

РАБОТА 1

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА И ИССЛЕДОВАНИЕ С ЕГО ПОМОЩЬЮ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Цель работы: изучение устройства электронного осциллографа; наблюдение с помощью осциллографа результата сложения взаимно перпендикулярных колебаний с неодинаковыми частотами.

Введение

Электронный осциллограф (ЭО) – прибор для измерения, записи и / или визуального наблюдения изменений электрического тока или напряжения во времени, а также для измерения других характеристик электрических процессов: максимальных значений напряжения, силы тока, длительности и частоты повторения импульсов и др.

Преобразуя неэлектрические процессы в электрические, можно регистрировать или наблюдать посредством осциллографа такие быстро изменяющиеся параметры других физических процессов, как давление, температура, скорость, ускорение и др.

Описание электронного осциллографа и электронно-лучевой трубки

Исследуемый процесс отображается на экране ЭО в виде линий или фигур (осциллограмм), представляющих функциональную зависимость двух величин. Наиболее распространена зависимость $U(t)$, т.е. зависимость напряжения от времени.

Основным элементом ЭО является электронно-лучевая трубка (рис. 1.1), предназначенная для воспроизведения формы электрического сигнала. Трубка состоит из электронного прожектора, отклоняющей системы и экрана, размещенных в стеклянном баллоне, из которого откачан воздух.

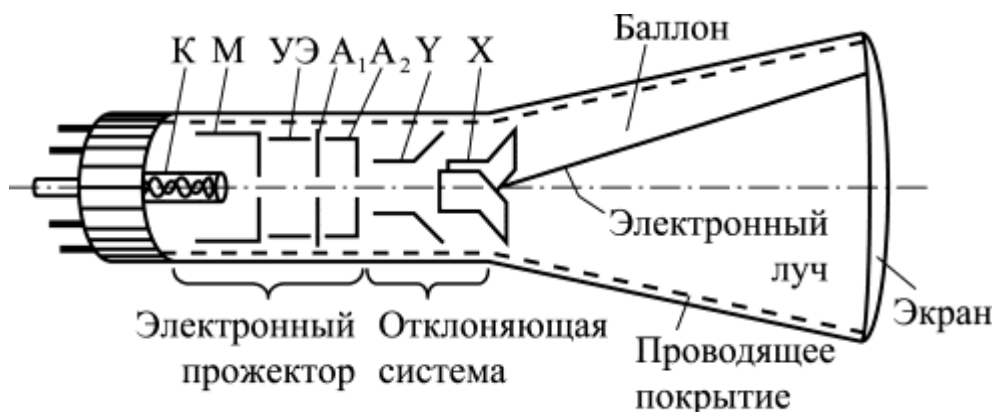


Рис. 1.1. Устройство электронно-лучевой трубки.

Электронный прожектор, в свою очередь состоит из источника электронов – подогреваемого катода К, помещенного внутри управляющего электрода – модулятора М, изменяющего яркость пятна на экране, ускоряющего электрода УЭ и анодов А₁ и А₂. Все электроды прожектора располагаются вдоль оси симметрии и образуют электронно-оптическую систему. С помощью электронного прожектора изменяют силу тока в луче, сообщают необходимую энергию электронам, производят их фокусировку в узкий электронный луч.

Электронный луч перемещается в пространстве при помощи отклоняющей системы, смещающей его в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Электростатическое отклонение луча осуществляется с помощью двух пар пластин X и Y, на которые подаются отклоняющие напряжения.

Если на вертикально отклоняющие пластины Y подается сигнал, изменяющийся во времени, то след электронного луча на экране прочерчивает вертикальную линию. Для того, чтобы след луча перемещался в горизонтальном направлении, напряжение, изменяющееся во времени подается на горизонтально отклоняющие пластины X.

Если на горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение $X(t)$, нарастающее линейно, а на вертикально отклоняющие – исследуемый сигнал, то след электронного луча прочерчивает на экране форму этого сигнала $\Phi(t)$ (рис. 1.2).

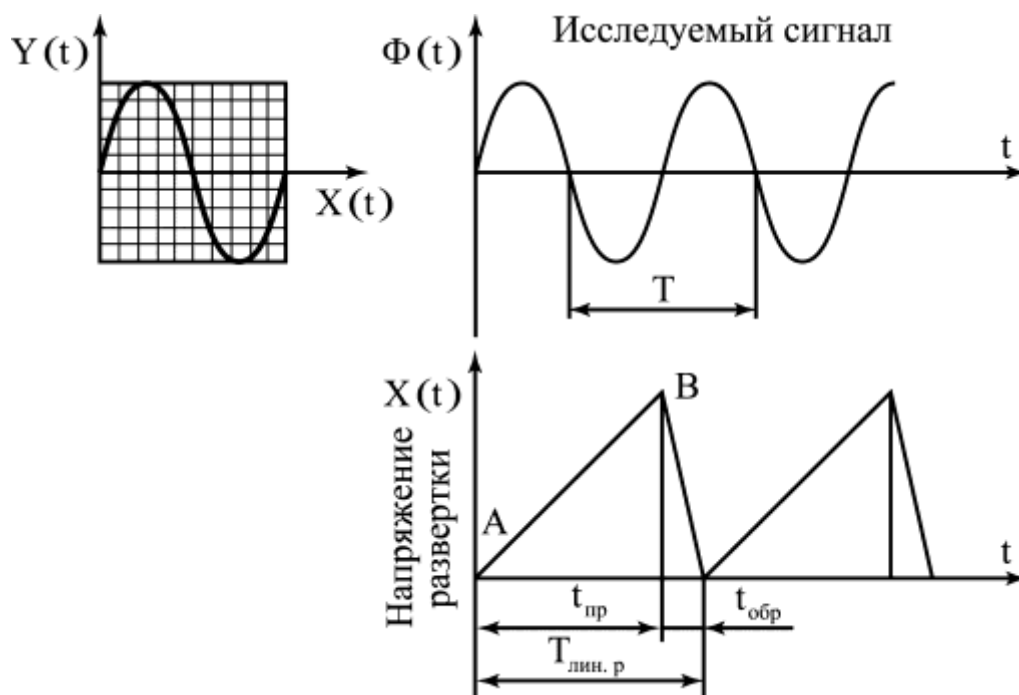


Рис. 1.2. Схема развертки сигнала в ЭО.

При минимальном значении развертывающего напряжения (точка А) луч находится на экране ЭО в крайнем левом положении. По мере роста напряжения от А до В луч перемещается слева направо по горизонтальной прямой (ось времени). Когда напряжение спадает от В до А, луч совершает обратный ход. Период развертки

$$T_{\text{раз}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}},$$

причем $t_{\text{пр}} \gg t_{\text{обр}}$.

Обратный ход луча на экране не виден, так как в ЭО имеется устройство, гасящее луч во время обратного хода.

Сложение перпендикулярных гармонических колебаний

Одним из простейших случаев движения точки, в том числе и гармонического колебательного движения, является одномерное движение. В этом случае положение точки будет определяться всего лишь одной координатой, например x . При гармоническом колебательном движении эта координата изменяется со временем по закону:

$$x(t) = a \cos(\omega t + \alpha), \quad (1.1)$$

где a – амплитуда; ω – круговая частота; α – начальная фаза колебаний.

Более сложным является двумерное движение точки на плоскости. В этом случае ее положение определяется двумя координатами x и y . Если обе координаты точки меняются со временем по гармоническому закону, то движение точки представляет собой сумму двух колебательных движений, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям. В этом случае говорят о сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний. При этом точка будет двигаться по некоторой криволинейной траектории, форма которой зависит от соотношения амплитуд, частот и начальных фаз колебаний.

Рассмотрим сложение взаимно перпендикулярных колебаний в двух простейших случаях.

I. Колебания по осям x и y имеют одинаковые частоты, а начальные фазы равны нулю:

$$x = a \cos \omega t, \quad y = b \cos \omega t. \quad (1.2)$$

Исключая из этих соотношений время, получаем связь между y и x , т.е. уравнение траектории в виде:

$$y = \frac{b}{a} x, \quad |x| \leq a, \quad |y| \leq b. \quad (1.3)$$

Это уравнение отрезка прямой, которая образует с осью x угол $\varphi = \arctg(b/a)$ (рис. 1.3).

Расстояние от точки до начала координат $r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{a^2 + b^2} \cos \omega t$ изменяется со временем по гармоническому закону, причем амплитуда $r_{\text{МАКС}} = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Таким образом, при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковыми частотами и начальными фазами результирующим движением будет гармоническое колебание с частотой ω вдоль прямой, составляющей угол φ с осью x .

2. Колебания по осям x и y имеют одинаковые частоты и амплитуды, а разность фаз равна $\pi/2$.

$$x = a \cos \omega t ; y = a \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = a \sin \omega t . \quad (1.4)$$

В этом случае расстояние от точки до начала координат $r = \sqrt{x^2 + y^2} = a$, а угол φ , образуемый радиус-вектором \vec{r} точки и осью x , $\varphi = \text{arctg}(y/x) = \omega t$.

Таким образом, результирующим движением точки будет в этом случае равномерное движение по окружности.

В общем случае в результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковыми частотами траекторией движения точки будет эллипс, показанный на рис. 1.4.

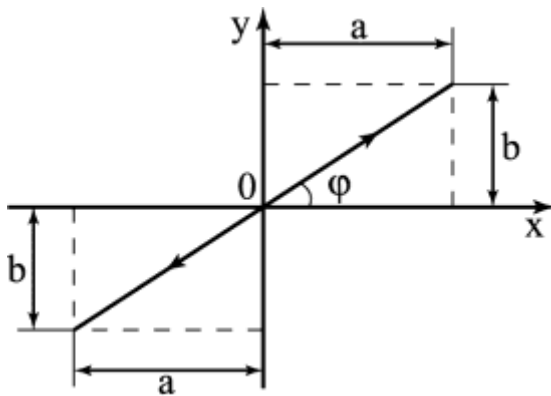


Рис. 1.3. Результирующая траектория точки при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний с $\omega_1 = \omega_2$ и $\Delta\varphi = 0$.

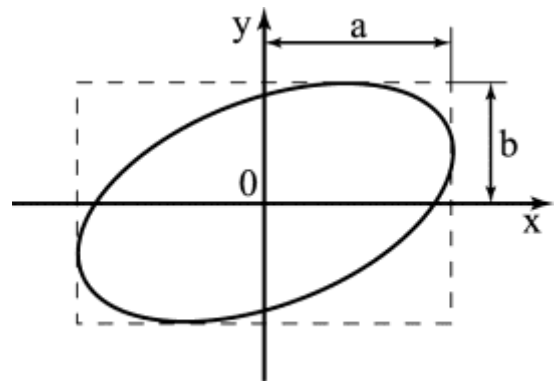


Рис. 1.4. Результирующая траектория точки при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний с $\omega_1 = \omega_2$ и $\Delta\varphi = \pi/2$.

При сложении колебаний с разными частотами, амплитудами и начальными фазами траектории результирующих движений имеют вид сложных кривых, называемых фигурами Лиссажу. Простейшие из них приведены на рис. 1.5.

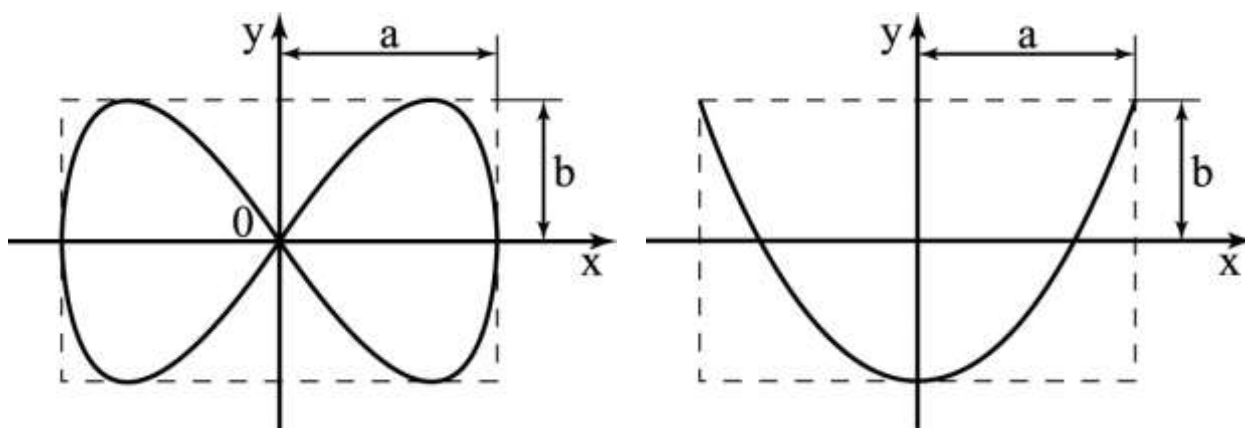


Рис. 1.5. Примеры простейших фигур Лиссажу.

Подготовка к работе

1. Зарисуйте в лабораторный журнал схему электронно-лучевой трубки, заполните таблицу приборов и принадлежностей.

Приборы и принадлежности	Технические характеристики
Электронный осциллограф	
Соединительные кабели	
Генератор электрических сигналов	
Цифровой вольтметр	

2. Заготовьте заранее в лабораторном журнале две таблицы для записи экспериментальных данных двух экспериментов (см. ниже табл. 1.1 в п.6, табл. 1.2 в п.10 задания 1 раздела «Порядок выполнения работы»). Обе таблицы должны быть соответствующим образом озаглавлены. Под ними запишите расчетные формулы.

Методика выполнения работы

В задании 1 напряжение с низкочастотного генератора (ГНЧ) периодических сигналов подается на вход ЭО и исследуется по величине и длительности. Измеряются амплитуда сигнала (максимальное смещение от нулевого значения) и период. Следует учесть, что на экране ЭО измеряется амплитудное значение напряжения, т.е. максимальное по модулю значение, а вольтметр для переменного тока показывает действующее значение напряжения, которое в $\sqrt{2}$ раз меньше.

В задании 2 сложение взаимно перпендикулярных колебаний проводится с помощью ЭО. В качестве источников колебаний применяются 2 ГНЧ, с помощью которых можно получить электрические гармонические колебания в широком диапазоне частот.

Частота колебаний генератора устанавливается ручкой переключателя «Множитель» (ступенчатая регулировка) и тремя переключателями «Частота» (плавная регулировка). Для определения частоты генератора в герцах нужно отсчет по переключателям «Частота» умножить на показания переключателя «Множитель». Колебания, возбуждаемые в генераторе, снимаются с клеммы "Выход", которые соединяются с Y-входом осциллографа. Второй генератор соединяется с X-входом осциллографа. Схема установки приведена на рис. 1.6. На экране ЭО можно наблюдать результат сложения двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний для различных отношений складываемых частот.

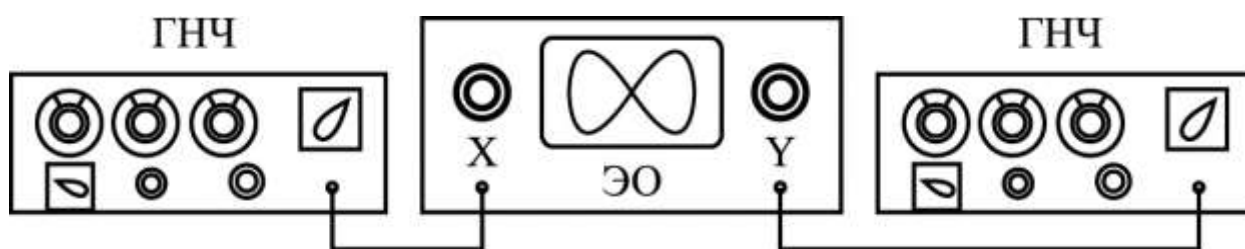


Рис. 1.6. Схема установки для изучения сложения взаимно перпендикулярных колебаний.

Порядок выполнения работы

Задание 1.

1. Рассмотрите электронно-лучевую трубку, найдите катод, первый и второй аноды, отклоняющие пластины, экран (*при наличии демонстрационного экземпляра в лаборатории*).

2. Ознакомьтесь с передней панелью ЭО, запишите его технические характеристики.

3. Включите тумблер «Вкл» осциллографа.

4. Ручкой «яркость» установите яркость изображения, удобную для наблюдения.

Не устанавливайте чрезмерную яркость изображения на экране во избежание прожога экрана.

Пользуясь ручками «↔» и «↕», установите луч развертки посередине экрана.

5. Ручкой «фокус» установите минимально расплывчатое изображение следа луча на экране.

Измерение характеристик переменного напряжения.

6. Подайте переменное напряжение от генератора электрических сигналов звуковой частоты при определенной частоте (*значения измеряемых напряжений и частоты сигнала генератора задаются преподавателем*).

Запишите значения напряжения (показания вольтметра) и частоты сигнала в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Измерение напряжения переменного сигнала с помощью осциллографа.

№ п/п	Сигнал генератора		Измерение сигнала осциллографом		
	Частота $f \pm \Delta f_{\Gamma}$, кГц	Напряжение $U \pm \Delta U$, В	Напряжение		
			дел	$U_A \pm \Delta U_A$, В	$U_d \pm \Delta U_d$, В
1					
2					
3					

7. Установите переключатель «**В/дел**» так, чтобы исследуемый сигнал занимал 2/3 высоты экрана ЭО, при этом ручка плавной регулировки на этом переключателе должна быть в крайнем положении.

8. Измерьте на экране высоту удвоенной амплитуды в делениях и переведите ее в значение амплитуды напряжения U_A . Запишите результаты измерений в табл. 1.1.

Пример. Высота удвоенной амплитуды $H = 5,6$ дел, переключатель «**В/дел**» находится в положении «**0,5**». Тогда амплитудное значение напряжения равно

$$U_A = 1/2 \times 5,6 \text{ дел} \times 0,5 \text{ В/дел} = 1,4 \text{ В.}$$

9. Установите частоту сигнала генератора больше первоначальной в 2 раза, а потом в 4 раза при первоначальном значении напряжения (если напряжение на генераторе изменяется при изменении частоты, то подрегулируйте его).

Далее повторите действия пп. 7 – 8, записывая результаты в табл. 1.1.

Измерение периода и частоты электрических колебаний.

10. Не изменяя последних значений напряжения и частоты сигнала с генератора, запишите их в табл. 1.2.

11. Установите переключатель «**В/дел**» в положение, при котором двойная амплитуда сигнала занимала бы 2/3 высоты экрана.

12. Установите переключатель «**ms/дел, μ s/дел**» (переключатель развертки времени) в такое положение, чтобы отчетливо можно было померить один или несколько периодов

сигнала в делениях. Переведите их в значения времени и запишите полученные значения в табл. 1.2.

Пример. Четыре периода колебаний занимают на экране 8,8 деления при положении переключателя развертки 10 $\mu\text{s}/\text{дел}$.

Период колебаний

$$T = 8,8 \text{ дел} \times 20 \mu\text{s}/\text{дел} : 4 = 176 : 4 = 44 \mu\text{s} (\text{мкс}) = 0,044 \text{ мс.}$$

Частота

$$f = 1/T = 1 : (44 \times 10^{-6}) = 10^6 : 44 \approx 22,7 \text{ кГц.}$$

Таблица 1.2. Измерение периода и частоты сигнала с помощью осциллографа.

№ п/п	Сигнал генератора		Измерение сигнала осциллографом		
	Частота $f \pm \Delta f_{\Gamma}$, кГц	Напряжение $U \pm \Delta U$, В	Период, дел	Период $T \pm \Delta T$, мс	Частота $f \pm \Delta f$, кГц
1					
2					
3					

13. Проведите измерения в пп. 11 – 12 для двух других частот (*по указанию преподавателя*). Результаты запишите в табл. 1.2.

Обработка полученных данных.

- Рассчитайте значения действующих значений напряжения и погрешностей по формулам

$$U_{\text{д}} = U_{\text{А}} / \sqrt{2}, \Delta U_{\text{д}} = \Delta U_{\text{А}} / \sqrt{2}, \Delta U = \gamma U_{\text{МАКС}},$$

где $\Delta U_{\text{А}}$ – цена малого деления шкалы ЭО, и запишите в табл. 1.1.

- Рассчитайте значения частоты и погрешностей частоты и периода по формулам

$$f = 1/T, \Delta f = \Delta T/T^2,$$

где ΔT – цена малого деления шкалы ЭО, и запишите в табл. 1.2.

Значение погрешности частоты ГНЧ Δf_{Γ} – цена деления шкалы генератора.

Задание 2. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний с неодинаковыми частотами.

1. Включите приборы, и дайте время на прогрев не менее трех минут.

2. Меняя частоту ГНЧ (ручками «Множитель» и «Частота»), получите на экране ЭО кривые, возникающие в результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний.

3. Зарисуйте наблюдаемые кривые складываемых колебаний с отношением частот: 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, и разностью фаз 0 , $\pi/2$ и π для каждого отношения.

Напишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. Как происходит отклонение луча в электронно-лучевой трубке?
2. Каково назначение генератора пилообразных колебаний в осциллографе?
3. Как измерить амплитуду и длительность сигнала с помощью осциллографа?
4. При каких условиях траектория движения точки, участвующей во взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты, является прямолинейной?
5. При каких условиях траектория движения точки, участвующей во взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты, является окружностью?
6. При каких условиях траектория движения точки, участвующей во взаимно перпендикулярных колебаниях, является фигурой Лиссажу?
7. Как получить на экране осциллографа фигуры Лиссажу?

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1987.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. М.: Наука, 1988.