

## ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ ЧАСТОТЫ

М.М. Карпук<sup>1</sup>, Д.А. Костюк<sup>2</sup>, Ю.А. Кузавко<sup>3</sup>, В.Г. Шавров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politechnica Kostalinska

Koszalin, Poland

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет

Брест, Беларусь

<sup>3</sup>Институт радиотехники и электроники РАН

Москва, РФ

Высокая добротность  $Q \geq 10^5$  кварцевых преобразователей как электромеханических резонаторов позволяет использовать их в качестве стабилизаторов частоты электрических сигналов в генераторах. Такие узкополосные ультразвуковые пьезокерамические преобразователи являются эталонами частоты и широко используются в различных радиоэлектронных устройствах. Здесь рассматривается составной преобразователь (см. рис. 1), включающий в себя пьезоэлектрическую (ПЭ) пластинку с нанесенными на ее стороны электродами и приклеенной пластинкой магнитоакустического материала (МАМ), в качестве которого может служить кристалл легкоплоскостного антиферромагнетика гематита. Именно в нем экспериментально наблюдалась сильная зависимость скоростей объемных продольных (до 10%) и поперечных (до 50%) упругих волн от внешнего магнитного поля  $H$ , вызывающего ориентационный фазовый переход (ОФП) [1].

Теоретические зависимости скорости звука имеют вид [1]:

$$\tilde{S}_t = S_t(1 - t \cdot \zeta)^{1/2} \quad (1)$$

$$\tilde{S}_l = S_l(1 - \zeta)^{1/2} \quad (2)$$

для поперечного и для продольного звука. Здесь  $s_t$ ,  $s_l$  и  $\tilde{S}_t$ ,  $\tilde{S}_l$  — соответственно скорости поперечного и продольного звука, неподверженного и подверженного магнитному взаимодействию (МУ),  $t = s_t^2/s_l^2$ ,  $\zeta$  — параметр МУ связи ( $0 < \zeta < 1$ ). Отметим, что ОФП реализуется в диапазоне полей  $H$ :  $0 < H < 2000$  Э, легко достигаемых с помощью постоянных магнитов. Тем самым возникает реальная возможность перестраивать полем акустоэлектронные параметры преобразователя,

т.е. резонансную частоту, полосу частот, добротность, амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики (АЧХ и ФЧХ).

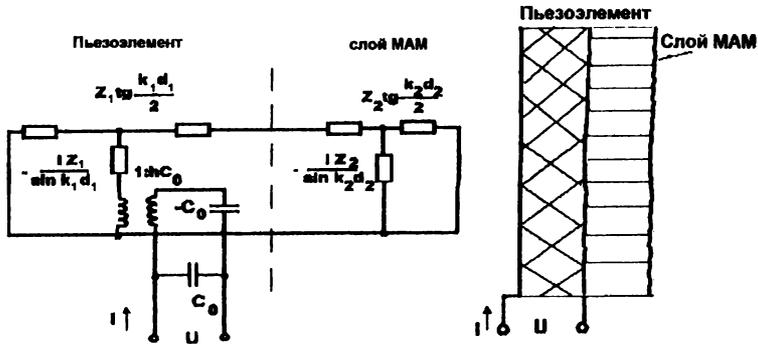


Рисунок 1 – Конструкция преобразователя, его эквивалентная электромеханическая схема;  $h$  – коэффициент трансформации.

Исходя из эквивалентной электрической схемы такого преобразователя (см. рис. 1), можно рассчитать его электрический импеданс:

$$Z_e = \frac{1}{i\omega C_0} \left[ 1 - K^2 \frac{\operatorname{tg} \beta_1 + \tilde{\varepsilon} \operatorname{tg} \beta_2 / 2}{1 + \tilde{\varepsilon} \operatorname{ctg} 2\beta_1 \operatorname{tg} 2\beta_2} \frac{1}{\beta_1} \right], \quad (3)$$

где  $K$  – константа электромеханической связи в ПЭ,  $\tilde{\varepsilon} = \tilde{Z}_2 / Z_1$ ,  $Z_1$  и  $\tilde{Z}_2$  – соответственно акустические импедансы ПЭ и МММ,  $\omega$  – частота,  $C_0$  – емкость ПЭ,  $\beta_1 = k_1 d_1 / 2$ ,  $\beta_2 = k_2 d_2 / 2$ ,  $k = \omega / s$  – волновое число,  $s$  – скорость звука. При  $\tilde{\varepsilon} = 0$  имеем обычное выражение импеданса пьезоэлектрической пластинки.

Условие  $Z_e = 0$  определяет электрический (параллельный - излучение) резонанс, а условия максимума  $|Z_e|$  или  $1 + \tilde{\varepsilon} \operatorname{ctg} 2\beta_1 \operatorname{tg} 2\beta_2 = 0$  механический (последовательный - прием) резонанс. Если формально в (1) выполнить подстановки  $k_1 = k_1' + jk_1''$ ,  $k_2 = k_2' + jk_2''$  ( $Q = 2\pi k / k''$ ), то получается выражение для электрического импеданса составного преобразователя с учетом поглощения ультразвуковых колебаний в материалах, его составляющих. Коэффициент поглощения ультразвука в МММ [2] определяется согласно  $\alpha = k_2'' / k_2' = \alpha_0 (1 - a\zeta)^{-1/2}$ , где  $a = 1$  и  $a = t$  соответственно для поперечного и продольного ультразвука.

На рис. 2 приведена зависимость  $Z_1$  от  $\beta_1$  для преобразователя кварц-гематит при условии  $d_1 = d_2$  в различных полях  $\tilde{N}$ . С приближением к точке ОФП количество резонансов возрастает вследствие

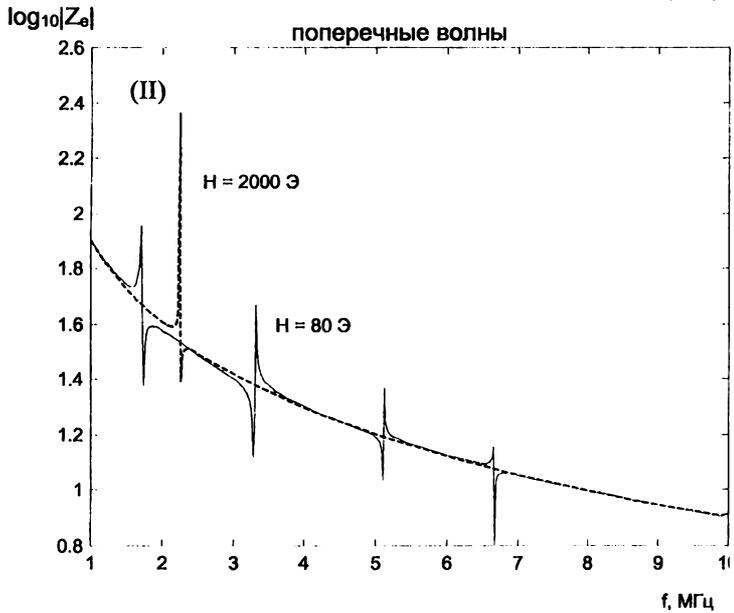
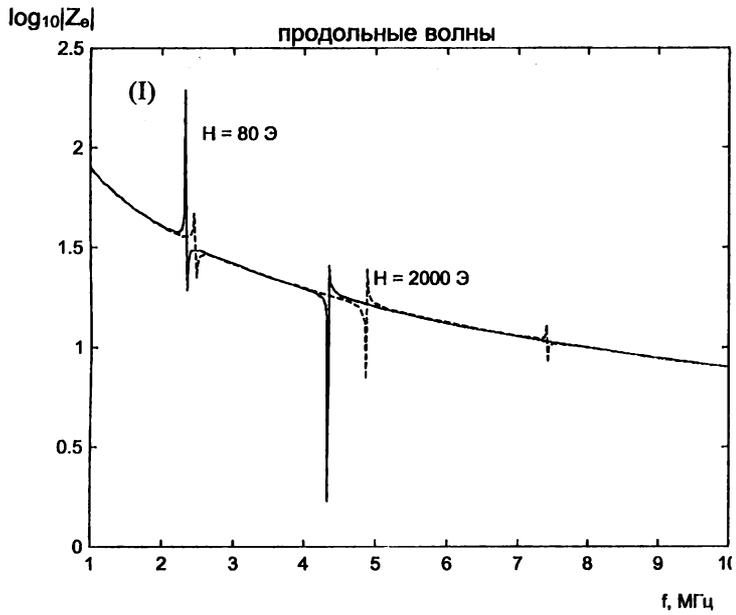


Рисунок 2 – Частотная зависимость электрического импеданса  $|Z_0|$

существования зависимости  $\beta_2 = \frac{\omega d_2}{2s_2(H)}$ , т.е. когда фазовая толщина

пластинки МАМ возрастает. Добавим, что соотношение (3) справедливо как для продольных, так и для поперечных волн с соответствующими материальными константами. Добротность преобразователя определяется соотношением  $Q=Q_1Q_2/(Q_1+Q_2)$ , т.е. в основном добротностью пластинки гематита. Таким образом присоединением к пьезоэлементу высокодобротной МАМ пластинки, находящейся в магнитном поле, можно добиться управления резонансной частотой, полосой частот и т.д. преобразователя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е.А. Туров, В.Г. Шавров. Нарушенная симметрия и магнитоакустические эффекты в ферро- и антиферромагнетиках // УФН. 1983. Т. 140, ч.3. С. 429–462.
2. Yu. Kuzavko, H. Roth, V. Golovko. Ultrasound controlled piezoceramical transducers for medical diagnostic tomography // Proceedings of Workshop on Design Methodologies for Signal Processing. Zakopane, Poland, 1996. p.p. 131–135.