

УДК 677.621.383

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДАТЧИКА С ТКАНЬЮ**

*Е.Ф. РАЗУМОВА, А.К. РАСТОРГУЕВ*

**(Ивановская государственная текстильная академия)**

В работах [1] и [2] определены параметры полевых датчиков, в рабочей зоне которых находится однородный текстильный продукт. Вместе с тем, при разработке механизмов оперативного контроля обрабатываемого материала требуется знать взаимосвязь положения его элементов в плоскости движения с параметрами электрического преобразователя, а также зависимость величины сигнала датчика от геометрических размеров контролируемого элемента (например, шва ткани), величины рабочей зоны, напряженности электрического поля в ней и координат положения контролируемого элемента текстильного материала.

Для решения поставленных задач используем метод [3], в основу которого положена связь пондеромоторного воздействия поля на контролируемый элемент с изменением энергии поля.

Нарушение однородности полотна ткани швом заключается в изменении толщины полотна, его плотности и диэлектрической проницаемости. Изменение геометрических размеров полотна отражается механической моделью шва [4]. Изменение электрических свойств представим моделью, в которой нарушение однородности полотна определяется диполем в форме эллипсоида с электрическим моментом, равным:

$$P_{\text{э}} = 4\pi E_0 abcE, \quad (1)$$

где  $a, b, c$  – полуоси эллипсоида;  $E_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – диэлектрическая постоянная;  $E$  – напряженность поля в текстильном материале (диэлектрике).

Напряженность поля в диэлектрике [5]:

$$E = \frac{4\pi}{3} P, \quad (2)$$

где  $P$  – поляризация диполя, определяемая в общем случае выражением:

$$P = \frac{3(E_1 - E_2)}{4\pi(E_1 + 2E_2)} E_x. \quad (3)$$

где  $E_1$  – диэлектрическая постоянная диэлектрика над электродами датчика;  $E_2$  – диэлектрическая постоянная диэлектрика под электродами датчика (рис. 1);  $E_x$  – напряженность поля [6] в рабочей области.

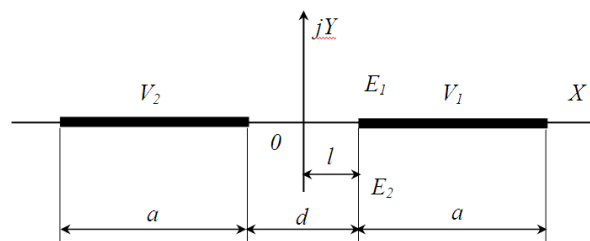


Рис. 1

В случае контроля полотна ткани  $E_1$  – диэлектрическая постоянная текстильного материала ( $E_{\text{тм}}$ );  $E_2$  – диэлектрическая постоянная воздушной среды, равная

1,006 ≈ 1. Тогда с учетом (2) и (3) получим из (1) величину диэлектрического момента диполя:

$$P_{\text{э}} = 4\pi E_0 abc \frac{E_{\text{тм}} - 1}{E_{\text{тм}} + 2} E_x. \quad (4)$$

При разработке механизма для обнаружения швов ткани необходимо учитывать, что диэлектрическая проницаемость шва не совпадает с аналогичным параметром ткани, так как в состав шва могут входить составляющие, отличающиеся своими диэлектрическими свойствами от ткани.

Изменение электрических свойств контролируемого материала проявляется в виде механической силы, пропорциональной скорости изменения энергии поля по координате X.

$$f_x = -\frac{\partial W}{\partial x}. \quad (5)$$

Кроме того, возмущение электрического поля датчика, вызванное нарушением однородности продукта, является изменением емкости, которое после соответствующей обработки может быть использовано в качестве сигнала для управления механизмами технологической машины.

Энергия поля между двумя электродами датчика определяется выражением [5]:

$$W = \frac{1}{2} \int \int_S D dS \cdot EdL, \quad (6)$$

где L – расстояние между электродами; E – напряженность поля между электродами; S – поверхность, пересекаемая потоком вектора смещения, идущим от первого электрода ко второму; D – вектор электрического смещения, связанный с электрическим зарядом [5]:

$$\int_S D dS = q. \quad (7)$$

Если интегрирование (6) распространить по длине на все расстояние от одного электрода к другому, то:

$$\int_L EdL = V_1 - V_2, \quad (8)$$

а

$$W = \frac{1}{2} q(V_1 - V_2) = 0,5qU = 0,5CU^2. \quad (9)$$

где  $U = V_1 - V_2$  – разность потенциалов между электродами; C – емкость, образованная электродами датчика, в поле которого находится контролируемый текстильный продукт.

Подставляя в (5) значение энергии из (9), получим:

$$f_x = -\frac{U^2}{2} \frac{dC}{dx}. \quad (10)$$

Величину силы, действующей на текстильный материал, внесенный в поле датчика, выразим через электрический момент (4) и параметры поля.

$$f_x = P_{\text{э}} \frac{\partial E_x}{\partial x}. \quad (11)$$

Из (10) и (11) следует, что:

$$P_{\text{э}} \frac{\partial E_x}{\partial x} = -\frac{U^2}{2} \frac{dC}{dx}, \quad (12)$$

а

$$dC = \frac{2}{U^2} P_{\text{э}} dE_x. \quad (13)$$

С учетом выражения (4) для электрического момента диполя имеем:

$$dC = -\frac{8\pi E_0 abc}{U^2} \frac{E_{\text{тм}} - 1}{E_{\text{тм}} + 2} E_x dx = -A E_x dx, \quad (14)$$

где  $A = \frac{8\pi E_0 abc}{U^2} \frac{E_{\text{тм}} - 1}{E_{\text{тм}} + 2}$  – конструктивная постоянная. (15)

Изменение величины емкости датчика, вызванное перемещением участка ткани с нарушенной однородностью (например,

швом) через рабочую область, находится в результате интегрирования выражения:

$$\Delta C = -A \int_{E_{x1}}^{E_{x2}} E_x dx = -\frac{A}{2} (E_{x2}^2 - E_{x1}^2). \quad (16)$$

Так как с увеличением координаты X значение  $E_x^2$  стремится к нулю, то в пределе имеем:

$$\Delta C = -\frac{A}{2} (-E_{x1}^2) = \frac{A}{2} E_x^2. \quad (17)$$

Подставив в (17) значение конструктивной постоянной, получим:

$$\Delta C = \frac{16E_0abc}{\pi} \frac{E_{TM} - 1}{E_{TM} + 2} \frac{1}{\sqrt{(x^2 - y^2 - \ell^2)^2 + 4x^2y^2}}. \quad (20)$$

Если размеры модели шва ткани, величина расстояния между электродами датчика и координаты положения модели шва ткани определяются в миллиметрах, а ем-

$$\Delta C = \frac{4\pi E_0abc}{U^2} \frac{E_{TM} - 1}{E_{TM} + 2} E_x^2. \quad (18)$$

Напряженность электрического поля в рабочей области датчика определяется выражением [3]:

$$E = \frac{2U}{\pi} \frac{1}{\sqrt{(x^2 - y^2 - \ell^2)^2 + 4x^2y^2}}. \quad (19)$$

Подставляя в (18) значение напряженности поля из (19), получаем

кость датчика в пикофарадах, выражение (20) с учетом значения  $E_0$  принимает вид:

$$\Delta C = \frac{0,045abc}{\sqrt{(x^2 - y^2 - \ell^2)^2 + 4x^2y^2}} \frac{E_{TM} - 1}{E_{TM} + 2}, \text{ пФ.} \quad \text{тТ} \quad (21)$$

Здесь  $\ell = 0,5d$  (рис.1).

Изменение емкости датчика, когда шов ткани находится в середине рабочей области при  $X = 0$  и  $Y = 0$ , равно:

$$\Delta C_0 = \frac{0,045abc}{\ell^2} \frac{E_{TM} - 1}{E_{TM} + 2}, \text{ пФ.} \quad (22)$$

Тогда с учетом (21) и (22) найдем относительное изменение приращения емкости:

$$\frac{\Delta C}{\Delta C_0} = \frac{\ell^2}{\sqrt{(x^2 - y^2 - \ell^2)^2 + 4x^2y^2}}. \quad (23)$$

Зависимость относительного приращения емкости от перемещения шва ткани в рабочей области датчика при  $\ell = 1$ ,  $Y = 0,1$  представлена на рис.2.

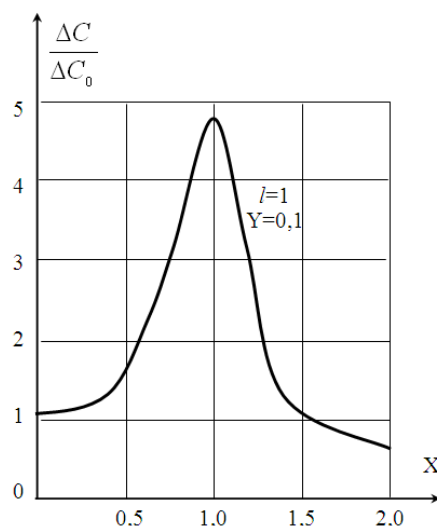


Рис. 2

Из выражений (21) и (22) следует, что максимальное приращение емкости, вызванное контролируемым элементом текстильного продукта (например, швом тка-

ни), наблюдается при прохождении этого элемента над ребром электрода датчика (рис.1), напряженность поля над которым имеет максимальное значение [6].

Необходимо определить, что величина изменения емкости датчика пропорциональна размерам контролируемого элемента и зависит от его диэлектрической проницаемости.

Последнее обстоятельство может стать решающим в случае возможности произвольного выбора способа соединения кусков ткани в непрерывное полотно. Применение специальных материалов для соединения кусков ткани, имеющих значительную величину диэлектрической проницаемости, позволит увеличить полезный сигнал (21) и улучшить соотношение сигнал/шум.

## ВЫВОДЫ

1. Установлена математическая взаимосвязь элементов контролируемого текстильного материала с параметрами электрического поля датчика с копланарными электродами.

2. Определена зависимость приращение емкости датчика от размеров контролируемого элемента, координат его нахождения в рабочей области, конструктивных параметров датчика и диэлектрической постоянной текстильного материала.

3. Полученные математические выражения составляют основу методики расчета и проектирования датчиков механизмов оперативного контроля текстильного продукта в процессе его обработки на текстильных машинах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К.* Полевые датчики механизмов контроля продукта при его обработке на текстильной машине // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 4.

2. *Разумова Е.Ф.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №6.

3. *Расторгуев А.К.* Применение электромагнитных датчиков в текстильной промышленности. – В кн.: Автоматика и электропривод машин текстильного производства. – М.: Легкая индустрия, 1973. С. 84...147.

4. *Расторгуев А.К.* Системы автоматического управления машинами при отделке ткани. – М.: Легкая индустрия, 1977.

5. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. – М.: Гос. издательство технико-теоретической литературы, 1954.

6. *Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К.* Определение и исследование области копланарного полевого датчика механизмов контроля текстильного продукта // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 5.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиоэлектроники. Поступила 30.10.08.