

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ КОПЛАНАРНОГО
ПОЛЕВОГО ДАТЧИКА МЕХАНИЗМОВ
КОНТРОЛЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОДУКТА**

Е.Ф. РАЗУМОВА, А.К. РАСТОРГУЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

Полевые датчики с копланарным расположением электродов позволяют создавать механизмы контроля текстильного продукта с односторонним взаимодействием с рабочей областью датчика. В результате такого взаимодействия изменяется

энергия, запасенная в системе датчик – контролируемый продукт (например, ткань). Эти изменения сопровождаются изменением электрической емкости датчика, которая в случае контроля ткани является функцией ее параметров:

$$C = \Psi(P_y, P_{осн}, T_{ут}, T_{осн}, E_{ут}, E_{осн}, T_T, P_{ш}), \quad (1)$$

где P_y – плотность ткани по утку, $P_{осн}$ – плотность ткани по основе, $T_{ут}$ – толщина уточных нитей, $T_{осн}$ – толщина основных

нитей, $E_{ут}$ – диэлектрическая проницаемость уточных нитей, $E_{осн}$ – диэлектрическая проницаемость основных нитей, T_T –

толщина ткани, $\Pi_{ш}$ – обобщенный параметр шва ткани, являющийся функцией толщины и длины шва, а также способа соединения отдельных кусков ткани [1].

Для определения взаимодействия контролируемого продукта с рабочей областью датчика необходимо определить параметры его электрического поля. Для этого используют метод конформных преобразований [2], [3].

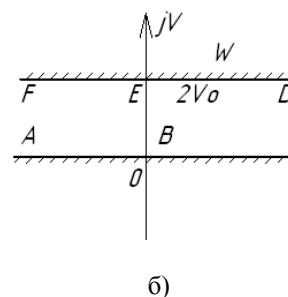
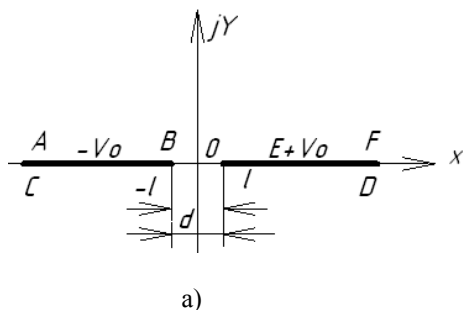


Рис. 1

Примем, что потенциал одного электрода датчика $+V_0$, а другого $-V_0$, и отображим поле рабочей области Z на полосу плоскости W : $0 < \text{Im} W < 2V_0$ (рис. 1-б), представляющую поле датчика с параллельными электродами, разность потен-

циалов между которыми равна $2V_0$. Конформное отображение плоскости Z с выброшенными лучами $-\infty \leq x \leq \ell$ и $\ell \leq x \leq \infty$ на указанную полосу плоскости W выполним с помощью функции [4]:

$$W = \frac{2V_0}{\pi} \ln(Z + \sqrt{Z^2 - 1^2}) = \frac{2V_0}{\pi} \text{arch} \frac{Z}{1} = U + jV. \quad (2)$$

Преобразуя (2), находим:

$$Z = \ell \text{ch} \frac{\pi W}{2V_0} = \ell \text{ch} \left(\frac{\pi}{2V_0} U + j \frac{\pi}{2V_0} V \right) = \left(\text{ch} \frac{\pi}{2V_0} U \cos \frac{\pi}{2V_0} V + j \text{sh} \frac{\pi}{2V_0} U \sin \frac{\pi}{2V_0} V \right) \ell. \quad (3)$$

Так как $Z = X + jY$, то из последнего выражения координаты плоскости Z определяются соотношениями:

$$X = \left(\text{ch} \frac{\pi}{2V_0} U \cos \frac{\pi}{2V_0} V \right) \ell, \quad (4)$$

$$Y = \left(\text{sh} \frac{\pi}{2V_0} U \sin \frac{\pi}{2V_0} V \right) \ell. \quad (5)$$

Полагая $U = \text{const}$, из (4) и (5) найдем выражение, определяющее силовые линии

поля датчика в плоскости Z :

$$\frac{X^2}{\ell^2 \text{ch}^2 \frac{\pi}{2V_0} U} + \frac{Y^2}{\ell^2 \text{sh}^2 \frac{\pi}{2V_0} U} = 1. \quad (6)$$

Силовые линии поля датчика с копланарными электродами в соответствии с (6) образуют семейства эллипсов.

Эквипотенциальные линии электрического поля датчика определим, полагая $V = \text{const}$. Тогда из (4) и (5), принимая во

внимание, что

$$\operatorname{ch} x = 0,5(e^x + e^{-x}),$$

а

$$\operatorname{sh} x = 0,5(e^x - e^{-x}),$$

получим:

$$\frac{X^2}{\ell^2 \cos^2 \frac{\pi}{2V_0} V} - \frac{Y^2}{\ell^2 \sin^2 \frac{\pi}{2V_0} V} = 1. \quad (7)$$

Выражение (7) представляет гиперболу. Таким образом, эквипотенциальные линии поля датчика – семейство гипербол, ортогональных к силовым линиям поля датчика. Картина поля датчика, рассчитанная по формулам (4) и (5), представлена на рис. 2.

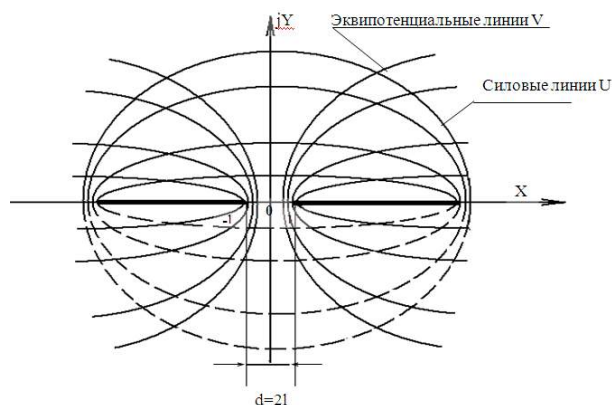


Рис. 2

Через комплексный потенциал (2) выражаются все основные величины, связанные с полем. Так, величина вектора напряженности поля датчика с копланарными пластинами равна:

$$E = \left| \frac{dW}{dZ} \right| = \frac{2V_0}{\pi} \left| \frac{1}{Z + \sqrt{Z^2 - \ell^2}} \left(1 + \frac{Z}{\sqrt{Z^2 - \ell^2}} \right) \right| = \frac{2V_0}{\pi} \frac{1}{\sqrt{Z^2 - \ell^2}}, \quad (8)$$

Так как напряженность поля в зазоре между электродами датчика в начале координат

$$E_0 = \frac{2V_0}{\pi \ell}, \quad (9)$$

выражение (8) принимает вид:

$$E = \frac{E_0 \ell}{\sqrt{Z^2 - \ell^2}}. \quad (10)$$

Учитывая, что $Z = X + jY$, находим модуль напряженности поля в относительных единицах:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\ell}{\sqrt{4(X^2 - Y^2 - \ell^2)^2 + 4X^2Y^2}}. \quad (11)$$

На рис. 3 показана зависимость $\frac{E}{E_0} = \Psi\left(\frac{X}{\ell}\right)$ для различных значений отношения Y/ℓ .

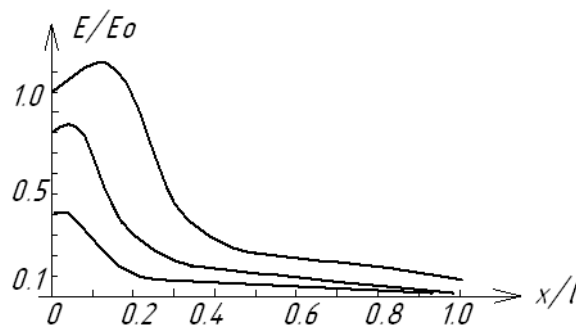


Рис. 3

Из данных характеристик следует, что величина напряженности поля имеет ярко выраженный максимум при $X = 0$, причем относительное значение напряженности поля возрастает с уменьшением отношения Y/ℓ . За пределами $|X| \geq 3\ell$ напряженность поля существенно снижается. Таким образом, пространство электрического поля датчика с наибольшей напряженностью ограничивается областью, прилегающей к краям электродов, разделенных зазором $d = 2\ell$ (рис. 1).

При практических расчетах датчиков возможно использование упрощенных формул. В случае движения текстильного материала по поверхности электродов датчика, когда можно принять $Y = 0$, значение относительной напряженности поля находится по формуле:

$$\left| \frac{E}{E_0} \right|_x = \left(\frac{X^2}{\ell^2} - 1 \right)^{-1/2}. \quad (12)$$

В случае разработки механизмов контроля положения продукта при изменении расстояния между продуктом и электродами датчика ($X = 0$) используется формула:

$$\left| \frac{E}{E_0} \right|_y = \left(\frac{Y^2}{\ell^2} + 1 \right)^{-1/2}. \quad (13)$$

Другим важнейшим параметром датчика механизма контроля продукта, определяющим его конструкцию, является емкость датчика. Так как разность потенциа-

лов на электродах равна $2V_0$, то емкость:

$$C = \frac{Q}{2V_0}, \quad (14)$$

где Q – электрический заряд в Кл, V_0 – в В.

Величина электрического заряда двухэлектродного датчика, имеющего длину, равную b , связана с напряженностью поля интегральным соотношением:

$$Q = 2E_0 b \int_0^a E_x dx, \quad (15)$$

где E_x – напряженность поля на поверхности электродов.

Полагая $Y = 0$, из (11) находим:

$$E_x = \frac{E_0 \ell}{\sqrt{x^2 - \ell^2}}. \quad (16)$$

Подставив в (15) выражение (16), получим [5]:

$$Q = 2E_0 b E_0 \ell \int_0^a \frac{dx}{\sqrt{x^2 - \ell^2}} = \text{arch} \frac{x}{\ell} = 2E_0 b E_0 \ell \ln \left(\frac{a}{\ell} + \sqrt{\frac{a^2}{\ell^2} - 1} \right). \quad (17)$$

С учетом (9) и (14) находим выражение для расчета емкости датчика с воздушным диэлектриком.

$$C = \frac{2bE_0}{\pi} \ln \left(\frac{a}{\ell} + \sqrt{\frac{a^2}{\ell^2} - 1} \right), \text{ Ф}. \quad (18)$$

Здесь $E_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$, Ф/м – электрическая постоянная; a – ширина электрода; b – длина электрода; $\ell = 0,5d$, где d – расстояние между электродами (рис. 1).

Если размеры электродов датчика выразить в мм, а емкость в пФ, формула (19) примет вид:

$$C = 0,0177b \ln \left(\frac{a}{\ell} + \sqrt{\frac{a^2}{\ell^2} - 1} \right), \text{ пФ}. \quad (19)$$

В полученном выражении (19) не учитывается влияние элементов конструкции, поддерживающих электроды датчика, на величину емкости. Вместе с тем, за счет взаимодействия поля датчика с деталями конструкции емкость увеличивается. Поэтому проектирование датчика механизма контроля текстильного продукта должно вестись таким образом, чтобы увеличение емкости за счет элементов конструкции, выполненных из диэлектрического материала, было минимальным.

В Ы В О Д Ы

1. Получено выражение для комплексного потенциала рабочей области поля датчика с двумя копланарными электродами, позволяющее определить все основные

показатели, связанные с полем; определена форма силовых и эквипотенциальных линий поля датчика.

2. Определена зависимость напряженности поля от координат рабочей области и расстояния электродов датчика от начала координат по оси абсцисс.

3. Получено выражение для расчета начальной емкости датчика с двумя копланарными электродами механизма контроля текстильного продукта.

2. *Лаврентьев М.А., Шабат Б.В.* Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1973.

3. *Говорков В.А.* Электрические и магнитные поля. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.

4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970.

5. *Маделунг Э.* Математический аппарат физики – М.: Наука, 1968.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиоэлектроники. Поступила 30.05.08.

ЛИТЕРАТУРА

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