

# ПЪРВИЧНА ОБРАБОТКА НА СИГНАЛА ОТ СЕГНЕТОПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНА ТАКТИЛНА МАТРИЦА

## PRIMARY SIGNAL PROCESSING FROM FERROELECTRIC ARRAY SENSOR

Гл.ас. д-р Велимира Димитрова Тодорова  
Милен Трифонов Младенов

Технически Университет "В. Априлов" - Габрово

**Abstract.** The choice of a device for primary processing of tactile information depends mainly on the working principal as well as constructive features of the sensor. The application of the sensor system for tactile sensing in the industrial robots defines the way of the scanning of output information signal from the sensor array. A ferroelectric sensor realized as one-dimensional tactile array with parallel exciting and parallel scanning of information is used in this research work. In this work is chosen the method of processing of the delay time of the output signal between two near-by electrodes as information carrier of tactile influence. The hardware of information processing system is decreased in this case. The accuracy of this method is guaranteed because of the linear delay time dependence on the distance between the exciting and registration electrodes of the tactile field as well as because of the insensitivity of this information parameter from the noise. In this work is offered a block diagram of the device of scanning and buffering of the information signal on the point of view of the selecting array construction and the methods of information processing. The timing diagrams are shown, too.

**Keywords:** Tactile information, array sensor, processing of the information, inputting of tactile information.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изборът на методи и средства за първична обработка на тактилна информация зависи от конкретният принцип на действие и конструкцията на използвания сензор. Детерминирането на проблема се извършва на основа на конкретната система за тактилно осъществяване и нейното приложение.

Широко приложение в практиката са намерили тактилните сензори, отличаващи се с универсалност и ниска цена. Препоръчителните им характеристики са представени в [1].

Един от най-перспективните типове тактилни сензорни системи се основава на използване на сегнетопиезоелектричен сензор [3, 4]. Негови отличителни характеристики са възможността за моделиране на обекта, високо бързодействие, добра шумоустойчивост и слаба зависимост от параметрите на околната среда [1, 3, 8, 9]. Използват се различни начини на действие [1, 3, 4]: отчитане на преместване с ултразвук; използване на бягаща акустична вълна (БАВ); използване на БАВ или ултразвук в комбинация с проводящ еластомер (с възможност за измерване на усилие).

Като активен материал могат да се използват монокристали (кварц), поликристали (керамики - BaTiO<sub>3</sub>, PZT и др.) и полимери (PVF<sub>2</sub>, което позволява корпусиране заедно със схемата за първична обработка на сигнала в общ чип дори по стандартна дебелослойна технология.

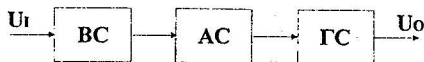
Най-често използвана конструкция на сензора е тактилната матрица /ТМ/. Като елемент на функционалната микроелектроника, тя може да се разглежда като развитие на базата на пиезоелектричен трансформатор /ПЕТ/ [4]. Пиезоелектричният трансформатор (ПЕТ) може да работи в три режима: резонансен - РПЕТ; широколентов - ШПЕТ; нерезонансен - НПЕТ.

Параметрите на използвания в конструкцията материал и технологията на изработване се избират в съответствие с теоретичната оценка на влиянието им върху изходния, информационен сигнал [6, 7].

Методът за обработка на сигнала трябва да отговаря на изискванията за бързодействие, достоверност на получената информация и сложност на апаратната реализация [5]. Интерфейсната схема е разработена с оглед общите критерии за оценка на схемите за първична обработка на тактилна информация и критериите на системно ниво, с цел да се улесни разработката на система за вторична обработка, базирана на използването на конвенционална изчислителна техника [1,5].

## 2. ИЗБОР НА СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧЕН ТАКТИЛЕН СЕНЗОР

Най-широко приложение като функционален елемент на ТМ намира НПЕТ [4]. Основна характеристика е работата му в импулсен режим на възбуждане [5, 6, 7]. Блоквата му схема е представена на фиг. 1.



BC - входна секция; AC - акустична среда (вълновод); GC - генераторна секция

Фиг. 1. Блокова схема на НПЕТ с БОАВ

В обема на НПЕТ не се натрупва енергия. Разпространява се БАВ (повърхностна - ПАВ и обемна - БОАВ). Тя формира т.н. информационен канал. Използването на ПАВ е съпроводено с редица технически трудности - изискване за много високо бързодействие поради голямата скорост на вълната  $v_{AC}$ . Допълнителен проблем е сложната форма на възбудителните електроди [3]. БОАВ лесно се възбужда и има сравнително малка  $v_{AC}$ , поради което могат да се използват конвенционални схеми за първична обработка на сигнала [5].

Възникването на БОАВ в сегнетоелектрици се обяснява с термодинамиката и вълновите теории на еластичността и електромагнетизма и се описва със система нелинейни уравнения на Мезон [2]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ik} &= \lambda_{iklm} S_{lm} - e_{ikl} E_l \\ D_i &= \epsilon_0 \epsilon_{ik} E_k - e_{ikl} S_{kl} \end{aligned} \quad (1)$$

където  $\lambda$ ,  $\epsilon$ ,  $\epsilon$  - тензори на еластичната, пиезоелектричната константи и диелектричната проникваемост;  $\sigma$ ,  $S$  - тензори на механичното напрежение и деформация;  $D$ ,  $E$  - вектори на електричната индукция и интензитет. Тази система може да бъде решена след известни опростявания по числен път [8].

Формата и размерите на електродите на функционалното поле на ТМ се определят от дължината на вълната и изискванията за разделителна способност. В случая са избрани ТМ 8x8 с размери на електродите 1x1 mm на разстояние 1 mm.

Изходен информационен носител е амплитудата и времезакъснението на сигнала. Чрез разработен едномерен модел на процесите в ТМ [9], за изходния сигнал е получено [6, 7]:

$$U_0(t - \tau, x) = d_{31} p_0 Y_{11} z(t) e^{-\frac{B}{Q_M} t} / \epsilon_0 \epsilon_r, \quad (2)$$

където  $d_{31}$ ,  $Y_{11}$  - пиезоелектричен модул и модул на Юнг;  $p_0$  - коефициент на поляризация под изходния електрод;  $\tau$  - закъснение на БОАВ в т.Х;  $B$  - константа, зависеща от материала и конструкцията;  $Q_M$  - качествено фактор.

От зависимост (2) се вижда, че амплитудата зависи от разтоянето  $X$  по нелинеен експоненциален закон. Като информационен носител, поради линейната зависимост (3) и по-добрата шумоустойчивост, е избрано закъснението между два съседни електрода на ТМ. Времезакъснението е постоянно за даден тип керамика (в случая за ПКМ-061  $v_{AC} = 3200$  m/s):

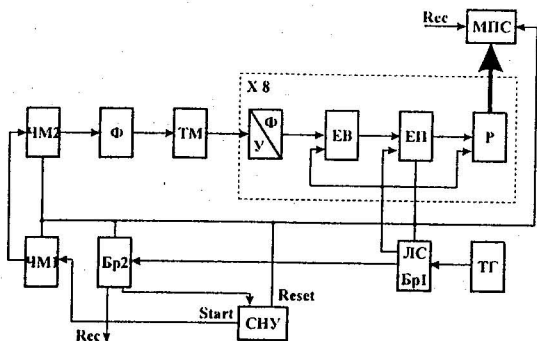
$$\tau = x/v_{AC} = 2 \cdot 10^{-3} / 3,2 \cdot 10^3 = 0,625 \mu s. \quad (3)$$

Разработени са две основни конструкции ТМ: “двукоординатна” и “еднокоординатна”. Първата се отличава със сложно възбудително устройство и грешки при сканиране поради наличие на “скрити зони” [4]. “Еднокоординатната” ТМ е избрана като оптимален вариант по отношение на входни-възбуждащи и изходни схеми и бързодействие.

### 3. ИЗБОР НА УСТРОЙСТВО ЗА ПЪРВИЧНА ОБРАБОТКА НА ТАКТИЛНА ИНФОРМАЦИЯ

Използва се схема с паралелно възбуждане и паралелно сканиране. Основното ѝ предимство се състои в това, че информационният ѝ вход е “отворен” само в периода, в който се очаква постъпване на информационен сигнал (фиг. 4 и фиг. 5). Предложеният принцип се основава на използване на съгласуван филтър за дадения сигнал [10], оптималният коефициент на предаване на който зависи от честотата по същия начин, както спектралната функция на входния сигнал. Това води до увеличаване на достоверността на получената информация.

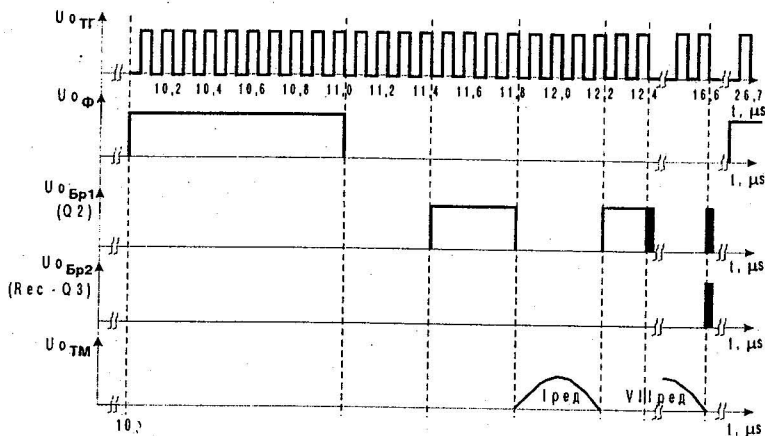
Структурната схема на интерфейс за четене на информацията от ТМ е представена на фиг.4.



ЧМ - чакан мултивибратор; У/Ф - усилвател/формировател; Ф - формировател; ЕВ - електронна врата; ЕП - елемент-памят; Р - регистър; ТГ - тактов генератор; ЛС - логическа схема; Бр - десетичен брояч; СНУ - схема за начално установяване

Фиг. 4. Структурна схема на интерфейс за първична обработка на информация

Времени диаграмите, илюстриращи принципа на действие на представената структурна схема, са показани на фиг. 5.



Фиг. 5. Времени диаграми на сканиране на информационния сигнал от ТМ

При включване СНУ подава стартов импулс към ЧМ1. Той изработва закъснение от 10 $\mu$ s, необходимо за пълно затихване на БОАВ преди началото на всеки работен цикъл. ЧМ2 формира възбуждащ импулс, чиито параметри се задават в блок Ф. Този импулс се подава към ТМ. Изходният сигнал се усилва и преобразува в поредица импулси със стандартно цифрово ниво в блок У/Ф. ЕВ се отваря след разрешение от Бр1, при което информационният сигнал се записва в ЕП и се буферира в преместващия регистър Р.

Специфично е използването на **Бр1**. Той формира първоначалното закъснение от  $0,8\mu\text{s}$ , необходимо за “стабилизиране” на БОАВ. След това ЛС превключва **Бр1** в режим на управление на **ЕВ**, като я отваря за  $0,4\mu\text{s}$  през интервали от  $0,2\mu\text{s}$  - цикли на “сканиране”. Последните се броят в **Бр2**, който след 8 такива цикъла, подава сигнал за запис на информацията в МПС и подготвя схемата за нов работен цикъл.

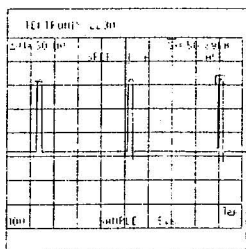
За реализация на принципната схема на интерфейса са използвани конвенционални схеми - стандартна ТТЛ серия. При това интерфейсната схема напълно отговаря на изискванията за бързодействие. Чакащите мултивибратори са в интегрално изпълнение 74221. Те се отличават с голяма точност на параметрите, независещи от температурата и захранващото напрежение. Импулсът, формиран на изхода на **ЧМ2**, напълно отговаря на изискванията за параметрите на възбуждащия импулс-  $t_{\mu} \leq 1\mu\text{s}$  и  $t_{\phi} < 50\text{ns}$ .

Високата тактова честота -  $10\text{MHz}$  ( $T = 0,1\mu\text{s}$ ) налага използване на специализирана интегрална схема 74320, която представлява кварцово стабилизиран автогенератор.

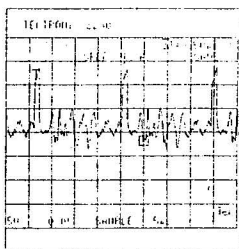
Управлявящата схема е една за 8-те информационни канала. Буферизираната информация е във вид подходящ за въвеждане в МПС.

#### 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

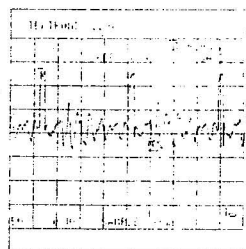
На фиг.7 са показани експериментално снетите времедиаграми на възбуждащия импулс и изходния сигнал съответно от 5-ти и 6-ти генераторни електроди на един ред от ТМ.



а/ възбуждащ импулс



б/ сигнал от 5-ти електрод



в/ сигнал от 6-ти електрод

Фиг. 7. Експериментални резултати от изходите на ТМ

Вреземезакъснението, отчетено от експериментално снетите времедиаграми, е  $\tau = 0,65\mu\text{s}$ , което се различава сравнително малко от изчислената стойност  $\tau = 0,625\mu\text{s}$ . Предложеният принцип на работа на схемата допуска сумарен технологичен толеранс  $0,4\mu\text{s}$ . Той може да се дължи на отклонения в  $v_{ac}$ , геометричните размери на електродите и разстоянията между тях в резултат на избраната дебелослойна технология на изготвяне на ТМ.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на получените експериментални резултати по отношение на изходните сигнали от електродите на ТМ, както и отчетеното времезакъснение между два съседни електрода на ред от матрицата, показва добро съвпадение с изчислените теоретични стойности на времезакъснението (3). Технологичният толеранс, заедно със сравнително голямото затихване на сигнала и шумът, причинен от отразената вълна, не нарушават работоспособността на схемата, тъй като интерфейсът се характеризира с голяма чувствителност и реагира само на първия максимум на сигнала. Това доказва, че избраният метод с използване на времезакъснение с постоянна стойност, получавано между два съседни генераторни електрода, като информационен носител, е най-подходящ. Апаратните разходи са минимални, а точността е най-голяма поради линейната зависимост  $\tau(x)$  и нечувствителността към шума.

При реализация на предложената структурна схема за първична обработка на тактилната информация със конвенционални ГТЛ схеми може да се очаква голямо бързодействие, стабилност на параметрите и надеждност. Висока чувствителност при сканиране на информацията може да бъде получена в резултат на използване на компаратор като входно стъпало. Начинът на буферизиране на информацията позволява лесно разработване на схема за въвеждане в МПС и вторична обработка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Harmon L.D. Touch-sensing Technology - a Review. Society of Manufacturing Engineering, Technical Report MSR-80-3, Michigan, 1980
2. Вустер, У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов. Мир. Москва, 1970
3. Аш, Ж. Датчики измерительных систем. Мир. Москва, 1992
4. Todorova V., S.Milchev. Ferroelectric Tactile Sensor Array. Proceedings of 2nd IFAC Symposium "SICICA'94", Hungary, Budapest, 1994, pp. 142-145
5. Todorova V., S. Milchev. Principles of Primary Processing of Tactile Information depending on the Organization of the Ferropiezoelectric Tactile Array Field. Lectures of the 18-th Int. Seminar on Semicond. and Hybrid Technologies, Vol.18, No1, 1995-1996, Sozopol, Bulgaria, pp.129-131
6. Todorova V., S. Christov, Ph. Phillipov. Consideration about the Choice of Design Parameters of a Ferropiezoelectric Tactile Array Sensor. Scientific reports of 12-th International Conference Nitweida 1996, vol. II, 13 - 15 Nov. 1996, Mittweida, Germany, pp. 288 - 296, ISSN 1430-3698
7. Todorova V. Influence of the parameters of the substrate material on the information signal of the ferropiezoelectric tactile array. 13. Internationale Mittweidaer Fachtagung "Innovative Technologien IWKM'98", 11 - 14 Nov. 1998, Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida (FH), Nr.6, 1998, Germany, pp.53 - 58, ISSN 1430-3698
8. Тодорова В. Двумерно моделиране и симулиране на физичните процеси в сегнетопиезоелектрична функционална тактилна матрица. "Електротехника и електроника", 11-12, 1999, сс. 3 - 8
9. Тодорова В. Едномерен модел на електромеханичните процеси в сегнетопиезоелектричен матричен сензор. ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА - "ЕТ'96", 1996, Созопол, с.80-89
10. Ненов Г. Теория на сигналите. "Техника", С. 1990, с.253