

# ЕМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ

Составил доц. КФТТ  
Авдеев Н. А.

**Цель работы:** определение зависимости емкости от величины диэлектрической проницаемости и геометрических размеров диэлектрика.

*В емкостных датчиках - принцип действия основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.*

**Существуют датчики перемещения и датчики присутствия:**

*в датчиках перемещения изменение емкости происходит за счет изменения геометрических размера конденсатора, в датчиках присутствия изменение емкости осуществляется за счет изменения диэлектрической проницаемости среды.*

*Емкостные датчики перемещения применяют для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д., а также для воспроизведения заданных функций (гармонических, пилообразных, прямоугольных и т. п.).*

*Емкостные датчики присутствия, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  которых изменяется за счет перемещения, деформации или изменения состава диэлектрика, применяют в качестве датчиков уровня непроводящих жидкостей, сыпучих и порошкообразных материалов, толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры), а также контроля влажности и состава вещества.*

[http://www.electrolibrary.info/subscribe/sub\\_16\\_datchiki.htm](http://www.electrolibrary.info/subscribe/sub_16_datchiki.htm)

Конструктивно **емкостной датчик** представляет собой [конденсатор электрический](#) плоскопараллельный или цилиндрический (**рис.**). Различают емкостный датчик, действие которых основано на изменении зазора между пластинами или площади их взаимного перекрытия, [деформации диэлектрика](#), изменении его [положения](#), состава или диэлектрической проницаемости. Наиболее часто емкостный датчик применяют для [измерений](#) меняющихся [давления](#) или уровня, точных измерений механических перемещений и т. п.

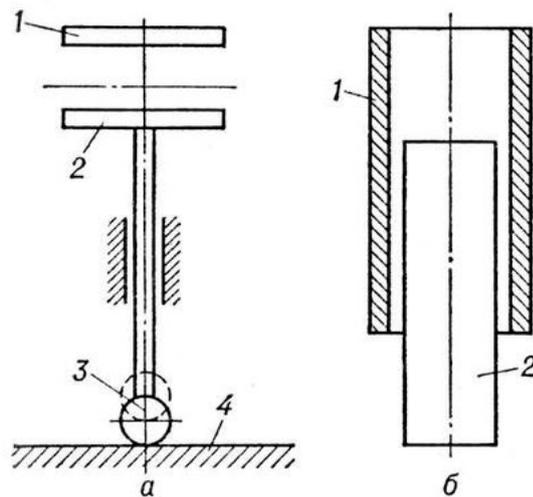
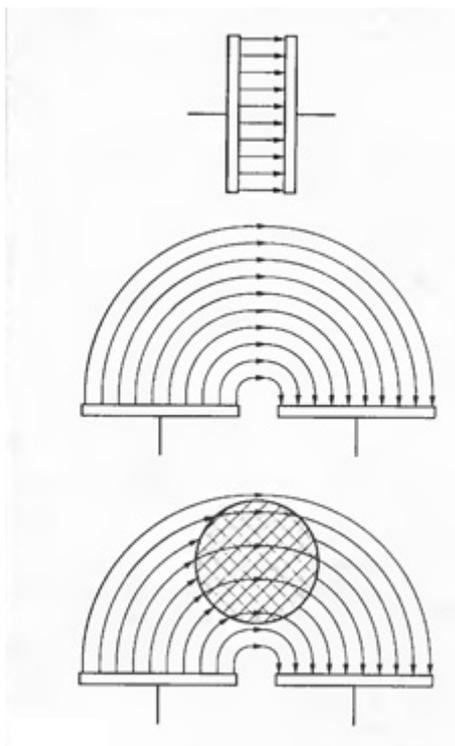


Рис.1 Ёмкостные датчики перемещения: а — плоскопараллельный; б — цилиндрический; 1 и 2 — обкладки конденсатора; 3 — шуп; 4 — исследуемая поверхность.

Лит.: Туричин А. М., [Электрические измерения](#) неэлектрических [величин](#), 4 изд., М. — Л., 1966.



Чувствительный элемент бесконтактного емкостного датчика присутствия представляет собой конденсатор с обкладками, развернутыми в одну плоскость, как показано на **рис. 2**. В зависимости от наличия или отсутствия постороннего предмета изменяется средняя диэлектрическая проницаемость окружающей обкладки среды и, следовательно, емкость конденсатора. Последний служит частотоподающим элементом автогенератора. Имеющееся в датчике пороговое устройство следит за амплитудой или частотой колебаний, при их изменении приводя в действие исполнительный узел.

<http://www.help-rus-student.ru/text/26/169.htm>  
[http://guarda.ru/guarda/data/capacity/txt\\_02.php](http://guarda.ru/guarda/data/capacity/txt_02.php)

Рис. 2 Датчик присутствия

Для рассмотрения принципа действия емкостных датчиков рассмотрим физические процессы, происходящие в плоском конденсаторе.

## Общие сведения

**Конденсатор** – система из двух изолированных проводников, расположенных близко друг к другу. Эти проводники называют обкладками конденсатора. Если обкладкам конденсатора сообщить заряды  $+q$  и  $-q$ , то в пространстве между обкладками возникнет электрическое поле.

Емкость проводника  $C$  это физическая величина показывающая какой заряд необходимо сообщить проводнику чтобы его заряд изменился на единицу.

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi}, \quad (1.2.1)$$

где  $q$  – модуль заряда обкладок;  $\Delta\varphi$  – разность потенциалов обкладок. Емкость конденсатора зависит от формы, размеров обкладок, расстояния между ними, а также диэлектрической проницаемости среды, заполняющей пространство между обкладками. Например, для плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (1.2.2)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды,  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м<sup>-12</sup> электрическая постоянная;  $S$  – площадь обкладок;  $d$  – расстояние между обкладками.

В данной работе формула (1.2.2) используется для определения диэлектрической проницаемости диэлектрика.

## Описание установки и метода измерений

Метод определения емкости от диэлектрической проницаемости, используемый в данной работе, основан на измерении электрической емкости плоского конденсатора, внутрь которого помещается пластина диэлектрика.

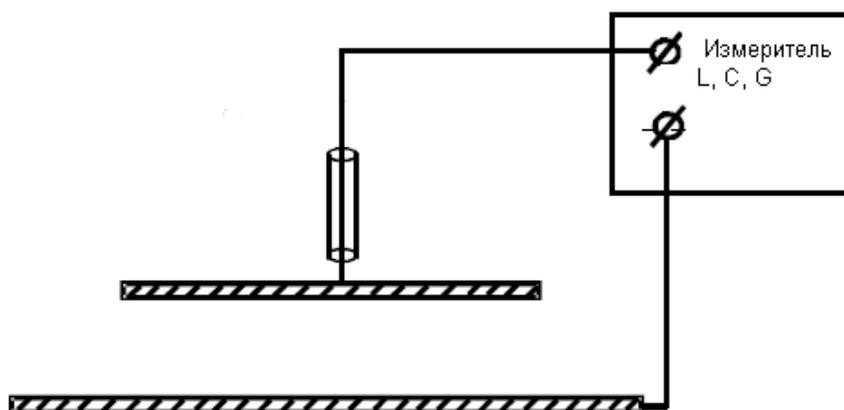


Рис. 3 Схема подключения измерительного конденсатора

Известно, что одним из простейших способов измерения емкостей является использование мостовых схем. Эти схемы позволяют производить сравнение сопротивлений, включенных в плечи схемы.

Для измерения емкости плоского конденсатора применяется измерительный мост Е7-4.

### Измерение емкости конденсатора.

Емкостные датчики, также как и индуктивные, питаются переменным напряжением (обычно повышенной частоты - до десятков мегагерц).

**В качестве измерительных схем обычно применяют мостовые схемы и схемы с использованием резонансных контуров. В последнем случае, как правило, используют зависимость частоты колебаний генератора от емкости резонансного контура, т.е. датчик имеет частотный выход.**

Напомним, что мостовые схемы можно представить как две RC цепочки подсоединённых параллельно к источнику напряжения, индикатор *нулевого сигнала* включён в диагональ моста для определения "баланса" при нулевом сигнале

Для определения емкости конденсатора используется то обстоятельство, что конденсатор, включенный в цепь переменного тока, создает в этой цепи определенное сопротивление. Простая количественная связь между величиной емкости  $C$  и значением соответствующего ей емкостного сопротивления

$$Z = -1/(C\omega) \quad (1)$$

позволяет свести измерение емкости к измерению емкостного сопротивления. Измерение в настоящей задаче сводится в сравнении емкостных сопротивлений эталонного и неизвестного конденсаторов.

Покажем теперь, что мостовая схема, к которой подводится переменное напряжение ( $U$ ), может быть использована для измерения электрической емкости. Для измерения неизвестной емкости  $C_x$  сопротивление  $R_1$  в схеме нужно заменить на  $C_0$  (переменную эталонную емкость), а  $R_2$  – на измеряемую  $C_x$ .

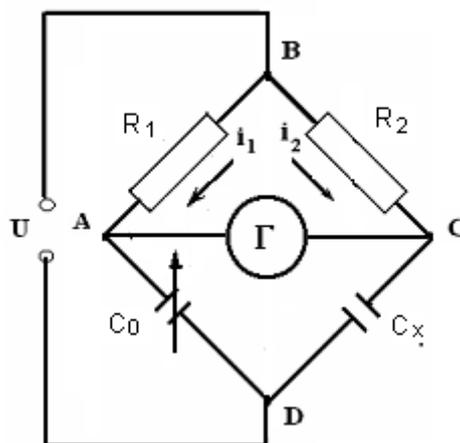


Рис. 4

Если напряжение между точками А и С равно нулю, то для напряжений на сопротивлениях  $R_1$ ,  $R_2$  и емкостях  $C_0$  и  $C_x$  справедливы соотношения:

$$U_{R1} = U_{R2} \quad U_{C0} = U_{Cx}$$

Следовательно, разделив обе части равенства на одинаковые величины

получаем. 
$$\frac{U_{R1}}{U_{C0}} = \frac{U_{R2}}{U_{Cx}} \quad (5)$$

Далее переменный ток в последовательно соединенной цепи  $R_1$  и  $C_0$  имеет одинаковое значение  $i_1$ , следовательно

$$U_{R1} = i_1 R_1, \quad U_{C0} = i_1 / \omega C_0$$

В последовательно соединенных сопротивлении  $R_2$  и емкости  $C_x$  протекает одинаковый ток  $i_2$ , следовательно

$$U_{R2} = i_2 R_2, \quad U_{Cx} = i_2 / \omega C_x$$

Подставляя значения напряжений в соотношение (5) получаем

$$\frac{i_1 R_1 \varpi C_0}{i_1} = \frac{i_2 R_2 \varpi C_x}{i_2} \quad R_1 C_0 = R_2 C_x$$

$$C_x = C_0 \frac{R_1}{R_2}$$

Измеряемая емкость  $C_x$  равна эталонной  $C_0$ , когда при одинаковых значениях  $R_1 = R_2$  потенциалы в точках А и С равны

### Приборы и принадлежности, необходимые для выполнения работы

1. Измерительный мост Е7-4,
2. Исследуемый конденсатор,
3. Набор исследуемых диэлектриков,
4. Соединительные провода.

### Порядок выполнения работы

1. Включить прибор
2. Установить переключатель CLR в положение С.
3. Переключатель пределов установить в положение 10 nF.
4. Присоединить провода к пластине конденсатора.

Упражнение 1. Определить диэлектрическую проницаемость материалов: бумаги, полиэтилена, целлюлоида.

1. Поместить исследуемые образцы с разной диэлектрической проницаемостью между пластинами конденсатора.
2. Уравновесить мост (нулевое положение индикатора) снять показания емкости.
3. Измерить толщину образца и размер пластин штангельциркулем.
4. Рассчитать диэлектрическую проницаемость по формуле

$$5. \quad \varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S}$$

6. где С – емкость в фарадах, d – толщина диэлектрика (м), S – площадь пластин конденсатора (м<sup>2</sup>).

7. Измерить емкость датчика с полиэтиленовой пленкой в качестве диэлектрика 1-5 измерений (при разном положении груза), рассчитать среднее значение емкости и погрешность.
8. Измерить емкость датчика с целлюлоидной пленкой в качестве диэлектрика 1-5 измерений (при разном положении груза), рассчитать среднее значение емкости и погрешность.
9. Измерить зависимость емкости  $C$  от толщины образца (согласно п.1 п2.) для 1-5 слоев бумаги.

Таблица 1

Образец	Толщина образца $d \pm \Delta d$	№ измерения	$C_i$	$\bar{C} \pm \Delta C$	$\bar{\epsilon} \pm \Delta \epsilon$
		1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		1			
		2			
		3			
		4			
		5			

Определить изменение емкости в зависимости от диэлектрической проницаемости различных материалов

Упражнение 2. Проверка закона последовательного соединения конденсаторов по емкости многослойного конденсатора

1. Круглые образцы, изготовленные из различных диэлектриков с проницаемостями  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $\epsilon_3$  (рассчитанными в первом упражнении) поместить один над другим между пластинами конденсатора.
2. Измерить 5 раз емкость многослойного конденсатора. Результат записать в таблицу 2.

Таблица 2

№ измерения	$C_i$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\bar{C}$	$C_{\text{теор}}$	$\delta C \frac{ \bar{C} - C_{\text{теор}} }{\bar{C}}$
1							
2							
3							
4							
5							

1. Вычислить среднее значение  $\bar{C}$  емкости многослойного конденсатора.
2. Многослойный конденсатор эквивалентен батарее последовательно соединенных конденсаторов (см. рис.4).



Рис. 5 Схема многослойного конденсатора

Из формулы

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Вычислить  $C_{\text{теор}}$ , используя средние значения  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ , найденные в упражнении 1, и измеренные значения толщин образцов. Результат занести в таблицу 2.

3. Сравнить  $C_{\text{теор}}$  с  $\overline{C}$ , определенным экспериментально, вычислив

$$\delta C = \frac{|\overline{C} - C_{\text{теор}}|}{\overline{C}} \cdot 100\% \quad (19)$$

## Обработка результатов измерений

1. Построить график зависимости емкости от толщины диэлектрика (бумаги). Рассчитать среднее значение измеренной емкости  $C_{\text{ср}}$ , величину относительного изменения емкости  $\Delta C/C_{\text{ср}}$  вычислить чувствительность датчика на основе плоского конденсатора.

$$\kappa = \frac{\Delta C}{\Delta d}$$

2. абсолютную погрешность  $\Delta C$  и результат в виде доверительного интервала  $C \pm \Delta C$  записать в таблицу 1.(см. обработка результатов измерений)
3. Вычислить значения емкости плоского конденсатора  $C$  для трех толщин слоя бумаги. Емкость конденсатора, используемого в данной работе равна,

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

где электрическая проницаемость  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м площадь пластины  $S =$   
 $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость бумаги (Табл. 1).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое конденсатор? Что такое электроемкость проводника?
2. Является ли электрическое поле конденсатора однородным, как это определить?
3. Как работает мостовая схема измерения емкости конденсатора? При каком условии эталонная емкость равна измеряемой?
4. Изменится ли электрическое поле внутри конденсатора, если внести в него диэлектрик?

5. Что такое диэлектрик?
6. Как происходит поляризация диэлектрика?
7. Что такое связанные и свободные заряды?
8. Что такое диполь? Как ведет себя диполь в электрическом поле?

#### Контрольные вопросы

1. Какие заряды называются свободными, связанными, сторонними, поляризационными? Приведите примеры.
2. Расскажите о механизме поляризации полярных диэлектриков. От чего зависит их диэлектрическая восприимчивость?
3. Расскажите о механизме поляризации неполярных диэлектриков.
4. Дайте определение вектора поляризации,
5. Дайте определение вектора электрического смещения. В чем заключается преимущество его использования при расчете полей в диэлектриках?
6. Сформулируйте теорему Гаусса-Остроградского для векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{D}$  в диэлектрике.
7. Каков физический смысл диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ ? Как она зависит от температуры?
8. Получить формулу для емкости плоского конденсатора.
9. Вывести формулу для емкости последовательно соединенных конденсаторов и с ее помощью получить формулу (19).
10. Вывести формулу для емкости параллельно соединенных конденсаторов. Получить формулу (22).