

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Экспериментальная и теоретическая физика»

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Лабораторная работа № 2

Минск
БНТУ
2012

УДК 621.317.755(076.5)(075.8)

ББК 31.221.я7

Э45

Составители:

*В. В. Чёрный, Э. Н. Александрова, Д. С. Бобученко,
Д. С. Доманевский, В. Э. Малаховская*

Рецензенты:

И. А. Хорунжий, Р. И. Воробей

Электронный осциллограф: лабораторная работа № 2 / сост.
Э45 В. В. Чёрный [и др.]. – Минск : БНТУ, 2012. – 23 с.

В издании приводится описание (теоретическая часть, схемы измерительных приборов и задание) лабораторной работы, посвященной изучению электронного осциллографа.

Предназначено для студентов инженерных специальностей, изучающих раздел курса общей физики «Электричество и магнетизм».

УДК 621.317.755(076.5)(075.8)

ББК 31.221.я7

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

Цели:

1. Изучить законы движения заряженных частиц в электрическом поле.
2. Изучить принцип действия и устройство электронного осциллографа.
3. Освоить методику измерений с помощью осциллографа.

Задачи:

1. Проверить правильность калибровки осциллографа.
2. Измерить с помощью осциллографа параметры исследуемых электрических сигналов: напряжения, длительности, периоды и т. п.
3. Изобразить графики исследуемых сигналов (осциллограммы).

Теоретические сведения

Функциональная схема осциллографа

Электронный осциллограф предназначен для визуального наблюдения осциллограмм, имеющих вид линий или фигур и представляющих собой функциональную зависимость двух физических величин, преобразованных в пропорциональные им значения электрического напряжения.

Наиболее часто исследуется зависимость напряжения от времени (форма сигнала). Функциональная схема осциллографа представлена на рис. 1.

С его помощью можно измерять постоянное и переменное напряжения и временные параметры (период, длительность и т. д.).

Основным элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), представляющая собой стеклянный баллон, в котором создан вакуум. Внутри баллона помещены электронная пушка, аноды, отклоняющие пластины и экран (рис. 2).

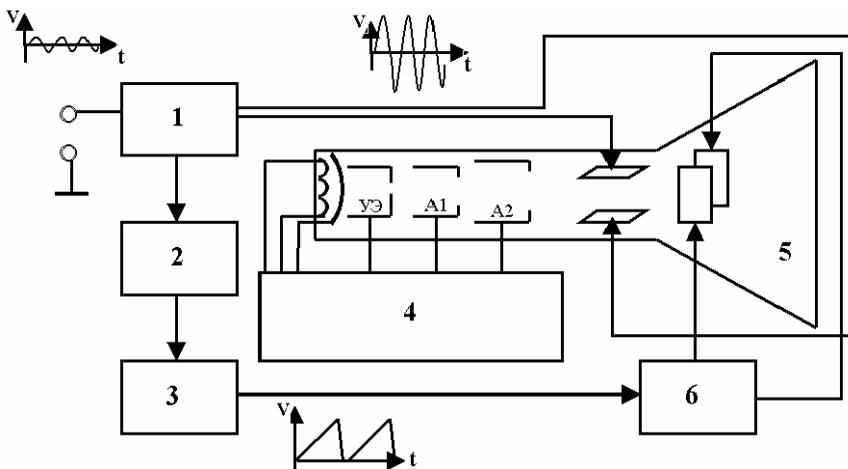


Рис. 1. Функциональная схема осциллографа:

- 1 – усилитель V ; 2 – блок синхронизации; 3 – генератор пилообразных сигналов; 4 – блок питания трубки; 5 – электронно-лучевая трубка; 6 – усилитель X

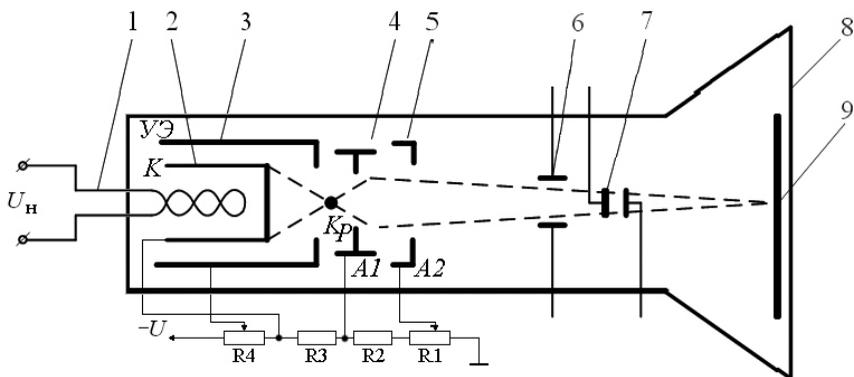


Рис. 2. Электронно-лучевая трубка:

- 1 – нить накала; 2 – катод; 3 – управляющий электрод (модулятор); 4, 5 – первый и второй аноды; 6, 7 – отклоняющие пластины; 8 – стеклянная колба; 9 – экран

Электронная пушка

Электронная пушка предназначена для получения, формирования и ускорения пучка электронов и состоит из нити накала, катода К, управляющего электрода (УЭ или модулятора), двух анодов A_1 и A_2 .

Катод разогревается от нити накала до высокой температуры. В результате термоэлектронной эмиссии из него вылетают электроны под различными углами к оси трубки. Далее они попадают в электрическое поле между катодом и УЭ, имеющим форму цилиндра с отверстием в центре. На управляющий электрод подается отрицательный потенциал относительно катода. Под действием поля, созданного УЭ, поток электронов становится сходящимся и выходит через узкое отверстие в УЭ. Ток пучка, т. е. число пролетающих электронов за единицу времени, можно регулировать изменением потенциала управляющего электрода. Его поле оказывает еще и тормозящее действие на электроны, возвращая часть из них обратно на катод. При этом регулируется яркость светящегося пятна, возникающего на экране ЭЛТ. После УЭ пучок электронов вначале сходится в виде круга небольшого диаметра в точке Кр, называемой *кроссвером* (см. рис. 2), а затем расходится. Далее расходящийся пучок попадает в электрическое поле между УЭ и первым анодом A_1 и ускоряется в нем, так как потенциал A_1 выше потенциала УЭ. Затем пучок оказывается в электрическом поле фокусирующей системы, состоящей из анодов A_1 и A_2 . Внутри анода A_1 имеется диафрагма с узким отверстием для ограничения сечения пучка. В пространстве между A_1 и A_2 происходит дополнительный разгон электронов за счет ускоряющего электрического поля, поскольку потенциал A_2 выше потенциала A_1 . Это необходимо для сообщения электронам кинетической энергии, достаточной для возбуждения молекул люминофора экрана (свечения).

Рассмотрим подробнее принцип фокусировки электронного пучка. Диаметр A_2 больше диаметра A_1 . Между анодами воз-

никает электрическое поле цилиндрической симметрии, силовые линии которого направлены от A_2 к A_1 , так как потенциал A_2 выше потенциала A_1 . Эти линии и изображены на рис. 3, *a*.

В точке A (рис. 3, *б*) существует электрическое поле, вектор напряженности которого \vec{E} направлен по касательной к силовой линии.

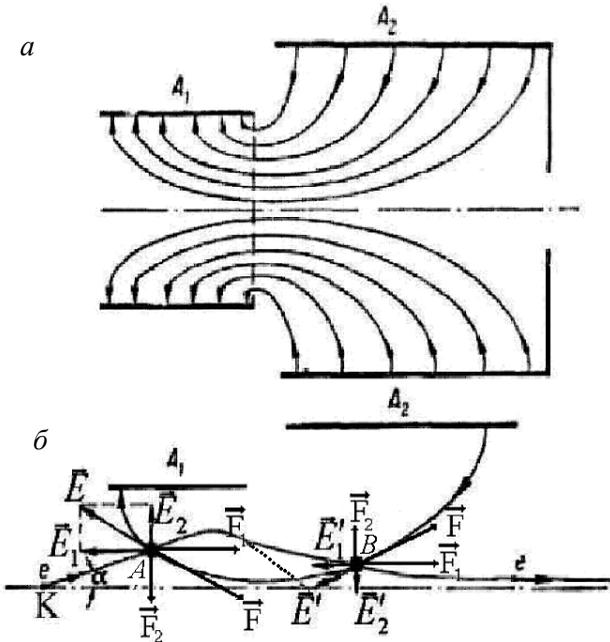


Рис. 3. Фокусирующая система электронно-лучевой трубки:
a – электрическое поле между анодами; *б* – траектория электрона

Разложим вектор напряженности поля на две составляющие – продольную \vec{E}_1 и поперечную \vec{E}_2 (параллельную оси трубки и перпендикулярную к оси).

Продольная составляющая \vec{E}_1 действует на электрон с силой $\vec{F}_1 = e \vec{E}_1$, где e – заряд электрона, и ускоряет его вдоль оси трубки (так как $e < 0$). Поперечная составляющая \vec{E}_2 –

с силой $\vec{F}_2 = e\vec{E}_2$, направленной перпендикулярно оси трубки, и прижимает его к ней тем сильнее, чем электрон дальше от оси, так как у стенок анода поперечная составляющая \vec{E}_2 увеличивается вследствие изгиба силовых линий.

Аналогичная картина наблюдается внутри второго анода (например, в точке B). Разница лишь в том, что поперечная составляющая \vec{E}'_2 направлена к оси трубки, а сила $F'_2 = e\vec{E}'_2$ – в противоположную сторону и увеличивается по мере приближения к оси. Продольная составляющая $\vec{F}'_1 = e\vec{E}'_1$ силы \vec{F}' , как и в первом случае, ускоряет электрон в направлении его движения.

После прохождения первого анода электроны начинают быстро приближаться к оси. Если бы отсутствовало рассеивающее поле второго анода, электроны достигли бы оси по кривой, изображенной точками на рис. 3, б. Однако сила F'_2 направлена от оси и существенно уменьшает составляющую скорости, направленную к оси. В результате электроны в дальнейшем приближаются к оси плавно. Фокусирующее действие системы преобладает над рассеивающим, так как на первом участке скорость электронов ниже, а время движения – больше. Кроме того, диаметр первого анода меньше и силовые линии электрического поля изгибаются вблизи него сильнее. Поэтому поперечная составляющая поля всегда больше на участке первого анода. Изменяя разность потенциалов между анодами, можно создать такое электрическое поле, при котором электронный пучок окажется сфокусированным точно в плоскости экрана в виде пятна диаметром 0,3–0,7 мм. После прохождения анодов электронный луч движется через вертикально и горизонтально отклоняющие пластины, потенциалы которых выше потенциала A_2 , и попадает на экран.

Для повышения чувствительности, разрешающей способности и яркости свечения во многих ЭЛТ производят допол-

нительное ускорение электронов луча после его отклонения. Такие трубки называют *трубками с последующим ускорением (последускорением)*. В них между горизонтально отклоняющимися пластинами и экраном располагают один или несколько электродов (анодов), имеющих потенциалы выше, чем потенциалы второго анода и пластин.

Поверхность экрана покрыта люминесцирующим веществом. При взаимодействии быстрого электрона с молекулами люминофора в соответствующей точке экрана возникает свечение – часть кинетической энергии электрона преобразуется в световую. На слой люминофора с внутренней стороны трубки наносится тонкий слой алюминия (50–200 мкм). Свечение, возникшее на люминесцирующем экране и направленное внутрь трубки, отражается от алюминиевой подложки и яркость свечения экрана возрастает. Кроме того, подложка препятствует накоплению электронов на поверхности экрана, так как она соединяется со вторым анодом (или с последним анодом послеускорения) через тонкий проводящий слой металла или графита, нанесенный на внутреннюю поверхность ЭЛТ. По данному слою электроны перетекают от экрана к аноду. Слой служит также экраном от внешних электрических полей. От внешних магнитных полей ЭЛТ защищается с помощью кожуха из магнитно-мягкого ферромагнитного материала.

Управление электронным пучком

После выхода из электронной пушки электроны имеют скорость, параллельную оси трубки, т. е. направленную горизонтально. Далее пучок электронов проходит между двумя парами пластин – вертикально и горизонтально отклоняющимися. Предположим, что на вертикально отклоняющие пластины подана такая разность потенциалов U_y , что поле \vec{E} направлено вертикально вверх (рис. 4) и является однородным:

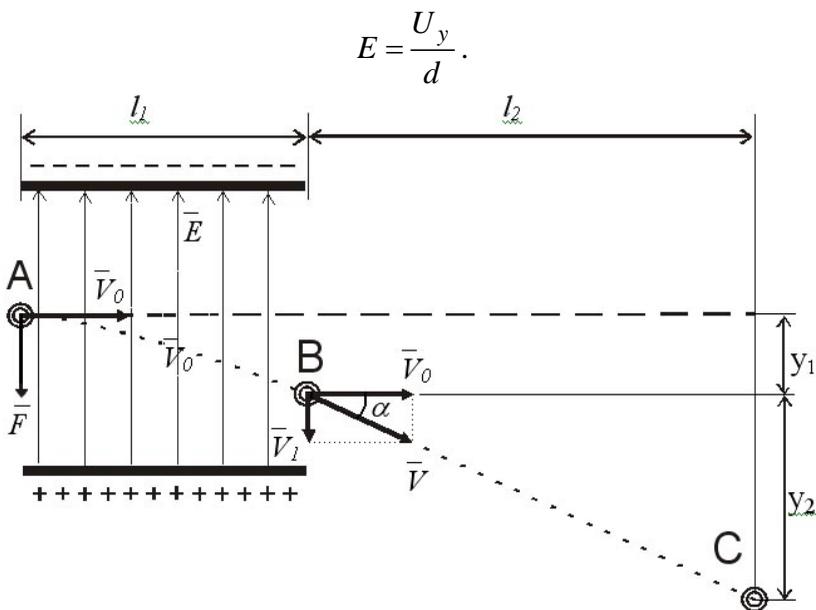


Рис. 4. Движение электрона в электростатическом поле пластин

Тогда на каждый из электронов пучка со стороны электрического поля пластин будет действовать сила $\vec{F} = e\vec{E}$, направленная вертикально вниз. Согласно второму закону Ньютона

$$m_e a = eE = e \frac{U_y}{d},$$

откуда ускорение электрона

$$a = \frac{e}{m_e} E = \frac{e}{m_e} \frac{U_y}{d},$$

где m_e – масса электрона;

U_y – разность потенциалов между пластинами;

d – расстояние между пластинами.

Начальная скорость электрона направлена горизонтально и равна v_0 . Перпендикулярно действующая сила \vec{F} не может изменить ее величину, и время движения электрона между пластинами t можно определить по формуле

$$t = \frac{l_1}{v_0},$$

где l_1 – длина пластин.

Действие силы приводит к тому, что электрон за время t приобретает вертикальную составляющую скорости \vec{v}_1 , равную

$$\vec{v}_1 = \vec{a}t = \frac{e}{m_e} \vec{E} \frac{l_1}{v_0},$$

и на выходе из пластин будет иметь результирующую скорость $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_0$. Угол отклонения электрона от первоначального направления найдем по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_1}{v_0} = \frac{e}{m_e} \frac{U_y}{d} \frac{l_1}{v_0^2}.$$

Кроме того, на выходе из пластин электронный луч смещается в вертикальном направлении от первоначального положения на величину y_1 , равную

$$y_1 = \frac{at^2}{2} = \frac{eU_y l_1^2}{2m_e d v_0^2}.$$

Из последнего уравнения следует, что участок траектории AB представляет собой параболу ($y_1 \approx l_1^2$). После вылета из поля

пластин направление движения электронов совпадает с направлением результирующей скорости \vec{v} . Участок траектории BC является прямой, касательной к параболе в точке B . Пусть расстояние от пластин до экрана равно l_2 . Тогда на прямой BC возникает дополнительное смещение по вертикали

$$y_2 = l_2 \operatorname{tg} \alpha = \frac{eU_y l_1 l_2}{m_e d v_0^2}.$$

Полное смещение луча

$$y = y_1 + y_2 = \frac{eU_y l_1}{m_e d v_0^2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right). \quad (1)$$

Для данной электронно-лучевой трубки величины α , l_1 , l_2 , v_0 являются постоянными. Следовательно, выражение (1) можно записать в виде

$$y = c_y U_y, \quad (2)$$

где

$$c_y = \frac{e l_1}{m_e d v_0^2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right).$$

Из (2) следует, что смещение пучка прямо пропорционально величине напряжения между пластинами. Величина c_y называется *чувствительностью*. Очевидно, этот вывод справедлив и для другой пары пластин, отклоняющей пучок в горизонтальном положении, т. е.

$$x = c_x U_x,$$

где c_y и c_x – чувствительность осциллографа по вертикали и по горизонтали соответственно;

x – смещение в горизонтальном направлении.

Принцип действия осциллографа

В электронно-лучевой трубке электронная пушка формирует узконаправленный пучок электронов, под действием которого на экране высвечивается небольшое пятно, имеющее вид точки. Яркость и форму этого пятна-точки можно регулировать. Смещать точку на экране ЭО можно, подавая напряжение на вертикально отклоняющие или горизонтально отклоняющие пластины, при этом величина смещения будет всегда прямо пропорциональна поданному напряжению. Если напряжение будет меняться, то смещения по осям будут переменными. В результате точка будет двигаться на экране по некоторой траектории. Если напряжение изменяется синхронно и периодически с частотой выше 20 Гц, то траектория будет повторяться и на экране образуется устойчивое изображение – осциллограмма, представляющая собой график зависимости напряжения U_y от U_x . Изображение возникает благодаря тому, что при частотах выше 20 Гц переменная освещенность воспринимается глазом как постоянная.

С помощью специальных устройств значения неэлектрических величин могут быть преобразованы в пропорциональное им электрическое напряжение. Тогда на экране наблюдается график зависимости одной величины от другой. Так, если на вход Y подать напряжение, пропорциональное индукции магнитного поля в ферромагнетике, а на вход X – напряжение, пропорциональное напряженности магнитного поля в нем, то на экране будем наблюдать зависимость индукции магнитного поля в ферромагнетике от напряженности этого поля (петлю гистерезиса для данного ферромагнетика).

На практике чаще всего ЭО применяется для определения зависимости исследуемого напряжения (сигнала) от времени

(определение формы сигнала). Предположим, что исследуемое напряжение U_{y0} имеет синусоидальную форму. Вначале оно подается на вход усилителя Y и усиливается им до необходимой величины (см. рис. 1). Далее **усиленное исследуемое напряжение U_y поступает на вертикально отклоняющие пластины**. Предположим, что напряжение между горизонтально отклоняющими пластинами постоянно. Тогда луч будет перемещаться только в вертикальном направлении (рис. 5).

Под действием напряжения U_y луч в промежутке времени от нуля до t_2 сместится от точки O в центре экрана вверх до точки O_2 , затем в промежутке от t_2 до t_4 – вниз до точки O . Далее в промежутке от t_4 до t_6 луч сместится вниз до точки O_6 , а в промежуток от t_6 до t_8 возвратится из O_6 в исходную точку O . Таким образом, за период луч вычертит на экране вертикальный отрезок. Максимальное отклонение, равное половине длины отрезка, будет соответствовать амплитуде сигнала.

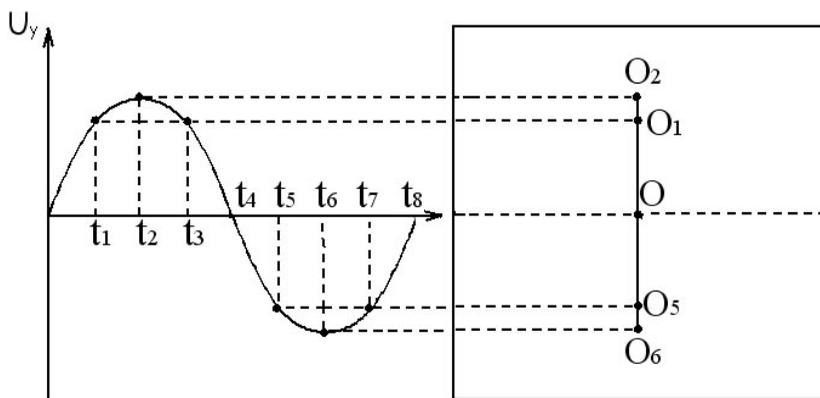


Рис. 5. Движение электронного луча на экране при переменном U_y и постоянном U_{δ} напряжении

В соответствии с (2) величина отклонения луча y от первоначального положения прямо пропорциональна напряжению U_y между вертикально отклоняющими пластинами. Поэтому, измерив величину y , можно определять величину U_y по формуле

$$U_y = \frac{1}{c_y} y = k_y y,$$

где $k_y = \frac{1}{c_y}$.

Эта величина называется **коэффициентом отклонения** осциллографа. Он зависит от величины коэффициента усиления усилителя I (см. рис. 1) и от расстояния между пластинами. Коэффициент k_y имеет размерность «вольт/деление» или «милливольт/деление». **Он численно равен напряжению на входе осциллографа, которое смещает луч на одно деление по вертикали.** Величина k_y устанавливается специальным переключателем.

Однако при постоянном U_{σ} невозможно определить ни период, ни даже форму сигнала. Чтобы решить данную проблему, **на горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение, прямо пропорциональное времени (или пилообразное напряжение), которое называют сигналом развертки.** На рис. 6 график этого напряжения для наглядности повернут на 90° , а масштаб напряжения выбран так, чтобы длина отрезка на рисунке, соответствующая максимальной величине напряжения, была равна длине отрезка, изображающего полное перемещение луча по горизонтали. В промежуток времени от нуля до t_8 напряжение между пластинами линейно возрастает. Этот промежуток называют **временем прямого хода $t_{пр}$.** **Под действием линейно возрастающего во времени**

напряжения развертки луч перемещается в горизонтальном направлении от левого края экрана к правому с постоянной скоростью (см. рис. 6).

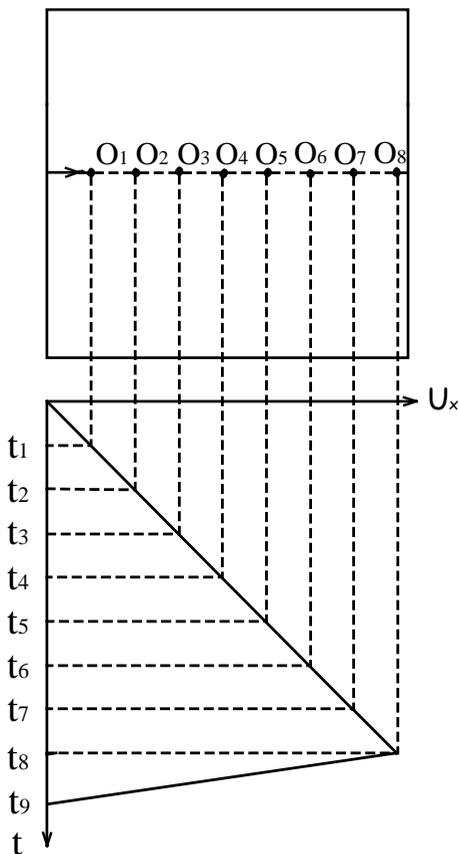


Рис. 6. Смещение луча по экрану при подаче только напряжения развертки

При отсутствии напряжения на вертикально отклоняющих пластинах на экране прочертится прямая горизонтальная линия. Скорость перемещения луча по экрану в горизонтальном

направлении v_x будет постоянной и с учетом (1), определяется формулой

$$v_x = \frac{x}{t} = c_x \frac{U_x}{t}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что величина горизонтального смещения по оси x прямо пропорциональна времени $x = v_x t$.

Напряжение развертки вырабатывается специальным генератором, который называется *генератором пилообразного напряжения* (из-за формы вырабатываемых импульсов). Величина $k_x = \frac{1}{v_x}$, обратная скорости движения, называется *ко-*

эф-фициентом развертки (или коэффициентом длительности развертки). Он устанавливает связь между смещением луча и временем смещения и имеет размерность «миллисекунда (мик-росекунда)/дел», и **численно равен времени, за которое луч перемещается на одно деление по горизонтали**. Величина k_x также устанавливается специальным переключателем. Измерив величину соответствующего горизонтального смещения x , можно рассчитывать временные характеристики сигнала (период, длительность и т. д.) по формуле

$$t = k_x x.$$

Напряжение U_x может возрасти только до значения, соответствующего максимальному смещению луча на экране (правый край). Затем в течение короткого промежутка времени от t_8 до t_9 , называемого *временем обратного хода* $t_{обр}$, напряжение U_x падает до нуля, вследствие чего луч быстро возвращается в исходную точку экрана. Чтобы обратный ход луча не наблюдался на экране, в течение $t_{обр}$ на управляющий электрод подается отрицательное напряжение, гасящее луч. Это напряжение действует и дальше до момента начала следующего

прямого хода развертки.

Пусть теперь усиленное исследуемое напряжение подается на вертикально отклоняющие пластины и одновременно на горизонтально отклоняющие пластины подается пилообразное напряжение. Тогда *электронный луч будет отклоняться одновременно в вертикальном направлении на расстояние, пропорциональное величине исследуемого напряжения, а в горизонтальном направлении равномерно перемещаться от левого края экрана к правому. В результате на экране сформируется в некотором масштабе график зависимости исследуемого напряжения от времени (рис. 7).*

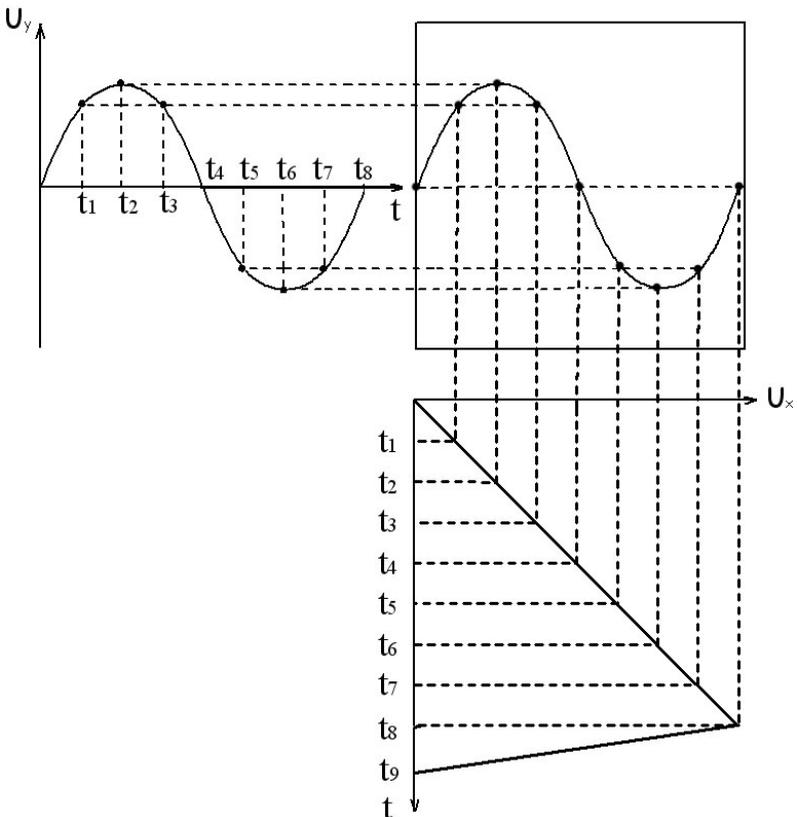


Рис. 7. Построение осциллограммы

Блок синхронизации

Пусть на вход осциллографа подан периодический сигнал (например, синусоидальный) с периодом T_y . Если период развертки не кратен периоду исследуемого сигнала, т. е. $T_x \neq nT_y$ (где n – целое число), то на экране осциллографа наблюдаются различные участки синусоиды при каждом прямом ходе сигнала развертки, т. е. множество смещенных друг относительно друга в горизонтальном направлении кривых (рис. 8).

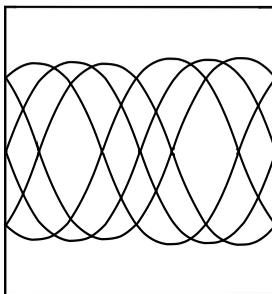


Рис. 8. Наблюдаемая картина при отсутствии синхронизации

Чтобы получить на экране устойчивое изображение, необходимо выполнение условия:

$$T_x = nT_y, \quad (4)$$

где n – целое число, начиная с единицы.

Равенство (4) означает, что **период сигнала развертки T_x кратен периоду исследуемого сигнала T_y** . В таком случае каждая последующая светящаяся кривая, описанная лучом на экране, полностью совпадает с предыдущей. Для выполнения условия (4) используется блок синхронизации.

С помощью блока синхронизации каждый последующий период сигнала развертки принудительно начинается точно

через целое число периодов исследуемого сигнала от момента начала предыдущего периода.

Предположим, что исследуемое напряжение имеет вид, представленный на рис. 9, *а*. С выхода усилителя Y исследуемый сигнал поступает не только на вертикально отклоняющие пластины, но и на вход блока синхронизации.

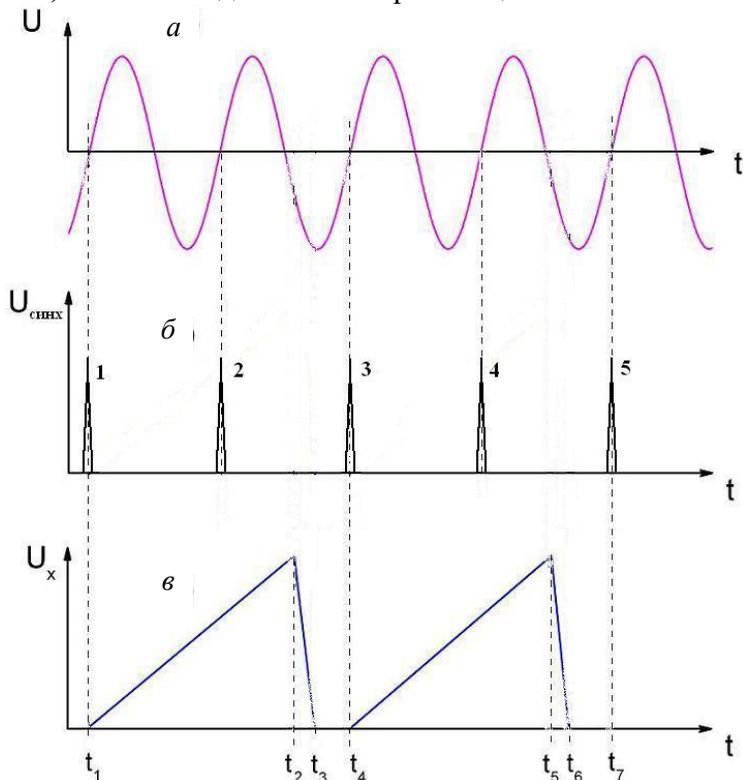


Рис. 9. Синхронизация развертки:

а – исследуемый сигнал; *б* – синхроимпульсы; *в* – сигнал развертки

Чтобы период развертки был кратен периоду исследуемого сигнала, специальные устройства в блоке синхронизации формируют короткие импульсы – синхроимпульсы – в те моменты времени, когда исследуемое напряжение достигает уровня, задаваемого с помощью ручек управления «Уровень» и «Поляр-

ность». Генератор пилообразного напряжения запускается одним из синхроимпульсов. Иначе говоря, можно выбирать момент запуска генератора пилообразного напряжения при различной величине исследуемого напряжения как на участке его возрастания, так и на участке спада. На рис. 9, б представлен случай, когда синхроимпульсы формируются в те моменты времени, когда исследуемое напряжение равно нулю на участке роста. В промежуток времени от t_1 до t_2 (т. е. во время прямого хода $t_{пр}$) происходит равномерное перемещение луча от левого края экрана к правому.

Промежуток времени от t_2 до t_3 является временем обратного хода $t_{обр}$. В течение этого промежутка луч должен быстро переместиться от правого края экрана к левому. Это движение создавало бы совершенно ненужную линию, искажающую форму сигнала. Чтобы это не происходило, с момента t_2 на УЭ подается высокий отрицательный потенциал и электронный луч прерывается. Такое состояние сохраняется и в течение промежутка времени от t_3 до момента появления ближайшего синхроимпульса t_4 . Промежуток времени от t_3 до t_4 называется **временем блокировки** $t_{бл}$.

После запуска генератора пилообразного напряжения в момент t_1 и до момента окончания обратного хода t_3 специальное устройство не позволяет синхроимпульсам управлять работой данного генератора. Поэтому импульс 2 никак не повлияет на работу генератора развертки. Начиная с момента t_3 , блок развертки уже способен реагировать на синхроимпульсы. Он будет запущен в момент t_4 синхроимпульсом 3. В этот момент начнется следующий прямой ход развертки. Синхроимпульсы следуют с периодом равным T_y , поэтому каждый последующий запуск ГР будет происходить через целое число периодов T_y после предыдущего и условие (4) выполнится.

На рис. 9 изображен случай, когда $n = 2$, т. е. генератор пилообразного напряжения запускается через один импульс. При заданной величине k_x величины $t_{пр}$ и $t_{обр}$ постоянны. А вот

длительность $t_{\text{бл}}$, как следует из вышеизложенного, не является постоянной, а устанавливается с помощью синхроимпульсов таким образом, чтобы выполнялось условие (4). В момент t_4 сигнал достигает той же величины, что и в момент начала предыдущего прямого хода. Поэтому траектория луча начнется с той же точки на экране, что и при предыдущем запуске, а вторая кривая, описанная на экране лучом, полностью совпадет с первой и изображение будет устойчивым. Как видно, период сигнала развертки T_x равен сумме трех слагаемых:

$$T_x = t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{бл}}.$$

Участок сигнала от момента t_2 до момента t_4 не будет воспроизведен, но для периодического сигнала это не важно. Полностью сигнал развертки представлен на рис. 9, в.

Подобная схема синхронизации называется внутренней. Кроме нее, возможна синхронизация от внешнего генератора (внешняя синхронизация) или от напряжения сети.

Задание

1. Калибровка коэффициентов вертикального отклонения k_y и длительности развертки k_x . Для этого на вход Y подать сигнал от специального устройства – калибратора, входящего в состав осциллографа. Амплитуда и период сигнала калибратора заранее известны и стабилизированы с высокой степенью точности. Определить амплитуду и период сигнала на экране и проверить, соответствуют ли измеренные значения паспортным данным калибратора.

2. Подать на вход Y сигналы различной формы, амплитуды и длительности от специального блока и определить амплитуды, периоды и длительности данных сигналов, а также форму сигналов.

Контрольные вопросы

1. Назначение осциллографа и его основные блоки.
2. Электронная пушка. Ускорение и фокусировка электронного луча.
3. Движение заряженных частиц в однородном электрическом поле. Траектория их движения и величина смещения.
4. Коэффициент отклонения и коэффициент развертки.
5. Назначение и работа блока синхронизации.

Литература

1. Хромой, Б. П. Электрорадиоизмерения / Б. П. Хромой, Ю. Г. Моисеев. – М. : Радио и связь, 1985. – С. 139–171.
2. Кушнир, Ф. В. Электрорадиоизмерения / Ф. В. Кушнир. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – С. 120–153.
3. Бишард, Е. Г. Аналоговые электроизмерительные приборы / Е. Г. Бишард, Е. А. Киселева, Г. П. Лебедев. – М. : ВШ, 1991. – С. 341–385.
4. Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Ф. Мейзда. – М. : Мир, 1990. – С. 258–321.
5. Мирский, Г. Я. Электронные измерения / Г. Я. Мирский. – М. : Радио и связь, 1986. – С. 54–103.

Учебное издание

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Лабораторная работа № 2

Составители:

ЧЁРНЫЙ Владимир Владимирович
АЛЕКСАНДРОВА Эмилия Николаевна
БОБУЧЕНКО Дмитрий Степанович и др.

Редактор *Т. В. Купель*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 16.04.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,05. Тираж 100. Заказ 398.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.