

УДК 621.317.39

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
СИГНАЛА ПОЛЕВОГО ДАТЧИКА
МЕХАНИЗМА КОНТРОЛЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОДУКТА**

Е.Ф. РАЗУМОВА, А.К. РАСТОРГУЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

Надежность работы механизмов контроля текстильного продукта, построенных на основе электростатических (емкостных) датчиков, зависит от стабильности параметров датчиков и измерительных преобразователей, осуществляющих преобразование изменений емкости датчика, вызванных воздействием контролируемого параметра текстильного продукта в сигнал управления, а также частоты напряжения питания преобразователя.

Последнее обстоятельство особенно существенно в случае использования резонансных преобразователей, выполненных по схемам последовательного или параллельного резонанса в составе автогенератора [1].

Преобразование изменения емкости датчика в изменения напряжения может быть получено также и с помощью параллельного контура, подключенного к источнику Γ напряжения (рис. 1).

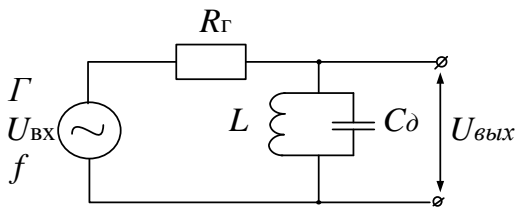


Рис. 1.

При настройке контура на частоту f выходное напряжение равно резонансному, то есть

$$U_{\text{аио}} = U_p. \quad (1)$$

Изменение свойств контролируемого текстильного продукта вызывает изменение емкости датчика и, следовательно, частоты настройки контура:

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\text{а}}}} - \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\text{а}} + \Delta\tilde{N}}} = f_0 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta C}{C_{\text{а}}}}} \right). \quad (2)$$

Выполнив разложение функции (2) в степенной ряд, получим выражение для относительного изменения частоты контура в виде:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta\tilde{N}}{\tilde{N}_{\text{а}}}}} \cong 1 - 1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta\tilde{N}}{\tilde{N}_{\text{а}}} = \frac{1}{2} \frac{\Delta\tilde{N}}{\tilde{N}_{\text{а}}}. \quad (3)$$

Таблица 1

Δf , кГц	$U_p = 10 \text{ В}, f_0 = 1000 \text{ Гц}$	
	$Q = 10$	$Q = 50$
	$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}, \text{ В}$	$U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}, \text{ В}$
0	10,00	10,00
10	9,81	7,07
20	9,28	4,47
30	8,57	3,16
40	7,81	2,43
50	7,07	1,96
100	4,47	1,00
200	2,43	0,50

где ξ – обобщенная расстройка, равная

$$\xi = Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right), \quad (5)$$

где Q – добротность контура преобразователя; f_0 – резонансная частота контура.

В механизмах контроля параметров текстильного продукта емкость датчика, а следовательно, и частота настройки контура изменяются в небольших пределах. При этом:

$$\xi = 2Q \frac{f - f_0}{f_0} = 2Q \frac{\Delta f}{f_0}. \quad (6)$$

Подставляя в (4) выражение (6), получаем

$$y = \frac{U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}}{U_{\delta}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2Q \frac{\Delta f}{f_0} \right)^2}}. \quad (7)$$

Таким образом, величина выходного напряжения зависит от добротности контура датчика, его расстройки, вызванной изменением контрольного параметра, а также изменения частоты f напряжения, подаваемого на контур преобразователя (6).

В табл.1 представлены результаты расчета по формуле (7), а на рис.2 – соответствующие им графики.

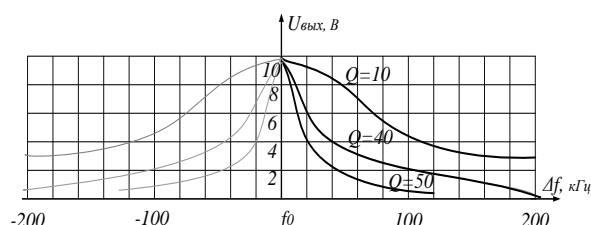


Рис. 2

При проектировании механизма контроля параметров текстильного продукта необходимо обеспечить наименьшую погрешность при измерении контролируемого параметра и отсутствие ложных срабатываний исполнительного механизма.

Основными причинами возникновения погрешностей являются емкостная неустойчивость датчика и нестабильность частоты напряжения, подаваемого на контур преобразователя. Ложные срабатывания исполнительного механизма системы контроля обрабатываемого продукта возникают, когда приращение выходного сигнала за счет отклонения частоты входного напряжения на контуре превышает величину полезного сигнала, а также при нестабильности входного напряжения и наличии помех в сети питания преобразователя сигнала.

Определим чувствительность преобразователя сигнала к изменению частоты входного напряжения. Выходное напряжение на контуре преобразователя с учетом (6) и (7) определяется выражением:

$$U_{\text{âüö}} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{1 + \left(2Q \frac{f - f_0}{f_0}\right)^2}}. \quad (8)$$

Дифференцируя (8) по частоте f питающего напряжения, получаем расчетное выражение для чувствительности преобразователя к частоте входного напряжения:

$$\hat{E}_f = \frac{dU_{\text{âüö}}}{df} = -\frac{4Q^2(f - f_0)U_{\delta}}{f_0^2 \left[1 + \left(2Q \frac{f - f_0}{f_0}\right)^2\right]}, \text{ В/Гц.} \quad (9)$$

Для осуществления контроля параметров обрабатываемого продукта контур преобразователя настраивается на начальную частоту $f_0 > f_i$, отличающуюся от резонансной частоты.

Таким образом, начальная расстройка контура при $f_0 < f_i$:

$$\Delta f_i = f_i - f_0. \quad (10)$$

При этом модуль чувствительности преобразователя к изменению частоты в рабочей точке:

$$\left|\hat{E}_{f,\text{дö}}\right| = \frac{4Q^2 \Delta f_i U_{\delta}}{f_0^2 \left[1 + \left(2Q \frac{\Delta f_i}{f_0}\right)^2\right]}, \text{ В/Гц.} \quad (11)$$

Для получения наибольшей чувствительности рабочую точку следует выбирать на наиболее крутом участке резонансной кривой контура (рис. 2).

Величина отклонения выходного напряжения от величины, определяемой положением рабочей точки, при отклонении частоты выходного напряжения с учетом (11) равна:

$$\Delta U_{\text{âüö},\Delta f\text{äö}} = \left|\hat{E}_{f,\text{дö}}\right| \Delta f_{\text{äö}}. \quad (12)$$

Для исключения ложных срабатываний при колебании частоты выходного напряжения необходимо обеспечить выполнение условия

$$\Delta U_{\text{âüö},\Delta f\text{äö}} < \Delta U_{\text{âüö},\tilde{N}}, \quad (13)$$

где $\Delta U_{\text{âüö},\tilde{N}}$ – отклонение выходного напряжения от начального значения, определяемого выбором рабочей точки, в результате отклонения контролируемого параметра обрабатываемого текстильного продукта, являющееся сигналом датчика.

При проектировании механизма контроля текстильного продукта необходимо учитывать нестабильность частоты автогенератора, формирующего входное напряжение преобразователя (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Тип автогенератора	Относительная нестабильность частот в диапазоне	
		ниже 30 МГц	выше 30 МГц
1	Транзисторный однокаскадный без кварцевой стабилизации	$10^{-3} \dots 10^{-4}$	$10^{-2} \dots 10^{-3}$
2	Транзисторный однокаскадный с кварцевой стабилизацией	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	до 300 МГц (5...50) · 10^{-6}

Для оценки величины выходного напряжения сигнала преобразователя необходимо определить его зависимость от изменения емкости датчика при изменении свойств контролируемого продукта. Подставив (3) в (7), получаем выражение, определяющее связи выходного напряжения

преобразователя с изменением емкости датчика:

$$U_{\text{âüö}} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{1 + \left(Q \frac{\Delta \tilde{N}}{\tilde{N}_i}\right)^2}}. \quad (14)$$

Чувствительность преобразователя сигнала к изменению емкости датчика определяется дифференцированием выходного напряжения (14) по приращению емкости датчика:

$$\hat{E}_{\Delta\tilde{N}} = \frac{dU_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}}{d\Delta\tilde{N}} = -\frac{Q^2\Delta\tilde{N}U_{\hat{o}}}{\tilde{N}_{\hat{a}}^2\left(1+Q^2\frac{\Delta\tilde{N}^2}{\tilde{N}_{\hat{a}}^2}\right)}, \text{ В/Гц.} \quad (15)$$

В зависимости от конструкции датчика приращение емкости может быть как положительным, так и отрицательным [3]. Начальное отклонение емкости соответствует введению в рабочую область датчика текстильного материала с номинальным значением контролируемого параметра (например, толщины ткани):

$$\Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{a}\hat{z}} = \Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{i}\hat{i}}. \quad (16)$$

При этом начальная чувствительность преобразователя равна

$$\hat{E}_{\Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{a}\hat{z}}} = -\frac{Q^2\Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{a}\hat{z}}U_{\hat{o}}}{\tilde{N}_{\hat{a}}^2\left(1+Q^2\frac{\Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{a}\hat{z}}^2}{\tilde{N}_{\hat{a}}^2}\right)}. \quad (17)$$

Отклонение выходного напряжения от номинального значения в случае изменения, например, толщины ткани:

$$\Delta U_{\hat{a}\hat{u}\hat{o},\tilde{N}} = \hat{E}_{\Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{a}\hat{z}}}\Delta\tilde{N}. \quad (18)$$

где $\Delta\tilde{N}$ – приращение емкости датчика, вызванное изменением контролируемого параметра.

С учетом (12), (13) и (18) находим величину допустимого отклонения частоты напряжения, подаваемого на вход преобразователя

$$\Delta f_{\hat{a}\hat{o},\hat{a}\hat{f}\hat{i}} < \frac{\hat{E}_{\Delta\tilde{N}_{\hat{f}\hat{a}\hat{z}}}\Delta\tilde{N}}{\hat{E}_{f_{\hat{o}}}}, \text{ Гц.} \quad (19)$$

ВЫВОДЫ

1. Определены условия устойчивой работы резонансного преобразователя сигнала полевого датчика механизма контроля текстильного продукта.

2. Полученные расчетные соотношения составляют основу методики расчета и проектирования механизмов контроля текстильного продукта на основе полевых датчиков с резонансным преобразователем сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разумова Е.Ф., Расторгуев А.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №4. С.89...93.
2. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – М.-Л.: Энергия, 1965.
3. Разумова Е.Ф. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №3. С.101...103.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиотехники. Поступила 16.01.09.