

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



**ФВЛ-1**

**ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОГО  
ОСЦИЛЛОГРАФА.**

Тула, 2012 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА.

Цель работы: ознакомление с принципом работы электронного осциллографа и приобретение навыков измерений параметров электрических сигналов.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

##### Устройство электронного осциллографа.

Осциллограф это прибор, предназначенный для исследования и регистрации электрических процессов.

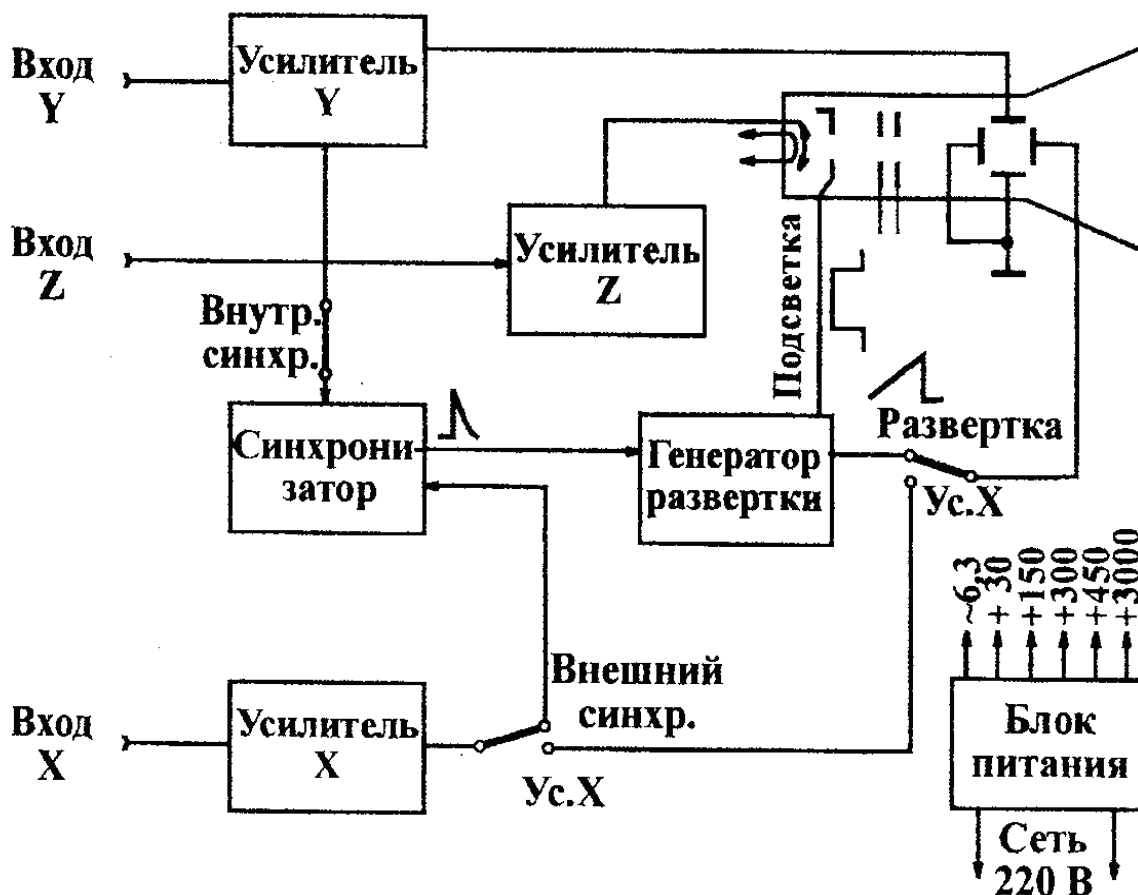


Рис. 1.1. Блок-схема простейшего осциллографа.

Блок-схема (рис.1) простейшего осциллографа состоит из следующих элементов:

1. Одним из основных элементов осциллографа является электронно-лучевая трубка, в которой узкий пучок летящих электронов проходит через две пары пластин (пластины "X" и пластины "Y") и вызывает свечение экрана. Пластины "X" и пластины "Y" расположены перпендикулярно друг другу. Если подавать на эти пластины напряжение, луч опишет на экране кривую, называемую осциллограммой.

2. Для получения осциллограмм, изображающих зависимость напряжения от времени, необходим генератор горизонтальной развертки. Это генератор пилообразного напряжения, которое подается на горизонтально отклоняющие пластины “Х” и может меняться по амплитуде и частоте.

3. Амплитуда исследуемого сигнала часто бывает мала. Для увеличения сигнала предусмотрен усилитель вертикального отклонения, а для обеспечения необходимой ширины изображения – усилитель горизонтальной развертки.

4. В результате целого ряда причин частота сигнала не вполне стабильна. Из-за этого осциллограмма становится неустойчивой. Для исключения неустойчивости генератор горизонтальной развертки связывают с исследуемым сигналом, заставляя его работать синхронно с изменениями исследуемого сигнала. Эту функцию в осциллографе выполняет блок синхронизации. Исследуемый сигнал можно подавать либо непосредственно на пластины “Х” или “У”, либо через вертикальный и горизонтальный усилители.

5. Канал «Z». В современных осциллографах иногда имеется еще один канал, используемый для модуляции внешним сигналом интенсивности пучка и, соответственно, яркости. Усиленное напряжение сигнала прикладывается между катодом и управляющим электродом трубки. Вход этого канала обозначается на панели «Z — ось».

### **Электронно-лучевая трубка.**

Электронно-лучевыми трубками (ЭЛТ) называют электровакуумные приборы, в которых сформированный электронный луч используется для преобразования электрических сигналов в световые. По принципу отклонения и фокусировки электронного луча различают два вида трубок: электростатические и электромагнитные. В первых для отклонения и фокусировки луча используется электрическое поле (электростатические ЭЛТ), во вторых – магнитное поле (электромагнитные ЭЛТ). Электростатические ЭЛТ используются в основном в измерительной технике, в частности в осциллографах. Электромагнитные ЭЛТ применяют в телевизорах и мониторах.

Рассмотрим более подробно работу ЭЛТ с электростатическим управлением. ЭЛТ представляет собой стеклянную колбу, откачанную до высокого вакуума (рис. 1.2). Внутри нее расположены электронная пушка, две пары отклоняющих пластин и флуоресцирующий экран. **Электронная пушка** служит для создания электронного луча и фокусирования его на экране. Она помещена в узкой удлиненной части стеклянного баллона и состоит из катода 1, управляющего электрода 2, двух анодов 3, 4.

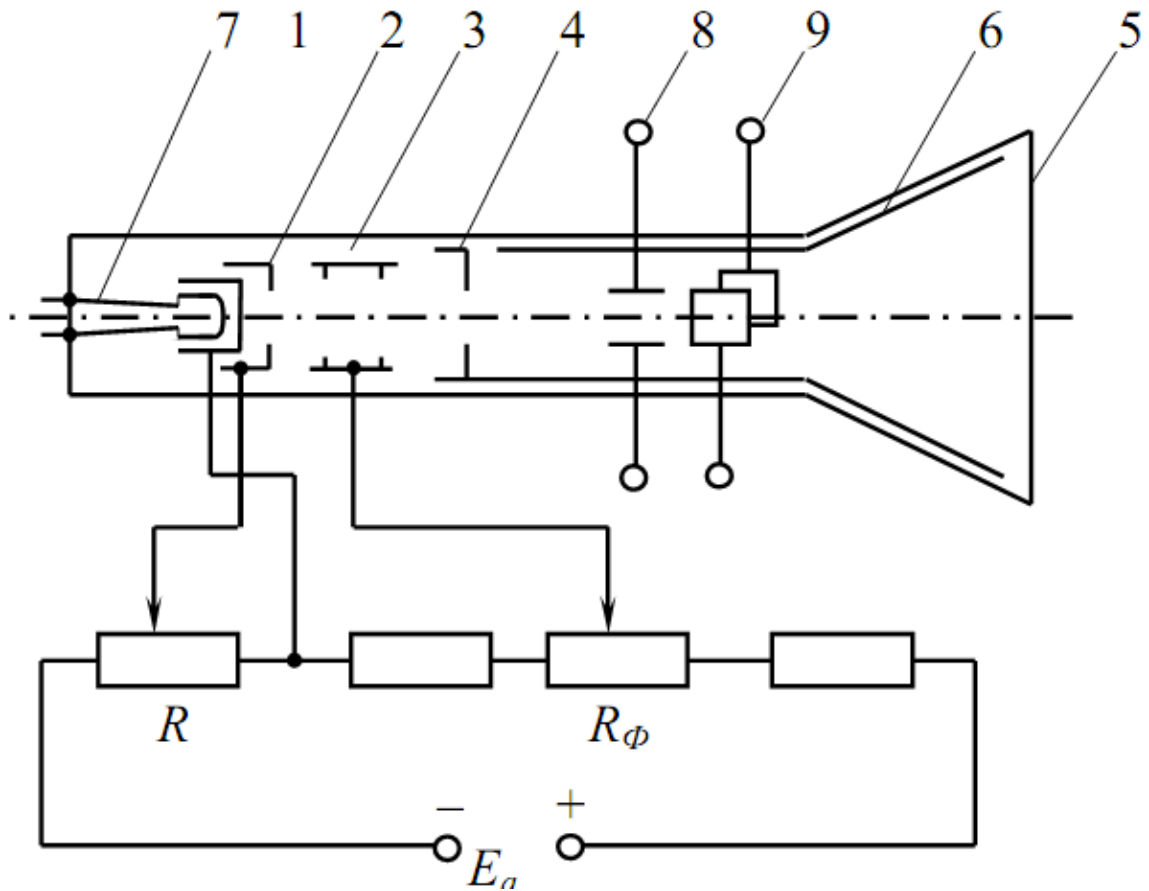


Рис. 1.2. Устройство и схема включения ЭЛТ с электрическим управлением.

**Отклоняющая система** смещает луч в двух взаимно перпендикулярных направлениях и состоит из двух пар пластин, отклоняющих луч по вертикали 8 и отклоняющих луч по горизонтали 9. **Экран** 5 предназначен для преобразования кинетической энергии электронов луча в световую. Для этого на внутреннюю сторону торцевой части ЭЛТ наносят тонкий слой вещества, способного светиться при бомбардировке электронами. Это вещество называется люминофором. Состав люминофора определяет цвет свечения экрана. В процессе бомбардировки экрана электроны, оседая на нем, увеличивают его отрицательный заряд. Поэтому для предотвращения запираения трубки ее внутреннюю поверхность покрывают токопроводящим слоем из графита 6 (аквадагом), который соединяют со вторым анодом. Тогда вторичные электроны, выбиваемые из экрана электронным лучом, притягиваются аквадагом и на экране не накапливается отрицательный заряд.

Рассмотрим более подробно устройство и назначение отдельных элементов электронной пушки. Катод выполнен в виде цилиндра, в котором помещена нить накала 7. Нить накала (небольшая спираль, через которую пропускается электрический ток) нагревает катод до температуры свыше тысячи градусов. За счет явления термоэлектронной эмиссии из катода происходит испускание электронов. Управляющий электрод 2 представляет собой никелевый

цилиндр с отверстием (диафрагмой) в торцевой части и служит для регулирования яркости свечения пятна на экране трубки. Управляющий электрод соединен с потенциометром яркости  $R_n$  и имеет отрицательный потенциал относительно катода. Меняя потенциал, можно регулировать количество электронов в луче. При некотором значении потенциала ни один электрон не может преодолеть тормозящее поле управляющего электрода и трубка оказывается запертой. Аноды  $A_1$  3 и  $A_2$  4 выполнены в виде цилиндров разных диаметров. В аноде  $A_1$  имеется две, а в аноде  $A_2$  – одна диафрагма. На аноды относительно катода подают большое положительное напряжение (на первый  $\sim 0,5$  кВ, на второй – несколько киловольт). Аноды служат для ускорения электронов луча и их фокусировки электронного луча. На рис. 1.2 приведена также электрическая схема включения элементов электронной пушки, позволяющая создавать необходимые значения напряжения (потенциалы) на каждом элементе.

Рассмотрим подробнее механизм фокусировки электронного пучка. Фокусировка происходит в промежутке между первым и вторым анодами за счет действия электрического поля на поток электронов. На рис. 1.3 представлена схема, поясняющая фокусирующее и ускоряющее действие системы анодов. Электрическое поле между анодами неоднородно и направлено от анода  $A_2$  к аноду  $A_1$ , так как потенциал  $A_2$  выше потенциала  $A_1$ . На электрон

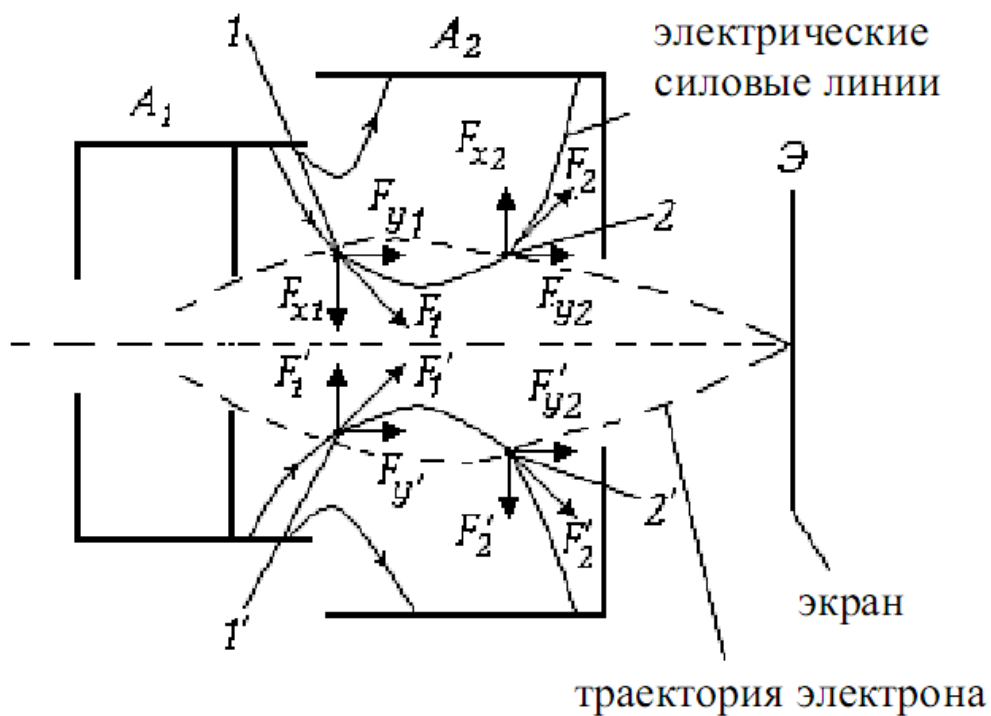


Рис. 1.3. Устройство и схема включения ЭЛТ с электрическим управлением.

в этом поле действует сила, направленная по касательной к силовой линии в точке, где в данный момент находится электрон. На электроны, находящиеся в точках  $1$  и  $1'$ , в области первого анода действуют силы  $F_1$  и  $F'_{1'}$ , которые могут быть разложены на продольные составляющие  $F_{y1}$  и  $F'_{y1'}$ , ускоряющие электроны, и поперечные  $F_{x1}$  и  $F'_{x1'}$ , под действием которых электроны движутся к оси трубки (фокусирующее действие). В точках  $2$  и  $2'$  в области второго анода продольные составляющие ускоряют электроны в том же направлении, а фокусирующие  $F_{x2}$  и  $F'_{x2'}$  отклоняют электроны от оси трубки. Следовательно, фокусирующее действие первого анода эквивалентно собирательной линзе, а второго – рассеивающей. Таким образом, всю фокусирующую систему можно рассматривать как электростатическую линзу.

Собирающее действие первого анода сильнее, чем рассеивающее действие второго, поперечное перемещение к оси трубки больше, чем от нее. Поэтому электроны луча сходятся в некоторой точке, лежащей на продольной оси трубки. При изменении с помощью потенциометра напряжения между анодами изменяют значения и конфигурацию электрического поля, а следовательно, и положение фокуса на оси, которое таким образом можно совместить с плоскостью экрана.

### Отклоняющая система

На пути к экрану пучок электронов (электронный луч) проходит между двумя парами отклоняющих пластин (8 и 9 на рис. 1.2, 6 и 7 на рис. 1.4). Напряжения, приложенные к пластинам  $U$ , создают между ними электрические поля, направленные перпендикулярно вектору скорости электронов в луче, и отклоняют электронный луч, что приводит к смещению светящегося пятна на экране. Горизонтально расположенные пластины отклоняют луч по вертикали (вдоль оси  $y$ ), а вертикально расположенные – по горизонтали (вдоль оси  $x$ ).

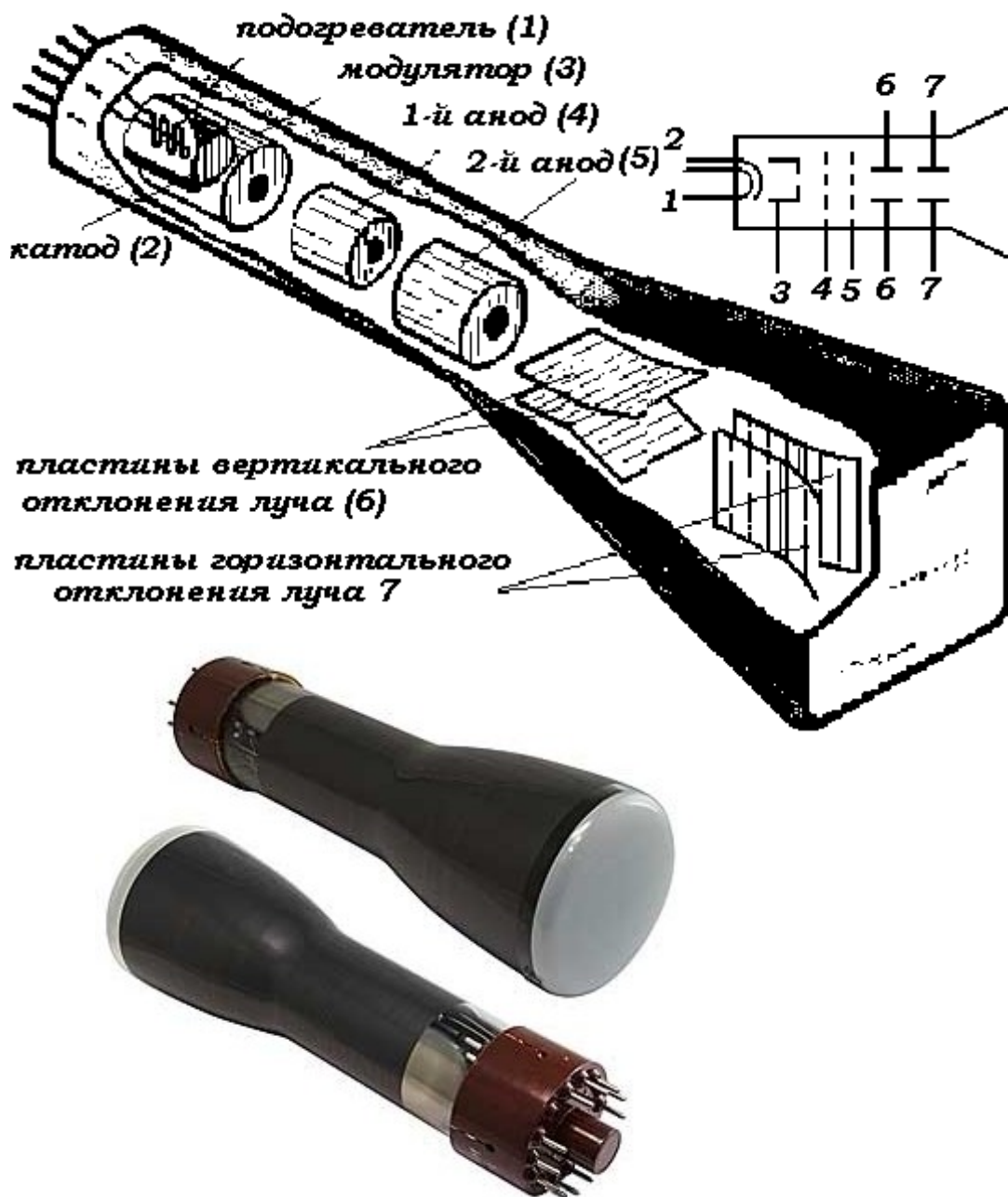


Рис. 1.4. Устройство и внешний вид электронно — лучевой трубки.

Установим связь между напряжением  $U$  на пластинах  $A$  и  $B$  и смещением пятна на экране (рис. 1.5). При этом будем считать, что электрическое поле вдоль оси  $z$  близко к нулю и электроны двигаются в этом направлении с постоянной скоростью  $v_0 = v_z$ .

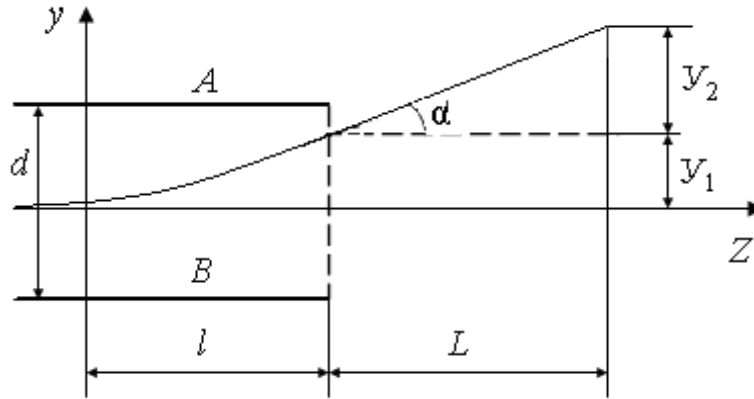


Рис. 1.5. Траектория движения электронов.

Соответственно расстояние, проходимое по  $z$ , равно:

$$z = v_0 t. \quad (1.1)$$

Вдоль оси  $y$  между пластинами на электрон действует постоянная сила:

$$F = eE_y, \quad (1.2)$$

где  $E_y$  – напряженность поля между пластинами. И, соответственно:

$$E_y = U/d. \quad (1.3)$$

Следовательно, движение электрона вдоль оси  $y$  будет равноускоренным:

$$y = \frac{at^2}{2}, \quad v_y = at. \quad (1.4)$$

Ускорение  $a$  найдем из второго закона Ньютона:

$$a = \frac{F_y}{m} = \frac{eE_y}{m}; \quad (1.5)$$

$$a = \frac{eU}{md}. \quad (1.6)$$



Тогда:

$$y = \frac{eU}{2md} t^2. \quad (1.7)$$

Учитывая, что для равномерного движения вдоль оси Z  $t = \frac{l}{v_0}$ , получаем для величины смещения по оси y при движении электрона внутри пластин:

$$y_1 = \frac{eUl^2}{2mdv_0^2}. \quad (1.8)$$

Из формулы (1.8) следует, что траектория движения электрона между пластинами представляет собой параболу. При выходе из пространства между пластинами электрон отклонится от своего первоначального направления на угол  $\alpha$  и, двигаясь к экрану, сместится по оси y еще на  $y_2$ :

$$y_2 = \operatorname{tg} \alpha \cdot L, \text{ где } \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{at}{v_0} = \frac{eU}{mdv_0^2} l. \quad (1.9)$$

Смещение светящегося пятна на экране равно:

$$y = y_1 + L \operatorname{tg} \alpha = \frac{eUl}{mdv_0^2} \left( \frac{l}{2} + L \right) \approx \frac{eUlL}{mdv_0^2}.$$

Так как  $\frac{l}{2} \ll L$ , то  $y = \left( \frac{eL}{mdv_0^2} \right) U$  (1.11)

и пропорционально напряжению на отклоняющих пластинах.

Отклонение пятна на экране ЭЛТ (в миллиметрах), вызванное напряжением 1 В на отклоняющих пластинах, называется чувствительностью трубки:

$$P = \frac{y}{U} = \frac{eL}{mdv_0^2}. \quad (1.12)$$

Если  $U_0$  – потенциал второго анода относительно катода, то:

$$\frac{mv_0^2}{2} = eU_0, \quad (1.13)$$

Из (1.13) получаем:

$$v_0^2 = \frac{2eU_0}{m}. \quad (1.14)$$

Тогда чувствительность ЭЛТ окажется равной:

$$P = \frac{lL}{2dU_0} \quad (1.15)$$

и зависящей как от расстояния между пластинами и экраном, так и от потенциала на втором аноде.

### Генератор развертки.

Для того чтобы на экране осциллографа можно было увидеть, как в некотором физическом процессе величина  $y$  меняется в зависимости от изменения другой физической величины  $x$ , т. е.  $y = f(x)$ , необходимо на горизонтально отклоняющие пластины подать напряжение  $U_x$ , пропорциональное  $x$ , а на вертикально отклоняющие пластины одновременно подать напряжение  $U_y$ , пропорциональное  $y$ . Тогда электронный луч начертит на экране линию, соответствующую зависимости  $y = f(x)$ . Если теперь заставить луч неоднократно и достаточно быстро повторить тот же путь по экрану, то вследствие инертности глаза наблюдатель увидит неподвижный график зависимости  $y = f(x)$ .

На практике часто приходится наблюдать изменение различных физических величин от времени, т. е.  $y = f(t)$ . При этом на вертикально отклоняющие пластины необходимо подать напряжение, пропорциональное исследуемой физической величине  $y$ , а на горизонтально отклоняющие пластины – напряжение, изменяющееся пропорционально времени  $U_x = kt$ . Для создания напряжения, которое изменяется пропорционально времени, в осциллографе имеется генератор развертки. Под действием вырабатываемого им напряжения луч смещается по экрану ЭЛТ слева направо, причем в любой момент времени это смещение будет пропорционально времени, отсчитываемому от начала движения луча. Одновременно поданное на вертикально отклоняющие пластины напряжение, пропорциональное исследуемой физической величине  $y$ , будет смещать луч по вертикали в соответствии с изменением  $y$ . Однако когда луч дойдет до крайнего правого положения, его нужно мгновенно перевести в исходное положение, а физический процесс повторить сначала. Следовательно, напряжение генератора развертки скачком должно измениться до первоначального значения, а потом снова начать расти по тому же закону. Поэтому зависимость напряжения генератора развертки от времени должна иметь вид, показанный на рис. 1.6.

Такое напряжение принято называть пилообразным.

Для того чтобы картина на экране осциллографа получилась устойчивой, необходимо, чтобы частота напряжения совпадала или была меньше в целое число раз частоты повторения изучаемого физического процесса. Поэтому частота напряжения, вырабатываемого генератором развертки, может меняться в широком диапазоне. Обычно на передней панели осциллографа приводят время, в течение которого луч проходит по экрану один сантиметр или одно деление шкалы на экране.

С помощью специального блока синхронизации частота напряжения генератора развертки синхронизируется с исследуемым напряжением любой формы, подаваемым на вертикально отклоняющие пластины, т. е. "начало" работы генератора развертки совпадает с каким-либо значением напряжения, подаваемого на пластины "Y". Синхронизация может производиться как напряжением самого исследуемого сигнала, так и напряжением, подаваемым от внешнего источника на специальные гнезда осциллографа.

### Усилители отклоняющих пластин

Чувствительность электронно-лучевой трубки, как правило, невелика, поэтому напряжение, подаваемое на отклоняющие пластины, предварительно усиливают. Характеристики усилителей отклоняющих пластин (линейность и диапазон пропускаемых частот) во многом определяют возможности осциллографа. Коэффициент усиления выбирается оператором с помощью переключателей, расположенных на передней панели осциллографа.

### Осциллограф — частотомер.

Определить частоты синусоидального напряжения можно с помощью фигур Лиссажу. Для этого исследуемый сигнал подается на одну пару пластин, например на вход "Y", а на другую пару пластин (вход "X") подается напряжение от звукового генератора. Если частоты будут относиться как целые числа (например 1/1, 2/3, 2/1, и т.д.), то изображение получится практически неподвижным. Т. о., подбирая частоту звукового генератора можно добиться такого положения, чтобы фигура Лиссажу имела правильную форму и

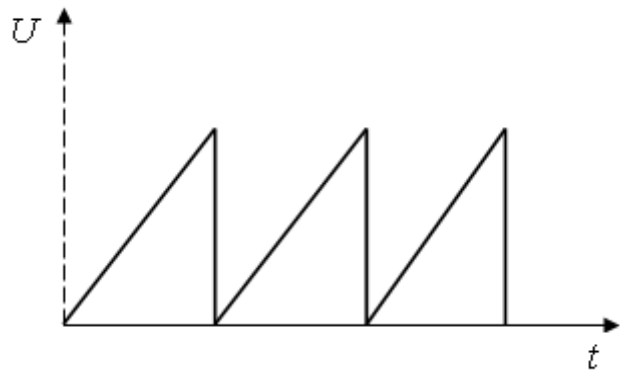


Рис. 1.6. Зависимость напряжения генератора развертки от времени

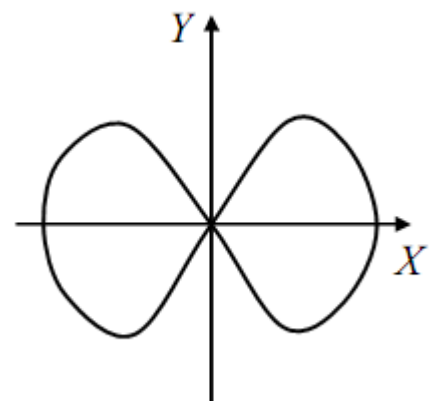


Рис. 1.7. Фигура Лиссажу для соотношения частот  $\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{1}{2}$ .

соответствовала отношению частот как целых чисел.

На рис. 1.7 показана фигура Лиссажу для соотношения частот  $\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{1}{2}$  (периодов  $T_x:T_y=T_1:T_2=2:1$ ). Фигуры Лиссажу для других соотношений частот представлены на рис. 1.8, рис. 1.9.

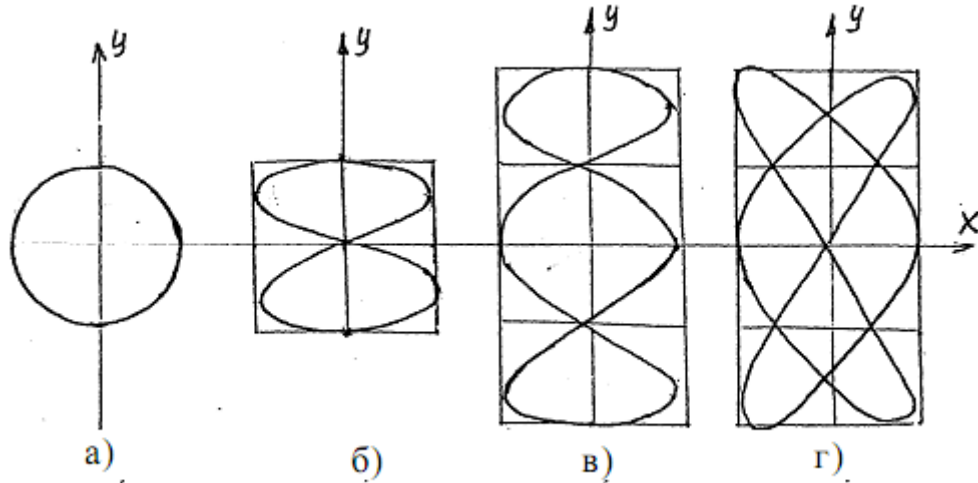


Рис. 1.8. Вид фигур Лиссажу при разности фаз сигналов  $\delta = \frac{\pi}{2}$ , с равными амплитудами  $A_x = A_y$

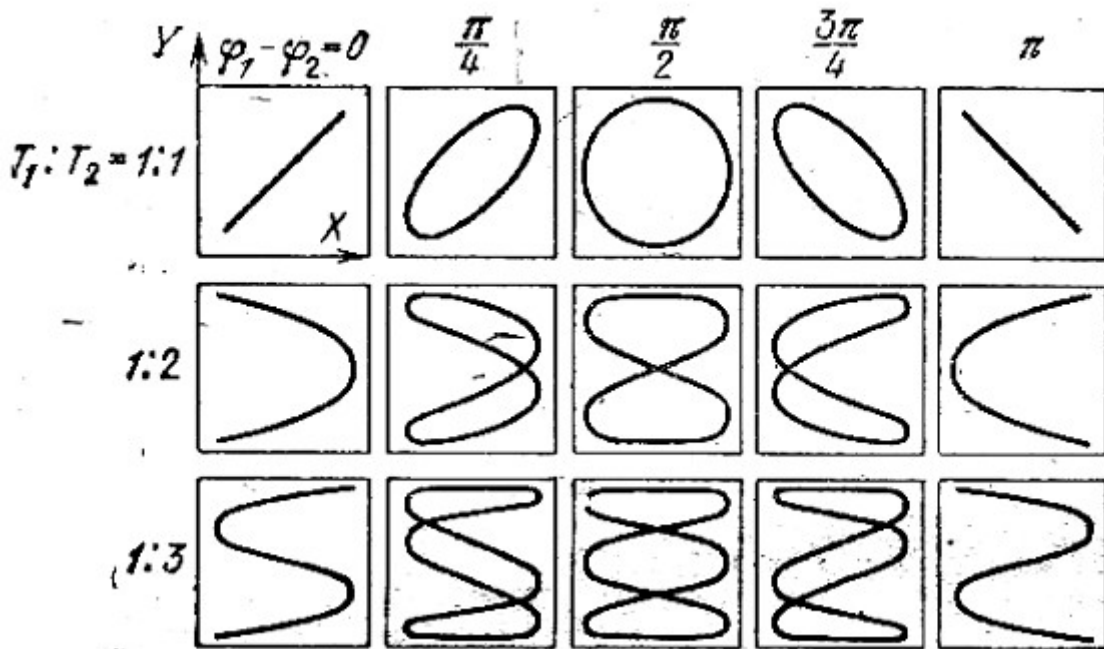


Рис. 1.9. Фигуры Лиссажу для колебаний одинаковой амплитуды с различными соотношениями периодов  $T_1 : T_2$  и различной разностью фаз  $\delta = \varphi_2 - \varphi_1$ .

Таким образом, если отношение частот является рациональным числом, т.е.  $\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{n_x}{n_y}$ , где  $n_x$  и  $n_y$  целые числа, то это отношение равно отношению числа точек касания фигуры Лиссажу со сторонами прямоугольника, в который эта фигура вписывается, т.е.  $\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{n_x}{n_y}$ , где  $n_x$  – количество точек касания со стороной ВС, пересекающей ось  $x$ ;  $n_y$  – количество точек касания со стороной АВ, пересекающей ось  $y$  (см. рис. 1.10).

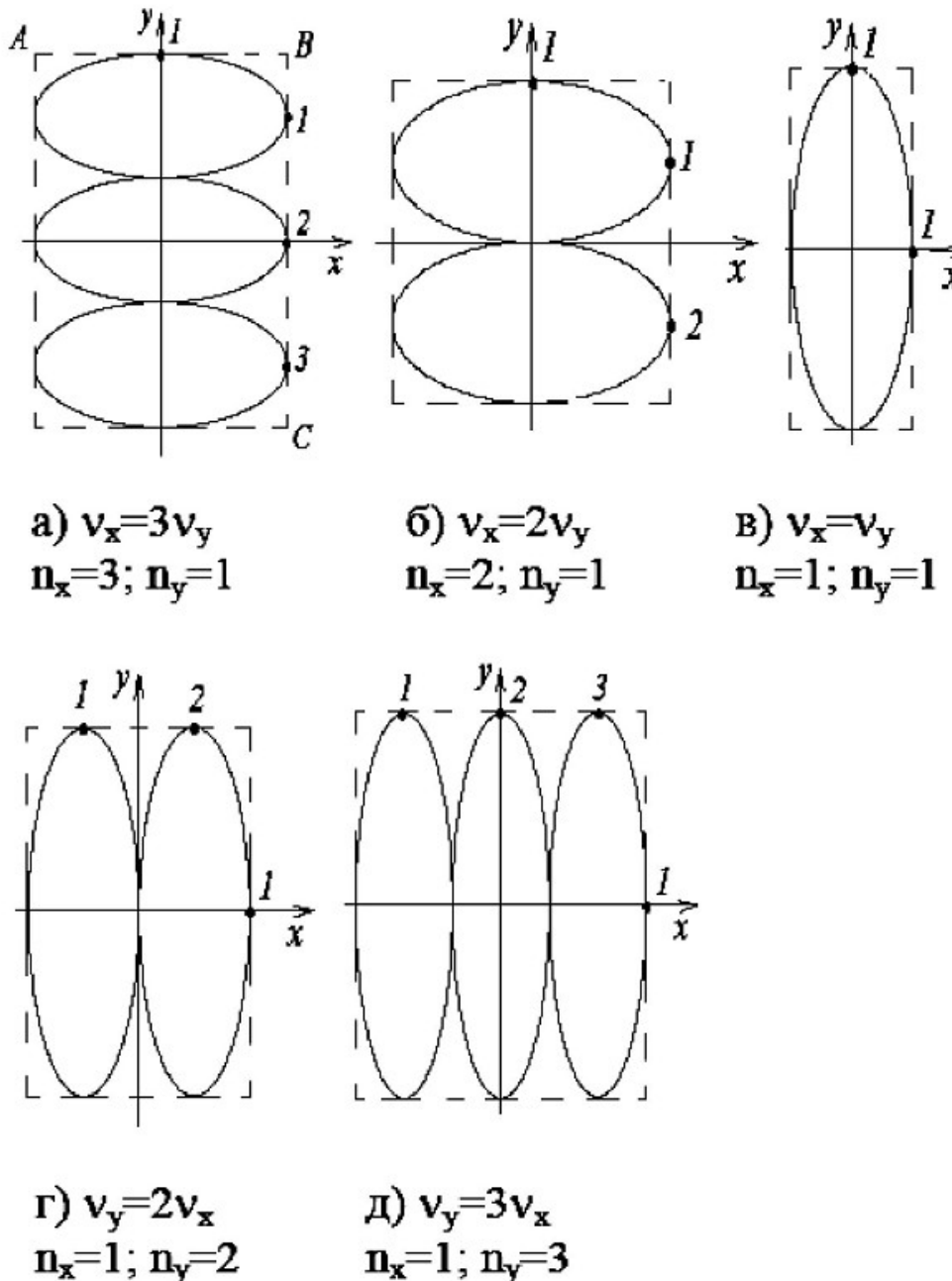


Рис. 1.10. К определению частоты по фигурам Лиссажу.

$$v = \frac{\omega}{2\pi}, \quad v - \text{частота колебаний, } \omega - \text{циклическая частота.}$$

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Приборы и оборудование.

Лабораторная работа выполняется на учебной установке ФВЛ-1, представляющую собой набор функциональных генераторов сигналов различной формы. Учебная установка позволяет генерировать в различных режимах работы и выводить на осциллограф следующие типы сигналов: 1) СИНУСОИДАЛЬНЫЙ СИГНАЛ «SINUS» рис. 2.1а 2) КРУГОВОЙ СИГНАЛ «ROUND» рис. 2.1б 3) ЛИНЕЙНО НАРАСТАЮЩИЙ СИГНАЛ ( $y=k \cdot x$ ) «GLVV 1» рис. 2.1в 4) ЛИНЕЙНО ПАДАЮЩИЙ СИГНАЛ ( $y= -k \cdot x$ ) «GLVV 2» рис. 2.1г 5) ТРЕУГОЛЬНЫЙ СИГНАЛ «TRIANGLE» рис. 2.1д 6) ТРАПЕЦИЕВИДНЫЙ СИГНАЛ «TRAPEZOID» рис. 2.1е. Данные виды сигналов выводятся с «ВЫХОД 1» учебной установки.

С «ВЫХОД — 2» учебной установки в непрерывном режиме выводится синусоидальный сигнал, частота которого может плавно подстраиваться ручками «ЧАСТОТА ГРУБО, ПЛАВНО». Это позволяет исследовать с помощью электронного осциллографа режим фигур Лиссажу (сложение колебаний), подавая одновременно сигналы на ВХОД Y и ВХОД X осциллографа с «ВЫХОД-1,2» учебной установки.

С «ВЫХОД — 3» учебной установки в непрерывном режиме выводится сигнал ШИМ (прямоугольники) с переменной скважностью, но с фиксированной частотой (периодом) следования импульсов  $T_u$ . Для регулировки скважности сигнала ШИМ используется ручка «СКВАЖНОСТЬ».

**Скважностью импульсов  $\delta$  мы будем называть отношение  $\delta = \frac{t_u}{T_u} \cdot 100\%$ ,**

**где  $t_u$  – длительность импульса,  $T_u$  – период следования импульсов рис.**

**2.1ж.** В некоторой литературе, однако, можно встретить определение скважности как  $\delta = \frac{T_u}{t_u} \cdot 100\%$  и определение коэффициента заполнения как

$\frac{1}{\delta} = \frac{t_u}{T_u}$ , что существенно не меняет сути явления. Отметим, что из –за

процессов, происходящих на входе Y осциллографа, обладающего некоторой паразитной входной ёмкостью  $C_{вх}$ , импульсы не являются идеальными и могут быть немного искажены.

Частота сигналов с «ВЫХОДА-1» ступенчато может изменяться кнопкой «ЧАСТОТА», форма сигналов переключается кнопкой «ФОРМА». Все регулировки (кнопки «ЧАСТОТА» и «ФОРМА», а также регулировка скважности импульсов с «ВЫХОД — 3» ручкой «СКВАЖНОСТЬ») работают только при отключенном генераторе GEN=OFF. При включенном генераторе функционируют только ручки «ЧАСТОТА ГРУБО, ПЛАВНО» перестраиваемого синусоидального генератора «ВЫХОД — 2». Генератор включается и отключается кнопкой «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ».

Вся информация о ходе эксперимента отображается на ЖКД LCD индикаторе. На рис. 2.1 а – ж) показан вид сигналов, генерируемых прибором.

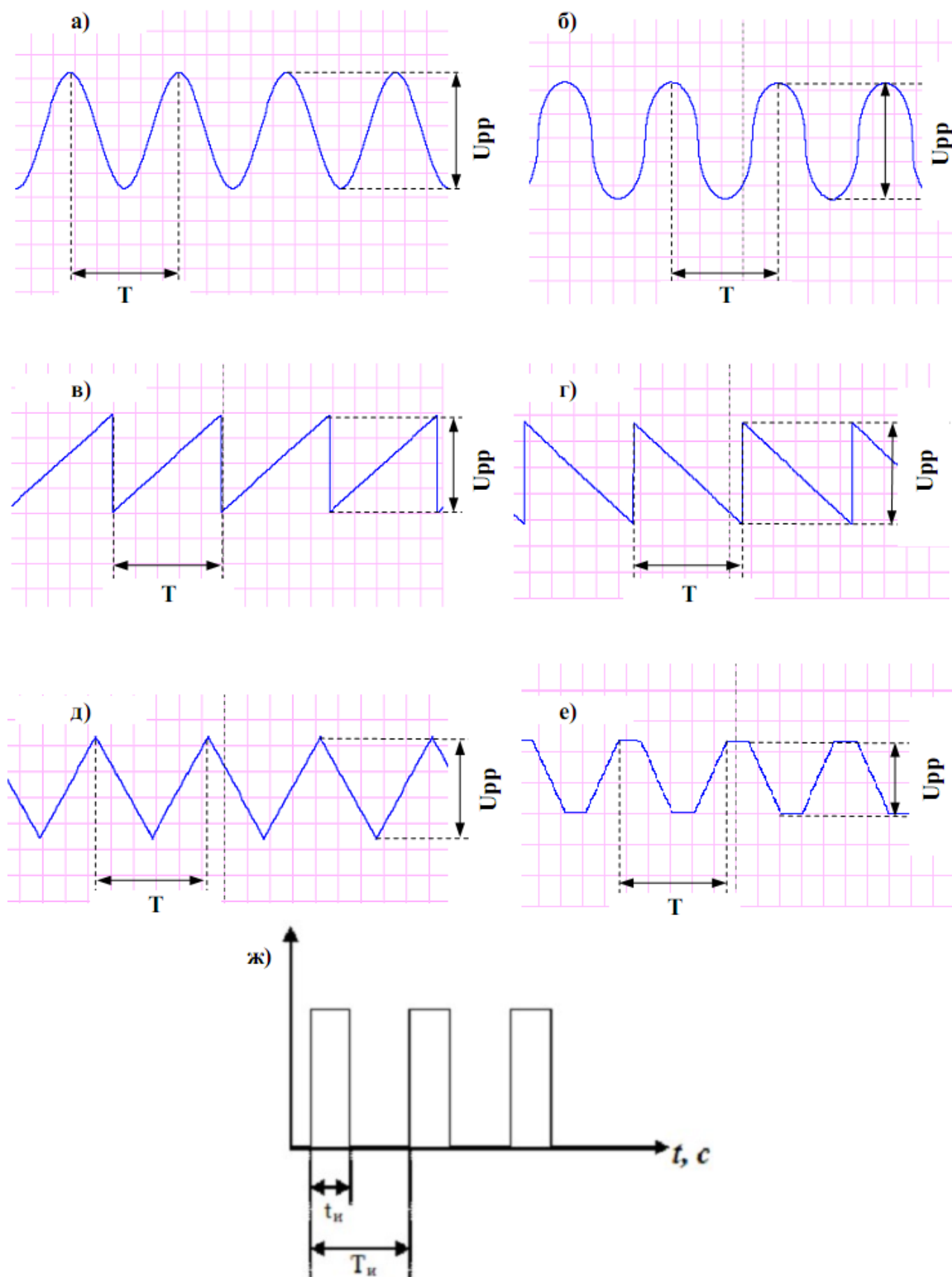


Рис. 2.1. К определению параметров сигналов в различных режимах работы.

### Порядок выполнения работы.

1. Перед включением следует проверить целостность всех соединительных и сетевых проводов устройств. Разобраться в назначении ручек, кнопок и измерительного прибора. **Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выходы контрольных точек. Перед началом работы обязательно ознакомиться с паспортом на исследуемый осциллограф.**
2. Включите лабораторный модуль в сеть  $\sim 220$  В.
3. Перевести переключатель СЕТЬ на панели установки и электронного осциллографа в положение «ВКЛ» при этом должны загореться соответствующие сигнальные светодиоды «СЕТЬ». Дать приборам прогреться не менее 5 минут.
4. Подключить «ВЫХОД — 1» учебной установки ко ВХОДУ Y электронного осциллографа.
5. Установить частоту исследуемого сигнала  $\nu=100$  Гц с помощью кнопки «ЧАСТОТА» и форму сигнала СИНУСОИДАЛЬНЫЙ СИГНАЛ «SINUS» с помощью кнопки «ФОРМА». **При этом генератор должен быть выключен GEN=OFF.**
6. Включить генератор нажатием кнопки «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ». При этом на LCD дисплее отобразится GEN=ON
7. Установить ручку «АС – GND – DC» осциллографа в положение «АС». Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала, с таким расчетом, чтобы было видно не менее 3 периодов. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении Y (внутренняя синхронизация). **При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.**
8. Срисовать на миллиметровую бумагу по клеткам исследуемый сигнал с электронного осциллографа, определить период сигнала T, частоту сигнала  $\nu = \frac{1}{T}$ , амплитуду сигнала  $U_m$  либо размах сигнала  $U_{pp}$  (рис. 2.1). Размахом сигнала  $U_{pp}$  можно считать разность между максимальным и минимальным значениями сигнала на протяжении заданного интервала времени. Таким образом, в нашем случае размах сигнала  $U_{pp}$  равен разности между максимальной и минимальной точкой сигнала по оси Y (т. е. разности между максимальным и минимальным напряжением) и равен удвоенной амплитуде для синусоидального сигнала:  $U_{pp}=2 \cdot U_m$ .
9. Сравнить измеренную вами с помощью электронного осциллографа



частоту сигнала с частотой, выводимой на LCD ЖКД индикатор для данного режима работы.

10. Отключить генератор кнопкой «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ».
11. Изменяя ступенчато частоту сигналов с помощью кнопки «ЧАСТОТА», а форму сигналов с помощью кнопки «ФОРМА» и включая/отключая генератор кнопкой «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ», провести исследование сигналов различных частот и формы. Измерить амплитуду и размах сигналов. Сравнить определенные вами по электронному осциллографу частоты с частотами, выводимыми для каждого режима работы на LCD ЖКД индикатор.
12. Отключить генератор кнопкой «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ» и подключить «ВЫХОД — 3» учебной установки ко ВХОДУ Y электронного осциллографа.
13. Установить ручку «СКВАЖНОСТЬ» в среднее положение.
14. Установить ручку «АС – GND – DC» осциллографа в положение «DC».
15. Срисовать на миллиметровую бумагу по клеткам исследуемый ШИМ сигнал с электронного осциллографа, определить период сигнала  $T_u$ , частоту сигнала  $\nu = \frac{1}{T}$ , амплитуду сигнала  $U_m$  либо размах сигнала  $U_{pp}$ , длительность импульса  $t_{и}$  и скважность импульсов  $\delta = \frac{t_{и}}{T_u} \cdot 100\%$  (рис. 2.1ж).
16. Вращая ручку «СКВАЖНОСТЬ», наблюдать за изменением сигнала на электронном осциллографе. При этом встроенный функциональный генератор (генерирующий сигналы на «ВЫХОД — 1») должен быть отключен GEN=OFF. В противном случае ручка «СКВАЖНОСТЬ» не действует.
17. Исследовать режим сложения колебаний X – Y (режим фигур Лиссажу). Для этого подайте на ВХОД Y осциллографа сигнал с «ВЫХОД — 1», на ВХОД X сигнал с «ВЫХОД — 2». Осциллограф переключите в режим фигур Лиссажу, поставив соответствующий переключатель в положение «XY».
18. Установите для «ВЫХОД — 1» форму сигнала «синусоидальный SIGNAL SINUS», частоту сигнала  $\nu = 200$  Гц. Запустите генератор нажатием кнопки «ГЕНЕРАТОР ВКЛ/ВЫКЛ».
19. Плавно вращая ручки регулировки «ЧАСТОТА ГРУБО, ПЛАВНО» для перестраиваемого синусоидального генератора, генерирующего гармонический сигнал на «ВЫХОД — 2», добейтесь изображения эллипса на экране. При этом частоты генераторов равны, т. е.  $\nu_{\text{ВЫХОД-1}} = \nu_{\text{ВЫХОД-2}} = 200$  Гц .
20. Вращая ручки «ЧАСТОТА ГРУБО, ПЛАВНО» получить фигуры Лиссажу вида рис. 1.8 — 1.10 при других кратных частотах

(вращающаяся восьмерка, эллипс и вращающиеся фигуры в форме короны). Следует учитывать что ручки «ЧАСТОТА» обладают высокой чувствительностью, поэтому для получения фигур большой кратности их следует вращать **ПЛАВНО** в области нужной частоты и подходить к фигуре медленно слева и справа.

21. Проверьте полученный результат измерения частоты методом фигур Лиссажу, подав на ВХОД Y электронного осциллографа сигнал с «ВЫХОД — 2» учебной установки, отключив предварительно режим фигур Лиссажу соответствующим переключателем на передней панели электронного осциллографа.
22. Определите визуально по делениям шкалы электронного осциллографа период сигнала  $T_{\text{ВЫХОД-2}}$  (прямой метод измерений) и выразите частоту как 
$$\nu_{\text{ВЫХОД-2}} = \frac{1}{T_{\text{ВЫХОД-2}}}$$
. **При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.**
23. Сравните полученный результат прямых измерений с результатом измерений с помощью фигур Лиссажу.
24. По окончании работы все приборы отключить от сети питания, поставив соответствующие переключатели в положение «ВЫКЛ» и вынуть вилки из розеток.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

1. Каково назначение осциллографа и в чём его преимущества по сравнению со стрелочно-цифровыми измерительными приборами?
2. Перечислите основные блоки осциллографа.
3. Опишите устройство и работу электронно-лучевой трубки.
4. Какое явление используют в электронно-лучевой трубке для получения свободных электронов в газе?
5. Какая сила позволяет управлять движением потока электронов в трубке?
6. Как осуществляется фокусировка и разгон электронов в трубке?
7. Чем заполнено пространство в электронно-лучевой трубке?
8. Для чего предназначен *генератор развёртки*? Что он “разворачивает” и чем объясняется столь специфическая форма сигнала, вырабатываемого этим генератором?
9. В результате какого процесса колеблющаяся точка (электронный луч) описывает *фигуры Лиссажу*?
10. Как по форме фигуры Лиссажу можно определить частоту электрического сигнала?
11. Какую картину наблюдают на экране осциллографа при сложении взаимно перпендикулярных гармонических колебаний с разными частотами?
12. Объясните причину свечения экрана осциллографа в точке падения на него электронного пучка. Почему мы не наблюдаем трека (следа) пучка при его обратном ходе к левому краю экрана?
13. В каком случае результатом сложения гармонических колебаний является состояние покоя частиц среды?

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.**

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики : в 3 т. / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1989. – Т. 1. 173 с.
2. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики: в 4 т. / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1977. Т. 3. 430 с.
3. *Данилов И. А.* Общая электротехника с основами электроники / И. А. Данилов, П. М. Иванов. – М. : Высшая школа, 1989. 571 с.
4. *Б. Ф. Алексеев, К. А. Барсуков* «Лабораторный практикум по физике: Учебное пособие для студентов вузов», М., Высш. шк., 1988 г.
5. *К. А. Барсукова, Ю. И. Уханова* «Лабораторный практикум по физике», М., Высш. шк. 1988 г.
6. *И.В. Боднарь, Л.Г. Березуцкий* «Методическое пособие для самостоятельной работы студентов по курсу ФХОМКиТ РЭС и ЭВС. Раздел «Контактные явления»». Мн.; БГУИР, 1998 г.
7. *Г.И. Епифанов, Ю.А. Мома* «Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА». М.; «Советское радио», 1979 г.
8. *И.П. Жеребцов* «Основы электроники». Ленинград, «Энергоатомиздат», 1985 г.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**