

# ИЗБОР НА СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧЕН МАТЕРИАЛ ЗА СЪЗДАВАНЕ НА ТАКТИЛНА МАТРИЦА

В. Тодорова  
Ф. Филипов

Технически Университет - Габрово  
Технически Университет - София

*Abstract. The choice of the piezoceramic material of the tactile array producing is the purpose of this research. This choice is made by studying the influence of the parameters of the certain piezoelectric ceramics on the amplitude of the output information signal from the different sensitive points of the array field.*

При създаването на методика за конструктивно-технологично проектиране на сегнетопиезоелектричен тактилен матричен сензор един от основните въпроси е изборът на пиезоелектричен материал за подложка. Причината е, че тази подложка играе много важна роля като активна функционална среда, в която се възбужда, формира и разпространява бягащата обемна акустична вълна (БОУВ) за сметка на обратния и правия пиезоефект, съответно. Последната се явява информационен носител за приложеното върху матричното чувствително поле тактилно въздействие [1, 2].

Тази задача може да се реши, като се изследва влиянието на някои основни параметри на различни сегнетоелектрични материали, произвеждани от наши и чужди фирми върху амплитудата на информационния сигнал в различни точки от чувствителното поле на матрицата. Изследването е извършено чрез компютърна симулация с помощта на програмен модел, разработен с помощта на програмен пакет „TUTSIM“. Резултатите от проведените експерименти с реално изработени тактилни матрици, използващи пиезокерамични материали на фирмите „ПИЕЗОЕЛ“ - България, „Пъзекерамика“ - Украйна и „VERNITRON“ - Англия са сравнени с тези от компютърния експеримент.

Затихването на амплитудата на изходния информационен сигнал предвиг динамичния характер на информационния носител БОУВ в сегнетопиезоелектричния тактилен матричен сензор е критичен параметър по отношение на разпознаваемостта на тактиления образ, поради което тя се явява един от критериите при определяне размерността на чувствителното матрично поле. Този параметър има пряка връзка с избора на материал за активната подложка.

От електромеханичния модел на процесите на възбуждане, формиране, разпространение и регистриране на БОУВ в нерезонансен пиезоелектрически трансформатор със секционирани регистриращи електроди [1 - 4], явяващ се основен схемен елемент на сензор от такъв тип, е известно, че параметрите на самия сегнетокерамичен материал като активна среда на сензора, в която се разпространява БОУВ, оказват влияние основно върху максималната амплитуда на изходния сигнал от сензора. Симулационният модел позволява да се изследва влиянието върху амплитудата и затихването ѝ на следните основни параметри на керамичния материал: механичен качествен фактор  $Q_M$ , относителната диелектрична проникваемост на материала  $\epsilon'/\epsilon_0$ , пиезоелектричната константа  $d_j$ , плътността на материала  $\rho$  и скоростта на разпространение на звука  $v$

материала  $v_{ac}$ , коефициент  $\gamma = \beta/\omega_0$ , определящ симетричната еластична характеристика на материала в анизотропно (поляризирано) състояние, коефициент на вътрешно триене  $\eta$ , степен на поляризация  $\rho = P/P_{max}$  ( $P$  - действителната поляризация на пиезоматериала, определена от приложеното напрежение на поляризация;  $P_{max}$  - поляризация на материала, определена от максимално допустимото за даден пиезоматериал напрежение на поляризация).

•Влиянието на механичния качествено фактор може да бъде приблизително оценено чрез формулата за амплитудата на изходния сигнал  $U_o(t, x)$ :

$$U_o(t, x) = A \cdot z(t) \cdot e^{-\mu x} = A \cdot z(t) \cdot e^{-\frac{B}{Q_M} x}, \quad (1)$$

$A$  - обобщена константа, включваща някои електрически, електромеханични и механични константи на пиезокерамичния материал;  $z(t)$  - амплитуда на възбуденото механично трептене в зоната на възбудителната секция, пренасяно от БОАВ;  $B$  - константа, определяща механичните честотни свойства на пиезоматериала при постоянни дебелина на пиезопластината и скорост на звука;  $x$  - разстояние от възбудителния електрог до генераторния електрог на чувствителната точка от матричното поле, в която се регистрира амплитудата на изходния сигнал.

Резултатите от изследванията чрез симулационния модел позволяват да се построи зависимостта от фиг. 1 и показват, че материали с по-висок механичен качествено фактор осигуряват по-висока амплитуда на изходния сигнал. От тази гледна точка, при по-нататъшните изследвания е избран материал с качествено фактор  $Q_M \geq 300$ , стойност достигана в пиезокерамики от типа ПКМ - О3 и ПКМ-О4 (производство на фирма „ПИЕЗОЕЛ“ - България), ЦТС - 23 (украинско производство) PZT-4 и PZT-7A и PZT-8 (от фирмата „VERNITRON“ - Англия).

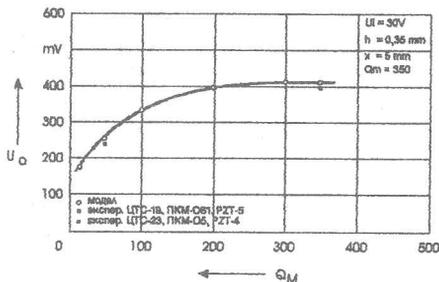
От друга страна коефициентът на затихване на амплитудата  $K = U_{o1}/U_{on}$  ( $U_{o1}$  и  $U_{on}$  - амплитуди на изходния сигнал съответно в първата и  $n$ -тата чувствителни точки на матрицата) се увеличава с увеличаване на  $Q_M$  съгласно формула (2):

$$K = U_{o1} / U_{on} = e^{-\mu x} = e^{-\frac{B}{Q_M} x}. \quad (2)$$

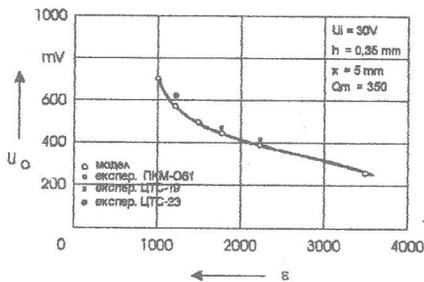
Това означава голямо затихване на сигнала в последните чувствителни точки от матричното поле при избор на материал с много голямо  $Q_M$  (от порядъка на 1000), което налага ограничения по отношение на дължината на тактилната матрица, а от там и на броя чувствителни точки в един ред от нея.

•Влиянието на параметрите скорост на звука  $v_{ac}$ , модул на Юнг  $Y_{11}$  и пиезоелектрични константи  $d_{ij}$  на сегнетоелектричния материал върху изходния информационен сигнал, съгласно резултатите от симулацията и експеримента, е много малко, тъй като и по каталожни данни за сегнето-керамичните материали, произвеждани от различни фирми у нас и в чужбина, тези параметри се изменят в месни диапазони -  $v_{ac} = (3,0 - 4,0) \cdot 10^3$  m/s;  $Y_{11} = (0,55 - 0,85) \cdot 10^{11}$  Pa;  $d_{ij} = (100 - 200) \cdot 10^{-12}$  C/N.

•Влиянието на диелектричната проникваемост  $\epsilon$ , на сегнетоелектричния материал върху изходния информационен сигнал, съгласно резултатите от математическата симулация, е показано на фиг. 2. За сравнение са представени и измерените амплитуди на информационния сигнал за опитни образци тактилни матрици, изготвени от някои стандартни сегнетоматериали, наше и чуждо производство.



Фиг. 1. Зависимост на изходния информационен сигнал от механичния качествен фактор на сегнетокерамичния материал



Фиг. 2. Зависимост на изходния информационен сигнал от диелектричната проникваемост на сегнетокерамичния материал

Моделната характеристика и експерименталните резултати показват силна зависимост на амплитудата на изходния сигнал от диелектричната проникваемост на материала, което е напълно закономерно предвид пряката зависимост между тези величини, която се демонстрира от следната зависимост:

$$U_O(t - \tau, x) = d_{31} \cdot p_O \cdot Y_{11} \cdot Z(t - \tau, x) / \epsilon_O \cdot \epsilon. \quad (3)$$

Тези закономерности определят избора на сегнетокерамични материали с по-ниски стойности на диелектричната проникваемост за изготвяне на тактилни матрици с БОАВ като информационен носител.

Анализът на получените резултати по отношение влиянието на основните електрични, механични и пиезоелектрични параметри на сегнетокерамичния материал върху амплитудата на изходния сигнал и нейното затихване по дължина на всеки ред от тактилната матрица показва силна зависимост по отношение на гъба от тези параметри: механичния качествен фактор  $Q_M$  и диелектричната проникваемост  $\epsilon$ . При това, зависимостта от механичния качествен фактор е увеличаваща се, а от диелектричната проникваемост - намаляваща.

Този факт изисква да се изследва комплексното влияние на двата параметъра  $Q_M$  и  $\epsilon$  върху амплитудата на изходния сигнал. За целта е направено изследване със симулационния модел, в който като моделни параметри са заложени стойностите на механичния качествен фактор и диелектричната проникваемост на сегнетокерамични материали, произведени от фирмите „ПЬЕЗОЕЛ“ - България, „VERNITRON LTD“ - Англия и „Пъезокерамика“ - Украйна. Резултатите от моделирането и някои експериментални резултати с

материали на посочените фирми при зададени конструктивни параметри на матрицата ( $x = 5 \text{ nm}$ ;  $h = 0,35 \text{ nm}$ ) и амплитуда на възбуждащия импулс  $U_0 = 30 \text{ V}$  са представени в таблица 1.

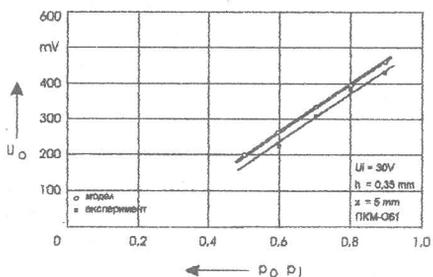
Таблица 1

Тип керамичен материал	$Q_M$	$\epsilon$	$U_0, \text{ mV}$ (симулация)	$U_0, \text{ mV}$ (експерим.)
ПКМ-03	350	1000	750	680
ПКМ-04	300	1200	650	625
ПКМ-05	70	1500	510	500
ПКМ-06	50	2300	320	300
ПКМ-061	140	2300	350	335
ЦТС-19	50	1750	480	425
ЦТС-23	200	1075	650	630
PZT-4	500	1300	550	510
PZT-5A	75	1700	400	-
PZT-5H	65	3400	390	-
PZT-7A	600	425	1000	-
PZT-8	1000	1020	650	600

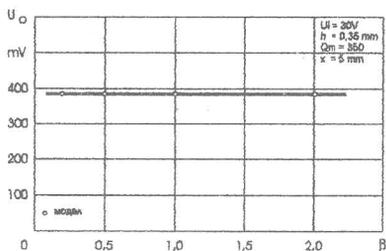
Анализът на резултатите от това изследване показва, че изборът на сегнетокерамичен материал за тактилни матрици с БОАВ като информационен носител, от гледна точка на формирането, разпространението и затихването на вълната в активната пиезосреда на подложката, трябва да се насочи към съществуващите керамики с по-висок механичен качествен фактор  $Q_M$  и по-ниска диелектрична проникваемост  $\epsilon$ . Препоръчително е да бъдат използвани сегнетокерамичните материали ПКМ-03 и ПКМ-04 (евентуално ПКМ-061) на фирма „ПИЕЗОЕЛ“ - България, ЦТС-23 - Украйна и PZT-7A, PZT-8 (евентуално PZT-4) на „VERNITRON“ LTD - Англия.

•Влияние на степеня на поляризация на сегнетокерамичния материал върху амплитудата на изходния информационен сигнал. За да се прояви пиезоэффектът в сегнетокерамичния материал, основно изискване е керамиката да бъде поляризирана. Степента на поляризация  $p_0 = P/P_{\max}$  на сегнетокерамичния материал оказва голямо влияние върху изходния информационен сигнал, което се вижда ясно от зависимост (3). Резултатите от симулационните процедури и експеримента са представени на фиг. 3.

Последната зависимост доказва очевидния факт, че с увеличаване степеня на поляризация, амплитудата на изходния информационен сигнал от матрицата рязко расте. Теоретически най-добре е да се използва керамика със степен на поляризация единица, но на практика, предвид несъвършенната структура на керамичния материал и вероятността за пробив, се използва поляризиращо напрежение 80 - 90 % от максимално допустимото за даден тип сегнетокерамика.



Фиг. 3. Зависимост на амплитудата на информационния сигнал от степента на поляризация на сегнетокерамичния материал

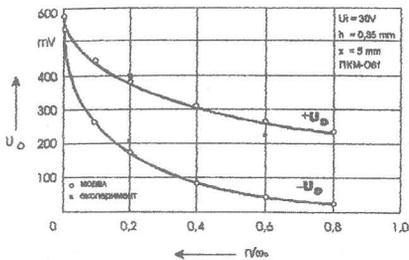


Фиг. 4. Зависимост на амплитудата на изходния информационен сигнал от коефициента  $\beta$  на сегнетокерамичния материал

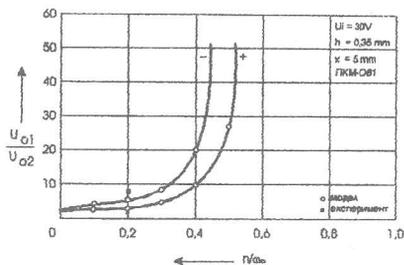
• Влиянието на коефициента  $\gamma = \beta/\omega$ , върху изходния информационен сигнал е свързано основно с дебелината на пластината  $h$  и коефициентът  $\beta$ , който за сегнетотвърд материал е по-голям от 0, а за сегнетомек - по-малък от 0. При постоянна дебелина на пластината изследванията със симулационния модел показват, че амплитудата на изходния сигнала почти не зависи от  $\beta$  (фиг. 4), тъй като  $\gamma$  е от порядъка на  $(10^{-14} - 10^{-16}) \text{ cm}^{-2}$ , а  $\omega_0$  е от порядъка на  $10^6$ . Това означава, че при по-грубо проектиране е възможно да се приеме  $\gamma \approx 0$ , което е вярно за изотропно твърдо тяло.

Полученият резултат дава възможност да се направи изводът, че коефициентът, определящ симетричната еластична характеристика на пиезоматериала, зависи само от един конструктивен параметър на матрицата - дебелината  $h$  на активната подложка. При избран конструктивен параметър  $h$  коефициентът  $\gamma$  несъществуващо влияе върху амплитудата на информационния сигнал.

Влиянието на коефициента на вътрешното триене  $n$  върху амплитудата и затихването на изходния сигнал при отчитане на положителната и отрицателната полуълна на изходния сигнал е представено на фиг. 5 и 6. Те са получени при използване на съотношението  $n = C \cdot \omega_0$ , където  $C = \text{const}$ , която се изменя в границите от 0 до 1 [5]. Изследването е направено при постоянна дебелина на пиезопластината  $h = 0,35 \text{ mm}$ , тъй като последната като конструктивен параметър влияе силно върху собствената честота на трептенията в пиезоелемента  $\omega_0 = 2\pi f_0$ . Получените резултати на фиг. 5 и 6 показват, че с увеличаване на коефициента на вътрешно триене  $n$ , амплитудата на изходния сигнал намалява, а коефициентът на затихване при положителна амплитуда на сигнала се увеличава по-малко, отколкото при отрицателната. Това означава, че чрез подходящ избор на пиезоматериал по отношение на  $n$  е възможно отрицателната амплитуда на изходния сигнал да бъде с минимална стойност, което създава предпоставки за по-лесна обработка на тактилната информация на изхода на сензора от интерфейсите схеми.



Фиг. 5. Зависимост на амплитудата на изходното напрежение от коефициента на вътрешно триене на сегнетокерамичния материал



Фиг. 6. Зависимост на коефициента на затихване на амплитудата на изходния сигнал от коефициента на вътрешно триене

### Заключение

Получените симулационни и експериментални резултати налагат извода, че при избора на сегнетокерамичен материал за тактилна матрица с БОАВ като информационен носител в нея могат да се използват два подхода. При първия разработката на тактилната матрица се извършва на базата на вече създадени и внедрени от редица наши и чужди фирми сегнетокерамични материали с параметри, известни от каталожната информация. Това води до ограничаване възможностите при проектирането на конструктивния вариант на тактилната матрица и на възбуждащите и изходните интерфейсни схеми за обработка на информацията, стеснява проектирането на тактилни матрични сензорни устройства по заявка от потребителя. При втория подход зададените от потребителя параметри на тактилната сензорно устройство служат като основа за разработката на нов сегнетокерамичен материал. Това повишава цената на тактилната матрица, но позволява използването на много по-прости хардуерни и софтуерни средства за обработка на тактилната информация от нея.

Разработката е финансирана от Национален фонд „Научни изследвания“ при МОНТ.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Todorova V., S.Milchev. *Ferroelectric Tactile Sensor Array. Proceedings of 2nd IFAC Symposium "SICICA'94", Hungary, Budapest, June 8-10, 1994, pp. 142-145*
2. Todorova V.D., S.M. Christov. *A System for Processing of Tactile Information. Proceeding of the 4-th ISMCR'95, Smolensice Castle, Slovakia June 12-16 1995, pp. 81 - 86*
3. Todorova V. *One-dimensional Model of the Electromechanical Processes in the Ferroelectric Tactile Array Sensor. The Fifth International Conference "ELECTRONICS'96", Sept. 27 - 29, 1996, Sozopol, Bulgaria (at the printer's)*
4. Todorova V., S.Christov, P.Todorov. *Design and Manufacturing Characteristics of Ferroelectric Tactile Arrays. Annual School. 17-th International Spring Seminar on Semiconductor and Hybrid Technologies. Sozopol, Bulgaria, 1994-1995, pp. 36-41*
5. Бондарь Н.Г. *Нелинейные колебания, возбуждаемые импульсами. Вища школа, Киев-Донецк, 1978, 213 с.*