

Лабораторная работа № 2В (вводное занятие)

Приобретение навыков работы с генератором, мультиметром и осциллографом

Лабораторную работу «Компьютерное моделирование электростатических полей» 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 данных.

Оборудование и принадлежности: Генератор, мультиметр, осциллограф.

Описание измерительного стенда

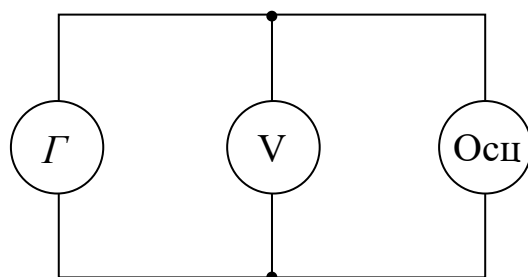


Рис.1. Измерительная схема

Схема установки представлена на рис.1. Источником синусоидального напряжения $u(t) = U_m \cos(\omega t)$ является генератор Γ (U_m - амплитуда напряжения на генераторе, $\omega = 2\pi\nu$ - циклическая частота, $\nu = 1/T$ - частота, T - период колебаний). Эффективное значение напряжения на выходе генератора $U = U_m / \sqrt{2}$ измеряется вольтметром «V», а зависимость напряжения от времени $u(t) = U_m \cos(\omega t)$ контролируется осциллографом.

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, генератором (прочитайте Приложения 2, 3).
6. Переведите мультиметр "V" в режим измерения переменного напряжения, включите мультиметр.
7. Следуя инструкции, включите генератор. Установите частоту выходного сигнала $\nu = 500$ Гц. Поворачивая ручку генератора, регулируемую амплитуду сигнала на его выходе, убедитесь, что показания вольтметра (мультиметра) увеличиваются с ростом выходного напряжения генератора. Установите $U \approx 5$ В. Выберите на мультиметре диапазон измерений, обеспечивающий максимальную точность измерения U . Используя паспортные данные мультиметра, рассчитайте абсолютную погрешность U (информация о погрешностях приборов содержится в Приложении 5). Запишите результат измерений U в рабочую тетрадь. Повторите измерения и расчеты для большего предела измерений напряжения.

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

8. Прочитайте Приложение 4. Включите осциллограф. Пользуясь инструкцией по работе с осциллографом, наблюдайте на его экране зависимость напряжения на выходе генератора от времени. Измерьте при помощи осциллографа амплитуду напряжения U_m и период колебаний T . По результатам этих измерений рассчитайте эффективное значение напряжения $U = U_m / \sqrt{2}$, частоту $\nu = 1/T$ и погрешности этих величин.
9. Установите режим работы генератора «Прямоугольные импульсы». Частоту повторения импульсов установите равной 2000 Гц, амплитуду колебаний установите $U_m = 2$ В, контролируя напряжение при помощи осциллографа. Сравните величину U_m с показаниями вольтметра. При помощи осциллографа измерьте период колебаний, рассчитайте частоту и ее погрешность.

Приложение 1

Форма представления результатов в рабочей тетради

Приборы: Мультиметр: _____, Генератор: _____,
Осциллограф _____

Измерение эффективного напряжения вольтметром при синусоидальном сигнале

Предел, В	Напряжение
	$U = (\dots \pm \dots) \text{ В}$
	$U = (\dots \pm \dots) \text{ В}$

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

.....
.....

Измерения синусоидального напряжения осциллографом

"Вольт/деление"	$U_m, \text{ В}$	$U = U_m / \sqrt{2}$
	$(\dots \pm \dots)$	$(\dots \pm \dots)$
"Время/деление"	$T, \text{ мс}$	$\nu, \text{ Гц}$
	$(\dots \pm \dots)$	$(\dots \pm \dots)$

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

.....
.....

Измерение параметров прямоугольных импульсов
осциллографом

"Вольт/деление"	$U_m, В$	
	(... ± ...)	
"Время/деление"	$T, мс$	$\nu, Гц$
	(... ± ...)	(... ± ...)

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

.....
.....

Измерение эффективного напряжения прямоугольных
импульсов вольтметром

Предел, В	Напряжение
	$U = (... \pm ...) В$

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 потребля-

ет 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 выходных 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.

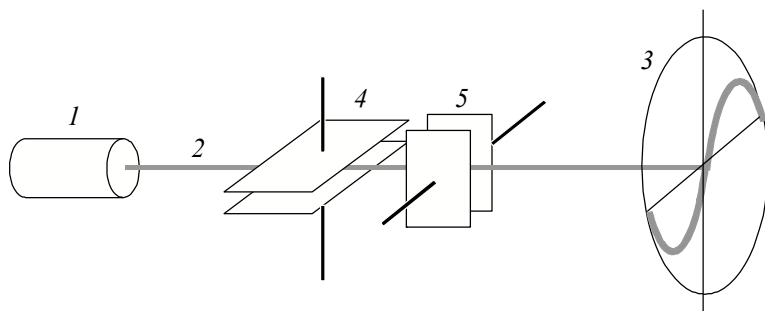


Рис.2. Электронно-лучевая трубка

Основными элементами ЭЛТ (рис. 2) являются помещенные 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:

$U_{\text{п}}, I_{\text{п}}, R_{\text{п}}$	- 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:

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

Погрешность при измерении переменного напряжения:

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

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	$\delta U = \left[1,0 + 0,2 \left(\frac{U_n}{U_x} - 1 \right) \right] \%$
20; 200 В	$\delta U = \left[1,5 + 0,2 \left(\frac{U_n}{U_x} - 1 \right) \right] \%$

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

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

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

Погрешность при измерении сопротивления:

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

Вольтметр В7-58/2

Погрешность при измерении постоянного напряжения:

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

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

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

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:

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

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	$\delta R = \left[0,3 + 0,25 \frac{R_H}{R_x} \right] \%$

Генератор ГЗ-112/1

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

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

где f_H - установленное по шкале значение частоты в Гц. Например, установлено на генераторе $f_H = 300$ 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

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

где f_H - установленное по шкале значение частоты в Гц. Например, установлено на генераторе $f_H = 500$ 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; ΔN - 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.

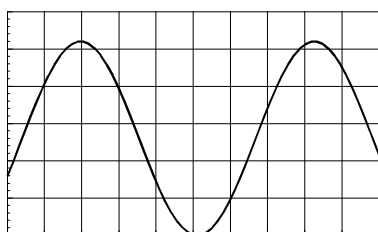


Рис. 3. Осциллограмма напряжения

Определяем размах колебаний "в клетках": $N = (5,2 \pm 0,1)$. 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: $T = (1,26 \pm 0,09) \text{ мс}$.