

"Что мы измеряем?"

Михаил Чернецкий

К сожалению, многие из работающих в сфере профессионального звука не имеют фундаментального академического образования звукорежиссера или звукоинженера. Поэтому в их подготовке порой встречаются досадные пробелы вследствие отсутствия системных теоретических знаний, что здорово мешает в работе. Будем эти пробелы ликвидировать!

И начнем с одного из двух главных понятий акустики - децибела.

Поможет нам в этом инженер-разработчик приборов обработки звука Михаил Чернецкий. Имя его хорошо известно профессионалам со стажем - разработанные им и его фирмой "Long" приборы обработки звука очень популярны в наших студиях. Пожалуй, нет такого вопроса в аудиотехнологиях, на который он не знал бы ответа. В написанном им для нашего журнала цикле статей о теории звука он делится своими обширными знаниями. В этом номере - первая статья, сочетающая теорию с полезными практическими сведениями.

Уже много тысячелетий человечество живёт в мире цифр. Мы измеряем в цифрах всё - один килограмм конфет, две шоколадки, пол-литра "жидкости" и др. При этом мы применяем так называемые "вещественные" единицы измерения - граммы, метры, ниты, атмосферы, литры и т.д.

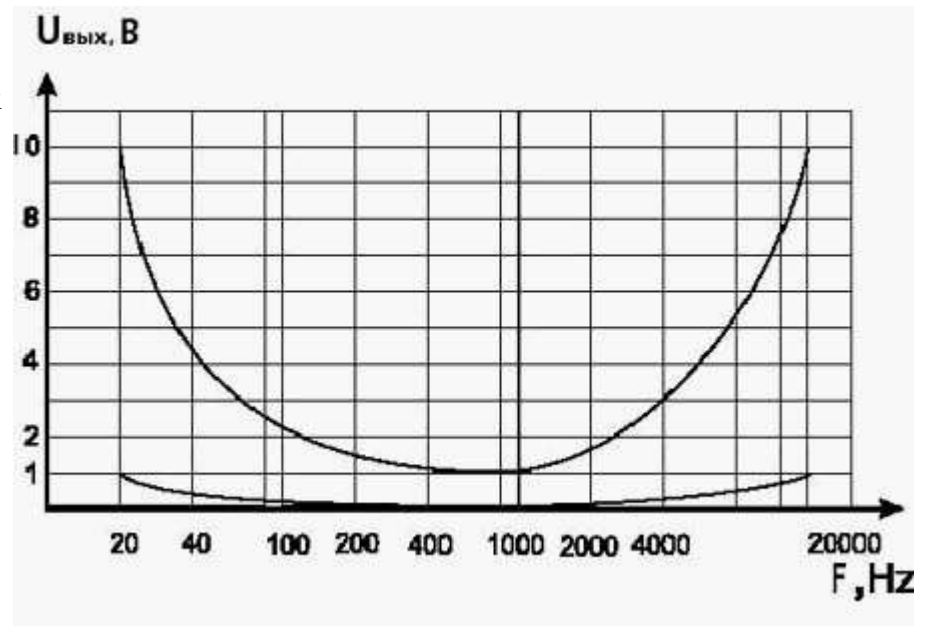
Однако существуют и весьма широко используются также и нематериальные единицы измерения, причём не только в ядерной физике, где их огромное количество, но и в обычной повседневной практике. Здесь мы расскажем об одной из таких единиц, причём "дважды экзотической" - децибеле.

Почему же экзотической, да ещё дважды? Во-первых, не существует воплощённого "в металле" эталона децибела, его нельзя "повертеть в руках", пощупать. Платино-иридиевые эталоны метра, килограмма - существуют, а децибела - нет. Во-вторых, децибел - это не целая, а дольная единица. Мы часто пользуемся единицами целыми (грамм, метр) и кратными (килограмм, километр), но практически никогда - дольными. В самом деле - часто ли вы используете дециметр или дециграмм? Никому же не придёт в голову сказать: "у меня дома потолки 27 дециметров"! Так откуда же взялась и для чего нужна эта малопонятная единица? Казалось бы: есть вольты, герцы, амперы... Чего ещё желать? Однако не всё так просто! Посмотрите на два следующих рисунка.

На рис. 1 изображены две частотные характеристики. (На этом рисунке по вертикали отложено реальное выходное напряжение исследуемого устройства в вольтах). Как видим, эти две АЧХ не очень-то похожи.

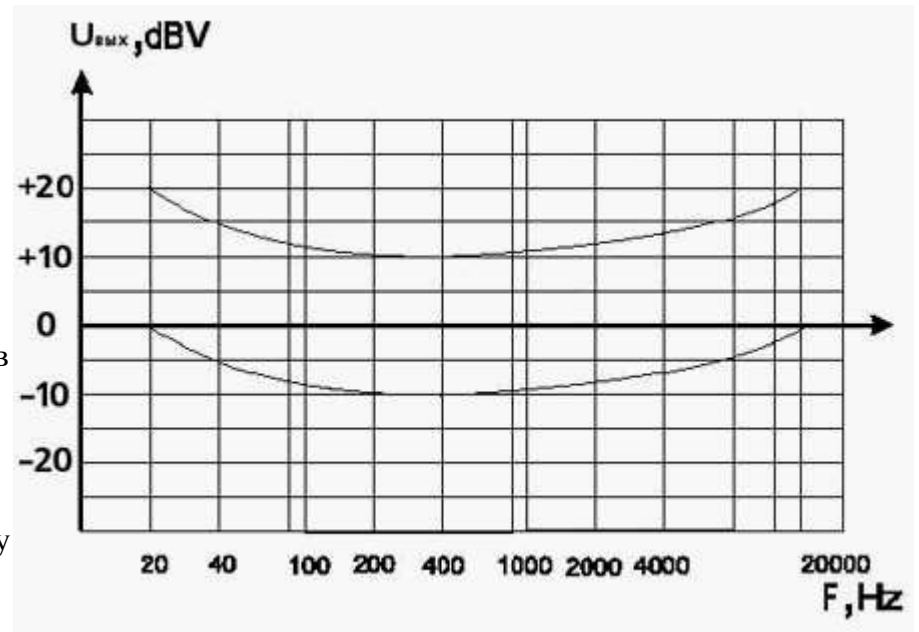
На рис. 2 по вертикали отложены не вольты, а децибелы. Сразу стало видно, что эти характеристики идентичны, только одна находится чуть выше, а другая - ниже. На самом деле все четыре характеристики принадлежат одному и тому же регулятору тембра, просто характеристики 1 и 3 снимались при подаче на его вход сигнала в 1 вольт, а 2 и 4 - 100 милливольт. Очевидно, что сравнение характеристик устройств по рис 2. более удобно.

Характеристики "в децибелах" не зависят от реальных физических величин сигналов, применяемых в процессе измерений. Это - одна из главных причин того, почему логарифмический способ отображения АЧХ получил наибольшее распространение. Хотя на самом деле, помимо удобства чтения графиков, существует и другая, гораздо более



существенная и глубокая причина: по закону Вебера-Фихнера между воспринимаемым ощущением и вызывающим его внешним воздействием имеется логарифмическая зависимость, т.е. чтобы ощущение изменилось "на" какую-то величину, вызвавшее его воздействие должно измениться "в" раз.

Пояснить это можно на следующем примере: от 20 до 40 Герц - одна октава, и от 10000 до 20000 Герц - тоже одна октава. Только в первом случае частота изменилась на 20Гц, во втором - на 10000Гц, а результат - одинаков: и в том, и в другом случае частота изменилась "в" два раза и мы слышим повышение высоты звукового тона "на" одну октаву. Таким образом, отображение данных в логарифмическом масштабе нам просто по-человечески "ближе".



Ранее в технике связи широкое применение получила единица НЕПЕР, основанная на натуральных логарифмах и названная в честь их изобретателя Дж. Непера (1550-1617г). 1 непер соответствует изменению уровня сигналов в $\approx 2,718$ раз (в "е" раз). Интересно, что непер существует давным-давно - а на практике пользуются децибелом. Но почему именно децибелом, если уже существуют натуральные логарифмы, а есть ещё двоичные и т.д.?

Применяемое для вычисления Неперовых логарифмов число "е" - число трансцендентное, и для расчётов крайне неудобное. Поэтому по свойственной всем нам любви к круглым числам логарифмы, имеющие в своём основании число 10, и получили более широкое

распространение. На десятичных логарифмах основан бел - единица, названная в честь изобретателя телефона А.Г. Бела. Однако, при ближайшем рассмотрении, он оказался "слишком крупным", а вот одна десятая его - "децибел" - оказался в самый раз. Почему же?

Дело в том, что децибел нам ближе по психофизиологическому восприятию. Один децибел (1 дБ) - это величина, максимально близкая к субъективному порогу восприятия - порогу различения громкости двух сигналов нашим ухом, и именно поэтому децибел занял ведущее место в звукотехнике. Так как децибел - величина относительная, то с его помощью можно измерять все, что угодно - хоть музыкальные интервалы. Действительно, в одной октаве содержится шесть нотных интервалов, а изменению напряжений в два раза (как бы "на октаву") соответствует изменение уровня на 6 дБ, т.е. музыкальный звуковысотный интервал в один тон соответствует одному децибелу. Причём значения совпадают с точностью 0,0004.

Что это - глубинная, скрытая взаимосвязь? Как знать...

Однако, как уже упоминалось, децибел - величина относительная. А как быть, если надо измерять реальные физические величины - вольты, ватты и др.? Да очень просто: надо выбрать опорный (эталонный) уровень, от которого и отталкиваться при измерениях. Давным-давно (так уж исторически сложилось) за опорный уровень была принята величина мощности в 1 милливатт на нагрузке 600 Ом. При этом величина напряжения составляет:

$$U = 0,001 * 600 = 0,6 = 0,775 \text{ В, где}$$

$P = 1 \text{ мВт}$ - мощность;

$R = 600 \text{ Ом}$ - сопротивление.

До настоящего времени эта величина напряжения является опорной для подавляющего большинства измерений.

Встречаются и некоторые другие величины. Опорная величина должна указываться после букв дБ. В английском языке приняты две основные величины: обозначению dBu (русское дБ) - соответствует опорное напряжение 0,775 В; обозначению dBV (русское дБв) - соответствует опорное напряжение 1В; встречается и обозначение dBm (дБм), для него опорный уровень - также 0,775В. Как же пользоваться децибелами, как их вычислять?

Очень просто. Для расчёта существует всего одна формула:

$$N = 20 * \lg(U_2/U_1)$$

где U_1 - опорное напряжение; U_2 - измеряемое напряжение; N - их соотношение в децибелах.

При измерении мощности в этой формуле изменяется только одна цифра: первый множитель заменяется числом 10, а напряжения заменяются мощностью. Если после расчёта результат " N " получается со знаком "минус" - то это значит, что измеряемая величина меньше опорной (эталонной). Всё. На этом вся математика, связанная с понятием "децибел", закончена.

Теперь немного о практическом значении некоторых параметров, выраженных (измеренных) в децибелах.

- 1dB-минимальное различие в громкости сигналов, уверенно замечаемое большинством слушателей;
- 3dB-увеличение мощности сигнала (не громкости!) в два раза;
- 6dB-возрастание напряжения в два раза;
- 10dB-увеличение мощности сигнала в 10 раз, а громкости звука - в два (!) раза;
- 20dB-возрастание напряжения в 10 раз, мощности - в 100, громкости - в четыре.
- Если о каком-то устройстве известно, что его коэффициент передачи равен 0dB, то это значит, что выходной сигнал в точности равен входному. И ничего более!

Некоторые наиболее распространённые уровни электрических сигналов:

- Стандартный "нулевой" уровень 0dB=0,775V;
- часто встречающийся уровень +4dB=1,23V;
- уровень, используемый в профессиональной аппаратуре +6dB=1,55V;
- уровень, используемый в бытовой аппаратуре -10dB=0,25V (250 милливольт)

Измерение уровней в звукотехнике

Казалось бы, что здесь сложного - измерить напряжение? Подключи вольтметр - и измеряй себе на здоровье! Если бы всё было так просто... Так легко бывает, наверно, только у электриков. В звуке всё гораздо сложнее. Реальные звуковые сигналы похожи на всё что угодно, кроме известной всем синусоиды. При измерении уровней звуковых сигналов результат будет зависеть как от характера анализируемой фонограммы, так и от типа применяемого вольтметра. "Секрет" здесь заключается в том, что звуковой сигнал имеет ярко выраженный импульсный характер, со значительным пик-фактором. (Пик-фактором называется отношение мгновенной, "пиковой" амплитуды сигнала к его эффективному, действующему значению).

Пик-фактор очень сильно отличается у различных звуковых источников. Для нормально сведённой фонограммы поп-музыки (не "пережатой") он составляет величину порядка 12 дБ, для речи 18-20 дБ, а уж для необработанной фонограммы, да ещё отдельных треков, а если там записаны ударные... Даже подумать страшно!

Соответственно и разные типы вольтметров на одном и том же сигнале будут давать различные показания.

Существуют три основных типа вольтметров - вольтметр "средних значений", "пиковый" вольтметр и вольтметр "действующих значений", иначе называемый "среднеквадратичный" (RMS).

- Вольтметр средних значений (VU-meter, или "вольтметр") исторически появился самым первым, и является самым простым по устройству - показывающий прибор просто включён в диагональ диодного моста. Динамические характеристики измерителя полностью определяются инерционными параметрами стрелочного индикатора, а все механические измерители имеют весьма значительный разброс по этим параметрам, соответственно и показывает он по преимуществу "цену на дрова на северном полюсе во время засухи".

Однако - благодаря его длительному применению - звукорежиссёры накопили богатый опыт работы, позволяющий (при соответствующей практике) правильно оценивать показания измерителя и вносить необходимые поправки "на слух", с учётом характера звукового материала. Только этим - и ничем иным - и объясняется такая феноменальная "живучесть" этого типа измерителей.

- Вольтметр действующих значений (среднеквадратичный) показывает величину напряжения, пропорциональную реальной долговременной мощности сигнала, его "тепловой эквивалент" И в самом деле, лучшие RMS-вольтметры построены именно с использованием термопреобразователей - исследуемое напряжение нагревает термоэлемент, по температуре которого и судят о величине напряжения.

Однако, как вы понимаете, нагрев термоэлемента - дело долгое, измеритель получается излишне инерционным, и применять его для оценки звуковых сигналов - занятие неблагодарное. Другое дело - измерение напряжения шумов.

Запомните! Измерять уровень шумов аппаратуры можно только среднеквадратичным вольтметром! И никаким иным! При использовании любых других - ошибки в результатах из-за стохастического характера шумов абсолютно непредсказуемы!

- Пиковый вольтметр в подавляющем большинстве случаев как раз и служит измерителем уровней звуковых сигналов в профессиональной аппаратуре. Однако он "в чистом виде" малопригоден для работы, так как, реагируя даже на самые короткие пики сигнала, будет давать постоянно завышенные показания, а фонограмма при этом будет тихой. Как же быть? Выход был найден в некотором (намеренном) "ухудшении" параметров измерителя - таким образом, чтобы отдельные, "очень уж короткие" пики сигналов он как бы "перестал видеть". Для этого в схему измерителя были введены специальные интегрирующие зарядно-разрядные цепочки, определяющие динамические характеристики прибора. Такие измерители получили название "квазипиковые", и вот они-то на самом деле и являются теми измерителями, с которыми мы имеем дело в повседневной практике.

Запомните! ВСЕ измерители, на которых написано "Peak" - на самом деле являются квазипиковыми! Единственные чисто пиковые измерители - это индикаторы "Over" на некоторых цифровых рекордерах.

Самые первые квазипиковые измерители имели время интеграции 60 миллисекунд, что примерно соответствует инерционности человеческого слуха. Время интеграции - это величина, определяющая быстродействие измерителя - или, иначе говоря, - длительность тех коротких пиков сигнала, на которые измеритель ещё реагирует. На более короткие сигналы измеритель, конечно, тоже реагирует, но плохо, слабо. Постепенно, с ростом технических требований к качеству записей, ужесточались и требования к измерителям уровней. Требовалось всё большее отношение сигнал/шум, постоянно возрастал уровень

записи (намагниченность ленты), и всё меньшим становился запас по перегрузке. (А "цифра", например, не терпит вообще никаких перегрузок, даже малейших)

Чтобы более-менее надёжно контролировать максимальные уровни сигналов, стали увеличивать быстродействие измерителей. Сначала время интеграции было уменьшено до 10 миллисекунд, а затем - и вовсе до 5 миллисекунд. Считается, что искажения перегрузки с длительностью менее 5 мс ухо не замечает. Смотря какие искажения! Цифровые - ещё как замечает...

Но... За всё приходится платить. В данном случае за увеличение быстродействия измерителей пришлось расплачиваться значительным увеличением разрыва между субъективно воспринимаемой громкостью звучания и показаниями индикаторов. Хотя в случае современной поп-музыки, до предела "сжатой", закомпрессированной, этот разрыв не очень уж и велик.

Итак - 60-мс измерители удовлетворительно соответствуют субъективному восприятию громкости, но плохо показывают пики сигналов. 5-мс измерители хорошо индицируют пики, но их показания плохо коррелируют с громкостью звука.

Как быть? Да очень просто. Решите - что вам, собственно, нужно контролировать? Если вы радиоинженер и обслуживаете передатчик или другую линию связи, то для вас главное - не допустить перегрузки. Смело выбирайте самый быстрый индикатор - и спокойно работайте. Но если вы звукорежиссер, то перед вами встанет проблема "плотности" звучания и других художественных особенностей. Тупик? Пока ещё нет. Есть два выхода. Первый - это применение "двойных" индикаторов, которые показывают оба значения - и пиковое, и действующее. Они уже существуют и довольно широко применяются, хотя в их конструкции наличествует оттенок лёгкого и нестрашного вранья: индикатор "Peak" реально квазипиковый (см. выше), а та часть индикатора, которая на самом деле показывает истинный RMS-уровень (есть и такие, только цена "кусается"), стыдливо, по инерции, именуется "VU".

Но возможен и второй выход. Как знать, может быть, со временем, когда звукорежиссёры накопят достаточный опыт, снова повторится история с волюметром, только на этот раз "с точностью до наоборот"? А как вы думаете?..

N,dB	A	N,dB	A
0.1	1.012	-0.1	0.989
0.2	1.023	-0.2	0.977
0.3	1.035	-0.3	0.966
0.4	1.047	-0.4	0.955
0.5	1.059	-0.5	0.944
0.6	1.072	-0.6	0.933
0.7	1.084	-0.7	0.923
0.8	1.096	-0.8	0.912
0.9	1.109	-0.9	0.902
1.0	1.122	-1.0	0.892
2	1.259	-2	0.794

3	1.412	-3	0.707
4	1.585	-4	0.630
5	1.778	-5	0.562
6	1.996	-6	0.501
7	2.239	-7	0.447
8	2.512	-8	0.398
9	2.818	-9	0.355
10	3.162	-10	0.316
11	3.548	-11	0.282
12	3.981	-12	0.251
13	4.467	-13	0.224
14	5.012	-14	0.200
15	5.623	-15	0.178
16	6.310	-16	0.158
17	7.080	-17	0.141
18	7.943	-18	0.126
19	8.913	-19	0.112
20	10.0	-20	0.100
30	31.623	-30	0.031
40	100.0	-40	0.010

ПРИЛОЖЕНИЕ. ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ДЕЦИБЕЛ В ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Как пользоваться таблицей?

Сложите из составляющих в графе dB необходимую вам величину, а коэффициенты из графы А - перемножьте, это и будет искомый результат.

Продюсер на студии

Владимир Осинский

Важнейшим видом звукорежиссерской деятельности является студийная звукозапись, сконцентрировавшая самые современные технологии и сложнейшее оборудование. К профессиональным качествам студийных звукорежиссеров предъявляются высочайшие требования, "и это правильно, товарищи!" Но в студийной работе есть вещи, с технологией связанные опосредованно, и большие касающиеся творческих и организационных моментов. Речь идет о деятельности продюсера, обычно остающейся "за кадром" и в технических изданиях, и в музыкальных. Тем не менее, от них в определяющей степени зависит как успех проекта, так и характер работы артистов и звукорежиссера. Об особенностях задач, решаемых продюсером, и применяемых им методах - сегодняшняя публикация в рубрике "Recording".

Композитор Владимир Осинский совсем молодым успел записать несколько сольных альбомов еще на виниле фирмы "Мелодия" - причем с совершенно некоммерческой музыкой! В настоящее время он в своей студии занимается аранжировкой и продюсированием проектов в самых разных жанрах. Часто его приглашают на сведение и в другие студии, и не только московские. Если в титрах записи он значится в качестве продюсера - диск можно покупать не слушая! Несмотря на свою загруженность, он согласился поделиться с нами своими соображениями о продюсировании.

Прежде чем начать разговор, хотелось бы определить содержание термина "продюсер".

Продюсер - это человек, который отвечает за конечный продукт, в данном случае - музыкальный. Работа его многогранна. На его плечах весь проект - начиная с выбора музыкального материала и заканчивая реализацией записи. Именно он распределяет время на студии, он принимает решение, кого из музыкантов приглашать на запись (конечно, если это не оркестр или рок-группа с постоянным составом). Его задача - раскрыть наиболее полно творческий замысел авторов. А результат его работы - это успех или провал альбома.

Начинается работа продюсера задолго до студии выбором музыкального материала. как правило, он должен прослушать огромное количество материала, если работает с исполнителем. Если же он работает с группой или же с автором-исполнителем, они вместе выбирают наиболее подходящие произведения, исходя из концепции будущего альбома.

Огромное значение имеет выбор студии. Студия есть не только пульт, магнитофон, микрофоны и так далее, то есть не только аппаратура и хорошая акустика. Студия - это прежде всего производство. И в этом контексте важны такие вещи, как профессионализм людей, работающих на студии, сама творческая атмосфера, и, конечно, бюджет. Продюсеру необходимо точно понять, насколько та или иная студия сможет помочь ему создать конкретное произведение или альбом. Можно потратить кучу денег на дорогую студию и не получить ничего стоящего, а можно за умеренные деньги в средней студии записать шедевр.

Многие справедливо уделяют очень большое значение микшерному пулту, магнитофону, но студия прежде всего должна иметь качественные контрольные мониторы, или, как говорят, "реальную акустику". В течение многих лет во всем мире пользуются мониторами таких фирм как Auratone, Yamaha, Genelec, Urei, JBL. Немалую роль играют в студии и обыкновенные портативные магнитолы-"мыльницы" (Boombox), на которых слушает музыку большинство потребителей. Особенно Boombox важен для контроля при сведении и мастеринге. Недаром говорят, что нетрудно сделать запись, хорошо звучащую на дорогой аппаратуре, а попробуй-ка сделать так, чтобы она звучала и на дешевой!

Желательно, чтобы студия имела несколько вокальных микрофонов разных типов с различными характеристиками, представленных авторитетными фирмами, например, Neuman, AKG, чтобы продюсер со звукорежиссером могли выбрать оптимальный микрофон для исполнителя.

После выбора студии идет этап оркестровки произведения. Здесь технология весьма различна. В поп-музыке, как правило, этим занимается аранжировщик, который, учитывая мнение продюсера, исполнителя, пишет оркестровку. Аранжировщик является одним из главных сотрудников продюсера. Он может из невнятного бормотания и "кривых" аккордов автора, которые почему-то понравились продюсеру и исполнителю, сделать хит - но может и не сделать. Наиболее профессиональный вариант работы аранжировщика -

непосредственно на студии с учетом ее технических возможностей. Это и работа с множеством звуковых модулей, семплеров, записи барабанных колец (drum loops), и поиск звуковых пространств при помощи ревербераторов и других временных, динамических и психоакустических приборов.

Сейчас на студиях широко применяются такие семплеры, как EMULATOR, Akai, Kurzweil. Для них существуют огромные библиотеки звуков на CD-ROM, которые отражают практически все направления в сегодняшней музыке, начиная от классической (orchestra collection), этнической (heart of Asia), и заканчивая семплированием синтезаторов (JD-800), или семплированием различных синтезаторных контроллеров (Total control), ну и, конечно же, drumloops, которых просто огромное количество!

Мода на старые аналоговые инструменты привела к возобновлению производства таких синтезаторов, как Roland TR -505, 606, а также JP-800. Шведская фирма Clavia выпустила инструмент Nord Lead, а фирма Access - модель Virus. Yamaha и Korg тоже не остались в стороне.

В студиях аранжировщики стараются получить звук инструментов, уже максимально приближенный к конечному результату (миксу) еще до записи вокала. Это ценно, так как продюсер уже реально представляет продукт, понимает, как должны быть записаны вокальные дорожки.

Есть более простой способ, когда аранжировщик все делает дома на своих инструментах и потом на студии поканально переписывает все партии на тот или иной звуковой носитель (аналоговый или цифровой магнитофон, компьютерная цифровая рабочая станция). В данный момент в домашних условиях популярностью пользуются такие инструменты, как Ensoniq TS-10, TS-12, ASR-10, звуковые модули Roland JV-1080, 2080, Korg - Trinity. Недостаток таких аранжировок состоит в том, что звуки из одного модуля однородны, как бы сливаются (эффект когерентности волн) и конечный микс получается "пластмассовым". Даже при помощи студийных приборов "оживить" их очень сложно. Хотя, с другой стороны, уже в домашних условиях продюсер может услышать "красивую картину".

Рок-группам, как правило, удобнее арендовать время на студии сразу на длительный срок, например, на запись альбома - месяц. В это время эта студия работает только на данную группу. Устанавливаются барабаны, их "подзвучивают", долго выбирая звук. После этого микрофоны, их расположение, настройка пластиков на барабанах, тарелки, а иногда и сами барабаны - ничего не трогается до окончания записи. То же происходит и с гитарными комбиками и микрофонами, снимающими с них звук. В микшерской комнате отстраивается пульт, приборы обработки и т.д. - но только для этой сессии.

При работе с рок-группами сначала происходят репетиции. Если они проходят на студии - то с их записью, анализом этих записей, поиском нужного звучания гитар, барабанов и т.д. Все эти этапы происходят с непосредственным участием продюсера, который корректирует изменения - либо не корректирует, но при этом он все равно больше всех несет ответственность за работу. Конечно же, на студии, в отличие от репетиционных условий, можно экспериментировать и получать совершенно уникальные звуки. Например, пропустив звук гитары с овердрайвом через тот же классический ревербератор Yamaha SPX-90, используя на нем flanger и придав объем hall при помощи Lexicon PCM70, мы получим прекрасный глубокий звук, который придаст объем "сухой" аранжировке, внесет в нее романтику и тайну. Или же, взяв барабаны и, пропустив их в разной пропорции через эффект gate в том же самом SPX90, мы получим стилистически

совершенно другие барабаны, которые подтолкнут барабанщика сыграть другие, более крупные ритмические рисунки, которые, в свою очередь, могут изменить и всю аранжировку в целом.

Продюсеру сегодня необходимо, на мой взгляд, достаточно хорошо разбираться в возможностях обработки звука. Так, например, если он занимается электронной музыкой (техно, рейв, хаус и т.д.), ему просто необходимо знать возможности семплеров, синтезаторов и цифровых рабочих станций.

Если же он продюсирует живую музыку, ему не помешало бы иметь представление о специфике записи барабанов. На студии ему могут предложить такую технологию записи, которая может в корне отличаться от его замысла. И на сведении это уже невозможно будет изменить. А звучание барабанов сегодня часто является один из решающих факторов качества конечного музыкального продукта.

Вообще, говоря о работе на студии, следует отметить, что главное для продюсера - найти взаимопонимание со звукорежиссерами, и записывающими дорожки (режиссер записи), и их микширующими (режиссер сведения). Если звукорежиссер будет только лишь включать и выключать запись там, где продюсер ему скажет, то вряд ли получится хорошая запись. Надо постараться сделать так, чтобы вы вместе были участниками и свидетелями тайны, которая называется рождением Музыки. Именно это время - самое ценное на студии.

Перед сведением продюсер должен иметь точное представление, что он хочет получить в конце записи, и еще важнее, чтобы мог это объяснить в доступной форме персоналу студии - либо работать с людьми, которые все понимают и так.

На сведении звукорежиссер только усиливает, подчеркивает то, что было сделано до этого. Хотя сведение - это тоже тонкая психологическая и техническая работа. При этом продюсер должен определить стилистические задачи перед звукорежиссером, а звукорежиссер, в свою очередь - предложить свое видение произведения и технические методы решения поставленных продюсером задач. И не надо стараться задействовать все приборы, которые есть на студии. Это неверно и неграмотно. Главное - не задушить музыку, дать ей Полет!

Цифровые магнитофоны формата DASH

Анатолий Вейценфельд

Анализируя процесс развития профессиональной звуковой техники, многие эксперты уже довольно давно предрекают скорую кончину технологии линейной звукозаписи и повсеместный триумф компьютерных или автономных станций. Вот и автор этих строк года полтора назад в статье, посвященной одной популярной портативной станции, присоединился к общему мнению. Правда, только относительно портативных систем. Действительно, преимущество портативных систем на нелинейных носителях перед системами этого же класса на ленточных носителях довольно существенно. Они выигрывают благодаря большей скорости работы и наличию таких функций, которые отсутствуют при записи на ленту.

Однако хоронят ленту уже довольно давно - да только живет она и здравствует. Об этом свидетельствует и вполне благополучное финансовое положение фирм-производителей

профессиональных лент. (То, что многие из них производят дискеты, минидиски, CD-R и т.п., существа дела не меняет - ни один производитель профессиональных лент не бросился ведь делать жесткие диски!)

При этом персонал многих наших, да и не только наших студий с упорством держится за, казалось бы, устаревшие магнитофоны ADAT, причем типа I. Когда в 1994 году в салоне A&T Trade проходила встреча с одним из ведущих специалистов фирмы Alesis, тот сказал, что фирма отводит ADATу пять лет, "а дальше появится что-нибудь новенькое" - казалось, что через эти пять лет появится какая-то совершенно невероятная фантастическая техника и технология. Но, увы, прогресс хотя и налицо, но очень уж плавный и умеренный.

Не меньшую роль играет и "человеческий фактор". Один психолог, близко знакомый с проблемами звуковой индустрии, как-то заметил, что лента всегда будет использоваться в записи, потому что человеку нужно во время работы видеть что-то движущееся (в данном случае - вращающееся). Движущиеся компоненты показывают ему, что все в порядке и система работает. То, что это не досужий домысел праздных умников, подтверждаю своими ощущениями во время работы - и думаю, что коллеги согласятся. Известно, что во многих студиях магнитофоны, как вообще-то и положено в целях изоляции от шума, размещаются в отдельной комнате. Это вызывало порой совершенно непонятный дискомфорт и даже нервозность. Успокоение наступало лишь тогда, когда дверь в аппаратную оставляли открытой и магнитофоны были на виду. Черт с ним, с шумом - здоровье дороже!

Когда же речь заходит не о портативных системах и аппаратах среднего класса типа Akai DR или тот же ADAT, а о больших многоканальных цифровых студиях - ленточные системы оказываются весьма популярны, хотя и не дешевы. Причина даже не в большей надежности магнитофона и ленты по сравнению с компьютером и жестким диском. Важнее то, что увеличение числа одновременно записываемых и воспроизводимых дорожек в компьютерных и других нелинейных системах звукозаписи приводит к существенному усложнению и удорожанию системы и столь же значительному снижению стабильности ее работы. В самом деле, один самодостаточный двадцатичетырехдорожечный магнитофон равен трем восьмиканальным АЦ/ЦА интерфейсам плюс три восьмиканальные платы в дорогом мощном компьютере плюс необходимость программного (а то еще и аппаратного!) конфигурирования плат плюс специальные дорогие AV-винчестеры плюс программное обеспечение... Плюс необходимость часами пялиться на дисплей монитора, что явно не способствует улучшению зрения... Да еще плюс зависания и прочие прелести общения с "искусственным интеллектом"...

Все это, вместе взятое, и побуждает менеджеров крупных, да и средних студий использовать для многоканальной цифровой записи (точнее, "много-многоканальной") цифровые магнитофоны. И здесь вне конкуренции аппараты формата DASH, существующие уже десяток лет и при этом постоянно совершенствующиеся.

Предложен формат был первопроходцем звуковых технологий фирмой Sony, и поддержан не менее известными производителями магнитофонов фирмами Studer и MCI. Формат DASH (Digital Audio Stationary Head) - это формат записи на катушечную ленту с использованием неподвижной магнитной головки (в отличие от записи на кассету с вращающимися головками, как в форматах ADAT или DA-88). Разрядность записи - 16 бит с частотами дискретизации 44056, 44100 и 48000 Гц. Лента имеет ширину пол-дюйма (12,7 см), и дорожки располагаются вдоль ленты, как на аналоговых многодорожечных

магнитофонах. Так как для записи не применяется вращающаяся головка, понятие "кадра" отсутствует, вместо него используется более правильное для цифровой технологии понятие "слова". Соответственно и счетчик таймера позволяет оперировать с более мелкими величинами, нежели кадр, вплоть до тысячных долей секунды, что для звукозаписи очень важно - в отличие от видео.

Исторически первой моделью магнитофона DASH-формата явился аппарат Sony PCM-3324. Это 24-дорожечный магнитофон с четырьмя дополнительными дорожками - управляющей, дорожкой данных и двумя контрольными аналоговыми звуковыми, так называемыми "режиссерскими". (Для записи этих дорожек применяется широтно-импульсная модуляция PWM, обеспечивающая высокое качество звучания). При записи на штатную ленту в катушке диаметром 14 дюймов умещается 65 минут записи при частоте дискретизации 44,1 кГц или 60 минут - при частоте дискретизации 48 кГц. Магнитофон имеет буфер памяти на 20 секунд. При использовании системы из двух магнитофонов можно применять внешний пульт RM-3300. Впрочем, им можно пользоваться и при работе с одним магнитофоном, если он, к примеру, установлен вдали от рабочего места звукорежиссера.

(Как уже упоминалось выше, размещение магнитофонов и других устройств, издающих механический или иной шум, следует "по возможности" осуществлять в отдельном звукоизолированном помещении. О том, насколько это ранее обязательное правило соблюдается сейчас, предоставляю судить читателям).

Звучание аппарата соответствует профессиональному 16-битному формату. Естественно, аналого-цифровые преобразователи магнитофона

относятся к самому высокому классу, поэтому долго распространяться о качестве звука не стану - дорогой профессиональный звук Sony, и этим все сказано.



Пульт управления STUDER D827 MCH

Несмотря на линейный тип записи, DASH-магнитофоны позволяют осуществлять невозможные на аналоговых аппаратах монтажные операции. К примеру, операция "вставки" (punch) на аналоговых магнитофонах приводит к появлению некоторого зашумленного участка на стыке фрагментов. Благодаря высокой скорости движения ленты эта помеха почти незаметна, но, тем не менее, она присутствует, и при дальнейшем сведении и копировании может проявить себя самым фатальным образом. В DASH-магнитофонах на стыке применяется известный метод cross-fade, то есть плавное вытеснение одного фрагмента другим. Поскольку длительность одновременного звучания двух фрагментов (в отечественной терминологии - "нахлест") не превышает 10 мс, cross-fade абсолютно незаметен.

В аналоговых многодорожечных магнитофонах ввиду ограниченности числа дорожек часто применялось объединение данных с нескольких дорожек на одну (merge, bounce). Это было опять-таки компромиссное с точки зрения качества звука решение - качество звучания обменивалось на количество одновременно звучащих



PCM - 3324

источников. В DASH-магнитофонах операция объединения дорожек не приводит к ухудшению качества звука, и не только потому, что все происходит "в цифре", но и потому, что при объединении дорожек применяется специальный алгоритм корректирования фазовых ошибок и сохранения правильных уровней сигналов разных источников и их взаимных балансов. Операции переноса данных называются DASH-магнитофонах "пинг-понг", что образно и доходчиво объясняет их суть.

Поскольку эти аппараты предназначены для работы в составе большой студии, их коммутационные возможности максимально широки - здесь и цифровые интерфейсы AES/EBU, SDIF, MADI, и различные управляющие и синхронизирующие интерфейсы.

Дальнейшим развитием формата DASH стал формат DASH-F, используемый в модели Sony PCM-3324S. Он работает в 16-битном формате, при этом используются одноканальные аналого-цифровые и 18-битные цифро-аналоговые преобразователи. Позже фирма выпустила и модель PCM-3348 и PCM-3348/1 - 48-дорожечные магнитофоны, записывающие на полудюймовую ленту, что абсолютно невозможно на аналоговых магнитофонах. Это также были аппараты с 16-битной записью и всеми функциями, характерными для магнитофонов своего формата и класса. 48-дорожечные аппараты совместимы и с 24-дорожечными магнитофонами по первым 24 дорожкам (Прошу прощения за "масло масляное").



STUDER D827 MCH

Помимо Sony, ряд моделей выпустил также Studer. Это модель D820, технические параметры которой идентичны первой модели Sony. На основе модели D820 была выпущена и 48-дорожечная модель D820-48.

На наступление эпохи 24-битного звука производители DASH-магнитофонов откликнулись едва ли не первыми. Новый формат называется DASH-PLUS.

Sony выпустила PCM-3348HR - как видно из номера модели, магнитофон имеет 48 дорожек. Буквы HR означают high resolution, т.е. высокое разрешение, что отличает 24-битное разрешение от устаревшего 16-битного. В отличие от 16-разрядной записи, на стандартную 14-дюймовую бобину умещается не час, а только 40 мин записи. Буфер памяти, напротив, увеличен до 80 сек. Скорость воспроизведения может быть повышена или понижена примерно на 12%. Можно также понизить частоту дискретизации при воспроизведении на 0,1%.

Как и более ранние модели, магнитофон имеет развитую управляющую и синхронизирующую коммутацию. В частности, для компенсации задержек сигналов при прохождении по цепям предусмотрена регулируемая предварительная задержка (pre-delay) с точностью до одного отсчета (семпла). Для использования PCM-3348HR в качестве референсного источника синхросигнала для всего студийного оборудования, он оснащен синхрогенератором всевозможных форматов: SMPTE/EBU, DF/NDF, аналоговое композитное видео, black burst, word clock. Цифровой звук передается в цифровой микшерный пульт, например, Oxford, через специальный разъем Remote-4.

Studer также выпустил DASH-магнитофон для 24-битной записи. Это модель D827 MCH. В отличие от Sony, это 48-дорожечный аппарат для 16 бит, и 24 дорожечный - для 24 бит. Функциональные параметры магнитофона также аналогичны Sony. Для магнитофона выпускается пульт, особенно подходящий для двухпостовой системы. Но ошибается тот, кто считает, что Studer - эпигон Sony. Для управления магнитофоном и сохранения информации об установках записи Studer выпустил программное обеспечение для Macintosh (особенно рекомендован портативный PowerBook).

Каковы же перспективы DASH-магнитофонов в ближайшем будущем? В ближайшем будущем - вполне неплохие. Такое качество записи такого большого количества дорожек с такой надежностью пока не обеспечивает ни один конкурирующий формат, ни ленточный, ни нелинейный. Темпы же прогресса техники были явно переоценены. А работать студиям нужно сегодня, а не тогда, когда наступит эра всеобщего звукорежиссерского счастья. DASH-магнитофоны - техника недешевая, можно сказать, элитная. Но для серьезной профессиональной работы индустриального масштаба, таких, как крупные музыкальные, телевизионные или кинематографические проекты, формат DASH, пожалуй - самый оптимальный вариант. А на дешевом, как известно, не сэкономишь.

"И зал может звучать, как скрипка Страдивари..."

Сергей Алехин

Последнее время в изданиях по профессиональной звуковой технологии наметился определенный перекося в сторону студийной тематики. При всем уважении к работникам звукозаписи не стоит забывать, что и в наше непростое время публика все-таки ходит и в театры, и на концерты, и на дискотеки и т.д.

И будет ходить!

Поэтому тема "живого звука", технологии работы концертного звукорежиссера и продюсера, используемого в концертах оборудования и т.п., будет одной из основных тем нашего журнала.

Технология озвучивания "живых мероприятий" на самом-то деле чрезвычайно сложна, комплексы оборудования - тоже сложнейшие, а еще расчет, коммутация, настройка, sound check, работа в реальном времени... К тому же доступных материалов по "live"-звукорежиссуре, как уже сказано, очень мало.

Мы решили восполнить этот недостаток публикацией цикла статей по всему комплексу вопросов, связанных с театрально-концертной технологией. В них последовательно, в систематизированном виде (что особенно важно для наших начинающих коллег) излагаются все необходимые сведения по акустическим свойствам зрительных залов, особенностям восприятия музыки и других звуковых программ в больших помещениях и на открытом пространстве, методике расчетов систем звукоусиления и их инсталляции.

Автор цикла статей о принципах звукоусиления Сергей Алехин - опытейший звукоинженер, стоявший у истоков теперь уже легендарного "Техцентра Министерства Культуры", бывшего в восьмидесятые годы чуть ли не единственной организацией по обслуживанию профессиональной звуковой техники. "Техцентр на Сеченовском", как называли его в народе, стал подлинным "университетом" для звукоинженеров: разработчиков, ремонтников, эксплуатационников; "выпускников" этого "университета" можно сегодня встретить почти во всех московских фирмах профессионального звука. Причем зачастую на руководящих постах. За плечами Сергея Алехина - десятки проектов, которые не называем, только дабы избежать подозрений в скрытой рекламе. Мы очень обрадовались, когда Сергей предложил нам цикл своих статей по технологии живого звука.

В последней трети двадцатого века очень большое значение приобрела одна из областей электроакустики - техника звукоусиления. В больших и малых помещениях, на открытых пространствах, на стадионах требуется усиление голоса (ораторов и певцов) и звуковых сигналов, создаваемых музыкальными инструментами, (в том числе электромузыкальными), а также другими источниками звукового сигнала. Кроме того, электроакустические системы используются во всех общественных сооружениях для информационной службы, как средства обеспечения тех или иных звуковых эффектов, для усиления музыкальных и речевых фрагментов, сопровождающих действие в театрах. С помощью таких систем можно улучшить "акустику" помещений или согласовать их акустические особенности с разнообразными по характеру программами. За последнее десятилетие системы звукоусиления претерпели существенные изменения, обусловленные как более точными сведениями о лежащих в их основе физических и психофизических процессах, так и применением новых приборов, созданных на базе новейших электронных технологий. Редакция журнала "Звукорежиссер" предлагает цикл статей, содержащих сведения по теоретическим и практическим проблемам построения систем звукоусиления, их настройки и особенностям эксплуатации.

Прежде, чем приступить к изложению принципов построения современных звукоусилительных комплексов, хотелось бы предложить читателю вспомнить немного теории из основ техники звукоусиления.

Основными задачами систем звукоусиления являются: обеспечение хорошей слышимости в концертных залах, театрах, аудиториях, стадионах и т.п.; обеспечение высокого качества звучания музыки, чтобы это звучание приобрело требуемые целостность и полноту; обеспечение разборчивости речи. При этом системы звукоусиления не должны препятствовать правильной локализации источников сигнала, т.к. естественная неискаженная локализация необходима для создания контакта между слушателями и исполнителями на сцене. Из этих задач вытекают основные требования, предъявляемые к звукоусилительным системам. В порядке значимости их можно сформулировать так:

1. Высокая надежность в эксплуатации в сочетании с удобством обслуживания.
2. Высокое качество звучания речевых и музыкальных программ в первую очередь с точки зрения тембральной окраски, разборчивости, отношения сигнал-шум, отсутствия искажений и паразитной акустической обратной связи.
3. Равномерное распределение звука при достаточной громкости по всей площади зрительного зала (при этом уровень звукового давления определяется и регулируется в зависимости от конкретной программы), а также оптимально подобранное озвучивание сцены (сценический мониторинг).
4. Правильный баланс громкостей отдельных источников на всех слушательских местах.
5. Высокая комфортность прослушивания, обеспечиваемая локализацией источников сигнала и, следовательно, согласованием слухового и зрительного восприятия; оптимизацией слухового восприятия пространства (объема) за счет увеличения в некоторых залах длительности реверберационного процесса и формирования, таким образом, ощущений пространственности; возможностью воспроизведения тех или иных звуковых фрагментов в желаемой зоне зала, включая и панорамирование.

Из последнего следует, что звукоусилительные комплексы нужны не только для того, чтобы обеспечить те или иные акустические условия, но и для повышения общего качества звучания, а также в качестве особых выразительных средств.

Рассмотрев задачи и требования, предъявляемые к системам звукоусиления, хотелось бы отметить их важнейшие достоинства. При применении этих систем:

- расширяется динамический диапазон;
- появляется возможность точных регулировок, можно легко изменять акустические параметры имеющихся помещений;
- можно изменять и оптимизировать соотношение громкостей звучания речи, пения и инструментальной музыки.

Появляются новые художественные средства обработки речевых и музыкальных сигналов, а также формирования пространственных эффектов, различных шумов и звуков с помощью электронных приборов.

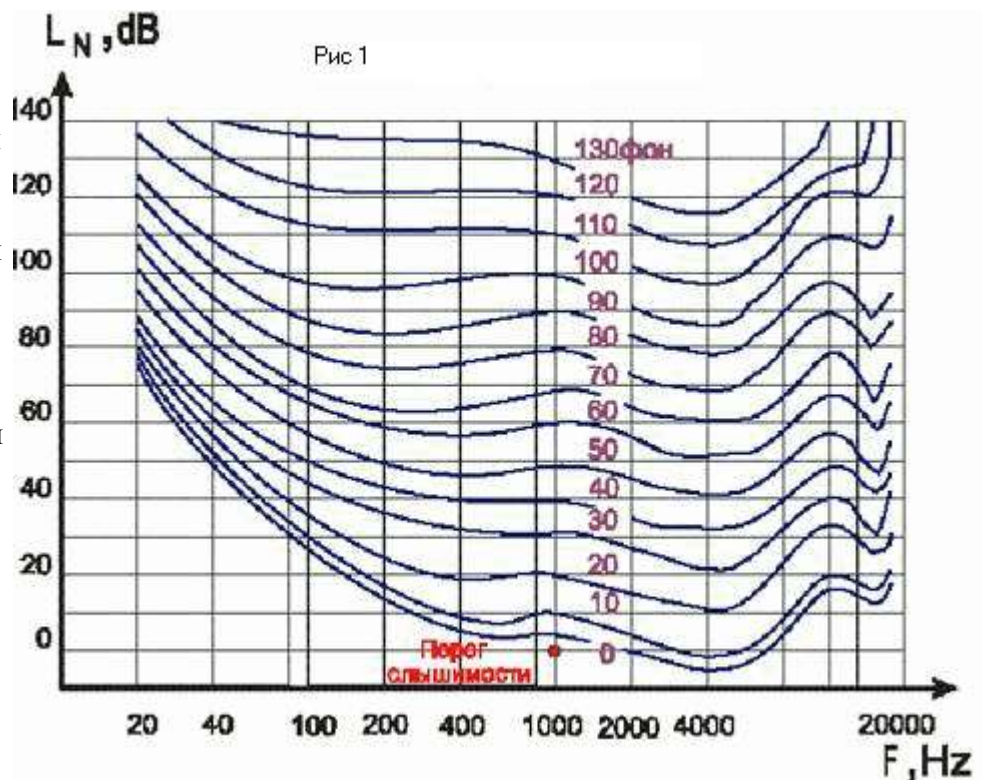
При посещении концерта впечатления слушателя формируются не только характером прослушанных музыкальных произведений, но и акустической атмосферой в зале. Задача любой системы озвучивания состоит в таком воздействии на качество звукопередачи, при котором параметры исходного звучания не только полностью сохраняются, но и заметно

улучшаются с точки зрения их пространственного восприятия без появления каких-либо неприятных побочных эффектов. Слушатель всегда имеет собственное представление о "хорошем звуке", сформированное личным опытом, и производит оценку звучания по многим субъективным критериям. Поэтому, говоря о качестве звучания, необходимо определить критерии оценки, согласованные с субъективным восприятием звука.

Если для речи важнейшим параметром является ее разборчивость (артикуляция) и степень зависимости от уровня громкости и посторонних шумов, то для музыки высокое качество звучания определяется факторами, которые в какой-то степени могут быть охарактеризованы с помощью понятий уровня громкости, прозрачности, пространственного впечатления, тембральной окраски звучания, баланса и тому подобных субъективных критериев. Практика же требует объективно измеряемых параметров, которые должны быть близки к субъективным оценкам и основываться на однозначных и не слишком сложных методах измерений. Рассмотрим более подробно субъективные понятия, характеризующие качество звучания и их объективную количественную оценку.

Для речи существует один субъективный критерий качества звучания - хорошая разборчивость или слоговая разборчивость v . Следует различать чисто "информативную" речь - доклад, монолог, объявление и т.п. - и речь художественную, имеющую определенное эстетическое содержание в первую очередь благодаря интонации. Во втором случае, очевидно, что только разборчивости, как критерия качества передачи звука, недостаточно и для художественной речи критерии качества ее звучания такие же, как и для музыки. Разборчивость речи определяется весьма простым методом: на сцене произносятся отдельные слоги - логатомы. Они должны опознаваться только по последовательности характерных для них звуков, а не по смысловому содержанию. Доля правильно понятых слогов из общего числа произнесенных характеризует слоговую разборчивость. В результате исследований, проведенных В. Рэйчардом и В. Кнудсенom, было получено следующее соотношение: $v = 96 \text{кнч} \cdot \text{квч} \cdot \text{кп} \cdot \text{кс}$. Коэффициенты кнч и квч учитывают необходимое ограничение полосы частот в канале звукоусиления. В системах звукоусиления, предназначенных для очень гулких помещений с большим уровнем шума, полезно подавить низкие частоты, что мало скажется на передаваемой информации, но позволит избежать еще большего уровня шума, подавление же высоких частот может быть полезно при озвучивании открытого пространства. (заметное ослабление высоких частот с расстоянием - на частоте 10 кГц и при расстоянии 60 м затухание в воздухе составляет 20db - может компенсироваться системой звукоусиления, но при излишнем уровне этих частот звучание шипящих согласных приобретает неприятный характер). кп учитывает уровень громкости сигнала и шума, кс учитывает "влияние помещения" и характеризует как ранние отражения, так и собственно реверберационный процесс. Не вдаваясь в подробности математического определения этих коэффициентов, отмечу следующее: разборчивость речи снижается при очень высоких уровнях громкости, поэтому, если задача системы звукоусиления сводится только к тому, чтобы уровень полезного сигнала превышал уровень шума, желательно ограничиться возможно меньшим уровнем громкости. В случае, если время реверберации в помещении на слушательских местах больше 1,2 сек, то разборчивость речи можно повысить, подняв уровень ранних отражений. Вышеперечисленные акустические параметры, в свою очередь, определяют технические параметры систем звукоусиления, предназначенных для передачи речи.

Как уже было отмечено, субъективными критериями оценки звучания музыкальных программ являются прозрачность, уровень громкости, окраска звучания и т.п., которые оцениваются потом слушателями как "хороший звук". Они в значительной мере определяются рассмотренными выше акустическими параметрами.



Эксперты Уилкинз и Пленге, ставя перед собой задачу оценить качество звучания музыкальных программ, в шести залах (в каждом зале в пяти наиболее типичных зонах слушательских мест) просили музыкантов не просто ответить на вопрос "хороший или плохой звук", а ставили вопросы по взаимно противоположным признакам: "гулко-сухо", "светло-темно", "тепло-холодно", "громко-тихо", "мягко-жестко", "прозрачно-расплывчато", "объемно-безжизненно". Они получили 130 таких парных определений-признаков. При этом было установлено, что многие из этих пар содержат примерно одну и ту же информацию. Однако и после объединения близких по смыслу пар в группы осталось 19 парных признаков. Далее оценка производилась по оставшимся 19 парным признакам. Результаты прослушиваний показали, что парные признаки можно разбить на три группы, причем признаки каждой из этих групп сами по себе и независимо от двух других определяют качество звучания. Ниже перечисляются пары признаков и сопоставляются с объективными параметрами, которые можно измерять при помощи технических средств.

Исходя из результатов этого и подобных экспериментов, специалисты в области акустики попытались дать определения основных понятий, используемых в данной области. Хотя эти определения касаются лишь субъективных критериев, их авторы стремились к тому, чтобы в них просматривалась и физическая сущность явлений. Вот некоторые из этих критериев.

Акустика помещения. Совокупность свойств помещения, влияющих на качество звучания определенных видов программ.

Отзвук. Сохраняющийся после внезапного умолкания источника звукового сигнала и ослабевающий со временем звук, обусловленный последовательностью повторяющихся отражений и связанное с этим явлением постепенное стихание звукового сигнала.

Длительность отзвука
Время, в течение которого звук еще слышен. Надо отметить, что длительность отзвука зависит от времени реверберации (свойств помещения), начального уровня звукового сигнала, уровня помех, а также от порога слуха (индивидуальный параметр слуха) и, следовательно, от частоты сигнала.

Прозрачность.

Различимость

перекрывающихся друг

друга во времени тонов и одновременно звучащих инструментов, несмотря на налагающийся реверберационный отзвук помещения. Отметим, что временная граница для полезных с точки зрения прозрачности и пространственного впечатления первых отражений, с одной стороны, и отзвука помещения, определяющего его гулкость (сумма поздних отражений), с другой стороны, составляет около 80 мс.

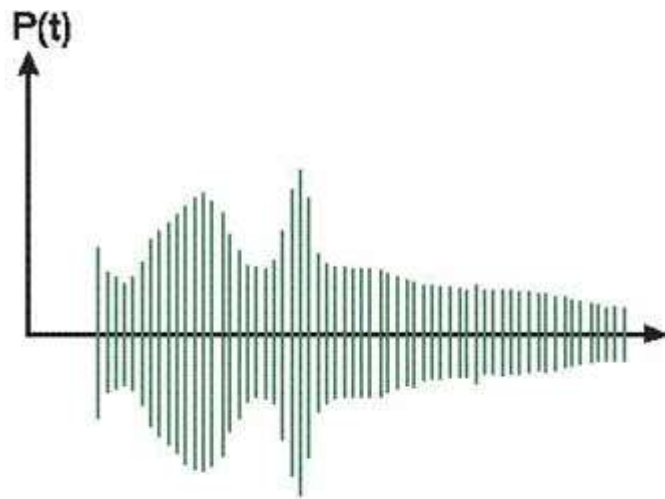
Пространственное впечатление. Слуховое восприятие, свойственное частично или полностью закрытому пространству. Пространственное впечатление складывается из ряда компонент:

- ощущения, что слушатель находится в одном помещении с источниками звука;
- известного представления о размерах помещения;
- улкости;
- пространственности.

Гулкость. Ощущение, что кроме прямого звука имеется и отраженный звук, воспринимаемый не как повторение сигнала. В больших помещениях гулкость зависит от отношения поздней энергии отзвука к ранней. К ранней относится энергия прямого звука и отражений, которые на речи приходят примерно за первые 50 мс, а на музыке - за 80 мс после прихода прямого звука. Надо отметить, что при использовании звукоусилительных систем гулкость оказывается значительно больше, чем при естественном звучании.

	Пары признаков	Объективные параметры
1-я группа	разборчиво- неразборчиво четко-нечетко рассеяно-локально	Индекс прозрачности C80
2-я группа	сочно-приглушенно назойливо-сдержанно гулко-сухо	Следует различать выигрыш по усилению E/E0 и индекс протстранственного впечатления R
3-я группа	светло-темно назойливо-сдержанно подчерунты высокие остро-тупо ярко-тускло жестко-мягко	Тембральная окраска звучания, частотная зависимость времени ревербрации

Пространственность. Ощущение, что источник сигнала в помещении имеет большие размеры по сравнению с его видимыми очертаниями. Пространственность зависит, с одной стороны, от уровня звука в месте расположения слушателя, а с другой - от отношения энергии отражений, приходящих с боковых направлений за 80 мс после прямого сигнала, к его энергии.



Эхо. Такие повторения звукового сигнала, при которых первичный и вторичный сигналы воспринимаются во времени, а в некоторых случаях и в пространстве, как самостоятельные слуховые объекты. Если повторение сигнала обусловлено отражениями, то для раздельного его восприятия необходимо время запаздывания около 50 мс, зависящее от вида

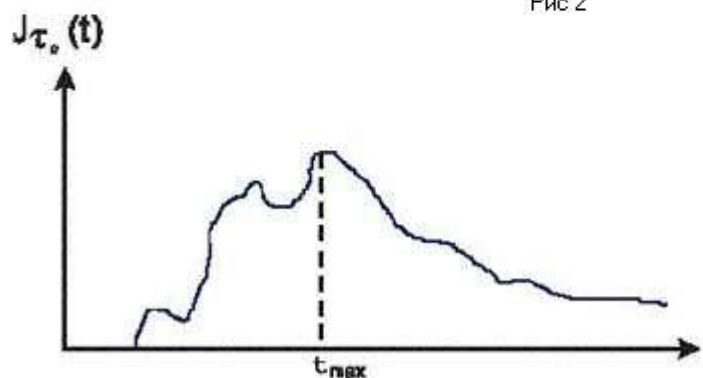


Рис 2

где J_{τ_0} средняя энергия сигнала за интервал интегрирования сигнала.

Многократное эхо. Периодическое повторение эхо-сигналов. Про многократное эхо говорят и в тех случаях, когда повторения сигнала следуют так быстро друг за другом, что уже не воспринимаются как отдельные сигналы.

Рассмотрим основные объективные параметры, определяющие качество звучания.

Уровень громкости LN. Этот объективный параметр является известным компромиссом в отношении субъективной оценки громкости. Он измеряется в фонах и определяется выражением

$LN = 20 \lg (pN / p_0)$, где:

pN - эффективное значение звукового давления синусоидального сигнала с частотой 1 кГц, который при фронтальном падении звуковой волны и прослушивании двумя ушами воспринимается как равногромкий с оцениваемым звуком;

p_0 - пороговое звуковое давление. $p_0 = 20 \text{ мкН/м}^2$. Субъективная оценка, таким образом, не исключается, но, тем не менее, значение LN можно найти, так как для синусоидальных тонов известны значения $pN(f)$, а, следовательно, и LN. Кривые равных уровней громкости в фонах для синусоидальных тонов приведены на рис.1.

Суммирование большого числа синусоидальных тонов, составляющих спектр реального сигнала, осуществляется суммированием громкостей в 24 критических полосах слуха.

Сама по себе громкость определяется только как субъективный параметр. Условно считается, что уровню громкости $L_N = 40$ фон соответствует громкость, равная 1 сон, а громкость N сон будет иметь место в том случае, если слушатель оценивает предъявляемый звуковой сигнал как в N раз более громкий. Такую оценку громкости N можно заменить следующим пересчетом уровня громкости:

$$L_N - 40 = 33 \lg N \text{ или } N = 2^{(L_N - 40)/10}$$

Из этих выражений видно, что уменьшение уровня громкости L_N , например, на 10 фон всегда соответствует снижению громкости N на 50%.

В технике звукоусиления первостепенный интерес представляет вопрос о том, какой громкости можно достигнуть с помощью канала звукоусиления. В этом случае речь идет не об абсолютных значениях, а о том, на сколько усиливается первоначальный звук, т.е. пользуются относительными величинами. С точки зрения громкости система звукоусиления увеличивает ее в равной степени во всех критических полосах. При таких предпосылках можно пользоваться законом суммирования энергий. Суть этого закона в том, что, оценивая излучения источников, излучающих сигналы с одним и тем же спектром, можно просто суммировать их энергии по частотным полосам. Для такой количественной оценки используется уровень звукового давления L . $L = 20 \lg p/p_0$, где:

p - звуковое давление произвольного сложного сигнала в дБ. При использовании в звукоусилительном комплексе n одинаковых акустических систем общий уровень звукового давления $L_{\text{общ}} = L + 10 \lg n$.

Следующим объективным параметром, определяющим качество звука, является время реверберации T .

Время реверберации определяется как время, за которое после отключения источника сигнала звук в зале, затухая, ослабнет в тысячу раз, т.е. на 60 дБ. Чем больше время реверберации, тем большего усиления прямого звука можно ожидать в результате влияния помещения. При этом не следует превышать некоторые предельные значения (для речи около 1,2 с, для музыки в пределах 2 с), так как в противном случае снижаются разборчивость речи и "прозрачность" музыки. Надо отметить, что само по себе время реверберации не может служить единственным критерием "хорошей акустики". Между прямым звуком и сигналом завершающего участка реверберационного процесса располагаются ранние отражения. Значение этих отражений также является объективным параметром, определяющим качество звука. Их интенсивность, направление и время прихода определяют "плохие" и "хорошие" места в зале и зависят от расположения, формы и отделки отражающих элементов стен и потолков, с которыми такие отражения взаимодействуют до прихода к слушателям. Для исследования этих отражений во всем мире применяют методы импульсного возбуждения. В нескольких точках сцены, где располагаются источники звука, создается оптимальный по амплитуде и минимальный по времени звуковой импульс (щелчок), а в интересующих зонах помещения наблюдают на осциллографе приходящие отражения. Таким образом получают осциллограммы, называемые рефлектограммами (рис2).

Системы звукоусиления дают большие возможности улучшения рефлектограмм помещений, так как они позволяют заполнить запаздывающими повторениями сигнала интервалы времени, в пределах которых отсутствуют естественные (акустические) отражения. Следует различать ранние и поздние отражения. Граница между ними лежит вблизи 50 мс для речи и 80 мс для музыки (время отсчитывается от момента прихода

прямого звука). Ранние отражения повышают разборчивость и прозрачность, поздние - пространственное впечатление. Боковые отражения, приходящие в интервале времени от 25 до 80 мс, могут одновременно повышать как прозрачность, так и пространственное впечатление.

Следующим объективным параметром, определяющим прозрачность звучания музыки, является индекс прозрачности C_{80} . Не вдаваясь в методику точного расчета индекса прозрачности, хочу лишь отметить, что, используя системы звукоусиления, необходимо поднимать уровень ранних отражений настолько, чтобы по всему залу значение C_{80} не падало ниже 0 dB. Для повышения пространственного впечатления можно допустить снижение C_{80} в отдельных зонах до -3 dB. Эксперты Рэйчард, Уилкенс и Готтлоб пришли к мнению, что не существует одного-единственного оптимального значения для параметра, характеризующего прозрачность звучания. Ими было определено, что среди посетителей концертов можно выделить две примерно равные по численности группы людей, различающиеся художественно-вкусовыми предпочтениями. Одна группа предпочитает прозрачность пространственному впечатлению, для другой важнее всего полнота звучания. Представители первой группы останавливают свой выбор на местах с $C_{80} > 0$ dB, а представители другой считают звучание высококачественным на местах, для которых $C_{80} < 0$ dB. Вполне очевидно, что при оценке качества звучания музыки важную роль играет пространственное впечатление. Пространственное впечатление основывается на сознательном различении отраженного и прямого звуковых сигналов (к прямому звуку мы неосознанно относим и ранние отражения). Методика объективной оценки пространственного впечатления была разработана Леманном. Им был предложен индекс пространственного впечатления R . Он определен таким образом, что должно выполняться условие $R > 0$ dB. В качестве оптимальных Леманн рекомендует значения R в пределах 2-6 dB.

При оценке влияния помещения на тембральную окраску звучания прибегают к измерению частотной зависимости времени реверберации $T(f)$. Применение систем звукоусиления (без использования приборов искусственной реверберации) не изменяет частотной характеристики времени реверберации. Система звукоусиления может изменить окраску звучания, если ее частотная характеристика отличается от горизонтальной прямой, но частотная зависимость времени реверберации не изменится. Поэтому система звукоусиления должна быть настроена так, чтобы ее частотные параметры были наилучшим образом согласованы с вносимым помещением тембральным окрашиванием. Частотную коррекцию звукоусилительного тракта мы подробно рассмотрим в одной из следующих статей.

Подводя итог, можно сделать вывод, что общее качество звучания формируется следующими признаками:

- уровнем громкости;
- разборчивостью или прозрачностью;
- пространственным впечатлением;
- тембральной окраской.

Вряд ли можно найти такие весовые коэффициенты, на которые можно было бы умножать объективные параметры, чтобы получить некоторый совокупный параметр, характеризующий качество звучания. Ясно одно - значения этих параметров не должны

выходить за пределы определенной области и влияние каждого из названных параметров становится решающим, если его значение лежит вне пределов оптимальной области. Именно для коррекции этих параметров и предназначены системы звукоусиления.

Мощность

Станислав Баранов

Среди множества технических параметров и характеристик современных акустических систем (АС) и усилителей мощности наиболее значимым и спорным из основных параметров является мощность. В документации на различные АС, можно встретить большое число видов мощности. Так, в старых ГОСТах определяются, кроме прочих, номинальная, паспортная мощность, а в ГОСТах поновее (которые весьма похожи на стандарты IEC) - характеристическая, шумовая, максимальная синусоидальная, долговременная, кратковременная, музыкальная. Само существование такого количества видов и методов измерения мощности проистекает из трудности ее нормирования, когда дело касается звука. Главная задача, которая ставится на протяжении десятков лет - это создание высокоэффективных систем, таких, чтобы "волки были сыты" (усилители отдавали максимальную мощность) и "овцы" (акустические системы) целы.



Рис. 1

В данной статье, помимо описания методов тестирования, делается попытка связать между собой различные виды мощности, и даются рекомендации по согласованию АС и усилителей звуковой мощности.

"Пиковая", "мгновенная", "музыкальная" и "программная" мощности

Все эти понятия, так или иначе, связывают временную природу реального звукового сигнала и электрическую мощность, необходимую для ее воспроизведения. Действительно, если 150-ваттная лампочка представляет собой постоянную нагрузку для электрической сети, то от 150-ваттного усилителя лишь изредка требуется выдать все его

150 Ватт в акустическую систему. Рис. 1 иллюстрирует временную природу музыки и мощность, требующуюся для ее воспроизведения.

Заметим, что большую часть времени мощность, необходимая для воспроизведения этого аудиосигнала, весьма мала, и только короткие пики задействуют систему на полную мощность.

Пиковая мощность определяется как максимальная мощность, необходимая для воспроизведения определенного аудиосигнала.

Средняя мощность - это усредненная мощность для данного временного интервала.

Требования к пиковой и средней мощности могут значительно меняться в зависимости от характера исходного звукового сигнала.

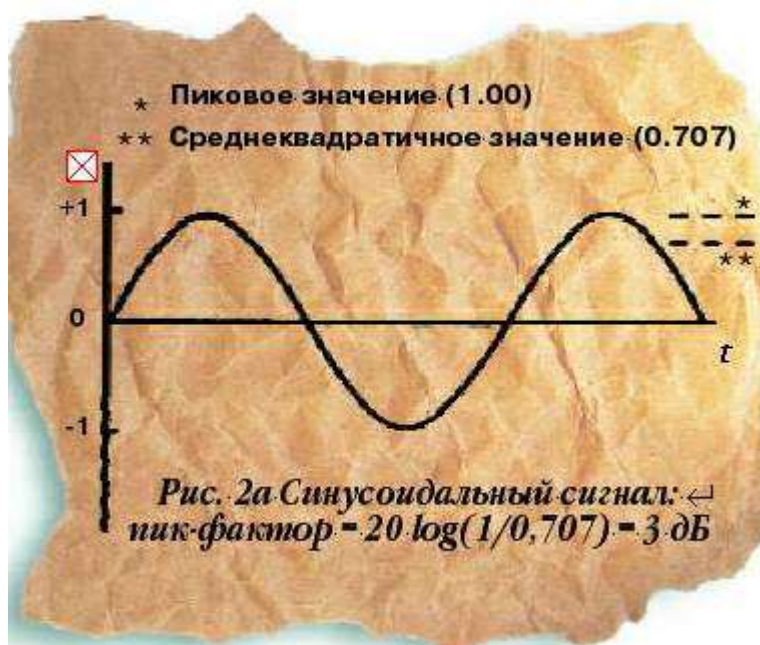
Отношение пиковой мощности к средней называется пик-фактором (измеряется в дБ).

Для сигнала, показанного на рис. 1, пик-фактор составляет 25 дБ, что является типичным для классической музыки. Для музыки рок и диско пик-фактор обычно находится в пределах 8-10 дБ, для речи 10-12 дБ.

Рис. 2 демонстрирует пик-фактор различных аудиосигналов.

Мгновенная мощность отражает значение очень кратковременного потребления мощности и ассоциируется с мощностью, которая может потребоваться для воспроизведения аудиосигнала малой продолжительности.

Такие термины, как музыкальная и программная мощности, не определяются достаточно строго, но, по существу, могут рассматриваться как разновидности средней мощности.

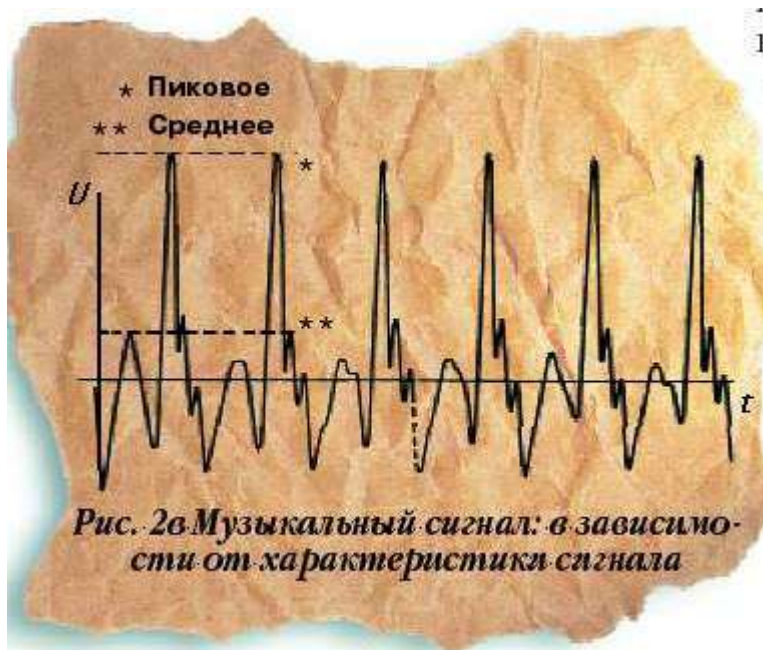


I. Нормирование мощности усилителей

Основной метод нормирования мощности

Во времена ламповых усилителей нормирование осуществлялось весьма просто. Измерялась средняя мощность при синусоидальном сигнале на номинальной нагрузке при допустимом уровне искажений. При наличии отводов с вторичной обмотки выходного трансформатора, согласование с любым импедансом акустических систем не представляло проблем.

Хотя импеданс АС не бывает точно равен указанному в характеристиках значению 4, 8 или 16 Ом, это не принималось во внимание, так как ламповые усилители достаточно устойчивы к колебаниям импеданса нагрузки.

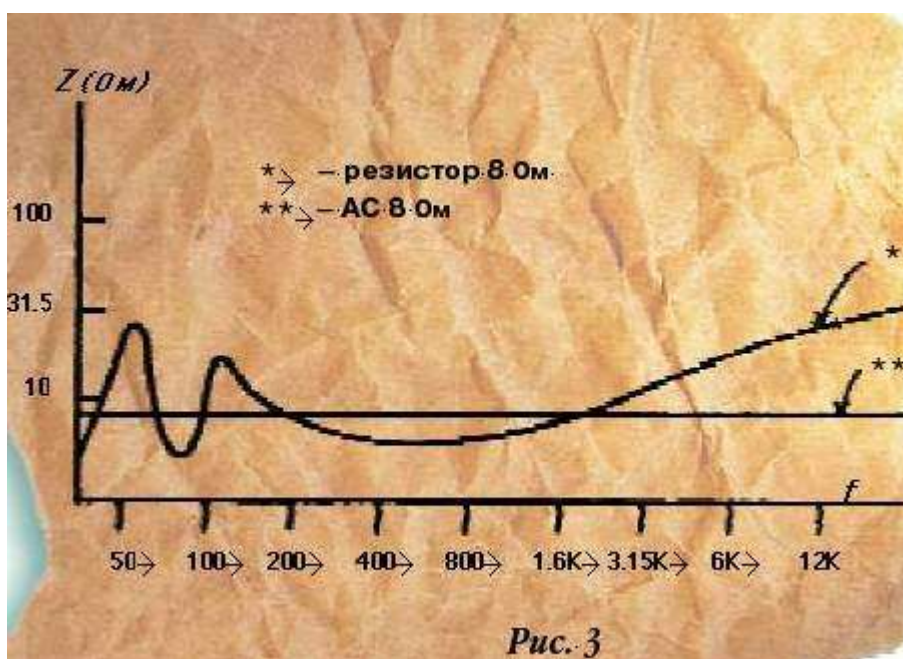


Таким образом, использование 8-омной АС, нормированной как 50-ваттной с 8-омным выходом 50-ваттного усилителя гарантировало их надежную работу в определенном диапазоне частот.

Максимальная амплитуда напряжения при минимальном импедансе

С появлением транзисторных усилителей проблема нормирования мощности усложнилась. Эти усилители не имеют, как правило, выходных трансформаторов, и поэтому, не всегда могут быть оптимально согласованы с АС.

Максимальная амплитуда выходного напряжения транзисторных усилителей ограничена напряжениями его источника питания и, поэтому, им свойственны "жесткие" (сильно заметные на слух - в отличие от ламповых) искажения. Кроме того, даже самое кратковременное превышение допустимого предела выходного тока выводит оконечные каскады усилителя из строя. Работа усилителя на комплексную нагрузку, каковой является АС (рис. 3), может вызвать достижение максимального тока раньше, чем при работе на активный эквивалент, так как импеданс АС значительно меняется в зависимости от частоты.



Работа АС в реальной ситуации может быть еще более сложной. Исследования показывают, что при некоторых специфических переходных условиях, АС может вести себя как динамическая нагрузка. То есть это дополнительная реактивность, проявляющаяся, как правило, в мощных низкочастотных акустических системах, и обусловленная движением массы воздуха в АС при больших уровнях мощности. Динамический импеданс может достичь половины минимального для постоянного сигнала. Так, например, при работе 8-омной АС с минимальным импедансом 6,2 Ом мгновенная динамическая нагрузка может составить 3,1 Ом!

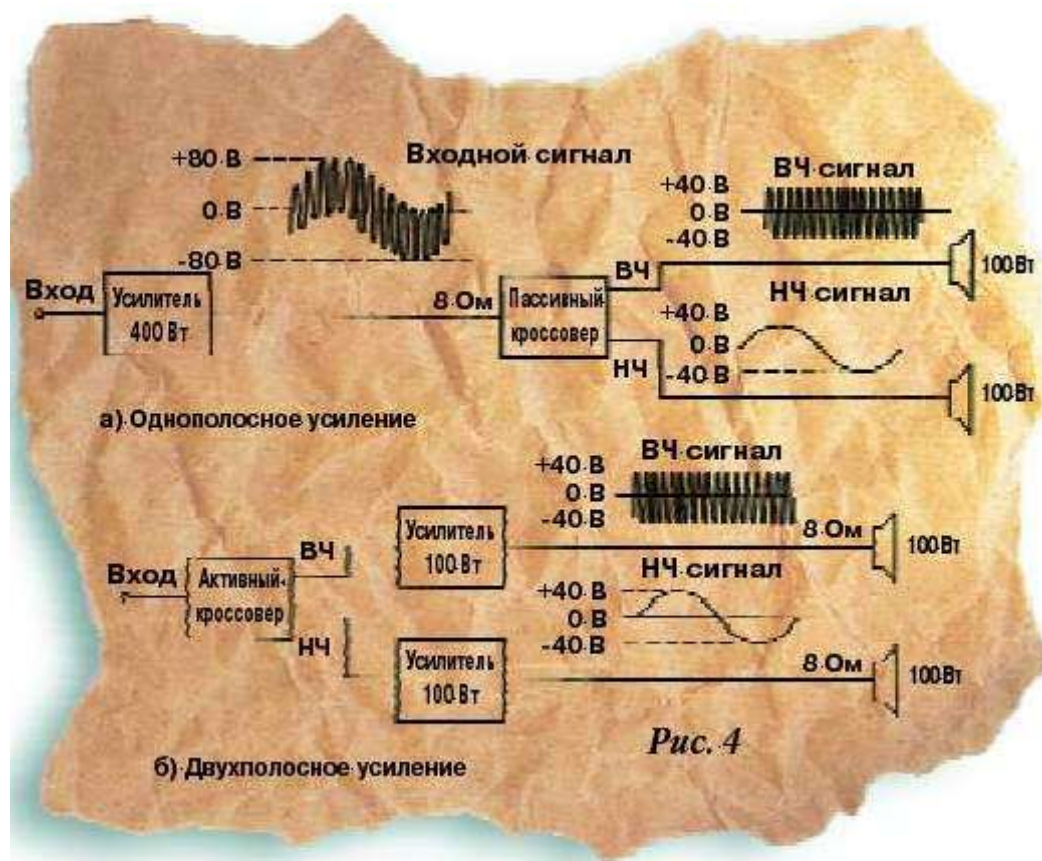


Рис. 4

Искажения усилителей

Во многих случаях нельзя быть уверенным, что усилитель будет работать только на таких уровнях сигнала, когда искажения малы, поэтому важно знать, как будет себя вести усилитель при кратковременных перегрузках, и насколько они заметны на слух. Некоторые виды речевого или музыкального сигналов скорее вводят усилитель в режим слышимой перегрузки, некоторые - нет. Ключевым здесь является пик-фактор.

Легко рассчитать систему звукоусиления (усилитель + АС), в которой усилители никогда не будут доведены до заметных искажений, но мощность и, соответственно, стоимость такой системы могут оказаться весьма велики. Представим, что для разрабатываемой системы 50-ваттный усилитель мог бы обеспечить требуемый уровень средней мощности. Задавшись пик-фактором 10 дБ, получаем необходимую пиковую мощность системы 500 Вт. Для работы с сигналом при пик-факторе 12 дБ потребовалась бы система мощностью 800 Вт!

Очевидно, здесь нужен определенный компромисс. Вот некоторые способы решения этой проблемы:

1. Сжатие динамического диапазона (компрессирование) позволяет уменьшить пик-фактор на 3-5 дБ без "заметности" на слух.
2. Двух- и более полосное усиление снижает пик-фактор каждой полосы усиления, как показано на рис 4.
3. Использование усилителей, схемы которых предотвращают "жесткое" ограничение сигнала.

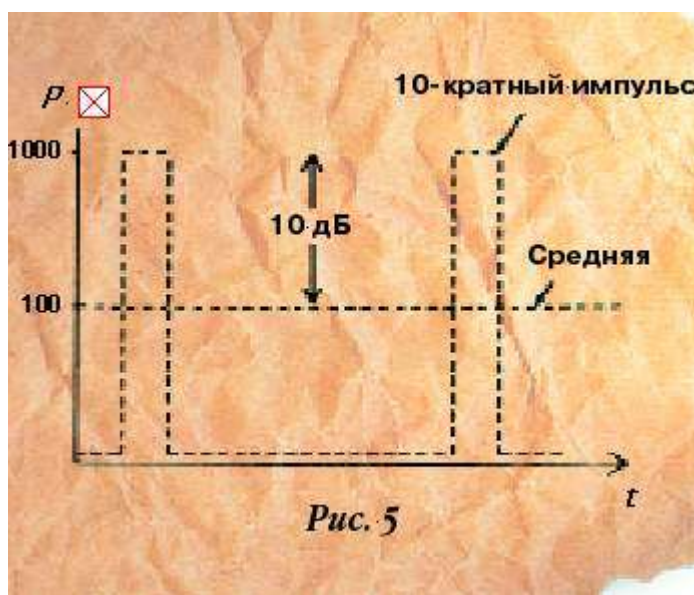
II. Нормирование мощности громкоговорителей

Есть две основные причины, по которым громкоговоритель может быть выведен из строя. Во-первых, элементы его конструкции могут разрушиться в результате перегрева и, во-вторых, механическая система может приобрести необратимую деформацию в результате чрезмерно большого хода подвижной системы. Сами по себе эти причины независимы, но при некоторых обстоятельствах могут отягощать одна другую.

Термические пределы

При продолжительной работе элементы конструкции громкоговорителя нагреваются до некоторой температуры и останавливаются на ней, если количество выделяемого тепла равно количеству отводимого, то есть имеет место термодинамическое равновесие.

Звуковая катушка - основной источник нагрева. При нормальных условиях эксплуатации катушка может выдержать повышение температуры до пределов, обусловленных свойствами материалов и компонентов ее конструкции. Некоторые современные громкоговорители допускают нагрев звуковой катушки до 200°C. При нагреве активное сопротивление обмотки катушки увеличивается, ток через катушку уменьшается и мощность, соответственно падает. Это называется "эффект термической компрессии мощности" (измеряется в дБ).

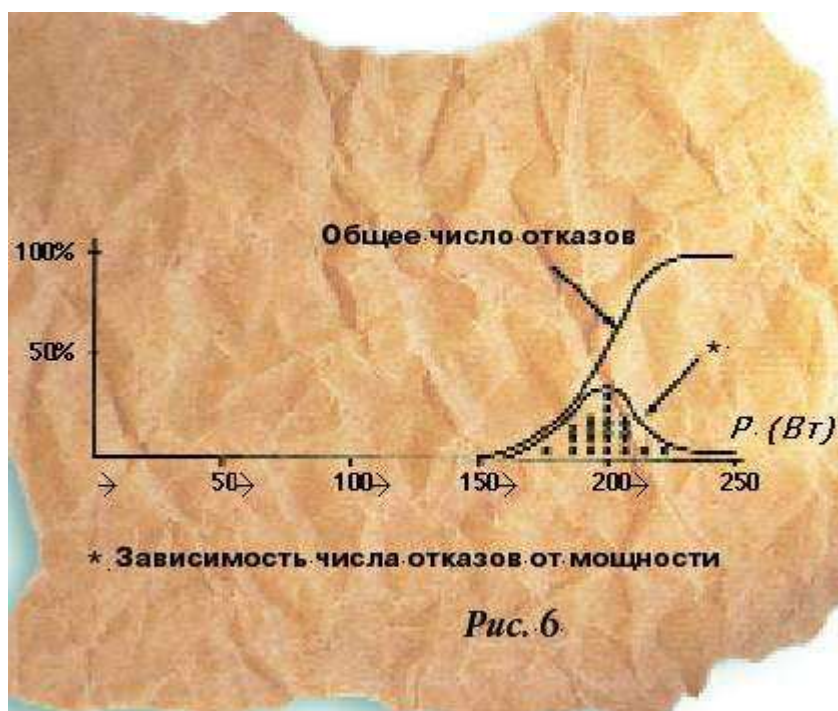


Так как температура звуковой катушки громкоговорителя не возрастает мгновенно, значения пиковой мощности могут значительно превосходить нормы мощности продолжительной. Многие АС способны выдержать импульсы мощности 10 дБ (в 10 раз) при скважности импульсов, равной 10, если, конечно, эти импульсы достаточно кратковременны. (Рис.5)

Термические пределы мощности каждой модели громкоговорителя определяются статистически. Мощность, подаваемая на испытательные образцы, наращивается пошагово с промежутками времени, достаточными для установления термодинамического равновесия. В качестве тест-сигнала используется розовый шум со спектром, исключающим механические повреждения громкоговорителей. Таким спектром является розовый шум в рекомендованном диапазоне частот. Мощность контролируется по

среднеквадратичным индикаторам тока и напряжения, а тест продолжается до тех пор, пока все образцы не выйдут из строя. Очевидно, что не все громкоговорители испытываемой серии выйдут из строя при одной и той же мощности, и этот тест, при достаточно большом числе испытываемых образцов, показывает нормальное распределение отказов. (Рис. 6)

Если, например, большинство громкоговорителей вышло из строя при мощности 200 Вт, можно ли нормировать их как 200-ваттные? Предполагая использование громкоговорителей в самых разных сферах, производитель может нормировать эту модель как 175-ваттную. Такая честная, но консервативная оценка своей продукции важна для производителя, стремящегося поддерживать свою репутацию. С другой стороны такая оценка проигрышна, исходя из соотношения мощность/цена.

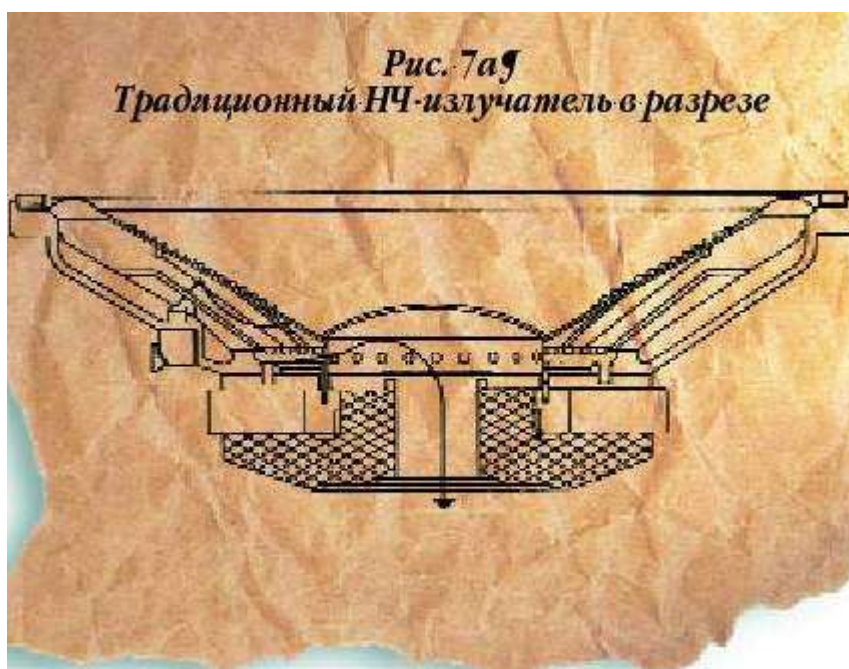


Факторы, определяющие термические пределы

Здесь есть два ключевых момента: материалы должны выдерживать как можно более высокие температуры, и тепло должно отводиться как можно более эффективно. Поиск высокотемпературных материалов и компонентов продолжается, эффективность отвода тепла остается главной инженерной задачей при производстве громкоговорителей.

Известно множество факторов, способствующих более эффективному отводу тепла от звуковой катушки. Основной - увеличение диаметра катушки. Это делает поверхность катушки больше, что позволяет поместить больше провода на катушку.

Ряд фирм-производителей имеет собственные патенты на конструкции НЧ-громкоговорителей, которые обеспечивают самовентиляцию катушки при рабочем движении подвижной системы. (Рис. 7)



Когда применяются термические нормы

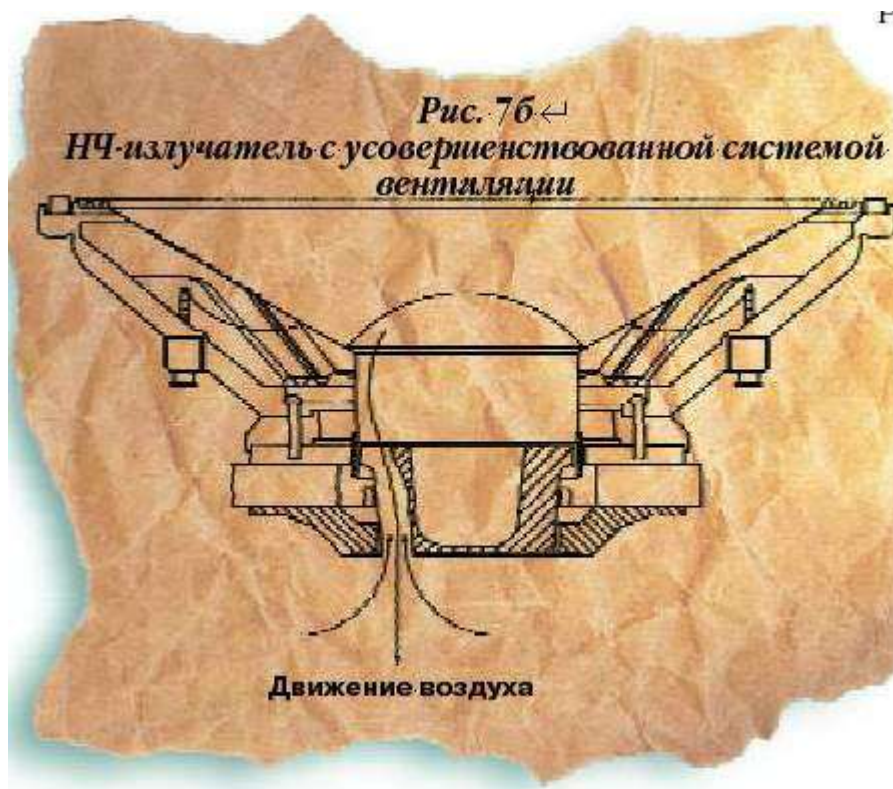
Эксплуатировать громкоговоритель по термическим нормам можно в том случае, когда есть уверенность, что ход подвижной системы находится в линейных пределах.

Для НЧ-громкоговорителей это означает, что акустическое оформление обеспечивает надлежащую акустическую нагрузку, и подавлены частоты ниже резонансной частоты корпуса акустической системы, либо ниже частоты среза рупорной системы.

Рабочий диапазон частот СЧ- и ВЧ-громкоговорителей сам по себе обеспечивает достаточно малый ход подвижной системы и, тем самым, достаточную линейность.

Необходимо отметить, что, для предотвращения большого хода подвижной системы на НЧ-сигнале разделительные фильтры для СЧ и ВЧ громкоговорителей должны иметь достаточную крутизну спада (для качественных АС не менее 12 дБ/окт). Иногда параллельно СЧ-

и ВЧ-громкоговорителям включают резистор, с сопротивлением примерно в три раза большим номинального импеданса громкоговорителя. Это шунтирует реактивные компоненты импеданса, что дополнительно защищает громкоговоритель на частотах ниже рабочего диапазона.



Нормы мощности, обусловленные максимально допустимым ходом подвижной системы

При постоянном напряжении подаваемого синусоидального сигнала амплитуда хода подвижной системы громкоговорителя обратно пропорциональна частоте сигнала. При снижении частоты сигнала до точки основного резонанса подвижной системы амплитуда хода достигает предела и при дальнейшем снижении частоты остается постоянной, а нелинейность хода - увеличивается.

Если громкоговоритель акустически не нагружен, ход подвижной системы на частотах в области резонанса может быть весьма велик. Если подаваемая мощность при этом близка к термической норме, громкоговоритель может выйти из строя в результате необратимой деформации подвески, и может начаться трение звуковой катушки об элементы конструкции магнитной системы. (Рис. 8)

Но задолго до того, как ход подвижной системы достигнет опасной величины, искажения, обусловленные нелинейностью, уже будут весьма большими.

В индустрии профессионального звука отклонение от линейности при движении подвижной системы более чем на 10% определено как верхний предел, приемлемый для АС.

Есть несколько способов тестирования громкоговорителей по этому критерию. Один из них заключается в измерении тока, проходящего через катушку, при синусоидальном сигнале и наблюдении за максимальным ходом подвижной системы, при котором искажения достигнут 10%. Этот метод используется в стандарте AES.

Есть другой способ, более сложный, но и более точно отражающий работу громкоговорителя в реальных условиях. НЧ-громкоговоритель монтируют на твердой поверхности достаточно большой площади. Измерительный микрофон устанавливается на расстоянии 1 м. Измеряются уровни звукового давления (Sound Pressure Level - SPL) основного тона, 2-й и 3-й гармоники. (Рис. 10)

По результатам строится график, как показано на рис. 10.

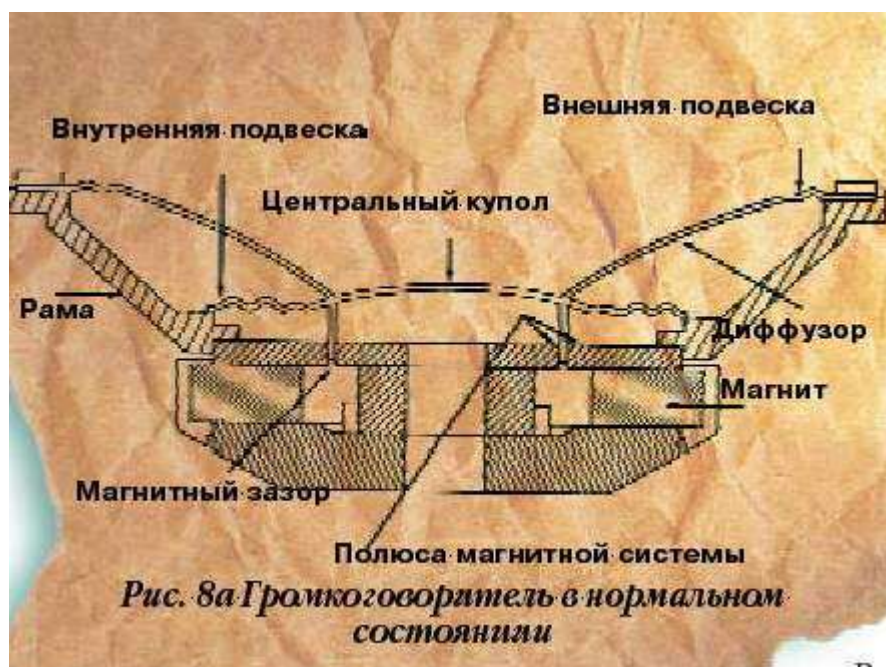
В точке пересечения кривых искажения (здесь 2-я гармоника) на 20 дБ меньше основного тона. Это значит, что нелинейность достигла 10%, и величина хода может быть вычислена по формуле:

$$X_{\max} = (1,18 \times 10^3) \times 10^{\text{spl}/20} / f_0 \times a^2$$

где: SPL - уровень звукового давления, при котором коэффициент гармоник равен 10%;

f_0 - частота, при которой коэффициент гармоник равен 10%

a - радиус диффузора в мм.



Вычисления производятся как по 2, так и по 3 гармонике. Из двух зол выбирается худшее (где ход при коэффициенте гармоник равном 10% меньше).

Влияние конструкции АС на величину хода подвижной системы громкоговорителей

Акустические свойства АС существенно влияют на максимальный ход подвижной системы. Оптимальное сочетание параметров громкоговорителя и его акустического оформления позволяет минимизировать ход в диапазоне октавы выше частоты резонанса корпуса акустической системы или частоты среза рупорной АС. Ниже этих частот громкоговоритель акустически не нагружен и, для предотвращения слишком большого хода, необходимо обеспечить достаточный "завал" частотной характеристики.



В последние годы появились прогрессивные разработки, в которых нелинейность подвижной системы компенсируется нелинейностью электромагнитного поля, которая достигается частичным выдвиганием звуковой катушки из зазора магнитной системы. В результате взаимной компенсации этих нелинейностей удастся достичь большего хода в линейных пределах.

Остановимся на некоторых стандартах и методах тестирования.

Метод тестирования AES

Audio Engineering Society предлагает следующий метод тестирования громкоговорителей: испытательный сигнал представляет собой розовый шум с шириной спектра в одну декаду и нижней частотой, равной рекомендуемой производителем для данного громкоговорителя. Пик-фактор сигнала устанавливается равным 6 дБ. Это означает, что мгновенная мощность в четыре раза превосходит среднюю. Этот тест позволяет сравнивать громкоговорители разных производителей, хотя он не отражает влияние акустического оформления.

Метод тестирования ИЕС

Громкоговоритель может выйти из строя, как в результате перегрева звуковой катушки, так и из-за чрезмерного хода подвижной системы на низких частотах. Необходим метод тестирования по обоим этим критериям, применительно к реальным условиям эксплуатации АС.

Очевидно, что для нормирования широкополосных АС тест ИЕС наиболее адекватен реальным условиям эксплуатации.

Для НЧ-громкоговорителей и низкочастотных акустических систем (субвуферов), напротив, наиболее приемлемым является тест AES, так как он производится применительно к рабочему диапазону частот конкретной модели.

Для СЧ- и ВЧ-громкоговорителей также применяется тест AES. Мощность вычисляется, исходя из минимального импеданса громкоговорителя в его рабочем диапазоне частот. Норма мощности определяется, как программная продолжительная, на 3 дБ больше AES. Это объясняется тем, что СЧ- и ВЧ-громкоговорители работают в сравнительно узком диапазоне частот, и аудиосигнал в этом диапазоне имеет небольшой пик-фактор.

Некоторые производители отражают в характеристиках зависимость нормы мощности от нижней рабочей частоты громкоговорителя, то есть от максимального хода подвижной системы.

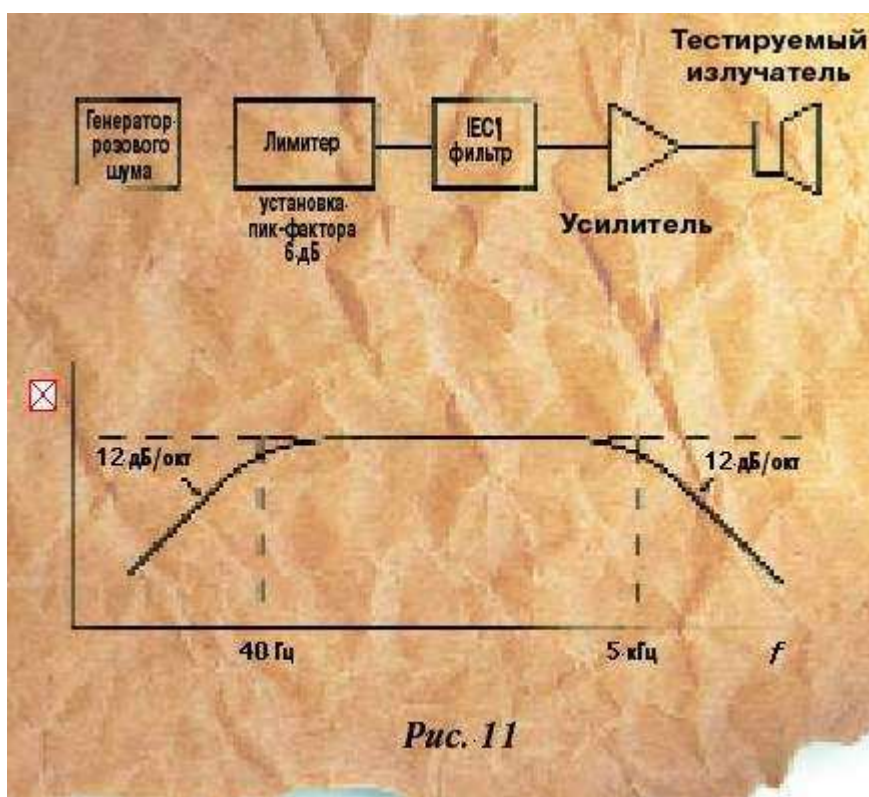
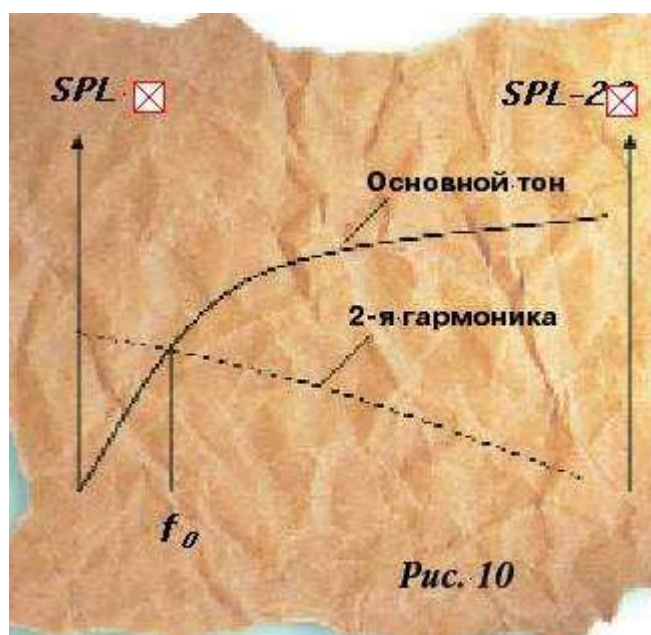
Например, для среднечастотного драйвера может быть указано:

70 Вт - программная продолжительная выше 800 Гц;

100 Вт - программная продолжительная выше 1200 Гц.

Выбор мощности усилителя для АС

В этом вопросе рекомендуется все условия эксплуатации АС разделить на три категории:



1. Когда уровень подаваемого сигнала внимательно контролируется, АС может работать с усилителем, мощность которого в два раза превышает норму ИЕС для АС. Современная музыкальная продукция зачастую имеет большой пик-фактор. Пики мощности, обычно,

настолько кратковременны, что не успевают причинить вред АС. Между тем, дополнительные 3 дБ мощности системы позволяют улучшить ее общие показатели.

Характерные примеры - система студийных мониторов или бытовая Hi-Fi система.

2. Если система предназначена для "тяжелых" длительных циклов работы, в процессе которой возможны частые и продолжительные перегрузки, то мощность усилителя выбирается равной норме IEC. Это наиболее распространенный случай.

Типичный пример - концертная звуковая система, где возможны самовозбуждение микрофонов, внезапные скачки громкости, коммутационные щелчки и т.д. К этой категории относятся также системы для дискотеки и другие, в которых затруднен постоянный контроль уровня сигнала.

3. В системах, в которых перегрузка является музыкальным требованием, мощность усилителя выбирается равной половине нормы IEC. Действительно, мощность сильно перегруженного усилителя может в два раза превысить номинальную (пик-фактор сигнала типа "меандр" равен 0 дБ, синусоидального 3 дБ). Таким образом, выбор "скромного" по мощности усилителя гарантирует надежную работу системы.

Пример - гитарный комбо, где перегрузка усилителя придает необходимую окраску звучанию инструмента.

Соотношения между нормами мощности

В характеристиках АС разных производителей можно встретить такие виды мощности, как программная (продолжительная), номинальная (рекомендуемая), максимальная, синусоидальная, среднеквадратичная (RMS). В приводимых ниже соотношениях сделана попытка их сопоставления, хотя эти соотношения не могут являться строгими, так как сами методы тестирования различны.

Из характеристик испытательного сигнала теста AES или IEC следует, что максимальная мощность может быть принята на 6 дБ (в четыре раза) больше, чем средняя (продолжительная шумовая).

Программная продолжительная бывает или равна, или на 3 дБ (в два раза) больше норм AES или IEC в зависимости от предназначения АС. Иногда выбор программной нормы в два раза больше, чем нормы AES или IEC, может предполагать использование лимитера для предотвращения перегрузок, но иногда - это лишь желание производителя представить свою продукцию более мощной, чем она в действительности является.

Номинальную, среднеквадратичную (RMS) и синусоидальную нормы мощности можно "условно-примерно" считать в два раза больше нормы AES или IEC.

Следует отметить, что, как правило, производитель, желающий иметь солидную репутацию, указывает в характеристиках и вид мощности, и стандарт измерения, или описывает сам метод тестирования.

ДАТ-магнитофоны "под микроскопом"

Лев Орлов, Андрей Степанов

Одним из самых распространенных современных устройств записи звука является DAT-магнитофон, или Digital Audio Tape recorder.

Более правильно называть эти аппараты R-DAT (DAT с вращающимися головками), но теперь вместо R-DAT говорят просто - DAT.

Благодарить за появление на свет DAT мы должны фирму Sony. Еще одним результатом разработки стало появление в звуковой индустрии формата передачи цифровых данных Sony/Philips Digital Interface Format, или S/PDIF.

DAT-магнитофоны задумывались, как альтернатива аналоговым магнитофонам для широкой публики, но в этом качестве не получили распространения. Зато были оценены профессионалами - за компактность, высокое качество звучания, удобные функции управления и возможность редактирования уже записанного материала.

Необходимость коммутации с другим оборудованием - это первое, с чем сталкиваются пользователи DAT-магнитофонов, как, впрочем, и другой звуковой техники. Существует два основных типа сигнала, которые приходится "переправлять" из одного устройства в другое - аналоговый и цифровой.

Цифровая и аналоговая коммутация

Как известно, прежде чем запустить в производство некое устройство, его механические, электрические, электронные и все остальные параметры тщательно рассчитываются. Характеристики сигналов, способы их передачи и соответствующие разъемы жестко стандартизованы.

Начнем с цифровых интерфейсов.

Формат S/PDIF определяет организацию потока цифровой информации - это как бы язык. Для коммутации оборудования, отвечающего этому формату, существует три метода, как бы алфавиты: AES/EBU, коаксиальный S/PDIF и оптический TosLink, которые, в зависимости от сложности и цены DAT-магнитофона, могут встретиться в разных комбинациях.

Кроме собственно оцифрованного звука, в поток цифровых данных входят т.н. "субкоды", предназначение которых - перенести вместе со звуком на другое устройство соответствующую служебную информацию о том, на какой частоте он был оцифрован, каким способом (профессиональным AES/EBU или "бытовым" коаксиальным) передается цифровой поток. Также данные субкодов содержат номера программ и "счетчик времени" (временной код), привязанный к звуковым данным.

Среди упомянутых способов передачи данных различаются две основные категории - электрический и оптический. В первом случае сигнал "передают" электроны, движущиеся по металлическому проводу, во втором - кванты света, проходящие по пластиковой или стеклянной трубке.

Все перечисленные выше интерфейсы предназначены для передачи одинакового сигнала формата S/PDIF, но разными способами. Профессиональные организации AES (Общество аудиоинженеров) и EBU (Европейское союз вещателей) приспособили формат S/PDIF под свои нужды, внося очень небольшие корректировки.

Бытовой стандарт предусматривает электрическое соединение, использующее коаксиальные разъемы RCA-Cinch ("тюльпан"), широко распространенные в бытовой аудиотехнике. Именно под этими разъемами на DAT-магнитофонах стоит надпись S/PDIF. Существует вариация - разъем BNC, но, несмотря на то, что он и механически и электрически лучше RCA, его редко используют.

Для профессиональной коммутации звукового оборудования используется т.н. симметричное соединение на 3-контактных разъемах XLR, один контакт которого земля, а по второму и третьему передаются идентичные, но развернутые друг относительно друга на 180° по фазе сигналы, в случае цифрового оборудования - формата S/PDIF. При этом помехи, которые сигнал "цепляет" при прохождении по кабелю, напротив, идентичны по фазе в обоих проводниках. Во входном каскаде принимающего устройства разность между сигналами удаляется. Этот метод, который называется "подавление синфазной помехи", очень эффективен и поэтому принят в качестве профессионального стандарта для передачи как аналогового, так и цифрового сигналов. Кроме того, для передачи цифрового сигнала по методу, принятому для профессиональных устройств (AES/EBU, разъемы XLR), разница напряжения между землей и проводником составляет 5 В, в отличие от 0,5 В для метода передачи, используемого в бытовой технике (S/PDIF, разъемы RCA). Собственно, этими "мелочами" и отличаются профессиональный и бытовой цифровые форматы. Наличие хотя бы одного приспособления для электрической передачи цифрового сигнала является обязательным по спецификации DAT.

Оптический интерфейс - не роскошь, а еще один способ передачи сигнала. TosLink - это недорогой оптический интерфейс, который производители первоначально внедрили в свои изделия как альтернативу коаксиальному. Во-первых, себестоимость изготовления оптических разъемов и световодов ниже, чем металлических. Во-вторых, так как сигнал передается в виде светового потока, TosLink не создает интерференции, в отличие от излучающего радиочастотный шум электрического цифрового сигнала, проходящего по металлическому шнуру и способного помешать радио или телепередаче. (Надо заметить, что устройство, не отвечающее жестким стандартам по интерференции, на Западе вообще не будет допущено к производству). TosLink используют многие производители профессиональной звуковой техники - Akai в своих семплерах, Alesis в ADAT'ax, а Sony применяет их даже в массовых бытовых CD-проигрывателях и минидисках.

Основной проблемой, явно ухудшающей качество звучания при электрическом соединении цифровых устройств между собой, является несоответствие импедансов источника, коммутационных кабелей и принимающего устройства, в результате которого внутри кабеля возникают отражения, смешивающиеся с полезным сигналом и порождающие слышимые искажения.

Для коммутации DAT-магнитофонов с аналоговым звуковым оборудованием используются два типа разъемов, идентичных цифровым - RCA для несимметричного и XLR для симметричного сигналов.

Установка уровня сигнала

Необходимость установить уровень сигнала - это второе, с чем сталкивается пользователь DAT-магнитофона, и от того, как он умеет это делать, зависит не только качество мастер-записи, но, бывает, и вся дальнейшая судьба проекта.

Уровень записи, как известно, отстраивается по индикаторам, которые в DAT-магнитофонах расположены на многофункциональном дисплее, занимающем порядочно

места на передней панели. Казалось бы, ничего сложного - те же привычные ручки уровня записи, иногда отдельные, иногда одна общая для обоих каналов, регуляторы чувствительности по входу и индикаторы. Но, по сравнению с аналоговыми, при установке уровня записи на цифровых магнитофонах требуется несколько иной подход. Между аналоговым и цифровым оборудованием имеются существенные различия как в динамическом диапазоне (у цифрового оборудования он больше), так и в количестве и качестве возникающих при перегрузке слышимых искажений.

Кто хоть раз писал на аналоговую магнитную ленту, знает, что ее можно перегрузить, не испортив при этом звучания. Соотношение сигнал/шум для аналоговой ленты вычисляется относительно максимального уровня сигнала определенной частоты, при записи которого возникает определенный процент гармонических искажений (THD). Обычно это уровень, при котором в сигнале частотой 1000 Гц коэффициент THD не превышает 3%. На практике же сигнал в пиках может превысить расчетный уровень на 5, 10 или даже 15 дБ. Этот "довесок" называется "запас по перегрузке" (headroom). Такая аналоговая фонограмма более динамично передает детали музыкального материала, что представляется особенно ценным.

Цифровые магнитофоны ведут себя совершенно по-другому. Они необратимо искажают сигнал, выходящий за пределы допустимого по перегрузке для аналого-цифрового преобразователя - звук хрипит и скрежещет (см. рис. 1).

Как, по сравнению с аналоговой записью, выглядят искажения цифровых систем, показано на рис.2.

Кроме того, если входной сигнал постоянно удерживается на достаточно высоком уровне, то из-за экстремальных условий работы аналого-цифровые преобразователи (например, старых АДАТ-ов) порождают собственные побочные эффекты (пощелкивания), в результате которых запись можно выбрасывать на помойку. Эти недостатки породили у звукорежиссеров "профессиональную болезнь", существенно влияющую на качество цифровых записей -

паническую боязнь перегрузить входные каскады аналого-цифровых преобразователей. Пользователи вынуждены ориентироваться исключительно на безынерционные пиковые индикаторы уровня сигнала, чтобы не превысить уровень 0 дБ(fs). Страхуясь от перегрузки, на каждом этапе цифровой записи уровень сигнала занижается. Это приводит к сужению динамического диапазона и приближению полезного сигнала к шумовому порогу.

Однако, разные потребители цифровых фонограмм - радиостанции, заводы по производству CD и др. - предъявляют различные технические требования к максимальному записанному уровню. Выход прост - при записи мастер-фонограммы выставлять максимально возможный уровень записи, а для практических целей изготавливать копии с различным уровнем сигнала. Конечно, надо знать, какой именно максимальный уровень используется в конкретной области звуковой индустрии, и

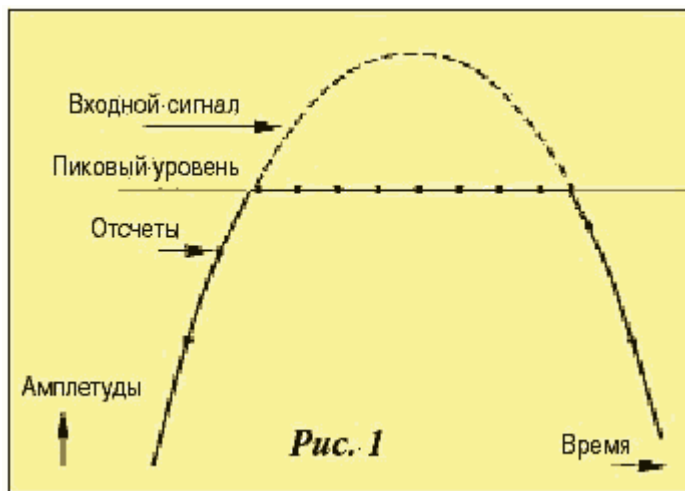
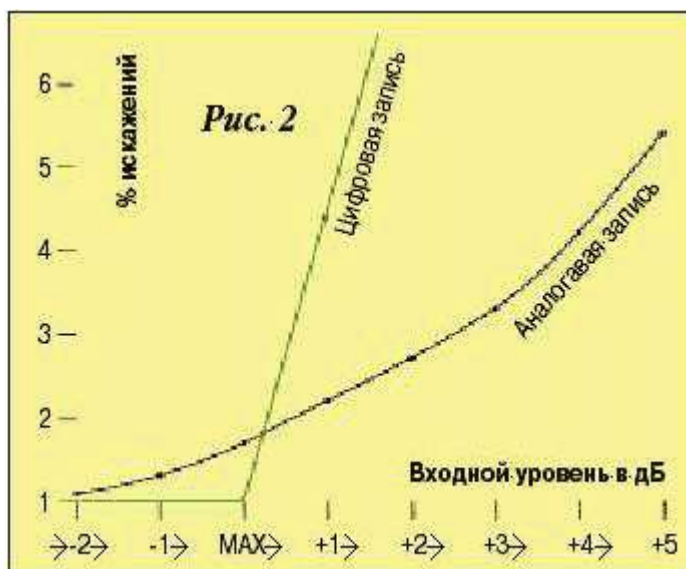


Рис. 1

записывать в начале ленты эталонные сигналы (и сопроводительные записи в монтажном листе), по которым можно будет ориентироваться персоналу заводов и радиостанций.

Цифровая регулировка уровня

В принципе, уровень сигнала на выходе устройства, с которого ведется запись, должен быть отстроен так, чтобы вписываться в рамки номинального выходного напряжения. В DAT-магнитофонах предусмотрена возможность в широких пределах усиливать или ослаблять уровень цифрового сигнала; окончательный уровень записи выставляется по отображению уровня входного сигнала на индикаторах DAT-магнитофона. При этом постарайтесь делать это с помощью выходных регуляторов источника, а цифровой регулятор уровня записи на DAT'е использовать весьма аккуратно и в ограниченном диапазоне. При правильном использовании цифровая регулировка может оказаться весьма полезной, а при неправильном - вызвать искажения и ухудшение соотношения сигнал/шум.



На некоторых типах цифровых фонограмм, например, на копиях с аналоговых лент, вместе с полезным сигналом может быть скопирован шум, и довольно высокого уровня, появившийся еще до аналого-цифрового преобразования. К сожалению, сам DAT-магнитофон ничем тут не может помочь, нужны специальные компьютерные программы для реставрации звукозаписей. Но, даже если оригинал записан тщательно, непосредственно в самом процессе аналого-цифрового преобразования также может возникнуть т.н. "шум квантования". И при уменьшении цифрового уровня записи абсолютный уровень шума квантизации не изменится, зато ухудшится соотношение "сигнал/шум", что особенно скажется на сигналах малого уровня.

Изменять уровень во время записи можно, например, при изготовлении цифровых копий, но - в идеале - не должны возникать ситуации, когда требуется кардинально изменить уровень "на ходу".

Точно так же не следует увлекаться увеличением уровня сигнала с помощью цифровой регулировки. Если чуть-чуть "переборщить", сигнал может превысить лимит цифровой системы и вызвать искажения, а оторваться от порога шума не удастся - он вырастет пропорционально сигналу. Соотношение "сигнал/шум" не улучшится, а его слишком большое изменение будет заметно. Лучший совет - раз и навсегда выставить положение ручки уровня записи на своем DAT'е, и менять его только при необходимости "подогнать" уровни фрагментов записи при прямом копировании с одного DAT'a на другой или при редактировании материала.

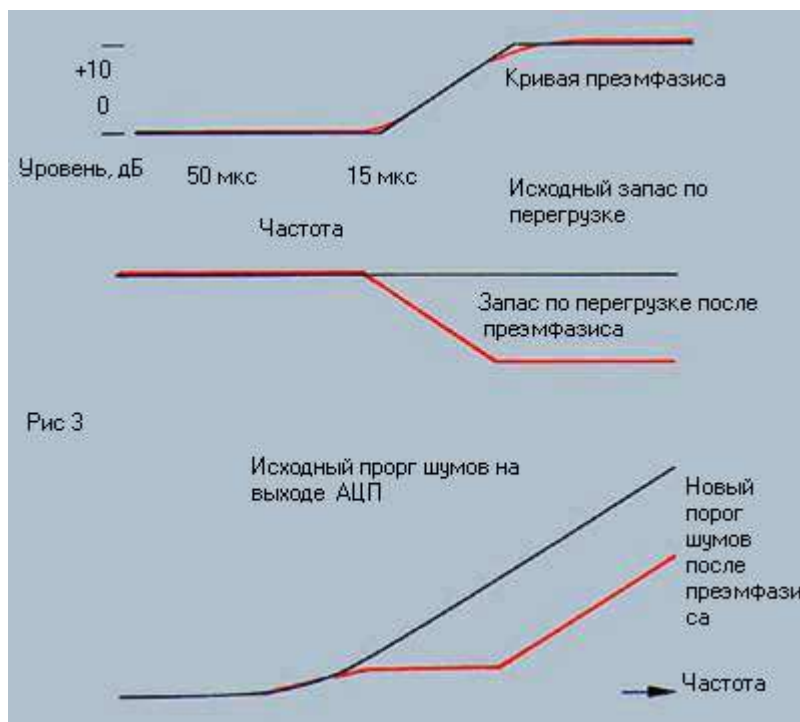
Индикация

В любой цифровой системе, если иное не оговорено специально, уровень сигнала измеряется уже после того, как он преобразован в цифровой формат, а это означает, что выше максимального порога, "защитого" в операционную систему каждого DAT'a, никакая реальная индикация невозможна. Поэтому после нулевой отметки градация заканчивается, а максимальное значение на шкале индикатора обозначено как "0 дБ" - и с этим значением необходимо соотносить пиковые всплески фонограммы. Аналоговые индикаторы не могут точно измерять пики очень малой

продолжительности, в то время как цифровые не обладают инерционностью отображают каждый пик, даже очень непродолжительный по времени. Соответственно, точно измерить "в цифре" перегрузку вообще невозможно. Однако, чтобы все-таки как-то учитывать перегрузки, применяется простая и практичная система, дающая надежный результат: специальная схема при возникновении перегрузки регистрирует ее, прежде чем сигнал упадет ниже пикового уровня. Команда на срабатывание индикатора перегрузки дается в зависимости от алгоритма, подсчитывающего количество возникших пиков. Индикатор может реагировать на каждый пик, а может - только на второй, только на третий и т.д. Таким образом, имитируется инерционность аналогового индикатора уровня. К сожалению, такая роскошь доступна пользователям только профессиональных и очень дорогих моделей DAT-магнитофонов.

Презмфазис (Предыскажения)

Соотношение сигнал/шум в линейных цифровых системах на практике никогда не достигает теоретически возможного значения. Причина тому - несовершенство конвертеров и аналоговых элементов. Особенно большим уровнем шума отличаются АЦП, причем уровень шума растет пропорционально увеличению частоты дискретизации. Для уменьшения этого нежелательного явления в DAT-магнитофонах применяют некоторые простые методы. Например, презмфазис (частотный корректор) - аналоговый фильтр, включенный в схему перед аналого-цифровым преобразователем и предназначенный для подъема высоких частот. При цифро-аналоговом преобразовании частотная характеристика фонограммы возвращается к исходной. Таким образом, применение презмфазиса уменьшает ВЧ-шумы, не изменяя общего частотного баланса фонограммы (см. рис 3). Конечно, это всего лишь компромисс, ведь при использовании презмфазиса уменьшается запас по перегрузке, а величина "остатка" зависит от частотного спектра сигнала. Входной сигнал с поднятыми верхами может вызвать перегрузку: при включенной схеме презмфазиса остается меньше запаса по перегрузке в области высоких частот. Но некоторые звуки, особенно речь, не требуют запаса по высоким частотам, и их запись только выиграет от использования презмфазиса.



Если при записи схема преемфазиса была включена, то при воспроизведении сигнал, соответственно, должен пройти схему деэмфазиса. В формате DAT данные о том, был ли включен преемфазис, записываются в области служебных кодов, и деэмфазис при воспроизведении автоматически включается или выключается. В идеале вся DAT-кассета должна быть полностью записана только с одной установкой преемфазиса - неважно "on" или "off". Конечно, возможно записать часть пассажиров с преемфазисом, а часть - без него, деэмфазис будет переключаться в ходе воспроизведения, но при этом могут возникнуть явно слышимые щелчки. В крайнем случае, переключайте преемфазис в период тишины. Однако учтите, что для профессионального использования записи рекомендуется производить без преемфазиса.

Тип преемфазиса, применяющийся в DAT-магнитофонах, показан на рис. 3. Аналогичный тип используется в ряде других форматов, включая компакт-диски, DASH, звуковые дорожки видеоформатов D1 и D2, Digital Betacam и PCM-1630.

DAT-магнитофоны "под микроскопом". Часть 2.

Работа с идентификационными метками

Лев Орлов, Андрей Степанов

Прослушивая компакт-диск, мы имеем возможность, используя функции "перейти к следующему" (go to next) или "перейти к предыдущему" (go to previous), переходить от трека к треку. Кроме того, треки на компакт-дисках пронумерованы, и, задав на управляющей панели нужный номер, можно сразу напрямую перейти к треку N. Это удобно.

DAT-магнитофоны способны выполнять очень схожие операции. В формате DAT подобные функции CD-проигрывателя позволяют имитировать метки, или идентификационные коды Start, Skip и End. Однако для этого нужно потратить время на создание разметки и пронумеровать треки. Чтобы делать это как можно точнее и не доставлять головной боли себе и инженеру CD-премастеринга, нужно знать некоторые тонкости.

Международный стандарт размещения данных на DAT-кассете разработан очень детально. Цифровой поток разбит на сегменты, один из которых называется областью субкода и отвечает за фиксирование служебных отметок, соотносящих данные, записанные на кассете, с работой лентопротяжного механизма. В частности, фиксируются начальная и конечная точки фрагмента звуковой информации, а также присвоенный фрагменту персональный номер. За это и отвечают идентификационные коды, или ID, Identification codes.

ID-метки хранятся в сегментах субкода на DAT-кассете, и, в отличие от синхросигналов и похожих систем разметки, применяемых в ряде аналоговых форматов, записываются независимо от звуковых данных. ID-метки - отдельный сегмент, их можно записывать и стирать как вместе со звуковыми данными, так и отдельно от них.

Метки Start (начало)

Метки Start имеют два основных назначения: поиск точного места записи (как правило, начала музыкального произведения) и нумерация. Поскольку они записываются на ленте в течение девяти секунд, Start-метку можно найти даже на скорости в 200 раз больше

скорости воспроизведения. Это особенно удобно, когда на ленте, например, записаны разнообразные звуковые эффекты. Благодаря высокой скорости перемотка занимает очень мало времени и следующий трек отыскивается очень быстро.

Даже несмотря на то, что на высокой скорости DAT-магнитофоны считывают только часть данных, она будет прочитана как минимум дважды, поскольку ID-информация повторяется один раз за фрейм (от англ. frame, "кадр" - минимальный неделимый объем данных, который может быть записан на DAT-ленту) в течение девяти секунд. Только если у DAT- магнитофона сбита настройка или загрязнена головка, он может пропустить ID-метку. В этом случае перемотка будет вестись до следующей ID-метки - чтобы этого не случилось, нужно просто как следует ухаживать за DAT- магнитофоном. Однако замечено, что аппараты разных фирм не всегда корректно читают расставленные "конкурентами" метки. Что делать в таком случае? Постарайтесь протестировать свою кассету на магнитофонах разных фирм и запомнить, какие читают ее некорректно. При дальнейшей работе с кассетой это придется учитывать.

Любое место на записи может быть помечено меткой Start - отдельный музыкальный фрагмент, акты пьесы или просто произвольные точки.

Однако существуют два ограничения: во-первых, каждая метка Start записывается на ленте в течение девяти секунд, и, следовательно, время между двумя соседними не может быть меньше 18 секунд. На практике к этому времени для надежности стоит добавлять еще несколько секунд. Второе ограничение обусловлено размером фрейма DAT-формата. ID-метка может быть записана с точностью до одного фрейма, или 30 мс. Это эквивалентно 12 мм аналоговой ленты при скорости 38,1 см/сек.

Ряд DAT-магнитофонов позволяет автоматически записывать Start-метки, и делается это двумя способами. В бытовых моделях часто применяется схема детекции тишины. Если тишина в записи длится более трех секунд, разрыв между треками считается подтвержденным и за несколько фреймов до появления следующего записанного фрагмента записывается Start-метка. Порог тишины обычно устанавливается фирмами-изготовителями на уровне около -60 дБ. Для поп-музыки это приемлемо, если в материале нет мест с низким уровнем сигнала.

Другой способ - запрограммировать их установку в начале любой новой записи. При этом способе в начале каждой новой композиции сборника автоматически будут расставлены Start-метки.

Точность позиционирования ID-меток ограничена возможностями магнитофона. Считается, что бытовые модели предназначены для создания сборников (компиляций), понравившихся владельцу композиций, поэтому они делают сравнительно неточную разметку.

ID-метки на них обычно записываются "с лету", при нажатии кнопки ID-record. Профессиональные модели позволяют прослушать записанный материал на различной скорости и выбрать точку записи ID-меток с точностью до одного фрейма.

Нумерация меток

Не всегда материал на ленте записывается в том порядке, как в конце концов оказывается необходимым. Возможность нумерации и перенумерации ID-меток предназначена именно для облегчения поиска необходимого места на ленте. Но надо учитывать, что, в

зависимости от "профессионализма" конкретной модели, пользователь может ожидать разного результата.

В случае полной реализации стандарта DAT система нумерации позволяет записать на одной кассете до 803 программных номеров (обычные программные номера от 000 до 799 и три специальных номера). До перенумерации все метки Start помечены номером 0AA, что значит "неизвестный". Область на ленте, скажем, тишина перед началом программы, может быть помечена номером 0BB, область после окончания записи - номером 0EE. Номер 0EE используется в ряде профессиональных DAT-магнитофонов как End-метка (метка конца).

Обычно же в недорогих моделях каждой Start-метке присваивается номер от 0 до 799, после чего необходимая ID-метка может быть найдена с помощью функции автоматического поиска. Алгоритм поиска, "зашитый" в операционную систему любого DAT-магнитофона, предполагает, что стартовые метки пронумерованы по порядку от начала ленты.

Пользователь должен сам убедиться, что порядок нумерации правилен. В противном случае может не сработать функция автоматического поиска по номеру. Если ID-метки не были записаны в строгом номерном порядке от начала кассеты, за последовательностью звуковых фрагментов будет трудно уследить.

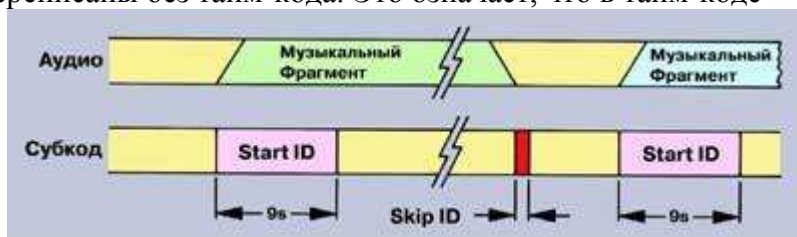
Например, запись нового трека в середине ленты нарушит всю последовательность: это все равно, что втиснуть новый дом в ряд старых домов, уже имеющих уличные номера. Именно по этой причине ID-метки первично записываются без специфического номера с пометкой "номер неизвестен".

После того, как кассета полностью записана, можно дать DAT-магнитофону команду перенумеровать (Renumber) Start-метки. DAT-магнитофон отыщет каждую ID-метку, начиная с начала кассеты, и присвоит ей новый ID-номер. Если у ID-метки уже имеется номер, он будет заменен на новый. ID-меткам с неизвестным номером присваивается новый номер, а пометка "неизвестный номер" снимается. Между ID-метками механизм будет работать в режиме ускоренной перемотки, так что вся операция по перенумерации займет сравнительно немного времени.

При записи ID-меток на уже записанную ленту или при перенумерации ID-меток могут возникнуть определенные проблемы, с которыми трудно бороться. К этому следует быть заранее готовым. Проблема в том, что секция субкодов, куда записываются новые или переписываются старые ID-метки, содержит также тайм-код, код абсолютного времени и ряд других кодов (к этой теме мы еще вернемся). Все эти коды поддерживаются форматом DAT, но не все из них распознаются каждой конкретной моделью DAT-магнитофона. Если магнитофон не распознает часть субкода, то он и не перепишет его при замене ID-меток. Яркий пример: бытовые DAT-магнитофоны не распознают тайм-код формата Pro R-Time. Если ленту записать на профессиональном

DAT-магнитофоне с тайм-кодом, а затем перенумеровать Start-метки на бытовом магнитофоне, ID-метки будут переписаны без тайм-кода. Это означает, что в тайм-коде появятся примерно девятисекундные "дыры", по одной на каждую Start-метку.

Метки Skip (пропустить)



Их еще называют метками

сокращения, и служат они для того, чтобы пометить начало эпизода, который не должен воспроизводиться. Когда при воспроизведении операционная система DAT-магнитофона обнаруживает на ленте метку Skip, он включает ускоренную перемотку до следующей Start-метки. Skip-метки не требуют обнаружения при быстрой перемотке. Поэтому они записываются на ленту в течение лишь одной секунды (см. рисунок).

Метки End (конец)

Метки End - это ID-метки с программным номером 0EE, предназначенные для идентификации окончания записи. Практически их можно использовать для пометки окончания работы, к примеру, записать в конце сеанса сведения или компиляции. Спустя время, возобновив работу с конкретной кассетой, по End-метке будет несложно найти точку, с которой вы желаете продолжить работу.

Расстановка идентификационных меток - не просто удобство для персонала студий звукозаписи. Грамотная разметка позволяет сэкономить время, оплаченное клиентом. Согласитесь - это хороший аргумент, чтобы научиться правильно ее выполнять.

Регулирование уровней

Владимир Островский

Задачи, которые ставятся перед звукорежиссером в процессе записи фонограмм, решаются в основном благодаря правильной расстановке микрофонов и регулированию уровней. В художественных и технологических целях используются также другие технические средства: ревербераторы, эквалайзеры, авторегуляторы и т.д.

В этой статье рассматриваются проблемы, возникающие в процессе регулирования и оценки уровней. Статья рассчитана, прежде всего, на звукорежиссеров, работающих на телевидении и радио, но, конечно, полезна и для звукорежиссеров, работающих в других областях.

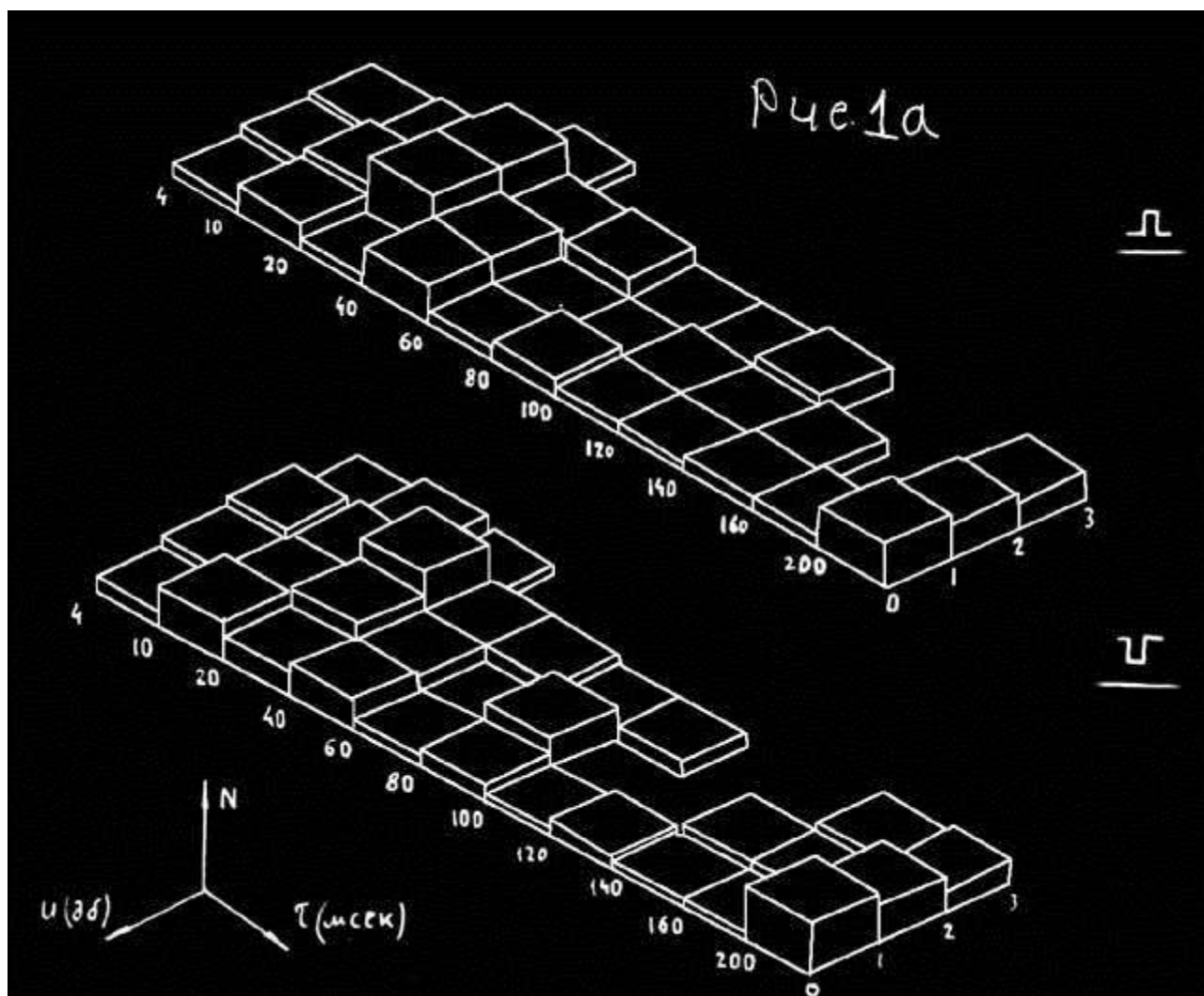
Немного истории

В то время, когда передатчики располагались недалеко от студий и соединялись с ними медными проводами, главной задачей технических работников было поддержание громкости передач.

Для этой цели был придуман простой, надежный и дешевый прибор - VU-метр.

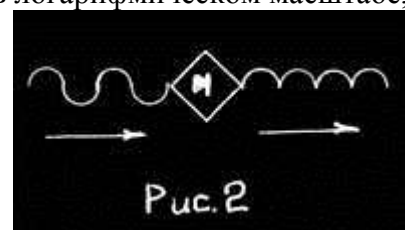
Разрабатывая этот прибор, конструкторы исходили из трех предпосылок: первая - звуковой сигнал несимметричен, т.е. амплитуда положительной полуволны может

отличаться от амплитуды отрицательной полуволны; вторая - время, необходимое для ощущения громкости в нашем сознании (так называется аккомодация слуха) составляет 200 мс; третья - восприятие громкости человеком согласно закону Вебера-Фехнера осуществляется по логарифмическому закону.



На рис. 1а показано распределение амплитуд и длительностей выбросов на фрагменте записи музыки Рихарда Вагнера (вступление к "Лоэнгрину", хорал скрипок в верхнем регистре, см. такты 5-7 в партитуре, рис. 1б). В VU-метре применен двухполупериодный выпрямитель, с помощью которого учитываются положительные и отрицательные амплитуды сигналов (рис. 2): стрелка прибора достигает максимального значения при длительности сигнала не менее 200 мс и возвращается в исходное положение за те же 200 мс, если сигнал окончен, а шкала прибора проградуирована в логарифмическом масштабе, т.е. равномерно в дБ.

Шкала VU-метра охватывает диапазон уровней всего лишь от -20 дБ до +3 дБ. Показания прибора до известной степени пропорциональны уровню громкости. Однако существует мнение, что показания VU-метра сильно расходятся с субъективно воспринимаемой громкостью. Известно, что частотная характеристика индикации, обратная кривой чувствительности слуха, дала бы другую картину уровней, но это в большей степени соответствовало бы слуховому впечатлению.



Три причины обусловили появление квазипикового измерителя уровня: первая - внедрение на радио магнитной звукозаписи; вторая - использование многоканальных систем передачи с частотным разделением каналов для подачи центральных программ на передатчики; третья - значительное усложнение трактов вещания.

Что привнесла магнитная звукозапись

С внедрением магнитной звукозаписи появились шумы и нелинейные искажения магнитных лент. На рис.3 приведена зависимость искажений, вносимых магнитной лентой в зависимости от намагниченности.

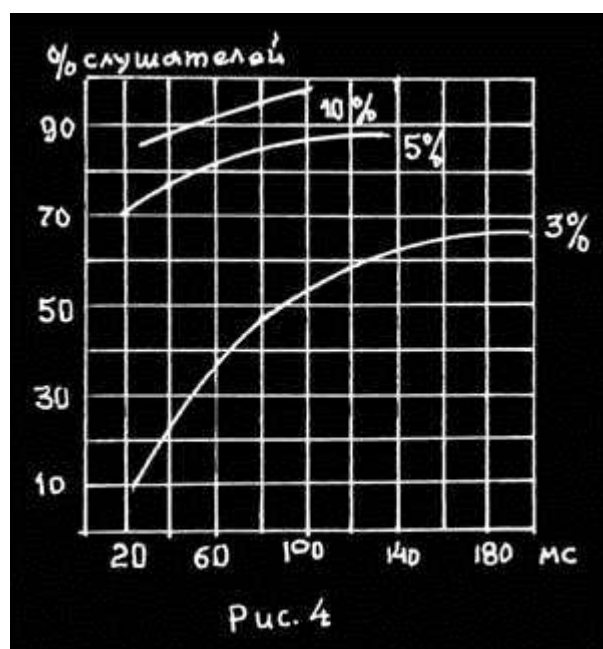
Первые магнитные ленты типа "L", "C" и типа 1, имели собственные шумы порядка 40-45 дБ, а номинальная намагниченность выбиралась такой, чтобы искажения были не больше 3% (кривая 1). При перемодуляции 3дБ искажения на оригинале записи достигали 5%. Технология вещания требовала изготовления 3-4 дублей записи. Особенностью магнитной записи звука является то, что каждая последующая перезапись ухудшает шумы, и искажения увеличиваются примерно в 1,5 раза.

Следовательно, при перемодуляции в 3 дБ первый дубль оригинала имел искажения 7,5%, а следующий дубль более 11%. Отечественная лента типа 2 была не намного лучше (кривая 2). Лента типа 6 (кривая 3) долгое время была основной на радиовещании, но и ее параметры требовали записи без перемодуляции. Для производства записей, поставляемых за рубеж в малом количестве, приобреталась лента PER-525 фирмы Agfa (кривая 4).



Еще хуже обстояло дело с записью звука на видеомагнитофонах "Кадр" и "Кадр-3М". На применявшихся тогда лентах, при номинальной намагниченности, искажения были 4,5-4,8%, а после копирования на выходе ТТЦ коэффициент гармоник на пиках достигал 15% и более.

При составлении правил эксплуатации технических средств исходили из того, что малые по длительности пики перемодуляции и соответствующие им большие искажения не слышны. На рис.4 приведены данные восприятия нелинейных искажений при изменении длительности сигнала от 20 до 200 мс, полученные З. Резвяковой при сравнении искаженного и неискаженного сигналов частотой 1000 Гц. Как видно из кривых, при 10%-искажениях 90% слушателей замечают искажения длительностью более 60 мс. Исследования, проведенные автором, показали, что выбросы сигналов за номинальный уровень по длительности распределяются следующим образом: 2,5% - одиночные выбросы длительностью менее 50 мс, а остальные - это групповые выбросы длительностью более 100 мс.



Таким образом, очевидно, что внедрение магнитной звукозаписи привело к появлению значительных искажений, особенно при перемодуляции, и потребовало появления квазипиковых измерителей уровня.

В настоящее время эта проблема потеряла свою остроту. Достигнут большой прогресс в технологии изготовления магнитных лент. Так, лучшую в мире аудиоленту выпускает фирма Quantegy (тип 478). При намагниченности 370 нВ/м $K_g = 0,28\%$ и доходит до 3% при перегрузке в 11,6 дБ. Превосходные данные имеет 2" лента GP9 для 24-канальной записи: при намагниченности 320 нВ/м коэффициент гармоник (K_g) = 0,06% и доходит до 3% при перегрузке в 17 дБ.

На телевидении также имеются большие достижения. Так, для видеомэгнитофонов Betacam SP, которые находятся на эксплуатации в ТТЦ, оксидная лента при номинальной намагниченности имеет $K_g=2\%$, а металлизированная < 1%. Искажения доходят до 3% при перегрузке в 8 дБ.

Но хорошие ленты стоят дорого. Есть деньги - будет и качество.

Невозможно всю страну опутать медными проводами

Для обеспечения слышимости передач центрального вещания на территории всей страны строились новые передатчики, к которым нужно было подавать программы из Москвы. Использовать для этой цели медные соединительные линии стало нецелесообразным, и начали применять радиорелейные линии и многоканальные системы передач с частотным разделением каналов. По таким системам можно было организовать от 12 до 3600 и более телефонных каналов с полосой пропускания от 0,3 до 3,4 кГц.

Была разработана аппаратура АВ 2/3, с помощью которой объединялись два или три телефонных канала. По такой системе можно было передавать аналоговый сигнал в полосе 6,6-10 кГц. Для подачи телевизионных сигналов использовалось 1920 телефонных каналов; одновременно могли передаваться телефонные разговоры, сигналы тонального телеграфирования, факсимильного телеграфирования и метеослужбы, передачи данных, передачи газет и звукового вещания.

Одним из основных параметров, характеризующих качество этой сети, сетевых трактов и каналов, является шум, который в основном определяется загрузкой. Под загрузкой понимается совокупность действующих одновременно трактов и каналов различного типа в данной системе передачи. Загрузка характеризуется мощностью многоканального сигнала.

Для большинства старых систем величина допустимой мощности одного телефонного канала составляла 32 мВт. Новые системы рассчитываются на большие мощности сигнала - 40 или 50 мВт.

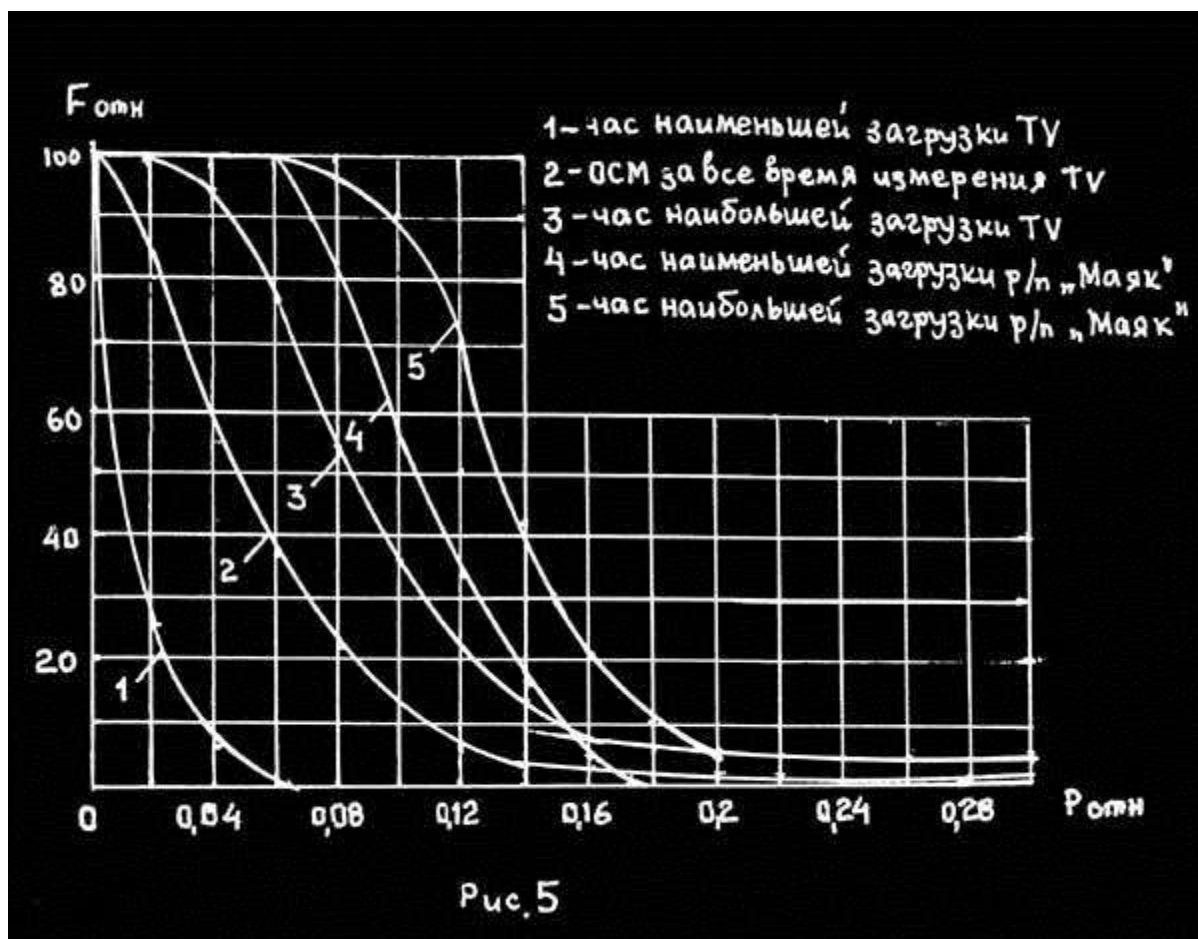
Имеющиеся данные показывают, что в большинстве случаев величины мощностей реальных индивидуальных и многоканальных сигналов превышают расчетные значения, положенные в основу разработки как действующих, так и перспективных систем передачи.

Когда по многим каналам сети одновременно идет синхронная передача одинаковых программ, мощности сигналов складываются арифметически и система перегружается.

Одной из особенностей звукового вещания является оценка качества передачи относительной максимальной мощностью передаваемого сигнала.

Относительной средней мощностью называется отношение измеренной мощности сигнала за заданный отрезок времени к мощности синусоидального сигнала с напряжением, равным наибольшему значению напряжения вещательного сигнала.

На рис.5 приведены распределения относительной средней мощности программ телевидения и центрального радиовещания.



Из кривых на рис.5 видно, что относительная средняя мощность (ОСМ) существенно зависит от структуры передаваемых программ. Отличие предельных значений ОСМ между сигналами звукового вещания и телевидения объясняется двумя причинами: первая - различным значением скважности звуковых сигналов; вторая - применением на телевидении фильмов, озвучание которых ведется без учета особенностей передачи их по вещательным каналам.

Так как мощность пропорциональна квадрату напряжения, то естественно, что перемодуляция увеличивает загрузку каналов и вызывает появление дополнительных шумов.

Аппаратура АВ 2/3В в настоящее время кое-где еще используется. Однако количество магистральных сетей возросло. Передача центральных программ осуществляется в цифровой форме через спутники связи. Поэтому острота вопроса с загрузкой каналов существенно снизилась.

От простого к сложному

На заре радиовещания тракт был простым: микрофон, микрофонный усилитель, линейный усилитель, соединительная линия и передатчик. В конце 20-х начале 30-х годов на входе передатчиков устанавливали ограничитель максимальных уровней. В настоящее время вещание ведется по многим каналам проводной и радиосвязи, в каждом из которых одновременно работает большое число звеньев, оборудованных разнообразной аппаратурой. Растет число коллективных и индивидуальных установок спутникового вещания, внедряются широкополосные системы кабельного телевидения, развивается наземное телевидение в системах так называемого сотового телевидения (системы MMDS и LMDS). Начинают применяться лазерные передатчики и оптические приемники.

Особенностью функционирования систем вещания является то, что только согласованная работа всех участков вещательного процесса и всех технических звеньев, входящих в канал передачи, может обеспечить качественную передачу программ.

Сигналы естественных источников звучания часто характеризуются такими значениями параметров, довести которые до слушателей радиопередач нетронутыми не представляется возможным. Например, динамический диапазон уровней, достигающий 70 и более дБ - без значительного сжатия его передать нельзя. Частотный спектр сигналов приходится также ограничивать в соответствии с принятым для каждого канала классом качества передачи.

Обработка естественных сигналов должна быть такой, чтобы при ограниченных возможностях их передачи по радиотракту обеспечить хорошее звучание. Мощность многих промежуточных звеньев и мощных оконечных сооружений (радиостанций и мощных усилителей проводного вещания) строго ограничена, чтобы они не перегружались сигналами максимального уровня, которые приводят к появлению нелинейных искажений, а в каналах многоканальной связи - к переходным помехам. Недопустима также и недогрузка этих сооружений, так как при этом снижается эффективность их работы и увеличивается влияние помех передачи.

При перемодуляции радиостанций на 2 дБ - по приросту громкости это почти незаметно на слух - нелинейные искажения достигают 12% (при норме 2,5%). Коэффициент гармоник в диапазоне УКВ колеблется от 5% в низкокласных приемниках до 1% в приемниках высшего класса, в престижных моделях тюнеров достигает значения 0,1%. Наибольшую трудность, с точки зрения получения малого значения коэффициента гармоник в диапазоне УКВ, представляет тракт усилителя промежуточной частоты. Ограниченность полосы пропускания тракта приводит к искажению спектра ЧМ-сигнала пропорционально девиации, т.е. максимальному уровню.

Соблюдение нормированного режима работы всех звеньев канала передачи требует от звукорежиссеров предельно тщательного регулирования уровней и стабильного коэффициента передачи применяемого оборудования.

Громче и дальше

При приеме передач следует различать две области слышимости. Первая область, близлежащая, является областью надежного приема. Она характеризуется тем, что радиопередачи в ней отчетливо прослушиваются, причем всякие помехи - атмосферные, индустриальные, работа других станций - не мешают уверенному приему.

Вторая область отличается тем, что в ней радиопередачи слышны плохо, а помехи сильно мешают приему.

Длительность одиночного импульса, мс	Показания ИУ с допусками, дБ
10	-1±0,5
11	-2±1,0
12	-4±1,0

Передавать электрические колебания звуковой частоты по эфиру в чистом виде не представляется возможным. Поэтому используются колебания высокой частоты (несущая), модулированные звуковым сигналом. До модуляции существующие отдельно колебания высокой частоты (несущей) и низкочастотные колебания звуковой частоты превращаются в процессе модуляции в модулированное высокочастотное колебание, состоящее в простейшем случае (при модуляции однитонным сигналом) из трех колебаний высокой частоты, которые одновременно излучаются передатчиком. Помимо несущего колебания, появляются еще два дополнительных боковых колебания, хотя и с заметными меньшими амплитудами. Колебания несущей частоты не содержат в себе никаких "следов" звука, их роль в приемнике сводится лишь к созданию биений с боковыми колебаниями, а биения необходимы для воспроизведения в приемнике передаваемых звуков.

Полезная мощность (мощность боковой полосы) составляет в передатчике небольшую величину от мощности несущей частоты.

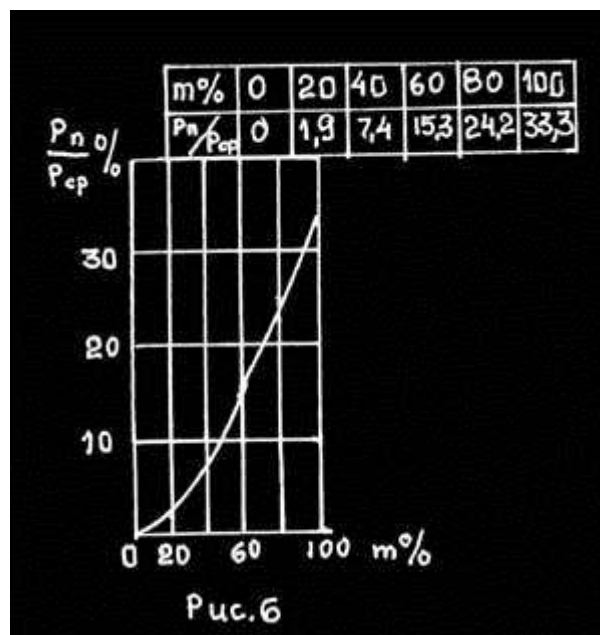
На рис.6 изображено отношение этих мощностей при различных значениях коэффициента модуляции. Как видно на рис.6, даже при модуляции, равной 100%, на долю полезной мощности приходится только 34%, а 66% мощности составляют колебания несущей частоты; при модуляции в 50% полезная мощность составляет лишь около 11%.

Другими словами, дальность действия передатчика зависит от мощности несущей частоты и от величины коэффициента модуляции. Чем больше модуляция, тем больше изменяется ток в антенне передатчика и тем больше получается дальность действия передатчика.

Поэтому правила эксплуатации технических средств требуют от звукорежиссеров, чтобы в любом фрагменте передач модуляция доходила до 100%, а персонал, обслуживающий передатчик, лишали, бывало, и премии, если модуляция была занижена.

Однако громкость приема у слушателя зависит не от одиночных пиков, достигающих 100% модуляции, а от средней модуляции.

Так, например, речевой сигнал имеет пик-фактор 10 дБ с вероятностью 0,9. Пик-фактором называется разность между максимальным и средним уровнями речевого сигнала. Так как 10 дБ - это трехкратное отношение, при 100% модуляции речи средняя модуляция составит одну треть = 33%. Поэтому предпринимают меры для уменьшения пик-фактора и увеличения средней модуляции. Это реализуется применением авторегуляторов уровня (ограничителей и компрессоров), а звукорежиссер при записи должен сжимать динамический диапазон.



Однако требование, чтобы любой фрагмент передачи доходил до стопроцентной модуляции, привело к недовольству слушателей. На радио стали приходить письма с жалобами на то, что трудно слушать передачи, в которых чередуется речь и музыка. Дело в том, что энергия музыкальных сигналов (например, эстрадного оркестра) примерно в два раза больше энергии речевых сигналов. Поэтому, если слушатель установит громкость на музыкальном сигнале, то последующее речевое сообщение будет восприниматься тихо, и наоборот, если громкость была установлена на речевом сигнале, то музыка будет чрезмерно громкой.

В особенности это проявляется в вечернее время, когда люди смотрят телевизор. Поэтому в правилах технической эксплуатации технических средств появилось разрешение на громких музыкальных фрагментах доводить максимальный уровень до -6 дБ.

В связи с этим особое внимание следует обратить на передачи, в которых речь идет на фоне музыки. Если музыка звучит громко, то она маскирует речь, и понять смысл речи иногда становится невозможным. От звукорежиссера при записи таких смешанных программ требуется большое чувство такта и меры.

Что показывает стрелка измерителя уровня?

Подавляющее большинство специалистов, профессионально работающих с измерителем уровня ИУ, не знают, что показывает стрелка измерителя, и, следовательно, не могут правильно регулировать уровни.

Под "показаниями стрелки" будем понимать и показания ИУ с оптическим отсчетом, и следы на электронно-лучевой трубке, и светящийся столбик на газоразрядных трубках, и указатели на светодиодах.

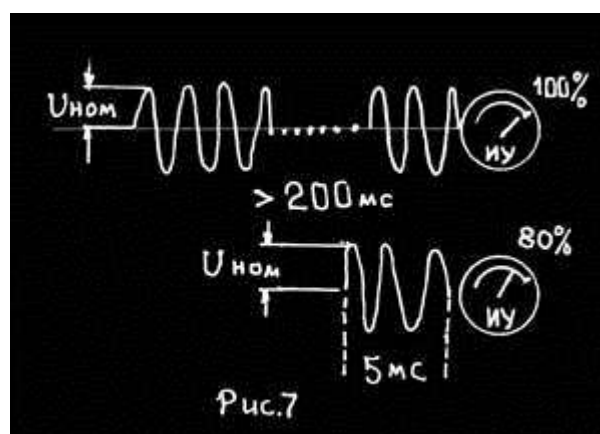
Для измерений по показаниям стрелки необходимо знать временные (динамические) характеристики ИУ.

Измерители уровня характеризуются четырьмя динамическими характеристиками. Основой является время интеграции, характеризующее способность ИУ реагировать на звуковые сигналы малой длительности.

С помощью специального датчика импульсов подадим на вход ИУ синусоидальный сигнал 1000 Гц неизменного уровня (рис.7). Если этот уровень будет соответствовать нормированному значению напряжения для данного тракта (так называемый номинальный уровень) и длительность сигнала будет больше 200 мс, то стрелка отклонится до отметки 0 дБ или 100%.

По мере уменьшения длительности импульса (при условии, что его уровень остается неизменным), стрелка ИУ начнет недопоказывать номинальный уровень. Время интеграции нормируется для длительности импульсов в 3, 5 и 10 мс.

Таким образом, видно, что чем меньше длительность импульса, тем больше недопоказывает ИУ.



В соответствии с рекомендациями международных радиовещательных организаций время интеграции ИУ нормировано и составляет 5 мс и с точностью до -2 дБ (80%).

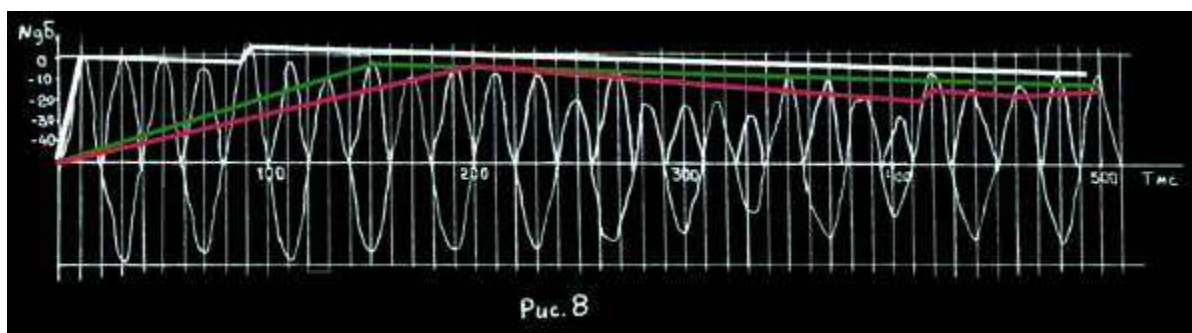
Время срабатывания измерителя - интервал времени между моментом подачи сигнала номинального уровня на вход ИУ и тем моментом, когда стрелка доходит до отметки -1 дБ.

Время срабатывания обуславливается инерцией электромеханической системы прибора в пределах от 100 - 200 мс. Если время срабатывания будет большим, то значительно труднее получить требуемое значение времени интеграции.

Время возврата стрелки - интервал времени между моментом выключения непрерывного сигнала номинального уровня и моментом, когда стрелка дойдет до отметки -20 дБ (10%). Время возврата нормируется для ИУ первого типа (предназначенного для оперативной регулировки уровнем), устанавливаемых на микшерных пультах $1,7 \pm 0,3$ с, а для ИУ второго типа, предназначенных для установки в тракте вещания (для оценки диаграммы уровней) 3 ± 1 с. Считывание показаний стрелки происходит в момент начала возврата стрелки.

Переброс стрелки - разность между максимальным показанием при скачкообразной подаче непрерывного сигнала на вход ИУ и его показанием в стационарном режиме, т.е. после окончания процесса успокоения подвижной системы. Величина переброса стрелки должна быть не более 1 дБ. В безынерционных системах (ИУ с электронно-лучевой или газоразрядной трубкой и на светодиодах) переброса не бывает.

На рис.8 изображен исходный сигнал и его вид после двухполупериодного выпрямления. Красная линия показывает ход стрелки VU-метра. С появлением сигнала (нулевой момент времени) стрелка начинает движение и достигнет максимального показания через 200 мс. Так как уровень сигнала после 200 мс уменьшается, то стрелка возвращается в исходное состояние. На отдельные короткие пики (в момент времени 270 мс) она не реагирует и только в случае, когда длительность импульса превысит 420 мс, она несколько увеличит показания, а затем снова вернется в исходное положение.



Зеленая линия показывает ход стрелки квазипикового ИУ со временем срабатывания 150 мс. Дойдя до максимума (с учетом переброса стрелки), она будет возвращаться до уровня -20 дБ за 1,7 с. Встречающиеся на пути короткие сигналы длительностью 5 мс не изменяют ее показания.

Черная линия показывает ход стрелки безынерционного квазипикового измерителя. Первый максимум будет достигнут через 10 мс. Затем он поднимется в момент 90 мс, и далее стрелка будет возвращаться к значению -20 дБ за 1,7 с.

Таким образом, видно, что стрелка показывает условную огибающую в зависимости от динамических параметров ИУ и структуры звукового сигнала.

На рис.8 видно также, что сигналы малых уровней практически не учитываются в показаниях стрелки. Должно пройти 1,7 с, чтобы стрелка начала реагировать на сигналы меньших уровней.

В аппаратных записи ИУ включен не на выходе микшерного пульта, а на выходе магнитофона. Это сделано для контроля уровней, уже записанных на магнитной ленте. Так как расстояние между головками записи и воспроизведения составляет 55 мм, то на скорости 38,1 см/с появляется дополнительная задержка в показаниях ИУ около 150 мс. Поэтому примерно в течение 0,5 с может произойти перемодуляция, которая не будет фиксироваться ИУ.

В таблице 1 приведены максимальные показания, фиксируемые ИУ в зависимости от времени интеграции.

Ручные регуляторы уровня

Для ручного регулятора уровня применяются четырехполосники с переменным затуханием. С помощью регуляторов уровня

Тип передачи	Время интеграции, мс		
	10	60	200
Гитара с аккомпанементом контрабаса	-5,25	-8,2	-10,0
Речь (женский голос)	+6,25	+0,5	-2,5
Речь (мужской голос)	+6,2	+2,9	-1,0
Пение, мужской голос	+2,43	+1,0	-0,5
Народный хор	0	-3,0	-4,5
Баян	+1,3	-2,25	-4,5
Рояль	+1,0	-1,0	-3,25
Симфонический оркестр, доминируют медные духовые	+3,75	-0,37	-1,8

звукорежиссер осуществляет наиболее важные операции по созданию звуковой картины: поддерживает оптимальное соотношение громкостей отдельных источников звука и регулирует динамический диапазон звуковых сигналов.

К ручным регуляторам уровня предъявляются специальные требования.

Рабочий диапазон регулируемого затухания составляет 100 дБ, а в конце доходит до бесконечности. Шаг регулирования, рекомендованный МККР, составляет около 0,5 дБ. В области больших затуханий допустимо увеличивать шаг регулирования до 3 дБ. Для повышения точности регулирования уровня, приближающегося к максимальному (номинальному), шаг регулирования не должен быть больше 0,5 дБ. Регулятор не должен вносить заметных амплитудно-частотных искажений и помех.

К конструктивным требованиям относятся надежность электрического контакта, легкость хода, защита от внешних помех, пыли и влаги.

В современных пультах применяют только регуляторы с возвратно-поступательным движением фейдера. Шкала регулятора имеет длину 100 - 140 мм и градуируется в децибелах.

Установочная величина уровня, соответствующая номинальному уровню сигнала, обозначается 0 дБ. Уровням меньше установочного соответствуют положительные деления шкалы, больше установочного - отрицательные. Как правило, шкала имеет оцифрованные деления через 10 дБ (изредка через 6 дБ).

Возрастающие требования к студийному оборудованию, его автоматизация, расширение эксплуатационных возможностей, приводят к необходимости применения электронных регуляторов уровня (ЭРУ). Для ЭРУ не требуется точных механических и сложных контактных устройств, обеспечивающих регулировку сопротивления без тресков и щелчков. В ЭРУ просто осуществить сочетание ручной и автоматической регулировок уровней в процессе обработки многоканальных записей, освободив звукорежиссера от выполнения ряда механических операций. Автоматическую регулировку уровня в любом числе каналов можно производить по заранее заданной программе в процессе воспроизведения, что позволяет улучшить его качество при упрощении обслуживания.

Основным способом ручного сжатия динамического диапазона является плавное уменьшение усиления за несколько тактов до появления громкого сигнала (определяемое по партитуре или в результате репетиции), и затем после громкого сигнала плавное выведение усиления до номинального значения. Целесообразно совместное использование регулятора громкости и экспандера, чтобы при полностью выведенном регуляторе громкости экспандер оказывал максимальное воздействие на сигнал, а при меньшей громкости влияние экспандера постепенно уменьшалось. При минимальной громкости он не действует. В результате получают сжатую программу, тихие места которой подняты над уровнем помех.

Проблемы, возникающие при регулировании уровней

В процессе подготовки и проведения записей у звукорежиссеров возникает множество проблем. Рассмотрим три из них.

Основной целью звукорежиссера на радио и телевидении является такая запись, чтобы параметры звучания исходных сигналов были оптимальными для передачи их по радиоканалу. Поэтому необходимо учесть акустические особенности помещения прослушивания и сохранить у слушателей в максимально возможной мере художественную ценность передачи.

Однако, приступая к записи, звукорежиссер заранее не знает, по какому радиоканалу она будет транслироваться и на какие условия прослушивания (квартира, автомобиль или небольшой зал) она должна быть рассчитана.

В то же время требования к обработке сигнала в значительной степени зависят от дальнейшего использования записи.

Так, например, полоса воспроизводимых частот УКВ/ФМ радиостанций примерно в 3 раза шире полосы частот, воспроизводимых АМ передатчиками. Динамический диапазон для записей на диск может достигать 50-60 дБ, для жилых помещений 25-35 дБ, для автомобилей желательно порядка 15 дБ.

Финансовые ограничения не позволяют делать записи одного и того же произведения специально для прослушивания в различных условиях.

Поэтому звукорежиссеры делают оригинал записи с максимально возможным качеством (так сказать, "для потомков"), оставляя техникам дальнейшую обработку с помощью авторегуляторов, установленных на выходе телерадиоцентра.

Однако применение авторегуляторов приводит к изменению музыкального баланса, подчеркиванию низких частот, появлению специфических искажений, и, кроме того,

осуществляется сжатие динамического диапазона даже тех записей, которые этого не требуют.

Правильнее было бы, чтобы авторегулятор находился в студийной аппаратной и звукорежиссер имел бы возможность подключать его либо к выходу микшерного пульта, либо на отдельные группы инструментов. Звукорежиссер должен пользоваться авторегулятором как музыкальным инструментом, выбирая степень сжатия и ведя частотную обработку в зависимости от звучания после авторегулятора.

Второй проблемой, возникающей при регулировании уровней, является оценка минимального уровня. Если понятие "максимальный уровень" нормировано и все его понимают одинаково, то понятие "минимальный уровень" расплывчато и не имеет однозначного толкования.

Чтобы после громкого сигнала ИУ показал уровень тихого сигнала, его длительность должна быть 3-4 с. За это время стрелка дойдет до -40 дБ, а дальше неизвестно, либо сигнал стал еще меньше, либо наступила музыкальная пауза. Поэтому шкалы некоторых ИУ имеют диапазон 60 дБ. Наличие акустических систем, использующихся для контроля звучания, не всегда помогают отличить паузу от малого уровня. Шкала ИУ в 40 дБ была принята для того, чтобы минимальный уровень был бы не меньше -40 дБ, т.е. звукорежиссер должен поддерживать минимальный уровень в пределах -35-40 дБ.

Некоторые авторы определяют минимальный уровень как уровень, лежащий выше шумов. Конечно, желательно, чтобы полезный сигнал был больше уровня шумов на 6-10 дБ, но шум - это не бритва, срезающая полезный сигнал. Так, например, профессор Генрих Нейгауз имел такую технику игры, что извлекал тихие звуки (ниже уровня шумов зала) даже при сложных пассажах, и публика была в восторге от его концертов. Его динамический диапазон составлял 50 дБ при том, что большинство пианистов имело диапазон не более 40-42 дБ.

Третьей проблемой является выбор уровня громкости акустического контроля при записи оригинала.

Обычно в студийных аппаратных уровень громкости устанавливается порядка 92-96 дБ, а уровень громкости прослушивания радиопередач в жилом помещении обычно не превышает 70-75 дБ. Это приводит к тому, что музыкальный баланс, установленный в студийной аппаратной, резко нарушается: у слушателей пропадают низкие частоты. Прослушивание с большой громкостью во время записи звукорежиссеры объясняют желанием услышать искажения и помехи, которые могут возникнуть в процессе записи.

На самом деле это утверждение спорно. Дело в том, что, когда музыканты приходят в студийную аппаратную прослушать запись, они не успевают адаптироваться, и, если музыка звучит тихо, им кажется, что запись сделана неудачно. Достаточно увеличить громкость прослушивания, и их впечатление резко меняется. Как же быть? Как совместить сохранение музыкального баланса у слушателя и большой уровень громкости при контроле записи?

Это можно сделать тремя способами. Первый - включить на входе акустических систем "фильтр уха", который будет подавлять низкие частоты в зависимости от уровня сигнала в соответствии с кривыми равной громкости. Второй - установить музыкальный баланс при громкости 70-75 дБ, а затем, не изменяя его, слушать с громкостью 92-100 дБ. При этом надо привыкнуть к избытку низких и высоких частот. И третий - с помощью эквалайзера

или другого корректирующего устройства, включенного на входе акустической системы, подобрать нужную коррекцию низких частот так, чтобы переход на уровень громкости в 70-75 дБ не вызывал ощутимую потерю низких частот. Такие методы использовали звукорежиссеры во Франции, на радио в Болгарии, а у нас применял выдающийся звукорежиссер Виктор Бабушкин.

Инерционность и обусловленная ею погрешность регулирования уровней

Анализ 1500 фонограмм, взятых из фонотеки Государственного Дома Радиовещания и Звукозаписи, показал, что только 32% фонограмм соответствуют нормируемым уровням, 33% составили фонограммы с перемодуляцией и 35% - с недомодуляцией.

Поддержание уровней в процессе записи фонограмм и в процессе вещания затруднено рядом причин, основными из которых являются:

- 1) инерционность ИУ, обусловленная их временем срабатывания,
- 2) время реакции звукорежиссеров на перемодуляцию,
- 3) характер изменения вещательного сигнала во времени.

Если с третьим фактором все очевидно и не требует особых разъяснений, то первая и вторая причины приводят к временному сдвигу между огибающими исходного и обработанного сигналов, который вызывает появление погрешностей при оценке и регулировании уровней.

Инерционность ИУ обуславливает возникновение систематической погрешности. Влияние времени реакции звукорежиссеров имеет более сложную зависимость. Время реакции звукорежиссеров складывается из латентного периода (время от момента появления сигнала до начала движения для регулирования уровня) и времени моторного компонента (длительности перемещения регулятора усиления).

Время реакции звукорежиссера может оказывать различное влияние на точность поддержания уровней при записях фонограмм и в процессе вещания. Во время записи звукорежиссер, благодаря предварительным репетициям, может в какой-то степени предвидеть изменение исходного сигнала. Поэтому он может подготовиться к необходимому корректировочному движению, которое нужно произвести в определенный момент для того, чтобы минимизировать ошибку регулирования уровней. Благодаря опыту у звукорежиссеров складываются свои способы реагирования на информацию от индикатора уровня, визуально считывая показания ИУ. Однако часто оказывается, что в реальном процессе регулирования усиления звукорежиссер ориентируется не только на показания индикатора, но и на звучание. Причем звучание может быть для него гораздо более важной информацией, чем показания индикатора.

Во время записей фонограмм от звукорежиссеров требуется, одновременно с регулированием уровней, выполнение и ряда других действий: слежение за партитурой, введение частотной коррекции, выбор величины реверберации и т.п. Известно, что в этих случаях какое-либо одно действие может оказаться тормозом другого, т.е. выступать по отношению к нему в качестве помехи.

При поддержании уровней на выходе телерадиоцентра звукорежиссер и оператор в подавляющем большинстве случаев не имеют возможности предвидения и должны ждать, пока изменение уровня исходного сигнала будет отмечено ИУ. В результате при слежении

произойдет ошибка, которая зависит от временной задержки измерителя и ответной реакции звукорежиссера.

Можно ввести понятие "погрешность регулирования уровней", то есть отношение значения сигнала, показываемого ИУ, к фактическому значению сигнала, который в данный момент записывается на ленту или поступает в передающий вещательный тракт.

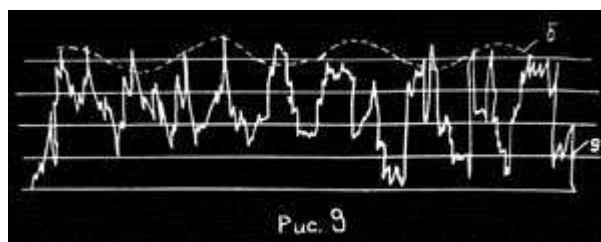
Экспериментально было определено время реакции звукорежиссеров высшей категории и наиболее квалифицированных операторов при регулировании уровней в вещательной аппаратной. Результаты измерений, обработанные методами математической статистики, подчиняются нормальному закону распределения, и получена достоверность $P = 0,98$ с точностью не менее 10%.

Время реакции звукорежиссеров на перемодуляцию было в пределах от 2,6 до 5,5 с, а операторов от 3,7 до 6,0 с.

Проведенные опыты позволяют предполагать, что время реакции может меняться в широких пределах в зависимости от характера исходного сигнала и состояния звукорежиссеров. Под "состоянием" понимается характеристика его индивидуальных возможностей, позволяющих ему успешно решать задачи контроля и управления. Такая характеристика является многокомпонентной и представляет собой набор показателей, описывающих множество физиологических и психологических параметров.

Было установлено, что регулирование максимальных уровней звукорежиссерами и операторами происходит волнообразно, рис.9.

Волнообразный характер регулирования не зависит от распределения уровней исходного сигнала, а обуславливается временем реакции и отсутствием опорного напряжения, с которым можно было бы сравнивать достаточность уменьшения или увеличения уровня в любой момент времени в процессе его регулирования.



Реакция звукорежиссеров на отдельные редкие выбросы уровней оказалась более быстрой, чем на частые выбросы, идущие подряд. Экспериментально доказано, что с увеличением длительности однообразной информации возрастают пороги обнаружения сигналов и уменьшается точность слежения. Особое место занимает регулирование уровней "живых" передач, например, парного дикторского чтения информационного материала. Не столько различная сила голоса каждого диктора, но главным образом пики, свойственные голосу и речевой манере данного диктора, делают совершенно невозможным регулирование уровней "живых" передач с удовлетворительной для практики точностью.

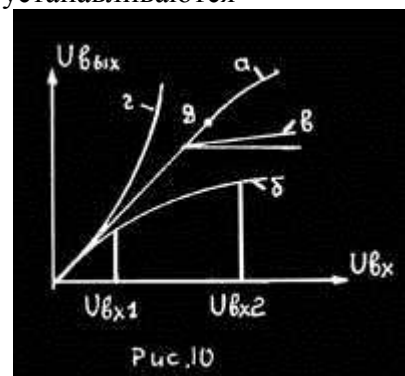
Теоретические исследования автора, подтвержденные экспериментальной проверкой, показали, что звукорежиссеры и операторы при работе в вещательной аппаратной, а также при записях по трансляции или с транспункта музыкальных программ, могут гарантировать поддержание уровней не точнее, чем в диапазоне 8 дБ (± 4 дБ).

Поддерживать уровни на "живых" речевых передачах с необходимой для практики точностью в настоящее время можно только применяя авторегуляторы.

Волнообразное регулирование уровней может приводить в зависимости от структуры исходного сигнала к значительным погрешностям. Как видно на рис.9, звукорежиссер увеличивает усиление в моменты, когда на вход ИУ поступает сигнал, амплитуда которого превышает номинальный уровень.

Авторегуляторы, их плюсы и минусы

Авторегуляторы нашли широкое применение в радиовещании и телевидении. Они устанавливаются в различных звеньях тракта и выполняют определенные функции. Например, на передатчиках и станциях проводного вещания устанавливаются ограничители максимального уровня; в междугородных каналах подачи программ используются компрессорные системы (компрессор-экспандер) для улучшения помехозащищенности; в центральных аппаратных на транспунктах и выездных станциях телевидения и звукозаписи применяются либо ограничители максимального уровня, либо компрессоры, и, наконец, в студийных аппаратных используются и ограничители, и компрессоры.

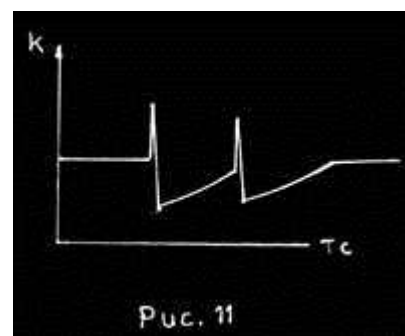


На рис.10 приведены амплитудные характеристики обычных усилителей (а), компрессора (б), ограничителя (в) и экспандера (г).

Характеристика обычного усилителя (рис.10, а) имеет два характерных участка: ниже точки г - линейный участок, выше точки г - участок, где нарушается линейность из-за перегрузки усилителя. Амплитудные характеристики авторегуляторов нелинейны, но это не означает, что происходит нелинейное преобразование мгновенных значений сигнала. Наоборот, вносимые ими нелинейные искажения малы, это достигается за счет того, что изменение напряжения или тока, управляющих коэффициентом усиления, происходит за время, которое значительно превышает период колебаний сигнала. Такие авторегуляторы относятся к классу инерционных. Как видно на рис. 10, б, с увеличением входного напряжения от $U_{вх1}$ до $U_{вх2}$ коэффициент усиления уменьшается, что характерно для компрессора. Наоборот, расширитель имеет характеристику, при которой коэффициент усиления увеличивается с ростом входного сигнала. Амплитудная характеристика ограничителя от точки 0 до точки г совпадает с характеристикой усилителя, а далее коэффициент передачи уменьшается и выходное напряжение остается постоянным при увеличении входного. Точка г соответствует порогу ограничения и выбирается равной номинальному выходному уровню.

Ограничитель максимального уровня может использоваться в двух режимах работы: так называемом "сторожевом", когда на его вход поступает номинальный максимальный уровень, и в режиме сжатия, когда на его вход подается уровень больше номинального.

В "сторожевом" режиме он реагирует на отдельные выбросы.



Существенным преимуществом авторегуляторов является их малая инерционность: время срабатывания для лимитеров и компрессоров колеблется в пределах 0,5 - 2 мс (иногда до 5 мс). После срабатывания проходит определенное время до восстановления нормального усиления. Это время для ограничителей выбирается равным 0,1-4 с, а для компрессоров

0,15-3 с. На рис.11 показано изменение коэффициента передачи ограничителя в момент срабатывания. Выброс (к примеру, 4 дБ) в течение 1 мс снижает усиление ограничителя на те же 4 дБ, а затем в течение 2 с усиление доходит до нормального. Но если за эти 2 с будет еще один выброс, то процесс повторится, в результате чего сигнал на выходе ограничителя будет меньше номинального. Кроме того, выбросы регулирования первого авторегулятора приводят к срабатыванию авторегуляторов, последовательно включенных в вещательный тракт. Поэтому в авторегуляторах второго поколения устанавливались безынерционные ограничители (пикосрезатели), которые срезали все выбросы больше, чем 1-1,5 дБ.

Когда ограничитель работает в режиме сжатия (или используется компрессор), не только усиливаются слабые сигналы, но и возрастают шумы. Поэтому в авторегуляторах второго поколения применялись пороговые шумоподавители, которые примерно с уровня -40 -50 дБ подавляли шумы.

При компрессии сигнала его громкость возрастает, и начинают подчеркиваться низкие частоты. Звук начинает "бубнить". Для повышения разборчивости речи перед авторегулятором включают корректирующий контур, создающий спад амплитудно-частотной характеристики до -20 дБ на частоте 100 Гц относительно частоты 1000 Гц и подъем до 5 дБ в области частот 4-5 кГц.

Существенным недостатком авторегуляторов первого и второго поколения являлось то, что наличие выброса уровня, обусловленного сильным звукоизвлечением одного из музыкальных инструментов оркестра, приводит к общему изменению звучания всего оркестра, т.е. к нарушению музыкального баланса. В авторегуляторах были установлены одни и те же временные параметры, при которых сравнивались разнообразные исходные сигналы. Это равносильно тому, что швейная промышленность выпускала бы костюмы только 52 размера. Кому-то они были бы впору, кому-то - велики, а кому-то - малы.

Звуки речи, например, имеют время установления 6-120 мс, кларнета - 50-70 мс, саксофона - 36-40 мс. В то же время электромузыкальные инструменты, некоторые типы ударных инструментов, импульсные шумы имеют время установления меньше 5 мс. Для таких сигналов ограничение без значительных выбросов возможно, если время установления ограничителя не превышает 100-200 мкс.

Поэтому авторегуляторы третьего поколения осуществляют регулировку в отдельных полосах частот и с различными временными характеристиками.

В настоящее время выпускаются 2-, 3-, 4- и даже 10-полосные авторегуляторы, а также дорогие специализированные высококачественные компрессоры. В них предусматривается возможность установки скорости нарастания и спада коэффициента усиления и номинального значения уровня входного сигнала. В каждой полосе можно независимо установить коэффициент усиления, порог и время срабатывания.

С помощью таких авторегуляторов сегодня возможно решать многие творческие задачи.

Музыкальные оттенки и динамический диапазон

Динамический диапазон звучания оркестра - это разница между наиболее громкими и наиболее тихими звуками при исполнении данного произведения.

Изменение громкости звучания оркестра в пределах его динамического диапазона называется динамикой. Она является одним из основных выразительных средств музыки.

Единственным средством оценки громкости пока является слух, а единицами измерения служат динамические оттенки (градации громкости) звука.

В старинной музыке (до XVIII века) было, по существу, всего два динамических оттенка - "громко" и "тихо". В современной музыке различают до восьми динамических оттенков - от *ppp* до *fff*. Указанные восемь динамических оттенков не обязательно используются во всех музыкальных произведениях - их количество в одном произведении может быть меньшим.

Другие способы оценки громкости в большей или меньшей степени приближаются к оценке органами слуха и являются вторичными.

Поэтому правильно будет называть значения, полученные с помощью различных приборов, не просто динамическим диапазоном, а динамическим диапазоном квазипиковых уровней - если речь идет об оценке с помощью ИУ. Но и этого недостаточно. Должны быть введены также следующие градации: измеряемый максимальный динамический диапазон уровней, статистический динамический диапазон уровней. В зависимости от тех или иных практических задач необходимо пользоваться соответствующим видом оценки динамического диапазона. Например, измеренный с помощью квазипикового ИУ максимальный динамический диапазон составляет 60 дБ. Но максимальных выбросов бывает всего один или два за все время звучания. Если сжать такой музыкальный фрагмент в два раза, то мы не получим практически выигрыша по громкости, потому что энергия выбросов сигнала очень мала. Этот же музыкальный фрагмент имеет статистический динамический диапазон уровней 42 дБ. Под статистическим диапазоном уровней понимают 98% энергии сигнала, а длительности максимальных и минимальных уровней, суммарно составляющие 2%, во внимание не принимаются.

В больших концертных залах и в больших студиях для уверенного различения оттенков одного от другого необходима разница громкости в 6-10 фон (фон - единица измерения уровня громкости, совпадающая с уровнем в децибелах на частоте 1000 Гц - прим. ред.).

В отдельных случаях эта разница может быть большей, но для различения оттенков она будет избыточной. Известно, что разница громкости зависит от уровня громкости, спектра и от времени реверберации помещения. Учитывая, что для уверенного различения динамических оттенков в среднем регистре громкости достаточна разница 6 фон, получим динамический диапазон оркестра $(3 \times 6) + (4 \times 10) =$

58 фон. Часто в литературе приводится значение $(7 \times 10) = 70$ фон. Однако не всегда поясняется, что эти данные соответствуют громкости, а размерность в упомянутых источниках приведена в децибелах, что соответствует уровням громкости. На самом деле динамический диапазон оркестра может достигать 100 и более децибел. Например, оркестровое *tutti* с последующей паузой. Динамический диапазон звучания оркестра 58-70 фон передать по каналам вещания нельзя. Поэтому некоторые исследователи утверждают, что достоверная художественная передача музыки по вещательному каналу вообще невозможна. Это мнение разделяют и многие работники радиовещания. Однако оставалось неизвестным, какой же должна быть разница в градациях громкости, чтобы в жилом помещении слушатель мог с уверенностью различать динамические оттенки.

Автором было проведено экспериментальное исследование допустимой динамики звучания в жилых помещениях. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Музыкальные оттенки (градации громкости)	Условное обозначение	Уровни громкости, фон			
		в больших студиях, залах		в жилом помещении	
		максимальный	допустимый	максимальный	допустимый
Самые громкие звуки	fff	110-120	100-110	80-88	64-68
Очень громкие	ff	100-110	40-50	50-46	40-43
Громкие	f	90-100	90-98	74-81	60-64
Умеренно громкие	mf	80-90	80-88	68-74	56-60
Умеренно тихие	mp	70-80	70-78	62-67	52-56
Тихие	p	60-70	60-68	56-61	49-52
Очень тихие	pp	50-60	52-58	50-55	46-49
Самые тихие	ppp	46-52	45-49	43-46	40-43
Динамический диапазон		70	60-64	40-45	24-25

(В партитурах композиторов-романтиков: Вагнера, Берлиоза, Чайковского и др., встречаются и более "гипертрофированные" динамические обозначения, например, rrrr или ffff. Но с технической точки зрения реальный динамический диапазон в этих произведениях не выходит за рамки, указанные в таблице - прим. ред.)

Значения градаций громкости, приведенные в табл.2, довольно близко совпадают с аналогичными данными, полученными другими исследователями. Так, например, Скучик, Федкеллер и Цвикер, Ржевкин и др. указывают, что на средних частотах человек уверенно различает громкость при ее изменении на 25%, т.е. на один фон, а на низких частотах - при изменении на 2 фона.

Разница градаций громкости (табл. 2), необходимая для уверенного различения динамических оттенков, в больших залах и студиях значительно больше, чем в жилых помещениях.

Максимально допустимый динамический диапазон в жилых помещениях составляет 40-45 фон. Превышение этого значения приводит к неприятному звучанию.

Для уверенного различения динамических оттенков в жилых помещениях достаточна разница градаций громкости 3 фона. Таким образом, для воспроизведения всех восьми оттенков от ppp до fff достаточно 24 фона. Следовательно, имеется возможность осуществления передач через УКВ/ФМ станции такого динамического диапазона, который обеспечит у слушателей уверенное различение всех динамических оттенков симфонического оркестра. Приблизиться к такой передаче можно и в диапазоне длинных и средних волн при использовании приемников с широкой полосой пропускания для местного приема.

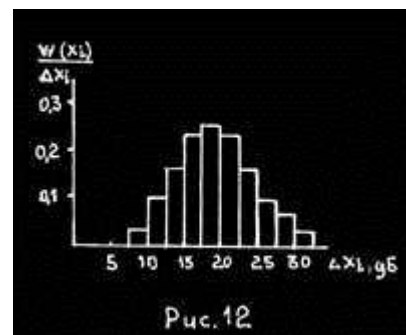
Так как громкость зависит от силы звука и его спектра, а также от времени реверберации помещения, то ограничение спектра звучания приводит и к искажению динамики. Компрессоры должны быть установлены в студийной аппаратуре, и степень компрессии должна выбираться в зависимости от времени реверберации студии, в которой производится запись.

Чем больше время реверберации студии, тем больше должна быть компрессия!

На рис.12 приведено распределение диапазонов квазипиковых уровней музыкальных передач на выходе АЦ ГДРЗ на программе "Маяк". Как видно на рис.12, имеются записи с диапазоном уровней 30-35 дБ. На рис.13 приведено распределение диапазонов квазипиковых уровней на выходе приемника при приеме программы "Маяк": видно, что

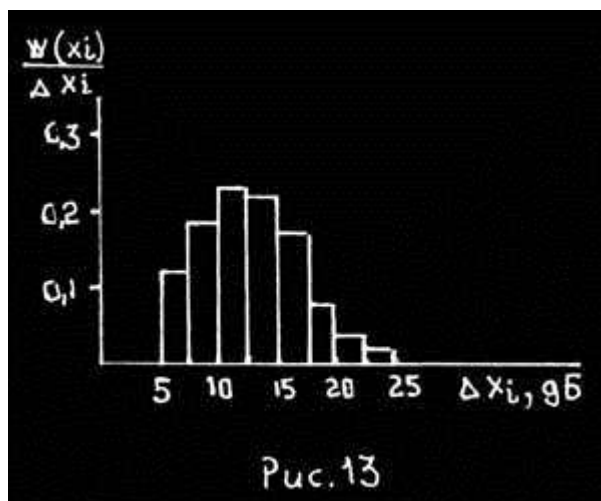
установленные в тракте авторегуляторы примерно на 5 дБ увеличивают компрессию сигнала.

Полученные результаты хорошо коррелируют с санитарными нормами на громкость прослушивания в жилых помещениях, в которых из-за несовершенства звукоизоляции стен и перекрытий уровень шума составляет 30-40 дБ, а максимальный уровень звукового давления при прослушивании не должен превышать 80 дБ, чтобы не создавать неудобств соседям.



Даже если каким-то чудом удалось бы в комнату площадью 20-25 м² усадить полный симфонический оркестр, то музыканты играли бы значительно тише, чем в большом зале. Меломанам и любителям симфонической музыки ничего другого не остается, как слушать классическую музыку в концертных залах и в консерватории.

Звукорежиссер работает на таком участке творческого процесса, где техника и искусство дополняют друг друга. Следовательно, звукорежиссер призван объединять в своем лице и художника и техника - чем выше будет его техническая подготовка, тем успешнее он будет решать творческие задачи с помощью технических средств.



Владимир Семенович Островский 50 лет проработал на радио. Из них 36 лет занимался разработкой аппаратуры и исследованиями в области вещания, много лет читал лекции в институте усовершенствования работников радио и телевидения.

Редакция благодарит за помощь в подготовке статьи музыковеда Анастасию Меерзон.

Как оценить качество фонограммы?

Владимир Островский

Можете ли вы сразу ответить на вопрос: как и почему вам понравилась (или не понравилась) музыкальная передача по радио или звуковая часть передачи по телевидению? Вряд ли. Субъективные мнения даже специалистов звукозаписи будут разными, а где-то противоположными.

Обычно все сводится к оценке хорошей либо плохой (понравилось или не понравилось). Но, вот "почему", вернее "потому", будут разными.

Иной раз фигурируют определения из далеких областей: "вкусно", "изысканно", "ароматно", "грязно", "в дымке", "пестро" и т.п. И все это относится к прослушанной записи. В результате, в эфире одном и том же концерте пианиста рояль звучит то близко, то далеко, "гуляя" перед радиослушателем от одного произведения к другому.

Или в передаче оперной музыки в одном фрагменте вокалист звучит очень близко, а оркестр неконкретно, как будто из другого помещения, с совсем иной акустикой; в другом, наоборот - совершенно неоправданно сценической ситуацией солист звучит как из-за сцены, а оркестр совсем рядом. Не всегда бывает возможно различить текст у хора: порой оркестр заглушает певца...

Сказать в этих случаях - нравится или не нравится, хорошо это или плохо - это не сказать по существу ничего.

Главное и основное - определить, почему хорошо или почему плохо.

Разобравшись в этих "почему", мы научимся избегать ошибок, научимся "разговаривать" на одном языке и не только для определения качества готовых фонограмм, но в первую очередь для умелого их создания.

С целью выработки общих критериев оценки качества музыкальных фонограмм и разработки мероприятий по улучшению техники записи еще в 1965 году в Берлине состоялось первое совещание экспертов групп прослушивания музыкальных записей радиовещательных организаций членов ОИРТа. В совещании приняли участие звукорежиссеры, представители музыкальных редакций нескольких стран.

В первую очередь был проведен анализ различий в качестве звукозаписи, затрудняющих международный обмен магнитными лентами.

В результате дискуссии были выработаны параметры для определения качества монофонических записей, а спустя два года - дополнительные пункты для оценки стереофонических фонограмм. Впервые были конкретно определены параметры для профессиональной субъективной оценки качества музыкальных записей.

Оценка проводится по трехбалльной системе: I - единица (запись весьма хорошего качества, без существенных недостатков, пригодна для вещания); II - двойка (запись хорошего качества, с незначительными недостатками, пригодна для вещания); III - тройка (IIIa - запись со значительными техническими или художественными недостатками, может быть принята условно к разовой передаче; IIIб - запись плохого технического качества, представляющая документальную ценность; IIIв - запись, имеющая существенные недостатки, непригодна для вещания).

Подробно с содержанием каждого параметра в отдельности мы надеемся ознакомить читателей в следующих номерах журнала.

Пока же остановимся на методике оценки качества фонограммы.

На каждую запись музыкального произведения в целом или по частям (произведения циклические или разделенные на акты, действия, картины, номера) заполняются отдельные протоколы. Слушающие и определяющие качество записи на магнитной ленте выставляют, каждый в отдельности, возле параметров ту или иную оценку. В нижней части оценочного протокола ставится общая оценка ("Общее впечатление"). Затем по протоколам всех участников экспертизы субъективные мнения-оценки статистически обрабатываются, в результате чего выявляется объективная оценка, как по отдельным параметрам, так и общая о приемлемости фонограммы в целом.

Разумеется, прежде чем приступить к подобной экспертизе, необходимо долго тренироваться, так как определение качества фонограммы по перечисленным параметрам требует определенного опыта, развития навыка профессионального прослушивания.

Так, в Государственном доме радиовещания и звукозаписи в Москве звукорежиссеры в течение двух с лишним лет проводили еженедельные встречи-прослушивания музыкальных записей по параметрам оценочных протоколов, в результате чего можно констатировать сближение точек зрения. Это выявилось в схожести оценок, идентичности замечаний как по отдельным параметрам, так и общим впечатлениям. И, главное, сказалось на качестве создаваемых музыкальных записей и передач.