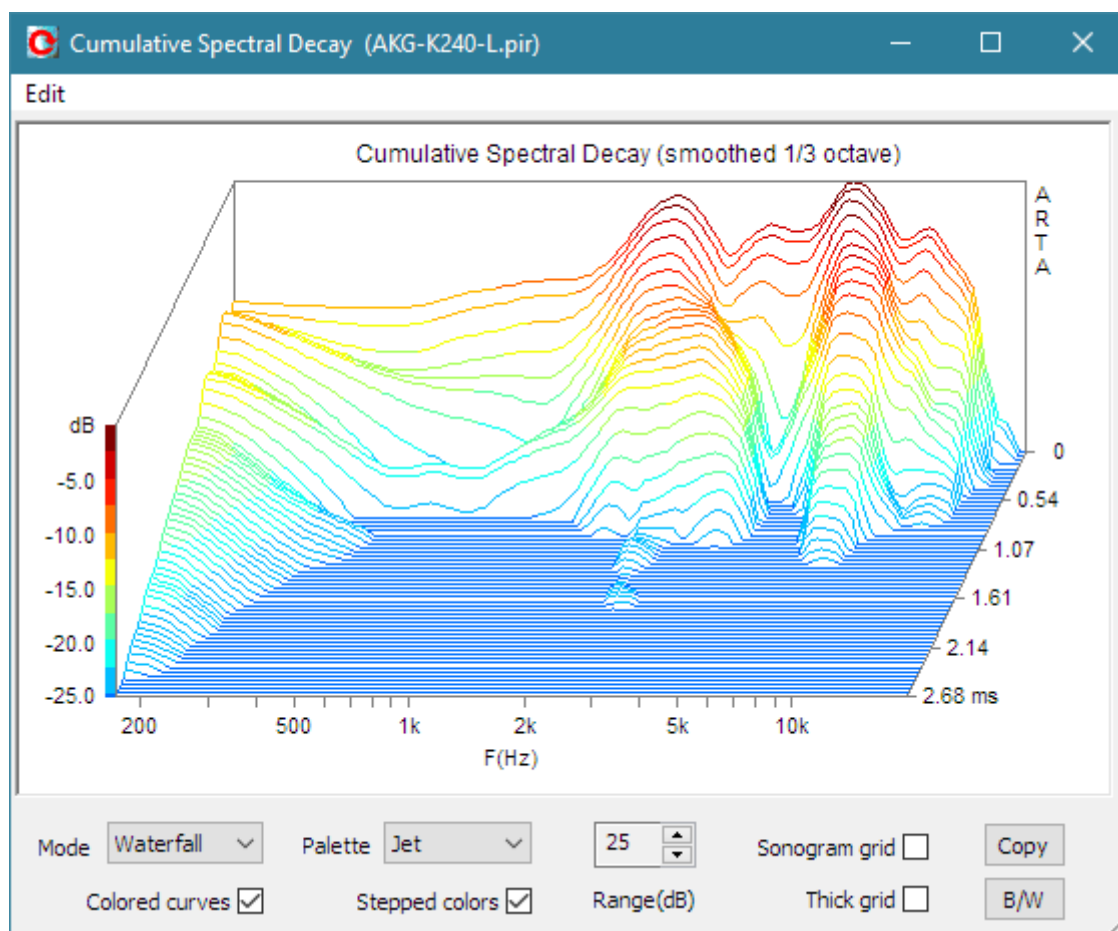


Рисунок 6.21 CSD показан в виде цветного каскадного графика

Окно кумулятивного спектра (рис. 6.21) имеет следующие элементы управления графиком.

Режим Поле со списком — выбирает тип графика «Водопад» или «Сонограмма».

Палитра Поле со списком — выбор из нескольких цветовых палитр (Jet, Grey, Copper и Cool). **Цветные кривые** — установите флажок, чтобы выбрать цветной (или одноцветный) водопадный график. **Сетка** — установите флажок, чтобы установить сетку в виде графика сонограммы.

Ступенчатые цвета — установите флажок для выбора ступенчатого (или постепенного) изменения цвета (см. рисунки 6.22 и 6.23).

Диапазон (дБ) — контроль вращения — изменяет динамический диапазон графика от 5 до 70 дБ. **Копировать** — кнопка — копирует текущий график в буфер обмена. **Ч/Б** — кнопка — устанавливает черный или белый цвет фона графика.

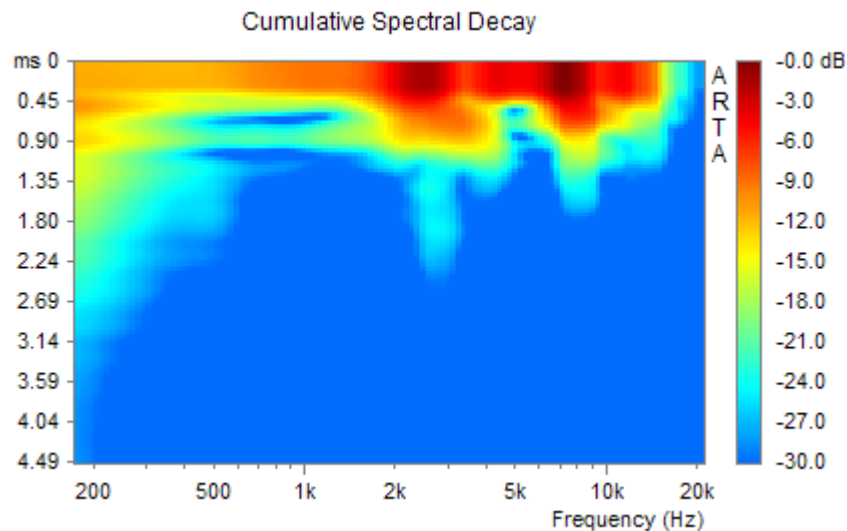


Рисунок 6.22 CSD показан в виде сонограммы

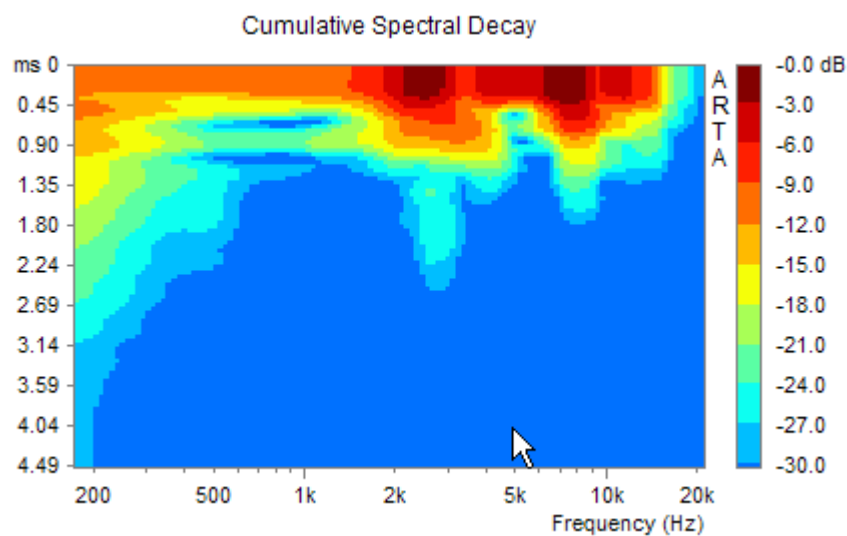


Рисунок 6.23 CSD показан в виде сонограммы со ступенчатыми цветами.

Примечание: При использовании CSD следует учитывать две проблемы:

- 1) CSD имеет гораздо лучшее разрешение на более высоких частотах, чем на более низких частотах. Причина этого в том, что анализ DFT имеет постоянную полосу пропускания.
- 2) Временная ось графика CSD линейна, поэтому невозможно сравнить поведение резонанса на более низкой и более высокой частоте с одинаковым весом (резонансы с одинаковой добротностью на более низких и более высоких частотах имеют затухание энергии, которое длится гораздо дольше на более низких частотах). Требование о замене шкалы времени на графиках CSD с периодом T_0 становится проблемой. Это будет реализовано при анализе затухания пакета, который описан в разделе 6.5.

6.4.2 Кратковременное преобразование Фурье

В непрерывном времени кратковременное преобразование Фурье (СТФ) сигнала $I_{\text{КС}}(t)$ определяется как функция времени и частоты:

$$\text{СТФ}\{I_{\text{КС}}(t)\} = I_{\text{КС}}(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} I_{\text{КС}}(\tau) \psi(-\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

где $w(\tau)$ — оконная функция с центром вокруг нуля, обычно используется окно Хэннинга. $ИКС(\tau, \omega)$ по существу является преобразованием Фурье $ИКС(\tau)Ш(\tau-\tau)$. В случае дискретного времени имеем:

$$STF\{ИКС[n]\} = ИКС(m, \cdot) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} ИКС[n]Ш[n-m]e^{-джин}$$

Аналогично с сигналом $ИКС[n]$ и окном $Ш[n]$. В этом случае, $ИКС$ является дискретным, а ω непрерывным, но в типичных приложениях STF выполняется на компьютере с использованием БПФ на основе данных, полученных из перекрывающихся блоков выборок. Каждый блок подвергается оконной обработке и преобразованию Фурье, а результат добавляется в матрицу, которая записывает спектр для каждого момента времени и частоты. Данные из матрицы отображаются в виде водопадной диаграммы или сонограммы.

STF и CSD имеют схожее определение в дискретном времени. В практическом применении это преобразование отличается двумя вещами:

- 1) CSD использует закругленное прямоугольное окно, а STF использует окно Хэннинга.
- 2) CSD обычно использует небольшой сдвиг блока БПФ (2-10 отсчетов), чтобы лучше выявить резонансы во всем диапазоне частот. STF обычно использует больший сдвиг блоков (от 1/4 до 1/2 длины БПФ) для анализа большей части изменяющегося во времени спектра сигнала.

Чтобы получить STF, мы обычно следуем следующей процедуре:

- 1) Загрузите или запишите сигнал.
- 2) Поместите курсор в положение, обозначающее начало сигнала, используемого при анализе спектра.
- 3) При желании установите маркер в некоторой позиции после позиции курсора, что удалит остальную часть сигнала из анализа STF.
- 4) Нажав команду меню '**Анализ->Совокупный спектр**', который открывает диалоговое окно '**Настройка совокупного спектра**' (рис. 6.20), задайте параметры STF.
- 5) Установите сдвиг блока БПФ в диапазоне от 1/4 до 1/2 длины БПФ.
- 6) Совокупный спектр STF будет показан после нажатия кнопки '**ХОРОШО**'.
- 7) В диалоге '**Кумулятивный спектр**' выберите типы графиков «водопад» или «сонограмма» и установите другие параметры представления.

STF используется для анализа спектра нестационарных сигналов, таких как речь и музыка.

Иногда необходимо анализировать CSD или STF на очень низких частотах. В этом случае рекомендуется выполнить субдискретизацию исходного ответа. Команда понижения разрешения доступна по команде меню '**Редактировать->Пересэмплировать до более низкой частоты**', показанный на рис. 5.11.

6.5 Затухание всплеска с временной шкалой, основанной на периоде

6.5.1 Классическое тестирование синусоидального сигнала

Мониторинг реакции затухания синусоидального импульса является хорошо известным методом анализа переходного поведения резонансных систем [46]. Постоянное количество циклов N , формованных синусоидальных импульсов (рис. 6.24), используются для возбуждения ИУ на различных частотах. Жив постоянная относительная полоса пропускания $-ж/ж_0$. Огибающая отклика системы отслеживается, чтобы дать представление о закономерностях затухания всплесков. На рисунке 6.25 показаны огибающие характеристик затухания синусоидальных импульсов небольшого громкоговорителя. Водопадный график показывает уровень огибающих импульсного отклика как функцию частоты и времени, выраженную в периодах синусоидального импульса (π/T).

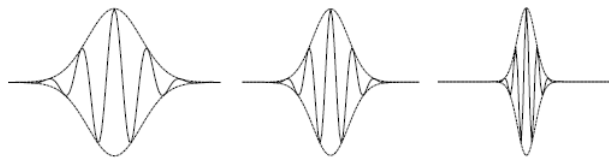


Рисунок 6.24 Свсплески имеют форму окна Гаусса (показано в виде конверта). Постоянное количество циклов на каждой частоте обеспечивает постоянную относительную полосу пропускания.

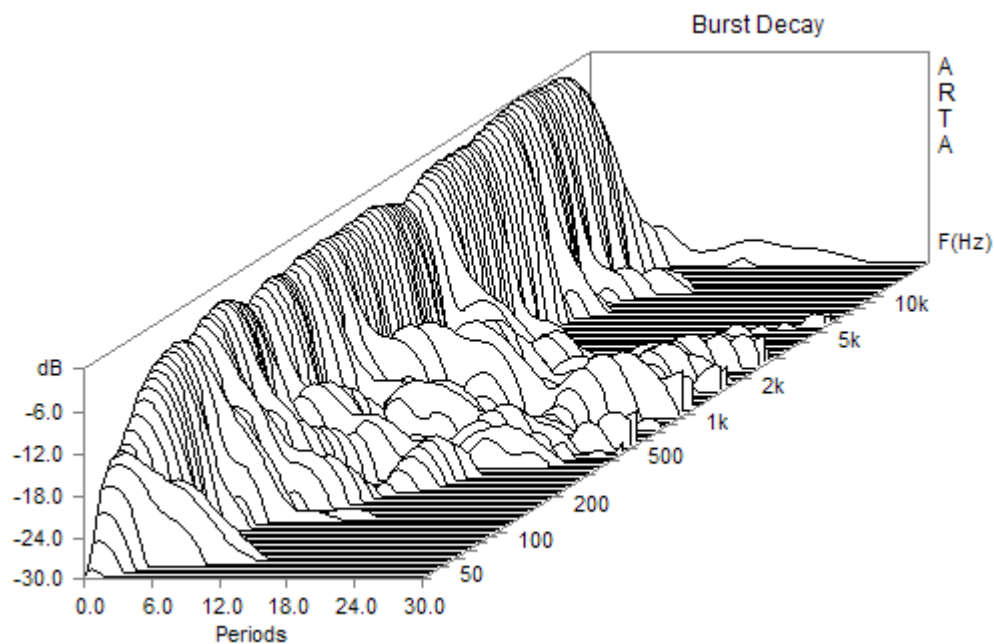


Рисунок 6.25 Огибающие затухания формованного синусоидального импульса небольшого громкоговорителя

6.5.2 Важность временной шкалы, основанной на периоде

Важность мониторинга огибающих пакетной реакции в масштабе времени, основанном на периоде, будет продемонстрирована следующими рассуждениями.

Все природные системы обладают своего рода резонансами. Например, фильтр нижних частот второго порядка имеет передаточную функцию

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega - \omega_0}{\Delta\omega}\right)^2}}$$

где ω_0 – естественная резонансная частота системы ($\omega_0 = 1/T_0$), является коэффициентом демпфирования и $Q = 1/(2\Delta\omega)$ – *вопрос*-фактор. является

Импульсная характеристика фильтра имеет форму затухающей синусоидальной функции:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_0 t} \sin(\omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2} t), \quad t > 0$$

Реальный спад энергии проявляется на частоте $\omega_0 = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}$. Мы видим, что система имеет резонанс если $\zeta < 1$ (*вопрос* $> 0,5$). В этом случае отклик представляет собой периодически затухающую функцию (ζ -реально). Для более высокого демпфирования $\zeta \geq 1$ ($Q \leq 0,5$) отклик непериодический (ζ -является мнимым).

Если мы проанализируем сложные системы, такие как громкоговорители, которые имеют множество резонансов с характеристиками фильтров верхних, нижних и всепроходных фильтров, можно показать, что все эти резонансы имеют одинаковую картину затухания, выраженную огибающей импульсной характеристики:

конверт($h(t) = e^{-\zeta \omega_0 t}$), или в логарифмической форме:

$$\ln(h(t)) = -\zeta \omega_0 t = -\zeta \omega_0 T \text{ вопрос}$$

Последнее уравнение показывает, что на графике с периодической шкалой ($t/T_0 = TC_0$) логарифм огибающей одиночного резонансного всплеска пропорционален числу периодов с коэффициентом пропорциональности, равным затуханию резонанса. Это свойство периодической шкалы времени соответствует результатам психоакустических исследований Фрайера и Тула [41]. Они показали, что система восприятия человека придает одинаковый вес резонансам с одинаковой добротностью на всех частотах.

Примечание: Реакция системы на сформированный синусоидальный всплеск имеет две характерные временные области: время нарастания и время затухания. Проведя небольшой анализ, можно показать, что логарифм огибающей спада длится гораздо дольше, чем логарифм огибающей возрастания. Именно по этой причине нас почти исключительно интересует мониторинг огибающей затухания всплеска.

6.5.3 Вейвлет-анализ для быстрой оценки огибающих затухания всплесков

Прямое измерение характера затухания всплесков требует много времени, поскольку для каждой частоты синусоидальный всплеск необходимо генерировать и измерять отдельно. Более быстрый способ получить огибающую затухания пакета на различных частотах — использовать измеренную импульсную характеристику и свернуть ее с помощью сформированного синусоидального сигнала. Это дает взрывной ответ. Чтобы получить огибающую затухания всплеска, можно использовать преобразование Гильберта [47].

ARTA использует более эффективный метод оценки. Сложный вейвлет-аналитический сигнал Морле используется в свертке с импульсной характеристикой системы. Величина этой реакции, также известная как *вейвлет-скалограмма*, представляет собой огибающую затухания сформированного импульсного отклика.

Комплексный аналитический сигнал вейвлета Морле определяется как:

$$\psi(t) = e^{-j\omega_0 t/2} e^{j\omega_0 t} = e^{-j\omega_0 t/2} \left(\cos(\omega_0 t/2) + j \sin(\omega_0 t/2) \right)$$

Это просто функция косинуса (+ синуса), модулированная окном

Гаусса. Преобразование Фурье вейвлета Морле равно:

$$B(\omega) = e^{-(\omega - \omega_0)^2 / 4} = e^{-\frac{1}{4}(\omega - \omega_0)^2}$$

Он также имеет форму окна Гаусса. Относительная (-3 дБ) полоса пропускания $B_{\text{т}}(ж)$ равно:

$$\frac{-Ж}{Ж_0} \approx \frac{2,3548}{-0}$$


В ARTA пользователи могут выбирать относительную полосу пропускания 1/3 и 1/6 октавы.

6.5.4 Процедура получения графика затухания всплеска

В ARTA можно отобразить три типа графиков затухания всплеска:

- Waterfall_F — это трехмерный спектральный график затухания всплеска, аналогичный графику CSD, но основанный на периоде.
- Waterfall_P — это график огибающей затухания всплеска, как показано на рис. 6.25, а
- Сонограмма представляет собой цветной двумерный график затухания импульса.

Чтобы получить эти графики, пользователю сначала необходимо найти пик импульсной характеристики в окне PIR и установить перед ним курсор (в какой-то точке, находящейся менее чем за 250 отсчетов до положения пикового значения).

Нажав на команду меню 'Анализ->Распад взрыва' или значок на панели инструментов , открывает диалоговое окно 'Настройка затухания взрыва' показано на рис. 6.26.

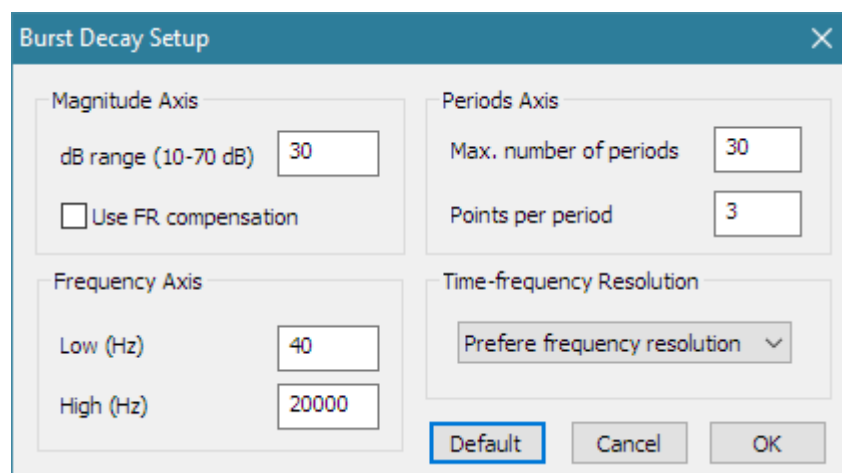


Рисунок 6.26 Диалоговое окно «Настройка затухания пакета»

В этом диалоговом окне имеются следующие элементы управления:

Ось величиныраздел:

Диапазон дБ (10–70 дБ)-входит в диапазон магнитуд.

Использовать компенсацию FR-установите флажок использовать компенсацию FR (если она активирована).

Частотная осьраздел:

Низкий (Гц)-вводит самую низкую частоту импульсов (значения ниже 40 Гц приводят к гораздо большему времени расчета).

Высокий (Гц)-переходит на максимальную частоту импульсов (макс. частота как минимум на 1/3 октавы ниже $f_s/2$).

Ось периодовраздел:

Макс. числовые периоды-вводит максимальное количество периодов затухания (20 - 60). **Баллы за период**-вводит количество точек затухания за период (1–10).

Частотно-временное разрешениераздел:

Поле со списком используется для выбора разрешения:

Предпочитаю временное разрешение—анализ наборов с полосой пропускания, близкой к 1/3 октавы.

Предпочитаю частотное разрешение—анализ наборов с полосой пропускания, близкой к 1/6 октавы.

По умолчаниюкнопка - устанавливает значения по умолчанию.

ХОРОШОкнопка - открывает окно Burst Decay.

Нажатие кнопки ОК запускает расчет вейвлет-преобразования, который может длиться от одной до нескольких секунд в зависимости от качества процессора компьютера и выбранной минимальной частоты пакетов. Наконец, **Окно затухания взрыва**будет показано (как на рисунке 6.27).

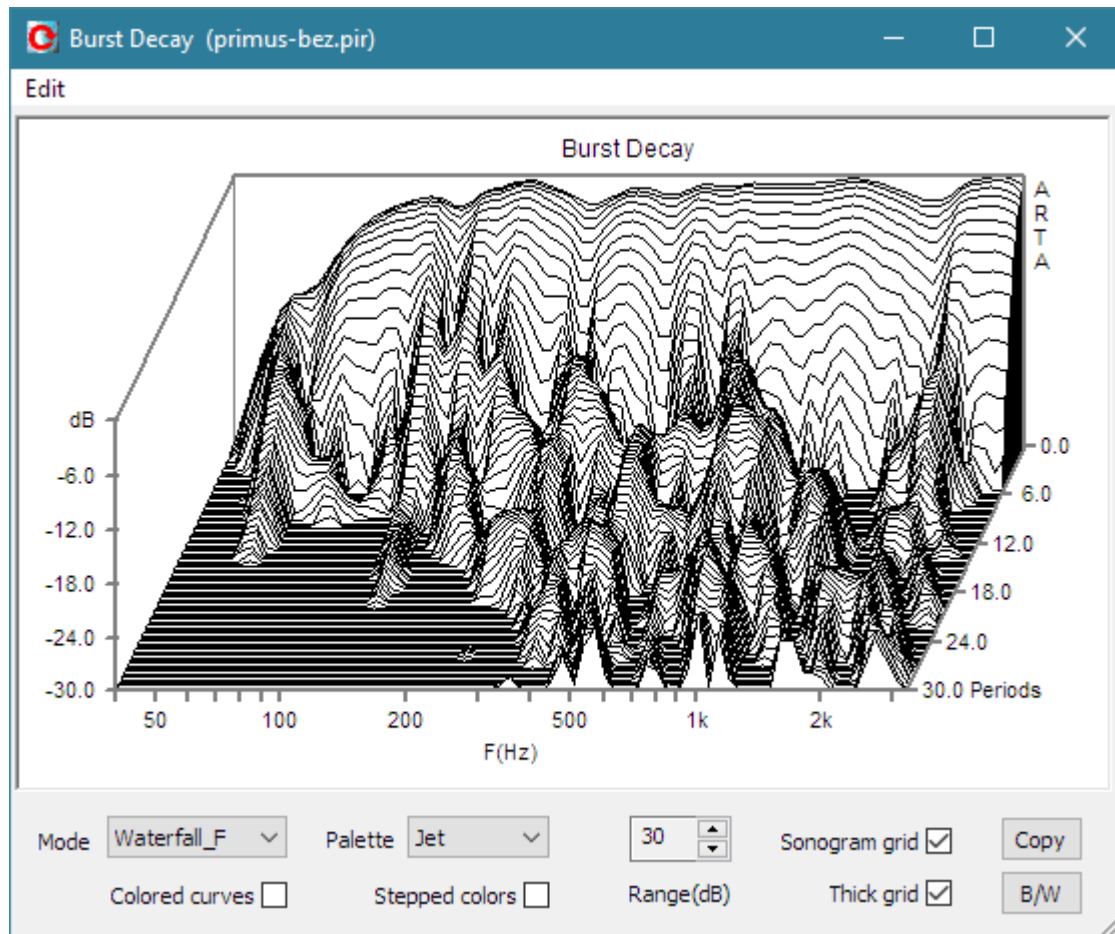


Рисунок 6.27Окно распада взрыва. На графике показано затухание небольшого монитрного громкоговорителя. Лопатся
Разрешение по частоте составляет 1/6 октавы.

Окно Burst Decay имеет следующие элементы управления графиком:

РежимПоле со списком — выбирает тип графика Waterfall_F, Waterfall_P или Sonogram. **Палитра**Поле со списком — выбор из нескольких цветовых палитр (Jet, Grey, Copper и Cool), **Цветные кривые**—установите флажок, чтобы выбрать цветной (или одноцветный) водопадный график. **Сетка**—установите флажок, чтобы установить сетку в виде графика сонограммы.

Ступенчатые цвета—установите флажок для выбора ступенчатого (или постепенного) изменения цвета (см. рисунки 6.22 и 6.23).

Диапазон (дБ)контроль вращения - изменяет динамический диапазон графика от 5 до 70 дБ. **Копировать**кнопка - копирует текущий график в буфер обмена. **Ч/Б**кнопка - устанавливает черный или белый цвет фона графика.

Примечание о динамическом диапазоне: ARTA может показывать диапазон затухания 70 дБ, но необходимы некоторые меры предосторожности:

- Эффекты наложения спектров могут возникнуть на частотах импульсов на октаву ниже частоты Найквиста $f_s/2$, поскольку окно Гаусса не исчезает на частоте Найквиста.
- Если нижний запас по частоте ниже 50 Гц, а записанная последовательность короче 64к, возможны некоторые артефакты в диапазоне от 20 до 50 Гц на уровнях ниже -50 дБ из-за усечения импульсной характеристики. Чтобы получить полный динамический диапазон при 20 Гц, рекомендуется записывать импульсную характеристику с длиной последовательности 128к или больше.

6.5.4 Сравнение графиков затухания всплесков и графиков CSD

Разработчики громкоговорителей в основном используют графики затухания CSD и Burst для анализа или обнаружения резонансов. Не рекомендуется напрямую сравнивать эти два графика, поскольку они показывают резонансные закономерности в разном временном масштабе и с разным частотным разрешением. Каждый график необходимо анализировать по его собственным достоинствам. Помимо различных резонансных характеристик, оба графика также показывают отражения задержанных импульсных характеристик с разными временными паттернами. Эти различия будут проиллюстрированы двумя примерами.

В первом примере графики водопада CSD и затухания всплеска (рис. 6.28 и 6.29) предназначены для системы, которая имеет два резонанса на частотах 200 Гц и 5 кГц, оба с $Q = 4$. Затухание всплеска дает одинаковую картину для обоих резонансов. Это очень полезное свойство для акустической оценки резонансов, поскольку оба резонанса имеют одинаковую добротность.

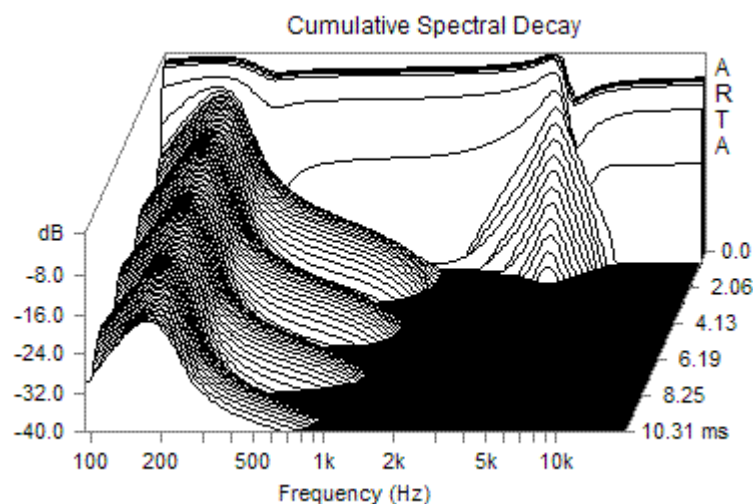


Рисунок 6.28 CSD для системы с двумя резонансами: 200 Гц и 5 кГц, оба с $Q = 4$.

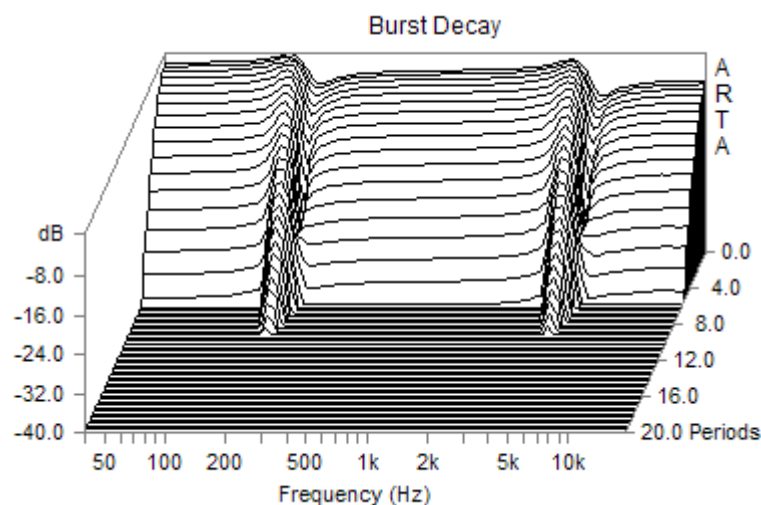


Рисунок 6.29 Затухание всплеска для системы с двумя резонансами: 200 Гц и 5 кГц, оба с $Q = 4$.

Единственная проблема при оценке резонансов с использованием затухания всплеска состоит в том, что трудно обнаружить резонансы, добротность которых меньше двух.

Обнаружение резонансов становится сложнее, если отклик системы содержит отражения. В этом случае график, основанный на периоде, показывает некоторые «неестественные» закономерности. Проблема проиллюстрирована на рисунках 6.30. Он показывает затухание импульса и идеальную широкополосную импульсную характеристику с одним отражением. Время задержки отражения $t_d = 20$ мс, а амплитуда на -10 дБ ниже уровня идеального отклика.

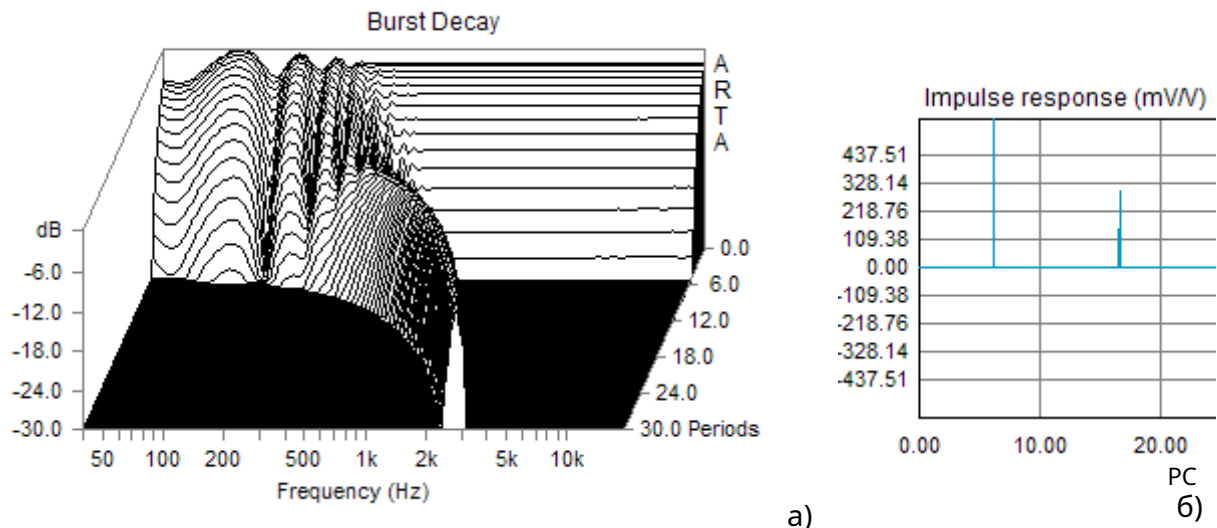


Рисунок 6.30(а) Затухание пачки и (б) широкополосная импульсная характеристика с одиночным отражением

Характер затухания на рисунке 6.30 показывает сдвиг вправо на более высоких частотах. На низких частотах характер затухания аналогичен характеру затухания низкодобротных резонансов. Объяснение простое; каждое отражение локализовано в ряде периодов (nT) которые равны произведению задержки отражения и частоты пакета;

$$nT = \text{футы}_d$$

На низких частотах это число невелико и характер затухания размазан откликом запаздывающего отклика. На более высоких частотах отражение локализуется за число периодов, пропорциональное частоте. Это приводит к сдвигу картины распада вправо. Эта функция хорошая и плохая. Это плохо, поскольку затрудняет обнаружение низкодобротных резонансов на более низких частотах. Он хорош на более высоких частотах, поскольку отделяет характер затухания отражений (который смещается вправо) от характера затухания резонансов (который следует прямой частотной линии).

Отражения также скрывают водопадные графики CSD. На рисунке 6.31 показан график CSD для предыдущего примера идеального отклика с одиночным отражением. Как видно, отражение понижает динамический диапазон CSD до уровня отражения. Единственный способ устранить это отражение — исключить часть импульсной характеристики, содержащей отражение. На практике исключение отражений является обычным первым шагом в построении CSD-графика.

Стробирование также можно применить к импульсной характеристике перед построением графика затухания пакета. В этом случае стробирование уменьшает количество действительных периодов затухания пакета на более низких частотах. Как правило, использование стробирования не рекомендуется при затухании пакета.

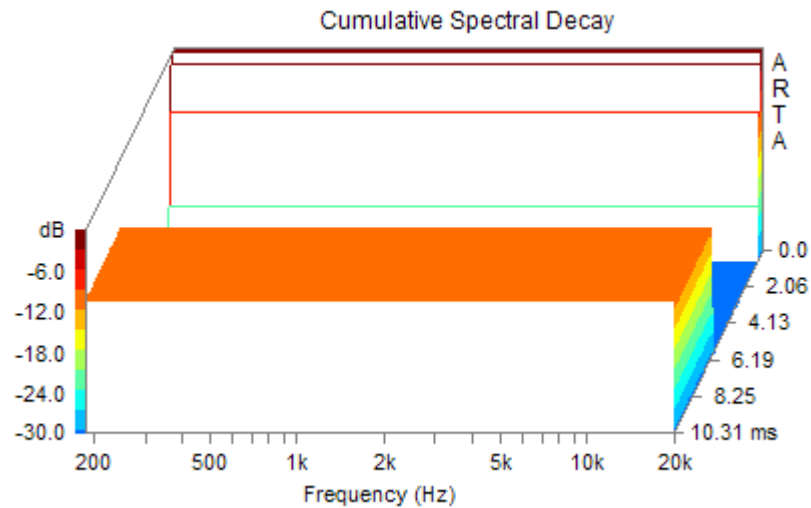


Рисунок 6.31 Водопадный график CSD для идеальной импульсной характеристики с одиночными отражениями

6.5.5 Частотно-временное разрешение

Настройка частотно-временного разрешения важна при создании и анализе графика затухания пакета. ARTA предлагает два разрешения, которые определяются акустическими критериями; Разрешение по частоте в 1/3 октавы дает лучшее разрешение по времени, чем другой вариант разрешения в 1/6 октавы. Эта разница во временном разрешении обычно приводит к другому характеру затухания. На рисунке 6.32 показано затухание импульса небольшого мониторингового громкоговорителя с частотным разрешением 1/3 октавы. Сравнивая этот рисунок с рис. 6.27, где показан отклик того же громкоговорителя, но с разрешением 1/6 октавы, становится очевидным, что в этом случае имеется гораздо лучшее временное разрешение, что помогает нам отличить закономерности затухания задержек от затухания закономерности резонансов.

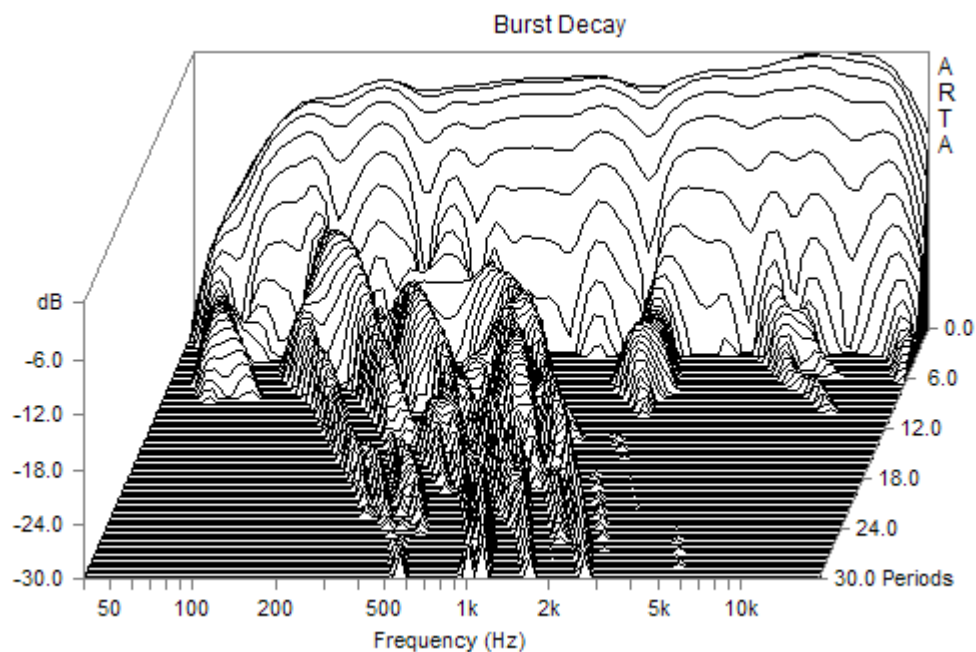


Рисунок 6.32 Пакетное затухание небольшого мониторингового громкоговорителя с частотным разрешением 1/3 октавы.

7 Оценка акустических параметров помещения

7.1 Параметры ISO 3382

Каждая комната добавляет эхо и реверберацию к исходному «прямому» звуку. Эхо — нежелательная характеристика помещения, и мы можем легко обнаружить его по кривой ЕТС. Реверберация может улучшить восприятие звука в помещении, поскольку она дает некоторое увеличение громкости и музыкальную вовлеченность, но она также оказывает вредное влияние на локализацию источника и разборчивость речи.

Для общей оценки акустических характеристик помещения стандарт ISO 3382 определяет несколько акустических параметров помещения, показанных в Таблице 7.1. Этот стандарт также определяет методы оценки этих параметров на основе измеренной импульсной характеристики.

| Символ количества | Субъективный аспект |
|----------------------------------|----------------------------------------|
| Время реверберации T30,T20(с) | реверберация, громкость, вовлеченность |
| Время раннего затухания EDT (с) | реверберация, ясность |
| Центральное время Tc(с) | ясность |
| Ясность C80(дБ) | ясность |
| Определение D50(%) | определение речи |
| Сила G (дБ) | относительный уровень звука |
| Доля боковой энергии LF, LFC (%) | пространственное впечатление |
| Межушная кросс-корреляция IACC | пространственное впечатление |

Таблица 7.1Обзор общих акустических параметров помещения (ISO 3382).

Время реверберации - T

Важнейшим параметром помещения является*время реверберации-T*.Он определяется как интервал времени, необходимый для того, чтобы звуковая энергия затухала на 60 дБ после прекращения возбуждения. Чтобы получить время реверберации, нам нужно измерить или оценить*кривая распада энергии*после выключения источника звука. Кривая спада энергии нерегулярная и шумная.*p(t)*, которую мы обычно аппроксимируем линейным затуханием, как показано на рис. 7.1.

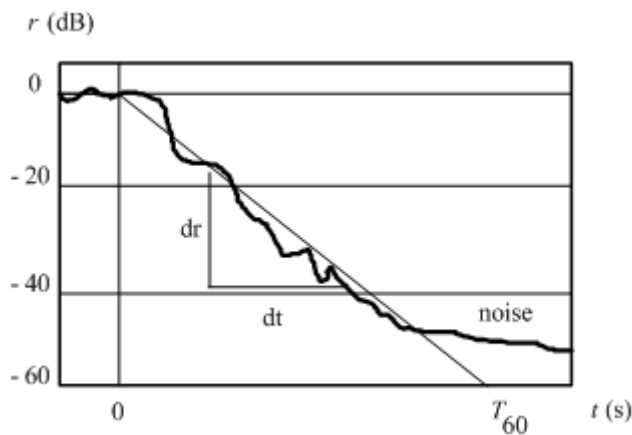


Рисунок 7.1Кривая затухания энергии для источника звука, который вовремя отключается t=0

Время реверберации определяется по наклону предполагаемого линейного затухания как:

$$T''=60 \frac{\Delta T}{\text{доктор}}$$

ISO3382 определяет следующие обозначения:

- T_{30} — время реверберации, определяемое по среднему наклону кривой затухания энергии, полученной из части кривой затухания между -5 дБ и -35 дБ.
- T_{20} — время реверберации, определяемое по среднему наклону кривой затухания энергии, полученной из части кривой затухания между -5 дБ и -25 дБ.
- T_{10} — время реверберации, определяемое по среднему наклону кривой затухания энергии, полученной из части кривой затухания между -5 дБ и -15 дБ.

Следуя рекомендациям стандарта ISO3382, ARTA оценивает наклон спада энергии методом линейной регрессии. ARTA также предоставляет отчет о коэффициенте корреляции линейной регрессии (значение от 0 до -1).

Стандарт определяет измерение кривой затухания энергии, которое следует проводить в стандартных октавных полосах от 125 Гц до 4 кГц или в третьоктавных полосах от 100 Гц до 5 кГц. ARTA позволяет проводить измерения в расширенном диапазоне частот от 63 Гц до 8 кГц.

В ARTA оценка кривой затухания энергии получается с помощью метода интегрированного импульсного отклика Шредера.

Шредер с помощью статистического анализа показал, что усредненное по комнате затухание энергии $p(\tau)$ можно получить из обратно проинтегрированного квадрата импульсной характеристики $h(\tau)$:

$$p(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T h^2(\tau) d\tau$$

Мы используем выражение Шредера в более практичной, нормализованной логарифмической форме:

$$10 \log_{10} p(\tau) = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T h^2(\tau) d\tau$$

Обратите внимание, что в этом выражении знаменатель представляет собой полную энергию.

При измерениях должно выполняться следующее условие:

- Положение микрофона должно находиться на расстоянии не менее 1 м от отражающих поверхностей и не слишком близко к источнику; минимальное расстояние от позиции источника можно рассчитать по уравнению:

$$d_{\min} = 2 \sqrt{\frac{V}{KT}} \text{ [м]}$$

где: V —объем помещения, c —это скорость звука, T —представляет собой оценку ожидаемого времени реверберации.

- Источник звука должен быть максимально всенаправленным.
- Микрофон должен быть всенаправленным.
- Цикл предварительного усреднения при измерениях с периодическим шумом или с сигналом МЛС должен быть больше времени реверберации.

Единый критерий частотной характеристики времени реверберации на низких частотах часто используется как коэффициент баса (BR):

$$BR = \frac{T_{20,125} + T_{20,250}}{T_{20,500} + T_{20,1000}}$$

где $T_{20,x}$ время реверберации T_{20} измеряется в полосе частот $Икс$. Для музыки желанный бас соотношение составляет от 1,0 до 1,3, но для речи соотношение басов должно иметь значение максимум от 0,9 до 1,0.

Определение других акустических параметров следующее:

Время раннего затухания - EDT

Время раннего затухания (EDT) определяется как интервал времени, необходимый для того, чтобы уровень звуковой энергии снизился на 10 дБ после прекращения возбуждения. Чтобы обеспечить прямое сравнение со временем реверберации, результат умножается на коэффициент 6. Для идеального экспоненциального затухания в диффузном поле ожидаемое значение EDT равно времени реверберации.

Ясность - C_{80} , C_{50}

Ясность или «индекс от раннего к позднему» $C_{80}(C_{50})$ определяется как логарифмическое отношение энергии импульсного отклика до времени t_e и энергия после t_e . Значение $t_e=50$ мс используется для выражения четкости речи, тогда как $t_e=80$ мс лучше подходит для музыки.

$$C_{80}=10 \text{ журнал } \frac{\frac{80 PC}{- \text{час}(\tau)_{дТ}} - \frac{0}{- \text{час}(\tau)_{дТ}}}{\frac{80 PC}{- \text{час}(\tau)_{дТ}}} \text{ дБ} \quad C_{50}=10 \text{ журнал } \frac{\frac{50 PC}{- \text{час}(\tau)_{дТ}} - \frac{0}{- \text{час}(\tau)_{дТ}}}{\frac{50 PC}{- \text{час}(\tau)_{дТ}}} \text{ дБ}$$

Оригинальное немецкое название для ясности — «Klarheitsmaß». Высокие значения ясности указывают на большое количество ранней энергии, что соответствует субъективному ощущению ясности. Напротив, низкие значения четкости указывают на нечеткий, чрезмерно реверберирующий звук.

Субъективно приемлемое значение для C_{80} составляет -3 дБ и выше (для сакральной музыки -5 дБ и выше). Для хорошей разборчивости речи или текста приемлемое значение C_{50} составляет -2 дБ или выше.

Определение D_{50}

Определение D_{50} или «отношение ранней звуковой энергии к общей» является мерой четкости речи. Он также известен под немецким названием Deutlichkeit. Он определяется как:

$$D_{50}=100 \frac{\frac{50 PC}{- \text{час}(\tau)_{дТ}} - \frac{0}{- \text{час}(\tau)_{дТ}}}{\frac{50 PC}{- \text{час}(\tau)_{дТ}}} \text{ (%)}$$

Центральное время - T_c

Центр времени T_c соответствует центру тяжести квадрата импульсной характеристики:

$$T_c = \frac{\int_0^T t \cdot \text{час}(\tau)_{дТ} dt}{\int_0^T \text{час}(\tau)_{дТ} dt}$$

Верхние пределы интегрирования принимаются за точку усечения или конец импульсной характеристики в соответствии с указанным вариантом обработки шума.

Нижний индекс $S_{\text{во}}$ имя $T_{\text{с}}$ означает немецкое название «Schwerpunktzeit». Значение $T_{\text{с}}$ выражается в миллисекундах. Низкий $T_{\text{с}}$ предполагает ощущение ясности, тогда как высокая $T_{\text{с}}$ предполагает ревербирующий звук. Центральное время очень сильно коррелирует с EDT (оно редко содержит какую-либо дополнительную информацию по сравнению с EDT).

Для идеальной системы ожидаемое значение $T_{\text{с}}$ пропорциональна времени реверберации T :

$$T_{\text{с, испытываемая}} = \frac{T}{13,6}$$

Сила - G

Звуковая мощность G (или относительный уровень звука) определяется как логарифмическое отношение воздействия звукового давления (квадратичного и интегрального звукового давления) к измеренной импульсной характеристике $p(t)$ к ответу $p_0(t)$, измеренное на расстоянии 10 м от того же источника звука в свободном поле.

$$G_{\text{10 журнал}} = 10 \cdot \frac{\int_0^T p^2(t) dt}{\int_0^T p_0^2(t) dt} = \text{ЛПЗ} - \text{Л}_{\text{ПЗ,10}}$$

Звуковое воздействие определяется для каждой октавной полосы как;

$$\text{ЛПЗ} = \text{10 журнал}_{10} + \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt,$$

где $p_0 = 20$ мПа, $T_0 = 1$ с.

Источник звука должен быть всенаправленным, но этого требования практически невозможно достичь во всех диапазонах частот с помощью настоящих громкоговорителей. Для учета реальной диаграммы направленности громкоговорителя при измерении ЛПЗ_{10} в свободном поле или в безэховом помещении измерение необходимо производить через каждые 12,5° вокруг источника звука и рассчитать среднеэнергетическое значение уровней воздействия звукового давления, чтобы усреднить направленность источника звука. Это можно сделать в ARTA путем усреднения по мощности наложений на сглаженные кривые частотной характеристики октавной полосы. Кривые можно сохранить (как наложение) и позже использовать для оценки силы звука в различных положениях помещения. Мы получаем силу звука или относительный уровень звука, просто вычитая значения наложенной кривой из частотной характеристики, сглаженной по октаве.

Изменение на расстоянии в комнате дает некоторое представление о том, насколько рассеяно звуковое поле комнаты.

Ожидаемое значение в комнате с теорией диффузного звукового поля определяется выражением

$$G_{\text{опыт воздействия}} = \text{10 журнал} \left(\frac{T}{V} \right) + 45 \text{ (дБ)}$$

где V это объем помещения и T это время реверберации.

АРТА дает оценку акустических параметров помещения на основе измеренной импульсной характеристики, когда пользователь активирует один из **Анализ** команды меню в окне Импульсный отклик:

Распад акустической энергии –открывает окно затухания акустической энергии для представления кривой затухания энергии, полученной методом обратного интегрирования импульсной характеристики Шредера, а также для оценки акустических параметров с помощью пользователя.

ISO 3382 – акустические параметры –автоматически оценивать акустические параметры в 1/1- или 1/3-октавных диапазонах. Подменю для выбора типа представления параметров:

Графическое представление для полос 1/1 октавы

Табличное представление для полос 1/1 октавы

Графическое представление для полос 1/3 октавы,

Представление таблицы для 1/3 октавных диапазонов

Настроить –открывает диалоговое окно для настройки метода оценки и диапазонов частот.

Пространственные акустические параметры –открывает диалог настройки оценки пространственных параметров

Оценка акустических параметров с помощью пользователя по кривой затухания энергии будет описана в разделе 7.2. Оценка пространственных параметров будет описана в разделе 7.3.

На рисунке 7.2 показан табличный отчет акустических параметров, полученных по команде меню '**Анализ-> ISO 3382 — акустические параметры-> Табличное представление для 1/1-октавных полос**', а на рисунке 7.3 показано окно графического представления акустических параметров, полученных по команде меню '**Анализ-> ISO 3382 — акустические параметры-> Графическое представление для 1/3-октавных полос**'. '

| F (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| T30 (s) | 1.804 | 2.272 | 2.434 | 2.605 | 2.728 | 2.354 | 1.557 | 1.013 |
| rT30 | -0.986 | -0.994 | -0.999 | -0.999 | -0.999 | -1.000 | -0.999 | -1.000 |
| T20 (s) | 1.936 | 2.203 | 2.279 | 2.556 | 2.632 | 2.310 | 1.501 | 0.990 |
| rT20 | -0.985 | -0.981 | -0.999 | -0.999 | -0.999 | -1.000 | -0.999 | -1.000 |
| T10 (s) | 1.325 | 1.358 | 2.412 | 2.452 | 2.452 | 2.270 | 1.388 | 1.004 |
| rT10 | -0.984 | -0.974 | -0.994 | -0.998 | -0.998 | -0.998 | -0.999 | -0.998 |
| EDT (s) | 1.039 | 1.600 | 2.205 | 2.302 | 2.202 | 1.836 | 1.349 | 1.028 |
| C80 (dB) | 4.96 | 4.72 | 1.27 | -1.72 | 1.80 | 0.47 | 1.36 | 2.10 |
| C50 (dB) | 3.47 | 3.66 | -0.21 | -4.04 | 0.42 | -1.93 | -0.80 | -0.84 |
| D50 (%) | 68.96 | 69.89 | 48.81 | 28.30 | 52.43 | 39.09 | 45.42 | 45.20 |
| Ts (ms) | 78.808 | 76.014 | 126.490 | 169.563 | 109.160 | 111.370 | 87.090 | 72.129 |
| BR | 0.864 | | | | | | | |

Рисунок 7.2Табличный отчет акустических параметров. Кнопка '**Копировать**' копирует отчет в буфер обмена, кнопка '**Сохранить (ASCII)**' сохраняет отчет в текстовом файле ASCII, кнопка '**Сохранить (.csv)**' сохраняет отчет в формате Excel . csv-файл.

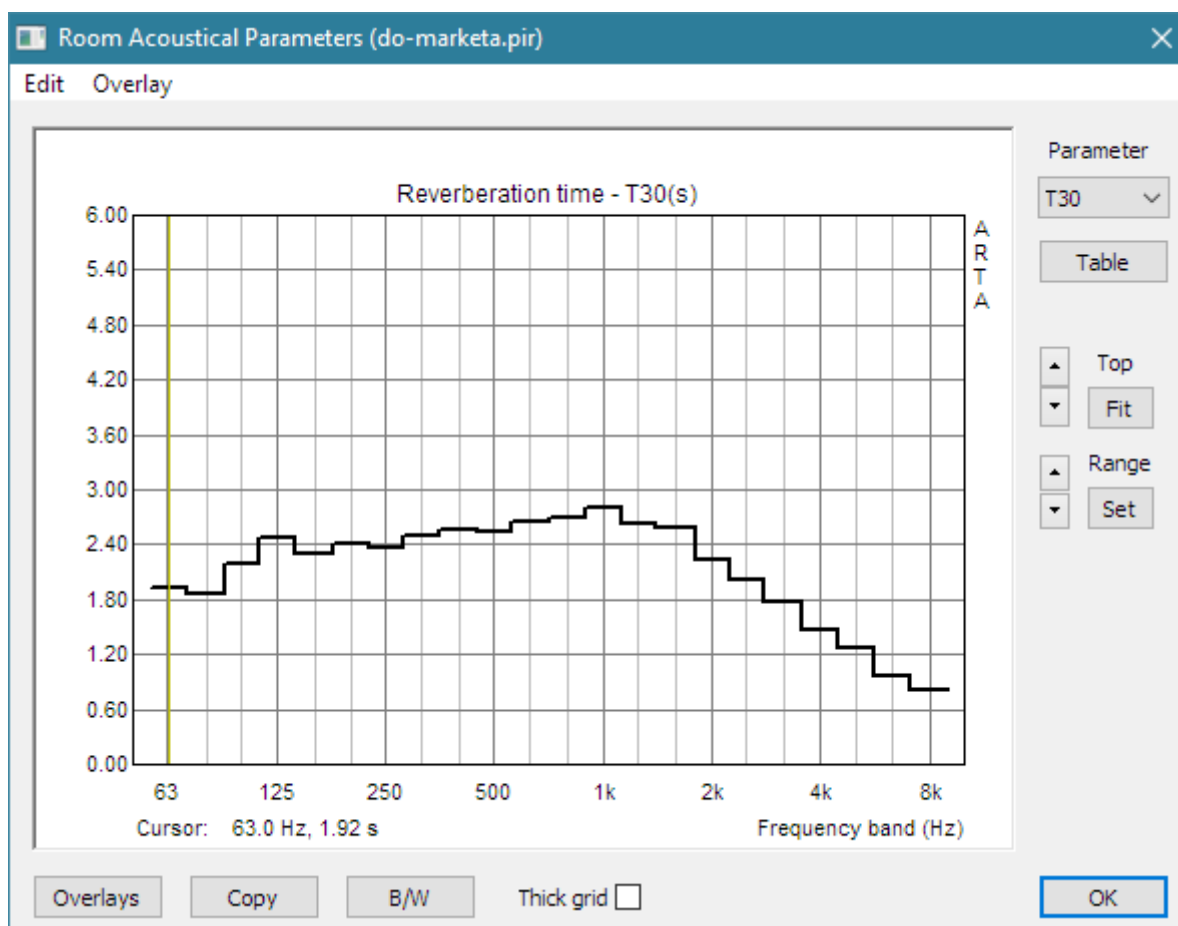


Рисунок 7.3Окно графического представления акустических параметров в 1/3 октавных полосах

Правые элементы управления используются для настройки графика следующим образом:

ПараметрПоле со списком — выбирает параметр, который будет отображаться как функция диапазона частот;
 время реверберации: T30, T20, T10,
 коэффициенты корреляции линейной регрессии: rT30, rT20, rT10, другие
 энергетические параметры: EDT, C80, C50, D50, Ts. **Столбец** — открывает
 окно с табличным представлением, как на рис. 7.2. **Вершина** — устанавливает
 верхнее поле графика. **Диапазон** — задают диапазон амплитуд графика.
Соответствовать — подгоняет поля графика к диапазону кривой.

Набор — открывает диалоговое окно для настройки полей графика.

Наложения — открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений».

Копировать — копирует график в буфер обмена. **Ч/Б** — устанавливает черный
 или белый цвет фона.

Последние две команды также доступны из меню **Редактировать**. Меню **Наложение** имеет четыре обычных варианта: **Установить как
 наложение**, **Управление наложениями**, **Удалить последнее наложение** и **Удалить все наложения**.

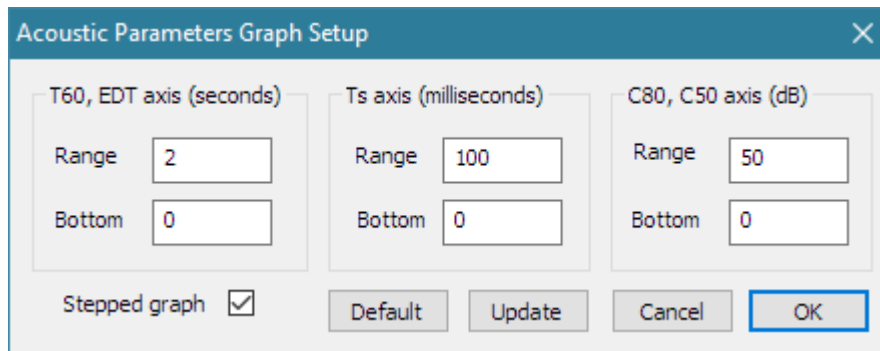


Рисунок 7.4 Диалог настройки графика представления акустических параметров. Три раздела предназначены для настройки диапазона и нижнего запаса амплитуды. T , EDT , C_{80} , C_{50} и T_s . Флажок «Ступенчатый график» позволяет рисовать ступенчатые кривые, в противном случае рисуется линейно интерполированная кривая.

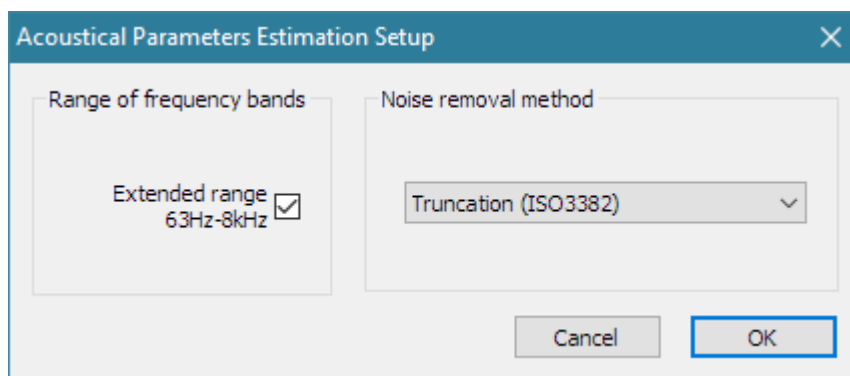


Рисунок 7.5 Диалог настройки автоматической оценки акустических параметров.

На рисунке 7.5 показан диалог настройки автоматической оценки акустических параметров. Флажок '**Расширенный диапазон**' позволяет проводить оценку в расширенном диапазоне частот: от 63 Гц до 8 кГц, в противном случае используется стандартный диапазон частот от 125 Гц до 4 кГц (от 100 Гц до 5 кГц для полос в 1/3 октавы). Поле со списком '**Метод удаления шума**' имеет три варианта: '**Усечение**' (предложено ISO3382), '**Усечение и компенсация**' (предложено ISO3382) или '**Вычитание**'.

Для объяснения методов удаления шума проанализируем кривую спада энергии $p(t)$ в случае, когда импульсная характеристика содержит аддитивный шумовой член $n(t)$. Мы выражаем эту кривую как $p(t)$:

$$p(t) = (c(t) + n(t))^2 = c^2(t) + n^2(t) + 2c(t)n(t)$$

Третий член равен нулю, так как шум $n(t)$ не коррелирует с ответом $c(t)$. Более того, если принять, что квадрат шума имеет постоянное среднее значение $\langle n^2(t) \rangle = H$, по всем сегментам ответа получим приближенное выражение:

$$p(t) = (c(t) + H)$$

Мы можем оценить среднее значение шумового члена H путем усреднения той части хвоста измеренной импульсной характеристики, где шум превышает амплитуду импульсной характеристики.

Для удаления этого шумового члена используются три метода:

- 1) **Метод усечения (Трун)** – обрезает (удаляет) часть ИК-хвоста, близкую к уровню шума или ниже его. Как предполагает стандарт ISO 3382, ARTA определяет точку усечения. $T_{\text{свол}}$ как точка, в которой уровень сигнала + шума на 5 дБ выше среднего уровня шума в хвосте импульсной характеристики.

$$p(\tau) - \text{час}_{\text{измеренный}}(-) \text{д-}$$

- 2) **Метод усечения и компенсации (Трун+С)** – расширяет метод усечения, добавляя константу С к обратному интегралу распада энергии:

$$p(\tau) - \text{час}_{\text{измеренный}}(-) \text{д-} + C$$

Постоянный С представляет собой значение, полученное в результате интегрирования предполагаемой идеальной кривой экспоненциального затухания выше точки усечения. Этот метод очень точен, если кривая затухания имеет экспоненциальную форму.

- 3) **Метод вычитания (Саб)** — вычитает среднее значение мощности хвостового шума $H_{\text{из}}$ квадрата измеренной импульсной характеристики в функции обратного интегрирования Шредера;

$$p(\tau) - \text{час}_{\text{измеренный}}(-) - H_{\text{из}} \text{д-}$$

Примечание: В ARTA в методе 2 также применяется вычитание шума.

Для получения времени реверберации кривая затухания аппроксимируется линейным уравнением $y = ax + b$ наклон кривой оценивается с помощью линейной регрессии. Самый подходящий наклон и значения смещения оцениваются по методу наименьших квадратов. Качество оценки соответствия линии, полученной с помощью линейной регрессии, описывается коэффициентом корреляции r . Коэффициент корреляции имеет диапазон $[-1, 1]$, при этом высокая корреляция дает значения, близкие к единице.

Эффекты отсека шума или вычитания шума можно отслеживать в «Окне затухания акустической энергии».

7.2 Распад акустической энергии

В ARTA мы получаем '**Распад акустической энергии**' окно, щелкнув команду меню '**Анализ-распад энергии**' или щелкнув значок на панели инструментов. Это показано на рис. 7.6.



График в '**Распад акустической энергии**' в окне показаны две кривые; верхняя кривая представляет собой кривую спада энергии, а нижняя серая кривая представляет собой огибающую импульсной характеристики.

Элементы управления правой боковой панели используются для настройки графика и оценки акустических параметров помещения следующим образом:

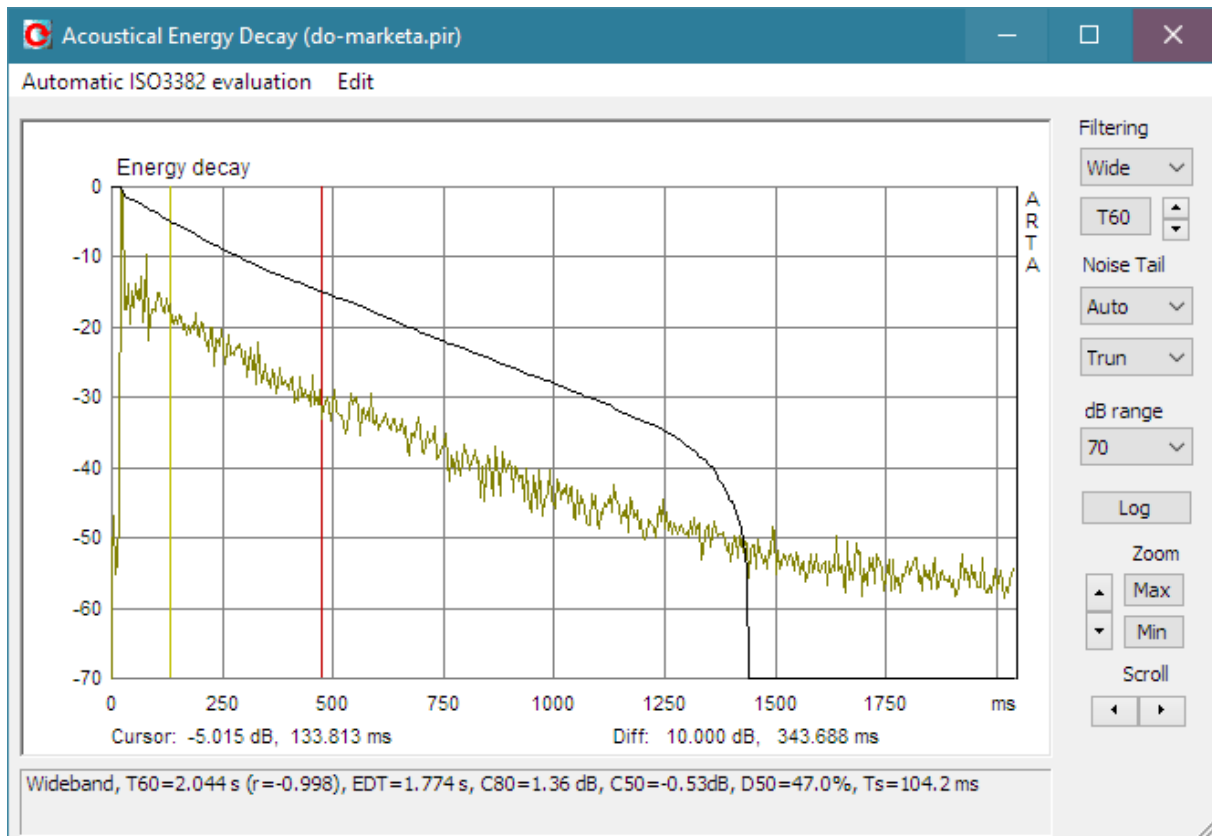


Рисунок 7.6Окно распада энергии. Верхняя кривая — кривая спада энергии; нижняя кривая — огибающая импульсной характеристики

Фильтрация-выбирает частоту отклика, отфильтрованного в октавной полосе, или широкополосного отклика. Поле со списком или элемент управления «Вращение» можно использовать для установки частоты октавной полосы.

T60-запускает расчет акустических параметров, значение которых отображается в нижней панели. **Шумовой хвост** обозначает два элемента управления. В первом элементе управления пользователь выбирает процент кривой затухания, который оценивается как шум, или «Авто» для автоматической оценки длины хвостовой кривой шума.

Другой элемент управления используется для выбора метода шумоподавления:

- **Трун**-означает, что процент хвоста ИК-кривой не будет учитываться при оценке затухания энергии.
- **Трун+С**-означает, что процент хвоста ИК-кривой не будет использоваться при оценке затухания энергии, вместо этого используется оценка линейного затухания хвоста.
- **Саб**-означает, что средний уровень мощности ИК-хвостового шума вычитается из кривой затухания.

диапазон дБ-входит в диапазон амплитуд (от 10 до 100 дБ). **Бревно**-получает табличный отчет расчетных акустических параметров помещения. **Увеличить**-устанавливает для коэффициента масштабирования по горизонтали значение «Макс» или «Все». **Прокрутка**-перемещает сюжет влево или вправо.

Акустические параметры можно оценить по кривой затухания энергии автоматически, как и раньше, с помощью меню '**Автоматическая оценка ISO3382**':

Графическое представление для полос 1/1 октавы

Табличное представление для полос 1/1 октавы

Графическое представление для полос 1/3 октавы,

Представление таблицы для 1/3 октавных диапазонов

Настроить -открывает диалоговое окно для настройки метода оценки и диапазонов частот.

Эти команды меню описаны в предыдущем разделе.

Здесь нас интересует процедура *с помощью пользователя* оценка акустических параметров. Чтобы получить акустические параметры для отклика в октавной полосе или для широкополосного отклика, пользователь должен выбрать октавную полосу (поле со списком – Фильтрация) и установить курсор и маркер на ту часть кривой затухания, которая приблизительно линейна. Следуя рекомендациям ISO 3382, для расчета времени реверберации курсор следует установить вблизи уровня -5 дБ, а маркер установить за положением, где уровень находится как минимум на 10 дБ ниже уровня курсора.

Нажмите на кнопку '**T60**' дает оценку времени реверберации $T_{60\text{пользователь}}$ и другие акустические параметры, отчет о которых указан в поле под графиком. На рисунке 7.6 показан этот отчет и автоматически усеченная кривая спада энергии.

Ту же процедуру следует повторить для каждого отклика, отфильтрованного в октавной полосе, и для широкополосного отклика. АРТА запоминает значения расчетных акустических параметров, поэтому необходимо нажать на кнопку '**Бревно**' дает табличный отчет значений акустических параметров во всех октавных диапазонах. Пример отчета показан на рис. 7.7. Время реверберации, рассчитанное по положению курсора и маркера, обозначается $T_{60\text{user}}$. Независимо от положения маркера, АРТА также всегда рассчитывает T_{20} и T_{30} (используя диапазон затухания от -5 до -25 дБ или от -5 до -35 дБ соответственно).

Если пользователь хочет получить оценку T_{60} без усечения IR, поле со списком '**Шумовой хвост**' должно быть установлено на 0%. Пользователь также может получить оценку T_{60} на основе своей собственной оценки процента ИК-хвоста, в котором шум преобладает, установив в поле со списком «Шумовой хвост» значение от 5% до 95%.

Примечание: Процедура оценки акустических параметров с помощью пользователя является медленной. Эту процедуру рекомендуется использовать только в тех случаях, когда автоматическая процедура показывает небольшое значение корреляции линейной регрессии при оценке времени реверберации.

| Room Acoustical Parameters (do-marketa.pir) | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|------|--------|
| F (Hz) | Wide | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| T30 (s) | 2.335 | 1.804 | 2.272 | 2.434 | 2.605 | 2.728 | 2.354 | - | 1.013 |
| rT30 | -0.999 | -0.986 | -0.994 | -0.999 | -0.999 | -0.999 | -1.000 | - | -1.000 |
| T20 (s) | 2.276 | 1.936 | 2.203 | 2.279 | 2.556 | 2.632 | 2.310 | - | 0.990 |
| rT20 | -0.999 | -0.985 | -0.981 | -0.999 | -0.999 | -0.999 | -1.000 | - | -1.000 |
| T60use... | 2.044 | 1.873 | 1.661 | 2.317 | 2.264 | 2.354 | 2.230 | - | 1.001 |
| rT60user | -0.998 | -0.986 | -0.967 | -0.993 | -0.999 | -0.999 | -0.999 | - | -1.000 |
| EDT (s) | 1.774 | 1.039 | 1.600 | 2.205 | 2.302 | 2.202 | 1.836 | - | 1.028 |
| C80 (dB) | 1.36 | 4.96 | 4.72 | 1.27 | -1.72 | 1.80 | 0.47 | - | 2.10 |
| C50 (dB) | -0.53 | 3.47 | 3.66 | -0.21 | -4.04 | 0.42 | -1.93 | - | -0.84 |
| D50 (%) | 46.96 | 68.96 | 69.89 | 48.81 | 28.30 | 52.43 | 39.09 | - | 45.20 |
| Ts (ms) | 104.159 | 78.808 | 76.014 | 126.490 | 169.563 | 109.160 | 111.370 | - | 72.129 |
| BR | 0.864 | | | | | | | | |

Save (ASCII)
Save (.csv)
Copy
OK

Рисунок 7.7 Отчет об акустических параметрах помещения (пустой столбец для диапазона 4000 Гц означает, что оценка для этой полосы еще не проводилась)

7.3 Пространственные акустические параметры

Субъективные исследования акустики помещения показали, что два показателя: фракция боковой энергии (LF) и коэффициент межущной взаимной корреляции (IACC) хорошо коррелируют с субъективным качеством «пространственного впечатления» в концертном зале. Пространственное впечатление связано с восприятием ширины источника звука – эффектом, называемым «пространством», и состоянием диффузии реверберирующего звукового поля – называемым «охватыванием слушателя».

Ранняя боковая энергия измеряется с помощью двух близко расположенных микрофонов: всенаправленного и двенаправленного (с диаграммой направленности в форме восьмерки). Коэффициенты межущной взаимной корреляции измеряются либо с помощью манекена головы, либо с помощью настоящей головы и с помощью двух небольших микрофонов, помещенных у входа в ушные каналы.

Ранние измерения боковой энергии

Доля энергии LF, поступающей в течение первых 80 мс и приходящей из боковых направлений, может быть измерена по импульсным характеристикам, полученным от всенаправленных микрофонов с диаграммой направленности в форме восьмерки.

$$HЧ = \frac{\int_{0,08c}^{0,005c} p_2(t) dt}{\int_0^{0,08c} p_2(t) dt}$$

где $p_2(t)$ — импульсная характеристика аудитории, измеренная с помощью микрофона с восьмерочной диаграммой направленности. Ноль микрофона с восьмерочной диаграммой направленности должен быть направлен на среднее положение источника в центре сцены или на положение отдельных источников, чтобы он преимущественно реагировал на звуковую энергию, поступающую с боковых направлений.

Перцепционное преимущество имеет, если LF находится в диапазоне $0,1 < LF < 0,25$. Полосы частот способствуют следующим субъективным характеристикам:

НЧ в октавных полосах $125 \text{ Гц} \leq f \leq 500 \text{ Гц}$ коррелируют с охватом слушателя, НЧ в октавных полосах $500 \text{ Гц} < f \leq 4000 \text{ Гц}$ коррелируют с расширением ширины источника, НЧ в октавных диапазонах $f > 4000 \text{ Гц}$ коррелируют со сдвигом звукового образа.

Поскольку направленность микрофона в форме восьмерки по существу представляет собой косинусоидальную диаграмму направленности, а значения давления возводятся в квадрат, результирующий вклад в поперечную энергию для отдельного отражения зависит от квадрата косинуса угла падения отражения относительно ось максимальной чувствительности микрофона. В качестве альтернативы можно использовать приближение для получения долей поперечной энергии, LFC, с вкладами, которые изменяются как косинус угла, что считается субъективно более точным.

$$ЛФК = \frac{\int_{0,08c}^{0,005c} p_2(t) p_1(t) dt}{\int_0^{0,08c} p_2(t) dt}$$

Доли боковой энергии связаны с воспринимаемой шириной источника звука. Использование LF и LFC и его субъективная значимость все еще являются предметом дискуссий и исследований.

Межущная перекрестная корреляция - IACC

Меры межущной взаимной корреляции связаны с пространственным впечатлением от охвата слушателя и воспринимаемой шириной источника. Нормализованная межущная кросскорреляционная функция IACF определяется как:

$$ИАКФ_{\tau_1, \tau_2}(\tau) = \frac{\int_{-\tau_1}^{\tau_2} p_L(\tau) p_R(\tau - \tau) d\tau}{\sqrt{\int_{-\tau_1}^{\tau_1} p_L^2(\tau) d\tau \int_{-\tau_2}^{\tau_2} p_R^2(\tau) d\tau}}$$

где $p_L(\tau)$ — импульсная характеристика на входе в левый слуховой проход и $p_R(\tau)$ — это для правого слухового прохода.

Коэффициент междушной взаимной корреляции IACC определяется по формуле:

$$МАКК_{\tau_1, \tau_2} = \text{Макс}_{\tau_1, \tau_2} \text{ИАКФ}_{\tau_1, \tau_2}(\tau), \text{ для } 1 \text{ PC} - \tau_1 \text{ PC}$$

Относительно выбора сроков предлагались разные подходы. τ_1 и τ_2 и частотная фильтрация сигналов, а стандарт ISO3382 гласит, что использование IACC еще не принято единообразно.

Самая общая форма IACC определяется с помощью $\tau_1 = 0$ и $\tau_2 = \infty$ (в акустике помещения время порядка времени реверберации) и для широкой полосы частот. Для более детального анализа IACC обычно измеряется в октавных полосах частот от 125 Гц до 4000 Гц. Эта форма IACC в ARTA обозначается как IACC_Э.

IACC можно измерить, чтобы описать различие поступления сигнала в два уха, либо для ранних отражений IACC, либо для ранних отражений. ($\tau_1 = 0$ и $\tau_2 = 80$ мс) или для позднего реверберирующего звука IACC_Л ($\tau_1 = 80$ мс и $\tau_2 = \infty$).

По Беранеку[46] значение $(1 - IACC_E)$ коррелирует с субъективным восприятием пространства (или видимой ширины источника звука – AWS) и величиной $(1 - IACC_L)$ коррелирует с субъективным восприятием себя «окутанным звуком». Он обозначает $(1 - IACC_L)$ как слушатель в побег - ЛЕВ. Беранек обнаружил, что пространство тесно связано с IACC_Э в трёх верхних полосах частот: 500 Гц, 1 кГц и 2 кГц. Он использует усредненный IACC_Э оценить:

$$МАКК_{ЭЗ} = (IACC_{Э, 500 \text{ Гц}} + МАКК_{Э, 1000 \text{ Гц}} + МАКК_{Э, 2000 \text{ Гц}}) / 3$$

и определяет три категории:

| Категория | МАКК _{ЭЗ} | 1-IACC _{ЭЗ} |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| От отличного до превосходного | 0,28 - 0,38 | 0,62 - 0,72 |
| От хорошего до отличного | 0,39 - 0,54 | 0,46 - 0,61 |
| От хорошего до хорошего | 0,55 - 0,59 | 0,41 - 0,45 |

Беранек обнаружил, что для охвата слушателя комнаты с оценкой «отлично» имеют $(1 - IACC_L) = 0,13$, а у получивших оценку «хорошо» $(1 - IACC_L) = 0,15$.

Хотя параметры LF и IACC относятся к одному и тому же субъективному качеству, на практике они не сильно коррелируют. Дело в том, что НЧ и IACC подчеркивают разные частотные диапазоны. НЧ в основном измеряется в четырех самых низких октавах: 125 Гц, 250 Гц, 500 Гц и 1000 Гц, тогда как IACC скорее следует измерять в октавных полосах выше 500 Гц. Значения IACC всегда будут высокими в нижних октавах, поскольку расстояние между ушами (<30 см) мало по сравнению с 1/4 длины волны (≈ 70 см при 125 Гц).

Измерение пространственных параметров

Для измерения пространственных параметров необходима звуковая система с двумя микрофонными входными каналами. Для измерения IACC необходимо использовать два небольших одинаковых микрофона у входа в ушной канал.

манекена или настоящей головы. Для измерения доли боковой энергии всенаправленный микрофон следует подключить к левому каналу, а двенаправленный микрофон — к правому каналу. Микрофоны должны быть откалиброваны, должна быть известна хотя бы средняя разница в чувствительности.

Измерение координируется из диалогового окна 'Измерение пространственных акустических параметров', что показано на рис. 7.9. Диалог открывается командой меню 'Анализ->Пространственно-акустические параметры'.

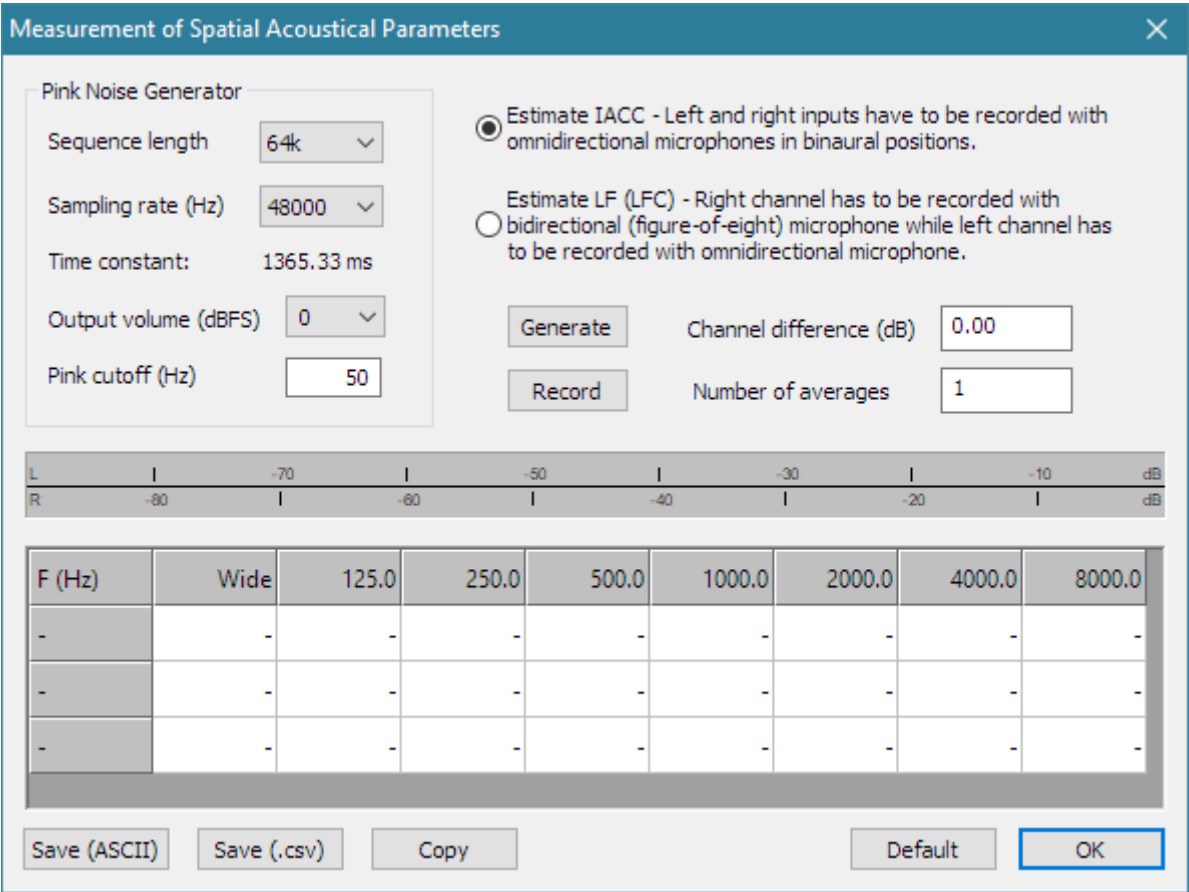


Рисунок 7.9Диалог измерения пространственных акустических параметров

Диалоговое окно содержит несколько элементов управления для настройки измерения, панель пикового измерителя для мониторинга входных уровней, таблицу отчета и кнопки для команд, а именно:

- Оценка IACC** Радиокнопка – выбирает настройку измерения для IACC. **Оценка LF (LFC)** Радиокнопка – выбирает настройку измерения для ЛЧ (LFC). **Длина последовательности** Поле со списком – выбирает длину генерируемого генератором периодического шума. **Частота выборки** Поле со списком – выбирает частоту дискретизации.
- Выходной объем** Поле со списком – устанавливает громкость выходного сигнала (в дБ относительно полной шкалы). **Розовый срез (Гц)** Поле редактирования – устанавливает срез низких частот для генератора розового шума.
- Разность каналов (дБ)** Поле редактирования – вводит разницу чувствительности между микрофоном левого и правого канала.
- Количество средних значений** Поле редактирования – вводит номер усреднения.
- Генерировать** кнопка – запускает генерацию розового шума и мониторинг входного пика.
- Записывать** кнопка – запускает измерение и оценку пространственного параметра. После этой операции в Таблице содержится отчет о пространственных параметрах.
- По умолчанию** кнопка - устанавливает настройки по умолчанию.
- Копировать** кнопка - копирует отчет таблицы в буфер обмена.

Сохранить (ASCII)кнопка - сохраняет отчет в текстовом файле ASCII.
Сохранить (.csv)Кнопка — сохраняет отчет в файле .csv в формате Excel.

Использование 'Разница каналов'Поле редактирования - требует некоторых пояснений. Здесь пользователь должен ввести разницу между чувствительностью левого и правого канала (в дБ). Если используется калиброванная система, то правильное значение составляет $20 \log_{10}(\text{чувствительность по оси микрофона левого канала} / \text{чувствительность микрофона по оси правого канала})$. Если используется некалиброванная система с потенциометрами на левом и правом каналах, лучше всего контролировать отклик обоих каналов, направив главные оси обоих микрофонов к источнику звука, и отрегулировать потенциометр для получения одинакового отклика. В этом случае разница каналов равна 0 дБ. После этой регулировки двуправленный микрофон должен быть ориентирован нулевой характеристикой в виде восьмерки в сторону источника звука.

Оценка пространственных параметров по ранее измеренным импульсным характеристикам

Если измерительная система имеет только один микрофонный канал, для оценки пространственных параметров необходимо загрузить в окно импульсной характеристики два измеренных импульсных отклика: один как текущий IR, а другой как наложенный IR. Для оценки боковой энергии отклик микрофона в виде восьмерки должен быть загружен как наложение. В том случае, когда окно импульсной характеристики содержит наложение, команда меню «Анализ»-> **Пространственные акустические параметры**', открывает диалоговое окно, показанное на рисунке 7.9. Для проведения оценки пространственных параметров пользователю необходимо выбрать тип параметров (IACC of LF) и нажать кнопку 'Оценивать'.

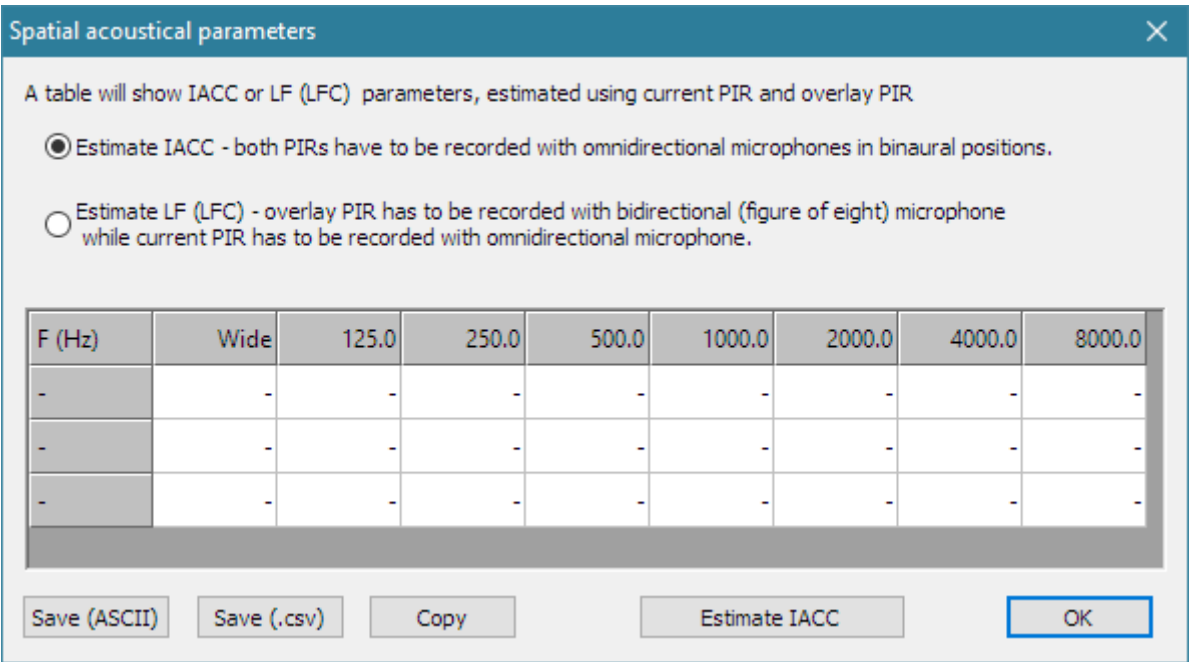


Рисунок 7.10Диалог оценки пространственных акустических параметров по ранее измеренному импульсу
ОТВЕТЫ

Примечание:не рекомендуется использовать этот метод для оценки IACC, поскольку оценка корреляции сильно зависит от временных изменений среды измерения.

8 Разборчивость речи

8.1 MTF – функция передачи модуляции

Реверберация и шум ухудшают модуляцию речи в реальных помещениях. Хаутгаст и Стеенекен [45] определили, что модуляция естественной речи находится в диапазоне частот от 0,5 до 12,5 Гц. Они определили функцию передачи модуляции (MTF) как функцию, которая показывает, как система и окружающая среда ухудшают речевую модуляцию в этом диапазоне.

Ссылаясь на рис. 8.1, мы можем просто определить MTF как отношение индекса модуляции на выходе системы m_o к индексу модуляции на входе системы m_i . Максимальное значение и идеальное значение MTF равно 1.

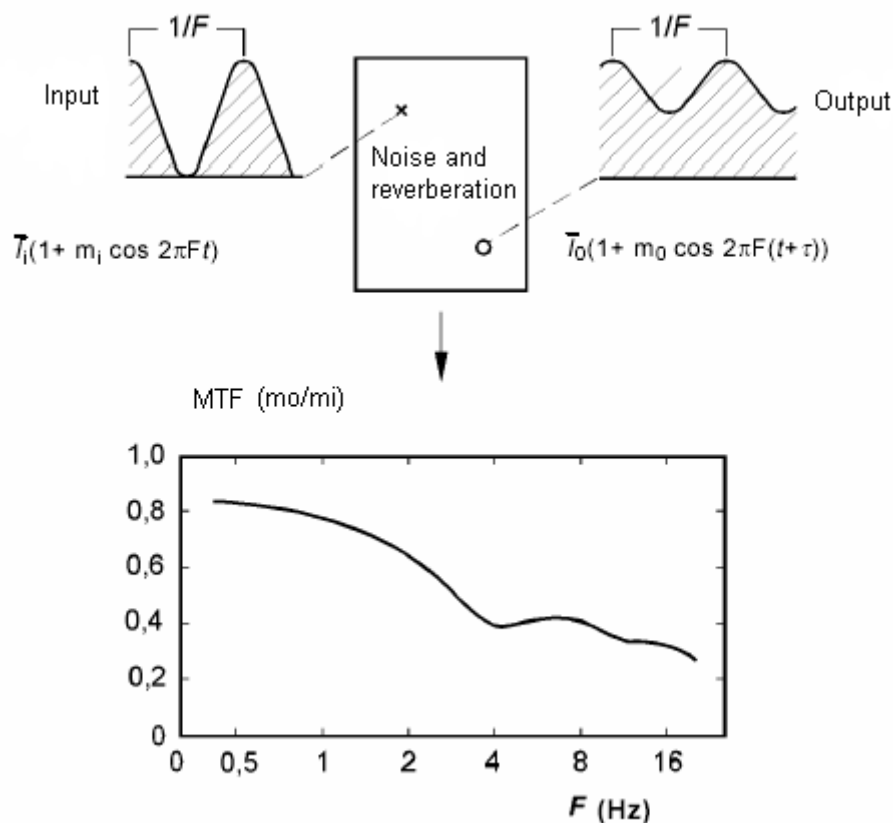


Рисунок 8.1 Иллюстрация определения передаточной функции модуляции

Существует два метода измерения MTF. Первый, обычно называемый *прямой метод*, измерьте отношение индекса модуляции модулированного шума входной октавной полосы к индексу модуляции выходного сигнала. Второй метод, названный *косвенный метод*, использует импульсную характеристику системы для получения MTF. Шредер дал выражение для оценки MTF, используя импульсную характеристику громкоговорителя, как $m(\Phi)$:

$$m(\Phi) = \frac{\int_0^\infty -\cos(\tau) e^{-\alpha\tau} d\tau}{\int_0^\infty -\cos(\tau) d\tau}$$

где Φ — частота модуляции.

Согласно этому определению, MTF пропорционален преобразованию Фурье квадрата импульсной характеристики. Знаменатель, представляющий полную энергию, нормализует выражение.

Четыре явления определяют измеренное значение MTF: реверберация, шум, нелинейные искажения системы и спектральные изменения (т.е. полосовая фильтрация).

Поскольку MTF зависит от шума, во время измерения импульсной характеристики мы не должны использовать усреднение, поскольку оно снижает шум. Кроме того, мы не должны использовать синусоидальное возбуждение, поскольку оно уменьшает нелинейные искажения импульсной характеристики.

И наоборот, если мы хотим определить MTF с уменьшенным влиянием шума и искажений, мы можем использовать шумовое возбуждение с усреднением или синусоидальным возбуждением с качающейся частотой. Такое значение MTF мы называем «*бесшумный MTF*». Если у нас есть только шум, ухудшающий речевую модуляцию, то мы можем получить правильное значение MTF на основе известного отношения сигнал/шум (*ОСШ*):

$$M_{ОСШ} = \frac{1}{1 + 10^{(-ОСШ/10)}}$$

Это выражение можно использовать для оценки MTF для различных *ОСШ* из измеренного MTF без шума нам просто нужно умножить *бесшумный MTF* на *М(ОСШ)*.

MTF обычно рассчитывается для каждой 1/1-октавной полосы от 125 до 8000 Гц, чтобы учесть спектральные изменения речи. ARTA отображает MTF для каждой импульсной характеристики, отфильтрованной октавной полосой, в отдельном окне (рис. 8.2), которое активируется из окна IMP щелчком по меню **'Анализ- > Функция передачи модуляции'**.

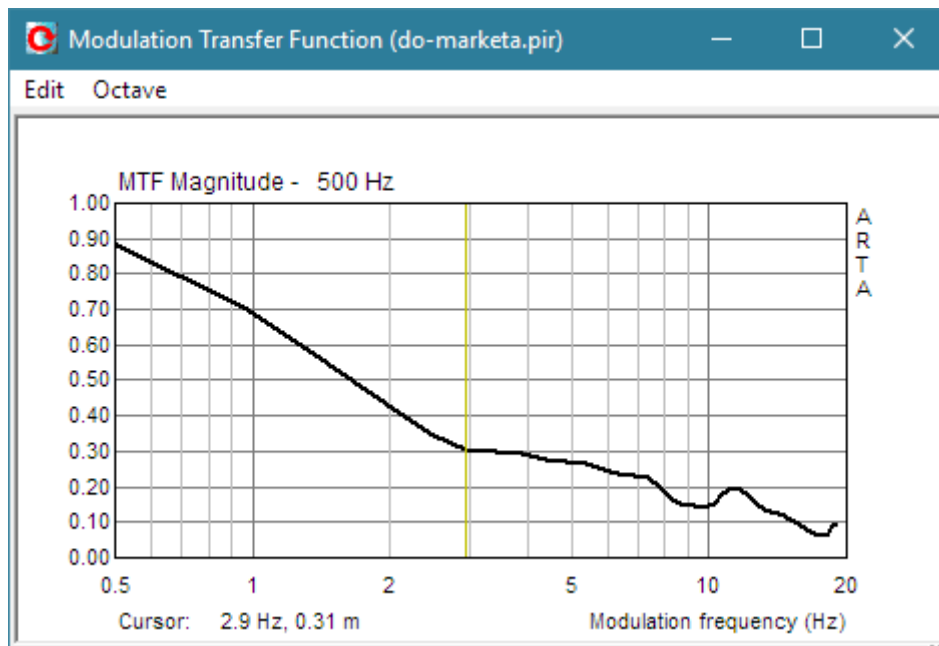


Рисунок 8.2 Окно функции передачи модуляции

Подменю **'Октава'** используется для настройки октавной полосы и подменю **'Редактировать'** используется для копирования растрового изображения графика в буфер обмена и изменения цвета фона.

Психоакустическая коррекция МТФ

Стандарт IEC-60268-16 использует MTF в качестве основы для расчета индекса разборчивости речи, но расширяет расчет MTF, включив в него психоакустические эффекты маскировки и порог восприятия речи, который по сути представляет собой порог слышимости, выраженный в уровнях октавной полосы.

Маскирование учитывается таким образом, что если интенсивность звука в октавной полосе меньше интенсивности в предыдущей полосе, то индекс модуляции уменьшается за счет маскирующего эффекта так же, как и шум. Эффект маскировки преобладает на больших уровнях речи, на нормальных уровнях речи он очень мал.

Включение маскирующих эффектов возможно только при условии, что уровни октавных полос $M_{\text{я}}(F)$ измеряются или оцениваются для конкретного положения слушателя. Короче говоря, чтобы получить исправленные значения $MTF_{M_{\text{я}}}(F)$ от значений $M(F)$, для я -я октавная полоса и частота модуляции $F_{\text{м}}(F)$ используем формулу:

$$M'_{\text{я}}(F) = M_{\text{я}}(F) - \frac{J_{\text{с,я}}}{J_{\text{с,я}} + J_{\text{РТ,я}} + J_{\text{АМ,я}}}, \quad (J' = 10 \lg 10)$$

где:

$J_{\text{с,я}}$ — интенсивность звука измеряется в октавной полосе я ,

$J_{\text{РТ,я}}$ — интенсивность порога приема в октавной полосе я , $J_{\text{АМ,я}}$ —

интенсивность слуховой маскировки в октавной полосе я .

Значения пороговых интенсивностей приема $J_{\text{РТ,я}}$ и метод расчета интенсивности маскировки $J_{\text{АМ,я}}$ приведены в стандарте IEC-60268-16:2011.

Значения $MTF_{M_{\text{я}}}(F)$, для сокращенного набора частот модуляции используются в методах оценки разборчивости речи, которые описаны в следующем разделе.

8.2 STI – Индекс передачи речи

8.2.1 Как стандарт IEC определяет STI

Стандарт IEC-60268-16 определяет метод оценки разборчивости речи и дает рейтинг под названием STI (индекс передачи речи), который близок к субъективному показателю разборчивости. Метод STI применим в линейных широкополосных системах. Его нельзя использовать для тестирования вокодеров, т.е. прогнозирующего кодирования LPC, CELP и RELP в GSM.

Тот же стандарт также определяет упрощенные методы оценки разборчивости речи: метод STIPA (STI для систем громкой связи), метод STITEL (STI для телекоммуникационных систем) и метод RASTI (Rapid STI). Было обнаружено, что метод STIPA хорошо сравнивается с полным STI в условиях испытаний, которые могут встречаться в различных системах РА.

STI анализирует передаточную функцию модуляции с 14 частотами модуляции (от 0,63 Гц до 12,5 Гц, с интервалом 1/3 октавы) и в семи октавных полосах (от 125 Гц до 8 кГц). В таблице 1 показаны все частоты. Рейтинг STI получается путем суммирования и усреднения MTF, как описано ниже. STI можно измерить напрямую, генерируя модулированный шумовой сигнал для каждого диапазона, что требует большой продолжительности измерения, или косвенно, вычисляя MTF на основе измеренной импульсной характеристики. АРТА использует косвенный метод.

STIPA анализирует передаточную функцию модуляции в семи октавных полосах (от 125 Гц до 8 кГц), каждая из которых модулируется двумя частотами модуляции. Рейтинг STIPA получается путем суммирования и усреднения MTF так же, как и STI, но он проверяется только для мужского речевого спектра.

STITEL использует одну частоту модуляции на диапазон (1,12, 11,33, 0,71, 2,83, 6,97, 1,78 и 4,53 Гц).

Метод RASTI использует только две октавные полосы и 9 частот модуляции. В диапазоне 500 Гц используются четыре частоты модуляции (1, 2, 4 и 8 Гц), а в диапазоне 2000 Гц используются 5 частот модуляции (0,7, 1,4, 2,8, 5,6 и 11,2 Гц). Стандарт IEC-60268-16:2011 считает метод RASTI устаревшим.

| ЖяОКТава ФкМОД. | 125 Гц | 250 Гц | 500 Гц | 1000 Гц | 2000 г. Гц | 4000 Гц | 8000 Гц |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|------------|---------------|------------|------------|
| 0,63 Гц | | | О | | | | |
| 0,80 Гц | | | | | | О | |
| 1,00 Гц | | О | | | | | |
| 1,25 Гц | | | | | О | | |
| 1,60 Гц | О | | | | | | |
| 2,00 Гц | | | | О | | | |
| 2,50 Гц | | | | | | | О |
| 3,15 Гц | | | О | | | | |
| 4,00 Гц | | | | | | О | |
| 5,00 Гц | | О | | | | | |
| 6,25 Гц | | | | | О | | |
| 8,00 Гц | О | | | | | | |
| 10,00 Гц | | | | О | | | |
| 12,50 Гц | | | | | | | О |

Таблица 8.1 Частоты модуляции и частоты октавного диапазона для STI (круги показывают модуляцию частоты, используемые в STIPA).

Порядок расчета рейтинга STI по заданному MTF следующий:

1. Для всех значений $MTF_{Mk}(\Phi_k)$ отношение сигнал/шум для сигнала модуляции определяется как:

$$ИКС(\Phi_k) = 10 \cdot \lg \left(\frac{M_k(\Phi_k)}{1 - M_k(\Phi_k)} \right),$$

где Φ_k обозначает октавную полосу ($k=1,2,...,7$) и Φ_k обозначает частоту модуляции ($k=1,2,...,14$).

2. Ограничить ценность $ИКС_k$ до -15 дБ.

3. Метод STI утверждает, что соотношение сигнал/шум модуляции в диапазоне от -15дБ до 15дБ линейно зависит от рейтинга разборчивости в диапазоне от 0 до 1. Вот почему; Отношение сигнал/шум преобразуется в новое значение, называемое индексом передачи TI:

$$ТИ_k = \frac{ИКС_k + 15}{30}$$

3. Среднее значение $ТИ_k$ для каждой октавной полосы, называемый октавным индексом передачи – ОТИ, определяется как:

$$ОТИ_k = \frac{1}{14} \sum_{k=1}^{14} ТИ_k(\Phi_k)$$

4. Наконец, рейтинг STI, выраженный как одно значение, рассчитывается по уравнению:

$$НТИ = \sqrt[6]{\frac{1}{7} \sum_{k=1}^7 ОТИ_k}$$

где весовые коэффициенты α_k экспериментально определены для мужской и женской речи. Они и определены в стандарте IEC 60268-16:2011.

Значения STI всегда находятся в диапазоне от 0 до 1. Эквивалентные субъективные оценки приведены в таблице 8.2.

| Диапазон STI | Эквивалентный субъективный рейтинг |
|-----------------------------|------------------------------------|
| $0,00 < \text{ИППП} < 0,30$ | Плохой |
| $0,30 < \text{ИППП} < 0,45$ | Бедный |
| $0,45 < \text{ИППП} < 0,60$ | Справедливый |
| $0,60 < \text{ИППП} < 0,75$ | Хороший |
| $0,75 < \text{ИППП} < 1,00$ | Отличный |

Таблица 8.2 ИППП - эквивалентный субъективный рейтинг

Помимо эквивалентного субъективного рейтинга STI, стандарт IEC 60269-16:2011 определяет квалификационные диапазоны STI как более подробный рейтинг. Квалификационный диапазон обозначается заглавными буквами, как показано в Таблице 8.3.

| Квалификационная группа | Диапазон STI | Примеры типичного использования |
|-------------------------|---------------|---------------------------------|
| A+ | $> 0,76$ | Студии звукозаписи |
| A | $0,72 - 0,76$ | Театры, суды, зрительные залы |
| B | $0,68 - 0,72$ | Театры, суды, зрительные залы |
| C | $0,64 - 0,68$ | Театры, парламенты |
| D | $0,60 - 0,64$ | Классы, Лекции |
| Э | $0,56 - 0,60$ | Концертные залы |
| Ф | $0,52 - 0,56$ | ПА в торговых центрах |
| г | $0,48 - 0,52$ | Торговые центры, офисы |
| ЧАС | $0,44 - 0,48$ | ПА в сложных условиях |
| я | $0,40 - 0,44$ | ПА в очень сложных условиях |
| Дж | $0,36 - 0,40$ | Не подходит для ПА |
| ты | $< 0,36$ | Не подходит для ПА |

Таблица 8.3 STI – квалификационные диапазоны

Значение измеренного STI зависит от шума окружающей среды, реверберации, уровня сигнала и искажений системы. Поскольку ARTA использует косвенный метод для оценки STI на основе измеренной импульсной характеристики, мы должны дифференцировать методы, которые сохраняют соотношение сигнал/шум и искажения.

Известно, что при измерении импульсной характеристики усреднение снижает шум, а использование качающегося синусоидального возбуждения уменьшает искажения.

Мы также должны различать оценку STI для усиленного и неусиленного голоса, поскольку они имеют разные условия сигнал/шум.

Мы должны учитывать любое нелинейное поведение при измерении разборчивости речи через звуковую систему. Для правильных измерений необходимы следующие условия:

- Тестируемая система не должна вносить частотные сдвиги или использовать умножение частоты.
- Тестируемая система не должна содержать вокодеры, такие как LPC, CELP и RELP.
- Передача речи должна быть по существу линейной, со сжатием или расширением амплитуды, ограниченным 1 дБ, и без ограничения пиков.
- В тестируемой системе не должно быть выпадений.

8.2.2 Измерение STI для неусиленного речевого сигнала

Настройка измерительных устройств и сигналов

Измерительная установка должна генерировать сигнал возбуждения, подобный речи, который имитирует естественный голос говорящего без какого-либо усиления. Этот сигнал следует воспроизводить с помощью искусственного рта или небольшого

громкоговоритель (с диаметром мембраны менее 10 см и размером мембраны, близким к размеру человеческой головы).

Речеподобный сигнал реализуется как шумовой сигнал, имеющий спектр октавной полосы, определенный в таблице 8.4. ARTA реализовала генератор речевого сигнала под названием Speech PN.

| Октавная полоса (Гц) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 г. | 4000 | 8000 | A-взвешенный |
|---------------------------------------|-----|-----|-------|-------|---------|--------|--------|--------------|
| Референтный уровень мужской речи (дБ) | 2,9 | 2,9 | - 0,8 | - 6,8 | - 18,8 | - 12,8 | - 24,0 | 0,0 |
| Референтный уровень женской речи (дБ) | - | 5.3 | - 1,9 | - 9,1 | - 15,8 | - 16,7 | - 18,0 | 0,0 |

Таблица 8.4 Уровни речевого шума в октавных полосах для мужчин и женщин (уровни нормированы чтобы дать A-взвешенный уровень 0,0 дБ)

Частотная характеристика искусственного рта или небольшого громкоговорителя должна быть ровной (в пределах ± 1 дБ в октавных полосах). Этого трудно достичь, но ARTA позволяет использовать компенсацию частотной характеристики для выравнивания отклика громкоговорителя.

Чтобы использовать компенсацию FR, нажмите команду меню **'Анализ->Компенсация FR искусственного рта'**.

Откроется диалоговое окно, показанное на рис. 8.3. это почти то же самое, что и диалоговое окно для компенсации помех микрофона.

Здесь необходимо сделать две вещи. Сначала пользователь должен загрузить частотную характеристику искусственного рта из файла ASCII (.txt, .mic или .frd), который содержит частотную характеристику, сглаженную в 1/3 октавных полосах. Во-вторых, отклик должен быть нормализован, чтобы показывать 0 дБ вблизи частоты 500 Гц.

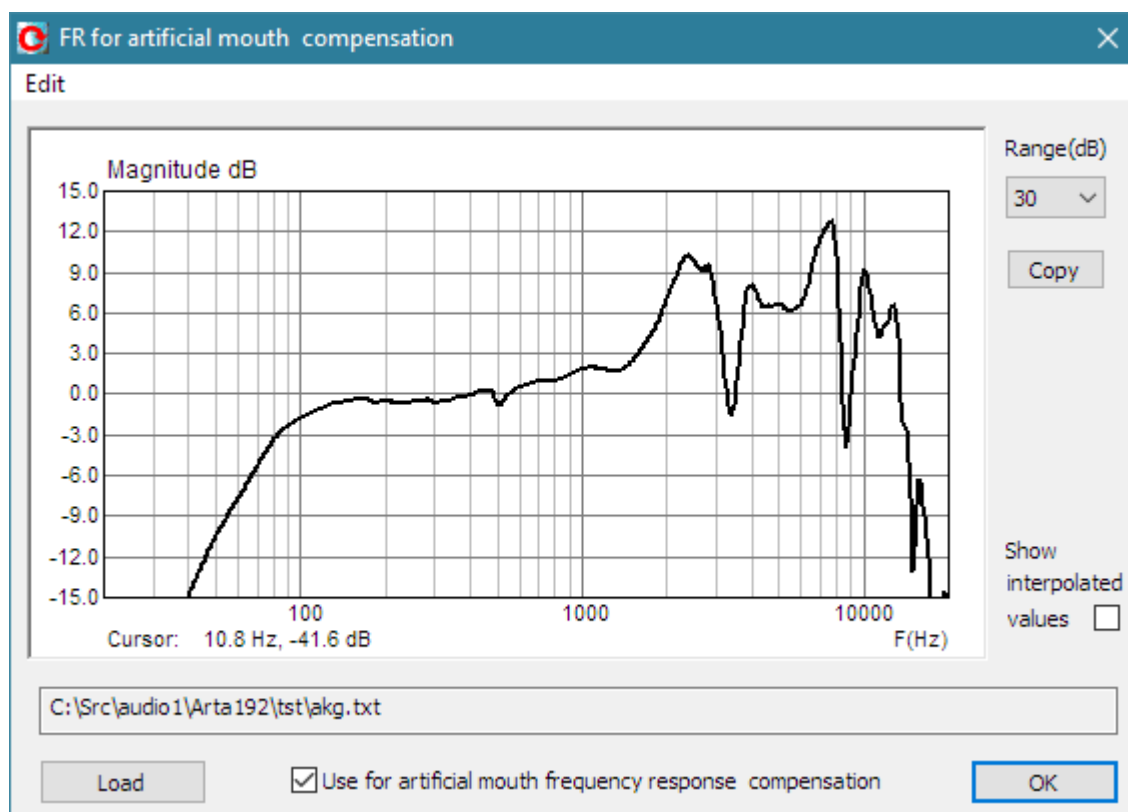


Рисунок 8.3 Диалоговое окно для настройки компенсации частотной характеристики искусственного рта. На графике показан отклик небольшого мультимедийного громкоговорителя, используемого в качестве искусственного рта.

Пользователь должен настроить искусственный отклик рта и A-взвешенный уровень звукового давления так, чтобы он имитировал неусиленную речь. Измерение реакции искусственного рта на речеподобные сигналы можно осуществить с помощью диалогового окна, представленного на рис. 8.4. Диалоговое окно открывается нажатием команды меню **'Анализ->Октавный шум и**

уровни речи для оценки STI. Измерительный микрофон должен быть расположен на расстоянии 1 м перед искусственным ртом. Стандарт предписывает, что

- если мы хотим оценить разборчивость речи говорящего между говорящими, звуковое давление, генерируемое искусственным ртом, с A-взвешенным значением, должно быть отрегулировано до значения 60 дБА,
- Если мы хотим оценить разборчивость речи говорящего в аудитории, взвешенный уровень звукового давления, генерируемый искусственным ртом, следует отрегулировать до значения 70 дБА, чтобы имитировать повышенный уровень голоса.

На рис. 8.4 показан пример измерения уровней речевого PN. Тот же диалог можно использовать для измерения шума окружающей среды, пользователю просто нужно снять флажок **Генерировать речевой шум**.

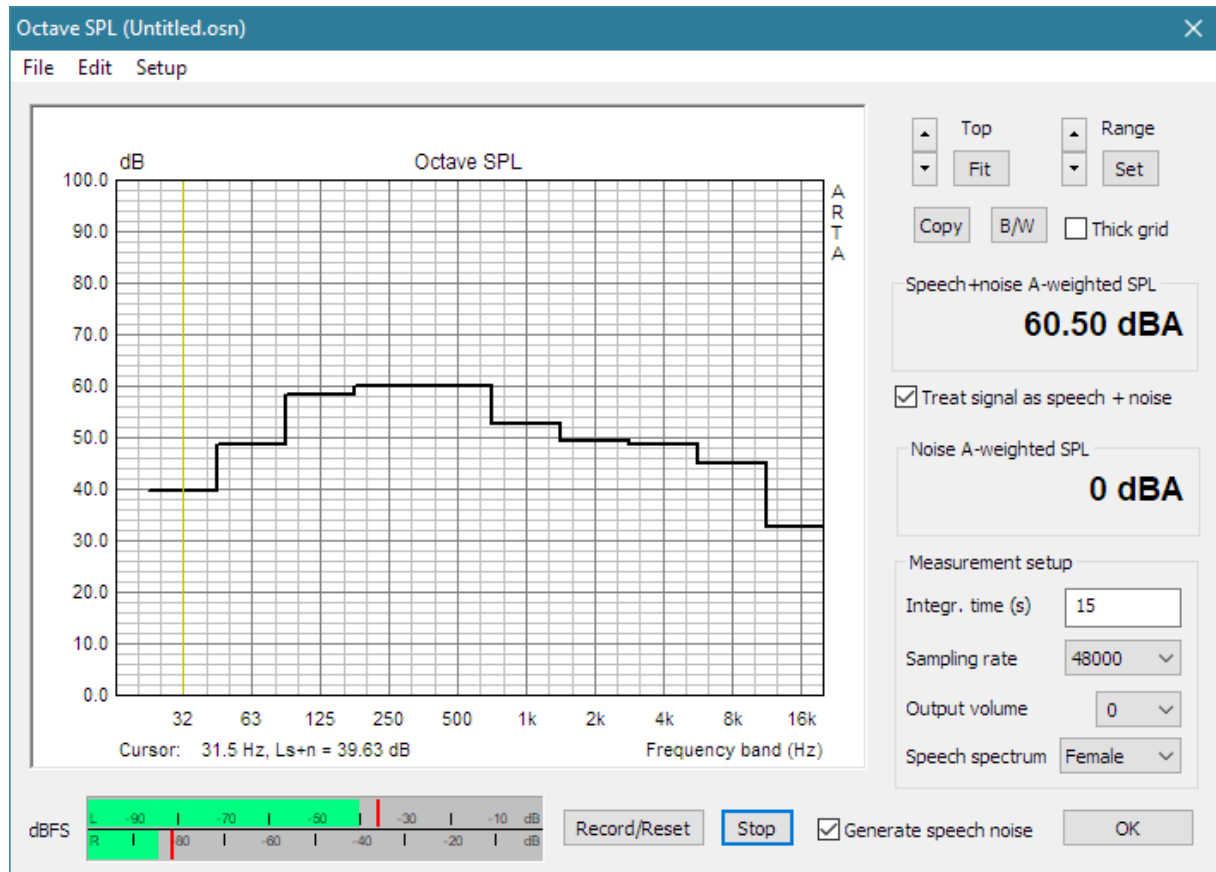


Рисунок 8.4Диалоговое окно измерения уровней шума и речи в октавных полосах

Диалоговое окно содержит обычные элементы управления для настройки графика и следующие элементы управления для настройки измерений:

Интегр. Время Поле редактирования — устанавливает время интегрирования в секундах (стандартно требуется 15 с для измерения уровня шума) **Частота**

выборки Поле со списком — устанавливает частоту дискретизации 48 000 или 44 100 Гц.

Выходной объем Поле со списком — устанавливает уровень выходной громкости от -20 до 0 дБ с шагом 1 дБ (тот же уровень будет использоваться при измерении импульсной характеристики с речевым PN-возбуждением)

Речевой спектр Поле со списком — устанавливает тип спектра речи: «Мужской» или «Женский». **Запись/Сброс** кнопка — запуск или сброс измерения октавных уровней и A-взвешенного уровня звукового давления **Останавливаться** кнопка — останавливает измерение.

Генерировать речевой шум флажок — если флажок установлен, нажмите кнопку «Запись» также запускает генератор речевого PN, и элементы управления отображают октавные уровни и A-взвешенный уровень звукового давления речевого сигнала, в противном случае элементы управления показывают октавный и A-взвешенный уровень шума. На графике одновременно показаны обе кривые.

Рассматривайте сигнал как речь+шум -Если этот флажок установлен, мы предполагаем, что результаты измерений показывают уровень речевого сигнала плюс шум, в противном случае мы предполагаем, что шум намного меньше, чем речевой сигнал, и измерения показывают уровень речевого сигнала.

В меню есть следующие пункты:

Файл

Открыть-откройте файл с расширением имени «.osp», содержащий уровни речи и шума.

Сохранять-сохранять уровни речи и шума в файле с расширением имени «.osp». **Экспорт ASCII**-сохраняет измеренный уровень речевого сигнала и шума в текстовом файле

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Настраивать

Аудиоустройства-открывает диалог настройки аудиоустройств **Калибровка**

аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств

Таким образом система настраивается на измерение разборчивости неусиленной речи в любой части помещения.

Измерение STI (ИК-метод)

Измерение СТИ (СТИПА или СТИТЕЛ) следует производить с использованием системы измерений. готовятся, как описано в предыдущем разделе. Процедура измерения состоит из следующих этапов:

1. Установите микрофон в положение, в котором вы хотите измерить STI (СТИПА или STITEL).
2. Переведите ARTA в режим импульсного отклика и нажмите команду **Запись->Импульсный отклик**. Откроется диалоговое окно с четырьмя страницами. Выберите страницу **Периодический шум** (см. рис. 8.5)
3. Выберите тип сигнала возбуждения **Мужская речь** или **Женская речь**. Установите усреднение на 1. Оставьте регулятор громкости в том же положении, которое использовалось на этапе подготовки.
4. Выберите длину периодической последовательности. Период периодического шума должен быть больше периода самой низкой частоты модуляции. (т.е. больше, чем $1/0,63 \text{ Гц} = 1,58 \text{ секунды}$). Это означает, что количество выборок за один период (длина БПФ) должно быть больше 1,58. Φ . В таблице 8.5 указана правильная длина последовательности. Длина последовательности также должна соответствовать критериям измерения ИК-излучения в ревербирующих помещениях. Общее время должно быть больше времени реверберации. В ARTA максимальная длина последовательности составляет 256 тысяч выборок.

| Фс (Гц) | 48000 | 44100 | 32000 |
|--------------------------|----------|----------|---------|
| Длина последовательности | 128 тыс. | 128 тыс. | 64 тыс. |

Таблица 8.5 Минимальная длина БПФ для измерений STI

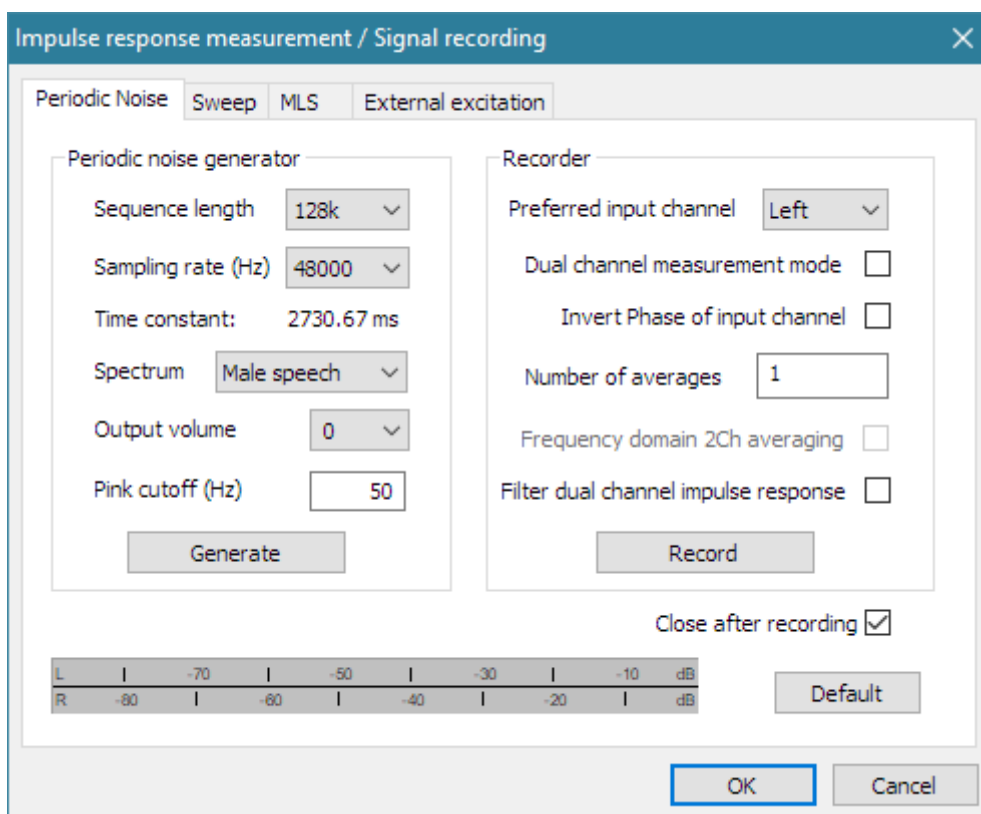


Рисунок 8.5 Страница измерения импульсной характеристики с периодическим шумом

5. Произведите измерение импульсной характеристики.
6. По завершении измерения в окне Импульсный отклик щелкните команду меню. **Анализ->ИПП** или щелкните значок на панели инструментов **ИТИ**.
7. ARTA предоставит отчет о значениях MTF, значениях OTI и рейтингах STI в окне STI (показано на рис. 8.6).
Результаты приведены для неусиленной речи, без коррекции эффекта маскировки (в этом случае влияние шума учитывается при измерении импульсной характеристики без усреднения).

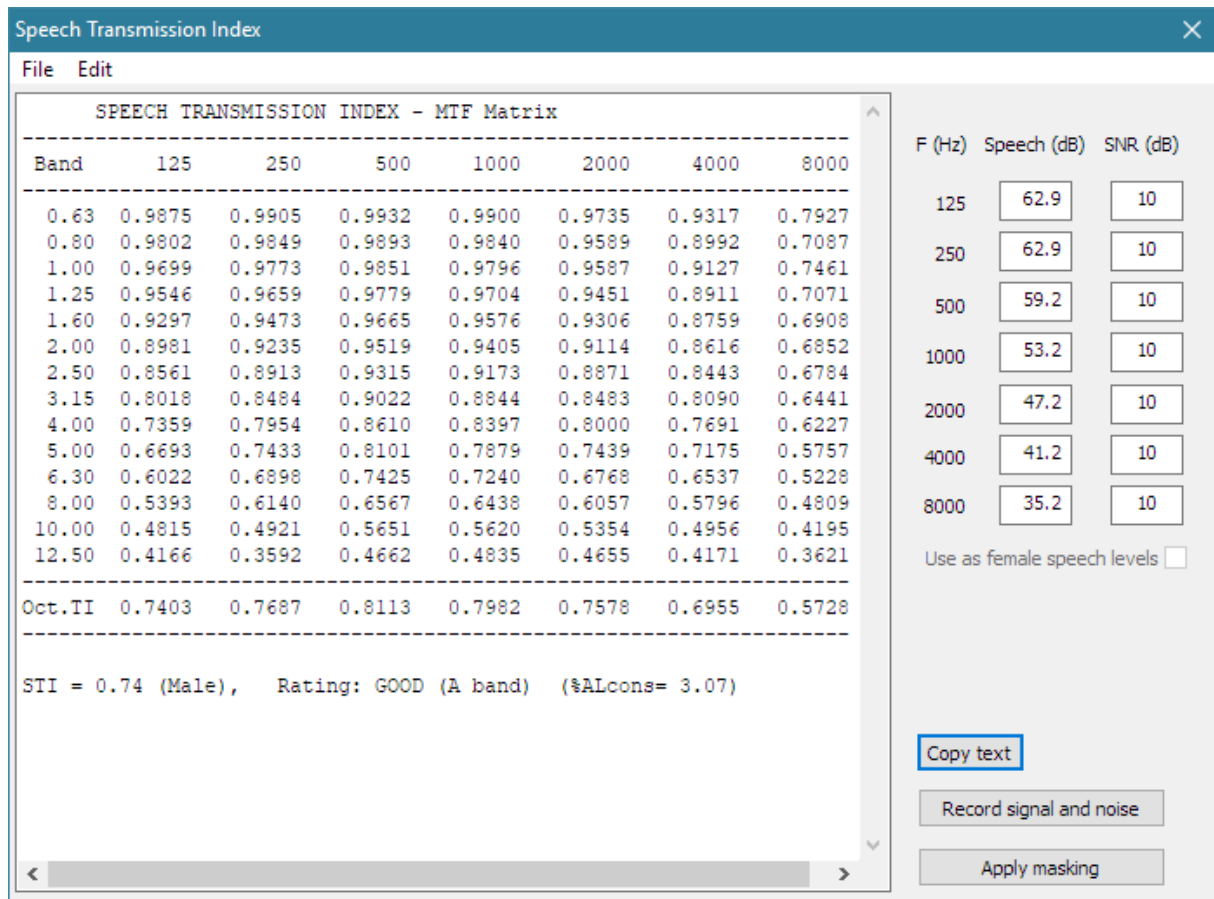


Рисунок 8.6 окно НТИ

Окно STI содержит:

Отчетнокно – показывает результат расчета STI,

Редактировать поля – вводятся значения звукового давления речи и ОСШ для семи октавных полос. **Копировать текст**кнопка – копирует текст окна отчета в буфер обмена

Запись сигнала и шумакнопка – открывает диалог записи уровней сигнала и шума **Применить маскирование (и SNR)**кнопка – применить коррекцию маскировки (и SNR) к расчету STI

Команды меню для окон STI:

Файл

Сохранить отчет в файле ASCII-сохраняет содержимое окна отчета в текстовом файле

Экспорт речи SPL и SNR в файл ASCII —экспортирует уровни речи и соотношение сигнал/шум для семи октавных полос. **Импортируйте SPL и SNR речи из файла ASCII**.-импортирует уровни речи и SNR для семи октавных полос (Формат файлов -> семь строк содержит три значения: частота, SPL речи и SNR)

Редактировать

Копировать текст-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Уровень записи и SNR**-открывает диалог записи уровней сигнала и шума

Применить маскирование (и SNR)-применить коррекцию маскировки (и SNR, если IR записан «без шума»)

- Если вы хотите добавить коррекцию маскировки, вам следует измерить реальный уровень сигнала и отношение сигнал/шум в позиции измерения (значения по умолчанию приведены только для справки). Нажмите кнопку **'Запись сигнала и шума'**. Откроется окно измерений, показанное на рисунке 8.7. В двух измерениях, одно с флажком **'Генерировать речевой шум'** отмечено и второе, если не отмечено, вы получите уровни

сигнал+шум и шум. Нажатие кнопки '**Подать заявку в СТИ**' закрывает диалоговое окно, значения уровня сигнала и SNR рассчитываются и устанавливаются в окно STI, показанное на рис. 8.8.

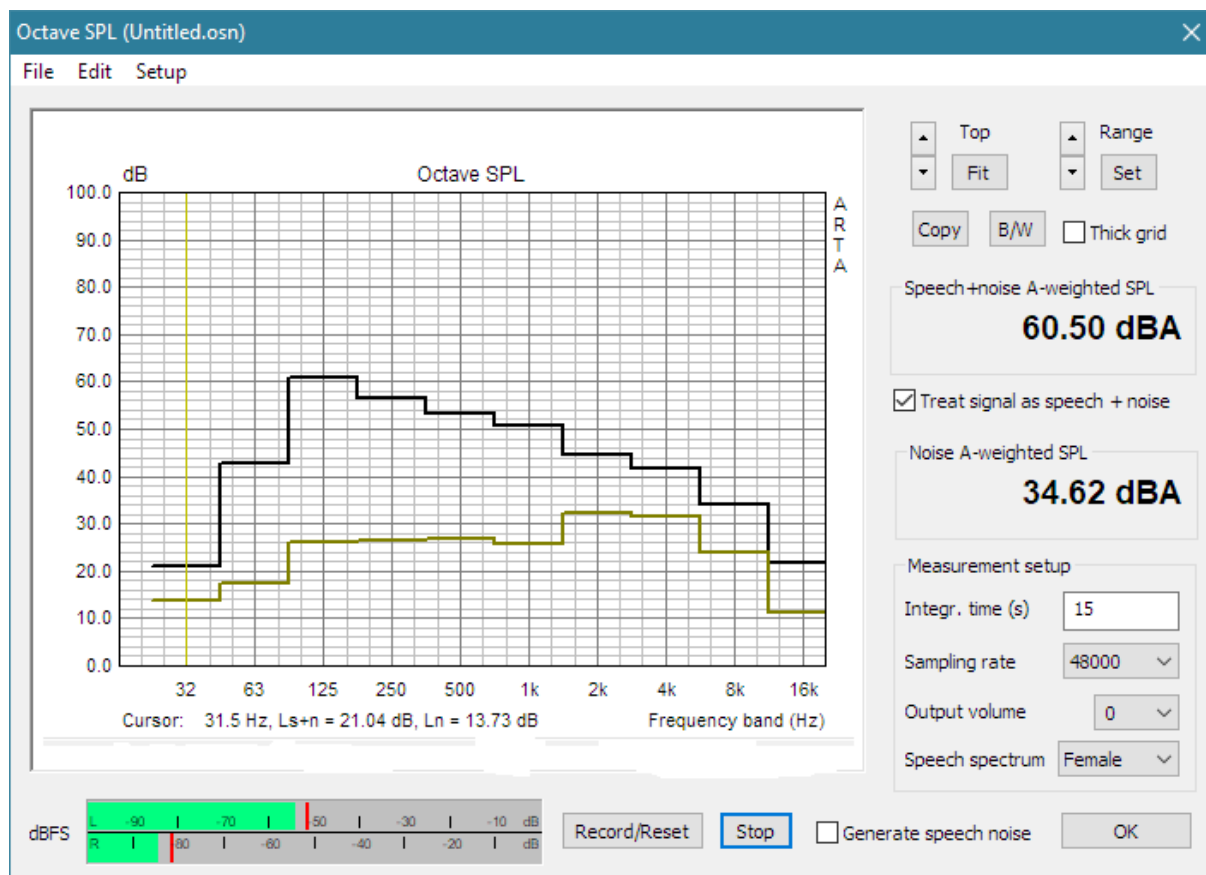


Рисунок 8.7Измерение уровня сигнала и шума

На рисунке 8.8 показан отчет STI после нажатия кнопки «**Применить маскировку**», и это был последний шаг в процедуре измерения STI.

Важно отметить, что значения STI с коррекцией маскировки и без нее в этом примере одинаковы, есть лишь небольшие различия в октавном TI. Большая разница будет наблюдаться при более высоких уровнях сигнала (выше 65 дБА). Это означает, что на практике при измерении неусиленной речи нам не нужно применять маскирующую коррекцию, но она будет обязательна при анализе усиленной речи, так как она может иметь гораздо большие уровни сигнала..

Примечание:Та же процедура используется для измерения СТИПА (и РАСТИ) с требованием, чтобы сигнал возбуждения имел мужской речевой спектр.

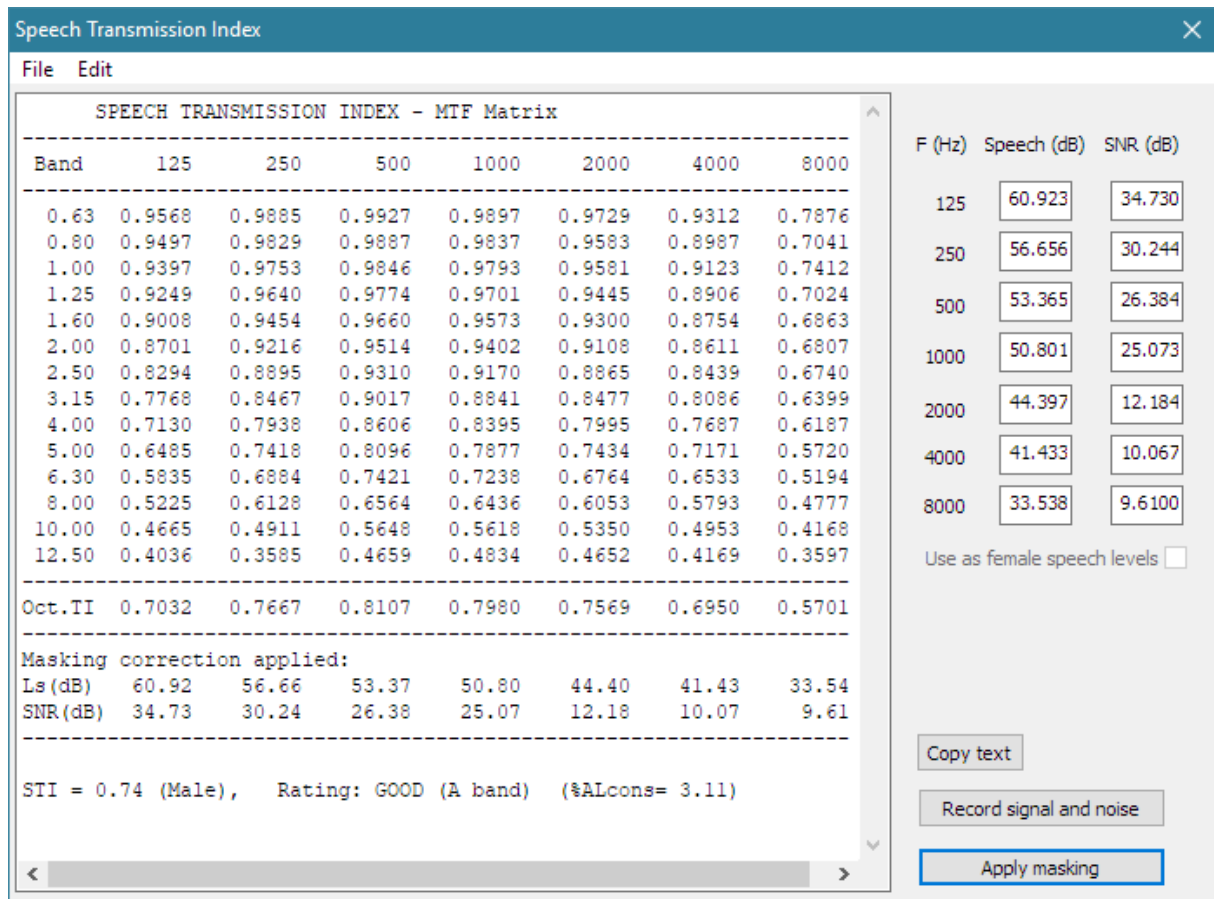


Рисунок 8.8 Отчет STI после применения коррекций маскировки

8.2.3 Измерение STI усиленного речевого сигнала

Системы оповещения громкой связи или системы экстренной помощи различаются в зависимости от того, используют ли они микрофон в той же комнате, где будут измеряться ИППП, или микрофон, который находится в изолированной комнате, или система не использует микрофон, а голосовые сообщения генерируются путем синтеза речи.

Эти факты важны:

- 1) Системы громкой связи с усилителем обычно генерируют уровень звука, значительно превышающий уровень шума, в большей части помещения, тогда как в некоторых других частях уровень сигнала может быть ближе к уровню шума. Речевой сигнал для тестирования STI получается со звуковой карты компьютера и подключается к микшеру РА.
- 2) Когда микрофон находится в помещении, где измеряется ИППП, уровни звукового давления ограничиваются акустической обратной связью, и микрофон следует возбуждать искусственным ртом.
- 3) Уровень шума в общественных местах не является постоянным, и лучшую оценку отношения сигнал/шум можно получить, увеличив время интегрирования или повторив измерения.

Мы пришли к выводу, что лучше измерить «бесшумовую» импульсную характеристику, а затем добавить поправку на маскировку и шум. Мониторинг шума можно было бы продлить и на большее время, что привело бы нас к статистически лучшей оценке STI.

Процедура измерения такая же, как и в предыдущем разделе, за исключением того, что при ИК-измерении мы должны использовать метод и сигналы, подавляющие шум и искажения. Использование Speech PN не является обязательным, так как розовый шум и качающийся синусоидальный сигнал дают большую энергию сигнала. Розовый PN дает результаты, подобные синусоидальному возбуждению, если мы выполним не менее девяти усреднений.

Поправку на маскировку и шум можно получить путем измерения; альтернативно, сигнал и шум можно оценить для некоторых пространств и сохранить в текстовых файлах для последующего использования в окне STI.

Важно отметить, что в окне STI используются значения уровня сигнала (L_s) и SNR, тогда как при измерении или оценке проще манипулировать уровнем Сигнал+шум ($L_{сн}$) и уровень шума (L_n). Для преобразования используйте эту формулу:

$$L_s = 10 \log_{10} (10^{L_{сн}/10} - 10^{L_n/10}) \text{ (дБ)}$$

$$OSI = L_s - L_n \text{ (дБ)}$$

Диапазон значений SNR, изменяющих STI, составляет от -15дБ до +15дБ. Значение SNR более 15 дБ не оказывает существенного влияния на STI. Значение SNR меньше -15 дБ означает, что STI будет плохим.

8.2.4 Измерение STI на больших расстояниях

Если нам нужно измерить STI на большом расстоянии от динамика, часто невозможно или нецелесообразно использовать очень длинные кабели.

В этом случае сигнал возбуждения следует записывать с компьютера в виде периодической последовательности и воспроизводить с того же записывающего устройства. Это обеспечит синхронность, необходимую для корреляционного анализа.

Синусоидальный сигнал более устойчив к небольшим изменениям тактовой частоты, чем периодический шум, и мы можем использовать предварительно записанный файл .wav, воспроизведенный с проигрывателя компакт-дисков, смартфона или другого компьютера. Регулятор громкости измерительного компьютера должен быть отключен, а сигнал записан с помощью ARTA в одноканальном режиме с качающейся синусоидой без усреднения. Запись должна начаться после завершения первой (или второй) последовательности синусоидальной развертки.

8.3 STI и %ALcons

Помимо рейтингов STI для мужской и женской речи, в окне STI отображается значение рейтинга разборчивости речи, называемое %AL_{минусы} (Потеря артикуляции согласных), которая была определена экспериментальной работой Пейца [63]. Он используется в архитектурной акустике с эквивалентной субъективной оценкой, приведенной в таблице 8.6.

| Субъективный рейтинг разборчивости | Потеря артикуляции согласных (%) |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Плохой | $100 < \%AL_{минусы} < 30$ |
| Бедный | $30 < \%AL_{минусы} < 15$ |
| Справедливый | $15 < \%AL_{минусы} < 6,6$ |
| Хороший | $6,6 < \%AL_{минусы} < 3$ |
| Отличный | $0 < \%AL_{минусы} < 3$ |

Таблица 8.6 Субъективный рейтинг разборчивости и эквивалентный %ALcons

Связь между STI и %ALcons определяется следующими уравнениями:

$$\%AL_{минусы} = 170.5405 - e^{-5,419 \cdot HTI}$$

$$HTI = -0,1845 - \ln(\%AL_{минусы}) + 0,9482$$

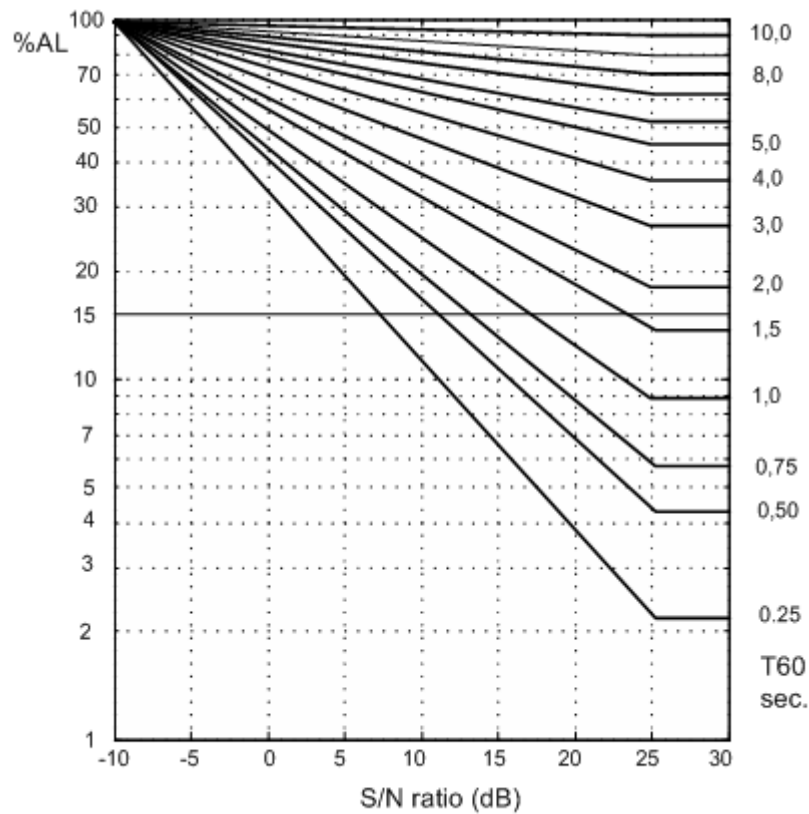


Рисунок 8.8 %AL_{минусы} в зависимости от отношения сигнал/шум и времени реверберации (экспериментальные данные для положения слушателя в поле диффузной реверберации).

%AL_{минусы} можно оценить по измеренному времени реверберации T_{60} и отношению сигнал/шум с использованием экспериментальных данных Пейтца из рис. 8.8, если слушатель расположен в поле диффузной реверберации. В противном случае, если слушатель находится в поле прямого говорящего, %AL_{минусы} можно оценить с помощью выражения:

$$\%AL_{\text{минусы}} = \frac{200 d^2 T_2}{B D^{0,2} \sqrt{\frac{B D}{T_{60}}}} \quad \text{для } d < 0,2$$

где V — объем помещения, D — направленность говорящего; d — расстояние от говорящего до слушателя. Эту формулу часто используют при архитектурных расчетах, но она не учитывает влияние шума.

Оба рейтинга разборчивости речи, STI и %AL_{минусы}, являются полезными акустическими параметрами помещения. Сравнение с субъективным рейтингом разборчивости показывает, что STI дает оценку в пределах - 5,6% от субъективной оценки, что лучше, чем 10% для %AL_{минусы}.

9 инструментов

9.1 Шаблоны направленности

9.1.1 Основные определения

Беранек [45] дает следующее определение диаграммы направленности: «*шаблон направленности* преобразователя, используемого для излучения или приема звука, — это описание, обычно представленное графически, отклика преобразователей как функции направления (угла) передаваемых или падающих звуковых волн в заданной плоскости и на заданной частоте. ».

Математически диаграмма направленности обычно выражается как функция частоты и угла измерения вне оси - в горизонтальной или вертикальной плоскости. В ARTA используются три определения:

- | | |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| 1) $p(\varphi, -)$ | $p' = \text{"константа"}$ |
| 2) $p(\varphi, -) / p(\varphi, -=0)$ | $p' = \text{"константа"}$ |
| 3) $p(\varphi, -) / p_{\text{Макс}}(\varphi)$ | $p' = \text{"константа"}$ |

Первое определение представляет собой группу частотных характеристик на постоянном расстоянии измерения r . Второе определение представляет собой группу частотных характеристик, нормализованных с частотной характеристикой при нулевом уровне. Оно может быть больше одного. Третье определение представляет собой группу частотных характеристик, нормализованных с частотной характеристикой под углом, где частотная характеристика имеет максимум. Оно всегда равно или меньше единицы. Все три определения можно использовать в ARTA для отображения графиков диаграмм направленности.

Обычно величина отклика в диаграмме направленности отображается в шкале уровня в дБ.

Помимо графического представления характеристик направленности, определяются три параметра направленности [45]:

- 1) *коэффициент направленности $Q(\varphi)$* — отношение интенсивности на обозначенной оси излучателя звука на заданном расстоянии r к интенсивности, которая создавалась бы в том же месте точечным источником, если бы он излучал ту же общую акустическую мощность, что и излучатель.
- 2) *индекс направленности $DI(\varphi)$* выражается в дБ как значение выражения $DI = 10 \log(\text{вопрос})$.
- 3) *угол ширины луча* Диаграмма направленности определяется как угол между двумя точками по обе стороны от главной оси (обычно при нулевом градусе), где уровень звукового давления ниже на 6 дБ по сравнению с его значением при нулевом градусе.

9.1.2 Типы диаграмм направленности в ARTA

ARTA использует пять типов графиков для отображения диаграммы направленности громкоговорителя:

- 1) сюжет водопада
- 2) контурный график
- 3) заполненный контурный график
- 4) цветовая карта (сонограмма)
- 5) полярная диаграмма

Водопадный график представляет собой трехмерный график, показывающий серию частотных характеристик, измеренных на постоянном расстоянии, но под разными углами измерения. Стандартный и повернутый вид на водопад

Графики показаны на рис. 9.1 и рис. 9.2. В ARTA водопадные кривые могут быть нарисованы монохромно или в цветах, которые соответствуют величине отклика с помощью соответствующей цветовой палитры.

Построение каскадного графика простое: нам просто нужно измерить частотные характеристики громкоговорителя под разными углами и, при необходимости, нормализовать отклик с откликом, измеренным по оси нуля градусов.

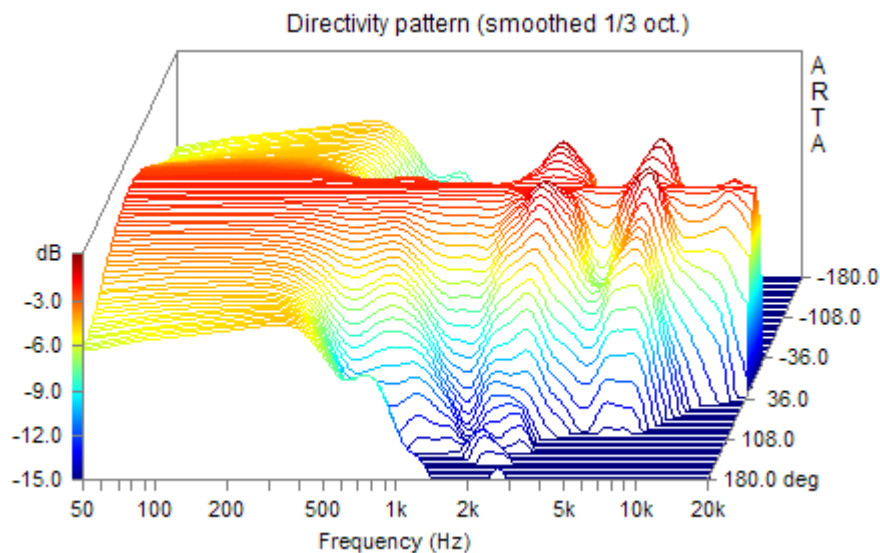


Рисунок 9.1 Диаграмма направленности водопада (нормализована до 0°)

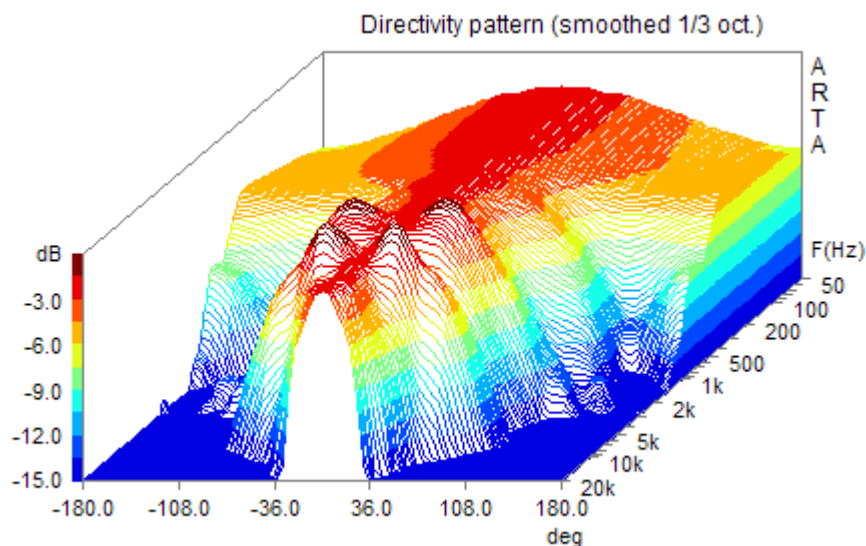


Рисунок 9.2 Повернутая диаграмма направленности водопада (нормализована до 0°)

Второй тип графика диаграммы направленности, который используется в ARTA, — это контурный график. Это показано на рисунке 9.3. Контурные постоянного уровня рисуются цветами, зависящими от уровня контура, однако контуры можно рисовать и монохромно.

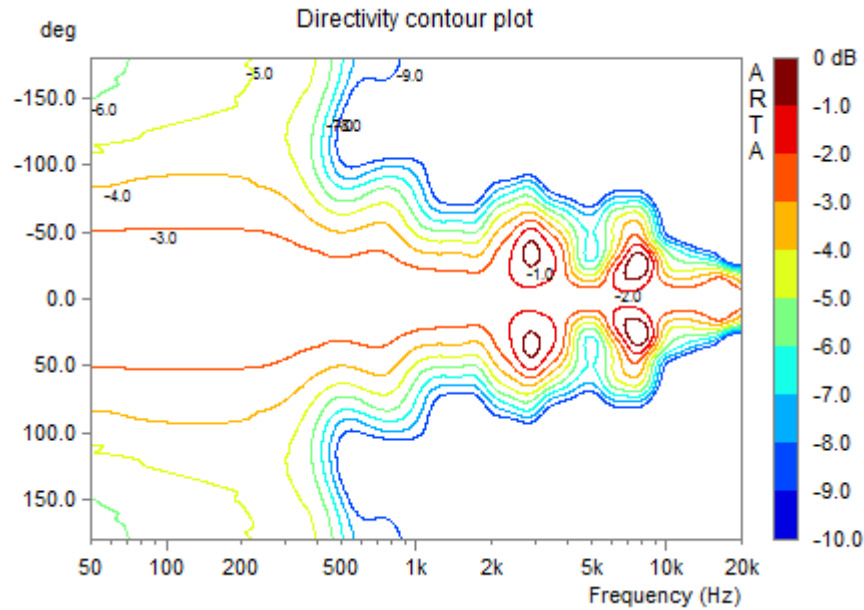


Рисунок 9.3 Контурный график диаграммы направленности

Третий тип графика направленности — это контурный график с заливкой, в котором пространство между контурными кривыми заполнено постоянными или постепенно меняющимися цветами из predetermined цветовой палитры.

На рис. 9.4а показан контурный график, заполненный постепенно меняющимися цветами и помеченными контурами. На рис. 9.4б показан контурный график, заполненный цветами, которые изменяются с заранее заданными шагами.

Если пользователь решает не отображать контурные кривые, то отображается график цветной карты (сонограммы).

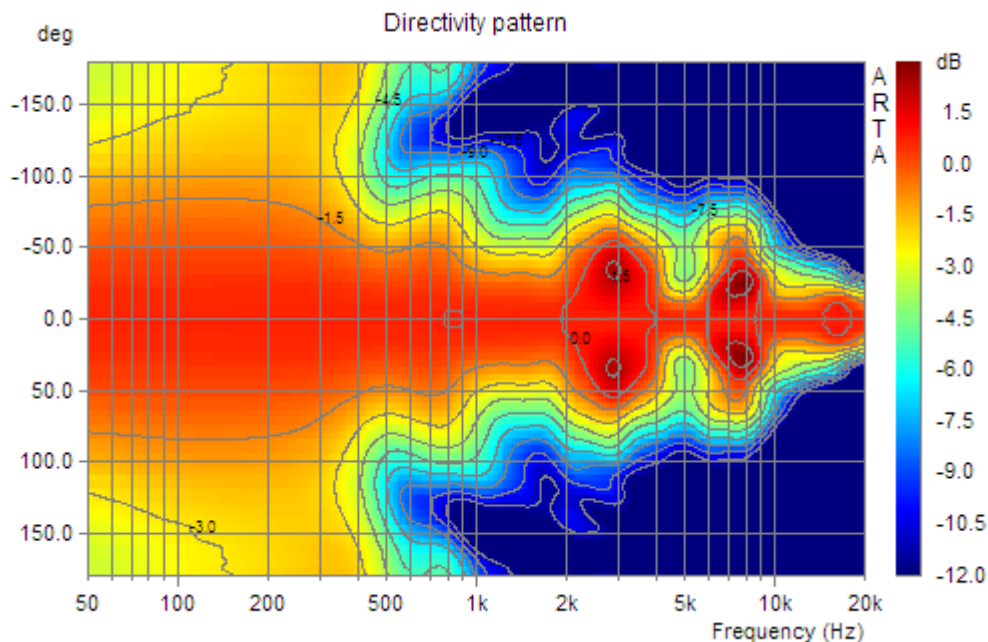


Рисунок 9.4а) Контурный график, заполненный направленностью, с постепенно меняющимися цветами.

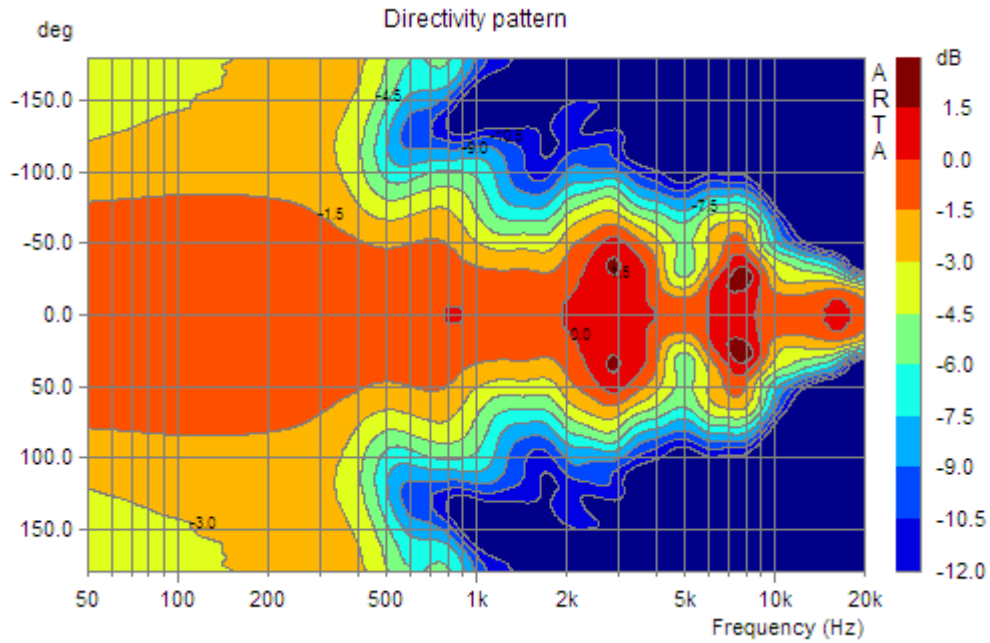


Рисунок 9.4 б) Контурный график, заполненный направленностью, со ступенчатым изменением цвета.

Последний тип диаграмм направленности в ARTA — это полярная диаграмма. На нем показана диаграмма направленности для одной частоты в полярной системе координат (рис. 9.5а). В нижней части графика также показаны коэффициент направленности Q , индекс направленности DI и угол ширины луча для текущей частоты. Предполагается, что громкоговоритель излучает в неограниченное пространство (условия свободного поля). Для излучения в полупространстве иногда удобнее использовать полуполярную диаграмму, как показано на рис. 9.5б.

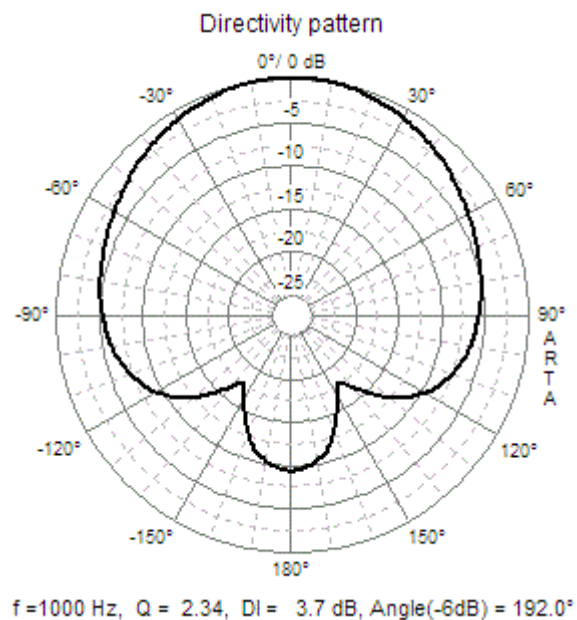


Рисунок 9.5 а) Полная полярная диаграмма

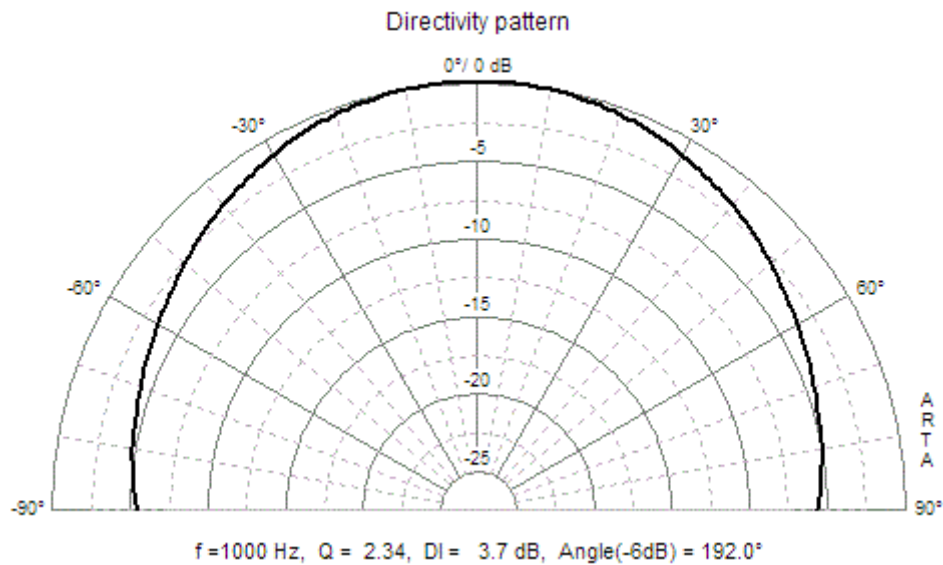


Рисунок 9.5 6)Полуполярная диаграмма

Несколько диаграмм направленности можно отобразить на одном графике в виде наложенных кривых (как на рис. 9.6).

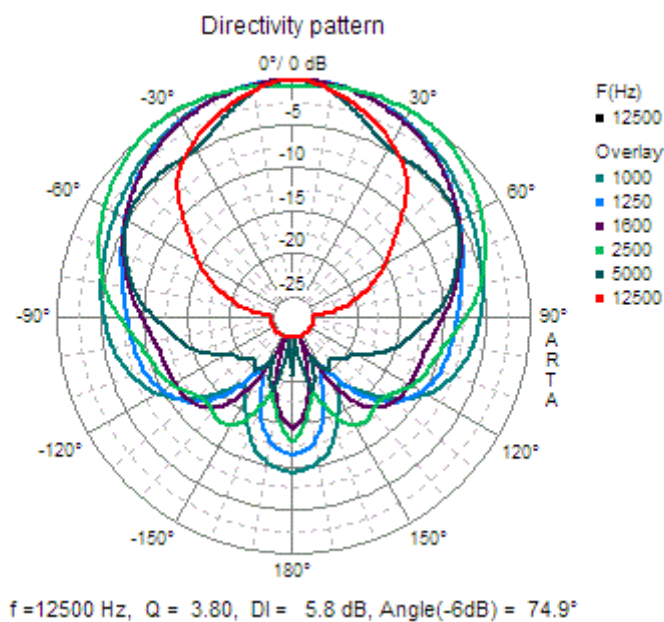


Рисунок 9.6Полярная диаграмма с наложениями

9.1.3 Создание шаблонов направленности в ARTA

В ARTA данные диаграммы направленности создаются из файлов PIR, которые измеряются на постоянном расстоянии от излучателя. Эти данные можно сохранить в *файлы шаблонов направленности*. Эти файлы имеют расширение имени «.DPF».

Файл DPF автоматически создается ARTA из набора файлов PIR, которые должны быть сохранены в одном каталоге с именем predeterminedной «пространственной» формы:

<префикс имени>_дег[+|-]<число>.pir

где:

<префикс имени>это общее имя для всех файлов .pir

дегозначает, что за ним следует числовое значение угла измерения вне оси. <номер>— значение угла измерения вне оси в градусах, которому может предшествовать знак плюс или минус.
 . пирэто расширение имени файла PIR.

Например,

Ls5_deg-20.pir
 Ls5_deg-10.pir
 Ls5_deg0.pir
 Ls5_deg10.pir
 Ls5_deg20.pir

представляет собой группу файлов PIR, измеренных под углами отклонения от оси от -20 до +20 градусов.

Чтобы создать шаблон направленности и файл DPf, нам нужно активировать команду меню **'Инструменты->Шаблон направленности'**. Он открывает **'Шаблон направленности'** окно, как показано на рис. 9.7.

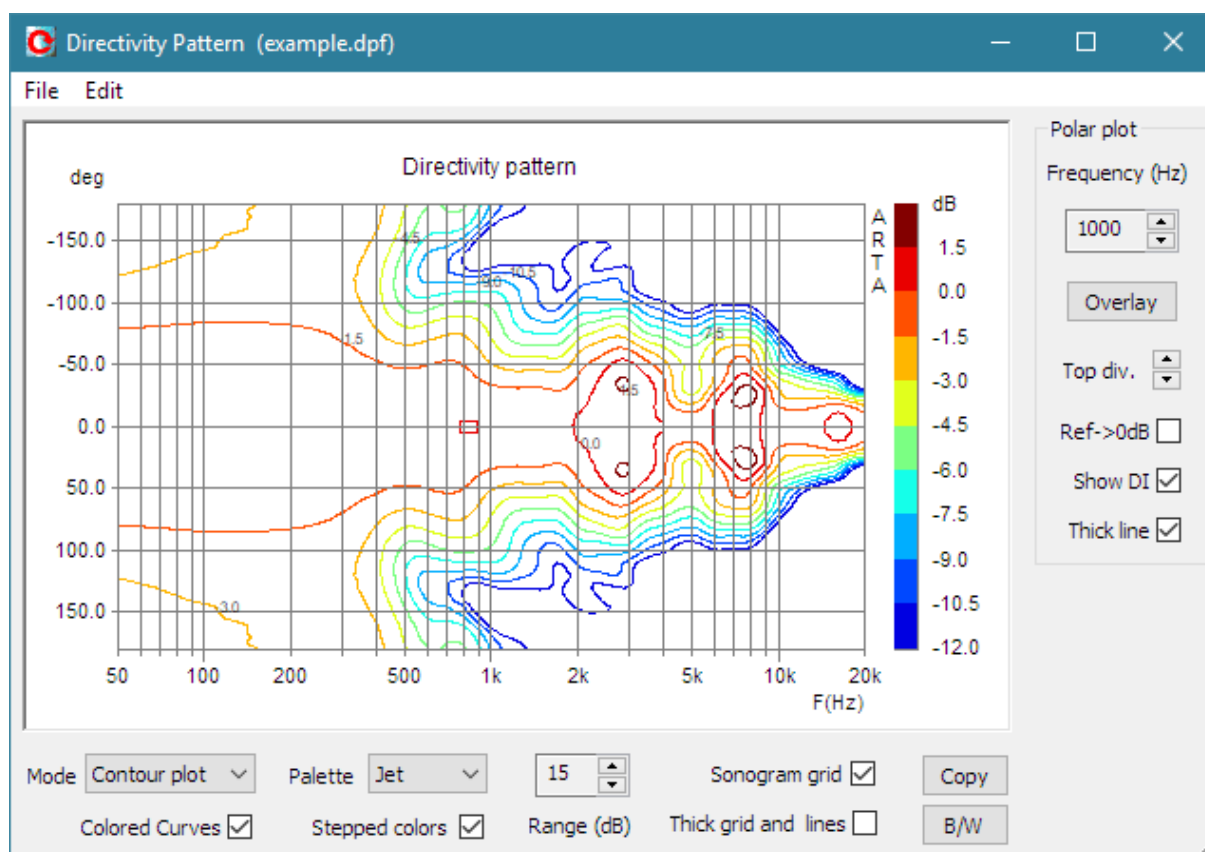


Рисунок 9.7Окно «Шаблон направленности»

'Шаблон направленности' окно имеет меню и несколько элементов управления.

Команды меню следующие:

Файл

Создать файл шаблона направленности-открывает диалоговое окно для создания файла шаблона направленности из файлов .pir. **Сохранить файл шаблона направленности**-сохраняет файл шаблона направленности (.dpf).

Загрузить файл шаблона направленности-загружает файл шаблона направленности (.drf).

Экспорт данных 1/3 октавы-экспорт в значения текстового файла на стандартных частотах 1/3 октавы:

ASCII-файлы-экспортирует в файл в формате ASCII. **CSV-файлы**-экспортирует в файл формата CSV.

Экспорт данных 1/1 октавы-экспортировать в текстовые значения файлов на стандартных частотах 1/1 октавы:

ASCII-файлы-экспортирует в файл в формате ASCII,
CSV-файлы-экспортирует в файл формата CSV.

Индекс и угол экспортной направленности (-6 дБ)-экспорт в текстовый файл DI, Q и угол (-6дБ):

ASCII-файлы-экспортирует в файл в формате ASCII,
CSV-файлы-экспортирует в файл формата CSV.

Информация о файле-предоставляет информацию и определяемый пользователем текст из текущего файла .drf.

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена. **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый. **Толстая линия (на полярном графике)**-устанавливает толстое перо на полярном графике

Толстая сетка (и контурные линии)-устанавливает толстое перо сетки, а также устанавливает толстое перо контурной линии

Элементы управления нижним окном:

РежимПоле со списком: выбирает тип графика «Водопад1», «Водопад2», «Контурный график», «Заполненный контур», «Цветная карта (сонограмма), «Полярный полный» или «Полярный полудиаграмма».

ПалитраПоле со списком — выбор из нескольких цветовых палитр (Jet, Grey, Copper и Cool). **Цветные кривые**-установите флажок, чтобы выбрать цветной (или одноцветный) водопадный график. **Сетка**-установите флажок, чтобы отобразить сетки сонограмм.

Ступенчатые цвета-установите флажок, чтобы выбрать контурное или постепенное изменение цвета.

Диапазон (дБ)контроль вращения - изменяет динамический диапазон графика от 5 до 70 дБ.

Копироватькнопка - копирует текущий график в буфер обмена. **Ч/Б**кнопка - устанавливает черный или белый цвет фона.

Органы управления правым боковым окном:

Частотауправление вращением — изменяет текущую частоту диаграммы направленности на следующую стандартную 1/3-октавную полосу.

Наложениекнопка – открывает диалог менеджера наложений.

Ссылка => 0 дБ -Установите флажок, чтобы использовать диаграмму направленности с величиной, нормализованной с помощью эталонного значения величины, которое обычно представляет собой величину отклика в ноль градусов, в противном случае полярная диаграмма показывает диаграмму направленности с величиной, нормализованной с максимальным значением величины.

Показать ДИ-установите флажок, чтобы отобразить значение параметров направленности внизу полярной диаграммы. **Толстая линия**-установите флажок, чтобы выбрать толстую линию графика.

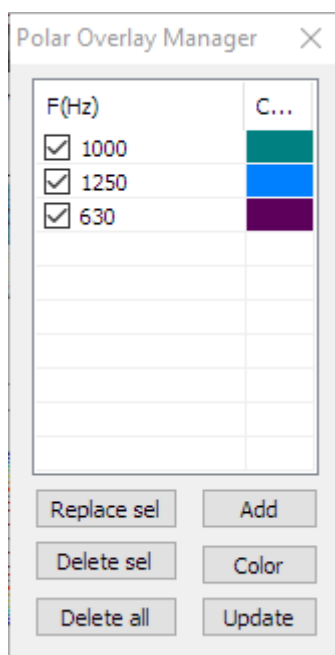


Рисунок 9.8 Менеджер наложений для полярной диаграммы

Менеджер наложения полярной диаграммы показан на рис. 9.8. Он похож на диспетчер наложений для окна FR, но есть одно существенное отличие. Здесь это всплывающее окно, которое можно использовать одновременно с командами в окне шаблона направленности.

Кнопки в окне Менеджера наложений активируют следующие команды:

Добавлять—устанавливает текущую кривую в качестве наложения.

Заменить сел—заменяет выбранное наложение текущей кривой.

Удалить выбор—удаляет выбранные наложения. **Удалить все**—удаляет все наложения.

Цвет—меняет цвет выбранных элементов с помощью диалогового окна '**Наложение цветов**'.

Обновлять—обновляет метки на полярной диаграмме.

Щелчок мышью по элементу списка имеет следующие эффекты:

Один клик—выбирает предметы.

Одиночный щелчок по флажку—делает наложение видимым или невидимым.

Двойной клик—позволяет редактировать имена наложений.

Процедура создания файла DPF начинается с нажатия пункта меню «**Файл->Создать файл шаблона направленности**'.

Откроется диалоговое окно '**Определение данных направленности**' (рис. 9.9). Сначала нам нужно нажать кнопку '**Загрузить файлы**', чтобы получить каталог и основное имя файлов PIR. Откроется стандартное диалоговое окно Windows для открытия файлов. После выбора одного из файлов нам нужно нажать кнопку «ОК». Затем мы получаем диалоговое окно '**Определение данных направленности**', как показано на рис. 9.9.

Directivity data definition

To define directivity data, load ".pir" file with a name in the form:
 <name>_deg[+|-]<num>.pir

Get files

| Angle | Name | Size | Folder |
|-------|--------------|--------|-------------------------------|
| -15 | x_deg-15.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| -30 | x_deg-30.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| -35 | x_deg-35.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| -40 | x_deg-40.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| -45 | x_deg-45.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| -50 | x_deg-50.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| 0 | x_deg0.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| 15 | x_deg15.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |
| 30 | x_deg30.pir | 128 KB | C:\Src\audio1\Arta192\tstdir\ |

Magnitude

Smoothing 1/3 oct

Normalize with response at angle ☐

0 (degree)

Symmetrical for negative angles ☒

FFT analysis

☒ Ungated from estimated PIR maximum position

☐ Ungated from PIR start position

☐ Gated

Start position (ms) 0

Length (ms) 50

Frequency range

Low (Hz) 50

High (Hz) 20000

User Info

Default

Cancel

OK

Рисунок 9.9 Диалоговое окно «Определение данных направленности»

Прежде чем нажать кнопку «ОК», которая подтверждает процесс создания данных диаграммы направленности, мы должны настроить параметры создания данных, используя следующие элементы управления:

Величина раздела:

Сглаживание Поле со списком – выбирает сглаживание частотной характеристики от 1/1 октавы до 1/12 октавы.

Нормализация с ответом под углом – установите этот флажок, чтобы нормализовать ответы диаграммы направленности с ответом под определенным пользователем углом (обычно ноль градусов).

Симметрично для neg. углы – установите этот флажок, если у вас есть файлы PIR, определенные только для положительных углов, и вы хотите иметь симметричный шаблон для отрицательных углов.

Диапазон частот раздела:

Низкий (Гц) – вводит низкочастотный запас для оценки частотной характеристики.

Высокий (Гц) – вводит высокочастотный запас для оценки частотной характеристики.

БПФ-анализ раздела:

Отключено от расчетного максимального положения PIR – выбирает оценку частотной характеристики на основе стробируемой характеристики, которая определяется на основании требований к полосе пропускания по времени и начальной точке в файле PIR, которые представляют первую выборку, амплитуда которой на 20 дБ ниже максимальной величины PIR.

Открыто от стартовой позиции PIR – выбирает оценку частотной характеристики из первой выборки в файле PIR и с размером БПФ, определяемым на основе требований к полосе пропускания времени для низких частот.

Закрытый – выбирает для оценки частотной характеристики определяемый пользователем **Начинать** положение образца в файле PIR и определяется пользователем **Длина** временных ворот. Начало и длину необходимо вводить в миллисекундах.

Информация о пользователе Раздел содержит поле редактирования, в котором пользователь вводит произвольный текст, который будет сохранен в файле DPF.

9.14 Формат файлов DPF

Файл шаблона направленности (DPF) представляет собой двоичный файл следующего формата:

Версия формата файла: 0101

```

символьная подпись файла [4];           // четыре сигнатурных символа: 'D','P','F','\0' // версия
беззнаковая целочисленная версия;        // формата файла, начиная с 0x0100 // количество
интервал numFreqs;                       // логарифмически отстоящих частот // количество
интервал numOct3;                        // стандартных 1/3-октавных полос
интервал числоOct1;                      // количество стандартных 1/1-октавных
int numAngles;                            // полос // количество углов измерения

если (версия > 1000)
{ float normalizedRefMag; int             // значение опорной величины // true – если
  нормализованныйFrResponse;             // используется нормализация // по опорному
  плавающий угол                         // углу нормализации
  нормализации; }
int сглаживание разрешения;              // разрешение сглаживания: 1,3,6,12 // размер
интервал info_string_size;                // определяемой пользователем строки
интервал зарезервирован;
плавающие углы [numAngles];               // массив углов в градусах
Частоты с плавающей запятой [numFreqs]; // массив частот в Гц int
idxOct3[m_numOct3];                       // массив стандартных 1/3 октавных полос //
int idxOct1[m_numOct1];                   // массив стандартных 1/1 октавных полос
float Magnitude[numAngles][m_numFreqs]; // массив величин в дБ char info[info_string_size]; //
массив символов в определяемой пользователем строке

```

Значения диаграммы направленности на стандартных частотах 1/3 октавы или 1/1 октавы можно экспортировать в текстовые файлы ASCII.

АРТА также может экспортировать значения параметров направленности (Q, DI и угол ширины луча) в стандартных 1/3-октавных полосах.

9.15 Автоматическая запись пространственной группы импульсных характеристик

Вращающийся поворотный стол позволяет полностью автоматически измерять пространственные импульсные характеристики. Чтобы настроить это измерение, пользователю необходимо загрузить драйвер вращающегося проигрывателя с помощью команды меню **'Настроить- > Вращающийся проигрыватель'**. Также в окне Imp необходимо провести пробное измерение, чтобы настроить длину записи, тип сигнала возбуждения, частоту дискретизации, размер БПФ и положение курсора.

Измерение начинается с нажатия команды меню **'Запись->Групповая запись пространственной импульсной характеристики'**. Эта команда открывает диалоговое окно, показанное на рис. 9.10.

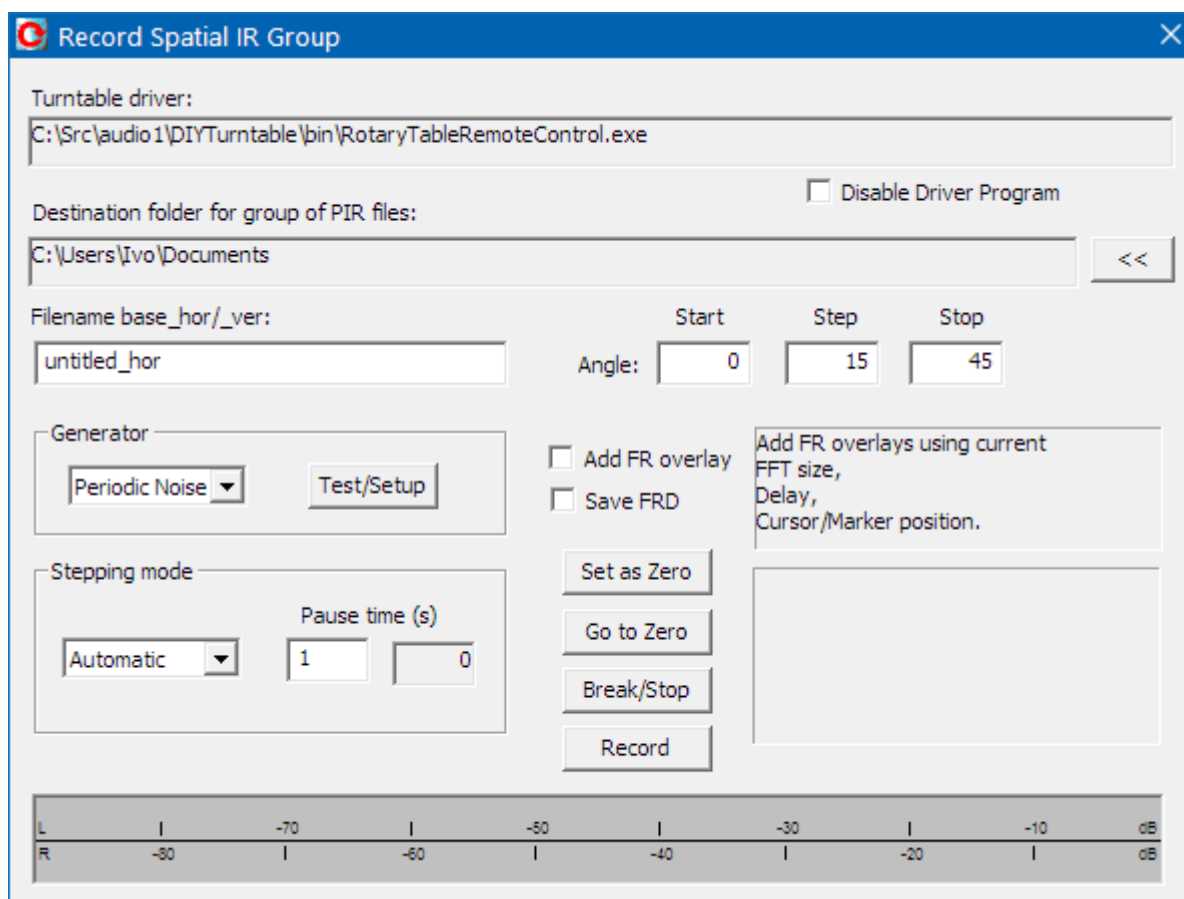


Рисунок 9.10 Диалоговое окно записи пространственной группы импульсных характеристик

Элементы управления имеют следующие функции:

'**Драйвер проигрывателя проигрывателей**' в поле отображается текущий выбранный драйвер. '**Отключить программу драйвера**' флажок отключает драйвер. В этом случае пользователь может вращать громкоговоритель вручную.

'**Папка назначения для группы файлов PIR**' в поле отображается папка назначения. Его можно выбрать, нажав кнопку просмотра '<<'.
'**Имя файла base_hor/_ver**' в поле редактирования вводится базовый префикс для группы имен файлов. Полное имя позже получит суффикс, обозначающий угол измерения в определенной пространственной форме.

'**Угол**' обозначает группу из трех полей редактирования для ввода '**Начинать**' угол, '**Шаг**' значение до следующего угла и '**Останавливаться**' угол.

Раздел Генератор имеет два элемента управления. Поле со списком позволяет выбрать тип сигнала возбуждения (периодический шум, синусоидальный сигнал или MLS). Кнопка '**Испытательная установка**' открывает стандартный диалог записи для настройки длины записи, усреднения и частоты дискретизации.

'**Шаговый режим**' раздел имеет поле со списком с двумя вариантами вращения: **Автоматический** и **Руководство**. Обычно, если мы используем вращающийся проигрыватель, мы выбираем **Автоматический** режим. Поле редактирования '**Время паузы**' вводит количество секунд ожидания перед следующей записью. Это время должно быть больше времени реверберации помещения. В случае измерения с отключенным динамиком (когда у пользователя нет вращающегося проигрывателя) это время должно быть намного больше, чтобы пользователь мог вручную повернуть громкоговоритель на следующий угол измерения.

Два флажка '**Добавить наложение FR**' и '**Сохранить FRD**' позволяет вычислить частотную характеристику, используя текущую длину БПФ и положение курсора, и сохранить ее в виде наложения FR или сохранить на диск в текстовом файле.

Следующие кнопки управляют измерением:

Кнопка '**Установить как ноль**' сбрасывает проигрыватель и устанавливает текущее положение как ноль градусов.

Кнопка '**Иди как ноль**' поворачивает проигрыватель до нулевого угла. Кнопка '**Перерыв/Стоп**' отменяет измерение.

Кнопка '**Записывать**' начинает измерение (в ручном режиме измерение продолжается на следующем угле).

Во время измерений пиковый индикатор в нижней части диалогового окна показывает уровень записи.

9.16 Экспорт (пространственной группы) частотных характеристик

Подобно построению диаграммы направленности из группы файлов PIR, ARTA может экспортировать данные частотной характеристики для группы файлов PIR в текстовые файлы. Команда для этой операции **Бесменю окна 'Файл->Экспорт (пространственной) частотной характеристики'**. Откроется диалоговое окно, показанное на рис. 9.11.

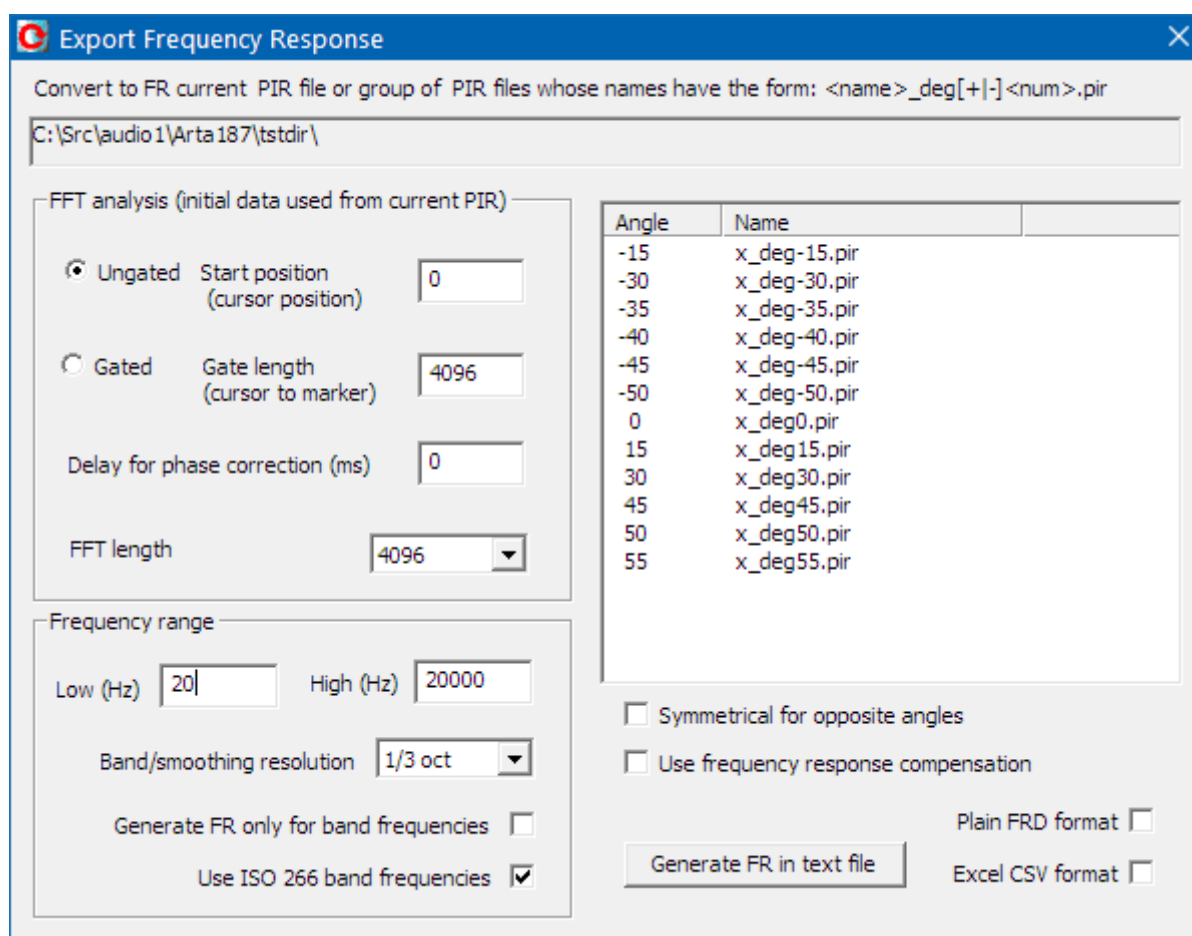


Рисунок 9.11 Диалоговое окно «Экспорт частотной характеристики»

Требуется, чтобы в окне Imp был загружен действительный файл PIR. Если этот PIR-файл имеет имя в «пространственной» форме:

`<имя>_deg[+|-]<число>.pir`

тогда будут экспортированы все файлы с одинаковым именем, но под разными углами. Если имя загруженного файла PIR не имеет необходимой пространственной формы, то будет экспортирован только один FR.

Диалоговое окно '**Экспортировать частотную характеристику**' имеет три раздела данных: анализ БПФ, диапазон частот и команды экспорта файлов. Каталог поиска файлов отображается в верхней части диалогового окна.

Команда экспорта файла Раздел содержит поле списка, которое автоматически заполняется именами файлов, которые соответствуют пространственной форме, определенной текущим именем файла. Если в списке содержатся только файлы для положительных углов, мы можем установить флажок «**Симметрично для противоположных углов**», чтобы разрешить экспорт FR для симметричных углов.

Флажок '**Используйте компенсацию частотной характеристики**' позволяет использовать текущие данные компенсации FR. Кнопка '**Создать FR в текстовом файле**' запускает процедуру экспорта. Мы можем использовать два флажка для дополнительного экспорта файлов в '**Обычный формат FRD**' или '**Формат Excel CSV**'.

Раздел анализа БПФ имеет элементы управления для настройки длины БПФ, стробирования и задержки.

Радио-кнопки '**Закрытый**' или '**без ворот**' устанавливает тип анализа.

Поле редактирования '**Стартовая позиция**' вводит позицию курсора (начальное значение берется из текущего окна Imp). Поле редактирования '

Длина ворот' вводит количество выборок, которые будут использоваться в анализе стробируемого БПФ. Поле редактирования '**Задержка для коррекции фазы**' устанавливает временную задержку в мс, используемую для коррекции фазовой задержки. Поле со списком '**Длина БПФ**' устанавливает количество выборок в анализе БПФ.

The **Раздел «Диапазон частот»** имеет элементы управления:

Поле редактирования '**Низкий (Гц)**' вводит низкочастотный запас для оценки частотной характеристики, а поле редактирования '**Высокий (Гц)**' вводит высокочастотный запас для оценки частотной характеристики. Поле со списком '**Разрешение полосы/сглаживания**' выбирает дробную ширину октавы.

Флажок '**Генерировать FR только для полос частот**' ограничивает экспорт только частот октавного диапазона. Флажок '**Используйте частоты диапазона ISO 266**' устанавливает сгенерированные частоты октавной полосы в соответствии со значениями, определенными в ISO 266.

9.2 Интеграция измерений уровня звукового давления и регистрации данных

АРТА реализовала виртуальную Сраундпдавлении измеритель уровня. Измерение уровня звукового давления и необходимые приборы определены международным стандартом IEC 61672-1:2002. Применение измерителя звукового давления подробно определено в других директивах или стандартах (например, Директива 2003/10/ЕС или DIN 15905-5: Звукотехника – Часть 5: Меры по предотвращению риска потери слуха аудитории из-за высокого уровня звука), воздействие электроакустических звуковых систем).

Измерения SPL необходимо активировать командой меню 'Инструменты->Измеритель SPL'. Перед описанием этого виртуального инструмента будут даны некоторые основные определения.

9.2.1 Основные определения интегрирующего измерителя SPL

В виртуальном измерителе SPL АРТА доступны следующие функции:

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| L | Уровень звукового давления, взвешенный по времени (F, S, I) Максимальный уровень звукового |
| $L_{Макс}$ | давления, взвешенный по времени Минимальный уровень звукового давления, взвешенный по |
| $L_{Мин}$ | времени Средний по времени эквивалентный уровень звукового давления Средневзвешенный по |
| $L_{Экв.}$ | времени импульсный эквивалентный уровень звукового давления Уровень звукового воздействия |
| $L_{Экв}$ | |
| $L_{Э}$ | |
| $L_{Вершина\ горы}$ | Пиковый уровень |
| L_N | Статистически рассчитанный уровень превышения (N = 0,1–99 %) |

Реализованные частотные фильтры: A, C или Z (LIN).

Реализованные экспоненциальные детекторы с временным взвешиванием бывают быстрого (F), медленного (S) и импульсного (I) типов.

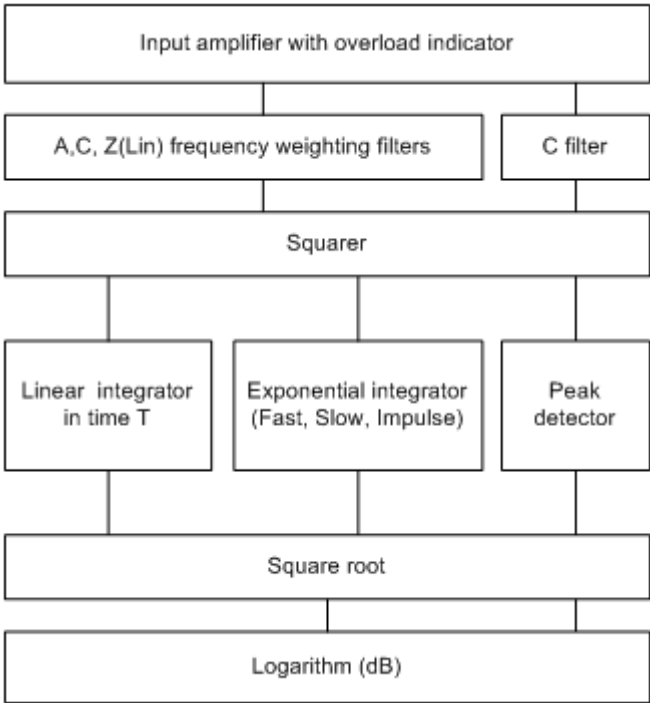


Рисунок 9.12Блок-схема интеграции измерителя SPL

На рисунке 9.12 показана блок-схема интегрирующего измерителя звукового давления. Сигнал с микрофона поступает на входной усилитель. Индикатор перегрузки показывает состояние входного усилителя (или аналого-цифрового преобразователя).

преобразователь в цифровую систему). Сигнал от входного усилителя поступает на фильтры частотной коррекции с возможностью выбора трех различных кривых частотной коррекции: А, С и Z, как указано в таблице 9.1 и определено в IEC 61672-1. Буква Z обозначает нулевое или линейное взвешивание. Эти весовые кривые используются для измерения среднеквадратичного уровня. Для измерения пикового уровня используется только фильтр С-взвешивания. На следующем этапе сигнал будет возведен в квадрат. Выходной сигнал квадратора подается на интеграторы и пиковый детектор. Наконец, после прохождения схем квадратного корня и логарифма, на каком-то дисплее будет показан уровень звукового давления в дБ. Показаны следующие основные значения:

$L_{\text{экв}}$ -эквивалентный уровень звука-определяется как истинный среднеквадратичный уровень, полученный путем линейного интегрирования квадрата звукового давления в течение всего времени измерения T.

$$L_{\text{экв}, T} = 20 \log_{10} \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p_2^2(\tau) d\tau}}{p_0} \quad (\text{дБ})$$

где T – общее время интегрирования, p_0 – эталонное звуковое давление 20 мПа, $p_2(\tau)$ – звуковое давление, взвешенное по частоте А, С or Z. *Примечание:* Если мы используем фильтр А-взвешивания, то мы используем метку L_{AeqT} или L_A .

В цифровой форме это значение получается путем линейного усреднения квадратов звукового давления (см. раздел 2.2.1).

L_t -уровень звукового давления, взвешенный по времени-определяется для коротких интервалов времени экспоненциальным интегралом:

$$L_t = 20 \log_{10} \frac{\sqrt{\int_0^T p_2^2(\tau) e^{-(T-\tau)/\tau} d\tau}}{p_0} \quad (\text{дБ})$$

где τ – постоянная времени показательной функции, $p_2(\tau)$ – звуковое давление, взвешенное по частоте А, С или Z.

Три константы времени обозначаются буквами F, S, I и используются как:

| | |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S – Медленно | = 1000 мс |
| F – Быстро | = 125 мс |
| I – Импульс | = 35 мс, но при падающих значениях применяется более высокая постоянная времени, равная 1500 мс. |

В цифровой области эти значения получаются путем применения экспоненциального усреднения к каждой выборке квадрата частотно-взвешенного звукового давления (см. главу 2.2.1). Для синусоидального сигнала в диапазоне от 315 Гц до 10 кГц все три интегратора дают то же значение, что и L_{eq} (в пределах 0,1 дБ), так как по сути все они являются среднеквадратичными детекторами.

Маркировка SPL зависит от применяемого временного и частотного взвешивания. Обычно мы используем метку:

L_{XY} где X=A, C, Z и Y = F, S, I

например, L_{AF} – уровень звукового давления, полученный с помощью А – частотной коррекции и F – временной коррекции.

Иногда SPL-метр является синонимом измерителя уровня звукового давления с временной коррекцией, поскольку он применялся при первом типе аналогового измерения SPL.

L_{SEL} -уровень звукового воздействия (SEL) – определяется как полная энергия сигнала, но выражается как уровень за одну секунду времени:

$$L_{\text{экв}} = 10 \text{ журнал} - \frac{p_2(p_1) dT}{p_0 T_0} = L_{\text{экв}} + 10 \text{ журнал} \frac{T}{T_0} \text{ (дБ)}$$

где $T_0 = 1$ с, $p_2 - p_1 = T$, p_0 — эталонное давление 20 мПа.

$L_{\text{экв}}$ — импульсно-взвешенный эквивалентный уровень звукового давления — получается путем линейного усреднения выходного сигнала импульсно-взвешенного интегратора по времени измерения T .

$L_{\text{пик}}$ — пиковый уровень — получается каждые 1 с как пиковый уровень на выходе С-фильтра. Для синусоидальных сигналов $L_{\text{пик}}$ всегда на 3 дБ выше выходного сигнала среднеквадратичного детектора.

Усовершенствованные измерители уровня звукового давления сохраняют данные измерений уровня звукового давления обычно каждые 100 мс для вывода быстрого взвешивания по времени и каждую 1 секунду для других значений. Это позволяет осуществлять статистический отчет об измеренных значениях. Базовый отчет обычно дает максимальные и минимальные значения SPL, максимальный пиковый уровень и отчет о превышении уровней в процентах. L_N , где N обычно составляет 1%, 5%, 10%, 50%, 90%, 95% и 99%. Значение $L_{10} = 87$ дБ означает, что в 10% случаев уровень звукового давления превышает 87 дБ.

| Номинальная частота (Гц) | Точная частота (Гц) | А-взвешивание | С-взвешивание |
|-----------------------------|------------------------|---------------|---------------|
| 10 | 10.00 | – 70,4 | – 14,3 |
| 12,5 | 12.59 | – 63,4 | – 11,2 |
| 16 | 15.85 | – 56,7 | – 8,5 |
| 20 | 19.95 | – 50,5 | – 6,2 |
| 25 | 25.12 | – 44,7 | – 4,4 |
| 31,5 | 31.62 | – 39,4 | – 3,0 |
| 40 | 39.81 | – 34,6 | – 2,0 |
| 50 | 50.12 | – 30,2 | – 1,3 |
| 63 | 63.10 | – 26,2 | – 0,8 |
| 80 | 79.43 | – 22,5 | – 0,5 |
| 100 | 100,0 | – 19,1 | – 0,3 |
| 125 | 125,9 | – 16,1 | – 0,2 |
| 160 | 158,5 | – 13,4 | – 0,1 |
| 200 | 199,5 | – 10,9 | – 0,0 |
| 250 | 251,2 | – 8,6 | – 0,0 |
| 315 | 316,2 | – 6,6 | – 0,0 |
| 400 | 398,1 | – 4,8 | – 0,0 |
| 500 | 501,2 | – 3,2 | – 0,0 |
| 630 | 631,0 | – 1,9 | – 0,0 |
| 800 | 794,3 | – 0,8 | – 0,0 |
| 1000 | 1000 | 0 | 0 |
| 1250 | 1259 | 0,6 | – 0,0 |
| 1600 | 1585 г. | 1,0 | – 0,1 |
| 2000 г. | 1995 г. | 1,2 | – 0,2 |
| 2500 | 2512 | 1,3 | – 0,3 |
| 3150 | 3162 | 1,2 | – 0,5 |
| 4000 | 3981 | + 1,0 | – 0,8 |
| 5000 | 5012 | 0,5 | – 1,3 |
| 6300 | 6310 | – 0,1 | – 2,0 |
| 8000 | 7943 | – 1,1 | – 3,0 |
| 10000 | 10000 | – 2,5 | – 4,4 |
| 12500 | 12590 | – 4,3 | – 6,2 |
| 16000 | 15850 | – 6,6 | – 8,5 |
| 20000 | 19950 г. | – 9,3 | – 11,2 |

- Номинальные частоты указаны в стандарте ISO 266.
- Точные частоты равны $1000 \cdot 10^{n/10}$, где n — положительное или отрицательное целое число.

Таблица 9.1 Весовые кривые А и С

9.2.2 Работа с ARTA SPL-Meter

Измеритель ARTA SPL активируется командой меню 'Инструменты->Измеритель SPL'. Откроется окно, показанное на рис. 9.13.

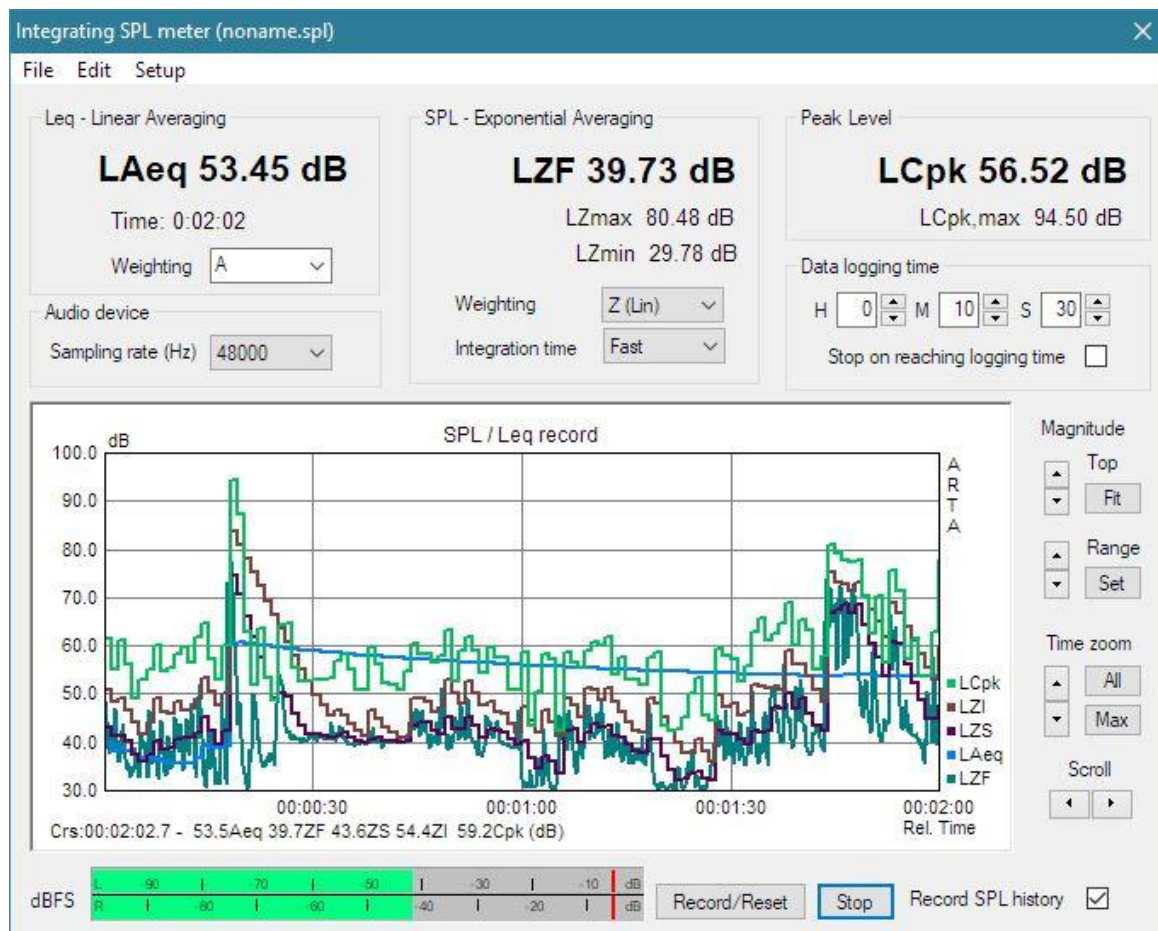


Рис. 9.13 Окно счетчика ARTA SPL

Элементы управления в окне индикатора SPL:

Leq – линейное усреднение раздел:

LAeq показывает текущее значение Leq крупным шрифтом.

Время показывает время относительно начала измерения. **Взвешивание** В поле со списком можно выбрать частотное взвешивание A, C или Z (лин).

SPL – Экспоненциальное усреднение раздел

LAS показывает текущее значение взвешенного по времени уровня звукового давления (частотное взвешивание представляет собой кривую A).

LAmax показывает максимальное значение взвешенного по времени уровня звукового давления в течение всего времени измерения. **LAмин** показывает минимальное значение взвешенного по времени уровня звукового давления в течение всего времени измерения. **Взвешивание** В поле со списком можно выбрать частотное взвешивание A, C или Z (лин).

Время интеграции В поле со списком можно выбрать временную оценку F (быстрая), S (медленная) или I (импульсная).

Пиковый уровень раздел

LКпк показывает текущий пиковый уровень (C-взвешенный, за период в одну секунду). **LКпк,макс.** показывает максимальный пиковый уровень (C-взвешенный, в течение всего времени измерения).

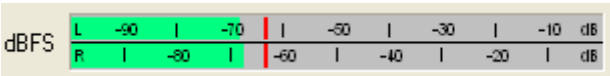
Аудиоустройство раздел

Частота выборки В поле со списком устанавливается частота дискретизации 44 100, 48 000 или 96 000 Гц (цифровые фильтры соответствуют спецификациям IEC класса 1 на частоте 48 000 Гц и спецификациям IEC класса 0 на частоте 96 000 Гц).

Время регистрации данных раздел

Часы, минуты и секунды В поле редактирования задается продолжительность измерения, которое будет записываться в память. (допускается установка 240 часов 59 минут и 59 секунд, но если объем памяти компьютера менее 1 Гб, рекомендуется установить время измерения менее 24 часов).
Остановиться по достижении времени регистрации Флажок – если отмечен, запись измерений прекратится по достижении t времени регистрации.

Кнопка **Запись/Сброс** запускает или сбрасывает измерение.
Кнопка **Останавливаться** останавливает измерения.



Пиковый измеритель dBFS показывает рабочий пиковый уровень относительно полной шкалы АЦП.

Запись истории SPL Флажок включает регистрацию данных. Значения зарегистрированных уровней показаны на графике. Регистрируются пять кривых: Leq, LSlow, LFast, Lpeak и Limpulse.

Пользователь манипулирует графиком и построенными кривыми, используя кнопки на правой стороне графика, клавиши мыши и клавиатуры. Под графиком представлен отчет по значениям SPL по положению курсора и маркера. **Курсор** (показано желтой линией) позиционируется щелчком левой кнопки мыши.

Маркер (показано красной линией) позиционируется щелчком правой кнопки мыши. Двойной щелчок отключит маркер.

Верхнее поле и диапазон оси величин графика можно отрегулировать, нажав **Вершина** и **Диапазон** кнопки. Временную ось графика можно настроить с помощью **Прокрутка** кнопки и клавиши масштабирования (**Все** и **Макс**). Кнопка **Соответствовать** корректирует верхнее поле величины графика в соответствии с измеренными значениями.

Детальная настройка графика возможна нажатием кнопки Set. Откроется диалоговое окно **'Настройка графика SPL'** показано на рис. 9.14.

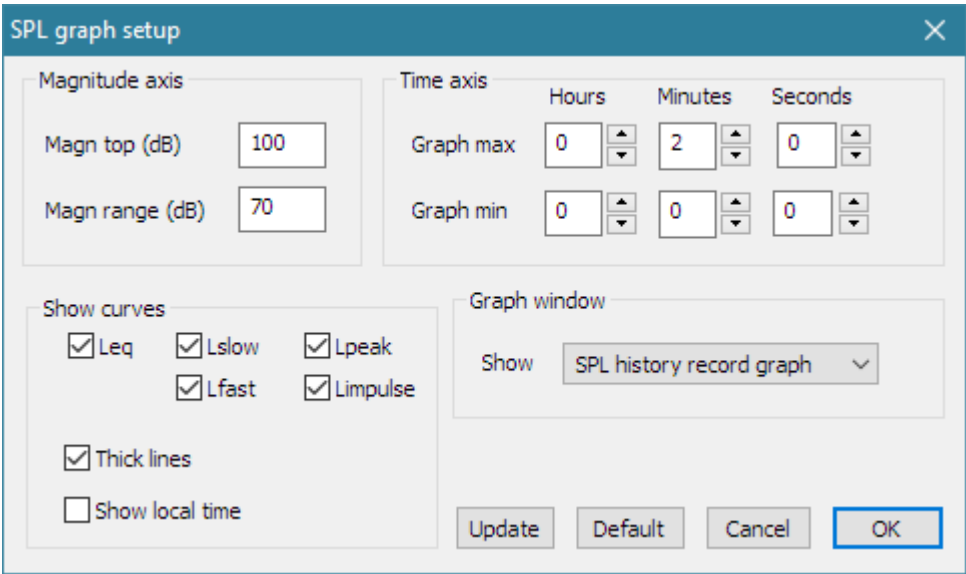


Рис. 9.14 Диалоговое окно настройки графика SPL

Элементы управления в этом диалоговом окне:

Ось величиныраздел

Магнитная вершина (дБ) Поле редактирования – устанавливает верхнее поле.

Диапазон магнитных полей (дБ) Поле редактирования – устанавливает диапазон величин графика.

Ось временираздел

Graph max – группа полей редактирования – устанавливает правое поле оси времени графика. **Graph**

min – группа полей редактирования – устанавливает левое поле оси времени графика. Все значения должны быть введены в относительном времени.

Показать кривыераздел

Флажки **Leq**, **LSlow**, **LFast**, **LPeak**, **LImpulse** включить/выключить просмотр записанной кривой.

Толстые линии Флажок – включает печать толстыми линиями.

Показать местное время флажок – включает маркировку оси времени по местному времени, в противном случае ось времени отображается в относительном времени.

Окно графикараздел

Показывать Поле со списком позволяет просматривать зарегистрированные данные в окне графика, если '**График записи истории SPL**' выбрана опция, в противном случае, если пользователь выберет другие опции, область графика будет использоваться для отображения значения SPL очень крупным шрифтом.

Обновлять кнопка - обновить рисунок графика, не закрывая диалоговое окно. **По умолчанию** Кнопка — устанавливает значения по умолчанию для элементов управления диалога.

Команды меню в окне измерителя SPL:

Файл

Сохранить файл истории SPL – сохраняет записанные данные SPL в файлах .spl.

Открыть файл истории SPL – загружается из файла .spl.

Экспорт...-экспорт в текстовые форматы

ASCII (запись 100 мс) – экспорт SPL (быстрый) записывается каждые 0,1 секунды. **ASCII (1 с**

зарегистрировано) – экспортирует Leq, SPL и пиковые уровни, записываемые каждые 1 секунду.

ASCII (максимум 10 секунд) – экспортирует Leq, SPL и пиковые максимальные уровни, записываемые каждые 10 секунд.

CSV (запись 100 мс) – экспорт SPL (быстрый) записывается каждые 0,1 секунды. **CSV (зарегистрировано 1**

с) – экспортирует Leq, SPL и пиковые уровни, записываемые каждые 1 секунду.

CSV (максимум 10 секунд записи) – экспортирует Leq, SPL и пиковые максимальные уровни, записываемые каждые 10 секунд.

Статистика файлов и информация о пользователе – предоставляет статистику SPL и определяемый пользователем текст из текущего файла .spl

Редактировать

Копировать – копирует растровое изображение графика в буфер обмена.

Ч/Б цвет фона – устанавливает цвет фона на черный или белый.

Настраивать

Калибровка аудиоустройства – открывает диалог калибровки аудиоустройств.

Настройка аудиоустройств – открывает диалог настройки аудиоустройств.

На рис. 9.15 представлен отчет о статистике файлов. **Копировать** Кнопка копирует отчет в буфер обмена Windows.

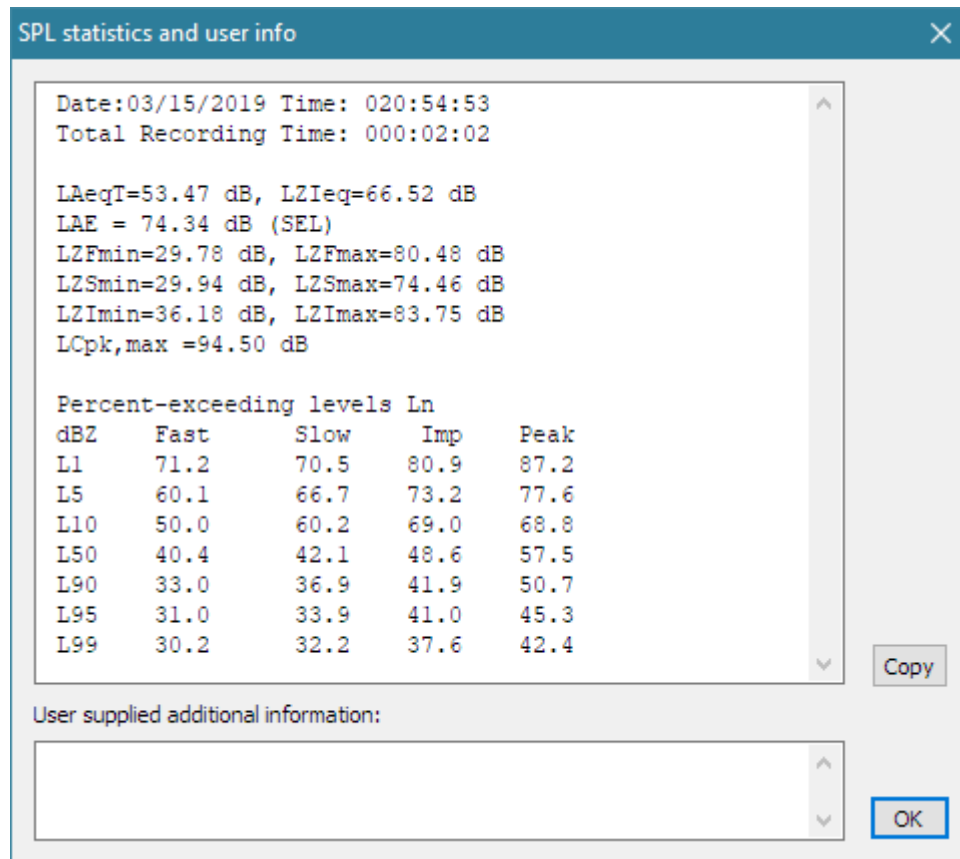


Рис. 9.15 Статистика файлов SPL и информация о пользователе

Измеритель ARTA SPL может соответствовать результатам измерений IEC класса I только при выполнении следующих условий:

- 1) Используемый компьютер (ноутбук) должен иметь очень низкий уровень шума.
- 2) Используемая звуковая карта должна иметь малозагруженные входные каналы с линейной частотной характеристикой от 5 Гц до 20000 Гц.
- 3) Микрофон, микрофонный предусилитель и калибратор микрофона должны соответствовать классу, определенному стандартом IEC 61672-1.

Дешевые электретные микрофоны можно использовать для измерений IEC класса II в ограниченном диапазоне звукового давления (L_A = 40-120 дБ).

9.3 Измеритель звукового давления и уровень шума в октавном диапазоне

Измеритель звукового давления октавного диапазона в реальном времени или анализатор октавного диапазона — это старейший тип прибора для анализа звуковых частот. В анализаторах этого типа измеряемый сигнал одновременно подается на несколько полосовых фильтров. Выходные сигналы фильтров возводятся в квадрат и интегрируются с надлежащей временной коррекцией для получения уровня звукового давления в каждой октавной полосе. Тип фильтров определяется стандартом IEC 1260. ARTA использует октавные полосовые фильтры IEC класса I (цифровой шестиполосный полосовой фильтр Баттерворта) со стандартными центральными частотами: 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Гц. Для каждого октавного фильтра нижняя частота среза равна $f_1 = 2^{-1/2} \cdot f_0$, а верхняя частота среза равна $f_2 = 2^{1/2} \cdot f_0$.

Измеритель звукового давления виртуальной октавной полосы, как показано на рисунке 9.16, активируется командой меню 'Инструменты -> Измеритель звукового давления в октавной полосе и рейтинг шума'.

Для анализа октавной полосы ARTA предполагает, что калиброванный микрофон подключен к одному каналу звуковой карты (как установлено в диалоговом окне настройки аудиоустройства). При этом измерении невозможно применить компенсацию частотной характеристики микрофона, а это означает, что качество измерений определяется качеством микрофона. Измерительные микрофоны для анализа октавной полосы обычно классифицируются как микрофоны IEC класса I или класса II.

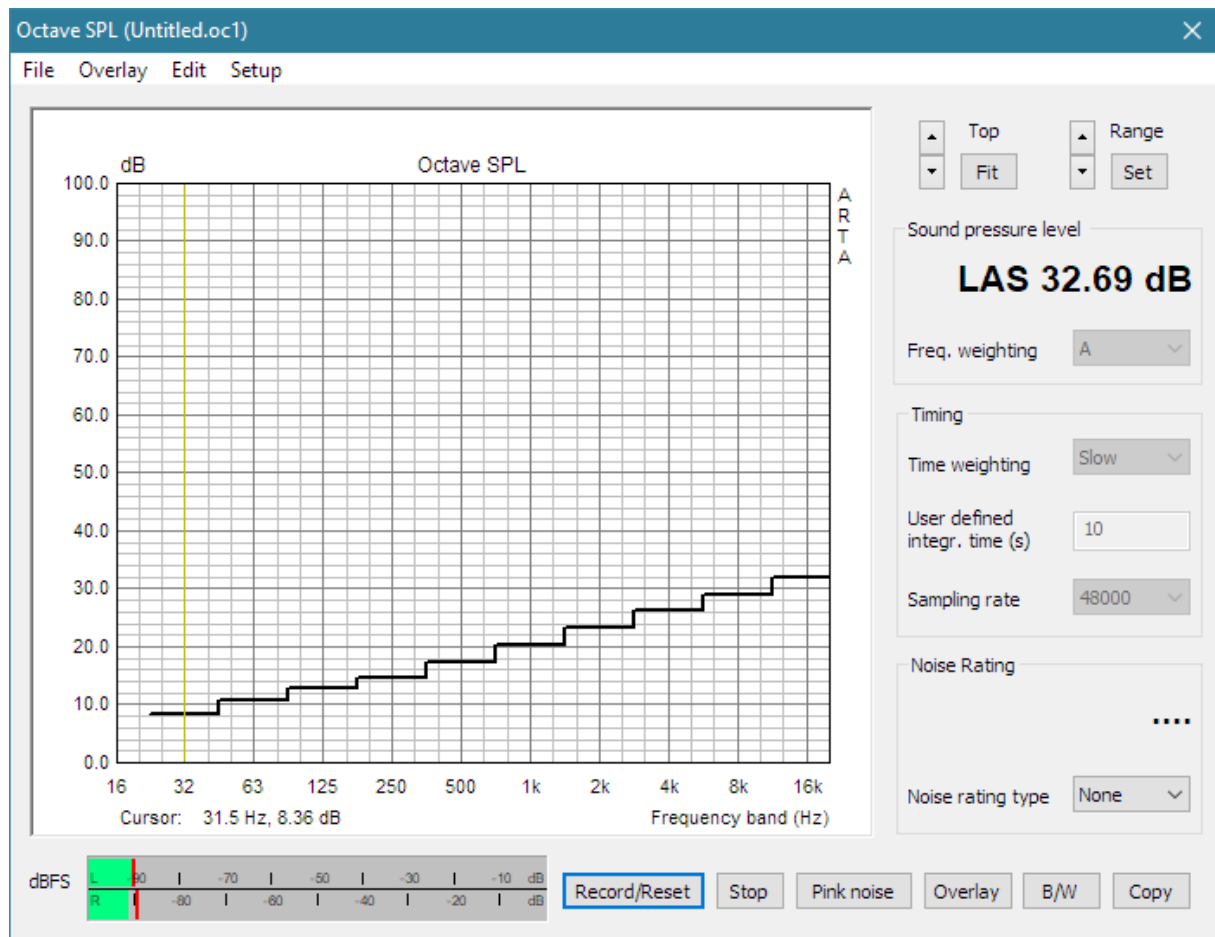


Рисунок 9.16 Измеритель звукового давления виртуального октавного диапазона

The **Окно октавного звукового давления** имеет меню, график со ступенчатой кривой, показывающий уровень звукового давления в октавном диапазоне, а также несколько оконных элементов управления со следующими функциями:

Пиковый измеритель dBFS – показывает пиковый уровень на входе левого и правого каналов до фильтрации сигнала. **Пуск/Сброс** кнопка – запускает измерение и сбрасывает интеграторы сигналов. **Останавливаться** кнопка – останавливает измерение.

Розовый шум кнопка – запускает генерацию непрерывного розового шума.

Наложение кнопка – открывает диалоговое окно Менеджер наложений. **Ч/Б** кнопка

– устанавливает цвет фона графика на черный или белый. **Копировать** кнопка –

скопировать график в буфер обмена. **Вершина** кнопки – изменение верхнего поля

величины графика. **Диапазон** кнопки – изменяет диапазон величин графика.

Соответствовать кнопка – изменяет поля графика в соответствии с текущей кривой.

Набор кнопка – открывает диалоговое окно для ручной настройки полей графика.

Уровень звукового давления раздел — показывает широкополосный частотно-взвешенный уровень звукового давления (большим шрифтом).

Взвешивание Поле со списком – выбирает тип частотной коррекции: A, C или Z (лин).

ТаймингВ разделе задаются временные взвешивания и частота дискретизации:

Временное взвешиваниеПоле со списком – выбирает тип взвешивания: Быстрое, Медленное, Импульсное или Пользовательское. **Определяемое пользователем время интеграции**–устанавливает определяемую пользователем константу интегрирования в секундах. **Частота выборки**Поле со списком – выбирает частоту дискретизации 44100 или 48000 Гц.

Уровень шумаВ разделе показаны различные значения рейтинга шума (крупным шрифтом), если в поле со списком 'Тип уровня шума' установлено значение: NR, NC, PNC, RC или NCB. В этом случае на графике показаны соответствующие кривые оценки шума (как показано на рис. 9.17).

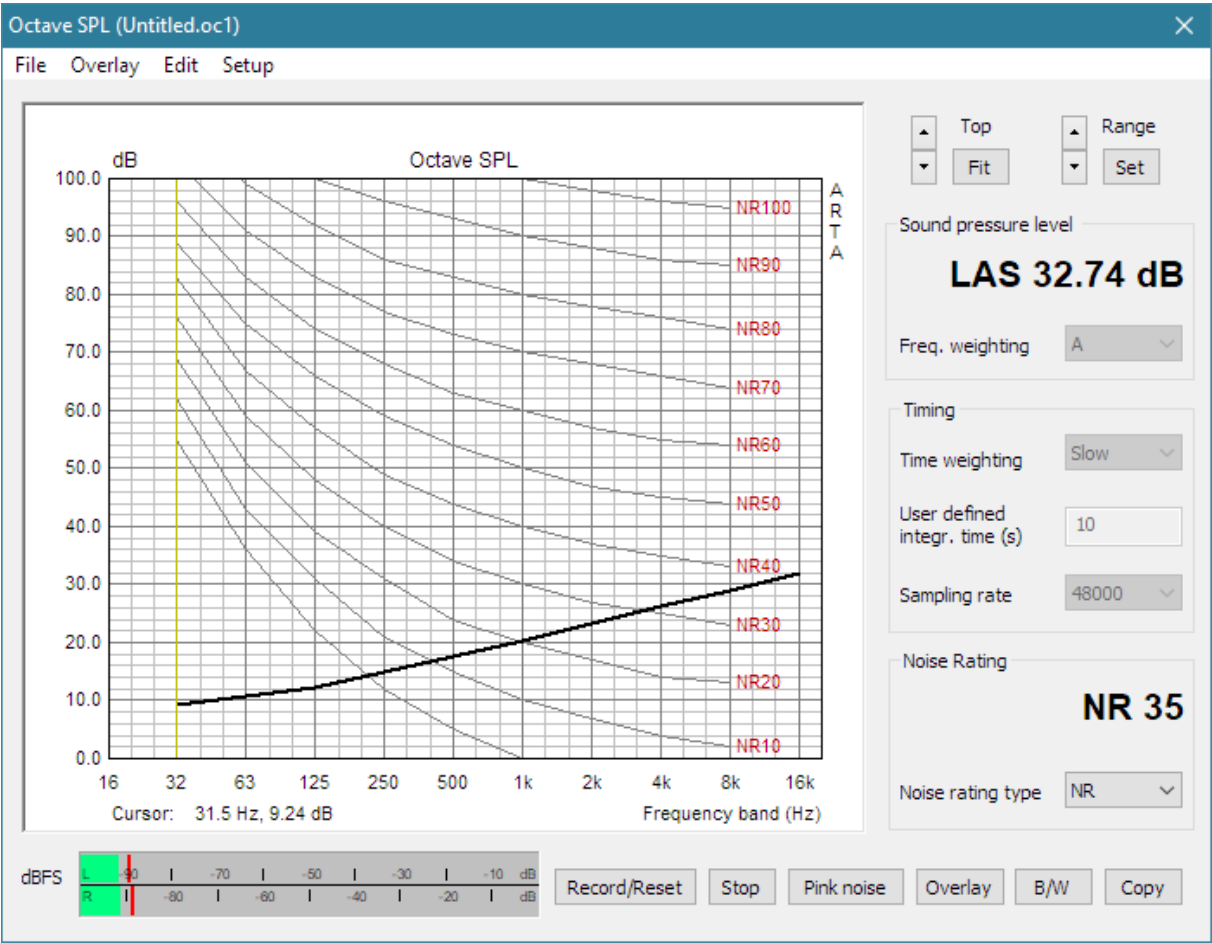


Рисунок 9.17Измеритель звукового давления в виртуальной октавной полосе с кривыми уровня шума ISO

Верхние пункты меню:

Файл

- Открыть**–открывает файл «.oc1», содержащий значения звукового давления октавной полосы. **Сохранять**–сохраняет уровни октавных полос в двоичном файле «.oc1».
- Экспорт...**
 - Экспорт ASCII**–сохраняет данные в файле ASCII.
 - Экспорт CSV**–сохраняет данные в файле формата Excel «.csv».
- Информация о файле и пользователе**–показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе.

Наложение

- Установить как наложение**–сохраняет текущую кривую как наложенную кривую.

Управление наложениями-открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений FR» для редактирования списка наложений. **Удалить все**-удаляет все наложения. **Удалить последнее наложение**-удаляет последнее наложение.

Загрузить как наложение-загружает данные октавного диапазона SPL из файла «.oc1».

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика в буфер обмена.

Ч/Б цвет фона-устанавливает цвет фона на черный или белый. **Среднее с наложениями**-кривая среднего тока с видимыми накладками.

Настраивать

Калибровка аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств.

Настройка аудиоустройств-открывает диалог настройки аудиоустройств.

Уровень шума в зданиях

Рейтинг шума или критерии шума определяются как однозначный рейтинг фонового шума в зданиях. Определения существуют в нескольких стандартах, обозначенных как рейтинг NR, NC, PNC, NCB и RC. Как правило, группа частотных кривых и правила их использования необходимы для выражения шума или фонового звука, измеренного в октавных полосах, как одно число.

Рейтинг NR

ISO/R1996-1971 определяет *рейтинг шума*-Кривые NR, как показано на рис. 9.17. Используя эти кривые, можно определить рейтинг шума NR. *X* определяется как наивысший индекс кривой *X*. Это только что касается измеренного уровня октавной полосы.

Рекомендуется, чтобы рейтинг NR для различных применений не превышал уровни шума, указанные в Таблице 9.2.

NC – шумовой критерий

Критерий шума(NC) кривые (рис. 9.18) были введены (Беранек, 1957) для оценки шума во внутренних помещениях, таких как офисы, конференц-залы и дома. Рейтинг NC определяется по самой нижней кривой NC, которая может быть построена так, чтобы ни одна точка измеренного спектра октавной полосы не находилась выше нее. Поскольку кривые NC заданы с интервалом 5 дБ, между этими значениями интерполируется уровень NC.

Было обнаружено, что фоновый шум, соответствующий исходным кривым NC, не был полностью нейтральным. В шуме были компоненты, которые звучали как «шипяще», так и «грохочу».

Рекомендуемые номиналы N3 приведены в Таблице 9.2.

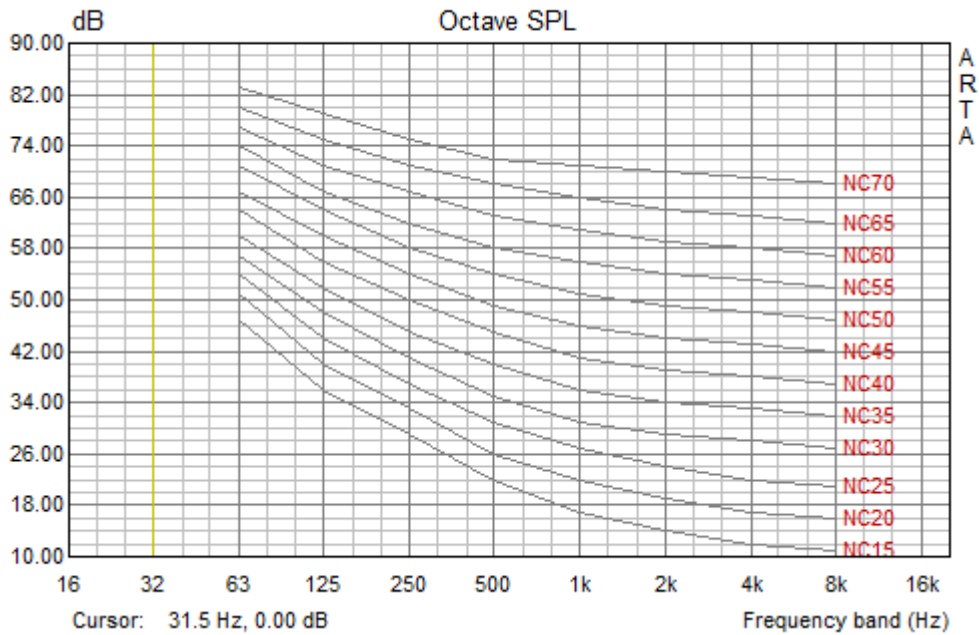


Рисунок 9.18Кривые критерия шума

Выбор подходящего критерия шума важен при определении приемлемых уровней шума. Большинство организаций используют тот или иной индекс, основанный на практическом опыте. Рекомендуемые максимальные уровни шума для различных типов помещений и стандартов указаны в таблице 9.2.

| Тип номера – Вместимость | | Шум Критерий <small>Северная Каролина</small> | Шум Рейтинг NR | дБ(A) |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|---------|
| Очень тихий | Концертные и оперные залы, студии звукозаписи, театры и т. д. | 10–20 | 20 | 25–30 |
| | Частные спальни, живые театры, теле- и радиостудии, конференц-залы и лекционные залы, соборы и большие церкви, библиотеки и т. д. | 20–25 | 25 | 25–30 |
| | Частные гостиные, залы заседаний, конференц-залы и лекционные залы, спальни отелей. | 30 - 40 | 30 | 30 - 35 |
| Тихий | Общественные помещения в гостиницах, небольшие офисы, классы, залы судебных заседаний. | 30 - 40 | 35 | 40 - 45 |
| Умеренный шумный | Чертежи, туалеты, ваннные комнаты, приемные, вестибюли, коридоры, универмаги и т. д. | 35 - 45 | 40 | 45 - 55 |
| Шумный | Кухни в больницах и гостиницах, прачечные, компьютерные залы, столовые, супермаркеты, офисные помещения и т. д. | 40 - 50 | 45 | 45 - 55 |

Таблица 9.2Примеры рекомендуемых номиналов NR и NC

РНС - предпочтительный критерий шума
Кривые NC были пересмотрены (Beranek, 1971) для получения более нейтрального спектра фонового шума и расширены до октавной полосы 31,5 Гц. Эти кривые называются*предпочтительный критерий шума*-Кривые ПНК.

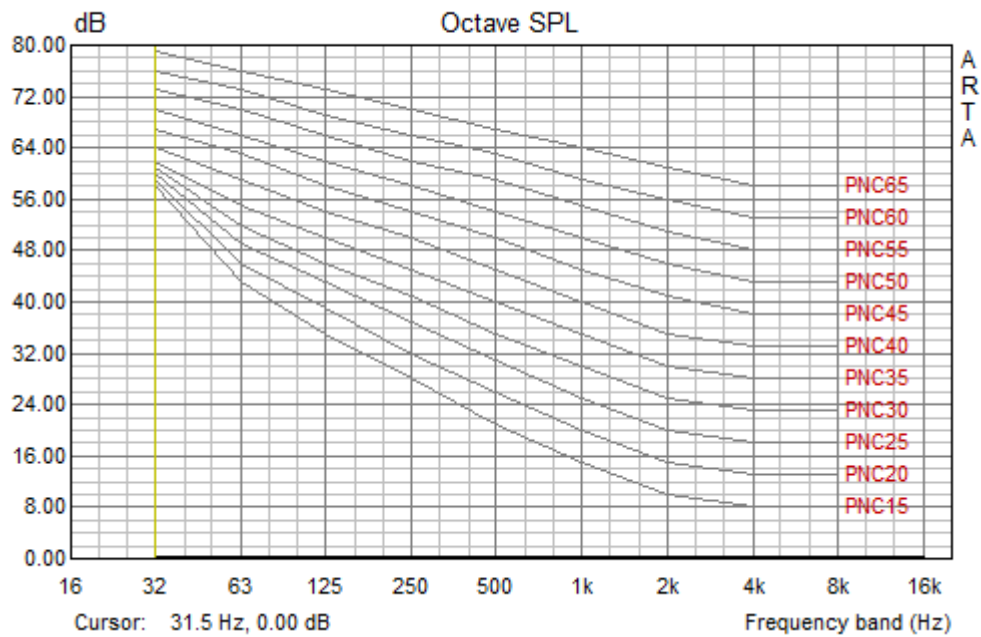


Рисунок 9.19 Кривые критерия предпочтительного шума

NCB – критерий сбалансированного шума

Кривые PNC были пересмотрены, чтобы критерий *сбалансированного шума* – Кривые NCB, чтобы уравнивать воспринимаемую громкость октавных полос, содержащих одинаковое количество критических полос (Стивенс, 1972). Номинальное число на кривых NCB представляет собой средний уровень октавных полос 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц и 4000 Гц, соответствующий значению *уровень речевых помех-СИЛ*.

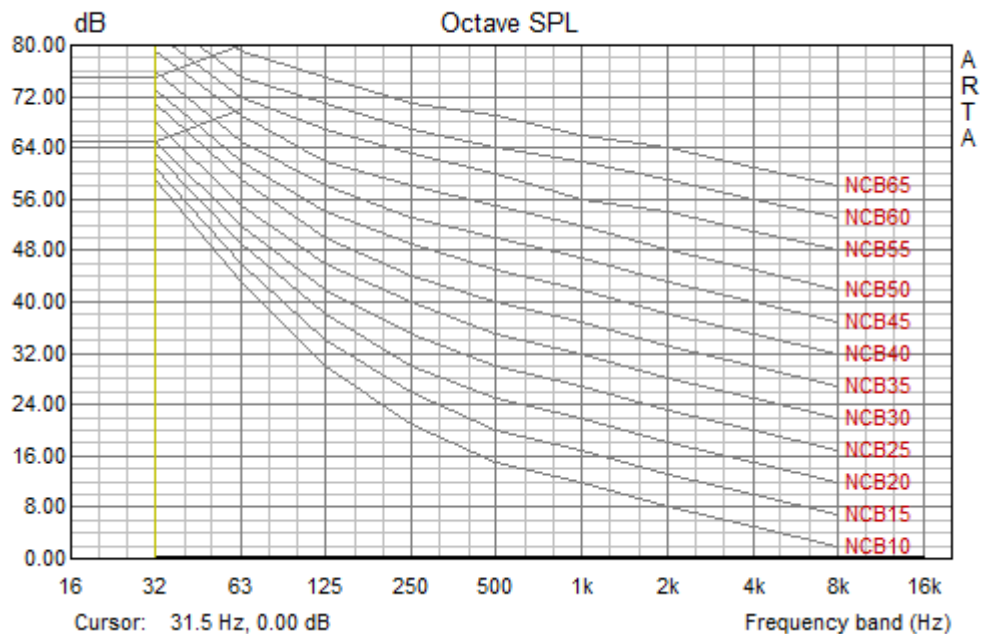


Рисунок 9.20 Кривые критерия сбалансированного шума

Кривые NCB сопровождаются процедурой оценки воспринимаемого баланса звукового спектра, то есть будет ли спектр восприниматься как нейтральный, рокочущий или шипящий.

Правила оценки грохота и шипения звука с помощью кривых NCB следующие:

1. Определите SIL для оцениваемого спектра как среднее арифметическое уровней звука в октавных диапазонах 500, 1000, 2000 и 4000 Гц, округленное до ближайшего децибела, например XX. Это значение затем будет обозначаться как рейтинг NCB-XX.
2. Рейтинг НЦБ будет обозначаться как *грохочущий*, с суффиксом (R), если уровень какой-либо октавной полосы с частотой 1000 Гц или ниже находится выше кривой NCB-YY. YY равен значению XX на шаге 1 плюс 3 дБ.
3. Рейтинг НЦБ будет обозначаться как *шипящий*, с суффиксом (H), если уровень какой-либо октавной полосы на частотах выше 500 Гц превышает кривую NCB-ZZ. Чтобы определить величину ZZ, сначала определите среднее арифметическое уровней звукового давления в трех октавных диапазонах от 125 до 500 Гц. Затем определите, какая кривая NCB имеет этот уровень звукового давления при частоте 250 Гц. Это кривая NCB-ZZ.
4. Заштрихованная область кривых NCB указывает уровни звукового давления в октавных диапазонах от 16 до 63 Гц, при которых может возникнуть ощутимая вибрация стен и потолков зданий. Для спектров с уровнями, попадающими в этот диапазон, после рейтинга NCB ставится суффикс (RV).

RC – критерий помещения

В 1981 году критерий помещения-Кривые RC были определены на основе исследования шума в офисных помещениях, проведенного Американским обществом инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (ASHRAE). Рейтинг RC представляет собой среднее арифметическое значений октавных полос 500, 1000 и 2000 Гц, взятых из измеренных уровней октавных полос. На частотах выше и ниже этих центральных полос проводится вторая параллельная линия. Ниже 500 Гц линия находится на 5 дБ выше соответствующей линии RC, а выше 2000 Гц — на 3 дБ выше линии. Если измеренный спектр превышает низкочастотную линию, рейтингу RC присваивается суффикс (R) для *гул*. Если он превышает высокочастотную линию, к обозначению добавляется суффикс (H) *шипящий*. Заштрихованная область кривых RC указывает уровни звукового давления в октавных диапазонах от 16 до 63 Гц, при которых может возникнуть ощутимая вибрация стен и потолков зданий. Эти уровни звука часто вызывают дребезжание в шкафах, дверях, картинах и т. д. Для спектров с уровнями, попадающими в этот диапазон, после рейтинга RC ставится суффикс (RV).

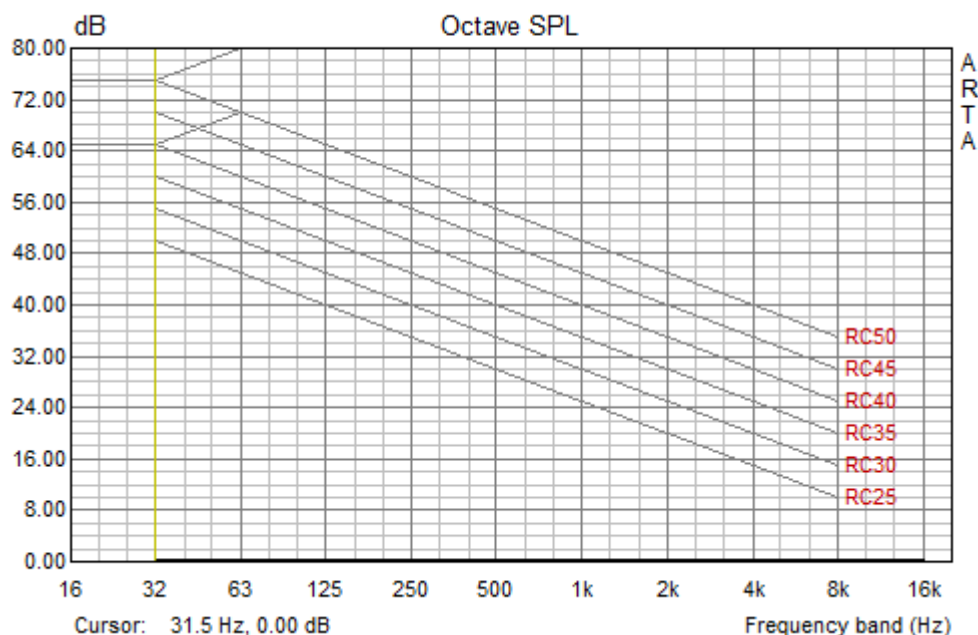


Рисунок 9.21 Кривые критерия помещения

9.4 Уровень звукового давления и измеритель громкости в третьей октавной полосе

Анализ звукового давления в третьей октавной полосе в реальном времени очень часто используется для оценки спектра, близкого к разрешению человеческого уха. Хорошо известно, что критическая полоса пропускания слуховой системы человека близка к 1/3 октавы для частот выше 500 Гц.

Как и при анализе октавных полос, сигнал одновременно подается на несколько полосовых фильтров. Выходные сигналы фильтров возводятся в квадрат и интегрируются с надлежащей временной коррекцией для получения уровня звукового давления в каждой третьей октавной полосе. Тип фильтра определяется стандартом IEC 1260. ARTA использует третьоктавные полосовые фильтры IEC класса 1 (цифровой шестиполосный полосовой фильтр Баттерворта) со стандартными центральными частотами. f_0 : 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, , 5000 , 6300, 8000, 10000, 12500 и 16000 Гц. Для каждого фильтра нижний срез частоты равен $f_1 = 2^{-1/6} f_0$, а верхняя частота среза равна $f_2 = 2^{1/6} f_0$.

Виртуальный измеритель звукового давления третьей октавной полосы можно активировать командой меню 'Инструменты->Третья октавная полоса SPL и измеритель громкости'. Прибор показан на рисунках 9.22 и 9.23.

Как и в случае анализа октавной полосы, ARTA предполагает, что калиброванный микрофон подключен к одному каналу звуковой карты (как установлено в диалоге «Настройка аудиоустройства»).

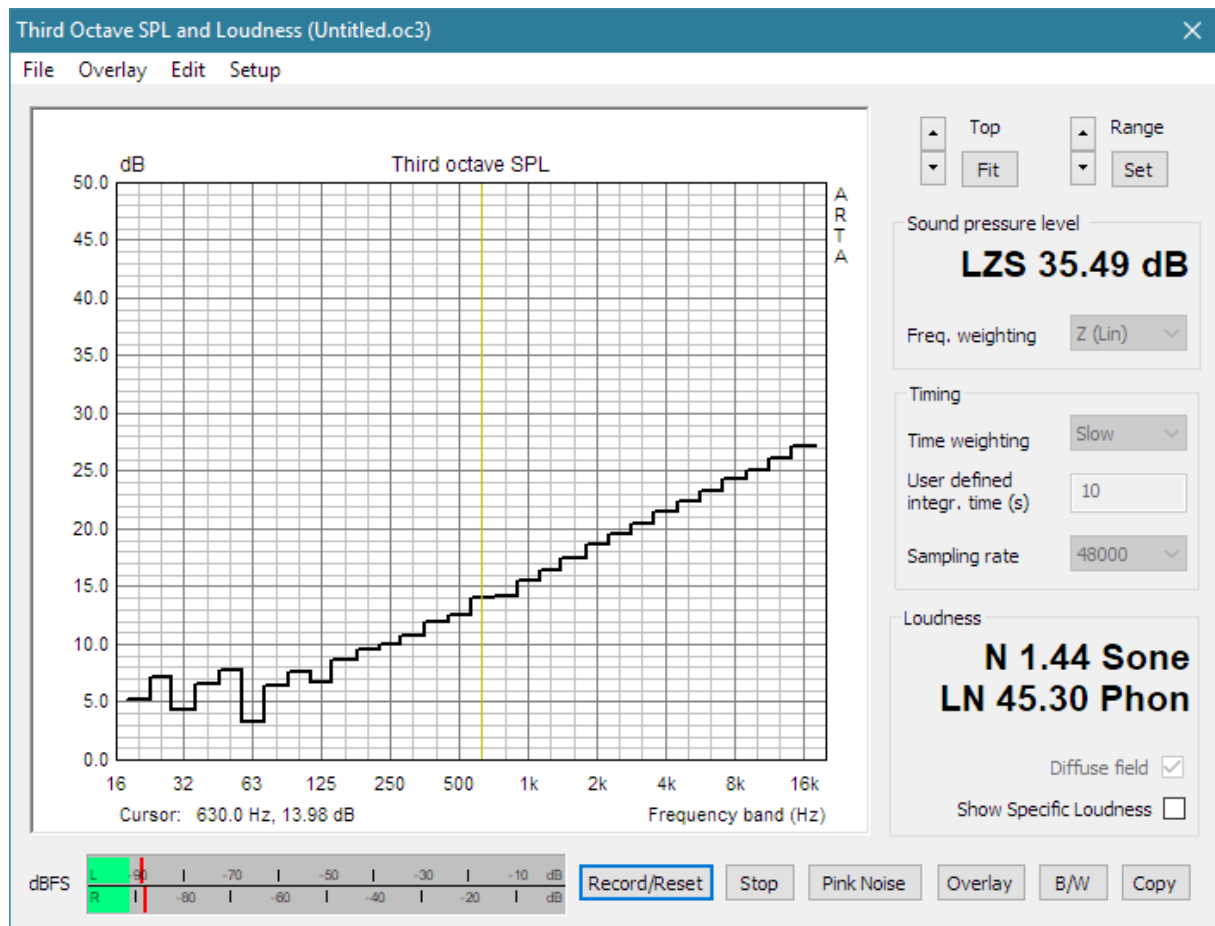


Рисунок 9.22 Виртуальный измеритель звукового давления третьей октавной полосы

Окно звукового давления и громкости третьей октавы имеет меню, график со ступенчатой кривой, показывающий SPL третьей октавной полосы (рис. 9.22) или удельную громкость (рис. 9.23), а также несколько элементов управления со следующими функциями:

Пиковый измеритель dBFS – показывает пиковый уровень на входе левого и правого каналов до фильтрации сигнала. **Пуск/Сброс** кнопка – запускает измерение и сброс интеграторов сигналов. **Останавливаться** кнопка – останавливает измерение.

Розовый шум кнопка – запускает генерацию непрерывного розового шума.

Наложение кнопка – открывает диалоговое окно Менеджер наложений. **Ч/Б** кнопка

– устанавливает цвет фона графика на черный или белый. **Копировать** кнопка –

копирует график в буфер обмена. **Вершина** кнопки – изменяет верхнее поле

величины графика. **Диапазон** кнопки – изменяет диапазон величин графика.

Соответствовать кнопка – изменяет поля графика в соответствии с текущей кривой.

Набор кнопка – открывает диалоговое окно, показанное на рис. 9.24, для ручной настройки полей графика.

Уровень звукового давления раздел — показывает широкополосный частотно-взвешенный уровень звукового давления (большим шрифтом)

Взвешивание Поле со списком – выбирает тип частотной коррекции: A, C или Z (Lin).

Тайминг В разделе задаются временные взвешивания и частота дискретизации:

Временное взвешивание Поле со списком – выбирает тип взвешивания: Быстрое, Медленное, Импульсное или Пользовательское.

Определяемое пользователем время интеграции – устанавливает определяемую пользователем константу интегрирования в секундах **Частота**

выборки Поле со списком – выбирает частоту дискретизации 44100 или 48000 Гц.

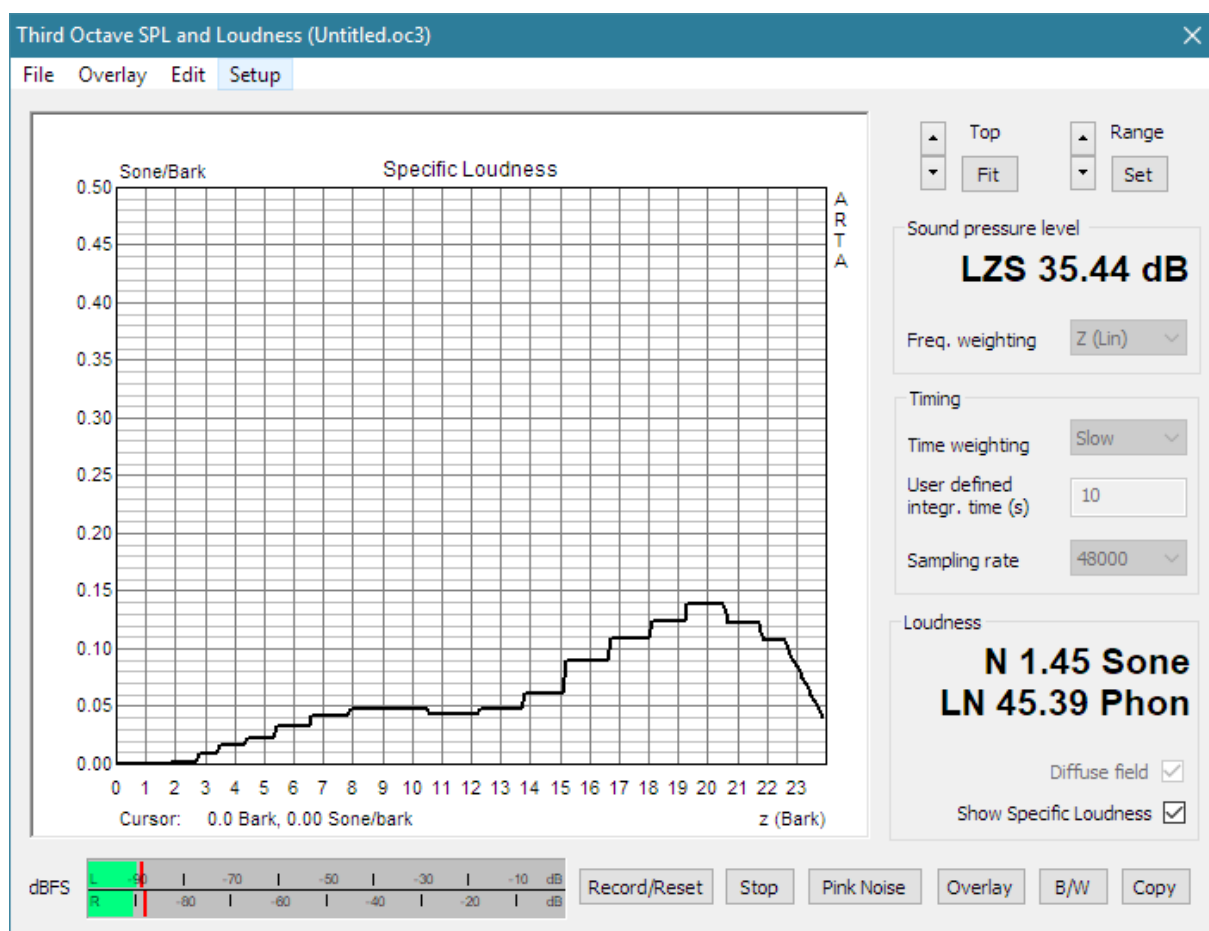


Рисунок 9.23 Виртуальный измеритель громкости

Громкость раздел показывает громкость N в сонах и уровне громкости LN в телефонах.

Диффузное поле Флажок - должен быть установлен при измерениях с микрофоном внутри диффузного звукового поля, в противном случае для условий свободного поля его следует снять.

Показать конкретную громкость флажок – если флажок установлен, график показывает конкретную кривую громкости, как на рис. 9.23, в противном случае график показывает SPL третьей октавы.

Меню содержит следующие пункты:

Файл

Открыть–открывает файл «.ос3», содержащий SPL третьей октавной полосы и определенные значения громкости.

Сохранять–сохраняет данные третьей октавной полосы и громкости в двоичном файле «.ос3». **Экспорт...**

Экспорт ASCII–сохраняет данные в файле ASCII.

Экспорт CSV–сохраняет данные в файле формата Excel «.csv».

Информация о файле и пользователе–показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе.

Наложение

Установить как наложение–сохраняет текущую кривую как наложенную кривую.

Управление наложениями–открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений» для редактирования списка наложений.

Удалить все–удаляет все наложения. **Удалить последнее наложение**–удаляет последнее наложение.

Загрузить как наложение –загружает данные SPL и громкости третьей октавной полосы из файла «.ос3».

Редактировать

Копировать–копирует растровое изображение графика в буфер обмена.

Ч/Б цвет фона–устанавливает цвет фона на черный или белый. **Среднее с наложениями**–усредняет текущую кривую с видимыми наложениями.

Настраивать

Калибровка аудиоустройства–открывает диалог калибровки аудиоустройств.

Настройка аудиоустройств–открывает диалог настройки аудиоустройств.

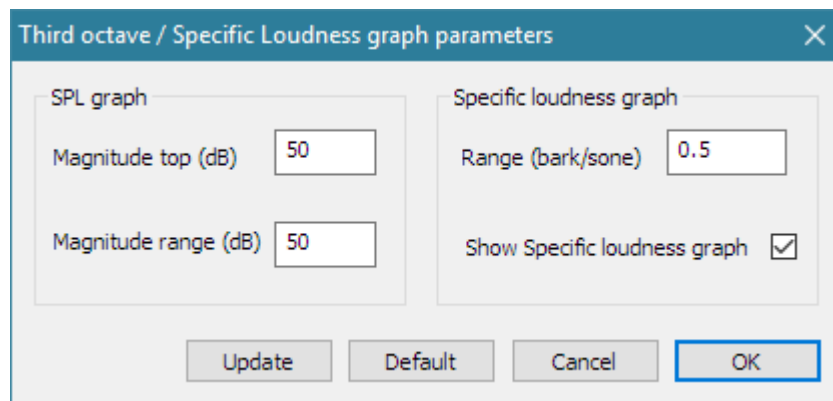


Рисунок 9.24Диалоговое окно для настройки границ звукового давления третьей октавы / графика удельной громкости

Диалог настройки полей графика имеет следующие элементы управления.

График звукового давленияраздел:

Верхняя громкость (дБ)Поле редактирования – устанавливает верхнее поле. **Диапазон амплитуд**

(дБ)Поле редактирования – устанавливает диапазон величин графика.

График удельной громкости сдействие:

Диапазон (лай/сон)Поле редактирования — устанавливает верхнее поле для конкретного графика громкости.

Показать график удельной громкости–флажок – выбирает громкость вместо графика SPL.

Модель громкости Цвиккера

Удельная громкость N в Соне/Барке, громкость H в Соне и уровне громкости L_N в Phon определяются методом Цвиккера, который определен в стандартах DIN 45631 и ISO532B. Принято считать, что этот метод дает правильную оценку громкости стационарных сигналов.

Агромкость звука H — это величина, которая естественным образом определяет восприятие громкости звука человеком.

Единицей громкости является *Соне*. Кроме того, количество *уровень громкости L_N* часто используется, и его единицей является *Фон*.

Что относится *СПЛ*, *Нил* как следует:

- 1) Опорный синусоидальный сигнал частотой 1 кГц и уровнем 40 дБ в свободном поле дает ощущение громкости, равной 1 Соне, и уровня громкости 40 Phon. При более высоких уровнях звука громкость удваивается, поскольку уровень звука повышается примерно на 10 дБ. Это известно как степенной закон громкости Стивенса;
 $H' = 10 \log_{10} H$.
- 2) Уровень громкости в Фоне равен уровню звука, но только для синусоидального сигнала частотой 1 кГц. Для другой частоты уровень громкости отличается от SPL.
- 3) Уровень громкости L_N произвольного звукового сигнала связана с громкостью H со следующими выражениями:

$$L_N = 10 \lg(H) + 40, \text{ для } H \geq 1$$

$$L_N = 40 (H + 0.0005)^{0.35}, \text{ для } H < 1, \text{ если } (L_N < 1) L_N = 1;$$

Цвиккер усовершенствовал закон Стивенса, включив в него частотную зависимость громкости, закон суммирования громкости критических полос и эффекты маскировки звука.

Концепция критического диапазона важна для описания слуховых ощущений. Наша слуховая система анализирует широкий спектр на части, соответствующие критическим диапазонам (определенным в Таблице 9.3). Добавление одной критической зоны к следующей таким образом, чтобы верхний предел нижней критической зоны соответствовал нижнему пределу следующей, более высокой критической зоны, приводит к шкале скорости критической зоны. Единицей критической скорости полосы является *Лаять*. Скорость критической полосы примерно линейно связана с положением возбуждения критической полосы на базилярной мембране уха.

| Номер группы | F-центр (Гц) | Цветок (Гц) | F-верхний (Гц) |
|--------------|--------------|-------------|----------------|
| 1 | 50 | 0 (20) | 100 |
| 2 | 150 | 100 | 200 |
| 3 | 250 | 200 | 300 |
| 4 | 350 | 300 | 400 |
| 5 | 450 | 400 | 510 |
| 6 | 570 | 510 | 630 |
| 7 | 700 | 630 | 770 |
| 8 | 840 | 770 | 920 |
| 9 | 1000 | 920 | 1080 |
| 10 | 1170 | 1080 | 1270 |
| 11 | 1370 | 1270 | 1480 г. |
| 12 | 1600 | 1480 г. | 1720 г. |
| 13 | 1850 г. | 1720 г. | 2000 г. |
| 14 | 2150 | 2000 г. | 2320 |
| 15 | 2500 | 2320 | 2700 |
| 16 | 2900 | 2700 | 3150 |
| 17 | 3400 | 3150 | 3700 |
| 18 | 4000 | 3700 | 4400 |
| 19 | 4800 | 4400 | 5300 |
| 20 | 5800 | 5300 | 6400 |
| 21 | 7000 | 6400 | 7700 |
| 22 | 8500 | 7700 | 9500 |
| 23 | 10500 | 9500 | 12000 |
| 24 | 13500 | 12000 | 15500 |

Таблица 9.3 Критические диапазоны, охватывающие всю шкалу скоростей критического диапазона.

В модели Цвикера частотная зависимость громкости выражается по шкале Барка как удельная громкость $N'(f)$ в единицах сон/лай, так что общая громкость составит:

$$N' = \int_0^{24} N'(f) df$$

Это означает, что общая громкость получается путем интегрирования удельной громкости в области слуха из 24 лаев, которые соответствуют частотному диапазону, занимаемому 1/3-октавными полосами от 25 до 12500 Гц.

Алгоритм расчета громкости состоит из трех шагов:

- 1) Мощность октавных полос преобразуется в уровни возбуждения в критических полосах по шкале коры.
- 2) Уровни возбуждения преобразуются в удельную функцию громкости $N'(f)$, также учитывая эффекты маскировки верхних полос нижними.
- 3) Наконец, общая громкость определяется путем интегрирования удельной громкости по полной шкале критической частоты полосы пропускания.

9.5 Уровень звукового давления в третьей октаве и запись времени громкости

При анализе нестационарных сигналов времени полезно отслеживать историю 1/3-октавного уровня звукового давления и измерений громкости. В АРТА этот тип измерения включается командой меню **Инструменты->Третья октава и запись времени громкости**, который открывает диалоговое окно измерения, показанное на рисунке 9.25.

Запись измерений уровня звукового давления и громкости с равноотстоящими временными интервалами сохраняется и отображается в виде трехмерного водопада или графика сонограммы. Пользователь выбирает количество временных шагов: 25, 50, 75 или 100, а также время шага как временной интервал между двумя измерениями.

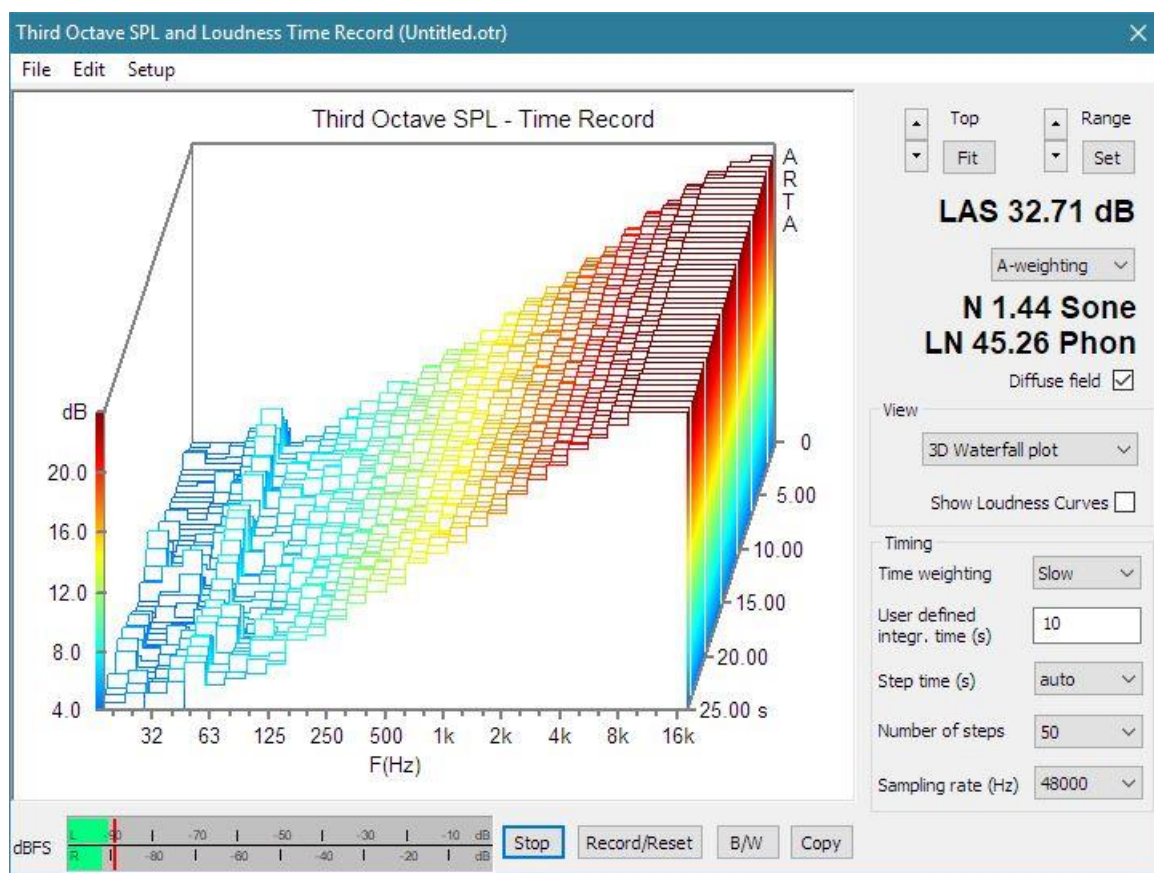


Рисунок 9.25 Диалог 'Рекорд третьей октавы и громкости'

Диалоговое окно '**Рекорд третьей октавы и громкости**' имеет меню, график, показывающий временную запись SPL или громкости, а также несколько элементов управления со следующими функциями:

Копировать – копирует график в буфер обмена.

Вершина – изменяет верхнее поле величины графика.

Диапазон – изменяет диапазон величин графика.

Соответствовать – изменяет поля графика в соответствии с последней измеренной кривой.

Набор – открывает диалоговое окно, показанное на рис. 9.26, для ручной настройки полей и цветов графика.

Уровень звукового давления – показывает широкополосный частотно-взвешенный уровень звукового давления на последнем этапе измерения. **Взвешивание** – поле со списком – выбирает тип частотной коррекции: А, С или Z (Lin). **Громкость** – раздел показывает громкость *нв* в сонах и уровне громкости *нв* в телефонах.

Диффузное поле – флажок – должен быть установлен при измерениях с микрофоном внутри диффузного звукового поля, в противном случае для условий свободного поля его следует снять.

Вид – тип графика набора разделов:

Поле со списком – устанавливает тип графика: 3D-водопад, сонограмму или 2D-график.

Показать кривые громкости – флажок – определяет график громкости, в противном случае отображаются графики SPL.

Тайминг – в разделе задаются временные взвешивания и частота дискретизации:

Временное взвешивание – поле со списком – выбирает время интегрирования в качестве типа взвешивания: быстрое, медленное, импульсное или определяемое пользователем.

Определяемое пользователем время интеграции – устанавливает определяемую пользователем константу интегрирования в секундах

Время шага – поле списка – выбирает: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7 с или автоматически устанавливает время шага, равное 1/2 времени интегрирования SPL.

Количество шагов – окно списка – позволяет выбрать 25, 50, 75 или 100 записей времени.

Частота выборки – поле со списком – выбирает частоту дискретизации 44100 или 48000 Гц.

Пиковый измеритель dBFS – показывает пиковый уровень входных каналов относительно полной шкалы (до фильтрации сигнала). **Пуск/**

Сброс – кнопка – запускает измерение и сброс интеграторов сигналов. **Останавливаться** – кнопка – останавливает измерение.

Ч/Б – кнопка – устанавливает цвет фона графика на черный или белый.

Меню содержит следующие пункты:

Файл

Открыть – открывает файл «.otr», содержащий SPL третьей октавной полосы и запись определенного времени громкости.

Сохранять – сохраняет данные третьей октавной полосы и записи времени громкости в двоичном файле «.otr». **Экспорт...**

Экспорт ASCII – сохраняет данные в файле ASCII.

Экспорт CSV – сохраняет данные в файле формата Excel «.csv».

Информация о файле и пользователе – показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе.

Редактировать

Копировать – копирует растровое изображение графика в буфер обмена.

Ч/Б цвет фона – устанавливает цвет фона на черный или белый.

Настройка полей и цветов графика – настройки 1/3 октавы SPL и графики громкости, поля и цвета

Настроить

Калибровка аудиоустройства – открывает диалог калибровки аудиоустройств.

Настройка аудиоустройств – открывает диалог настройки аудиоустройств.

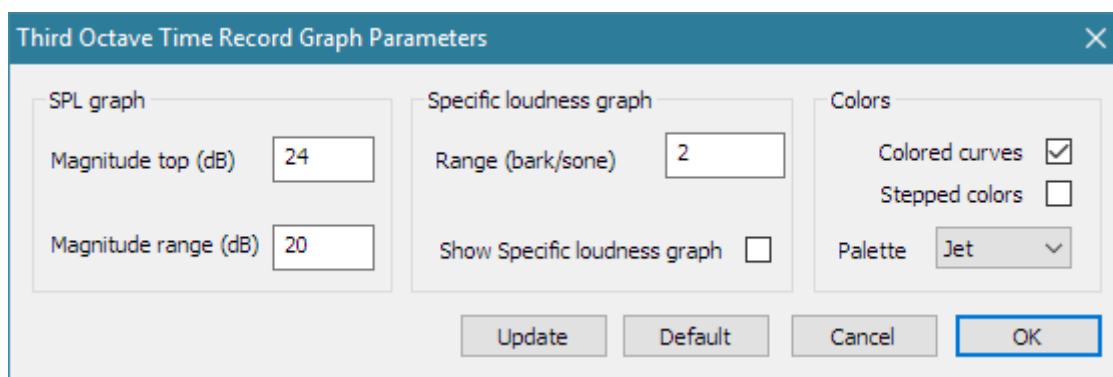


Рисунок 9.26 Диалог настройки полей и цветов графика

Диалоговое окно настройки полей и цветов графика имеет следующие элементы управления.

График звукового давленияраздел:

Верхняя громкость (дБ) Поле редактирования – устанавливает верхнее поле. **Диапазон амплитуд**

(дБ) Поле редактирования – устанавливает диапазон величин графика.

График удельной громкости действие:

Диапазон (лай/сон) Поле редактирования — устанавливает верхнее поле для конкретного графика громкости.

Показать график удельной громкости – флажок – выбирает громкость вместо графика SPL.

Цветраздел:

Цветные кривые флажок - устанавливает отрисовку водопадных кривых в цветах, пропорциональных величине **Ступенчатые**

цвета флажок - устанавливает ступенчатый выбор цвета из цветовой палитры **Окно списка палитр** - выбирает цветовую палитру для рисования кривых

9.6 Двухканальный измеритель уровня напряжения и анализатор третьей октавы

Во многих приложениях очень полезно контролировать среднеквадратичные уровни, пиковые уровни и уровень третьей октавной полосы в левом и правом входных каналах. На рисунке 9.27 показан виртуальный двухканальный уровнемер напряжения, выполняющий эти функции.

Анализ третьей октавы выполняется с помощью цифровых фильтров IEC класса 1 со стандартными центральными частотами. ж: 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, , 5000 , 6300, 8000, 10000, 12500 и 16000 Гц.

Этот тип анализа требует высокой вычислительной мощности, поэтому частота дискретизации ограничена 48000 Гц.

Виртуальный двухканальный измеритель уровня можно активировать командой меню **'Инструменты->Двухканальный измеритель уровня.'** Эти команды открывают диалоговое окно **'Измеритель уровня и анализатор третьей октавы'** показано на рисунке 9.27.

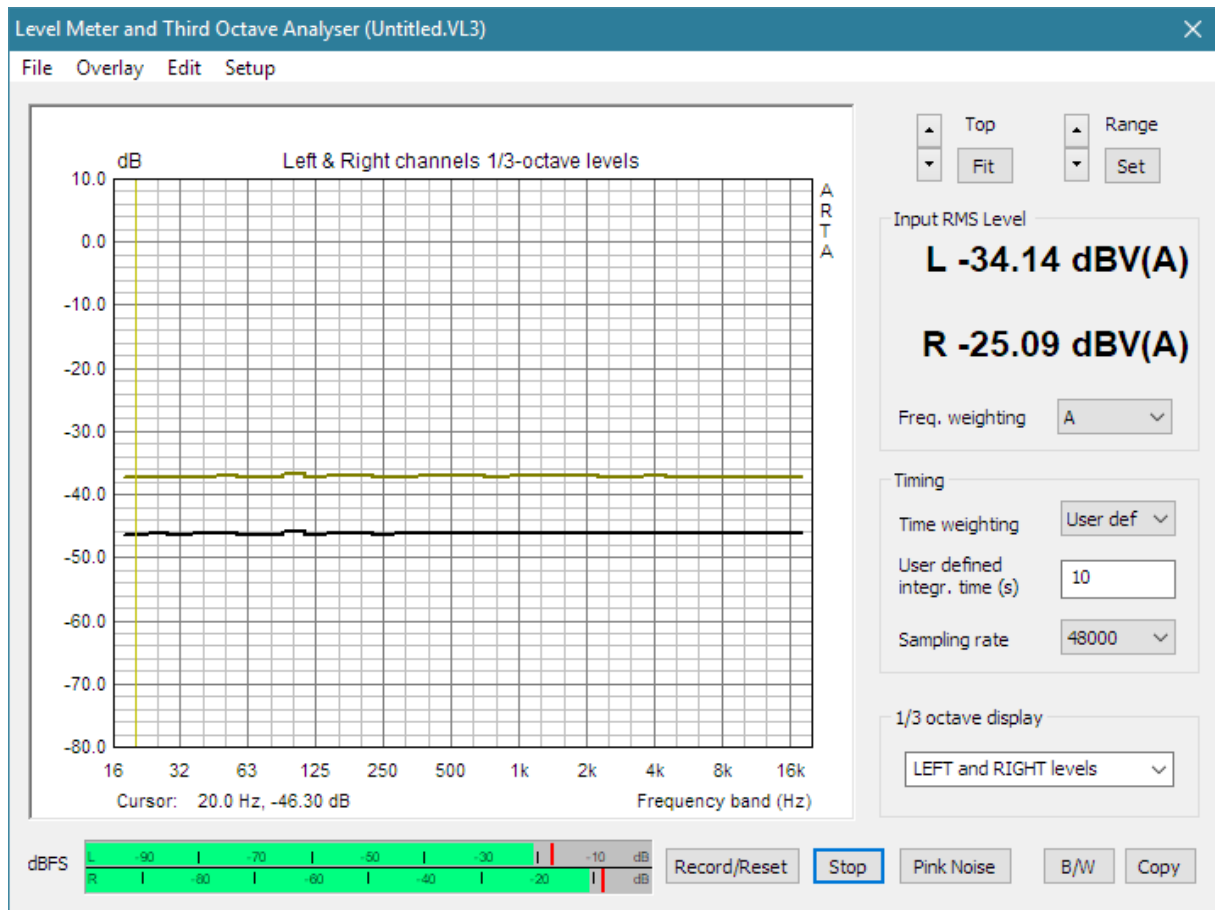


Рисунок 9.27 Виртуальный двухканальный измеритель уровня и анализатор третьей октавы

Диалоговое окно 'Измеритель уровня и анализатор третьей октавы' имеет меню, график со ступенчатой кривой, показывающий уровни третьей октавной полосы, и несколько элементов управления со следующими функциями:

Пиковый измеритель dBFS – показывает пиковый уровень на входе левого и правого каналов до фильтрации сигнала. **Запись/Сброс** кнопка – запускает измерение и сброс интеграторов сигналов. **Останавливаться** кнопка – останавливает измерение.

Розовый шум кнопка – запускает генерацию непрерывного розового шума. **Ч/Б** кнопка – устанавливает цвет фона графика на черный или белый. **Копировать** кнопка – скопировать график в буфер обмена. **Вершина** кнопки – изменяет верхнее поле величины графика. **Диапазон** кнопки – изменяет диапазон величин графика. **Соответствовать** кнопка – изменяет поля графика в соответствии с текущей кривой.

Набор кнопка – открывает диалоговое окно, показанное на рис. 9.26) для ручной настройки полей графика.

Входной среднеквадратичный уровень раздел – показывает широкополосные и взвешенные уровни (крупным шрифтом).

Взвешивание Поле со списком – выбирает тип частотной коррекции: A, C или Z (Lin).

Тайминг В разделе задаются временные взвешивания и частота дискретизации:

Временное взвешивание Поле со списком – выбирает тип взвешивания: Быстрое, Медленное, Импульсное или Пользовательское. **Определяемое пользователем время интеграции** – устанавливает определяемую пользователем константу интегрирования в секундах. **Частота выборки** Поле со списком – выбирает частоту дискретизации 44100 или 48000 Гц.

1/3 октавный дисплей раздел

Поле со списком – выбирает, что отображать на графике:

ЛЕВЫЙ уровень
ПРАВЫЙ уровень

ЛЕВЫЙ и ПРАВЫЙ уровни

Уровень ЛЕВЫЙ/ПРАВЫЙ (или уровень ЛЕВЫЙ - уровень ПРАВЫЙ)

Уровень ПРАВЫЙ/ЛЕВЫЙ (или уровень ПРАВЫЙ - уровень ЛЕВЫЙ)

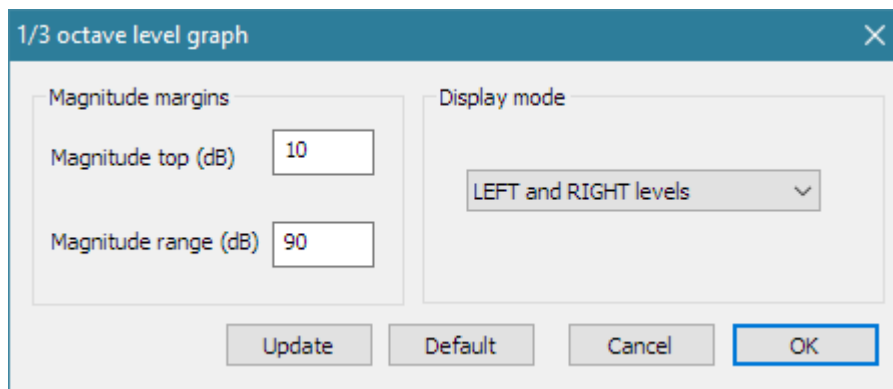


Рисунок 9.28Диалог настройки графика третьей октавы

Меню содержит следующие пункты:

Файл

Открыть-открывает файл «.lv3», содержащий SPL третьей октавной полосы и определенные значения громкости.

Сохранять-сохраняет третью октавную полосу и данные громкости в двоичном файле «.lv3». **Экспорт...**

Экспорт ASCII-сохраняет данные в файле ASCII. **Экспорт CSV**-

сохраняет данные в файле .csv в формате Excel.

Информация о файле и пользователе-показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе.

Наложение

Установить как наложение-сохраняет текущую кривую как наложенную кривую.

Удалить все-удаляет все наложения. **Удалить последнее наложение**-удаляет последнее наложение.

Загрузить как наложение-загрузить данные третьей октавной полосы из файла «.lv3».

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика в буфер обмена.

Ч/Б цвет фона-устанавливает цвет фона на черный или белый.

Настраивать

Аудиоустройства-открывает диалог настройки аудиоустройств. **Калибровка**

аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств.

Литература

- [1] И. Мательян, «Выбор сигнала для измерения акустики помещения», *Учеб. 1999 г. Семинар IEEE по применению обработки сигналов в аудио и акустике.*, Нью-Палц, Нью-Йорк, 1999, ISBN - 0-7803-5612-8.
- [2] И. Мательян, К. Угринович, «Сравнение комнатных систем измерения импульсного отклика», *Материалы Первого конгресса Альпийской акустической ассоциации Adria*, Порторож, Словения, 2003 г., ISBN 961-6238-73-6.
- [3] И. Мательян, «Измерение качества звука в системах связи», *Материалы Второго конгресса Альпийской акустической ассоциации Adria*, Опатия, 2005 г., ISBN 953-95097-0-X.
- [4] И. Мательян, «Модели оценки отклика громкоговорителя в помещении», *Межд. Журнал инженерного моделирования*, Том. 6., №1-4, 1993, ISSN 1330-1365.
- [5] Д.Д. Райф, Дж. Вандеркуй, «Измерение передаточной функции с помощью последовательностей максимальной длины», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 37 июня 1989 г.
- [6] Д.Д. Райф, «Измерение передаточной функции модуляции с помощью последовательностей максимальной длины», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 40 октября 1992 г.
- [7] А. Фарина, «Одновременное измерение импульсной характеристики и искажений с помощью метода развертки синуса», *108 Конвенция AES*, Париж, 2000.
- [8] Р. Пинельтон, Дж. Шукенс, «Измерение и моделирование линейных систем при наличии нелинейных искажений», *Механические системы и обработка сигналов*, 16(5), 2002.
- [9] Дж. Шукенс, Р. Пинельтон, Э. Вен дер Одераа, Э. и Дж. Реннебург, «Обзор сигналов возбуждения для анализаторов сигналов на основе БПФ», *IEEE Транс. Приборы и измерения*, Том. 37 сентября 1988 г.
- [10] Э. Вен дер Одераа, Дж. Шукенс и Дж. Реннебург, «Минимизация пикового коэффициента входных и выходных сигналов линейных систем», *IEEE Транс. Приборы и измерения*, Том. 37 июня 1988 г.
- [11] К. Данн и М.О. Хоксфорд, «Устойчивость к искажениям при измерении импульсного отклика на основе MLS», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 41 мая 1993 г.
- [12] Дж. Вандеркуй, «Аспекты измерительных систем MLS», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 42, апрель 1993 г.
- [13] Ф. Дж. МакВильямс и Н. Дж. Слоан, «Псевдослучайные последовательности и массивы», *Учеб. IEEE*, Том. 64, декабрь 1976 г.
- [14] Дж. С. Бендат, А. Г. Пирсол, *Инженерные приложения корреляционного и спектрального анализа*, Уайли, Нью-Йорк, 1980 год.
- [15] Тан, Мур, Захаров, «Влияние нелинейных искажений на воспринимаемое качество музыкальных и речевых сигналов», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 5 ноября 2003 г.
- [16] IEC-60268-16, «Оборудование звуковой системы: объективная оценка разборчивости речи по индексу передачи речи», *Международный электронный комитет*, Женева, IEC-60268-16-версия 4, 2011 г.
- [17] Рекомендация МСЭ-Т P.501, «Тестовые сигналы для использования в телефонии», 1996 г.
- [18] ISO-3382, Акустика. Измерение времени реверберации помещений с учетом других акустических параметров. 1997.
- [19] Публикация ISO 266, Акустика. Предпочтительные частоты для измерений, 1975 г.
- [20] МЭК 1260, Электроакустика. Октавные и дробно-октавные фильтры, 1995.
- [21] МЭК 60651:1979, Шумомеры, 1979.
- [22] МЭК 61672-1:2002, Электроакустика. Шумомеры. Часть 1. Технические условия, 2002.
- [23] МЭК 60804:2000, Электроакустика. Интегрально-усредняющие шумомеры, 2000.
- [24] МЭК 60268-3:2002, Электроакустика. Оборудование звуковых систем. Часть 3. Усилители. 2002.
- [25] МЭК 60268-5:2002, Электроакустика. Оборудование звуковых систем. Часть 5. Громкоговорители, 2002.
- [26] Д.Б. Кил, «Оценка низкочастотного громкоговорителя с помощью измерения звукового давления в ближнем поле», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 22, IV, 1974.
- [27] RC Heyser, «Фазовые характеристики громкоговорителя и искажения временной задержки: Часть 1», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 17 января 1969 года.
- [28] RC Heyser, «Фазовые характеристики громкоговорителя и искажения временной задержки: Часть 2», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 17 апреля 1969 года.

- [29] RC Neuser, «Определение времени поступления сигнала громкоговорителя: Часть I», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 19 октября 1971 г.
- [30] RC Neuser, «Определение времени поступления сигнала громкоговорителя: Часть II», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 19 ноября 1971 г.
- [31] Дж. М. Берман, Л. Р. Финчем, «Применение цифровой техники для измерения громкоговорителя», *Дж. Аудио англ. Соц.*, VI, 1977.
- [32] Х. Беринг, О. З. Педерсен, «Системный анализ и спектрометрия с временной задержкой», *Технический обзор B&K*, Нет. 1, 2, 1983.
- [33] Н. Трейн, «Преобразование Гильберта», *Технический обзор B&K*, № 3, 1984.
- [34] Х. Херлуфсен, «Двухканальный анализ БПФ», *Технический обзор B&K*, № 1, 2, 1984.
- [35] С. Гейд, Х. Херлуфсен, «Использование весовой функции в анализе DFT/FFT», *Технический обзор B&K*, № 3, 4, 1987.
- [36] Ф. Дж. Харрис, «Об использовании окон для гармонического анализа с дискретным преобразованием Фурье», *Труды IEEE*, Том. 66, № 1, январь 1978 г.
- [37] С.П. Липшиц, Т.С. Скотт, Дж. Вандеркой, «Повышение возможностей измерения звука анализаторов БПФ с помощью микрокомпьютерной постобработки», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 33 сентября 1985 г.
- [38] Дж. Д. Бантон, Р. Смолл, «Кумулятивные спектры, всплеск тонов и аподизация», *Дж. Аудио англ. Соц.*, июнь 1982 г.
- [39] Ф. Э. Тул, «Субъективное измерение качества звука громкоговорителя и производительности слушателя», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 33, ½ февраля 1985 г.
- [40] Ф. Э. Тул, «Измерения громкоговорителей и их связь с предпочтениями слушателя: Часть 1», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 34 апреля 1986 г.
- [41] Ф. Э. Тул, «Измерения громкоговорителей и их связь с предпочтениями слушателя: Часть 2», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 34 мая 1986 г.
- [42] Ф. Э. Тул, С. Е. Олив, «Модификация тембра посредством резонанса: восприятие и измерение», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 36 марта 1988 г.
- [43] Т. Хаутгаст, HJM Steeneken, «Обзор концепции MTF в акустике помещения и ее использование для оценки разборчивости речи в аудиториях», *Дж. Акуст. Соц. Являюсь*, Том. 77, 1985.
- [44] В. Клиппель, «Нелинейность громкоговорителей – причины, параметры, симптомы», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 54, октябрь 2006 г.
- [45] Л.Л. Беранек, *Акустика*, МакГроу-Хилл, 1954 год.
- [46] Л.Л. Беранек, *Акустические измерения*, Акустический соц. Ам., 1993.
- [47] С. Линквиз, «Тестирование формованных тональных пакетов», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 28 апреля 1980 г.
- [48] Д.Б. Кил, «Частотно-временное отображение электроакустических данных с использованием цикло-октавных вейвлет-преобразований», *Конвенция AES 99*, Нью-Йорк, 1 октября 1999 г.
- [49] С. Дж. Лутридис, «Разложение импульсных характеристик с использованием сложных вейвлетов», *Дж. Аудио англ. Общество*, Том 53, сентябрь 2005 г.
- [50] А.Д. Пирс, *Акустика – введение в ее физические принципы и приложения*, МакГроу-Хилл, Нью-Йорк, 1981 год.
- [51] М.Р. Шредер, «Новый метод измерения времени реверберации», *Дж. Акуст. Соц. Являюсь*, Том. 37, 1965.
- [52] М. Р. Шредер, «Интегрально-импульсный метод измерения затухания звука без использования импульсов», *Дж. Акуст. Соц. Являюсь*, Том. 66, 1979.
- [53] В.Т. Чу, «Сравнение измерений реверберации с использованием метода импульсов Шредера и усреднения кривой затухания», *Дж. Акуст. Соц. Являюсь*, том 63, № 5, 1978.
- [54] Лундеби, Вигран, Битц и Форлендер, «Неопределенности измерений в акустике помещений», *Акустика*, Том. 81, 1995.
- [55] Караджалайнен, Антсало, Макивирта, Пелтонен, Валимаки, «Оценка параметров модального затухания на основе измерений зашумленного отклика», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 50 ноября 2002 г.
- [56] ISO 9613-1:1993, «Расчет поглощения звука атмосферой», *ИСО*, август 1993 г.
- [57] Лейнонен, Отала, Керл, «Измерение переходных интермодуляционных искажений (TIM)», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 25 апреля 1997 г.
- [58] ISO R1996-1971, «Оценка шума с учетом реакции населения», *ИСО*, май 1971 г.
- [59] Д. Прейс, «Линейное искажение», *Журнал аудиоангл. Соц.*, Том. 24 мая 1976 г.

- [60] Д.Б. Кил, «Измерение полярности в системах с ограниченной полосой частот», *91-я Конвенция AES*, Нью-Йорк, 4–8 октября 1991 г.
- [61] В.М. Лич-младший, «Дифференциальное искажение временной задержки и дифференциальное фазовое искажение как мера фазовой линейности», *Журнал аудиоангл. Соц.*, Том. 37, № 9, 1989.
- [62] С. П. Липшиц, М. Покок, Дж. Вандеркой, «О слышимости при фазовых искажениях средних частот в аудиосистемах», *Дж. Аудио англ. Соц.*, Том. 30 сентября 1982 г.
- [63] В.МА. Пейц, «Потеря артикуляции согласных как критерий передачи речи в помещении», *Дж. Аудио англ. Общество*, Том. 19 декабря 1971 года.

Приложение – Меню, панели инструментов и ярлыки

Меню окна импульсного отклика

Файл

Новый-создает новый файл с именем «Untitled.pir» и удаляет наложенную кривую.

Открыть...-открывает файл **Сохранять**-сохраняет файл

Сохранить как...-сохраняет файл под новым именем

Информация-показывает/редактирует информацию о текущем файле .pir **Экспорт...**-

сохраняет данные импульсного отклика в следующих форматах:

ASCII-файл-сохраняет данные импульсного отклика в файле формата ASCII. **CSV-файл**-сохраняет

данные импульсного отклика в файле формата CSV (Excel) **ASCII-файл MLSSA**-сохраняет данные

импульсного отклика в файле формата MLSSA ASCII. **WAV-файл**-сохраняет данные импульсного

отклика в файле Microsoft .wav. **Импорт...**-импортирует данные импульсного отклика в следующих

форматах:

WAV-файл-импортирует данные импульсного отклика из файла Microsoft .wav. **WMB-файл**-импортирует данные

импульсного отклика из файла WinMLS **Файл MLSSA .TIM**-импортирует данные импульсного отклика из файла

MLSSA .TIM **ASCII-файл MLSSA**-импортирует данные импульсного отклика из файла в формате MLSSA ASCII. **ASCII-**

файл-импортирует данные импульсного отклика (время-амплитуда) из файла в формате ASCII **Экспортировать**

пространственную частотную характеристику -рассчитать и экспортировать частотную характеристику для одного

файла или для пространственной группы файлов

Параметры-открывает диалоговое окно для настройки экспорта в файлы CSV, импорта из файлов .WAV и ASCII и поведения курсора при загрузке файла PIR.

Загрузка и сумма-загружает файл .pir и суммирует с текущей импульсной характеристикой

Последний файл-открывает один из последних открытых файлов **Выход**-выходит из программы

Наложение

Установить наложение-устанавливает текущую кривую PIR в качестве наложения **Изгиб**

Удалить наложение-удаляет наложение **Загрузить как наложение**-загружает PIR как

файл наложения **Информация о наложении**-показывает основную информацию о

файле наложения

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в

файл **Цвета и стиль сетки**-открывает диалоговое окно «Настройка цвета»

Ч/Б цвет фона-устанавливает цвет фона на белый или черный **Толстые линии** -

задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает

толщину сетки графика (шириной 1 или 2 точки) **Применить ко всем графикам** -

установить одинаковую толщину пера на всех графиках **Установить маркер**-

устанавливает маркер в позиции курсора **Удалить маркер**-удаляет маркер

Инвертировать-меняет полярность импульсной характеристики

Поворот на курсоре-вращает периодическую импульсную характеристику (точка курсора становится первой выборкой)

Усечь до [курсор, маркер] -удаляет из текущих частей ответа за пределами [курсора, маркера] **Шкала**-умножает

импульсную характеристику на произвольную константу

Передискретизация на более низкую частоту -выполняет повторную выборку IR на некоторую более низкую частоту дискретизации

Масштабировать реакцию акустической модели -преобразует ответ с помощью 1:1 масштабировать пространство и компенсировать затухание в воздухе

Вид

Панель инструментов-показывает или скрывает панель инструментов

Статус бар-показывает или скрывает строку состояния

Время ворот (см@344м/с)-показывает время строба как эквивалентное расстояние распространения звуковой волны в см.

Записывать

Импульсный отклик/Рекорд времени-открывает диалоговое окно «Измерение импульсного отклика»

Групповая запись пространственной импульсной характеристики-открывает диалоговое окно Регистратор группы пространственных импульсных откликов.

Запись времени сигнала-открывает диалоговое окно «Генерация и запись сигналов».

Анализ

Однотробо́вая сглаженная частотная характеристика / Спектр-показывает сглаженный FR 1/n-октавы или спектр записанного сигнала

Сглаженная частотная характеристика с двойным стробированием-показывает сглаженную FR 1/n-октавы, полученную из DFT двух временных областей импульсной характеристики.

Частотная характеристика ДПФ (одинарный строб)/спектр-показывает компоненты ДПФ частотной характеристики или спектра записанного сигнала

Частотная характеристика и искажения-показывает частотную характеристику и искажения (метод Фарины)

Шаговый отклик-показывает переходную реакцию

ЕТС — огибающая импульсной характеристики-показывает огибающую импульсного отклика (ЕТС)

Распад акустической энергии -открывает окно затухания акустической энергии для представления кривой затухания энергии, полученной методом обратного интегрирования импульсной характеристики Шредера, а также для оценки акустических параметров с помощью пользователя.

ISO 3382 – акустические параметры –автоматически оценивать акустические параметры в 1/1- или 1/3-октавных диапазонах. Подменю для выбора типа представления параметров:

Графическое представление для полос 1/1 октавы

Табличное представление для полос 1/1 октавы

Графическое представление для полос 1/3 октавы,

Представление таблицы для 1/3 октавных диапазонов

Настраивать -открывает диалоговое окно для настройки метода оценки и диапазонов частот.

Пространственные акустические параметры -открывает диалог измерения пространственных

параметров **Кумулятивный спектр**-показывает диалоговое окно «Совокупный спектр» **Затухание**

взрыва-отображает диалоговое окно настройки затухания импульса **Функция передачи модуляции**-

показывает Octave MTF

Компенсация FR искусственного рта-входит в 1/3 окт. сглаженная частотная характеристика для

компенсации FR **Октавный шум и уровни речи для оценки STI**-вводит измерение уровня шума и речи

НТИ-показывает индекс передачи речи – STI **СТИПА**-показывает индекс передачи речи - STIPA **СТИТЕЛ**-

показывает индекс передачи речи - STITEL **РАСТИ**-показывает индекс быстрой передачи речи RASTI

Настраивать

Аудиоустройства-открывает диалоговое окно «Настройка аудиоустройств».

Калибровка устройств-открывает диалоговое окно «Калибровка звуковой карты и микрофона» **Вращающийся**

проигрыватель-открывает диалоговое окно «Настройка драйвера вращающегося проигрывателя». **Параметры**

анализа-открывает диалоговое окно «Настройка анализа импульсного отклика». **Данные окружающей среды** -

открывает диалог для ввода температуры и влажности окружающей среды **Используйте 64-битное БПФ**-

активирует/деактивирует обработку двойной точности БПФ

Инструменты

График направленности-открывает диалоговое окно для построения диаграмм направленности громкоговорителей. **Интеграция**

измерителя звукового давления-открывает виртуальный интегрирующий измеритель SPL с регистрацией данных

Октавный уровень звукового давления и уровень шума -открывает виртуальный измеритель звукового давления в октавной полосе с отчетом о рейтинге

шума **Звуковое давление и громкость третьей октавы** -открывает виртуальную третьоктавную полосу SPL и измеритель громкости **Уровень звукового**

давления в третьей октаве и запись времени громкости-открывает виртуальную третьоктавную полосу SPL и измеритель громкости с графическим

представлением записанных во времени результатов измерений

Уровни двух входных каналов -открывает виртуальный трехоктавный двухканальный вольтметр

Режим

Импульсная характеристика/запись времени сигнала-открывает окно импульсного

отклика **Анализатор спектра**-открывает окно Спектральный анализ

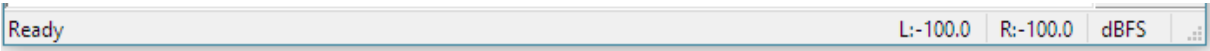
Двухканальный - частотная характеристика-открывает окно Двухканальная частотная характеристика

Один канал – частотная характеристика-открывает окно Одноканальная частотная характеристика

Помощь

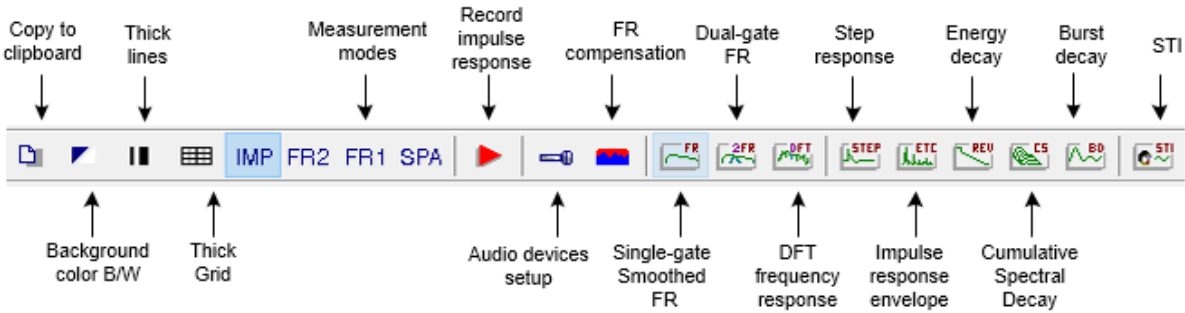
О-получает информацию о программе **Постановка на учет**-показывает регистрацию лицензии/информацию о пользователе **Руководство пользователя**-показывает файл помощи

Окно импульсного отклика – строка состояния

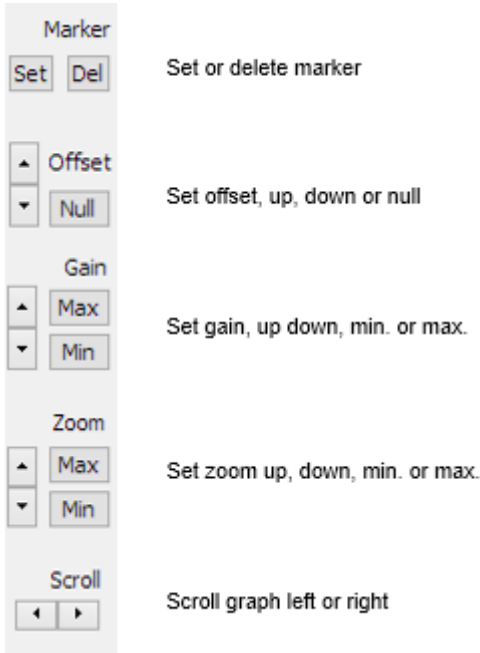


В левом текстовом поле отображается контекст меню. В правом текстовом поле отображается режим измерения. Текстовые поля L: и R: показывают максимальные полномасштабные уровни левого и правого входных каналов во время последнего измерения.

Окно импульсной реакции — значки на панели инструментов

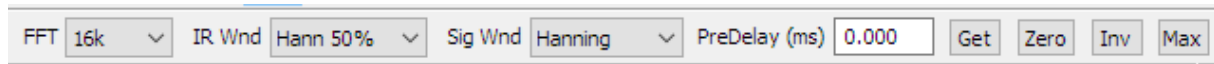


Окно импульсного отклика — панель управления



Примечание. Кнопка «Смещение» не изменяет смещение наложенной кривой.

Окно импульсного отклика — панель управления



БПФ-выбирает размер блока БПФ

ИК ветер-выбирает тип окна, которое будет применяться к хвостовой части стробируемой части IR при анализе частотной характеристики.

Сиг Внд-выбирает тип окна, которое будет применено к блоку БПФ записанного переходного сигнала при анализе спектра.

Предварительная задержка (мс)-вводит временной интервал от положения курсора в качестве опорного положения для оценки фазовой или групповой задержки (обычно это расстояние от положения курсора до положения максимума импульсной характеристики).

Получать-получить временной интервал между курсором и маркером и установить его как задержку для оценки фазы. **Ноль**-установите задержку на ноль.

Инв-изменить полярность импульсной характеристики.

Макс-установите курсор в положение максимального значения импульсной характеристики.

Ярлыки мыши

Вы можете изменить положение маркера и курсора, нажимая и перетаскивая левую и правую клавиши мыши. Двойной щелчок правой кнопкой мыши включает и выключает маркер.

Перетаскивая мышью в области метки, прокручивайте график по горизонтали или вертикали.

Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области оси времени переключает маркировку положения времени/выборки.

Горячие клавиши:

ВверхиВнизклавиши - изменить усиление

Ctrl+ВверхиCtrl+Внизклавиши - изменить вертикальное смещение (не смещает наложение) **Левый**

Ctrl+Влевоклавиши - прокрутить сюжет влево **ВправоCtrl+Вправо**клавиши - прокрутить сюжет вправо

Shift+ВлевоиShift+Вправоклавиши - перемещение курсора (или маркера, если он есть) влево и вправо **PgUp**

PgDownклавиши - изменить коэффициент масштабирования **Дель**кнопка-устанавливает позицию курсора на 0,

Домкнопка-устанавливает позицию курсора на исходную позицию 300,

Ctrl+Домойкнопка-устанавливает позицию маркера на исходную позицию 300,

Ctrl+Делкнопка-удаляет маркер, **Ctrl+Инс**кнопка-устанавливает маркер на позиции

курсора, **Ctrl+С**кнопка - сохраняет файл **Ctrl+Н**кнопка - создает новый файл **Ctrl+O**

кнопка - открывает файл

Ctrl+Скнопка — копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл. **Ctrl+P**кнопка — копирует растровое изображение окна в буфер обмена. **Ctrl+Альт+P**кнопка — сохраняет растровое изображение всего окна в файл **Ctrl+Б**клавиша - меняет цвет фона

Меню окна анализатора спектра

Файл

Экспорт...-экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы-экспортирует значения графика в файл в формате ASCII CSV-

файлы-экспортирует значения графика в файл формата CSV

Выход-выходит из программы

Наложение

Установить наложение-устанавливает текущий спектр как

наложение **Удалить наложение**-удаляет наложение

Наложение нагрузки-загружает файл наложения спектра (*.ovs)

Сохранить наложение-сохраняет спектр в файле наложения (*.ovs)

Показать отличие от наложения-если наложение имеет ту же длину БПФ и частоту дискретизации, что и текущая кривая величины, на графике отображается кривая, которая представляет собой разницу между кривыми величины и наложения.

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Цвета и стиль сетки**-открывает диалоговое окно «Настройка цвета» **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка) **Применить ко всем графикам** -установить одинаковую толщину пера на всех графиках

Вид

Панель инструментов-показывает или скрывает панель инструментов

Статус бар-показывает или скрывает строку состояния

Подогнать график сверху-подгоняет поля графика к верхнему значению величины

Частотная ось...

Лин-линейный

Бревно-логарифмический

Октавное сглаживание-логарифмический отклик, сглаженный в 1/п-октаве

Октавные полосы-отклик в октавных полосах 1/п

Разрешение...

1/1 октавы-Полоса пропускания фильтра 1/1
 октавы **1/2 октавы**-1/2 октавы **1/3 октавы**-1/3
 октавы **1/6 октавы**-1/6 октавы **1/9 октавы**-1/9
 октавы **1/12 октавы**-1/12 октавы **1/24 октавы**
 -1/24 октавы

Масштабирование...

дБ полной шкалы-относительно полной шкалы (дБ) **дБВ (УЗД)**-
 относительно среднеквадратического значения (дБ) **PSD**-
 Спектральная плотность мощности, дБ/кв.т (Гц)

Единицы измерения напряжения

дБВ-дБ относительно 1 В

дБу-дБ относительно 0,775 В (1 мВт / 600 Ом)

Единицы звукового давления

дБ относительно 20 мПа-задает единицу измерения уровня давления в акустике

дБ относительно 1 Па-задает единицу измерения уровня давления в рекомендациях ITU-T

Взвешивание...

Никто-весовой фильтр не используется **А**-
 стандартный А-фильтр **В**-стандартный В-
 фильтр **С**-стандартный С-фильтр

Информация...

Среднеквадратичный уровень-показывает среднеквадратичный уровень сигнала

Искажение-показывает искажения (гармонические или интермодуляционные)

Искажение+Шум-показывает гармонические искажения+шум

Регистратор

Бегать-начинает запись **Останавливаться**-

останавливает запись

Посмотреть запись времени-показывает окно записи времени

Генератор

Бегать-запускает генерацию сигнала **Останавливаться**-останавливает генерацию сигнала **Настроить**-открывает диалоговое окно «Настройка генератора» **Сохранить в файлах .wav**-сохраняет сигнал генератора в файлах .wav

Настраивать

Аудиоустройства-открывает диалоговое окно «Настройка аудиоустройств».
Калибровка устройств-открывает диалоговое окно «Калибровка звуковой карты и микрофона»
компенсация FR-открывает диалоговое окно для компенсации частотной характеристики **Измерение**-открывает диалоговое окно «Настройка спектрального анализа» **Настройка графика**-открывает диалоговое окно «Настройка графика спектра». **Масштабирование**-открывает диалоговое окно «Масштабирование спектра»
Используйте 64-битное БПФ-открывает/деактивирует обработку двойной точности БПФ

Инструменты

График направленности-открывает диалоговое окно для построения диаграмм направленности громкоговорителей. **Интеграция измерителя звукового давления**-открывает виртуальный интегрирующий измеритель SPL с регистрацией данных
Октавный уровень звукового давления и уровень шума-открывает виртуальный измеритель звукового давления в октавной полосе с отчетом о рейтинге шума **Звуковое давление и громкость третьей октавы**-открывает виртуальную третьоктавную полосу SPL и измеритель громкости **Уровень звукового давления в третьей октаве и запись времени громкости**-открывает виртуальную третьоктавную полосу SPL и измеритель громкости с графическим представлением записанных во времени результатов измерений
Уровни двух входных каналов -открывает виртуальный трехоктавный двухканальный вольтметр

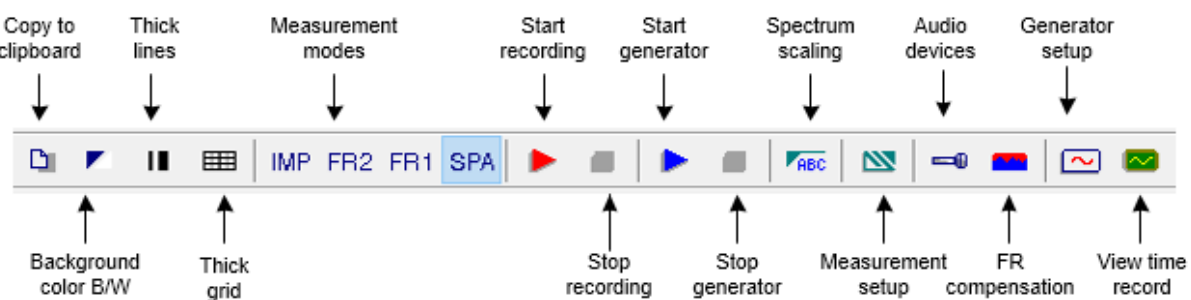
Режим

Импульсивный ответ-открывает окно импульсного отклика
Анализатор спектра-открывает окно Спектральный анализ
Двухканальная частотная характеристика-открывает окно Двухканальная частотная характеристика
Одноканальная частотная характеристика-открывает окно Одноканальная частотная характеристика

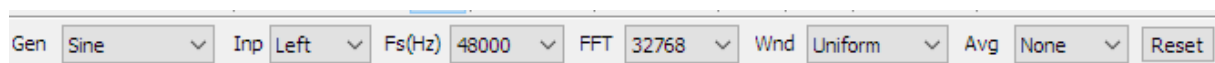
Помощь

О ...-получает информацию о программе **Постановка на учет**-показывает регистрацию лицензии/информацию о пользователе **Руководство пользователя...**-показывает файл помощи

Окно анализатора спектра — значки на панели инструментов



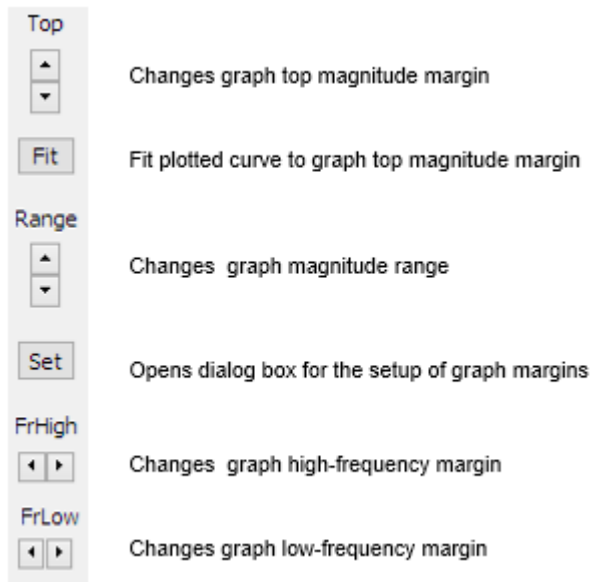
Окно анализатора спектра — верхняя панель управления



Генерал-устанавливает тип генератора **Вход**-устанавливает входной канал (левый или правый) **Фс** (**Гц**)-устанавливает частоту дискретизации

БПФ-устанавливает размер блока сбора данных БПФ **ветер**-устанавливает окно сигнала для анализа БПФ **Среднее**-устанавливает тип усреднения **Перезагрузить**-сбрасывает усреднение

Окно анализатора спектра — правая панель управления



Ярлыки мыши:

Нажатие и перетаскивание левой кнопки мыши изменяет положение курсора.
Щелчок правой кнопкой мыши в области графика открывает диалоговое окно настройки полей графика.
Щелчок правой кнопкой мыши в области заголовка открывает диалоговое окно масштабирования графика.
Колесо прокрутки мыши перемещает верхнее поле графика вверх и вниз.

Горячие клавиши:

Вверх/**Вниз** - изменить верхнее поле графика **Левый**/**Правый** - изменить нижнее поле графика
Влево/**Вправо** - перемещение курсора влево и вправо
Ctrl+С - копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл. **Ctrl+П** - копирует растровое изображение всего окна в буфер обмена. **Ctrl+А** - сохраняет растровое изображение всего окна в файл **Ctrl+Б** - меняет цвет фона **Ctrl+А** - устанавливает текущую построенную кривую в качестве наложения

Меню окна частотной характеристики (2 канала или 1 канал)

Файл

Экспорт... - экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы - экспортирует значения графика в файл в формате ASCII **CSV**-

файлы - экспортирует значения графика в файл формата CSV

Сохранить как PIR - преобразует текущую частотную характеристику в импульсную характеристику и сохраняет ее как текстовый файл **.PIR Выход** - выходит из программы

Наложение

Установить наложение - устанавливает текущий FR как наложение

Удалить наложение - удаляет наложение

Наложение на грузки - загружает файл наложения FR

Сохранить наложение-сохраняет FR в файле наложения

Создать целевой ответ-генерирует наложение с откликом стандартных кроссоверных фильтров

Загрузить целевой ответ-загружает целевой ответ из файлов ASCII

Удалить целевой ответ-удаляет наложение с целевым откликом стандартных кроссоверных фильтров

Показать отличие от наложения-если наложение имеет ту же длину БПФ и частоту дискретизации, что и текущая кривая величины, на графике отображается кривая, которая представляет собой разницу между кривыми величины и наложения.

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Цвета и стиль сетки**-открывает диалоговое окно «Настройка цвета» **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка**-задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка) **Применить ко всем графикам** -установить одинаковую толщину пера на всех графиках

Вид

Панель инструментов-показывает или скрывает панель инструментов

Статус бар-показывает или скрывает строку состояния

Подогнать график сверху-подгоняет поля графика к верхнему значению величин

Частотная ось...

Лин-устанавливает линейную ось частоты **Бревно**-

устанавливает логарифмическую ось частот

Октавное сглаживание-логарифмическая ось для величин, сглаженных в 1/п-октаве

Октавные полосы-такты для 1/п октавных полос

Разрешение...

1/1 октавы-Полоса пропускания фильтра 1/1

октавы **1/2 октавы**-1/2 октавы **1/3 октавы**-1/3

октавы **1/6 октавы**-1/6 октавы **1/9 октавы**-1/9

октавы **1/12 октавы**-1/12 октавы **1/24 октавы**

-1/24 октавы

Единицы измерения звукового давления...

дБ относительно 20 мПа/1 В-единицы измерения давления в акустических стандартах **дБ**

относительно 20 мПа/2,83 В-единицы чувствительности громкоговорителя

дБ относительно 1 Па/1 В-единицы измерения давления в рекомендациях ITU-T

Регистратор

Бегать-начинает запись **Останавливаться**-

останавливает запись

Посмотреть запись времени-показывает окно записи времени

Генератор

Бегать-запускает генерацию сигнала **Останавливаться**-

останавливает генерацию сигнала

Настроить-открывает диалоговое окно «Настройка генератора»

Сохранить в файлах .wav-сохраняет сигнал генератора в файлах .wav

Настраивать

Аудиоустройства-открывает диалоговое окно «Настройка аудиоустройств».

Калибровка устройств-открывает диалоговое окно «Калибровка звуковой карты и микрофона»

компенсация FR-открывает диалоговое окно для компенсации частотной характеристики **Измерение**-

открывает диалоговое окно «Настройка измерения частотной характеристики» **Настройка графика**-

открывает диалоговое окно «Настройка графика частотной характеристики» **Используйте 64-битное БПФ**-

активирует/деактивирует обработку двойной точности БПФ

Инструменты

График направленности-открывает диалоговое окно для построения диаграмм направленности громкоговорителей. **Интеграция**

измерителя звукового давления-открывает виртуальный интегрирующий измеритель SPL с регистрацией данных

Октавный уровень звукового давления и уровень шума-открывает виртуальный измеритель звукового давления в октавной полосе с отчетом о рейтинге

шума **Звуковое давление и громкость третьей октавы**-открывает виртуальную третьоктавную полосу SPL и измеритель громкости **Уровень звукового**

давления в третьей октаве и запись времени громкости-открывает виртуальную третьоктавную полосу SPL и измеритель громкости с графическим

представлением записанных во времени результатов измерений

Уровни двух входных каналов -открывает виртуальный трехоктавный двухканальный вольтметр

Режим

Импульсная характеристика/Регистратор сигналов-открывает окно импульсного

отклика **Анализатор спектра**-открывает окно Спектральный анализ

Двухканальная частотная характеристика-открывает окно Двухканальная частотная характеристика

Одноканальная частотная характеристика-открывает окно Одноканальная частотная характеристика

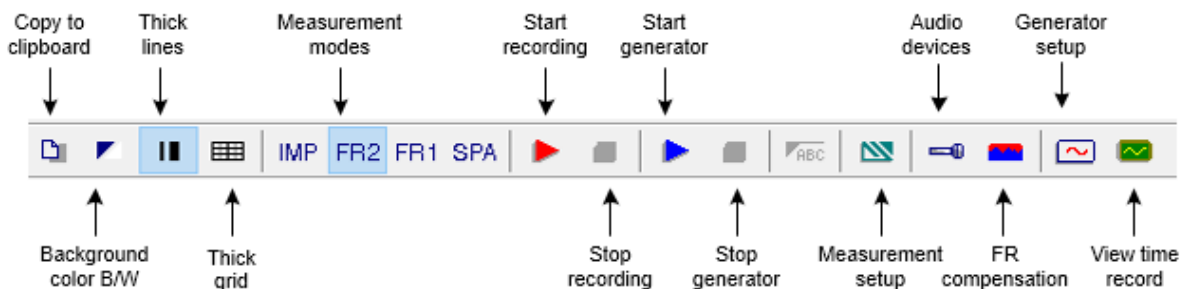
Помощь

О ...-показывает информацию о программе **Постановка на учет**-

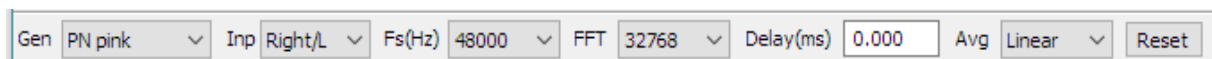
регистрация лицензии/информация о пользователе **Руководство**

пользователя...-показывает эту помощь

Окна частотной характеристики — значки на панели инструментов



Окно частотной характеристики — панель управления



Генерал-устанавливает тип сигнала генератора **Вход**-устанавливает

входной канал (левый/правый или правый/левый) **Фс (Гц)**-

устанавливает частоту дискретизации **БПФ**-устанавливает

количество выборок в блоке БПФ

Задержка (мс)-устанавливает задержку в измеряемой системе (не используется в 1-канальном режиме)

Среднее-задает тип усреднения (Нет, линейное, экспоненциальное) **Перезагрузить**-сбрасывает

усреднение

Ярлыки мыши:

Нажатие и перетаскивание левой кнопки мыши изменяет положение курсора.

Щелчок правой кнопкой мыши в области печати открывает диалоговое окно настройки полей графика.

Колесо прокрутки мыши перемещает верхнее поле графика вверх и вниз.

Горячие клавиши:

Вверх/Внизклавиши - изменить верхнее поле графика **Левый/и**

Вправоклавиши - перемещение курсора влево и вправо

Ctrl+Скюч — копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это

изображение в файл. **Ctrl+П**кеу — копирует растровое изображение всего окна в буфер обмена. **Ctrl+А**льт+Пкеу — сохраняет растровое

изображение всего окна в файл **Ctrl+Б**клавиша - меняет цвет фона

Ctrl+Аклавиша — установить текущую построенную кривую в качестве наложения

Меню окна сглаженной частотной характеристики

Файл

Экспорт...-экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы-экспортирует значения графика в файл в формате ASCII **CSV-**

файлы-экспортирует значения графика в файл формата CSV

Повторите измерение PIR-открывает диалог для измерения PIR. В случае успеха рассчитайте FR, используя положение курсора и маркера из окна PIR.

Сохранить PIR как ...-сохраняет последний измеренный или загруженный файл .PIR

Наложение

Установить как наложение-сохраняет текущую кривую как наложенную кривую

Установить как наложение Под курсором-сохраняет часть текущей кривой под курсором как наложение **Установить как наложение Над курсором**-сохраняет часть текущей кривой над курсором как наложение **Загрузить наложения**-загрузить ранее сохраненные наложения из двоичного файла «.sfo» **Сохранение наложений**-сохранить все наложенные кривые в двоичном файле «.sfo».

Управление наложениями-активировать диалоговое окно «Диспетчер наложений FR» для редактирования списка наложений **Удалить**

все-удалить все наложения **Удалить последний**-удалить последние наложения

Создать целевой ответ-генерирует наложение с откликом стандартных кроссоверных фильтров

Загрузить целевой ответ-загрузить целевое наложение из файла ASCII (формат .frd) **Удалить**

целевой ответ-удалить наложение с целевым ответом

Наложение импеданса нагрузки-Наложение импеданса нагрузки из файла ASCII (формат .zma) или файла .LIM

Удаление наложений импеданса-удалить все наложения импеданса

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Цвета и стиль сетки**-получает диалоговое окно для редактирования цветов графика **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка) **Вырезать под курсором**-обрезает значения графика под курсором **Вырезать над курсором**-обрезает значения графика над курсором

Уровень шкалы-масштабирует уровень с произвольным коэффициентом (разница в дБ)

Дифракция НЧ-бокса-масштабирует уровни с передаточной функцией дифракции корпуса НЧ-

динамика **Вычесть наложение**-вычитает значения уровней наложения из текущей кривой **Вычесть из наложения**-вычитает значения уровней текущей кривой из наложения

Средняя мощность с наложениями-делает текущую величину как среднее значение мощности текущей величины и величин наложения и, при необходимости, стирает все отображаемые наложения

Объединить наложение под курсором-объединиться с текущими значениями наложения кривой магнитуды под курсором

Объединить наложение над курсором-объединиться с текущими значениями наложения кривой магнитуды над курсором

Задержка для оценки фазы-редактирует значение задержки для оценки фазы, ранее определенное в окне «Импульсный отклик»

Вид

Величина-показывает величину частотной характеристики **Магн+Фаза**-

показывает величину частотной характеристики и фазу

Фаза-показывает фазу частотной характеристики, минимальную фазу или искажение точки пересечения фазы

Групповая задержка-показывает групповую задержку **Минимальная фаза**-показывает минимальную фазу системы

Лишняя фаза-показывает избыточную фазу

Превышение групповой задержки-показывает избыточную групповую

задержку **Фаза развертки**-показывает развернутую фазу

Фазовые искажения-установите этот флажок, чтобы отобразить искажение точки пересечения фазы.

Требования к временной полосе пропускания-если этот флажок установлен, кривые строятся только для частот, где произведение ширины полосы пропускания больше 1.

Настроить-открывает диалоговое окно настройки полей графика. **Единицы измерения звукового давления...**

дБ относительно 20 мкПа/В-устанавливает единицы измерения чувствительности громкоговорителя

дБ относительно 20 мПа/2,83 В-устанавливает единицы измерения чувствительности громкоговорителя (см. 1 Вт / 8 Ом) **дБ**

относительно 1 Па/В-устанавливает единицы измерения уровня давления в соответствии с рекомендациями ИТУ-T

Сглаживание

1/1 октавы-Полоса пропускания фильтра 1/1
октавы 1/2 октавы-1/2 октавы **1/3 октавы**-1/3
октавы 1/6 октавы-1/6 октавы **1/9 октавы**-1/9
октавы 1/12 октавы-1/12 октавы **1/24 октавы**
-1/24 октавы

Горячие клавиши:

Вверх**и****Вниз**клавиши - изменить верхнее поле графика **Левый****и**

Вправоклавиши - перемещение курсора влево и вправо

Ctrl+Склуч — копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл. **Ctrl+П**кеу — копирует растровое изображение всего окна в буфер обмена. **Ctrl+А**льт+**П**кеу — сохраняет растровое изображение всего окна в файл **Ctrl+Б**клавиша - меняет цвет фона **Ctrl+А**клавиша — установить текущую построенную кривую в качестве наложения **Ctrl+М**клавиша — открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений».

Меню окна частотной характеристики ДПФ

Файл

Экспорт...-экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы-экспортирует значения графика в файл в формате ASCII **CSV**-

файлы-экспортирует значения графика в файл формата CSV

Повторите измерение PIR-открывает диалог для измерения PIR. В случае успеха рассчитайте FR, используя положение курсора и маркера из окна PIR.

Сохранить PIR как ...-сохраняет последний измеренный или загруженный файл .PIR

Наложение

Установить наложение-устанавливает текущую кривую как

наложение **Удалить наложение**-удаляет наложение

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Цвета и стиль сетки**-получает диалоговое окно для редактирования цветов графика **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Задержка для оценки фазы-редактирует значение задержки для оценки фазы, ранее определенное в окне «Импульсный отклик»

Вид

Величина-показывает величину частотной характеристики **Магн+Фаза**-показывает величину и фазу частотной характеристики **Фаза**-показывает фазу ответа **Групповая задержка**-показывает групповую задержку **Единицы измерения звукового давления...**

дБ относительно 20 мкПа/В-устанавливает единицы измерения чувствительности громкоговорителя

дБ относительно 20 мПа/2,83 В-устанавливает единицы измерения чувствительности громкоговорителя

дБ относительно 1 Па/В-устанавливает единицы измерения уровня давления согласно рекомендациям ITU-T

Настраивать-открывает диалоговое окно для настройки полей графика

Требования к временной полосе пропускания-если этот флажок установлен, кривые строятся только для частот, где произведение ширины полосы пропускания больше 1.

Сочетания клавиш (также для всех остальных окон):

ВверхиВнизклавиши - изменить верхнее поле графика **Левыйи**

Верноклавиши - перемещение курсора влево и вправо

Ctrl+Скюч — копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл. **Ctrl+П**кеу — копирует растровое изображение всего окна в буфер обмена. **Ctrl+А**льт+**П**кеу — сохраняет растровое изображение всего окна в файл **Ctrl+Б**клавиша - меняет цвет фона

Меню окна частотной характеристики и искажений

Файл

Экспорт...-экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы-экспортирует значения графика в файл в формате ASCII CSV-

файлы-экспортирует значения графика в файл формата CSV

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Цвета и стиль сетки**-получает диалоговое окно для редактирования цветов графика **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Вид

Единицы измерения звукового давления...

дБ относительно 20 мкПа/В-устанавливает единицы измерения чувствительности громкоговорителя

дБ относительно 20 мПа/2,83 В-устанавливает единицы измерения чувствительности громкоговорителя (см. 1 Вт / 8 Ом)

дБ относительно 1 Па/В-устанавливает единицы измерения уровня давления в соответствии с рекомендациями ITU-T

Настраивать-открывает диалоговое окно настройки полей графика.

Требования к временной полосе пропускания-если этот флажок установлен, кривые строятся только для частот, где произведение ширины полосы пропускания больше 1.

Сглаживание

1/1 октавы-Полоса пропускания фильтра 1/1

октавы **1/2 октавы**-1/2 октавы **1/3 октавы**-1/3

октавы **1/6 октавы**-1/6 октавы **1/9 октавы**-1/9

октавы **1/12 октавы**-1/12 октавы **1/24 октавы**

-1/24 октавы

Горячие клавиши:

ВверхиВнизклавиши - изменить верхнее поле графика **Левыйи**

Верноклавиши - перемещение курсора влево и вправо

Ctrl+Скюч — копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл. **Ctrl+П**кеу — копирует растровое изображение всего окна в буфер обмена. **Ctrl+А**льт+**П**кеу — сохраняет растровое изображение всего окна в файл **Ctrl+Б**клавиша - меняет цвет фона **Ctrl+А**клавиша — установить текущую построенную кривую в качестве наложения

Ctrl+Mклавиша — вызывает диалоговое окно «Диспетчер наложений».

Меню окна пошагового отклика

Файл

Экспорт...-экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы-экспортирует значения графика в файл в формате ASCII **CSV**-

файлы-экспортирует значения графика в файл формата CSV

Наложение

Установить наложение-устанавливает текущую кривую как

наложение **Удалить наложение**-удаляет наложение

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии**-задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка**-задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Меню окна огибающей импульсной характеристики (ЕТС)

Файл

Экспорт...-экспортирует значения графика в текстовый файл

ASCII-файлы-экспортирует значения графика в файл в формате ASCII **CSV**-

файлы-экспортирует значения графика в файл формата CSV

Наложение

Установить наложение-устанавливает текущую кривую как

наложение **Удалить наложение**-удаляет наложение

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка) **Установить маркер**-устанавливает маркер в позицию курсора **Удалить маркер**-удаляет маркер

Меню окна кумулятивного спектрального распада

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый

Меню окна распада энергии

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Установить маркер**-устанавливает маркер в позицию курсора **Удалить маркер**-удаляет маркер

Ч/Б цвет фона-устанавливает цвет фона на черный или белый **Используйте толстую ручку**-Рисуйте кривые толстым пером.

Автоматическая оценка ISO3382

Графическое представление для 1/1-октавных полос

Табличное представление для 1/1-октавных полос

Графическое представление для 1/3 октавных диапазонов,

Представление таблицы для 1/3 октавных диапазонов

Настраивать -открывает диалоговое окно для настройки метода оценки и диапазонов частот.

Меню окна MTF

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика (шириной 1 или 2 точки).

Октава

125 Гц
250 Гц
500 Гц
1000 Гц
2000 Гц
4000 Гц
8000 Гц

Меню окна направленности

Файл

Создать файл шаблона направленности-открывает диалог для создания файла шаблона направленности из файлов .rig **Сохранить файл шаблона направленности**-сохраняет файл шаблона направленности (.drf) **Загрузить файл шаблона направленности**-загружает файл шаблона направленности (.drf)

Экспорт данных 1/3 октавы-экспорт в значения текстового файла на стандартных частотах 1/3 октавы

ASCII-файлы-экспортирует в файл в формате ASCII

CSV-файлы-экспорт в файл формата CSV

Экспорт данных 1/1 октавы-экспорт в значения текстового файла на стандартных частотах 1/1 октавы

ASCII-файлы-экспортирует в файл в формате ASCII

CSV-файлы-экспорт в файл формата CSV

Индекс и угол экспортной направленности (-6 дБ)-экспорт в текстовый файл DI, Q и угол (-6дБ)

ASCII-файлы-экспортирует в файл в формате ASCII

CSV-файлы-экспорт в файл формата CSV

Информация о файле-предоставляет информацию и определяемый пользователем текст из текущего файла .drf

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстая линия (на полярном графике)**-устанавливает толстое перо на полярном графике

Толстая сетка (и контурные линии)-устанавливает толстое перо сетки, а также толстое перо контурной линии

Меню окна измерителя SPL

Файл

Сохранить файл истории SPL-сохраняет записанные SPL и Leq в файлах .spl.

Открыть файл истории SPL-загружается из файла .spl

Экспорт...-экспорт в текстовые форматы

ASCII (запись 100 мс)-экспорт SPL (быстрый) записывается каждые 0,1 секунды **ASCII (1 с**

зарегистрировано)-экспортирует Leq, SPL и пиковые уровни, записываемые каждые 1 секунду

ASCII (максимум 10 секунд)-экспортирует максимальные уровни Leq, SPL и Peak, записываемые каждые 10 секунд.

CSV (запись 100 мс) –экспорт SPL (быстрый) записывается каждые 0,1 секунды **CSV (зарегистрировано 1 с)**-экспортирует Leq, SPL и пиковые уровни, записываемые каждые 1 секунду
CSV (максимум 10 секунд записи)-экспортирует максимальные уровни Leq, SPL и Peak, записываемые каждые 10 секунд.

Статистика файлов и информация о пользователе–предоставляет статистику SPL и определяемый пользователем текст из текущего файла .spl

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстые линии** -задает толщину рисования линий (шириной 1 или 2 точки) **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Настраивать

Калибровка аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств
Настройка аудиоустройств-открывает диалог настройки аудиоустройств

Меню окна октавного диапазона SPL

Файл

Открыть-открывает файл «.os1», содержащий значения звукового давления октавной полосы.

Сохранять-сохраняет уровни октавных полос в двоичном файле «.os1». **Экспорт...**

Экспорт ASCII-сохраняет данные в файле ASCII

Экспорт CSV-сохраняет данные в файле «.csv» в формате Excel.

Информация о файле и пользователе-показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе

Наложение

Установить как наложение-сохраняет текущую кривую как наложенную кривую

Управление наложениями-открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений» для редактирования списка наложений

Удалить все-удаляет все наложения **Удалить последнее наложение**-удаляет последнее наложение

Загрузить как наложение-загружает данные октавного диапазона SPL из файла «.os1»

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Среднее с наложениями**-кривая среднего тока с видимыми наложениями **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Настраивать

Калибровка аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств
Настройка аудиоустройств-открывает диалог настройки аудиоустройств

Меню окна SPL и громкости третьей октавной полосы

Файл

Открыть-открывает файл «.os3», содержащий SPL третьей октавной полосы и определенные значения громкости.

Сохранять-сохраняет третью октавную полосу и данные громкости в двоичном файле «.os3». **Экспорт...**

Экспорт ASCII-сохраняет данные в файле ASCII

Экспорт CSV-сохраняет данные в файле «.csv» в формате Excel.

Информация о файле и пользователе-показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе

Наложение

Установить как наложение-сохраняет текущую кривую как наложенную кривую

Управление наложениями-открывает диалоговое окно «Диспетчер наложений» для редактирования списка наложений

Удалить все-удалить все наложения **Удалить последнее наложение**-удалить последнее наложение

Загрузить как наложение -загрузить данные октавного диапазона SPL и громкости из файла «.ос3»

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Среднее с наложениями**-кривая среднего тока с видимыми наложениями **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Настраивать

Калибровка аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств

Настройка аудиоустройств-открывает диалог настройки аудиоустройств

Меню окна записи звукового давления и времени громкости третьей октавы

Файл

Открыть-открывает файл «.otr», содержащий SPL третьей октавной полосы и определенные значения громкости.

Сохранять-сохраняет третью октавную полосу и данные громкости в двоичном файле «.otr» **Экспорт...**

Экспорт ASCII-сохраняет данные в файле ASCII

Экспорт CSV-сохраняет данные в файле «.csv» в формате Excel.

Информация о файле и пользователе-показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Поля и цвета графика**-настраивает поля и цвета графика **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Настраивать

Калибровка аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств

Настройка аудиоустройств-открывает диалог настройки аудиоустройств

Двухканальный измеритель уровня напряжения и меню окна анализатора третьей октавы

Файл

Открыть-открывает файл «.lv3», содержащий уровни напряжения третьей октавной полосы.

Сохранять-сохраняет третью октавную полосу и данные громкости в двоичном файле «.lv3».

Экспорт...

Экспорт ASCII-сохраняет данные в файле ASCII

Экспорт CSV-сохраняет данные в файле формата Excel «.csv».

Информация о файле и пользователе-показывает информацию о текущем файле и редактирует информацию о пользователе

Наложение

Установить как наложение-сохраняет текущую кривую как наложенную кривую

Удалить все-удалить все наложения **Удалить последнее наложение**-удалить последнее наложение

Загрузить как наложение -загрузить 1/3-октавные данные из файла «.lv3»

Редактировать

Копировать-копирует растровое изображение графика и определенный пользователем текст в буфер обмена или сохраняет это изображение в файл **Ч/Б цвет фона**-устанавливает цвет фона на черный или белый **Толстая сетка** -задает толщину сетки графика. (шириной 1 или 2 очка)

Настраивать

Аудиоустройства-открывает диалог настройки аудиоустройств

Калибровка аудиоустройства-открывает диалог калибровки аудиоустройств
