

УДК 621.372.85

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЬЕЗОЗВУКОПРОВОДЕ С НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В.Г. БАСОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 2 марта 2009

Приводится решение задачи по определению амплитуд акустических δ -источников возбуждения поверхностной акустической волны, создаваемых встречно-штыревым преобразователем в пьезокерамическом звукопроводе с неоднородной поляризацией, выполненной путем создания периодических областей с взаимно перпендикулярными направлениями векторов поляризации.

Ключевые слова: поверхностные акустические волны, встречно-штыревой преобразователь, неоднородная поляризация, пьезозвукопровод, возбуждение, вектор поляризации.

При разработке акустоэлектронных устройств различного назначения для возбуждения ПАВ широко применяются однофазные и двухфазные встречно-штыревые преобразователи (ВШП). Однако они обладают рядом существенных недостатков, основным из которых является двунаправленное излучение [1]. Кроме того, применяемый в ВШП двухфазный способ возбуждения использует в структурах ВШП фазовые сдвиги, равные 0 или π , что снижает степень свободы в выборе метода формирования передаточной функции таких устройств.

Более технологичным, не сопровождающимся ростом габаритов преобразователя является способ получения многофазных структур с использованием пьезозвукопроводов с неоднородной поляризацией их в области расположения ВШП [2].

Неоднородная поляризация может быть получена путем создания локальной поляризации пьезокерамического звукопровода [2] в областях I (рис. 1,а) с вектором поляризации p_1 и последующего наложения поляризующего напряжения непосредственно к электродам ВШП, формирующего в областях II поляризацию звукопровода с вектором поляризации p_2 , перпендикулярным к p_1 . Расположив ВШП так, чтобы электроды его находились одновременно в двух областях с различными направлениями векторов поляризации, как показано на рис. 1,а пунктирными линиями, получим возможность формировать акустические источники A_n и B_n с начальными фазами 0, 90 и 180° (рис. 1,б), т.е. трехфазный ВШП.

Определение амплитуд акустических источников, создаваемых ВШП на звукопроводе с неоднородной поляризацией, может быть получено путем решения уравнений состояния пьезосреды, которыми описывается пьезокерамический звукопровод с расположенными на нем ВШП (рис. 1,а), с учетом матриц упругих постоянных относящихся к кристаллографическому классу ∞m [3]. Пусть возбуждение ПАВ осуществляется напряжением U с частотой ω в направлении x_1 . При этом под электродами ВШП в приповерхностном слое глубиной l возникает электрическое поле с составляющими E_1 и E_3 , которое за счет пьезоэффекта приводит к возникновению упругих деформаций S_1 и S_3 с механическими напряжениями T_1 и T_3 . Составляющую электрического поля E_2 полагаем равную нулю, что дает соответственно $S_2=0$ и $T_2=0$. В результате получим

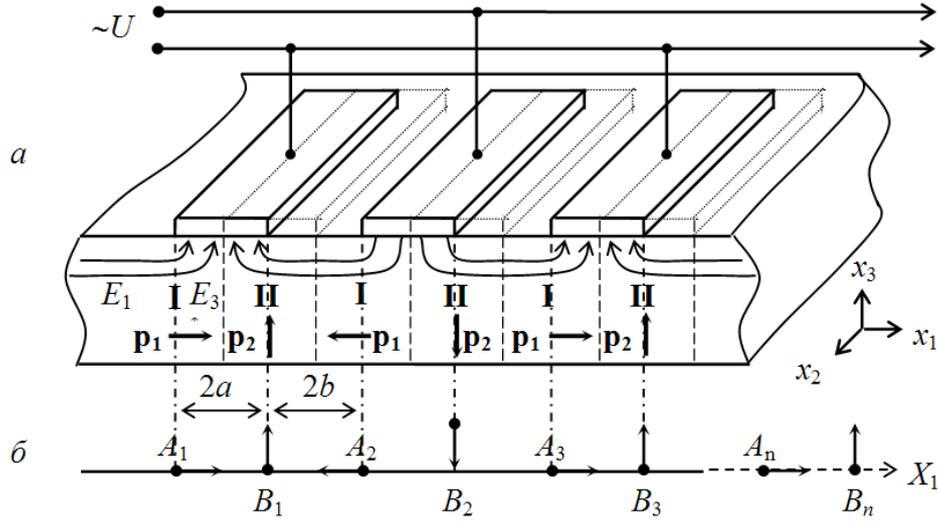


Рис. 1. Структура ВШП с локальной поляризацией звукопровода (а) и расположение векторов акустических источников (б)

$$\begin{aligned}
 T_1 &= c_{11}S_1 + c_{13}S_3 - e_{31}E_3 \\
 T_3 &= c_{13}S_1 + c_{33}S_3 - e_{33}E_3 \\
 T_5 &= c_{44}S_5 - e_{15}E_1 \\
 D_1 &= e_{15}S_5 + \varepsilon_{11}E_1 \\
 D_3 &= e_{31}S_1 + e_{33}S_3 + \varepsilon_{33}E_3,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где D_1 и D_3 — составляющие электрической индукции, связанные с составляющими электрического поля E_1 и E_3 ; c_{11} , c_{13} , c_{33} , c_{44} — компоненты тензора упругой постоянной; ε_{11} , ε_{33} — компоненты тензора диэлектрической проницаемости; e_{31} , e_{33} , e_{15} — компоненты тензора пьезоэлектрической постоянной.

Амплитуды механических колебаний u_i связаны с упругими напряжениями T_{ij} волновым уравнением

$$\rho_m \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \right) = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j}, \tag{2}$$

где ρ_m — удельная плотность материала.

Совместное решение (1) и (2) в предположении, что

$$S_1 = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}; \quad S_3 = \frac{\partial u_3}{\partial x_3}; \quad S_5 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \right), \tag{3}$$

позволяет найти генерируемые каждой парой электродов ВШП механические колебания u_1 и u_3 амплитудные значения, которых определяются соотношениями

$$u_1 = E_3 F_3 M_1 e^{-j \cdot \Delta \phi}; \quad u_3 = E_3 F_2 M_3; \tag{4}$$

$$\text{где} \quad F_3 = F_1 F_2; \quad F_1 = \frac{a}{2b} \sqrt{\frac{\varepsilon_{11}}{\varepsilon_{33}}}; \quad F_2 = \frac{M_0 [k \ell - r]}{2M_0 k \ell} e^{j \theta k r}; \quad M_1 = \frac{\beta_1}{\gamma_{11}} - \frac{\gamma_{12}}{\gamma_{11}} M_3;$$

$$M_3 = \frac{\beta_2 \gamma_{11} - \gamma_{21} \beta_1}{\gamma_{12} \gamma_{21} - \gamma_{11} \gamma_{22}}; \quad \gamma_{11} = c_{44} k^2 \alpha^2 - c_{11} k^2 - \rho_m \omega^2; \quad \beta_1 = \beta_{11} F_3 - \beta_{12}; \quad \beta_{22} = e_{33} k \alpha;$$

$\gamma_{12} = \gamma_{21} = c_{44} k^2 \alpha + c_{13} k^2 \alpha$; $\gamma_{22} = c_{44} k^2 - c_{33} k^2 \alpha^2 - \rho_m \omega^2$; $k = 2\pi/\lambda$; λ — длина акустической волны; $M_0(kr)$ — функция Макдональда, описывающая поведение электрического поля

в области $0 \leq r \leq l$ при изменении угла θ от нуля до 180° , $\Delta\phi=90^\circ$; k — коэффициент связи двух механических колебаний с амплитудами U_1 и U_3 .

Как правило, необходимо обеспечить равные значения акустических σ -источников A_1 и B_1 (рис. 1,б), которые пропорциональны амплитудам парциальных акустических волн, т.е. $A_1 \approx u_1$; $B_1 \approx u_3$, а значения их зависели бы только от длины электродов ВШП.

Из анализа соотношений (4) следует, что это возможно получить, если

$$\alpha = \sqrt{\frac{1 + c_{11}/c_{44}}{1 + c_{33}/c_{44}}}, \quad (5)$$

при этом коэффициент F_3 равен

$$F_3 = \frac{e_{33}\alpha + e_{31}G}{e_{15} + \alpha G}, \quad (6)$$

где

$$G = \frac{N - c_{44} + c_{13} \alpha - c_{44} - c_{33}\alpha^2}{c_{11} + c_{13}\alpha} \frac{1 - F^2}{1 + F^2}; \quad N = \frac{2 c_{44} + c_{13}^2 \alpha^2}{c_{11} - c_{44}\alpha} \frac{\alpha^2}{1 + F^2}; \quad \Phi = \frac{f}{f_c}; \quad f_c \text{ — частота}$$

синхронизма ВШП для звукопровода с однородной поляризацией. Коэффициент металлизации $\Delta=2a/L$; определится как

$$\Delta = F_3 / \left(\sqrt{\frac{\varepsilon_{21}}{\varepsilon_{23}}} F_2 + F_3 \right), \quad (7)$$

где $L=2a+2b$. На рис. 2 показан график зависимости коэффициента Δ от относительной частоты Φ , рассчитанный для пьезокерамики типа ЦТС-19 [3], для которой $\alpha=1,04$.

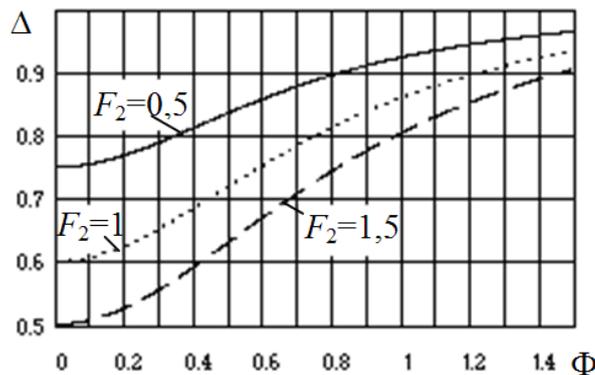


Рис. 2. Зависимости коэффициента металлизации Δ от относительной частоты Φ

Поскольку коэффициент F_3 связан с коэффициентами F_1 и F_2 (4), которые определяются отношением ширины электродов a (рис. 1,а) к зазору между ними в F_1 и распределением электрического поля E под электродами в F_2 ВШП, то, зная F_3 для заданного значения Φ , можно однозначно определить геометрию пьезопреобразователя, при которой акустические источники A_n и B_n будут одинаковыми (рис. 1,б) по амплитуде и сдвинутыми по фазе на 90° . Это позволяет достаточно просто синтезировать ЧХ избирательных устройств на ПАВ.

Наличие таких акустических источников, эквивалентных трехфазным ВШП [1], позволяет создавать структуры ВШП, характеризующиеся определенной направленностью излучения ПАВ с меньшими вносимыми потерями в сравнении с ВШП, расположенным на звукопроводе с однородной поляризацией. Последний вносит дополнительные потери, равные 6 дБ, связанные с двунаправленностью излучения.

EXCITATION OF SURFACE ACOUSTIC WAVES IN PIEZOSOUND CONDUCTOR WITH INHOMOGENEOUS POLARIZATION

V.G. BASOV

Abstract

The solution of a problem on definition of amplitudes acoustic created interdigital transducer in piezoceramic sound lead with inhomogeneous executed by a way of creation of periodic areas with mutual by perpendicular directions of polarization vectors polarization δ -sources of excitation of a surface acoustic wave has obeyed.

Литература

1. Речицкий В.И. Радиоконпоненты на поверхностных акустических волнах. М., 1984.
2. Басов В.Г., Синица В.Н., Лайков Г.Д. // Радиотехника и электроника. 1987. Вып. 16.
3. Зеленка И. Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах: Материалы, технология, конструкция, применение / Пер. с чешск. М., 1990.