

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Ю.П. Артеменко, В.Ю. Лашин

ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторных работ

*для студентов III курса
направления 25.03.02
всех форм обучения*

Москва-2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра электротехники и авиационного электрооборудования
Ю.П. Артеменко, В.Ю. Лашин**

ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

ПОСОБИЕ

по выполнению лабораторных работ

*для студентов III курса
направления 25.03.02
всех форм обучения*

Москва-2016

ББК 6П2.1.08

А 86

Рецензент канд. техн. наук, доцент Е.Ж. Сапожникова

Артеменко Ю.П., Лашин В.Ю.

А 86 Электрорадиоизмерения: пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2016. – 28 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электрорадиоизмерения» по учебному плану для студентов III курса специальности 25.03.02 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 20.09.2016 г.
и методического совета 25.10.2016 г.

Подписано в печать 10.11.2016 г.

Печать офсетная
1,62 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 116

1,33 уч.-изд. л.
Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
Редакционно-издательские услуги ООО «Имидж-студия Арина»
127051 Москва, М. Сухаревская пл., д. 2/4 стр.1

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

Лабораторные работы проводятся на стендах в лаборатории кафедры «Электротехники и авиационного электрооборудования» с использованием реального оборудования. Возможно также проведение работ на компьютере с использованием моделирующих программ WorkBench Electronics или Multisim, при этом содержание работ остается неизменным.

Для выполнения лабораторных работ учебная группа (подгруппа) разбивается на бригады по 2-4 человека.

Перед проведением работы студенты должны ознакомиться с ее описанием и заданиями, изучить соответствующий раздел теоретического курса, подготовить (начертить) электрические схемы и таблицы для результатов измерений и вычислений.

Допуск студентов к лабораторной работе осуществляется на основе индивидуальной беседы преподавателя со студентом или при условии положительных ответов студента на вопросы автоматизированных средств контроля. Допуск к очередной работе может производиться при условии предварительной защиты предыдущих работ. При недопуске студент обеспечивается индивидуальным учебным заданием и должен находиться до окончания занятий в учебной лаборатории.

Прежде чем приступить к сборке схемы лабораторной работы, нужно подобрать необходимые приборы, вспомогательную аппаратуру (реостаты, шунты, магазины сопротивлений, емкостей и т.п.)

Сборку электрической схемы следует начинать с основных силовых цепей, включающих нагрузки, амперметры, токовые обмотки ваттметров. После чего подключить вольтметры и обмотки напряжений ваттметров. После окончания сборки схемы следует предъявить ее для проверки преподавателю.

Включать схему под напряжение только с разрешения преподавателя !

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА И ЗАЩИТА

После оформления экспериментальной части лабораторной работы студенты обрабатывают результаты и составляют отчет о проделанной работе. Отчет оформляется в тетради или на специальных бланках выполнения лабораторных работ.

Схемы, таблицы, графики выполняются карандашом в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Допускается применение средств компьютерной графики.

Таблицы с данными измерений и вычислений, графики и диаграммы сопровождаются краткими пояснениями.

Защита лабораторной работы производится непосредственно после ее выполнения и оформления на данном или следующем занятии в лаборатории.

Лабораторная работа № 1 ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОСТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы:

Изучение методики использования мостов постоянного тока, определение чувствительности мостовой схемы и выбор выгоднейших параметров моста, измерение сопротивлений средней величины.

1.1. Основные сведения

Одинарные мосты постоянного тока

Схема простого (одинарного моста), составленного из резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 , представлена на рис.1.1. Каждая ветвь сопротивлений между двумя узлами называется *плечом моста*. Плечи, имеющие общие узлы, называются *смежными*, а не имеющие общих узлов – *противоположными*.

Ветвь, соединяющая узлы c и d и в которую включен гальванометр Γ , называется *измерительной диагональю*, а соединяющая узлы a и b – *диагональю источника питания $U_{п}$* .

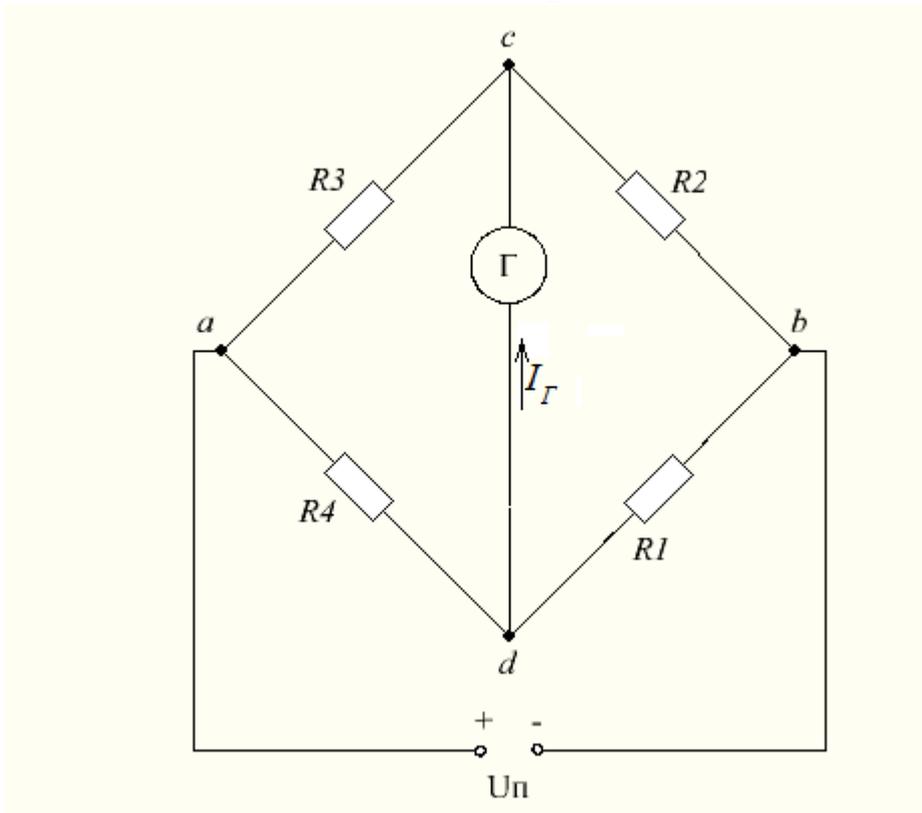


Рис. 1.1 Принципиальная схема одинарного моста

Такая схема имеет следующие основные свойства:

1) при соблюдении попарного равенства произведений противоположных плеч в измерительной диагонали ток отсутствует;

2) при соблюдении п. 1 токи в ветвях цепи не изменятся, если диагональ cd будет изменять свое сопротивление от 0 до ∞ , так как потенциалы точек c и d останутся равными;

3) равновесие моста не нарушается, если диагональ источника и измерительную диагональ поменять местами.

Отсутствие тока в измерительной диагонали, или равенство потенциалов точек c и d называется *равновесием моста*.

Условием равновесия моста, таким образом, является равенство $R_1R_3 = R_2R_4$

Измерение средних сопротивлений

Измерение средних сопротивлений, т.е. сопротивлений значительно превосходящих сопротивления контактов и соединительных проводов, производится по схеме одинарного моста (см. рис. 1.1). Условия равновесия моста, т.е. отсутствие тока в измерительной диагонали моста, наиболее просто определяется методом эквивалентного генератора. В соответствии с этим методом ток в измерительной диагонали моста I_G определится по следующей формуле:

$$I_G = \frac{E_{\mathcal{E}}}{R_{\mathcal{E}} + R_G}, \text{ где} \quad (1.1)$$

$$E_{\mathcal{E}} = U_{\Pi} \cdot \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} - \text{ЭДС эквивалентного генератора;}$$

$$R_{\mathcal{E}} = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3R_4}{R_3 + R_4} - \text{внутреннее сопротивление эквивалентного генератора;}$$

R_G - сопротивление гальванометра.

Изменением сопротивлений моста или хотя бы одного из его плеч, можно добиться того, что разность в числителе правой части равенства (1.1) будет равна нулю, т.е.

$$R_1R_3 = R_2R_4 \quad (1.2)$$

При этом $I_G = 0$, что и соответствует *равновесию* моста, а отсутствие тока в гальванометре является признаком этого равновесия.

Из уравнения (1.2) можно рассчитать одно неизвестное сопротивление плеча моста (например, $R_1 = R_x$), если остальные будут известны:

$$R_x = R_2 \frac{R_4}{R_3} \quad (1.3)$$

Привести мост в состояние равновесия можно двумя способами:

- 1) оставляя неизменным отношение плеч R_4/R_3 , изменять R_2
- 2) оставляя неизменным плечо R_2 , менять отношение плеч R_4/R_3 .

Мост, на котором измерение производится по первому способу, называется *магазинным*. Мост для измерения по второму способу называется *линейным*, или *реохордным*.

Чувствительность моста

Важным свойством моста, характеризующим его эксплуатационные качества, является *чувствительность* моста S_M , под которой понимается отношение изменения тока ΔI_G в измерительной диагонали, или отклонения указателя нуля (гальванометра) $\Delta \alpha$, в состоянии равновесия к относительному изменению сопротивления какого-либо плеча моста, выраженному в процентах:

$$S_M = \frac{\Delta \alpha}{\frac{\Delta R}{R} 100\%} \quad (1.4)$$

Понятие чувствительности моста следует отличать от понятия порога чувствительности моста.

Порогом чувствительности называют то наибольшее изменение сопротивления плеча, при котором отклонения гальванометра столь малы, что глаз не способен их заметить (область нулевых отклонений).

Чувствительность моста зависит от многих факторов: чувствительности гальванометра и его сопротивления, источника питания и его сопротивления, сопротивлений плеч моста и измеряемого сопротивления, источника питания и его сопротивления.

Применяя метод эквивалентного генератора, можно вывести формулу чувствительности моста:

$$S_M = \frac{\Delta \alpha}{\frac{\Delta R}{R} 100\%} = \frac{U_{II} S_i q}{(R_{\Sigma} + R_G)(1+q)^2 100\%} \quad (1.5)$$

где U_{II} – напряжение источника питания;

S_i – чувствительность гальванометра по току;

q – отношение смежных плеч моста,

$$q = \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (1.6)$$

Эта формула показывает, что чувствительность моста при данных напряжениях источника питания U_{II} и чувствительности гальванометра S_i зависят от отношения сопротивлений смежных плеч моста q , расположенных по обе стороны от измерительной диагонали, от сопротивления эквивалентного генератора R_{Σ} и сопротивления гальванометра R_G .

Наилучшая чувствительность моста соответствует наибольшему значению выражения:

$$S_M = \frac{q}{(1+q)^2} \quad (1.7)$$

Исследуя это выражение на максимум, находим, что при $q=1$, т.е. когда $R_1=R_4$, $R_2=R_3$, чувствительность моста будет наилучшей. Чувствительность также повышается с уменьшением R_{Σ} . Наименьшее R_{Σ} определяется значением внешнего критического сопротивления гальванометра.

1.2. Описание лабораторной установки

В работе используется источник электрической энергии постоянного тока с набором сопротивлений, амперметр, вольтметр. Работа может быть также выполнена в программе WorkBench Electronics (Multisim).

1.3. Рабочее задание

- 1) Определить условия наивысшей чувствительности схемы одинарного моста.
- 2) Измерить сопротивление на одинарном мосте.

1.4. Порядок проведения работы

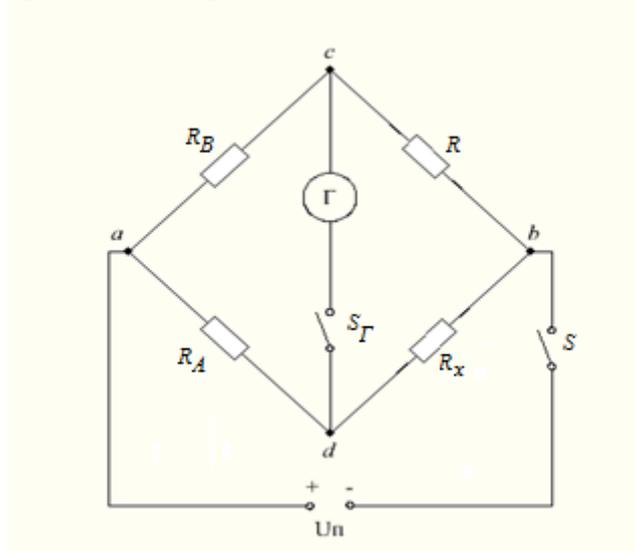


Рис. 1.2. Принципиальная схема проведения экспериментов

1.4.1 Соберите схему одинарного моста (см. рис 1.2), подключив к зажимам X образцовый резистор $R_x=1000$ Ом

1.4.2. Определите условие наилучшей чувствительности одинарного моста к изменению одного из его сопротивлений - R :

- а) установите в плече A моста сопротивление $R_A = 10$ Ом;
- б) установите в плече B моста сопротивление $R_B = 10$ Ом;
- в) в плече R установите сопротивление, определенное из уравнения

$$R_x = R \frac{R_A}{R_B};$$

г) измените сопротивление плеча R на $\Delta R=1$ %, отметьте и запишите в табл.1.1 отклонение гальванометра $\Delta\alpha$.

Если отклонение $\Delta\alpha$, вызванное изменениями R на 1 %,оказалось менее одного деления, увеличьте R на 2...3%

д) последовательно установите в плечах A и B сопротивление согласно табл.1.1. При каждом значении сопротивлений плеч повторите п.п. 2в,г,д.

1.4.3. Вычислите чувствительность для каждого случая, сравните опытные и теоретические результаты.

Таблица 1.1

№	R_x , Ом	R_A , Ом	R_B , Ом	R_A $/R_B$	R , Ом	ΔR , Ом	$\Delta\alpha$, град	$\frac{\Delta R}{R} 100\%$	$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\frac{\Delta R}{R} 100\%}$
1	1000	10	10	1					
2	1000	100	100	1					
3	1000	1000	1000	1					
4	1000	10000	10000	1					
5	1000	100	10	10					
6	1000	1000	100	10					
7	1000	10000	1000	10					

1.4.4. Измерение сопротивления на одинарном мосте

а) Присоедините к зажиму X по указанию преподавателя измеряемое сопротивление R_x .

б) Установите отношение плеч R_A и R_B равным единице и уравновесьте мост переменным резистором R , определив таким образом предварительное значение измеряемого сопротивления.

в) Определите более точное значение сопротивления, для чего в плече A установите сопротивление R_A одного порядка с сопротивлением R_x .

г) В соответствии с формулой равновесия моста (1.2) выберите такое значение R_B , при котором R получит наибольшее значение в пределах до 1000 Ом.

д) Установите определенные таким образом предварительные значения R_A и R_B .

е) Изменяя сопротивление R , уравновесьте мост. Запишите значение сопротивления R в табл. 1.2

Таблица 1.2

№	R_A , Ом	R_B , Ом	R_A / R_B	R , Ом	R_x , Ом

1.5. Содержание отчета

1. Наименование и тип измерительных приборов, класс точности.
2. Схемы опытов, таблицы.
3. Расчетные формулы, расчеты, выводы.

1.6. Контрольные вопросы

1. Что означает равновесие моста?
2. Выведите условие равновесия моста.
3. Порядок измерения сопротивления с помощью одинарного моста.
4. то такое чувствительность моста (определение)?
5. От каких параметров зависит чувствительность моста?
6. Что такое порог чувствительности моста (определение)?

Лабораторная работа № 2 МОСТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы:

Изучение методики использования мостов переменного тока, измерение электрического сопротивления переменному току фиксированной частоты.

2.1. Основные сведения

В цепях переменного синусоидального тока в отношении приемника, или участка цепи, говорят о его полном (z), активном (R) реактивном (X) сопротивлениях. Последнее может быть индуктивным ($X=X_L$) или емкостным ($X=-X_C$). А также о комплексном сопротивлении $Z=R+jX$.

Из курса «Электротехники» известно, что перечисленные параметры могут быть определены из опыта вольтметра, амперметра и ваттметра. Получив измеренные действующие значения напряжения (U) и тока (I), а также активной мощности (P), сопротивления вычисляют по следующим формулам:

$$z = \frac{U}{I}; \quad R = \frac{P}{I^2}; \quad X = \sqrt{z^2 - R^2}$$

Зная сопротивление (X) реактивных элементов и частоту (f), можно определить их параметры: емкость конденсатора $C = \frac{1}{2\pi f X}$ или

индуктивность катушки $L = \frac{X}{2\pi f}$.

Однако точность при этом недостаточно высока. Поэтому для точных измерений применяют мосты (рис 2.1). При этом частота питающего напряжения должна соответствовать той, для которой необходимо определить сопротивление.

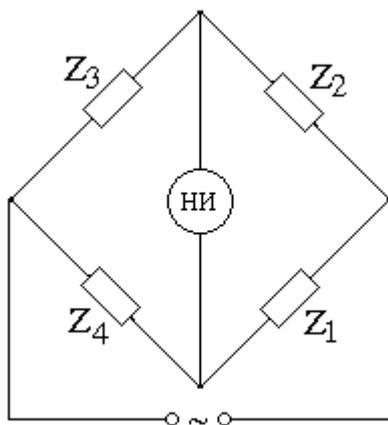


Рис. 2.1 Схема моста переменного тока

Условием равновесия мостовой схемы является равенство произведений комплексных сопротивлений противоположных плеч:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \quad (2.1)$$

Это равенство распадается на два, то есть равенство действительных и мнимых частей левой и правой частей (2.1):

$$\begin{aligned} R_1 R_3 - X_1 X_3 &= R_2 R_4 - X_2 X_4, \\ R_1 X_3 + R_3 X_1 &= R_2 X_4 + R_4 X_2. \end{aligned} \quad (2.2)$$

В лабораторной работе будут использованы схемы для определения емкости конденсатора (рис. 2.2) и индуктивности катушки (рис. 2.3)

Для схемы рис. 2.2, имея в виду, что

$$X_1=0, \quad X_2=0, \quad R_3=R_x, \quad X_3=-\frac{1}{\omega C_x}, \quad R_4=R_0, \quad X_4=-\frac{1}{\omega C_0},$$

из равенств получаем формулы для неизвестных параметров:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_0, \quad C_x = \frac{R_1}{R_2} C_0 \quad (2.3)$$

Аналогично для схемы рис. 2.3, имея в виду, что

$$R_1 = \frac{R_0 \left(\frac{1}{\omega C_0} \right)^2}{R_0^2 + \left(\frac{1}{\omega C_0} \right)^2}, \quad X_1 = -\frac{R_0^2 \frac{1}{\omega C_0}}{R_0^2 + \left(\frac{1}{\omega C_0} \right)^2}, \quad R_3=R_x, \quad X_3=\omega L_x,$$

из равенств получаем формулы для неизвестных параметров:

$$R_x = \frac{R_2 R_4}{R_0}, \quad L_x = R_2 R_4 C_0 \quad (2.4)$$

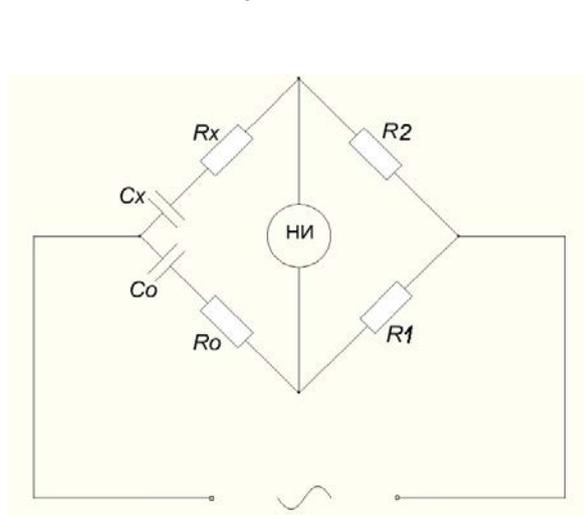


Рис. 2.2. Схема моста для измерения емкости

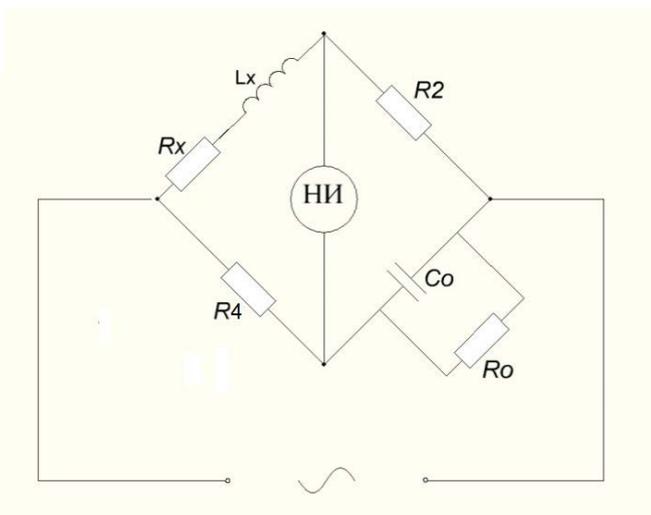


Рис. 2.3. Схема моста для измерения индуктивности

2.2. Описание лабораторной установки

В работе используется источник электрической энергии переменного тока с набором сопротивлений, конденсаторов, катушек, амперметр, вольтметр, осциллограф, макетная плата.

2.3. Рабочее задание

При помощи мостовых схем определить параметры конденсатора и индуктивной катушки.

2.4. Порядок проведения работы

Собрать схемы, изображенные на рис. 2.2 и рис. 2.3.

Значения сопротивления R_0 и образцовой ёмкости C_0 определяются диапазоном измерения и выбираются по указанию преподавателя. Более точное уравнивание моста осуществляется переменными сопротивлениями R_1 и R_2 (в первой схеме) и R_2 и R_4 (во второй).

Изменяя эти сопротивления, добиться равновесия моста, наблюдая за показаниями нуль-индикатора.

Нуль-индикатор моста переменного тока должен обладать высокой чувствительностью и большим входным сопротивлением. В качестве нуль-индикатора в лабораторной работе используется электронный осциллограф.

Измерить параметры предложенных конденсаторов и катушек с помощью мостовых схем. Напряжение для питания моста частотой 1000 Гц подавать с измерительного генератора.

Расчеты R_x , C_x и L_x вести по формулам (2.3), (2.4).

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.1 и 2.2.

Применение электронного осциллографа в качестве нуль-индикатора:

- 1) Включить осциллограф и дождаться появления на экране устойчивого светового изображения (точки или прямой линии).
- 2) Ручку «УСИЛЕНИЕ X» поставить в крайнее левое положение.
- 3) Подключить вход «У» осциллографа к диагонали мостовой схемы. При этом на экране появится вертикальная линия.
- 4) Ручкой «УСИЛЕНИЕ У» добиться, чтобы изображение заняло большую часть экрана.
- 5) В процессе уравнивания моста высота изображения уменьшается. Момент равновесия определяется по минимальной длине вертикального отрезка. Ручку «УСИЛЕНИЕ У» в процессе измерения постепенно переводить в положение минимальной чувствительности (крайнее правое положение).

Результаты измерения параметров конденсаторов

Таблица 2.2

Мостовая схема					
, мкФ	, Ом	R_2 , Ом	R_4 , Ом	, мкФ	, Ом

Результаты измерения параметров катушек

Таблица 2.1

Мостовая схема					
Ом	, мкФ	, Ом	, Ом	, мГн	, Ом

2.5. Содержание отчета

1. Наименование и тип измерительных приборов, класс точности.
2. Схемы опытов, таблицы.
3. Расчетные формулы, расчеты, выводы.

2.6. Контрольные вопросы

1. Какие приборы можно применять в качестве нуль-индикатора в мостах переменного тока?
2. Можно ли, изменяя параметр лишь одного элемента, добиться равновесия моста переменного тока?
3. Как измерить взаимную индуктивность с помощью моста переменного тока?
4. Выведите формулы (2.3), (2.4)

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ (ЦИП) И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цель работы:

Изучение принципа действия, схем и конструктивных особенностей ЦИП и преобразователей, применяемых для измерения параметров электро- и радиотехнических устройств, цепей и сигналов в широком диапазоне частот.

3.1. Основные сведения

Основы построения цифровых измерительных приборов. В современной электронике ЦИП и преобразователи используют главным образом для точных измерений электрических величин. По принципу действия цифровые приборы отличаются от аналоговых тем, что в них обязательно автоматически выполняются операции квантования измеряемой величины по уровню, дискретизации его по времени и кодирования информации. Перспективным направлением развития цифровых измерителей является применение микропроцессов, которые обеспечивают управление процессом измерения, самодиагностику, калибровку по заданной программе, а также первичную обработку результатов измерения.

Цифровые измерительные приборы – наиболее быстро развивающийся вид современных средств измерения. Широкое распространение ЦИП обусловлено их высокими точностными характеристиками, быстродействием и чувствительностью, возможностью автоматизации процесса измерения на основе микропроцессорной техники.

В ЦИП происходит преобразование входного аналогового сигнала $x(t)$ в дискретный выходной сигнал. Под *дискретным* понимают сигналы, значение которых выражено числом импульсов или расположением этих импульсов на временной оси.

Систему правил для представления информации с помощью дискретных сигналов называют *кодом*.

Конструктивно ЦИП состоит из предварительного и аналогово-цифрового преобразователей (АЦП), декадного счетчика, дешифратора (преобразователя кода) и цифрового индикатора (рис. 3.1).

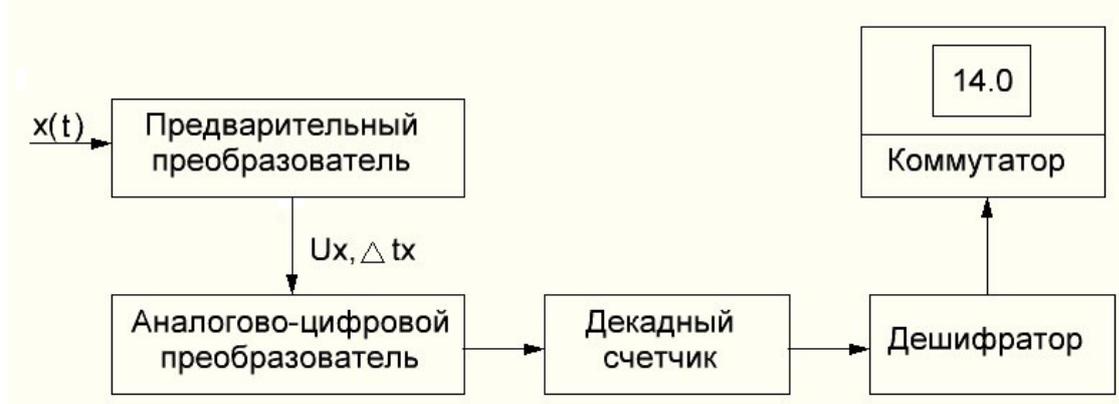


Рис. 3.1. Структурная схема ЦИП

Предварительный преобразователь преобразует любую измеряемую величину в пропорциональное U_x напряжение или соответствующий временной интервал.

Аналогово-цифровой преобразователь производит преобразование напряжения U_x или интервала Δt_x в дискретный сигнал измерительной информации. Процесс преобразования включает в себя операции дискретизации, квантования и цифрового кодирования.

Под *дискретизацией* понимают такую операцию, в результате которой аналоговая входная величина $x(t)$ сохраняет свои значения лишь при определенных моментах времени, называемых моментами дискретизации (t_1, t_2, \dots, t_8). Интервал времени Δt между двумя последовательными моментами дискретизации называют шагом дискретизации.

Под *квантованием* понимают операцию замены истинных мгновенных значений измеряемой величины $x(t)$ ближайшими фиксированными величинами из известной совокупности дискретных величин, называемых уровнями квантования (x_1, x_2, \dots, x_8). Разность Δx между двумя уровнями называют интервалом квантования.

В соответствии с теоремой В.А. Котельникова динамический процесс конечной длительности T , имеющий ограниченный спектр частот F , определяется измерением его значений $n = 2FT$. Шаг дискретизации Δt процесса при этом определяется из следующего отношения:

$$\Delta t = \frac{T}{n} = \frac{1}{2F}.$$

Операция квантования сопровождается появлением случайных погрешностей округления. Квантованные значения x_i преобразовывают в пропорциональное число импульсов N_i - унитарный код, а затем в двоично-десятичный код (например, 4-3-1-1 или 8-4-2-1).

Цифровое кодирование используют для преобразования квантовых значений x_i в пропорциональное число импульсов.

Декадный счетчик осуществляет преобразование унитарного кода в двоично-десятичный. Основными элементами счетчика служат триггерные ячейки. Каждый декадный счетчик состоит из двух-четырех триггерных ячеек, объединенных прямыми и обратными связями так, что в ячейке можно записывать в двоичном коде десятичные числа в пределах $0 \dots 9$ (код 4-3-1-1) или $0 \dots 10$ (код 8-4-2-1). Например, при использовании кода 4-3-1-1 десятичное число 87 в декадном счетчике будет записано следующим образом:

1 1 1 0	1 1 0 0
декада	декада
десяток	единиц

То же число 87 в коде 8-4-2-1 в декадном счетчике записывается следующим образом.

1 0 0 0	0 1 1 1
декада	декада
десяток	единиц

Современные ЦИП содержат от 3 до 9 декадных счетчиков целых и дробных величин.

Дешифратор выполняется на микросхемах и осуществляет преобразование измерительной информации на выходе декадных счетчиков в сигнал цифровых индикаторов (переход от двоично-десятичной системы измерения к десятичной).

Коммутатор состоит из транзисторов *p-n-p*, работающих в ключевом режиме. Для высвечивания нужной информации (цифры индикатора) положительное напряжение с дешифратором поступает на базу транзистора. Сопротивление в коллекторной цепи транзистора резко уменьшается и между анодом и одним из фигурных катодов (в виде цифр от 0 до 9) лампы появляется разность потенциалов, достаточная для ее зажигания.

Цифровой индикатор состоит из газоразрядных ламп и цифробуквенных индикаторов на основе светоизлучающих диодов.

Методы преобразования напряжения в цифровой код

Технические характеристики ЦИП зависят от метода преобразования, параметров элементной базы конструкции, технологии изготовления и других факторов. Метод преобразования и элементная база являются основой для получения ЦИП с требуемыми характеристиками.

Для преобразования напряжения (тока) в цифровой код наиболее часто используются методы: временного, частотного преобразования и с промежуточным преобразованием напряжения в фазу

Вольтметр для измерения мгновенных значений напряжения

Метод временного преобразования применяется в вольтметрах, предназначенных для измерения мгновенных и средних значений напряжений.

В момент нажатия на кнопку «ПУСК» (момент t_0) генератор периода измерения вырабатывает импульс 7 для установки счетчика в нулевое состояние (рис. 3.2). Одновременно импульс 1 запускает генератор линейно изменяющегося (пилообразного) напряжения U_n , с которого оно подается на устройство сравнения УС1 и УС2.

Импульс 5 длительностью T_x поступает на схему И, на два других входа которой подаются сигналы с генераторов опорной частоты f_{on} (8) и периода колебаний (1). На выходе схемы И сигнал 9 появляется только при наличии трех сигналов на ее входе. Схема И пропускает серию сигналов, число которых

$$N_x \quad T_x \quad U_x.$$

Между числом импульсов N_x и измеряемым напряжением U_x имеется следующая зависимость:

$$N_x = \frac{T_x}{T_{on}} = \frac{f_{on}}{K_1} K_2 U_x,$$

где f_{on} , T_{on} – частота и период генератора опорной частоты соответственно; K_1 – коэффициент скорости изменения линейного напряжения («крутизна пилы»), В/с:

$$K_1 = \operatorname{tg} \beta = \frac{dU_n}{dt} = U.$$

Здесь β - угол наклона импульса 1; K_2 – коэффициент преобразования U_x во входном делителе.

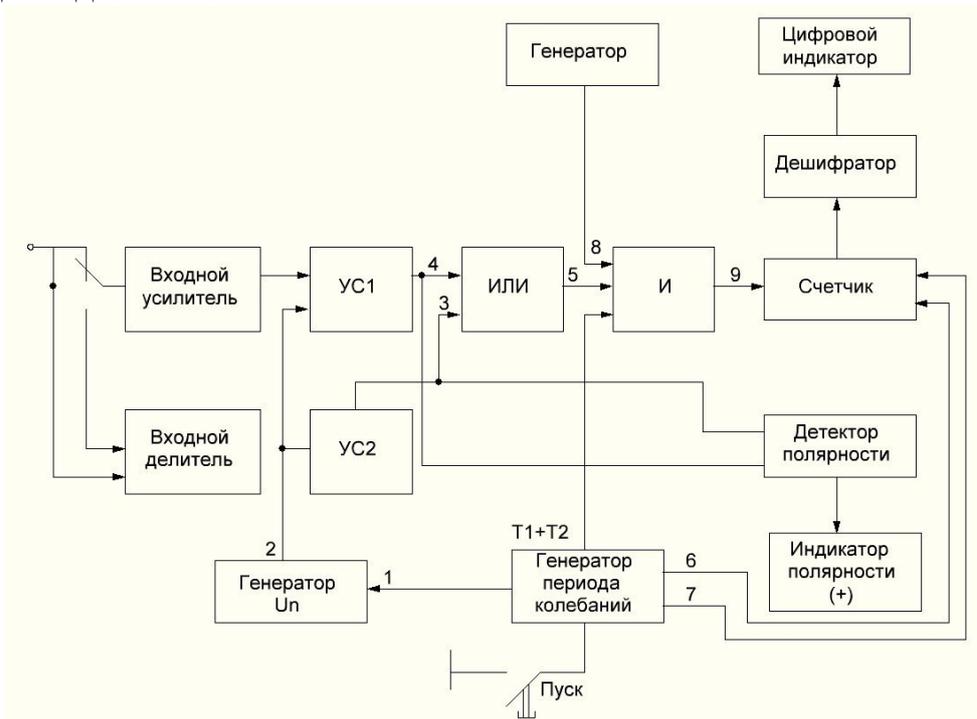


Рис.3.2. Структурная схема цифрового вольтметра

Подбором T_{on} и K_1 добиваются того, чтобы число импульсов N_x точно соответствовало величине U_x . Например, если $U_x = 1 \text{ В} = 1000 \text{ мВ}$, то выбирают $N_x = 1000$ импульсов.

Полярность измеряемого напряжения определяется с помощью детектора полярности: при $+U_x$ первым срабатывает УС1, а затем УС2. При $-U_x$ – наоборот. Сигнал детектора полярности поступает на индикатор полярности.

Возврат генератора U_n в исходное состояние и подготовка схемы к очередному измерению осуществляются импульсом 6 после истечения времени прямого хода луча ($T_1 + T_2$).

Погрешность метода зависит от нестабильности U_n и погрешности, обусловленной нестабильностью срабатывания УС1 и УС2. Численное

значение относительной погрешности измерения находится в следующих пределах, %:

Основной недостаток метода временного преобразования – невозможность подавления помех питающего напряжения. Для устранения этого недостатка на входе ЦИП включают фильтры, что приводит к значительному увеличению времени измерения.

Вольтметр для измерения среднего значения напряжения.

Для измерения с помощью цифровых вольтметров среднего значения U_x используют метод двойного интегрирования, который предусматривает первое интегрирование в течение заданного времени $T_{инт}$ (заряд конденсатора C интегратора измеряемым напряжением U_x на рис. 3.4).

По истечении времени $T_{инт}$ к интегратору подключается источник опорного напряжения $U_{оп}$ с противоположной по отношению к U_x полярностью. Происходит разряд конденсатора C до нулевого значения выходного напряжения $U_{инт}$ - второе интегрирование в течении времени T_x .

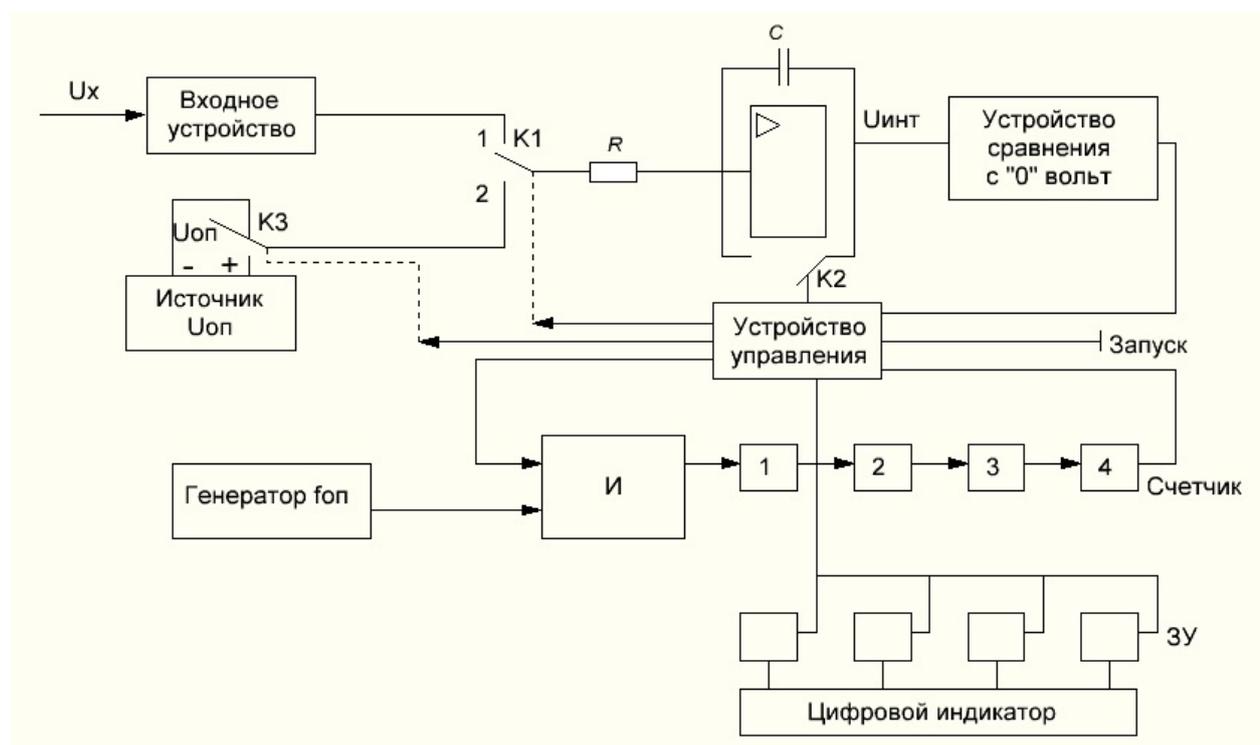


Рис. 3.4. Функциональная схема цифрового вольтметра для измерения среднего значения напряжения

После нажатия в момент t_1 кнопки «Запуск» на счетчик и в запоминающее устройство ЗУ подается сигнал, устанавливающий их в исходное состояние (см. рис. 3.4). В момент t_2 устройство управления размыкает ключ $K2$ и замыкает ключ $K1$ в положение 1 (в случае измерения напряжения $+U_x$).

Ключ $K1$ находится в положении 1 в течение времени $T_{инт}$. При этом напряжение на выходе интегратора $U_{инт}$ возрастает до значения $+U_1$ (первое интегрирование).

Интервал $T_{инт}$ формируется четырехдекадным счетчиком, в котором счет идет до 10^4 импульсов. После того как в счетчике зафиксирован 9999 импульсов, следующий десятичный импульс возвращает его в исходное состояние и с четвертой декады счетчика на устройство управления подается сигнал переполнения, по которому ключ $K1$ устанавливается в положение 2.

На вход интегратора через ключ $K3$ подключается отрицательное напряжение $U_{он}$. Начинается процесс второго интегрирования. Напряжение на обкладках конденсатора C уменьшается. Момент $U_{инт} = 0$ (момент t_4) фиксируется устройством сравнения, с выхода которого поступает импульс в устройство управления. С верхнего входа логической схемы I снимается сигнал, и импульсы с генератора $f_{он}$ перестают поступать на счетчик.

Число импульсов N_x в интервале $T_x = t_4 - t_3$, пропорциональное U_x , фиксируется в ЗУ и отображается на цифровом индикаторе.

Изменение напряжения на выходе интегратора, когда измеряемое напряжение равно $+2U_1$, напряжение U_n и временные диаграммы при изменении отрицательных сигналов составляют $-U_x$. При равенстве периодов помехи T_n и $T_{инт}$ напряжение U_n не оказывает влияния на величины $+U_1$ и $+2U_2$ и, соответственно, на результаты измерений.

Цифровые вольтметры, конструктивно выполненные на основе метода двойного интегрирования, имеют относительную погрешность измерения, %:

$$\delta = \pm (0,020 \dots 0,005).$$

Для подавления помех с частотой сети 50 Гц или 400 Гц интервал интегрирования $T_{инт}$ выбирается кратным периоду сетевой помехи:

$$T_{инт} = n T_n, \text{ где } n = 1, 2, \dots, K.$$

Поддержание этого равенства в цифровых вольтметрах осуществляется автоподстройкой частоты.

Вольтметр с преобразованием напряжения в частоту

Метод частотного преобразования используется в большой группе вольтметров и АЦП (В7-18, В7-25, УТ51 и др.) Цифровые измерительные приборы, сконструированные на основе этого метода, имеют относительную погрешность измерения (преобразования), %:

$$\delta = \pm (0,100 \dots 0,005).$$

Они обеспечивают высокое подавление помех и высокую чувствительность: (0,1... 1,0 мкВ).

В функциональной схеме цифрового вольтметра с преобразованием напряжения в частоту ($U_x \rightarrow f$) (рис. 3.5) по сигналу «Запуск» устройство управления устанавливает счетчик в исходное состояние и запускает генератор образцовых интервалов времени T_0 с кварцевой стабилизацией частоты.

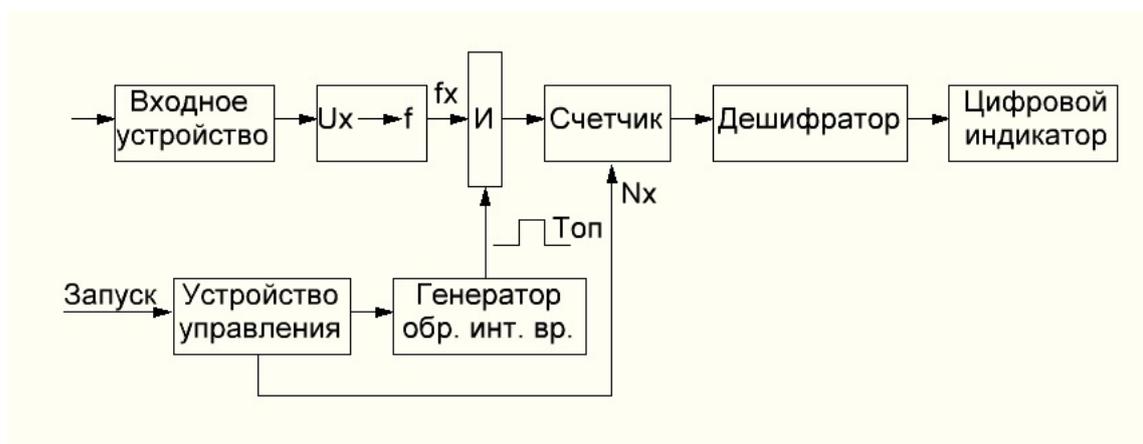


Рис.3.5. Структурная схема цифрового вольтметра с преобразованием напряжения в частоту

Измеряемое напряжение через входное устройство подается на преобразователь $U_x \rightarrow f$, выходная частота которого пропорциональна U_x ($U_x \equiv f$), и на один из входов логической схемы И поступает сигнал T_0 длительностью 1с. Число импульсов N_x с частотой f_x , прошедших через схему И, фиксируются счетчиком и после дешифрования отображаются на цифровом индикаторе, т.е.

$$N_x = T_0 f_x = K_1 K_2 T_0 U_x,$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты преобразования входного устройства и преобразователя.

Вольтметр с промежуточным преобразованием частоты в фазу

В фазовращающее устройство (ФВУ) схемы вольтметра на основе метода с промежуточным преобразованием частоты в фазу одновременно поступают два напряжения: измеряемое U_x и опорное $U_{оп}$. Разность фаз между U_x и $U_{оп}$ преобразуется в ФВУ в пропорциональное напряжение U_ϕ . Влияние помех на U_ϕ оказывается при этом минимальным.

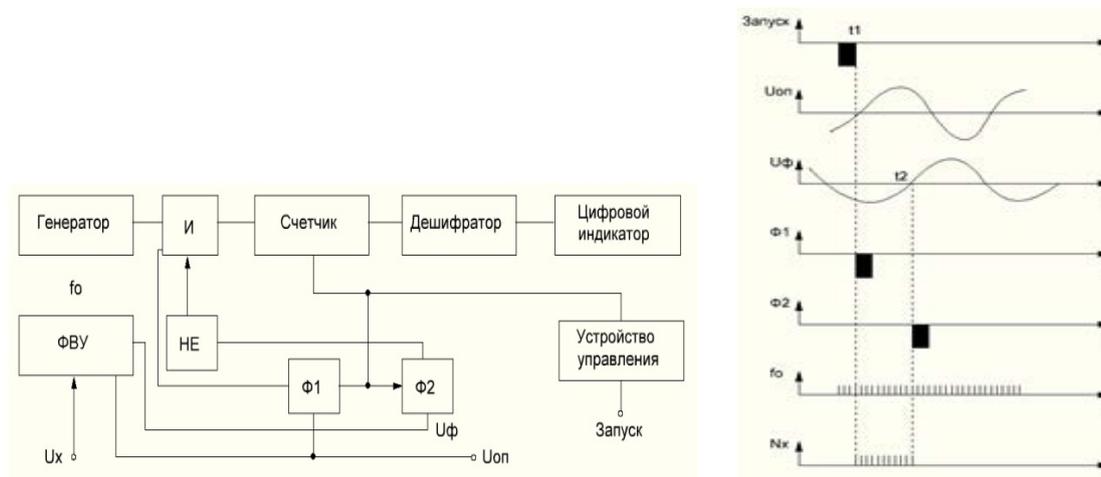


Рис. 3.6. Структурная схема цифрового вольтметра с промежуточным преобразованием частоты в фазу: а – схема вольтметра; б – схема преобразования

По сигналу «Запуск» устройство управления устанавливает счетчик в исходное состояние и включает в синхронную работу формирователи Ф1 и Ф2. В момент прохождения напряжений $U_{оп}$ и $U_{ф}$ через нулевые значения формирователи Ф1 и Ф2 вырабатывают импульсы, которые подаются на логический элемент И в момент времени t_1 (рис. 3.6, б). Включается счетчик импульсов генератора f_0 (напряжение $U_{он}$ проходит нулевое значение).

Логический элемент И имеет три входа. До момента t_1 на двух входах элемента И сигналы от генератора f_0 и формирователя Ф1 уже имеются (на выходе Ф2 установлен логический элемент НЕ).

При прохождении нулевого значения напряжением $U_{ф}$ в момент t_2 на выходе формирователя Ф2 вырабатывается второй импульс, и счетчик выключается. Измеряемое напряжение U_x , отображается на цифровом индикаторе.

3.2. Описание лабораторной установки

В работе используется универсальный стенд с источником электрической энергии постоянного тока, источник постоянного тока со встроенным стрелочным индикатором магнитоэлектрической системы $U_{ТЕС7М}$, вольтметр универсальный цифровой типа UT51.

3.3. Рабочее задание

Изучить теоретические основы построения цифровых вольтметров и методы преобразования напряжения в цифровой код, выполнить измерения с помощью стрелочного индикатора магнитоэлектрической системы $U_{ТЕС7М}$ и универсального вольтметра цифрового типа UT51.

3.4. Порядок проведения работы

1. Включите питание вольтметра UT51 и источник постоянного тока и прогрейте в течение 10...15 мин

2. Изменяя напряжение источника постоянного тока $U_{ТЕС7М}$, произведите измерения с помощью цифрового вольтметра напряжения UT51 и с помощью стрелочного индикатора магнитоэлектрической системы $U_{ТЕС7М}$. Результаты измерений запишите в табл. 3. 1.

По полученным и расчетным данным постройте графики относительных погрешностей напряжения и частоты:

$$\delta_i = f(U_{ТЕС7М}) \text{ и } \gamma_i = f(U_{ТЕС7М}).$$

При вычислении относительных погрешностей величину
номинального напряжения $U_{нм}$ принимайте равным 20 В (предел измерения напряжения на вольтметре UT51 установлен при $U_{нм} = 20$ В).

Таблица 3.1

$U_{\text{ТЕС7М}}, \text{В}$	1	3	5	10	15
$U_{\text{UT51}}, \text{В}$					
$\Delta U_i = U_{\text{ТЕС7М}} - U_{\text{UT51}}$					

3.5. Содержание отчета

1. Наименование и тип измерительных приборов, класс точности.
2. Схемы опытов, таблицы.
3. Расчетные формулы, расчеты, выводы.

3.6. Контрольные вопросы

1. Методы преобразования напряжения в цифровой код.
2. Структурная схема цифрового вольтметра с преобразованием напряжения в частоту.
3. Вольтметр с промежуточным преобразованием частоты в фазу.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы:

Исследование прохождения прямоугольных импульсов через линейные цепи.

4.1. Основные сведения

Электрическим импульсом называется кратковременное изменение напряжения или силы тока. Основными параметрами импульсного сигнала являются амплитуда U_{max} , длительность импульса t_w , крутизна фронта S_ϕ , крутизна среза S_{cp} , длительность фронта τ_ϕ и длительность среза τ_{cp} . Эти параметры определяют по графику конкретного импульса, как показано на рис. 4.1. Крутизна фронта и среза определяются следующим образом:

$$S_\phi = \frac{0,9U_{max} - 0,1U_{max}}{\tau_\phi} = \frac{0,8U_{max}}{\tau_\phi} \quad (4.1)$$

$$S_{cp} = \frac{0,9U_{max} - 0,1U_{max}}{\tau_{cp}} = \frac{0,8U_{max}}{\tau_{cp}} \quad (4.2)$$

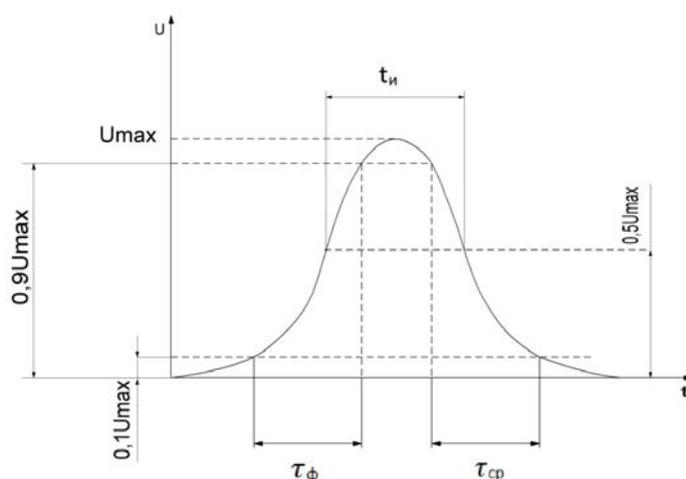


Рис. 4.1. Параметры электрического импульса

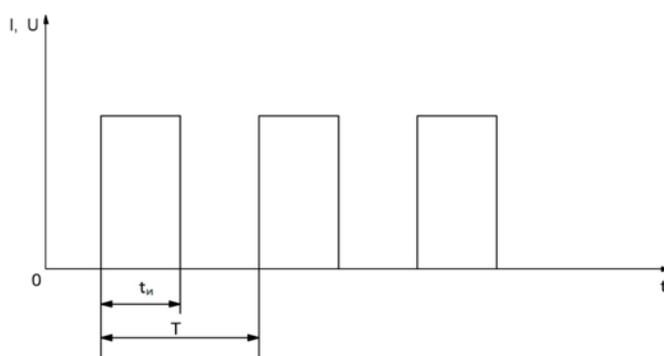


Рис. 4.2. Параметры импульсного тока

Когда длительность импульса существенно больше, чем длительности фронта и спада, говорят о прямоугольном импульсе, а повторяющиеся

импульсы напряжения или тока называют периодическим импульсным сигналом (рис. 4.2).

Основными параметрами повторяющихся прямоугольных импульсов являются: период повторения импульсов T , частота повторения импульсов f , скважность $Q = \frac{T}{t_u}$ и коэффициент заполнения $k = \frac{1}{Q} = \frac{t_u}{T}$.

При прохождении импульсного сигнала через линейные цепи происходит изменение его формы и параметров.

Рассмотрим прохождение прямоугольного импульсного сигнала через RC -цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора емкостью C и резистора сопротивлением R (рис.4.3). Характеристикой такой цепи является постоянная времени цепи $\tau=RC$

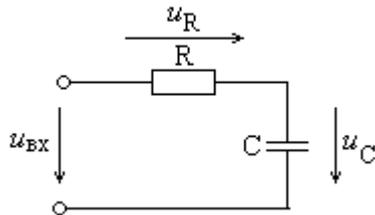


Рис. 4.3. Схема RC - цепи

На вход цепи подаются прямоугольные импульсы с амплитудой U_{max} и длительностью t_u . В качестве выходного сигнала может рассматриваться или напряжение на конденсаторе u_C , или напряжение на резисторе u_R .

Изменение этих напряжений происходит по известным из теоретической электротехники (тема «Переходные процессы») законам.

При подаче импульса (конденсатор разряжен):

$$u_C(t) = U_{max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad u_R(t) = U_{max} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.3)$$

При спаде входного напряжения на ноль (считая, что конденсатор успел полностью зарядиться до напряжения U_{max}):

$$u_C(t) = U_{max} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad u_R(t) = -U_{max} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.4)$$

Здесь $\tau=RC$ – постоянная времени цепи.

Таким образом (рис. 4.4), в момент времени t_1 поступления импульса конденсатор начинает заряжаться и напряжение на нем возрастает по экспоненциальному закону, а напряжение на резисторе убывает. Если $\tau \ll t_u$, то конденсатор успевает зарядиться практически до напряжения U_{max} еще до окончания импульса. Напряжение на резисторе при этом становится равным нулю. Это состояние сохранится до момента t_2 окончания импульса.

Затем конденсатор разряжается, и напряжения u_C и u_R убывают до нуля по экспоненциальному закону.

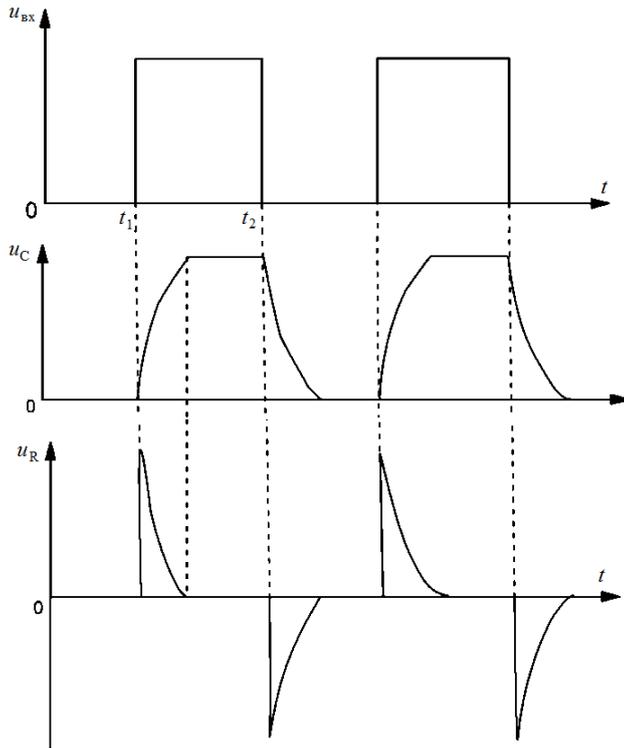
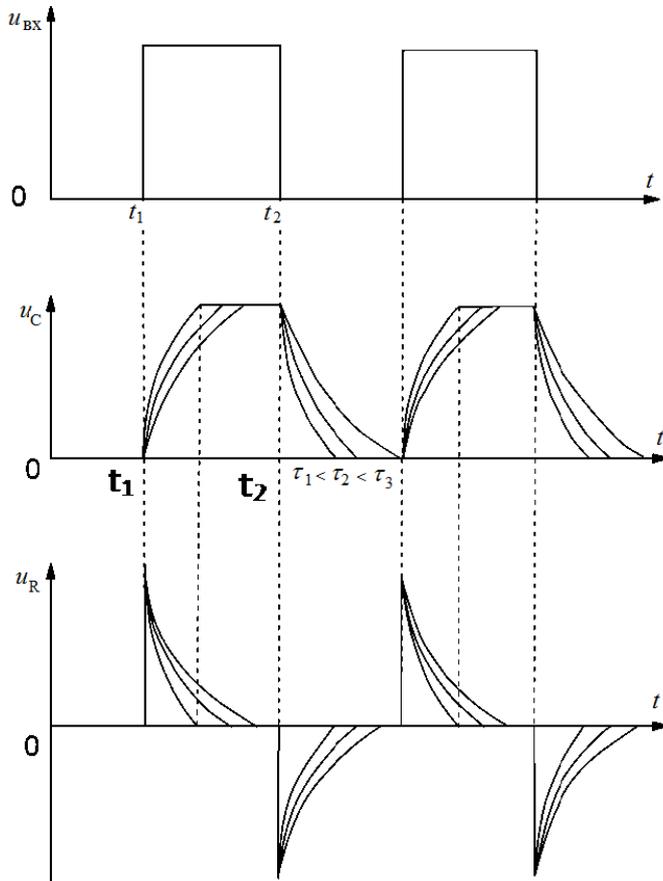


Рис. 4.4.

Форма выходных импульсов RC -цепи существенно зависит от соотношения длительности импульса и постоянной времени цепи.

Рис. 4.5. Кривые изменения напряжений на R и C при разных значениях τ

На рис. 4.5 изображены кривые изменения напряжения на резисторе и конденсаторе при различных значениях τ ($\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$) при постоянной длительности входного импульса.

Рассмотрим прохождение прямоугольного импульса через линейную цепь, состоящую из последовательно соединенных катушки индуктивности L и резистора R (рис.4.6).

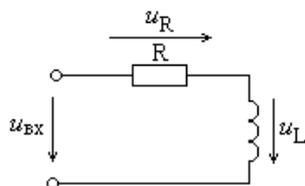


Рис.4.6. Схема RL -цепи

Аналогично предыдущей схеме выходными здесь могут быть напряжения на резисторе u_R или на индуктивности u_L .

При подаче импульса:

$$u_R(t) = U_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad u_L(t) = U_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.5)$$

При спаде входного напряжения на ноль (считая, что ток успел достичь максимального значения U_{\max}/R):

$$u_R(t) = U_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad u_L(t) = -U_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4.6)$$

Постоянная времени такой цепи $\tau = L/R$.

Соответствующие графики изображены на рис.4.7

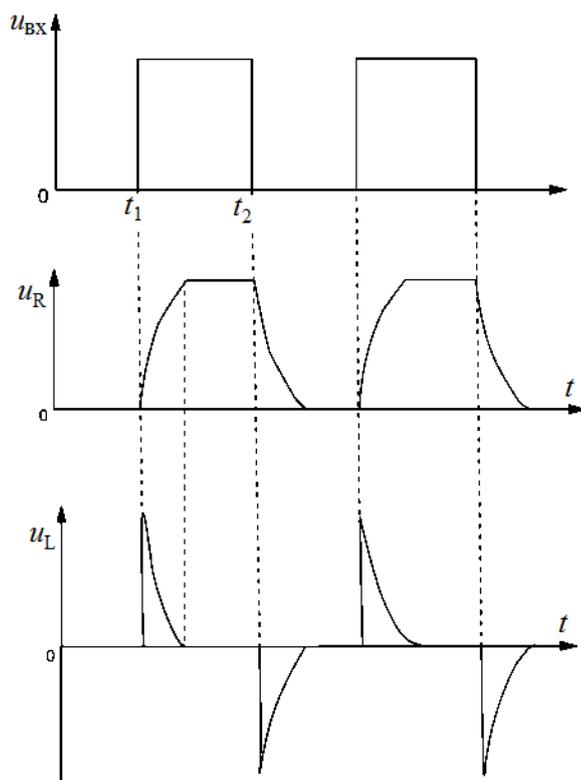


Рис.4.7

Если постоянная времени цепи τ меньше длительности импульса t_u , то сила тока в цепи достигает максимального значения и остается постоянной до окончания импульса. При этом $u_R = U_{max}$, $u_L = 0$. В момент окончания импульса входное напряжение становится равным нулю. При этом ток, а вместе с ним напряжение на резисторе, благодаря явлению возникновения ЭДС самоиндукции в катушке, уменьшаются, стремясь к нулю, по экспоненциальному закону (4.6), в то же время напряжение на катушке равно напряжению на резисторе со знаком «-».

Если же постоянная времени τ существенно превышает длительность импульса t_u , то процессы будут развиваться так, как показано на рис.4.8.

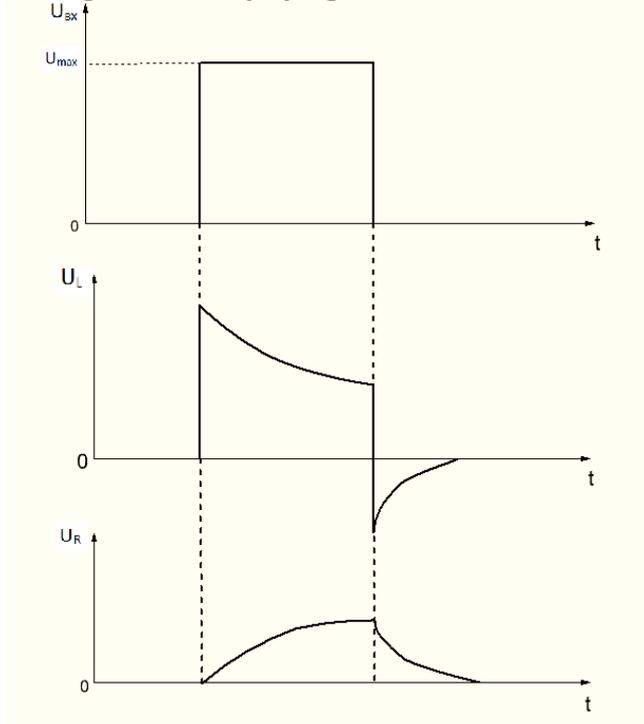


Рис.4.8. Кривые изменения напряжения на R и L при t_u

4.2. Описание лабораторной установки

В работе используется источник электрической энергии переменного тока с генерацией прямоугольного сигнала, набором сопротивлений, конденсаторов, катушек, амперметр, вольтметр.

4.3. Рабочее задание

Исследуйте прохождение прямоугольных импульсов через RC -цепь, а также прохождение прямоугольных импульсов через RL -цепь

4.4. Порядок проведения работы

Экспериментальная установка состоит из катушки индуктивности L , конденсатора C , двух наборов резисторов $R1...R5$ и $R6...R10$ и генератора G прямоугольных импульсов (схема на рис.4.9).

Напряжение на генератор прямоугольных импульсов подается от блока питания. Входной сигнал с генератора можно с помощью переключателя $S1$ поочередно подавать на вход RC - или RL -цепей.

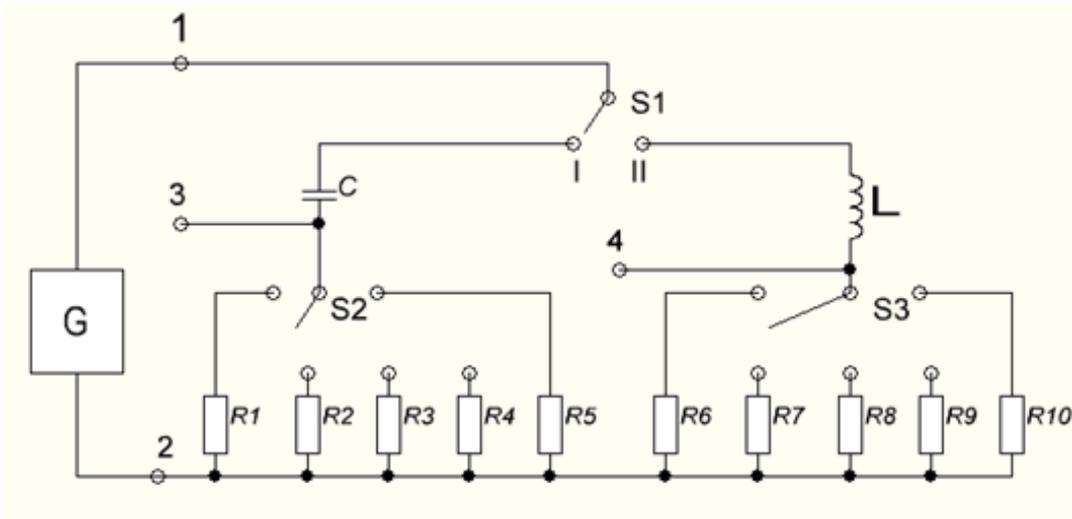


Рис.4.9.

Ступенчатые переключатели $S2$ и $S3$ позволяют включать соответственно в RC - и RL - цепи различные резисторы. Входной сигнал и выходные сигналы с элементов установки наблюдаются на ЭО.

1. Исследуйте прохождение прямоугольных импульсов через RC -цепь:

- а) включите блок питания, генератор и осциллограф;
- б) подключите вход осциллографа на вход экспериментальной установки (клеммы 1 и 2) и зарисуйте осциллограмму входных импульсов;
- в) поставьте переключатель $S1$ в положение I;
- г) подключая поочередно с помощью переключателя $S2$ резисторы $R1...R5$, получите осциллограммы напряжений с резисторов (вход осциллографа соединен с клеммами 2 и 3) и конденсатора C (вход осциллографа соединен с клеммами 1 и 3); полученные осциллограммы зарисуйте;
- д) вычислите для каждой осциллограммы отношение длительности импульсов t_u к постоянной времени цепи $\tau = RC$. Значения $R1...R5$, C указаны на установке.

2. Исследуйте прохождение импульсов через RL -цепь:

- а) поставьте переключатель $S1$ в положении II, при котором исследуется RL -цепь;
- б) подключая поочередно при помощи переключателя $S3$ резисторы $R6...R10$, получите осциллограммы напряжений с резисторов (вход осциллографа соединен с клеммами 2 и 4) и катушки L (вход осциллографа подсоединен к клеммам 1 и 4); полученные осциллограммы зарисуйте.

3. Определите параметры импульсного сигнала и импульсного тока:

- а) вычислите для каждой осциллограммы:
 - длительность импульса t_u ;
 - амплитуду U_{max} ;
 - крутизну фронта (см. формулу (4.1));

период T и частоту f повторения импульсов;
 скважность Q (см. формулу(4.2));
 коэффициент заполнения k (см. формулу (4.3));

б) полученные значения нанесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

$t_u, \text{с}$	$U_{max}, \text{В}$	$S_{\phi}, \text{В/С}$	$T, \text{с}$	$f, \text{с}^{-1}$	Q	k

4.5. Содержание отчета

1. Наименование и тип измерительных приборов, класс точности.
2. Схемы опытов, таблицы.
3. Расчетные формулы, расчеты, выводы.

4.6. Контрольные вопросы

1. Что называется импульсом? Какими параметрами он характеризуется?
2. Что называется импульсным током? Какими параметрами он характеризуется?
3. Как изменяется форма прямоугольного импульса при прохождении RC -цепи?
4. Как изменяется форма прямоугольного импульса при прохождении RL -цепи?
5. Какими параметрами характеризуется электрический импульс?
6. Что такое постоянная времени и как она определяется в RC - и RL -цепях?
7. Что такое скважность следования импульсов?

Содержание

	С.
1. Организация работ.....	3
2. Оформление отчета и защита.....	3
3. Лабораторная работа №1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОСТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	4
4. Лабораторная работа №2. МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	9
5. Лабораторная работа №3. ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ (ЦИП) И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	13
6. Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ.....	22