

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Кафедра компьютерных систем в управлении  
и проектировании (КСУП)**

**В.Ф. Отчалко**

**Измерительная техника и датчики**

**Учебно-методическое пособие  
по лабораторным работам магистров  
направления подготовки  
27.04.04 Управление и автоматизация  
технологических процессов и производств**

**2016**

Корректор: Коцубинский В. П.

**Отчалко В.Ф.**

Измерительная техника и датчики для магистрантов направления подготовки 27.04.04 Управление и автоматизация технологических процессов и производств: методические указания по лабораторным работам — Томск: каф. КСУП, ТУСУР, 2016. — 77 с.

© Отчалко В.Ф.

© Кафедра КСУП ТУСУР, 2016

**Содержание**

Лабораторная работа №1.....	3
Лабораторная работа №2.....	22
Лабораторная работа №3.....	30
Лабораторная работа №4.....	45
Лабораторная работа №5.....	56
Лабораторная работа №6.....	66

## 1. Лабораторная работа № 1.

### Применение электронного осциллографа для исследования электрических сигналов.

#### 1.1. Цель работы

Целью работы является изучение устройства универсального осциллографа и методов измерения параметров электрических сигналов.

#### 1.2. Домашнее задание

1.2.1. Изучить принцип действия, функциональную схему и назначение узлов универсального электронного осциллографа.

1.2.2. Ознакомиться с правилами использования осциллографа в режиме **непрерывной, ждущей** развертки, в режиме использования канала **X** для **подачи внешних сигналов**.

1.2.3. Изучить правила калибровки каналов вертикального и горизонтального отклонения с помощью тестового сигнала.

1.2.4. Ознакомиться с методикой измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов.

1.2.5. Ознакомиться с правилами определения погрешностей измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов с применением осциллографа и представления результатов с учетом округления.

### 1.3. Основные положения

1.3.1 Электронный осциллограф является одним из наиболее универсальных измерительных приборов, предназначенных для визуального наблюдения электрических сигналов и измерения их параметров. Исследуемый сигнал отображается на экране электронно-лучевой трубки в виде светящихся линий или фигур, называемых осциллограммами. Осциллограмма представляет собой функциональную зависимость двух или трех величин  $y=F(x)$  или  $y=F(x,z)$ , каждая из которых является, в свою очередь, функцией времени:  $y(t)$ ,  $x(t)$ ,  $z(t)$ .

1.3.2. Упрощенная структурная схема осциллографа (рис 1.1) состоит из двух каналов формирования сигналов по координатам X и Y и канала Z, предназначенного для модуляции яркости луча электронно-лучевой трубки. Канал вертикального отклонения, предназначенный для передачи исследуемого сигнала на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки ЭЛТ, состоит из последовательно соединенных аттенюатора (ослабителя) АТТ и усилителя Y. Такое соединение необходимо для расширения динамического диапазона исследуемых сигналов. Таким образом, отклонение луча  $l_Y$  на экране будет пропорционально подаваемому на вход Y сигналу и будет характеризоваться коэффициентом отклонения  $K_{откл}$ , используя который можно определить амплитуду (размах) входного сигнала

$$U_y = K_{откл} \cdot l_Y \quad (1.1)$$

Коэффициент отклонения имеет фиксированные значения и размерность **Вольт/дел.**, и указан на положениях переключателя входного аттенюатора. Эти фиксированные значения справедливы только при максимальном, плавно регулируемом усилении усилителя.

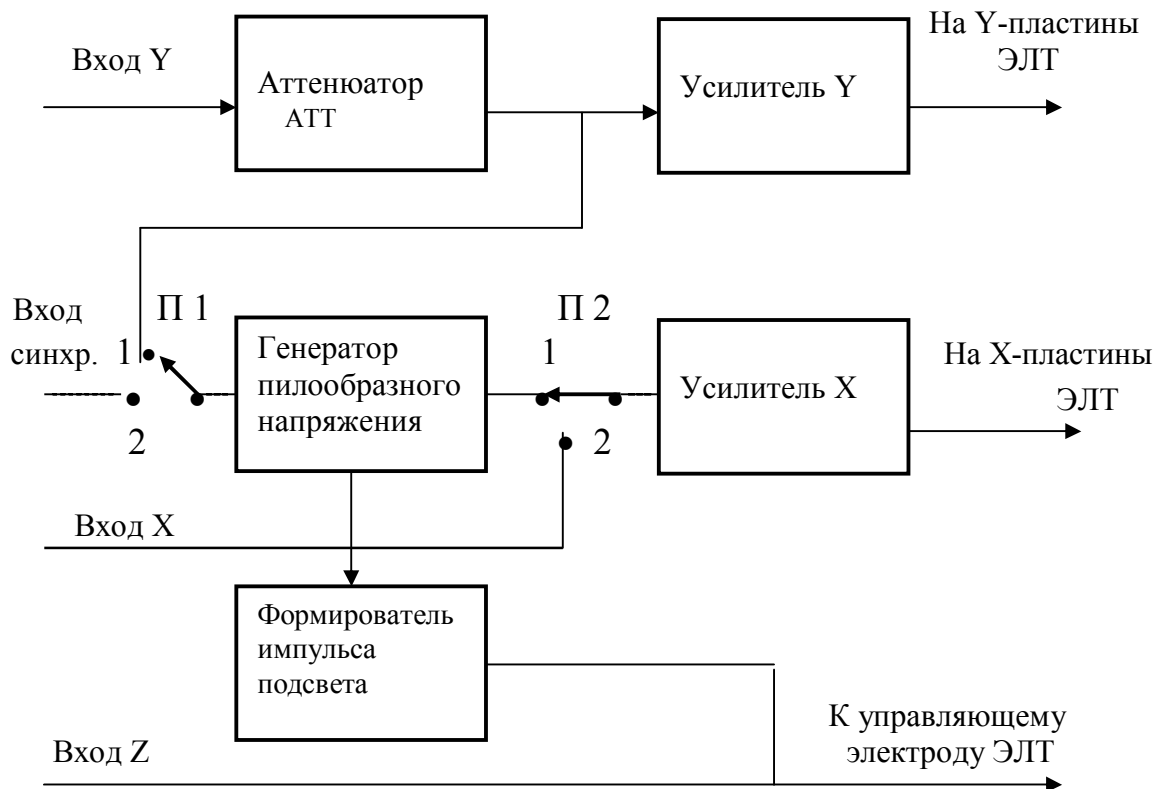


Рис. 1.1

Канал горизонтального отклонения выполняет две функции: развертывание сигнала пропорционально времени и отклонение луча любым сигналом, поданным на вход X .

**В первом случае** на горизонтальные пластины подается сигнал от генератора пилообразного напряжения ГПН (рис 1.1) при положении 1 переключателя П2. В этом случае луч по оси X передвигается прямо пропорционально времени, позволяя наблюдать на экране сигнал  $y(t)$ . Временной масштаб развертки характеризуется крутизной наклона пилообразного напряжения и регулируется переключателем длительности развертки с указанием численного значения  $K_{разв}$ , имеющего размерность

**время/дел.**, с помощью которого можно определить отрезок времени по формуле

$$\tau = K_{разв} \cdot l_X \quad (1.2)$$

Важным условием неподвижного изображения наблюдаемого на осциллографе сигнала является синхронизация частоты развертывающего напряжения и частоты исследуемого сигнала. При **внутренней синхронизации** (переключатель П1 поставлен в положение 1) входной сигнал поступает на ГПН, осуществляя синхронность развертки. При **внешней синхронизации** (переключатель П1 поставлен в положение 2) синхронизирующий сигнал должен быть подан извне на гнездо «**ВНЕШН. СИНХР.**» При этом ручками на осциллографе «**УРОВЕНЬ**», «**LEVEL**» следует отрегулировать неподвижность изображения на экране.

Особое место в работе осциллографа представляет режим **внешнего запуска**, используемого, как правило, для наблюдения импульсных процессов по длительности много меньших их периода повторения. В этом режиме запуск развертки осуществляется подачей на вход «**ВНЕШН.**» или **TRIG IN** в осциллографе GDS-620 FG синхроимпульса, предшествующего наблюдаемому сигналу на некоторый промежуток времени, устанавливаемый обычно в стандартных импульсных генераторах как «**ЗАДЕРЖКА**». Длительность развертывающего сигнала ГПН устанавливается сравнимой с длительностью наблюдаемого импульсного процесса, что позволяет проводить наблюдение и измерение параметров короткого импульсного процесса, каким является, в частности, фронт импульса.

В случае использования канала **X** для подачи любого сигнала переключатель П2 устанавливается в положение 2. При этом внешний сигнал подается на **ВХОД X**.

**Примечание:** В осциллографе GDS-620 FG подобный режим устанавливается переключением длительности развертки в положение «X-Y».

Канал **Z** используется для модуляции яркости свечения луча, применяемой для подсвета прямого хода развертки, создания меток времени, электронной лупы и т.д. и т.п. На «ВХОД **Z**» для управления яркостью луча можно подать внешний сигнал, но при этом частота подаваемого сигнала должна быть когерентна частоте исследуемого сигнала, а значит и частоте развертки.

1.3.3 Параметры электрического сигнала, поданного на вход осциллографа, определяются по его осциллограмме путем измерения ее геометрических размеров и с учетом коэффициента отклонения  $K_{откл}$  и коэффициента развертки  $K_{разв}$ . Очевидно, и погрешность измерения параметров будет определяться не только точностью измерения геометрического размера (отклонения луча), но и точностью воспроизведения сигнала на экране осциллографа.

Точность воспроизведения амплитудных параметров зависит от неравномерности амплитудно-частотной характеристики, погрешности коэффициента передачи аттенюатора, и численно выражена в погрешности  $K_{откл}$ , отраженной в технических характеристиках осциллографа. При этом частота исследуемого сигнала должна находиться в пределах полосы пропускания усилителя вертикального отклонения.

Точность воспроизведения временных параметров зависит от точности градуировки переключателя коэффициента развертки  $K_{разв}$  и от линейности пилообразного напряжения. Погрешность  $K_{разв}$  также отражена в технических характеристиках осциллографа.

При использовании канала **X** для подачи внешнего сигнала необходимым является условие, чтобы частота подаваемого сигнала была ниже верхней граничной частоты усилителя **X**.

1.3.4 При исследовании импульсных сигналов определяющим является время нарастания переходной характеристики канала вертикального



отклонения  $t_n$ , являющегося откликом осциллографа на включение идеального скачка напряжения на входе  $Y$ . Время нарастания  $t_n$  – это временной интервал, в течение которого луч переходит от уровня 0,1 до уровня 0,9 от установившегося значения импульсного отклика.

Время нарастания  $t_n$  и полоса пропускания  $f_s$  связаны соотношением

$$t_n = \frac{0,35}{f_s} . \quad (1.3)$$

Очевидно, при подаче на вход осциллографа реального скачка напряжения, имеющего фронт  $\tau_\phi$ , на экране будет наблюдаться скачок напряжения с фронтом еще большей длительности  $\tau_{\phi \text{ изм}}$ , который связан с фронтом импульса и временем нарастания соотношением

$$\tau_{\phi \text{ изм}} = \sqrt{\tau_\phi^2 + t_n^2} . \quad (1.4)$$

Таким образом, измерив по осциллографу фронт импульса  $\tau_{\phi \text{ изм}}$  и определив полосу пропускания  $f_s$ , можно определить действительную длительность фронта измеряемого импульса

$$\tau_\phi = \sqrt{\tau_{\phi \text{ изм}}^2 - \left( \frac{0,35}{f_s} \right)^2} . \quad (1.5)$$

## 1.4 Контрольные вопросы.

- 1.4.1 Назовите основные функциональные узлы универсального электронного осциллографа и объясните их предназначение в его работе.
- 1.4.2 Что такое синхронизация, и как она осуществляется в электронном осциллографе?
- 1.4.3 Что такое внутренняя, внешняя синхронизация и в каких случаях она применяется?
- 1.4.4 Что такое ждущий режим развертки, как он осуществляется и для наблюдения каких сигналов он используется?

- 1.4.5 Как осуществляется калибровка коэффициента вертикального отклонения; калибровка коэффициента развертки?
- 1.4.6 Как с помощью осциллографа измерить амплитуду импульса?
- 1.4.7 Как с помощью осциллографа измерить период следования и длительность импульсов?
- 1.4.8 Как оценить точность измерения временных и амплитудных параметров сигналов, наблюдаемых на экране осциллографа?
- 1.4.9 Как определить истинную длительность фронта импульса при измерении его с помощью осциллографа, имеющего ограниченную полосу пропускания канала вертикального отклонения?
- 1.4.10 Объяснить экспериментальное определение коэффициента усиления и чувствительность осциллографа.
- 1.4.11 Объяснить работу двухканального осциллографа.

## **1.5 Приборы, используемые в работе.**

1. Универсальный осциллограф **INSTEK GDS 620 FG, C1-93, C1-82**.
2. Генератор синусоидальных сигналов **ГЗ-112**.
3. Генератор импульсных сигналов **Г5-54**.
4. Вольтметр типа **ВЗ**.
5. Измеритель частоты и временных интервалов типа **ЧЗ-34 (ЧЗ-38, ЧЗ-44)**.
6. Соединительные провода и кабели.

## **1.6 Лабораторное задание.**

1.6.1. По техническому описанию осциллографа изучить его технические характеристики, расположение и назначение органов управления, проверить калибровку канала вертикального отклонения и длительности развертки. При необходимости произвести регулировку.

1.6.2. Измерить коэффициент усиления и чувствительность каналов **вертикального** отклонения в режиме их максимального усиления. Измерение произвести синусоидальным сигналом генератора на частоте **1 кГц**.

1.6.3. Определить верхнюю граничную частоту полосы пропускания каналов вертикального отклонения.

Определить время нарастания переходной характеристики усилителя вертикального отклонения, используя формулу (3.3).

1.6.4. Получить на экране осциллографа изображение импульсной последовательности с генератора импульсов, установив на нем параметры из варианта (табл.1.1), заданного преподавателем, применив **внешний запуск** развертки импульсом с гнезда **“синхроимпульсы”** генератора **Г5-54**.

Табл.1.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплитуда (показание прибора Г5-54) В	20	30	40	50	60	50	40	30	40	50
Частота повторения, кГц	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Длительности импульса, мкс	800	400	300	200	150	150	120	110	90	70
	250	100	100	50	50	30	40	30	30	20

1.6.5. Провести измерение следующих параметров импульсной последовательности:

а) амплитуду импульса, используя калиброванные значения коэффициентов отклонения. При этом ручка плавного усиления должна находиться в крайнем правом положении (до щелчка). Сравнить ее с показанием вольтметра генератора с учетом включенного коэффициента ослабления.

Оценить точность измерения.

Результат измерения представить в виде  $U_{имп} = U_{изм} \pm \Delta U$  с учетом правил округления.

б) длительности импульсов с помощью калиброванной развертки (ручка плавной регулировки развертки должна находиться в крайнем правом положении). Измерение провести дважды, устанавливая разные значения длительности, заданные преподавателем. В каждом случае оценить точность измерения. Данные свести в таблицу 1.2, соблюдая правила округления.

Табл. 1.2

Показание генератора импульсов, мкс	$\tau_1$	$\tau_2$
Длительность импульсов, мкс		
Погрешность измерения, мкс		

в) период повторения импульсов с помощью калиброванной развертки.

г) Измерить длительность переднего фронта импульса. Определить действительное значение фронта по формуле (3.5), учитывая время нарастания переходной характеристики усилителя вертикального отклонения осциллографа.

1.6.6. а) Определить частоту повторения импульсов по измерению, проведенному в п. 1.6.5 в) по формуле

$$F = 1/T, \quad (1.6)$$

где  $T$  - период повторения.

Оценить точность измерения.

б) Измерить частоту повторения импульсов с помощью интерференционных фигур. Оценить точность измерения.

в) Измерить частоту следования импульсов частотомером **ЧЗ-34(ЧЗ-38, ЧЗ-44)**. Оценить точность измерения.

Результаты измерений свести в таблицу 1.3, соблюдая правила округления.

Табл. 1.3.

Параметр	Метод калиброванной развертки	Метод интерференц.фигур	С использованием частотомера
Частота повторения,кГц			
Погрешность измерения,кГц			

### 1.7. Методические указания к выполнению работы.

1.7.1. Измерение коэффициента усиления и чувствительности каналов **X** и **Y**.

**При экспериментальном определении коэффициента усиления и чувствительности осциллографа** по тому или иному каналу на вход соответствующего усилителя подают синусоидальное напряжение с выхода генератора такой величины, чтобы отклонение луча составило 0,8 – 0,9 максимального размера экрана. Одновременно этот сигнал подают на вход вольтметра действующего значения типа ВЗ. Измерив размах (двойную амплитуду) смещения электронного луча, находят искомый коэффициент усиления по формуле (7.4).

**Примечание:** При определении коэффициента усиления следует учесть то обстоятельство, что не все экраны электронных осциллографов имеют миллиметровую шкалу. Цена большого деления по осям X и Y в мм указана в их технических характеристиках (см. табл. 7.1).

Коэффициент усиления усилителя  $K_{yc}$  определяется соотношением

$$K_{yc} = \frac{U_{nl}}{U_{вх.ус}}, \quad (1.7)$$

где  $U_{nl}$  – напряжение на отклоняющих пластинах ЭЛТ, вызывающее на экране смещение луча,

$U_{вх.ус}$  – напряжение на входе усилителя измеряемого канала.

В свою очередь  $U_{nl}$  может быть определено по формуле

$$U_{nl} = \frac{l}{h_0}, \quad (1.8)$$

где  $l$  – отклонение электронного луча на экране в мм ,

$h_0$  – чувствительность соответствующих пластин ЭЛТ (см. табл.1.4)

табл. 1.4

Тип осциллографа	Чувствительность ЭЛТ		Размер деления	
	Канал Y	Канал X	Канал X	Канал Y
GDS-620 FG	1,5 мм/В	1,0 мм/В	10 мм	10 мм
C1-82	2,5 мм/В	1,5 мм/В	12 мм	12,5 мм
C1-83	2,5 мм/В	1,5 мм/В	12 мм	12,5 мм
C1-93	2,5 мм/В	1,5 мм/В	12 мм	12,5 мм

Напряжение (размах сигнала) на входе усилителя определяется по формуле

$$U_{вх.ус} = \frac{U_{вх} \cdot 2\sqrt{2}}{K_{дел}}, \quad (1.9)$$

где  $U_{вх}$  – действующее значение синусоидального сигнала на входе осциллографа;

$K_{дел}$  – коэффициент деления входного напряжения.

Для канала Y коэффициент деления выбирается в зависимости от положения переключателя “x1”, “x5”, “x10”, если он присутствует в осциллографе, и положения переключателя входного аттенюатора (см. табл. 1.5).

Табл. 1.5.

Тип осц.	Груб. переключ.	Положение переключателя входного аттенюатора											
		мВ / дел						В / дел					
		1	2	5	10	20	50	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0
GDS-620 FG	x 1	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2·10 <sup>3</sup>	5·10 <sup>3</sup>
	x 5	5	10	25	50	100	250	500	10 <sup>3</sup>	2,5·10 <sup>3</sup>	5·10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	2,5·10 <sup>4</sup>
C1-82	-	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2·10 <sup>3</sup>	5·10 <sup>3</sup>
C1-83	x 1	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2·10 <sup>3</sup>	-
	x 10	10	20	50	100	200	500	1000	2·10 <sup>3</sup>	5·10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	2·10 <sup>4</sup>	-
C1-93	-	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2·10 <sup>3</sup>	5·10 <sup>3</sup>

**Примечание.** В осциллографе GDS-620 FG увеличение чувствительности в 5 раз производится вытягиванием на себя ручки плавного усиления (положение переключателя x 1).

Коэффициент  $2\sqrt{2}$  введен ввиду того, что в формуле (1.7)  $U_{вх.ус}$  представляет собой двойную амплитуду синусоидального напряжения, а вольтметр на входе осциллографа измеряет его действующее значение.

Подставляя в формулу (1.7) значения выходного и входного напряжений, определяемых по формулам (1.8) и (1.9), получим окончательное выражение для определения коэффициента усиления усилителя

$$K_{yc} = \frac{l \cdot K_{дел}}{2\sqrt{2} \cdot h_0 \cdot U_{вх}}, \quad (1.10)$$

где  $l$  – полное отклонение электронного луча на экране в мм.;

$K_{дел}$  – коэффициент деления входного аттенюатора, определенный из табл. 7,2;

$h_0$  – чувствительность пластин ЭЛТ (см. табл. 1.4);

$U_{вх}$  – входное напряжение, определяемое по вольтметру.

Чувствительность осциллографа в  $K_{yc}$  раз больше чувствительности отклоняющих пластин ЭЛТ

$$S_{осц} = K_{yc} h_0 \quad (1.11)$$

### 1.7.2 Определение верхней граничной частоты пропускания канала и времени нарастания переходной характеристики.

Не изменяя соединений приборов для определения чувствительности осциллографа, установить при максимальном плавном усилении размер отклонения 0,8 - 0,9 максимального размера экрана, регулируя уровень выходного сигнала генератора на частоте 1 кГц. Затем, увеличивая частоту генератора, добиться на экране уменьшения отклонения в  $\sqrt{2}$  раз.

При этом следует следить за постоянством выходного напряжения генератора по показаниям вольтметра.

Произвести отсчет частоты  $f_c$  по лимбу генератора. По формуле (1.3) определить время нарастания переходной характеристики усилителя канала.

### 1.7.3 Измерение параметров импульсного сигнала.

Измерение амплитудных и временных параметров электрических сигналов производится на осциллографе по формулам (1.1) и (1.2) с учетом положения



переключателей чувствительности на входе канала Y и переключателя скорости развертки. При этом ручки **усиление плавно** канала Y и **частота развертки плавно** должны находиться в крайнем правом положении (до щелчка).

Экспериментально при измерении амплитуды импульса следует получить на экране осциллографа изображение, равное не менее 0,4 размера экрана и, измерив отклонение луча  $l_Y$ , определить амплитуду импульса по формуле

$$U_{имп} = l_Y \cdot K_{откл} \quad (1.12)$$

При измерении периода повторения необходимо получить на экране последовательность не более 2-х импульсов и, измерив расстояние  $l_X$  между одноименными точками, определяют период повторения

$$T = l_X \cdot K_{разв} \quad (1.13)$$

При измерении длительности импульса необходимо “растянуть” его по горизонтали до величины не менее 0,4 размера экрана и, измерив на экране размер импульса  $l_X$  по уровню 0,5 амплитуды, определить длительность импульса

$$\tau_{имп} = K_{разв} \cdot l_X \quad (1.14)$$

Для измерения длительности переднего фронта импульса обязательным

условием является использование внешнего запуска развертки осциллографа синхроимпульсом генератора Г5-54 и введением задержки выходного импульса генератора относительно синхроимпульса. Сначала установить задержку равную 0 и, манипулируя ручками **стабильность и уровень** настроить внешний запуск развертки.

**Примечание:** *проверкой внешнего запуска является исчезновение развертки на экране при отключении синхроимпульса.*

Затем, манипулируя ручкой **частота развертки** и ручкой **смещение луча по горизонтали**, добиться изображения одного импульса в начале экрана. Затем ввести некоторую задержку на генераторе Г5-54 с тем, чтобы на экране

наблюдался передний фронт. Увеличивая частоту развертки, а при необходимости используя переключатель “множитель развертки” и, манипулируя задержкой, получить на экране растянутое изображение фронта импульса.

*Примечание: при уменьшении яркости свечения изображения следует увеличить частоту повторения импульсов генератора Г5-54, но при этом необходимо уменьшить длительность импульса, соблюдая соотношение*

$$\tau_{имп} < \frac{1}{2F_{повт}} \cdot$$

Произвести отсчет расстояния  $l_X$  между точками  $0,1U_{имп}$  и  $0,9U_{имп}$ , и определить

$$\tau_{ф\ изм} = K_{разв} \cdot M_X \cdot l_X \quad (1.15)$$

где  $M_X$  - множитель развертки.

Истинную длительность фронта импульса определить по формуле (1.5).

#### **1.7.4. Измерение частоты повторения импульсов методом интерференционных фигур.**

Для измерения частоты повторения импульсных сигналов этим методом необходимо канал горизонтального отклонения (канал X) использовать в режиме усиления, т.е. вместо пилообразного напряжения на горизонтальные пластины через усилитель X можно было подать внешний сигнал. В различных осциллографах эта операция производится по-разному, что отражено в технических описаниях и в описании к данной лабораторной работе (п. 1.3.2).

Для проведения эксперимента на вход канала Y необходимо подать импульсный сигнал от генератора Г5-54, установив выходные данные, как и при выполнении п. 1.6.4 а). На вход X подать напряжение с выхода генератора синусоидальных сигналов с частотой, рассчитанной при выполнении п. 1.6.6 а). При этом ввиду некогерентности частот генераторов,

синхронизация будет отсутствовать. Изменяя плавно частоту синусоидального генератора добиться неподвижного изображения одного импульса. При этом

$$F_{имп 1} = F_{ген 1} .$$

Уменьшив в 2 раза частоту синусоидального генератора и, подстраивая ее плавно, добиться на экране изображения **двух** импульсов . При этом

$$F_{имп 2} = 2F_{ген 2} .$$

Установив частоту синусоидального генератора в 3 раза меньше первоначального измерения, добиться неподвижного изображения **трех** импульсов. При этом

$$F_{имп 3} = 3F_{ген 3} .$$

За результат измерения принять среднее арифметическое из трех измерений

$$F_{имп} = \frac{1}{3} ( F_{имп 1} + F_{имп 2} + F_{имп 3} ) \quad (1.16)$$

### **1.7.5. Измерение частоты повторения импульсов с помощью частотомера.**

Подать измеряемую последовательность импульсов с заданными параметрами на **ВХОД** частотомера. Произвести измерение частоты и периода повторения в соответствии с инструкцией по эксплуатации частотомера (раздел **ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ**).

### **1.7.6. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

#### **1.7.6.1. Измерение амплитуды импульса**

Поскольку определение амплитуды импульса производится по формуле (1.12), то это измерение относится к косвенным и определение погрешности производится на основании узаконенных правил.

Вычисляя частные

погрешности путем нахождения частных производных, и переходя к относительным погрешностям, получим

$$\delta U_{имп} = \sqrt{\delta l_Y^2 + \delta K_{откл}^2} \quad (1.17)$$

где  $\delta U_{имп}$  – относительная погрешность измерения амплитуды импульса,

$\delta l_Y$  – относительная погрешность измерения отклонения (размер импульса по вертикали),

$\delta K_{откл}$  – предел допустимой основной погрешности коэффициента канала вертикального отклонения (см. технические данные).

В свою очередь визуальная погрешность измерения отрезка по ГОСТ на электронно-лучевые осциллографы составляет

$$\delta l = \frac{0,4q}{l} \quad (1.18)$$

где  $q$  – толщина луча на экране,

$l$  – измеренное отклонение.

Следовательно, для уменьшения погрешности (увеличения точности) измерений следует размер изображения получить максимально возможным, а регулировками «**ЯРКОСТЬ**» и «**ФОКУС**» получить наиболее тонкий луч на экране.

Абсолютное значение погрешности определить по формуле

$$\Delta U_{имп} = \delta U_{имп} \cdot U_{изм} \quad (1.19)$$

### **1.7.6.2. Измерение периода повторения и длительности импульса.**

Так как при измерении временных интервалов используются формулы (1.13) и (1.14), аналогичные формуле (1.12), то и подсчет погрешности измерения не отличается от вышеизложенного.

Относительная погрешность измерения временного интервала определится

$$\delta \tau = \sqrt{\delta l_x^2 + \delta K_{раз}^2} \quad (1.20)$$

где  $\delta l_x$  – относительная погрешность измерения отклонения луча (длительности импульса, периода повторения) (см. формулу 1.18).

$\delta K_{раз}$  – предел допускаемой основной погрешности коэффициента развертки.

Абсолютное значение погрешности измерения длительности импульса, периода повторения определится

$$\Delta \tau = \delta \tau \cdot \tau_{изм} \quad (1.21)$$

### 1.7.6.3. Измерение частоты.

а) При определении частоты повторения путем измерения периода относительная погрешность частоты будет равна относительной погрешности измерения периода, определяемой по формуле

$$\delta F = \delta T \quad (1.22)$$

где  $\delta T$  – относительная погрешность измерения длительности периода определится по формуле (1.20).

Вывод формулы (1.22) предлагается студентам сделать самостоятельно по правилу определения погрешностей при косвенных измерениях, используя формулу (1.6).

Абсолютное значение погрешности измерения частоты определится

$$\Delta F = \delta F \cdot F_{изм}.$$

б) В методе интерференционных фигур осциллограф не вносит погрешности в измерение, поскольку является устройством сравнения частот двух генераторов, поэтому погрешность измерения будет равна погрешности определения частоты по лимбу генератора синусоидального сигнала (см. техническое описание генератора).

в) При измерении частоты с помощью частотомера погрешность измерения определяется в соответствии с техническими характеристиками прибора **ЧЗ-34 (ЧЗ-38 ,ЧЗ-44)**.

## 2. Лабораторная работа №2

Измерение параметров электрических цепей резонансными методами.

### 2.1. Цель работы:

Целью работы является изучение резонансных методов измерения электрических параметров катушки индуктивности и конденсатора постоянной емкости с помощью куметра, а также ознакомления с работой гетерогенного измерителя параметров цепей.

### 2.2. Домашнее задание

1. Ознакомиться с принципом действия, функциональной схемой и техническими характеристиками куметра Е9-4 и гетерогенного измерителя параметров цепей Е12-1.
2. Изучить способы обработки и представления результатов косвенных измерений при наличии систематических и случайных погрешностей.

### 2.3. Контрольные вопросы:

1. Какой метод положен в основу работы куметра
2. Нарисуйте функциональную схему куметра
3. Как куметром можно измерить индуктивность
4. Как измеряется собственная емкость катушки индуктивности на куметре
5. Назовите источники погрешностей при измерении индуктивности на куметре
6. Объясните принцип действия прибора Е12-1. Нарисуйте его функциональную схему.
7. Назовите основные способы исключения систематических погрешностей из результата измерения.
8. Каков порядок обработки результатов измерений при наличии случайных погрешностей
9. Как влияет добротность катушки на погрешность измерения ее индуктивности с помощью куметра
10. Как определить погрешность косвенного измерения величины  $z = f(x, y)$ , если известны погрешности измерения  $x$  и  $y$

### 2.4. Приборы и элементы, используемые в работе:

1. Куметр Е9-4
2. Гетеродинный измеритель емкостей и индуктивностей Е12-1
3. Катушка индуктивности
4. Конденсаторы малой и большой емкости.

### 2.5. Лабораторное задание:

1. С помощью куметра измерить индуктивность исследуемой катушки косвенным методом, используя для расчета индуктивности соотношение:

$$L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_i^2 C_i}, \quad (2.1)$$

где  $f_i$  - резонансная частота контура;

$C_i$  - значение образцовой емкости при настройке в резонанс

Измерение произвести 12 – 15 раз, задавая значения емкости  $C_i$  в диапазоне (25-200) пФ через 25 пФ, в диапазоне (200-450) пФ через 50 пФ. Результаты измерений и расчета индуктивностей занести в таблицу, расположив значения в порядке возрастания или убывания емкости.

Таблица 2.1 обработки результатов измерений

$C_i$	$f_i$	$L_i$	$L_{0i}$	$\varepsilon_i$	$\varepsilon_i^2$
пФ	кГц	мкГн	мкГн	мкГн	(мкГн) <sup>2</sup>

2. Проанализируйте полученные результаты. Убедитесь, что результаты измерений индуктивности закономерно изменяются в зависимости от емкости  $C_i$ , что свидетельствует о присутствии в результатах измерений систематической методической погрешности, обусловленной влиянием собственной емкости катушки индуктивности
3. Измерить собственную емкость катушки индуктивности, используя для ее расчета соотношение

$$C_0 = \frac{C_1 - C_2 \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2}{\left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2 - 1}, \quad (2.2)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – значения емкости контура куметра при его настройке на частоты  $f_1$  и  $f_2$  соответственно.

Измерение произвести три раза, выбирая

1.  $C_2=25$  пФ,  $C_1=450$  пФ;
2.  $f_2=2f_1$ ;
3.  $f_2=\sqrt{2}f_1$

В качестве результата взять среднее арифметическое.

4. Используя полученное значение  $C_0$ , вычислить для каждого результата измерения значение индуктивности  $L_{0i}$ , свободное от систематической погрешности:



$$L_{0i} = L_i \frac{C_i}{C_i + C_0} \quad (2.3)$$

Результаты вычислений внести в таблицу.

Проанализируйте полученный результат. Убедитесь в том, что четко выраженная зависимость  $L_{0i}$  от  $C_i$  отсутствует.

В противном случае необходимо снова повторить предыдущие пункты.

5. Провести статистическую обработку результатов измерений  $L_{0i}$ , вычислив среднее значение ( $L_{cp}$ ), оценку среднеквадратичного отклонения отдельных результатов измерений ( $S$ ), оценку среднеквадратичного отклонения среднеарифметического ( $S_{Lcp}$ ) и доверительный интервал, задавшись значением доверительной вероятности 0,95, если на то нет каких-либо соображений.
6. Измерить индуктивность исследуемой катушки методом непосредственного отсчета. Учесть поправку  $\Delta L$ , вызванную влиянием собственной емкости катушки, используя формулу:

$$L_{0i} = L_i \frac{C_i}{C_i + C_0} \quad (2.4)$$

7. Определить (для одного измерения) на основании технических данных куметра максимальную абсолютную максимальную относительную погрешность измерения индуктивности. Сравнить полученные результаты с результатами предыдущего пункта.
8. Измерить добротность катушки индуктивности методом непосредственного отсчета на одной из частот. Оценить точность измерения, используя технические данные куметра.
9. Измерить добротность исследуемой катушки индуктивности методом расстрой контура. Измерение произвести два раза на разных уровнях напряжении, вводимого в контур.
10. С помощью куметра произвести измерение комплексного сопротивления двухполюсника (конденсатора  $C_x$ ) при последовательном и параллельном включении его в контур. Вычислить параметры последовательной и параллельной схем замещения двухполюсника. Вывести аналитические выражения для расчета и рассчитать погрешности измерения емкости  $\Delta C_x$  при последовательном и параллельном включении ее в контур на основании технических данных куметра.
11. С помощью гетеродинного измерителя емкостей и индуктивностей Е12-1 провести измерение емкостей исследуемых конденсаторов и индуктивности исследуемой катушки индуктивности.

Оценить точность измерений, исследуя технические данные прибора Е12-1.

## 2.6. Методические указания к выполнению работы.

### 2.6.1 Измерение собственной емкости катушки индуктивности

Собственная емкость катушки индуктивности рассчитывается по формуле

$$C_0 = \frac{C_1 - C_2 \left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2}{\left( \frac{f_2}{f_1} \right)^2 - 1}, \quad (2.5)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – значения емкости контура куметра при его настройке на частоты  $f_1$  и  $f_2$  соответственно. Расчеты по этой формуле могут быть упрощены, если выбрать определенные соотношения между частотами  $f_1$  и  $f_2$ .

$$\text{При } \frac{f_2}{f_1} = 2 \quad C_0 = \frac{C_1 - 4C_2}{3} \quad (2.6)$$

$$\text{При } \frac{f_2}{f_1} = \sqrt{2} \quad C_0 = \frac{C_1 - 2C_2}{2} \quad (2.7)$$

### 2.6.2 Статистическая обработка результатов наблюдений, имеющих случайные погрешности

Результаты измерений  $L_{0i}$ , свободные от систематической погрешностей, обрабатываются в следующем порядке:

- 1) определяется среднее арифметическое значение

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{0i}, \quad (2.8)$$

которое является наиболее достоверным значением индуктивности и принимается за результат измерения;

- 2) определяется статистическая оценка  $S$  среднеквадратической погрешности отдельных результатов измерений индуктивности

$$S = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (L_{0i} - L_{cp})^2} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}, \quad (2.9)$$

где  $\varepsilon_i = L_{0i} - L_{cp}$  – отклонения отдельных результатов измерений от среднего арифметического (остаточная погрешность);

- 3) вычисляется оценка среднеквадратического отклонения результата измерения  $S_{L_{cp}}$  от истинного значения измеряемой величины (среднеквадратичное отклонение среднего)

$$S_{L_{cp}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{0i} - L_{cp})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n(n-1)}} \quad (2.10)$$

- 4) по заданной доверительной вероятности ( $P_d$ ) и известному количеству измерений ( $n$ ) находят из таблицы соответствующий коэффициент Стьюдента  $t_\alpha$  и определяют доверительный интервал

$$\Delta L_D = \pm t_\alpha \cdot S_{Lcp}$$

### Коэффициент Стьюдента $t_\alpha$

Количество измерений	Доверительная вероятность				
	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
11	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
12	1,80	2,26	2,72	3,11	4,44
13	1,78	2,18	2,68	3,05	4,33
14	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
15	1,76	2,14	2,62	2,98	4,14
16	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07

- 5) записывают окончательный результат измерения

$$L = L_{cp} \pm \Delta L_D ; P_d = \dots ; n = \dots$$

### 2.6.3 Измерение индуктивности куметром методом непосредственного отсчета.

На одной из частот в каждом поддиапазоне куметра индуктивность может быть измерена с непосредственным отсчетом, т.к. на фиксированной частоте в соответствии с выражением

$$L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_i^2 C_i}$$

индуктивность будет зависеть только от емкости контура.

Шкала индуктивностей куметра в относительных единицах нанесена на лимбе измерительного конденсатора под шкалой ёмкости. В зависимости от значения измеряемой индуктивности генератор устанавливается на одну из частот поддиапазона, выбираемой из таблицы, размещенной на передней панели куметра.

### 3 Оценка точности измерения индуктивности на основании технических данных куметра.

Измерение индуктивности на куметре является косвенным измерением, т.к.

результат измерения подсчитывается по формуле  $L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_i^2 C_i}$ . Погрешность

измерения индуктивности будет зависеть от погрешности определения частоты генератора и погрешности определения емкости при резонансе. Кроме этого возникает дополнительная погрешность за счет неточности определения момента резонанса. Погрешность определения момента резонанса  $\Delta U/U_{max}$  равноценна погрешности определения резонансной частоты:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{\Delta U}{2U_{max}}}, \quad (2.11)$$

где  $Q$  – добротность колебательного контура.

Полагая, что все составляющие погрешности являются случайными и независимыми друг от друга, результирующую погрешность определим, исходя из общей формулы для абсолютной максимальной погрешности  $\Delta_{\max}$  косвенного измерения:

$$\Delta_{\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial Y_i} \right)^2 \Delta_{i \max}^2}, \quad (2.12)$$

где  $\Delta_{i \max}$  – абсолютная максимальная погрешность аргумента  $Y_i$ ;  
 $Y_i$  – независимые аргументы функции  $F(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$

Раскрывая формулу  $\Delta_{\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial Y_i} \right)^2 \Delta_{i \max}^2}$  для функции  $L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_i^2 C_i}$  и

переходя к остальным погрешностям, получим:

$$\delta L_{\max} = \frac{\Delta L_{\max}}{L_i} = \sqrt{\left( \frac{\Delta C_{\max}}{C} \right)^2 + \left( 2 \frac{\Delta f_{\max}}{f} \right)^2 + \frac{2\Delta U}{Q^2 U}},$$

где  $\Delta C_{\max}/C$ ,  $\Delta f_{\max}/f$  – максимальные относительные погрешности определения емкости и частоты, которые можно определить на основании технических данных куметра. Что касается погрешности  $\Delta U/U$ , то ей можно задаваться следующим образом:

$U$  – это показания прибора « $Q$ » (в единицах добротности),

$\Delta U$  – максимальная погрешность настройки контура в резонанс по прибору « $Q$ ». Ее можно взять равной цене одного или нескольких делений прибора « $Q$ ».

После расчета по последней формуле следует определить максимальную случайную погрешность измерения и записать результат в виде

$$L = L_i \pm \Delta L_{\max}$$

Указанный расчет дает возможность оценить максимальную случайную погрешность однократного измерения индуктивности на куметре, исходя из его технических данных.

### 3.6.1 Измерение добротности катушки индуктивности

При измерении добротности методом непосредственного отсчета необходимо ручкой УРОВЕНЬ установить стрелку прибора УРОВЕНЬ, контролирующего уровень вводимого в контур напряжения, на риску. В этом случае при резонансе показания прибора « $Q$ » - будут соответствовать измеряемой добротности катушки индуктивности.

При измерении добротности методом расстройки контура изменением ёмкости используется зависимость добротности контура изменением ёмкости используется зависимость добротности контура от его полосы пропускания. Установить подстроечный конденсатор на отметку «0». Настроить контур в резонанс и отсчитать значение ёмкости  $C$  и показания прибора « $Q$ ». Затем подстроечным конденсатором расстроить контур в обе стороны от резонанса до получения показаний прибора « $Q$ » на уровне 0,707 от показания при резонансе, в каждом

случае отсчитывая ёмкость расстройки  $\Delta C_1$  и  $\Delta C_2$ . Добротность определяется по формуле:

$$Q = \frac{C + C_0}{\Delta C}, \quad \Delta C = \frac{|\Delta C_1| + |\Delta C_2|}{2},$$

где  $C_0$  – собственная ёмкость катушки индуктивности.

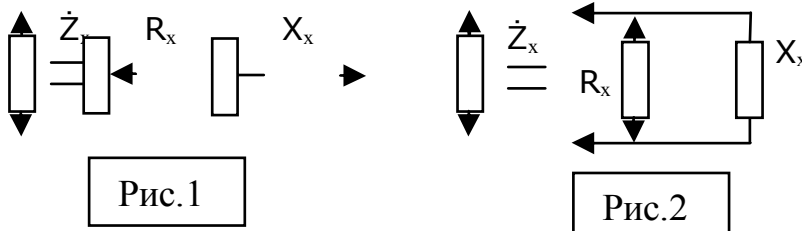
### 3.6.2 Измерение комплексного сопротивления с помощью куметра

В основе методики измерения полного сопротивления двухполюсника с помощью куметра лежит метод замещения. Сначала измеряют на заданной частоте  $f$  параметры  $Q_1$  и  $C_1$  образцового резонансного контура. Затем измеряемый двухполюсник включают, последовательно с катушкой индуктивности  $L$  (при малом  $Z_x$ ) к зажимам « $L_x$ » куметра или параллельно образцовой емкости этого контура (при большом  $Z_x$ ) к зажимам « $C_x$ » куметра. Конденсатором снова настраивают контур в резонанс и снимают показания  $Q_2$  и  $C_2$ . При последовательном включении конденсатора к контуру куметра значение частоты настройки нужно выбрать таким, чтобы емкость  $C_1$  была порядка (80-100) пФ.

При параллельном включении конденсатора частоту выбирают так, чтобы емкость  $C_1$  была заведомо больше емкости  $C_x$ . При последовательном включении двухполюсника в контур по результатам измерений рассчитывают параметры последовательной схемы замещения двухполюсника:

$$\dot{Z}_x = R_x + jX_x = R_x + j\omega L_x = R_x - j\frac{1}{\omega C_x}, \quad (2.13)$$

$$R_x = \frac{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}{2\pi f C_1 C_2 Q_1 Q_2}, \quad X_x = \frac{C_1 - C_2}{2\pi f C_1 C_2} \quad (2.14)$$



Если  $C_1$  больше  $C_2$  или  $X_x > 0$ , рассчитывается  $L_x$ :

$$L_x = \frac{C_1 - C_2}{4\pi^2 f^2 C_1 C_2} \quad (2.15)$$

Если  $C_1$  меньше  $C_2$  или  $X_x < 0$ , рассчитывается  $C_x$ :

$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1} \quad (2.16)$$

При включении двухполюсника параллельно образцовой емкости контура по результатам измерений рассчитываются параметры параллельной схемы замещения двухполюсника:

$$\dot{Z}_x = \frac{R_x \cdot jX_x}{R_x + jX_x} \quad (2.17)$$

$$R_x \frac{Q_1 Q_2}{2\pi f C_1 (Q_1 - Q_2)}, \quad X_x = \frac{1}{2\pi f (C_2 - C_1)}$$

Если  $C_1$  больше  $C_2$  или  $X_x < 0$ , рассчитывается  $C_x$ :

$$C_x = C_1 - C_2$$

Если  $C_1$  меньше  $C_2$  или  $X_x > 0$ , рассчитывается  $L_x$ :

$$L_x = \frac{1}{4\pi^2 f^2 (C_2 - C_1)}$$

Измерения параметров двухполюсника являются косвенными, поэтому оценить погрешность измерения можно по формуле

$$\delta L_{\max} = \frac{\Delta L_{\max}}{L_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_{\max}}{C}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta f_{\max}}{f}\right)^2} + \frac{2\Delta U}{Q^2 U} \quad (2.18)$$

## 3. Лабораторная работа №3

## Измерение сопротивлений на постоянном токе

## 3.1. Цель работы.

Целью работы является изучение методов измерения активных сопротивлений и анализ погрешностей полученных результатов.

## 3.2. Основные положения.

В данной лабораторной работе исследуются 3 метода измерений активных сопротивлений: метод непосредственной оценки, косвенный метод, и метод сравнения с мерой.

**3.2.1.** В методе непосредственной оценки величина измеряемого сопротивления определяется непосредственно по прибору (микроамперметру), шкала которого проградуирована в единицах сопротивлений (Ом, кОм, МОм).

**3.2.1.1.** Для измерения больших сопротивлений ( $R_x \geq 10$  Ом) метод непосредственной оценки реализуется с помощью омметра, построенного по последовательной схеме рис. 3.1.

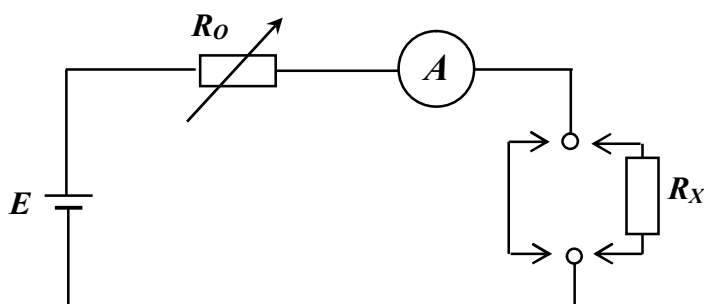


Рис. 3.1

Показание амперметра определяется выражением:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_A + R_x}, \quad (3.1)$$

где  $E$  – напряжение источника питания;

$R_0$  - переменный резистор, служащий для калибровки «0»;

$R_A$  - внутреннее сопротивление электромеханического прибора, в качестве которого используется высокочувствительный амперметр;

$R_x$  - испытуемый образец.

Из выражения (3.1) следует, что показания амперметра однозначно определяются величиной сопротивления  $R_x$ , поскольку  $E$ ,  $R_0$ ,  $R_A$  - величины постоянные. Так как с течением времени напряжение батареи  $E$  падает, то перед каждым измерением следует устанавливать «0» омметра, закорачивая клеммы  $R_x$ . В этом случае ток  $I_A$ , как следует из выражения (3.1), изменением сопротивления регулировочного резистора  $R_0$  устанавливается равным

номинальному току  $I_N$ . Отсюда следует, что нуль омметра совмещен с максимальным показанием прибора, а нулевое показание прибора соответствует  $R_x = \infty$ , и шкала омметра неравномерная.

**3.2.1.2.** Для измерения малых сопротивлений  $R_x \leq 10$  Ом метод непосредственной оценки реализуется при параллельном соединении измеряемого сопротивления и прибора (рис. 3.2).

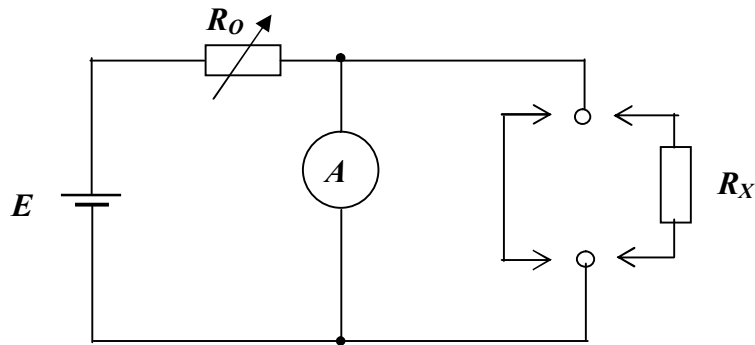


Рис. 3.2.

Калибровка омметра в этом случае производится при разомкнутых клеммах для подключения сопротивления, т.е.  $R_x = \infty$ , и изменением величины  $R_0$  устанавливается ток  $I_A = I_N$ , т.е. равный максимальному показанию прибора. При замыкании клемм показание прибора равно нулю, поскольку замыкаются клеммы прибора. При подключении любого малого сопротивления показание прибора определится из выражения:

$$I_A = \frac{ER_x}{R_x(R_A + R_0) + R_A \cdot R_0}, \quad (3.2)$$

и, как и в предыдущем случае, шкала омметра будет иметь неравномерный характер.

**2.2.** В косвенном методе измеряемое сопротивление определяется согласно известному закону Ома, т.е. зависимости тока и падения напряжения от измеряемого сопротивления:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3.3)$$

В реальных измерительных схемах подключение измерительных приборов (амперметра и вольтметра) оказывает влияние на результат измерения, вызывая систематические методические погрешности, зависящие как от внутренних сопротивлений приборов, так и от способа подключения этих приборов в схему.

**2.2.1.** При измерении малых сопротивлений, т.е. величина которых сравнима с внутренним сопротивлением **амперметра** и значительно меньше внутреннего сопротивления вольтметра, используется схема с параллельным подключением вольтметра к измеряемому резистору, рис.(3.3).



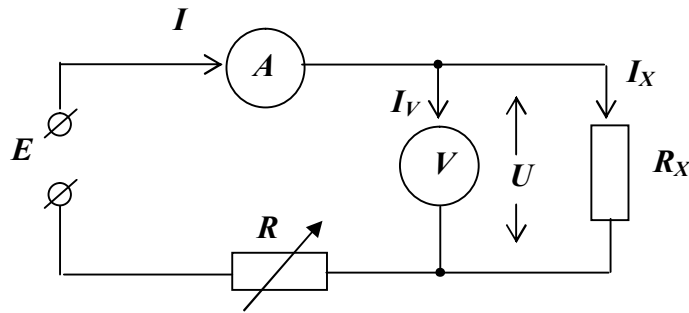


рис. 3.3.

Для этой схемы справедливо выражение:

$$g_v + g_x = \frac{I}{U}, \quad (3.4)$$

где:  $g_v = 1/R_v$  - проводимость внутреннего сопротивления вольтметра;

$g_x = 1/R_x$  - проводимость измеряемого сопротивления;

$U$  - падение напряжения на резисторе (показание вольтметра);

$I$  - показание амперметра (сумма токов через вольтметр и измеряемое сопротивление).

Заменяя в формуле (3.4) проводимости через сопротивления и, решая уравнение относительно  $R_x$ , получим

$$R = \frac{U \cdot R_v}{I \cdot R_v - U}. \quad (3.5)$$

**Примечание:** По этой схеме возможно измерение сопротивлений, сравнимых с внутренним сопротивлением вольтметра, но, как будет показано ниже, систематическая методическая погрешность значительно возрастает за счет неточности задания внутреннего сопротивления вольтметра.

**3.2.2.2.** При измерении больших сопротивлений, т.е. величина которых сравнима с внутренним сопротивлением **вольтметра** и значительно больше сопротивления амперметра, применяется схема с последовательным подключением амперметра и измеряемого резистора, (рис. 3.4).

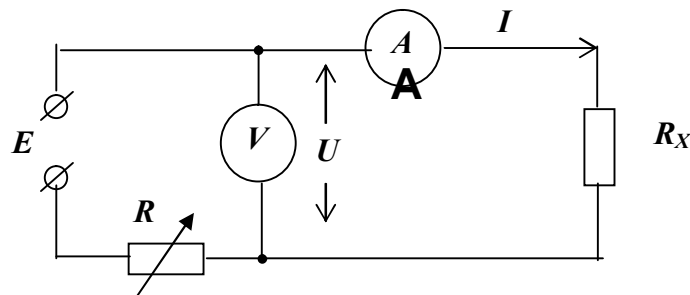


Рис. 3.4

Для этой схемы справедливо выражение для определения измеряемого сопротивления:

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A, \quad (3.6)$$

где:  $U$  - показание вольтметра;  
 $I$  - ток через измеряемый резистор;  
 $R_A$  - внутреннее сопротивление амперметра.

*Примечание:* По этой схеме возможно измерение сопротивлений, сравнимых с внутренним сопротивлением амперметра, но, как будет показано ниже, систематическая методическая погрешность значительно возрастает за счет неточности задания внутреннего сопротивления амперметра.

**2.3.** Метод сравнения с мерой реализуется по схеме одинарного моста, принципиальная схема которого приведена на рис. 3.5.

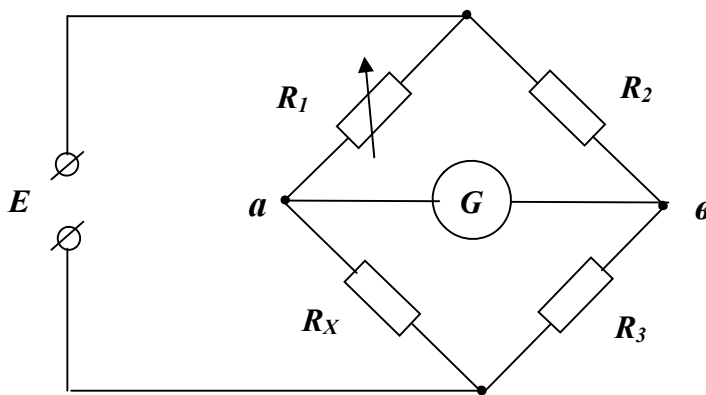


Рис.3.5.

Сравнение измеряемого сопротивления с мерой, в качестве которой используются образцовые сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  производится по нулевым показаниям гальванометра  $G$ , включенного в диагональ  $ab$ . В этом случае потенциалы  $U_a$  и  $U_b$  равны, мост уравновешен изменением образцового сопротивления магазина  $R_1$ . При этом выполняется условие равновесия

$$R_x \cdot R_3 = R_1 \cdot R_2, \quad (3.7)$$

из которого можно найти неизвестное сопротивление

$$R_x = R_1 \cdot \frac{R_2}{R_3}. \quad (3.8)$$

Таким образом, установив определенное соотношение сопротивлений резисторов  $R_2$  и  $R_3$  и, добившись баланса моста резистором  $R_1$ , неизвестное сопротивление будет определено по формуле (3.8).

### 3.3. Приборы, используемые в работе.

- 3.1. Прибор для измерения сопротивлений (АВО-5М, Ц4353 и др.);
- 3.2. Вольтметр класса точности 0.2;

- 3.3. Амперметр класса точности 0.2;
- 3.4. Источник питания (1.5 – 2) В;
- 3.5. Магазин сопротивлений или реостат;
- 3.6. Высокочувствительный гальванометр;
- 3.7. Одинарно-двойной мост Р 329;
- 3.8. Макет с измеряемыми малым и большим сопротивлениями;
- 3.9. Измеритель иммитанса Е7-21.

### 3.4. Домашнее задание.

1. Ознакомиться с принципом действия и устройством электромеханических омметров для измерения малых и больших сопротивлений.
2. Ознакомиться с косвенными методами измерения малых и больших сопротивлений.
3. Ознакомиться с принципом сравнения с мерой при мостовом методе измерения сопротивлений. Вывести математически основное условие равновесия моста.
4. Составить схемы всех экспериментов.
5. Ознакомиться с принципом работы измерителя иммитанса Е7-21 и измерением с его помощью активных сопротивлений.

### 3.5. Контрольные вопросы.

1. Какие виды измерений рассматриваются в лабораторной работе? Дайте им определения.
2. К какому виду измерений относятся:
  - а) измерение сопротивлений с помощью электромеханического омметра?
  - б) измерение сопротивлений методом вольтметра-амперметра?
  - в) измерение сопротивлений мостовым методом?
3. Нарисуйте схемы омметров непосредственной оценки для измерения больших и малых сопротивлений. Объясните их работу (калибровку, измерение, установку нуля).
4. Как по классу точности омметра определить абсолютную и относительную погрешности измерения сопротивлений?
5. Нарисуйте варианты схем для измерения сопротивлений методом вольтметра-амперметра. Объясните предпочтительность использования той или иной схемы для измерения больших или малых сопротивлений.
6. Как определить погрешность косвенного измерения сопротивления методом вольтметра-амперметра? Объяснить с приведением математического обоснования.
7. Нарисуйте схему одинарного моста для измерения сопротивлений. Обоснуйте его работу с применением математических выкладок.
8. Что такое чувствительность моста и как она влияет на точность измерения сопротивлений?

9. Назовите источники погрешностей при измерении сопротивлений мостовым методом. Дайте им физическое истолкование.

### 3.6. Лабораторное задание.

**3.6.1.** Омметром с непосредственным отсчетом типа АВО-5М или Ц4353 измерить величину **большого и малого сопротивлений**, заданных преподавателем. Оценить точность измерений, исходя из класса точности прибора. Результат записать в виде  $R_x = R_{изм} \pm \Delta R_x$ , соблюдая правила округления.

**3.6.2.** Измерить величину **большого сопротивления**, установленного в 3.6.1, косвенным методом вольтметра-амперметра. Измерение провести **три** раза, изменяя в небольших пределах ток через измеряемое сопротивление. Пределы измерения вольтметра и амперметра устанавливать такими, чтобы их показания находились в последней трети шкалы прибора. Данные измерений занести в таблицу 3.1.

Табл.3.1

№ п/п	Показание амперметра, А	Показание вольтметра, В	Внутреннее сопротивление вольтметра, Ом	Измеряемое сопротивление, Ом
1				
2				
3				

По результатам одного из измерений определить погрешность измерения. За результат измерения принять среднеарифметическое из трех измерений. Результат записать в виде  $R_x = R_{изм} \pm \Delta R_x$ , соблюдая правила округления.

**3.6.3.** Измерить величину **малого сопротивления**, установленного по 3.6.1, косвенным методом вольтметра-амперметра. Измерение провести **три** раза, изменяя в небольших пределах ток через измеряемое сопротивление. Пределы измерения вольтметра и амперметра выбирать такими, чтобы их показания находились в последней трети шкалы прибора. Данные измерений занести в таблицу 3.2.

Табл.3.2

№ п/п	Показание амперметра, А	Внутреннее сопротивление амперметра, Ом	Показание вольтметра, В	Измеряемое сопротивление, Ом
1				
2				
3				

По результатам одного из измерений определить погрешность измерения. За результат измерения принять среднеарифметическое из трех измерений. Результат записать в виде  $R_x = R_{ИЗМ} \pm \Delta R_x$ , соблюдая правила округления.

**3.6.4.** Одинарным мостом измерить величину **большого сопротивления**, установленного на макете в п.6.1, с помощью прибора Р329. Измерение провести **три** раза, устанавливая сопротивления моста  $R_2$  и  $R_3$ , равные 10, 100 и 1000 Ом. В каждом из трех случаев определить чувствительность моста. Рассчитать погрешность измерения сопротивления для случая максимальной чувствительности моста. Результат измерения записать в виде  $R_x = R_{ИЗМ} \pm \Delta R_x$ , соблюдая правила округления.

**3.6.5.** Измерить величины малого и большого сопротивлений с помощью измерителя иммитанса Е7–21. Определить погрешность измерения в каждом случае.

**3.6.6.** Результаты всех измерений свести в таблицу 3.3.

Табл.3.3. Сравнение методов измерения сопротивлений по точности.

Объект измерения	Метод измерения	Результат измерения, Ом	Погрешность измерения, Ом
Большое сопротивление	непосредственной оценки		
	косвенный		
	сравнение с мерой		
	прибором Е7–21		
Малое сопротивление	непосредственной оценки		
	косвенный		
	прибором Е7–21		

### 3.7. Методические указания к выполнению работы.

1 Измерение сопротивлений омметрами с непосредственным отсчетом

1.1 Измерение с помощью омметра прибора АВО-5М.

Для проведения измерений необходимо:

- 1) Проверить нулевое положение стрелки прибора; при необходимости установить «0» арретиром.
- 2) Поставить левый переключатель в положение  $R_x$ .
- 3) Правым переключателем выбрать необходимый предел измерения ( $\Omega \times 1$ ;  $\Omega \times 100$ ;  $\Omega \times 10000$ ).

- 4) Для проведения калибровки (уст. 0) кратковременно замкнуть клеммы прибора « —» и « $V, R_x$ » и вращением потенциометра «уст 0» установить стрелку прибора на максимальное отклонение, соответствующее нулевому показанию омметра. Если стрелка прибора не устанавливается, то следует заменить источник питания.
- 5) Разомкнуть зажимы, подключить к ним измеряемое сопротивление и снять отсчет по шкале « $\Omega$ ».
- 6) По окончании работы поставить левый переключатель в положение «ВЫКЛ».

**Примечание:** Во избежание быстрого выхода из строя внутреннего источника питания (батарея, аккумулятор) следует все измерения проводить при кратковременном подключении измеряемого сопротивления, и немедленно после снятия отсчета размыкать цепь.

## 1.2 Измерение с помощью омметра Ц 4353.

1.2.1 Для проведения измерений **больших сопротивлений** прибором необходимо:

- 1) Установить арретиром стрелку прибора на нуль.
- 2) Нажать клавишу переключателя « $k\Omega$ ».
- 3) Установить галетный переключатель в положение « $k\Omega \times 1$ ».
- 4) Нажать клавишу включения прибора ВКЛ .
- 5) Для проведения калибровки кратковременно замкнуть входные клеммы прибора и вращением потенциометра « $r_x$ » установить стрелку прибора на максимальное отклонение, соответствующее нулевому показанию омметра. Если стрелка прибора не устанавливается, то следует заменить источник питания.
- 6) Разомкнуть зажимы, подключить к ним измеряемое сопротивление и снять отсчет по шкале « $k\Omega$ », « $M\Omega$ ».
- 7) По окончании измерений нажать кнопку «ВЫКЛ».

**Примечание:** ( то же, что и при выполнении п.1.1).

1.2.2 Для измерения **малых сопротивлений** прибором необходимо:

- 1) Установить арретиром стрелку прибора на нуль.
- 2) Нажать одновременно клавиши « $k\Omega$ » и «— ».
- 3) Установить галетный переключатель в положение « $\Omega$ »
- 4) Нажать клавишу включения прибора ВКЛ .
- 5) При разомкнутых клеммах провести калибровку омметра вращением потенциометра « $r_x$ », установив стрелку прибора на максимальное отклонение, соответствующее показанию омметра равному « $\infty$ ».
- 6) Подключить измеряемое малое сопротивление к основным клеммам прибора и снять отсчет по шкале « $\Omega$ ».
- 7) По окончании измерения нажать кнопку «ВЫКЛ».

**Примечание:** (то же, что и при выполнении п.1.1).

## 2. Измерение сопротивлений косвенным методом вольтметра-амперметра.

**При сборке схем измерений в качестве источника питания используется стабилизированный выпрямитель Б5-2 ( 1,5 - 2 ) В. Для изменения тока в цепи в качестве сопротивления R используется магазин сопротивлений.**

2.1. Для измерения **малых сопротивлений** собрать схему рис. 3.3. После сборки схемы и проверки ее преподавателем установить предел измерения вольтметра 3 В, предел измерения амперметра (1,5–3) А, сопротивление магазина максимальным. Включить питание и, уменьшая сопротивление магазина, добиться показаний вольтметра (0,5–1,0) В, затем изменить предел измерения амперметра до получения показаний в пределах шкалы. Дальнейшим манипулированием пределов амперметра, вольтметра и величины сопротивления магазина установить показания вольтметра и амперметра в последней трети шкалы. Снять показания приборов и вычислить внутреннее сопротивление вольтметра по формуле

$$R_V = \frac{U_N}{I_V}, \quad (3.10)$$

где  $U_N$  -номинальное напряжение (предел шкалы) вольтметра;  
 $I_V$  -ток через вольтметр при номинальном напряжении.

Значения  $U_N$  и  $I_V$  указаны на шкале прибора.

По формуле ( 3.5 ) определить величину измеряемого сопротивления.

2.2. Для измерения **больших сопротивлений** собрать схему рис. 3.4. Используя рекомендации, данные в п. 2.1, установить показания приборов в последней трети шкалы. Снять показания приборов и вычислить внутреннее сопротивление амперметра по формуле

$$R_A = \frac{U_A}{I_N}, \quad (3.11)$$

где  $I_N$  -номинальный ток (предел измерения) амперметра;  
 $U_A$  -падение напряжения на амперметре при протекании через него номинального тока. Значения  $I_N$  и  $U_A$  указаны на шкале прибора.

По формуле ( 3.6 ) вычислить величину измеряемого сопротивления.

## 3. Измерение сопротивления методом сравнения с мерой.

**Измерение больших и малых сопротивлений этим методом производится с помощью одинарно-двойного моста Р 329 класса точности**

**0.05. Измерение больших сопротивлений в пределах от 10 до 1000000 Ом производится по схеме одинарного моста, принципиальная схема которого приведена на рис. 3.5.**

Измерение производить в следующем порядке:

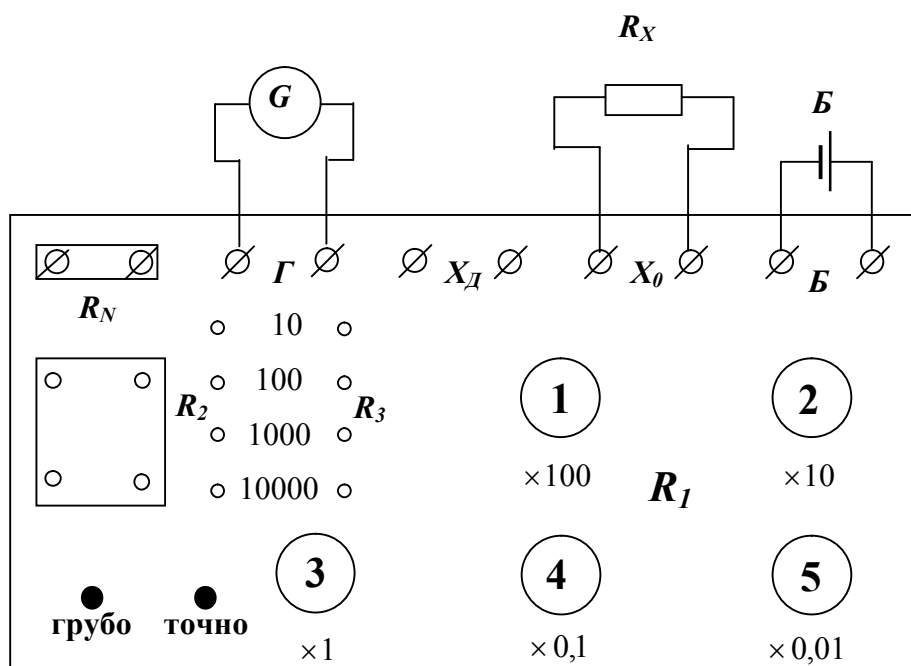


рис 3.6.

- 1) Собрать схему наружных соединений одинарного моста согласно рис.3.6.
- 2) Замкнуть переключкой зажимы « $+R_N$ » и « $-R_N$ ».
- 3) Подсоединить к зажимам « $G$ » внешний гальванометр, после чего разблокировать его контакты. Арретиром выставить стрелку прибора на нулевую отметку.
- 4) Подсоединить к зажимам « $X_0$ » измеряемое сопротивление.
- 5) Проверить положение кнопок «ГРУБО», «ТОЧНО». Они должны быть в отжатом состоянии.
- 6) Подсоединить к зажимам « $B$ » источник питания (соблюдение полярности не обязательно).
- 7) Выставить ориентировочное значение сопротивления  $R_1$ , равное примерно  $R_X$ , найденное при выполнении п. 2.2.
- 8) Установить сопротивления  $R_2 = R_3 = 10$  Ом.
- 9) Включить источник питания.
- 10) При нажатой кнопке «ГРУБО» вращением ручек декад сопротивления  $R_1$  добиться равновесия моста (нулевых показаний гальванометра).
- 11) Нажать кнопку «ТОЧНО» и вновь, изменяя младшие разряды сопротивления  $R_1$ , добиться равновесия моста.
- 12) Вычислить измеряемое сопротивление по формуле 3.8.

Для первого измерения определить чувствительность моста, для чего:



- 1) Изменить величину сопротивления  $R_1$  на некоторое значение  $\Delta R$  с таким расчетом, чтобы при нажатой кнопке «ТОЧНО» получить отклонение гальванометра  $\alpha = (10 - 20)$  делений.
- 2) Определить чувствительность моста по формуле

$$S_M = \frac{\alpha}{\frac{\Delta R}{R_1} 100\%}. \quad (3.12)$$

Для повторного измерения установить сопротивления  $R_2 = R_3 = 100$  Ом.

Повторить п.п. 9, 10, 11, 12.

Вновь, по предложенной выше методике, вычислить чувствительность моста.

Провести подобный эксперимент для случая установки сопротивлений  $R_2 = R_3 = 1000$  Ом.

За результат измерения принять тот, при котором определена максимальная чувствительность.

#### 4. Измерение сопротивлений прибором Е7–21.

4.1. Провести калибровку измерителя иммитанса Е7–21 согласно инструкции по эксплуатации.

4.2. Подключить измеряемое сопротивление к прибору соединительными проводами. Провести измерение величин малого и большого сопротивлений в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

### 3.8. Оценка точности измерений.

3.8.1 Погрешность измерения сопротивлений методом непосредственного отсчета определяется через его класс точности. Условное обозначение класса точности омметра с неравномерной шкалой 2.5 означает, что класс точности присвоен по приведенной погрешности  $\gamma$ , равной отношению максимальной абсолютной погрешности  $\Delta \ell$ , выраженной в единицах длины (мм), к геометрической длине рабочей части шкалы  $\ell$ , выраженной в тех же единицах

$$\gamma = \frac{\Delta \ell}{\ell} \cdot 100\%. \quad (3.13)$$

Зная класс точности омметра  $\gamma = 2.5$  и длину шкалы  $\ell \approx 80$  мм,

получим максимальную абсолютную погрешность измерительного механизма

$$\Delta \ell = \frac{\ell \cdot \gamma}{100\%} = \frac{80 \cdot 2.5}{100} = 2(\text{мм}).$$

Перевод погрешности измерительного механизма  $\Delta \ell$  в погрешность измерения  $\Delta R$  производится методом интерполяции. Для этого необходимо влево и вправо от показания омметра определить риски шкалы, которым соответствуют значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ . Затем с помощью линейки

измерить расстояние между этими рисками  $\ell$  (мм). Погрешность измерения сопротивления определится

$$\Delta R_x = \frac{R_2 - R_1}{\ell} \cdot \Delta \ell . \quad (3.14)$$

Поскольку шкала омметра неравномерна, то и погрешность  $\Delta R_x$  сильно зависит от показания омметра, а в некоторых точках шкалы даже от знака погрешности. В этом случае величины погрешностей вправо (+) и влево (-) от показания следует определить отдельно, используя формулу (3.14).

3.8.2 Оценка точности измерения сопротивления косвенным методом вольтметра-амперметра.

В основе определения погрешности косвенного измерения сопротивления используются формулы (3.5; 3.6). Общая погрешность будет складываться из частных погрешностей за счет неточности измерения тока и напряжения и частной погрешности за счет неточности задания сопротивления  $R_V$  в формуле (3.4) и сопротивления  $R_A$  в формуле (3.6). Поскольку перечисленные погрешности носят систематический характер, общую погрешность косвенного измерения  $\Delta R_x$  находим как алгебраическую сумму частных погрешностей.

3.8.2.1 Для определения погрешности измерения **малых сопротивлений** используется формула (3.5). Взяв частные производные и, переходя к относительным погрешностям, получим в окончательном виде формулу для определения относительной погрешности малого сопротивления:

$$\delta R_x = \delta U + \delta I + (\delta U + \delta I + \delta R_V) \cdot \frac{R_x}{R_V} , \quad (3.15)$$

где  $\delta U$  - относительная погрешность измерения напряжения, определяемая классом точности прибора  $\gamma_U$ , пределом шкалы вольтметра  $U_N$  и его показанием  $U$ , по формуле

$$\delta U = \frac{\gamma_U \cdot U_N}{U \cdot 100\%} , \quad (3.16)$$

$\delta I$  - относительная погрешность измерения тока, определяемая классом точности амперметра  $\gamma_I$ , пределом шкалы амперметра  $I_N$  и его показанием  $I$ , по формуле

$$\delta I = \frac{\gamma_I \cdot I_N}{I \cdot 100\%} , \quad (3.17)$$

$\delta R_V$  - относительная погрешность задания сопротивления вольтметра равная 1%.

*Анализируя выражение (3.15) можно сделать заключение, что общая погрешность существенно уменьшается при измерении сопротивлений  $R$  много меньших  $R_V$ . При измерении же по схеме рис. 3.3 сопротивлений, сравнимых с  $R_V$ , слагаемое в скобках в выражении (3.15) будет преувеличивать над остальными, величина которых определяется классом точности приборов и общая погрешность резко возрастает.*

Абсолютное значение погрешности определится выражением :

$$\Delta R_x = \delta R_x \cdot R_x . \quad (3.18)$$

3.8.2.2 Для определения погрешности измерения **больших сопротивлений** используется формула (3.6). Взяв частные производные и, переходя к относительным погрешностям, получим:

$$\delta R_X = (\delta U + \delta I) + (\delta U + \delta I + \delta R_A) \cdot \frac{R_A}{R_X}, \quad (3.19)$$

где  $\delta U$  - относительная погрешность измерения напряжения, определяемая выражением (3.16);

$\delta I$  - относительная погрешность измерения тока, определяемая выражением (3.17);

$\delta R_A$  - относительная погрешность задания внутреннего сопротивления амперметра, равная 1 % .

*Анализируя выражение (3.19) можно сделать заключение, что общая погрешность существенно уменьшается при измерении  $R_X$  много больших  $R_A$ . При измерении же по схеме рис. 3.4 сопротивлений сравнимых с  $R_A$  второе слагаемое в выражении (3.19) будет преувеличивать над остальными, величина которых определяется классом точности приборов и общая погрешность резко возрастает.*

Абсолютное значение погрешности определится выражением (3.18).

3.8.3 Оценка точности измерений методом сравнения с использованием одинарно-двойного моста Р 329.

Поскольку сравнение с мерой, в качестве которой используется сопротивление пяти декад  $R_1$ , производится косвенно по выражению (3.8), то и общая погрешность будет складываться из частных погрешностей сопротивлений плеч моста и погрешности неточного уравновешивания моста. Ввиду того, что закон распределения систематических погрешностей

сопротивлений плеч моста неизвестен, а прибор Р 329 не подлежит поверке как учебный, для вычисления общей погрешности используется арифметическое суммирование частных погрешностей:

$$\Delta R_X = \frac{R_2}{R_3} \cdot \Delta R_1 + \frac{R_1}{R_3} \cdot \Delta R_2 + \frac{R_X}{R_3} \cdot \Delta R_3 + \Delta R_M, \quad (3.20)$$

где  $\Delta R_M$  - абсолютная погрешность измерения за счет неточного уравновешивания моста.

Переходя к относительным погрешностям, получим:

$$\delta R_X = \delta R_1 + \delta R_2 + \delta R_3 + \delta_M, \quad (3.21)$$

где  $\delta R_1$  - относительная погрешность декадной меры  $R_1$ ;

$\delta R_2, \delta R_3$  - относительные погрешности плеч моста  $R_2$  и  $R_3$ ,

равные 0,015 %;

$\delta_M$  - частная относительная погрешность измерения, обусловленная неточностью уравновешивания моста.

$$\delta_M = \frac{\Delta \alpha}{S_M \cdot 100\%}, \quad (3.22)$$

где  $S_M$  - чувствительность моста, определяемая выражением (3.12);

$\Delta\alpha$  – абсолютная погрешность уравнивания моста по гальванометру.  $\Delta\alpha=(0.5 - 2)$  дел. в зависимости от тщательности установки равновесия. Подставляя в формулу (3.22) выражение (3.12), получим:

$$\delta_M = \frac{\Delta R}{R_1} \cdot \frac{\Delta\alpha}{\alpha}, \quad (3.23)$$

где  $\Delta R$  - отклонение сопротивления  $R_1$  для получения разбаланса моста на  $\alpha$  делений.

Для определения  $\delta R_1$  сначала рассчитывают абсолютную погрешность  $\Delta R_1$  сопротивления  $R_1$ . Так как сопротивление  $R_1$  представляет собой магазин сопротивлений, его погрешность  $\Delta R_1$  будет складываться из погрешностей отдельных резисторов декад магазина, включенных в плечо  $R_1$  моста при равновесии. Например, если  $R_1=234,56$  Ом, то сопротивление  $R_1$  будет представлено следующим образом:

$$R_1=(2 \cdot 100 + 3 \cdot 10 + 4 \cdot 1 + 5 \cdot 0,1 + 6 \cdot 0,01) \text{ Ом.}$$

Поэтому величина  $\Delta R_1$  может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta R_1 = \sum_{i=1}^5 R_i \cdot \delta R_i = \sum_{i=1}^5 n_i \cdot \frac{\delta_i \% \cdot R_i}{100\%}, \quad (3.24)$$

где  $i$  - порядковый номер декады;

$n_i$  - количество сопротивлений  $i$ -й декады, включенных в плечо  $R_1$  при равновесии;

$R_i$  - цена деления  $i$ -й декады, Ом;

$\delta_i$  - относительная погрешность каждого сопротивления  $i$ -й декады, которая определяется из таблицы 3.1.

Табл.3.1

порядковый номер декады	$i$	1	2	3	4	5
цена деления сопротивления декады	$R_i$	100 Ом	10 Ом	1 Ом	0.1 Ом	0.01 Ом
относительная погрешность сопротивления декады	$\delta_i$	0.015%	0.015%	0.15%	0.55%	1.0%

Определив  $\Delta R_1$ , находят величину  $\delta R_1 = \frac{\Delta R_1}{R_1}$ , а затем  $\delta R_x$  по формуле (3.21).

При этом следует помнить, что при складывании все составляющие следует выразить в одном масштабе (в процентах или относительных единицах).

После определения  $\delta R_x$  находят абсолютную погрешность измерения сопротивления  $\Delta R_x = \delta R_x \cdot R_x$ , и результат записывают в виде  $R_x = R_{изм} \pm \Delta R_x$ , соблюдая при этом правила округления.

3.8.4. При измерении сопротивлений прибором E7–21 погрешность измерения определяется в соответствии с техническими характеристиками прибора.

#### 4. Лабораторная работа №4

##### Исследование цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием

#### 4.1. Цель работы.

Целью настоящей работы является изучение принципа работы цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием, изучение причин возникновения некоторых погрешностей и методов их устранения.

#### 4.2. Основные положения.

4.2.1. Принцип работы цифрового вольтметра. В основу работы цифрового вольтметра положен время-импульсный метод преобразования постоянного напряжения в пропорциональный временной интервал с последующим измерением длительности интервала цифровым способом. Сначала измеряемое напряжение сравнивается с образцовым линейно-изменяющимся напряжением с последующей выработкой импульса в момент их равенства (рис.4.1). Образцовое линейно-изменяющееся напряжение выражается формулой:

$$U=kt, \quad (4.1)$$

где:  $k$  - коэффициент пропорциональности, характеризующий наклон пилообразного напряжения;

$t$  - текущее время.

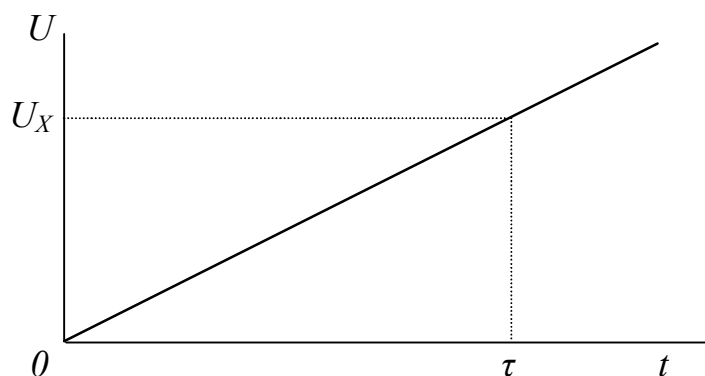


Рис. 4.1.

Сравнение образцового и измеряемого напряжений производится в устройстве сравнения, в котором в момент равенства этих напряжений при  $t=\tau$  вырабатывается импульс сравнения. Таким образом, измеряемое напряжение определится  $U = k\tau$ , т. е. длительность временного интервала от начала отсчета  $t = 0$  до времени  $t = \tau$  будет пропорциональна входному измеряемому напряжению. Дальнейшее преобразование временного интервала в количество импульсов производится с помощью ключа, который открывается в момент времени  $t=0$  и закрывается в момент времени  $t=\tau$ . На вход ключа подаются высокочастотные импульсы с выхода квантующего генератора образцовой частоты  $f_0$ , и через открытый ключ за время  $\tau$  пройдет количество импульсов  $N$ , пропорциональное временному интервалу, и соответственно, пропорциональное напряжению  $U_X$ .

$$N = \frac{\tau}{T_0} = \tau f_0 = \frac{f_0}{k} U_X = K_0 U_X \quad , \quad (4.2)$$

где:  $N$  – количество импульсов с выхода ключа, поступающее на счётчик импульсов цифрового отсчетного устройства вольтметра;

$T_0$  - период следования квантующих импульсов;

$K_0$  - коэффициент пропорциональности.

Количество импульсов  $N$  подсчитывается счетчиком и через дешифратор отображается на цифровом табло вольтметра.

#### 4.2.2 Описание экспериментального макета цифрового вольтметра.

Упрощенная структурная схема цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием изображена на рис. 4.2. Более подробная структурная схема вольтметра, совмещенная с органами управления и контрольными гнездами изображена на передней панели макета.

В состав вольтметра входят: блок управления БУ; аналого-цифровой преобразователь АЦП; входное устройство ВУ; отсчетное устройство, имеющее в своем составе счетчик импульсов с индикаторами состояний триггеров; дешифратор и десятичный индикатор измеряемого напряжения.

АЦП служит для преобразования измеряемого напряжения в цифровой код и включает в себя сравнивающие устройства СУ1 и СУ2, генератор линейно-изменяющегося напряжения ГЛИН, логическую схему, роль которой выполняет триггер с отдельным запуском ТР, электронный ключ К, генератор импульсов образцовой частоты ГОЧ и вспомогательную схему полярности, вырабатывающую сигнал, определяющий знак измеряемого входного напряжения.





СУ вырабатывается перепад напряжения в тот момент, когда напряжение ГЛИН достигнет уровня сигнала, поданного на другой вход СУ. Логическая схема формирует из этих перепадов положительный импульс, длительность которого равна временному интервалу между этими перепадами, а значит пропорциональна измеряемому напряжению.

Схема позволяет автоматически определять знак измеряемого напряжения. Если  $U_X > 0$ , то момент равенства  $U_X = U_{ГЛИН}$  наступает раньше, чем момент равенства  $U_{ГЛИН} = 0$ , триггер знака (схема полярности) останется в исходном состоянии и на цифровом индикаторе будет высвечен знак “+”. Если же  $U_X < 0$ , то момент равенства  $U_X = U_{ГЛИН}$  наступит позже, чем  $U_{ГЛИН} = 0$ , триггер знака изменит свое состояние на противоположное, и на цифровом индикаторе будет высвечен знак “-”.

Таким образом, независимо от знака входного напряжения, счетчик импульсов регистрирует количество импульсов, определяемое формулой (4.2), и при постоянной скорости изменения напряжения ГЛИН и постоянства частоты ГОЧ, число импульсов определится только измеряемым напряжением.

Счетчик импульсов состоит из трех счетных декад, каждая из которых, в свою очередь, содержит четыре счетных триггера и работает в коде 8-4-2-1. Подсчитав количество импульсов, счетчик выдает код, который преобразуется дешифратором в показания цифрового индикатора.

Процесс измерения повторяется по приходу следующего импульса с блока управления.

**Погрешность вольтметра определяется нестабильностью и нелинейностью напряжения ГЛИН, нестабильностью частоты ГОЧ, а также погрешностью дискретности.** Погрешность дискретности определяется тем, что пусковой импульс не совпадает во времени с квантуемым импульсом и при повторных измерениях одного и того же значения измеряемого напряжения  $U_X$ , показания прибора могут случайным образом изменяться на одну единицу младшего разряда, в зависимости от расположения интервала  $T$  относительно квантуемых импульсов.

Точность измерения напряжения, определяемая классом точности прибора, может быть достигнута только при калиброванном наклоне напряжения ГЛИН (переключатель П2 в положении 1) и при калиброванной частоте ГОЧ (переключатель П3 в положении 1). Проверка работоспособности и точности макета производится с помощью встроенного калибратора напряжения. При калиброванных значениях  $k$  и  $f_0$  нажатием кнопки, подключающей источник калиброванного напряжения ко входу, цифровой индикатор должен показывать значение напряжения, указанное на передней панели.

Кроме обычного десятичного индикатора, лабораторный макет имеет двоично-десятичный индикатор результата измерения, позволяющий

визуально определять состояние всех триггеров счетчика импульсов по светящимся лампочкам на передней панели.

Для исследования свойств цифрового вольтметра в макете предусмотрена возможность изменения частоты ГОЧ (переключатель П3) и угла наклона напряжения ГЛИН (переключатель П2). Предусмотрены также контрольные гнезда для наблюдения сигналов в различных точках схемы.

### **4.3. Приборы, используемые в макете.**

4.3.1 Лабораторный макет цифрового вольтметра.

4.3.2 Осциллограф INSTЕК GDS-620FG.

4.3.3 Источник питания постоянного тока.

4.3.4 Соединительные провода и кабели.

### **4.4. Домашнее задание.**

1 Ознакомится со способами преобразования постоянного напряжения в цифровой код и кодами, используемыми в цифровых измерительных приборах.

2 Изучить устройство и принцип действия цифровых вольтметров с время-импульсным преобразованием.

3 Изучить основные источники погрешностей вольтметров с время-импульсным преобразованием и способы их определения.

### **4.5. Контрольные вопросы.**

1. Объясните принцип время-импульсного преобразования в цифровом вольтметре.

2. Составьте упрощенную структурную схему цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием и объясните ее работу.

3. Какие коды используются в цифровых измерительных приборах?

4. Объясните причину возникновения погрешности дискретности (квантования) в цифровых измерительных приборах, и какую форму при этом приобретает пачка импульсов при прохождении через двоичный счетчик.

5. Что такое быстродействие и чем оно определяется в цифровых вольтметрах с время-импульсным преобразованием?

6. Объясните возникновение погрешности за счет нестабильности частоты квантующего генератора.

7. Объясните физический смысл возникновения погрешности за счет нестабильности наклона, нелинейности линейно-изменяющегося напряжения.

8. Объясните физический смысл возникновения погрешности цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием при воздействии на его вход помехи, и каким образом производится уменьшение ее влияния?

#### 4.6. Лабораторное задание.

4.6.1 Для заданного преподавателем входного напряжения (табл. 4.1) с помощью осциллографа снять временные диаграммы напряжений в контрольных точках К2—К11. Зарисовать все осциллограммы в одном временном масштабе с учетом относительных временных сдвигов. В этом же временном масштабе повторить снятие осциллограмм, изменив полярность сигнала.

Табл.4.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7
Показание вольтметра источника питания, (В)	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0

4.6.2 В режиме однократного запуска провести измерение трех значений входного напряжения, добавив два других варианта из таблицы 4.1, записать их в двоично-десятичном коде и сопоставить с показаниями индикаторов счетчика.

4.6.3 Определить влияние изменения частоты квантующего генератора на показание вольтметра. Измерение провести для двух значений входного напряжения различной полярности, устанавливаемых в п. 4.6.1. По цифровому индикатору определить относительное изменение показаний вольтметра и сравнить изменение частоты с изменением показаний индикатора.

4.6.4 Определить влияние изменения угла наклона напряжения ГЛИН на показание вольтметра. Измерение провести для двух значений входного напряжения различной полярности, устанавливаемых в п. 4.6.1. По цифровому индикатору определить относительное изменение показаний вольтметра и сравнить изменение угла наклона напряжения ГЛИН с изменением показаний индикатора.

#### 4.7. Методические указания по выполнению работы.

4.7.1 Экспериментальное исследование макета цифрового вольтметра.

Для выполнения п.4.6.1 необходимо:

1) Подготовить осциллограф к работе, произведя калибровку коэффициента отклонения и коэффициента развертки в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

2) Включить макет и подать на его вход с источника питания напряжение, заданное преподавателем.

3) Переключатель П1 макета поставить в положение АВТОМАТ, переключатели П2 и П3 в положение 1.

4) Перевести осциллограф в режим ждущей развертки, согласно инструкции по эксплуатации осциллографа, и подать на вход внешнего запуска сигнал с контрольного гнезда К1. Установить переключатель входного аттенюатора в положение 2 В/дел, коэффициент развертки (0.05–0.1)с/дел. Регулировкой чувствительности запуска развертки добиться устойчивой синхронизации развертки с запускающими импульсами.

**Примечание: проверкой устойчивой синхронизации является исчезновение развертки на экране при отключении синхроимпульса.**

Установить линию развертки в нулевое положение и совместить начало развертки с началом координатной сетки на осциллографе.

5) Переключатель входа осциллографа поставить в положение DC для наблюдения и измерения сигналов с постоянной и переменной составляющими.

6) Подключить вход осциллографа к гнезду К2 лабораторного макета и изменением коэффициента отклонения по оси Y и длительности развертки установить импульсный сигнал блока управления удобным для наблюдения (**длительность импульса должна составлять не менее половины экрана, амплитуда импульса не менее 3 делений**). При дальнейшем снятии осциллограмм длительность развертки не изменять.

Зарисовать полученную осциллограмму.

7) Последовательно, подключая осциллограф к гнездам К3 – К11, снять и зарисовать полученные осциллограммы в одном временном масштабе, изменяя при необходимости коэффициент отклонения по оси Y. Временные диаграммы должны отражать форму, длительность импульсов и их относительный временной сдвиг.

#### 4.7.2 Представление измеряемых напряжений в кодах, используемых в цифровом вольтметре.

Для выполнения п. 4.6.2 лабораторного задания необходимо перевести вольтметр в режим однократного запуска и, подав на его вход заданное напряжение, снять показания как в десятичном по цифровому табло, так и в двоично-десятичном коде по световым индикаторам двоично-десятичного счетчика. Затем установить поочередно два напряжения, из табл. 4.1, и записать их в десятичном и двоично-десятичном коде.

В десятичном коде целое число может быть представлено в виде:

$$N_{10} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot 10^{i-1}, \quad (4.3)$$

где  $n$  – число разрядов,

$k_i$  - коэффициент, принимающий значения от 0 до 9.

Например, число 967 можно представить в виде:

$$967 = 9 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0 .$$

В двоично-десятичном коде каждая цифра, входящая в целом числе представляется в двоичном коде и может быть представлена в виде:

$$N_2 = \sum_{i=1}^n k_i \cdot 2^{i-1} , \quad (4.4)$$

где  $k_i$  - коэффициент, принимающий в двоичном коде значение 0 или 1.

Значит то же число 967 в двоично-десятичном коде может быть представлено:

$$\begin{aligned} 9 &= 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 0 + 1 && /1001/ \\ 6 &= 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 0 + 4 + 2 + 0 && /0110/ \\ 7 &= 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 0 + 4 + 2 + 1 && /0111/, \end{aligned}$$

или более кратко: 1001 0110 0111 (4.5).

По заданию для каждого полученного значения напряжения снять

двоичный код каждой цифры с индикаторов состояний счетчика, записать его в виде (4.5), преобразовать его в десятичный и сравнить с показанием индикатора.

#### 4.7.3 Определение влияния изменения частоты ГОЧ на показание вольтметра.

Для нахождения погрешности вольтметра, вызванной нестабильностью частоты ГОЧ, необходимо определить влияние изменения частоты на показание вольтметра. Эксперимент рекомендуется проводить в следующем порядке:

а) проверить калибровку вольтметра нажатием кнопки «КАЛИБР» при установленных **переключателях П2 и П3 в положение 1**; показание цифрового индикатора должно быть равно величине напряжения, указанного на передней панели с точностью  $\pm 0,01$  В;

б) подать на вход макета исследуемое напряжение, устанавливаемое при выполнении п. 4.6.1;

в) в режиме однократного запуска снять отсчет по индикатору  $U_1$ ;

г) установить переключатель П3 в положение 2 и снять отсчет по индикатору  $U_2$ ;

д) вычислить абсолютное и относительное изменение показаний

$$\Delta U_f = U_2 - U_1; \delta U_f = \frac{\Delta U_f}{U_1} 100\% \quad (4.6)$$

е) повторить измерение, изменив полярность входного сигнала.

Результаты эксперимента занести в табл. 4.2.

Табл.4.2

$U_1$	$U_2$	$\Delta U_f$	$\delta U_f$

Определить относительное изменение частоты ГОЧ

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_1} = \frac{f_2 - f_1}{f_1} 100\% , \quad (4.7)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  - значения частоты ГОЧ при положениях переключателя ПЗ в 1 и 2 соответственно.

Учитывая, что осциллографом проще измерять временные интервалы, чем частоту, перепишем выражение (4.7) в виде

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_2} 100\% , \quad (4.8)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  - значения периода сигнала ГОЧ при положении переключателя ПЗ в 1 и 2 соответственно.

Измерение  $T_1$  и  $T_2$  производится с помощью осциллографа для чего:

- а) установить в осциллографе режим непрерывной развертки;
- б) применить внутреннюю синхронизацию;
- в) подать на вход осциллографа сигнал с контрольного гнезда К9;
- г) переключением коэффициента развертки (время/дел) и регулировкой синхронизации добиться на экране устойчивого изображения одного периода (не менее 5 см по горизонтали) сигнала частоты ГОЧ и произвести отсчет длительности периода  $T_1$  и  $T_2$  в мм;

д) вычислить относительное изменение частоты  $\delta_f$  по формуле (4.8).

Сравнить полученное значение изменения частоты с изменениями напряжения в табл. 4.2 и сделать вывод о влиянии нестабильности частоты квантующего генератора на погрешность измерения напряжений цифровыми вольтметрами. Предложите методы уменьшения данной погрешности.

#### 4.7.4 Определение влияния наклона напряжения ГЛИН на показание вольтметра.

Для выполнения п. 4.6.4 предварительно необходимо определить относительное изменение коэффициента наклона  $K$  пилообразного напряжения ГЛИН при переключении П2 из положения 1 в положение 2.

Значения коэффициента  $K$  можно определить с помощью осциллографа, для чего необходимо подать на его вход напряжение с контрольного гнезда КЗ лабораторного макета и снять осциллограммы при обоих положениях переключателя П2 (рис. 4.3).

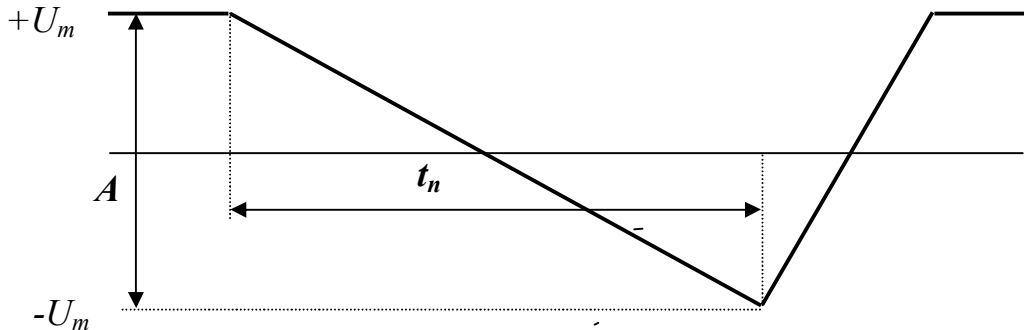


Рис. 4.3.

По полученной осциллограмме коэффициент наклона определяется по формуле

$$K = \frac{AK_u}{t_n K_p} \quad , \quad (4.9)$$

где:  $A$  - размах пилообразного напряжения мм,

$K_u$  - коэффициент отклонения по вертикали  $B/мм$

$t_n$  - длительность прямого хода пилообразного напряжения , мм,

$K_p$  - коэффициент развертки  $c/мм$

Относительное изменение коэффициента наклона пилообразного напряжения определится

$$\delta_K = \frac{K_2 - K_1}{K_1} \quad , \quad (4.10)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты наклона линейно-изменяющегося напряжения при положениях 1 и 2 переключателя П2.

Поскольку размах пилообразного напряжения не меняется при переключении переключателя П2, коэффициент отклонения по вертикали и коэффициент развертки также не изменяются, то формула относительного изменения угла наклона будет представлена

$$\delta_K = \frac{t_{n1} - t_{n2}}{t_{n2}} 100\% \quad , \quad (4.11)$$

где  $t_{n1}$  и  $t_{n2}$  - длительности прямого хода линейно-изменяющегося напряжения при положениях 1 и 2 переключателя П2, измеренные по осциллографу в мм. Для более точного измерения крутизны наклона пины необходимо, чтобы длительность пилообразного напряжения составляла 0,8-0,9 размера экрана осциллографа.

Определение абсолютного и относительного изменения показаний вольтметра за счет изменения наклона линейно-изменяющегося напряжения производится по методике, изложенной в п. 4.7.3, с той лишь разницей, что изменяемым параметром является не частота ГОЧ, а наклон напряжения ГЛИН. В результате находится

$$\Delta U_K = U_2 - U_1; \delta U_K = \frac{\Delta U_K}{U_1} 100\%. \quad (4.12)$$

Результаты эксперимента занести в табл. 4.3.

Табл. 4.3

$U_1$	$U_2$	$\Delta U_K$	$\delta U_K$

Сравнить полученное значение изменения коэффициента наклона линейно-изменяющегося напряжения с изменениями напряжения в табл. 4.3 и сделать вывод о влиянии нелинейности пилообразного напряжения ГЛИН на погрешность измерения напряжений цифровыми вольтметрами.

Предложите методы уменьшения данной погрешности.



## 5. Лабораторная работа №5

### Методы измерения электрических сигналов

#### 5.1. Цель работы

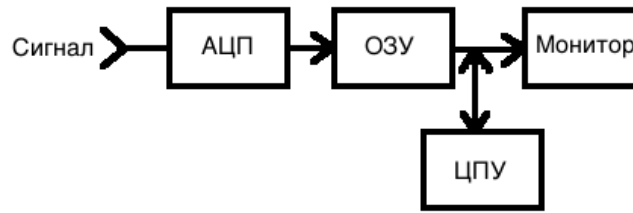
Целью работы является изучение свойств цифрового запоминающего осциллографа GDS-806S и ознакомление с методами измерения электрических сигналов.

#### 5.2. Основные положения

Цифровой осциллограф предназначен для исследования и измерения параметров периодических сигналов в полосе частот от 0 до 60 МГц и однократных сигналов в полосе частот до 10 МГц. Осциллограф обеспечивает цифровое запоминание, цифровое измерение в диапазоне амплитуд от 2 мВ до 300 В и временных интервалов от 1 нс до 10 с, автоматическую установку размеров изображения, автоматическое измерение амплитудно- временных параметров входного сигнала с выводом результатов измерения на экран дисплея. Так же обеспечивают возможность подключения к персональному компьютеру по средствам интерфейса GPIB, RS-232 или USB. Осциллограф обеспечивает возможность подключения к внешнему принтеру для распечатки результатов, отображенных на дисплее.

Принцип работы цифрового осциллографа показан на рисунке 5.1а. Входной сигнал, в размере выбранного кадра поступает на АЦП, где преобразуется в цифровую форму и поступает во внутреннюю память для дальнейшей обработки (привязка к развертке, вывод на экран, измерение параметров и т. д.), время этой обработки достаточно велико по сравнению с временем кадра, задержка при выводе на экран получается достаточно большая, часть информации об изменении сигнала между кадрами теряется (рис. 5.1а). Это один из главных недостатков всех цифровых осциллографов. Основной

способ борьбы с этим недостатком – использование памяти большего объема, чтобы увеличить размер «кадра» (рис. 5.2б).



АЦП- аналого-цифровой преобразователь (преобразует аналоговый сигнал в цифровую форму)

ОЗУ- оперативно запоминающее устройство (внутренняя память прибора для обработки сигнала)

ЦПУ- центральное процессорное устройство

Рисунок 5.1 - Простейшая структурная схема цифрового осциллографа

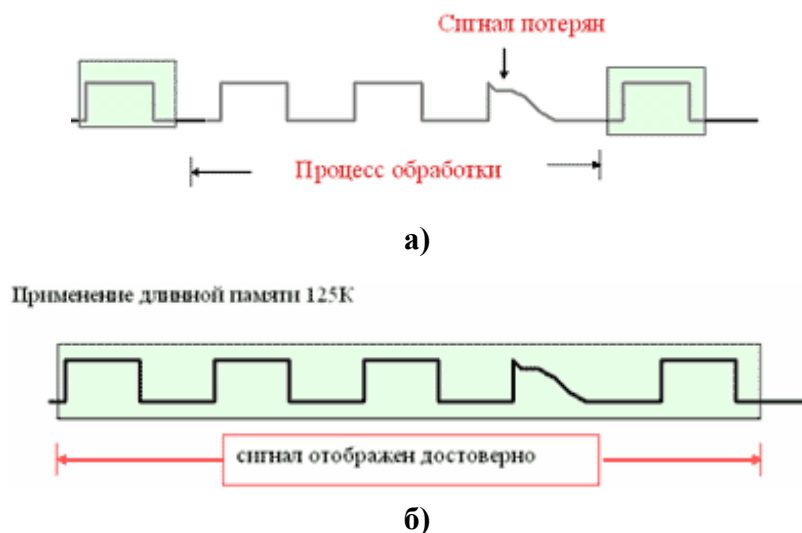


Рисунок 5.2 – Принцип работы цифрового осциллографа

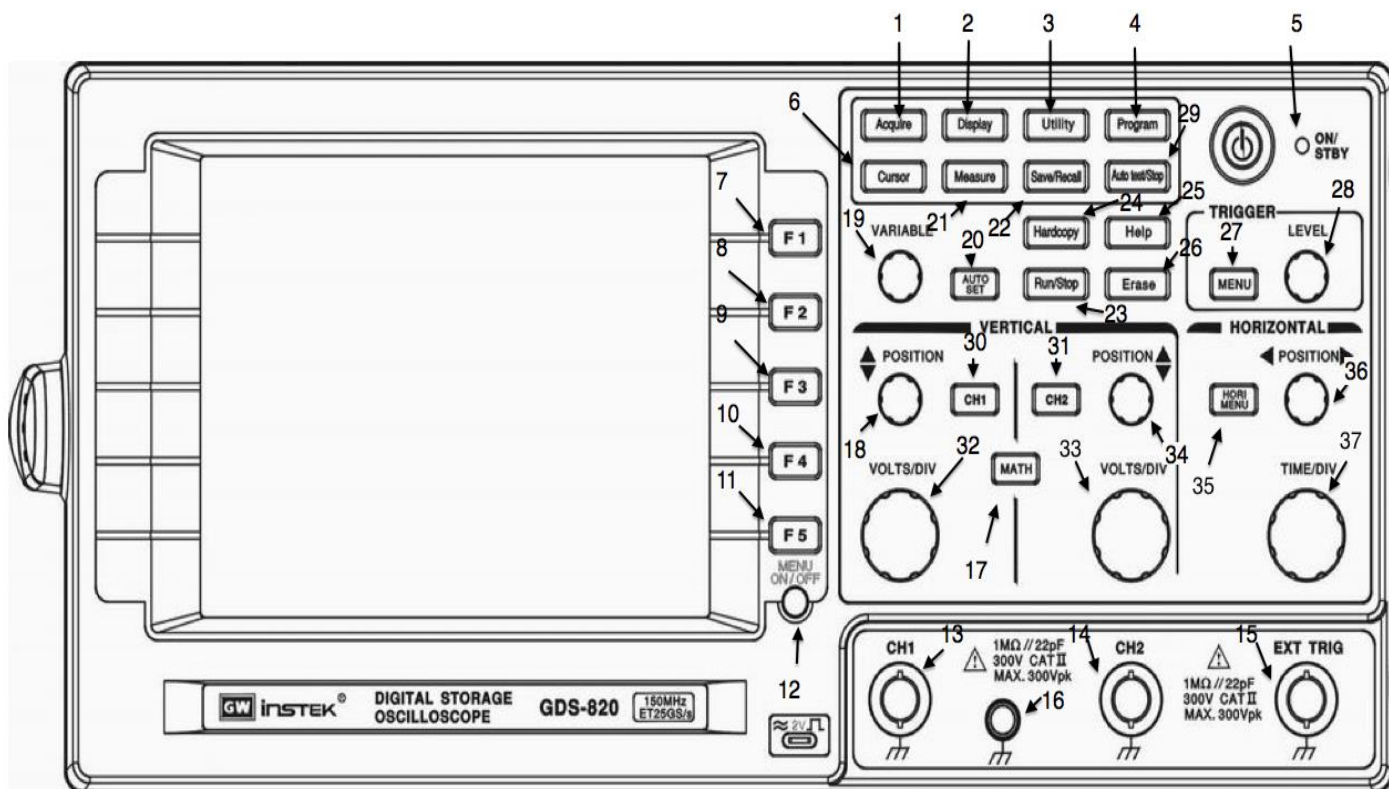
К достоинствам цифровых осциллографов относят легкость сопряжения с вычислительной техникой, возможность запоминания фрагментов сигнала, различные виды автоматических измерений. Основным параметром любого осциллографа является полоса пропускания – частота, при которой амплитуда входного сигнала, поддерживаемой стабильной по уровню, уменьшится на экране осциллографа на 3 дБ. Другой немаловажный параметр – разрядность АЦП. Чаще всего в цифровых осциллографах используются восьмиразрядные АЦП (256 отсчетов по амплитуде), что вполне достаточно для исследования сигнала.

В данной работе используется цифровой осциллограф компании Good Will (Instek) GDS-806S, основные технические данные представлены в таблице 5.1.

Таблица №5.1- Основные технические характеристики цифрового осциллографа

Характеристики	Параметры	Значение
Канал вертикального отклонения	Полоса пропускания (-3Дб)	0-60МГц
	Время нарастания	$\leq 5.8$ нс
	Макс.входное напряжение	300В (DC+AC пик, до 1 кГц)
	Режимы работы	Канал 1, канал 2, канал 1 (2) инвертированный, канал 1 и2
	Математика (математические функции доступные для данного канала)	Кан 1 + Кан 2 (Сумма сигналов); Кан 1 – Кан 2 (Разность сигналов); БПФ(быстрое преобразование Фурье)
Канал горизонтального отклонения	Коэф. развертки $K_{разв.}$ (масштаб по оси X)	1 нс/дел-10 с/дел (шаг 1-2-5)
	Погрешность установки $K_{разв.}$	$\pm 0,01$ %
	Режимы работы	Основной окно , ZOOM окна, самописец, X-Y
Синхронизация	Источники синхросигнала	Канал 1, канал 2, сеть, внешний
	Фильтры синхронизации	ФНЧ, ФВЧ, фильтр шума, связь AC, связь DC
	Внешняя синхронизация	50 мВ (0...30 МГц), 100 мВ (30...60 МГц), Уровень: постоянное $\pm 15$ В; переменное 2 В пик. Макс. уровень: 300 В (DC+AC пик, до 1 кГц)
	Вход внешней синхронизации	1 МОм ( $\pm 2$ %) / 22 пФ
Аналого-цифровое преобразование	Разрешение по вертикали	8 бит
	Частота дискретизации	До 100 МГц на канал
	Длина записи	125 Кбайт на канал

Курсорные измерения	Функции	$\Delta U \times \Delta t / \Delta T$
Автоматические измерения	Функции по вертикали	U пик-пик; U; U ср. кв.; U0; U макс.; U мин.
	Функции по горизонтали	f; T; t нарастания; t среза; ко- эф. заполнения
Частотомер	Разрешение	6 разрядов
	Диапазон измерений	10 Гц...60 МГц
	Погрешность измерения	$\pm 2 \%$
Дополнительные возможности	Интерфейс	RS-232C
	Синхронизация	Автовывбор синхросигнала (2- кан. режим)
	Автоустановка	В/дел, с/дел, параметры син- хросигнала
	Режим X-Y	X – кан 1; Y – кан 2; разность фаз $< 3^\circ$ до 100 кГц
	Глубокая память	Запись/считывание: 2 осциллограммы; 15 профилей
	Функции	Сравнение формы сигнала с шаблоном; автовоспроизведе- ние профилейс авто - или курсорными измерениями
Общие данные	ЖК-дисплей	8 × 12 дел (разрешение 320 × 240)
	Напряжение питания	100...240 В, 48...63 Гц (автовывбор)
	Габаритные размеры; масса	254 × 142 × 310 мм; 4,1 кг
	Комплект поставки	Шнур питания (1), делитель 1:1/1:10 (2)



**Рисунок 5.3 – Лицевая панель осциллографа**

Обозначения на лицевой панели:

1-Сбор информации

2-Дисплей (Изменение способа отображения осциллограмм и вида экрана)

3-Утилиты (Включение системных функций сервиса, например, выбор языка)

4-Программирование

5-Индикация Вкл./Выкл.

6-Курсоры (Включение курсоров)

7,8,9,10,11-Функциональные клавиши

1-5(для работы с кнопками, отображаемыми на дисплее)

12- Включить/Выключить меню

21-Измерения(автоматическое измерение осциллограммы)

22-Запись/Вызов(сохранение и загрузка настроек и осциллограмм из памяти )

23-Пуск/Стоп (остановка и повторный запуск регистрации данных)

24-Печать

25-Помощь

26-Обновить

27-Меню

28-Уровень (установка уровня синхронизации)

29-Авто тест/Стоп

13-Канал 1

14-Канал 2

15-Внешняя синхронизация (разъем для подсоединения внешнего источника)

16-Корпус(Заземление)

17-Математика (включение математических функций)

18-Смещение канала 1 по Y

19-Установка

20-Авто установка

30-Выбор канала 1

31-Выбор канала 2

32-Вольт/Дел канала 1

33-Вольт/Дел канала 2

34-Смещение канала 2 по Y

35-Горизантальное меню

36-Смещение по X

37- Время/Дел

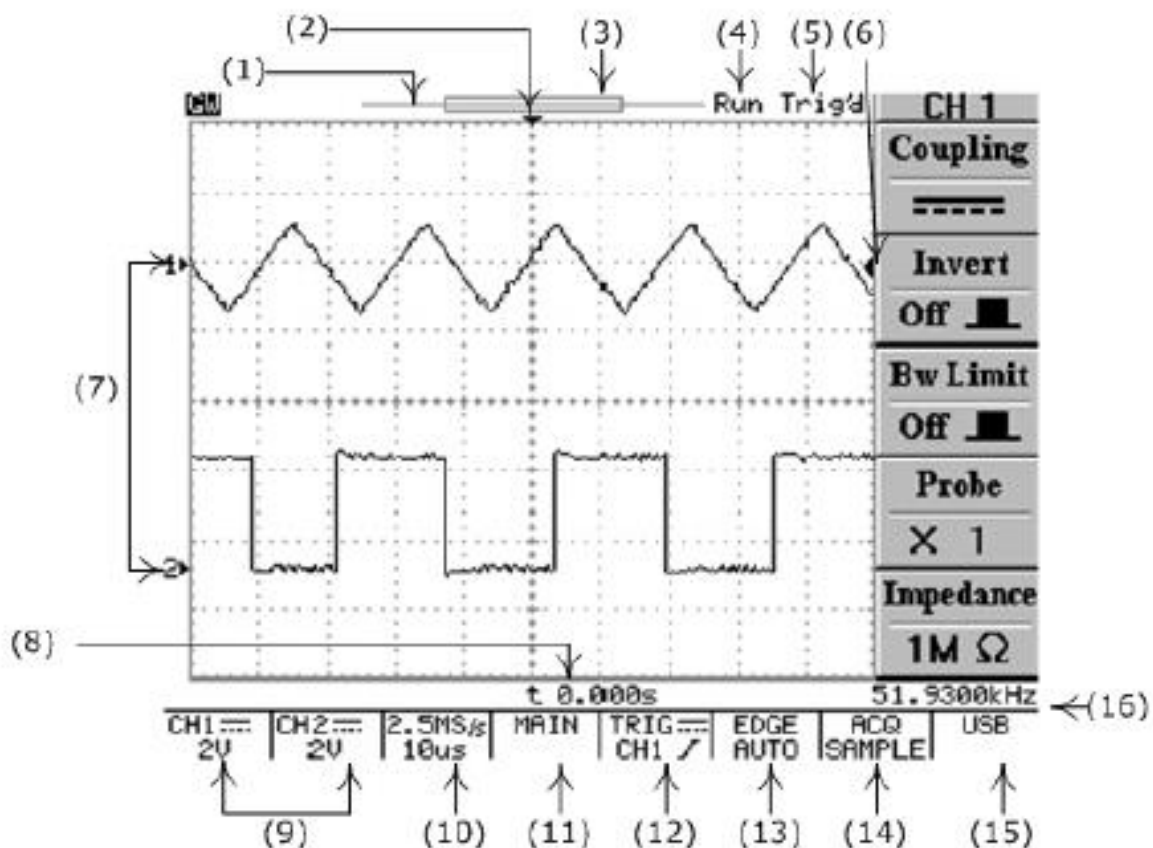


Рисунок 5.4 – Пример экрана

1-Панель памяти

2-Позиция индикатора триггера

3-Видимая область, показывающая

9- Дисплей статусов канала 1 и 2

10- Масштаб по оси X

11- Статус горизонтального меню

сегмент памяти, показанный на экране	12 – Индикация статуса синхронизации
4-Индикатор состояния (Пуск/Стоп)	13- Тип и режим триггера
5-Статус триггера	14- Приобретенный статус
6-Индикатор уровня триггера	15- Индикатор типа интерфейса
7- Индикатор позиции канала	16- Частотомер
8- Индикатор задержки триггера	

### 5.3. Приборы, используемые в работе

- 1 Генератор сигналов- 2 шт.
- 2 Осциллограф с инструкцией по эксплуатации.
- 3 RC- цепь
- 4 Соединительные провода и кабели

### 5.4. Лабораторное задание

5.4.1 Измерить значение амплитуды синусоидального сигнала с частотой 10кГц и с амплитудой (5В-10В) и его период. Провести преобразование Фурье. Измерить амплитуду первой гармоники и ее частоту. Провести измерения в автоматическом и ручном режимах.

5.4.2 Измерить значение амплитуды для меандра с частотой 10кГц и с амплитудой (5В-10В), время спада, время фронта сигнала. Провести преобразование Фурье. Измерить амплитуду первой гармоники и ее частоту. Провести измерения в автоматическом и ручном режимах.

5.4.3 Изучение функции сложения двух сигналов: сигнала треугольной формы с частотой 40 кГц и амплитудой (5В-10В) и прямоугольного сигнала с частотой 5кГц и амплитудой (5В-10В).

5.4.4 Построить фигуру Лиссажу. А основании сигналов треугольной формы (10кГц и амплитудой 5В-10В), синусоидальной и прямоугольный формы с аналогичным характеристиками.

## 5.5. Методические указания

Подготовить осциллограф к работе, произведя калибровку в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

5.5.1 Для выполнения пункта 5.4.1 необходимо:

5.5.1.1 Подать на первый канал осциллографа синусоидальный сигнал с частотой 10 КГц и амплитудой (5В-10В) с выхода генератора.

5.5.1.2 Проводим измерения в автоматическом режиме. Для этого необходимо нажать кнопку «Измерения» на передней панели прибора и определить частоту и амплитуду.

5.5.1.3 Провести измерения в ручном режиме. Для измерения амплитуды необходимо нажать кнопку «Курсоры» на передней панели прибора, затем нажатием кнопки F3 выбираем «Вертикальные курсоры». Верхний курсор устанавливаем на максимальную точку синусоиды, а нижний на нуле. Снимаем полученные показания. Для измерения частоты и периода необходимо нажатием кнопки F3 выбрать «Горизонтальные курсоры», с помощью правого и левого курсоров измерить необходимые параметры.

5.5.1.4 Для проведения спектрального анализа необходимо нажать кнопку «Матем» на передней панели прибора, с помощью кнопки F1 выбираем «БПФ», затем нажатием кнопки F3 выбираем «Окно Блэкмана» и с помощью курсоров измеряем амплитуду первой гармоники и ее частоту.

5.5.2 Для выполнения пункта 5.4.2 необходимо:

5.5.2.1 Подать на первый канал осциллографа меандр с частотой 10 КГц и амплитудой (5В-10В).

5.5.2.2 Проводим измерения в автоматическом режиме. Для этого необходимо нажать кнопку «Измерения» на передней панели прибора и определить частоту и амплитуду.

5.5.2.3 Провести измерения в ручном режиме. Для измерения амплитуды необходимо нажать кнопку «Курсоры» на передней панели



прибора, затем нажатием кнопки F3 выбираем «Вертикальные курсоры». Верхний курсор устанавливаем на максимальную точку синусоиды, а нижний на нуле. Снимаем полученные показания. Для измерения частоты и периода необходимо нажатием кнопки F3 выбрать «Горизонтальные курсоры», с помощью правого и левого курсоров измерить необходимые параметры.

5.5.2.4 Для измерения времени спада и времени нарастания импульса необходимо выделить окно. Для этого нажимаем кнопку «Горизонтальное меню», затем кнопку F2. С помощью ручки «Время/дел» регулируем размер окна, после установки размера окна нажимаем кнопку F3. Нажатием кнопки «Меню» и затем F5 измеряем время нарастания импульса, затем нажатием кнопки F1 меняем полярность сигнала и измеряем время спада сигнала.

5.5.2.5 Спектральный анализ проводим аналогично п. 4.1.4

5.5.3 Для выполнения пункта 5.4.3 необходимо:

На первый канал подать треугольный импульс с частотой 40 КГц и произвольной амплитудой, а на второй канал - прямоугольные импульсы с частотой 5 КГц и произвольной амплитудой. Нажимает кнопку «Матем», затем F1( $k_1+k_2$ ), отключаем оба канала с помощью кнопок «Канал1» / «Канал 2», с помощью кнопки «Пуск/стоп» просматриваем полученный сигнал. Зарисовать полученный результат.

5.5.4 Для выполнения пункта 5.4.4 необходимо:

5.5.4.1 На первый канал подать треугольный сигнал с частотой 10кГц и амплитудой (5В-10В), а на второй канал этот же сигнал через RC-цепь.

5.5.4.2 Нажать кнопку «Горизонтальное меню», далее кнопку F5(x-y). Зарисовать полученную фигуру Лиссажу.

5.5.4.3 С помощью курсоров измерить сдвиг фаз.

5.5.4.4 Повторить п. 5.5.4.1-5.5.4.3 для синусоидального и прямоугольного сигналов с аналогичными параметрами пункта 5.5.4.1

## **5.6. Содержание отчета**

Отчет должен содержать результаты измерений и полученные осциллограммы, а также выводы по проделанной работе.

## 6. Лабораторная работа №6

### Приобретение навыков работы с цифровыми осциллографами

#### 6.1. Цель работы.

Цель лабораторной работы – приобретение навыков работы с цифровыми осциллографами. Экспериментальная проверка работы прибора.

#### 6.2. Основные положения

##### 6.2.1. Программа работы

1. Измерить амплитуду и период синусоиды цифровым осциллографом в автоматическом и ручном режимах. Параметры синусоиды взять в соответствие с вариантом из таблицы 1.
2. Провести поочерёдное сложение и вычитание постоянного напряжения и заданной синусоиды. Полученные осциллограммы зарисовать. Величину постоянного напряжения взять в соответствие с вариантом из таблицы 1.
3. Провести быстрое преобразование Фурье (БПФ) для синусоиды. Зарисовать полученную спектрограмму. На спектрограмме измерить основную частоту сигнала.
4. Повторить пункты 1-3 для прямоугольного сигнала вместо синусоиды. Задать частоту повторения, временной сдвиг и длительность импульса из таблицы 1 согласно варианту.

##### 6.2.2. Общие сведения о приборе

Цифровой осциллограф GDS-806 (рис. 6.1) является многофункциональным прибором, предназначенным для наблюдения и исследования периодических сигналов в полосе частот 0-60 МГц и одиночных сигналов в полосе частот до 10 МГц. Осциллограф работает от сети напряжением от 100 до 240 В и частотой от 48 до 63 Гц. Имеется возможность подключения к персональному компьютеру через стык GPIB, RS-232 или USB, а также к внешнему лазерному принтеру для распечатки результатов, отображаемых на дисплее.



Рис. 6.1. Фрагмент передней панели осциллографа GDS-806C

### Подключение сигналов

Осциллограф GDS-806C имеет два канала подключения сигналов: канал 1 и 2 (Кан. 1 и Кан. 2 на рис. 6.2). Исследуемые сигналы подводятся к входным гнездам прибора коаксиальными кабелями. Возможны следующие режимы связи (терминология разработчиков прибора) с входами усилителей вертикального отклонения:



- ▲ DC (  ) — пропускаются сигналы во всей полосе частот, включая постоянную составляющую напряжения;
- ▲ AC (  ) — проходят сигналы, частота которых превышает 10 Гц;
- ▲ GND, «заземление входа» — входы усилителей закорочены на корпус, входные сигналы отключены от усилителей.



Рис. 6.2. Гнезда для подключения входных сигналов и внешней синхронизации

Эквивалентная электрическая схема входных гнезд прибора — параллельно соединенные сопротивление  $\approx 1$  МОм и емкость  $\approx 20$  пФ. Коаксиальный кабель метровой длины добавляет к входной емкости прибора примерно 150-200 пФ. В комплекте прибора имеется внешний делитель, который подключают при необходимости повысить входное сопротивление прибора или понизить уровень входного сигнала

### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**

*Нельзя подавать на входы осциллографа напряжения, превышающие 300 В.*

На передней панели имеется также вход для подключения источника напряжения, используемого в режиме внешней синхронизации (он справа на рис. 6.2).

### Экранная графика

Изображения сигналов и математических кривых выводятся на экран дисплея — жидкокристаллический индикатор (ЖКИ). Он представляет собой матрицу микроскопических точек, которые светятся под воздействием электрического поля.

Изображение на экране имитирует работу электронно-лучевого осциллографа в режиме линейного перемещения луча по оси X (линейной развертки по оси времени), а также в режиме X-Y. В режиме X-Y обеспечивается имитация отклонения луча сигналом одного канала по вертикальной координате (Y), сигналом другого канала — по горизонтальной

координате (X). Так наблюдают «фазовые портреты» процессов и передаточные характеристики каскадов. Аппаратно-программными средствами прибора обеспечиваются разнообразные автоматические измерения параметров входных сигналов в пределах наблюдаемого временного интервала — максимального, среднего, среднеквадратичного значений, периода, частоты, времени нарастания и проч. величин. В режиме курсорных измерений можно получать необходимые данные об определенных уровнях напряжения и интервалах времени.

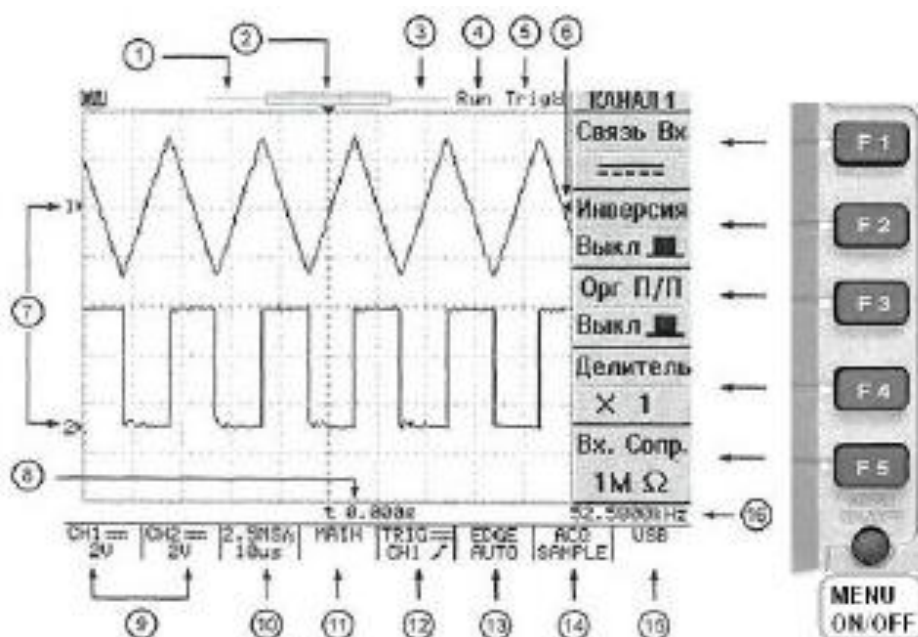


Рис. 6.4. Информационная картина на экране осциллографа и кнопки управления меню

1. Линейная шкала. Показывает распределение объема внутренней памяти по отношению к экранной области. Тонкая линейка имитирует объем записанного сигнала, широкая линейка — какая часть записанного сигнала выведена на экран.
2. Точка синхронизации на горизонтальной оси.
3. Изменяемая область памяти, выводимая на экран.
4. Индикатор запуска осциллографа. Run — осциллограф в рабочем режиме. STOP — работа остановлена.
5. Состояние режима синхронизации. Синхронизация есть: Trig'd, нет: Trig?.
6. Уровень синхронизации на вертикальной оси.
7. Уровень нуля («земли») для канала 1 или канала 2.
8. Индикатор времени задержки по отношению к точке синхронизации на горизонтальной оси (см. п.2).
9. Вид связи (DC или AC) и цена делений по вертикальной оси для каналов 1 и 2.
10. Цена делений по горизонтальной оси с указанием частоты дискретизации.
11. Режим работы развертки. MAIN — основная развертка (линейная шкала по оси времени), WINDOW — окно (с указанием времени развертки), ZOOM — растяжка, XY — режим X-Y, ROLL — самописец.

12. Режим работы схемы синхронизации с индикацией вида связи и источника.
13. Индикация режима синхронизации. EGDE — синхронизация по фронту с указанием режима запуска развертки, AUTO — автоматический, NORMAL — ждущий, SINGLE — однократный, AUTO-L — автоматический с автоматической установкой уровня синхронизации.
14. Режим сбора данных. SAMPL — обычная дискретизация, PEAK — включен пиковый детектор, AVG — включен режим усреднения.
15. Индикатор порта связи с компьютером.
16. Результат измерения частоты входного сигнала источника синхронизации.

На экран осциллографа выводятся данные измерений, а также информация о включенных режимах и состоянии органов управления. Пример экрана в рабочем состоянии представлен на рис. 6.4, в приведенном под рисунком списке поясняется назначение полей вывода служебных данных.

В центральной части поля экрана отображаются результаты измерений и математической обработки (в режимах выполнения математических операций). Справа на экране организовано служебное поле — меню, на которое выводится информация об используемых режимах и установленных параметрах, а также результаты измерений. Содержание меню изменяется органами регулировки осциллографа и кнопками F1-F5, размещенными справа от экрана. Под ними имеется кнопка, позволяющая выключать или включать меню. Информация о состоянии прибора отображается также в полях, размещенных по периферии экрана.

### **ПРИМЕЧАНИЕ**

*Информационные и служебные данные выводятся на экран осциллографа с использованием русских и английских слов, а также сконструированных из них образований (пример обозначений канала: Кан1, CH1).*

### **6.2.3. Назначение органов управления**

#### **Управление отклонением изображения сигналов по вертикали**



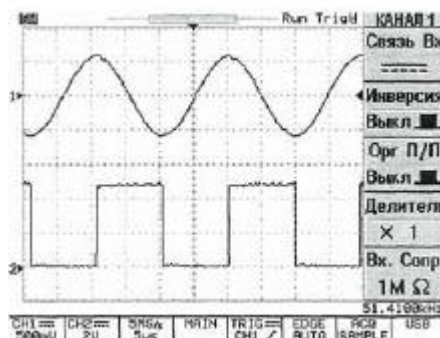
Рис. 6.5. Органы управления по вертикальной координате

1. Регулятор перемещения по вертикали линии луча канала 1 и канала 2.
2. Кнопки управления режимами работы канала 1 и канала 2.
3. Кнопка управления режимом математической обработки.

### Функции органов управления отклонением изображения по вертикали Кан1 и Кан2.

Кнопки включают органы управления вертикальным отклонением лучей каналов 1 и 2. Включенное состояние сопровождается подсвечиванием кнопки желтым светом. Нажатие на кнопку выводит на экран подменю управления режимам работы соответствующего канала (рис. 6.6).

- ▲ **Связь Вх.** Кнопкой F1 выбирают режимы связи по входу: AC, DC, заземление входа.
- ▲ **Инверсия ВКЛ/ВЫКЛ.** Кнопкой F2 включают/выключают инверсию сигнала.
- ▲ **Ограничение полосы пропускания (Огр П/П).** Кнопкой F3 выбирают полосы пропускания: 20 МГц или полную полосу пропускания.
- ▲ **Делитель.** Кнопку F4 нажимают несколько раз до установки нужного ослабления внешнего делителя:  $\times 1$ ,  $\times 10$ , или  $\times 100$ . Выбор значения позволяет измерять параметры входного сигнала с учетом коэффициента деления входного сигнала.



- ▲ **Входное сопротивление.** Входное сопротивление установлено 1 МОм.

Рис. 6.6. Наблюдение сигналов по двум каналам, синхронизация по переднему фронту

**ВОЛЬТ/ДЕЛ.** Вращение ручек изменяет чувствительность соответствующего канала (или Кан1, или Кан2) в последовательности 1-2-5 (увеличивает при вращении по часовой стрелке, в противоположном направлении уменьшает). Диапазон изменения: от 2 мВ/дел до 5 В/дел. Ручка бездействует, если кнопка канала (Кан1 или Кан2) не активирована. Установленная цена деления и дополнительная информация о включённых каналах отображаются в служебной области экрана.

**СМЕЩЕНИЕ.** Регулировка положения изображения по вертикали. При сдвиге изображения автоматически перемещаются индикаторы: или (см. п. 7 на рис. 6.4), а также индикатор уровня запуска синхронизации (см. п. 6 на рис. 6.4). Если изображение сигнала выходит за пределы дисплея, вместо символов или появляются другие, указывающие, где находится изображение.

**МАТЕМ.** Режим математических операций, выполняемых над исследуемыми сигналами. Для выбора математической операции нажимают кнопку F1.

- ▲ Кан1+Кан2. Отображается алгебраическая сумма сигналов канала 1 и канала 2 (рис. 7).
- ▲ Кан1-Кан2. Отображается алгебраическая разность сигналов канала 1 и канала 2.
- ▲ БПФ (Быстрое преобразование Фурье). — Формируются амплитудные спектрограммы сигнала (АЧХ).

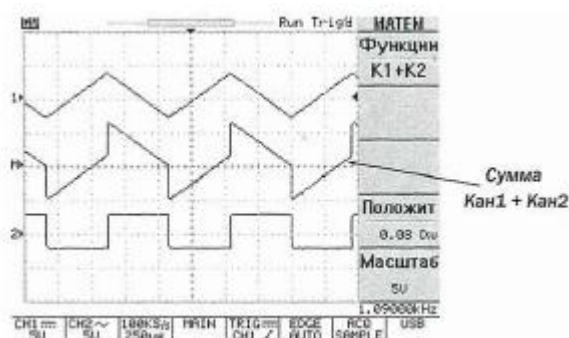


Рис. 6.7. Состояние дисплея при выполнении математической операции Кан1+Кан2

### **ПРИМЕЧАНИЕ**

*В режимах Кан1±Кан2 на экран выводятся исходные сигналы и результат математической обработки. Масштаб результирующего сигнала выбирается автоматически с учетом оптимального изображения на экране и отображается в правой нижней части меню в поле **Масштаб***

### **Управление разверткой**



Рис. 6.8. Органы регулировки развертки (справа в группе ГОРИЗОНТ.)

Органами управления, показанными на рис. 6.8, выбирают режим работы развертки, корректирует горизонтальный масштаб, расположение и растяжку сигнала. Возможны режимы: Основная развертка (MAIN), Выдел. окна (WINDOW), Растяжка окна (ZOOM), XY, Самописец (ROLL).



## Функции органов управления разверткой

**Гориз. Меню.** Кнопка выводит на экран меню управления режимами индикации входного сигнала по временной оси (ГОР-МЕНЮ на рис. 9).

- ▲ Основная развертка (MAIN). Включение кнопкой F1. Индикация входного сигнала при установке линейной шкалы по оси времени.
- ▲ Выделение окна (WINDOW). Включение кнопкой F2. Выбор участка входного сигнала, который в режиме Растяжка окна, заполняет весь экран. В режиме Выделение окна на дисплее присутствуют две вертикальные линии. Временной интервал между ними изменяют переключателем ВРЕМЯ/ДЕЛ. Вращение ручки СМЕЩЕНИЕ приводит к изменению положения участка ограниченного этими линиями. Манипулируя ручками ВРЕМЯ/ДЕЛ и СМЕЩЕНИЕ, выбирают участок сигнала, который будет увеличен в режиме Растяжка окна.
- ▲ Растяжка окна (ZOOM). Включение кнопкой F3. На экран выводится растянутый во времени фрагмент изображения, выбранный в режиме Выделение окна (рис. 6.9).

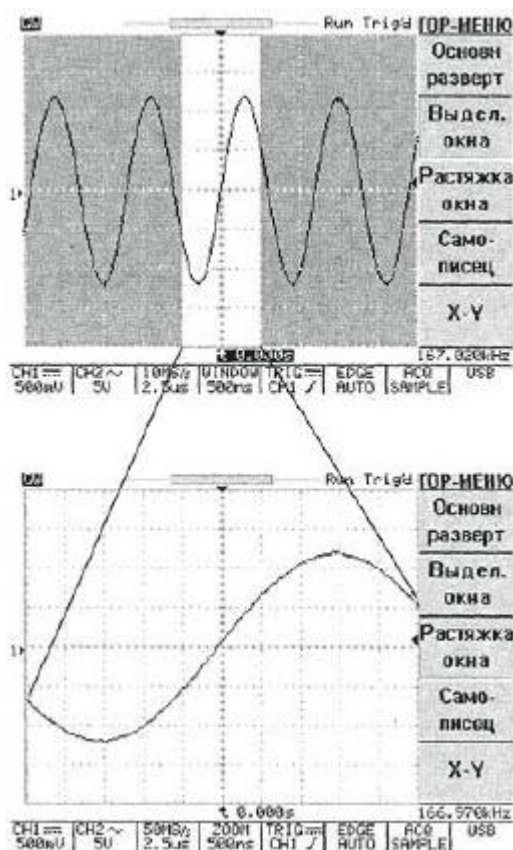


Рис. 6.9. Иллюстрация режима Растяжка окна (ZOOM)

- ▲ Самописец (ROLL). Включение кнопкой F4. Имитация записи на ленту самописца.
- ▲ X-Y. Включение кнопкой F5. Режим наблюдения фигур .

**ВРЕМЯ/ДЕЛ.** Вращение ручки по часовой стрелке изменяет скорость развёртки (в зависимости от направления вращения) в последовательности

1-2-5. Скорость развёртки отображается на экране.

**СМЕЩЕНИЕ.** Ручка предназначена для горизонтального перемещения лучей каналов 1 и 2. При изменении горизонтального положения символ ▼ в верхней части дисплея, указывающий точку синхронизации, будет смещаться в сторону смещения луча. При достижении крайнего левого или крайнего правого положения по горизонтали символ ▼ будет изменен на символ "<" или ">", показывающий в какую сторону смещалось изображение.

### Управление синхронизацией

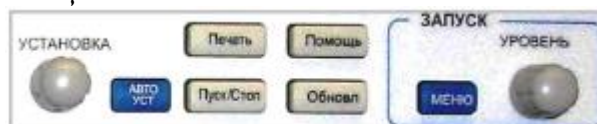


Рис. 6.10. Органы управления синхронизацией

Органы управления синхронизацией управляют запуском развёртки. Кнопкой МЕНЮ (рис. 6.10) открывается меню управления режимами синхронизации — меню СИНХР на рис. 6.11.

Кнопкой F1 выбирают Тип (позиция меню СИНХР) из набора: синхронизации по фронту, а также (в лабораторной работе не используются) — синхронизация видео сигналом, запуск развертки по длительности импульса, задержка запуска развертки по условия.

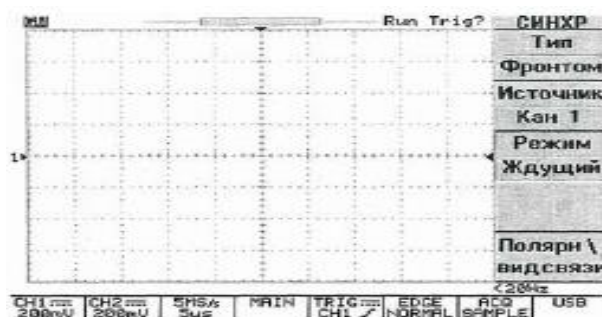


Рис. 6.11. Меню (справа) управления синхронизацией

### Режим автоматической установки

Режим автоматической установки обеспечивает выбор наиболее подходящих условий синхронизации для получения стабильного изображения на экране осциллографа сигнала, поданного на вход. В режим автоматической установки переходят с помощью кнопки АВТО УСТ (рис. 6.10). Для отмены этого режима и возврата к прежним установкам кнопкой F5 активизируют процедуру Отмена автоустановки. Если кнопка F5 не нажата в течение пяти секунд, осциллограф выйдет из меню автоустановки и вернет экран в состояние, предшествующее включению режима

автоматической установки.

## Измерение параметров сигналов



Рис. 6.12. Фрагмент панели прибора с кнопками включения режимов измерений

В приборе предусмотрен режим автоматических измерений (включается кнопкой Измерения (рис. 6.12)). Можно также выполнять курсорные измерения любых параметров сигнала (режим включается кнопкой Курсоры (рис. 6.12)). Для этого используют курсоры, — линии, которые можно передвигать по экрану. Они автоматически связаны с числовыми данными, которые отображаются на экране синхронно с перемещением курсоров.

## ИЗМЕРЕНИЯ (Автоматические измерения)

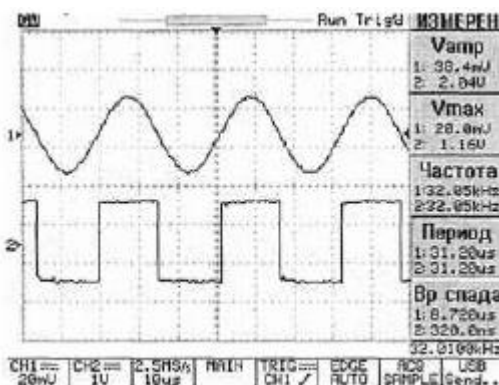


Рис. 6.13. Окно прибора в режиме автоматических измерений

Прибор обеспечивает автоматические измерения пяти параметров входного сигнала по одному каналу; десяти параметров в двухканальном режиме по двум каналам, также измеряется частота входного сигнала в канале, используемом для синхронизации. Вид экрана в режиме автоматических измерений показан на рис. 6.13. Выбор измеряемого параметра в одном из пяти разделов окна меню ИЗМЕРЕН осуществляют кнопками F1-F5 или вращением регулятора УСТАНОВКА (рис. 6.12).

Прибор обеспечивает измерения перечисленных ниже параметров, некоторые из них показаны на рис. 6.14.

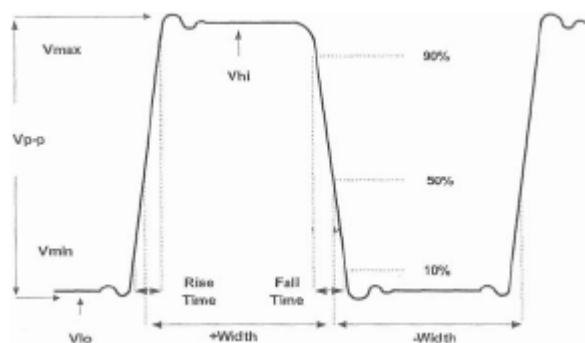


Рис. 6.15. Параметры, измеряемые автоматически

- ▲  $V_{pp}$  – измерение размаха сигнала от пика до пика.
- ▲  $V_{amp}$  – измерение амплитудного значения сигнала по всей форме сигнала.
- ▲  $V_{avg}$  – измерение среднего значения за период сигнала. В этом режиме измеряется значение  $(V_{max}-V_{min})/2$ . На основании  $V_{avg}$  определяют значения постоянной составляющей исследуемого сигнала.
- ▲  $V_{rms}$  – измерение среднеквадратичного напряжения для всей формы сигнала.
- ▲  $V_{hi}$  – измерение верхнего уровня, величина используемая в качестве 100% уровня сигнала. Вычисляется с помощью поиска минимума/максимума и измеряется по всей форме сигнала.
- ▲  $V_{lo}$  – измерение нижнего уровня, величина используемая в качестве нулевого уровня сигнала. Вычисляется с помощью поиска минимума/максимума и измеряется по всей форме сигнала.
- ▲  $V_{max}$  – измерение максимального значения амплитуды. Наибольший положительный пик для всей формы сигнала.
- ▲  $V_{min}$  – измерение минимального значения амплитуды. Наименьший отрицательный пик для всей формы сигнала.
- ▲ Частота – измерение частоты входного сигнала. Измеряется в герцах (Hz).
- ▲ Период – измерение первого полного периода сигнала. Измеряется в секундах.
- ▲  $V_r$  нараст (Risetime) – измерение времени нарастания первого после синхронизации импульса.
- ▲  $V_r$  спада – измерение времени спада первого после синхронизации импульса.
- ▲ +Width (+Длит.) – измерение длительности первого положительного импульса входного сигнала. Измеряется на 50% амплитуде сигнала.
- ▲ -Width (-Длит.) – измерение длительности первого отрицательного импульса входного сигнала. Измеряется на 50% амплитуде сигнала.
- ▲ Duty Cycle – измерение (в процентах) коэффициента заполнения первого импульса после синхронизации. Определяется как отношение длительности импульса к периоду.

## КУРСОРЫ (Курсорные измерения)

Режим курсорных измерений включается кнопкой Курсоры (рис. 6.13). При этом открывается меню КУРСОРЫ (рис. 6.16). С помощью курсоров раздела Горизонт (обозначения в окне меню: T1 и T2) измеряют временные параметры, с помощью курсоров раздела Вертик (обозначения в окне меню: V1 и V2) — уровни напряжений. Для курсоров обоих типов (T1 или T2, V1 или V2) данные отображаются в абсолютных единицах времени и напряжения. На экран также выводится разница значений ( $\Delta$ ), связанных с курсорами.

Источник (Кан 1/Кан 2). Нажимая на кнопку F1, выбирают источник входного сигнала (канал 1 или канал 2), параметры которого будут измеряться курсорами.

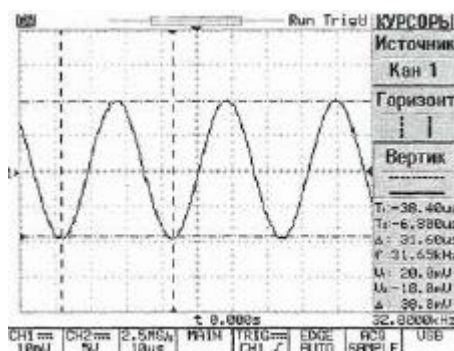


Рис. 6.16. Окно курсорных измерений

Измерение интервалов времени (координаты оси X). Каждое нажатие кнопки F2 активизирует в разделе Горизонт определенный курсор. Активный курсор отображается сплошной вертикальной линией, пассивный — прерывистой (как на рис. 6.16). Если обе линии сплошные, курсоры T1 и T2 перемещаются синхронно, если обе линии прерывистые, управление курсорами отключено. Курсоры сдвигают по горизонтали вращением ручки УСТАНОВКА (рис. 6.13). Измерение уровней напряжений (координаты оси Y). Каждое нажатие кнопки F3 активизирует в разделе Вертик определенный курсор. Активный курсор отображается сплошной горизонтальной линией, пассивный — прерывистой (как на рис. 6.16). Если обе линии сплошные, курсоры V1 и V2 перемещаются синхронно, если обе линии прерывистые, управление курсорами отключено. Курсоры сдвигают по вертикали вращением ручки УСТАНОВКА (рис. 6.13).

### 6.3. Методические указания

1. Подключить осциллограф и генератор ГЗ-112/1 к сети. Соединить генератор с первым каналом осциллографа. Включить генератор и выставить частоту генерации сигнала из таблицы 1 согласно варианту, ослабление выставить на 0, форма сигнала синусоида. Включить осциллограф. Нажать кнопку автоматической установки. Убрать канал 2, нажав несколько раз на кнопку «Кан2». Сместить канал 1 в центр экрана ручкой «смещение Y» . Добиться максимальной развёртки по вертикали ручкой «Вольт/Дел». По горизонтали вывести 1 период сигнала при помощи ручки «Врем/Дел». Замерить при помощи курсорных измерений амплитуду и период полученного сигнала. В режиме автоматических измерений измерить параметры исходного сигнала, приведённые в разделе ИЗМЕРЕНИЯ (Автоматические измерения), предварительно развернув по горизонтали минимум на 2 периода. Полученные данные занести в таблицу.
2. С источника питания подать на канал 2 осциллографа постоянное напряжение, данные в таблице 1. Включить режим математических операций кнопкой «Матем.». Провести поочередно сложение и вычитание сигналов.
3. Провести БПФ для первого канала осциллографа и при помощи курсоров измерить основную частоту сигнала.
4. Подключить генератор импульсов Г5-54, задать частоту повторения, временной сдвиг и длительность импульса из таблицы 6.1 согласно варианту. Повторить пункты 1-4.

Таблица 6.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Частота синусоидального сигнала, кГц	100	150	200	250	300	350	400
Напряжение постоянное, В	1	2	3	4	5	6	7
Частота повторения, кГц	10	12	14	16	18	20	22
Временной сдвиг, мкс	1	2	3	4	5	6	7
Длительность импульса, мкс	7	6	5	4	3	2	1

### 6.4. Содержание отчёта

Отчет в текстовом формате должен содержать результаты проведённых работ, выводы по пунктам программы работы.