

Применение печатных схем сводит до минимума самую трудоемкую часть производства радиоприемников—их монтаж. Кроме того, достигается предельная компактность аппаратуры и улучшается ее качество (так как индуктивность и емкость соединительных цепей в этом случае могут быть заранее строго рассчитаны и устраняются неизбежные неточности монтажа).

§ 95. Преобразование звуковых колебаний в электрические и электрических в звуковые. Электрозались и воспроизведение звука

Приборы, предназначенные для преобразования звуковых колебаний в электрические, называют *микрофонами*. С электроакустической точки зрения работа микрофона характеризуется *коэффициентом преобразования*, который представляет собой отношение развиваемых микрофоном колебаний напряжения к избыточному звуковому давлению в доходящей до микрофона звуковой волне:

$$k_m = \frac{\Delta V}{\Delta P}.$$

Чтобы микрофон не вносил в передачу искажений, его коэффициент преобразования должен оставаться постоянным в широком диапазоне звуковых частот (практически в пределах от 50 до 10 000 *гц*) и, кроме того, коэффициент преобразования должен быть одинаковым для всех амплитуд звука. Важна также абсолютная величина этого коэффициента: очевидно, что чем эта величина больше, тем микрофон чувствительнее.

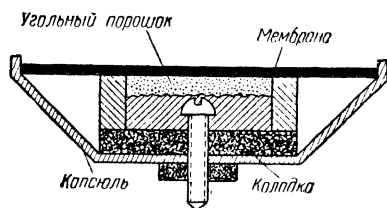


Рис. 434. Схема устройства телефонного микрофона.

подвешенный в магнитном поле проводник, создавая на его зажимах переменную электродвижущую силу.

Типичным представителем *угольных микрофонов* является обычный телефонный микрофон (рис. 434), в котором приемным органом является мембрана, зажатая по краям в капсуле. Против мембраны (позади нее) расположена угольная колодка, а промежуток между мембраной и колодкой заполнен угольным порошком. Микрофон включается в цепь источника тока (местного или центрального), причем колебания мембраны в звуковом поле подвергают порошок периодически меняющемуся давлению; вследствие этого меняются сопротивление микрофона и величина протекающего через микрофон тока. Для высококачественной передачи обычный телефонный микрофон непригоден: во-первых, резонансные свойства мембраны делают частотную характеристику такого микрофона очень неровной (рис. 435), вследствие чего микрофон искажает тембр звуков; во-вторых, такой микрофон вносит довольно значительные так называемые *нелинейные искажения*, заключающиеся в возникновении новых—«комбинационных колебаний», что делает звук хриплым и (при сильных искажениях) дребезжащим.

В радиопередаче применяют гораздо более совершенный микрофон Рейсса, в котором мембрана отсутствует и звуковые волны непосредственно действуют

на угольный порошок, защищенный от высыпания лишь тонкой резиновой пленкой. Частотная характеристика микрофона Рейсса изображена на рис. 435 пунктирной кривой ¹⁾.

Конденсаторный микрофон представляет собой тонкую дюралюминиевую мембрану, туго натянутую против металлической пластинки. Мембрана и пластинка образуют воздушный конденсатор, емкость которого меняется при колебаниях мембраны в звуковом поле. Как

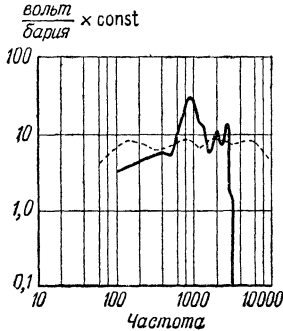


Рис. 435. Изменение с частотой коэффициента преобразования телефонного микрофона (сплошная кривая) и микрофона Рейсса (пунктирная кривая).

видно из схемы включения (рис. 436), в микрофонной цепи течет при этом переменный (зарядный и разрядный) ток, форма которого соответствует кривой колебаний давления в звуковой волне.

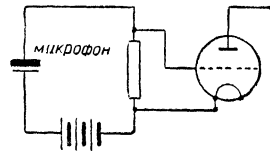


Рис. 436. Схема включения конденсаторного микрофона.

Переменное напряжение на зажимах высокоомного сопротивления, последовательно включенного с батареей и микрофоном, подается для усиления на сетку первой лампы усилителя, первые каскады которого монтируются вместе с микрофоном. Влияние резонанса мембраны устраняется большим натяжением ее, благодаря которому частота ее собственных колебаний доводится до значения, превышающего 10 000 гц, т. е. выводится за пределы рабочего диапазона частот.

Частотная характеристика подобного микрофона представлена на рис. 437.

Электродинамические микрофоны основаны, как уже сказано, на индуцировании электродвижущей силы в проводнике, перемещающемся в магнитном поле. Движущимся проводником в микрофонах электродинамического типа является или тонкая рифленая ленточка (ленточный микрофон), или цилиндрическая катушка, жестко скрепленная с подвижной мембраной.

Конденсаторные и электродинамические микрофоны являются в настоящее время наиболее совершенными и широко применяются в радиотехнике, в технике звукового кино, в лабораторных исследованиях и т. д.

Приборы, преобразующие электрические колебания в звуковые, носят название *репродукторов* ²⁾, или *громкоговорителей*. Во всех этих приборах имеется

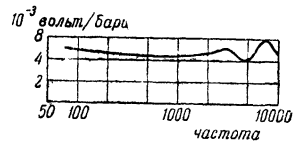


Рис. 437. Коэффициент преобразования конденсаторного микрофона как функция частоты.

¹⁾ Следует заметить, что при построении характеристики, изображенной на рис. 435, взят другой масштаб оси ординат (другое значение константы пропорциональности); микрофон Рейсса гораздо менее чувствителен, нежели телефонный, и работает всегда с усилителем.

²⁾ От лат. *ge—vino v* и *producere—производить*.

звукоизлучающая поверхность, приводимая в колебание электрическим путем. В зависимости от природы силы, заставляющей излучающую поверхность колебаться, различают электродинамические, электромагнитные и электростатические громкоговорители. В зависимости от способа звукоотдачи громкоговорители подразделяют на *диффузорные*, в которых излучатель (диффузор) отдает звуковую энергию непосредственно в открытое пространство, и *рупорные*, в которых излучение звуковых волн происходит через посредство рупора, обычно экспоненциального.

С точки зрения отсутствия искажений к громкоговорителю должны быть предъявлены следующие требования: 1) линейная зависимость между силой, действующей на излучающую поверхность, и подводимым к громкоговорителю током или напряжением; 2) ровность частотной характеристики, т. е. независимость отдачи громкоговорителя от частоты воспроизводимых колебаний в достаточно широком диапазоне звуковых частот.

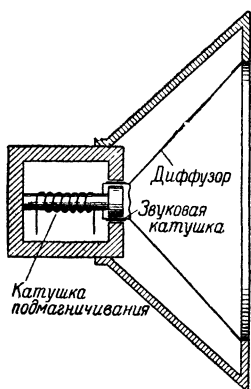


Рис. 438. Схема устройства громкоговорителя электродинамического типа.

Из диффузорных громкоговорителей наибольшее распространение имеют в настоящее время *электродинамические громкоговорители* («динамики»). Устройство их таково (рис. 438): с излучающей поверхностью жестко связывают проводник (чаще всего в форме многовитковой «звуковой» катушки), помещенный в поле мощного электромагнита; при пропускании через «звуковую» катушку переменного тока I звуковой частоты на «звуковую» катушку действует периодическая сила, пропорциональная току:

$$F \approx BIl$$

(где B —магнитная индукция, l —длина проводника). Под действием этой силы катушка и связанная с нею излучающая поверхность (диффузор) совершают вынужденные колебания с частотой пропускаемого тока.

Применение сплавов с большой остаточной индукцией (§ 63) позволило создать высококачественные динамики с постоянными магнитами, не требующими тока на подмагничивание.

Звуковая катушка динамика имеет активное сопротивление, обычно в несколько омов, и индуктивное сопротивление для токов звуковой частоты, порядка десятков и сотен омов. Колебания звуковой частоты подводят к звуковой катушке динамика через «выходной» трансформатор. Первичная обмотка выходного трансформатора, через которую проходит анодный ток выходной лампы усилителя (см. рис. 428), состоит из нескольких тысяч витков (n_1 витков); вторичная обмотка, замыкающаяся через звуковую катушку динамика, имеет в несколько раз меньшее число витков (n_2 витков). Поэтому выходной трансформатор в $\frac{n_1}{n_2}$ раз понижает колебания напряжения и во столько же раз увеличивает колебания величины тока. Мощность, потребляемая звуковой катушкой динамика, пропорциональна произведению квадрата тока через нее на ее сопротивление $R_{зв}$ току звуковой частоты. Эта мощность $I_2^2 R_{зв}$ берется из первичной цепи трансформатора. Стало быть, когда вторичная обмотка выходного трансформатора подключена к динамику, то первичная обмотка трансформатора создает для выходной лампы нагрузку Z , которая определяется указанным равенством мощностей (мощности, потребляемой динамиком, и мощности, отдаваемой лампой):

$$I_1^2 Z = I_2^2 R_{зв},$$

т. е.

$$Z = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 R_{зв}. \quad (18)$$

Обычно при расчете выходного трансформатора нагрузку Z выбирают так, чтобы она примерно в два раза превышала внутреннее сопротивление выходного триода (для выходных пентодов нагрузку Z берут равной от $1/10$ до $1/5$ внутреннего сопротивления пентода).

Для высококачественного воспроизведения звуков музыки и речи часто применяют сочетание нескольких динамиков, каждый из которых рассчитан на преимущественное излучение звуков определенного интервала частот. Хорошая передача звуков (в особенности низких) обеспечивается только в том случае, если «отражательная доска», на которой укреплен динамик (или какими-либо иными способами), устранена интерференция волн, излучаемых передней и задней поверхностями диффузора.

Электромагнитный громкоговоритель представляет собой, как это схематически показано на рис. 439, постоянный магнит, притягивающий к себе связанный с излучающей системой якорь; при пропускании через катушку громкоговорителя тока звуковой частоты создается ток магнитный поток либо складывается с потоком постоянного магнита, либо вычитается из него (в зависимости от направления тока), причем действующая на якорь сила соответственно увеличивается или уменьшается, заставляя якорь, а значит, и связанный с ним излучатель совершать колебания. Так как при приближении якоря к магниту действующая на него сила возрастает, то во избежание «прилипания» якоря к полюсу приходится вводить большую возвращающую силу, например выполняя якорь в виде заделанной одним концом жесткой пластинки. (Собственная частота такого якоря попадает в рабочий диапазон звуковых частот и обуславливает возникновение искажений—громкоговоритель передает резонансные частоты с преувеличенно большой амплитудой.)

По тому же принципу устроены *электромагнитные телефоны*: изменение тока в катушках телефона, насаженных на полюсные наконечники, вызывает колебания жестяной мембраны. Телефон позволяет регистрировать колебания тока (микроамперы) и колебания напряжения, измеряемые милливольтами, но для нормальной громкости требуются колебания напряжения порядка вольта. Сопротивление обычных телефонов составляет несколько сотен омов, а телефонов, изготовляемых для радиоприема,— несколько тысяч омов.

Существуют также *пьезоэлектрические телефоны*; в них движение мембраны вызывается вынужденными механическими колебаниями пьезокристалла (сегетовой соли), к электродным поверхностям пьезокристалла подводятся колебания напряжения звуковой частоты.

В *конденсаторных громкоговорителях* излучающая поверхность выполнена в виде мембраны, являющейся одной из пластин воздушного конденсатора; на пластины конденсатора подается переменное напряжение звуковой частоты и, кроме того, для уменьшения нелинейных искажений подается еще и большое постоянное напряжение. Чтобы передвинуть резонанс мембраны в сторону надзвуковых частот, мембрану устранивают туго натянутой, подобно тому как это делается в конденсаторных микрофонах.

Для разнообразных технических целей и для лабораторных исследований часто требуются мощные источники звуковых и ультразвуковых колебаний

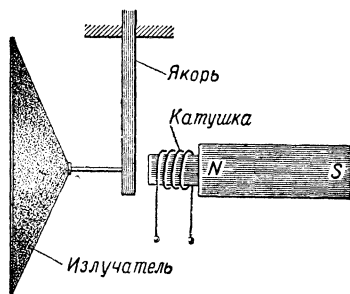


Рис. 439. Схема устройства громкоговорителя электромагнитного типа.

той или иной частоты. В этих случаях особенно удобными, а иногда и единственно пригодными являются *ламповые генераторы звуковых колебаний*. Последним, выходящим звеном такого генератора является обычно динамик или (при генерировании ультразвуков) резонаторное устройство, заменяющее динамик (пьезокварцевая пластина и т. п.). Этому звену предшествует обычный ламповый усилитель электрических колебаний звуковой частоты. Для генерации колебаний звуковой частоты можно использовать обычный ламповый генератор с колебательными контурами (*LC-генератор*); но для самовозбуждения такого генератора на звуковой частоте самоиндукция и емкость колебательного контура должны быть большими, а это затрудняет настройку генератора на нужную частоту.

Обычно для возбуждения электрических колебаний звуковой частоты применяют гетеродинные генераторы и *RC-генераторы*. *Гетеродинный генератор колебаний звуковой частоты* состоит из двух гетеродинов (§ 94) и смесителя созданных ими колебаний. Один из этих гетеродинов имеет неизменяемые параметры колебательного контура и генерирует колебания высокой и постоянной частоты ω_1 (обычно около 200 кГц). Второй гетеродин посредством конденсатора переменной емкости настраивают так, чтобы он генерировал колебания такой частоты ω_2 (обычно в интервале 180—200 кГц), которая отличается от частоты колебаний, создаваемых первым гетеродином, на частоту нужных звуковых колебаний. Тогда получаемые в смесителе колебания промежуточной частоты $\omega_1 - \omega_2$ и будут колебаниями звуковой частоты.

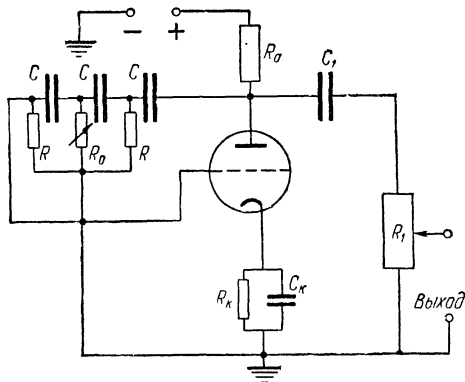


Рис 440. Схема *RC-генератора колебаний звуковой частоты*

Схема *RC-генератора колебаний звуковой частоты* показана на рис. 440. Обратная связь анодной и сеточной цепи здесь реализуется тремя одинаковыми конденсаторами (емкостью каждый порядка сотен сантиметров) и тремя сопротивлениями, из которых одно делают переменным, чтобы регулировать частоту возбуждаемых колебаний ($R = R_1 = \frac{1}{2} R_0$ порядка сотен тысяч омов). Анодное сопротивление должно быть небольшим, а катодное, напротив, весьма значительным. При использовании триода (типа 6С5) $R_a = 1000$ ом и $R_k \approx 0,5$ мгом ($C_k \approx 1$ мкф и переходный конденсатор $C_1 \approx 10^4$ см).

Взаимопревращаемость электрических и акустических колебаний позволяет осуществлять весьма точную запись звуков и воспроизведение записанных звуков. Имеется ряд способов, с помощью которых звук, воспринятый микрофоном и преобразованный им в электрические колебания, может быть записан и затем воспроизведен. Все эти способы могут быть сведены в три группы, которые различаются выбором носителя звуковой записи—*фонограммы*¹⁾:

- 1) механическая запись звука, гравированная на вращающемся восковом диске с помощью колеблющегося со звуковой частотой резака;
- 2) магнитная запись звука, получаемая на ферромагнитной проволоке или ленте, протягиваемой в переменном магнитном поле;
- 3) фотографическая запись звука, получаемая в результате воздействия на светочувствительный слой киноплёнки света, проходящего предварительно

¹⁾ От лат. *phone*—звук и *gramma*—запись.

через специальное «управляющее» устройство, называемое в общем виде *модулятором*.

Запись звука на восковом диске или валике является старейшим способом звуковой записи (этот способ записи звука впервые был применен Эдисоном в 1877 г.). Первоначально гравирующий фонограмму резец скреплялся с приемной мембраной; такое непосредственное использование энергии звуковых волн в настоящее время уже не применяется, так как мощность, отдаваемая мембране звуковым полем, ничтожна. После изобретения электронной лампы быстрое развитие усилительной техники дало возможность перейти к гораздо более совершенной электрозаписи. Функции звукоприемного устройства перешли к высококачественному микрофону. Работающий от микрофонного усилителя звукозаписывающий аппарат—*рекордер*—представляет собой магнитную систему, якорь которой жестко скреплен с резцом. Колебания якоря и резца вынуждаются действием переменного магнитного потока. Фабрики граммофонных пластинок снимают матрицы с записи, произведенной на восковом диске, и делают оттиски этой записи на мастике граммофонных пластинок.

Воспроизведение записи на пластинках может производиться с помощью обычного патефона, устройство которого общезвестно. Более совершенное воспроизведение и наряду с этим гораздо большая акустическая мощность могут быть получены с помощью электрического звуковоспроизводящего устройства. Начальным звеном процесса воспроизведения является так называемый *адаптер*: игла, скользящая по борозде фонограммы, жестко связана с якорем магнитной системы; колебания якоря индуцируют в неподвижной катушке электродвижущую силу звуковой частоты. Конечным звеном служит громкоговоритель, работающий от усилителя, на входе которого включен адаптер.

Еще лучшее воспроизведение звука дают *пьезоэлектрические адаптеры*. В них колебания патефонной иглы передаются пьезоэлектрической пластинке и вызывают вследствие пьезоэлектрического эффекта появление зарядов на гранях этой пластинки, служащих электродами; электроды пластинки замкнуты на большое сопротивление, падение напряжения на части этого сопротивления подается на усилитель.

Магнитная запись звука основана на чрезвычайно простом принципе: если в переменном магнитном поле, которое создано токами звуковой частоты, протягивать с постоянной скоростью стальную проволоку или ленту, то она будет намагничиваться; при этом остаточное намагничение будет меняться от участка к участку, и таким образом звук будет записан на ленте в виде магнитной фонограммы.

Магнитная запись воспроизводится путем протягивания ленты с записанным на ней звуком возле неподвижной катушки, в которой при этом индуцируется электродвижущая сила звуковой частоты. Конструкция звуковоспроизводящего аппарата принципиально не отличается от конструкции аппарата для записи, поэтому аппарат записи и воспроизведения обычно объединяют в одном приборе—*магнитофоне*. Ленты для магнитной записи звука изготавливают из пленки ацетил-целлюлозы или бумаги, на поверхность которой наносят в вяжущей среде тонкий слой мельчайших частиц ферромагнетика. Произведенная на ленте запись звука легко удаляется размагничиванием, после чего лента может служить для новых записей звука.

Магнитофонная запись звука широко используется в радиовещании. В сравнении со всеми другими способами записи звука (включая и описанные ниже фотографические методы) магнитофонная запись в настоящее время дает наиболее совершенное по качеству воспроизведение звуков.

Фотографическая запись звука, применяемая в звуковом кино, разработана в настоящее время в двух модификациях: в одной из них фонограмма получается в результате периодического изменения освещенности, получаемого светочувствительным слоем движущейся кинопленки от падающего на нее светового луча; в другой—в результате периодического изменения ширины участка слоя, подвергаемого действию постоянного освещения. При записи по первому способу (*способ переменной плотности*) фонограмма представляет собой узкую

полоску, фотографическая плотность которой меняется от участка к участку; при записи по второму способу (*способ переменной ширины*) фонограмма делится в продольном направлении на освещенную и неосвещенную части, граница между которыми представляет собой кривую записанных звуковых колебаний.

Для *звукового кино* первый промышленно пригодный способ записи звука был разработан в 1922 г. По этому способу запись звука производится следующим образом.

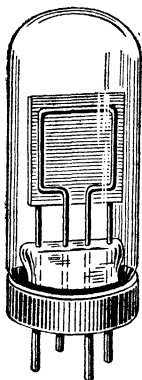


Рис. 441. Газосветная лампочка.

Током звуковой частоты от мощного усилителя питают небольшую *газосветную лампу*, в которой под действием электрического разряда светится газ (аргон или азот), заполняющий под небольшим давлением баллон лампы.

В газосветных лампах происходит тлеющий разряд (§ 47); электродам аппаратурных газосветных ламп придают такую форму, чтобы использовать свечение околоскатодного слоя (рис. 441). Развитие электронных лавин, поддерживающих тлеющий разряд в газосветной лампе, происходит с такой быстротой, что газосветная лампочка при небольшом (в несколько миллиметров) расстоянии между электродами является одним из наименее инерционных приборов. Яркость свечения газосветной лампочки пропорциональна величине тока, поэтому колебания яркости имеют тот же ход во времени, что и колебания тока.

При использовании газосветной лампочки для записи звука свет лампочки с помощью оптических линз собирают на заслонке, в которой прорезана узкая щель; изображение этой щели отбрасывается объективом на киноплёнку в виде яркого штриха шириной в 15—20 μ и длиной около 2,5 мм.

Поскольку яркость штриха меняется с частотой принимаемого микрофоном звука, постольку таким же образом меняется и получаемое светочувствительным слоем освещение, в результате чего на киноплёнке после проявления получается запись типа *переменной плотности*.

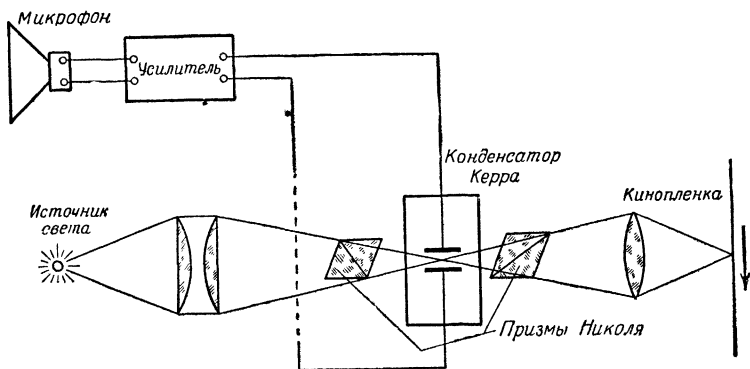


Рис. 442. Схема записи звука электрооптическим конденсатором.

На рис. 442 представлена схема записи звука по способу, разработанному в СССР П. Г. Тагером (1926 г.). Свет от мощной низковольтной лампы накаливания сосредоточивают линзами на системе, состоящей из двух поляризационных призм Николя и помещенного между ними конденсатора, пластины которого, образующие узкую щель, погружены в прозрачную кюветку с нитробензолом $C_6H_5NO_2$. Этот конденсатор известен под названием *конденсатора Керра* (т. III, § 38); к его пластинам и подводят переменное напряжение звуковой частоты.

В электростатическом поле нитробензол становится двоякопреломляющей средой (керр-эффект); при этом плоско-поляризованный луч света, входящий после прохождения через поляризующую призму в промежуток между пластинами конденсатора, расщепляется на два луча, поляризованных в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях и распространяющихся с различной скоростью. По выходе из конденсатора эти два луча имеют некоторую разность фаз; по наблюдениям Керра разность фаз φ меняется с изменением напряженности поля в конденсаторе:

$$\varphi = 2\pi K l E^2; \quad (19)$$

здесь l —длина пути света в электростатическом поле с напряженностью E , K —константа. Два луча с разностью фаз φ , будучи приведены второй призмой Николя к одной плоскости, интерферируют друг с другом, и, поскольку φ зависит от напряжения, приложенного к конденсатору, яркость отбрасываемого на пленку изображения щели (между пластинами конденсатора) меняется в ритме записываемых звуковых колебаний. В результате после проявления на пленке получается фонограмма типа переменной плотности.

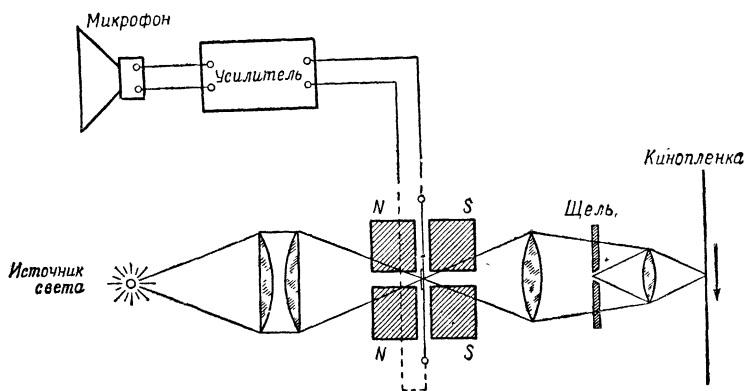


Рис. 443. Схема записи звука струнным осциллографом.

Устройства, дающие запись звука по способу переменной ширины, представляют собой разновидность осциллографа (шлейфового или струнного), приспособленного для записи звуковых колебаний на кинолентке.

При использовании струнного осциллографа для записи звука (рис. 443) ток звуковой частоты пропускают через бронзовую нить, имеющую вид плоской ленточки; нить натянута в магнитном поле, причем взаимодействие тока с полем вынуждает колебания нити. Световой пучок направляется оптической системой линз на нить и освещает щель, на которую объектив отбрасывает увеличенное теневое изображение нити, закрывающей при отсутствии тока половину щели. Уменьшенное до требуемых размеров изображение затененной щели отбрасывается на движущуюся кинолентку с помощью цилиндрической линзы.

В СССР метод записи звука струнным осциллографом на фонограммы переменной ширины был разработан в 1927 г. А. Ф. Шориным. В последующие годы способы фотозаписи звука были существенно усовершенствованы с целью устранения возникавших искажений звука (стали применять так называемую «многодорожечную фотозапись», «противофазную» и др.).

Воспроизведение фотографической фонограммы любого типа (как переменной плотности, так и переменной ширины) осуществляется следующим образом. Оптическая система линз (рис. 444) собирает свет лампы накаливания на щели.

изображение которой отбрасывается объективом на движущуюся в проекционном аппарате фонограмму в виде яркого штриха толщиной 15—20 μ . Световой поток, проходящий на изображение щели, просвечивает фонограмму и падает затем на катодный слой фотоэлемента, освобождая с поверхности слоя тем большее число электронов, чем ярче падающий на фотоэлемент луч. Проходя через движущуюся фонограмму, световой поток периодически изменяется (либо вследствие переменной фотографической плотности фонограммы, либо в результате перекрывания штриха зубчиками фонограммы типа переменной ширины), поэтому соответственно изменяется и ток в контуре фотоэлемента. Переменное напря-

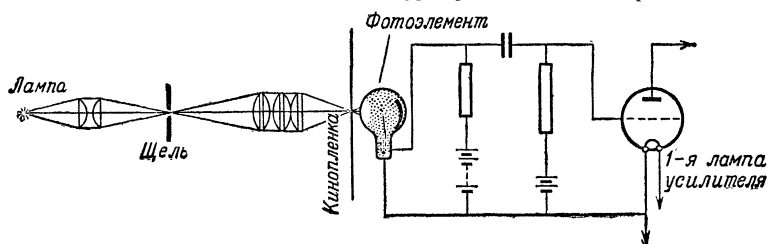


Рис. 444. Схема воспроизведения звуков по их световой записи.

жение на зажимах нагружающего фотоэлемент сопротивления подается через конденсатор на сетку первой лампы усилителя. Ток конечного каскада усилителя питает громкоговоритель, воспроизводящий записанные на фильме звуки.

При широко практикуемой в производстве кинофильмов *противофазной* записи звука она осуществляется по методу фонограмм переменной ширины, но не на одной, а на двух звуковых дорожках, на которых звук записывается в противоположных фазах. Воспроизведение звука выполняется двумя фотоэлементами. Это существенно уменьшает искажения, вносимые случайными дефектами фонограммы (загрязнениями, царапинами и т. п.), так как токи возникающих шумов компенсируются; в итоге достигается более точное воспроизведение тембра записанных звуков.

Надо полагать, что в дальнейшем в кинопромышленности фотографическая звукозапись будет заменена магнитной.

§ 96. Телевидение

Возможность непосредственного видения на большом расстоянии принципиально ограничена дифракцией света, ставящей предел разрешающей силе оптических приборов. Так, даже самый большой телескоп не дает возможности рассмотреть деления миллиметровой шкалы, находящейся на расстоянии большем, чем 10 км. Телевидение позволяет обойти это принципиальное препятствие.

Для передачи изменений интенсивности света на любое расстояние проще всего воспользоваться каким-либо фотоэлементом, дающим электрический ток, пропорциональный освещенности. Этот ток после усиления может быть передан по проводу или по радио. Если принятым током (вторично усиленным) питать источник света, яркость которого зависит от величины тока или напряжения, то на приемной станции можно восстановить те интенсивности света, которые были переданы. Главная трудность телевидения заключается в том, что необходимо передавать интенсивность сразу многих