ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ГРАДУИРОВКИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ

Рахманов Анваржон Тожибоевич
Доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова
https://doi.org/10.5281/zenodo.24483737

Аннотация. Рассмотрены особенности электрической градуировки акустических измерительных трактов и установлены, что при электрической градуировке необходимо измерить напряжение сигнала на входе электронного тракта. Непосредственное измерение с помощью электронных вольтметров затруднено, так как величина подаваемого напряжения очень мала. Определение этой величины осуществляется путем подачи на вход заведомо большого напряжения сигнала, измеряемого вольтметром, после чего внесением известной величины затухания в генераторе, так как генераторы снабжены децибельными делителями, точность которых, как правило, вполне достаточна, получается напряжение в желаемом диапазоне амплитуд в пределах линейности электронного тракта. Может быть также использован последовательный делитель напряжения, на входе которого измеряется напряжение вольтметром, а с выхода делителя на вход тракта подается напряжение.

Ключевые слова: акустический преобразователь, звуковой генератор, градуировка, напряжение, излучатель звука, приемник звука.

Конечным результатом большинства измерений является определение электроакустического параметра, т.е. определение отношения электрической переменной величины к акустической величине, или наоборот. Типичным электроакустическим параметром, вычисляемым по измеренным электрическим данным и различным постоянным, является чувствительность в режиме приёма или чувствительность в режиме излучения. Основные и широко используемые чувствительности электроакустического преобразователя определяются следующим образом [1]. Чувствительность в режиме приёма по напряжению в свободном поле, является отношением выходного напряжения холостого хода к звуковому давлению в свободном поле в невозмущённой плоской бегущей волне. Частота звуковых колебаний и угол падения, должны быть определены. Коэффициент осевой направленности должно быть определён до градуировки.

Чувствительность приёмника звука в режиме излучения по току, представляет собой отношение звукового давления, приведённого к расстоянию 1 м в определённом направлении от эффективного акустического центра измерительного преобразователя, к току возбуждения, протекающему через входные клеммы, или к приложенному к этим клеммам напряжению.

Термин «градуировка» обозначает выполнение измерительной процедуры, в результате которой получают количественные характеристики измерительного тракта, т.е. значения чувствительности, коэффициента осевой направленности в рабочем диапазоне звуковых частот. Существуют абсолютные и относительные методы. К абсолютным методам относятся методы, для которых не требуется образцовый преобразователь с известной чувствительностью. К относительным относятся те методы, в которых используется образцовый акустический преобразователь, отградуированный абсолютным методом. При этом сравнивают чувствительности образцового и градуируемого акустических преобразователей [1-2].

Наиболее часто используемым электроакустическим параметром является чувствительность акустического преобразователя по напряжению в свободном звуковом поле, выраженная функцией от частоты. Чувствительность преобразователя обычно определяется методом сравнения или методом взаимности.

Любой измерительный акустический тракт включает в себя акустическую часть, где происходит преобразование акустических колебаний в электрические, и электронную часть, осуществляющую усиление электрических сигналов и их преобразование в форму, удобную для регистрации или визуального наблюдения. Структурная схема типового акустического измерительного тракта приведена на рис.1.

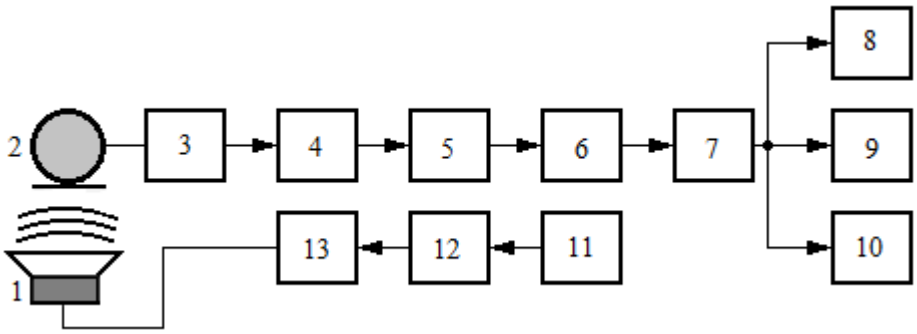


Рис.1. Структурная схема акустического измерительного тракта

Измерительный тракт включает излучающую и приёмную части. В состав излучающей части входят: генератор электрических непрерывных колебаний 12, импульсный модулятор 11 для тех случаев, когда излучение звука производится импульсами, усилитель мощности 13 и электроакустический преобразователь 1, используемый как излучатель звука. В качестве измерительного излучателя могут быть использованы все типы электроакустических преобразователей для соответствующей среды. В устройствах измерительного тракта всегда имеются делители напряжения. Они должны быть ступенчатыми, так как плавная регулировка не обеспечивают строгой повторяемости параметров, и обычно выполняется с децибельной шкалой ослаблений.

Положения делителей должны учитываться при градуировке, калибровке и измерениях [3]. Приёмная часть измерительного тракта состоит из следующих основных элементов: приёмник звука-электроакустический преобразователь - микрофон 2, функционирующий на предварительный усилитель 3, так как обычно приёмник звука удалён от основной электронной аппаратуры, делителя напряжения 4 для согласования уровня и чувствительности выходного сигнала.

Необходима фильтрация 6 по частоте принимаемых сигналов для исключения всевозможных электрических наводок. При импульсном режиме работы производится

селекция 7 сигналов во времени. Получаемые сигналы могут наблюдаться на индикаторе осциллографа 9, фиксироваться электронным вольтметром 8 и регистрироваться самописцем уровня 10. Градуировку акустических измерительных трактов выполняет двумя способами: сквозной, при этом на акустическую часть тракта воздействует известная акустическая величина и двухступенчатой, при этом электроакустический преобразователь градуируется отдельно, а электронная часть тракта – от источника электрического сигнала. Первый способ даёт, как правило, более точные результаты, но сложен и не всегда применим практически. Широко распространён второй способ.

В акустических измерениях чаще всего применяют приёмники звукового давления, следовательно, при абсолютном методе градуировки воспроизводят звуковое давление, позволяющим непосредственно оценить звуковое давление в единицах измерения, а затем вычисляют чувствительность как отношения напряжения, развиваемого акустическим преобразователем, к известному звуковому давлению [4].

Не следует производить отдельную электрическую градуировку каждого звена, входящего в электронный тракт, с последующим определением коэффициента усиления тракта расчётным путём, так как при соединении звеньев в тракт их характеристики несколько изменятся из-за влияния соединительных проводов и сопротивлений приборов. При большом количестве звеньев это влияние может оказаться заметным.

Эквивалентная электрическая цепь для пьезоэлектрических и электростатических приёмников в режиме приёма представляет ёмкость $C_ф$ или индуктивность $L_ф$ для магнитострикционных или электродинамических приёмников звуковых колебаний. Эти элементы присоединены параллельно входу усилителей, обладающих собственной ёмкостью C_d и сопротивлением R_d. На рис.2 представлены варианты подключения калибровочного генератора с выходным сопротивлением r_1.

При параллельном включении напряжение градуировки на входе электронного тракта U_2 будет равно

$$U_2 = \frac{U_1 Z_э}{r_1 + Z_э}, \qquad (1)$$

где U_1 -напряжение на выходе генератора; Z - эквивалентное сопротивление параллельного соединения $C_ф + C_d$ и R_d или $C_ф$, C_d и R_d .

Для пьезоэлектрических приёмников звука на низких частотах $r_1 << Z_э$, следовательно, $U_1 = U_2$.

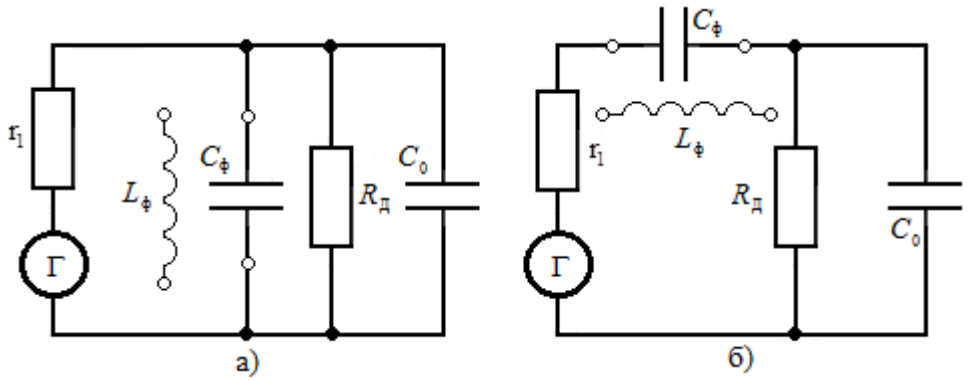


Рис.2. Варианты подключения калибровочного генератора ко входу акустического тракта: а - параллельное; б – последовательное.

Для магнитострикционных приёмников звука на низких частотах величина $\omega L_ф$ может быть меньше r_1, тогда

$$U_2 = \frac{U_1 \omega L_ф}{r_1}, \qquad (2)$$

то есть U_2 может значительно отличается от U_1.

Заметим, что при параллельном подключении последовательно с генератором иногда включают достаточно большое сопротивление. В этом случае анализ надо выполнять по формуле (1) для конкретных соотношений величин r_1, $Z_э$ и указанного сопротивления.

При последовательном включении напряжение

$$U_2 = \frac{U_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}, \qquad (3)$$

де Z_1 - сумма выходного сопротивления генератора и емкостного сопротивления приемника; Z_2 - параллельное соединение суммарного сопротивления потерь и ёмкостного сопротивления входа тракта (паразитная емкость и емкость кабеля).

В этом случае на низких частотах U_2 может значительно отличаться от U_1 для пьезоэлектрических приемников, а на высоких-для магнитострикционных.

Следует рекомендовать параллельное включение звуковых генераторов при пьезоэлектрических приёмниках звуковых колебаний на низких частотах, при магнитострикционных-приёмниках-на высоких частотах, а последовательное включение, наоборот, при пьезоэлектрических приёмниках- на высоких частотах, при магнитострикционных - на низких частотах звука. Конкретные значения напряжения определяются формулами (1) и (3). При включении генератора звуковых частот на сопротивление R величина последнего должна быть больше r_1.

При электрической градуировке необходимо измерить напряжение сигнала на входе электронного тракта. Непосредственное измерение с помощью электронных вольтметров затруднено, так как величина подаваемого напряжения очень мала. Определение этой величины осуществляется путем подачи на вход заведомо большого напряжения сигнала, измеряемого вольтметром, после чего внесением известной величины затухания в генераторе, так как генераторы снабжены децибельными делителями, точность которых, как правило, вполне достаточна, получается напряжение в желаемом диапазоне амплитуд в пределах линейности электронного тракта. Может быть также использован последовательный делитель напряжения, на входе которого измеряется напряжение вольтметром, а с выхода делителя на вход тракта подается напряжение, уменьшенное в известное число раз [5].

В результате электрической градуировки измерительного тракта определяется поправка А, равная

$$\Delta = A = L_u - (N_1 N_2), \qquad (4)$$

где L_u - напряжение генератора; N_1, N_2 - показания делителей и выходного прибора при градуировке.

Чувствительность электроакустических приемников звука S определяется величиной напряжения на их выходе на единицу измеряемой акустической величины, то есть В/Па или мВ/Па для приемников звукового давления, мВ/g (где g - ускорение силы тяжести) для

акселерометров. Значение измеряемой величины L_{px}, по данным электрической градуировки измерительного тракта, известной чувствительности приемников звука и результатам измерения определяется из выражения

$$L_{px} = N_1 + N_2 + (\Delta - S + k), \quad (5)$$

где N_1, N_2 - показания делителей и выходного прибора при измерении; k - поправка для приведения результатов к заданному нулевому значению измеряемой величины.

Для нулевого уровня звукового давления $p_0=2\cdot10^{-5}$ Па, значение k=94. Ускорение часто выражают в g, при этом k=20 дБ.

Алгебраическая сумма, взятая в скобки, представляет собой постоянную прибора и может быть определена до измерений по результатам градуировки, что получение значения измеряемой величины сводится к отсчету показаний децибельных делителей и суммированию их с указанной постоянной.

На разных частотах сумма в скобках в формуле (4) может изменяться, поэтому при электрической градуировке обычно составляют таблицу поправок по частоте для данного измерительного тракта. В процессе измерений часто бывает необходимо удостовериться в работоспособности тракта. Более того, периодическая проверка должна быть обязательной при любых важных измерениях, связанных с работой измеряемых агрегатов. Цель проверки – не только выяснить работает ли измерительный тракт, но удостовериться, что коэффициент усиления тракта сохраняет свое значение. Для этого проводят калибровку, т.е. частичную проверку параметров измерительного тракта.

При акустической калибровке на электроакустический приемник действует вспомогательным источником звука или вибраций. Значение акустического сигнала этих источников заранее известно и предполагается неизменным. Недостатком акустической калибровки является трудность ее выполнения в процессе проведения измерений. Устанавливать вспомогательный источник звука, а районе расположения приемника звука на определенном расстоянии от него не всегда возможно, не говоря о сложности создания стабильных источников звука.

Литература

1. Рахманов А.Т. Методы и средства измерения: Учебник, Ташкент, Изд-во “Наука и образование”, 2022. - 488 с.
2. Шейнман И.Л., Ильин Д.В. Особенности влияния дифракции при измерении интенсивности звука в воде. Материалы Международной конференции. «Гидроакустика-2002». С.Петербург, 2002.
3. Данилов В.Н. К расчету коэффициента затухания упругих волн в поликристаллических средах//Дефектоскопия. 2007.- №8.- С. 18-24.
4. Никитина Н.Е. Об одной составляющей погрешности измерения фазовой скорости ультразвука импульсным методом //Дефектоскопия. 2009.- №8. - С. 23-29
5. Крашенников С.Ю., Миронов А.К. Попытка определения положения источников звука в турбулентной струе по результатам измерений акустического поля и корреляций пульсаций скорости//МЖГ. - № 3. - 2010.