

НОВЕЙШИЕ УСПЕХИ ПРИКЛАДНОЙ АКУСТИКИ*

Ф. Тренделенбург, Берлин**

ЗАПИСЬ ЗВУКА. ЗВУКОВЫЕ ФИЛЬМЫ

Запись звуковых процессов с целью последующего воспроизведения их может быть выполняема различными методами. В технике звукового кино основными способами являются: электромеханическая запись звука на диске и электрооптическая запись на фильме. Далее, звуковые процессы могут быть записаны еще и электромагнитным путем на стальной проволоке. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и свои недостатки, поэтому выбор того или иного способа определяется в зависимости от поставленной цели.

Запись на диске¹³² отличается простотой обслуживания. Акустические качества современных пластинок достигли значительного совершенства. Пластинка достаточно хорошо передает компоненты до 6000 герц. Уровень мешающего фона при записи на воске относительно невысок; несмотря на то, что максимальная амплитуда смещения при поперечной записи едва достигает 0,1 мм, интенсивность может меняться в отношении 1:100, т. е. при амплитуде около 0,01 мм запись еще может быть удовлетворительно воспроизведена. Однако с точки зрения кинотехнических требований запись на диске обладает тем недостатком, что вырезание отдельных частей фонограммы при монтаже воз-

* Начало см. „Успехи физич. наук“, XI, 4, 1931; XII, I, 1932; XII 2—3, 1932.

** F. Trendelenburg, „Jahrbuch d. drahtl. Tel. u. Tel.“, Zs. f. Hochfrequenz, 38,5, 1931; перевод Н. Д. Ершовой.

можно лишь довольно сложным путем последующего переноса фонограммы на другой диск.

Фотографическая запись звука¹³³ может быть выполнена двумя способами. При записи по способу переменной плотности (прежде единственно употреблявшемуся) мгновенному значению давления в звуковом поле соответствует определенная фотографическая плотность фонограммы

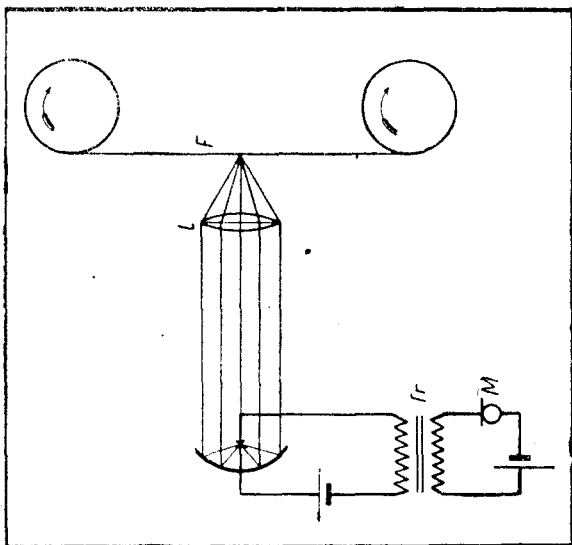


Рис. 64. Принципиальная схема записи по способу переменной плотности. F-фильм, L-линза, M-микрофон, Tr-трансформатор.

(рис. 64). При записи по способу переменной ширины, получившему в последнее время большое распространение, мгновенному звуковому давлению соответствует ширина экспонированной части фонограммы (рис. 65). Первый способ записи предъявляет серьезные требования к фотографическому процессу: только при совершенно определенных условиях проявления, о которых мы будем говорить ниже, нелинейные искажения могут быть сведены до минимума. Как это было обстоятельно выяснено при рассмотрении работы В. Яновского¹³⁴, именно борьба с нелинейными искажениями имеет наибольшее значение.

Диапазон частот, передаваемых при записи по способам переменной плотности и переменной ширины, примерно одинаков. Верхняя граница диапазона частот, при скорости фильма 24 кадра в секунду и при ширине изображения щели в 0,01 мм, лежит возле 12 000 герц. В отношении же диапазона передаваемых интенсивностей оба способа, напротив, сильно отличаются друг от друга. При записи по способу переменной плотности интенсивность звука может

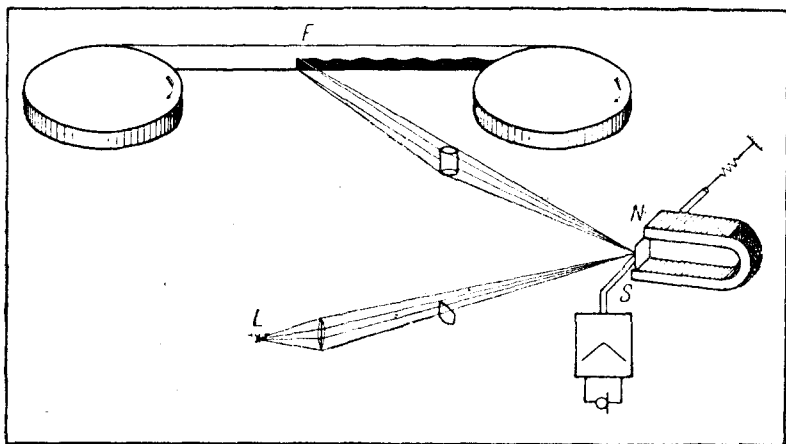


Рис. 65. Принципиальная схема записи по способу переменной ширины.

меняться лишь в отношении 1 : 20; большая глубина модуляций невозможна, так как прозрачность незасвеченных участков фонограммы всего лишь в 20 раз больше прозрачности участков с максимальной плотностью*.

* Нельзя не отметить допущенной здесь ошибки. Диапазон передаваемых громкостей определяется не интервалом между максимальной и минимальной прозрачностью отдельных участков фонограммы, но интервалом между максимальной и минимальной амплитудой изменения прозрачности в обе стороны от некоторого среднего значения (Ruhetransparenz). Как при записи по способу переменной плотности, так и при записи по способу переменной ширины, минимальная амплитуда воспроизводимого звука определяется уровнем мешающего фона; в обоих случаях современная аппаратура дает возможность варьировать громкость в диапазоне, примерно, около 25 дб., что соответствует отношению интенсивностей приблизительно 1 : 300. Ср. R. Schmidt, Filmtechnik, 5 194, 1929.

Прим. ред.

При записи по способу переменной ширины можно добиться большего интервала интенсивностей* (особенно, если воспользоваться приемом маскирования незасвеченной части фонограммы). По сравнению с грамофонной записью запись на пленке имеет тот недостаток, что износ последней значительно больше; фильма, прошедшая 20 раз через проекционную аппаратуру, еще вполне пригодна в отношении зрительного восприятия, в то время как воспроизведение звука уже в значительной степени страдает от мешающего фона¹³⁵. В этом отношении особенно небла-

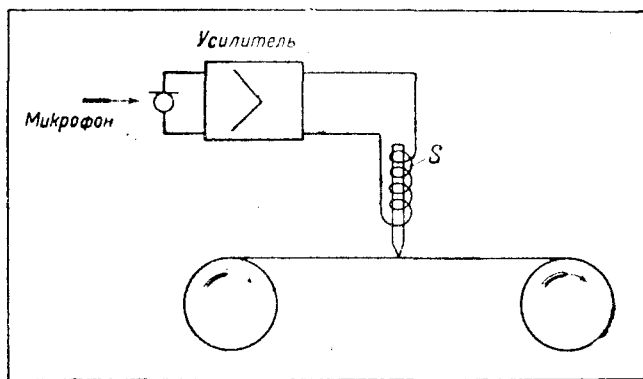


Рис. 66. Принципиальная схема магнитной записи звука.

гоприятно сказывается прерывистое движение фильма, ведомой системой мальтийского креста, что необходимо для проекции кадров. Разделение кадров и фонограммы, при копировании их на отдельных фильмах, представляется с этой точки зрения целесообразным; при этом фонограмма может равномерно двигаться через всю аппаратуру. При этих условиях звуковая фильма может быть воспроизведена несколько сот раз, прежде чем мешающий шум станет сильно заметным.

При записи на стальную проволоку¹³⁶ (рис. 66) верхняя граница частот лежит ниже, чем при записи описанными выше способами. При еще достижимой практически

* Это утверждение едва ли верно, — см. предшествующую сноску.

ширине щели в 0,2 мм, для передачи частоты 5000 герц требуется скорость движения проволоки, равная 4 м/сек. Интенсивность может меняться лишь в сравнительно небольших пределах, так как область линейной зависимости между магнитодвижущей силой и намагничиванием весьма мала; интенсивность может меняться лишь в отношении 1:20. Минимальный уровень интенсивности, благодаря эффекту Баркгаузена, сравнительно высок. Практически преимуществом такого рода записи является то, что она может быть тотчас же прослушана и без особых затруднений опять уничтожена. Способ магнитной записи используется преимущественно для диктофонов.

Мы бы значительно вышли за пределы данного обзора если бы стали рассматривать отдельные многочисленные технические достижения, сделавшие возможным быстрое развитие различных способов записи звука. Мы должны ограничиться рассмотрением лишь тех работ, которые стоят в непосредственной связи с различными электроакустическими проблемами.

Как и в других областях электроакустики, с особым вниманием разрабатывались методы объективного исследования качеств относящейся к записи звука аппаратуры.

Бухман и Мейер¹³⁷ разработали способ исследования грампластинок, дающий возможность легко определять амплитуду скорости при записи на пластинку. Поскольку запись производится таким образом, что амплитуда давления в звуковом поле соответствует амплитуде скорости реза, постольку измерение именно амплитуды скорости имеет весьма важное значение. Непосредственная пропорциональность между амплитудой скорости и амплитудой давления имеет место почти для всего диапазона передаваемых частот; исключения представляют лишь очень низкие (ниже 200 герц) и очень высокие (выше 5000 герц) частоты, так как при очень низких частотах возможен захват соседней борозды, а при очень высоких частотах радиус кривизны записанной кривой становится слишком мал.

Бухман и Мейер использовали для измерения ампли-

туды скорости явление отражения света при падении плоско-параллельного пучка света на граммофонную пластинку. Пусть на рис. 67 через P обозначена точка, в которой находится глаз наблюдателя; на борозды записи (принимаемой для простоты синусоидальной) падает параллельный пучок света в направлении, указанном стрелкой. Глаз видит при этом некоторое количество светящихся точек, соответствующих тем точкам кривой, в которых кривизна

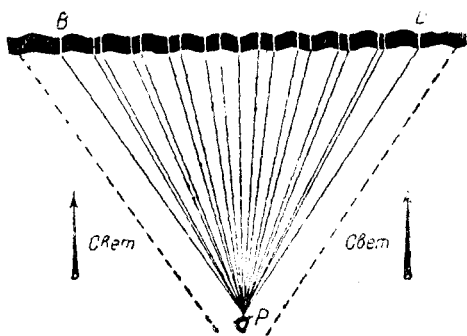


Рис. 67. Отражение света от синусоидальной фонограммы.

велика настолько, что параллельные лучи при отражении отбрасываются в точку P . Число светящихся точек ограничено тем, что за крайними точками фонограммы B и D нет таких мест, в которых касательная к кривой шла бы настолько круто, чтобы было возможно отражение в точку P . За точками B и D

отражение возможно лишь в тех направлениях, которые идут за точку P . Точки B и D соответствуют точкам наибольшей крутизны кривой, они являются точками перегиба. Так как крутизна кривой выражается через производную, то крутизна в точках перегиба является мерой амплитуды скорости. Чем круче самые крутые части фонограммы, тем больше амплитуда скорости и тем больше расстояние между точками B и D ; ширина светящегося ряда точек пропорциональна амплитуде скорости. В дальнейшем будет показано, что данный способ применим не только к синусоидальным кривым, записанным вдоль прямой, но и к кривым, записанным по окружности, как это имеет место в граммофонных пластинках; величина радиуса окружности не играет при этом никакой роли, так как уменьшение ряда светящихся точек вследствие уменьшения радиуса окружности по мере приближения к ее центру компенсируется увеличением крутизны наиболее

крутых точек кривой, что происходит вследствие уменьшения длин волн при приближении к центру пластинки.

При движении фонограммы, — например при вращении пластинки, — светящиеся точки сливаются для наблюдателя в светлую полосу. Ширина светлой полосы, согласно вышеизложенному, должна являться непосредственной мерой амплитуды скорости при записи. На рис. 68 показано отражение от грам-

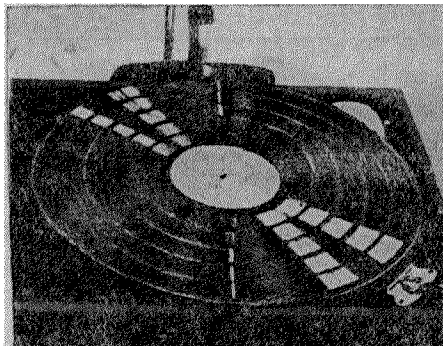


Рис. 68. Тон 435 герц с различными амплитудами.

мофонной пластинки, на которую был записан тон 435 герц с различными амплитудами (относящимися друг к другу, как 1:2:4:8:16). На рис. 69 приведена частотная характеристика амплитуды скорости реза ре-

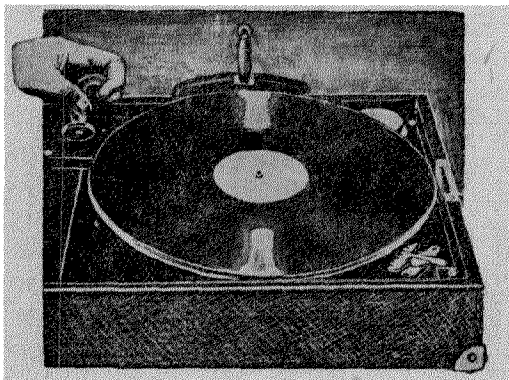


Рис. 69. Частотная характеристика граммофонного рекордера.

кордера; частота менялась непрерывно от высоких частот (внешний край пластинки) до низких (внутренний край). Вполне отчетливо заметен резонанс реза около 6400 герц. Рис. 70 показывает запись органа; изменения между piano и forte ясно заметны. Необходимо отметить, что подобными наблюде-

ниями легко установить абсолютное значение амплитуды кривой.

Мейер и Юст¹³⁸ исследовали частотные кривые электромагнитных адапторов (Tonabnehmer). Испытания адапторов

легко производить измерительными пластинками с тонами постоянной амплитуды смещения и скорости¹³⁹; адаптор работает при этом на ламповый вольтметр, с помощью которого определялась э. д. с., развиваемая адаптором. На рис. 71а, в, с, приведены частотные характеристики различных адапторов. Адаптор I обладает сравнительно ровной частотной характеристикой, но максимум около 5000 герц указывает на то, что он передает сравнительно сильно высокие компоненты шума иглы. Характеристика адаптора II круто спадает, начиная с 2500 герц. Адаптор VI обладает ясно выраженным резонансом возле 1500 герц.

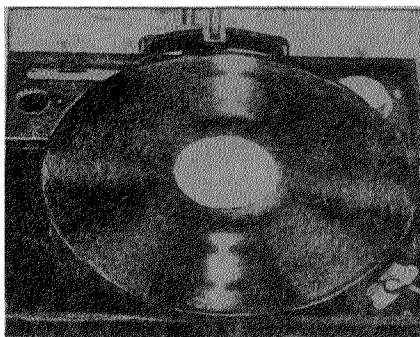


Рис. 70. Запись органа на пластинке.

В упомянутой выше работе имеются также данные о клиррфакторе адапторов. Кларрфактор адаптора I при очень низких частотах (около 150 герц) составляет 20%; кларрфактор адаптора II при той же частоте 5%, что является вполне приемлемым, особенно, если вспомнить, что в эту цифру входят нелинейные искажения самой записи на пластинке, причем частота 150 герц практически лежит на нижней границе диапазона частот, передаваемых пластинкой. При более высоких частотах кларрфактор оказывается весьма малым.

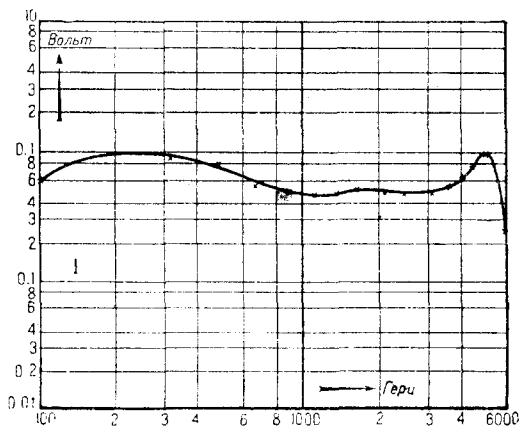


Рис. 71а. Частотные характеристики адапторов.

В работах Гофера, Сеттона, Кофса и Фредерика¹⁴⁰ приведены многочисленные характеристики различных адапторов.

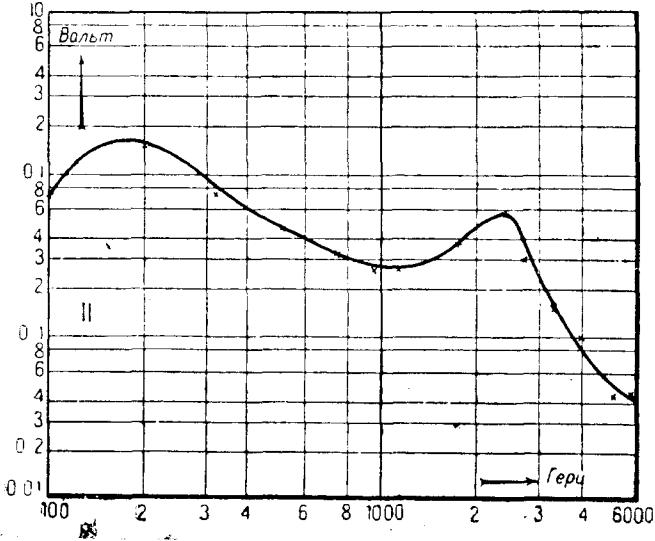


Рис. 71b.

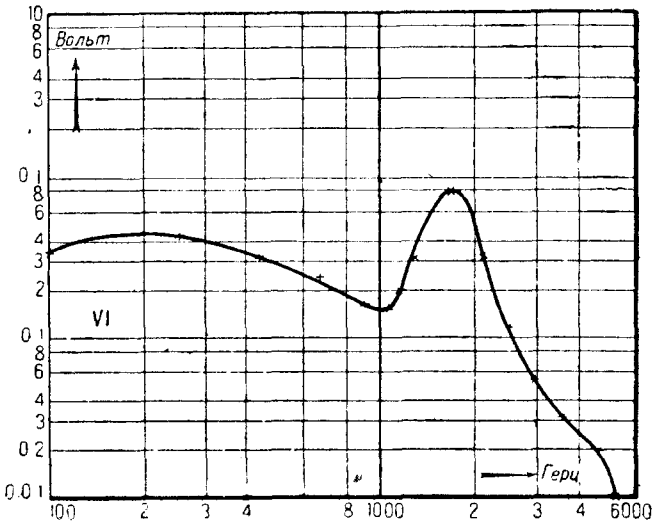


Рис. 71c.

В связи с работами Максфильда и Гаррисона, а также Келлога ¹⁴¹, Форстман ¹⁴² выяснил свойства адаптора на основании электрической эквивалентной схемы замещения; он установил при этом условия минимума частотных и амплитудных искажений. Оказывается, что требования, касающиеся зависимостей от частоты и от амплитуды, отчасти противоречат друг другу. Так, например, для того чтобы передавать высокие частоты, не ослабляя их громкости, необходимо, чтобы игла была возможно более жесткой, но тогда трудно демпфировать собственные колебания; при применении слишком тугих резиновых прокладок возни-

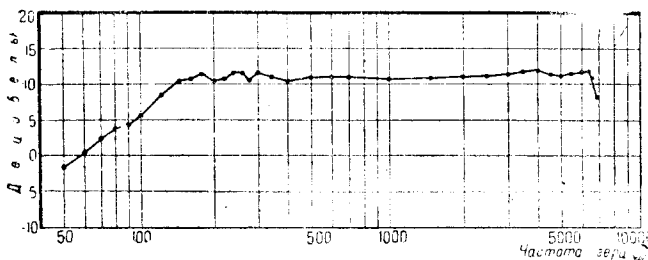


Рис. 72. Частотная характеристика рекордера.

кают добавочные возвращающие силы, зависящие от частоты. Таким образом улучшение частотной характеристики возможно лишь ценою увеличения нелинейных искажений. Теорию адаптора рассматривал также и Сеттон ¹⁴³, особенно подробно выяснивший условия, при которых игла адаптора перескакивает из одной борозды в соседнюю.

Работы Фредерика, а также и работы Эльмера и Блатнера ¹⁴⁴, дают указания по конструктивному выполнению и функционированию электромагнитных рекордеров. Рис. 72 дает частотную характеристику рекордера современного типа. В области между 250 и 6500 герц отклонения характеристики составляют лишь несколько процентов. В работе Фредерика имеются также данные относительно формы поперечного сечения борозды и формы применяемого для записи резца.

Бухман и Мейер ¹⁴⁵ исследовали диапазон частот шума

иглы. Шум иглы наблюдался на пластинке без записи, содержащей лишь не модулированные борозды. Акустически спектр определялся по методу зондирующего тона Грютцмахера¹⁴⁶. На рис. 73 приведен акустический спектр шума иглы при нормальном числе оборотов. Распределение частот шума на внешнем крае пластинки, середине ее и внутреннем крае несколько различно. На внутреннем крае меньше заметны высокие частоты, так как тут отно-

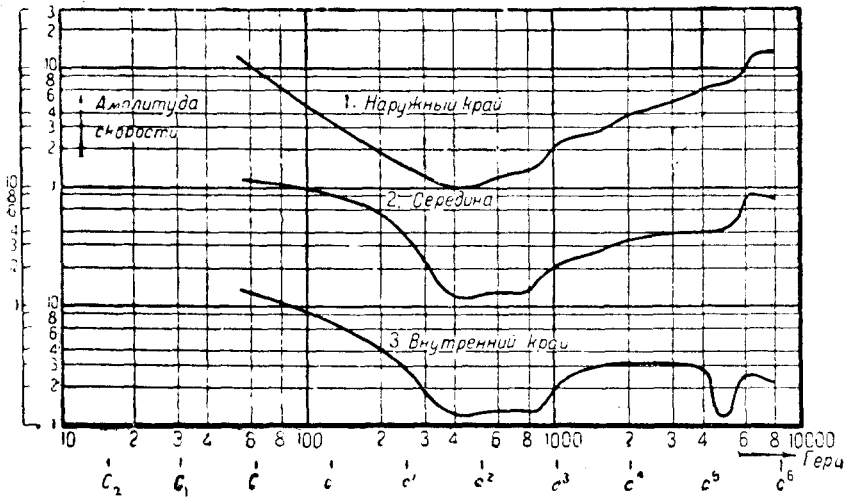


Рис. 73. Акустический спектр шума иглы при нормальном числе оборотов.

сительная скорость иглы относительно пластинки мала. На внешнем крае пластинки амплитуда колебательной скорости иглы, начиная с 400—800 герц, пропорциональна ее скорости; следовательно, амплитуда смещения иглы для отдельных частот постоянна, составляя примерно $3 \cdot 10^{-9}$ см. При частоте ниже 400 герц мы имеем обратную картину: с уменьшением частоты шум возрастает. Появление низких компонент обуславливается механическими сотрясениями; подобного рода сотрясения могут происходить как от ведущего механизма, так, возможно, и от воспроизводящего приспособления. Кроме того, возможно, что причины искажений лежат в волнистости поверхности граммофонной

пластинки, которую легко заметить, наблюдая отражение от пластинки при плоском падении света на нее.

Весьма подробно исследовались искажения, возникающие при электрооптических методах записи. Искажения могут быть следующие: 1) нелинейные искажения,

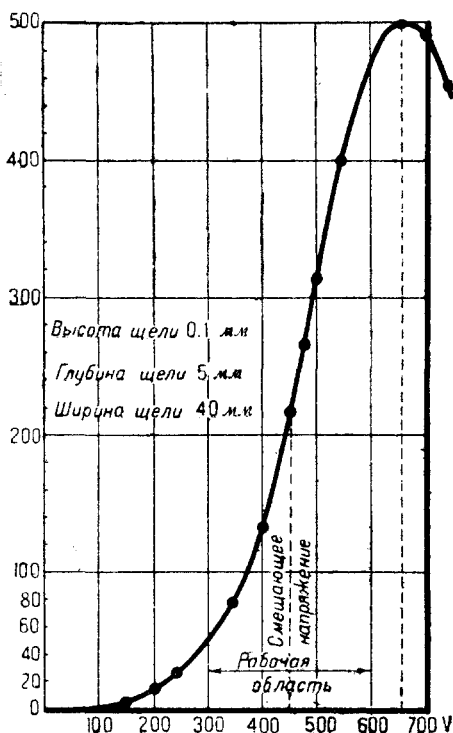


Рис. 74. Характеристика конденсатора Керра.

как, например, возникающие вследствие нелинейности оптического эффекта (конденсатор Керра, фотоэлемент, искажения, связанные с проявлением и со щелью), 2) искажения, к числу которых принадлежит ослабление высоких частот вследствие конечной ширины щели.

Данные о физических явлениях, связанных с работой конденсатора Керра и фотоэлемента, и об искажениях, обусловленных этими элементами системы, имеются в работах Лихте¹⁴⁷, Лихте и Тишнера¹⁴⁸ и Гельганса¹⁴⁹.

Выбирая смещающее (постоянное) напряжение в 450 V, получаем для переменного напряжения — до амплитуды в 1500 V — линейную зависимость между эффектом и приложенным напряжением; в этой области клиррфактор при записи конденсатором Керра ничтожно мал. Кларрфактор фотоэлемента может быть сделан также весьма малым. Большие трудности представляет собою уменьшение нелинейных искажений, возникающих при неправильном проявлении¹⁵⁰.

Рис. 74 дает характеристику конденсатора Керра с нитробензолом.

Связь между плотностью проявленной пленки и логарифмом освещения ее дается так называемой характеристической кривой; из нее же могут быть определены свойства фотографической эмульсии. Под плотностью здесь подразумевается логарифм отношения интенсивности падающего (J_p) к интенсивности пропускаемого (J_n) света, а под освещением — произведение интенсивности света на время его действия. При малых освещенностях характеристическая кривая идет горизонтально, т. е. плотность не зависит от

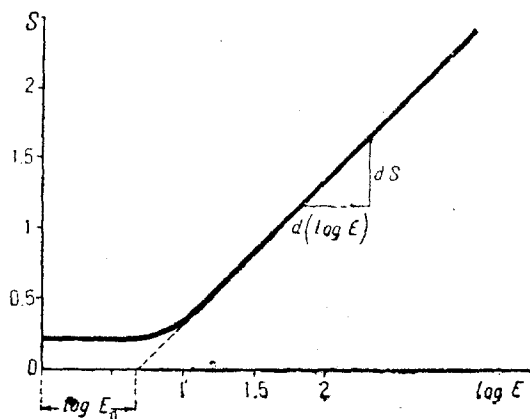


Рис. 75. Характеристическая кривая.

освещения; при больших освещенностях кривая подымается и затем, в сравнительно широкой области, идет прямолинейно. Эта прямолинейная часть может быть описана следующим уравнением:

$$S = \gamma \lg (J \cdot t),$$

где γ есть крутизна кривой.

Значение γ зависит от толщины слоя эмульсии, так же как и от состава и температуры проявителя. Это соотношение для случая, когда время освещения вследствие равномерного движения пленки постоянно, можно написать так:

$$S = \text{const } \lg J^{\gamma S}.$$

Отмечая крутизну, освещение и т. д. негатива индексом N , а те же величины для позитива — индексом P , имеем для

прямолинейных частей характеристических кривых негатива и позитива:

$$S_N = \text{const}_N \cdot \lg J_N^N,$$

$$S_P = \text{const}_P \cdot \lg J_P^P.$$

Между интенсивностью света, пропускаемого позитивом на фотоэлемент (I_{Ph}), и интенсивностью света, падавшего на негатив (I_N), имеет место следующее соотношение:

$$J_{Ph} = \text{const}_{Ph} \cdot J_N^N \gamma^P.$$

Это соотношение показывает, что линейная зависимость между интенсивностью света, падающего на фотоэлемент, и

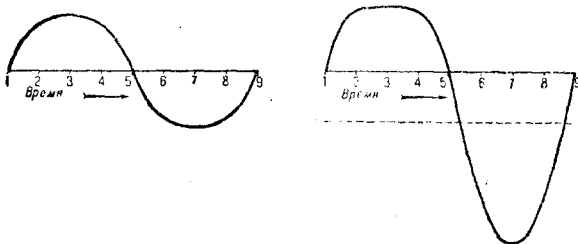


Рис. 76. Правильная передача формы кривой при $\gamma = 1$.
Искажение формы кривой при $\gamma = 2$.

первоначальной интенсивностью света, действовавшего на негатив, может быть лишь тогда, когда

$$\gamma_N \gamma_P = 1.$$

Это — условие, выведенное Гольдбергом ¹⁵¹.

При отклонениях от этого условия нелинейные искажения становятся весьма заметными.

Рис. 76 показывает искажение формы гармонического колебания при $\gamma = 2$; рисунок чрезвычайно наглядно показывает, как велики нелинейные искажения даже при таких отклонениях от условия Гольдберга.

Фризер и Пистор ¹⁵² указывают, что в зависимости от того, производятся ли измерения почернения в диффузном или направленном свете, получаются различные результаты (эффект Калле). При воспроизведении звуковой фильмограммы просвечивается направленным пучком света, а характеристику определяют, по большей части, в диф-

фузном свете, например с помощью денсометра Гольдберга. Точные измерения показали, что действительное значение произведения $\gamma_N \cdot \gamma_P$ приблизительно в 1,18 раз больше, чем это получается из характеристической кривой, снятой в диффузном свете. Таким образом нелинейные искажения должны становиться заметными даже тогда, когда произведение $\gamma_N \cdot \gamma_P$ кажется точно равным единице. Ошибка, обуславливаемая эффектом Каллье, весьма заметна еще потому, что из практических соображений часто допускают значения $\gamma_N \cdot \gamma_P$, превышающие единицу.

В следующей таблице сопоставлены значения $\gamma_N \cdot \gamma_P$, измеренные в диффузном и в направленном свете, и соответствующие значения клиррфактора:

| | | |
|--|------|------|
| Значение $\gamma_N \cdot \gamma_P$, измеренное в диффузном свете | 1,18 | 1,42 |
| Клиррфактор, вычисленный в этом предположении (в процентах) | 6 | 14 |
| Действительное значение $\gamma_N \cdot \gamma_P$ при воспроизведении фонограммы (просвечивание направленным светом) | 1,18 | 1,65 |
| Клиррфактор | 6 | 27 |

Линейные искажения конденсатора Керра, так же и фотоэлемента, чрезвычайно малы: до 10^9 герца обе системы работают практически без искажений.

Значительные трудности причиняет оптически щель как в отношении нелинейных, так и в отношении линейных искажений. Дефекты частотной характеристики, обусловленные оптической щелью, подробно разобраны в работе Иоахима ¹⁵³.

Для светового потока, проходящего через фильму, при записи по способу переменной плотности имеет место следующее уравнение *:

$$A = 2A_0 \cdot b + a_1 \frac{\gamma}{\pi} \sin 2\pi \frac{b}{\lambda} \sin 2\pi \frac{l}{\lambda},$$

* Это уравнение справедливо и для случая записи по способу переменной ширины, — см. цитированную работу Иоахима. *Прим. ред.*

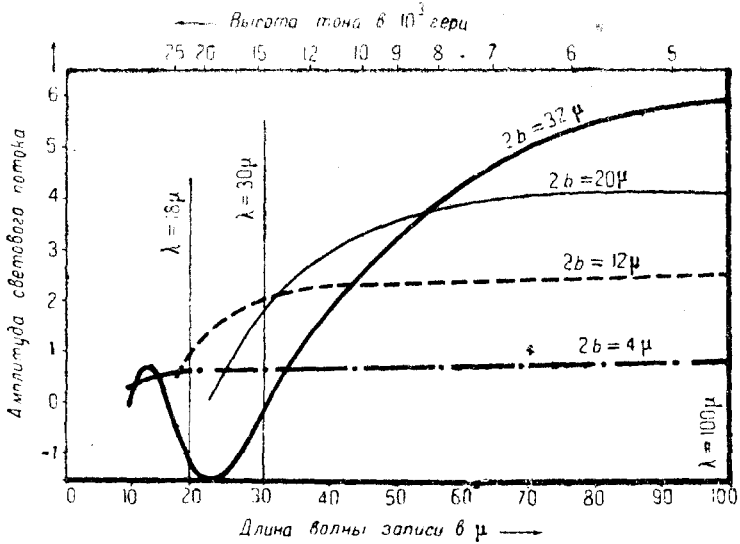


Рис. 77. Зависимость амплитуды светового потока от высоты тона.

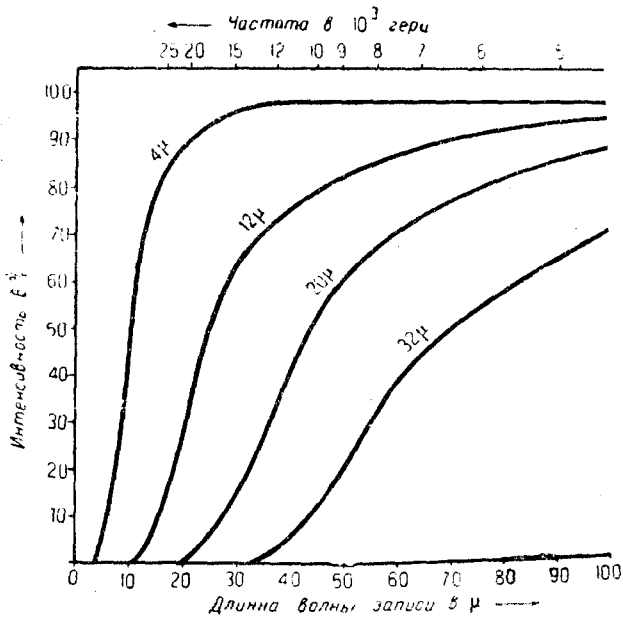


Рис. 78. Падение интенсивности при щелях различной ширины.

где A_0 — средний поток света, $2b$ — ширина щели, λ — длина волны записи и l — координата, отсчитываемая вдоль длины фонограммы. При очень малых b можно синус заменить дугой; тогда имеем:

$$A = 2A_0 a_1 2b \sin 2\pi \frac{l}{\lambda}.$$

Таким образом для очень узких щелей периодически меняющаяся компонента светового потока непосредственно про-

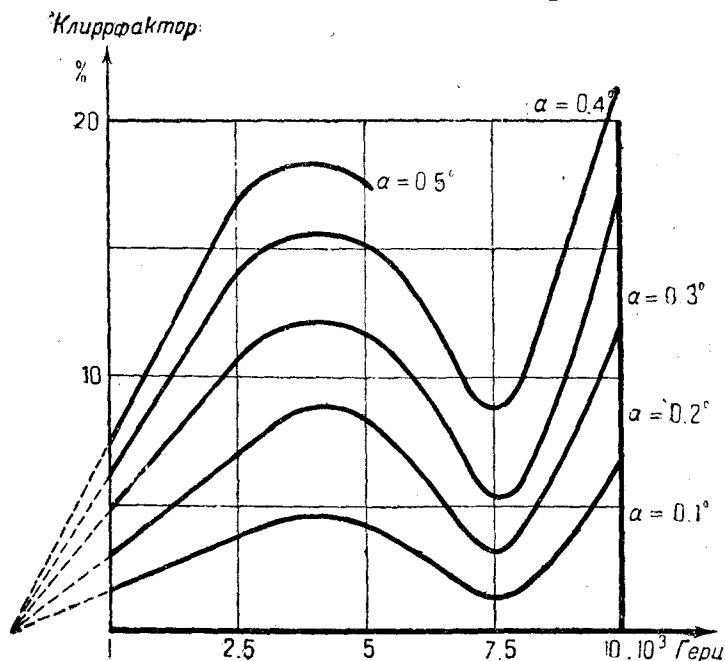


Рис. 79. Зависимость клиррфактора от частоты при различных положениях щели; $s = 30 \mu$.

порциональна амплитуде прозрачности фильма; при достаточно узкой щели амплитуда светового потока не зависит от частоты.

При уменьшении длины волны записи, т. е. при возрастании частоты, это приближение становится недопустимым, и амплитуда начинает зависеть от частоты.

Рис. 77 и 78 наглядно показывают свойства различных щелей. Оказывается, что амплитуда светового потока равна

нулю, когда $b = \frac{\lambda}{2}$, т. е. когда ширина щели $2b = \lambda$.

Это явление отчетливо заметно на кривой $2b = 32$ (рис. 78). При дальнейшем возрастании частоты амплитуда становится отрицательной, т. е. фаза колебания сдвигается на

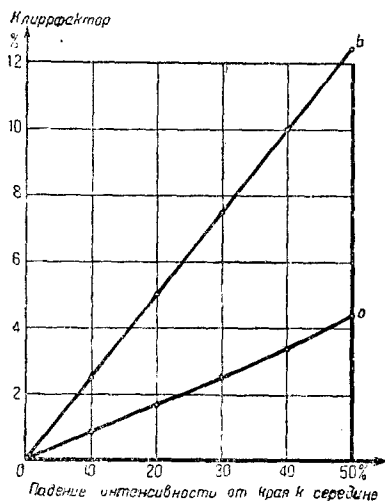


Рис. 80. Клиррфактор при воспроизведении фонограммы типа переменной ширины с неоднородно освещенной щелью.

180° по отношению к фазе середины щели. Необходимо отметить, что практически больше всего применяются щели шириною около 20μ ; интенсивность в этом случае при 7000 герц падает на 70% (рис. 79). Вышеприведенные рассуждения справедливы и для записи по способу переменной ширины.

Искажения могут возникать также вследствие косою расположения щели воспроизводящего аппарата относительно щели съемочного аппарата. Фризер и Пистор исследовали искажения, обусловливаемые косою положением щели.

Для отношения $\frac{A}{A}$ амплитуды при косом положении щели к амплитуде при правильном положении справедливо следующее равенство:

$$\frac{A}{A} = \frac{\lambda}{\pi h_1 \operatorname{tg} \alpha} \sin \frac{\pi h_1 \operatorname{tg} \alpha}{\lambda},$$

где h_1 — ширина изображения и α — угол между щелями воспроизводящего и записывающего аппарата.

В качестве конечных результатов отметим, что при отклонении всего лишь на $0,5^\circ$ интенсивность при 10 000 герц падает на 35% , т. е. ослабление вполне отчетливо заметно. В противоположность записи по способу переменной плотности при записи по способу переменной ширины

вследствие неправильной юстировки возникают нелинейные искажения. Из результатов работы Фризера и Пистора мы приведем здесь диаграмму, дающую зависимость клиррфактора от частоты при различных положениях угла между щелями.

При записи по способу переменной ширины нелинейные искажения возникают также вследствие неоднородного освещения щели. Вычисления можно произвести на основании диаграммы рис. 80, где кривая a построена в предположении, что интенсивность падает симметрично от середины к краям, а кривая b — в предположении, что интенсивность падает линейно от одного края к другому.

ЛИТЕРАТУРА

132. О технике грамофонной записи см. следующие статьи:
 E. W. Kellog, «Journ. Amer. Inst. El. Eng», **46**, 1041, 1927;
 L. Hajek, «Monatsschrift für Ohrenheilkunde und Laryngo-Rhinologie», **62**, 808, 1928; L. A. Elmer u. D. G. Blattner, «Trans. Mot. Pict. Eng.», **13**, 227, 1929; H. A. Frederick, «Bell System Techn. Journ», **8**, 159, 1929;
 E. Lübecke, «Z. d. V. D. I.», **73**, 333, 1929; H. Vogt, «Kinotechnik», **12**, 385, 1930; P. Hatschek, «Kinotechnik», **12**, 302, 332, 361, 1930.
133. О фотографической записи см. следующие работы:
 F. Lüschen, «E. T. Z.», **50**, 693, 1928, 1929; H. Lichte u. H. Tischner, «Jahrb. Forsch.-Inst. A. E. G.», **1**, 13, 1930; C. Kemna u. H. Kluge, «Siemens-Jahrb.», **4**, 361, 1930. Из последней работы заимствован ряд вышеупомянутых указаний и рисунков с 64 по 66.
134. См. примечание 9, «Успехи физ. наук» т. XI вып. 4 1931 г.
135. См. особенно: Homer G. Tasker, Electronics, 273, 1930; G. Sandvik, «Kodak Scientif. Publ.», **12**, 260, 19.8; J. I. Crabtree. O. Sandvik u. C. I. Ives, «Kinotechnik» **12**, 380, 320, 1930 (подробный реферат о возможности уменьшения износа фильмы путем соответствующей обработки, как, например, парафинирования).
136. C. Still, «E. T. Z.», **51**, 449, 1930.
137. G. Buchmann u. E. Meyer, «E. N. T.», **7**, 147, 1930.
138. E. Meyer u. P. Just, «E. N. T.», **6**, 264, 1929.
139. Определение амплитуды скорости измерительных грамофонных пластинок может выполняться или методом, указанным выше, или (как в рассматриваемой работе Мейера и Юста) способом, заключающимся в том, что пускают грамофонные пластинки с тонами различной высоты с различными скоростями так, чтобы частота фактически приложенной к адаптору силы оставалась постоянной; при этом свойства самого адаптора исключаются.

140. A. Hofer, «Funkbastler», 7, 621, 1930; G. W. Sutton, «Journ. Inst. El. Eng.», 68, 566, 1930; A. Kofes, «Funkbastler», 6, 621, 1929; H. A. Frederick, «Bell System Techn. Journ.», 8, 159, 1929. См. также статью «Grammophone Pickups tested» «Wireless World», 26, 321 и 356, 1930.

141. J. P. Maxfield and H. C. Harrison, «Bell Sestem Technical Journ.», 5, 493, 1926; E. W. Kellog, «Journ. Amer. Inst. El. Eng.», 46, 1041, 1927.

142. A. Forstmann. «E. N. T.», 7, 426, 1930.

143. G. W. Sutton. «Journ. Inst. El. Eng.», 68, 566, 1930.

144. E. A. Fredrick, «Bell. System. Techn. Journ.», 8, 159, 1929; L. A. Elmer u. D. G. Blattner, «Trans. Soc. Mot. Pit. Eng.», 13, 227, 1929.

145. E. Meyer u. G. Buchmann, «E. N. T.», 8, 218, 1931.

146. См. «Успехи физич. наук», XI, 1931, примечание 9.

147. H. Lichte, Photographische Probleme des Tonfilms, переработан F. Hehlgans, «Kinotechnik», 12, 615, 641, 1930.

148. H. Lichte u. H. Tischner, «Jahrb. Forsch.-Inst. A. E. G.», 1, 13, 1930.

149. F. Hehlgans, «Kinotechnik», 12, 615, 641, 1930 (исчерпывающая работа по записи конденсатором Керра. См. также E. F. Kingsberg, «Rev. Scient. Inst.», 1, 22, 1930).

150. По этому вопросу кроме работ, указанных в примечаниях 16 и 17 («Успехи физич. наук», XI, 4, 1931), статью J. Eggert, Über die photographischen Erfordernisse des Tonfilms, «Kinotechnik», 12, 549, 1930. О характеристиках см. реферат работ L. A. Jones u. O. Sandvik, «Kinotechnik», 12, 216, 1930. -

151. Заимствовано из работы J. Eggert. «Kinotechnik, 12, 549», 1930. В упомянутой работе имеется также описание прибора, контролирующего процессы экспозиции и проявления, «Agfa-Gammameter».

152. H. Frieser u. W. Pistor, «Kinotechnik», 12, 601, 1930; см. также Küster u. R. Schmidt, «Kinotechnik», 12, 602, 1930.

153. H. Joachim, «Z. f. techn. Phys.», 11, 168, 1930.

154. H. Friser u. W. Pistor, «Z. f. techn. Phys.», 12, 116, 1931.