

Лабораторная работа №330

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ: УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ

Приборы и принадлежности: осциллограф С1-1, понижающий трансформатор 220/127 В, реостат, вольтметр, миллиамперметр, магазин сопротивлений, лабораторная панель.

Введение. Электронный осциллограф предназначен для визуального наблюдения на экране быстро меняющегося напряжения периодических и одиночных сигналов в радиотехнических и электротехнических цепях. С помощью осциллографа можно не только видеть процесс изменения их со временем, но и измерять амплитуду, длительность коротких импульсных сигналов, частоту периодических процессов и т.п. Кроме того, осциллограф дает возможность измерять силу тока, сопротивление, а также с помощью соответствующих преобразователей исследовать изменение *неэлектрических* величин (давление, упругое напряжение, температуру и др.).

Основные достоинства электронно-лучевого осциллографа следующие: 1) высокая чувствительность; 2) малая инерционность, позволяющая изучать процессы длительностью от секунд до наносекунд.

А. Парк электронных осциллографов в настоящее время весьма разнообразен, но в любом из этих приборов есть главная часть – *электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)*, в которой происходит преобразование электрического сигнала в видимый образ.

Трубка состоит из откачанной до высокого вакуума (порядка 10^{-6} мм рт.ст.) стеклянной колбы, внутри которой расположены катод (2) с подогревателем (1), управляющий электрод-модулятор (3), первый (фокусирующий) анод (4), второй анод (5), вертикально отклоняющие (6) и горизонтально отклоняющие пластины (7) (рис.1).

Передняя часть колбы, обращенная к наблюдателю, – экран (8) – покрыта изнутри флюоресцирующим веществом, светящимся под действием пучка попадающих на него электронов.

Подогреватель, катод, модулятор и оба анода образуют так называемую электронную пушку (рис.2). Обозначения деталей ЭЛТ на этом рисунке такие же, как на рис.1. Назначение электронной пушки – сформировать узкий направленный пучок электронов и обеспечить управление его интенсивностью и фокусировкой.

Б. Модулятор с анодами образует фокусирующую систему. На рис.2 штриховыми линиями показаны примерные границы пучка электронов в ЭЛТ на пути от места его возникновения – катода до экрана. Тонкие кривые линии являются следами эквипотенциальных поверхностей электрических полей на плоскости рисунка.

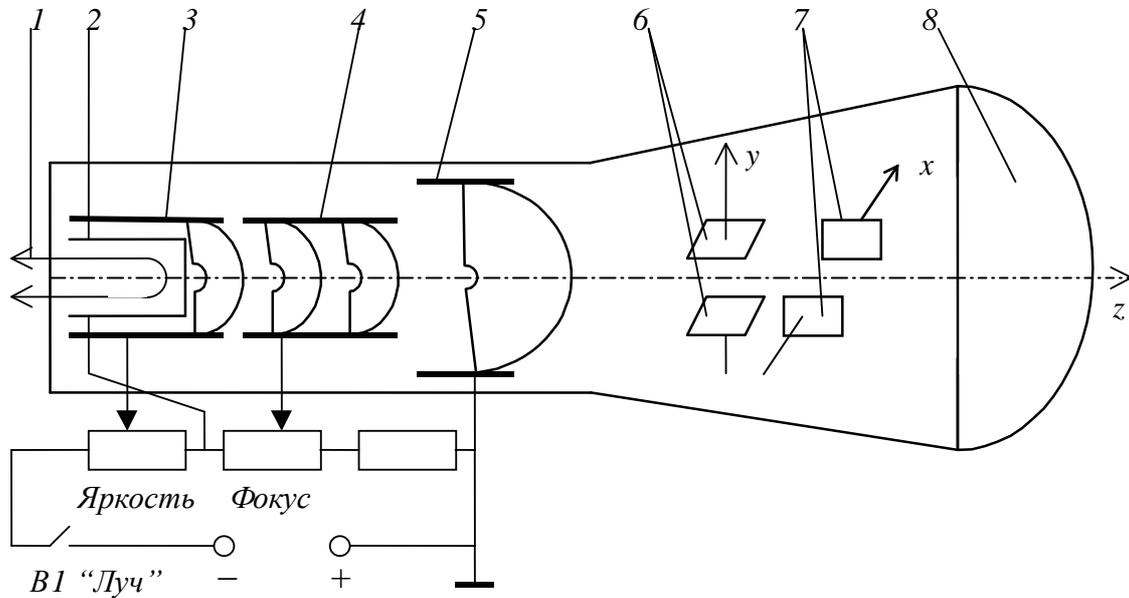


Рис.1

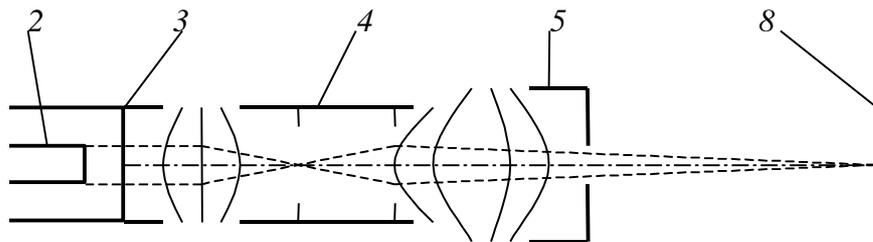


Рис.2

Потенциал модулятора изменяется относительно катода от нуля до небольшого отрицательного значения, благодаря чему регулируется количество электронов, пролетающих через его диафрагму, а следовательно, и яркость изображения на экране.

Потенциал первого анода составляет сотни вольт относительно катода, в то время как потенциал второго анода значительно выше – 1-5 кВ. Основное назначение анодов – придать электронам направленное движение со значительной скоростью в сторону экрана. Таким образом, аноды выполняют функции ускоряющих электродов, причем основная роль в этом процессе принадлежит второму.

В. Фокусирующее действие электрического поля поясняет рис.3. Пусть электрон подлетает со скоростью \vec{v}_1 к эквипотенциальной поверхности с

потенциалом V_1 . Его скорость лежит в плоскости рисунка и составляет угол α_1 с направлением электрического поля (с нормалью к эквипотенциальной поверхности, на рисунке – к линии). Спроецируем вектор скорости на оси координат

$$v_{1z} = v_1 \cos \alpha_1, \quad v_{1y} = v_1 \sin \alpha_1, \quad v_{1x} = 0.$$

Векторы скорости на рис. 3 обозначены жирным шрифтом, проекции векторов

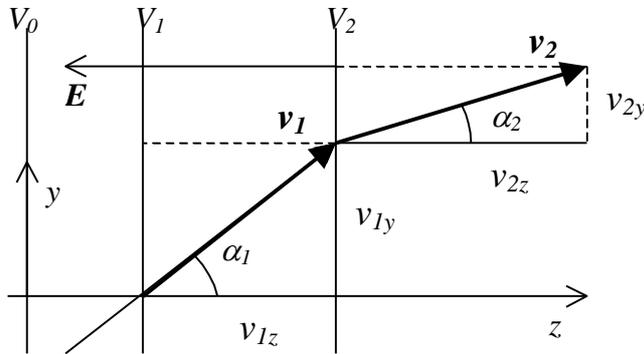


Рис.3

на оси координат – светлым. При переходе к следующей эквипотенциальной линии с потенциалом V_2 проекция скорости на ось y не изменяется, поскольку в этом направлении электрическая сила на электроны не действует, а проекция на ось z изменится.

По условию $V_2 > V_1$,

поэтому v_{2z} увеличится по сравнению с v_{1z} и траектория электрона приблизится к направлению поля, заданному вектором E . Рассчитаем изменение угла α . На основании равенства проекций скорости на ось y можно написать, что

$$v_1 \sin \alpha_1 = v_2 \sin \alpha_2,$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_2}{v_1}. \quad (1)$$

Пусть скорость электрона на первой эквипотенциали V_0 близка к нулю. Тогда кинетическая энергия электрона $mv_1^2/2$ на следующей эквипотенциальной линии равна eV_1 , а на третьей эквипотенциальной линии его энергия $mv_2^2/2 = eV_2$. Переходя в формуле (1) от скорости к потенциалу,

получим

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \sqrt{\frac{V_2}{V_1}}. \quad (2)$$

Формула (2) определяет «преломление» траектории электрона в электрическом поле и аналогична закону преломления света, из которого следует, что $\alpha_2 < \alpha_1$.

Таким образом, рассмотренная система электродов ЭЛТ с описанной конфигурацией электрических полей действует на пучок электронов как две собирающие линзы (так называемые *электростатические линзы*). Изменяя напряжение на фокусирующем электроде (ручка «Фокус» на панели управления осциллографа), можно изменять структуру эквипотенциальных поверхностей *обеих* электростатических линз и фокусное расстояние системы. При правильно установленных потенциалах на всех электродах пучок фокусируется на флюоресцентном экране (см. рис.2).

Г. Рассмотрим действие отклоняющих пластин (рис.4). При отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах электронный пучок попадает в центр экрана. Если же на верхнюю пластину подать положительный потенциал, а на нижнюю – отрицательный, то он отклонится в направлении положительно заряженной пластины и световое пятно на экране переместится вверх. При смене полярности на противоположную пятно смещается от центра вниз.

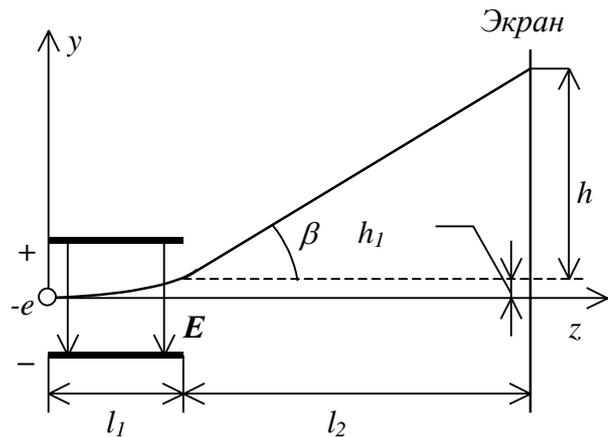


Рис.4

Таким образом, каждому значению напряжения на пластинах соответствует определенное место светового пятна на экране.

Пусть электрон, двигаясь вдоль оси z со скоростью v_0 , влетает в однородное электрическое поле пары вертикально отклоняющих пластин. В начальный момент вектор скорости электрона перпендикулярен напряженности электрического поля пластин E . Электрическое поле второй пары пластин пока будем считать равным нулю.

Движение электрона вдоль оси z является равномерным, так как все ускоряющие поля пройдены и остались позади

$$z = v_0 t. \quad (3)$$

Движение вдоль оси y – равноускоренное с ускорением a до той поры, пока электрон находится в пространстве между пластинами

$$y = \frac{at^2}{2}. \quad (4)$$

Ускорение электрона можно найти из второго закона Ньютона

$$a = \frac{eE_y}{m}. \quad (5)$$

Подставляя ускорение a и время t из формулы (3) в выражение (4), получим

$$y = \frac{eE_y}{2mv_0^2} z^2. \quad (6)$$

Таким образом, траектория движения электрона между пластинами представляет собой параболу. На выходе из этого пространства (т.е. при $z=l_1$) траектория отклоняется от первоначального направления на угол β и смещается от оси z на величину h_1

$$h_1 = \frac{eE_y}{2mv_0^2} l_1^2.$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{eE_y l_1}{mv_0^2} \quad (7)$$

где l_1 – длина отклоняющих пластин.

Выражение (7) получено путем дифференцирования уравнения (6) по z .

Найдем отклонение по вертикали светового пятна на экране осциллографической трубки h от его центра. Обозначим расстояние от пары отклоняющих пластин до экрана l_2

$$h = h_1 + l_2 \operatorname{tg}\beta = \frac{eE_y l_1}{mv_0^2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right). \quad (8)$$

Выражение в скобках, которое представляет собой расстояние до экрана от середины пластин, обозначим просто l . Тогда

$$h = \frac{eE_y l_1 l}{mv_0^2}. \quad (9)$$

Скорость электронов v_0 определяется потенциалом второго анода

$$\frac{mv_0^2}{2} = eV_2. \quad (10)$$

Напряженность поля между отклоняющими пластинами равна

$$E_y = \frac{U_y}{d}, \quad (11)$$

где U_y – напряжение между пластинами, d – расстояние между ними.

Подставляя полученные выражения для скорости электронов и напряженности поля в формулу (9), окончательно получим

$$h = \frac{l_1 l}{2dV_2} U_y. \quad (12)$$

Итак, смещение луча на экране пропорционально напряжению на отклоняющих пластинах. Из формулы (12) можно определить чувствительность вертикально отклоняющих пластин

$$S_y = \frac{h}{U_y} = \frac{l_1 l}{2dV_2}, \quad [\text{мм/В}]. \quad (13)$$

Чувствительностью называется физическая величина, показывающая смещение луча по экрану в мм под действием приложенного напряжения один вольт. Она зависит от геометрических параметров ЭЛТ (l , l_1 , d) и ускоряющего напряжения V_2 . Аналогично вычисляется чувствительность горизонтально отклоняющих пластин – S_x .

Д. Принцип получения осциллограмм, т.е. видимого изображения формы изучаемого напряжения, графика $U(t)$, на экране осциллографа, следующий.

Если на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ подать переменное периодически изменяющееся напряжение с частотой, например, 50 Гц, то электронный луч будет колебаться в вертикальной плоскости с такой частотой

и 50 раз в секунду он “начертит” на экране светящуюся вертикальную линию длиной L_y (рис.5). Если же переменное напряжение подать на горизонтально отклоняющие пластины, то электронный луч оставит на экране трубки горизонтальную линию.

Для исследования напряжений, изменяющихся со временем, используются обе пары отклоняющих пластин. На вертикально отклоняющие пластины подается исследуемое напряжение, на пару горизонтально отклоняющих пластин – так называемое *напряжение развертки*.

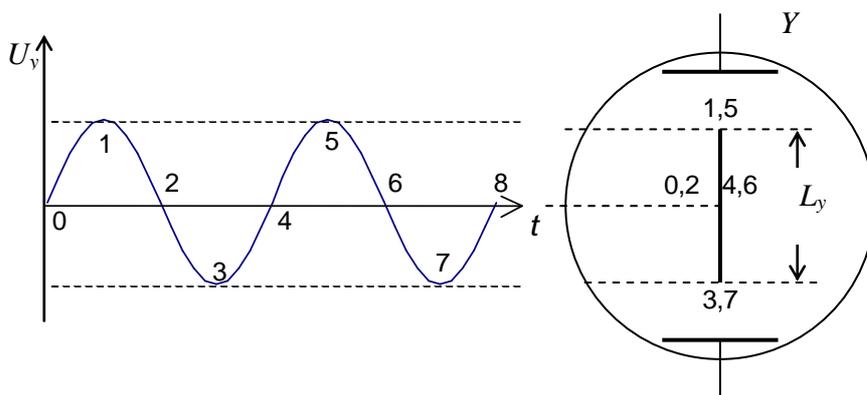


Рис.5

Назначение развертки состоит в том, чтобы заставить луч перемещаться по экрану слева направо с постоянной скоростью (смещение пропорционально времени), а при достижении правого края экрана – очень быстро возвращаться в исходное положение, и чтобы этот процесс мог повторяться периодически (рис.6). Рассмотрим местоположение луча на экране осциллографа в различные моменты времени процесса развертки.

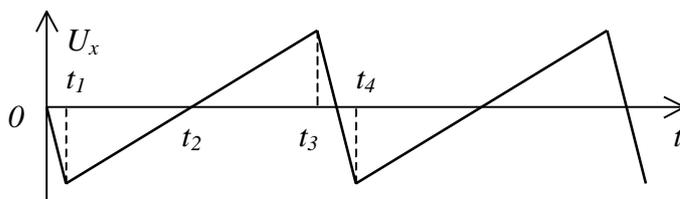


Рис.6

Пусть на вертикально отклоняющих пластинах напряжение отсутствует, а на горизонтально отклоняющие пластины подано напряжение развертки U_x указанной выше формы (рис.6). В момент t_1 луч осциллографа находится в крайнем положении слева от центра экрана. По мере увеличения напряжения луч перемещается вправо и в момент t_2 он проходит через центр экрана, а в момент t_3 достигает крайнего правого положения. В течение промежутка $t_3 - t_4$ луч быстро возвращается в исходную позицию на левом краю экрана, и процесс повторяется. Горизонтальная линия, которую при этом прочерчивает луч, называется *линией развертки*.

Напряжение развертки вырабатывается в самом осциллографе генератором развертки, который может работать в различных режимах, основные из них – *периодический* (автоколебательный) и *ждущий*.

Для наблюдения формы периодически изменяющихся напряжений применяется автоколебательный режим развертки (рис.7). На приведенном рисунке период изменения пилообразного напряжения в два раза больше периода колебаний исследуемого напряжения, поэтому на экране одновременно видны два периода синусоиды. Начало развертки ($t.a$)

совпадает с начальной точкой синусоиды (т.0), конец развертки (т.в) – с окончанием второго периода синусоиды (т.8).

Процессы, повторяющиеся через неодинаковые промежутки времени, а также имеющие характер коротких периодических или однократных импульсов, наблюдать при периодической развертке сложно. Значительно лучшие условия наблюдения таких сигналов будут в том случае, если начало развертки совпадает с моментом поступления сигнала на вход осциллографа.

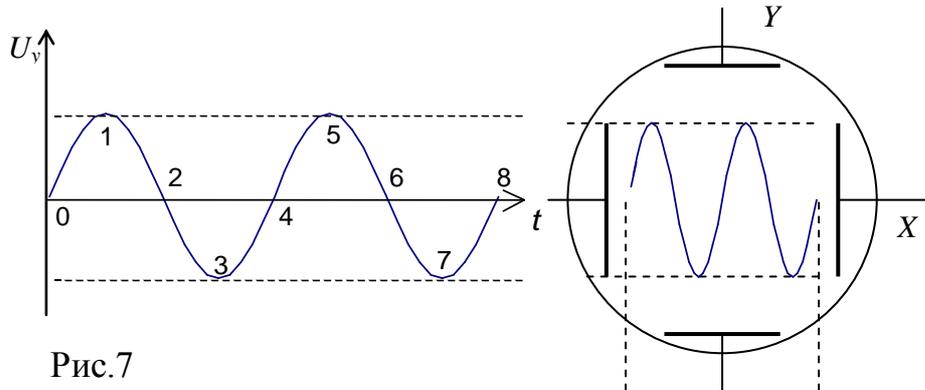
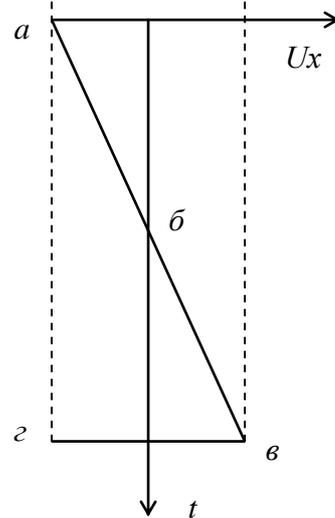


Рис.7

Подобные развертки называются ждущими или однократными. Длительность процесса развертки должна быть несколько больше длительности исследуемого импульса, тогда он целиком будет укладываться в пределы экрана.

Генератор развертки, переключенный на ждущий режим работы, приводится в действие внешним запускаящим сигналом, под влиянием которого он вырабатывает только один «пилообразный» импульс, после чего возвращается в исходное состояние и «ждет» поступления следующего сигнала запуска.



Е. Рассмотрим блок синхронизации. Как частота колебаний генератора пилообразного напряжения так и его амплитуда не остаются строго постоянными. Поэтому изображение на экране ЭЛТ будет сдвигаться то в одну, то в другую сторону вдоль горизонтальной оси. Для достижения устойчивости осциллограммы напряжение развертки синхронизируют с исследуемым напряжением. Синхронизация в простейшем случае состоит в том, что начало каждого периода пилообразного напряжения принудительно (воздействием исследуемого сигнала) совмещают с одной и той же фазой исследуемого сигнала. Тогда при случайных изменениях частоты любого из этих напряжений они оказываются связанными, а значит синхронными. Частота синхронизирующего напряжения может быть и намного больше

частоты развертки. Тогда синхронизация осуществляется один раз за несколько периодов исследуемого напряжения.

В качестве напряжения синхронизации в осциллографе часто используют напряжение исследуемого сигнала (т.н. «внутренняя» синхронизация). Иногда необходимо синхронизировать генератор развертки напряжением, не связанным с исследуемым сигналом («внешняя» синхронизация). Поэтому в генераторах горизонтальной развертки обычно предусматривают переключение вида синхронизации: «Внутренняя», «Внешняя», «От сети».

Ж. Заметим, что чувствительность ЭЛТ обычно невелика. Для отклонения луча на весь экран нужны десятки и даже сотни вольт на отклоняющих пластинах. Поэтому при исследовании малых напряжений сигнал приходится предварительно усиливать. Характеристиками усилителя – его линейностью и полосой пропускаемых частот – во многом определяется качество осциллографа.

Но если исследуемое напряжение достаточно велико и нет необходимости предварительного усиления, его можно подать непосредственно на отклоняющие пластины ЭЛТ. При этом искажение формы исследуемого сигнала практически отсутствует.

Таким образом, электронный осциллограф обязательно должен содержать следующие узлы: электронно-лучевую трубку, усилитель вертикального отклонения, генератор развертки, устройство синхронизации и источник питания вышеуказанных электронных блоков.

Приборостроительная промышленность выпускает осциллографы различного назначения и специализации: многолучевые, скоростные, импульсные, с запоминающей трубкой и т.д. В них содержатся перечисленные выше обязательные элементы. Но кроме них могут быть и другие блоки, такие, как калибратор длительности развертки, калибратор амплитуды, которые расширяют измерительные возможности осциллографа и делают его, в ряде случаев, незаменимым прибором в лабораторных и производственных условиях.

Целью данной лабораторной работы является изучение осциллографа С1-1, освоение его органов управления, приобретение навыков получения простых осциллограмм и производства некоторых измерений. Несмотря на то, что в настоящее время в наших условиях имеются более современные приборы, мы остановили свой выбор именно на нем, так как для учебных целей он является наиболее подходящим. Например, практически все регулировки экспериментатор может выполнить сам с лицевой панели осциллографа, в то время как в большинстве современных моделей они либо скрыты, либо исключены, что упрощает работу с ними, но затрудняет изучение.

Описание осциллографа С1-1. Все органы управления осциллографа можно разделить на четыре группы.

Группа 1. Управление электронно-лучевой трубкой.

1. Ручкой «Яркость» изменяется потенциал модулятора по отношению к катоду (см. рис.1) и тем самым изменяется интенсивность электронного пучка и, следовательно, яркость изображения.

2. Ручкой «Фокус» изменяется потенциал первого анода, что изменяет преломляющие свойства электростатических линз.

3. Ручкой «Ось Y вверх, вниз» и ручкой «Ось X влево, вправо» задается постоянное напряжение одной из отклоняющих пластин по отношению к другой, что приводит к смещению светового пятна в желаемую сторону.

В некоторых моделях имеется тумблер-выключатель «Луч». С помощью его подается высокое напряжение на ускоряющий анод ЭЛТ. Его следует включать через 2-3 минуты после включения тумблера «Сеть». Это время необходимо для разогрева катодов электронных ламп и ЭЛТ.

Группа 2. Управление генератором развертки.

1. «Диапазон частот» – ступенчатое регулирование частоты развертки. Если переключатель поставить в положение «Выкл», то усилитель горизонтального отклонения отключается от генератора развертки и соединяется с клеммами «Вход X », следовательно, развертка будет производиться тем напряжением, которое на эти клеммы подано.

2. «Частота плавно» – плавное регулирование частоты развертки в пределах диапазона ее ступенчатого изменения. Обе эти ручки позволяют установить частоту развертки от 2 Гц до 50 кГц. Частота развертки обычно выбирается такой, чтобы на экране укладывалось 2-4 периода исследуемого напряжения.

3. Переключатель «Синхронизация» имеет три позиции: «Внутренняя» – синхронизация развертки производится исследуемым сигналом, подача которого осуществляется внутри осциллографа; «Внешняя» – синхронизация осуществляется сигналом, поданным на клемму «Внешн. синхр.» и «От сети» – подача синхронизирующего напряжения частотой 50 Гц происходит также внутри прибора.

4. Ручкой «Амплитуда синхронизации» устанавливается такая величина синхронизирующего напряжения, при которой изображение на экране становится устойчивым и неподвижным.

Группа 3. Управление работой усилителя вертикального отклонения.

1. Переключатель «Ослабление 1:1; 1:10; 1:100» дает возможность снизить напряжение, поступающее на вход усилителя вертикального отклонения в 10 или 100 раз по сравнению с исходным, когда оно велико.

2. Плавная регулировка усиления производится ручкой «Усиление» в зоне Y -входа осциллографа.

Группа 4. Управление работой усилителя горизонтального отклонения.

Оно осуществляется единственной ручкой «Усиление», расположенной в зоне X -входа осциллографа.

Кроме этого на передней панели осциллографа имеется клемма «Контр. сигнал». К ней подведено синусоидальное напряжение 6,3 В, 50 Гц от блока

питания осциллографа. Контрольный сигнал служит для проверки работоспособности усилителей и осциллографа в целом.

Доступ к отклоняющим пластинам ЭЛТ можно получить, если открыть крышку на тыльной стороне осциллографа. За ней находятся две пары гнезд, обозначенные, соответственно, X и Y , и два тумблера-переключателя. Если тумблер установлен в положение «Усил.», это значит, что отклоняющие пластины соединены с усилителем осциллографа и исследуемое напряжение надлежит подавать на входные клеммы, расположенные на лицевой панели прибора. Если переключатели находятся в положении X и Y , то напряжение, подведенное к находящимся здесь гнездам с теми же обозначениями, подается на отклоняющие пластины непосредственно, минуя усилители.

Упражнение 1

Порядок включения и проверка работоспособности осциллографа

1. Изучите расположение ручек управления осциллографа и уточните назначение каждой из них.

2. Не включая прибор в сеть, подготовьте его к работе – установите ручки регуляторов в исходное положение:

- тумблеры «Сеть» и «Луч» – в положение «Выкл»,
- ручку «Яркость» поверните вправо до упора,
- ручку «Фокус» поставьте в среднее положение,
- ручки «Вверх–вниз», «Влево–вправо» – в среднее положение,
- регуляторы «Усиление» вертикального и горизонтального входов – в среднее положение,
- переключатель «Ослабление» – в положение $1:100$,
- переключатель частоты развертки «Диапазон частот» – в положение 130 Гц.

3. И только теперь можно включить осциллограф в сеть. При этом должна загореть сигнальная лампа. После прогрева прибора в течение 2-3 минут включите тумблер «Луч».

На экране должно появиться яркое размытое световое пятно или горизонтальная полоса. Если на экране ничего нет, это означает, что электронный пучок находится за пределами экрана ЭЛТ и его следует туда вывести ручками «Вверх–вниз», «Вправо–влево».

4. Отрегулируйте яркость и фокусировку луча.

5. Ручкой «Усиление» по оси X растяните линию развертки на 8-10 делений масштабной сетки экрана.

6. Соедините проводником клемму «Контр. сигнал» с клеммой «Вход» усилителя вертикального отклонения, подав тем самым на него известное переменное напряжение – 6,3 В, 50 Гц.

7. Ручкой «Усиление» и переключателем «Ослабление» сделайте амплитуду колебаний на экране 5-8 делений сетки. Скорей всего эти колебания будут неустойчивыми, мелькать на экране.

8. Переключатель «Синхронизация» поставьте в положение «От сети».

9. Ручками регулировки частоты генератора развертки и ручкой «Амплитуда синхронизации» добейтесь устойчивого изображения 2-3 периодов колебаний.

Правильная синусоидальная форма полученного изображения свидетельствует о нормальной работе осциллографа.

Задание. 1. Получите на экране изображение одного полного периода синусоиды. Определите время прохождения лучом расстояния от левого до правого края изображения. Это время называется *длительностью развертки*.

2. Получите на экране два, а затем три полных периода синусоиды и также определите длительность развертки. Определите горизонтальный масштаб развертки, т.е. время прохождения одного деления шкалы. От чего зависит горизонтальный масштаб?

3. Определите чувствительность осциллографа при трех положениях ручки регулировки «Усиление» по оси Y (см. формулу (13)).

Упражнение 2 Определение чувствительности ЭЛТ

Согласно определению (13) чувствительностью вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ является физическая величина, равная следующему отношению:

$$S_y = \frac{h}{U_y}.$$

Если на пластины подано известное напряжение U , то на экране возникает вертикальная полоса длиной L_y . При синусоидальной форме кривой переменного напряжения

$$S_y = \frac{L_y}{2\sqrt{2}U}, \quad (14)$$

где U – действующее (эффективное) напряжение, которое показывает электроизмерительный прибор.

Аналогично определяется чувствительность горизонтально отклоняющих пластин S_x .

Измерения. 1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис.8). Выход потенциометра R соедините с вертикально отклоняющими пластинами Y , гнезда которых находятся под крышкой на тыльной стороне осциллографа. Вставьте штекеры в указанные гнезда и переведите расположенный здесь же тумблер в положение “ Y ”, отключив тем самым пластины от усилителя вертикального отклонения.

2. Движок потенциометра R сместите к его началу, т.е. в положение, соответствующее минимальному снимаемому с него напряжению.

3. Предложите преподавателю или лаборанту проверить собранную цепь.

4. Включите осциллограф. Отрегулируйте яркость изображения и фокусировку луча.

5. Изменяя потенциометром R напряжение U_y , сделайте длину вертикальной линии на экране $L_y = 40$ мм

и запишите соответствующее ей показание вольтметра в табл. 1, затем установите длину 60; 80; 100 мм.

6. Предварительно уменьшив напряжение до нуля, перенесите штекеры в гнезда X и произведите такие же измерения (как в п.5) по определению чувствительности горизонтально отклоняющих пластин.

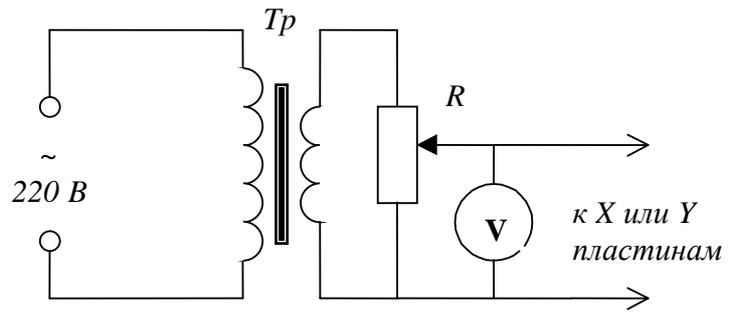


Рис.8

Таблица 1

$L_y, \text{мм}$	$U_y, \text{В}$	$U_{my}, \text{В}$	$L_x, \text{мм}$	$U_x, \text{В}$	$U_{mx}, \text{В}$

Обработка результатов измерений. 1. По результатам измерений постройте графики зависимости отклонения луча от амплитуды приложенного напряжения

$$L_x/2 = f_1(U_{mx}), \quad L_y/2 = f_2(U_{my})$$

2. Принимая во внимание формулу (14), из полученных графиков определите чувствительность S_x и S_y .

Упражнение 3 Измерение напряжения и силы тока

Измерение неизвестного напряжения является обратной задачей по отношению к определению чувствительности ЭЛТ (см. упр.2).

Неизвестное напряжение U_H подается на вертикально отклоняющие пластины и измеряется след луча на экране L_y . Амплитудное значение искомого напряжения определяется по графику $L_y/2 = f_2(U_{my})$ или вычисляется по формуле

$$U_{mH} = \frac{L_y}{2S_y}. \quad (15)$$

Если измеряемое напряжение невелико, то подача его на отклоняющие пластины непосредственно вызывает слишком малое отклонение луча, измерение которого становится затруднительным. В этом случае напряжение подается на вход осциллографа, где оно предварительно усиливается. Чтобы судить о величине измеряемого напряжения теперь, нужно знать коэффициент усиления усилителя. Максимальный коэффициент указан в паспорте осциллографа. Определение чувствительности входа осциллографа в промежуточных положениях регуляторов усиления производится так же, как описано в упр.1.

Измерение силы тока сводится к измерению падения напряжения на известном активном сопротивлении R_0 .

Измерения. 1.Соберите электрическую цепь по схеме (рис.9). В качестве резистора R_0 используется магазин сопротивлений.

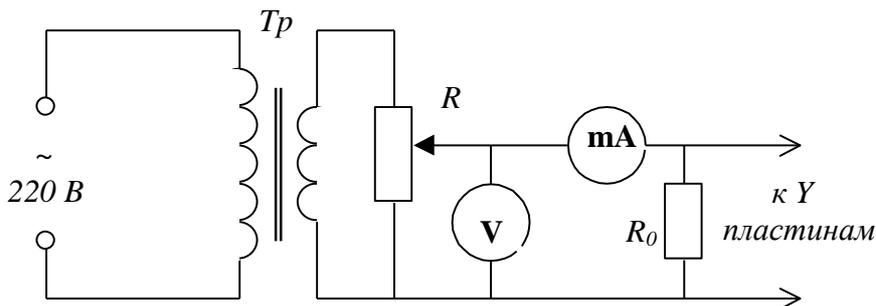


Рис.9

2.Установите на магазине сопротивление 2000 Ом.

3.Предложите преподавателю или лаборанту проверить правильность сборки цепи.

4.Включите

осциллограф и понижающий трансформатор в сеть.

5.Установите потенциометром напряжение по вольтметру 30 В.

6.Измерьте на экране длину следа L_y , возьмите отсчет по миллиамперметру. Результаты запишите в табл.2.

Таблица 2

$R_0, \text{ Ом}$	$I, \text{ mA}$	$L_y, \text{ мм}$	$U_y, \text{ В}$	$I_{\text{осц}}, \text{ mA}$

7.Измените R_0 , установив на магазине 3, затем 4 кОм. Результаты записывайте туда же.

Обработка результатов измерений. 1.Определите по графику $L_y = f_2(U_{my})$ напряжение U_{my} на сопротивлении R_0 .

2.По закону Ома рассчитайте силу тока в резисторе R_0

$$I_{\text{осц}} = \frac{U_{my}}{\sqrt{2}R_0}. \quad (16)$$

3.Силу тока в этой цепи можно определить из осциллографических измерений, не прибегая к графику,

$$I_{осц} = \frac{L_y}{2\sqrt{2}S_y R_0} \quad (17)$$

4. Впишите рассчитанные значения силы тока в табл.2 и сравните их с показаниями миллиамперметра. Выводы, сделанные в результате сравнения, запишите в своем лабораторном журнале.

Упражнение 4 Измерение активного сопротивления

Измерение неизвестного сопротивления состоит в сравнении падения напряжения на нем с падением напряжения на другом, известном сопротивлении, по которому протекает тот же ток.

Измерения. 1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис.10).

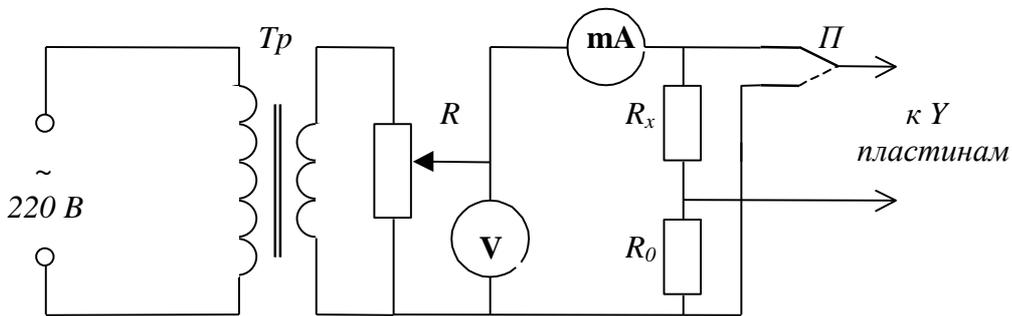


Рис.10

R_0 – одно из сопротивлений магазина (эталонное), R_x – резистор с неизвестным сопротивлением (установлен под панелью).

2. Установите на магазине сопротивление, например 2 кОм. Вообще говоря, оно может быть каким угодно. Но следует иметь в виду, что его нельзя брать слишком малым, так как при этом ток может оказаться значительным и превысит допустимую величину для магазина сопротивлений.

3. Включите осциллограф и трансформатор в сеть, установите напряжение по вольтметру 30 В.

4. Переключателем Π подключите вертикально отклоняющие пластины к R_0 . Измерьте длину вертикального следа L_0 и запишите результаты в табл.3.

Таблица 3

$R_0, Ом$	$L_0, мм$	$L_x, мм$	$R_x, Ом$

5. Переключите пластины на неизвестное сопротивление R_x , измерьте длину следа L_x .

6. Проведите аналогичные измерения с другими значениями эталонного сопротивления – 3 и 4 кОм.

Обработка результатов измерений. 1. Ток I , протекая по сопротивлениям R_x и R_0 , вызывает падение напряжения на них

$$U_x = IR_x, \quad U_0 = IR_0.$$

Разделив их почленно, получим такую пропорцию:

$$U_x/U_0 = R_x/R_0.$$

Длины вертикальных следов пропорциональны соответствующим напряжениям, поэтому

$$\frac{L_x}{L_0} = \frac{R_x}{R_0}.$$

Отсюда находится искомая величина неизвестного сопротивления

$$R_x = R_0 \frac{L_x}{L_0}. \quad (18)$$

2. Вычислите R_x для всех измерений, содержащихся в табл.3, найдите его среднее значение и погрешность по Стьюденту.

Упражнение 5

Определение мощности и сдвига фаз между током и напряжением

Известно, что активная мощность переменного тока на нагрузке Z вычисляется по формуле (см. лабораторную работу №325)

$$P = IU \cos \varphi, \quad (19)$$

где I и U – ток и напряжение (эффективные значения) на нагрузке Z , соответственно,

φ – сдвиг фаз между током и напряжением.

Осциллографический способ измерения тока и напряжения приведен выше. Рассмотрим, как определяется сдвиг фаз в случае, когда нагрузка состоит из последовательно соединенных резистора R_0 и активно-реактивной части Z (рис.11). В обеих частях протекает одинаковый переменный ток

$$I = I_m \cos \omega t.$$

Он создает на этих нагрузках падения напряжения

$$\begin{aligned} U_x &= IR_0 = I_m R_0 \cos \omega t, \\ U_y &= IZ = I_m Z \cos(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (20)$$

При изображенном на рис.11 варианте соединения отклоняющих пластин ЭЛТ с нагрузкой напряжение на активной нагрузке R_0 вызывает колебание луча в горизонтальном направлении, а напряжение на нагрузке Z – в вертикальном

$$\begin{aligned} x &= S_x U_x = S_x I_m R_0 \cos \omega t = a \cos \omega t, \\ y &= S_y U_y = S_y I_m Z \cos(\omega t + \varphi) = b \cos(\omega t + \varphi), \end{aligned} \quad (21)$$

где $a = S_x I_m R_0$, $b = S_y I_m Z$,

Z – модуль комплексного сопротивления нагрузки Z .

В результате на экране происходит сложение двух взаимно перпендикулярных колебаний различной амплитуды и отличающихся по фазе на φ радиан друг от друга. Такое физическое явление рассмотрено в лабораторной работе №331, где получено уравнение результирующего колебания – уравнение эллипса (5)

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \varphi = \sin^2 \varphi. \quad (22)$$

Ориентация эллипса на поверхности экрана зависит от разности фаз φ . Свяжем с ней некоторые характерные точки эллипса (рис.12).

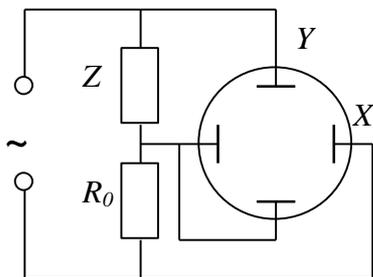


Рис.11

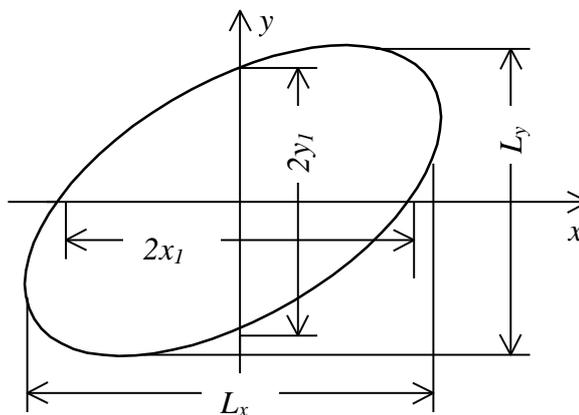


Рис.12

Если положить в уравнении (22) $x=0$, то получим ординаты точек пересечения эллипса с осью y

$$\frac{y_1^2}{b^2} = \sin^2 \varphi,$$

$$y_1 = \pm b \sin \varphi.$$

Пересечение с осью x найдем аналогично из условия $y=0$

$$\frac{x_1^2}{a^2} = \sin^2 \varphi, \quad \sin \varphi = \pm \frac{x_1}{a}.$$

$$x_1 = \pm a \sin \varphi. \quad (23)$$

Из уравнений (22) видно, что a и b – наибольшие отклонения луча от центра экрана, которые можно определить по изображению на экране (рис.12).

$$a = \frac{L_x}{2}, \quad b = \frac{L_y}{2}. \quad (24)$$

При этом формула для определения сдвига фаз φ согласно выражению (23) будет иметь следующий вид:

$$\varphi = \arcsin \frac{2x_1}{L_x}, \quad \text{или} \quad \varphi = \arcsin \frac{2y_1}{L_y}. \quad (25)$$

В формулу для вычисления мощности (19) входит $\cos \varphi$, который может быть определен из соотношений

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \sqrt{1 - \frac{4x_1^2}{L_x^2}} = \sqrt{1 - \frac{4y_1^2}{L_y^2}}. \quad (26)$$

Итак, активная мощность в цепи переменного тока синусоидальной формы, рассеиваемая на нагрузке Z , определяется из осциллографических измерений по формуле, составленной из выражений (19), (15), (17)

$$P_a = \frac{L_x L_y}{8S_x S_y R_0} \cos \varphi. \quad (27)$$

Измерения. 1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис.13).

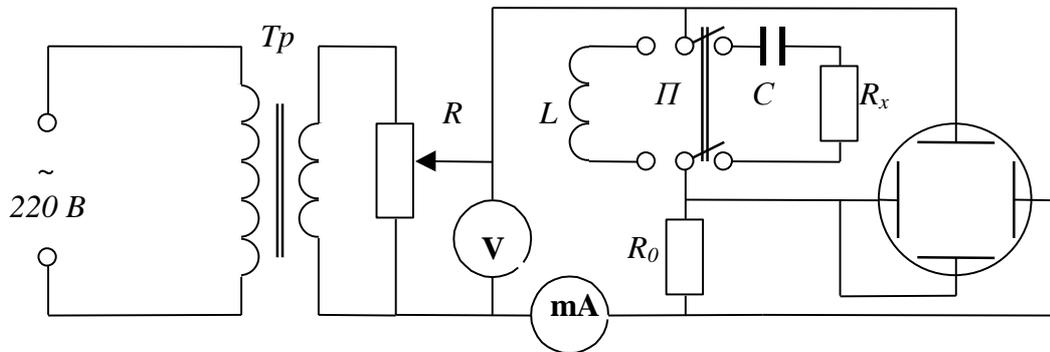


Рис.13

2. Поставьте на магазине сопротивление $R_0 = 800 \text{ Ом}$.
3. Предложите преподавателю или лаборанту проверить собранную цепь.
4. Включите осциллограф.
5. Переключатель Π поставьте на индуктивную нагрузку Z_L .
6. Включите трансформатор в сеть и потенциометром R установите по вольтметру напряжение 50 В.
7. Запишите в табл.4 R_0 и ток в нагрузке.

Таблица 4

R_0 Ом	I мА	L_x мм	L_y мм	x_1 мм	y_1 мм	$\sin \varphi$	φ град.	$\cos \varphi$	P_a Вт	P_{Π} ВА

8. На экране осциллографа должен быть виден эллипс. Если размеры его Вас не устраивают, их можно изменить только входным напряжением, так как усилители отключены и регуляторы усиления осциллографа не действуют.

Наложите на экран листочек кальки подходящих размеров и срисуйте аккуратно эллипс. Не сдвигая кальку, поставьте переключатель Π в нейтральное положение. При этом на экране должна возникнуть вертикальная линия. Отметьте местоположение ее концов на кальке, чтобы потом прочертить прямую по линейке.

9. Не сдвигая кальку, снизьте входное напряжение, показываемое вольтметром, до нуля. При этом вертикальная линия стягивается в точку, которую отметьте на кальке (центр эллипса).

10. Запишите на кальке вид нагрузки и величину R_0 .

11. Повторите действия, указанные в п. 7-10, для R_0 600 и 400 Ом.

12. Поставьте переключатель Π на емкостную нагрузку Z_C и проведите аналогичные измерения при значениях R_0 1; 2; 3 кОм.

Обработка результатов измерений. 1. Проведите через центр каждого эллипса вторую координатную ось перпендикулярно имеющейся.

2. Определите на всех кальках L_x, L_y, x_1, y_1 .

3. Рассчитайте по ним $\sin \varphi, \cos \varphi, \varphi$.

4. Рассчитайте активную мощность на нагрузке Z по формуле (27).

5. Определите полную мощность на нагрузке по формуле

$$P_{II} = IU = I \frac{L_y}{2\sqrt{2}S_y}, \quad (28)$$

где I – ток, измеренный миллиамперметром.

Контрольные вопросы

1. Назначение электронного осциллографа. Какими уникальными качествами он обладает как измерительный прибор?

2. Из каких основных блоков состоит осциллограф? Каково назначение каждого из них?

3. Устройство электронно-лучевой трубки. Какие физические явления используются при ее работе?

4. Каким образом регулируется яркость изображения на экране?

5. Как достигается фокусировка электронного пучка на экране?

6. Рассмотрите движение электрона в поперечном электрическом поле отклоняющих пластин и получите формулу чувствительности.

7. Как измерить чувствительность отклоняющих пластин осциллографа? Можно ли подобным способом измерить чувствительность вертикального входа осциллографа?

8.Что такое развертка? Какие требования предъявляются к напряжению развертки и генератору этого напряжения? Что такое ждущая развертка?

9.Что такое синхронизация развертки?

10.Опишите принцип получения осциллограммы переменного периодического электрического сигнала.

11.Как производится измерение амплитуды сигнала? В чем особенность осциллографического способа измерения напряжения по сравнению с измерением его вольтметром?

12.Можно ли измерить с помощью осциллографа ток и электрическое сопротивление резистора? Как это сделать?

13.Как измерить мощность переменного электрического тока, потребляемую нагрузкой?

Список рекомендуемой литературы

- 1.Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1977. §188.
- 2.Кортнев А.В.,Рублев Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике. М.: Высшая школа, 1963. С.286.
- 3.Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1998. Кн.2. §10.2.