

УДК 677.621.383

**ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ КОНСТРУКТИВНОГО ПОСТРОЕНИЯ
ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ МЕХАНИЗМОВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ
ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОДУКТА И ИХ РАСЧЕТ***

Е.Ф. РАЗУМОВА

(Ивановская государственная текстильная академия)

Контроль параметров текстильного продукта в ходе технологического процесса осуществляется емкостными (полевыми) датчиками, которые в зависимости от свойств продукта и способа его обработки представляются двумя группами. К первой группе относятся датчики, которые характеризуются существенным силовым взаимодействием с контролируемым объектом. Конструктивными особенностями таких

датчиков (рис.1) являются: расположение электродов (1 и 2) с двух сторон контролируемого продукта (3), возможность перемещения хотя бы одного из электродов под действием продукта и, наконец, обеспечение плотного прилегания электродов к продукту за счет силового воздействия, создаваемого, например, с помощью пружин (4).

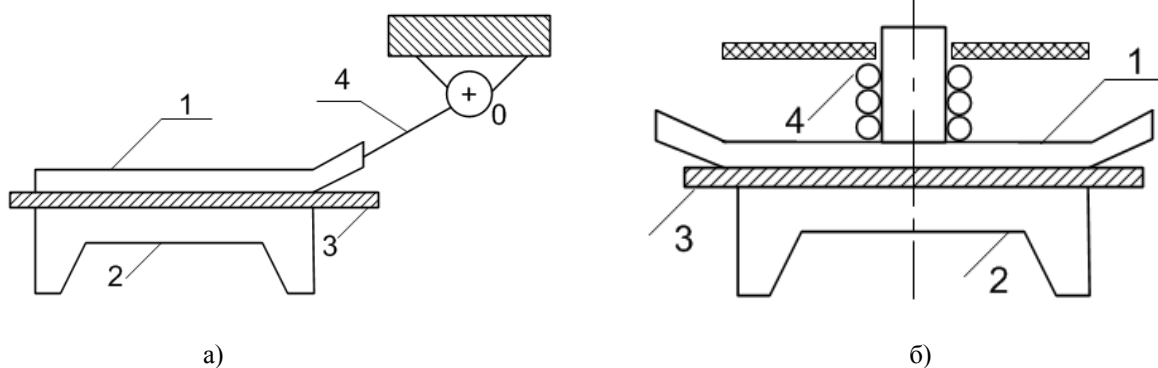


Рис. 1

Вторая группа полевых датчиков отличается слабой энергией взаимодействия с контролируемым объектом.

К этой группе относятся датчики с неподвижными параллельно расположенными

электродными, между которыми проходит контролируемый продукт (рис. 2-а), трехслойные электростатические датчики (рис. 2-б) и датчики с копланарным расположением электродов (рис. 2-в).

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук А.К. Расторгуева.

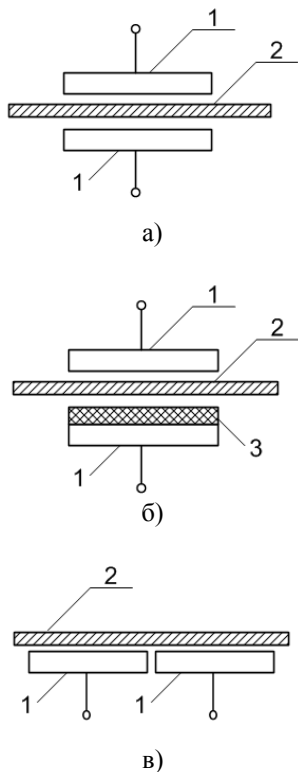


Рис.2.

На рис.2 обозначено: 1 – электроды датчиков; 2 – контролируемый продукт

(например, ткань); 3 – дополнительная диэлектрическая прокладка.

При проектировании механизмов контроля продукта при его обработке на текстильных машинах необходимо учитывать особенности датчиков различных схем построения.

Емкость датчика по схеме рис.1-а находится с учетом сложного движения электрода 1 под действием контролируемого элемента продукта (например, шва ткани) [1]:

$$C = \frac{3,188\varepsilon_{\text{тм}} S}{360b + \alpha\pi(R_1 + R_2)}, \text{ пФ}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{тм}}$ – диэлектрическая проницаемость текстильного материала; S – активная площадь электродов, мм^2 ; α – угол поворота, град; R_1 и R_2 – расстояние ближнего и дальнего краев электродов от центра 0 (рис. 1-а) соответственно; b – толщина продукта, мм.

Чувствительность датчика к отклонению электрода 1 от начального положения определяется выражением:

$$K_{\alpha} = \frac{dC}{d\alpha} = -\frac{3,188\varepsilon_{\text{тм}} S \pi (R_1 + R_2)}{[360b + \alpha\pi(R_1 + R_2)]^2}, \text{ пФ/град}. \quad (2)$$

Чувствительность датчика с поворотным электродом имеет максимальное значение в начальный момент взаимодействия

датчика с контролируемым элементом продукта (утолщение, шов), когда $\alpha = 0$:

$$|K_{\alpha \text{ max}}| = |K_{\alpha}|_{\alpha=0} = \frac{3,188\varepsilon_{\text{тм}} S \pi (R_1 + R_2)}{(360b)^2}, \text{ пФ/град}. \quad (3)$$

Принимая $S = 1000 \text{ мм}^2$; $\varepsilon_{\text{тм}} = 1,5$; $R_1 = 60 \text{ мм}$; $R_2 = 80 \text{ мм}$ и $b = 1 \text{ мм}$, находим $|K_{\alpha \text{ max}}| = 16,22 \text{ пФ/град}$.

При проектировании системы оперативного контроля продукта требуется

знать абсолютное значение приращения емкости датчика при взаимодействии с элементом контроля. Преобразуя (1), получаем:

$$|\Delta C| = \frac{3,188\varepsilon_{\text{тм}} S}{360b} \left[1 - \frac{360b}{360b + \alpha\pi(R_1 + R_2)} \right], \text{ пФ}. \quad (4)$$

В случае отклонения электрода на угол $\alpha = 1$ град $|\Delta C| \cong 7,3$ пФ.

Начальная емкость датчика по схеме рис. 1-б равна:

$$C_{\text{нач}} = \frac{8,855 \varepsilon_{\text{тм}} S \cdot 10^{-3}}{b}, \text{ пФ.} \quad (5)$$

Для сравнительной оценки датчиков по схемам рис. 1-а и 1-б найдем приращение толщины продукта в схеме рис. 1-б, соответствующее углу поворота электрода, равному 1 град:

$$\Delta b = \frac{b}{\frac{8,855 \varepsilon_{\text{тм}} S \cdot 10^{-3}}{b \Delta C} - 1}. \quad (6)$$

Подставляя в (6) значения параметров, получаем $\Delta b = 1,22$ мм.

Чувствительность датчика по схеме рис. 1-б к изменению толщины продукта:

$$K_b = \frac{dC}{db} = -\frac{8,855 \varepsilon_{\text{тм}} S \cdot 10^{-3}}{b^2}, \text{ пФ/мм.} \quad (7)$$

С учетом принятых значений параметров и $b = 1$, $|K_b| = 13,28$ пФ/мм.

Так как повороту на угол $\alpha = 1$ град соответствует приращение толщины продукта на $\Delta b = 1,22$ мм, то, сопоставляя результаты вычислений по (3) и (7), можно сделать вывод, что начальная чувствительность датчика по схеме на рис. 1-а выше чувствительности датчика по схеме на рис. 1-б. Действительно, для принятых параметров имеем $K_\alpha / K_b = 1,22$. Другим достоинством рассматриваемого датчика по сравнению с датчиком по схеме на рис. 1-б является более простая конструкция и большая надежность.

Датчики систем автоматического контроля ткани, построенные на принципе механического взаимодействия ткани с двух-

сторонним чувствительным элементом [2], получили преимущественное распространение. Вместе с тем механический двухсторонний контакт и дополнительное силовое воздействие на ткань являются во многих случаях нежелательными. В этих случаях датчики механизмов оперативного контроля текстильного продукта проектируются по схеме второй группы (рис. 2), главной особенностью которой является слабая энергия взаимодействия с контролируемым продуктом.

Емкость датчика [3] по схеме на рис. 2-а без учета краевого эффекта [4] определяется выражением:

$$C = \frac{8,855 \varepsilon_{\text{тм}} S \cdot 10^{-3}}{\varepsilon_{\text{тм}} (\ell - b) + b}, \text{ пФ.} \quad (8)$$

Здесь ℓ – расстояние между электродами, мм.

Величина расстояния между электродами должна быть достаточной для свободного прохождения продукта. В случае контролирования ткани должно выполняться неравенство

$$\ell \geq 3b, \quad (9)$$

где b – толщина ткани.

Полагая $\ell = \ell_{\text{мин}} = 3b$, определяем начальную емкость датчика:

$$C_{\text{нач}} = \frac{8,855 \varepsilon_{\text{тм}} S \cdot 10^{-3}}{b(2\varepsilon_{\text{тм}} + 1)}, \text{ пФ.} \quad (10)$$

Заметим, что при $\ell = b$ емкость рассматриваемого датчика совпадает с начальной емкостью датчика по схеме на рис. 1-б (формула (5)).

Чувствительность датчика по схеме на рис. 2 к изменению толщины продукта определяется выражением:

$$K_{ba} = \frac{dC}{db} = \frac{8,855 \varepsilon_{\text{тм}} S (\varepsilon_{\text{тм}} - 1) \cdot 10^{-3}}{[\varepsilon_{\text{тм}} (\ell - b) + b]^2}, \text{ пФ/мм.} \quad (11)$$

Принимая параметры датчика аналогичными принятым ранее, получаем при $\ell=3b$; $b=1$ мм и $\varepsilon_{\text{TM}}=1,5$; $K_b = 0,415$ пФ/мм.

Из приведенного примера следует, что чувствительность датчика по схеме на рис. 2-а значительно ниже чувствительности датчиков по схеме на рис.1, поэтому при проектировании системы оперативного контроля текстильного продукта необходимо выбирать преобразователь сигнала датчика, обеспечивающий необходимое соотношение полезного сигнала к уровню помех [5]. Повысить чувствительность датчика с неподвижными электродами можно введением диэлектрической прокладки в рабочую область датчика (рис. 2-б).

Емкость конденсатора при использовании слоистого диэлектрика равна

$$\tilde{N} = \frac{8,855(m-1) \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{\delta_1}{\varepsilon_1} + \frac{\delta_2}{\varepsilon_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\varepsilon_n} \right)}, \text{ пФ.} \quad (12)$$

Здесь C – емкость, пФ; $\delta_1, \dots, \delta_n$ и $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ – толщины и диэлектрические проницаемости различных слоев диэлектрика; m – число электродов.

$$K_{\text{исб}} = \frac{dC}{db} = \frac{8,855S\varepsilon_{\text{П}}^2\varepsilon_{\text{TM}}(\varepsilon_{\text{TM}}-1) \cdot 10^{-3}}{\left[\varepsilon_{\text{TM}}\varepsilon_{\text{П}}(\ell-b-\delta_{\text{П}}) + \varepsilon_{\text{П}}b + \varepsilon_{\text{TM}}\delta_{\text{П}} \right]^2}, \text{ пФ/мм.} \quad (16)$$

Из полученных выражений следует, что емкость и чувствительность датчика существенно зависят от толщины и диэлектрической постоянной прокладки. При выборе материала прокладки следует учитывать требование к емкостной устойчивости датчика. Разделив (16) на (1), определим соотношение чувствительностей датчиков по схемам на рис. 2-б и 2-а:

$$\frac{K_{b\delta}}{K_{ba}} = \frac{\varepsilon_{\text{П}}^2 \left[\varepsilon_{\text{TM}}(1-b) + b \right]^2}{\left[\varepsilon_{\text{TM}}\varepsilon_{\text{П}}(\ell-b-\delta_{\text{П}}) + \varepsilon_{\text{П}}b + \varepsilon_{\text{TM}}\delta_{\text{П}} \right]^2}. \quad (17)$$

С учетом (12) находим емкость датчика по схеме на рис. 2-б:

$$C = \frac{8,855S \cdot 10^{-3}}{\delta_{\text{В}} + \frac{\delta}{\varepsilon_{\text{TM}}} + \frac{\delta_{\text{П}}}{\varepsilon_{\text{П}}}}, \text{ пФ,} \quad (13)$$

где $\delta_{\text{В}}$ – воздушный промежуток между электродом датчика и текстильным продуктом, мм; $\delta_{\text{Г}}$ – толщина диэлектрической прокладки (мм) с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_{\text{П}}$. В соответствии с рис. 2-б имеем:

$$\delta_{\text{В}} = \ell - b - \delta_{\text{П}}. \quad (14)$$

С учетом (14) выражение для емкости датчика примет вид:

$$C = \frac{8,855\varepsilon_{\text{TM}}\varepsilon_{\text{П}}S \cdot 10^{-3}}{\varepsilon_{\text{TM}}\varepsilon_{\text{П}}(1-b-\delta_{\text{П}}) + \varepsilon_{\text{П}}b + \varepsilon_{\text{TM}}\delta_{\text{П}}}, \text{ пФ.} \quad (15)$$

Дифференцируя (15) по переменной b , получаем выражение для чувствительности датчика:

Принимая $\varepsilon_{\text{П}} = 10$; $\varepsilon_{\text{TM}} = 1,5$; $\ell = 3$ мм; $b = 1$ мм; $\delta_{\text{П}} = 0,1$ мм, из (17) получаем $\frac{K_{b\delta}}{K_{ba}} = 9,467$. Таким образом, введение в рабочую область датчика с параллельно расположенными электродами и диэлектрической прокладки позволяет существенно повысить чувствительность датчика к изменению толщины контролируемого продукта.

Приращение емкости датчика с копланарно размещенными электродами (рис. 2-б) определяется выражением:

$$\Delta C = \frac{0,045a_{\text{TM}} b_{\text{TM}} C_{\text{TM}}}{\sqrt{(x^2 - y^2 - \ell^2)^2 + 4x^2 y^2}} \frac{\varepsilon_{\text{TM}} - 1}{\varepsilon_{\text{TM}} + 2}, \text{ пФ}. \quad (18)$$

Здесь a_{TM} – длина; b_{TM} – ширина; C_{TM} – толщина в мм контролируемой неравномерности текстильного материала; x и y – координаты положения неравномерности в рабочей области датчика; ℓ – половина зазора между электродами, мм.

Для оценки чувствительности копланарного датчика к изменению толщины принимаем $a_{\text{TM}}=100$ мм; $b_{\text{TM}}=10$ мм; $C_{\text{TM.нач}}=1$ мм; $C_{\text{TM.мах}}=2$ мм; $\varepsilon_{\text{TM}}=1,2$. Чувствительность датчика определим через

приращение величин емкости датчика и толщины продукта

$$K_{C_{\text{TM}}} \cong \frac{\Delta C_{\text{мах}} - \Delta C_{\text{нач}}}{C_{\text{TM.мах}} - C_{\text{TM.нач}}}. \quad (19)$$

При выбранных параметрах чувствительность копланарного датчика равна $K_{C_{\text{TM}}}=2,25$ пФ/мм.

В табл.1 представлены результаты расчета чувствительности емкостных датчиков, выполненных при одинаковых значениях конструктивных параметров.

Т а б л и ц а 1

| Чувствительность, пФ/мм, датчиков по схемам: | | | | |
|--|-------|--------|------|------|
| рис. 1 | | рис. 2 | | |
| а | б | а | б | в |
| 16,22 | 13,28 | 0,42 | 3,93 | 2,25 |

ВЫВОДЫ

1. Наибольшей чувствительностью к изменению толщины контролируемого продукта обладают емкостные датчики с силовым воздействием на продукт.

2. Чувствительность датчика слабой энергии взаимодействия с продуктом с параллельными неподвижными электродами может быть существенно повышена покрытием электродов диэлектриком.

3. Полученные аналитические выражения содержат технологические и конструктивные параметры, необходимые для расчета и проектирования датчиков механизмов контроля текстильного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Расторгуев К.А.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992, №4. С.63...66.
2. *Расторгуев А.К.* Системы автоматического управления машинами при отделке ткани. – М.: Легкая индустрия, 1977.
3. *Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №4. С.89...93.
4. *Разумова Е.А.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985, №3. С.78...82.
5. *Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №3. С.105...108.
6. *Харинский А.Л.* Основы конструирования элементов радиоаппаратуры. – Л.: Энергия, 1971.

Рекомендована кафедрой автоматики и радиоэлектроники. Поступила 16.01.09.