

Измерение электроакустических характеристик громкоговорителей

К. ФИЛАТОВ, г. Таганрог

Автором предложена методика измерений основных электроакустических характеристик громкоговорителя, применимая в радиолюбительской практике, на основе программных средств персонального компьютера и конденсаторного микрофона с усилителями.

Громкоговорителем называют электроакустический преобразователь в конструктивном оформлении для эффективного излучения звука в воздушной среде. В нем могут быть размещены электрические фильтры, трансформаторы и др. [1]. Наибольшее распространение получили электродинамические и электростатические преобразователи. Многополосные или размещаемые в нескольких корпусах громкоговорители нередко называют акустической системой (АС).

Громкоговорители имеют ряд электроакустических и технических характеристик: эффективный рабочий диапазон частот, неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), уровень характеристической чувствительности, номинальное среднее звуковое давление, номинальное электрическое сопротивление, частота основного резонанса, полный коэффициент гармонических искажений. Использо-

отражений можно попытаться получить на открытом воздухе, например, на крыше здания, положив громкоговоритель излучающей стороной вверх, или выставив его в открытое окно, как это часто делают любители громкой музыки (метод открытого полупространства).

Специализированная аппаратура для акустических измерений практически недоступна для радиолюбителей из-за высокой стоимости. В настоящее время широкое распространение получили персональные компьютеры (ПК), поэтому целесообразно использовать в качестве источника и регистратора сигналов ПК, создав на его основе виртуальный прибор (ВП) для акустических измерений.

Измерительный микрофон используют, как правило, конденсаторный ненаправленный. Помимо капсулы (преобразователя звукового давления в напряжение) в измерительный комплект входят источник поляризующего напря-

пределенными результаты измерений ЧХЧ отдельных экземпляров микрофонов серийного производства незначительно отличаются от типовой ЧХЧ приводимой в справочниках, — не более чем на $\pm 2...3$ дБ. В таблице представлены типы микрофонов, выпускаемых отечественной промышленностью за последние 40 лет и обладающих широким номинальным диапазоном частот и малой неравномерностью ЧХЧ.

В брошюре [5] приведены экспериментально измеренные и усредненные по нескольким экземплярам микрофонов ЧХЧ 105 моделей популярных микрофонов, производимых известными фирмами. Особо следует отметить конденсаторные микрофоны отечественного производства, выпускаемые в настоящее время ОАО "Октава": МК-01, МК-219 и МК-319. Из них в качестве измерительного можно рекомендовать микрофон МК-012 со сменными капсулами, имеющий бестрансформаторный выход. С капсулем, обеспечивающим круговую характеристику направленности, этот микрофон обладает малой неравномерностью ЧХЧ в диапазоне 20...20000 Гц и низким уровнем собственного шума.

По самому принципу действия электростатические (конденсаторные) микрофоны — приемники давления обладают весьма равномерной ЧХЧ от единиц герц до 5...20 кГц. Нижняя граница этого диапазона определяется входным сопротивлением микрофонного усилителя (0,5...5 ГОм) и емкостью капсулы (6...60 пФ) а верхняя — конструктивными особенностями капсулы. Так, широко распространенный миниатюрный конденсаторный электростатический микрофон МКЭ-3 (рис. 1) имеет неравно-

Тип микрофона	МД-38	МД-59	МК-5А	МКЭ-3	МКЭ-5Б	МКЭ-19	МК-120	КМК-51
Номинальный диапазон частот, Гц	50...15000	50...15000	20...20000	50...15000	40...16000	40...15000	40...16000	20...20000
Неравномерность ЧХЧ, дБ	8	8	4	10	12	12	6	10
Чувствительность на 1 кГц, мВ/Па	0,63	0,63	1,1	4	2,5	1,5...3	10	10

ется также несколько определений мощности громкоговорителя: характеристическая, предельная максимальная шумовая (паспортная), предельная максимальная синусоидальная, предельная максимальная долговременная и предельная максимальная кратковременная [2, 3].

В статье предложена методика измерений основных электроакустических характеристик и параметров громкоговорителей, применимая в радиолюбительской практике. Для этого разработан виртуальный прибор на базе персонального компьютера, а также технические и программные средства проведения измерений параметров акустических систем и громкоговорителей высокой верности воспроизведения (категории Hi-Fi).

Для проведения акустических измерений необходимо иметь заглушенное (безэховое) помещение, источник и регистратор тестовых сигналов, аттестованный измерительный микрофон [3]. Наиболее сложно выполнить первое условие.

В промышленности и в исследовательских учреждениях для получения условий свободного поля используют специальные заглушенные звукомерные камеры. В бытовых условиях отсутствие

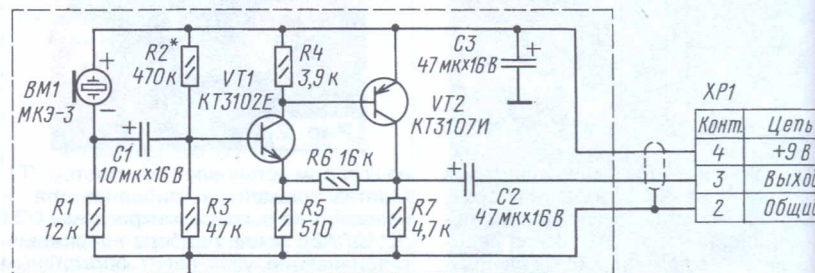


Рис. 1

жения и предусилитель. Аттестованный микрофон — дорогостоящий прибор, как и многие измерительные приборы. В радиолюбительской практике для этих целей можно использовать ненаправленные широкополосные микрофоны (приемники давления) с известными чувствительностью и частотной характеристикой чувствительности (ЧХЧ). У направленных микрофонов (приемников градиента давления — двунаправленных и кардиоидных — однонаправленных) проявляется "эффект близости", выраженный в подъеме ЧХЧ в области низких частот (ниже 500...1000 Гц) по мере приближения к источнику звука [4], что делает нео-

направленный) имеет неравномерность ЧХЧ не более 10 дБ в номинальном диапазоне частот 50...15000 Гц и чувствительность 4...20 мВ/Па и уровень эквивалентного звукового давления шума 35 дБА [1]. Его недостатком является чувствительность (у профессиональных измерительных конденсаторных односторонних микрофонов чувствительность составляет 50 мВ/Па) и относительно высокое полное электрическое сопротивление (4 КОм) легко корректируются дополнением несложного микрофонного усилителя. Если откалибровать такой микрофон совместно с усилителем, то его вполне можно использовать как средство измерений.

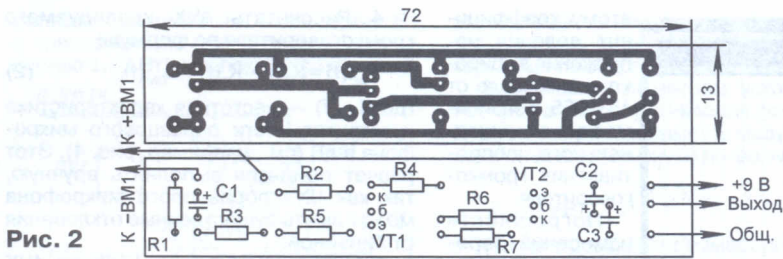


Рис. 2

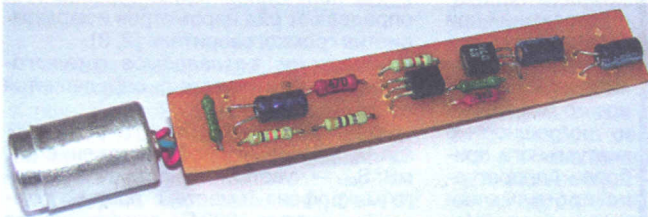


Рис. 3

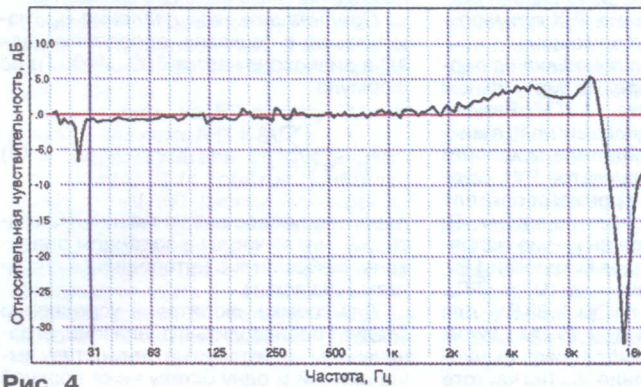


Рис. 4

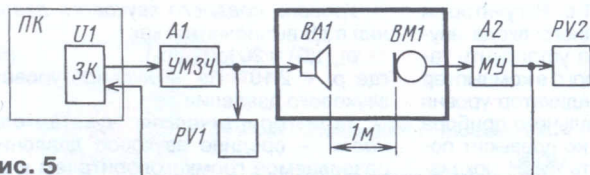


Рис. 5

На рис. 1 показана электрическая схема микрофонного усилителя, предназначенного для совместной работы с электретным миниатюрным микрофоном МКЭ-3.

Неинвертирующий усилитель выполнен на двух биполярных транзисторах разной структуры проводимости по схеме Дарлингтона. Его коэффициент усиления определяется формулой $K_v = 1 + R_6/R_5 = 32$ (около 30 дБ) и постоянен в диапазоне частот 20...20000 Гц. Для уменьшения наводок и фона усилитель питается от гальванической батареи (аккумуляторов). Выход микрофонного усилителя соединяют с линейным входом звуковой карты ПК экранированным проводом, оканчивающимся штекером типа mini jack (на схеме не показан).

Печатная плата этого усилителя изображена на рис. 2, она помещена в металлическую трубку (экран) с внутренним диаметром 13...14 мм, которую соединяют с общим проводом. С одной стороны трубки в нее вставляют микрофон МКЭ-3 (необходима изолирующая прокладка между корпусом микрофона

и трубкой), а соединительный кабель длиной около 2 м выводят с другого конца трубки.

Микрофон МКЭ-3 подключают к усилителю двумя проводниками — плюсовой (по схеме) вывод имеет синий (черный, зеленый) цвет, а минусовый — белый (желтый, оранжевый).

Настройка усилителя заключается в подборе резистора R2, обеспечивающего напряжение на коллекторе транзистора VT2, равное половине напряжения питания.

Изготовлен макет описанного узла, на рис. 3 приведена его фотография с подключенным микрофоном МКЭ-3.

Измеренная в условиях свободного поля на частоте 1 кГц чувствительность использованного экземпляра микрофона МКЭ-3 (с предусилителем) равна $S_{0M} = 240 \pm 30$ мВ/Па, а частотная характеристика чувствительности показана на рис. 4.

Неравномерность ЧХЧ в диапазоне 20...12000 Гц соответствует паспортной для микрофона МКЭ-3 и не превышает ± 5 дБ, что позволяет использовать этот преобразователь звукового давления в напряжение для акустических измерений.

В работе [5] описан измерительный аппаратно-программный комплекс на основе ПК и дана методика измерений применительно к измерению ЧХЧ микрофонов. Функциональная схема комплекса, модифицированного для измерения характеристик громкоговорителей, представлена на рис. 5. Комплекс состоит из ПК со звуковой картой и необходимым программным обеспечением, усилителя мощности A1, милливольтметров переменного тока PV1 и PV2. Испытуемый громкоговоритель BA1, образцовый микрофон BM1, микрофонный усилитель A2 (МУ) размещены в пространстве (помещении), обеспечивающем условия свободного поля.

Звуковая карта U1 должна допускать дуплексный режим работы, т. е. одновременное воспроизведение тестового сигнала и запись сигнала с выхода микрофонного усилителя. Милливольтметр PV1 контролирует напряжение на громкоговорителе, обеспечивающее подводимую к нему мощность 1 Вт. Милливольтметр PV2 служит для измерения напряжения на выходе микрофонного усилителя при определении характеристической мощности громкоговорителя на частоте 1000 Гц.

Персональный компьютер должен иметь следующие минимальные характеристики: Celeron 333, 128 Мб RAM, 20 Мб свободного места на жестком диске, дуплексная звуковая карта 16 бит, ОС Windows 95/98, Me, XP.

В качестве милливольтметров переменного напряжения можно использовать мультиметр BP-11 или подходящий цифровой авометр, в качестве измерительного микрофона — описанный выше преобразователь акустического давления в напряжение.

Автор также использовал звуковую карту Creative SB128, ламповый стереоусилитель мощности "Прибой УМ-50" (один канал), милливольтметры ВЗ-38А и громкоговоритель "Кливер" 150АС-009. В качестве датчика звукового давления применен аттестованный капсюль микрофона М101 (ООО "Измеритель", г. Таганрог, Россия) с микрофонным усилителем модели 2627 и двухканальным источником питания модели 2807 фирмы Brüel&Kjær (Дания).

Генерирование тестовых сигналов, регистрация сигналов с выхода микрофонного усилителя и последующая обработка полученных файлов данных выполняются с помощью ПК в специально разработанной для этого программе.

Тестовый сигнал состоит из трех частей: первые две части — тональные сигналы длительностью по 1,5 с частотой 1 кГц и уровнями 0 и -5 дБ соответственно. Они предназначены для калибровки программы визуализации итоговых АЧХ. Третья часть — синусоидальный сигнал длительностью 30 с и с изменяющейся по экспоненциальному закону частотой в диапазоне 20...20000 Гц (10 октав).

Для установки программного обеспечения необходимо скопировать файл setup.exe (файл setup.exe можно загрузить с сайта редакции журнала "Радио" по адресу <ftp://ftp.radio.ru/pub/2005/06/izmeritel.zip>) в любую желаемую директорию и запустить его. После установки в выбранной директории появится исполняемый файл sound.exe. Для проведения измерений АЧХ необходимо запускать файл sound.exe. Интерфейс программы показан на рис. 6. Кнопки "Калибровка" и "Измерение" управляют режимами работы "Измерителя АЧХ", кнопка "1 кГц" включает/выключает формирование синусоидального сигнала частотой 1 кГц на выходе звуковой карты. Частоту дискретизации выбирают равной 44,1 или 48 кГц. Индикатор уровня имеет диапазон измерения сигнала, поступающего на вход АЦП звуковой карты, в интервале 0...-35 дБ. Файл графика итоговой АЧХ громкоговорителя может быть сохранен в формате bmp.