

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 — 1966

УДК 534.232.4.01

К. В. ЧЕРНЫШЕВ

ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Приводится метод определения некоторых электроакустических параметров линейных излучателей, причем все измерения производятся на электрической стороне. Рассмотрены способы определения электроакустического к.п.д., отдачи и (с точностью до знака) коэффициента электромеханической связи. Параметры приемников определяются в том случае, если преобразователь обратим.

Экспериментальное определение электрических параметров преобразователей, например, электроакустического к.п.д. или отдачи, обычно включает в себя проведение акустических измерений. Точность таких измерений невысока, и, кроме того, для их проведения требуется громоздкое оборудование (поворотное устройство). Поэтому интересно определить параметры посредством измерений, проводимых только на электрической стороне.

Известен способ (см. [1]), с помощью которого посредством измерений на электрической стороне определяются механическое сопротивление излучателя и электромеханический к. п. д. Определение электроакустического к. п. д. и сопротивления излучения таким способом невозможно.

Предлагаемый метод пригоден для определения параметров линейных преобразователей в режиме излучения. Параметры преобразователей — приемников определяются на основании тех же измерений, если преобразователь обратим.

Из теории линейных электроакустических преобразователей [1, 2] известно, что механические величины (F — сила и v — скорость) на акустической стороне преобразователя связаны с электрическими величинами V (напряжение) и I (сила тока) на электрической стороне соотношением

$$F = b_{11}V + b_{12}I, \quad v = b_{21}V + b_{22}I. \quad (1)$$

Если считать, что соотношение (1) описывает работу преобразователя в режиме излучения, то положительные направления отсчета электрических и акустических величин выбираются следующим образом [1]: положительное направление тока в проводе высокого потенциала — в сторону преобразователя; положительное направление силы — в сторону преобразователя; положительное направление скорости — от

преобразователя. При работе преобразователя в режиме приема положительные направления отсчета скорости и силы тока целесообразно заменить обратными. Напряжение и сила тока связаны с силой и скоростью соотношениями вида (1), в которых коэффициенты b_{ik} заменены другими (обозначим их r_{ik}). Эти новые коэффициенты r_{ik} выражаются через b_{ik} (см. [3]).

Составим определитель $|b|$ из величин b_{ik} . Для преобразователей электростатического типа (емкостные, пьезоэлектрические) справедливо равенство $|b| = -1$. Для преобразователей индуктивного типа (электромагнитные, электродинамические, магнитоstrictionные) $|b| = +1$.

Для определения электроакустических параметров излучателя достаточно знать величины b_{ik} и сопротивление излучения z' , определяемое формулой $-z' = \frac{F}{v}$.

Электроакустические параметры линейных преобразователей выражаются через b_{ik} и z' . Приведем выражения для некоторых из них.

Систему (1) преобразуем:

$$U = ZI \mp Kv, \quad F = KI + zv. \quad (2)$$

Величина $K = \mp \frac{1}{b_{21}}$ называется коэффициентом передачи (в обоих случаях верхний знак относится к индуктивным преобразователям, нижний — к электростатическим), $Z = -\frac{b_{22}}{b_{21}}$, $z = \frac{b_{11}}{b_{21}}$. Электроакустический к. п. д. η выражается формулой

$$\eta = \frac{K^2 \operatorname{Re}[z']}{|z + z'|^2 \operatorname{Re}\left[Z + \frac{k^2}{z + z'}\right]}.$$

Рассмотрим способ определения величин b_{ik} и z' . В системе (1) разделим первое уравнение на второе, после чего, учитывая выбор положительных направлений F и v , получим

$$-z' = \frac{b_{11}\bar{Z} + b_{12}}{b_{21}\bar{Z} + b_{22}}, \quad (3)$$

где \bar{Z} означает входной импеданс преобразователя. Для определения b_{ik} необходимо иметь возможность нагружать излучатель поочередно на три акустических сопротивления z_1' , z_2' , z_3' различной величины. Замыкая преобразователь на известные акустические сопротивления, следует измерять входной электрический импеданс преобразователя. Метод переменной нагрузки известной величины применялся и ранее [4, 5], однако предложенный в работе [4] способ определения параметров преобразователей пригоден, видимо, только для случая излучения в воздух.

Приведем уравнение (3) к виду

$$b_{11}\bar{Z} + b_{21}\bar{Z}z' + b_{22}z' = -b_{12}. \quad (4)$$

Подставляя в (4) известные значения акустического импеданса и соответствующие значения \bar{Z}_i измеренного (входного) электрического импеданса, получим три уравнения, линейных относительно b_{ik} . Из них получим выражения для b_{11} , b_{21} и b_{22} через z_i' , \bar{Z}_i и b_{12} . Необходимое для этого отличие определителя системы уравнений от нуля имеет место (при $b_{12} \neq 0$) в том случае, если среди трех известных замыкающих импедансов z_i' нет хотя бы двух одинаковых. Если же $b_{12} = 0$, то и опре-

делитель системы равен нулю. Наконец, величина b_{12} определяется из условия $|b| = \pm 1$. Сопротивление излучения определяется после того, как b_{ik} найдены. Измеряя входной электрический импеданс \bar{Z} в режиме излучения, находим z' по формуле (3).

Выпишем формулы для определения b_{ik} . Вводя обозначения

$$\Delta = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_1 z'_1 & z'_1 \\ \bar{Z}_2 & \bar{Z}_2 z'_2 & z'_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_3 z'_3 & z'_3 \end{vmatrix}, \quad \Delta_1 = - \begin{vmatrix} 1 & \bar{Z}_1 & z'_1 & z'_1 \\ 1 & \bar{Z}_2 & z'_2 & z'_2 \\ 1 & \bar{Z}_3 & z'_3 & z'_3 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_2 = - \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 & 1 & z'_1 \\ \bar{Z}_2 & 1 & z'_2 \\ \bar{Z}_3 & 1 & z'_3 \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = - \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_1 z'_1 & 1 \\ \bar{Z}_2 & \bar{Z}_2 z'_2 & 1 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_3 z'_3 & 1 \end{vmatrix},$$

найдем для b_{ik} :

$$\begin{aligned} b_{11} &= \pm \frac{\Delta_1}{D}; & b_{12} &= \pm \frac{\Delta}{D}; \\ b_{21} &= \pm \frac{\Delta_2}{D}; & b_{22} &= \pm \frac{\Delta_3}{D}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $D = \sqrt{\Delta_1 \Delta_3 - \Delta \Delta_2}$ — для индуктивных и $D = \sqrt{\Delta \Delta_2 - \Delta_1 \Delta_3}$ — для электростатических преобразователей. Появление двойного знака перед b_{ik} объясняется нелинейностью уравнения $|b| = \pm 1$, из которого определяется b_{12} . Выбор знака в формуле (5) может быть произведен на основании дополнительного опыта (например, сравнением фаз колебательной скорости и электрического напряжения ненагруженного излучателя). В этом, однако, едва ли есть необходимость, так как неопределенность в выборе знака b_{ik} приводит к такой же неопределенности при определении величины K (что несущественно, поскольку обычно бывает достаточно знать $|K|$) и не сказывается на результатах вычисления различных к.п.д. и отдачи.

Разберем несколько простых примеров определения b_{ik} .

Рассмотрим преобразователь с плоской излучающей поверхностью, совершающей поршневые колебания. Под скоростью v будем понимать колебательную скорость излучающей поверхности (она одинакова во всех точках поршня). Внешняя сила, с которой звуковое поле в среде действует на излучатель, равна интегралу от звукового давления по площади поршня. Сила F , с которой излучатель действует на среду, равна той же величине с обратным знаком.

Для составления первых трех уравнений системы, из которой определяются b_{ik} , гидроакустический излучатель помещается в воздух, а излучатель, работающий в воздухе, помещается под колокол для снятия нагрузки среды. Первое и второе измерение входного (электрического) импеданса производится при наклеенных на излучающую поверхность пластинах разных масс (M_1 и M_2), чем осуществляется замыкание излучателя на импедансы $z'_1 = i\omega M_1$ и $z'_2 = i\omega M_2$. Третье измерение производится без пластин ($z'_3 = 0$).

Все предыдущие рассуждения были основаны на предположении, что изменение нагрузки не сказывается на характере движения излучающей поверхности и внутренних элементов преобразователя. Поэтому

в случае поршневого излучателя целесообразно пользоваться пластинами тех же размеров и формы, что и поршень. Использование нагрузки, сосредоточенной на небольшом участке излучающей поверхности, возможно лишь в том случае, если это не скажется на характере движения элементов преобразователя. С этой точки зрения лучше распределять сосредоточенные нагрузки равномерно по поверхности поршня.

Определение b_{ik} пульсирующего цилиндрического излучателя производится аналогичным способом. Под скоростью v понимаем радиально направленную колебательную скорость поверхности цилиндра, под силой F — взятую с обратным знаком силу давления звукового поля на поверхность цилиндра. Вместо пластин следует брать отрезки цилиндрической трубы, которые должны плотно надеваться на излучающую поверхность преобразователя и скрепляться с ней клеем. При этом следует учитывать, что импеданс цилиндрической оболочки определяется не только ее инерцией, но и упругостью. Цилиндрическая оболочка может быть заменена распределенными по излучающей поверхности сосредоточенными нагрузками. Упругостью таких наклеек можно пренебречь в том случае, если площадь соприкосновения их с поверхностью излучателя достаточно мала.

Рассматривая плоский и цилиндрический излучатели, мы предполагали, что для них справедливы соотношения вида (1). Те же соотношения имеют место для электродинамического говорителя с коническим диффузором, если под скоростью v понимать колебательную скорость катушки в зазоре магнита, а под силой F — взятую с обратным знаком силу звукового давления на диффузор. При определении b_{ik} инертные нагрузки следует помещать на оси диффузора.

Аналогичными методами могут быть рассмотрены преобразователи других типов.

В заключение автор выражает благодарность сотрудникам кафедры акустики, принявшим участие в обсуждении настоящей работы и сделавшим ряд важных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фурдеев В. В. Электроакустика. М. — Л., ГИТТЛ, 1948.
2. Харкевич А. А. Теория преобразователей. М. — Л., Госэнергоиздат, 1948.
3. Бриллюэн Л., Пароди М. Распространение волн в периодических структурах. М., ИЛ, 1959.
4. Fay. JASA, 15, 32, 1943.
5. White. JASA, 18, 155, 1946.

Поступила в редакцию
1. 9 1964 г.

Кафедра
акустики