

Международный электронный научный журнал «Медиамузыка» рекомендует

В. Г. Лукашеня

ЗВУК и ТЕХНИКА

Учебное пособие для ДШИ и ДМШ



МОСКВА * 2016

В. Г. Лукашеня

ЗВУК и ТЕХНИКА

Учебное пособие для ДШИ и ДМШ



МОСКВА * 2016

УДК 534.3; 681.84

ББК 85.31

Л-84

Лукашеня В. Г.

Л-84 Звук и техника: Учебное пособие для ДШИ и ДМШ / под общ. ред. А. В. Чернышова. М.: ООО «Медиамузыка», 2016. 56 с.

Владимир Германович ЛУКАШЕНЯ — композитор, звукорежиссёр, лауреат I-го Международного открытого конкурса авторского музыкального видео «Медиамузыка», преподаватель компьютерной аранжировки и джазовой импровизации Школы искусств им. М. А. Балакирева, член Городского экспертного совета по художественному направлению «Компьютерные мультимедийные технологии и электронные музыкальные инструменты», г. Москва.

В учебном пособии кратко рассматриваются основные параметры звука и слуха, преобразование звука в электрические сигналы, технические элементы звуковоспроизведения, микрофоны, основы аналоговой и цифровой звукозаписи, приборы студии записи и обработки звука, схема озвучивания концертного зала.

Для учащихся детских школ искусств и детских музыкальных школ по направлениям электронных музыкальных инструментов, звукорежиссуры, музыкально-компьютерных технологий, компьютерной аранжировки, композиции, а также для преподавателей системы дополнительного художественного образования.

Рецензенты:

Максим Бысько, звукорежиссёр, режиссёр радио
Илья Сандалов, технический специалист компании Roland

УДК 534.3; 681.84

ББК 85.31

ISBN 978-5-9904817-4-9

© Лукашеня В. Г., 2016

© ООО «Медиамузыка», 2016

© Бысько М. В., 2016

! КОПИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕНО

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ АВТОРА	4
ЗВУК. ЗВУКОВАЯ ВОЛНА	5
ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКА.....	6
ПОЧЕМУ ИХ ДВЕНАДЦАТЬ: ТЕМПЕРАЦИЯ.....	10
КАК МЫ СЛЫШИМ: УХО	12
УХО: ЧАСТОТА И ГРОМКОСТЬ	15
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЗВУКА В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	17
МИКРОФОНЫ.....	18
ЭЛЕМЕНТЫ КОММУТАЦИИ.....	22
ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ	28
ЗВУКОЗАПИСЬ	31
СТУДИЯ ЗВУКОЗАПИСИ.....	33
ЧТО И КАК МЫ ПОДКЛЮЧАЕМ К ПУЛЬТУ	36
ПРИБОРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗВУКА	38
ВИРТУАЛЬНАЯ СТУДИЯ ЗВУКОЗАПИСИ	42
НОСИТЕЛИ ЦИФРОВОГО ЗВУКА	43
ЗВУК КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	48

ОТ АВТОРА

К представленному труду можно обращаться на предметах, связанных со звукорежиссурой, звукотехникой, электронными музыкальными инструментами, компьютерной мультимедийной студией, саунд-дизайном и компьютерной аранжировкой. Причём его можно считать учебным пособием для читающих курсы преподавателей и учащихся ДШИ и ДМШ, а также учебником для студентов специальных средних учебных заведений.

Отметим, что в первом случае лекционные или семинарские групповые занятия являются важными, так как некоторые очевидные понятия пособия «Звук и техника» для детей (особенно младших групп), знакомых с курсом лишь школьной физики, могут потребовать дополнительного разъяснения. Опыт проведения подобных занятий говорит о том, что данному вопросу оптимально обучать детей в возрасте от 11-12 лет. Верхний возраст не ограничен, так как материалы данного пособия с большим интересом воспринимались и на лекциях по повышению квалификации взрослых преподавателей, проводимых автором.

Думается, что актуальность данного пособия обусловлена широкой доступностью звуковой техники, как воспроизводящей звук, так и записывающей и обрабатывающей его. Иметь профессиональный аудиоплеер или сделать собственную студию звукозаписи сегодня могут многие музыканты (не обязательно звукорежиссёры), оттого основы звука становятся важным знанием, которое необходимо систематизировать и доносить до учащихся-музыкантов.

В учебном пособии мы рассматриваем основы «культурного звука», то есть звука, сделанного человеком для человека. Мы будем отталкиваться от природных первооснов и двигаться в сторону темперации и электрификации звука.

Структура учебного пособия поступательна. Сначала даются основные звуковые параметры. Далее рассматривается восприятие звука человеком, возможности его слухового аппарата, природный строй и искусственная темперация. После чего мы переходим в условный раздел «звук и электричество»: воспроизведение электро-усиленного звука, аналоговая и цифровая звукозапись, студийная обработка звука. Рассматриваем студию звукозаписи и принципы озвучки концертного зала. Одновременно представлена теория звука, звуковая техника (в том числе коммутация), даются краткие примеры и советы звукооператорам.

Хочу выразить благодарность звукорежиссёру Максиму Бысько за составление словаря терминов и доктору искусствоведения Александру Чернышову за ряд ценных советов при подготовке дополненного и переработанного варианта рукописи данного пособия, а также за общее редактирование и корректирование текста.

ЗВУК. ЗВУКОВАЯ ВОЛНА

Что же такое звук? Самое простое определение: ЗВУК ЕСТЬ НЕКОЕ ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА, ВЫЗЫВАЕМОЕ ВИБРИРУЮЩИМ ТЕЛОМ. Это движение распространяется в воздухе с определённой скоростью и по определённым законам. Долетев до нашего уха, оно производит воздействие на барабанную перепонку, которая связана с анализирующим центром нашего мозга.

Следует добавить лишь то, что звук может распространяться не только в воздухе, но и в другой среде, по другим законам и с другими скоростями. Как пример — распространение шума колес приближающегося поезда по рельсам. В годы Второй мировой войны партизаны, прислонив ухо к рельсам, определяли положение вражеских поездов задолго до того, как они становились видны или их шум становился различим в воздухе.

В качестве опыта. Соберём простое переговорное устройство. Берём обычную хлопковую нитку, привязываем каждый конец нитки к серединке спички. Вставляем спичку в дно коробочки от спичечного коробка, проделав предварительно посередине дна отверстие. Натягиваем нитку и говорим в левый коробок, а правый слушает «абонент» на другом конце. Если нитка натянута, у вас получится настоящий телефон — вы отчетливо услышите «абонента» на другом конце. (!) При этом нитка не должна на своём протяжении касаться посторонних предметов.

Попробуйте вместо нитки использовать тонкую металлическую проволоку. Что изменилось? Как объяснить? — Вероятно, звук распространяется от одного «абонента» к другому по другому механизму. С этим связано появление своеобразного «гула» в коробке на стороне приёма.

А чтобы понять, что такое звуковая волна, возьмём упругую металлическую линейку и прижмём её к краю стола, оставив свободный конец на весу (*рис. 1*).

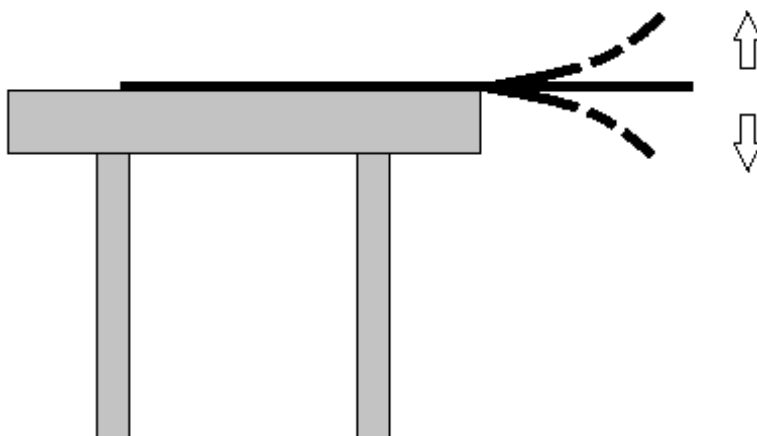


Рис. 1. Дребезжащая на столе линейка

Нажмём на свободный конец и резко отпустим... Линейка некоторое время вибрирует (дребезжит, «резонирует»), потом «затухает», возвращаясь в исходное положение. Вы услышите дребезжащий звук определённой высоты, причём, чем длиннее свободный конец, тем звук ниже по высоте. Чем сильнее вы оттяните линейку, тем громче будет звук.

Здесь мы впервые сталкиваемся с понятием ЧАСТОТА (высота звучания), ГРОМКОСТЬ (уровень сигнала + плотность звука), ВРЕМЯ ЗАТУХАНИЯ (время за которое колебание линейки практически прекратится, и мы перестанем слышать звук, так как достигли ПОРОГА СЛЫШИМОСТИ нашего уха). На практике мы будем говорить о пороге слышимости уха «среднестатистического человека». Что это означает? Не будем лезть в медицинские дебри... Каждый из вас был в кабинете ЛОРа. Этот милый доктор просил вас заткнуть одно ухо и слушать другим, повторяя его слова. Шёпот ЛОРа всё тише и тише... и настанёт такой момент, когда вы перестаёте слышать его. В принципе, это и есть порог слышимости для вашего уха. У разных людей пороги слышимости слегка отличаются. Именно в этой связи вводится показатель порога слышимости для некоего «среднестатистического человека».

Вернёмся к нашей линейке. При движении вверх она «сжимает» воздух, находящийся над ней, а воздух снизу «разряжается». То есть давление в некотором объёме воздуха над линейкой становится выше, чем снизу. При движении линейки вниз все происходит «с точностью до наоборот». Данный процесс происходит с определённой периодичностью, зависящей в данном случае от длины свободного конца линейки. Таким образом, в окружающем линейку воздухе зарождается звуковая волна или чередующиеся с определённой частотой области сжатого и разреженного воздуха. Эта волна распространяется в воздухе с постоянной скоростью и, в конце концов, достигает нашего уха. Скорость звука в воздухе при нормальных условиях равна 330 м/с (метров в секунду).

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКА

ЧАСТОТА (f) — количество полных циклов колебаний источника звука (гитарной струны, голосовых связок человека, нашей линейки...) в одну секунду. Полный цикл колебания, в случае нашей линейки, — это движение из среднего положения вниз, затем вверх и возврат обратно до середины. Частота измеряется в Герцах (Гц, Hz) в честь немецкого учёного Генриха Герца. «Среднестатистический человек» слышит частоты от 20 до 20 000 Гц.

СКОРОСТЬ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ (v) равна 330 м/с.

ДЛИНА ВОЛНЫ (λ) измеряется в метрах.

$$\lambda = v/f$$

ПЕРИОД КОЛЕБАНИЯ (T) измеряется в секундах.

$$T = 1/f$$

ДАВЛЕНИЕ (I), производимое на воздух колеблющимся телом, — это величина, говорящая об уровне звука и о том, как далеко звук распространится. Давление измеряется в децибелах (дБ, dB). Децибел — безразмерный параметр, предназначен для описания процессов, характеристики которых изменяются в очень больших диапазонах. Именно

к таким процессам относится улавливание звуковых волн нашим ухом. Оно улавливает как звуки с ничтожно малым давлением (близким к порогу слышимости), так и очень громкие (к примеру, рёв самолёта). Этот диапазон мы будем называть в дальнейшем **ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ**. Шкала значений этого диапазона сильно растянута, так что применение шкалы децибелов вполне логично. Давление звуковой волны определяется как:

$$I=20lg P_{зв}/P_0$$

где $P_{зв}$ — истинное значение давления звуковой волны (измеряется в Паскалях), P_0 — то же для порога слышимости.

ОдБ — не есть абсолютный ноль, им обыкновенно определяют самый тихий звук, который может уловить человеческое ухо (порог слышимости для «среднестатистического человека»). Не надо путать данный порог с «нулём децибел» на шкалах ваших реальных или виртуальных приборов. Есть уровни громкости ниже нуля: так, животные могут слышать тихие звуки, не доступные нашему слуху. Также существуют звуки громче 120дБ, которые являются «болевым порогом». Болевой порог — это такой уровень звукового давления, при котором человеческому уху может быть нанесён сильный вред.

И наши уши, и микрофоны должны перевести колебания воздуха в сигналы той же частоты, формы и дать ощущение громкости, более-менее близкой к оригиналу. Громкость, конечно же, зависит от давления. Так как давление в волне с расстоянием слабеет (затухание), ухо может дать нам ощущение расстояния. А поворот головы в сторону источника звука может помочь нам определить направление звука. Это происходит благодаря тому, что звук приходит в наши два уха в разной фазе.

ФАЗА сигнала — соотношение во времени двух сигналов одинаковой частоты. Можно сказать и так: соотношение прихода в разные точки приёма во времени какого-то сигнала. Разными точками приёма могут быть два микрофона, или... наши два уха. Вообще говоря, интерес представляет **РАЗНОСТЬ ФАЗ**. Именно по ней наш компьютер (мозг) выдаёт информацию о том, где находится источник звука.

В звукорежиссёрской терминологии ввели специальное понятие **ПАНОРАМА**, проще говоря, определение местоположения источника звука (правее или левее нас). А уже то, где находится источник — сверху, снизу, спереди или сзади нам помогает необычная форма ушей и их направленное положение. Говорят, что сигнал одной частоты приходит в микрофон или ухо **в фазе**, если максимум давления воздуха от звука одного источника совпадает с аналогичным максимумом от другого источника в точке приёма. Если в точке приёма максимум давления воздуха от звука одного источника совпадает с минимумом от другого источника, это говорит о том, что сигналы пришли **в противофазе**.

Простейший случай прихода сигналов в противофазе изображён на

рис. 2. Здесь источники сигнала абсолютно одинаковые, то есть излучают сигнал в фазе (моменты излучения максимумов у обоих источников совпадают), но расстояние между ними мы взяли равным половине длины волны.



Рис. 2. Сигналы к микрофону придут в противофазе

Регулируя расстояние между источниками можно достичь любой разности фаз (на слух — удалённости этих источников). Кстати, какое расстояние нужно установить, чтобы сигналы пришли в фазе? — Очевидно, $d = n \cdot v/f$, где n — целое число, отражающее количество длин волн между источниками точечного звука.

АМПЛИТУДА ПЕРИОДИЧЕСКОГО СИГНАЛА (A) — разность между максимальным и минимальным абсолютными значениями периодического сигнала во времени. Обычно амплитуда характеризует отклонение от нейтрального положения (в случае нашей линейки — это положение равновесия).

РАЗМАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СИГНАЛА (R) — разность между максимальным и минимальным значением периодического сигнала во времени (в случае нашей линейки — это расстояние между верхней и нижней точками отклонения).

Любое незатухающее периодическое колебание можно описать с помощью периодической функции $A(t) = AG(t)$, где $G(t)$ — некоторая периодическая функция, максимум абсолютного значения которой не превышает единицы. В случае идеального гармонического сигнала (колебание математического маятника), это функция синуса или косинуса ($\sin \omega t$, $\cos \omega t$), где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота колебания. Нетрудно понять, что именно величина «A» и является амплитудой.

Реальные сигналы описываются гораздо более сложными, чем синус, функциями. Это связано с тем, что ни один музыкальный инструмент и ни один человеческий голос не выдает форму колебания по закону чистого синуса. Но французский физик Жан-Батист Жозеф Фурье доказал, что любую периодическую функцию можно представить в виде **ГАРМОНИЧЕСКОГО РЯДА** из «идеальных колебаний математических

«маятников» с частотами, кратными основной частоте сигнала и со своими характерными «амплитудками»:

$$A(t)=A_1\sin\omega t+A_2\sin2\omega t+A_3\sin3\omega t+\dots+A_n\sin n\omega t /1/$$

Набор из этих «амплитудок» называют **спектром** сигнала, а выражение /1/ — рядом Фурье (в данном случае этот ряд представлен для наглядности в «синусном» разложении, но косинусы тоже должны быть в полном варианте. Хотя понятно, что косинус любого угла равен синусу $3,14/2$ минус этот угол.). Также мы не будем заикливаться на диапазоне в выражении /1/, так как в нашем *звуковом* случае, «амплитудки» всех высоких гармоник (A_n , при больших n) обычно достаточно малы, и мы ими просто пренебрегаем. Поэтому, если вы видите на мониторе вашего компьютера достаточно «страшную» форму сигнала (например, вашего голоса), — не пугайтесь, ваш голос — это всего лишь сигнал в котором присутствует основная частота и множество гармонических кратных частот, каждая со своими «амплитудками». Суммируясь, они и дают такую «страшную» форму.

Если два певца споют одну и ту же ноту (*рис. 3*), вы увидите на экране два сигнала одной частоты, но отличные по форме. Значит, у разных голосов присутствуют в спектре разные гармоники с характерными для каждого человека «амплитудками», — то есть мы пришли к тому, что ТЕМБР звучания зависит от спектра или от структуры гармоник. Этим объясняется различие в голосах людей и в звучании музыкальных инструментов. По этой же причине, кстати, мы различаем гласные буквы.

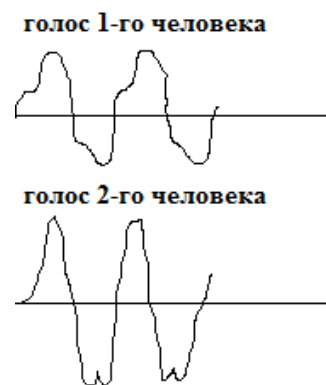


Рис. 3. Голоса двух разных людей

ШУМ — обычно, набор случайных частот (часто совсем не относящихся к ряду Фурье) в определённом диапазоне.

Для чего всё это нужно? Посмотрите, как нам теперь легко описать сигнал любой «страшной» формы. Нам не нужно рисовать «ужасные» графики, аналогичные *рис. 3*. Достаточно нарисовать «амплитудки» всех присутствующих в этом «страшном» сигнале гармоник, чтобы увидеть спектр (*рис. 4*):

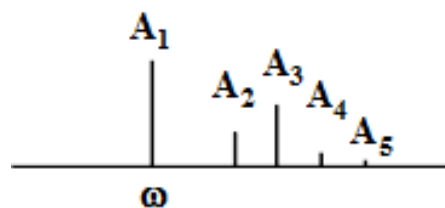


Рис. 4. Спектр сигнала: основная частота и гармоники

Мы видим, что в сигнале с частотой ω присутствуют 2, 3, 4 и 5 гармоники с соответствующими амплитудами A_2 , A_3 , A_4 и A_5 .

ПОЧЕМУ ИХ ДВЕНАДЦАТЬ: ТЕМПЕРАЦИЯ

Многие задаются вопросом, почему в одной октаве содержится 12 полутонов?

Давайте возьмём гитару и натянем на ней одну струну. Она звучит! Предположим, мы её настроили на ноту “ля” первой октавы (частота 440Гц). Не прижимая струну к грифу, слегка прикоснёмся к ней указательным пальцем левой руки. При этом правой рукой извлекаем звук. Перемещаем левую руку по струне... струна не звучит... не звучит... и, вдруг, при некотором положении левой руки на струне, она отчётливо зазвучала. При этом извлекаемая нота на слух совсем не октава. Такой метод извлечения звука называется «флажолет».

Исходя из гармонической теории, скорее всего, это звучит следующая за октавой гармоника (напомним, частота октавы равна $2f$ или 880Гц). Частота следующей ноты равна $3f=1320$ Гц. Опустим её в нашу октаву — между 440 и 880Гц. Получим ноту $f_1=3f/2=660$ Гц (нота “ми”). Эту частоту назовём «квинтой».

Настроим следующую струну уже на частоту квинты. Аналогичным образом, поищем флажолетом звучащую ноту от этой струны. Её частота равна $3f_1=1980$ Гц. Нам нужно снова опустить эту ноту в нашу октаву, то есть, разделить на 2 (получим 990Гц — квинта от f_1) — она не вмещается в наш диапазон, поэтому делим ещё на 2. Получим $f_2=3f_1/4=495$ Гц (нота “си”).

Таковыми расчётами занимался великий Пифагор, и в честь него иногда такой музыкальный строй называют *пифагоровым*. Настроим третью струну на новую квинту 990Гц. Найдём флажолетную квинту, настроим следующую струну на эту ноту. Такую операцию продelaем 12 раз и... обнаружим, что 12 струна звучит как наша исходная нота «ля», только на несколько октав выше. Мы, таким образом, получили 11 нот. Опустим их в наш диапазон 440-880Гц и получим 11 нот между нашими двумя “ля”, или 12 интервалов, названных *полутонами*.

После того как Пифагор посчитал все частоты и пришёл к 12 ноте, оказалось, что её частота, полученная по «квинтам» и та же частота, полученная умножением по «октавам», слегка отличаются. Это явление назвали *пифагоровой коммой*. Ни Пифагор, ни его последователи этой проблемы не решили. И в данном музыкальном строе мелодии, исполняемые от разных нот (в разных тональностях) звучали по-разному. Возникал ещё и вопрос, как настраивать музыкальные инструменты. Особенно это касалось инструментов с фиксированным строем (не подстраиваемых), таких как орган, клавесин, лады на гитаре...

Историки считают, что задачу решил современник И. С. Баха, органист Андреас Веркмейстер. Он изобрёл **ХОРОШО ТЕМПЕРИРОВАННЫЙ СТРОЙ** (ХТС). Это изобретение могло бы

остаться незамеченным, как и многие попытки привести в порядок музыкальную темперацию, если бы не Бах. Вполне вероятно, он был ошеломлён тем, что все мелодии во всех тональностях могут звучать одинаково стройно, и специально написал цикл прелюдий и фуг «Хорошо темперированный клавир» (ХТК). В этом творческо-музыкальном пособии есть композиции во всех мажорных и минорных тональностях.

В XIX веке окончательно перешли к равномерно темперированному строю. Исходными были следующие положения:

- в октаве 12 полутонов
- октава — повышение частоты в 2 раза
- отношение частот соседних нот — величина постоянная (коэффициент «К»). Обратите внимание: *отношение* частот, а не *разность*! Тогда: $f_1=K \times f$, $f_2=f \times K^2$, ... $f_{12}=f \times K^{12}=2f$. Отсюда «К» есть корень двенадцатой степени из двух:

$$K=1.0594630944$$

Таким образом мы получили современный ХТС. Это есть чисто арифметический строй, но в нём «всё одинаково звучит во всех тональностях» и его можно использовать для настройки наших музыкальных инструментов.

А что нам предлагает природа? Если мы проведём спектральный анализ какого-либо сигнала, мы обнаружим в нём гармоники. Вообще говоря, было бы логично найти частоты этих гармоник и перенести их в нашу исходную октаву. Некоторые гармоники приведут нас к одинаковым частотам (например: вторая, четвертая, восьмая, шестнадцатая...), некоторые дадут единственную частоту (например: семнадцатая, девятнадцатая, двадцать девятая...). После некоторых вычислений мы получим, что минимальное количество «нот», которое природа хочет расположить в нашей октаве, равно не 12, а, как минимум, 16!

Как мы с вами понимаем, эти частоты далеко не частоты ХТС. Но присутствуют ли они в нашей музыке? — Ответ: да! Часто при взятии каких-то интервалов инструментами со сложными спектрами звука, мы можем отчётливо услышать частоты, которых в ХТС нет. Они кажутся на слух фальшивыми, хотя, если мы возьмём и сыграем тот же интервал двумя более простыми по спектру инструментами, всё звучит привычно. Это происходит из-за присутствия в спектрах наших инструментов высших гармоник с ощутимой амплитудой. Эти гармоники складываются с аналогичными «ощутимыми» гармониками другой ноты. Как результат: появление призвуков нот, которых, просто не существует в ХТС. Здесь уже гармоники выступают не только как темброобразующий фактор, но и как источник «фальши». Звукорежиссёры часто сталкиваются с этим явлением и обычно меняют тембры или типы инструментов, издающие данный звук. Аранжировщик музыки может даже поменять интервал между звуками, например, терцию на сексту, что тоже помогает решить проблему.

Наиболее характерными музыкальными инструментами в оркестре, звучащими в природном гармоническом строе (ПГС), являются помповые медные инструменты: труба, валторна, помповый тромбон. Если вы возьмёте самый обычный горн («пионерский горн»), вы сможете извлечь из него лишь несколько устойчивых музыкальных нот. Очевидно, это будут: основной тон (нижний), октавы, квинты. Природу не обманешь: резонанс системы «губы-трубка» наступает на гармонических частотах из ряда Фурье. С октавами всё ясно: это 2, 4, 8... гармоники. Квинты тоже звучат чисто, так как это 3 гармоника и её частота практически совпадает и по Пифагору, и по Веркмейстеру (в ХТС), и в ПГС. Следующая частота, на которой губы могут легко войти в резонанс с трубкой — пятая гармоника. Вот здесь уже возникает сложность: частота резонанса в ПГС отличается даже на слух от функционально той же ноты в ХТС и по Пифагору. Этот интервал назвали большой децимой (большой терцией, если перенести её на октаву вниз).

Приведём пример: пусть частота основного тона, ноты «ля» первой октавы, 440Гц. Тогда, по Пифагору, частота децимы равна примерно 1114Гц, в ХТС — 1109Гц, а в ПГС — 1100Гц. Но, настоящий музыкант всегда может губами «подстроить» нашу дециму до ХТС. Исключения составляют лишь случаи отсутствия слуха и усталости губ. Усталость может наступить от холодной погоды (губы мёрзнут) или музыкант просто переиграл губы (нет сил подтягивать ноты из положения наиболее устойчивого резонанса вверх или вниз до ХТС), или на музыканта действуют ещё какие-то факторы. Особенно эти факторы проявляются у музыкантов уличных духовых оркестров, ведь играть надо в любую погоду и в любом состоянии. Тогда оркестр действительно «не строит»: кто-то может «подтянуть», кто-то уже нет... А ведь некоторые трубачи могут войти в резонанс и на седьмой гармонике, где резонансные свойства системы не так сильно выражены (эту ноту саму по себе тяжело брать), мало того, её ещё надо подстраивать! Происходит срыв звука — говорят, что трубач «киксует» по верхам... Понятно, что эта неприятность может произойти уже на третьей гармонике («гармонике децимы»).

КАК МЫ СЛЫШИМ: УХО

Чтобы понять, как мы слышим, представим себе строение уха (*рис. 5*), в котором, как известно, выделяют три отдела: наружное, среднее и внутреннее ухо. Удобно рассматривать именно эти три отдела, потому что в процессе восприятия звука имеются три составляющие: акустическая, механическая и электрическая.

Наружное ухо начинается с ушной раковины. У многих животных эта часть подвижна, что значительно облегчает процесс сбора слуховых волн. От неё внутрь ведёт маленькая трубка, которая оканчивается барабанной

перепонкой. Испытывая давление звуковых волн, барабанная перепонка начинает колебаться. Она является акустической частью системы.

В среднем ухе, в заполненной воздухом полости, имеются три маленькие косточки, присоединённые к барабанной перепонке. Воздух в полость поступает по трубочке, соединённой с задней стенкой носоглотки. Среднее ухо отвечает за механический процесс. Третья косточка заканчивает собой среднее ухо и соединяется с внутренним ухом, которое представляет собой заполненный жидкостью мешочек с нервами, идущими к мозгу. Этот отдел отвечает за электрическую составляющую процесса.

В условиях тишины давление воздуха снаружи уха и в среднем ухе одинаковое. Когда же давление воздуха возрастает (в первый полупериод колебания вибрирующего тела), барабанная перепонка подаётся вперёд, сдвигая косточки, как бы складывая их. Данное движение передаётся мешочку с жидкостью, нервные окончания регистрируют это движение и посылают электрические сигналы в мозг. При обратном движении вибрирующего тела все происходит наоборот. Барабанная перепонка двигается наружу (давление в среднем ухе выше, чем в наружном), система косточек в среднем ухе распрямляется, это движение фиксируется и передаётся в мозг в виде электрического сигнала.

Поскольку барабанная перепонка колеблется с той же частотой, что и сам звук, электрические сигналы, посланные в мозг, имеют ту же частоту. Если звуковое давление (громкость) возрастает или понижается, движение перепонки также усиливается или ослабевает, и электрические сигналы, идущие в мозг, соответственно, становятся сильнее или слабее.



Рис. 5. Устройство нашего уха

Хотя этот процесс очень легко понять, сама система далеко не совершенна. Если давление в среднем ухе не на уровне атмосферного давления, поскольку трубочка, идущая к носоглотке, повреждена, например, из-за простуды, то система не может работать точно, и в результате в мозг будут посланы неверные сигналы.

Подобный эффект часто наблюдается в самолёте, когда разница в давлении с разных сторон барабанной перепонки может стать настолько большой, что ведёт к болезненным ощущениям или даже временной потере слуха. Отсюда и «метод лечения» — зажать нос и дышать ртом, чтобы уравнивать давление в среднем ухе с атмосферным давлением. Если наружное ухо блокируется, например, избытком серы, то она действует как поглотитель и снижает давление, вызывающее вибрации барабанной перепонки, тем самым ослабляя звук. В силу того, что перепонка в данном случае будет более плоской, мы получим в ответ и снижение частоты.

Поскольку перепонка колеблется по тем же законам, что и натянутая на барабане кожа, наступает момент, когда она не может достаточно быстро ответить на высокую частоту. Изнашиваясь с возрастом, перепонка теряет способность отвечать на высокие частоты, которые мы раньше могли легко слышать. Следовательно, нельзя с определённой точностью сказать, какой именно частотный диапазон слышит человек.

Обычно берётся средний показатель от 30Гц до 17 000Гц (17кГц). Маленькие дети, чей слух ещё не успел «износиться», и животные часто слышат до 22кГц. Они также могут слышать и самые тихие звуки. Низкие значения (до нескольких сотен герц) называют низкими частотами (Low Frequencies, LF) или басом, а высокие, примерно от 8кГц и выше, — высокими частотами (High Frequencies, HF). Естественно, частоты, находящиеся между ними, называются средними частотами (Middle Frequencies, MF).

Рис. 6 показывает частотные диапазоны человеческой речи и некоторых наиболее распространённых музыкальных инструментов:

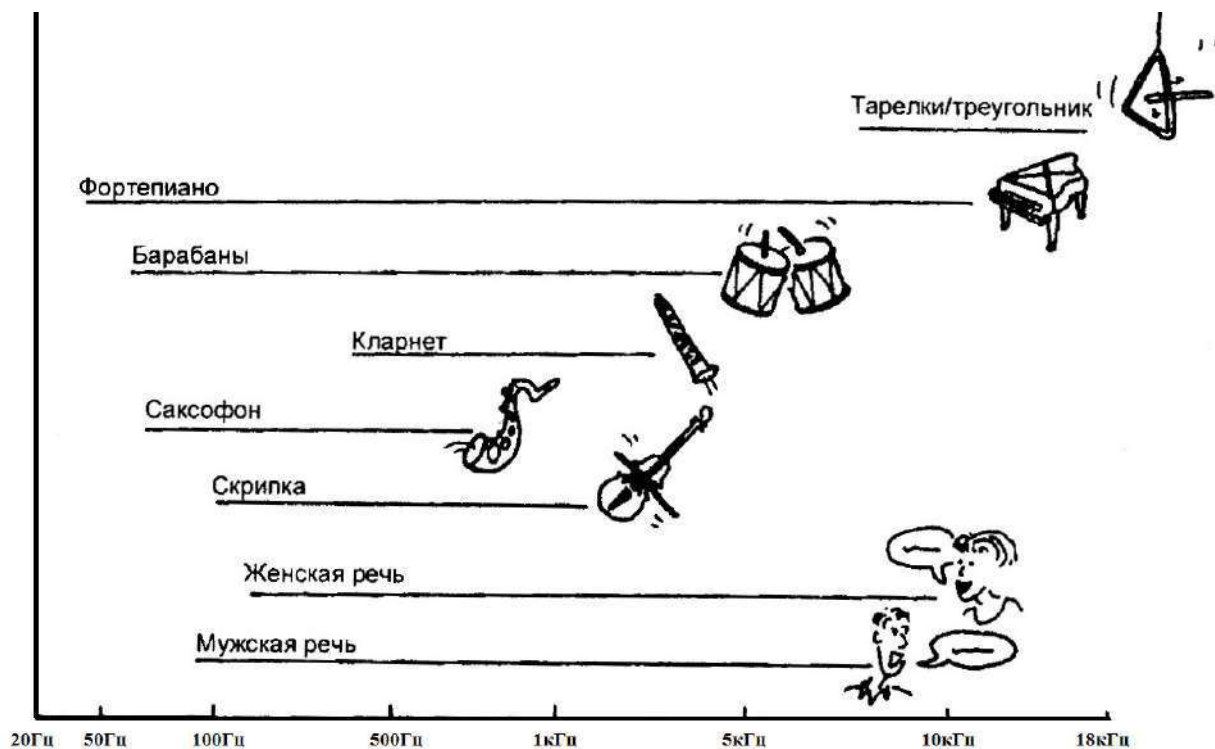


Рис. 6. Что мы слышим

А теперь рассмотрим основные варианты геометрического расположения звукового источника. Существует так называемый режим **монозвука**. При этом источники сигнала могут присутствовать в большом количестве (на площади на столбах висят репродукторы, из которых доносится речь оратора, находящегося на сцене и говорящего в микрофон). Это одноканальный звук, хотя источников звука и много, но из всех идёт сигнал в одной фазе и одинаковый по физическим характеристикам (если, конечно, какие-то репродукторы не «хрипят»).

Следует отметить, что у человека два уха, и они способны воспринимать **стереозвук**, распространяемый двумя репродукторами или акустическими системами, расположенными друг от друга на определённом расстоянии. При этом сигнал в эти акустические системы должен идти по двум разным каналам (двухканальный звук).

Представьте себе ту же сцену: поющий хор и два микрофона — слева и справа, снимающие сигналы голосов хора. Сигнал того микрофона, что слева, усилили и пустили в левую акустическую систему, того, что справа — в правую.

Это уже стереозвучание, аналогичное стереозаписи на двух дорожках, например, CD. Сигналы из левой и правой акустических систем соответствуют той картине звука, которая существует у левого и правого микрофона, включая в себя как амплитудно-частотные, так и фазовые параметры.

УХО: ЧАСТОТА И ГРОМКОСТЬ

Наше ухо представляет собой систему, намного более эффективную, чем большинство микрофонов, но не настолько предсказуемую в плане выборочного восприятия звуков и частот. Громкость звуков с разными частотами воспринимается по-разному. Ранее мы определили слуховой порог, представляя, что самый тихий различимый нами звук измеряется 0дБ. Если проверить это на разных частотах, обнаружится, что звуковое давление, требующееся для того, чтобы только расслышать звук, очень сильно различается.

Наши уши наиболее чувствительны в отрезке от 1кГц до 4кГц, где самый тихий различаемый нами звук — 0дБ. А вот с басовыми частотами совершенно другая картина. Здесь частота порядка 50Гц требует давления около 60дБ, чтобы её хоть как-то можно было услышать. Соответственно, на высоких частотах 15кГц будет слышно при 25дБ. Эти различия постепенно сглаживаются по мере нарастания громкости, и где-то при 90дБ все частоты звучат одинаково громко.

Всё это очень легко проверить. Если вы проигрываете музыкальную запись очень тихо и слушаете внимательно, вы обратите внимание, что и басы, и верхние частоты практически отсутствуют. Но если прибавить громкость, эти частоты появятся. Они были и раньше, но вы их не слышали. Одна из причин того, что люди любят слушать музыку на большой громкости, — это то,

что только в этом случае воспринимается весь диапазон частот. Последнюю фразу звукоинженерам следует взять на заметку.

Прежде чем закрыть тему устройства человеческого уха, мы должны обратить ваше внимание на ещё один фактор, прямо влияющий на качество звукозаписи. Помимо трёх составляющих нашего слуха: акустической, механической и электрической, — у людей имеется ещё и мозг. Микрофонам, к сожалению, в этом отношении не так повезло. Когда звук добрался до мозга, тот ещё подумает, воспринимать ли этот звук или нет. Иными словами, мозг действует *избирательно*.

Представим себе вечеринку: много людей, все разговаривают одновременно, и ещё, скорее всего, звучит музыка. Человеческий мозг вполне способен вычленил из всего разнообразия звуковых давлений, действующих одновременно, одну-единственную персону — именно ту, которую вы хотите слышать. Если же вдруг зазвучал ваш любимый музыкальный фрагмент, мозг автоматически переключится, и вместо собеседника вы начнёте слышать музыку. Следовательно, вы можете решать: что же, собственно, вы хотите слышать в данный момент. А микрофон слышит всё одновременно. И выбирать он не может. Это очень сильно осложняет работу звукоинженера.

Во время записи микрофон собирает все колебания и отправляет их на записывающее устройство, тогда как инженер слышит только то, что ему нужно. В результате во время монтажа зачастую раздаются возгласы вроде «Я не слышал, что над нами пролетал самолёт!» или «Неужели движение на улице было настолько интенсивным?». Мастерство хорошего звукоинженера определяется умением концентрировать свой слух так, чтобы слышать, как микрофон, «беспристрастно», различая всё, что записывается. Если вы хотите получить высококачественные записи, нужно практиковаться в этом настолько часто, насколько возможно. Совет: начните фиксировать окружающие звуки так же чётко, как и реплики исполнителей.

Посмотрите на *рис. 7*. Здесь изображены волны одной частоты, но принадлежащие разным источникам. Видно, что в случае синтезатора, форма сигнала с «изломами» — с множеством обертонов. Как вы думаете, как будет звучать такой сигнал? Естественно, звук будет более резким.

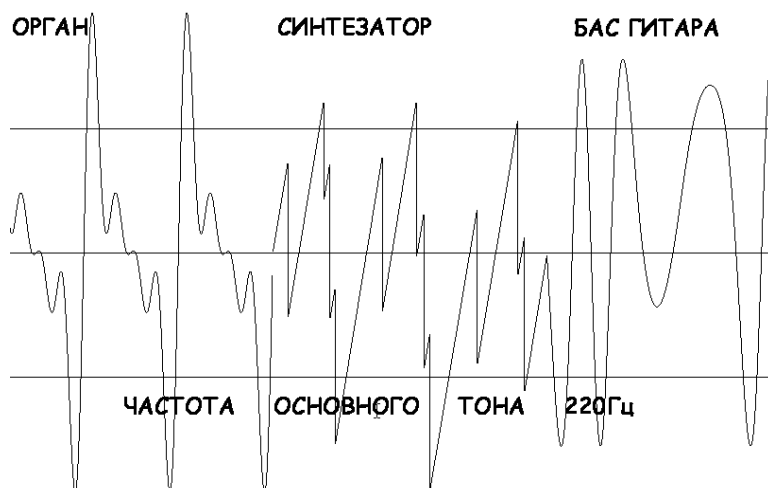


Рис. 7. Звуки различных музыкальных инструментов

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЗВУКА В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Пока мы не будем касаться звука, «созданного» электричеством изначально (звуки электронных инструментов, синтезированные звуки: целью их создания могут быть как банальное повторение спектров известных акустических инструментов, голосов, шумов и бытовых звуков, так и создание моделей, не встречающихся в обычном мире и ассоциация их с не менее фантастическими явлениями, например, звук «НЛО» или «пульсара»).

Мы назовём некоторые известные устройства, способные преобразовать звуковую волну в электрический сигнал, в точности или приблизительно повторяющий форму этой волны (на микрофонах мы остановимся подробнее).

Пьезозвукосниматель. Действие основано на свойстве пьезокристалла преобразовывать механическое воздействие в электричество. Используется в качестве звукоснимателя для музыкальных инструментов, имеющих в качестве резонирующего элемента некоторую поверхность, на которую пьезоэлемент и крепится (например, дека скрипки). Имеет небольшие размеры, посредственные частотные характеристики («завал» по низким частотам) и высокое внутреннее сопротивление, что ограничивает его подключение к некоторым типам усилителей. Ранее пьезозвукосниматели широко использовались в иголках для проигрывателей виниловых грампластинок. При этом недостатки частотной характеристики компенсировались специальными электронными схемами предусилителей-компенсаторов.

Электромагнитный звукосниматель. Используется для гитар, бас-гитар, контрабасов и прочих инструментов с металлическими струнами. Современные электромагнитные звукосниматели обладают высокими характеристиками и легко согласуются со стандартной звукоусилительной аппаратурой.

Микрофон. У микрофона есть только одна работа. Он должен аккуратно собирать те звуки, которые мы хотим услышать и/или записать, и передавать их на записывающее устройство в виде звуковых сигналов. Частоты и уровни громкости, которые мы слышим, впоследствии смогут быть точно воспроизведены.

В звукооператорском комплекте присутствует целый набор микрофонов: ручные и «прищепки», стерео и моно, а то ещё какая-нибудь добрая душа предложит вам в этой сцене использовать конденсаторный микрофон. Зачем столько фирм производят столько разных микрофонов?! Что нам с ними делать?! Попробуем разобраться.

Микрофоны могут стоить от нескольких десятков рублей до почти астрономических сумм, однако все они продаются и все используются. Конечно, цена микрофона — фактор существенный, но есть ещё многое, на что следует обратить внимание. Размер и вес, чувствительность к ветру и

температуре, надёжность, реакция на очень громкие или очень тихие звуки. Как он ведёт себя в руках певца или актёра, как определяет направление звука, как воспринимает слышимый нами диапазон частот и успевает улавливать быстрые отрывистые звуки — всё это факторы, которые надо учитывать при выборе микрофона.

МИКРОФОНЫ

Микрофоны классифицируются по нескольким критериям: принцип работы, сопротивление, полярность и чувствительность. Одни сконструированы как многоцелевые, другие созданы для выполнения конкретных задач.

Угольный микрофон использовался в ламповой технике и в трубках дисковых телефонов в середине XX века. Сейчас он практически не актуален.

Электродинамический (динамический) микрофон. Мы все знакомы с простейшим устройством, производящим электричество, но можем не придать значения этому обстоятельству, поскольку оно кажется абсолютно не связанным с микрофонами. Таким устройством, конечно, является динамо — то самое, которое, будучи прикреплённым к велосипеду, производит электричество для его фар. Динамо в автомобиле — лишь увеличенная копия подобного механизма, производящая больше электричества, как и требуется автомобилю.

Именно от эффекта «динамо» произошло название «электродинамический микрофон» или просто «динамический». Обычно динамическими называют группу микрофонов, в которых используется принцип движущейся катушки (реже такие микрофоны называют «катушечными»).

На *рис. 8* вы видите устройство микрофона с движущейся катушкой. Маленькая диафрагма (мембрана) около 20 мм в диаметре (что очень близко к диаметру нашей собственной барабанной перепонки) подвешена перед небольшим магнитом. Катушка из очень тонкой проволоки прикреплена к диафрагме и покоится между полюсами магнита. Концы проволоки катушки идут к основанию микрофона и передают электричество в провод.

По закону физики, если к катушке в магнитном поле прилагается положительное давление, перемещающее её вглубь магнита, электромагнитная энергия создаст в ней положительный ток. Этот ток будет очень слабым, в районе нескольких тысячных ампера. Однако всё зависит от силы давления, которая привела её в движение. Чем больше давление, тем больше производится электричества.

При обратном давлении, вытягивающем катушку из магнита, меняется и направление тока. Таким образом, мы имеем переменный ток, который идёт с одной позиции (положительный) через середину (ноль) до другой позиции (отрицательный), точно повторяя нашу звуковую волну, создавая давление

на диафрагму и двигая катушку. Частота движения зависит от частоты звуковых колебаний, а давление — от силы звука (громкости). Определённо мы нашли превосходный способ преобразования звука в электричество!

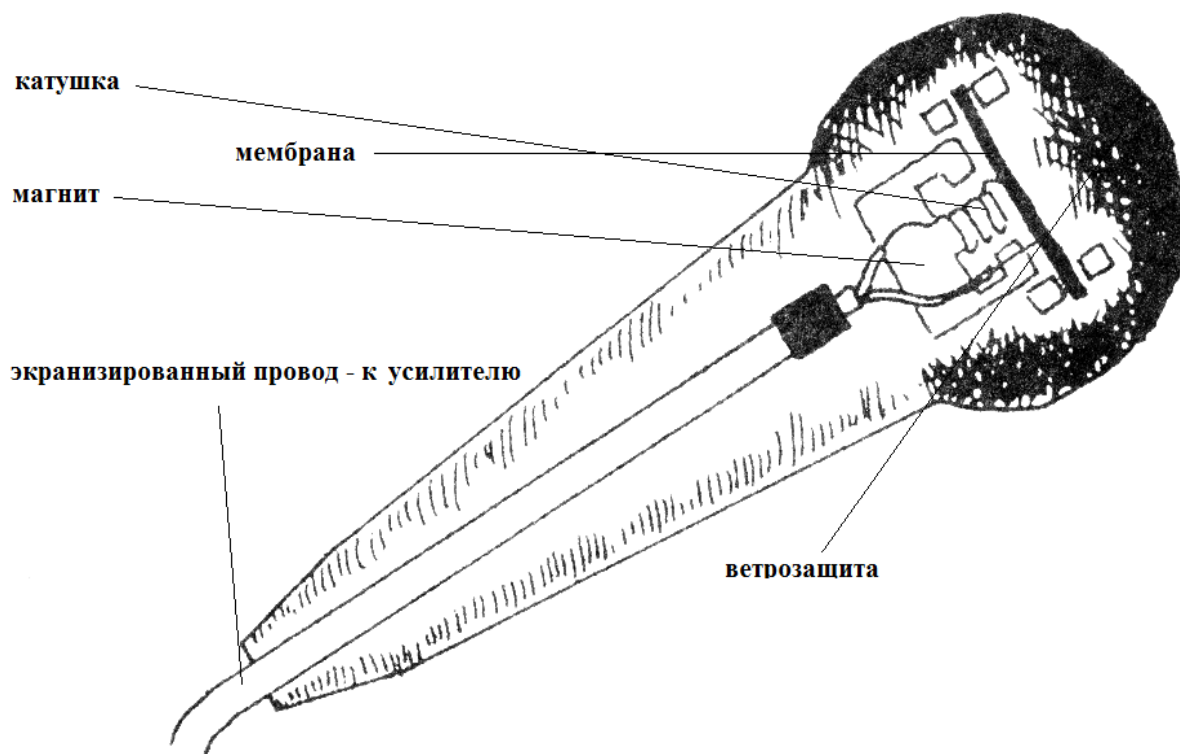


Рис. 8. Динамический микрофон

Здесь используется свойство движущейся катушки вырабатывать переменный ток в магнитном поле. Рассмотрим несколько упрощённо. Этот ток (I) пропорционален изменению потока магнитного поля через катушку, который, в свою очередь, пропорционален изменению эффективной площади катушки, то есть произведению площади витка катушки на количество витков катушки, попавших в определённый момент в магнитное поле в данном месте:

$$I \sim d\Phi/dt \sim BdS/dt \sim BSdn/dt,$$

где Φ — поток, t — время, B — индукция магнитного поля, S — площадь витка, n — эффективное число витков в магнитном поле B . Значение dn/dt уже определяется тем, как шевелится катушка под действием звуковой волны. Катушка движется, эффективная площадь постоянно меняется, «повторяя» это движение.

Область применения микрофона, как уже было сказано, зависит от его достоинств и недостатков. Что касается динамического микрофона, то его выдающимся качеством является надёжность. Прибавьте ещё независимость от температуры и влажности (да, и против использования в дождь он не будет особенно «возражать»!).

Динамические микрофоны вполне успешно справляются с шумом, возникающим тогда, когда их берут в руки. Практически не заметно, как их

ставят на стойку или снимают с неё, микрофонные шнуры почти не производят нежелательных помех. Так что динамические микрофоны идеальны для расположения на «журавлях» и «удочках» в студии.

Некоторые недостатки динамических микрофонов в определённых ситуациях могут обернуться достоинствами, но в других случаях всё же останутся недостатками. Основные из этих недостатков связаны с конструкцией. Нам достаточно минимального количества электричества, которое даёт микрофон. Если же его будет слишком мало, нам понадобится дорогой, мощный усилитель. Количество производимого электричества прямо пропорционально размеру катушки, но у катушки есть критическая масса, и нужно достичь компромисса между размером катушки и её весом.

Простая аналогия: представим себе небольшой автомобиль и огромный грузовик на извилистой дороге. Тот из них, что меньше и легче, быстрее впишется во все повороты.

Музыка несёт в себе быстрые смены динамики и частоты. Если катушка лёгкая, то она в состоянии менять направление движения очень быстро и следовать движению воздуха, вызванному быстро меняющейся музыкой. Но если она чрезмерно лёгкая, выход электричества может быть недостаточным.

Ещё один недостаток связан с тем, что существует обратный эффект. Если в катушке есть ток, она движется (так работает и динамик, кстати). Проблема динамического микрофона заключается в том, что электричество, производимое катушкой, всё время пытается двигать диафрагму в противоположном направлении и, таким образом, остановить движение катушки. Это особенно заметно на высоких частотах, когда на катушку действует ещё и её собственная масса, мешающая следовать за колебаниями воздуха. В конечном итоге, мы получаем микрофон с недостаточной чувствительностью к звуковым волнам с частотами выше 12 кГц. Однако он особенно чувствителен к частотам в диапазоне от 2 до 12 кГц, что совпадает с диапазоном речи и вокала. И это делает динамический микрофон особенно удобным для записи голоса.

То, что динамический микрофон надёжен, с хорошей чувствительностью к низким частотам и низким уровнем собственных шумов, определяет его частое использование при записи ударных инструментов, гитар и вокала. Следует сказать, что ронять динамический микрофон (как и любой другой) всё же нежелательно...

Конденсаторный микрофон. Второй метод, используемый для получения электричества из звукового давления, основан на электростатическом принципе. Это дало нам конденсаторный микрофон. В сравнении с микрофоном с движущейся катушкой он может показаться элементарным, так как у него совсем немного работающих деталей. У конденсаторного микрофона выработка электричества также зависит от давления воздуха,двигающего диафрагму. Но что же двигает сама диафрагма? — Дело в том, что она ничего не двигает, и при этом её

движения производят электричество. Тут необходимы некоторые разъяснения.

В электрической цепи конденсатор — это устройство, которое состоит из двух пластин, расположенных друг напротив друга и разделённых воздухом. Если на одну из пластин подаётся положительное напряжение, а на другую — отрицательное, никакое электричество не может «перепрыгнуть через зазор», всё напряжение остаётся на пластинах. Однако если мы изменим расстояние между пластинами, может кое-что произойти. Подвиньте пластины ближе друг к другу, и часть электричества потеряется, оно отойдёт назад, к дающей напряжение батарее. Если пластины раздвинуть, происходит противоположный процесс и на них скапливается больше электричества.

Вы уже начинаете понимать, как всё это может превратиться в микрофон? Если мы увеличим зазор, между пластинами, — возникнет электрический ток. Скорость увеличения этого зазора определяет частоту, а степень раздвижения пластин — силу тока. Конечно, прежде всего, пластины должны находиться под напряжением, в противном случае система просто не будет функционировать.

Конденсаторный микрофон на самом деле устроен довольно просто. Передняя пластина — упругая и подвижная — это диафрагма. Задняя пластина зафиксирована. Напряжение около 48 вольт сосредоточено на пластинах, и остаётся только ждать, чтобы звуковое давление начало воздействовать на диафрагму. В результате мы будем иметь на выходе изменяющееся электрическое напряжение, что и требуется нам для записи. Громкие звуки создают более сильные движения и более значительные изменения напряжения, высокие частоты перемещают диафрагму быстрее и создают быстрые (с высокой частотой) изменения напряжений.

Изменения напряжения на самом деле очень малы, они намного меньше тех, которые производит динамический микрофон. Поэтому необходимо наличие усилителя, который увеличит их, прежде чем они уйдут слишком далеко от микрофона. Этот усилитель располагается в непосредственной близости от головки микрофона: у ручных микрофонов — внутри корпуса, у «микрофонов-прищепок» — в отдельной коробочке, на некотором расстоянии от самого микрофона. Усилители требуют питания, и оно берётся от напряжения, используемого для поляризации (зарядки) пластин.

Так как это скорее «электронный», чем «механический» микрофон, он вовсе не любит сырости, сразу начинает капризничать и пищать. Он «простужается» во влажной атмосфере, когда влага начинает конденсироваться на пластинах. К тем же последствиям приводят изменения температуры.

Требуемое напряжение (48В) обычно обеспечивается микшерным пультом в виде так называемой «фантомной энергии», которая подаётся по

микрофонным проводам (существуют микрофоны, работающие по принципу конденсаторных и питающиеся от обычных «пальчиковых» батареек). Конденсаторные микрофоны не особенно удобны для громких, взрывных звуков голоса. Звуки «п», «б», к примеру, могут привести к его перегрузке, зашкаливанию, искажению сигнала и в некоторых случаях даже к полной потере звука на короткое время.

Теперь о преимуществах. Самое очевидное то, что диафрагма в таком микрофоне не должна что-либо механически передвигать и, следовательно, без труда улавливает даже самые краткие звуки. Будучи очень лёгкой, диафрагма может быстро двигаться вперёд и назад, и это улучшает частотную чувствительность микрофона. Уровень в 17кГц достигается очень легко, в большинстве случаев предлагается потолок в 20 и 22кГц, что уже значительно выше диапазона частот, который слышит человек.

Обладая только одной движущейся деталью, конденсаторные микрофоны обычно более чувствительны, чем динамические, и имеют более высокий выходной уровень. Если у них случаются проблемы с выходом, то только благодаря электронике (они почти всегда более шумные, так как производят больше шипения и свиста, чем динамические).

Конденсаторные микрофоны очень хороши в студии для музыкальных инструментов, таких как фортепиано, литавры и духовые, особенно хороши при записи хора. Большая чувствительность делает их весьма подходящими для записи звука в движении. Они показывают хорошие результаты со стационарных «журавлей» и «удочек», но, когда их держат в руках, очень реагируют на шумы от пальцев и микрофонного кабеля.

Часто конденсаторные микрофоны используются как подвесные, то есть свисающие над сценической площадкой или оркестром. В этом случае их не используют как основные. Кроме того, конденсаторные микрофоны и их аналоги (электретные микрофоны), благодаря высокой чувствительности и возможности миниатюризации, используют в современной бытовой технике, диктофонах, мобильных телефонах.

ЭЛЕМЕНТЫ КОММУТАЦИИ

Все предметы, относящиеся к процессу соединения различных устройств для их корректного совместного функционирования, мы будем называть элементами коммутации. В качестве элементов коммутации служат различные типы проводов, розетки и разъёмы, проводка, переключающие устройства, кабели и т. п.

Все электрокабели или шнуры отличаются количеством проводящих проводов внутри них, их сечением (диаметром жилы), степенью изоляции, помехозащитой, прочностью и влагостойкостью. Рассмотрим некоторые типы кабелей.

Электрокабели. Экранированный кабель содержит одну или несколько токопроводящих изолированных жил внутри. Под внешней изоляцией проходит специальная сеточка из меди (оплётка), которая называется «экраном». Она обвивает кабель по всей его длине и служит основным элементом для защиты от внешних паразитных электромагнитных полей (радиопомех).

С помощью слаботочных экранированных кабелей мы коммутируем все элементы звукоусилительного комплекса: от микрофонов и других источников — до присоединения к усилителю мощности. Слаботочный провод имеет малый вес и сечение (диаметр) внутренних жил и предназначен для токов небольших значений (менее ампера).

Для коммутации выхода усилителя мощности и колонок (акустических систем, динамиков) мы используем уже толстые гибкие медные провода с большим сечением (силовоточные), которые обычно не экранируют (очень похожие по параметрам провода используют и для коммутации розеток питания — бытовые 220 вольт — в студии).

Иногда такая коммутация осуществляется силовоточными экранированными кабелями. Особенно это актуально при проводке на сцене электрокабелей для света, так как в этом случае эти провода, из-за сильных перепадов тока, становятся источниками помех для, например, микрофонных кабелей, расположенных там же на сцене.

Аудиоразъёмы. На концах кабелей припаяны разъёмы для соединения с приборами. Разъёмы тоже бывают слабо- и силовоточными. Главная вещь, которую нужно осознать, — это то, что с выхода какого-либо устройства ток по проводу (кабелю) поступает *на вход* другого. В общем, точно так же, как и электричество из розетки передаётся в кассетный магнитофон, электричество с выхода микрофона передаётся в микшерный пульт или в видеомагнитофон.

У любого электроприбора *штепсельная вилка* имеет видимые контактные штыри, а *штепсельная розетка* — отверстия, для них предназначенные. В профессиональном жаргоне существуют определения «папа» и «мама». Первое означает штекер (вилку), а второе, соответственно, — гнездо (розетку).

Существует четыре основных типа разъёмов (*рис. 9*): пятиштырьковый («Европа», *DIN*), «тюльпан» (*RCA*), штекер, *TRS* или просто «джек» (англ. *jack* — разъём) и *XLR* («канон», *Canon*). Принципы их устройства можно найти в специализированных книгах, пока же достаточно запомнить их названия:

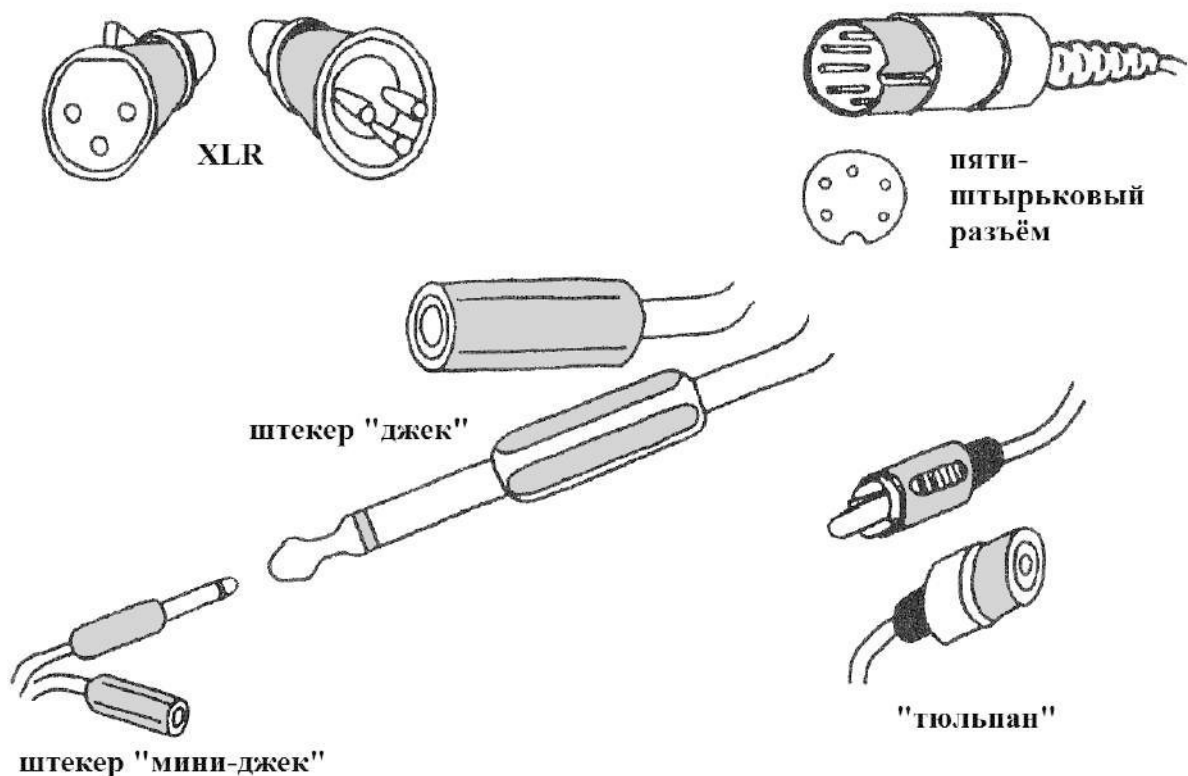


Рис. 9. Типы аудиоразъемов

Наименее профессиональный разъем, с которым вы будете сталкиваться меньше всего, — пятиштырьковый. Хотя существуют подобные разъемы с 3, 5 и 7 штырьками, на практике почти всегда используются пятиштырьковые. Использование таких разъемов в аудио технике осталось в прошлом веке. Применяются пятиштырьковые разъемы, в основном, в MIDI-интерфейсе. И часто их называют MIDI-разъемами для MIDI-кабелей.

MIDI (Musical Instruments Digital Interface) — унифицированный протокол, с помощью которого можно коммутировать приборы, имеющие соответствующий интерфейс. К MIDI-приборам относятся как музыкальные синтезаторы, так и MIDI-звуковые модули, секвенсоры, барабанные машинки, компьютер с соответствующим интерфейсом и т. д. Этот интерфейс не очень «быстрый», и скорость передачи по MIDI-кабелю невелика (имея в виду тактовую частоту, равную 31 250Гц): передается лишь цифровая информация между приборами, никакого аудио-сигнала тут нет.

Тип «тюльпан» некоторые производители называют ещё «фоно» («phono») или *RCA*. Своё название он получил от американской компании *RCA*, которая использовала соединения этого типа в своих фонографах и проигрывателях грампластинок. Эти разъемы широко используются в полупрофессиональном и профессиональном оборудовании. Они имеют только один контакт, что сильно облегчает нам жизнь: по проводу типа «тюльпан — тюльпан» из одного места в другое пойдёт только один сигнал. Так, если вы записываете стереозвук, вам понадобятся два провода: по одному

для каждого сигнала. Часто разъёмы «тюльпан» имеют различную окраску, что значительно упрощает работу с ними (когда используются, например, 3 или 4 разъёма сразу).

Размер стандартного джека — 6,25 мм (1/4 дюйма), он имеет сигнальный провод, подсоединённый к наконечнику контактного стержня, и экран (заземление), подсоединённый к корпусу. Наиболее распространённый тип джека кроме стержня и корпуса имеет ещё кольцо, что позволяет подсоединять к нему три провода одновременно. Это может быть использовано при записи стереозвука (пара сигнальных проводов и общее заземление) или при соединении с *симметричными* проводами.

Не используются на полупрофессиональном, но часто попадаются на любительском оборудовании штекеры типа «мини-джек». Они имеют аналогичное устройство, отличаясь лишь размерами: 3,5 или 2,5 мм (последний широко используется в мобильных телефонах).

Тип *XLR* — это, напротив, профессиональный разъём, который при подключении надёжно фиксируется, чтобы избежать случайного отсоединения.

Существуют разъёмы с большим числом штырей, но область их применения очень узка, и вы вряд ли когда-нибудь с ними столкнётесь. Тем не менее, будьте осторожны: иногда они используются на силовых электрических кабелях, то есть являются проводниками не слабых токов звуковой частоты, а «настоящего» высоковольтного электричества.

Разъёмы крепятся к проводам, которые мы используем, чтобы соединить между собой два устройства. Существуют два типа входных отверстий, и очень важно, чтобы подключение было выполнено правильно. Эти «входы» носят следующие названия, вы найдёте их на магнитофоне, усилителе или микшерном пульте: **mic** (микрофонный вход) и **line** (линейный вход, то есть, все устройства, кроме микрофонов).

Если вы подключите микрофон к линейному входу, звука вы не получите. В лучшем случае он будет чуть слышным. Если же вы случайно подключите линейный объект (аудиомагнитофон, видеоманитофон, лазерный проигрыватель, синтезатор) к микрофонному входу, всё может кончиться плачевно. Прежде всего, звук будет очень громким, даже слишком громким для того, чтобы осуществить контроль записи. Кроме того, он будет искажён и может даже стать причиной замыкания как в источнике звука, так и в устройстве, к которому он подключён.

Провода, идущие к разъёму, могут иметь две или три жилы (при этом число штырьков на самих разъёмах не имеет к этому ни малейшего отношения, так как разъёмам не обязательно иметь подключение на каждом штырьке). Для этого вам придётся посмотреть, что у разъёма внутри и сосчитать «проводки».

Системы с двумя «проводками» называют ещё *несимметричными* или *небалансными*, системы с тремя «проводками» могут быть как *симметричными* (балансными), так и *несимметричными* (небалансными) — в

зависимости от конкретного подключения. Нам нужно уметь различать эти особенности и учитывать их при коммутации, во избежание плохой записи звука, некачественного усиления или поломки оборудования.

Выбор того или иного типа разъёма, например, с тремя контактами зависит от цели его использования. Стереосигналу необходим один контакт для левого канала, второй — для правого и третий — для заземления (или *экрана*, как его обычно называют). Моносигналу нужен только один контакт для самого сигнала и один для экранирования. Однако на профессиональном оборудовании возможно использование двух контактов для сигнала и одного для экранирования, то есть всех трёх контактов.

Для того чтобы облегчить стоящую перед нами задачу, давайте вспомним некоторые разъёмы, о которых выше шла речь. Итак, пятиштырьковые разъёмы — только для любителей, у них всегда *несимметричные* провода вне зависимости от того, идёт речь о моно- или о стереозвуче. Разъёмы «тюльпан» — единственные, имеющие только один контакт и корпус, являющийся экраном. Соответственно, в них всего два контакта, также *несимметричные*. Мини-джеки (3,5 или 2,5 мм) могут иметь два или три контакта. Они также используются, по большей части, в домашних условиях и являются *небалансными*. Если мини-джек имеет три контакта, он принадлежит к категории стерео или (в порядке совместимости) служит проводником моносигнала, идущего к двум контактам, третий же контакт остаётся свободным.

Таким образом, беспокойство нам будут доставлять только оставшиеся стандартный джек и разъём *XLR*. У стандартного джека может быть два или три контакта: стержень и корпус или стержень, кольцо и корпус.

Если в разъёме присутствуют два контакта, соединённые только с двумя концами, он определённо является *небалансным*. Если же у него три контакта, он может быть либо стерео (левый-правый-экран, опять же, *небалансный*), либо моносистемой (с одним неиспользованным контактом для совместимости, *небалансный*), либо *балансной* моносистемой. Если он используется с моноисточником (например, с одним обычным микрофоном), определить его тип можно, разобрав разъём и сосчитав «проводки» внутри. Если их два, то перед вами *небалансная* система, если же три — *балансная*.

Система на разъёмах *XLR* практически всегда *балансная*. Это общепринятый профессиональный разъём.

Итак, зачем нужно столько различных систем, и какая из них оптимальна для нас? Ответ прост. Вы, вероятно, помните, что когда мы вели речь о микрофонах, то обсуждали такое понятие, как «сопротивление». Так вот, микрофон с высоким сопротивлением должен быть подключён к аналогичному входу и должен иметь кабель не более двух метров длиной. Подобные микрофоны употребляются исключительно для домашнего

(любительского) пользования, когда присутствует только *небалансное* оборудование с недорогими разъёмами.

Для производства качественной продукции необходимо использовать микрофоны и другие источники, находящиеся в некотором отдалении от записывающего устройства. Соответственно, при увеличении дистанции между микрофоном и устройством записи необходим более длинный кабель. На своём пути от устройства к устройству он будет располагаться в непосредственной близости от других проводов. Некоторые из них могут быть силовыми кабелями, другие — нести более мощные звуковые сигналы. Любое электричество, проходящее по проводу, образует вокруг него магнитное поле. Это поле передаётся близлежащим проводам, превращаясь обратно в электричество, и становится помехами, причиной ясно различимого гудения. Для предотвращения подобного эффекта и используются *симметричные (балансные)* кабели.

У катушки динамического микрофона есть два контакта, а в конденсаторном микрофоне имеются две пластины. Заземлим один из контактов, и теперь у нас есть «проводок», подсоединённый к одному из контактов катушки (или к пластине), и второй «проводок» для заземления: так выглядит система с двумя концами. Она является *небалансной*, и, подключив этот микрофон к пульту, вы можете услышать, что к нашему сигналу добавились помехи.

Если же использовать отдельные «проводки» для каждого контакта катушки (или для каждой пластины), и отдельно для экранирования (заземления), то мы получим систему с тремя концами. Она является *балансной*. То есть, один и тот же сигнал передаётся по двум «проводкам» в противофазах. А электромагнитные помехи, попадая в длинный кабель, идущий к микшерному пульту, движутся синфазно по обоим проводам. И теперь торжественный момент! Если мы поместим на конце кабеля (в пульте) специальное приспособление, называемое трансформатором, и используем его, чтобы перевернуть фазу одного из проводов на 180°, два микрофонных сигнала соединятся и станут синфазны, а вот помехи теперь наоборот будут находиться в противофазе и легко отфильтруются.

Если же вы подключите *балансные* кабели к *небалансным* входам, сигнал попытается как бы «уничтожить» сам себя (классическая противофаза — полная тишина, так как сигналы взаимно подавляются), результатом чего будет падение его уровня и почти полная потеря басов. Однако и здесь, как в любой ситуации, имеется выход. Вам только нужно будет подсоединить балансный микрофон к специальному устройству, так называемому «балуну» (Balun=Bal[anced]+ Un[balanced]), то есть «*балансный к небалансному*», чтобы вся система стала *небалансной*. Всегда имеет смысл подключать микрофоны к *балансным* линиям (даже если вам придётся разбалансировать их на магнитофоне или микшере). В этом случае, как мы поняли, исключается возможность помех.

ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

Основными элементами звуковоспроизведения являются *усилитель* и *акустическая система* (АС) — колонки, аудиомониторы.

Усилитель — электронный прибор, способный увеличить напряжение и ток входного сигнала, при этом форма сигнала сохраняется. Номинальная выходная мощность $P_{\text{ном}}$ — выходная мощность усилителя на нагрузке при установленном коэффициенте гармоник (K_T). Обычно K_T устанавливают равным 0,1-1%. Измеряется он в Ваттах (Вт). Максимальная выходная мощность $P_{\text{макс}}$ — выходная мощность усилителя на нагрузке при установленном коэффициенте гармоник 10%. Искажения измеряют специальными приборами. На экране осциллографа просто сравнивают форму поданного и усиленного сигнала. Усиливая сигнал всё сильнее, в определённый момент, форма выходного сигнала начнёт меняться — это и есть момент появления искажений, причём на слух они могут быть пока не различимы.

Не обольщайтесь, если на какой-то бытовой или автомобильной акустике приклеена табличка... 200Ватт. Эту мощность можно назвать чисто рекламной мощностью — важно ещё и давление, которое выдаёт акустика. Единственным «громким» прибором такого типа можно назвать мегафон (рупор), но все мы знаем, какие частоты и с какими искажениями он может воспроизвести! Выход 200-Ваттного усилителя можно нагрузить и на... уют, он не сгорит, но вряд ли при этом выдаст громкие звуки. К тому же получить достойные 200 Ватт от автомобильного питания 12 вольт — примерно то же самое, что двигать локомотив руками: теоретически возможно, но зачем?

Диапазон воспроизводимых частот — частоты, воспроизводимые усилителем при определённой степени неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Дело в том, что любой усилитель (или акустическая система) усиливает (или воспроизводит) разные частоты по-разному. Если, к примеру, в паспорте прибора написано 20Гц-20кГц — это ничего не значит, если рядом не указана неравномерность АЧХ, или эта характеристика не нарисована графически. Идеальная АЧХ — прямая линия, параллельная оси частот, то есть, любая частота в диапазоне, указанном в паспорте, усиливается в K -раз. Величина « K » будет называться коэффициентом усиления.

На *рис. 10* изображены две разные АЧХ. Ясно, что на первой зависимости полно «провалов». О равномерности такой АЧХ не может быть и речи. Вторая АЧХ — ровнее, следовательно, данный тракт «усилитель-АС» — более качественный.

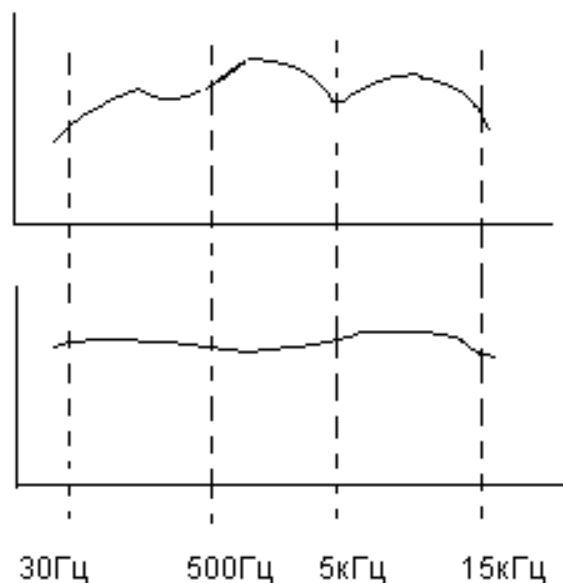


Рис. 10. АЧХ двух разных систем «усилитель-АС»

Любой усилитель обладает нехорошим свойством слегка сдвигать фазу на некоторых частотах (т. н. фазовые искажения). Результатом может стать неправильное воспроизведение этих частот или неправильное «положение» источника этих частот в стереопространстве. Представьте себе стереосистему (левый канал и правый канал, L и R), на вход которой подан сигнал. Допустим, что каналы L и R у нас заметно отличаются по фазовому сдвигу на каких-то частотах. Тогда даже при идеальной амплитудно-частотной характеристике каждого канала, чего-то в усиленном звуке будет не хватать. Включите другой стереоусилитель, пусть даже с худшими АЧХ, но меньшими фазовыми сдвигами — звук будет другим! Но эффект разности фаз может быть и полезен. На постоянном сдвиге фаз между каналами (90°) в широком диапазоне частот основан эффект «псевдостерео» (или «wide stereo», «широкое стерео»).

А теперь представьте себе довольно обычную жизненную ситуацию. Мы подсоединяем АС к усилителю — всё звучит хорошо, но усилитель способен, как говорится, «прокачать» две таких АС. И чтобы было громче, мы подсоединяем вторую АС и... ужас, вместо ожидаемого увеличения громкости, заметно пропали низкие частоты, звук стал тише. Мы уже знаем, что такое может произойти только из-за того, что произошло *противофазное* суммирование сигнала из двух колонок: максимум одной волны попал на минимум другой. В результате они друг друга «съели». Этот эффект особенно проявляется именно в области низких частот. Что делать? — Выход есть: просто поменять местами провода, подсоединяющие *одну* из колонок к усилителю (именно таким образом проверяют, правильно ли скоммутированы колонки с усилителем).

Любая АС и любой усилитель мощности обладают, соответственно, входным и выходным электрическим сопротивлением (Z). Сопротивление измеряется в Омах (Ohm, Ω). Существуют стандартные значения: 2, 4, 8, 16 Ом. Обычно они написаны на задней панели прибора. Следует помнить, что можно коммутировать лишь усилитель с меньшим заявленным выходным сопротивлением к АС с большим Z . То есть, 4-Омный усилитель вы можете присоединить к 8-Омной колонке, но не наоборот! Иначе — ждите беды: перегрузки выходных каскадов усилителя и выход его из строя. Сопротивления должны совпадать для получения идеального согласования и мощностных характеристик, оптимально, когда данный усилитель вообще специально подобран под данную колонку.

Акустическая система. На *рис. 11* показана типовая АС. Она состоит из корпуса, в который вставлены функционально разные громкоговорители (динамики). Обычно, в передней панели, прорезывается отверстие, называемое фазоинвертором и служащее для подъема АЧХ на низких частотах. Функционально динамики разделяются по мощности, звуковому давлению, резонансной частоте и воспроизводимым частотам.

По воспроизводимым частотам динамики подразделяют на *низкочастотные* — НЧ (10Гц-300Гц), *среднечастотные* — СЧ (300Гц-4кГц), *высокочастотные*, или *твиттеры* (англ. *twitter* — щебет) — ВЧ (выше 4кГц). Могут быть динамики, которые воспроизводят все частоты — *широкополосные*, или воспроизводящие, например только диапазон НЧ-СЧ. Визуально НЧ динамики — самые большие, ВЧ — самые маленькие (для увеличения давления по высоким частотам ВЧ-твиттеры часто помещают в рупор, закрепляемый на передней панели АС или сверху).

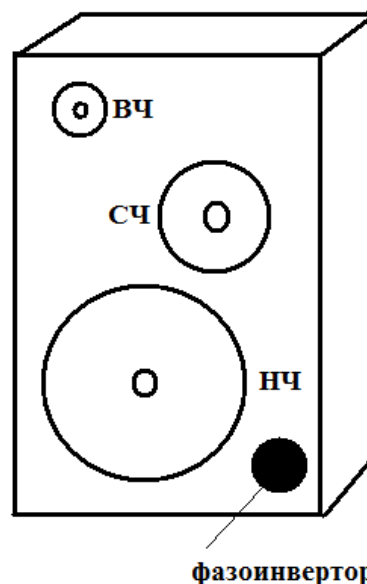
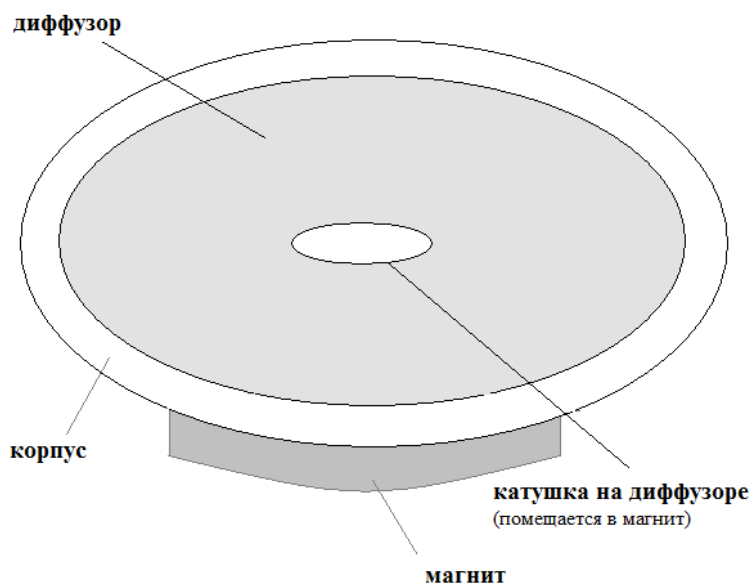


Рис. 11. АС (колонка)

Какую-то определённую частоту динамик воспроизводит с наибольшей отдачей (резонансная частота). Этот недостаток связан с конструктивной особенностью динамика и представляет собой фактор, с которым «борются» конструктивными или электронными методами.

Принцип действия громкоговорителя (динамика) полностью аналогичен динамическому микрофону (катушка в магните), с той лишь разницей, что на катушку *подаётся* электрический сигнал, и она начинает двигаться в магнитном поле.



Катушка двигает диффузор (в микрофоне это была диафрагма), — сделанный из прессованной бумаги, шерсти и синтетических материалов излучатель звуковых волн (он приклеен к корпусу динамика), и мы слышим звук.

Рис. 12. Громкоговоритель (динамик)

ЗВУКОЗАПИСЬ

Аналоговая запись звука. Аналоговый сигнал — сигнал, поведение которого во времени «непрерывно». Значение в каждый момент времени определено, причём обычно эти значения плавно меняются во времени — *не имеют разрывов*. На языке математики — это гладкая функция $G(t)$, существующая при всех значениях t .

Давление в звуковой волне представляет именно такую «аналоговую» функцию. Если мы зафиксируем этот непрерывный процесс на каком-то носителе информации, в точности повторив нашу волну, то произведём аналоговую запись.

К аналоговым носителям звука относятся, например, магнитные ленты бытовых кассетных и ленточных магнитофонов, виниловые грампластинки... Точность, с которой они записывают и воспроизводят сигнал, в XXI веке нас уже устраивает не полностью. Факторов много — шумы, царапины, старение и осыпание ленты, маленький динамический диапазон...

Цифровая запись звука более проста для понимания, потому что основана на принципе, по которому мы все рисуем графики.

Если вы посмотрите на *рис. 13*, то поймёте, что график звука представляет собой зависимость уровня от времени. Этот график создан при помощи цифровых данных, которые содержат информацию о том, каким является уровень записи в определённый момент времени. Нас всех учили, отметив крестиками или точками координаты, соединять их и таким образом рисовать график. Точно так же мы выбираем множество значений (они называются *сэмплы*) звукового сигнала за период времени для того, чтобы получить данные, необходимые для построения графика. Чтобы

картина получилась наиболее полной, нам необходимо как можно больше значений уровня звука и временных данных.

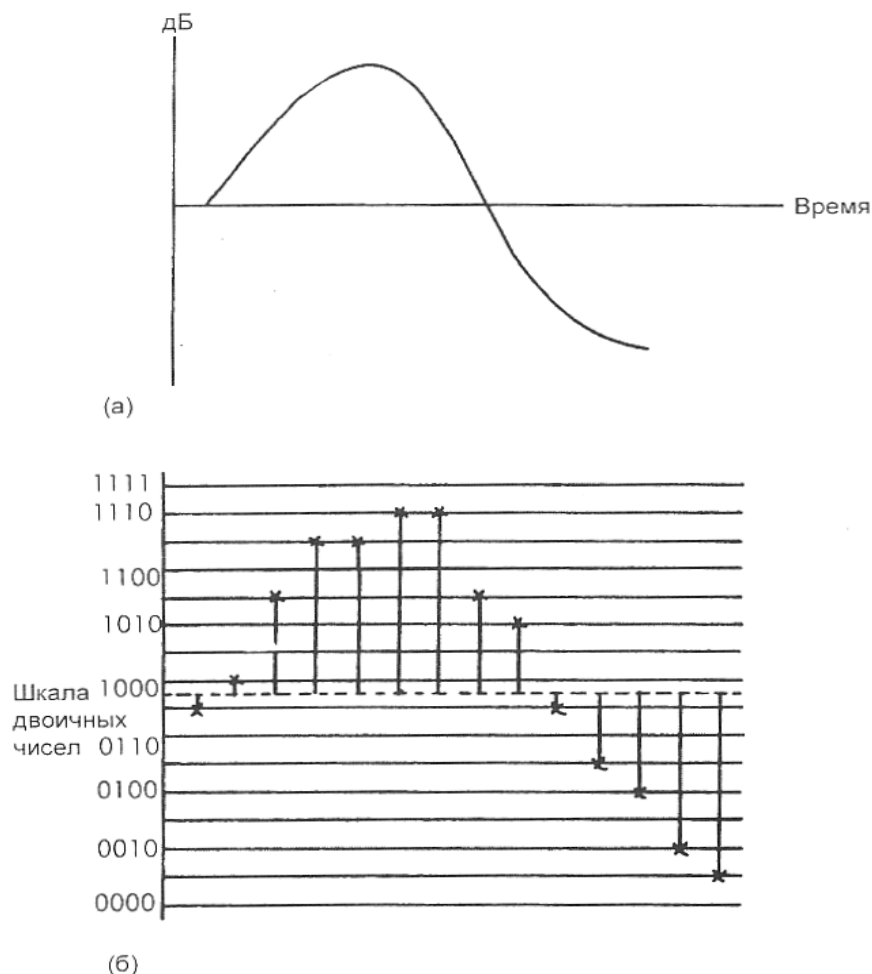


Рис. 13. «Аналог» и «цифра». Четырёхбитовое кодирование аналогового сигнала (а), дающее 16 возможных двоичных чисел. В цифрах на рисунке (б) сигнал выражается как 0111, 1000, 1011, 1101, 1101, 1110, 1110, 1011, 1010, 0111, 0101, 0100, 0010, 0001

На языке цифровой техники показатель, как часто мы определяем эти значения, называется *частота дискретизации* выборок (*частота сэмплирования*). Решающий для понимания момент: вы знаете, что частота — это то, насколько часто что-либо происходит в определённый период времени. И чем *частота дискретизации* выше, тем более точный цифровой график у нас получится, тем выше качество звука.

Так, частота звука в 2кГц означает, что наш воображаемый маятник совершает колебания 2 000 раз в секунду. Подобным образом, *частота дискретизации* 10кГц означает, что мы измерили уровень звука 10 000 раз в секунду и записали его на шкале чисел по вертикальной оси координат.

Процесс такого измерения уровня звука известен ещё как «квантование». Шестнадцатибитовое квантование при частоте дискретизации 44,1кГц (для качества CD) означает, что мы можем

графически зафиксировать звук 44 100 раз в секунду при наличии 65 536 точек измерения его уровня!

При цифровой записи мы используем не знакомую десятичную, а двоичную систему (такую же, как в работе компьютеров). Двоичная система оперирует только двумя цифрами — нулём и единицей — и представляет все числа в виде их комбинаций. Каждый ноль или единица называются «бит», а комбинация битов — «байт». Четыре отдельных бита дадут в комбинации всего шестнадцать чисел, что едва ли обеспечит точность. Восемь отдельных битов образуют 256 комбинаций, а шестнадцать битов — уже более внушительное число в 65 536 комбинаций.

Так как звуки по своей природе являются аналоговыми (звуковые волны непрерывно движутся), необходимо наличие преобразующей «коробки» — прибора, создающего все эти комбинации нуля и единицы — цифровой звук. Этот прибор известен как аналогово-цифровой преобразователь (АЦП, или A/D=Analogue to Digital).

Поскольку мы записываем кодированный сигнал, образующийся из комбинаций нуля и единицы, не существует проблемы, с которой мы сталкивались при рассмотрении аналоговой записи. Исходные аналоговые звуки с помощью АЦП были закодированы в цифры. Если при записи оригинального звука не было никаких помех, в цифры будет преобразован *только чистый звук*. Эти цифры восстанавливаются при воспроизведении другим преобразователем, который действует наоборот и изменяет цифровой код на аналоговый (ЦАП, D/A-преобразователь), при этом шум ленты игнорируется (так как он не был закодирован). Шумы в цифровой системе сводятся к шуму, производимому оборудованием, и никак не связаны с процессом записи или с качеством ленты.

При цифровой записи динамический диапазон регулируется квантованием (числом доступных закодированных цифр). Восемь бит с доступными 256 кодами равны примерно 50дБ, однако уже производят намного меньше шума, чем аналоговая магнитофонная запись. Если же мы используем шестнадцать бит с 65 536 доступными кодами, результатом будет динамический диапазон в 96дБ. Это означает, что динамический диапазон записи на CD приближается к диапазону, который воспринимает человеческое ухо.

Цифровая запись не ограничивается восемью или шестнадцатью битами, ведь нет никакого логического объяснения, почему мы не могли бы использовать любое количество битов для нашего кода. На практике использование 12 и 32 битов также широко распространено. A/D- и D/A-преобразователи (АЦП и ЦАП) устанавливаются внутри аппаратуры, именно они определяют число битов, используемых при кодировании, и от их характеристик зависит качество слышимого на выходе звука.

СТУДИЯ ЗВУКОЗАПИСИ

К помещению студии звукозаписи предъявляют особые требования. Оно должно быть звукоизолированным от внешнего мира. Стены должны

поглощать звук — он не должен летать и отражаться (реверберировать). Ничто не должно резонировать: долой люстры, шкафчики со стекляшками, в общем, всё потенциально звенящее!

Особые требования к освещению — чем проще, тем лучше: никаких ламп дневного света и прочих источников, способных своими электромагнитными полями воздействовать на звукозапись. Вообще говоря, электрики должны сделать отдельную проводку для приборов звукового тракта, с применением сетевых фильтров, источников бесперебойного питания. Заземление обязательно! Необходима грамотная система проветривания, что является сложной задачей (часто просто делают перерыв на проветривание помещения).

В классическом случае студия звукозаписи состоит из двух отдельных комнат: комнаты исполнителя (КИ), собственно, *студии* и комнаты звукорежиссёра (КЗ), или *аппаратной*. Они разделены толстым звуконепропускаемым двойным (или даже тройным) стеклом для возможности видеть друг друга, а связь обеспечивает простейшее переговорное громкоговорящее устройство.

В КИ находятся микрофоны, её звукоизоляция — максимальная. Из КИ в КЗ через стенку проходят кабели к *микшерному пульта* — сердцу студии. В КИ находятся небольшие аудиомониторы (колонки) и несколько головных стереонаушников. Так, если, например, скрипач хочет записать свою оркестровую партию, звукорежиссёр запускает в аудиомониторы (или в наушники) партии уже записанных на свои дорожки инструментов, и скрипач слышит это. Причём, по его просьбе звукорежиссёр может прибавить громкость партий тех инструментов, под которые наиболее комфортно играть нашему скрипачу (например, партию рояля) и убавить «мешающие» инструменты. В КИ, если позволяет площадь, можно разместить ансамбль бэк-вокалистов, и записывать их несколькими микрофонами на несколько дорожек. В КИ всегда пишут «живые» барабаны, используя для каждого элемента барабанной установки наиболее подходящий микрофон.

Допустим, все дорожки мы записали! Что дальше? Перемещаемся в КЗ и начинаем *сведёние* (сводить несколько дорожек в одну, наш многодорожечный материал в стерео-вариант). В КЗ, помимо микшерного пульта, стоят колонки, называемые *аудиомониторы*. Вблизи звукорежиссёра расположены два монитора, т. н. ближнего действия: правый (R) и левый (L). Собственно, всю работу делают при помощи них. Это высококачественные акустические системы с линейными АЧХ, минимумом фазовых искажений и небольшой мощностью. Иногда дальше от звукорежиссёра по углам КЗ ставят большие мониторы, но они используются уже для окончательного прослушивания и наведения «лоска».

Рассмотрим подробнее микшерный пульт. Поскольку на сегодня схема расположения регуляторов и переключателей, в основном,

стандартизирована, будет нелишним узнать, что где находится и для чего предназначено. Выучив это один раз, вы сможете применять полученные знания в работе с любым микшерным пультом.

Микшерный пульт — это устройство, которое принимает *на вход* звуковой сигнал от какого-либо источника (микрофона или линии), обрабатывает его в отдельности и затем отсылает *на главный выход*, чтобы соединить с другими звуками, обработанными таким же образом. Каждый входной канал ещё называют просто каналом пульта, или *линейкой*. Как бы много их ни было, все они совершенно идентичны. Изучите один, и вы изучите все!

Посмотрим на стандартную входную линейку пульта (*рис. 14*). Пойдём по ней сверху вниз и проследим путь сигнала. Прежде всего, каналу должно быть указано, откуда принимать сигнал: с микрофона или с линии (со всех устройств, кроме микрофона). Это делается с помощью переключателя *источника сигналов* с обозначением *mic/line* (микрофон/линия). **Очень важно следить за уровнем входного сигнала, чтобы не допустить перегрузки и не получить искажений звука ещё на входе пульта!** Эта функция осуществляется установочным регулятором уровня, обозначенным надписью *GAIN* или *TRIM* (настройка, регулировка).

Следующее наше действие — лёгкая коррекция тона, иначе говоря, *частотная коррекция* (естественно, при необходимости). У вас на линейке пульта могут быть как простые фильтры высоких и низких частот, так и более сложный параметрический *эквалайзер*; их регуляторы сгруппированы в следующем блоке.

Теперь сигнал минует несколько вспомогательных позиций (*AUX*) и попадает напрямиком на панорамный регулятор (*PAN*). Наконец, индивидуальный уровень сигнала корректируется индивидуальным ползунковым *регулятором уровня* (фейдером). Он регулирует уровень сигнала *выхода* данного канала, после него сигнал направляется к итоговому миксу, то есть, уже к *выходу пульта*.

Для чего же нужны все остальные регуляторы? Как мы видели, под блоком частотной коррекции находятся дополнительные выходы (*AUX*). У вас их может быть один, два или больше (*AUX1*, *AUX2*, *AUX3* и т. п.). Это очень полезные регуляторы, они служат для отправления звука с данного канала пульта к любому внешнему устройству, которое вы выберете (соответствующие этим регуляторам разъёмы будут называться *AUX1 OUT*, *AUX2 OUT*, *AUX3 OUT* и т. п.).

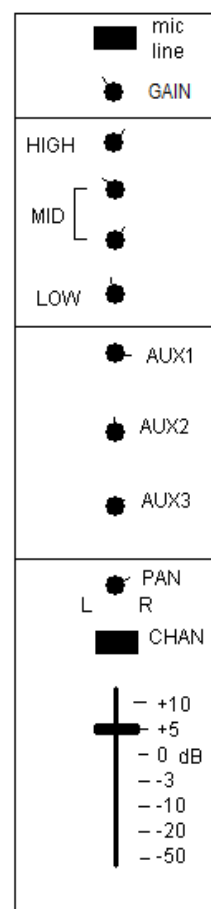


Рис. 14. Линейка простого микшера

Допустим мы послали регулятором *AUX1* часть сигнала с нашей линейки на выход пульта *AUX1 OUT* и далее решили электронным прибором (ревербератором) придать ему «эффект эхо». Соединим *AUX1 OUT* со входом внешнего ревербератора, а уже выход ревербератора соединим со входом пульта *AUX1 IN* (по аналогии). Теперь обработанный сигнал можно «подмешивать» обратно в основной микс регулятором *AUX1*, расположенным справа на пульте (в блоке главного выхода пульта).

Но ведь, к примеру, *AUX1* есть на каждой входной линейке микшерного пульта. Что если мы, не переделывая нашей схемы, отправим звук с другого канала тоже на *AUX1*? В этом случае сигнал направится к тому же ревербератору и вернётся в основной микс так же обработанным. Представляете, как просто и удобно: мы имеем всего один ревербератор и при этом обрабатываем звуки тех каналов, которые этого требуют, причём какой-то больше, какой-то меньше (с помощью регуляторов *AUX* на линейках)!

Ваш микшер может также иметь выключатель канала, который обычно расположен над ползунком и обозначен *CHAN* или *MUTE*. Проверьте этот выключатель в каждом канале, насколько он бесшумный. В идеале — когда вы включаете или выключаете канал, щелчка быть слышно не должно. Используют эту функцию в том случае, если сигнал с какого-либо микрофона или другого устройства не нужен для микса. Гораздо удобнее выключить канал, чем двигать вниз-вверх регулятор уровня канала.

ЧТО И КАК МЫ ПОДКЛЮЧАЕМ К ПУЛЬТУ

На *рис. 15* показан один из возможных вариантов коммутации при сведении. К микшерному пульта (1) подключаются усилители мощности (2, 3) для мониторов в КИ (4) и КЗ (5). На входы (6) поступают сигналы с микрофонов (или линий) «живую» или, если всё записано заранее на отдельные дорожки, по кабелям (7) с многоканального магнитофона, многоканальной звуковой карты компьютера, любых многодорожечных носителей информации (8). Выход пульта подключаем на стереодорожки магнитофона для окончательного микса (можно просто сводить на отдельный прибор записи, например минидиск, CD, компьютер). Также имеется возможность подключения внешней обработки (9) для *AUX*-выходов пульта (ревербератор, компрессор...) по кабелям (10). Контроль уровня записи осуществляется по индикаторам (11).

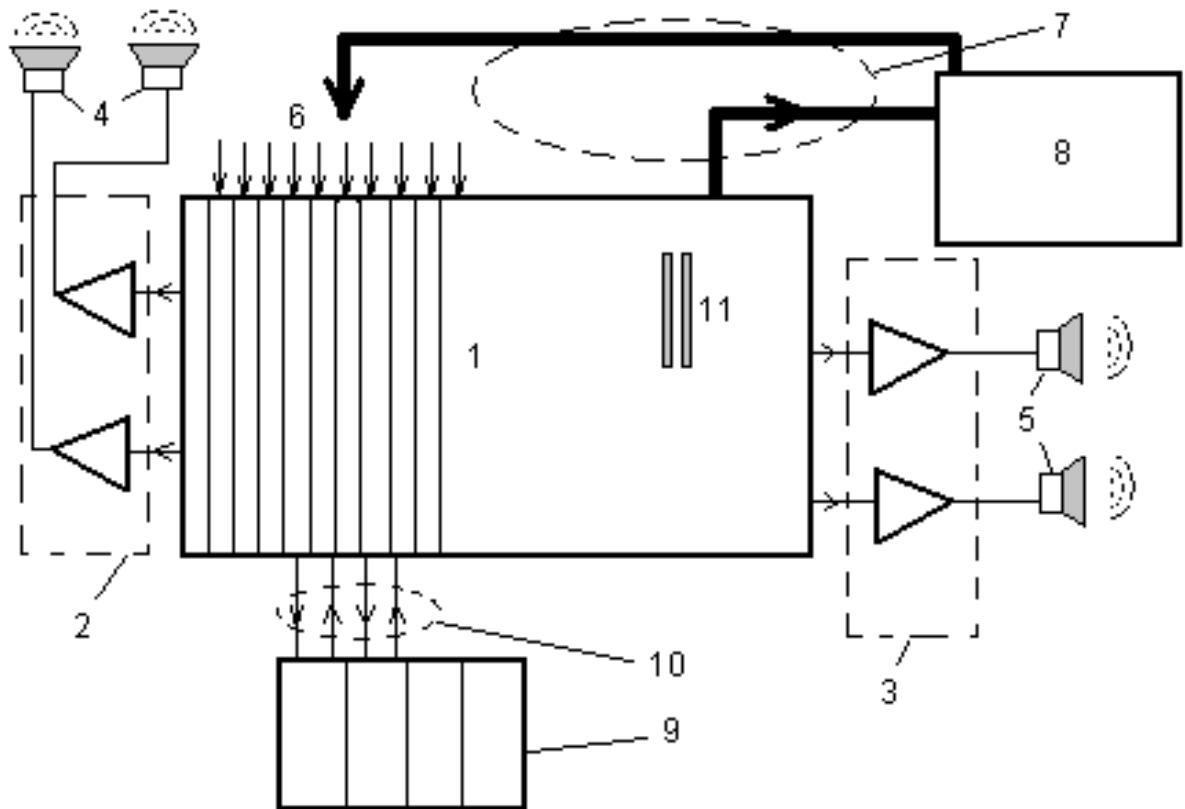


Рис. 15. Пример коммутации с микшерным пультом

Начинаем процесс сведения звуковых дорожек. В процессе сведения будем выставлять необходимые уровни сигнала с каждой дорожки, обрабатывать этот сигнал эквалайзером линеек пульта и нашей внешней обработкой, слушать, менять, добавлять, убирать, — в общем, крутить ручки. Если в распоряжении у нас имеется компьютер, процесс сведения звуковых дорожек упрощается — информация о многих параметрах (например, изменении уровня сигнала дорожки в определённом месте нашей аранжировки) может быть записана в компьютер и при проигрывании меняться автоматически. То есть, нет нужды крутить большое число ручек.

Сейчас многие вообще используют чисто компьютерное сведение, особенно в домашних студиях. Для этого существуют компьютерные программы — виртуальные аналоги нашей студии (так называемые MIDI/аудио-секвенсоры). Самыми распространёнными среди них являются CUBASE, SONAR, LOGIC AUDIO, SAMPLITUDE. С помощью компьютера можно окончательно доделать уже сведённый стерео-вариант (программы AUDACITY, SOUNDFORGE, WAVELAB). Существуют также компьютерные аналоги приборов обработки (например, ревербератора или компрессора), которые называются «плагинами» (*plug-in*, англ. *plug in* — подключать).

Желательно иметь высококачественную студийную аппаратуру. Но это довольно большие деньги. И всегда невольно думаешь, на что потратиться в первую очередь. Мой ответ прост: на «звукорежиссёра с ушами» и на качественные аудиомониторы для него. Без них все старания напрасны! Вам будет казаться, что всё «звучит», но когда вы ставите эту запись в автомагнитоле или на концертном аппарате — всё звучит «не так», чего-то много или мало, или тембрально что-то «прижато». И только потом уже думайте о звуковых картах компьютера, микрофонах, новом пульте...

ПРИБОРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗВУКА

Внешне приборы для обработки звука одинаковы по размерам и вставляются в специальные шкафчики, называемые «рэками» (англ. *rack* – стойка). Через отверстия в передней панели эти приборы прикручиваются к стенкам стойки специальными винтами. Рассмотрим некоторые приборы поподробнее.

Хорус (англ. *chorus* – хор). Оправдывает своё название. Представьте себе детский хор. Все дети поют, как могут, и никто не поёт идеально стройно. Но, послушайте, как гармонично звучит профессиональный хор, какой объём звука, особенно, если вы слышите его в концертном зале!

Другой пример: струны для определённой клавиши в рояле никогда не настроены идеально. В средних октавах инструмента на каждую ноту приходится по три струны. В некоторых микроскопических пределах эти струны расстроены — но расстроены не так, что возникают сильные «биения». Говорят, что расстройка не превышает одной полуволны. Звучание становится богатым, объёмным, внутри него как бы «плавают» фазы от двух или трёх струн (а при идеальной настройке сигнал наоборот становится гораздо беднее на слух). Беда в том, что со временем струны расстраиваются сильнее, возникают биения частот и ярко выраженный эффект «старого пианино». Это эффект «естественного хоруса».

На принципе деления исходного сигнала на два и дальнейшего их смешивания по определённому закону и построен эффект хоруса, а также его разновидности (фленджер, Лесли-эффект). Обработанный сигнал подмешивается к основному с некоторой разностью по фазе, причём эта разность постоянно меняется (достаточно медленно). С точки зрения человека и его слуха, мы не способны определить положение источника в пространстве — оно как бы всё время меняется, становится объёмным. А при сильно выраженном эффекте сигнал становится «расстроенным».

Ревербератор — прибор, в котором к исходному сигналу добавляется он же, но с определённой задержкой и затуханием (необработанные ревербератором звуки даже называют «сухими»). Для студии звукозаписи ревербератор совершенно необходим. Он придаёт звуку объём.

Ревербераторы обычно представляют собой либо механическое устройство, либо цифровой процессор, либо виртуальный плагин. Ни один из них не лучше и не хуже другого, разница лишь в принципе работы. Но звучат они по-разному. Хитрость в том, чтобы найти ревербератор, создающий эффект максимально естественного звучания (здесь очень важно установить регулятор пульта *AUX* так, чтобы, когда он находится на максимуме, он подавал 0дБ — по индикатору — на ревербератор). Вы всегда сможете повернуть регулятор обратно, чтобы уменьшить эффект, но если он установлен неправильно, возникнут искажения.

С выхода ревербератора сигнал должен вернуться назад в пульт — в итоговый микс, и здесь у вас есть несколько вариантов. Самый очевидный — это, как мы уже говорили, вернуть его через дополнительную шину (*AUX IN*), и не забудьте правильно выставить уровни.

Важный параметр настройки самого ревербератора — *время реверберации* — это время, которое необходимо, чтобы «эхо» исходного звука стихло до незначительного уровня. Вы можете определить это время опытным путём, если прослушаете микс с уровнем, немного превышающим обычный. То же относится к контролю частотной коррекции реверберации, поскольку человеческое ухо нечувствительно к низким частотам. Следует сказать, что основываясь на времени реверберации и форме её затухания, были даны специфические названия эффектам реверберации — *hall*, *plate*, *room*, *cathedral*, которые напоминают, соответственно, зал, небольшую комнату, большую пустую комнату или огромный собор.

Компрессор играет большую роль при записи и сведении, и особенно полезен в тех случаях, когда используются «живые» инструменты. Компрессор — это устройство, которое автоматически контролирует выходной уровень сигнала, как бы «втискивая» слишком громкие звуки в более узкий динамический диапазон. С этим эффектом звук кажется более «сжатым», «плотным» или, как говорят, «компрессированным». Вы поймёте, о чём идёт речь, если сравните звучание, например, драм-машины и настоящей барабанной установки. Драм-машина даёт гораздо более сжатый, резкий звук, в то время как барабанная установка звучит более вяло, разреженно.

Как и всегда в случае со звуком, ни один вариант не является лучшим, всё определяется личным вкусом или, если речь идёт о музыке, требованиями данного момента. Так, певческие голоса лучше звучат с лёгкой компрессией, когда сглаживаются колебания уровня, возникающие при приближении и удалении микрофона от губ исполнителя.

На компрессоре есть пять основных регуляторов, которые называются *порог срабатывания*, *атака*, *возврат*, *коэффициент сжатия* и *усиление*. Не смотря на сложное название, суть их работы проста и понятна на слух.

С помощью *порога срабатывания* (*threshold*) устанавливается пороговый уровень сигнала, после которого компрессор включается и начинает работу, то есть, сжатие.

Атака (attack) регулирует скорость этого включения, то есть время, которое нужно компрессору, чтобы среагировать на изменение входного уровня, а *возврат* или *восстановление (release)*, — соответственно, скорость выключения, то есть время, необходимое для восстановления исходного состояния компрессора до порогового уровня. Время срабатывания может колебаться от сверхбыстрого (микросекунды) до довольно медленного (миллисекунды).

Прежде чем определиться с атакой, нужно подумать о том, что мы собираемся записывать. Например, у барабана атака очень мала (звук резкий, по сравнению с плавным звуком скрипки). И если на компрессоре установлено большое время срабатывания, то звук барабана будет урезанным, неестественным. Надо экспериментировать и слушать, здесь не существует общих правил: возможно, такой эффект — именно то, что вам нужно. И всё же лучше узнать из справочной литературы о динамическом диапазоне инструментов при их натуральном звучании и только потом пытаться его изменить.

Возврат (восстановление, release) — противоположность *атаки*. С помощью него можно получать различные эффекты. Например, растянув время восстановления, можно усилить поддержку гитарного сопровождения или добиться совместимого с голосами уровня.

Коэффициент сжатия (ratio) устанавливает степень компрессии (как сильно звук будет сжиматься), а *усиление (gain)* — уровень выходного сигнала. Регулятор усиления используется для возвращения уровня обработанного сигнала, отправляющегося обратно на микшер, на нормативные позиции. По сути, это просто регулятор выходного уровня.

Работа с компрессором требует осторожности; очень легко ошибиться при выставлении уровней и получить «эффект дыхания», когда в паузах программы будет слышно, как фоновые шумы то возникают, то пропадают, подобно волнам на море.

Шумоподавитель часто называют словом *гейт* (англ. *gate* – ворота). Понять его устройство проще, чем устройство компрессора, но это не облегчает его настройку. Как и на компрессоре, здесь имеются регуляторы *порог срабатывания*, *атака*, *возврат* и *усиление*, а в большинстве устройств есть ещё и *удержание (hold)*.

Принцип работы *гейта* очень прост. Чтобы лучше его представить, забудьте на время всё, что вы знаете о звуке, и вообразите, что вы гуляете где-то в сельской местности. Вы видите короткий путь через поле, но дорогу вам преграждают ворота. У вас достаточно силы, чтобы их распахнуть? Сколько времени это займёт? Вы сможете подержать их открытыми для друзей, которые немного отстали? А когда вы прошли, они быстро захлопнулись? Если же у вас не хватило сил, чтобы открыть их, сможет ли кто-то из вас пролезть под ними? Теперь откроем глаза, вернёмся обратно в студию и выясним, что же означает вся эта аллегория, применимо к звуку.

Итак, устройство, которое мы сейчас рассматриваем, не служит для обработки звука, это просто звуковой эквивалент тех самых ворот, через

которые вы только что пытались пройти. Аудиосигнал подходит к воротам, они закрыты. Вы определяете, насколько громким (сильным) должен быть сигнал, чтобы ворота распахнулись (регулятор *порог срабатывания*).

Так же вы решаете, как быстро они откроются (регулятор *атака*). Если атака короткая, ворота, соответственно, распахнутся мгновенно и звуки хлынут в них сразу. Если же продлить время атаки, звуки будут просачиваться медленно (создавая эффект постепенного проявления).

Как долго ворота останутся открытыми, зависит от регулятора *удержание*, а скорость, с которой они будут закрываться, определяется функцией *возврат*. И вновь, если ворота захлопываются резко (*быстрый возврат*), звуки обрываются мгновенно. Если же они закрываются медленно (время *возврата* увеличено), звуки исчезают постепенно. Поскольку при открытых «воротах» уровень сигнала на входе равен уровню сигнала на выходе, вам нечего беспокоиться о регуляции выходного уровня.

С помощью регулятора *усиление* определяется, сколько звука может проскользнуть вниз, когда «ворота» закрыты.

Обычно гейт используется как шумоподавитель. При этом *порог срабатывания* должен быть установлен чуть ниже уровня нормальной речи, *атака* — быстрой, *удержание* — таким, чтобы «ворота» не захлопывались во время звуковых пауз, а на *возврат* отводится среднее время. С помощью этих установок мы получим следующий эффект: голос распахивает «ворота» (вместе с голосом через них проходит и шум), когда в речи возникают паузы, ворота стоят открытыми, после чего, по мере того как ворота закрываются, шум постепенно исчезает. Регулятор усиления должен быть установлен таким образом, чтобы немного шума просачивалось сквозь закрытые ворота. Так вы сможете избежать неестественного эффекта «тишина — голос и шум — тишина».

Можно использовать гейт и для управления эффектами. Барабанная дробь, обработанная на ревербераторе и затем прошедшая через гейт, — это наглядный пример того, как сильная реверберация, наложенная на звучание ударных, исчезает, как только звук начинает затихать естественным путём. Попробуйте послушать на практике и поймёте о чём я говорю.

Существуют очень удобные усовершенствованные модели гейтов. Можно, например, приобрести стерео-гейт (или использовать виртуальный, в виде плагина), в котором один канал управляет другим и наоборот. Подразумевается, что одна створка «ворот», открываясь, может захлопывать другую, которая обычно открыта.

Данным приёмом часто пользуются ди-джеи, уводя звучание пластинки на то время, когда ведущий представляет её. Гейт настраивается так, чтобы голос ди-джея открывал первую створку (позволяя голосу пройти). Та же, в свою очередь, закрывает вторую (с музыкой). Вместо того чтобы выключать всю музыку, вы можете отрегулировать усиление таким образом, чтобы

немного звука «проскальзывало» под «воротами». Получается весьма профессионально!

ВИРТУАЛЬНАЯ СТУДИЯ ЗВУКОЗАПИСИ

Инструментарием виртуальной студии звукозаписи являются: компьютерные программы-секвенсоры и программы-аудиоредакторы, а также виртуальные инструменты (виртуальные синтезаторы, плагины, виртуальный микшер, виртуальный плеер...).

Программы-секвенсоры позволяют записывать и редактировать MIDI-информацию на MIDI-дорожках, а также аудио-информацию, соответственно, на аудио-дорожках. Обычно редактирование аудио-дорожек осуществляется как раз с помощью аудио-плагинов. В этом смысле программу-секвенсор можно назвать MIDI/AUDIO-секвенсором, тем более что все программы такого класса позволяют создавать аудио-секвенции из так называемых «петель» — коротких профессионально записанных звуков и звуковых последовательностей (сэмплов). Существуют даже программы, ориентированные на такой «петлевой» подход в создании музыки. Отдельно можно выделить стерео-аудиоредакторы, в которых уже сведённый материал окончательно шлифуется, нормализуется и проходит процесс мастеринга перед выпуском CD (или, например, для радиопрограммы или концерта).

Плагины — некие виртуальные «приборы» для компьютерной обработки. Вы можете обрабатывать каждую дорожку своей цепью обработок, ничего при этом не таская и не перекоммутируя, а лишь... двигая мышкой по столу. В условиях студийного пульта вам бы пришлось переподключать все имеющиеся приборы по разъёмам для выбранных каналов. Особенно это касается компрессоров и гейтов. Существуют плагины (как и настоящие, «рэковые» приборы обработки) — арпеджиаторы, корректоры фальшивых нот, параметрические эквалайзеры, эксайтеры, деэссоры, депопперы... За «страшные» названиями скрываются очень полезные приборы и устройства, и с ними надо научиться работать — в студии и на компьютере.

Выше уже говорилось о том, что помимо «живых» звуков мы можем с помощью реальных или виртуальных синтезаторов изобрести практически любой звук. Эти звуки на компьютере, как и в обычной студии, мы можем обработать виртуальными плагинами, записать на отдельную аудио-дорожку, смикшировать в виртуальном пульте, сделать аранжировку и создать готовый продукт — нормализованный аудиоматериал в стандартном формате CD (44,1кГц, 16 бит).

Хотелось бы отметить, что микропроцессорная техника сильно шагнула вперёд, и в синтезе звука, помимо аналогового синтеза, «операторного» FM-синтеза и сэмплов, доминировать начинает

технология физического моделирования. Это старый известный способ синтеза звука, основанный на разложении звука в хорошо известный нам гармонический ряд Фурье. Происходит спектральный анализ с последующей генерацией тех частот, которые обнаружены в спектре исходного сигнала. Рассчитываются соответствующие амплитуды каждой гармоники, пренебрегаются высокочастотные гармоники... Всё это суммируется и... получаем наш звук, созданный из набора простейших гармонических сигналов! Весь этот путь сигнал проходит в процессоре компьютера (если инструмент виртуальный) или самого синтезатора (если он внешний). Но не стоит так радоваться и садиться за компьютер и творить звуки и музыку. Ещё раз хотелось бы упомянуть тот факт, что мы творим музыку в рамках искусственно созданного звукоряда Веркмейстера, человечество к этому привыкло и это удобно, но не совсем правильно по законам физики.

В спектрах звуков содержатся разные гармоники, и для некоторых типов музыкальных инструментов (звуков) имеются гармонические составляющие с достаточно большими амплитудами. Эти гармоники слышны при формальном электрическом сложении двух звуков одного инструмента (к примеру, терция в фаготах). В результате мы слышим такую частоту, которой по понятиям ХТС быть не может! Но эта частота реально существует в гармонической теории, и мы её слышим.

Особенно этот эффект проявляется при реальном смешивании сигнала в «проводе» — тут нет нашего гениального избирательного уха и мозгового анализа: всё происходит на физическом уровне, и к нам в уши уже поступает смешанный монофонический звук. Подсказка для решения проблемы — попробуйте хотя бы разделить подобные «гармонически опасные инструменты по стерео-каналам.

Проведём опыт. Возьмём ноту «до» на электрогитаре с эффектом *дисторшин* (англ. *distortion* – искажение). Этот эффект характеризуется присутствием в спектре заметных уровней третьей, пятой и седьмой гармоник. Воспроизведём этот звук через обычный усилитель с акустической колонкой. Затем возьмём интервал «до — соль»: звучит красиво и чётко, без фальшивого призвука. Теперь возьмём терцию «до — ми»... и пошли призвуки. Далее исполним то же самое, только двумя гитарами и через два усилителя с колонками. Панорамируем «до» от первой гитары в левую систему, а «ми» от второй гитары пустим в правую. Заметим, что терция зазвучала гораздо чище, так как сработали законы акустики и мозг человека! Кстати, именно поэтому эффект *дисторшин* в основном применяется в однопольных проведениях и в соло.

НОСИТЕЛИ ЦИФРОВОГО ЗВУКА

Носителями цифровой информации может быть магнитная лента (*DAT*- и *ADAT*-магнитофон), жёсткий диск, flash-диск, минидиск, компакт-диск (аудио-CD). Задача одна — записать наши нолики и единички, а затем воспроизвести их.

Рассмотрим подробнее оптический диск. Запись на аудио-CD осуществляется в стандарте *PCM (Pulse Code Modulation)*: 44,1кГц, 16 бит, стерео. Запись осуществляется на диск типа CD-R методом физического прожига поверхности микролазером: единичка — лазер горит — на поверхности появляется прожжённый элемент, нолик — ничего не прожигается. Диск вращается и постепенно заполняется единичками (прожжёнными местами, не отражающими свет) и ноликами (отражающими элементами поверхности).

При считывании информации свет от считывающего лазера падает на CD. Происходит его отражение (или неотражение) и улавливание датчиком света. Диск крутится, и со светодатчика в цепь обработки поступает та же последовательность нулей и единиц, что была при прожиге.

Как регулируется скорость считывания? Почему она всегда постоянна? Почему CD не боится мелких царапин, а CD-плееры могут выдержать тряску (в разумных пределах)? — Всё дело в том, что в CD-плеере есть буфер памяти — резервуар поступающей с диска информации. В этом буфере всегда есть уже считанные с диска нули и единицы. Их дальнейшее считывание в устройство ЦАП происходит уже с постоянной частотой (44,1кГц) из этого буфера. Это аналогично устройству волынки: в мешке у этого инструмента всегда есть резерв воздуха, и волынка постоянно может звучать. Исполнитель даже может перекинуться парой слов во время звучания с соседом-волынщиком, а потом поднадуть мешок.

Теперь вам ясно, что компакт-диск вращается с той скоростью, которую запросит процессор, а эта скорость обусловлена заполненностью буфера. Предположим, на диске есть плохо читаемое место — повреждение. В принципе, пока в буфере есть уже загруженная информация, процессор может попросить «перечитать» это место (если CD-плеер качественный). Если это не помогает, и есть угроза опустошения буфера, воспроизводится дальнейший материал, соединяясь (интерполируясь) с предыдущим «небракованным» материалом. Интерполяция, в данном случае, подразумевает гладкое соединение.

Царапина — это резкое падение текущего значения до нуля, обрыв информации. В самом устройстве CD предусмотрен некий алгоритм, гласящий: ничто не происходит со звуковой информацией резко... это, наверняка, дефект, который надо ещё разок проверить, а, если он не реагирует, — обойти его и плавно соединить информацию до и после дефекта (рис. 16).

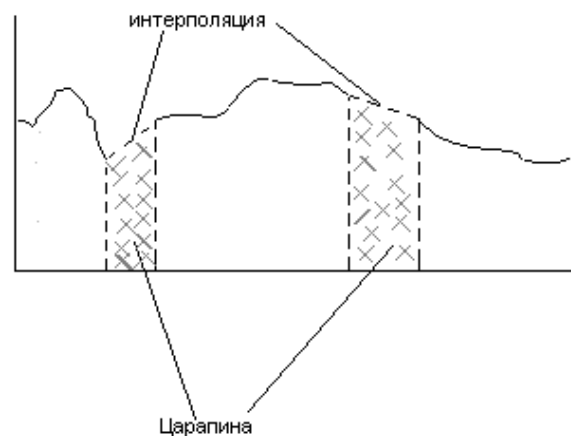


Рис. 16. Интерполяция

Если дефект небольшой, вы даже ничего и не заметите. Если царапина солидная, перескок будет слышен, но обычно без щелчка, характерного для царапин на виниловых грампластинках. Нетрудно догадаться, что всё те же рассуждения годятся и в случае сотрясения нашего плеера.

Не путайте воспроизведение царапанных CD и дисков со сжатыми компьютерными форматами (например, *MPEG*). Тут царапины уже обходить сложнее!

Для магнитной ленты, применительно к цифровой записи звука, имеет место лишь запись цифровой информации, например, в стерео-формате *DAT* или многодорожечном *ADAT*. Здесь ошибки могут выявляться аналогичным CD образом. «Выпадение» может быть обусловлено банальным дефектом плёнки.

ЗВУК КОНЦЕРТНОГО ЗАЛА

Кратко рассмотрим простую схему озвучивания концертного зала. На сцене имеются микрофоны со шнурами, подключённые к некой металлической коробке с разъёмами. В эту же коробку приходят через некоторые согласующие устройства сигналы с выходов электронных инструментов (синтезаторов, электрогитар, бас-гитар). Из коробки все сигналы по общему толстому многожильному экранированному кабелю приходят в звукорежиссёрский пульт, расположенный где-то в зале. Из пульта по аналогичному кабелю на сцену в аналогичную или ту же коробку с разъёмами приходят обработанные звукорежиссёром сигналы для дальнейшего усиления. Часть сигналов предназначена для озвучивания сцены (мониторов для артистов), часть — это общий микс для усилителей мощности зальных акустических систем (эти АС обычно стоят по краям сцены и повёрнуты на зал, так что артист их практически не слышит, а ориентируется лишь по мониторам). Приборы звуковой обработки стоят в рэках возле микшерного пульта.

Для примера: на *рис. 17* показана приблизительная схема озвучивания эстрадного ансамбля с вокалистом. Здесь «М» — монитор (каждый инструмент имеет свой монитор).

А что делать, если вокалист вошёл в образ и начал «скакать» по сцене? Проблема решаемая — по бокам сцены ставятся мощные мониторы и направляются на сцену. Такие мониторы у звукорежиссёров называются «прострелами». Современная техника дошла до того, что в уши исполнителю можно вставить микро-мониторы, работающие на радиоволне: стой хоть на голове — всё услышишь. Правда, к такому «мониторчику» профессиональному певцу довольно долго приходится привыкать.

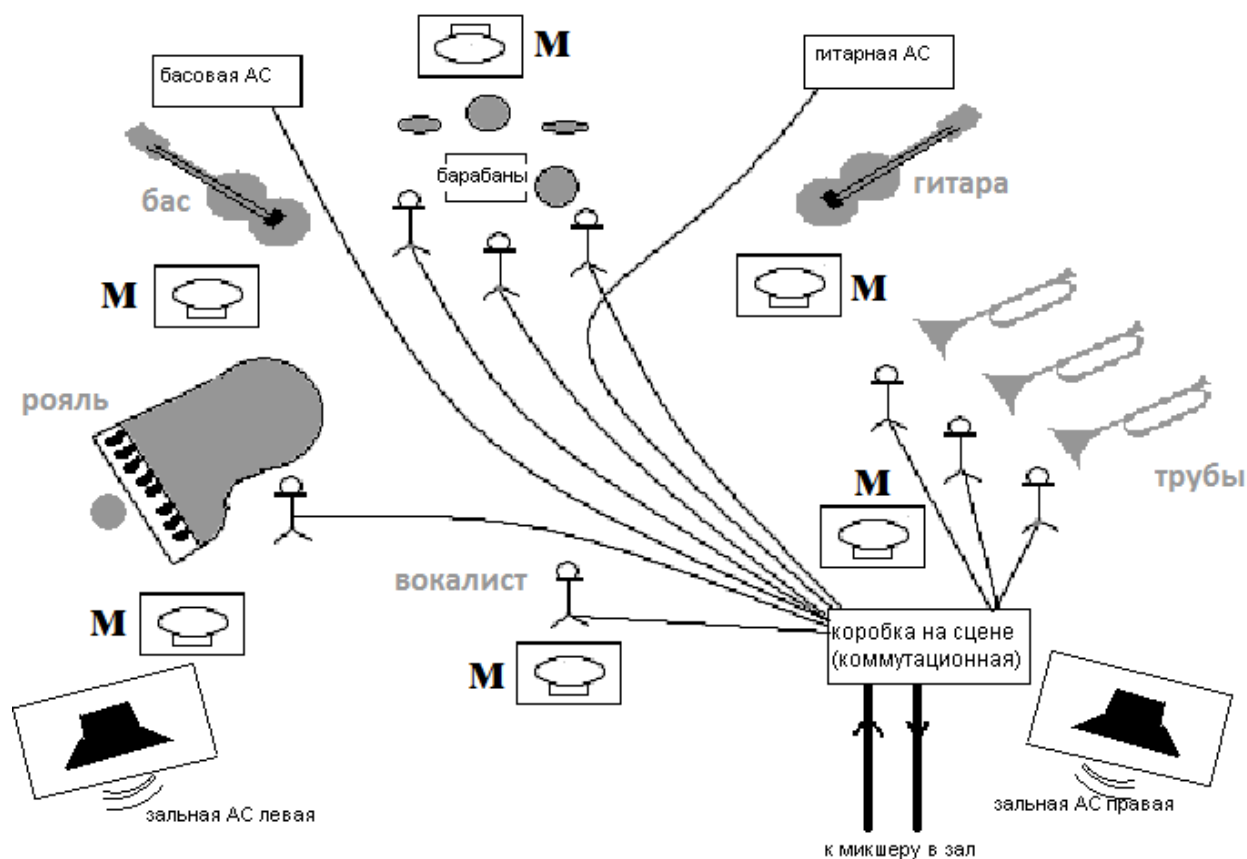


Рис. 17. Сцена для эстрадного ансамбля с вокалистом

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе преподавания практической дисциплины «звукорежиссура» или «звуковая студия» (назвать можно по-разному), выяснилась реальная необходимость предварительного теоретического годового курса на базе данного пособия. В дальнейшем педагогу не надо тратить драгоценное студийное время на объяснение основ! Не имеет значения, какое главное направление обучения выберет обучаемый в дальнейшем (звукооператор, звукорежиссёр, аранжировщик, композитор, музыкант-исполнитель) — изучение данного курса является базисным для всех.

Необходимо подчеркнуть, что масса людей вообще целенаправленно занимается звуком, его качественным воспроизведением и разрабатывает новые форматы звука и специальные приборы. Также сегодня существует целое течение «аудиофилы» — люди, которые тратят огромные личные средства на получение в своё распоряжение высококачественного музыкального материала и техники воспроизведения. Кстати, в основном они являются приверженцами традиционного аналогового звука и не очень приемлют «цифру».

В наше время вообще сложно найти человека, вовсе не слушающего музыку. Причём музыка обычно включается слушателем по настроению, состоянию здоровья и внутренним психологическим факторам. Здесь даже можно говорить о влиянии музыкальных звуков и качества звука на здоровье человека. Поэтому в конце хочется пожелать всем крепкого здоровья и удачи! И изучайте звук!

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

(составитель М. В. Бысько)

0dB («ноль децибел») — условное обозначение на индикаторной шкале, например, микшерного пульта, максимального уровня для аналогового звукового сигнала.

-3dB («минус три децибела») — условное обозначение на индикаторной шкале, например, микшерного пульта, максимального уровня для цифрового звукового сигнала.

AUX (сокр. от англ. *auxillary* – вспомогательный, добавочный) — дополнительный вход (IN, INPUT) или выход (OUT, OUTPUT) микшерного пульта и/или соответствующие регуляторы. Позволяет посылать часть звукового сигнала на приборы внешней обработки и, возвращая, «подмешивать» их к исходному сигналу.

CD-качество — параметры цифрового звука компакт-диска: частота дискретизации — 44 000Гц, разрядность (глубина дискретизации) — 16 бит.

DIN (нем. *Deutsches Institut für Normung e.V.*) — тип разъёма, используемого при коммутации различного оборудования. Бывает трёх-, пяти-, семиштырьковый. В настоящее время широко используется только пятиштырьковый DIN (для MIDI). Иногда называется «Европа».

IN / OUT (от англ. *input* – вход, *output* – выход) — разъёмы, с помощью которых осуществляется коммутация звукового оборудования. Сигнал всегда поступает с выхода одного устройства на вход другого.

Gain (англ. «усиление») — параметр регулировки уровня звукового сигнала в различном звуковом оборудовании. Иногда называется «Trim» (англ. *trim* – обрезка).

Mic/Line — переключатель микрофон/линия, расположенный на входных каналах микшерного пульта. В положении «микрофон» направляет входящий сигнал на специальный предусилитель, который повышает его уровень.

MIDI (англ. *Musical Instrument Digital Interface* – цифровой интерфейс музыкальных инструментов) — формат обмена данными между различными электронными музыкальными инструментами. MIDI не предполагает передачу самого звука. Оборудование лишь получает информацию о том, какую ноту воспроизвести конкретному звуковому модулю или синтезатору, каким номером тембра, с какой силой нажатия и т. д. Посылают эти команды MIDI-контроллеры (клавишные, духовые и др.) или MIDI-секвенсоры.

PFL (англ. *Pre Fader Level* или *Pre Fader Listening*) — переключатель, расположенный на линейке микшерного пульта до фейдера. Предназначен для контроля звукового сигнала, поступающего на фейдер.

Release (англ. «высвобождение», «затухание») — параметр настройки устройств динамической обработки. Регулирует время выключения процесса обработки по достижении сигналом порогового уровня.

Threshold (англ. «порог») — параметр настройки устройств динамической обработки. Уровень, выше (или ниже) которого устройство начнёт (или завершит) процесс обработки звукового сигнала.

VST (англ. *Virtual Studio Technology* – технология виртуальной студии) — программные продукты, виртуальные модули, представляющие собой самостоятельные электронные музыкальные инструменты, встроенные в компьютерную программу и использующие для своей работы вычислительную мощность центрального процессора.

Wah-Wah (англ. «вау-вау») — эффект обработки звука, основанный на периодическом динамическом изменении тембра.

XLR, Canon — профессиональный тип разъёма, используемого при балансном подключении различного звукового оборудования. Также известен как «микрофонный разъём».

Акустическая система (АС) — устройство, воспроизводящее усиленный звук. Обычно состоит из деревянного корпуса и динамиков. Бывает активного типа, со встроенным усилителем (выход пульта подключается напрямую ко входу АС) и пассивного типа (предполагает использование отдельного усилителя).

Ампер — единица измерения силы тока.

Амплитуда (А) — максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном или волновом движении. Форма изменения амплитуды называется огибающей волной.

Аналоговый сигнал — звуковой сигнал, у которого каждый из представляющих его параметров описывается функцией времени и непрерывным (в отличие от цифрового сигнала) множеством возможных значений. Другими словами, это звуковой сигнал, воспроизводимый и/или записываемый на аналоговом оборудовании (например, электрооргане, катушечном и кассетном магнитофоне).

Аудиоинтерфейс (звуковая карта) — устройство для интеграции аналогового и цифрового звукового оборудования.

АЦП — аналого-цифровой преобразователь. Часть аудиоинтерфейса, позволяющая кодировать аналоговый сигнал в цифровой (см. также ЦАП).

АЧХ — амплитудно-частотная характеристика. Выражает зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты входного сигнала.

Балансное, симметричное соединение (англ. *balanced*) — тип профессионального электрического соединения звукового оборудования, при котором для одного сигнала используются две жилы звукового кабеля и экран (оплётка).

Ветрозащитный экран — приспособление из синтетической или металлической сетки, изолирующее микрофон от взрывных согласных, таких как «б» или «п».

Вольт (В) — единица измерения электрического напряжения.

Высота звука — свойство звука, зависящее от частоты, которое мы определяем на слух.

Гейт (англ. *gate* – ворота) — динамический эффект для обработки звука, пропускающий только тот сигнал, который превышает установленный порог. Часто гейт называют шумоподавителем.

Головные телефоны (наушники) — персональное устройство для прослушивания. В студии используются как мониторы.

Громкость звука (уровень) — субъективное восприятие силы звука человеком, логарифмический параметр, который зависит от звукового давления при определённой амплитуде, измеряется в децибелах.

Герц (Гц, Hz) — единица измерения частоты.

Децибел (дБ, dB) — логарифмическая единица измерения громкости, показывает количество раз, в которое изменилась громкость относительно условно принятого порога слышимости.

Деэссер — эффект обработки звука, устраняет шипящие звуки голоса, такие как «с», «ч», «ш».

Джек (TRS, TS) — распространённый разъём для коммутации как профессионального, так и полупрофессионального звукового оборудования. Стереоджек используется для симметричного, балансного соединения (наконечник-кольцо-стержень, *TRS*), моноджек — для несимметричного, небалансного соединения (наконечник-стержень, *TS*). Бывает нескольких типоразмеров: «большой джек» 6,25 мм (1/4 дюйма), «миниджеки» 3,5 мм и 2,5 мм.

Динамик (громкоговоритель) — преобразователь электрических сигналов в акустические.

Динамический диапазон — разница между самым тихим и самым громким звуками. Измеряется в децибелах.

Динамическая обработка — обобщающее название устройств обработки звукового сигнала, тем или иным образом воздействующих на громкость.

Дисторшн (англ. *distortion* – искажение) — эффект обработки звука. В результате его работы получается искажённый, перегруженный, «тяжёлый» звук.

Дилей (англ. *delay* – задержка) — эхо-эффект обработки звука.

Запись звука — процесс фиксации звукового материала на любой носитель: аналоговый или цифровой.

Звук (звуковая волна) — распространение механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде.

Звуковое давление — переменное давление, которое возникает в среде при прохождении через неё звуковой волны. Измеряется в паскалях.

Звуковой кабель — тип слаботочного экранированного провода, представляющего собой одну или несколько изолированных жил в оплётке.

Звукосниматель — устройство, преобразующее механические колебания струн в электрический сигнал. По принципу работы делятся на пьезоэлектрические и электромагнитные.

Звуковая колонка — массив из одинаковых акустических систем, предназначенный для озвучки крупных мероприятий. В просторечии колонкой называют любую акустическую систему.

Компрессор — один из самых востребованных эффектов динамической обработки звука. Позволяет компрессировать (сжимать) широкий динамический диапазон так, что на слух звуковой материал кажется более громким, ровным и плотным. Уменьшает разницу между самым тихим и самым громким звуком. Компрессор, жёстко ограничивающий звуковой сигнал, называется лимитером.

Лесли-эффект — эффект обработки звука путём плавного вращения фазы сигнала, называемый также «вращающийся динамик Лесли».

Линия, линейный вход (англ. *line, line in*) — разъём для подключения источников звука с высоким уровнем (синтезаторы, CD-плееры, телевизоры и т. п.). На линейном входе звук не подвергается предварительному усилению. Таким образом, любое устройство, имеющее линейный выход, можно подключить к линейному входу.

Мастеринг — заключительный процесс работы над фонограммой, в результате которого подготавливается мастер-копия для дальнейшего тиражирования.

Микрофон — широко используемое устройство, преобразующее звуковые колебания воздуха в электрические импульсы. По принципу работы делятся на динамические, конденсаторные, электретные, ленточные, угольные. По диаграмме направленности — на однонаправленные («кардиоида»), двунаправленные («восьмёрка»), всенаправленные или ненаправленные

(«круг»). По применению — на вокальные, речевые и инструментальные. По мобильности — на проводные и радиомикрофоны.

Микс (англ. *mix* – смесь) — целостное звучание музыкального материала, получаемое обычно с выхода пульта («Mix» или «Main mix»).

Микшерный пульт (микшерная консоль) — главное устройство любого звукового проекта (от виртуальной студии до огромной арены), имеющее много входов и только один выход. В микшерном пульте сигналы от многочисленных источников (микрофонов, синтезаторов, электрогитар, проигрывателей и пр.) обрабатываются, корректируются, смешиваются и поступают на стереовыход в виде готового микса. Бывают внешние и виртуальные (в составе компьютерных программ). По области применения делятся на студийные, концертные, мониторные, эфирные. По принципу работы — на аналоговые и цифровые (преобразуют входящий звуковой сигнал с помощью АЦП, и далее весь путь внутри такого микшерного пульта звук проходит без потери качества до выходного ЦАП).

Мониторинг (звуковой контроль) — слуховой процесс контроля звукозаписи. Для мониторинга используются головные телефоны (наушники) либо мониторы (специальные акустические системы) с возможно более ровной АЧХ).

Монофония (монозвук) — термин для обозначения одноканальной записи и воспроизведения звука. Информация о положении источника звука в пространстве при монофонической записи не сохраняется.

Небалансное, несимметричное соединение (англ. *unbalanced*) — тип электрического соединения звукового оборудования, при котором для одного сигнала используется одна жила звукового кабеля и экран (оплётка).

Недеструктивное редактирование (нелинейный монтаж) — возможность в процессе записи или монтажа звукового материала отменить любое действие (вплоть до исходного состояния). При этом исходный звуковой материал не претерпевает никаких изменений. Недеструктивное редактирование стало особенно удобным после внедрения цифровой записи на жёсткий диск.

Нормализация — процесс обработки звукового материала, при котором происходит выравнивание уровня записанного звука. Существует пиковая (по одному, самому высокому пику фонограммы) и RMS-нормализация (по среднеквадратичному уровню звука во всей фонограмме). Представляет собой простое ослабление или усиление уровня звука.

Обработка звука (звуковые эффекты) — изменение исходного звука, в соответствии с художественной задумкой или техническими требованиями. Исходный, необработанный звук в просторечии называют «сухим». Приборы для обработки бывают как внешними, так и виртуальными модулями,

встраиваемыми в компьютерную программу (в этом случае их называют плагинами — от англ. *plug in* – подключать).

Овердрайв — эффект обработки звука. По принципу действия аналогичен эффекту дисторшн, но на слух, в результате его работы получается менее искажённый звук.

Панорама (панорамирование) — расположение звука в стереопространстве.

Перегрузка — результат неправильной регулировки уровня звукового сигнала, при котором срезаются пики (вершины) синусоиды. В аналоговом звуке появляются хрипы (здесь уровень необходимо выставлять не более 0dB по индикатору микшерного пульта). В цифровом звуке появляются щелчки, пропадания (в этом случае не рекомендуется превышать уровень -3dB по индикатору).

Петля (англ. *loop*) — короткий (обычно 1-2 такта) фрагмент звуковой информации, который можно закольцевать, то есть, проигрывать непрерывно. Бывают барабанные «лупы», гитарные «лупы», оркестровые «лупы», содержащие готовые ритмические или мелодические рисунки. Некоторые компьютерные программы позволяют собрать из отдельных петель целое музыкальное произведение, не прибегая к использованию живой игры на каких-либо инструментах.

Порог слышимости — минимальное звуковое давление, при котором звук определённой частоты может быть услышан человеком.

Предусилитель (предварительный усилитель) — устройство, преобразующее слабые звуковые сигналы в более мощные. Необходим для подключения к звуковому оборудованию источников звука с низким выходным уровнем (таких, как микрофоны, электрогитары). Предусилитель — составная часть входных линеек микшерного пульта. Для его включения используется переключатель «Mic/Line».

Противофаза — физическое явление, при котором звуковой сигнал одного канала смещается относительно звукового сигнала другого канала, в результате чего происходит взаимное вычитание сигнала. Измеряется в градусах. При небольшом смещении кажется, что звук становится далёким и невнятным, низкие частоты пропадают. При смещении на 180° можно услышать классическую противофазу, то есть тишину.

Псевдостерео — звукорежиссёрский приём для искусственного превращения монофонической записи в подобие стереофонической. Одноканальный звук делится на два канала. Иногда для большего ощущения стереозвучания один из каналов подвергается небольшой задержке и/или частотной коррекции.

Реверберация (от англ. *reverb*) — наиболее часто применяющийся эффект обработки звука. Как внешние, так и виртуальные ревербераторы моделируют

различные по величине замкнутые пространства (например, комнату, концертный зал, собор).

Резонанс — явление, при котором амплитуда колебаний резко возрастает при совпадении с другими колебаниями (например, струна, на определённой частоте резонирует с корпусом струнных инструментов).

Рэк (рэковая стойка) — стандартизованная подставка для стационарного закрепления различного звукового оборудования передней панелью наружу. Ширина равняется 19 дюймам (482,6 мм). Минимальная высота передней панели может быть один юнит, 1U (1,719 дюймов или 43,7 мм). Рэковая стойка позволяет компактно расположить максимальное количество приборов. При этом все подключения происходят на задних панелях оборудования.

Сведёние звука — процесс получения единой стерео-фонограммы из заранее записанных отдельных инструментов, голосов, шумов. Сведёние предваряет процесс мастеринга фонограммы.

Секвенсор — устройство для записи, редактирования и воспроизведения MIDI-сообщений. Бывает внешним, встроенным в какой-либо электронный музыкальный инструмент, а также программным. Современные секвенсорные компьютерные программы, кроме MIDI-сообщений, позволяют записывать, редактировать и воспроизводить цифровой звук (аудио-секвенсор).

Синтезатор — обобщающее название электронных приборов, создающих различные звуки и звуковые эффекты. В аналоговых синтезаторах свойства электрического сигнала генератора изменяются с помощью различных фильтров, в цифровых синтезаторах свойства звука изменяют специальные алгоритмы процессора. По типу синтеза делятся на: самые распространённые субтрактивные (исходный сигнал проходит через ряд фильтров, то есть, из сигнала что-то вычитается), аддитивные (к исходному сигналу добавляются другие сигналы), частотно-модуляционные, или FM-синтезаторы (несколько звуковых волн, модулируя друг с другом по частоте, складываются), пульсово-кодовые, волновые, Wavetable или PCM-синтезаторы (воспроизводятся записанные в память устройства звуки — сэмплы или их комплексы, мультисэмплы), физические (специальные схемы повторяют физические процессы, происходящие в акустических инструментах при звукоизвлечении). Чаще всего используют несколько типов синтеза в одном инструменте. Синтезаторы бывают внешние в виде отдельного модуля, в виде клавишного инструмента, в виде VST-инструментов (виртуальные программные синтезаторы).

Спектр звука — распределение энергии звуковых колебаний по частотам. Исследование спектра фонограммы позволяет увидеть недостаток или избыток конкретных частот, что очень важно для процесса мастеринга.

Стереофония — термин для обозначения двухканальной записи и воспроизведения звука. Важно, что при стереозаписи сохраняется пространственное положение источника звука в панораме.

Сэмпл (англ. *sample* – образец) — минимальная частица цифрового звукового сигнала, которая содержит информацию об амплитуде звуковой волны. Качество цифрового сигнала определяется количеством сэмплов в одну секунду и называется частотой сэмплирования (частотой дискретизации), измеряется в герцах. Чем выше это число, тем звучание цифровой записи будет ближе к оригинальному звучанию источника звука.

Сэмплер — устройство, записывающее, воспроизводящее и редактирующее сэмплы. Используется в качестве электронного музыкального инструмента, воспроизводящего заранее записанные сэмплы (цифровые фрагменты звучания акустических инструментов). Специальные алгоритмы позволяют распределить одиночный сэмпл по нескольким октавам. Бывают как внешние, так и виртуальные сэмплеры. Библиотеки сэмплов могут достигать нескольких терабайт (нескольких тысяч гигабайт).

Трек (дорожка) — запись одного источника звука на какой-либо носитель. Термин обычно используется при многодорожечной записи. Треком также называется последовательность информационных и/или управляющих сигналов (например, MIDI-трек, темпо-трек, трек автоматизации).

Тремоло — эффект обработки звука, основанный на периодическом изменении амплитуды звукового сигнала (то есть громкости).

Тюльпан, RCA — разъём для коммутации полупрофессионального и бытового звукового оборудования. Назван так из-за отдалённого сходства с цветком тюльпана. Имеет толстый центральный контакт и пружинящие лепестки (экран).

Усилитель (усилитель мощности) — устройство для усиления частот, которые слышит человек (обычно от 20Гц до 20 000Гц). Подключается к выходу микшерного пульта. Выход усилителя предназначен для подключения пассивных акустических систем соответствующей мощности.

Фаза — положение звуковой волны относительно оси (то есть относительно нулевого значения). При небольшом сдвиге фаз возникают фазовые искажения (чаще нежелательные), а при смещении на 180° получается феномен противофазы.

Фазоинвертор — отверстие или труба в корпусе акустической системы, предназначенное для расширения низкочастотного диапазона (эффект основан на резонансе отверстия на частотах, которые динамик физически не может воспроизвести).

Фантомное питание (+48В) — система для подачи напряжения к конденсаторным и электретным микрофонам по звуковому кабелю. От

микшерного пульта к микрофону поступает напряжение 48В, а от микрофона к микшерному пульта по тому же кабелю — звуковой сигнал.

Фейдер (от англ. *fade* – затухать) — ползунковый регулятор уровня звукового сигнала (например, в микшерном пульте).

Фленджер — эффект обработки звука, похожий по своему действию на хорус. В результате обработки возникает ощущение вращающегося, летящего звука с металлическим призвуком (из-за появляющегося эффекта резонанса).

Хорус — эффект обработки звука, похожий по своему действию на фленджер, но имеющий более короткую задержку обработанного сигнала. Исходный звуковой сигнал многократно дублируется, дубли сдвигаются по времени и иногда подвергаются модуляции. В результате обработки может возникнуть ощущение звучания хора или ансамбля или даже «эффект расстройки» инструмента.

ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь. Часть аудиоинтерфейса, позволяющая кодировать цифровой сигнал в аналоговый (см. также АЦП).

Цифровой сигнал — сигнал данных, который можно представить в виде последовательности дискретных, фиксированных (в отличие от аналогового) значений, называемых сэмплы. Имеет два важных показателя качества: частота сэмплирования, количество сэмплов в секунду (чем это число выше, тем качественнее сигнал), и квантование, разрядность, или глубина сэмплирования — количество отрезков, шагов, на которое разбивается диапазон значений каждой дискретной величины (чем выше разрядность, тем выше качество звука).

Частота звука — количество колебаний звуковой волны за одну секунду. Измеряется в герцах.

Шина — совокупность электронных компонентов микшерного пульта, представляющая собой определённый модуль (например, входная шина, шина мониторинга, дополнительная AUX-шина). Часто употребляется как синоним слову «канал» или «линейка».

Эквалайзер — устройство для управления частотным спектром звукового сигнала. Графический эквалайзер, параметрический эквалайзер.

Эксайтер — психоакустический эффект обработки звука, основанный на генерации дополнительных высокочастотных гармоник и добавлении их к исходному сигналу.

Экспандер — эффект динамической обработки звука. Позволяет экспандировать (разжимать) динамический диапазон. По принципу действия противоположен компрессору. Используется для восстановления, расширения звукового сигнала, чрезмерно сжатого компрессором.

Владимир Германович ЛУКАШЕНЯ

Звук и техника

Учебное пособие для ДШИ и ДМШ

Подписано в печать 01.02.16. Заказ № 8.
Формат 60х90/40. Усл. печ. л. 2,5.
Тираж 300 экз. Печать цифровая.



Издательство ООО «Медиамузыка»:
119334 г. Москва, Ленинский просп.,
34/1-372. Тел.: +7(499)137-74-05,
e-mail: mediamusic@inbox.ru

УДК 534.3; 681.84
ББК 85.31
Л-84

Цена договорная

В учебном пособии кратко рассматриваются основные параметры звука и слуха, преобразование звука в электрические сигналы, технические элементы звуковоспроизведения, микрофоны, основы аналоговой и цифровой звукозаписи, приборы студии записи и обработки звука, схема озвучивания концертного зала.

Для учащихся детских школ искусств и детских музыкальных школ по направлениям электронных музыкальных инструментов, звукорежиссуры, музыкально-компьютерных технологий, компьютерной аранжировки, композиции, а также для преподавателей системы дополнительного художественного образования.

ISBN 978-5-9904817-4-9

