

установке [2], отличающейся надежной вакуумной системой и высокочувствительной электроакустической частью. Механизм интерферометра позволял сохранять параллельность пьезоэлементов в процессе перемещения и восстанавливать ее в любой период работы без разгерметизации и нарушения режима термостатирования измерительной камеры. Точность измерений скорости звука в диапазоне значений ν/p до 100 мгц/атм равнялась 0,5%, выше 100 мгц/атм — 2%. Данные трех серий измерений скорости звука a с учетом поправки на неидеальность среды представлены на фигуре.

Приведенные результаты показывают, что релаксационный процесс в парах циклогексана начинается примерно при 50 мгц/атм. Ожидаемая величина дисперсии скорости звука, обусловленная выключением колебательных мод молекул, составляет около 11%. Наши измерения до 300 мгц/атм обнаруживают возрастание скорости на 17%. Очевидно, в исследованной области значений ν/p помимо колебательной релаксации проявляется релаксация и других степеней свободы молекул циклогексана. Для детального изучения этого комбинированного процесса требуются исследования в более широком интервале изменения ν/p .

Нами проведены также измерения в парах бензола, фурана, тиофена и пиридина. При исследовании этих веществ на установке, подобной использованной в работе [1], авторы [3] обнаружили релаксацию колебательных степеней свободы молекул в диапазоне значений ν/p , расположенном ниже 50 мгц/атм. Данные наших повторных исследований колебательной дисперсии в парах указанных веществ согласуются с результатами авторов [3].

Неточность в результатах работы [1] обусловлена, по-видимому, тем, что использованная экспериментальная установка была недостаточно приспособлена для измерений в области значений ν/p , лежащих выше 50 мгц/атм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Бутылев, В. Ф. Яковлев. Колебательная релаксация в парах циклогексана. Акуст. ж., 1967, 13, 4, 622—623.
2. Е. Д. Попов, В. Ф. Яковлев. Ультразвуковой интерферометр для измерения скорости распространения ультразвука в разреженных газах до 20000 мгц/атм. Акуст. ж., 1969, 15, 1, 138—139.
3. Ю. А. Башлачев, В. Ф. Яковлев. Колебательная релаксация в парах некоторых циклических соединений. Акуст. ж., 1967, 13, 2, 182—186.

Московский областной
педагогический институт
им. Н. К. Крупской

Поступила
19 октября 1973 г.

УДК 534.6 : 621.317

О ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО УРОВНЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ОГРАНИЧЕНИЕМ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ

У. П. Тамм

В электронных приборах, предназначенных для измерения среднеквадратичного уровня акустических сигналов, неизбежно возникает явление ограничения его амплитуды. Это обуславливает появление погрешности измерения. Настоящее сообщение является попыткой нахождения измерительного тракта таким образом, чтобы значение их погрешности заведомо было ниже заданного предела.

Принято считать, что если в создании звука участвует большое число независимых источников, то распределение его мгновенных значений практически является нормальным. Соответственно элементы звукомерной аппаратуры обычно рассчитывают так, чтобы погрешность измерения была достаточно мала при нормальном законе распределения мгновенных значений сигнала.

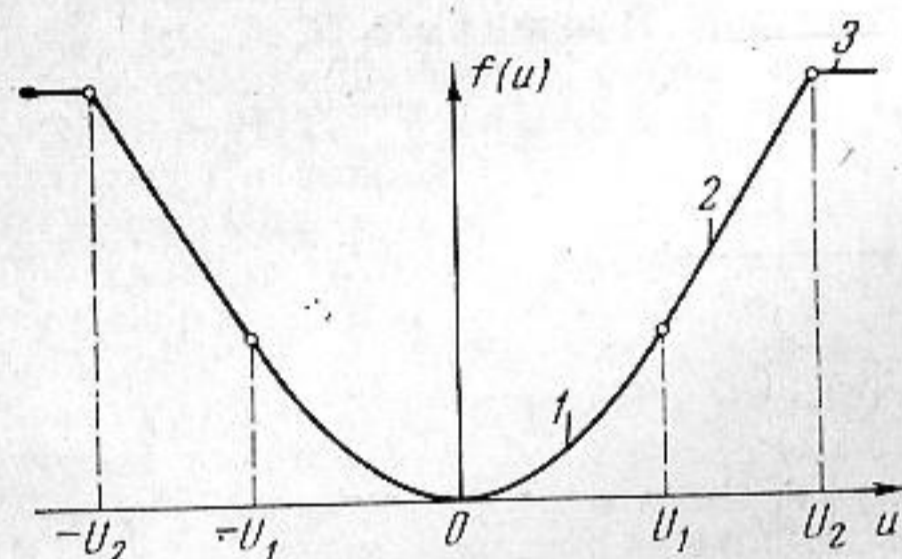
Однако, как показывают графики, приведенные в работах [1, 2], распределение мгновенных значений звуковых сигналов обычно близко к нормальному только в области относительно малых значений аргумента $|u/U|$ (здесь и ниже u , U — соответственно мгновенное и среднеквадратичное значения сигнала). В области больших значений $|u/U|$, существенной при ограничении амплитуды, кривая плотности вероятности $p(u)$ появления данного мгновенного значения u у реального звукового сигнала, как правило, проходит выше соответственной кривой для сигнала с нормальным распределением. Соответственно и погрешность при измерении реальных сигналов должна быть больше ее оценки для сигнала с нормальным распределением.

Распределение мгновенных значений некоторых звуковых сигналов, например речи и оркестровой музыки, близко к распределению Лапласа *

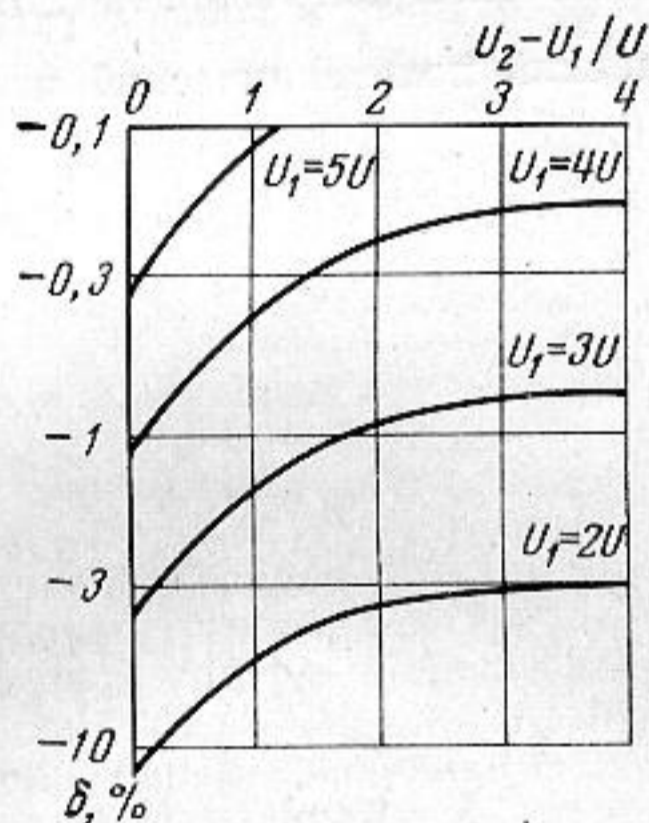
$$p(u) = \frac{\sqrt{2}}{2U} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|u|}{U}\right);$$

значения $p(u)$ убывают с ростом аргумента $|u/U|$ очень медленно по сравнению с убыванием соответствующих значений $p(u)$ нормального распределения. Поэтому при проектировании измерительного тракта целесообразно ориентироваться на сигналы с распределением мгновенных значений по закону Лапласа.

Характеристика передачи мгновенных значений звукового сигнала по измерительному тракту, включающему микрофон, усилитель и квадратичный детектор, представлена на фиг. 1. Каждая из симметричных ветвей этой характеристики состоит из квадратичного, наклонного линейного и горизонтального участков (соответственно 1, 2 и 3 на фиг. 1). Мгновенные значения сигнала, при которых квадратичный участок характеристики переходит в наклонную прямую и последняя в горизонтальную линию, обозначены соответственно U_1 и U_2 . Наличие наклонного



Фиг. 1



Фиг. 2

линейного участка 2 характеристики объясняется тем, что в электронной аппаратуре для измерения акустических сигналов применяются детекторы, построенные по принципу кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперной характеристики.

Предположим, что участок 1 характеристики (фиг. 1) переходит плавно в участок 2. Тогда математическое выражение характеристики может быть написано в виде

$$f(u) = \begin{cases} Su^2 & \text{при } |u| \leq U_1 \\ S(2U_1|u| - U_1^2) & \text{при } U_1 \leq |u| \leq U_2 \\ S(2U_1U_2 - U_1^2) & \text{при } |u| \geq U_2, \end{cases}$$

где S — постоянная величина. Оценка (измеренная величина) среднеквадратичного значения звукового сигнала определяется выражением

$$U' = \left[\frac{1}{S} \int_{-\infty}^{\infty} f(u)p(u) du \right]^{1/2},$$

куда истинное среднеквадратичное значение сигнала U входит в составе выражения $p(u)$. Соответственно значение рассматриваемой погрешности измерения выражается как $\delta = (U' - U) \cdot 100\% / U$.

Используя приведенные соотношения, мы получаем для сигнала, распределенного согласно закону Лапласа

$$\frac{\delta}{100\%} = -1 + \left[1 - \frac{\sqrt{2}U_1}{U} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}U_2}{U}\right) - \exp\left(-\frac{\sqrt{2}U_1}{U}\right) \right]^{1/2}.$$

* Если значения $p(u)$ и u/U откладываются соответственно в логарифмическом и линейном масштабе, как это сделано в работах [1, 2], то нормальное распределение представляется квадратичной параболой, а распределение Лапласа — двумя наклонными прямыми.

Зависимости погрешности δ от значения величины $(U_2 - U_1)/U$ при различных значениях U_1/U , вычисленные по последней формуле, приведены на фиг. 2.

Можно считать, что в звукомерной аппаратуре абсолютное значение погрешности рассматриваемого вида не должно превышать 1%. Тогда исходя из фиг. 2 можно рекомендовать выполнять при разработке звукомерной аппаратуры условия $U_1/U=3$, $U_2/U=5$. Можно показать, что при соблюдении этих условий величина погрешности измерения сигнала с нормальным распределением не превышает сотых долей процента.

Заметим, что с целью снижения стоимости измерительной аппаратуры целесообразно выбирать значение U_1/U как можно ниже и для обеспечения заданного малого значения погрешности соответственно увеличивать значение U_2/U .

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Ключин, А. Е. Колесников. Акустические измерения в судостроении. Л., «Судостроение», 1968, 114.
2. С. G. Wahrmann. Methods of Checking the RMS Properties of RMS Instruments. Brüel and Kjaer Techn. Rev., 1963, 1, 11-19.

Таллинский политехнический институт

Поступила
20 апреля 1972 г.