

ЭЛЕКТРОННО ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ

М.М. Карпук¹, Д.А. Костюк², Ю.А. Кузавко³, В.Г. Шавров³

¹Politechnica Kostalinska

Koszalin, Poland

²Брестский государственный технический университет

Брест, Беларусь

³Институт радиотехники и электроники РАН

Москва, РФ

Электромеханические преобразователи преобразуют электрическую энергию в механическую и наоборот. На средних частотах (1÷100 МГц) эффективно используются пьезоэлектрические преобразователи (УЗП) как для излучения, так и для приёма акустических волн в целях научных исследований и измерительной техники. Но добротность даже низкодобротной пьезокерамики РКР-1 $Q=60$ оказывается всё ещё достаточно высокой для реализации коротких и сверхкоротких импульсов (длительность составляет $\tau = Q \cdot T$, где T — период акустических колебаний), так необходимых при технических измерениях в неразрушающем контроле и медицинской эхотомоскопии. Большую ценность при проведении ультразвуковых исследований и измерений приобрела бы возможность перестройки резонансных частот излучения и приёма [1].

Здесь мы рассматриваем развитие таких УЗП, существенной особенностью которых является наличие контактирующего с пьезоэлектриком (ПЭ) слоя магнитоакустического материала (МAM). Под МAM понимаем вещество, например гематит α — Fe_2O_3 , в котором экспериментально наблюдалась сильная зависимость скоростей объёмных продольных (до 10%) и поперечных (до 50%) волн от внешнего магнитного поля $\vec{H}$ [2]. Теоретические зависимости скорости поперечного и продольного звука

имеют соответственно вид $\tilde{S}_t = S_t(1 - \zeta)^{1/2}$ и $\tilde{S}_l = S_l(1 - t \cdot \zeta)^{1/2}$, где

$t = S_1^2 / S_2^2$, $\zeta = 2 \cdot H_E \cdot H_{me} / [2 \cdot H_E \cdot H_{me} + H \cdot (H + H_0)]$ – параметр МУ связи; H_E , H_0 , H_{me} – эффективные внутренние поля обмена, Дзялошинского-Мория и магнитострикции.

Тем самым возникает реальная возможность перестраивать полем акустоэлектронные параметры преобразователя, т. е. резонансную частоту, полосу частот и длительность излучаемого импульса, амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики, амплитуды излучения и приёма.

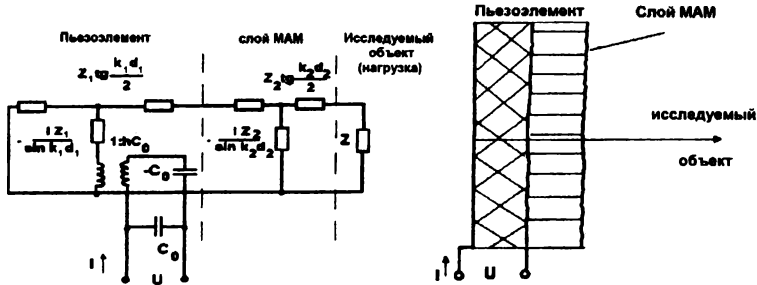


Рисунок 1- Конструкция УЗП и его эквивалентная схема. h - коэффициент преобразования

Конструкция рассматриваемого УЗП приведена на рис. 1, в котором ПЭ пластинка через слой МАМ контактирует с исследуемым объектом. Исходя из эквивалентной электрической схемы УЗП с нагрузкой, можно рассчитать его электрический импеданс

$$Z_e = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C_0} \cdot \left[1 - \frac{K^2}{\beta_1} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta_1 - \frac{Z_2}{2Z_1} \cdot \operatorname{tg} 2\beta_2 + i \cdot \left(\frac{Z}{Z_2} \cdot \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_2 - \frac{Z_0}{2Z_1} \right)}{1 + \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \operatorname{ctg} 2\beta_1 \cdot \operatorname{tg} 2\beta_2 + i \cdot \left(\frac{Z}{Z_2} \cdot \operatorname{tg} 2\beta_2 - \frac{Z}{Z_1} \cdot \operatorname{ctg} 2\beta_1 \right)} \right],$$

где $\beta_1 = k_1 \cdot d_1 / 2$, $\beta_2 = k_2 \cdot d_2 / 2$, k – волновое число, ω – частота, C_0 – ёмкость УЗП, K – константа электромеханической связи, Z – акустический импеданс. Минимум $I_m Z_e$ определяет электрический резонанс УЗП (излучение), а максимум – механический резонанс УЗП (приём). В выражении величины $Z_2 = \rho_2 \cdot S_2(H)$ и $\beta_2 = \omega \cdot d_2 / (2S_2(H))$ оказываются зависящими от поля, и то же самое распространяется на Z_e и резонансные частоты.

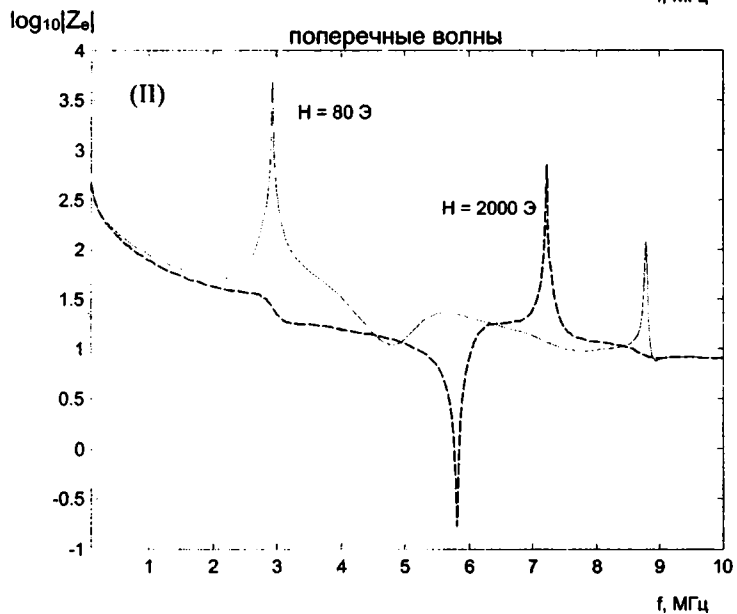
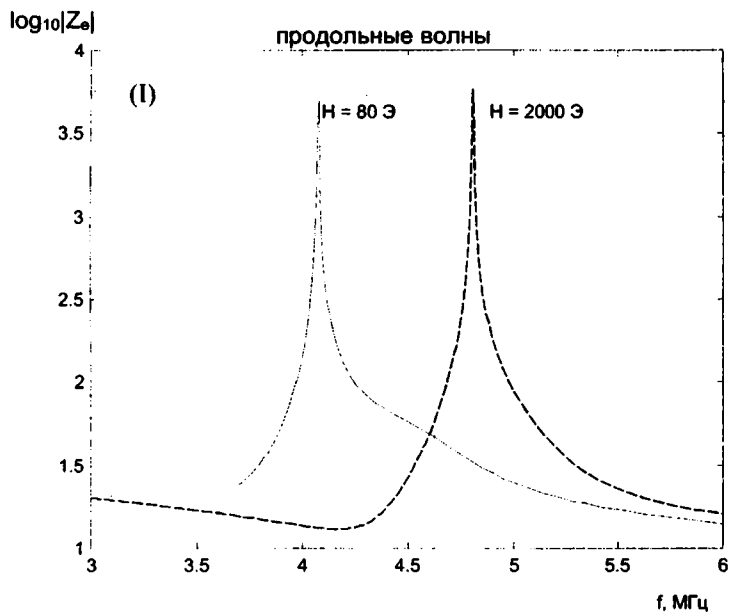


Рисунок 2 – Частотная зависимость электрического импеданса $|Z_e|$.

Численные расчёты выполнялись для продольных волн в структуре I — LiNbO_3 36°, Y-срез — $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ — SiO_2 32°, X-срез и для поперечных волн в структуре II — LiNbO_3 36°, X-срез — $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ — SiO_2 32°, X-срез в диапазоне частот 0–10 МГц, при этом частота механического резонанса ПЭ составляет в обоих случаях 5 МГц, а его толщины: I — $d_{11} = 0,74$ мм II — $d_{11} = 0,48$ мм. Толщина МАМ выбиралась также из условия реализации полуволнового резонатора на этой же частоте при $H = \infty$ и составила: I — $d_{21} = 0,68$ мм, II — $d_{21} = 0,42$ мм. На рис. 2 представлены зависимости $|Z_c|$ от частоты. Откуда видно, что количество резонансов с убыванием H возрастает, а их частоты существенно управляются полем. Разработанное программное обеспечение позволяет вычислить все вышеуказанные акустоэлектронные параметры преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.Golovko, Y.Kuzavko, H.Roth. Ultrasound controlled piezoceramical transducers for medical diagnostic tomography. // Proceedings of Workshop on Design methodologies for signal processing, Zakopane, Poland, 1996
2. Е.А. Андрияшак, Н.Н. Евтихийев, С.А. Погожев, В.Л. Преображенский. // Акустический журнал, 1981, Т.39, №6, с. 170–178