

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.6

Изучение электронного осциллографа

Студент: Копытова Виктория
Сергеевна
Группа: Б03-304

1 Аннотация

Цель работы: ознакомиться с устройством и органами управления аналогового осциллографа; научиться измерять амплитуды и частоты произвольных сигналов; изучить основные характеристики осциллографа.

В работе используются: аналоговый осциллограф, генераторы электрических сигналов, соединительные кабели.

2 Теоретические сведения

Осциллограф — регистрирующий прибор, в котором исследуемый электрический сигнал (напряжение) преобразуется в видимый на экране график изменения величины сигнала во времени. Осциллографы широко используются в физическом эксперименте для регистрации изменения во времени любых физических величин, которые могут быть преобразованы в электрические сигналы.

2.1 Электронно-лучевая трубка

Основной частью электронного осциллографа, определяющей его важнейшие технические характеристики, является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). Трубка представляет собой стеклянную откачанную до высокого вакуума колбу, в которой расположены (рис. 1): подогреватель катода 1, катод 2, модулятор 3 (электрод, управляющий яркостью изображения), фокусирующий анод 4, ускоряющий анод 5, горизонтально и вертикально отклоняющие пластины 6 и 7, ускоряющий анод 8, экран 9. Экраном осциллографа является покрытая флуоресцирующим веществом стенка трубки, на которую и попадает электронный пучок. Электронный пучок формируется системой электродов, называемой «электронной пушкой»: катод с нагревателем, модулятор, фокусирующий и ускоряющий аноды. С помощью ручек регулировки яркости и фокуса можно изменять потенциалы фокусирующих и ускоряющих анодов, регулируя таким образом размер, чёткость и яркость пятна на экране. Рассмотрим движение электронов в электрическом поле отклоняющих пластин (рис. 2). Пусть электрон со скоростью v_0 влетает в однородное электрическое поле напряжённостью E_y пары пластин и движется вдоль оси z перпендикулярно к линиям напряжённости электрического поля. Движение электрона вдоль оси z является равномерным, а вдоль оси y — равноускоренным:

$$z = v_0 t, \quad y = \frac{at^2}{2}. \quad (1)$$

где ускорение находится из второго закона Ньютона:

$$a = \frac{eE_y}{m}. \quad (2)$$

Исключая время пролёта, из (1) и (2) найдём

$$y = \frac{eU_y}{2mv_0^2} z^2. \quad (3)$$

Рис. 1: Электронно-лучевая трубка

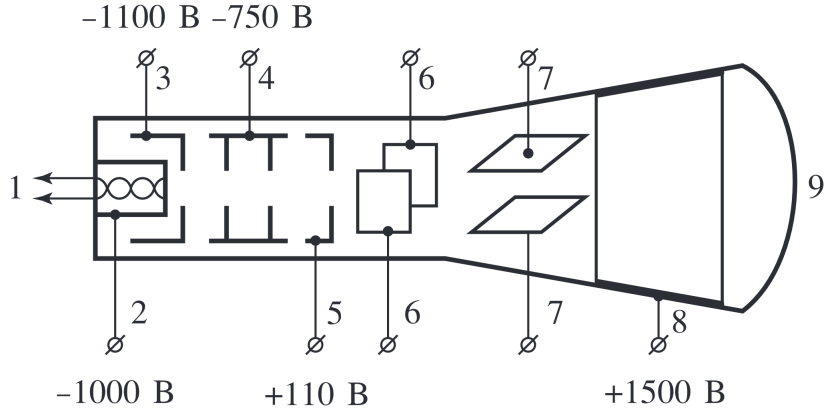
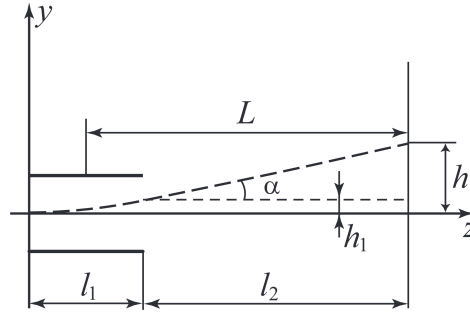


Рис. 2: Отклонение луча в электрическом поле пластин



Видно, что траектория электрона между отклоняющими пластинами представляет собой параболу. После выхода из пластин электроны будут двигаться по прямой. Найдём смещение пучка y_1 и угол α между этой прямой и осью z :

$$y_1 = \frac{eE_y}{2mv_0^2}l^2, \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{eE_y}{mv_0^2}l, \quad (4)$$

где l — длина пластин. Полное смещение равно:

$$h = y_1 + L\operatorname{tg}\alpha = \frac{e(l/2 + L)}{2mv_0^2}E_y, \quad (5)$$

где L — расстояние от пластин до экрана. Видно, что отклонение пучка прямо пропорционально напряжённости E_y поля между пластинами. Воспользуемся формулой (5), чтобы получить связь положения пятна на экране с напряжениями, подаваемыми на пластины электронной пушки. Скорость электронов v_0 определяется ускоряющим напряжением U_a на ускоряющем аноде:

$$\frac{mv_0^2}{2} = eU_a. \quad (6)$$

Напряжённость E_y поля между отклоняющими пластинами

$$E_y = \frac{U_y}{d}, \quad (7)$$

где U_y — напряжение между пластинами, а d — расстояние между ними. Тогда из (4) – (7) найдём смещение луча:

$$h_y = \frac{l(l/2 + L)}{2dU_a} \cdot U_y. \quad (8)$$

Таким образом, смещение луча по оси y пропорционально соответствующему отклоняющему напряжению U_y . Коэффициент пропорциональности в формуле (8) называется чувствительностью трубки к напряжению:

$$K_y = \frac{U_y}{h} = \frac{2dU_a}{l(l/2 + L)}. \quad (9)$$

Аналогично вычисляется чувствительность трубки к напряжению на второй паре пластин.

2.2 Развёртка сигнала

Для получения на экране «изображения» некоторого электрического сигнала $U(t)$ сам сигнал нужно подать на вертикальные пластины:

$$U_y(t) = U_{0y} + K_y U(t), \quad (10)$$

а на горизонтальные пластины подать так называемое напряжение развёртки, прямо пропорциональное времени t :

$$U_x = U_{0x} + kt. \quad (11)$$

Здесь U_{0y} и U_{0x} — постоянные напряжения, задающие смещение графика сигнала на экране по осям Y и X соответственно (могут изменяться соответствующими ручками регулировки), K_y — коэффициент усиления сигнала по вертикальной оси, k — некоторая постоянная, зависящая от характеристик генератора развёртки. Тогда луч на экране «нарисует» график $U_y(U_x)$, пропорциональный графику функции $U(t)$.

2.3 Синхронизация

Чтобы получить на экране осциллографа неподвижное изображение, период развёртки должен быть кратен периоду изучаемого периодического сигнала. Для этого оспользуется принудительное согласование периодов, при котором изучаемое напряжение $U(t)$ «навязывает» свой период генератору развёртки. При этом начало прямого хода развёртки должно совпадать строго с одной и той же характерной точкой исследуемого периодического сигнала, и такой процесс называется синхронизацией. развёртки с сигналом.

2.4 Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики

Амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) называют отношение

$$K(\nu) = \frac{y_0(\nu)}{U_0}. \quad (12)$$

Фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) называют зависящую от частоты величину сдвига фаз $\phi(\nu)$. ФЧХ осциллографа в рабочем диапазоне частот — это некоторая константа (в идеале — ноль). АЧХ и ФЧХ канала горизонтального отклонения определяются аналогично.

2.5 Закрытый и открытый входы

Входные каналы осциллографа могут работать в закрытом (маркируется как \sim или AC) и открытом режиме (\cong или DC). В закрытом режиме ко входу последовательно подключается разделительный конденсатор, который убирает постоянную составляющую сигнала (конденсатор не пропускает постоянный ток), а на усилитель осциллографа подаётся только переменная составляющая U_{\sim} . В открытом режиме подаётся как постоянная, так и переменная составляющие сигнала $U = U_{\cong} + U_{\sim}$.

2.6 Комбинация сигналов. Фигуры Лиссажу

При совместной подаче двух сигналов $U_y(t)$ и $U_x(t)$ на вертикальные и горизонтальные отклоняющие пластины на экране будет наблюдаться результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний.

Если сигналы являются периодическими с совпадающими или кратными частотами, на экране возникают неподвижные замкнутые кривые, называемые фигурами Лиссажу. Вид фигуры Лиссажу зависит от соотношений между периодами (частотами), фазами и амплитудами складываемых колебаний.

3 Ход работы

3.1 Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение его частоты

Получим на экране осциллографа устойчивую картину периодического (синусоидального) сигнала, подаваемого с генератора, и с помощью горизонтальной шкалы экрана осциллографа проведём измерение периода и частоты сигнала, результаты занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Период и частота синусоидального сигнала

$\nu_{3Г}$, кГц	T, дел	$\frac{TIME}{DIV}$, мс	δT , мс	T, мс	ε_T , %	ν , кГц	$\delta \nu$, кГц	$ \nu - \nu_{3Г} $, кГц
1,04	5	0,2	0,02	1	2	1	0,02	0,04
2,02	5	0,1	0,01	0,5	2	2	0,04	0,02
5,1	2	0,1	0,01	0,2	5	5	0,25	0,1
10,6	1,9	0,05	0,005	0,095	5	10,5	0,55	0,1
50,7	2	0,01	0,001	0,02	5	50	2,5	0,7
502,4	2	0,001	10^{-4}	0,002	5	500	25	2,4
5020	1	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10	5000	500	20

3.2 Измерение амплитуды сигнала

С помощью вертикальной шкалы экрана осциллографа измерим максимальную и минимальную амплитуды напряжений U_{max} , U_{min} , которые способен выдавать генератор. Измерения проведём на частоте $\nu = 1,037$ кГц.

Установим ручку регулировки амплитуды генератора сигналов на максимум

$$U_{max} = 24 \text{ В}, \quad \delta U_{max} = 0,5 \quad \varepsilon_{U_{max}} = 2\%.$$

Нажмём на генераторе кнопку «ATT -20dB»

$$U_{-20dB} = 2,5 \text{ В}, \quad \delta U_{-20dB} = 0,05 \quad \varepsilon_{U_{-20dB}} = 2\%.$$

Установим минимально возможную амплитуду генератора

$$U_{-40dB} = 0,25 \text{ В}, \quad \delta U_{-40dB} = 0,02 \quad \varepsilon_{U_{-40dB}} = 8\%.$$

Выразим отношения амплитуд измеренных сигналов в децибелах

$$\beta_{U_{max}/U_{-20dB}} = 20 \log_{10} \frac{U_{max}}{U_{-20dB}} \approx 19,6 \text{ дБ} \approx 20 \text{ дБ},$$

$$\beta_{U_{-20dB}/U_{-40dB}} = 20 \log_{10} \frac{U_{-20dB}}{U_{-40dB}} \approx 19,7 \text{ дБ} \approx 20 \text{ дБ},$$

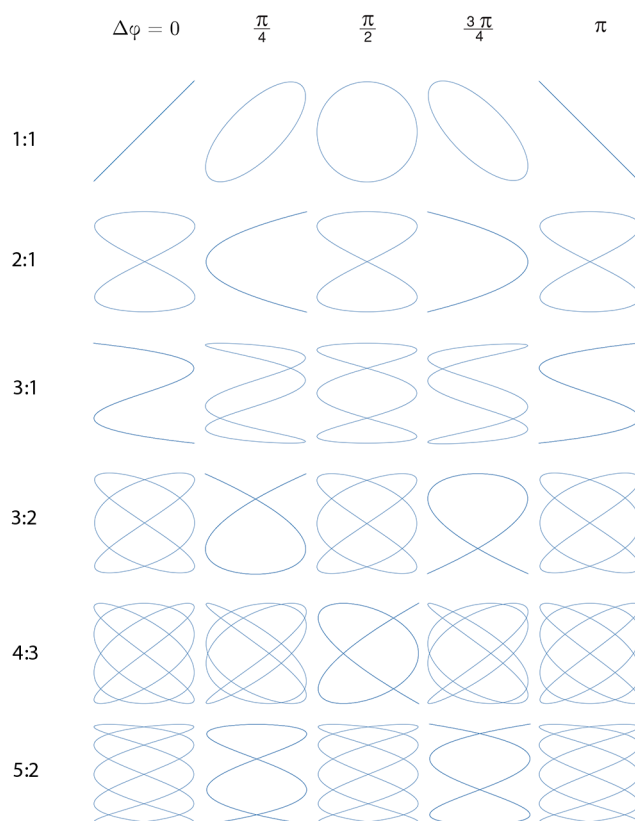
Экспериментальные значения соответствуют теоретическим.

3.3 Наблюдение фигур Лиссажу и измерение чистоты

Подадим на каналы осциллографа сигналы с двух разных звуковых генераторов и будем изменять частоту одного из них. Полученные изображения для разных отношений частот представлены на рисунке 3.

Отношение частот поданных сигналов ν_y/ν_x можно определить мысленно наложив на изображение две линии – горизонтальную и вертикальную. Зафиксируем число пересечений с горизонтальной линией n_x и вертикальной линией n_y . Отношение частот ν_y/ν_x равно отношению n_y/n_x .

Рис. 3: Фигуры Лиссажу



3.4 Изучение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) осциллографа

Установим частоту синусоидального сигнала генератора $\nu = 1$ кГц и амплитуду, близкую к максимальной. Получим устойчивое изображение синусоиды на экране. Подберём масштаб вертикальной шкалы осциллографа так, чтобы сигнал занял большую часть экрана, а его размах $2U_0 = 12$ В составил 6 делений. Меняя звуковую частоту генератора, будем измерять величину амплитуды сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа при открытом и

Таблица 2: АЧХ

ν , Гц	1	5	10	100	1000	10^4	10^5	10^6	10^7	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$
$\log_{10} \nu$	0	0,7	1	2	3	4	5	6	7	7,3	7,48
$2U_{AC}$, дел	1,4	4,2	5	6	6	6	6	6	4,8	4,1	3,4
K_{AC}	0,23	0,7	0,83	1	1	1	1	1	0,8	0,68	0,57
$2U_{DC}$, дел	5	5	5	6	6	6	6	6	4,8	4,1	3,4
K_{DC}	0,83	0,83	0,83	1	1	1	1	1	0,8	0,68	0,57

закрытом входах и определим коэффициенты ослабления АЧХ:

$$K(\nu) = \frac{U(\nu)}{U_0}$$

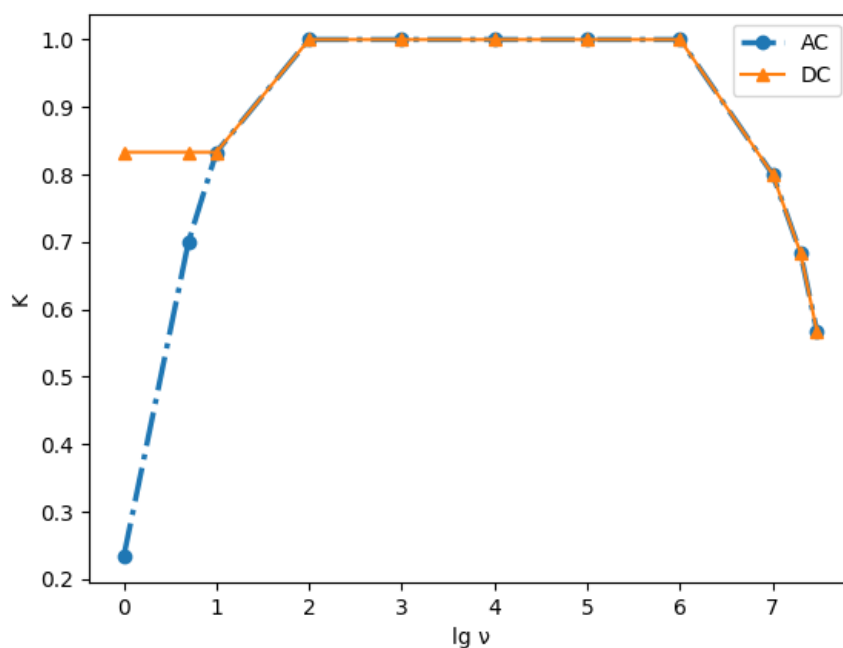
Результаты измерений занесём в таблицу 2 и построим график зависимости коэффициента К от десятичного логарифма частоты подаваемого звукового сигнала (рисунок 4).

Причиной различия АЧХ осциллографа в разных режимах является конденсатор, включённый в схему при закрытом входе. Когда частота подаваемого сигнала мала, емкостное сопротивление конденсатора велико согласно формуле

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

при больших частотах сигнала сопротивление конденсатора уменьшается, но достигается граничная частота, после преодоления которой, сигнал меняется быстрее, чем движутся электроны в ЭЛТ.

Рис. 4: График АЧХ в логарифмическом масштабе



4 Вывод

В ходе работы были изучены основные принципы работы с аналоговым осциллографом в различных режимах развёртки. Была получена амплитудно-частотная характеристика прибора, которая показала, что при очень низких в режиме закрытого входа и очень высоких частотах, показания прибора искажаются. Это происходит из-за наличия в схеме АС конденсатора и несовершенства электронно-лучевой трубки, на которой основан осциллограф.