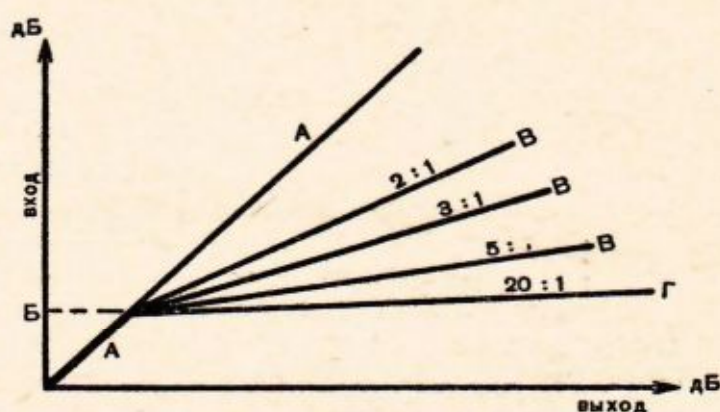
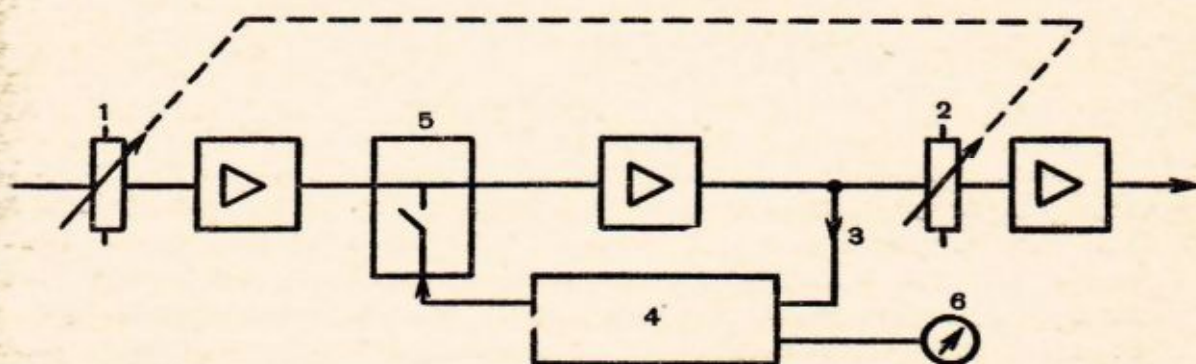


Внешний вид блока компрессора/лимитера: А — индикатор уровня (диапазон: 0—24 дБ); Б — переключатель пороговых уровней от —24 до +16 дБ относительно номинального нулевого значения; В — закон компрессии — 1:1 (т. е. компрессия отсутствует); 2:1; 3:1; 5:1 и Lim (например, 20:1, т. е. режим ограничения). Г — выбор времени срабатывания: от 0,1 до 3,2 с.



Соотношения компрессии. А — линейный режим, когда уровни на входе и на выходе одинаковы. Выше определенного порогового уровня Б уровень выходного сигнала уменьшается относительно входного в соответствии с определенным отношением В. В крайнем случае Г компрессор начинает работать как ограничитель сигнала, удерживая максимальный уровень выходного сигнала примерно около порогового значения.



Простая схема компрессора/лимитера: 1 и 2 — регуляторы порогового уровня (сопряженные механически). Часть сигнала программы 3 подается на боковую цепь 4, в которой есть регулировка закона ограничения и времени срабатывания, затем на управляющий элемент 5, включенный в основной канал. Степень уменьшения сигнала показана на индикаторе 6.

до допустимого максимума, т. е. не перемодулировали бы канал.

На практике это означает, что общий уровень в канале можно поднять на 8 или 32 дБ, не опасаясь перегрузок, и слабые сигналы будут теперь играть в звучании гораздо большую роль, чем прежде.

Как работает ограничитель (лимитер)

Предположим теперь, что отношение входного и выходного сигнала сделано очень большим, например 20:1, а пороговый уровень поднят почти до уровня 100%-ной модуляции. Компрессор теперь работает так, что его называют ограничителем сигнала. Оставляя постоянно включенным в канале, его можно использовать для того, чтобы в электроакустический тракт не прошли большие пики сигнала, которые могут сильно перегрузить и даже испортить слаботочное оборудование, или чтобы «вытащить» почти неслышный сигнал до номинального уровня. Возникают, правда, две опасности: сигналы больших уровней могут быть слишком сильно сжаты, так что динамические соотношения в полученном звучании будут весьма нереальными, а при большом усилении слабых сигналов одновременно сильно увеличатся шумы.

Как мы видели, действие компрессора с пороговым уровнем на 8 дБ ниже номинального и отношением 2:1 сводится к тому, что сжимаются только сигналы, уровни которых попадают в «трубку» шириной 16 дБ. Сигналы с меньшими уровнями изменяются с отношением 1:1.

Время срабатывания в большинстве ограничителей можно установить на 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 и 3,2 с. При минимальном времени срабатывания ограничитель будет хорошо ограничивать короткие всплески сигнала, не влияя на сигналы «заднего плана». Однако при быстрой последовательности пиков может возникнуть неприятный на слух эффект, похожий на вибрато. Для большинства случаев вполне годится время срабатывания порядка 0,5 с. При небольшом ограничении выбранная величина не критична.

Компрессоры и лимитеры не следует использовать для записи классической музыки. Да и вообще уровнем записи лучше управлять вручную во всех тех случаях, когда это технически осуществимо. Использование сжатия динамического диапазона сигналов в «поп-музыке» — особый случай.

Искусственная реверберация в эхо-камере

«Эхо-камера» — довольно-таки странное название для устройства, которое предназначено для увеличения времени реверберации. Это устройство не вносит ничего, что, собственно, и называется «эхо». Однако название закрепилось за ним и принято ныне. Эхо-камеру используют в тех случаях, когда нужно большее время реверберации, чем возможно в студии с конкретной акустикой и когда (при записи музыки) используют многоканальную запись с близким расположением микрофонов относительно источников.

152 В большинстве звукорежиссерских пультов предусмотрена возможность подачи любого источника на устройство искусственной

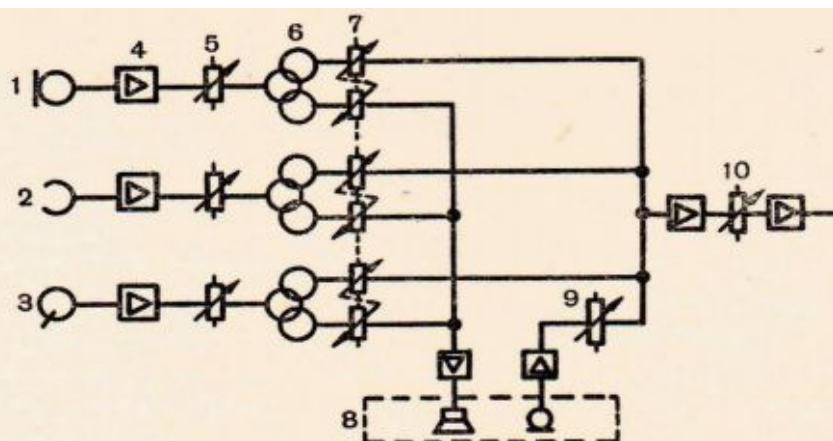
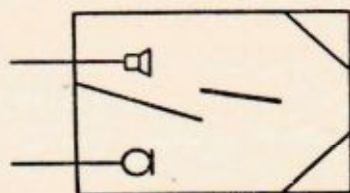
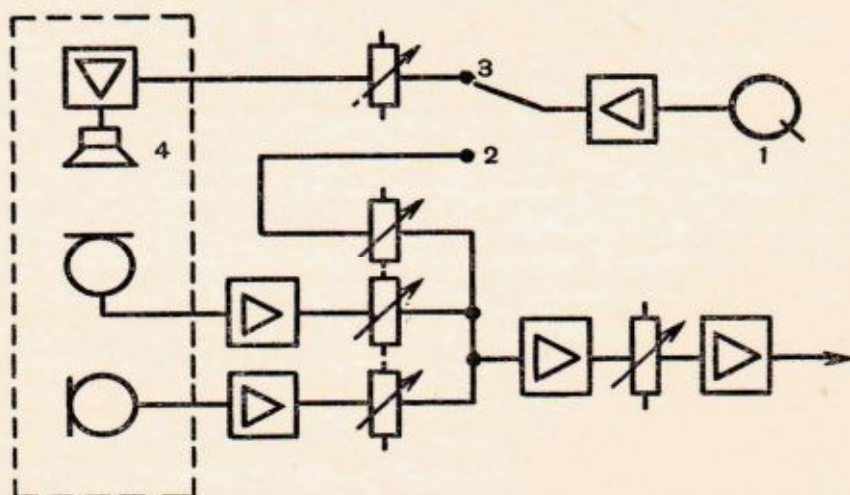


Схема подачи сигнала в эхо-камеру: 1 — микрофон; 2 — воспроизводящая головка магнитофона; 3 — проигрыватель; 4 — предварительные усилители; 5 — индивидуальные регуляторы уровня источников; 6 — разделительный трансформатор; 7 — сдвоенные переключатели, регулирующие уровни сигналов в основной цепи и в цепи эхо-камеры. Обычно у такого переключателя девять положений: в центральном уровне сигналов в обеих цепях максимальны. При повороте ручки влево сигнал, подаваемый в эхо-камеру, ступенчато уменьшается до нуля, при повороте вправо уменьшается сигнал в основной цепи; 8 — эхо-камера; 9 — регулятор уровня эхо-сигнала; 10 — общий регулятор уровня.



Эхо-камера. Иногда помещение эхо-камеры делают V-образным, чтобы увеличить расстояние от громкоговорителя до микрофона. Наклонный потолок и непараллельные стены предотвращают образование пространственных резонансов.



Акустическая добавка. Магнитофон или проигрыватель 1, сигнал от которых обычно подается на микширующее устройство через контакт 2, иногда (если записанное звучание «сухо», и реверберация студии «оживит» его) включают через контакт 3 к контрольному громкоговорителю студии 4.

реверберации. Поскольку для каждого источника можно установить свое время реверберации, это дает большую свободу действий, чем в помещении с естественной акустикой.

Вполне удовлетворительно работают в системах искусственной реверберации эхо-камеры и листовой ревербератор. Существует и гораздо более компактная и дешевая пружинная система. Все они обеспечивают создание случайных затухающих многократных отражений. Основная техническая проблема в каждом случае — как устранить или уменьшить отчетливо слышимую окраску звучания.

Эхо-камера может быть помещением с твердыми отражающими стенами, в котором произвольно «разбросаны» предметы неправильной формы, призванные устранить однородность отражений и уменьшить избыточную реверберацию на средних частотах. При влажном воздухе время реверберации на верхних частотах повышается; если воздух сухой, верхние частоты лучше поглощаются. Поэтому свойства эхо-камеры, связанной как-либо с внешним миром, могут меняться в зависимости от погоды.

Недостатки эхо-камеры

Размеры и форма помещения влияют на качество процесса многократных отражений. Следует избегать помещений в форме параллелепипеда: они обычно придают отчетливую окраску звучанию из-за сильных пространственных резонансов. Последние лишь усугубляются, если в относительно небольшом объеме (обычно порядка 100 м³ или даже меньше) в единицу времени происходит множество отражений. Потолок в эхо-камере должен быть наклонным — это помогает уменьшить роль пространственных резонансов.

Другой недостаток эхо-камеры — время реверберации в ней постоянно. Две секунды могут быть удовлетворительной величиной для музыки, однако это не подходит для драматических спектаклей. Небольшое послезвучание может стать очень заметным при монофонической передаче речи. Еще одна проблема, возникающая в связи со строительством эхо-камеры, — она увеличивает стоимость всего здания. Как и тон-студии, эхо-камеры следует хорошо изолировать от ударного шума, распространяющегося по ограждающим конструкциям.

Эхо-камеры до сих пор находят широкое применение в звукозаписи, хотя они и начинают уступать более удобным и простым в эксплуатации листовым ревербераторам. Все же у них есть одно неповторимое достоинство: затухание звука носит естественный характер, поскольку процесс образования отзвука протекает в трех измерениях. В листовом ревербераторе, в котором отражения происходят на плоскости, отражения на слух кажутся неестественными. В пружинном ревербераторе, где звуковое колебание отражается вдоль линии, звучание непохоже на истинную реверберацию, однако оно пригодно для создания определенных эффектов.

Возможно и компромиссное решение: трехмерный сосуд с таким жидким (или желеобразным) наполнителем, в котором скорость распространения звука меньше, чем в воздухе. Такое устройство занимает гораздо меньше места, чем обычная эхо-камера, и его можно делать неправильной формы. Время реверберации в таком устройстве постоянно.

Листовой ревербератор

Это устройство занимает меньше места и не так подвержено действию ударного шума, как эхо-камера. Правда, ревербератор может принимать звуковые волны, существующие в том же помещении, где он установлен. Поэтому, во избежание возникновения акустической обратной связи, его не рекомендуют устанавливать рядом с контрольным громкоговорителем. Ревербераторы, установленные в одном помещении, друг на друга не влияют.

Поперечные колебания

Стальной лист в ревербераторе похож на тот, что применялся раньше в театре для создания «грома». Однако его не надо брать в руки и что есть силы трясти: звуковые волны распространяются по воздуху, для этого служат два преобразователя. Один из них возбуждает в листе колебания так же, как катушка электродинамического громкоговорителя возбуждает колебания его конуса; второй — звукопередатчик, действующий подобно контактному микрофону, принимает возникающие колебания.

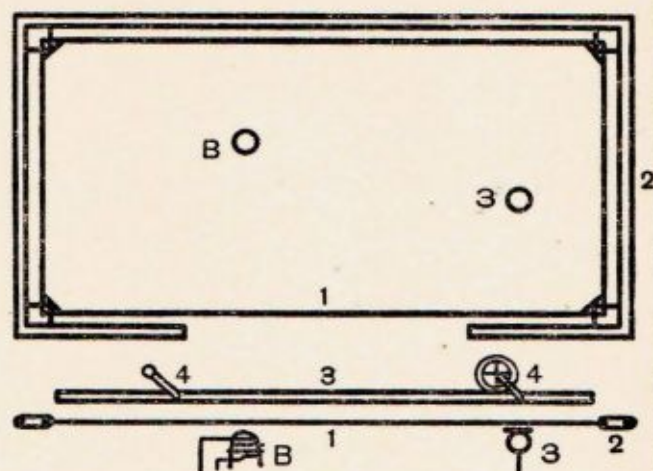
В листовом ревербераторе используют тонкий стальной лист, подвешенный с некоторым напряжением за четыре угла на трубчатой стальной раме. Чтобы получить минимальные возможные размеры, приемлемые для применения, и избежать «металлического» характера звучания, площадь листа делают размером меньше 2 м^2 , а толщину — не больше $0,5 \text{ мм}$. Тогда в стальном листе возникают хорошие условия для распространения поперечных колебаний. В отличие от эхо-камеры собственные резонансы листа не становятся одиночными на нижних частотах, а равномерно распределяются во всем диапазоне звуковых частот.

Время реверберации

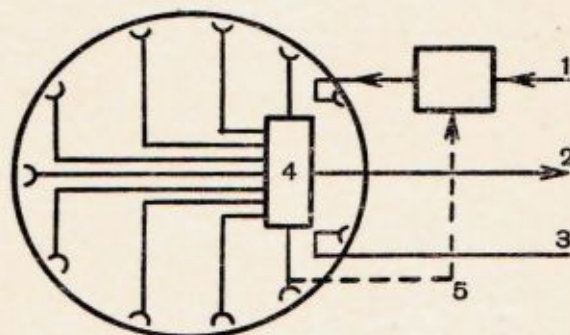
При заданном номинальном времени реверберации на средних частотах оно будет максимально, на нижних — немного меньше, а на верхних — существенно меньше, чем на средних (до 15 дБ при частоте 10 кГц). Это имитирует поглощение верхних частот в воздухе помещения среднего размера. Для создания большей реальности частотной зависимости времени реверберации в листовом ревербераторе применяют демпфер. В противном случае время реверберации на самых нижних частотах может стать неоправданно большим.

155 Для получения нужного затухания и для требуемой частотной зависимости времени реверберации используют тонкий слой пори-

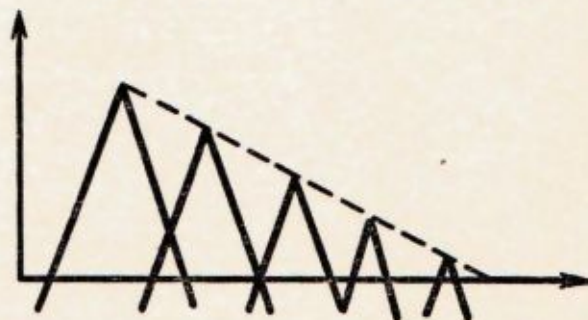
Листовой ревербератор: 1 — стальной лист; 2 — трубчатая стальная рама; 3 — демпфирующее устройство, поворачиваемое вокруг оси 4 (на рисунке показано ручное управление демпфером, однако во многих ревербераторах используют электродвигатель, управляемый дистанционно со звукорежиссерского пульта); В — возбудитель; 3 — звукосниматель (контактный микрофон). Листовой ревербератор обеспечивает лучшие качественные показатели, чем остальные устройства искусственной реверберации.



Эхо с помощью магнитного цилиндра или петли: 1 — вход головки записи; 2 — выход; 3 — цепь подачи стирающего сигнала; 4 — внешнее устройство, смешивающее сигналы; 5 — сигнал от последней головки воспроизведения, который можно вновь подать на вход, чтобы получить сигналы с еще меньшими уровнями. Качество звучания такого устройства заметно отличается от эхо-камеры или листового ревербератора.



Сигнал от магнитного ревербератора (петли или цилиндра). Звучание обычно жесткое, «механическое». На малой скорости оно воспринимается как пульсация, а затем как последовательность отдельных эхо-сигналов. Все это может быть использовано для создания специальных эффектов.



стого поглотителя (спрессованной стекловаты) толщиной 0,8 мм, расположенного на определенном расстоянии от листа. Хотя лист почти не излучает звуковых колебаний в окружающее пространство, близ поверхности образуются стоячие волны, а поскольку демпфер поглощает их энергию, время реверберации уменьшается.

Время реверберации можно варьировать от 0,3 до 5,3 с — это зависит от расстояния между листом и поглощающей поверхностью (его можно сделать от 3 до 120 мм). Этот промежуток изменяют обычно с помощью электродвигателя, перемещающего поглотитель. Управляют им с помощью кнопок, установленных прямо на звукорежиссерском пульте, а контролируют удаление от листа по специальному индикатору.

Хотя в листовом ревербераторе происходит двухмерное преобразование, качество процесса реверберации трудно отличить на слух от эхо-камеры. Если отзвуки должны быть более «механическими» на слух, используйте петлю магнитной ленты, магнитный цилиндр или пружинный ревербератор.

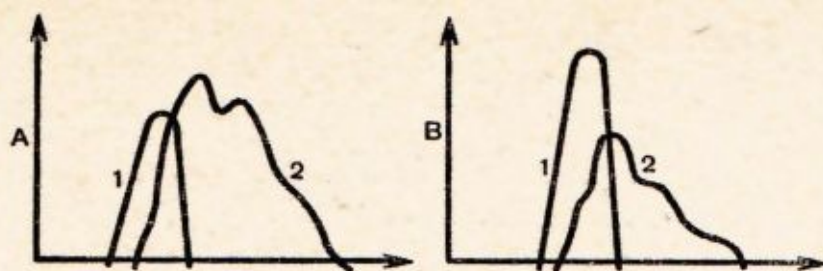
Использование искусственной реверберации

Искусственную реверберацию вводят в процессе записи всегда, когда микрофоны, по тем или иным соображениям, установлены в ближней зоне источников сигнала. Поскольку у каждого источника есть индивидуальная цепь подачи сигнала в ревербераторы, можно добавлять разное количество реверберации в зависимости от требуемой степени конкретности партии или звучности инструмента. Солиста можно «выдвинуть вперед», увеличив долю прямого звука и уменьшив сигнал, подаваемый на ревербератор. Пение должно сопровождаться меньшими отзвуками (как по амплитуде, так и по долготе), если слова должны быть разборчивыми. Правда, в современных композициях нередко требуется минимальная разборчивость отдельных ключевых слов или фраз, чтобы слушателям стало ясно настроение или смысл музыкального произведения. Степень введения реверберации зависит от звукорежиссера.

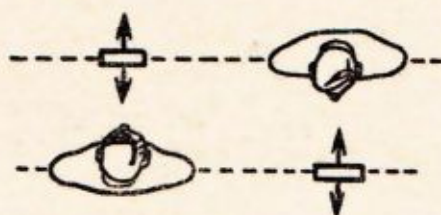
Имитирование концертного зала

Если классическую музыку записывали в помещении с недостаточно большим временем реверберации (как в большинстве телевизионных студий или в кинопавильонах), можно попытаться исправить дело, добавив реверберацию искусственно. В концертном зале, благодаря его большим размерам, существует небольшой промежуток между моментом прихода прямого звука и первым отражением. Характерное звучание многих инструментов объясняется тем, что происходит с прямым звуком за этот интервал. Можно попытаться восстановить задержку, отсутствующую в «сухом» звучании, и таким образом усилить впечатление его объемности, пропустив часть сигнала, идущего обычно к ревербератору, через сквозной тракт записи-воспроизведения магнитофона.

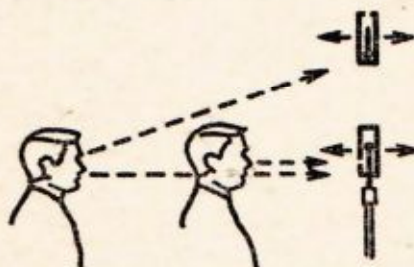
157 Имитация реальных условий будет удачной, если скорость движения ленты велика, а расстояние между головками мало. Задерж-



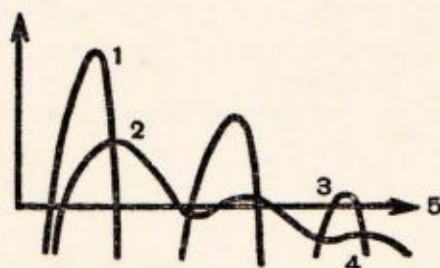
Поднешивание реверберации. При раздельном управлении уровнем сигнала в основном канале 1 и в канале реверберации получают разные эффекты: А — реверберация доминирует; В — реверберирующий отзвук быстро затухает.



Реверберация для двух голосов. Если для двух голосов нужно получить разное время реверберации, актеров и микрофон располагают так, чтобы голос приходился на сторону минимального приема «чужого» микрофона. Так делают нередко в радиостудии; в телестудии больше места и разделить голоса проще.



Реверберация для получения акустической перспективы. Дополнительный двунаправленный микрофон устанавливают над основным, и его сигнал обогащают большей реверберацией, благодаря чему акустическая перспектива расширяется в сценах, где нужно показать реакцию толпы. Если актер находится ближе к основному микрофону, реверберация автоматически уменьшается.



Влияние положения регулятора уровня: 1 — громкий прямой звук; 2 — слышимая реверберация; 3 — тихий прямой звук; 4 — реверберация от тихого звука ниже порога слышимости; 5 — при данном положении регулятора уровня существуют прямые звуки, уровень которых мал и реверберация не слышна. Это зависит также и от положения громкоговорителя при прослушивании.

ка сигнала на десятую долю секунды соответствует разнице хода примерно в 30 м — как в большом зале. Помните, однако, что это уже настоящий эхо-сигнал, поскольку задержка, большая, чем двадцатая доля секунды, позволяет разделить на слух первичный и отраженный сигнал, в результате чего при отрывистых звуках (стаккато) будут слышны отдельные эхо-сигналы.

Большой путь, пробегаемый звуковыми волнами в концертном зале, приводит к ослаблению верхних частот в спектре сигнала (если воздух сухой). Для имитации этого явления сигнал с выхода ревербератора надо пропустить через соответствующий корректор, чтобы подрезать верхние частоты. Для певцов и для оркестра можно устанавливать разное время реверберации.

Реверберация при записи речи

При записи речи (например, в драматических постановках) главная проблема в использовании искусственной реверберации — правильная передача звуковой перспективы. Приближение актера к микрофону приводит к увеличению реверберирующего отзвука. Эффект, как видим, обратный тому, что происходит в жизни. Исправить положение может отдельный микрофон, подающий сигнал прямо в эхо-камеру. Поможет делу и тщательное исполнение заранее согласованных со звукорежиссером перемещений. Если для двух голосов, принимаемых на один микрофон, нужно разное время реверберации, то следует использовать переключатель (для подачи разных уровней в систему искусственной реверберации), а не регулятор уровня сигнала. Ведь когда положение регулятора громкости после сделанного изменения для одного голоса потребуются вернуть в первоначальную позицию для сохранения выбранного времени реверберации второго голоса, то делать это надо не в промежутке между ними, поскольку это будет слышно, а в момент начала нового звука. Изменять положение регулятора уровня на тихой паузе можно лишь в случае, если она достаточно велика.

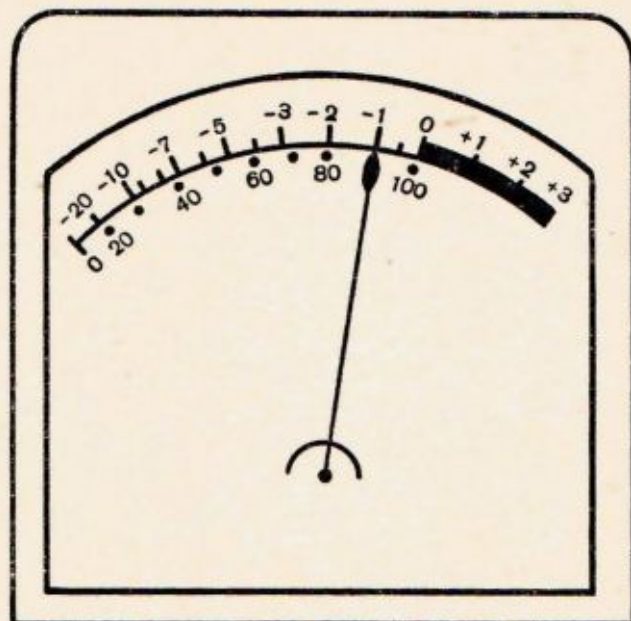
Контроль уровня сигнала: индикаторы уровня

Максимальный возможный уровень сигнала должен быть точно определен. В радиовещании с амплитудной модуляцией «100% модуляция» означает буквальное достижение такого уровня сигнала, выше которого пики сигнала будут больше амплитуды несущей, которая будет на этот момент пропадать. В грамзаписи также существует физический предел: толщина стенки между канавками. Однако на практике современный термин «полная модуляция» означает лишь достижение определенного предела, дальше которого в сигнале будет превышен допустимый уровень искажений.

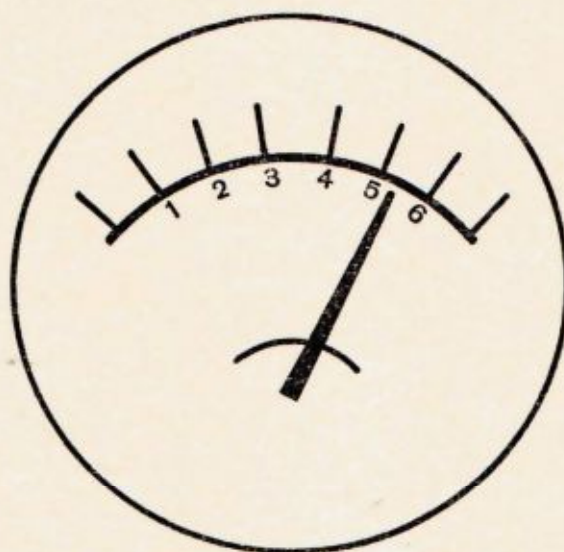
Существует также минимальная величина уровня сигнала, ниже которой становятся сильно заметны шумы самых разных видов.

159 Звукорежиссер должен непрерывно следить за величиной сигнала,

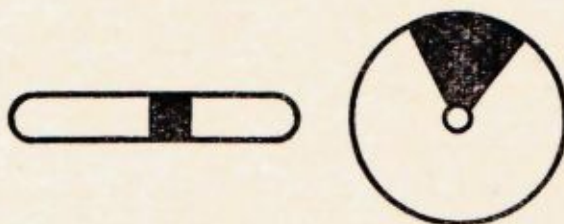
Индикатор уровня. Верхняя шкала отградуирована в уровнях сигнала (в дБ) относительно уровня «100-процентной модуляции». На нижней шкале показана соответствующая этим уровням степень модуляции в процентах. Следует ожидать появления искажений, когда стрелка переходит за 100%.



Индикатор пиковых значений. У него простая шкала (обычно белая на черном фоне), и за ней легко следить в течение долгих промежутков времени. Цифры на шкале индикатора, используемого в практике Би-Би-Си, выбраны произвольно: деления между 2 и 6 соответствуют разности уровней в 4 дБ; 6 означает 100-процентную модуляцию. Благодаря малой постоянной времени стрелки уже за 4 мс достигают 80% своего полного отклонения; искажения всплесков сигналов с более короткой продолжительностью не будут заметны на слух. Все индикаторы одного электроакустического тракта нужно отрегулировать при подаче эталонного уровня: все они должны показывать «4».



Индикатор типа «магический глаз». При максимальном допустимом уровне сигнала темная часть индикатора должна превратиться в узкий штрих, но не перекрываться.



уменьшая или увеличивая его там, где нужно, чтобы достичь максимального использования диапазона уровней между шумами и искажениями. При этом он пользуется индикатором уровня, чтобы проверить правильность выбранных решений.

Типы индикаторов

Существует два основных типа индикаторов: индикатор уровня (используемый в основном в США) и индикатор пиковых значений (широко применяемый в Европе).

На индикаторе уровня — две шкалы: шкала децибел и шкала процентов модуляции. Это может быть прибор непосредственного считывания, т. е. не требующий специального усилителя. В высококачественном студийном индикаторе большая постоянная времени не позволяет отмечать переходные процессы (чтобы глаз успевал реагировать на очень быстрое изменение уровней сигнала, используют постоянные времени порядка 300 миллисекунд). Недостатки шкал этого индикатора состоят в том, что «проценты модуляции» никак не связаны с относительными уровнями сигналов, уровень которых всего на 3 дБ выше или ниже уровня 100%-ной модуляции. Немногие натуральные сигналы имеют такой малый диапазон изменения уровней.

Несмотря на все это, многие звукотехники считают, что такие индикаторы дают им достаточно сведений об относительных уровнях сигналов.

Индикатор пиковых значений используют не только в практике записи, но и в технике передачи сигналов. В нем используется специальный логарифмический усилитель, который дает показания уровней сигналов в более широком рабочем диапазоне, чем диапазон индикатора уровня. У типичного индикатора пиковых значений постоянная времени равна 2,5 миллисекунд при увеличении сигнала и 1 с при уменьшении сигнала (т. е. скорость спадания 8,7 дБ/с).

Индикатор «магический глаз» может мгновенно регистрировать пики сигналов (хотя постоянная времени его реакции зависит от его схемы). Однако такие индикаторы утомляют зрение и в профессиональной аппаратуре не применяются.

С помощью индикаторов уровней можно проверять, нет ли произвольных потерь между отдельными блоками оборудования или слишком большого усиления, оценивать относительные уровни двух различных фонограмм, следить за тем, чтобы уровни сигналов оставались в приемлемых пределах, требуемых для обеспечения хорошего качества записи и т. п.

Уровень программных сигналов

Индикатор уровня используют также для проверки правильности установки среднего уровня программы или необходимости его изменения относительно среднего уровня других программ. Например, если дискуссия с нормальным динамическим диапазоном передается так, что лишь отдельные пики (когда участники говорят

наперебой) достигают допустимого максимума (100%-ной модуляции), то голос диктора, равномерно и четко читающего новости, будет достаточно громким, хотя уровень пиков в этом случае в среднем на 6 дБ меньше. Опытным путем можно вывести общую закономерность в соотношениях уровней передач разного характера (см. на следующей странице).

Когда радиостанция имеет ограниченный набор программ, то и сопрягать их по уровням довольно легко, поскольку характер звучаний ограничен. Однако крупная радиовещательная организация (они по-прежнему существуют в большинстве стран мира) передает новости, комедийные спектакли, музыку (как легкую, так и серьезную), радиожурналы, дискуссии и многое другое. Поэтому проблема сопряжения разнородных, быстро сменяющихся программ по уровням может стоять весьма остро: ведь не заставлять же слушателя делать звук громче и тише только в зависимости от того, больше или меньше интересуется передаваемая программа. Увеличение громкости передачи, которая не интересует слушателя, вызовет у него только раздражение.

Сопряжение уровней музыки и речи

Два правила, позволяющие сделать в целом незаметными переходы от музыки к речи, и наоборот, приведены во второй таблице на следующей странице. Очевидное противоречие, содержащееся в этих указаниях, устраняется очень просто: уровень речи вначале должен быть на 2 дБ ниже требуемого, а затем его надо постепенно увеличить на эту малую величину. Для указанных уровней предполагается, что слушатель отрегулировал громкость звука так, чтобы внимательно слушать программу. В этих условиях пиковые уровни голоса диктора между музыкальными пьесами должны быть меньше пиковых уровней музыки. Если же заранее известно, что программу будут слушать негромко, то допустим больший относительный уровень речи. В наихудших условиях приема передачи голос диктора может быть на 8 дБ выше пиковых уровней музыки, если только это сообщение действительно стоит того, чтобы его услышали.

Сопряжение уровней не столь серьезная проблема для станций, слушатели которых воспринимают программы в шумных или неблагоприятных условиях (например, в автомобиле или через такое низкокачественное устройство, как миниатюрный транзисторный приемник). То же касается тех передач, в которых главное — их содержание. В развивающихся странах, например, относительно небольшое число радиовещательных станций должны покрыть огромную территорию, и поэтому качество передачи музыки не так важно, как разборчивость речи.

Предпочтительные уровни прослушивания

Опыты, определяющие, какие уровни прослушивания программ предпочтительны для слушателей, показали (см. таблицу внизу), что звукорежиссеров, в отличие от музыкантов, устраивают край-

Рекомендованные пиковые уровни для радиовещательной станции с полным набором программ. При небольшом разнообразии программ возможен более узкий диапазон уровней. Приводимые уровни даны относительно уровня 100%-ной модуляции передатчика. Они определены с помощью индикатора пиковых значений.

Вид программного сигнала	Пиковый уровень, дБ
речь, дискуссионные программы	0
новости, метеосводка	-6
радиоспектакли: рассказчик	-8
радиоспектакли: голоса актеров	от 0 до -16
легкая музыка	от 0 до -16
серьезная музыка	от 0 до -22*
клавесин и волынка	-8
клавикорды	-16
объявления в промежутках между музыкой (в зависимости от ее характера)	от -4 до -8

* Или еще меньше, но не дольше, чем на полминуты.

Относительные уровни речи и музыки в соответствии с проверкой на слушателях, проведенной Би-Би-Си. Программа, куда входила как легкая, так и серьезная музыка (но не «поп-музыка»), была рассчитана на определенные предпочитаемые уровни передач, воспринимаемые в обычных домашних условиях. Ниже приведены усредненные результаты.

Уровень речи, передаваемой вслед за музыкой, должен быть на 4 дБ ниже ее уровня. Уровень музыки, передаваемой вслед за речью, должен быть на 2 дБ выше ее уровня.

Предпочтительные максимальные уровни прослушивания

	Обычные слушатели		Музыканты	Звукорежиссеры	
	муж.	жен.		муж.	жен.
Симфоническая музыка	78	78	88	90	87
Легкая музыка	75	74	79	89	84
Танцевальная музыка	75	73	79	89	83
Речь	71	71	74	84	77

Эти цифры были получены в экспериментах, проведенных Би-Би-Си еще в 1948 году, еще до повсеместного распространения высококачественного вещания на ультракоротких волнах и до появления развлекательной музыки современного типа. Однако общие тенденции, отраженные в этой таблице, остаются неизменными. (Указаны уровни звуковых сигналов в дБ относительно нулевого уровня, то есть

ние, более высокие уровни, но и те и другие слушают программы гораздо громче, чем остальные слушатели. Дело здесь в том, что профессионалы — музыканты и звукотехники — нуждаются в гораздо большей информации, чем остальные люди, поскольку высокий уровень громкости позволяет услышать мельчайшие детали регулирования уровней при смешивании разных источников и т. п., а кроме того, — оценить техническое качество фонограммы. Надо, однако, всегда помнить, что на приемном конце условия прослушивания могут быть совершенно иными.

Ручная регулировка уровней музыки и речи

Пороговые значения звуковых давлений (т. е. порог слышимости и болевой порог) отстоят друг от друга на 110 дБ. Основные звучания, ощущаемые всеми нами в повседневной жизни, находятся в самых разных областях этого диапазона. Однако между средним уровнем шумов в тихой комнате и предпочитаемым максимальным уровнем прослушивания музыкальной программы — всего 45 дБ. Это означает, что естественный или возможный диапазон уровней звуков нужно уменьшить, сжать, чтобы выполнить требования, предъявляемые к сигналу большинством слушателей. Нельзя также допустить появление шумов или наличия искажений в каналах передачи.

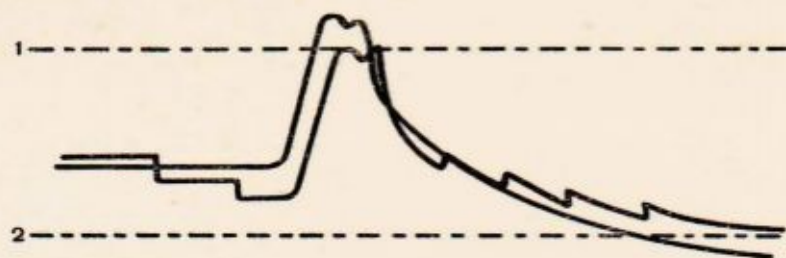
Регулирование уровней музыки

В практике радиовещания Би-Би-Си динамический диапазон программы классической музыки не превышает 22 дБ (по пиковым значениям), причем тихие пассажи звучат не дольше полминуты. Для грамзаписи возможны более широкие рамки.

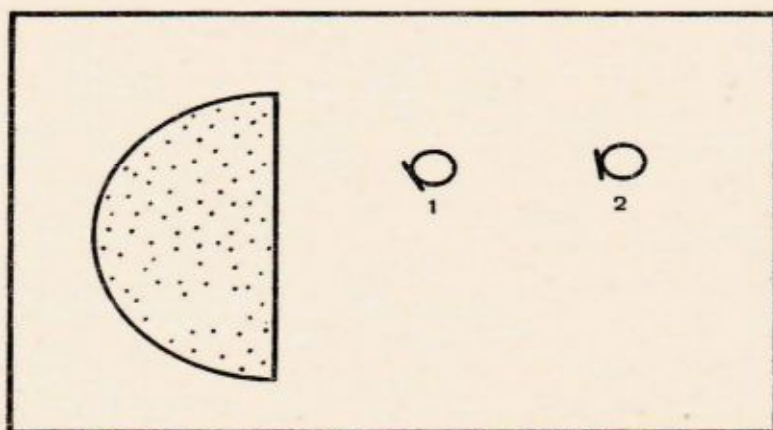
Автоматическая регулировка уровней без предвосхищения тихих или громких музыкальных пассажей способна совершенно испортить эстетическое впечатление, зато ручная регулировка усиливает наслаждение от слушания музыки. Перегрузок можно избежать, плавно перемещая движок регулятора уровня за полминуты (или еще раньше) до начала громкого места в произведении. Так же надо поступать и при приближении тихих пассажей. Надо стараться сохранить контрастность звучания, его нюансы. Изменения уровня в 1,5—2 дБ незаметны для слушателей, поэтому многие регуляторы уровней вносят затухание «ступеньками» по 2 дБ.

Регулирование уровней речи и специальных эффектов

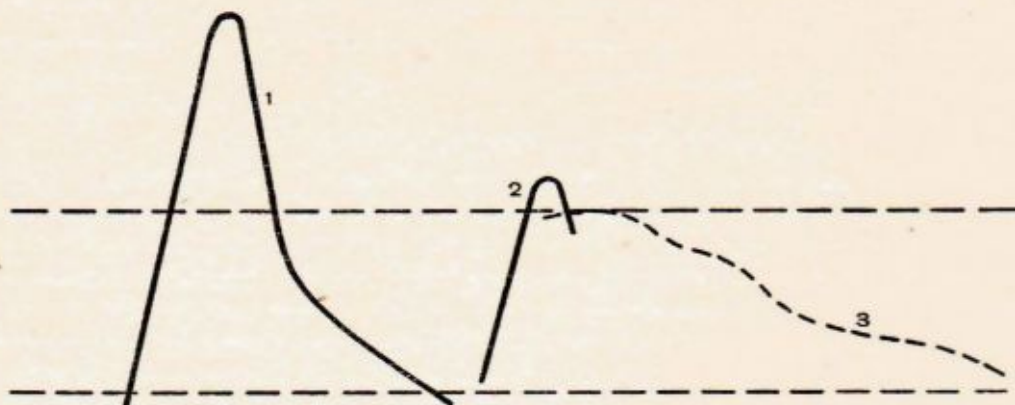
Речь регулируют иначе, чем музыку, и диапазон ее изменения делают уже. Наибольший диапазон уровней речи принят для радиоспектаклей, где по нормам Би-Би-Си он равен 16 дБ (опять-таки по пиковым значениям), причем средний уровень на 8 дБ ниже максимального. Это позволяет в зависимости от поворота сюжета драматически увеличивать или уменьшать уровни. Поэтому при крике приходится быстро уменьшать уровень усиления (так что он звучит несколько удаленным), если только чтец не ограничивает созна-



Автоматическая регулировка уровня сигнала. Способ сжатия диапазона сигнала при пиковом выбросе, когда необходимо сохранить относительный эффект звучания и в то же время не допустить того, чтобы сигнал вышел за пределы допустимых уровней 1 и 2. Изменение уровней на 1,5 – 2 дБ производят с интервалом не чаще 10 с.



Регулировка уровней и акустическая перспектива. Если увеличить усиление в тракте при тихом звучании источника, то это воспринимается на слух как его приближение к слушателю. Когда используют один микрофон, то акустическая перспектива источника не изменяется. Лучше смешивать сигналы от двух микрофонов, расположенных на разном расстоянии от источника: микрофон 1 используют при громком звучании, а с микрофона 2 берут сигнал при громких пассажах.



Изменение динамического диапазона при звуковых эффектах. Звук, в котором основной эффект достигается резким увеличением громкости, например, выстрел из ружья (1), нужно так или иначе уменьшить до уровня 100%-ной модуляции (2), хотя допустимы и некоторые искажения, возникшие из-за перемодуляции. Громкость реального звука слушатель должен скорее вообразить, слыша затухающий отзвук (3), следующий за «выстрелом». Для большей правдоподобности можно дополнить звучание новыми призвуками: классический пример — рикошет

тельно громкость своего голоса, давая таким образом для крика «запас» по уровню. Ручная регулировка может быть сделана гораздо быстрее, чем в случае музыки: изменение уровня делают к концу промежутка между репликами. Быстрое изменение уровня 6 дБ во время звучания первого слога (при резком подъеме или спаде голоса) будет практически незаметно на слух.

Громкость резкого ударного звука, такого, как выстрел из пистолета или столкновение двух автомобилей, определяют характером последующего звучания. К счастью, эту необходимую условность принимает большинство слушателей.

Запись музыки для кино

При создании фонограммы фильма требуется минимальное число регулировок для первичной записи, производимой синхронно со съемкой дубля. Дело здесь не в том, чтобы голоса в разных дублях были одинаковы по уровню: диалог записывают отдельно на этапе озвучения (перезаписи) фильма. Однако при монтаже эпизодов, если между ними остаются небольшие «немые» промежутки из первичной записи, можно смонтировать звуковой фон одного уровня и им заполнить промежутки.

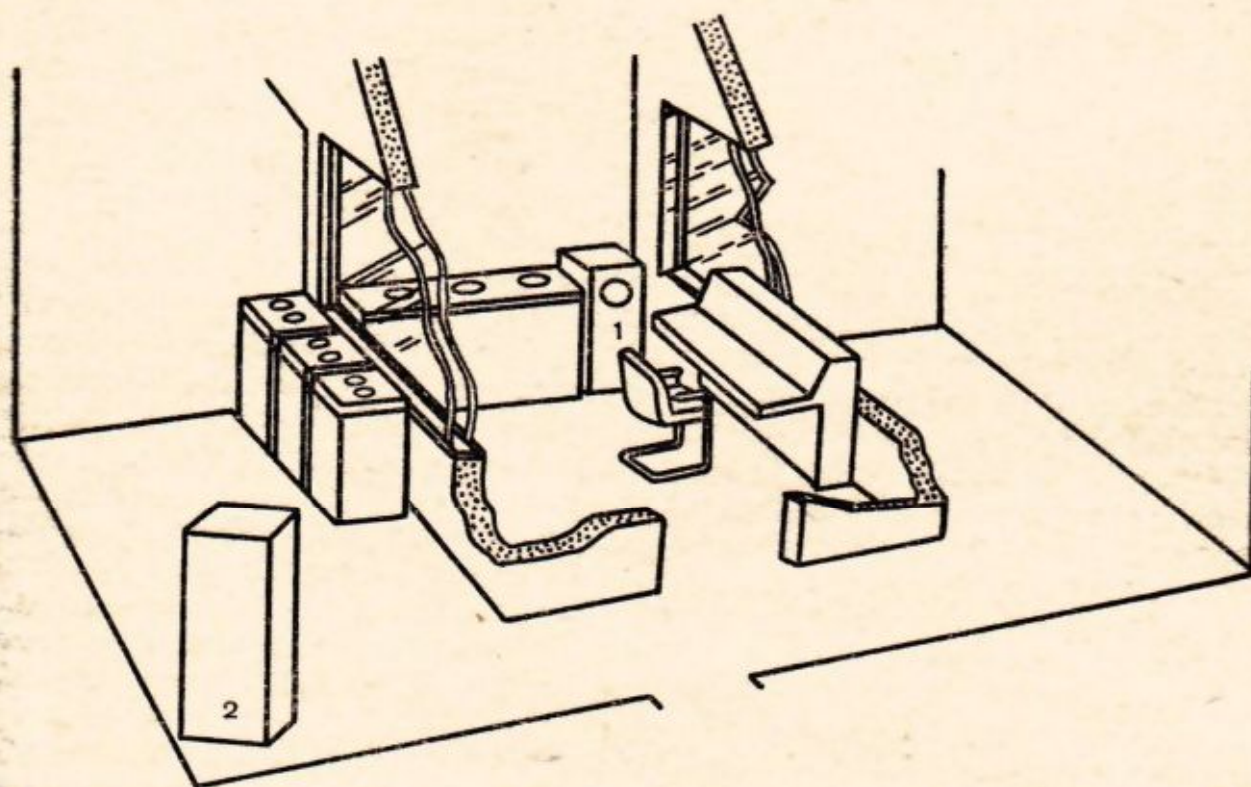
Слуховой контроль записи

Под слуховым контролем понимают оценку качества звучания источников, работы звукотехнической аппаратуры и содержания программы в момент проведения записи. Впоследствии нередко контролируют на слух ухудшение качества программы из-за недостатков способа записи, при передаче по каналам связи и т. п.

Чтобы слуховая оценка давала хорошие результаты, звукорежиссер должен располагать высококачественным громкоговорителем и подходящими условиями прослушивания. Поэтому студия отличается от любого другого помещения, где могут быть установлены микрофоны и магнитофон, тем, что она состоит из двух акустически разделенных частей: в одной находится источник звука и микрофоны, а в другой — аппаратура записи, регулировки и контроля.

Контроль записи

Недостатки записи надо выявить сразу, как только они возникли, а не через десять минут после ухода исполнителей. В студийных магнитофонах между головками записи и воспроизведения существует промежуток, поэтому контроль записи идет с задержкой на доли секунды. Регулировать уровень в этих условиях не так-то легко. Регулировку уровней иногда требуется проводить с точностью до двадцатой доли секунды, тогда как задержка при воспроизведении может быть не менее $\frac{1}{5}$ с. Поэтому при осуществлении технически сложной записи слуховой контроль проводит еще один человек, помощник звукорежиссера, тогда как сам звукорежиссер уделяет основное внимание балансировке источников. При этом



Студия, аппаратные контроля и магнитной записи. В идеале все три помещения должны быть акустически изолированы друг от друга. Высококачественные громкоговорители 1 и 2 установлены в тех точках, где должен производиться слуховой контроль записи. В звукорежиссерском пульте есть генератор контрольного тона, уровень выходного сигнала которого можно регистрировать на индикаторе в аппаратной записи. Контрольный сигнал записывают на ленту при сквозном контроле аппаратуры. В практике Би-Би-Си используют стандартный уровень сигнала частотой 1000 Гц, выделяющего на сопротивлении 600 Ом мощность 1 мВт. На индикаторе пиковых значений стрелка достигает при этом деления 4, что соответствует 40%-ной модуляции передатчика.

часто используют второй контрольный громкоговоритель, размещаемый в акустически изолированном помещении.

Контрольный громкоговоритель при монофонической записи должен находиться на расстоянии примерно 1—2 м от слушателя. При меньшем расстоянии звучание несколько изменяется из-за наличия стоячих волн около корпуса громкоговорителя, а на большем расстоянии начинают сказываться акустические недостатки помещения.

Контроль и регулировка аппаратуры

Чтобы звукотехническое оборудование при работе в любых условиях соответствовало определенным нормам, весь электроакустический тракт от звукорежиссерского пульта до магнитофона или передатчика можно отрегулировать, подав контрольный сигнал определенного уровня. Иногда в начале каждой профессиональной фонограммы вводят такой контрольный тон, чтобы тракт воспроизведения был отрегулирован нужным образом или чтобы другие записи на новой аппаратуре соответствовали первоначальной. Принято также делать пробу, т. е., не производя еще записи, прослушивать через электроакустический тракт часть звучания источника. Это позволяет убедиться в готовности аппаратуры, в правильности изначальных регулировок, а также в том, что будет записан нужный источник.

Звукотехник, делающий натурные записи (в том числе и звукооператор в кино), вероятно, упростит все эти процедуры: ведь приходится работать в сложных условиях, когда одновременно надо правильно вызвучивать источники, смешивать сигналы и контролировать качество записи. Показателем его мастерства будет то, насколько качественные записи он получит в этих условиях.

Оценка качества

При контроле записи на слух следует выявлять недостатки самых разных типов:

1. Недостатки режиссуры: выбор неподходящих голосов, неестественное исполнение роли, нагромождение труднопроизносимых слов в сценарии, несвоевременная подача реплики;

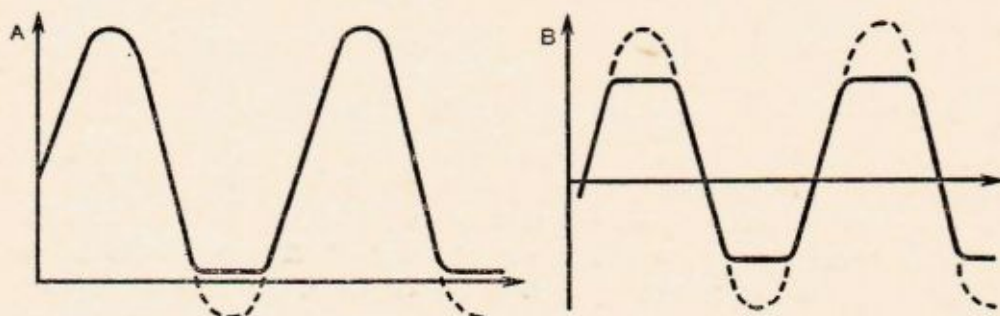
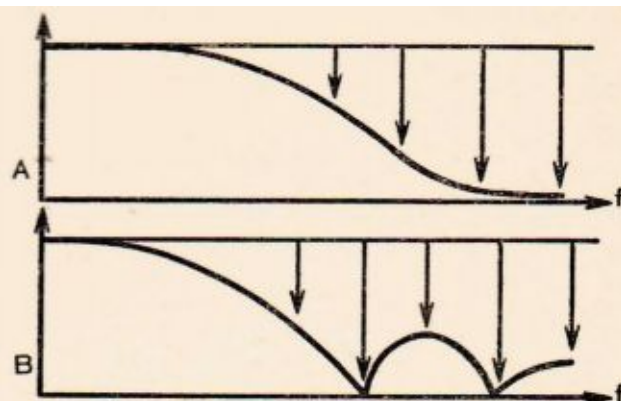
2. Ошибки звукорежиссера: неправильный баланс источника, плохой контроль уровней, «грязные» регулировки и микширование, плохое использование акустических условий;

3. Плохое качество звучания, выражающееся в присутствии слышимых искажений, недостатки в частотной характеристике, вплоть до пропадания верхних или нижних частот;

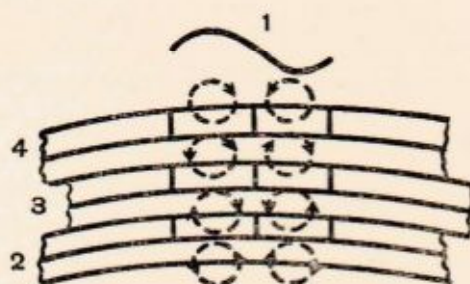
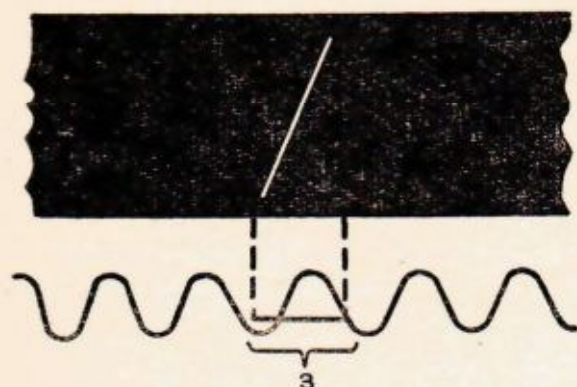
4. Неисправности звукозаписывающего оборудования, которые выражаются в «завывании», пульсациях звука, гудении сети переменного тока, шипении ленты, шумах, возникающих из-за непрочного соединения частей или плохой экранировки.

Недостатки первого типа, пожалуй, наиболее существенны. Вместе с тем они и наиболее заметны. Что касается второго типа, то способность замечать их приходит по мере того как прибавляет-

Потери верхних частот: А — постепенное затухание верхних частот, возникающее, например, при передаче сигнала по наземным линиям связи. Применяв коррекцию, можно восстановить верхние частоты, однако соответственно возрастут шумы. В — селективное затухание верхних частот из-за фазового сдвига или непараллельности щелей головок.



Гармонические искажения: часть сигнала, показанная пунктиром, обрезается. А — неправильное положение рабочей точки усилителя вызывает ограничение части сигнала; В — двустороннее ограничение, возникающее из-за того, что размах амплитуды колебаний превышает возможности какого-либо из каскадов тракта. В обоих случаях в результате искажения первоначального сигнала возникают колебания, кратные частоте ограничения. Поскольку в музыкальном звучании содержится много различных гармоник, слух довольно хорошо переносит этот вид искажений: 2% искажений по третьей гармонике почти незаметны при сложных звучаниях, а 1% принят в качестве стандартной величины искажений профессиональной аппаратуры. Интермодуляционные искажения, при которых возникают суммарные и разностные тоны, гораздо более ощутимы, поскольку они не существуют в изначальном звучании.



Ухудшение качества. Существует много различных явлений, которые не имеют никакого отношения к недостаткам микрофонов или акустики, но вносят похожие искажения. Приведем два примера. Слева: неправильно отъюстированная щель головки воспроизведения. 1 — магнитная лента; 2 — положение щели (она должна быть перпендикулярна направлению движения ленты); 3 — длина волны воспроизводимого сигнала. Справа: копир-эффект, вызывающий вредные помехи (в том числе «предзвучание»). 1 — длина волны первичного и наведенного сигналов, 3 — слой ленты с первичным сигналом; 2 и 4 — со вторичными сигналами.

ся опыт работы со звукотехнической аппаратурой. А вот недостатки качества звучания, которые можно, вообще говоря, оценить в объективных, поддающихся измерению величинах, удивительным образом трудно выразить иначе, в субъективных понятиях. Оценка качества звучания как приемлемого и предпочитаемого при слуховом контроле почти полностью зависит от привычных для слушателя представлений. Немногие из нетренированных слушателей в состоянии дать объективную оценку воспроизводимых звучаний, большинство предпочитает привычное звучание незнакомому.

Виды искажений сигнала

Обсуждение существующих качественных недостатков и видов искажения, возникающих по вине аппаратуры, выходит столь далеко за рамки этой книги, что мы ограничимся лишь несколькими примерами.

Если записывающая головка магнитофона намагничена постоянным магнитом, то одна половина периода колебания будет неизменно записана с большей амплитудой, т. е. слышимые искажения возникнут при меньших уровнях сигнала. Когда зазоры головок записи и воспроизведения непараллельны, возникают сильные потери на верхних частотах. Если полив ленты произведен неравномерно, появляется пропадание сигнала. При хранении ленты сигнал может с одного слоя пройти на следующий, а сама лента деформируется. Тон-вал магнитофона может иметь некоторый эксцентриситет вращения, что приводит к пульсации сигнала. Грампластинки также бывают деформированы, или отверстие в них сделано не по центру, а диск самого проигрывателя неточно изготовлен, — все это вызывает детонацию звука. Искажения при воспроизведении грамзаписей возникают из-за поврежденной, «заезженной» дорожки или из-за изношенной иглы звукоснимателя и т. п. Множество причин приводит к появлению фона переменного тока и искажению электрических сигналов.

Важно отличать главное от второстепенного

Звукотехники, естественно, хорошо разбираются во всех этих вопросах и потому могут исчерпывающе судить о недостатках, которые в конечном счете бывают не так существенны, как остальные проблемы, встающие перед звукорежиссером. Хороший звукотехник должен видеть все эти проблемы под правильным углом зрения, поскольку решать приходится одновременно и технические и художественные задачи.

Полезные формулы

Глубокое понимание этих соотношений не обязательно для тех, кто интересуется чисто практическим применением микрофонов.

Частота, длина волны, скорость звука

$$f\lambda = c,$$

где λ — длина звуковой волны;
 f — частота в герцах (Гц);
1 Гц — одно колебание в секунду;
1 кГц — 1000 Гц.

Скорость звука изменяется в зависимости от температуры:

$$c = c_0 + 0,61T, \text{ м/с,}$$

где скорость звука $c_0 = 331,5$ м/с, при 0°C ;

T — температура воздуха в градусах Цельсия.

Скорость звука зависит также от свойств среды: во влажном, близком к насыщению воздухе она примерно на 1 м/с больше, чем в сухом воздухе. В жидких и твердых телах скорость звука гораздо выше, чем в воздухе.

Уровень интенсивности, интенсивность и мощность

$$N_I = 10 \lg \frac{I_2}{I_1} \text{ дБ,}$$

где N_I — уровень интенсивности звука,
 I_1 и I_2 — интенсивность звука.

Диапазон интенсивности звука между порогом слышимости и болевым порогом составляет (если принять его за 120 дБ) 10^{12} или 1 000 000 000 000 : 1.

Коэффициент усиления усилителя также измеряют в децибелах.

$$N_P = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ дБ,}$$

где N_P — уровень усиления мощности;
 P_1 и P_2 — входная и выходная мощности сигнала.

Но мощность пропорциональна квадрату напряжения, т. е.:

$$N_V = 10 \lg \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 = 20 \lg \frac{V_2}{V_1} \text{ дБ.}$$

Диапазон изменения интенсивностей 1 000 000 000 000 : 1 соответствует изменению напряжений 1 000 000 : 1.

Помните, что по вертикальной оси в графиках частотной характеристики чувствительности отложены уровни чувствительности, но децибелы уровня чувствительности не имеют отношения к деци-

Содержание

Введение. О качестве воспроизведения звука	5
Микрофоны и звукотехника	6
Длина волны: «размер» звука	8
Частота: повторяемость звуковых колебаний	10
Волны и фаза	12
Энергия, интенсивность звука, резонанс	14
Обертоны и гармоники	17
Музыкальная акустика: струнные инструменты	19
Музыкальная акустика: духовые инструменты	21
Голос	23
Громкость звука и слух	25
Студии: время реверберации и окраска звучания	27
Акустическая обработка помещения	30
Характеристики микрофонов	32
Характеристика направленности	34
Частотная характеристика на практике	37
Двунаправленные микрофоны	39
«Эффект ближней зоны» в направленных микрофонах	41
Кардиоидные микрофоны	43
Конденсаторные микрофоны	46
Суперкардиоидный микрофон	48
Остронаправленные микрофоны	50
Микрофонная «пушка»	52
Помехоустойчивые микрофоны	55
Микрофоны в кадре	57
Ручные микрофоны	59
Нашейные и петличные микрофоны	63
Радиомикрофоны	65
Контактные и подводные микрофоны	66
Прочие микрофоны и вспомогательное оборудование	68
Балансировка микрофонов	71
Балансировка речи	73
Два голоса и больше	75
Шумы и звуковые эффекты	78
Литературно-драматическая студия	80
Заглушенная речевая студия	83
Микрофон в кадре	85
Работа с «журавлем»	87
Звук в телестудии	90
«Журавли» и освещение	92
Балансировка музыки	94
Музыкальная студия	97
Семейство струнных: скрипка	99
172 Скрипка, альт, виолончель, контрабас	101

Концертный рояль	103
Рояль как ритмический инструмент	107
Другие примеры балансировки звучания рояля	108
Прочие струнные	110
Деревянные духовые инструменты	112
Медные духовые инструменты	114
Ударные инструменты, барабаны	117
Пение: соло и хор	119
Оркестр и орган	121
Оркестр с солистами или хором	123
В кадре — классическая музыка	125
Опера	127
Опера на экране телевизора	131
«Поп-музыка» и электромузыкальные инструменты	132
Ритмическая группа и небольшой джаз-оркестр	134
Запись большого эстрадного (или джазового) оркестра	136
Легкая музыка в кадре	140
Звукорежиссерский пульт	141
Преобразование звукового сигнала	143
Использование фильтров	145
Фильтры для изменения вида частотной характеристики канала	149
Компрессоры и лимитеры	150
Искусственная реверберация в эхо-камере	152
Листовой ревербератор	155
Использование искусственной реверберации	157
Контроль уровня сигнала: индикаторы уровня	159
Уровень программных сигналов	161
Ручная регулировка уровней музыки и речи	164
Слуховой контроль записи	166
Оценка качества	168
Полезные формулы	171

Нисбетт Алек.

Н69 Применение микрофонов/Пер. с англ. В. И. Болотников. — М.: Искусство, 1981. — 173 с., ил.

Книга выпущена в Англии в серии «Справочники средств информации», которая предназначена для технических работников кино-, радио- и телестудий, студий звукозаписи и всех тех, кто в своей повседневной деятельности сталкивается с необходимостью использовать микрофоны для усиления звука или звукозаписи.

32302-025

Н ————— 118-80

025(01)-81

ББК 32.87

6Ф2.7

А. Нисбетт

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОФОНОВ

Редактор А. Б. Долецкая. Художник В. Я. Мирошниченко. Художественный редактор Г. И. Сауков. Технический редактор Н. И. Новожилова. Корректор Н. Н. Прокофьева.

И. Б. 1099

Сдано в набор 31.01.80. Подписано к печати 05.12.80. Формат издания 84 × 108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура Джил Санс. Высокая печать. Усл. п. л. 9,24. Уч.-изд. л. 10,61. Изд. № 16707. Тираж 16 000. Заказ № 120. Цена 80 коп. Издательство «Искусство». 103009 Москва, Собиновский пер., 3. Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

