

Р.К. Азимов, Г.Г. Бабаев, Ш.М. Машарипов

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЕМКОСТНЫМ ПЕРВИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Аннотация

Рассмотрены особенности получения измерительной информации емкостным первичным преобразователем.

Ключевые слова: измерительный преобразователь.

Основными преимуществами емкостных приборов являются их относительная простота, малые габариты и низкая стоимость в сочетании с высокими метрологическими характеристиками.

В общем случае относительная диэлектрическая проницаемость ϵ содержит ϵ' и мнимую ϵ'' составляющие, т. е. $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$.

Тангенс угла диэлектрических потерь определяется выражением

$$\operatorname{tg}\delta = \epsilon' / \epsilon'' \quad (1)$$

Из выражения (1) можно получить для объекта измерения следующие характеристики:

$$\epsilon'_2 = \frac{C'}{\epsilon_0 \cdot l \cdot A_2} - \frac{\epsilon_1 \cdot A_1}{A_2}; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}\delta_2 = \operatorname{tg}\delta \left(1 + \frac{A_1 \cdot \epsilon'_1}{A_2 \cdot \epsilon'_2} \right) - \frac{A_1 \cdot \epsilon'_1}{A_2 \cdot \epsilon'_2} \operatorname{tg}\delta_1. \quad (3)$$

Для объектов с плоскими и цилиндрическими поверхностями и воздушной окружающей средой $A_1 = A_2 = A$; $\epsilon'_1 = \epsilon_1 = 1$; $\operatorname{tg}\delta_1 = 0$.

Для многих диэлектриков диэлектрические потери очень малы, $\operatorname{tg}\delta > 0$ и можно считать, что емкость преобразователя $C = C', C'' \rightarrow 0$.

Исключая влияние паразитных емкостей на результат измерения, можно записать выражения для определения $\epsilon_m = \epsilon_2$ и $\operatorname{tg}\delta_m = \operatorname{tg}\delta_2$ материала объекта измерения в виде

$$\epsilon_m = (C_p - C_0) / C_0 + 1; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}\delta_m = (\operatorname{tg}\delta_p - \operatorname{tg}\delta_0)(1 - 1/\epsilon_m), \quad (5)$$

где C_p и C_0 – емкость преобразователя с объектом измерения и начальная емкость (без объекта) преобразователя; $\operatorname{tg}\delta_p$ и $\operatorname{tg}\delta_0$ – тангенс угла диэлектрических потерь преобразователя с

объектом измерения и без объекта измерения.

По значениям ϵ и $\operatorname{tg}\delta_m$ можно судить о величинах, связанных с ними: составе, влажности, температуре объекта измерения и др.

ЕИП широко применяются для измерения влажности различных твердых и сыпучих материалов. От влажности зависит значение относительной диэлектрической проницаемости материала. Преобразователи имеют различные конструкции в зависимости от контролируемого объекта. Диапазон измерения достигает 80 %. Погрешность измерения составляет от десятых долей до единиц процентов.

Наиболее часто используются две конструкции емкостных первичных преобразователей. Первая представляет собой конденсатор с плоскими параллельными электродами (рис. 1а), емкость которого (если пренебречь краевыми эффектами)

$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 S / x, \quad (6)$$

где S – площадь перекрытия электродов.

Вторая конструкция представляет собой цилиндрический конденсатор (рис. 1б), емкость которого находится как

$$C(x) = \frac{2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot x}{\ln(D/d)}, \quad (7)$$

где D – диаметр внешнего цилиндрического электрода; d – диаметр внутреннего цилиндрического электрода; x – длина перекрытия обоих электродов.

В основу принципа действия ЕИП перемещения могут быть положены: 1) изменение расстояния между электродами; 2) изменение площади перекрытия электродов; 3) изменение диэлектрической проницаемости диэлектрика между электродами или его части.

Уравнение преобразования ЕИП линейного перемещения, основанного на изменении расстояния между электродами (если пренебречь краевыми эффектами), имеет нелинейную функцию преобразования (рис. 1а)

$$C(x) = \frac{\epsilon_0 S}{(h_0 + x)}, \quad (8)$$

где h_0 – начальный зазор между электродами; x – измеряемое перемещение.

Преобразователь с изменяющейся площадью пластин может быть выполнен в виде плоского конденсатора (рис. 1б), уравнение преобразования которого имеет вид

$$C(x) = \frac{\epsilon_0 \cdot b}{h} \cdot x. \quad (9)$$

Реально линейная зависимость искажается из-за краевого эффекта. Для повышения чувствительности и снижения краевых эффектов в однополярном емкостном датчике применяют активное экранирование. Экран располагают вокруг нерабочих сторон электрода (рис. 1в), и на него подается напряжение, равное напряжению на электроде. Так как между экраном 1 и электродом 2 нет электрического поля, все компоненты, расположенные за экраном, не оказывают влияния на работу датчика.

Обычно этот тип преобразователя реализуется или в виде конденсатора с цилиндрическими электродами (рис. 1д), или в виде поворотного конденсатора (рис. 1е) для измерения угловых перемещений.

ЕИП линейного перемещения с изменением

положения диэлектрика (рис. 1в) имеет функцию преобразования

$$C(x) = C_0 \left(1 + \frac{\epsilon - 1}{a} \cdot x \right), \quad (10)$$

где $C_0 = C(0) + \epsilon_0 \cdot \alpha \cdot b / h$.

Функция преобразования ЕИП угловых перемещений (рис. 1е) имеет линейную зависимость от α

$$C(x) = C_0 + \frac{k \cdot \epsilon_0}{h} \alpha, \quad (11)$$

где k – коэффициент, определяемый размерами электродов.

Изменение температуры диэлектрика приводит к изменению ϵ , что, в свою очередь, приводит к изменению емкости конденсатора

$$C(T) = k \cdot \epsilon_H \left(1 + \alpha_{\epsilon, T} \Delta T \right), \quad (12)$$

где ϵ_H – диэлектрическая проницаемость при начальной температуре; $\alpha_{\epsilon, T}$ – температурный коэффициент диэлектрической проницаемости.

Диэлектрическая проницаемость также зависит от концентрации и состава смесей.

К погрешностям ЕИП относятся: 1) погрешности, обусловленные зависимостью емкости преобразователя от внешних условий, например температуры окружающей среды; 2) погрешность, обусловленная паразитными токами утечки; 3) погрешность, обусловленная влиянием паразитных емкостей.

Изменение температуры приводит к изменению диэлектрической проницаемости ϵ диэлектрика и линейных размеров электродов и диэлек-

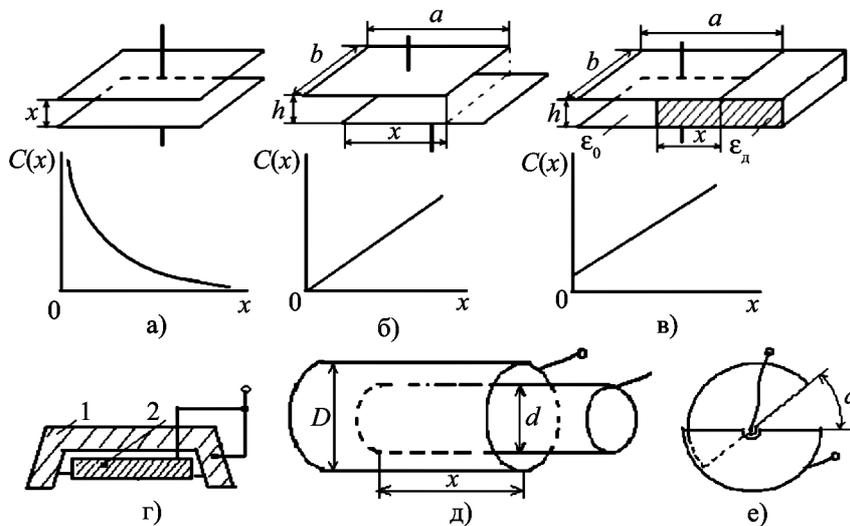


Рис. 1

трика. Разные конструктивные элементы преобразователя имеют различные температурные коэффициенты линейного расширения [у металлов $\alpha_l = (15...30) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$; кварц имеет $\alpha_l = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, у органических диэлектриков $\alpha_l = (50...100) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$], что приводит к изменению площади электродов и расстояния между ними при изменении температуры.

В ЕИП, кроме собственной емкости преобразователя, присутствуют емкости между электродами и заземленными деталями конструкции, между жилой соединительного кабеля и его заземленным экраном, которые приводят к появлению погрешности, обусловленной влиянием паразитных емкостей. При этом параметры кабеля могут изменяться. Для уменьшения этой погрешности измерительную цепь и вторичный прибор располагают вблизи преобразователя.

Как следует из вышеизложенного, область применения емкостных преобразователей весьма разнообразна, однако наиболее широко они используются для измерения малых перемещений и величин, легко преобразуемых в перемещение, например давлений.

Достоинствами ЕИП являются: 1) принципиальное отсутствие шумов; 2) отсутствие самонагрева; 3) простота конструкции, малая масса и габариты; 4) возможность соответствующим выбором формы подвижного и неподвижного электродов получить заданную функциональную за-

висимость между изменением емкости и входным линейным или угловым перемещением; 5) малая сила притяжения электродов; 6) возможность применения как для статических, так и для динамических измерений. К недостаткам емкостных преобразователей можно отнести: 1) малую емкость и высокое выходное сопротивление преобразователя; 2) зависимость результата измерения от изменения емкости кабеля.

Список литературы:

1. *Клаасен К.Б.* Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000. 352 с.
2. *Юдин М.Ф. и др.* Основные термины в области метрологии / Словарь-справочник. Под ред. Ю.В. Гартеева. – М.: Изд-во стандартов, 1989. 113 с.
3. *Ложников В.Я.* Введение в специальность «Информационно-измерительная техника» / Уч. пособие. – Омск: Изд. ОмПИ, 1987. 83 с.

*Рахмат Каримович Азимов,
д-р техн. наук, профессор,
Гайбулла Гафурович Бабаев,
ст. научный сотрудник-исследователь,
Шодлик Машарипович Машарипов,
ассистент,
Ташкентский государственный
технический университет,
г. Ташкент,
e-mail: mss2014@rambler.ru*

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ,
РУКОВОДИТЕЛЕЙ СЛУЖБ ИНФОРМАЦИИ И БИБЛИОТЕК!**

**ПРЕДЛАГАЕМ ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ
«ПРИБОРЫ»
НА 2015 ГОД.**

**Индекс журнала
в каталоге Агентства «Роспечать» – 79727.**

**Вы можете оформить льготную подписку через редакцию.
Наши тел.: (495) 695-10-70, 695-10-71.
Стоимость комплекта (12 номеров) – 11400 руб.**