

УДК 677:621.383

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПОЛЕВОГО ДАТЧИКА
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ МЕХАНИЗМА КОНТРОЛЯ ТКАНИ**

Е.Ф. РАЗУМОВА, А.К. РАСТОРГУЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия)
E-mail: info@igta.ru

Приведено исследование силового взаимодействия электрического поля датчика с элементом ткани. Разработана методика расчета полевого датчика механизма контроля ткани с параллельными электродами.

Research of the force effect of the gauge electric field with a fabric element is given herein, the design procedure of the field gauge of the fabric control mechanism with the parallel electrodes is developed.

Ключевые слова: силовое взаимодействие ткани с электрическим полем датчика, соединяющий шов, электрод, электрический диполь, параллельные электроды.

В результате силового взаимодействия ткани с электрическим полем датчика изменяется его емкость, что позволяет определить нарушение однородности контролируемой ткани. Наиболее заметным нарушением структуры полотна обрабатываемой ткани является шов, соединяющий куски ткани в полотно.

На шов, находящийся в электрическом поле рабочей области датчика, действует пндемоторная сила [1]:

$$F = - \frac{\partial W_3}{\partial x}, \quad (1)$$

где W_3 – энергия поля датчика.

Для выполнения исследования представим оверлочный шов как электрический

диполь, имеющий форму эллипсоида с полуосями a , b , T (рис.1) и электрическими полюсами $m_1 = m_2 = m$.

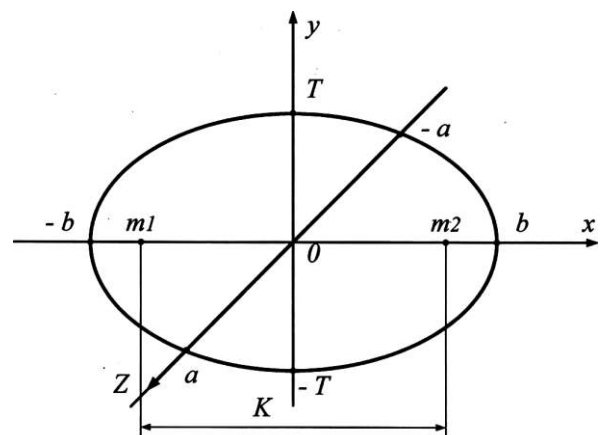


Рис. 1

На электрический диполь действует сила:

$$F_x = -mE_x + m \left(E_x + \frac{\partial E_x}{\partial x} dx \right) = m \frac{\partial E_x}{\partial x} dx. \quad (2)$$

Так как поле является потенциальным, то при $dx = K$ выражение для силы можно представить через электрический момент диполя P_3 :

$$F_x = mK \frac{\partial E_x}{\partial x} = P_3 \frac{\partial E_x}{\partial x}. \quad (3)$$

Электрический момент диполя, представляющего собой шов слабополяризующейся ткани, определяется выражением [2]:

$$P_3 = 4\pi ab T_{ш} \varepsilon_0 \varepsilon E_x, \quad (4)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость ткани.

Энергия датчика с параллельными электродами может быть определена через напряжение между ними и емкость в виде:

$$W_3 = \frac{1}{2} CU^2. \quad (5)$$

Подставляя в (1) (5), получаем:

$$F = -\frac{U^2}{2} \frac{dC}{dx}. \quad (6)$$

Принимая во внимание равенство левых частей уравнений (3) и (6), находим:

$$P_3 \frac{\partial E_x}{\partial x} = -\frac{U^2}{2} \frac{dC}{dx}. \quad (7)$$

Отсюда получаем:

$$dC = -\frac{2}{U^2} P_3 dE_x. \quad (8)$$

С учетом (4) имеем:

$$dC = -\frac{8\pi ab T_{ш} \varepsilon_0 \varepsilon}{U^2} E_x dE_x = AE_x dE_x, \quad (9)$$

где

$$A = \frac{8\pi ab T_{ш} \varepsilon_0 \varepsilon}{U^2} \quad (10)$$

– конструктивная постоянная датчика.

Изменение величины емкости датчика, вызванное перемещением шва ткани через рабочую область, найдем интегрированием выражения (9):

$$C_{ш} = -A \int_{E_{x1}}^{E_{x2}} E_x dE_x = -\frac{A}{2} (E_{x2}^2 - E_{x1}^2). \quad (11)$$

Так как с увеличением x (удаление шва от рабочей области) значение E_{x2} стремится к нулю, в пределе найдем:

$$C_{ш} = -\frac{A}{2} (-E_{x1}^2) = \frac{A}{2} E_{x1}^2. \quad (12)$$

С учетом значения конструктивной постоянной имеем:

$$C_{ш} = \frac{4\pi ab T_{ш} \varepsilon_0 \varepsilon}{U^2} E_x^2. \quad (13)$$

Поскольку большая часть электрода датчика по длине совпадает по форме с линией равного потенциала, напряженность поля вдоль оси OX определяется соотношением:

$$E_x = E_0 \frac{1}{e^{\frac{2\pi x}{d}} + 1}, \quad (14)$$

где d – расстояние между электродами датчика; E_0 – напряженность равномерного поля в рабочей области датчика.

Подставим значение напряженности поля, определяемое уравнением (14), в (13) и получим:

$$C_{ш} = \frac{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon ab T_{ш}}{d^2 \left(e^{\frac{2\pi x}{d}} + 1 \right)}. \quad (15)$$

Максимальное изменение емкости датчика наблюдается в случае, когда шов находится в глубине рабочей области при $x < -1$:

$$C_{\text{ш, макс}} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_{\text{ш}}abT_{\text{ш}}}{d^2}, \quad (16)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $a, b, T_{\text{ш}}$ – размеры полуосей эллипсоида (рис. 1), м; d – расстояние между электродами датчика, м.

Выражая геометрические размеры в мм, а емкость датчика – в пФ, получаем расчетное уравнение для определения емкости датчика

$$C_{\text{ш}} = \frac{0,111\epsilon_{\text{ш}}abT_{\text{ш}}}{d^2 \left(e^{\frac{2\pi}{d}x} + 1 \right)}, \text{ пФ.} \quad (17)$$

Начальная емкость датчика (емкость датчика до введения в рабочую область ткани) определяется по формуле:

$$C_{\text{нач}} = \frac{8,85\epsilon S}{d} \cdot 10^{-3}, \text{ пФ.} \quad (18)$$

где S – площадь электродов датчика, мм²; d – расстояние между электродами, мм; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, находящегося между электродами. В рассматриваемом случае это воздух и $\epsilon = 1,0061 \approx 1$.

Емкость датчика при наличии в рабочей области датчика ткани определяется по формуле:

$$C_{\text{тк}} = \frac{0,111\epsilon_{\text{тк}}abT_{\text{тк}}}{d^2}. \quad (19)$$

Относительное изменение емкости датчика при прохождении шва ткани через его рабочую область находится из соотношения выражений (17) и (19):

$$C_{\text{отн}} = \frac{C_{\text{ш}}}{C_{\text{тк}}} = \frac{T_{\text{ш}}\epsilon_{\text{ш}}}{T_{\text{тк}}\epsilon_{\text{тк}}}. \quad (20)$$

В случае выполнения равенства $\epsilon_{\text{ш}} = \epsilon_{\text{тк}}$ выражение (20) принимает вид:

$$C_{\text{отн}} = \frac{T_{\text{ш}}}{T_{\text{тк}}}. \quad (21)$$

Таким образом, относительное изменение емкости датчика при прохождении шва ткани через рабочую область в данном случае определяется отношением толщины шва к толщине полотна ткани.

Для проектирования датчика механизма контроля ткани необходимо знать диэлектрическую проницаемость ткани, проходящей обработку на текстильных машинах. В табл.1 приведены экспериментально определенные значения диэлектрической проницаемости некоторых видов хлопчатобумажных тканей.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Артикул ткани	Рисунок, №	Вид ткани	$C_{\text{тк}}$, пФ	C_0 , пФ	$\epsilon = \frac{C_{\text{тк}}}{C_0}$
1	72317	1256	Олимпия	90,8	66,2	1,372
2	72317	1372	Олимпия	80,7	64,8	1,245
3	72317	1380	Олимпия	90,1	65,7	1,371
4	72345	1286	Лидия	85,3	67,4	1,266
5	72345	1332	Лидия	79,5	66,0	1,205
6	Лира	1399	-	84,9	64,3	1,320
7	72349	1257	Ретро	84,9	62,9	1,350
8	72349	1317	Ретро	77,0	62,1	1,240
9	72349	1538	Ретро	83,4	62,0	1,345

Определим основные параметры датчика при следующих данных: вид контролируемой ткани Ретро: $\epsilon_{\text{тк}} = 1,350$; диэлектрическая проницаемость шва $\epsilon_{\text{ш}} = \epsilon_{\text{тк}}$; длина полуоси $b = 5$ мм; длина полуоси $T_{\text{тк}} = 0,25$ мм; длина полуоси $T_{\text{ш}} =$

$= 0,75$ мм; длина полуоси $a = 50,0$ мм; расстояние между электродами датчика $d = 2$ мм.

Результаты вычислений приведены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Емкость датчика, пФ					
$C_{\text{нач}}$	$C_{\text{тк}}$	$C_{\text{ш}}$	$\Delta C_1 = C_{\text{тк}} - C_{\text{нач}}$	$\Delta C_2 = C_{\text{ш}} - C_{\text{нач}}$	$\Delta C_3 = C_{\text{ш}} - C_{\text{тк}}$
2,21	2,34	7,02	0,13	4,81	4,68

Для принятых параметров шва ткани датчика определим зависимость емкости датчика от положения шва при введении

его в рабочую область $C_{\text{ш}} = \Psi(x)$. Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	0
x , мм	0,50	0,25	-0,25	-0,50	-1,0	-1,5	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-7,0
$C_{\text{д}}$, пФ	1,208	2,198	3,946	4,369	5,132	5,739	6,183	6,887	6,962	6,973	7,014

При выходе шва из рабочей области емкость датчика изменяется в обратном порядке (рис. 2).

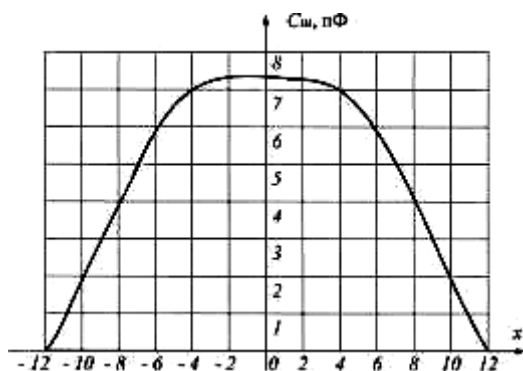


Рис. 2

График рис. 2 построен относительно оси, соответствующей максимальному значению емкости датчика.

ВЫВОДЫ

В результате исследования силового взаимодействия электрического поля датчика с элементом ткани разработана методика расчета полевого датчика с параллельными электродами механизма контроля ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1989.
2. Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №5. С.93...97

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиоэлектроники. Поступила 07.05.09.