

Преобразование акустических колебаний в электрический сигнал

Звук, который мы слышим, представляет собой упругие колебания окружающей нас воздушной среды (если мы, конечно, не нырнули с крутого бережка в прохладные воды тихой морской лагуны — там, естественно, звуковые колебания будут передаваться уже с помощью водной среды).

Однако, современные звукозаписывающие аппараты не способны реагировать на колебания давления окружающей их природной среды и «понимают» только колебания какой-нибудь электрической величины — тока, например, или напряжения. Чтобы преобразовать звуковые колебания воздушной среды в понятную каждому звукозаписывающему аппарату форму — электрический сигнал, требуется специальное устройство — микрофон.

В общем случае, микрофон — это прибор, реализующий функцию

$$U = f(P) \text{ или } I = f(P),$$

где U — напряжение в вольтах (В),

I — ток в амперах (А),

P — давление в паскалях (Па).

Способов преобразования акустических колебаний в электрический сигнал, а следовательно, и конструкций микрофонов, существует достаточно много. Рассмотрим некоторые из них. Те, которые вероятней всего можно встретить в повседневном обиходе.

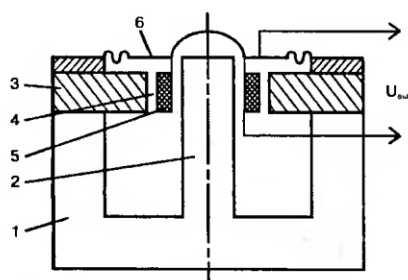
Во времена не столь отдаленные самым распространенным из микрофонов был угольный. Такой микрофон состоял из металлического корпуса, мембраны, в центре которой был укреплен подвижный электрод, неподвижного электрода, угольного порошка, изготовляемого из лучших сортов каменного угля (антрацита) и шелкового кружка, предотвращавшего высыпание угольного порошка.

При воздействии звукового давления на подвижную мембрану, она прогибалась, уплотняя угольный порошок. Сопротивление его при этом падало и ток в цепи увеличивался. При уменьшении звукового давления подвижная мембрана

распрямлялась, сопротивление угольного порошка увеличивалось и ток в цепи, соответственно, уменьшался. Таким образом, колебания тока в цепи с определенной степенью точности отображали колебания звукового давления и, индуцируя во вторичной обмотке согласующего трансформатора соответствующее напряжение, могли быть записаны на магнитофон или переданы в сеть связи.

Однако, угольные микрофоны никогда не отличались высокими техническими параметрами (низкая чувствительность, высокий уровень собственных шумов, узкий диапазон частот и т.п.), поэтому к настоящему времени сохранились лишь в старых моделях телефонных аппаратов.

В профессиональной же звукозаписи наибольшее распространение получили электродинамические и конденсаторные микрофоны, которые обладают гораздо лучшими техническими характеристиками.



*Электродинамический
(катушечный) микрофон:*

- 1 — постоянный магнит;
- 2 — сердечник;
- 3 — фланец;
- 4 — кольцевой воздушный зазор;
- 5 — звуковая катушка;
- 6 — подвижная мембрана

Рис. 1. Устройство электродинамического (катушечного) микрофона

Устройство электродинамического (катушечного) микрофона показано на рис. 1. Оно напоминает устройство динамического громкоговорителя, поэтому последние часто используются в качестве микрофона — в переговорных устройствах, рациях — там, где качество сигнала не имеет решающего значения. Электродинамический микрофон имеет сильный постоянный магнит, напоминающий толстостенный стакан с круглым сердечником — сердечником в середине. К стороне, противоположной «дну» стакана прикреплен фланец — стальная накладка с круглым отверстием

посередине. Между фланцем и керном магнита — узкий воздушный кольцевой зазор, в котором создается сильное магнитное поле. В этом кольцевом магнитном поле, не касаясь ни керна, ни фланца, находится звуковая катушка из изолированного провода. Катушка скреплена с подвижной мембраной, сделанной из алюминиевой фольги или специального пластика. Края мембраны гофрированы, благодаря чему она и скрепленная с ней звуковая катушка обладают подвижностью в осевом направлении.

Когда на мембрану воздействуют упругие колебания воздуха, вызванные акустическим сигналом, она начинает колебаться, увлекая за собой катушку. При этом провода катушки начинают пересекать силовые линии существующего в зазоре мощного магнитного поля, и в катушке индуцируется переменное напряжение той же частоты, что и у звуковых колебаний. Чем выше тон звука, тем выше частота колебаний напряжения. Чем громче звук, тем больше амплитуда электрических колебаний звуковой частоты.

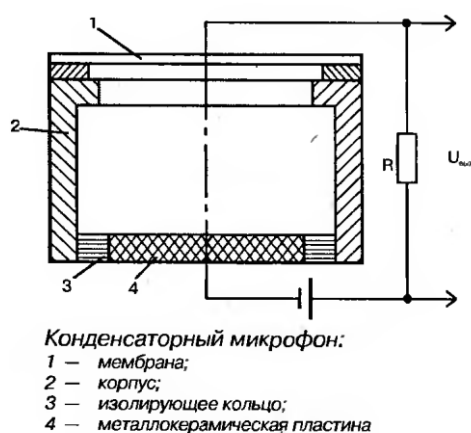


Рис. 2. Устройство конденсаторного микрофона

Устройство конденсаторного микрофона показано на рис. 2. Основу его, как следует из названия, составляет конденсатор, одной из обкладок которого (неподвижной) является металлокерамическая пластина, другой — подвижная металлическая мембрана. Корпус микрофона изготовлен из керамики и отделен от металлокерамической пластины изолирующим кольцом. Последовательно с образованным таким образом конденсатором включен источник тока и нагрузочное

сопротивление R . При воздействии на мембрану акустических колебаний она начинает изгибаться в ту или иную сторону, вызывая тем самым изменение емкости конденсатора. Заряд из конденсатора начинает перетекать в источник тока (при уменьшении емкости) и обратно (при увеличении емкости). Движения заряда есть не что иное как ток, который вызывает на включенном в цепь нагрузочном сопротивлении R переменное напряжение. Частота и амплитуда этого напряжения соответствует частоте и амплитуде воздействующего на микрофон акустического сигнала.

Конденсаторные микрофоны являются наиболее совершенными приборами, так как имеют широкий частотный диапазон, малую неравномерность частотной характеристики, низкий уровень нелинейных и переходных искажений, высокую чувствительность и низкий уровень собственных шумов. В этом их главное преимущество перед электродинамическими микрофонами, которые также имеют широкое распространение в технике звукозаписи. Номинальный диапазон частот у конденсаторных микрофонов может достигать величины 20...20000 Гц, неравномерность частотной характеристики чувствительности во всем диапазоне частот — не более 8 дБ.

Кроме вышеперечисленных, встречаются еще электромагнитные и ленточные микрофоны, но их применение очень ограничено. В узкоспециальных целях могут использоваться также пьезорезистивные микрофоны, микрофоны с диффузионной диафрагмой, в том числе с напыленным p - n -переходом, а также микрофоны на туннельном диоде и прочие экзотические конструкции, не имеющие отношения к системам звукозаписи.

Технические параметры микрофонов

Чувствительность микрофона — отношение напряжения на выходе микрофона к воздействию на него звуковому давлению, выраженное в мВ/Па.

Уровень собственных шумов микрофона — выраженное в децибелах отношение эффективного значения напряжения, обусловленного флуктуациями давления в окружающей среде и тепловыми шумами различных сопротивлений в

электрической части микрофона, к напряжению, развиваемому микрофоном на нагрузке при воздействии на микрофон полного сигнала с эффективным давлением 1 Па.

Стандартный уровень чувствительности — выраженное в децибелах отношение номинального напряжения, развиваемого на номинальном сопротивлении нагрузки при звуковом давлении 1 Па, к напряжению, соответствующему мощности 1 мВт.

Динамический диапазон микрофона — разность между уровнями предельного звукового давления и собственных шумов.

Номинальный диапазон рабочих частот — диапазон частот, в котором микрофон воспринимает акустические колебания и в котором нормируются его параметры.

Номинальное электрическое сопротивление — заданное в нормативно-технической документации активное сопротивление, которым замещается сопротивление микрофона при определении подводимой к нему электрической мощности.

Неравномерность частотной характеристики — разность между максимальным и минимальным уровнем чувствительности микрофона в номинальном диапазоне частот.

Частотная характеристика — это зависимость осевой чувствительности или ее уровня от частоты.

Характеристика направленности — зависимость чувствительности микрофона в свободном поле на определенной частоте от угла между осью микрофона и направлением на источник звука.

Диаграмма направленности — графическое изображение характеристики направленности в полярных координатах.

Типовые диаграммы направленности микрофонов показаны на рис. 2.2.

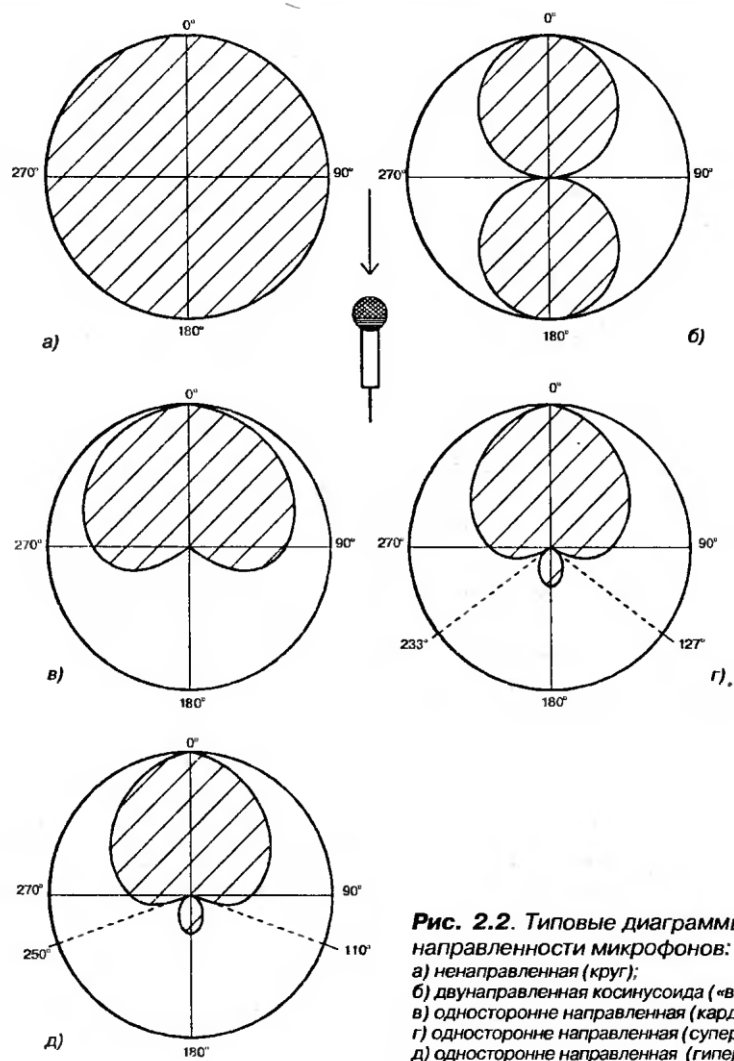


Рис. 2.2. Типовые диаграммы направленности микрофонов:
 а) ненаправленная (круг);
 б) двунаправленная косинусоида («восьмерка»);
 в) односторонне направленная (кардиоида);
 г) односторонне направленная (суперкардиоида);
 д) односторонне направленная (гиперкардиоида)

Правильный подбор и расстановка микрофонов в студии при осуществлении записи музыкальной программы является одним из решающих факторов получения безупречной фонограммы.

Преобразование электрического сигнала в акустические колебания

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Согласно принятому определению, под громкоговорителями понимаются пассивные электроакустические преобразователи, предназначенные для излучения звука в окружающее пространство. По способам излучения громкоговорители подразделяются на диффузорные — непосредственного излучения колеблющейся диафрагмой с гибкой подвеской и на рупорные — излучения с помощью жесткого рупора. Конструктивно каждый из громкоговорителей представляет собой совокупность двух независимых узлов — динамической головки и акустического оформления, согласованных по акустическим свойствам. Головка громкоговорителя — это собственно преобразователь сигналов звуковой частоты из электрической формы в акустическую — содержит все необходимые для этого конструктивные элементы, определяемые способом электроакустического преобразования. Акустическое оформление является элементом громкоговорителя, не участвующим в процессе указанного преобразования; оно лишь обеспечивает эффективное излучение звука в пространстве с помощью различного вида акустических экранов, ящиков, рупоров в разных вариантах построения.

Устройство громкоговорителей существенно зависит от вида главного элемента — головки, содержащей тот или иной электроакустический преобразователь. В настоящее время в качестве основы для построения громкоговорителей используют преимущественно электродинамические преобразователи (динамики). Соответственно и громкоговорители, укомплектованные головками с электродинамическими преобразователями, называются электродинамическими (сокращенно динамическими).

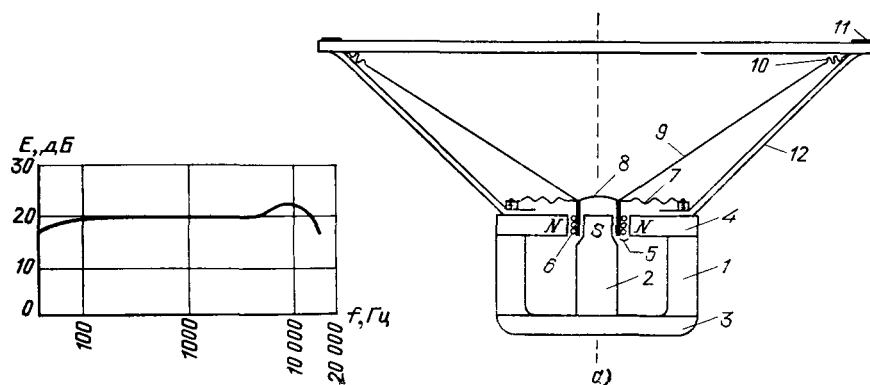


Рис. 4. Электродинамическая головка диффузорного громкоговорителя

Электродинамическая головка диффузорного громкоговорителя (рис. 4) состоит из магнитной системы в виде кольцеобразного постоянного магнита 1, обладающего большой коэрцитивной силой, круглого стального керна 2, проточенного в верхней части, нижнего 3 и верхнего 4 стальных фланцев. Верхний фланец имеет в центре отверстие, несколько большее диаметра керна, так что между фланцем и керном в верхней части образован воздушный зазор 5. В нем сконцентрировано радиальное постоянное магнитное поле. В зазоре располагается цилиндрическая катушка индуктивности 6 с небольшим числом витков, намотанная на каркасе, который скреплен с центрирующей гибкой шайбой 7 пылезащитным колпачком 8 и диффузором 9. Диффузор изготавливается из бумажной массы, обеспечивающей ему достаточную жесткость при малой массе. Обычно ему придают форму усеченного конуса, иногда с изогнутым (выпуклым) профилем. Диффузор по окружности крепится через гибкий «воротник» 10 к кольцу держателя 12. Подвижная система таким образом имеет лишь одну степень свободы движения — вдоль рабочей оси. От начала и конца катушки делаются гибкие выводы, соединяемые с выходом усилителя электрического сигнала.

Диффузор в таком громкоговорителе является одновременно и элементом колебательной механической системы, и излучателем звуковых колебаний в пространство. Колебания диффузора передаются частицам среды, прилегающим к поверхности диффузора, те в свою очередь воздействуют на смежные с ними частицы, и так в виде сжатий и разрежений образующиеся акустические волны

распространяются от излучаемых участков поверхности преимущественно в нормальных к ним направлениях (частично воздействуя и на боковые частицы среды). Энергия колебательного процесса подвижной системы расходуется частично на преодоление механического сопротивления — трения воздуха в магнитном зазоре, ведущего к нагреву катушки, а частично на преодоление сопротивления колебаниям со стороны среды.

Входное сопротивление колебательной системы головки громкоговорителя можно представить в виде собственно электрического сопротивления катушки и сопротивления, вносимого элементами механической колебательной цепи, в данном случае включенными последовательно.

Свойства громкоговорителей принято оценивать многими параметрами и характеристиками. Из многочисленного перечня выделим лишь основные.

Характеристика направленности — зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем (и головкой) на частоте или в полосе в точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра, от угла между рабочей осью громкоговорителя (головки) и направлением на указанную точку.

Частотная характеристика звукового давления (или просто частотная характеристика) — зависимость от частоты звукового давления, развиваемого громкоговорителем в точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра излучателя, при постоянной мощности электрического сигнала на зажимах громкоговорителя.

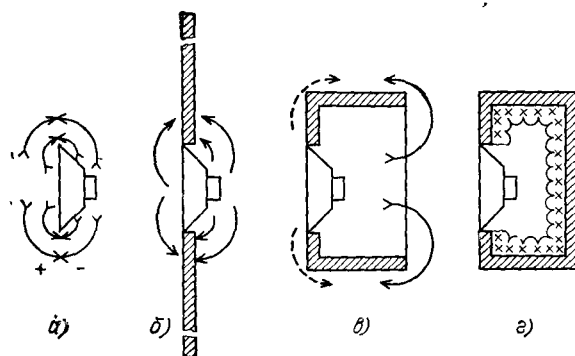
Номинальная мощность — максимальная мощность электрического сигнала, подводимого к громкоговорителю, ограничиваемая нелинейными искажениями, устанавливаемыми для данного громкоговорителя, при которой обеспечиваются его механическая и тепловая прочность.

Акустическая мощность — усредненная (во времени) мощность излучаемого громкоговорителем сигнала на частоте (или в полосе частот).

Главным недостатком диффузорных громкоговорителей является низкий коэффициент полезного действия — около 3...5%. Это объясняется недостаточной

согласованностью между собой механического сопротивления подвижной системы и акустической нагрузки среды, а также недостаточно высокой эффективностью электродинамического преобразования.

Варианты акустического оформления головки громкоговорителя рассмотрены ниже:



a – в открытом пространстве

б - в отверстии плоского бесконечного акустического экрана

в - в корпусе с открытой задней стороной

г - в корпусе с закрытой задней стороной

Рис. 5 Варианты акустического оформления головки громкоговорителя

Громкоговоритель одностороннего действия (головка с экраном и головка в закрытом ящике) на низких частотах будет обладать ненаправленной характеристикой. Волны, излучаемые вдоль оси громкоговорителя, складываются в одинаковой фазе и взаимно усиливаются. Волны, излучаемые под некоторыми углами θ к рабочей оси, складываются с учетом различных фаз, так как они излучаются с разных участков поверхности диффузора и проходят пути, отличающиеся на разность хода крайних точек. Однако в области низких частот разность фаз получается очень малой и ею можно пренебречь. Для снижения интерференционных явлений и повышения эффективности использования энергии, излучаемой обратной стороной диффузора, особенно в области нижних частот, иногда используют акустическое оформление в виде фазоинвертора — закрытого ящика с дополнительным отверстием на лицевой панели; к нему примыкает выходная часть акустического лабиринта, например, трубы, как на рис. 6.

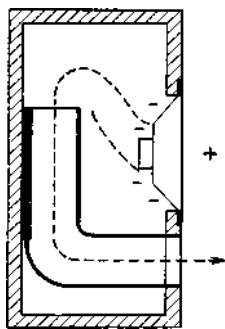


Рис. 6 Схема акустического фазоинвертора

Энергия звуковых колебаний, концентрирующаяся во внутреннем объеме ящика, через акустический лабиринт передается в сторону прямого излучения, и при надлежащей его длине фаза звуковых колебаний изменяется на обратную. Таким образом достигается возможность синфазного сложения прямого и обратного излучений между собой.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Акустические системы (АС) представляют собой совокупность специально подобранных по частотным и другим свойствам электродинамических головок громкоговорителей диффузорного типа, заключенных в общий корпус с определенными акустическими параметрами. Каждая из головок охватывает определенную зону звукового диапазона; напряжение питания подается на головки (или их группы) через разделительные электрические фильтры, установленные в корпусе АС.

Чаще всего весь диапазон подразделяется на низко-, средне- и высокочастотный поддиапазоны. Соответственно для воспроизведения сигналов подбираются низко-, средне- и высокочастотная головки. Низкочастотная головка по сравнению с другими должна быть более мощной, поскольку чувствительность слухового аппарата в этой области понижена.

При комплектации акустических систем узкодиапазонными специализированными головками требуется согласование между полосой частот, которую они охватывают, и полосой частот электрических сигналов, которые следует подавать на каждую головку системы. В противном случае, если на вход каждой головки будет поступать более широкополосный сигнал, возможно появление существенных искажений. Для такого согласования применяют электрические пассивные фильтры, располагаемые обычно в одном корпусе с головками. Здесь же размещают регуляторы тембральной окраски звучания.

Для обеспечения малых нелинейных искажений номинальную мощность всех громкоговорителей выбирают с большим запасом, чтобы в реальной обстановке средняя мощность излучения была меньше указанной, а ее запас использовался при всплесках сигналов на уровне их максимальных значений.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АС

Полоса воспроизводимых частот (*FrequencyResponse*) — это амплитудно-частотная зависимость звукового давления, или зависимость звукового давления (силы звука) от частоты переменного напряжения, подводимого к катушке

динамика. Полоса частот, воспринимаемых ухом человека, находится в диапазоне от 20 до 20 000 Гц. Колонки, как правило, имеют диапазон, ограниченный в области низких частот 40 — 60 Гц. Решить проблему воспроизведения низких частот позволяет использование сабвуфера.

Чувствительность звуковой колонки (*Sensitivity*) характеризуется звуковым давлением, которое она создает на расстоянии 1 м при подаче на ее вход электрического сигнала мощностью 1 Вт. В соответствии с требованиями стандартов чувствительность определяется как среднее звуковое давление в определенной полосе частот.

Чем выше значение этой характеристики, тем лучше АС передает динамический диапазон музыкальной программы. Разница между самыми «тихими» и самыми «громкими» звуками современных фонограмм 90 — 95 дБ и более. АС с высокой чувствительностью достаточно хорошо воспроизводят как тихие, так и громкие звуки.

Коэффициент гармоник (*Total Harmonic Distortion — THD*) оценивает нелинейные искажения, связанные с появлением в выходном сигнале новых спектральных составляющих. Коэффициент гармоник нормируется в нескольких диапазонах частот. Например, для высококачественных АС класса Hi-Fi этот коэффициент не должен превышать: 1,5% в диапазоне частот 250-1000 Гц; 1,5 % в диапазоне частот 1000-2000 Гц и 1,0 % в диапазоне частот 2000 — 6300 Гц. Чем меньше значение коэффициента гармоник, тем качественнее АС.

Электрическая мощность (*Power Handling*), которую выдерживает АС, является одной из основных характеристик. Однако нет прямой взаимосвязи между мощностью и качеством воспроизведения звука. Максимальное звуковое давление зависит скорее, от чувствительности, а мощность АС в основном определяет ее надежность.

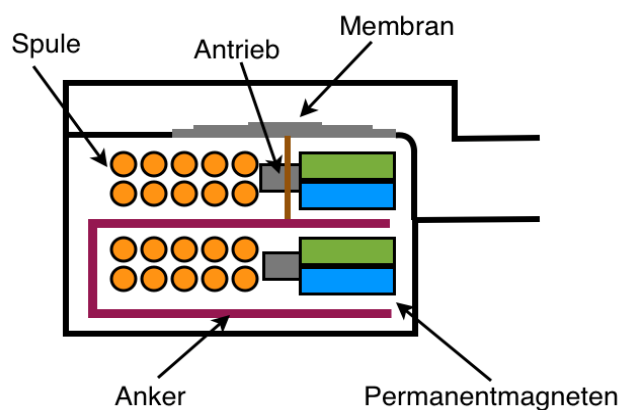
Наушники (*тех. головные телефоны*) — устройство для персонального прослушивания звука. Наушники представляют собой пару небольших по размеру звукоизлучателей, надеваемых на голову или вставляемых прямо в ушные каналы. Наушники часто применяются в быту и в профессиональной деятельности для прослушивания музыки и речи, когда необходима мобильность или звукоизоляция от окружающего пространства. Наушники с прикрепленным к ним микрофоном образуют *головную гарнитуру*. Иногда в профессиональной деятельности вместо пары используется один отдельный наушник, он называется *монитор*. В технической литературе вместо слова «наушники» традиционно используется термин «головные телефоны». Термин возник, скорее всего, в результате буквального прочтения английского слова *headphones* (англ. *head* — голова, *phone* — телефон).

КЛАССИФИКАЦИЯ НАУШНИКОВ

По конструкции излучателя

- *динамические* — используют электродинамический принцип преобразования. Представляет собой миниатюрный электродинамический диффузорный громкоговоритель, заключенный в закрытый (иногда с отверстиями) корпус, прилегающий через гибкую прокладку к уху. В такой конструкции хорошо выявляются положительные свойства, присущие диффузорным электродинамическим головкам. Диапазон частот, охватываемый типовыми головными телефонами, достигает 20 ... 20 000 Гц при малых отклонениях от горизонтальной линии частотной характеристики. При небольшой мощности головные телефоны обеспечивают достаточное звуковое давление для создания у слушателя ощущения высокой громкости и очень широкого динамического диапазона без нелинейных искажений. Самый распространенный тип наушников.
- *электромагнитные с уравновешенным якорем* — представляет собой миниатюрный электромагнитный громкоговоритель в котором звуковые колебания создаются за счёт движения мембраны из магнитного материала

либо металлического якоря в поле неподвижного электромагнита. Основной деталью является П-образный якорь из ферромагнитного сплава. В разговорной речи такие наушники часто называют «арматурными» из-за созвучия английского слова *armature* (здесь «якорь»);



По типу конструкции (виду)

- *внутриканальные* (обиходное название — «затычки», «капельки», «вакуумки», «бочки», «беруши») — вставляются в ушной канал; по типу преобразования это, как правило, электромагнитные с уравновешенным якорем
- *вставные* (обиходное название — «вкладыши», «пуговки») — вставляются в ушную раковину;
- *накладные* — накладываются на голову, полностью закрывая ухо; по типу преобразования это, как правило, *динамические*.

Таковые, в свою очередь, делятся на наушники:

- *открытого типа* — наушники пропускают внешние звуки через специальные широкие отверстия. Многие слушатели отмечают звук открытых наушников как более естественный, с широкой звуковой сценой, и менее утомительный по сравнению со звуком закрытых наушников. Однако, в сравнении с наушниками закрытого типа, открытые наушники не обеспечивают хорошей звукоизоляции и, как правило, слабее воспроизводят низкие частоты;

- *закрытого типа* — чаши наушников не имеют внешних отверстий. За счёт этого наушники не пропускают внешние шумы и обеспечивают максимальную

звукоизоляции, что позволяет использовать их в шумных условиях, а также в тех случаях, когда необходимо полностью сосредоточиться на прослушивании или прослушать конфиденциальную информацию. При высоком качестве звука, основные недостатки закрытых наушников заключаются в высокой утомляемости слуха и дискомфорте для головы в силу отсутствия циркуляции воздуха из-за плотного прилегания амбушюров (при плохом же прилегании амбушюров ухудшается воспроизведение низких частот) и, как правило, большего давления на голову, чем у открытых наушников;

- *полуоткрытого типа* (или полужакрытого типа) — открытые наушники, но лишь с небольшими по размеру внешними отверстиями, призванные объединить в себе достоинства наушников закрытого и открытого типа.

По сопротивлению

низкоомные — с сопротивлением примерно до 100 Ом. Для портативной техники рекомендуются наушники с сопротивлением от 16 до 32 Ом, максимум до 50 Ом, поскольку при большем сопротивлении портативные устройства не смогут обеспечить достаточную громкость звука без специального дополнительного усилителя;

высокоомные — с сопротивлением примерно более 100 Ом. Такие наушники как правило требуют отдельного специального усилителя.

Технические характеристики

Частотная характеристика – Типичная полоса рабочих частот наушников 18 Гц — 20 кГц. Отдельные профессиональные наушники имеют частотный интервал от 5 Гц до 60 кГц. Наиболее широкий заявленный частотный диапазон у некоторых моделей достигает 3 Гц — 120 кГц. Для студийной работы используют наушники с максимально линейной АЧХ (следовательно, с более точной передачей звука). Характеристика связана и с диаметром мембраны: наушники с бóльшим диаметром мембраны при прочих равных условиях имеют повышенное качество звучания.

Чувствительность (КПД) - на чувствительность влияет материал магнитного сердечника, применяемого в наушниках (например, наилучшие показатели у

неодимовых сердечников). У наушников-вкладышей с малым диаметром мембраны магниты маломощные.

Импеданс (электрическое сопротивление) - Большинство наушников имеют импеданс около 30 Ом. Более высокоомные наушники требуют источника звукового сигнала с более высоким выходным напряжением, и поэтому могут не развивать максимальную мощность при работе с портативными устройствами с низковольтным питанием (плееры, сотовые телефоны).

Максимальная мощность - Максимальная (паспортная) входная мощность обуславливает громкость звучания.

Уровень нелинейных искажений - В полосе частот от 100 Гц до 2 кГц приемлемый уровень искажений — менее 1%, тогда как для частот ниже 100 Гц допустимо 10%.