



Лабораторная работа 1.1.6
по курсу «Общая физика»

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Дополнительное описание

Из лаборатории не выносить!
Электронная версия — на сайте кафедры общей физики
physics.mipt.ru/S_I/lab

Долгопрудный
МФТИ
2016

ЗАДАНИЕ

Перед выполнением работы необходимо познакомиться с общими принципами работы осциллографа¹.

Перед включением осциллографа в сеть необходимо ознакомиться с назначением ручек управления осциллографа GOS-620 (см. Приложение).

1. Подготовка к работе. Перед включением осциллографа в сеть убедитесь, что органы управления осциллографа установлены следующим образом:

- а) Блок горизонтальной развертки (HORIZONTAL): ручка POSITION — в среднем положении; кнопка $\times 10$ MAG — отжата; ручка SWP.VAR — в крайнем правом положении (риска CAL).
- б) Блок вертикального отклонения (VERTICAL): ручки POSITION — в среднем положении; внешние ручки VOLTS/DIV обоих каналов в положении 5 В/дел, а внутренние — утоплены; тумблеры AC–GND–DC обоих каналов — в положении GND (отключены); кнопки ALT/CHOP и INV CH 2 — отжаты.
- в) Блок синхронизации (TRIGGER): TRIG.ALT — отжата, LEVEL — в среднем положении; переключатель MODE — в положении AUTO; SLOPE — отжата.

Включите осциллограф в сеть. Поставьте ручку развертки TIME/DIV в положение X–Y. На экране появится точка. Ручками POSITION расположите точку в центре экрана осциллографа. Отрегулируйте яркость и четкость изображения точки ручками INTEN и FOCUS — размер и яркость точки должны быть минимально возможными, при условии, что точка хорошо видна на экране. После регулировки включите внутреннюю развертку осциллографа, установив ручку TIME/DIV в положение 2 ms.

Внимание! Во избежание прогорания люминофора нежелательно держать неподвижную точку на экране дольше 2–3 минут.

2. Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение его частоты. Получите на экране осциллографа устойчивую картину периодического (синусоидального) сигнала, подаваемого

¹См. Лабораторный практикум по общей физике. Т. 1. Механика. / Под ред. А.Д. Гладуна — М.: МФТИ, 2004.

с генератора, и с помощью горизонтальной шкалы экрана осциллографа проведите измерение периода и частоты сигнала.

- а) Подключите звуковой генератор (ЗГ) к каналу CH2(Y) и настройте его на синусоидальный сигнал частоты $f \approx 1$ кГц. Переключите тумблер MODE блока VERTICAL и тумблер SOURCE блока TRIGGER в положение CH2(Y). Установите переключатель режима канала CH2(Y) в положение DC (открытый вход).
- б) Получите на осциллографе устойчивую картину колебаний. Используйте ручки VOLTS/DIV (вольт/деление) для регулировки масштаба по вертикали, TIME/DIV (время/деление) — для регулировки масштаба по горизонтали, ручки POSITION для смещения картины как целого. Используйте ручку LEVEL (уровень запуска развертки) для получения стационарной картины. При необходимости переключайте режим синхронизации тумблером MODE блока TRIGGER в положения AUTO (*автоматический запуск развертки*) или NORM (*режим ожидания*).
- в) Измерьте период наблюдаемого сигнала T (с учётом масштаба по горизонтальной оси, определяемого положением ручки TIME/DIV) и рассчитайте его частоту f . Оцените погрешность измерения периода δT и частоты δf с помощью осциллографа. Сравните результаты измерений с показанием встроенного в генератор частотомера $f_{\text{ЗГ}}$ (или с положением ручек регулировки генератора, если частотомер отсутствует).
- г) Повторите измерения для 3—5 частот из всего диапазона работы звукового генератора. Результаты занесите в таблицу.

$f_{\text{ЗГ}}, \text{Гц}$	$T, \text{дел}$	с/дел	$T, \text{с}$	$f, \text{Гц}$	$\delta f, \text{Гц}$	$f - f_{\text{ЗГ}}, \text{Гц}$
...

3. Измерение амплитуды сигнала. С помощью вертикальной шкалы экрана осциллографа измерьте отношение максимальной и минимальной амплитуд напряжений $U_{\text{max}}/U_{\text{min}}$, которые способен выдавать генератор. Измерения проведите на частоте $f = 1$ кГц.

- а) Для установки амплитуды на звуковом генераторе используйте ручку регулировки AMPL и кнопку «ATT –20dB» (ослабление на 20 дБ — т. е. уменьшение амплитуды в 10 раз).
- б) Измерьте амплитуды напряжения U_{max} , и U_{min} в вольтах. Для изменения масштаба вертикальной шкалы осциллографа используйте ручку VOLTS/DIV (вольт на деление²) канала CH2(Y).

²Под «делением» имеется в виду большое (1 см) деление шкалы экрана.

При измерении убедитесь, что серая ручка плавной регулировки VOLTS/DIV утоплена и переведена в крайнее правое положение до щелчка. Оцените относительную $\delta U/U$ погрешности измерения амплитуды.

- в) Выразите отношение максимального и минимального уровней сигнала в *децибелах* [дБ]. Децибел — логарифмическая единица ослабления или усиления, определяемая по формуле

$$\beta_{21}[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1},$$

где P_2/P_1 — отношение средних мощностей, U_2/U_1 — отношение амплитуд некоторых двух сигналов (здесь учтено, что мощность пропорциональна квадрату амплитуды $P \propto U^2$).

4. Измерение амплитудно-частотной характеристики осциллографа. Амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) измерительного прибора называют зависимость амплитуды измеряемого сигнала от частоты сигнала, подаваемого на вход. Проведите измерение АЧХ используемого в работе осциллографа во всём диапазоне рабочих частот генератора.

- а) Установите частоту сигнала генератора $f = 1$ кГц и получите устойчивое изображение синусоиды на экране. Установите амплитуду генератора, близкую к максимальной (убедитесь, что кнопка АТТ -20dB отжата) и подберите масштаб вертикальной шкалы осциллографа так, чтобы *размах* (удвоенная *амплитуда*) сигнала на экране составил, например, $2U_0 = 6,0$ дел. Далее при измерениях по данному пункту амплитуда сигнала на генераторе U_0 должна оставаться неизменной (ручка AMPL генератора остаётся в фиксированном положении). Убедитесь также, что серая ручка плавной регулировки VOLTS/DIV утоплена и переведена в крайнее правое положение (CAL) до щелчка.
- б) Изменяя частоту f звукового генератора во всем доступном диапазоне исследуйте зависимость отношения амплитуды сигнала на осциллографе $U(f)$ к исходной U_0 в зависимости от частоты:

$$K(f) = \frac{U(f)}{U_0}.$$

В области частот, где K отличается от единицы (как правило, высокие и низкие частоты), необходимо провести подробные измерения $K(f)$.

Измерения амплитудно-частотных характеристик $K(f)$ проведите для одного из каналов осциллографа (например, CH2(Y)) при открытом (DC, \simeq) и при закрытом (AC, \sim) входе. Результаты занесите в таблицу.

f , Гц	...	10	...	10^3	...	10^6	...
$\lg f$	...	1	...	3	...	6	...
$2U_{AC}$, дел				6,0			
$K_{AC} = U_{AC}/U_0$				1			
$2U_{DC}$, дел				6,0			
$K_{DC} = U_{DC}/U_0$				1			

Постройте в единых осях графики зависимостей коэффициента ослабления сигнала от частоты в логарифмическом масштабе по частоте $K_{AC}(\lg f)$ и $K_{DC}(\lg f)$. Объясните причины различия АЧХ канала в разных режимах.

5. Изучение влияния АЧХ на искажение сигнала.³ Установите на генераторе переключатель вида сигнала в положение «П» — прямоугольные импульсы (*меандр*). Получите на экране устойчивую картину прямоугольных импульсов на частоте $f = 1$ кГц. Изменяя частоту генератора во всём диапазоне, наблюдайте как меняется вид отображаемого на осциллографе сигнала для открытого (DC) и закрытого (AC) входов канала CH2(Y). При изменении частоты используйте ручку осциллографа TIME/DIV для регулировки масштаба по горизонтали (по времени). Зарисуйте характерный вид полученных осциллограмм для частот f , при которых форма прямоугольных импульсов существенно искажается. Предложите объяснение полученных результатов на основе измерений, выполненных в предыдущем пункте.

6. Измерение разности фазово-частотных характеристик каналов осциллографа. *Фазово-частотной характеристикой* (ФЧХ) называют зависимость разности фаз входного и выходного сигналов от частоты. Осциллограф может быть использован для измерения разности фаз между подаваемыми на него сигналами, при этом однако необходимо учитывать, что каналы X и Y могут иметь разные ФЧХ. В данном пункте предлагается провести измерение разности фаз, возникающей при подаче одного и того же сигнала на разные каналы осциллографа, в зависимости от частоты сигнала.

- а) Подайте синусоидальный сигнал частоты $f = 1$ кГц с выхода звукового генератора через тройник (разветвитель) на каналы CH1(X) и

³Необязательный пункт, выполняется по указанию преподавателя.

CH2(Y). Выключите внутреннюю развертку осциллографа, переведя переключатель TIME/DIV в положение X-Y. В этом режиме отклонение луча на экране пропорционально подаваемым на каналы напряжениям $Y(t) = k_y U_y(t)$, $X(t) = k_x U_x(t)$, где коэффициенты масштаба k_x , k_y определяются положениями ручек VOLTS/DIV.

- б) Установите переключатели режимов каналов X и Y в положение GND (выключены) и ручками POSITION установите точку в центр экрана. После этого установите переключатели режимов каналов X и Y в положения AC (закрытые входы). Используя ручки VOLTS/DIV обоих каналов, получите на экране отрезок прямой (вырожденный эллипс) под углом 45° к горизонтали, занимающий большую часть экрана.
- в) Изменяя частоту генератора f во всем доступном диапазоне найдите участки, на которых изображение на экране переходит из отрезка в невырожденный эллипс. На этих участках проведите подробное измерение разности фаз $\Delta\varphi(f)$ между каналами X и Y в зависимости от частоты.

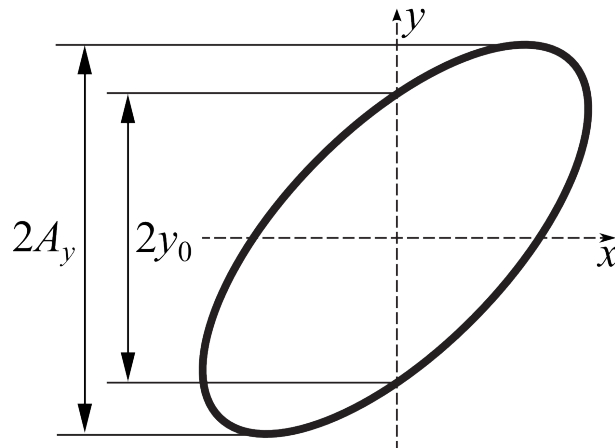


Рис. 1. К определению разности фаз сигналов

При подаче на взаимно перпендикулярные отклоняющие пластины двух синусоидальных сигналов траектория луча на экране осциллографа представляет собой эллипс и может быть в общем виде описана уравнениями

$$x(t) = A_x \sin(\omega t + \varphi_x), \quad y(t) = A_y \sin(\omega t + \varphi_y). \quad (1)$$

Разность фаз $\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x$ можно выразить, например, положив в (1) $\omega t = -\varphi_x$, после чего нетрудно получить

$$\sin |\Delta\varphi| = \left| \frac{y_0}{A_y} \right|,$$

где $y_0 = y|_{x=0}$ — отклонение луча по вертикали в момент, когда его абсцисса равна нулю; A_y — амплитуда колебаний по оси y (см. рис. 1). Тогда возможные значения модуля разности фаз:

$$|\Delta\varphi| = \arcsin \left| \frac{y_0}{A_y} \right| \quad (2)$$

или

$$|\Delta\varphi| = \pi - \arcsin \left| \frac{y_0}{A_y} \right|. \quad (3)$$

При этом, если эллипс наклонён вправо (как на рис. 1), то угол $\Delta\varphi$ лежит в интервале $[-\pi/2; \pi/2]$ — имеет место формула (2); если эллипс наклонён влево, то $\Delta\varphi \in [\pi/2; \pi] \cup [-\pi; -\pi/2]$ — необходимо использовать формулу (3).⁴

г) Результаты измерений занесите в таблицу.

f , Гц	10	...	10^3	...	...	10^6	...
$\lg f$	1	...	3	...	...	6	...
$|2y_0|$, дел			0				
$|2A_y|$, дел							
$\arcsin \left| \frac{y_0}{A_y} \right|$, рад			0				
$|\Delta\varphi|$, рад			0				

Постройте график зависимости разности ФЧХ каналов осциллографа от частоты в логарифмическом масштабе по частоте $\Delta\varphi(\lg f)$. При каких частотах осциллограф может быть использован для измерения разности фаз подаваемых на него сигналов?

7. Наблюдение фигур Лиссажу и измерение частоты.

а) Выключите внутреннюю развертку осциллографа (TIME/DIV в положение X-Y). Подайте на вход каналов X и Y осциллографа

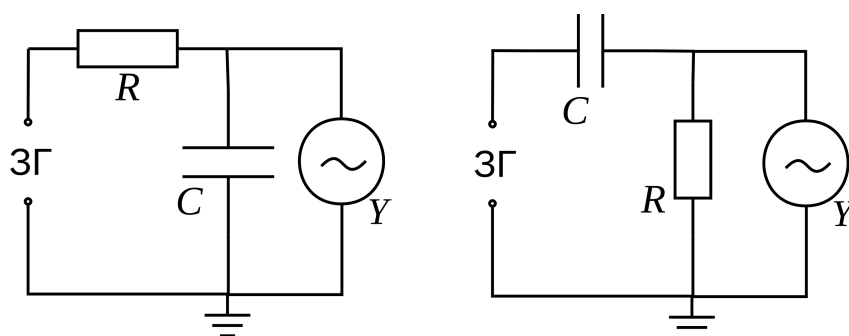
⁴Знак $\Delta\varphi$ можно было бы определить по направлению прорисовки эллипса (по/против часовой стрелки), однако визуально это можно сделать только при частотах, меньших 20 Гц. В данной работе предлагается ограничиться измерением модуля разности фаз $|\Delta\varphi|$.

Кроме того, может показаться, что разность фаз каналов можно измерить в режиме двухканального осциллографа, когда сигналы с каналов CH1 и CH2 выводятся на экран одновременно (MODE в положении DUAL). Однако нетрудно убедиться, что в этом случае осциллограф не вносит в них дополнительной разности фаз — сигналы проходят полностью одинаковый путь и подаются на одни и те же отклоняющие пластины. То есть разность фаз возникает только при выводе сигналов на *разные* пластины осциллографа (вертикальные и горизонтальные), что имеет место только в режиме X-Y.

сигналы с двух *разных* звуковых генераторов. Установите приблизительно одинаковые частоты генераторов (рекомендуется использовать невысокие частоты $f \sim 50 \div 100$ Гц). Амплитуды генераторов и положения ручек VOLTS/DIV осциллографа установите таким образом, чтобы фигура Лиссажу занимала большую часть экрана, не выходя за его пределы.

- б) Изменяя f_x , получите устойчивые фигуры для нескольких целочисленных отношений частот, например: $f_y/f_x = 1:1; 2:1; 3:1; 3:2$. Зарисуйте полученные изображения в тетрадь. Как по виду фигуры Лиссажу определить отношение частот?

8. Измерение АЧХ интегрирующей и дифференцирующей RC-цепочек.⁵ Измерьте амплитудно-частотные характеристики RC-цепочек, представленных на схемах



- а) «Интегрирующая» цепочка б) «Дифференцирующая» цепочка

Сравните полученные зависимости с теоретическими:

$$K_a(f) = \frac{1}{\sqrt{(\omega\tau)^2 + 1}}, \quad K_d(f) = \frac{1}{\sqrt{(\omega\tau)^{-2} + 1}},$$

где $\tau = RC$ — постоянная времени RC-цепочки (значения сопротивления R и ёмкости C указаны на установке), $\omega = 2\pi f$ — циклическая частота. Убедитесь, что уровень $K = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,7$ для обеих цепочек соответствует точке $\omega\tau = 1$.

29.08.2016

⁵Необязательный пункт, выполняется по указанию преподавателя.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Назначение органов управления осциллографа GOS-620.

1. Экран осциллографа показан на рис. 2.



Рис. 2. Экран осциллографа

POWER (выключатель сетевого питания) — при включении выключателя загорается индикатор под кнопкой «POWER».

INTEN (яркость) — регулирует яркость изображения.

FOCUS (фокус) — регулировка фокуса изображения.

TRACE ROTATION (поворот) — регулировка угла наклона линии развертки изображения относительно линий шкалы экрана.

2. Органы управления развёрткой расположены в блоке «HORIZONTAL» передней панели осциллографа (рис 3).

TIME/DIV — устанавливает коэффициент развёртки от $0,2 \mu\text{с}/\text{дел}$ (микросекунд на деление) до $0,5 \text{ с}/\text{дел}$ (секунд на деление) 20 ступенями. При переводе в положение X-Y (крайнее левое) обеспечивается наблюдение фигур Лиссажу.

SWP.VAR (развертка плавно) — обеспечивает плавную регулировку коэффициента развёртки с перекрытием 2,5 раза в каждом положении переключателя время/дел. Обратите внимание! При измерении

промежутков времени по расстоянию на экране осциллографа эта ручка должна находиться в *крайнем правом положении (риска CAL)*.

POSITION (положение) — перемещает изображение по горизонтали.

×10 MAG (увеличение в 10 раз) — при нажатой кнопке скорость развёртки увеличивается в 10 раз.



Рис. 3. Органы управления передней панели осциллографа

3. Органы управления тракта вертикального отклонения (блок VERTICAL на рис. 3):

CH 1(X) (канал 1) — вход канала 1. В режиме X–Y — входной канал *x*-оси.

CH 2(Y) (канал 2) — вход канала 2. В режиме X–Y — входной канал *y*-оси.

AC–DC–GND — переключатели режима входов усилителя:

DC: открытый вход (на вход усилителя пропускается весь сигнал, включая постоянную составляющую);

AC: закрытый вход (на вход пропускается только переменная составляющая сигнала благодаря тому, что последо-

вательно с источником сигнала и осциллографом включается конденсатор емкостью ~ 1 мкФ).

GND: вход усилителя отключается от источника сигнала и заземляется.

POSITION (положение) — регулировка положения лучей обоих каналов по вертикали.

ALT/CHOP — при нажатии на кнопку коммутатор принудительно переключается в режим «попеременный». Происходит одновременная прорисовка обоих каналов — эффект двухлучевого осциллографа. Когда кнопка отжата в двухканальном режиме, режим работы коммутатора выбирается автоматически, исходя из положения ручки время/дел.

INV CH 2 (инвертирование в канале 2) — инвертирование сигнала в канале 2.

VOLTS/DIV (вольт/дел) — дискретные переключатели, устанавливающие коэффициенты отклонения каналов от 5 мВ/дел до 5 В/дел в 10 диапазонах. В середине — ручка плавного изменения коэффициентов отклонения каналов с перекрытием не менее, чем в 2,5 раза в каждом положении переключателей В/дел. Когда ручка вытянута (режим $\times 5$), происходит увеличение размера изображения (чувствительности усилителя) в 5 раз. *Для измерения амплитуд ручка плавной регулировки должна находиться в крайнем правом положении (до щелчка).*

Переключателями VERTICAL-MODE устанавливается режим работы для наблюдения двух сигналов одновременно или по очереди:

CH 1: на экране наблюдается сигнал канала 1.

CH 2: на экране наблюдается сигнал канала 2.

DUAL: на экране наблюдаются изображения сигналов обоих каналов.

ADD: на экране наблюдается алгебраическая сумма или разность (при нажатии кнопки CH 2 INV) сигналов каналов 1 и 2.

4. Органы управления синхронизации (блок TRIGGER на рис. 3).

TRIG.ALT — при нажатии развертка поочередно синхронизируется сигналом с 1-го и 2-го каналов. В результате на экране осциллографа появляется устойчивая картина 1-го и 2-го каналов.

TRIGGER MODE — выбор режима работы запуска развертки:

AUTO:	автоматический режим запуска развертки; используется, если нет сигнала синхронизации, или его частота меньше 25 Гц;
NORM:	ждущий режим: развертка запускается только при наличии входного сигнала;
TV-V:	синхронизация по вертикали (по кадрам, в работе не используется);
TV-H:	синхронизация по горизонтали (по строкам, в работе не используется).

SOURCE (источник) — выбирает режим внутренней/внешней синхронизации:

CH 1:	развертка синхронизируется сигналом с первого канала CH1(X).
CH 2:	развертка синхронизируется сигналом со второго канала CH2(Y).
LINE (сеть):	синхронизация от питающей сети переменного напряжения.
EXT (внешний):	развёртка синхронизируется внешним сигналом.

LEVEL (уровень) — выбирает уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развёртки.

SLOPE (полярность) — переключатель полярности синхронизирующего сигнала:

- «+»: развёртки синхронизируются положительным перепадом сигнала;
- «-»: развёртки синхронизируются отрицательным перепадом сигнала.