

СОВРЕМЕННЫЕ МИКРОФОНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Ш. ВАХИТОВ, г. Санкт-Петербург

Какие основные характеристики и параметры микрофонов служат критериями при их выборе и почему?

При выборе микрофонов для тех или иных условий работы необходимо учитывать всю совокупность технических и эксплуатационных требований, исходя из конкретных особенностей их использования. В связи с этим необходимо четко понимать, что же определяют технические характеристики микрофонов.

Основными техническими характеристиками, которые необходимо учитывать при выборе микрофонов, являются следующие:

1. Номинальный диапазон частот, который в совокупности с неравномерностью частотной характеристики чувствительности, измеряемой в дБ, служит критерием правильной передачи спектра полезного сигнала.

2. Чувствительность по свободному полю, которая нормируется обычно на частоте 1000 Гц и измеряется в мВ/Па, а также связанный с этой величиной параметр — уровень эквивалентного звукового давления (для КМ), обусловленный собственным шумом микрофона и нормируемый в дБ относительно нулевого уровня: $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па.

Так как в любой системе преобразования и усиления сигнала всегда присутствуют собственные шумы, а микрофон является начальным звеном такой системы, то величина создаваемого им полезного сигнала определяет соотношение «сигнал/собственный шум» всей системы. Поэтому снижение чувствительности микрофона является нежелательным фактором. Следует также иметь в виду, что стремление к увеличению ширины воспроизводимого микрофоном диапазона частот приводит к уменьшению абсолютной величины его чувствительности. С другой стороны, чем шире диапазон частот микрофона, тем труднее получить в его пределах стабильную ХН.

3. Характеристика направленности определяет пространственную избирательность, т. е. ширину телесного угла, в котором полезный акустический сигнал не имеет существенной амплитудной неравномерности. ХН при фиксированном расстоянии от источника полезного сигнала определяет соотношение «полезный сигнал/ акустический шум» на относительно близком расстоянии от источника полезного сигнала, т. е. в пределах радиуса гулкости.

Тесно связано с ХН понятие коэффи-

циента направленности Ω , определяющего направленные свойства микрофона в дальнем (относительно источника) поле. Его чувствительность к расположенному по оси микрофона полезному источнику звука в $\sqrt{\Omega}$ раз выше, чем к источникам помех, распределенным вокруг микрофона (к диффузному полю), или, другими словами, при одном и том же отношении сигнал/помеха на входе микрофона направленный микрофон может находиться в $\sqrt{\Omega}$ раз дальше от полезного источника, чем ненаправленный. В некотором приближении можно считать, что ненаправленный микрофон малых (по сравнению с длиной звуковой волны) попе-



речных размеров достаточно точно воспринимает полезный сигнал в телесном угле $150...180^\circ$. При более значительных размерах ненаправленного микрофона его ХН сильно зависит от частоты, заметно сужаясь на высоких частотах, поэтому угол охвата в этом случае нельзя считать большим 90° . Для кардиоидного микрофона с постоянной по частоте ХН угол охвата равен 120° , для суперкардиоидного — 90° , гиперкардиоидного — 60° , двусторонне направленного (с ХН «восьмерка») угол охвата равен 60° с каждой его стороны. Также полезно (например, для расчета систем звукоусиления) знать, что коэффициент направленности (микрофона с ХН «круг» и «восьмерка» равен 1, с ХН «гиперкардиоид» — 4, «суперкардиоид» — 3,7, «кардиоид» — 3, а у остронаправленных микрофонов в среднем по диапазону он может достигать 5—7.

4. Уровень предельного звукового давления, выражаемый в дБ относительно $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па, — это уровень, при котором коэффициент гармонических искажений не превышает 0,5 % или другого значения, установленного в технической документации. Этот параметр показывает пределы линейности амплитудной характеристики микрофона и вместе с уровнем собственного шума определяет динамический диапазон микрофона, а значит, и тракта в целом.

5. Модуль полного электрического сопротивления (импеданс), в Ом, обычно нормируемый на частоте 1000 Гц, определяет величину нагрузки (входного сопротивления усилителя или пульта), на которую работает микрофон. Как правило, для того, чтобы не было потери полезного сигнала, величина нагрузки должна превышать импеданс микрофона в 5–10 раз во всем диапазоне частот.

6. Габаритные размеры, масса, тип разъема, другие конструктивные особенности позволяют судить о возможности применения микрофона в тех или иных условиях.

Вся совокупность требований, предъявляемых к конкретному микрофону, определяется его назначением.

На какие группы по назначению разделяют микрофоны?

По назначению микрофоны подразделяются на три большие группы:

- для бытовой аппаратуры магнитной записи;
- для профессиональных целей;
- специального назначения.

Профессиональные микрофоны также существенно различаются по назначению:

- для звукозаписи и звукопередачи музыки и художественной речи в студиях грамзаписи, теле-, кино- и радиостудиях;
- для систем звукоусиления музыки и речи;
- для акустических измерений;
- для диспетчерской связи.

Кроме того, микрофоны сильно отличаются по конструктивному решению в зависимости от условий их крепления и расположения относительно источника сигнала:

- на напольных стойках;
- на столе или трибуне;
- встроенные (например, в столы заседаний);
- для эстрадных солистов (ручные);
- петличные (для крепления на одежде);
- радиомикрофоны;
- для видео- и кинокамер;
- для использования на значительном расстоянии от объекта при репортажах и документальной съемке (остронаправленные);
- граничного слоя.

Дать какие-либо определенные рекомендации по выбору микрофонов без учета конкретных условий крайне затруднительно, так как микрофон определенного конструктивного решения и назначения (например, широкополосный конденсаторный микрофон для звукозаписи в студиях) может быть плохо совместим или даже совершенно неприемлем для других условий и назначения (например, в системах для проведения конференций или в качестве ручного для солистов). Возможно указать только общие правила, которыми следует руководствоваться при выборе микрофона для тех или иных целей.

Радиовещательные студии, а также студии звукозаписи (телевизионные,

кино-, грамзаписи) музыки и художественной речи должны быть укомплектованы широкополосными микрофонами с самыми высокими электроакустическими параметрами. Поэтому в студийных условиях, как правило, применяют конденсаторные микрофоны, обладающие широким частотным и динамическим диапазоном, часто с переключаемой ХН (двухмембранные, устройство которых рассмотрено выше). Кроме перечисленных достоинств, студийные КМ имеют в 5–10 раз большую чувствительность, чем динамические, и практически не имеют слышимых переходных искажений, так как резонанс подвижной системы КМ лежит вблизи верхней границы номинального диапазона частот и имеет очень малую добротность. Поэтому в студиях звукозаписи и в системах звукоусиления музыки в качестве универсальных инструментальных микрофонов все чаще применяют небольшие кардиоидные КМ, такие как КМ84, КМ184 (Neumann), С460В (AKG), из отечественных — МКЭ-13М (“Микрофон-М”). К недостаткам КМ относят необходимость в источнике постоянного напряжения, которым обычно служит сетевой блок питания, а также тот факт, что КМ плохо переносят влажность, а также резкую перемену температуры. Последнее связано с тем, что входное сопротивление встроенного усилителя КМ имеет величину 0,5...2 ГОм, поэтому в условиях повышенной влажности и выпадения росы при изменении температуры воздуха это сопротивление снижается, что приводит к “завалу” низких частот и увеличению шума. Поэтому КМ редко применяют на открытом воздухе и в переносных установках. В студийных условиях применение КМ не вызывает каких-либо затруднений.

Микрофоны с односторонней направленностью используют при широком угле расположения исполнителей и при записи несколькими микрофонами для четкого разделения отдельных групп музыкальных инструментов, а также в тех случаях, когда необходимо уменьшить влияние посторонних шумов или снизить в записываемом сигнале величину реверберационной составляющей.

Микрофон с двусторонней направленностью применяют при записи дуэта, диалога, певца и аккомпаниатора, при записи малых музыкальных составов (струнный квартет), а также, когда необходимо отстроиться от направленных источников шума или сильных отражений от потолка и пола. При этом микрофон ориентируют зоной минимальной чувствительности к источникам шума или отражающим поверхностям.

Микрофон с ХН “восьмерка” также применяют в случаях, когда хотят специально выделить низкие частоты голоса солиста или отдельного музыкального инструмента, располагая микрофон в этом случае в непосредственной близости от исполнителя. Здесь используется так называемый “эффект ближней зоны”, связанный с проявлением сферичности звуковой волны на близком расстоянии от источника звука, когда на первый и второй акустические входы микрофона действуют звуковые давления, разные не только по фазе, но и по амплитуде. Этот эффект наибольшим образом заметен у “восьмерочных” микрофонов и совсем отсутствует у ненаправленных.

Ненаправленные микрофоны используют для передачи общей акустической обстановки помещения при записи нескольких микрофонами, а также при записи речи, пения, музыки в сильно заглушенных помещениях, при записи различных встреч и бесед за “круглым столом”. В последнее время для подобных записей все чаще применяют микрофоны “граничного слоя”, у которых мембрана весьма малого размера расположена параллельно плоскости стола на очень небольшом расстоянии от его поверхности, а сам микрофон сконструирован по большой плоский предмет, который, будучи положен на стол или на пол, практически является продолжением его поверхности. Благодаря этому на мембрану такого микрофона не попадает отраженный от поверхности стола, а ХН такого микрофона определяется направлением и размерами поверхности, на которой лежит микрофон, и в звуковом диапазоне близка к полусфере. В качестве примера таких микрофонов “граничного слоя” можно привести С562ВL (AKG), а из отечественных моделей — МК403 (“Нева-тон”). Ненаправленные КМ также применяются в качестве петличных, встроенных в мебель или магнитофон, для акустических измерений.

Микрофоны в студиях, кроме оговоренных выше особых случаев, как правило, устанавливают на настольных стойках или стойках типа “журавль”. Так как микрофон во время записи не передвигают и не трогают, а стойки создают хорошую амортизацию от пола, то специальных требований к студийным микрофонам по восприимчивости к вибрации, как правило, не предъявляют. Многие принципы звукозаписи, требующие точной установки микрофона с учетом окружающей исполнителя обстановки, в телевидении определяются, главным образом, визуальными требованиями. Так, микрофон, попадающий в кадр, должен быть небольшого размера, с поверхностью, исключаящей блики, гарантированно точно передаваемого телевидением цвета. Вне кадра применяют микрофоны на передвижных стойках. Так как перемещение микрофона происходит часто во время передачи, то применяют специальные меры для его защиты от воздушных потоков, вибраций (внешние амортизаторы, ветрозащита). Относительно большие расстояния от источников звука и большой уровень шума требуют применения здесь направленных, а часто и остронаправленных микрофонов.

Для видеокамер применяют, как правило, легкие, относительно небольшие по размеру микрофоны с несколько обостренной по сравнению с кардиоидной ХН, конструктивно совместимые с камерой, часто с применением в конструкции микрофона специальных мер по уменьшению вибропомехи, возникающей при перемещении камеры во время видеосъемки. В качестве примера — микрофоны МКЭ-24 и МКЭ-25 (“Микрофон-М”).

Еще одна группа профессиональных микрофонов — для систем звукоусиления музыки и художественной речи в концертных залах и театрах и трансляции вещания из этих объектов.

Основной особенностью работы микрофонов в системах звукоусиления (СЗУ) является возможность их самовозбуждения в результате возникновения на опре-

деленных частотах паразитной акустической обратной связи, вследствие попадания звукового сигнала от громкоговорителя (прямого) или отраженного от стен потолка, других поверхностей на микрофоне. Это явление обычно ограничивает величину звукового давления при озвучивании залов. Повышение устойчивости СЗУ достигается как специальной электронной обработкой сигнала, так и несколькими простыми соображениями, изложенными ниже.

1. Максимальное приближение микрофона к источнику первичного сигнала (певцу, оратору, музыкальному инструменту), т.е. применение петличных (для речи) и ручных микрофонов. Отметим, что петличные микрофоны обычно ненаправленные, поэтому приближение их к оратору не влияет на их частотные характеристики. В ручных микрофонах, обычно односторонних, принимают специальные меры для “завала” низких частот с тем, чтобы компенсировать их подъем при работе с близким источником сигнала.

2. Максимально возможное удаление оратора и микрофона от громкоговорителей и отражающих поверхностей (микрофон на стойках на уровне рта исполнителя или музыкального инструмента).

3. Правильный выбор ХН микрофона и ориентации его рабочей оси относительно как источника помех (отражений), так и относительно рабочей оси ближайших громкоговорителей и колонок. Отметим здесь, что по результатам наших исследований наиболее универсальным, с точки зрения устойчивости СЗУ, является микрофон с суперкардиоидной ХН, особенно это существенно в диапазоне от 200 до 3000 Гц.

В СЗУ и при телевизионной трансляции следует отдавать предпочтение микрофонам возможно меньших размеров с тем, чтобы они не мешали зрителям наблюдать за происходящим на сцене или эстраде. Из этих же соображений не должны применяться микрофоны с блестящей и яркой окраской. В условиях театра микрофоны часто размещают вдоль рампы, где они подвергаются воздействию сильных электромагнитных полей, создаваемых осветительными установками. Здесь следует применять микрофоны с надежной экранировкой, с симметричным выходом, а в динамических — обязательно наличие антифонной катушки.

В концертном зале, на эстраде, трибуне возникает опасность больших помех из-за толчков и вибраций, и поэтому большинство стоек имеют вибропоглотитель, обычно на основании, а врезанные в трибуны стойки часто включают в себя амортизирующее устройство. Однако они не полностью исключают передачу вибраций от сотрясения стола, пола или трибуны. Кроме того, всегда имеется вероятность, что оратор дотронется до стойки, не говоря уже о микрофонах для солистов, которые преимущественно эксплуатируются в руках. В этих микрофонах предусматривают специальные меры для виброзащиты: капсулю амортизируют или развязывается относительно корпуса микрофона, применяются электрические фильтры, срезающие низкие частоты. Десятки моделей таких микрофонов выпускают многие европейские фирмы (AKG, Sennheiser, Beyerdynamic),

американские (Electro-Voice, Shure), из отечественных — “Байтон-2”.

Следует отметить, что динамические микрофоны принципиально более чувствительны к вибрациям, чем конденсаторные, а направленные микрофоны больше, чем приемники давления.

В системах звукоусиления речи (конференцзалах, залах заседаний, драматических театров и т. д.) основным критерием служит разборчивость речи, а не правильная передача тембра, поэтому частотный диапазон микрофонов лучше ограничить диапазоном 100...10 000 Гц с “завалом” низких частот, начиная с 300...400 Гц до 10...12 дБ на 100 Гц. В качестве примера таких микрофонов можно привести модели D541, D558B, D590, C580 (AKG), из отечественных — МД-91, МД-96, МД-97 (“Микрофон-М”). Дальнейшее сужение частотного диапазона микрофона возможно до 500...5000 Гц почти без потери разборчивости, но это приводит к заметному искажению тембра голоса оратора, что также нежелательно в высококачественных СЗУ речи. Поэтому микрофоны с диапазоном частот 500...5000 Гц, и даже уже, применяются только в устройствах связи, где передача тембра голоса не имеет существенного значения, а надо правильно передать смысл действий, команды и т. п.

Сужение частотного диапазона в микрофонах для СЗУ речи до 100...10 000 Гц является определенным компромиссом между разборчивостью и передачей тембра речи и целесообразно еще и потому, что спектр аэродинамического (ветрового, от дыхания оратора), вибрационного (трение и удары корпуса) шума, а также реверберационной помехи из плохо заглушенных помещениях, которыми являются большинство залов заседаний и конфе-

ренций, имеет явно выраженный низкочастотный характер. Поэтому с точки зрения соотношения “полезный сигнал/шум” нецелесообразно иметь микрофоны с широким диапазоном низких частот. Тем более, что в СЗУ используются однонаправленные микрофоны, при помещении которых вблизи оратора происходит подъем низких частот, что компенсирует их спад в ЧХ микрофона, снятой по свободному полю на стандартном расстоянии 1 м. При отсутствии такого спада происходит подчеркивание низких частот, что вызывает эффект “бубнения”, “бочкообразного” звучания микрофона, снижается разборчивость речи. Для улучшения разборчивости речи и прозрачности звучания вокала микрофоны для СЗУ обычно имеют плавный подъем ЧХ на частотах 3...7 кГц до 3...5 дБ.

К отдельной группе микрофонов можно отнести нагрудные, или как их еще называют петличные, микрофоны, применяемые как на телевидении, так и в СЗУ. Петличный микрофон — обычно приемник давления, легкий и малых размеров, со специальным креплением к одежде; это, например, микрофоны СК97-О (AKG), МКЕ10 (Sennheiser), КМКЭ400 (“Неватон”). Применение таких микрофонов имеет как преимущества, так и недостатки. Очевидными преимуществами являются свобода рук оратора и близость микрофона к источнику полезного сигнала.

Перечислим несколько недостатков. Это — соприкосновение микрофона с грудной клеткой, что влияет на окраску звучания на низких частотах; это зависит от вида одежды и особенностей оратора. Кроме того, часто негде закрепить на ораторе блок питания. Часто микрофон экранируется подбородком, и звук теряет эф-

фек присутствия, иногда подчеркиваются носовые тона, что приводит к гнусавости звучания и ухудшению разборчивости. Микрофонный кабель, касаясь одежды, вызывает шуми шороха. Кроме того, в применении таких микрофонов есть сложности психологического порядка.

Микрофоны для работы на открытом воздухе должны быть пригодны для использования в любую погоду: при дожде, снеге, ветре и т. п., поэтому для этих целей обычно применяют динамические микрофоны, имеющие по сравнению с конденсаторными и электретными существенно большую устойчивость к воздействию температуры и влаги, не требующие постоянного питания, более надежные. Для снижения ветрового шума такие микрофоны имеют, как правило, обтекаемую форму, внешний ветрозащитный колпачок, так как встроенной ветрозащиты, обычно применяемой в ручных микрофонах и для СЗУ речи, для работы на открытом воздухе в условиях ветра бывает недостаточно. При репортажах с улицы в качестве ручных микрофонов целесообразнее использовать ненаправленные микрофоны, так как они принципиально менее восприимчивы к ветру, вибрациям, случайным ударам. При этом, конечно, в конструкции таких микрофонов не должны быть исключены специальные меры по уменьшению влияния вибраций и ветра. В качестве примера репортажных микрофонов — F-115 (Sony), а из отечественных — МД-83 (“Микрофон-М”). В СЗУ на открытом воздухе по тем же причинам, что и в помещениях, надо применять направленные микрофоны, при этом все же следует стараться избежать возможности попадания осадков на микрофон (установка навесов, будок и т. п.).

ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ С РАЗДЕЛЕННОЙ КОРРЕКЦИЕЙ АЧХ

Достоинства и недостатки пассивной коррекции АЧХ в предусилителях для электромагнитных звукоснимателей (типа ММ с подвижным магнитом) уже рассматривались в некоторых публикациях журнала “Радио”. Так, в [1] была предложена оригинальная схема с разделенной частотной коррекцией на высоких и низких частотах. В [2] приводился вариант предусилителя-корректора с пассивной, точнее с разделенной, коррекцией АЧХ. Однако на входе устройства присутствуют разделительные конденсаторы, несколько ухудшающие не-

которые параметры в области НЧ [3]. Если же, не меняя схемотехнических решений этих корректоров, попробовать применить во входном каскаде устройства микросхему, способную работать с МГ звукоснимателя без разделительных конденсаторов на входе, то можно добиться некоторого улучшения параметров.

В соответствии с рекомендациями по применению ИМС КМ551УД2 для трактов ЗЧ [4] мной был спроектирован предусилитель-корректор без разделительных конденсаторов на входе и с пассивной коррекцией; схема одного из двух каналов показана на рисунке (в скобках указаны соответствующие выводы микросхем для другого канала).

Первый каскад устройства выполнен на ИМС КМ551УД2 (DA1) со стандартной коррекцией для коэффициента усиления:

$K_U = 10$. Постоянные времени цепи ОС первого каскада корректора следующие: $\tau_1 = R4C2 = 3180$ мкс и $\tau_2 = R2C2 = 318$ мкс. Второй каскад собран на ОУ КР574УД2А (DA2). Выход первого каскада нагружен на пассивные RC-цепи: постоянные времени $R7C5 = 7950$ мкс и $R6C6 = 75$ мкс обеспечивают спад соответственно НЧ и ВЧ.

Используемые в [2] буферные каскады на транзисторах на предлагаемой схеме не показаны, хотя применение их возможно: сведения о перегрузочной способности ИМС КМ551УД2 приведены в [4].

Допустимые отклонения сопротивления частотозадающих конденсаторов и резисторов — не более 5 %.

М. НАУМОВ

г. Москва

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянов С. О перегрузочной способности корректирующего усилителя. — Радио, 1985, № 4, с. 33—35.
2. Тарасов В. Предусилитель с пассивной коррекцией. — Радио, 1988, № 11, с. 32—34.
3. Сухов Н. Усилитель воспроизведения. — Радио, 1987, № 6, с. 30—32; № 7, с. 49—51.
4. Шадров А. КМ551УД2 в трактах ЗЧ. — Радио, 1984, № 4, с. 48—50.

