

## Лабораторная работа № 7В (вводное занятие)

### Индуктивность в цепи переменного тока

Лабораторную работу "Индуктивность в цепи переменного тока" Вы будете выполнять на следующем занятии после предварительной подготовки и получения допуска к работе. Сегодняшнее вводное занятие посвящено приобретению навыков работы с приборами и обработки экспериментальных результатов.

**Оборудование и принадлежности:** Соленоид и короткая катушка на коммутационной плате, генератор синусоидального напряжения, два мультиметра, осциллограф.

#### Описание измерительного стенда

Электрическая схема установки показана на рис.1.

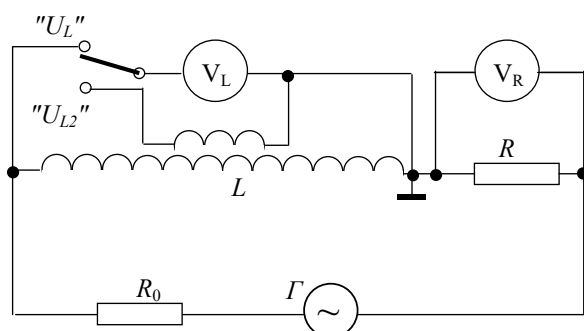


Рис.1. Электрическая схема установки

Переменный ток, возбуждаемый генератором «Г», протекает через соленоид  $L$  (длинную цилиндрическую катушку) и резисторы  $R_0$  и  $R$ . Для определения эффективного значения  $I_{\text{эфф}}$  этого тока используется мультиметр « $V_R$ ». С его помощью измеряется эффективное значение напряжения  $U_R$  на известном сопротивлении  $R$ , а затем по закону Ома рассчитывается:

$$I_{\text{эфф}} = U_R / R.$$

Резистор  $R_0$  предназначен для ограничения величины протекающего в цепи тока. Мультиметр « $V_L$ » измеряет эффективное значение напряжения на соленоиде, когда переключатель находится в положении " $U_L$ ". Если же этот переключатель находится в положении " $U_{L2}$ ", то вольтметр « $V_L$ » измеряет напряжение на короткой катушке, с несколько большим диаметром, чем у соленоида, которая "надета" на соленоид.

### **Выполнение работы**

1. В рабочей тетради напишите название лабораторной работы, выделите его цветом или подчеркните.
2. Зарисуйте в тетради электрическую схему установки (рис.1).
3. Внимательно изучите измерительный стенд, убедитесь в наличии всех необходимых приборов и компонентов, проверьте электрическую схему соединений. Назначение всех компонентов и соединительных проводов на стенде должно быть понятно – при необходимости обратитесь с вопросами к инженеру или преподавателю.
4. Форма представления результатов лабораторной работы приведена в Приложении 1.
5. Ознакомьтесь с используемыми в работе приборами: мультиметром и генератором (прочитайте Приложения 2, 3).
6. Генератор «Г» на стенде первоначально должен быть выключен. Аккуратно отсоедините от клеммы на коммутационной плате один из проводов, идущих с выхода генератора. Переведите мультиметр " $V_R$ " в режим измерения сопротивления (нажмите соответствующую кнопку и проверьте правильность подсоединения проводов к клеммам мультиметра), включите мультиметр. Он должен показать значение сопротивления  $R$ . Выберите на мультиметре предел измерений, обеспечивающий максимальную точность измерения  $R$ . Используя паспортные данные мультиметра, рассчитайте абсолютную погрешность  $R$  (информация о погрешностях при-

боров содержится в Приложении 5). Запишите результаты измерений и расчетов в рабочую тетрадь.

**Внимание:** показания приборов необходимо записывать в рабочую тетрадь без искажений, преобразований и округлений с обязательным указанием единиц измерений.

7. Переключатель на коммутационной плате установите в положение " $U_L$ ". Переведите оба мультиметра в режим измерения переменного напряжения. Проверьте правильность подсоединения проводов к клеммам мультиметров. Включите мультиметр " $V_L$ ". При выключенном генераторе мультиметры должны показывать нулевое напряжение (допускается высвечивание на индикаторе одной-двух единиц младшего разряда).
8. Установите на генераторе частоту выходного сигнала  $\nu = 16$  кГц. Подключите к коммутационной плате ранее отсоединенный провод с выхода генератора. Следуя инструкции, включите генератор. Поворачивая ручку генератора, регулирующую амплитуду сигнала на его выходе, убедитесь, что показания вольтметров (мультиметров) увеличиваются с ростом выходного напряжения генератора. Установите эту ручку примерно в среднее положение.
9. Измерьте напряжение  $U_R$  на резисторе  $R$  и напряжение на соленоиде  $U_L$ , выбрав на вольтметрах оптимальный предел измерений. Рассчитайте силу тока  $I_{\text{эфф}}$  через резистор  $R$  и погрешность этой величины.
10. Прочитайте Приложение 4. Под наблюдением инженера параллельно вольтметру " $V_L$ " подключите осциллограф. Пользуясь инструкцией по работе с осциллографом, пронаблюдайте на экране зависимость напряжения на соленоиде от времени.
11. Измерьте при помощи осциллографа амплитуду  $U_m$  напряжения на соленоиде и период  $T$  колебаний этого напряжения. По результатам этих измерений рассчитайте эффективное значение напряжения на соленоиде  $U_L = U_m / \sqrt{2}$ , частоту  $\nu = 1/T$  и погрешности этих величин.

## Приложение 1

### Форма представления результатов в рабочей тетради

Приборы: Мультиметр  $V_L$ : \_\_\_\_\_, Мультиметр  $V_R$ : \_\_\_\_\_

Генератор: \_\_\_\_\_, Осциллограф \_\_\_\_\_

#### Измерение сопротивления $R$

Предел, Ом	Сопротивление
	$R = (\dots \pm \dots)$ Ом

Расчет погрешностей: (подробно: формулы, числа, результаты расчета)

.....  
 .....

#### Измерение напряжений, расчет силы тока

Напряжение $U_R$	Напряжение $U_L$	Сила тока $I_{\Delta\Phi\Phi} = U_R / R$
$U_R = (\dots \pm \dots)$ В	$U_L = (\dots \pm \dots)$ В	$I_{\Delta\Phi\Phi} = (\dots \pm \dots)$ мА

Расчет силы тока и погрешностей:

$$\Delta U_R = (\dots \text{формула, числа, результаты расчета} \dots),$$

$$\Delta U_L = \dots,$$

$$I_{\Delta\Phi\Phi} = \frac{U_R}{R} = \dots,$$

$$\delta I_{\Delta\Phi\Phi} = \delta U_R + \delta R = \frac{\Delta U_R}{U_R} + \frac{\Delta R}{R} = \dots, \quad \Delta I_{\Delta\Phi\Phi} = \dots$$

Измерения при помощи осциллографа

"Вольт/деление"	$U_m, \text{В}$	$U_L = U_m / \sqrt{2}$
	(... ± ...)	(... ± ...)
"Время/деление"	$T, \text{мс}$	$\nu, \text{Гц}$
	(... ± ...)	(... ± ...)

Расчет погрешностей: (подробно: формулы, числа, результаты расчета).

.....

.....

## Приложение 2

### Краткие сведения о мультиметрах (вольтметрах)

**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 часто 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 вольтметра 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 при минимально возмож-

ном пределе (т.е. при максимальной чувствительности) прибора, но 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, которая определяет их высокую стоимость.

Важным параметром является входное (внутреннее) сопротивление вольтметра. Чем оно выше, тем меньший ток потребляет вольтметр при измерениях. Вольтметром с входным сопротивлением, например, равным 100 кОм, нельзя правильно измерить

напряжение на резисторе сопротивлением 1 МОм: при подключении вольтметра параллельно резистору значительная часть тока будет протекать не через резистор, а через вольтметр. Иными словами, подключение прибора к исследуемой схеме существенным образом изменит протекающие в ней токи.

### Приложение 3

#### 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 плавной 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 выход-



ных клемм генератора. Будьте внимательны! Метод "проб и ошибок" может привести к выходу генератора из строя.

## Приложение 4

### 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:

1) базовый, в состав которого входит ЭЛТ, схема управления лучом (яркость, фокус, сдвиг по вертикали и горизонтали), блок питания;

2) блок усилителя вертикального отклонения луча. На входе усилителя имеется многоступенчатый делитель напряжения (аттенюатор), задающий чувствительность осциллографа по вертикальной оси  $Y$ ;

3) блок развертки в канале горизонтального отклонения луча. В состав этого блока входит генератор пилообразного напряжения развертки, усилитель горизонтального отклонения, система синхронизации.

Основными элементами ЭЛТ (рис. 2) являются помещенные

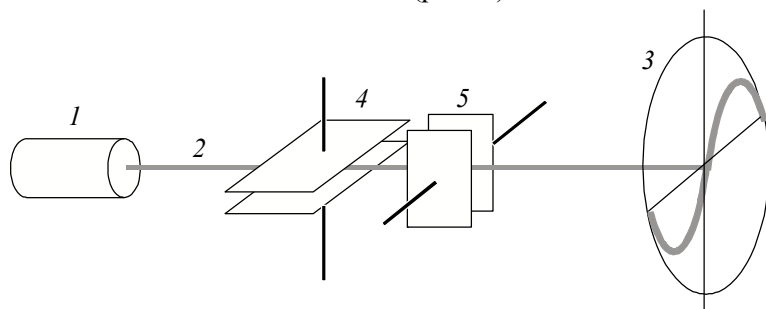


Рис.2. Электронно-лучевая трубка

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. Отклоняющая система образуется двумя ортогонально расположенными 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 при

помощи 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 перемещаться 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  $X$ .

## Приложение 5

### Погрешности

#### Обозначения:

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

#### *Вольтметр GDM-8135*

##### *Погрешность при измерении постоянного напряжения:*

$$\delta U = \left( 0,1 + 0,05 \frac{U_{п}}{U_x} \right) \%$$

##### *Погрешность при измерении переменного напряжения:*

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

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 постоянного тока:**

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

**Погрешность при измерении переменного тока:**

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

**Погрешность при измерении сопротивления:**

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

**Вольтметр В7-37**

**Погрешность при измерении постоянного напряжения:**

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

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

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

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

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

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

**Погрешность при измерении сопротивления:**

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

**Вольтметр В7-58/2**

**Погрешность при измерении постоянного напряжения:**

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

**Погрешность при измерении переменного напряжения в диапазоне от 2 мВ до 20 В:**

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

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

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

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

**Погрешность при измерении постоянного тока:**

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

**Погрешность при измерении сопротивления:**

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

### Вольтметр В7-22А

#### Погрешность при измерении постоянного напряжения:

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

#### Погрешность при измерении переменного напряжения:

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

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

#### Погрешность при измерении постоянного тока:

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:**

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

**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, установлено на генераторе  $f_{\text{н}} = 300$  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  $f_{\text{н}}$  - установленное по шкале значение частоты в Гц. Например, установлено на генераторе  $f_{\text{н}} = 500$  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**

Погрешность установки частоты по встроенному частотомеру 0,01%.

## Генератор SFG-71003

Погрешность установки частоты по встроенному частотомеру 0,002%.

### Осциллографы

**Относительную погрешность** измерения напряжения и времени при помощи осциллографов можно оценить по формуле

$$\delta = \frac{\Delta N}{N} \cdot 100\% + 5\% ,$$

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

**Пример.** На рис.3 приведена осциллограмма напряжения на экране осциллографа. Переключатель "Вольт/деление" на осциллографе находится в положении "0,2 В", переключатель "Время/деление" - в положении "0,2 мс". Необходимо найти амплитуду и период колебаний.

Определяем размах колебаний "в клетках":  $N = (5,2 \pm 0,1)$ .

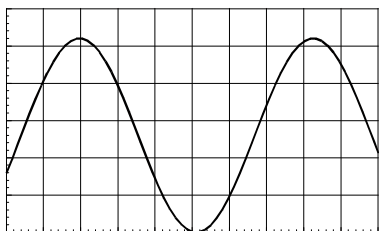


Рис. 3. Осциллограмма напряжения

Учтено, что при определении длины отрезка на экране осциллографа мы можем ошибиться примерно на 0,1 клетки. Тогда относительная погрешность величины  $2U_m$  равна

$$\delta(2U_m) = \delta U_m = \frac{0,1}{5,2} \cdot 100\% + 5\% \approx 7\% .$$

Учитывая, что масштаб по оси  $Y$  равен 0,2 В на клетку, получаем:

$$2U_m = 5,2 \cdot 0,2 = 1,04 \text{ В}, \quad U_m = 0,52 \text{ В}.$$

Абсолютная погрешность:  $\Delta U_m = \delta U_m \cdot U_m = 0,07 \cdot 0,52 \approx 0,04 \text{ В}$ .

Окончательный результат:  $U_m = (0,52 \pm 0,04) \text{ В}$ .

Аналогично определяем период колебаний. Измеряем период "в клетках":  $N = 6,3 \pm 0,1$ . С учетом масштаба получаем  $T = 6,3 \cdot 0,2 = 1,26 \text{ мс}$ .

Рассчитываем погрешность:  $\delta T = \frac{0,1}{6,3} \cdot 100\% + 5\% \approx 7\%$ ,

Абсолютная погрешность:  $\Delta T = 1,26 \cdot 0,07 \approx 0,09 \text{ мс}$ .

Окончательный результат:  $T = (1,26 \pm 0,09) \text{ мс}$ .