

### Краткие сведения об основных приборах, используемых в практикуме

#### Мультиметры

**Назначение.** Современные приборы для измерения напряжения и тока обычно являются многофункциональными. С их помощью можно измерять постоянное напряжение и ток, эффективные значения переменного (синусоидального) напряжения и тока, сопротивление. Некоторые приборы позволяют также тестировать диоды и транзисторы, измерять частоту переменного сигнала. Такие измерительные приборы называют мультиметрами. Мультиметры различных типов могут иметь разные возможности и характеристики, однако основные приемы работы с мультиметрами практически одинаковы.

**Выбор режима измерений.** На панели прибора находятся кнопки или переключатели для выбора режима измерений: 1) постоянное напряжение; 2) синусоидальное напряжение; 3) постоянный ток; 4) синусоидальный ток; 5) сопротивление; 6) дополнительные возможности, например, тестирование полупроводниковых приборов. Беглого знакомства с внешним видом прибора обычно бывает достаточно, чтобы определить его основные измерительные возможности.

**Выбор предела измерений.** У мультиметра имеются кнопки или переключатели, предназначенные для выбора предела измерений. Например, если выбран предел измерений «2 В», то прибор может измерять напряжения, не превышающие 2 В. В противном случае на индикаторе появляется специальная комбинация цифр, сигнализирующая о перегрузке (например, гаснут все разряды, кроме старшего, или показания начинают мигать). Режим перегрузки (зашкаливания) неблагоприятен для прибора, и нужно как можно быстрее выйти из него, выбрав иной предел измерений или уменьшив входной сигнал.

Следует иметь в виду, что, *чем больше установленный предел измерений, тем больше абсолютная погрешность измерений*. Поэтому измерения нужно проводить на минимально возможном пределе (т.е. при максимальной чувствительности) прибора, не допуская его зашкаливания. Некоторые приборы имеют режим автоматического выбора такого оптимального режима измерений.

**Входные клеммы прибора.** Необходимо сориентироваться во входных клеммах прибора, на которые подается измеряемый сигнал. На этом этапе следует проявлять осторожность, не действовать методом проб и ошибок, а обязательно познакомиться с описанием или инструкцией по эксплуатации. Неправильное использование входных клемм может привести к выходу прибора из строя. Обычно одна из клемм бывает «общей» (к ней подключают один из проводов с измеряемым сигналом), другая клемма предназначена для измерения напряжения, третья - для измерения тока и сопротивления. Специальные клеммы служат, как правило, для измерения предельно больших для данного прибора напряжений и токов.

**Подготовка к работе.** Современные приборы обычно не требуют предварительной настройки и калибровки. После непродолжительного прогрева (обычно 5 - 10 мин) они готовы к работе.

**Погрешности, частотный диапазон, внутреннее сопротивление.** Некоторую важную информацию о приборе можно почерпнуть только из его описания. Это прежде всего относится к информации о погрешности измерений, которая зависит от выбранного режима, установленного предела измерений, частоты сигнала.

Необходимо знать частотный диапазон, в котором работает данный прибор. «Бытовые» мультиметры, которыми обычно пользуются домашние умельцы, имеют максимальную частоту работоспособности всего в несколько сотен герц. Профессиональные приборы имеют существенно больший частотный диапазон, и это одна из причин, определяющая их высокую стоимость.

Важным параметром является входное (внутреннее) сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения: чем оно выше, тем меньший ток потребляет мультиметр при измерениях. Мультиметром с входным сопротивлением, например, равным 100 кОм, нельзя правильно измерить напряжение на резисторе сопротивлением 1 МОм: при подключении мультиметра параллельно резистору значительная часть тока будет протекать не через резистор, а через мультиметр. Иными словами, подключение прибора к исследуемой схеме существенным образом изменит протекающие в ней токи.

Далее приводятся основные сведения о мультиметрах, используемых в лаборатории. Если потребуется более подробная информация, то следует обратиться к инженеру, у которого находятся описания приборов и инструкции по их эксплуатации.

**Обозначения:**

$U_{\text{п}}, I_{\text{п}}, R_{\text{п}}$	- значения установленного предела измерений напряжения, тока или сопротивления
$U_x, I_x, R_x$	- показания прибора
$\delta U, \delta I, \delta R$	- допустимая относительная погрешность измерений напряжения, тока или сопротивления
$\Delta U, \Delta I, \Delta R$	- допустимая абсолютная погрешность измерений напряжения, тока или сопротивления

**Мультиметры GDM-8135, GDM-8145**

Мультиметры GDM-8135, GDM-8135 (рис.П3.1) являются универсальными приборами для измерений переменного и постоянного тока, напряжения, а также сопротивления постоянному току.

**Назначение органов управления**

1	ON/OFF	Включение вольтметра
2	AC/DC	Выбор режима измерения переменного или постоянного тока (напряжения)
3	V	Выбор режима измерения напряжения
4	mA	Выбор режима измерения тока
5	K $\Omega$	Выбор режима измерения сопротивления
6	$\cap$	Выбор режима звуковой прозвонки
7	Гнезда COM, V- $\Omega$ , 2A, 20A	COM - V- $\Omega$ - для измерения напряжения, сопротивления, звуковой прозвонки COM - 2A - для измерения тока до 2 А COM - 20A - для измерения тока до 20 А
8	2, 20, ..., 200	Выбор пределов измерения

*Погрешность при измерении постоянного напряжения:*

<b>GDM-8135</b>	<b>GDM-8145</b>
$\delta U = \left( 0,1 + 0,05 \frac{U_{\text{п}}}{U_x} \right) \%$	$\delta U = \left( 0,1 + 0,02 \frac{U_{\text{п}}}{U_x} \right) \%$

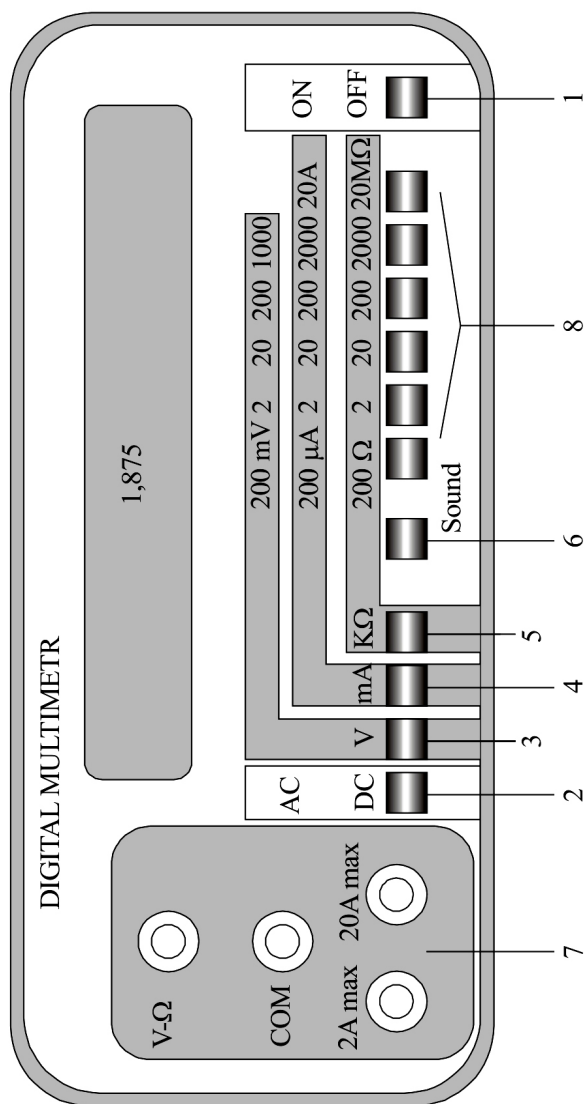


Рис. ПЗ.1. Мультиметр GDM-8135

**Погрешность при измерении переменного напряжения GDM-8135:**

Предел измерений	Относительная погрешность
От 40 до 1000 Гц	$\delta U = \left( 0,5 + 0,05 \frac{U_{\text{н}}}{U_x} \right) \%$
От 1 до 10 кГц	$\delta U = \left( 1,0 + 0,05 \frac{U_{\text{н}}}{U_x} \right) \%$
От 10 до 20 кГц	$\delta U = \left( 2,0 + 0,05 \frac{U_{\text{н}}}{U_x} \right) \%$

Например, установлен предел измерений 200 мВ, частота сигнала 15 кГц, показания вольтметра 50,2 мВ, тогда  $\delta U \approx 2,2 \%$ ,  $\Delta U = 1,1$  мВ,  $U = (50,2 \pm 1,1)$  мВ.

**Погрешность при измерении переменного напряжения GDM-8145:**

Предел измерений	Относительная погрешность
От 45 до 2000 Гц	$\delta U = \left( 0,5 + 0,075 \frac{U_{\text{н}}}{U_x} \right) \%$
От 2 до 10 кГц	$\delta U = \left( 1,0 + 0,075 \frac{U_{\text{н}}}{U_x} \right) \%$
От 10 до 20 кГц	$\delta U = \left( 2,0 + 0,15 \frac{U_{\text{н}}}{U_x} \right) \%$

**Погрешность при измерении постоянного тока GDM-8135:**

$I_{\text{н}} \leq 200$ мА	$I_{\text{н}} > 200$ мА
$\delta I = \left( 0,2 + 0,05 \frac{I_{\text{н}}}{I_x} \right) \%$	$\delta I = \left( 0,5 + 0,05 \frac{I_{\text{н}}}{I_x} \right) \%$

**Погрешность при измерении постоянного тока GDM-8145:**

$I_{\text{н}} \leq 200$ мА	$I_{\text{н}} > 200$ мА
$\delta I = \left( 0,2 + 0,01 \frac{I_{\text{н}}}{I_x} \right) \%$	$\delta I = \left( 0,3 + 0,01 \frac{I_{\text{н}}}{I_x} \right) \%$

*Погрешность при измерении переменного тока GDM-8135:*

Предел измерений	Относительная погрешность
От 40 до 1000 Гц	$\delta I = \left( 0,5 + 0,05 \frac{I_{\Pi}}{I_x} \right) \%$
От 1 до 10 кГц	$\delta I = \left( 1,0 + 0,05 \frac{I_{\Pi}}{I_x} \right) \%$
От 10 до 20 кГц	$\delta I = \left( 2,0 + 0,05 \frac{I_{\Pi}}{I_x} \right) \%$

*Погрешность при измерении переменного тока GDM-8145:*

Предел измерений	Относительная погрешность
От 45 до 2000 Гц	$\delta I = \left( 0,5 + 0,075 \frac{I_{\Pi}}{I_x} \right) \%$
От 2 до 10 кГц	$\delta I = \left( 1,0 + 0,075 \frac{I_{\Pi}}{I_x} \right) \%$
От 10 до 20 кГц	$\delta I = \left( 2,0 + 0,075 \frac{I_{\Pi}}{I_x} \right) \%$

*Погрешность при измерении сопротивления GDM-8135:*

$R_{\Pi} \leq 2000 \text{ кОм}$	$R_{\Pi} = 20 \text{ МОм}$
$\delta R = \left( 0,2 + 0,05 \frac{R_{\Pi}}{R_x} \right) \%$	$\delta R = \left( 0,5 + 0,05 \frac{R_{\Pi}}{R_x} \right) \%$

*Погрешность при измерении сопротивления GDM-8145:*

$R_{\Pi} \leq 2000 \text{ кОм}$	$R_{\Pi} = 20 \text{ МОм}$
$\delta R = \left( 0,1 + 0,01 \frac{R_{\Pi}}{R_x} \right) \%$	$\delta R = \left( 0,25 + 0,01 \frac{R_{\Pi}}{R_x} \right) \%$

### Вольтметр В7-37

*Погрешность при измерении постоянного напряжения В7-37:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2 В	$\delta U = \left[ 0,25 + 0,2 \left( \frac{U_{\Pi}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$
20; 2000 В	$\delta U = \left[ 0,5 + 0,2 \left( \frac{U_{\Pi}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$

*Погрешность при измерении переменного напряжения В7-37 в диапазоне частот от 45 Гц до 20 кГц:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2 В	$\delta U = \left[ 1,0 + 0,2 \left( \frac{U_{\Pi}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$
20; 200 В	$\delta U = \left[ 1,5 + 0,2 \left( \frac{U_{\Pi}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$

Например, установлен предел измерений 0,2 В, частота сигнала 15 кГц, показания вольтметра 50,2 мВ, тогда

$$\delta U = \left[ 1,0 + 0,2 \left( \frac{U_{\Pi}}{U_x} - 1 \right) \right] = \left[ 1,0 + 0,2 \left( \frac{0,2}{0,052} - 1 \right) \right] \approx 1,6 \%;$$

$$\Delta U = 50,2 \cdot 0,016 \approx 0,8 \text{ мВ}; \quad U = (50,2 \pm 0,8) \text{ мВ}.$$

*Погрешность при измерении сопротивления В7-37:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2; 20; 200; 2000 кОм	$\delta R = \left[ 0,4 + 0,2 \left( \frac{R_{\Pi}}{R_x} - 1 \right) \right] \%$
10 МОм	$\delta R = \left[ 1,5 + 0,5 \left( \frac{R_{\Pi}}{R_x} - 1 \right) \right] \%$

### Вольтметр В7-58/2

Погрешность при измерении **постоянного напряжения В7-58/2:**

Предел измерений	Относительная погрешность
200 мВ; 2; 20; 200 В	$\delta U = \left[ 0,15 + 0,1 \left( \frac{U_{\text{п}}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$
1000 В	$\delta U = \left[ 0,15 + 0,1 \left( \frac{U_{\text{п}}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$

Погрешность при измерении **переменного напряжения В7-58/2:**

Диапазон частот	Относительная погрешность
От 40 Гц до 10 кГц	$\delta U = \left[ 0,6 + 0,1 \left( \frac{U_{\text{п}}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$
От 10 до 20 кГц	$\delta U = \left[ 1,0 + 0,1 \left( \frac{U_{\text{п}}}{U_x} - 1 \right) \right] \%$

Например, установлен предел измерений 2 В, частота сигнала 15 кГц, показания вольтметра 0,532 В, тогда

$$\delta U = \left[ 1,0 + 0,1 \left( \frac{U_{\text{п}}}{U_x} - 1 \right) \right] = \left[ 1,0 + 0,1 \left( \frac{2}{0,532} - 1 \right) \right] \approx 1,3 \%;$$

$$\Delta U = 0,532 \cdot 0,013 \approx 0,007 \text{ В}; \quad U = (0,532 \pm 0,007) \text{ В}.$$

Погрешность при измерении **постоянного тока В7-58/2:**

Предел измерений	Относительная погрешность
200 мкА; 2; 20; 200, 2000 мА	$\delta I = \left[ 0,2 + 0,1 \left( \frac{I_{\text{п}}}{I_x} - 1 \right) \right] \%$
10 А	$\delta I = \left[ 0,5 + 0,1 \left( \frac{I_{\text{п}}}{I_x} - 1 \right) \right] \%$



*Погрешность при измерении сопротивления В7-58/2:*

Предел измерений	Относительная погрешность
200 Ом; 2; 20; 200 кОм	$\delta R = \left[ 0,2 + 0,1 \left( \frac{R_{\Pi}}{R_x} - 1 \right) \right] \%$
2000 кОм, 20 МОм	$\delta R = \left[ 0,5 + 0,1 \left( \frac{R_{\Pi}}{R_x} - 1 \right) \right] \%$

**Вольтметр В7-22А**

*Погрешность при измерении постоянного напряжения В7-22А:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2; 20; 200 В	$\delta U = \left[ 0,15 + 0,2 \frac{U_{\Pi}}{U_x} \right] \%$
1000 В	$\delta U = \left[ 0,15 + 0,4 \frac{U_{\Pi}}{U_x} \right] \%$

*Погрешность при измерении переменного напряжения В7-22А:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2 В	$\delta U = \left[ 0,5 + 0,5 \frac{U_{\Pi}}{U_x} \right] \%$ в диапазоне частот от 45 Гц до 20 кГц
20; 200 В	$\delta U = \left[ 0,6 + 0,6 \frac{U_{\Pi}}{U_x} \right] \%$ в диапазоне частот от 45 Гц до 10 кГц
	$\delta U = \left[ 1,2 + 0,5 \frac{U_{\Pi}}{U_x} \right] \%$ в диапазоне частот от 10 до 20 кГц

*Погрешность при измерении постоянного тока В7-22А:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2; 20; 200 мА	$\delta I = \left[ 0,25 + 0,25 \frac{I_{\text{п}}}{I_x} \right] \%$
2000 мА	$\delta I = \left[ 0,25 + 0,3 \frac{I_{\text{п}}}{I_x} \right] \%$

*Погрешность при измерении сопротивления В7-22А:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2; 20; 200 кОм	$\delta R = \left[ 0,3 + 0,25 \frac{R_{\text{п}}}{R_x} \right] \%$
2000 кОм	$\delta R = \left[ 0,3 + 0,3 \frac{R_{\text{п}}}{R_x} \right] \%$

**Мультиметр ReakTech 2010 DMM**

*Погрешность при измерении постоянного напряжения ReakTech 2010 DMM:*

Предел измерений	Относительная погрешность
0,2; 2; 20; 200 В	$\delta U = \left[ 0,5 + 0,15 \frac{U_{\text{п}}}{U_x} \right] \%$
1000 В	$\delta U = \left[ 1,0 + 0,25 \frac{U_{\text{п}}}{U_x} \right] \%$

*Погрешность при измерении постоянного тока PeakTech 2010 DMM:*

Предел измерений	Относительная погрешность
2; 20 мА	$\delta I = \left[ 0,8 + 0,15 \frac{I_n}{I_x} \right] \%$
200 мА	$\delta I = \left[ 1,2 + 0,20 \frac{I_n}{I_x} \right] \%$
20 А	$\delta I = \left[ 2,0 + 0,25 \frac{I_n}{I_x} \right] \%$

*Погрешность при измерении сопротивления PeakTech 2010 DMM:*

Предел измерений	Относительная погрешность
200 Ом; 2 кОм	$\delta R = \left[ 0,8 + 0,25 \frac{R_n}{R_x} \right] \%$
20 кОм; 200 кОм; 2 МОм	$\delta R = \left[ 0,8 + 0,15 \frac{R_n}{R_x} \right] \%$
20 МОм	$\delta R = \left[ 1,0 + 0,75 \frac{R_n}{R_x} \right] \%$

### Генераторы сигналов низкочастотные

**Назначение.** Генераторы сигналов представляют собой источники периодических сигналов напряжения регулируемых амплитуды и частоты. Генераторы обычно имеют следующие органы управления и регулировки.

**Выбор формы сигнала.** Некоторые генераторы, кроме сигнала синусоидальной формы, могут генерировать прямоугольные, треугольные и другие импульсы. В этом случае имеется переключатель или группа кнопок для выбора формы выходного сигнала.

**Регулировка частоты.** Обычно на панели генератора имеются переключатель частотных диапазонов (или «множителей») и ручка плав-

ной регулировки частоты. С их помощью достигается возможность точной установки значения частоты из широкого допустимого диапазона.

**Регулировка амплитуды выходного сигнала.** Ручка плавной регулировки и переключатель «Ослабление» («Аттенюатор») позволяют регулировать амплитуду выходного сигнала в широком диапазоне. Ослабление обычно дается в децибелах (дБ или dB): ослабление на 20 дБ означает уменьшение амплитуды в 10 раз, ослабление на 40 дБ - уменьшение амплитуды в 100 раз.

**Выходные и входные клеммы прибора.** Генераторы могут иметь несколько клемм для выхода и входа сигналов: отдельно для выходного сигнала большой амплитуды и ослабленного сигнала, выход синхроимпульса, вход синхроимпульса, специальные выходы для тестирования микросхем. Необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации прибора (или проконсультироваться с инженером), чтобы понять назначение входных и выходных клемм генератора.

**Будьте внимательны!** Метод проб и ошибок может привести к выходу генератора из строя.

Далее приведена информация о погрешности установки частоты генераторов, используемых в лаборатории.

### ***Генератор ГЗ-112/1***

Погрешность установки частоты в диапазоне частот от 10 Гц до 1 МГц не превышает

$$\delta f = \left( 2 + \frac{30}{f_{\text{н}}} \right) \%,$$

где  $f_{\text{н}}$  - установленное по шкале значение частоты в Гц. Например, на генераторе установлено  $f_{\text{н}} = 300$  Гц, тогда  $\delta f = 2,1 \%$ ,  $f = (300 \pm 6)$  Гц.

### ***Генератор ГЗ-109***

Погрешность установки частоты в диапазоне частот от 200 Гц до 20 кГц не превышает

$$\delta f = \left( 1 + \frac{50}{f_{\text{н}}} \right) \%,$$

где  $f_n$  - установленное по шкале значение частоты в Гц. Например, на генераторе установлено  $f_n = 500$  Гц, тогда  $\delta f = 1,1\%$ ,  $f = (500 \pm 6)$  Гц.

### ***Генератор ГРН-3***

Основная погрешность установки частоты в диапазоне частот от 25 Гц до 31,5 кГц не превышает 3 %.

### ***Генератор GFG-8216A***

Генератор оснащен встроенным частотомером. Основная погрешность установки частоты по встроенному частотомеру - 0,01 %.

### ***Генератор GFG-71013***

Генератор оснащен встроенным частотомером. Основная погрешность установки частоты по встроенному частотомеру - 0,002 %.

## **Электронно-лучевой осциллограф**

Электронно-лучевой осциллограф - измерительный прибор, предназначенный для визуального наблюдения и исследования формы электрических сигналов. Он позволяет измерять основные параметры сигналов: амплитуду, частоту, временные интервалы, фазовый сдвиг и т.д.

Изображение сигнала осуществляется с помощью сфокусированного электронного луча, который вызывает свечение люминофора экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

*Структурная схема* электронно-лучевого осциллографа включает следующие основные блоки:

- базовый, в состав которого входит ЭЛТ, схема управления лучом (яркость, фокус, сдвиг по вертикали и горизонтали), блок питания;
- блок усилителя вертикального отклонения луча. На входе усилителя имеется многоступенчатый делитель напряжения (аттенюатор), задающий чувствительность осциллографа по вертикальной оси  $Y$ ;
- блок развертки в канале горизонтального отклонения луча. В состав этого блока входит генератор пилообразного напряжения развертки, усилитель горизонтального отклонения, система синхронизации.

Основными элементами ЭЛТ является помещенный в откачанную оболочку электронный прожектор (1), формирующий узкий пучок электронов (2), светящийся под воздействием электронного пучка люминесцентный экран (3) и электростатическая система (4, 5), отклоняющая пучок в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (рис.П3.2).

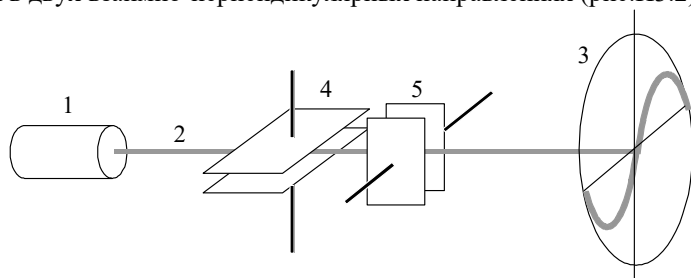


Рис.П3.2. Электронно-лучевая трубка

Отклоняющая система образуется двумя ортогональными парами пластин 4 и 5, каждая из которых при подаче на них напряжения создает электрическое поле, поперечное к оси ЭЛТ. Поэтому положение луча (засвеченного пятна) на экране определяется напряжениями, поданными на отклоняющие пластины.

Исследуемый сигнал  $u(t)$  поступает на вход  $Y$  осциллографа и подается на входной аттенюатор, с помощью которого выбирают чувствительность осциллографа по вертикальной оси  $Y$ . После аттенюатора сигнал поступает на вход усилителя вертикального отклонения, с которого усиленный сигнал подается на вертикально отклоняющие пластины 4 ЭЛТ.

Если исследуемое напряжение  $u(t)$  изменяется периодически, то луч совершает периодическое движение по вертикали на экране осциллографа. При малом периоде колебаний из-за конечной длительности свечения люминофора на экране виден вертикальный отрезок прямой. При известной чувствительности канала вертикального отклонения можно измерить размах колебаний измеряемого напряжения  $u(t)$ . Чувствительность меняется с помощью переключателя «Вольт/деление», при этом происходит фиксированное (ступенчатое) ослабление входного сигнала.

Если на горизонтально отклоняющие пластины 5 подать напряжение, которое линейно увеличивается со временем, то луч будет переме-

щаться в горизонтальном направлении с постоянной скоростью, зависящей от скорости нарастания напряжения. Такое напряжение, называемое пилообразным, вырабатывается специальным генератором (генератором развертки), который входит в состав осциллографа.

Под действием периодического пилообразного напряжения, подаваемого на пластины 5, электронный луч перемещается с постоянной скоростью в горизонтальном направлении, прочеркивая на экране ось времени. Измеряемый сигнал  $u(t)$ , подаваемый на пластины 4, вызывает вертикальное смещение луча, пропорциональное мгновенной величине напряжения  $u(t)$ . Сложение перемещений луча по обеим осям приводит к вычерчиванию на экране светящегося графика (осциллограммы) процесса. Масштаб по оси  $Y$  задается переключателем «Вольт/деление», а по оси  $X$  - переключателем «Время/деление».

Изображение на экране осциллографа будет стабильным только в том случае, если положение луча на экране в начале каждого цикла развертки будет оставаться неизменным. Выполнение этого условия обеспечивает система синхронизации.

В осциллографе предусматривают также возможность подачи внешнего напряжения на горизонтально отклоняющие пластины. При этом усилитель горизонтального отклонения отключается от генератора развертки и подключается к входу  $X$ .

*Относительная погрешность* измерения напряжения и времени с помощью осциллографов обусловлена главным образом визуальным способом отображения информации. Оценить относительную погрешность можно по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta N}{N} \cdot 100 \%,$$

где  $N$  - отсчет напряжения или времени в делениях координатной сетки экрана;  $\Delta N$  - абсолютная погрешность этой величины.

Наряду с аналоговыми осциллографами, описанными выше, широко используются так называемые цифровые осциллографы, представляющие собой аппаратно-программные средства с высокими техническими характеристиками. Полезность цифрового осциллографа определяется не только его способностью визуально отображать форму входного сигнала, но и производить различного рода измерения. Например, он может в цифровом виде отображать на экране такие параметры входного сигнала как нижнее, верхнее и среднеквадратическое значения, частоту, период, длительность, фазовые сдвиги, время нарастания, спада и др.