

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

**ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА РАЗЛИЧНЫМИ
МЕТОДАМИ**

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Метрология и измерения»
для студентов направления подготовки
0914 «Компьютеризированные системы, автоматика и управление»
дневной и заочной форм обучения**

**Севастополь
2007**



УДК 621.317

Измерение емкости конденсатора различными методами.

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Метрология и измерения»/ Сост. В.В. Чмут. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2007 - 18с.

Целью методических указаний является обеспечение наглядного изучения различных методов измерения емкости конденсатора, расчета погрешностей при косвенных измерениях, приобретение студентами практических навыков работы с цифровыми и аналоговыми измерительными приборами.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 0914 «Компьютеризированные системы, автоматика и управление».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры
технической кибернетики Сев НТУ
(протокол №4 от 1 ноября 2006 г.)

Допущено учебно – методическим центром СевНТУ в качестве
методических указаний.

Рецензент: Семенов В.И., канд.техн.наук., доцент кафедры ТК.

Содержание

1.	Цель работы.....	4
2.	Краткие теоретические сведения	4
3.	Описание лабораторного стенда.....	12
4.	Порядок выполнения экспериментальных исследований.....	13
5.	Порядок выполнения теоретических расчётов	14
6.	Содержание отчета о выполнении лабораторной работы.....	15
7.	Контрольные вопросы.....	16
	Библиографический список.....	16
	Приложение А. Пределы допускаемой основной погрешности измерительных приборов.....	17

1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – получить навыки измерения емкости конденсатора с твердым диэлектриком различными методами; оценить погрешность измерения и рассчитать интервал максимально возможных значений емкости конденсатора; сравнить различные методы измерения, приняв в качестве образцового цифровой метод.

Выполнение лабораторной работы способствуют закреплению на практике основных теоретических положений, рассмотренных в курсе лекций.

На лабораторных занятиях студенты получают навыки исследования измерительных приборов и устройств, знакомятся с методикой обработки полученных экспериментальных результатов.

2.КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1.Мостовой метод

На рисунке 1 представлена мостовая схема, которая позволяет сравнить измеряемую емкость конденсатора C_x с известной емкостью C_m магазина емкостей, включенного в смежное плечо моста.

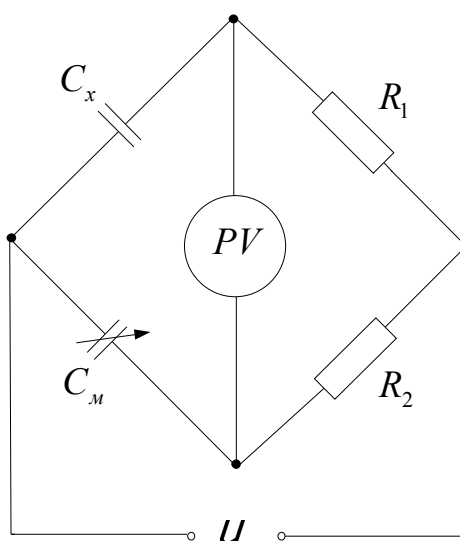


Рисунок 1 – Принципиальная схема реализации мостового метода

В состоянии равновесия мостовой схемы (напряжение в измерительной диагонали равно нулю) выполняется соотношение:

$$C_x = C_m \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

где R_1 и R_2 – сопротивления резисторов в схеме моста (рисунок 1).

Из формулы (1) следует, что интервал возможных значений измеренной емкости зависит от класса точности магазина емкости C_m и точности изготовления резисторов R_1 и R_2 .

2.2. Метод двух приборов

На рисунке 2 приведена принципиальная схема, реализующая метод двух приборов.

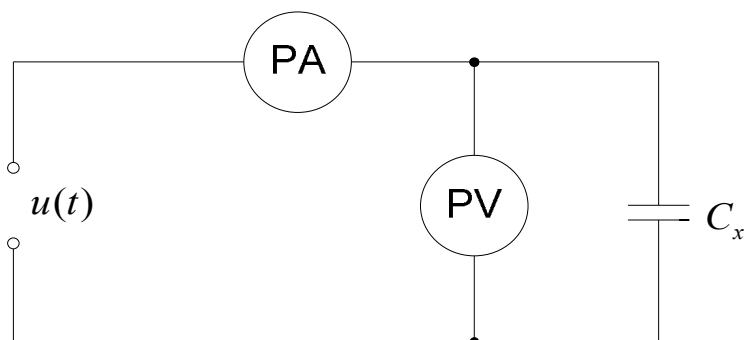


Рисунок 2 – Принципиальная схема метода двух приборов

Емкость конденсатора C_x можно измерить используя показания амперметра РА и вольтметра РВ. Если питающее напряжение $u(t)$ изменяется по гармоническому закону, то пренебрегая активными потерями в конденсаторе C_x , получаем расчетную формулу

$$C_x = \frac{I}{2\pi f U}, \quad (2)$$

где C_x - емкость конденсатора,

I – действующее значение переменного тока протекающего через конденсатор;

U – действующее значение падения напряжения на конденсаторе;

f – частота питающего напряжения.

Метод двух приборов прост в реализации, но погрешность измерения сравнительно велика, так как суммируются приборные погрешности. Точность измерения можно значительно увеличить путем использования одного универсального цифрового вольтметра.

В схеме, приведенной на рисунке 3, сначала измеряются напряжение U_1 на конденсаторе C_x и U_2 на известном сопротивлении R и рассчитывается ток I , протекающий через сопротивление R_0 ; следовательно $I = U_1/R_0$, где R_0 – сопротивление образцового резистора.

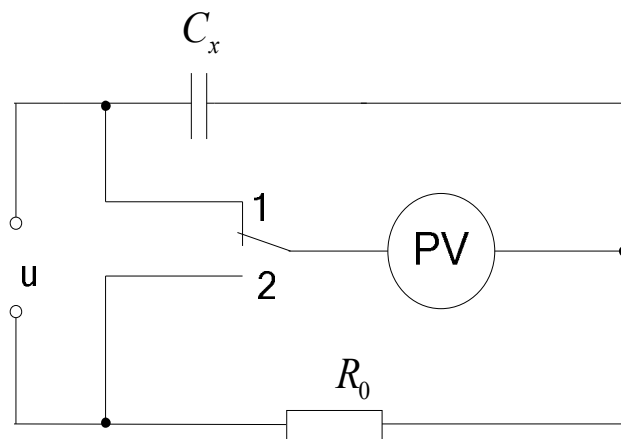


Рисунок 3 – Принципиальная схема для реализации метода двух приборов с использованием универсального цифрового вольтметра

Для расчета значения емкости C_x необходимо воспользоваться формулой, которая следует из равенства токов через элементы цепи C_x и R_0 :

$$C_x = \frac{U_2}{U_1 2\pi f R_0}. \quad (3)$$

Погрешности измерения напряжений U_2 и U_1 определяются пределами допускаемой основной погрешности цифрового вольтметра.

Примечание: Пределы допускаемой основной погрешности вольтметров В7-27 и В7-16А приведены в приложении А.

2.3.Метод замещения

На рисунке 4 приведена принципиальная схема для реализации метода замещения, в котором измеряемая величина замещается известной, воспроизводимой мерой.

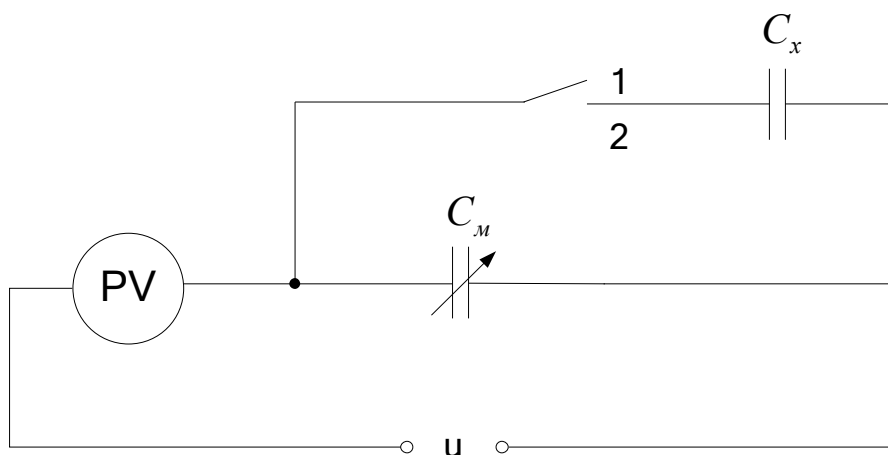


Рисунок 4 – Принципиальная схема для реализации метода замещения

Для реализации метода замещения в цепи устанавливается ток I_1 (по показаниям микроамперметра РА). Путем задания определенного значения емкости магазина C_{m1} параллельно магазину емкости подключается конденсатор с неизвестной величиной емкости C_x . При этом емкостное сопротивление цепи уменьшается, а ток возрастает. Уменьшаем его до некоторого значения I_2 близкого к I_1 , уменьшая емкость магазина до значения C_{m2} . Действующие значения токов I_1 и I_2 при этом определяются соотношениями:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_A^2 + \left(\frac{1}{\omega C_{m1}}\right)^2}},$$

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R_A^2 + \left(\frac{1}{\omega (C_x + C_{m2})}\right)^2}},$$

где U - действующее значение напряжения питания,

R_A - внутреннее сопротивление микроамперметра,

$\omega = 2\pi f$ - циклическая частота питающего напряжения. Приравнивая значения напряжения из последних соотношений, получим

$$C_x = \frac{1}{\omega \sqrt{\frac{I_1^2}{I_2^2} \left[\frac{1}{(\omega C_{m1})^2} + R_A^2 \right]} - R_A^2} - C_{m2} \quad (4)$$

В случае выполнения условия приближенного равенства токов $I_1 = I_2$, выражение (4) значительно упрощается:

$$C_x = \frac{I_2}{I_1} C_{m1} - C_m, \quad (5)$$

где C_{m1} и C_{m2} - установленные значения емкостей магазина, соответствующие токам I_1 и I_2 .

Метод замещения относится к числу сравнительно точных, так как замена измеряемой величины известной не приводит к изменению состояния цепи. Поэтому неточность в показаниях прибора, обусловленная его внутренними свойствами и воздействием различных внешних факторов не оказывает влияния на результат измерения. Последнее обстоятельство оказывается весьма существенными при измерении малых емкостей, так как емкость монтажа и входная емкость магазина оказываются исключенными из результата измерения.

2.4. Цифровой метод

На рисунке 5 представлена структурная схема измерителя емкости.

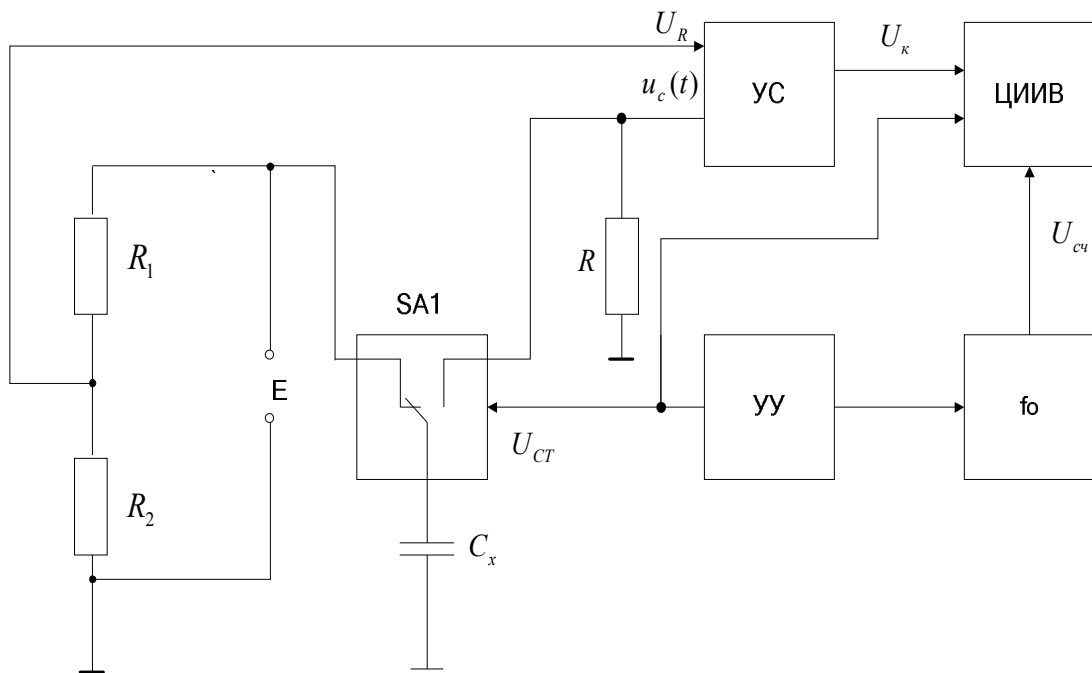


Рисунок 5 – Структурная схема измерителя емкости

Наиболее часто используемый принцип действия прямопоказывающего цифрового измерителя емкости основан на определении постоянной времени цепи разряда конденсатора C_x через резистор R .

Структурная схема измерителя емкости состоит из двух основных частей: измерительного преобразователя емкости в интервал времени, равный постоянной времени RC – цепи, и цифрового измерителя интервалов времени (ЦИИВ).

В исходном положении переключатель SA1, управляемый напряжением, подсоединяет конденсатор C_x к стабилизированному источнику питания E , который заряжает конденсатор. Момент t_1 начала измерения задается устройством управления (УУ).

На рисунке 6 приведены временные диаграммы напряжений для схемы цифрового метода измерения емкости.

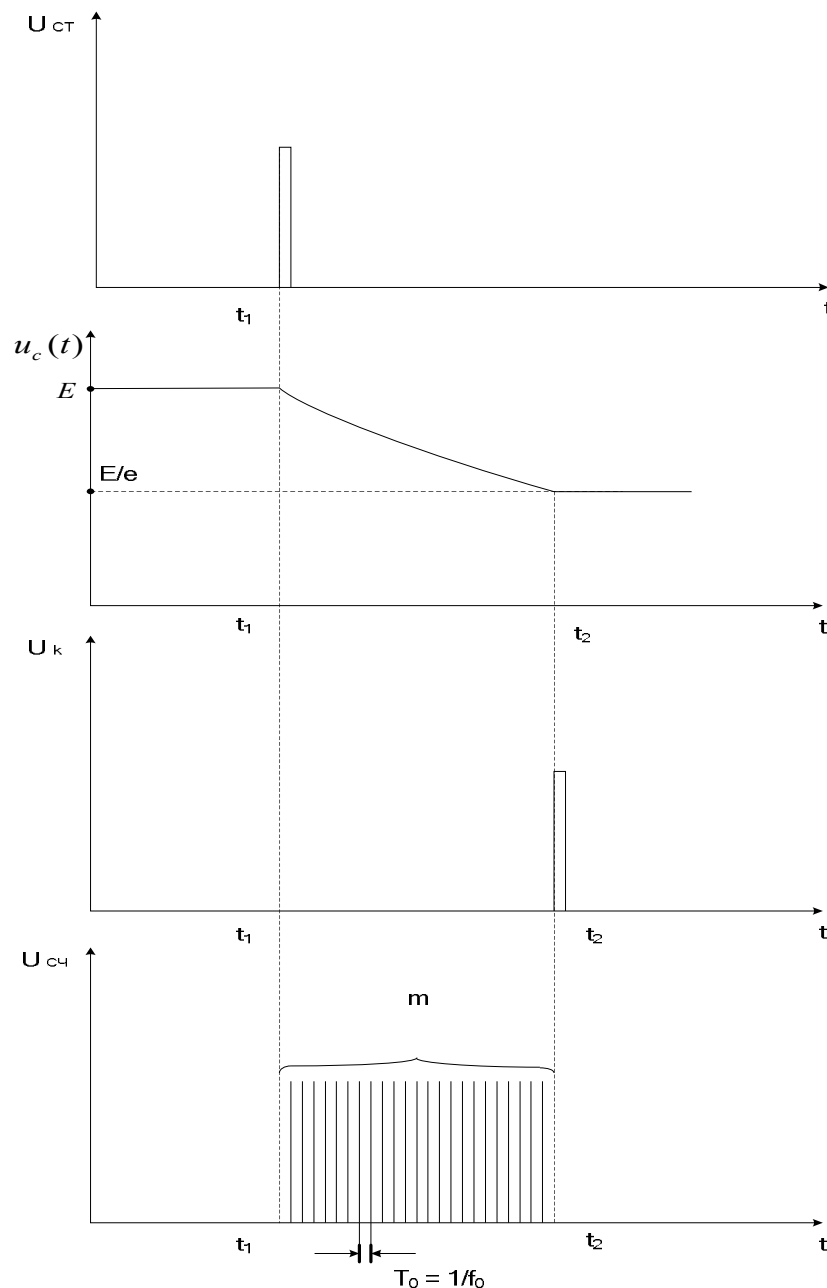


Рисунок 6 – Временные диаграммы напряжений цифрового метода

Стартовый импульс U_{cm} переключает SA1, в результате чего начинается разряд конденсатора C_x через резистор R по экспоненциальному закону. Напряжение на конденсаторе $u_c(t)$ определяется из выражения:

$$u_c(t) = E e^{-\frac{t-t_1}{\tau}},$$

где $\tau = RC_x$ - постоянная цепи разряда,
 t – текущий момент времени ($t \geq t_1$).

Напряжение $u_c(t)$ подается на первый вход устройства сравнения (УС), ко второму входу которого подводится постоянное напряжение $U_R = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, снимаемое с делителя напряжения, содержащего прецизионные резисторы R_1 , R_2 . Сопротивления R_2 и R_1 делителя выбираются таким образом, чтобы выполнялось условие $R_2 / (R_1 + R_2) = 1/e$, где $e=2,7183$. Тогда $U_R = \frac{E}{e}$.

Если к моменту времени t_2 напряжение $u_c(t)$ уменьшается до величины U_R (т.е в момент t_2 напряжение $u_c(t)$ уменьшается до величины $U_R = u_c(t_2)$), то устройство сравнения выдает импульс U_k , задающий конец измеряемого интервала времени $T = t_2 - t_1$.

Заметим, что при выполнении условия $U_R = \frac{E}{e}$ интервал T равен постоянной времени цепи разряда конденсатора $T = RC_x$, а число подсчитанных импульсов m оказывается прямо пропорциональным емкости C_x :

$$m = f_0 RC_x = k C_x,$$

где f_0 – частота следования счетных импульсов $U_{сч}$.

Если k сделать равным, например 10^9 , то прибор получается прямопоказывающим. В этом случае емкость 1 мкФ соответствует 1000 импульсов. Погрешность в единицу младшего разряда счета составит 0,001 мкФ, то есть относительная погрешность не превысит 0,1%.

Измерение емкости цифровым методом можно осуществить на базе универсального цифрового вольтметра, если обеспечить прямо пропорциональную зависимость между напряжением на конденсаторе и величиной его емкости. Такую зависимость легко получить, если ток измерительной цепи будет определяться лишь величиной емкости конденсатора.

На рисунке 7 представлена схема измерителя емкости цифровым методом с использованием универсального цифрового вольтметра.

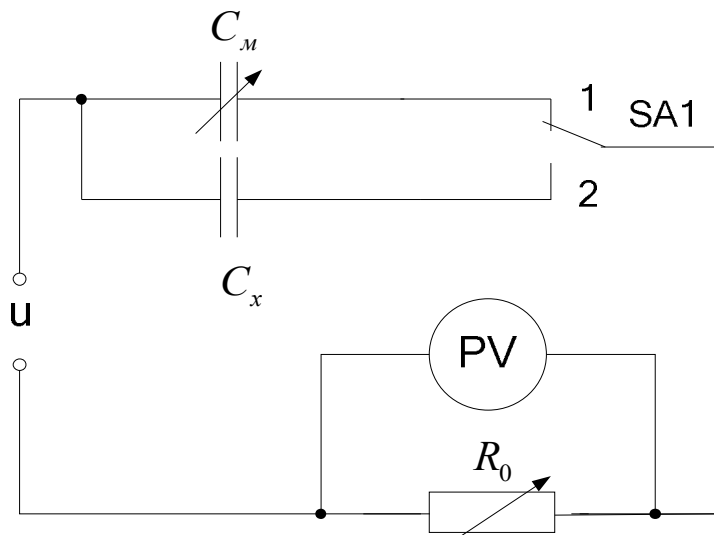


Рисунок 7 – Принципиальная схема измерителя емкости цифровым методом с использованием универсального цифрового вольтметра

Для схемы, представленной на рисунке 7, выполняются условия:

$$R \ll \frac{1}{2\pi f C_x} \text{ и } I \approx 2\pi f U C_x,$$

где U – действующее значение напряжения, выдаваемого генератором синусоидального напряжения (напряжение на входе измерительной схемы).

Поэтому падение напряжения на резисторе R пропорционально величине емкости C_x :

$$U_1 = IR = 2\pi f R U C_x.$$

Для градуировки вольтметра в единицах емкости необходимо подключить магазин C_m и с помощью переменного резистора R установить требуемое значение напряжения U_1 :

$$U_1 = 2\pi f R U C_m. \quad (6)$$

Заменяв магазин C_m исследуемым конденсатором, измеряют соответствующее значение напряжения U_1' :

$$U_1' = 2\pi f R U C_x. \quad (7)$$

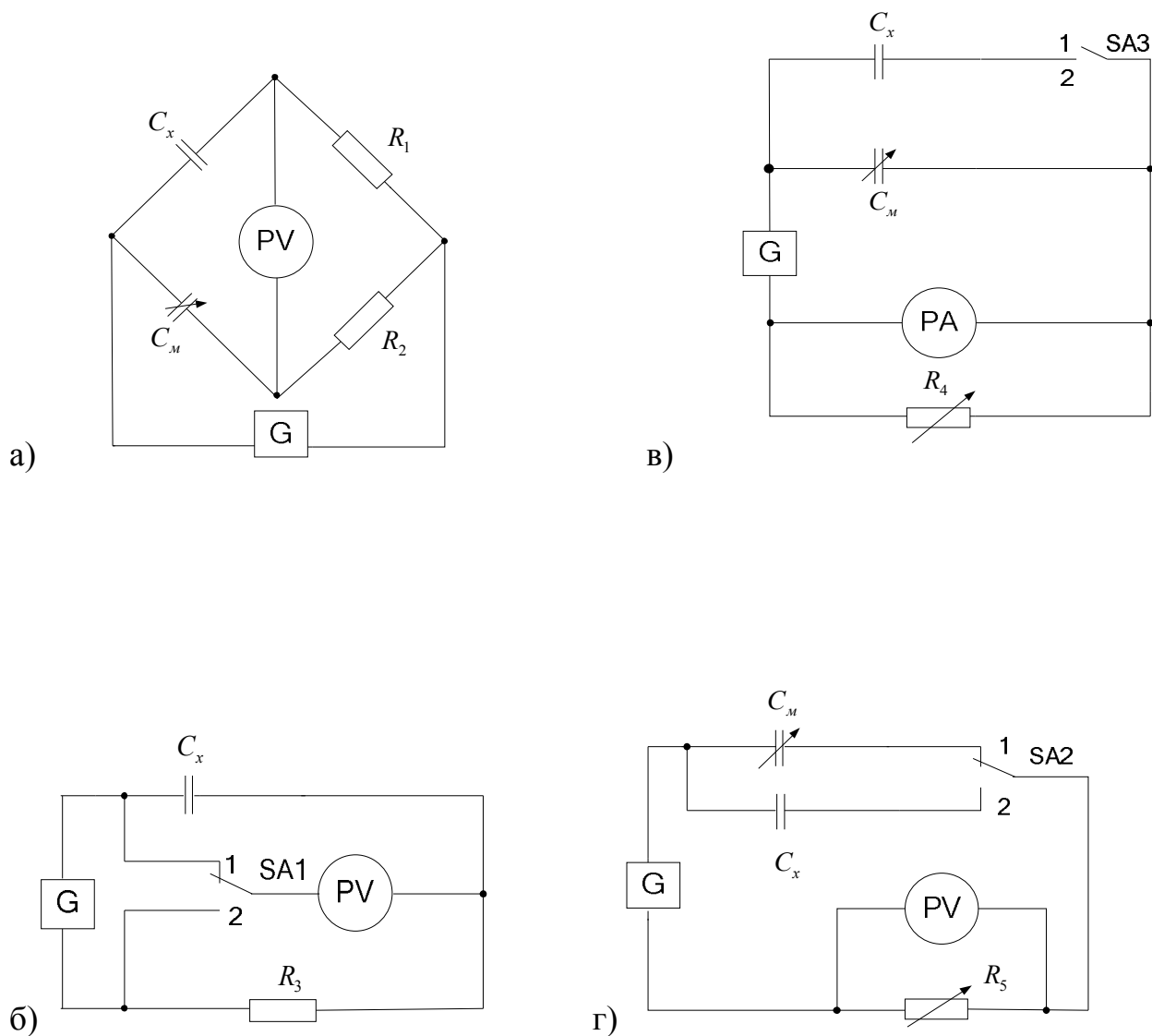
Значения сопротивления резистора R , напряжения U и частоты f при этом не изменяются. Из (6) и (7) получаем градуировочную характеристику вольтметра:

$$U_1' = U_1 \frac{C_x}{C_m}. \quad (8)$$

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторная работа выполняется на установке, которая монтируется на приборной доске, размещенной на лабораторном столе в вертикальном положении.

Упрощенная принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунке 8.



- а) мостовой метод;
- б) метод двух приборов;
- в) метод замещения;
- г) цифровой метод

Рисунок 8 – Упрощенная принципиальная схема лабораторной установки

Лабораторная установка содержит следующие средства измерения, контроля и управления:

- РА – аналоговый микроамперметр М 906; обеспечивает возможность измерения токов в диапазоне от 0 до 50 мкА;
- РV –вольтметр универсальный В7 – 16А – обеспечивает измерение напряжений переменного тока в диапазоне от 0 до 1000 В (подключается к клеммам «ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР»);
- магазин емкостей Р5025 – обеспечивает установку значения образцовой емкости C_m в диапазоне от 0 до 0,9999 мкФ (подключается к клеммам «МАГАЗИН C_m »);
- генератор G (понижающий трансформатор – 220/45 В, 50 Гц) – обеспечивает питание измерительных схем а) – г);
- ручка УСТ U – предназначена для регулировки падения напряжения на резисторе R_5 (рисунок 8,г);
- ручка УСТ I (переменное сопротивление R_4) – предназначена для регулировки чувствительности микроамперметра РА;
- переключатель НОМЕР СХЕМЫ – предназначен для переключения измерительных схем: 1 → а); 2 → б); 3 → в); 4 → г);
- переключатель SA1 – обеспечивает подключение цифрового вольтметра к конденсатору C_x или образцовому резистору R_3 ;
- выключатель SA3 – обеспечивает включение (отключение) емкости C_x параллельно емкости C_m магазина емкостей;
- переключатель SA2 – обеспечивает подключение измеряемой емкости C_x или емкости C_m магазина емкостей.
- тумблер СЕТЬ – обеспечивает подачу сетевого напряжения 220 В в схемы питания индикаторной лампы (предназначенной для индикации номера схемы измерения) и генератора переменного напряжения G ;
- переключатель ВАРИАНТ – предназначен для выбора значения измеряемой емкости конденсатора C_x Примечание: в схемах на рисунке 8 установлены резисторы со следующими значениями сопротивлений:
 $R_1 = R_2 = 1000 \pm 5 \text{ Ом}$; $R_3 = 100 \pm 0,5 \text{ Ом}$.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1.Измерение емкости мостовым методом

Подключить цифровой вольтметр (ЦВ) и магазин емкости к соответствующим клеммам измерительной установки. Ручки регуляторов УСТ I и УСТ U установить в крайнее левое положение (повернуть против часовой стрелки до упора). Включить питание установки.

Установить переключатель измерительных схем НОМЕР СХЕМЫ в положении «1». Переключателем ВАРИАНТ установить номер варианта (задается преподавателем).



С помощью магазина емкости добиться минимального показания вольтметра на пределе «1В» и произвести отсчет величины емкости C_m магазина емкостей, которая уравнивает емкость C_x

4.2. Измерение емкости методом двух приборов.

Переключатель НОМЕР СХЕМЫ установить в положение «2».

Установить переключатель SA1 в положение «1» и по показаниям ЦВ произвести отсчет падения напряжения U_1 на конденсаторе C_x .

Установить SA1 в положение «2» и по показаниям ЦВ произвести отсчет падения напряжения U_2 на резисторе R (резистор R3 на рисунке 8,б).

4.3. Метод замещения.

Переключатель НОМЕР СХЕМЫ установить в положение «3». Установить емкость магазина $C_{м1} = 0,9999$ мкФ.

Выключатель SA3 установить в положение «1» (конденсатор C_x отключен).

С помощью ручки УСТ1 установить удобное для отсчета значение тока I в верхней части шкалы микроамперметра РА.

Установить тумблер SA3 в положение «2», тогда C_x и C_m будут включены параллельно. Ток в цепи должен увеличиться. Уменьшая емкость магазина емкостей, восстановить прежнее значение тока I и произвести отсчет емкости $C_{м2}$.

4.4. Цифровой метод

Переключатель НОМЕР СХЕМЫ установить в положение «4».

Переключатель SA 2 установить в положение «1» (конденсатор C_x отключен).

Установить емкость магазина $C_{м1} = 0,9999$ мкФ.

С помощью ручки УСТ U по показаниям ЦВ установить падение напряжения $U_2 = 1000$ мВ на сопротивлении R_5

Переключатель SA 2 перевести в положение «2» (в цепь включен конденсатор C_x) и произвести отсчет напряжения U'_2 по показаниям ЦВ U'_2 выраженное в вольтах, соответствует значению измеряемой емкости C_x , выраженному в микрофарадах.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

По результатам измерений по п.п. 4.1 – 4.4 рассчитать интервал возможных значений емкости и записать результат в виде: $C_x = C_{изм} \pm \Delta C_x$, где $C_{изм}$ – измеренное значение емкости.

Для расчета ΔC_x при косвенных измерениях необходимо:

-записать выражение полного дифференциала функции нескольких переменных, принимая в качестве функции расчетную формулу для

определения C_x , а в качестве переменных (аргументов) – промежуточные результаты измерений;

- произвести замену дифференциалов функции и аргументов на соответствующие приращения функции и аргументов;

- подставить в полученное выражение измеренные значения переменных и соответствующие им значения абсолютных погрешностей измерения;

- произвести численное сравнение отдельных слагаемых по их абсолютным значениям; если имеются слагаемые, составляющие менее 1/5 от максимального значения, то их необходимо исключить;

- произвести «геометрическое суммирование» оставшихся слагаемых: каждое из слагаемых возвести в квадрат, рассчитать сумму квадратов и из полученного результата извлечь квадратный корень.

5.1.Рассчитать погрешность измерения емкости мостовым методом.

Для расчета $C_{изм}$ необходимо воспользоваться формулой (1). Номинальные значения сопротивлений R_1 и R_2 приведены в разделе 3.

5.2.Рассчитать погрешность измерения емкости методом двух приборов.

Для расчета $C_{изм}$ необходимо воспользоваться формулой (3). Номинальное значение сопротивления $R_0 = R_3$ приведено в разделе 3. Значение f частоты сети питания принять равным: $f = 50 \pm 0,5$ Гц.

5.3.Рассчитать погрешность измерения емкости методом замещения.

Для расчета $C_{изм}$ необходимо воспользоваться формулой (5).

5.4.Рассчитать погрешность измерения емкости цифровым методом.

Для расчета $C_{изм}$ необходимо воспользоваться формулой (8).

Примечание – При расчетах по п.п. 5.1, 5.3 и 5.4 погрешность измерения емкости C_x рассчитывается с учетом основной погрешности магазина C_m , приведенной в приложении А.

5.5.Составить сводную отчетную таблицу, в которой для изученных методов (схем) измерений привести:

- измеренные значения ;
- расчетные значения абсолютных и относительных погрешностей;
- значения погрешностей по отношению к цифровому методу измерения.

6. СОДЕРЖАНИИ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчет, представляемый к защите после окончания исследования, должен содержать:

- титульный лист;
- цель исследования;
- принципиальную (функциональную) схему лабораторной установки;
- перечень используемых приборов;
- результаты эксперимента;
- результаты расчетов;

- выводы по результатам исследования.

На оформление студентом индивидуального отчета отводиться внеаудиторное время в количестве 0,5 от числа аудиторных часов. Защита отчета производится на очередном занятии.

Студент, не оформивший или не защитивший отчет по предыдущей работе, к выполнению очередной работы не допускается.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

При выполнении каких условий имеет место равновесие моста переменного тока? Какие параметры моста подлежат регулированию для достижения равновесия?

Как влияют потери конденсатора на расчетные соотношения, структурную схему моста и условие равновесия?

Какими соображениями следует руководствоваться при выборе схемы измерения емкости конденсатора методом двух приборов? Привести основные схемы.

Как реализуется метод замещения при измерении емкости конденсатора?

Какие принципы и структурные схемы наиболее часто используются для построения цифровых измерителей емкости с помощью временных диаграмм.

Как рассчитываются интервалы возможных значений емкости конденсатора, измеренной различными методами?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драхсел. Р. Основы электроизмерительной техники Р. Драхсел – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 296 с.
2. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения В.Д. Кукуш – Радио и связь, 1985. – 385 с.
3. Атомалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин Э.Г. Атомалян – М.: Высшая школа, 1982. – 223 с.
4. Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е. М. Душин; под ред. Е.М. Душина – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 488 с.
5. Головкин Д. Б. Основи метрології та вимірювань/ Д.Б. Головкин, К.Г. Рого, Ю.О.Скрипник. – Київ: Либідь, 2001. – 408с.
6. ДСТУ 3008-95. Документація. Отчеты в сфере науки и техники. Структура и правила оформления. – Киев: Госстандарт Украины, 1995. – 37с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Пределы допускаемой основной погрешности измерительных приборов

А.1 Вольтметр универсальный цифровой В7-27

Измерение напряжения δ , %,

$$\delta = \pm \left[1 + 0.5 \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right], \quad (\text{A.1})$$

где U_k – установленный предел измерения;

U – показания прибора.

А.2 Вольтметр универсальный цифровой В7 – 16А

Измерение напряжения в диапазоне частот от 20 до 20000 Гц на поддиапазонах

а) «1В»

$$\delta_1 = \pm \left(0,2 + 0,02 \frac{U_k}{U} \right), \quad (\text{A.2})$$

б) «10В» «100В» «1000В»

$$\delta_2 = \pm \left(0,5 + 0,02 \frac{U_k}{U} \right), \quad (\text{A.3})$$

где - U_k – установленный предел измерения;

U – показания прибора.

А.3 Магазин емкостей Р5025

Предел допускаемой погрешности, выраженный в процентах от значения измеренной емкости, равен:

а) для декад до одного мкФ

$$\delta_1 = \pm 0,1 \left(1 + \frac{0,0032}{C} \right), \quad (\text{A.4})$$

где C – числовое значение емкости, выраженное в мкФ;

б) для декад от 1 до 100 мкФ:

$$\delta_2 = \pm 0,5.$$

Заказ № _____ от « _____ » _____ 200 _____. Тираж _____ экз.

Изд-во СевНТУ