

УДК 677:621.383

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
ПОЛЕВОГО ДАТЧИКА МЕХАНИЗМА КОНТРОЛЯ ТКАНИ  
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ***Е.Ф. РАЗУМОВА, А.К. РАСТОРГУЕВ*

(Ивановская государственная текстильная академия)

E-mail: info@igta.ru

*На основе исследования электростатического поля полевого датчика с двумя параллельными электродами получено общее выражение для определения емкости датчика. Полученные выражения составляют основу методики расчета динамических свойств полевого датчика при взаимодействии с контролируемым продуктом.*

*On the base of the research done for the electrostatic field of the field sensor with two parallel electrodes, the general expression for the definition of the sensor's capacity was obtained. These expressions serve as the ground for the calculation method of the dynamic properties of the field sensor at the interaction with the product under control.*

**Ключевые слова:** полевой датчик, контролируемый продукт, координаты поля, силовые линии, напряженность поля, емкость датчика.

Полевой датчик состоит из двух параллельно расположенных электродов [1], разделенных между собой промежутком, образующим рабочую область датчика. Поле внутри датчика с параллельными электродами можно считать равномерным. Однако на входе датчика вблизи краев электродов равномерность поля нарушается и становится необходимым специальный расчет. Поскольку поле на входе и выходе датчика определяется формой электродов, то при рассмотрении поля вблизи одного края датчика можно пренебречь влиянием второго края и предста-

вить датчик в виде двух полуплоскостей, расположенных друг над другом. Расстояние между пластинами примем равным  $d$ , а их потенциалы  $\pm V$ . Для решения задачи по расчету такого поля датчика применим метод конформного преобразования [2].

Комплексный потенциал  $W = f(Z)$  осуществляет преобразование области  $Z$  поля на полосу  $-V < \text{Im } v < V$  с соответствием точек  $f(B) = -\infty$ ,  $f(D) = \infty$  (рис. 1 – отображение поля плоскости  $Z$  на плоскость  $W$  и рис. 2 – электроды датчика в плоскости  $Z$ , отображенные из плоскости  $W$ ).

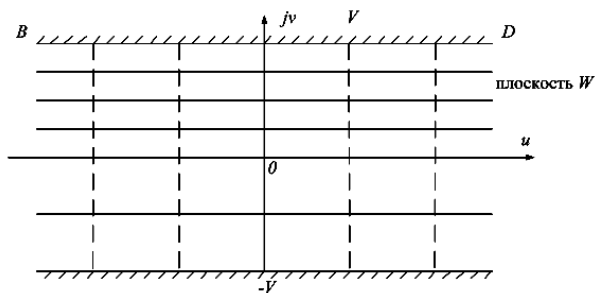


Рис. 1

Отображение поля плоскости  $W$  на плоскость  $Z$  исследуемого поля осуществляется функцией

$$Z = A(e^{aW} + aW), \quad (1)$$

где

$$W = u + jV \quad (\text{рис.1}). \quad (2)$$

Подставляя в (1) выражение (2) и разделяя вещественные и мнимые части, получаем:

$$x = A(e^{au} \cos av + au), \quad (3)$$

$$y = A(e^{au} \sin av + av). \quad (4)$$

Для расчета поля датчика необходимо определить постоянные  $A$  и  $a$ .

В частном случае, когда  $av = \pm\pi$ , координаты поля определяются выражениями:

$$x = A(au - e^{au}), \quad (5)$$

$$y = \pm A\pi. \quad (6)$$

Выражение (6) определяет две прямые, параллельные оси  $OX$ . Координата  $x$  при изменении функции потока  $u$  имеет максимум, определяемый из условия

$$\frac{dx}{du} = Aa(1 - e^{au}) = 0, \quad (7)$$

которое выполняется при  $u = 0$ . При этом из (3) находим:

$$x_{\max} = -A. \quad (8)$$

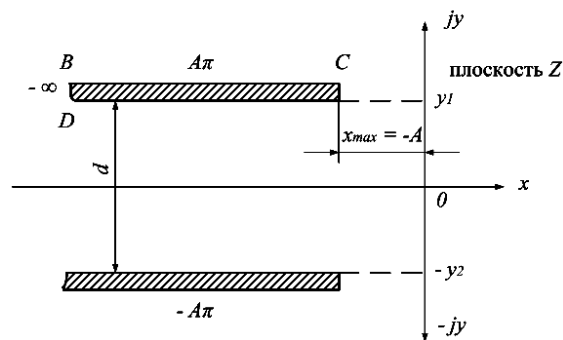


Рис. 2

Крайним значением функции потока  $u = -\infty$  и  $u = \infty$  соответствуют значения  $x = -\infty$ ,  $x = \infty$ . Таким образом, координата  $x$  принимает все значения между  $-\infty$  и  $-A$ . Координата  $y$  при изменении значения  $u$  остается постоянной и в соответствии с (6) имеет значения: для одной полу-плоскости  $y_1 = A\pi$ , а для другой  $y_2 = -A\pi$ . Эти прямые изображены на рис. 2. Они соответствуют электродам датчика, расположенным на расстоянии  $d$ .

В соответствии с рис.2:

$$y_1 - y_2 = 2A\pi = d. \quad (9)$$

Таким образом, при известном расстоянии между электродами датчика находим:

$$A = \frac{d}{2\pi}. \quad (10)$$

Определим точку в плоскости  $W$ , соответствующую точке  $\left(-A, \frac{d}{2}\right)$  в плоскости  $Z$  при потенциале электрода, равном  $V$ . Для данной точки с учетом (3) имеем:

$$x = A(e^{au} \cos av + au) = -A. \quad (11)$$

Полагая  $u = 0$ ,  $v = V$ , из (11) находим искомую величину:

$$a = \frac{\pi}{V}. \quad (12)$$

При этом точке  $\left(-A, \frac{d}{2}\right)$  плоскости  $Z$  со-

ответствует точка  $\left(0, \frac{\pi}{a}\right)$  на плоскости  $W$ .

Подставив в (1) значения коэффициентов  $A$  и  $a$  и выражений (10) и (12) соответственно, получим функцию отображения равномерного поля плоскости  $W$  на плоскость  $Z$  исследуемого поля:

$$Z = \frac{d}{2\pi} \left( e^{\frac{\pi}{V}W} + \frac{\pi}{V}W \right). \quad (13)$$

Соответственно параметрические уравнения линий равного потенциала и силовых линий поля получаем в результате

разделения действительных и мнимых частей функции (13):

$$x = \frac{d}{2\pi} \left( e^{\frac{\pi}{V}u} \cos \frac{\pi}{V}v + \frac{\pi}{V}u \right), \quad (14)$$

$$y = \frac{d}{2\pi} \left( e^{\frac{\pi}{V}u} \sin \frac{\pi}{V}v + \frac{\pi}{V}v \right). \quad (15)$$

Силовые линии определяются при  $u = \text{const}$ , а линии равного потенциала при  $v = \text{const}$ . Учитывая симметрию электрического поля относительно оси  $OX$ , расчет поля выполним для верхней половины при следующих данных: потенциал верхнего электрода  $V = 15\text{В}$ ,  $d = 2\text{мм}$ ,  $A = 0,32$ ,  $\pi/V = 0,21$ .

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

u	v <sub>1</sub> = 0		v <sub>2</sub> = 3		v <sub>3</sub> = 6		v <sub>4</sub> = 9		v <sub>5</sub> = 12		v <sub>6</sub> = 15	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0,318	0	0,258	0,387	0,098	0,703	-0,098	0,903	-0,257	0,987	-0,318	1,0
1	0,459	0	0,384	0,431	0,197	0,773	-0,055	0,973	-0,251	1,031	-0,326	1,0
2	0,617	0	0,525	0,484	0,283	0,860	-0,016	1,060	-0,258	1,084	-0,350	1,0
3	0,797	0	0,623	0,551	0,384	0,967	0,015	1,167	-0,283	1,151	-0,397	1,0
4	1,002	0	0,862	0,632	0,494	1,099	0,393	1,299	-0,328	1,232	-0,469	1,0
5	1,246	0	1,067	0,733	0,614	1,263	0,053	1,462	-0,400	1,233	-0,574	1,0
6	1,518	0	1,305	0,857	0,746	1,463	0,054	1,663	-0,505	1,457	-0,718	1,0004
7	1,845	0	1,582	1,010	0,892	1,711	0,041	1,911	-0,649	1,611	-0,912	1,0006
8	2,234	0	1,909	1,099	1,059	2,017	0,008	2,217	-0,842	1,799	-1,167	1,0006

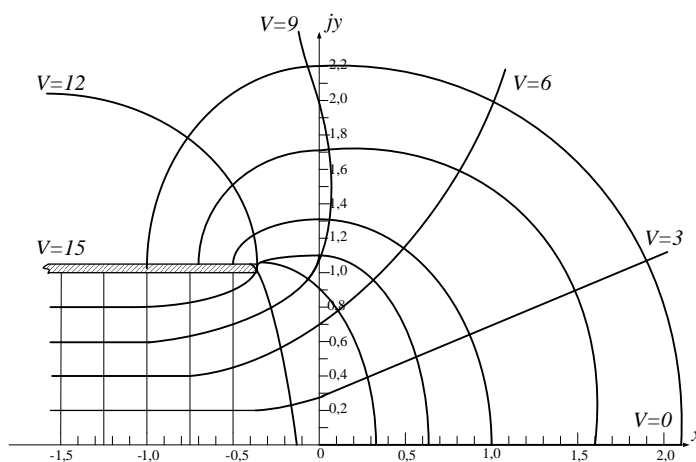


Рис. 3

По данным табл.1 построена картина поля полевого датчика с двумя параллельными электродами (рис. 3).

Напряженность поля в любой точке имеет значение:

$$E = \left| \frac{dW}{dZ} \right| = \left| \frac{1}{\frac{d}{2V} \left| e^{\frac{\pi w}{V}} + 1 \right|} \right| = \frac{E_0}{\left| e^{\frac{\pi}{V}(u+jV)} + 1 \right|}. \quad (16)$$

Здесь напряженность равномерного поля:

$$E_0 = \frac{2V}{d}. \quad (17)$$

Определим изменение напряженности поля по оси OX.

Так как потенциал на оси OX равен нулю (рис.3), выражение (16) принимает вид

$$E_x = E_0 \frac{1}{e^{\frac{\pi}{V}u} + 1}. \quad (18)$$

Из рис.3 следует, что большая часть электрода по длине совпадает по форме с линией равного потенциала.

При этом из (14) имеем:

$$u = \frac{2V}{d} x. \quad (19)$$

Подставляя в (18) значения u из (19), получаем формулу для расчета напряженности поля вдоль оси OX:

$$E_x = E_0 \frac{1}{e^{\frac{2\pi x}{d}} + 1}. \quad (20)$$

Внутри датчика (рис.3) напряженность поля близка к напряженности равномерного поля. Действительно, из (20) при  $d = 2$  находим при  $x = -1$ :  $E_x / E_0 = 0,95876$ .

Полученные выражения дают возможность определить емкость датчика. Емкость датчика с параллельными электродами в общем случае определяется выражением [3]:

$$C = \frac{E_x \varepsilon_0 \varepsilon S}{2V}, \quad (21)$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая постоян-

ная диэлектрика между электродами; S – площадь электродов; 2V – напряжение между электродами.

Подставляя (18) в (21) и принимая во внимание (17), получаем формулу для расчета емкости полевого датчика с двумя параллельными электродами:

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \frac{1}{e^{\frac{2\pi x}{d}} + 1}. \quad (22)$$

При  $x = -1$  (рис. 3) емкость датчика равна емкости плоского конденсатора без учета краевого эффекта.

Емкость датчика с учетом краевого эффекта находится по формуле

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \left( 1 + \frac{1}{e^{\frac{2\pi x}{d}} + 1} \right). \quad (23)$$

## ВЫВОДЫ

1. На основе исследования электростатического поля полевого датчика с двумя параллельными электродами получено общее выражение для определения емкости датчика.

2. Полученные выражения составляют основу методики расчета динамических свойств полевого датчика при взаимодействии с контролируемым продуктом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №4.
2. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1973.
3. Кугушев А.М., Голубева Н.С. Основы радиотехники. – М.: Энергия, 1969.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиотехники. Поступила 10.05.09.