

УДК 534.8

КАЛИБРОВКА ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛООВОГО АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© 1995 г. А. В. Ерофеев, В. И. Пасечник

Научно-исследовательский центр "Элдис", Институт радиотехники и электроники РАН
101000 Москва, Старосадский пер., 8

Поступила в редакцию 16.01.95 г.

Калибровка пьезопреобразователей (ПП) в мегагерцовом диапазоне необходима при разработке высокочувствительных устройств, например, акустотермометров, при изменении корреляционных свойств теплового акустического излучения [1, 2] и для иных приложений. Она сопряжена с большими техническими трудностями ввиду отсутствия на этих частотах достаточно доступных широкополосных источников ультразвука. В этой работе поставлена задача опробовать метод калибровки чувствительных ПП с помощью теплового акустического излучения.

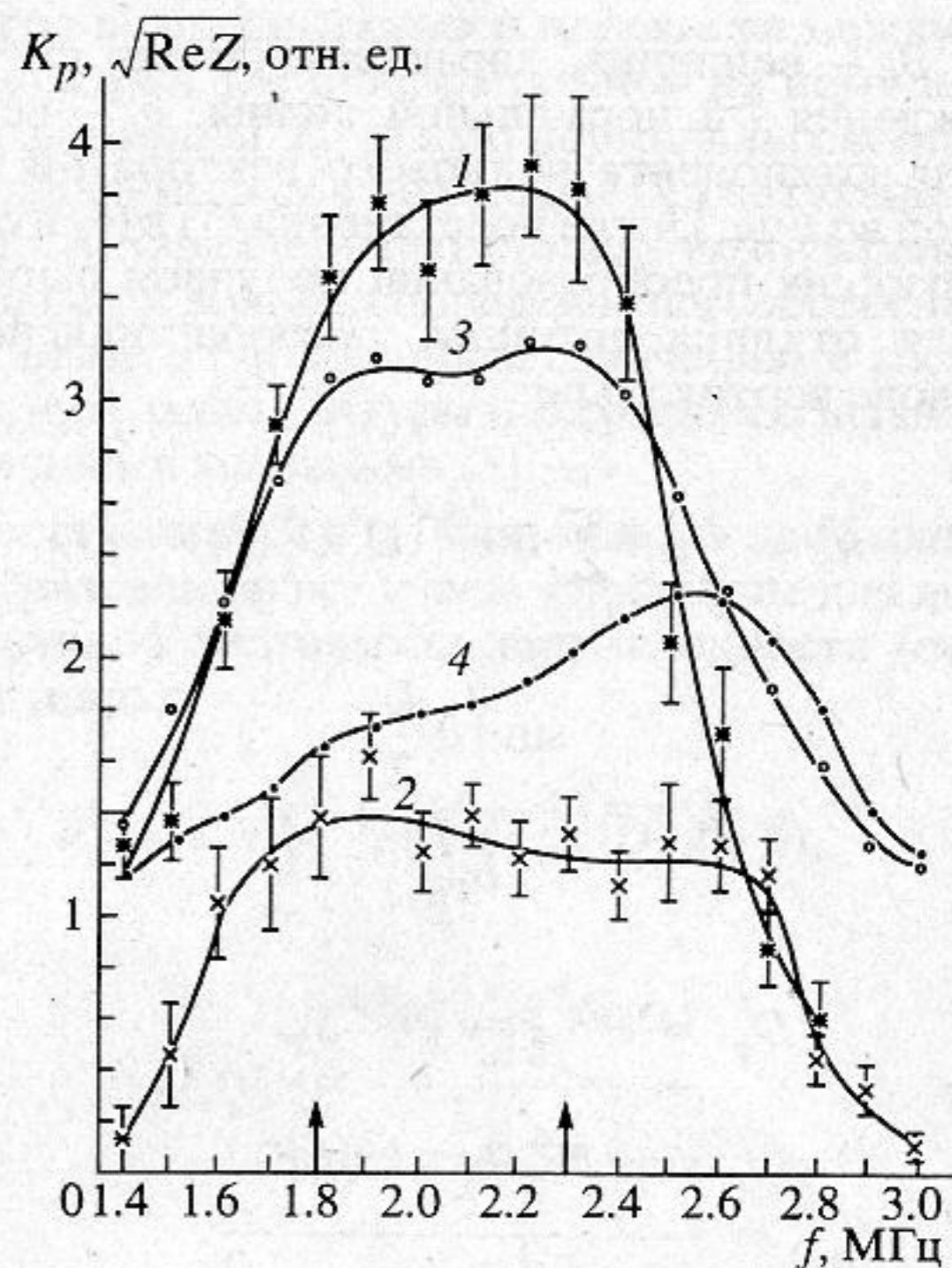
Как показала статистическая теория теплового акустического излучения [2], средний квадрат давления p , действующего на ПП, не зависит от частоты f , а именно:

$$\langle p^2(t) \rangle = (\rho k T u / \pi a^2) \Delta f, \quad (1)$$

где t – время, ρ – плотность среды, u – скорость звука в ней, k – постоянная Больцмана, $T \approx 300$ К – абсолютная температура, πa^2 – площадь преобразователя в виде круглой пластины радиуса a , Δf – ширина полосы пропускания высокочастотного тракта.

Для измерения модуля частотнозависимого коэффициента преобразования давления в напряжение $K_p(f)$ мы использовали модуляционный метод: с помощью обтюлятора на вход ПП поочередно подавали акустическое излучение либо от нагретого черного тела, либо от модулятора, между которыми существует разность температур $\Delta T \ll T$, и применяли синхронное детектирование для выделения сигнала, соответствующего этой разности температур. Измерения производили на несколько модифицированной установке, описанной ранее [1, 3]. ПП через согласующий трансформатор подключали к входу усилителя высоких частот, выход последнего соединяли со входом анализатора спектра С4-74, который в "ручном" режиме настраивали на нужную частоту ($\Delta f = 100$ кГц). Напряжение с выхода анализатора подавали на синхронный детектор (Unipan 232В), содержащий на выходе фильтр низких частот с постоянной времени $\tau_{\phi} = 3$ с. В качестве опорного использовали электрический сигнал с датчика

положения модулятора. Отфильтрованный сигнал через низкочастотный усилитель типа У1-7 подавали на плату аналогоцифрового преобразователя, размещенную в персональном компьютере РС-ХТ. Компьютер выдавал среднюю величину измеряемого сигнала и среднюю квадратическую ошибку за время усреднения $\tau = 120$ с. Поскольку анализатор С4-74 измеряет ампли-



Частотные зависимости модуля коэффициента преобразования давления в напряжение, K_p , (кривые 1, 2) и $\sqrt{\text{Re} Z}$ (кривые 3, 4), где Z – действительная часть выходного сопротивления цепи: ПП – согласующий трансформатор. Преобразователь нагружен электрически на индуктивность: 1, 3 – ПП, у которого индуктивность обеспечивает электрическую настройку контура на антирезонансную частоту; 2, 4 – ПП, нагруженный на меньшую индуктивность. Стрелками показаны частоты, на которых правильно настроенный ПП, акустически нагруженный на воздух, имеет максимумы $\text{Re} Z$.

туды спектральных составляющих на разных частотах f , разность электрических напряжений, $U(f)$, на его выходе пропорциональна K_p :

$$U(f) = K_p(f) [(\rho k T u / \pi a) \Delta f]^{1/2} (\Delta T / 2T). \quad (2)$$

Для случая ПП без потерь и идеального интегратора в качестве фильтра низких частот минимальная относительная ошибка [1, 4]:

$$\delta U / U = (T / \Delta T) / (\Delta f \tau)^{1/2}. \quad (3)$$

Иногда частотную зависимость K_p оценивают по частотной зависимости действительной части $\text{Re}Z$ выходного сопротивления $Z(f)$ цепи ПП – согласующий трансформатор, которая определяет уровень электрического шума, создаваемого ПП [5]. Для определения $\text{Re}Z$ измеряли частотную зависимость амплитуды электрического шума U_n на выходе спектроанализатора, для чего этот выход подключали непосредственно к низкочастотному усилителю, минуя синхронный детектор. Величина $U_n(f) \sim \sqrt{\text{Re}Z(f)}$.

На рисунке представлена частотная зависимость величин K_p для преобразователя с двумя четверть-волновыми согласующими слоями, нагруженного электрически на индуктивность, для двух случаев: 1) ПП, у которого индуктивность обеспечивает электрическую настройку ПП на антирезонансную частоту (кривая 1); и 2) ПП, нагруженного на меньшую индуктивность (кривая 2). Максимальная чувствительность ПП в первом случае достигается в полосе частот между максимумами $\text{Re}Z$ ненагруженного ПП (стрелки на рисунке). Видно

резкое уменьшение величины K_p во втором случае, при этом максимум зависимости $\sqrt{\text{Re}Z(f)}$ сдвигается от исходного (кривая 3) в область высоких частот (кривая 4). По уровню 0.7 эти кривые заметно шире, чем частотные зависимости K_p . На кривых 1, 2 приведены также средние квадратические ошибки δU . Видно, что относительные ошибки $\delta U / U$ увеличены на краях рабочего диапазона из-за роста там шумовой температуры [5] вследствие потерь в ПП. Полученные результаты качественно совпадают с теорией [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-15962).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасечник В.И. Оценка чувствительности метода акустотермографии // Акуст. журн. 1990. Т. 36. № 4. С. 718 - 724.
2. Барабаненков Ю.Н., Пасечник В.И. Исследование теплового акустического излучения в рамках модели гидродинамических флуктуаций // Акуст. журн. 1994. Т. 40. № 4. С. 542 - 547.
3. Passechnik V.I. Verification of the physical basis of acoustothermography // Ultrasonics. 1994. V. 32. № 4. P. 293 - 299.
4. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973. 416 с.
5. Аносов А.А., Пасечник В.И. Сравнение чувствительности акустотермометров различных типов // Акуст. журн. 1993. Т. 39. № 2. С. 207 - 212.