Лекция №12 Емкостные преобразователи

- Емкостный преобразователь представляет собой конденсатор, электрические параметры которого изменяются под действием входной величины.
- Конденсатор состоит из двух электродов, пространство между которыми может быть заполнено диэлектриком. При изменении взаимного положения электродов или при изменении диэлектрической проницаемости среды, заполняющей межэлектродное пространство, изменяется емкость конденсатора.
- В качестве емкостного преобразователя часто используют плоский конденсатор, емкость которого определяется выражением: $\mathcal{EE}_{\circ}S_{\circ}$

выражением: $C_0 = \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_0 S_0}{\mathcal{S}} \; ,$ где \mathcal{S} - расстояние между электродами; S_0 —их площадь; \mathcal{E}_0 — диэлектрическая постоянная; \mathcal{E} — относительная проницаемость диэлектрика.

- Принцип действия емкостного преобразователя может быть основан на изменении любого из трех параметров плоского конденсатора: δ, S_0, ε .
- У преобразователя с прямоугольными электродами площадью $S_0 = b \, x$ имеется некоторый диапазон перемещения пластин x, в котором емкость линейно зависит от x: $C = \varepsilon \varepsilon_0 b x / \delta$
- В области линейной зависимости чувствительность такого преобразователя постоянна и увеличивается с уменьшением расстояния между электродами δ :

$$S = dC/dx = \varepsilon \varepsilon_0 b/\delta .$$

Обычно этот тип датчика реализуется в виде поворотного конденсатора для измерения угловых смещений.

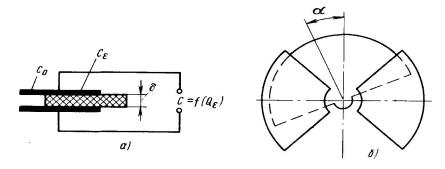
 Если перемещать электроды, изменяя расстояние между ними, функция преобразования — не линейна и представляет собой гиперболическую характеристику.
 Чувствительность такого преобразователя:

$$S = \left| \frac{dC}{d\delta} \right| = \varepsilon \varepsilon_0 S_0 / \delta^2 = C_0 / \delta$$

сильнее, чем в предыдущем случае, зависит от расстояния между пластинами δ .

- Для увеличения чувствительности целесообразно уменьшение δ , так как чувствительность возрастает как $1/\delta^2$.
- Предельное значение δ определяется технологическими параметрами и приложенным напряжением. Следует учесть, что при большой напряженности поля возможен электрический пробой воздушного промежутка.

• Перемещая диэлектрическую пластину в зазоре плоского конденсатора (рисунок а), можно получить преобразователь с переменной диэлектрической проницаемостью.



• Емкость такого преобразователя определяется как емкость двух параллельно включенных конденсаторов. Один из них C_{ε} образован частью электродов и диэлектрической пластиной, другой C_{1} оставшейся частью электродов с межэлектродным пространством, не заполненным пластинкой:

$$C_0 = C_1 + C_{\varepsilon}$$

• Если пластинка с относительной диэлектрической проницаемостью $\mathcal E$ имеет толщину δ , равную расстоянию между электродами, то функция преобразования преобразователя описывается выражением:

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S_1}{\delta} + \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S_{\varepsilon}}{\delta} = \frac{\varepsilon_0}{\delta} (S_1 + \varepsilon S_{\varepsilon}) = \frac{\varepsilon_0}{\delta} [S_0 + (\varepsilon - 1)S_{\varepsilon}];$$

где S_0 — площадь электродов; S_{ε} — часть площади диэлектрической пластины, находящаяся между электродами;

$$S_1 = S_0 - S_{\varepsilon}; \quad S_{\varepsilon} = bx.$$

• Чувствительность такого датчика постоянна и равна:

$$S = \frac{dC}{dx} = \frac{\partial C}{\partial S_{\varepsilon}} \cdot \frac{\partial S_{\varepsilon}}{\partial x} = (\varepsilon - 1) \cdot b \cdot \frac{\varepsilon_0}{\delta}.$$

Особенности схем включения

- Для емкостных преобразователей применяют два принципиально различных вида измерительных схем амплитудные и частотные.
- Первые обеспечивают преобразование емкости в амплитуду выходного переменного напряжения. Вторые представляют собой колебательный контур, входящий в состав измерительного генератора, и преобразуют изменение емкости в изменение частоты выходного напряжения.
- Обычно емкостные датчики питают переменным током высокой частоты, которая должна значительно превышать наибольшую частоту изменения емкости под действием измеряемой величины.

Особенности схем включения

- Емкости большинства преобразователей составляют 10 -100 пФ, и поэтому даже при относительно высоких частотах питающего напряжения (-10^7)) их выходные сопротивления велики развил (-10^7) (-10^7) (-10^8) .
- Выходные мощности емкостных преобразователей, напротив, невелики, и в измерительных цепях необходимо применение усилителей.
- Допустимые значения напряжения питания емкостных преобразователей достаточно велики, и напряжение питания, как правило, ограничивается не возможностями преобразователя, а условиями реализации измерительной цепи.

Оценим параметры простейшего преобразователя малых перемещений:

• частотный коэффициент передачи, равный отношению напряжения на электродах датчика U_C к питающему напряжению $U = U_0 e^{j\omega t}$: $\frac{\tilde{U}_C}{\tilde{U}} = K(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega RC_{\ni}};$

$$\frac{U_C}{\tilde{U}} = K(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC_{\Im}};$$

$$C_{\Im} = C_0 + C_n + \frac{ex}{V}.$$

Здесь R — выходное сопротивление генератора;

 C_0 — собственная емкость преобразователя; C_n — паразитные емкости монтажа и электрического кабеля; C_V^{ex} — входная емкость усилителя.

• Чувствительность датчика по напряжению с учетом формулы емкости плоского конденсатора зависит от частоты следующим образом:

$$S = \left| \frac{dU}{d\delta} \right| = \left| \frac{\partial U}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial \delta} \right| = \frac{U_0}{\delta} \frac{\omega RC}{\left(1 + \omega^2 R^2 C^2 \right)}.$$

• Максимум чувствительности датчика определяется условием:

$$\omega RC = 1$$

• Для датчика с параметрами: воздушный зазор $\delta=0,1$ $_{\mathcal{M}\mathcal{M}}$, площадь пластины $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}=1$ 2 , $\mathcal{D}_{\mathcal{M}}$ $Z=10^4$, получим частоту питания $\omega=10^7$ 1/ . При напряжении питания $\mathcal{B}_0=100$ ей будет соответствовать чувствительность датчика, равная

$$S = \frac{U_0}{2\delta} = 500 \, \frac{B}{MM}$$
.

Достоинства емкостных датчиков:

- простота конструкции;
- малые размеры и масса;
- высокая чувствительность (в том числе при использовании резонансных схем включения);
- возможность измерения быстропеременных величин в широком интервале частот.

Проблемные вопросы обеспечения высокой чувствительности емкостных датчиков:

- необходимость обеспечения равномерности малого зазора в диапазоне единиц и десятков $_{\mathcal{MKM}}$;
- возможные изменения межэлектродного зазора вследствие линейного расширения под действием температуры;
- наличие паразитных емкостей, тоже зависящих от температуры;
- необходимостью защиты измерительных цепей от наводок.