

УДК 629.12.066-52

**В.В. Кирюха**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА**

*Рассматриваются вопросы контроля толщины тонких пленок (полиэтилен, фторопласт) в процессе их производства.*

**Ключевые слова:** пленка, датчик, контроль, параметр, прибор.

**V.V. Kiryuha**

## **THE USE OF ELECTROSTATIC TRANSDUCERS FOR MEASURING THE THICKNESS OF THE POLYETHYLENE ENVELOPE DURING MANUFACTURING**

*The article deals with the control of the thickness of thin envelopes (polyethylene, Teflon) in the process of production.*

**Key words:** envelop, sensor, control, parameter, the device.

При производстве полиэтиленовой пленки на экструдерах необходим текущий контроль толщины такой пленки, чтобы было возможно регулирование системы производства (давление воздуха, температура полиэтиленового расплава).

Текущий контроль толщины пленки осложняется тем, что пленка горячая и легко деформируема. Это исключает механические и прочие силовые воздействия в процессе непрерывного контроля. Представляет определенный интерес применение систем контроля с использованием электростатических (емкостных) преобразователей.

В общем случае электростатический преобразователь (ЭСП) состоит из двух электродов площадью  $S$ , параллельно расположенных на расстоянии  $d$  в среде с диэлектрической проницаемостью  $\xi_a$ . Выходной величиной электростатического преобразователя может быть:

а) изменение емкости  $C$ ;

б) сила  $F$ ;

в) ЭДС, генерируемая при взаимном перемещении электродов, находящихся в электрическом поле.

Для ЭСП с выходной величиной в виде силы входной величиной является напряжение. Такие преобразователи используются в электростатических вольтметрах. ЭСП с выходной величиной в виде ЭДС являются генераторными преобразователями. Примером такого преобразователя может служить конденсаторный микрофон, преобразующий энергию акустических колебаний в электрическую.

ЭСП с изменяющейся емкостью называются емкостными преобразователями. Этот вид преобразователей получил широкое распространение в датчиках автоматических систем.

Емкостные преобразователи являются параметрическими преобразователями неэлектрических величин в электрические. В емкостных преобразователях используется зависимость емкости конденсатора от расстояния между обкладками, площади обкладок и диэлектрической проницаемости среды между ними.

Для плоскопараллельного конденсатора емкость может быть определена по формуле

$$C = \xi_a \cdot \frac{S}{d} = \xi_a \cdot q,$$

где  $\xi_a = \xi_o \cdot \xi$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора;  $\xi$  – относительная диэлектрическая проницаемость;  $\xi_o$  – электрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/н;  $S$  – площадь пластин конденсатора, м<sup>2</sup>;  $d$  – расстояние между пластинами, м;  $C$  – емкость конденсатора, Ф;  $q$  – геометрическая проводимость зазора, м.

Для измерения искомой неэлектрической величины необходимо, чтобы она оказала пропорциональное воздействие на один из параметров конденсатора и изменяла его.

В емкостных датчиках может меняться один из трех параметров: площадь пластин конденсатора  $S$ , расстояние между пластинами  $d$ , абсолютная диэлектрическая проницаемость среды  $\xi_a$ .

При изменении площади пластин у преобразователя с прямоугольными электродами имеется некоторый диапазон перемещения  $x$  пластин относительно друг друга. При этом емкость конденсатора линейно зависит от величины перемещения  $x$ .

Схематическое изображение емкостного датчика показано на рисунке, а. Зависимость емкости датчика от изменения площади пластин (изменения смещения пластин) показана на рисунке, б, в.

Вследствие краевого эффекта линейная зависимость несколько искажает. В области линейной зависимости чувствительность такого преобразователя определяется по формуле

$$Q = dC/dx = \xi_o \xi \frac{S}{d} .$$

Чувствительность преобразователя постоянна и увеличивается с уменьшением расстояния между электродами  $d$ . При изменении расстояния  $d$  между электродами функция преобразования  $C = f(d)$  представляет собой гиперболическую функцию, показанную на рисунке, в. Чувствительность преобразователя в этом случае определяется по формуле

$$Q = dC/dd = \xi_o \xi \frac{S}{d^2} .$$

Чувствительность преобразователя в этом случае сильнее зависит от расстояния между пластинами  $d$ . Для увеличения чувствительности целесообразно уменьшить расстояние  $d$ . Предельное его значение определяется технологическими соображениями и величиной приложенного напряжения. Необходимо учитывать, что при малых значениях  $d$  возможен электрический пробой между электродами. Электрический пробой в сухом атмосферном воздухе при нормальном давлении происходит при напряженности электрического поля  $E = 3 \cdot 10^5$  кВ/м. Однако расчетное значение напряженности пробоя принимают, как правило, не более 25 % от этой величины.

При изменении диэлектрической проницаемости схематическое изображение емкостного датчика показано на рисунке, г. Если перемещать диэлектрическую пластину в зазоре плоского конденсатора, то можно получить конденсатор с переменной диэлектрической проницаемостью. Емкость такого преобразователя определяется как емкость двух параллельно включенных конденсаторов. Один из них образован частью электродов и диэлектрической пластиной, другой – оставшейся частью электродов с межэлектродным пространством, не заполненным пластиной. Если пластина имеет относительную диэлектрическую проницаемость  $\xi_1$ , а свободное пространство между электродами заполнено воздушной средой с относительной диэлектрической проницаемостью  $\xi_2$ , то функция преобразования преобразователя описывается выражением

$$C = C_1 + C_2 = \xi_0 \xi_1 \cdot \frac{S_1}{d} + \xi_0 \xi_2 \cdot \frac{S_2}{d} = \frac{\xi_0}{d} S_1 (\xi_1 - \xi_2) + \xi_2 S]$$

где  $S$  – общая площадь электродов;  $S_1$  – часть площади диэлектрической пластины, находящейся между электродами.

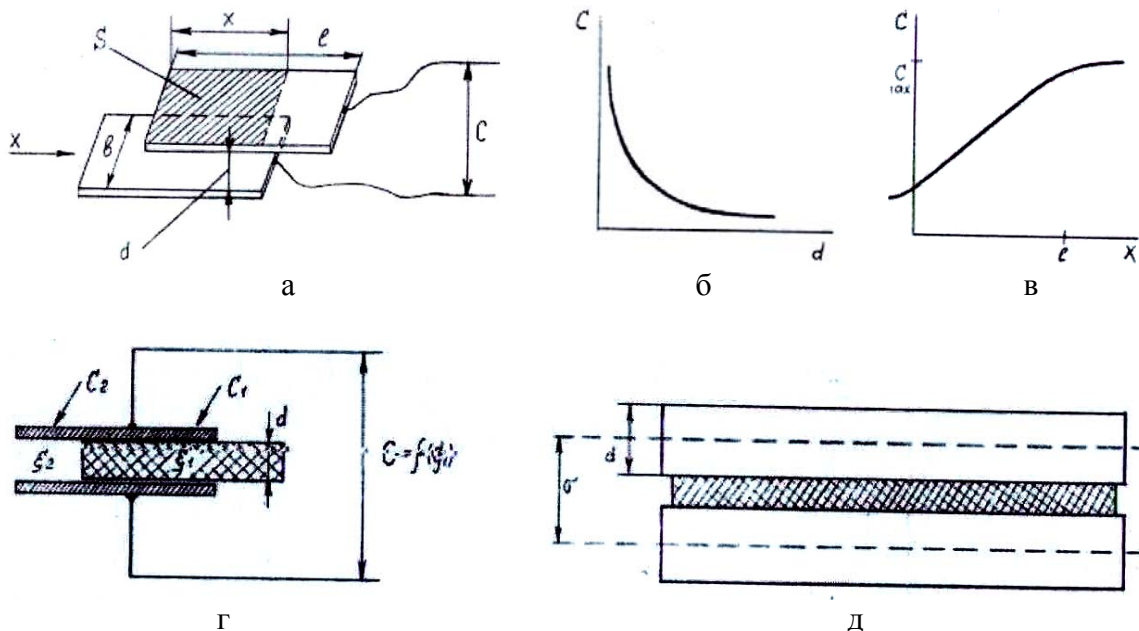
В реальных конструкциях емкостными преобразователями служат не обязательно плоскопараллельные конденсаторы. Например, для контроля толщины тонких немагнитных пленок используются датчики с цилиндрическими обкладками конденсатора. Эта конструкция представляет собой два валика, один из которых находится на неподвижной оси, а второй – на подвижной, прижимаемой пружинами к первому валику. Между валиками протягивается измеряемая пленка. Схематическое изображение данного датчика показано на рисунке, *д*. При изменении толщины пленки подвижный валик смещается относительно неподвижного. Изменяется зазор между валиками. Валики выполняются из электропроводного материала и являются обкладками конденсатора.

С некоторыми допущениями можно рассматривать цилиндрические валики как двухпроводную линию ограниченной длины. Емкость двухпроводной линии можно вычислить по формуле

$$C = \xi \xi_0 \cdot \frac{\pi}{l u \frac{\sigma}{d}},$$

где  $\sigma$  – расстояние между осями валиков;  $d$  – диаметр валиков.

Емкость датчика по приведенной формуле вычисления на единицу длины.



Электростатические преобразователи: а – схематическое изображение емкостного датчика; б, в – зависимость емкости от параметров датчика; г – емкостный датчик с изменяющейся диэлектрической проницаемостью; д – емкостный датчик с цилиндрическими обкладками

Electrostatic converters: а – a schematic representation of a capacitive sensor; б, в – dependence of the capacitance of the sensor; г – a capacitive sensor with variable dielectric constant; д – a capacitive sensor with cylindrical electrodes

В реальных технических устройствах емкость емкостных преобразователей обычно лежит в пределах от единиц до тысяч пикофарад. Емкостное сопротивление определяется по формуле

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC},$$

где  $f$  – частота питающего напряжения.

При использовании частоты питающего напряжения 50 Гц внутреннее сопротивление преобразователей достигает значений в десятки и сотни мегаом ( $10^7$ – $10^9$ ) см. При столь высоком сопротивлении возможны погрешности, обусловленные паразитными токами утечки, причем на результат измерений оказывают большое влияние сопротивление изоляции проводов, взаимное расположение деталей устройства, параметры окружающей среды и т.д. Для уменьшения внутреннего сопротивления преобразователя частота напряжения питания увеличивается до нескольких килогерц и выше, вплоть до нескольких мегагерц. Поэтому емкостные преобразователи используют в устройствах со специальными преобразователями частоты.

Емкостные преобразователи преобразуют неэлектрические величины в изменение емкости преобразователя. Для фиксации этого изменения электроизмерительными приборами емкостный преобразователь должен быть включен в измерительную цепь. При этом изменение емкости преобразуется в изменение напряжения или тока, либо в частоту синусоидального или импульсного тока. Существует много различных измерительных цепей включения емкостных преобразователей. Выбор той или иной схемы включения определяется требованиями, предъявляемыми к преобразователю, и техническими характеристиками проектируемых устройств.

### Список литературы

1. Кирюха, В.В. Измерительные преобразователи в системах автоматики. Теория, устройство и применение: учеб. пособие / В.В. Кирюха. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. – 216 с.
2. Кирюха, В.В. Датчики в системах автоматики: учеб. пособие / В.В. Кирюха. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. – 150 с.
3. Горбенко, Ю.М. Измерительные преобразователи активного тока / Актуальные проблемы развития судоходства в Дальневосточном регионе: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Ю.М. Горбенко, В.В. Кирюха. – Владивосток, 2011.
4. Кирюха, В.В. Индуктивные датчики и их применение для решения задач оперативного контроля толщины слоя коррозии / В.В. Кирюха // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 31. – С. 58–64.
5. Кирюха, В.В. Контроль температурных параметров в неоднородных замкнутых средах / В.В. Кирюха // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. – Т. 14. – 173 с.
6. Молочков, В.Я. Микропроцессорные системы управления техническими средствами судов: учеб. пособие / В.Я. Молочков. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – 193 с.
7. Молочков, В.Я. Микропроцессорные системы управления техническими средствами рыбопромысловых судов: учебник / В.Я. Молочков. – М.: Моркнига, 2013. – 398 с.

**Сведения об авторе:** Кирюха Владимир Витальевич, доцент.