

Министерство образования Российской Федерации

Томский политехнический университет

---

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ЭФФ

\_\_\_\_\_ Евтушенко Г.С.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2003г.

427-Vi

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и выполнению  
лабораторной работы № 427-Vi (Virtual)  
по курсу «Методы и средства измерений»  
для студентов специальности  
19.09.-Информационно-измерительная техника и технологии

Томск – 2003 г.

УДК 621.317.39 (075.8)

Исследование емкостных измерительных преобразователей.

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 425-Vi для студентов специальности 19.09 - "Информационно-измерительная техника и технологии" всех форм обучения. -Томск: изд. ТПУ. 2003.-18 с..

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент: доцент, к.т.н. В.Ф. Вотяков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры информационно-измерительной техники 6 февраля 2003 г.

Зав. кафедрой ИИТ, профессор

\_\_\_\_\_ Жуков В.К.

© Томский политехнический университет  
© Винокуров Б.Б.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы № 427-V (Virtual) по курсу «Методы и средства измерений»

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЯХ.

ИП- измерительный преобразователь;

C - емкость, Ф;

$\varepsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость вакуума, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$\varepsilon_{\text{в}}$  - относительная диэлектрическая проницаемость воздуха, равная 1;

$l$  - линейное перемещение подвижного электрода емкостного ИП;

$C_{\text{ИП}}$  - емкость измерительного емкостного преобразователя.

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Е.С.Левшина, П. В. Новицкий. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи.- М.: Энергоатомиздат. 1983, с.320.
2. В.А.Бондер, А.В.Алферов. измерительные приборы. Том 1. – М.; Издательство стандартов, 1986, с.390.

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.

- Изучить принцип действия основных видов емкостных измерительных преобразователей, их разновидности, свойства.
- Изучить особенности включения емкостных ИП в измерительные схемы, их достоинства, недостатки, влияние частоты питающего напряжения на работу ИП.
- Ознакомится с целью и программой работы, с назначением средств измерения, лабораторным макетом.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1.1. исследовать отдельные виды емкостных измерительных преобразователей с точки зрения их чувствительности, линейности, характеристики и точности.

1.2. Исследовать возможности включения емкостных измерительных преобразователей в разные измерительные схемы, провести анализ и обработку результатов измерения.

### 2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Исследовать емкостной одинарный ИП линейного перемещения

2.2. Исследовать емкостной дифференциальный преобразователь линейного перемещения.

2.3. Исследовать емкостной ИП уровня жидкости.

2.4. Исследовать емкостной ИП углового перемещения.

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Виртуальный лабораторный макет выполнен в среде Lab View (рис.1). В верхней части макете размещены три емкостных преобразователя различного типа: ИП линейного перемещения – 1, ИП уровня диэлектрической жидкости – 2 и ИП углового перемещения – 3.

На передней панели лабораторного макета также имеются:

- кнопка «СЕТЬ» подключение макета в «сеть».
- Мультиметр, способный измерять переменное напряжение и емкость преобразователей;
- Генератор переменного тока с ручкой переключения частот генератора, кнопкой переключения множителя частот (x1 и "x10"). В целом пределы регулирования частот от 80 Гц до 20 кГц;

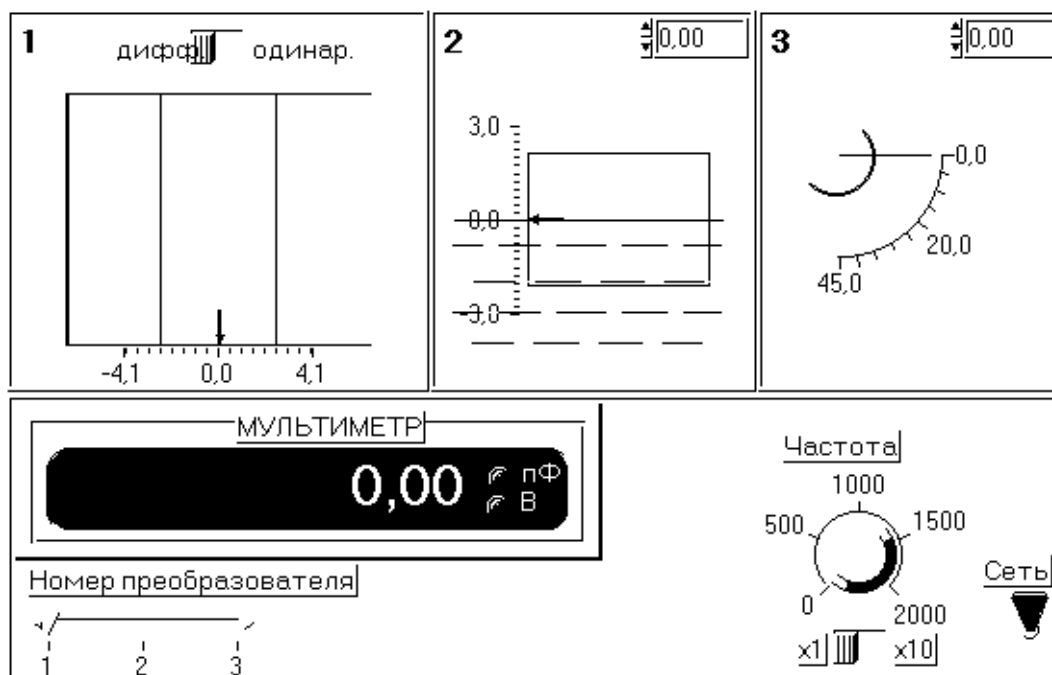


Рис. 1.

Емкостной преобразователь линейного перемещения с изменяющейся площадью перекрытия пластины (рис.2) состоит из двух неподвижных (1 и 2) и одной подвижной (3) пластины, между которыми в качестве диэлектрика – предполагается стеклоткань.

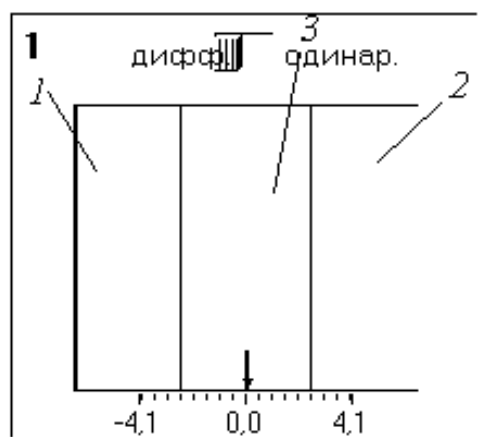


Рис.2

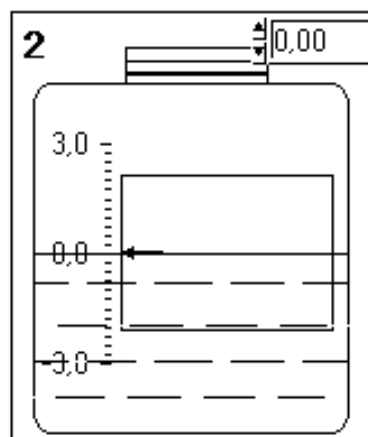


Рис.3

Измерительный преобразователь может включаться в схему как одинарный (двухпластинчатый) или как дифференциальный (трехпластинчатый). Перемещение подвижной пластины преобразователя происходит с помощью курсора мыши по шкале, отградуированной в миллиметрах.

Преобразователь характеризуется следующими данными:

- высота пластин  $h = 1,05 \cdot 10^{-1}$  м;

- ширина пластины  $b = 5 \cdot 10^{-2}$  м;
- расстояние между пластинами  $d = 1 \cdot 10^{-4}$  м;
- относительная диэлектрическая проницаемость стеклоткани  $\epsilon_{ст} = 0,35$ .

Емкостной преобразователь уровня жидкости (рис. 3) представляет собой «сосуд, заполненный маслом», уровень которого подлежит измерению. В сосуд опущены два плоскопараллельных электрода. Степень их погружения в масло задается курсором мыши по шкале, отградуированной в миллиметрах. Тем самым имитируется изменение уровня. Преобразователь характеризуется следующими данными:

- высота пластины  $h = 4 \cdot 10^{-2}$  м;
- ширина пластины  $b = 1,1 \cdot 10^{-1}$  м;
- расстояние между пластинами  $d = 1 \cdot 10^{-2}$  м;
- относительная диэлектрическая проницаемость масла  $\epsilon_M = 1,8$ .

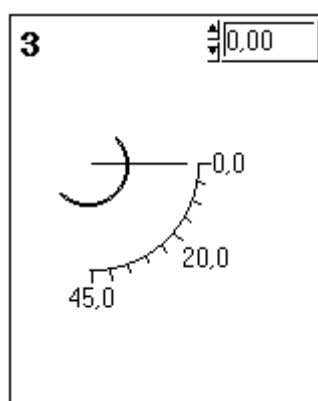


Рис.4

Емкостной преобразователь углового перемещения одинарного типа (рис. 4)

состоит из двух секций, одна из которых представляет неподвижный многопластинчатый электрод, а другая – подвижный многопластинчатый электрод. Конфигурация пластин этих секций такова, что датчик углового перемещения является функциональным. То есть обеспечивает определенного вида нелинейную функциональную связь между емкостью преобразователя и углом поворота подвижной части  $\varphi$ :

$C = f(\varphi)$ . Измерительный преобразователь служит для измерения угловых перемещений (угла поворота) от 0 до 180°.

Измеритель емкости представляет собой последовательную схему измерения, включающую в себя высокочастотный генератор и измеритель тока. емкостное сопротивление преобразователя:

$$Z_{un} = 1 / (2f\pi * C_{un})$$

Где  $f$  - частота генератора,  $C_{un}$  – емкость ИП.

Шкала измерителя емкости равномерна и при множителе «х1» отградуирована в пикофарадах (пФ). Кнопка с множителем «х10» дает возможность увеличить предел измерения в 10 раз. Таким образом измеритель емкости имеет два предела измерения: (0 – 100) пФ и (0 - 1000) пФ.

#### 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЕМКСТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ.

Принцип действия емкостных преобразователей основан на взаимодействии двух заряженных тел (электродов), образующих конденсаторов, емкости которого изменяется под действием входной неэлектрической величины

В общем случае емкость конденсатора есть произведение диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  на геометрическую проводимость зазора между электродами  $G$ :

$$C = G * \varepsilon,$$

где  $\varepsilon = \varepsilon_0 * \varepsilon_i$ ;  $\varepsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$  Ф/М

Проводимость  $G$  определяется геометрией электродов в их взаимным расположением. В простейшем случае для плоскопараллельного конденсатора (при пренебрежении краевым эффектом):

$$G = \frac{S}{\delta}$$

Входная физическая величина может изменять  $\delta$ ,  $S$  или  $\varepsilon$ . Функциональные связи между этими параметрами и входными величинами

позволяют создавать различные величины датчиков для измерения разнообразных входных величин.

### КОНСТРУКЦИИ ЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

На рис.5, а показано устройство емкостного преобразователя для измерения уровня. Преобразователь состоит из двух параллельно соединенных конденсаторов: конденсатор,  $C_1$  образован частью электродов и диэлектриком — жидкостью, уровень которой измеряется; конденсатор  $C_0$  — остальной частью электродов и диэлектриком — воздухом. Емкость преобразователя  $C = C_1 + C_0 = [l\varepsilon + (l_0 - l)\varepsilon_0] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)}$  где  $l_0$  — полная длина цилиндра;  $l$  — длина, на которую цилиндр заполнен жидкостью;

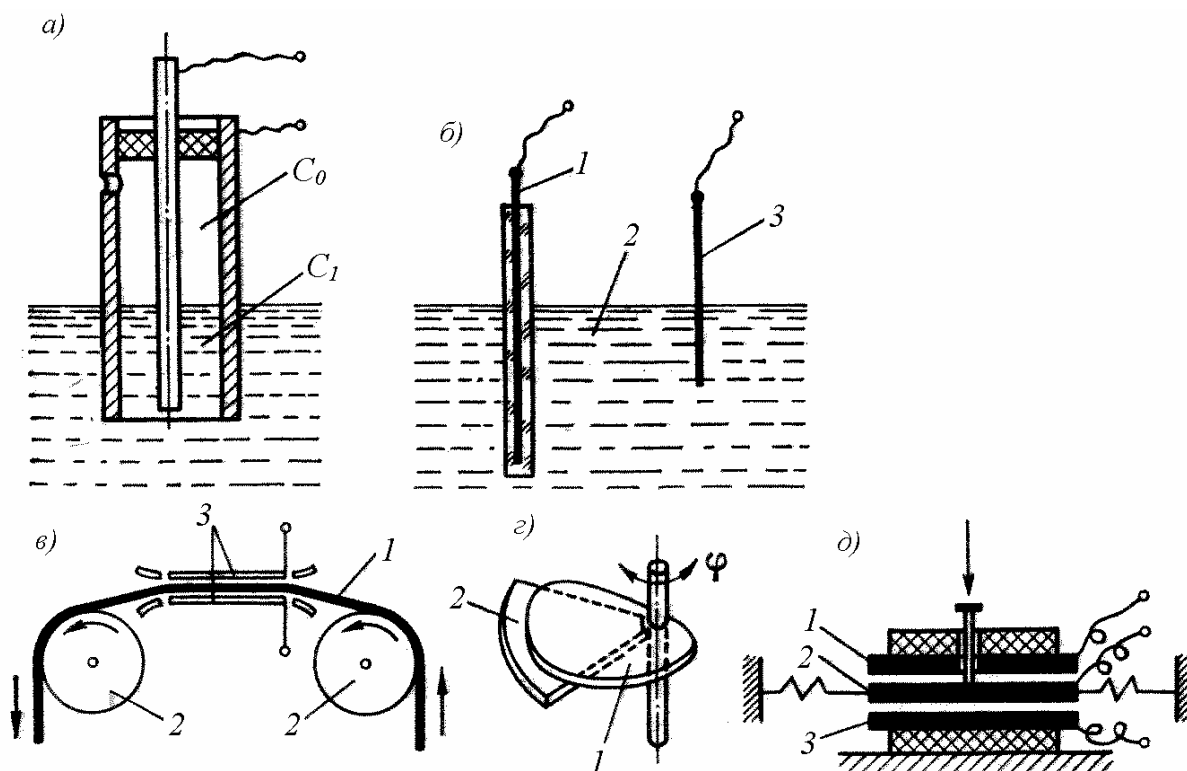


Рис. 5.

$\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость жидкости;  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы внешнего и внутреннего цилиндров.

На рис. 5, б изображен емкостный зонд для измерения уровня проводящей жидкости. Емкостный зонд был предложен для измерения высоты волн и представляет собой остеклованный электрод 1. Электродом 2



служит проводящая жидкость, которая присоединяется к измерительной цепи при помощи электрода 3.

Емкость  $C = l \frac{2\pi\varepsilon}{\ln(R_1/R_2)}$ , где  $l$  — глубина погружения;  $\varepsilon$  — диэлектрическая

проницаемость стекла;  $R_1$  и  $R_2$  — внешний и внутренний радиусы стеклянного покрытия. Вместо специального электрода может быть использован кусок провода, покрытого изоляцией, не смачиваемой жидкостью.

На рис. 5,в показан принцип устройства емкостного преобразователя для измерения толщины ленты из диэлектрика. Испытуемая лента 1 протягивается с помощью роликов 2 между обкладками 3 конденсатора. Если длину зазора между обкладками конденсатора обозначить  $\delta$ , площадь обкладок  $S$ , толщину ленты  $\delta_L$  и ее диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon_L$ , то

емкость  $C$  можно выразить как  $C = \frac{S}{(\delta - \delta_L)/\varepsilon_0 + \delta_L/\varepsilon_L}$ .

На рис. 5,г показан принцип устройства емкостных преобразователей с переменной площадью пластин, используемых для измерения угла поворота вала. Пластина 1, жестко скрепленная с валом, перемещается относительно пластины 2 так, что длина зазора между ними сохраняется неизменной. Достоинством емкостных преобразователей с переменной площадью пластин является возможность соответствующим выбором формы подвижной 1 и неподвижной 2 пластин получить заданную функциональную зависимость между изменением емкости и входным угловым или линейным перемещением. Преобразователи с переменной площадью применяются для измерения перемещений, больших 1 мм.

Для измерения малых перемещений ( $10^{-6} - 10^{-3}$  м) получили применение преобразователи с переменным зазором. Принцип устройства подобного дифференциального преобразователя изображен на рис. 5д. Обкладка 2 закреплена на пружинах и перемещается поступательно под воздействием измеряемой силы  $F$ . Обкладки 1 и 3 неподвижны. Емкость между обкладками 2 и 3 увеличивается, а между обкладками 1 и 2 — уменьшается.

На рис. 6 показана конструкция одной половины дифференциального емкостного преобразователя, используемого в качестве преобразователя

неравновесия в датчике уравнивания. Подвижная пластина 1 крепится к корпусу 2 на растяжках 3, жесткость которых при перемещении в направлении

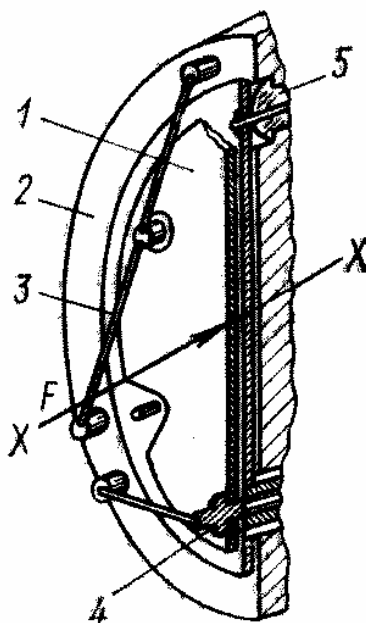


Рис. 6.

оси  $X - X$  очень мала. При действии силы  $F$  подвижная пластина перемещается, и зазор между подвижной и неподвижной пластинами изменяется. Обе пластины тщательно изолированы от корпуса специальными прокладками 4 и стеклянными “срезками” 5.

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

При современной технологии изготовления датчиков начальный зазор может быть доведен до 5—10 мкм и порог чувствительности по перемещению оценивается значениями порядка  $10^{-14}$  м. Огромным достоинством емкостного элемента является также принципиальное отсутствие шумов в отличие от резистивных и индуктивных элементов и отсутствие самонагрева. Все это приводит к тому, что в настоящее время в качестве наиболее высокочувствительных преобразователей в научных исследованиях используются емкостные преобразователи. Наблюдается также тенденция к применению емкостных преобразователей для всех измерений, проводимых в области сверхнизких температур.

В качестве измерительных схем включения емкостных преобразователей применяются, как правило, мостовые схемы на переменном токе, а также автогенераторные и резонансные схемы.

Питание схем с емкостными преобразователями осуществляется напряжением с частотой от десятков килогерц до десятков мегагерц. Это объясняется тем, что внутреннее сопротивление емкостных преобразователей  $Z_c = 1/\omega C$  на низких частотах будет достигать очень больших значений, так как начальная емкость ИП  $C_0$ , как правило, невелика (сотни пикофард). И при больших значениях  $Z_c$  (десятки и даже сотни МОм) предъявляются жесткие требования к последующей измерительной схеме с точки зрения согласования сопротивления нагрузки. При выполнении условий согласования, то есть при  $Z_c = Z_n$  или  $Z_n \gg Z_c$ , в нагрузку передается максимальная мощность  $P_n$  от измерительного преобразователя. При выполнении этих условий увеличивается чувствительность схемы с ИП.

Погрешности емкостного ИП возникают в результате изменения температуры, влажности окружающей среды, напряжения и частоты питания, а также вследствие наводок и помех. Последнее в большей степени проявляется на повышенных частотах и требует тщательной экранировки измерительных схем.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К РАБОТЕ (ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ).

5.1. Какие типы измерительных преобразователей используются в работе? Объяснить их устройство, принцип действия.

5.2. Для измерения каких неэлектрических величин используются емкостные ИП?

5.3. Каковы преимущества дифференциальных емкостных ИП перед одинарными?

5.4. Как определить погрешность от нелинейности характеристики емкостного ИП?

5.5. Исходя из каких соображений задается частота питания схемы с емкостным ИП и как выбрать оптимальную частоту?

5.6. Чем определяется начальная емкость емкостного измерительного преобразователя?

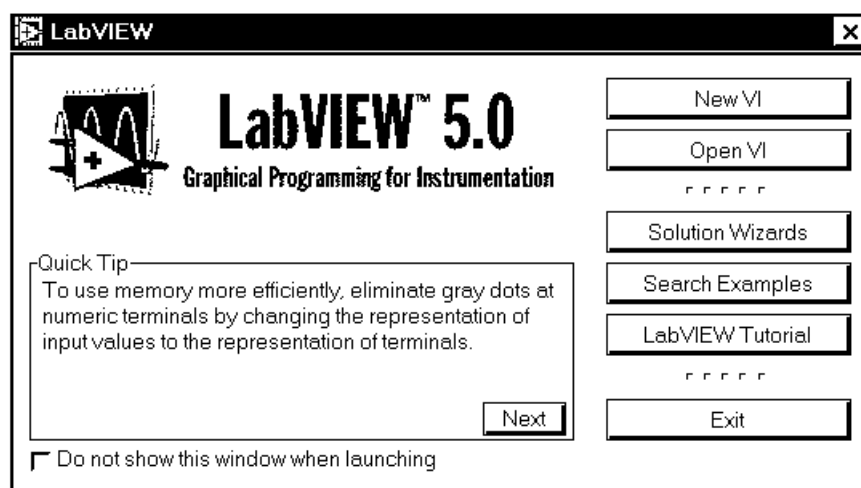
5.7. В какие измерительные схемы включаются емкостные ИП, пояснить эти схемы.

5.8. Какие причины приводят к появлению погрешностей емкостных ИП?

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ.

Для того, чтобы подготовить лабораторную работу к выполнению, следует:

1. Включить компьютер;
2. Загрузить программу **LabVIEW** :
  - Загрузить программу нажатием левой клавиши мыши на ярлыке **LabVIEW**, который находится на рабочем столе Windows,
  - Программа выведет запрос на регистрацию, **ничего не вводя в предложенные окна нажать клавишу ОК, затем ещё один раз нажать клавишу ОК.**
  - При появлении окна, указанного на рисунке, нажать на клавишу Open VI,



- Загрузить файл 427-V.VI,

6.1. Исследование одинарного емкостного преобразователя линейного перемещения с изменяющейся площадью перекрытия пластин.

6.1.1. Снять статическую характеристику одинарного емкостного преобразователя  $C_{ИП}=f(l)$ , где  $l$  - перемещение подвижного электрода (пластины). Для снятия характеристики вывести подвижную пластину в крайнее левое положение. Измерения проводить мультиметром.

Задавая перемещение подвижной пластины по миллиметровой шкале, снять требуемую характеристику. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

l, мм				.....		
$C_{ИП}$ , пФ						
$C_{ТЕОР}$ , пФ						

6.1.2. Используя геометрические параметры измерительного преобразователя, представленные в разделе 3, а так же зависимость для плоского конденсатора  $C = \epsilon_0 \epsilon_{СТ} \cdot h \cdot l / \delta$ , найти теоретическую зависимость  $C_{ТЕОР}=f(l)$ . Пределы изменения значений  $l$  от 0 до  $l=b$ , когда подвижная и неподвижная пластины полностью перекроют друг друга.

6.1.3. По результатам п.п.6.1.1. и 6.1.2. построить графики экспериментальной и теоретических характеристик, сравнить их, определить максимальное значение абсолютной и относительной погрешностей, а также коэффициент нелинейности экспериментальной характеристики  $k_H$ :

$$k_H = \frac{tg \alpha_{max} - tg \alpha_{min}}{tg \alpha_{CP}},$$

где  $\alpha_{max}, \alpha_{min}, \alpha_{CP}$  - максимальный, минимальный и средний углы наклона статической экспериментальной характеристики  $C_{ИП}=f(l)$ .

6.2. Исследование дифференциального емкостного преобразователя с изменяющейся площадью перекрытия пластин.

6.2.1. Снять частотную характеристику  $U_{ВЫХ}=f(f, Gц)$ . Для чего вывести подвижную пластину 2 в крайнее левое или правое положение, задав тем самым разбаланс моста. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

$F$ , Гц.				.....	
$U_{ВЫХ}$ , В					
$P_H$ , Вт					

6.2.2. Используя ту же самую мостовую схему включения ИП, снять зависимость  $U_{ВЫХ}=f(l)$ . Перемещение задавать через 1 см из крайнего левого положения в крайнее правое или наоборот. Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3

$L$ , см	1	2	3	.....	n
$U_{ВЫХ}$ , В					

Построить график и оценить коэффициент нелинейности  $K_H$ . Сравнить с нелинейностью характеристики одинарного преобразователя и сделать вывод.

6.3. Исследование емкостного преобразователя «уровня масла».

6.3.1. Снять зависимость емкости ИП от перемещения. Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

$\Delta$ , см				
$C_{ЭКСП}$				
$C_{РАСЧ}$				

6.3.2. Используя геометрические параметры ИП уровня, а также общее выражение емкости плоскопараллельного конденсатора, частично заполненного диэлектриком, найти теоретическую зависимость  $C_{ИП}=f(\Delta)$ , где  $\Delta=h-h_M$ .

$$C_{ТЕОР} = \frac{h\varepsilon_0\varepsilon_M \cdot b}{\delta} + \frac{\varepsilon_0\varepsilon_b \cdot b(h-h_M)}{\delta}.$$

6.3.3. По результатам п.п. 6.3.1. и 6.3.2. на совмещенном графике построить обе зависимости. Сравнить их между собой и сделать выводы.

#### 6.4. Исследование емкостного преобразователя угла поворота.

Снять зависимость емкости от угла поворота. Данные занести в табл. 5.

Таблица 5

$\varphi, ^\circ$				.....	$n$
$C_{игп}, \text{пФ}$					

По полученным экспериментальным данным построить график вида  $C_{игп}=f(\varphi, ^\circ)$ , после чего объяснить причину ее нелинейного характера. Сделать выводы.

### 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Титульный лист с указанием названия института, названия кафедры, номер и наименование работы, исполнители, дата выполнения работы.

- Цель работы.
- Программа работы.
- Схема лабораторной установки.
- Таблицы экспериментальных данных, основные соотношения.
- Примеры расчетов.
- Графики зависимостей в соответствии с программой.
- Выводы по отдельным пунктам работы и общие выводы.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы № 427-Vi (Virtual) по курсу «Методы и средства измерений» для студентов специальности 19.09. - Информационно-измерительная техника и технологии

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент: В.Ф.Вотяков

Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат 60x84/16. Бумага офсетная №1.  
Печать HISO . Усл. печ. л. \_\_\_ Уч. –изд. л. \_\_\_\_\_ Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_  
ИПФ ТПУ. Лицензия №1 от 18.08.94. Типография ТПУ  
634050, Томск, пр. Ленина, 30