

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**имени М. В. Ломоносова**

---

**Физический факультет**

**кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка**

**по общему физическому практикуму**

**Лаб. работа № 64**

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА**

**Работу поставил доцент Авксентьев Ю.И.**

**Москва - 2012**

# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

**Целью лабораторной работы является:** знакомство с устройством осциллографа, наблюдение электрических напряжений различной формы, измерение амплитуды и частоты этих напряжений, наблюдение фигур Лиссажу и измерение сдвига фаз между двумя напряжениями.

## Устройство и принцип работы осциллографа

### Электронно-лучевая трубка

В осциллографе кривые зависимости напряжения от времени электрических сигналов высвечиваются на экране узким пучком электронов, летящих с

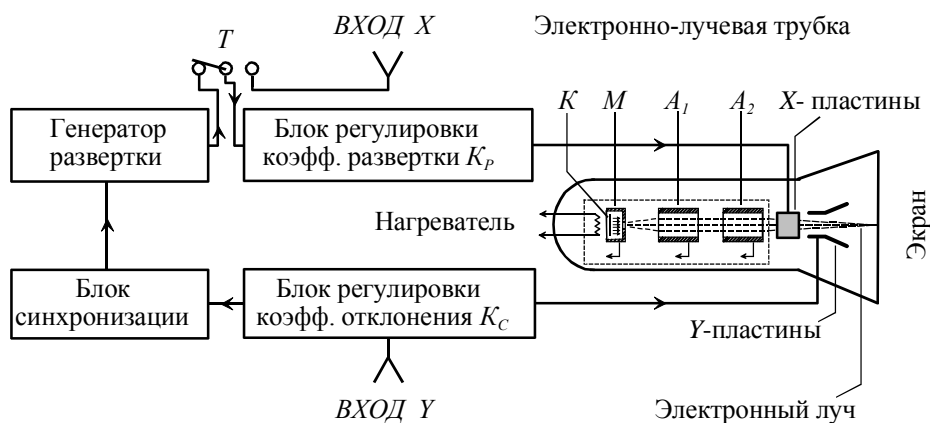


Рис. 1

большой скоростью и бомбардирующих экран, светящийся под их воздействием. Осциллограф является, практически, безинерционным прибором и поэтому может применяться для наблюдения и регистрации быстропеременных электрических процессов. Упрощенная схема осциллографа приведена на рис. 1.

Основными блоками осциллографа являются: *электронно-лучевая трубка, генератор развертки и блоки: синхронизации, регулировки коэффициента развертки, регулировки коэффициента отклонения и блоки источников питания* (на рис. 1 не показаны). Электронно-лучевая трубка является важнейшим элементом осциллографа. Она представляет собой запаянную стеклянную колбу специальной формы, откачанную до высокого вакуума (рис. 1). В колбе находятся: 1) *электронная пушка* (выделена пунктирной рамкой), т.е. система электродов, предназначенная для создания узкого пучка электронов, летящих с большой скоростью вдоль оси трубки; 2) *отклоняющие*

пластины, т.е. система электродов, служащая для управления пучком электронов; 3) экран, т.е. флюоресцирующий слой, покрывающий внутреннюю сторону основания колбы, на котором возникает светящееся пятно в том месте, куда попадает пучок электронов.

Электронная пушка состоит из группы электродов  $K, M, A_1$  и  $A_2$ .  $K$  — дается нить накала. Эмиссия электронов получается с покрытого оксидным слоем доньшка катода. Для регулирования количества электронов в электронном пучке электронно-лучевая трубка имеет *управляющий электрод*  $M$ , который представляет собой металлический цилиндр, расположенный вокруг катода. Цилиндр в торце имеет небольшое отверстие, через которое могут проходить электроны. Управляющий электрод имеет отрицательный потенциал относительно катода.

Действие управляющего электрода состоит в том, что электроны, вылетающие из катода, частично отталкиваются управляющим электродом, а частично

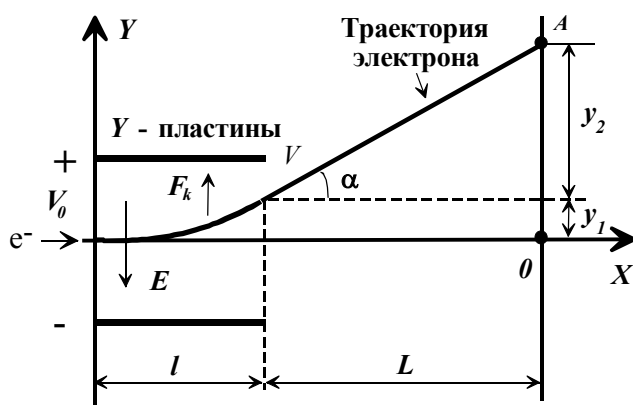


Рис. 2

вылетают в отверстие. Очевидно, что при увеличении отрицательного потенциала на управляющем электроде количество электронов, пролетевших в отверстие, уменьшается. Таким образом, изменяя потенциал управляющего электрода, можно регулировать количество электронов в пучке, а, следовательно, и яркость пятна на экране.

За управляющим электродом следуют два анода:  $A_1$  — *фокусирующий анод* и  $A_2$  — *ускоряющий анод*. Назначение анодов следующее. Во-первых, они играют роль, аналогичную аноду

электронной лампы: притягивая испускаемые катодом электроны, они разгоняют их до больших скоростей. Во-вторых, они фокусируют пучок электронов. Второй анод имеет более высокий положительный потенциал по сравнению с первым, и между анодами образуется электрическое поле, так называемая электростатическая линза, позволяющая фокусировать пучок электронов. Фокусировка электронного пучка осуществляется изменением разности потенциалов между анодами. Обычно меняют потенциал первого анода, который по величине меньше потенциала второго анода. Регулируя потенциал первого анода, можно сфокусировать электроны в точке, которая находится на экране.

За электродами электронной пушки находятся две пары отклоняющих пластин, которые служат для управления пучком электронов. Одна пара пластин расположена горизонтально и носит название *вертикально отклоняющих пла-*

стин или *y*-пластин. Вторая пара пластин расположена вертикально и носит название *горизонтально отклоняющих пластин* или *x*-пластин. Если к какой-либо из пар пластин подвести напряжение, то в пространстве между ними образуется электрическое поле. Электроны пучка при пролете пространства между пластинами испытывают силовое воздействие со стороны этого поля, вследствие чего траектория их искривляется, как показано на рис.2.

Поскольку теперь пучок электронов пересекает экран не в точке  $O$ , а в точке  $A$ , то мы приходим к выводу, что изменение напряжения на отклоняющих пластинах позволяет перемещать светящееся пятно на экране.

### Измерение напряжений

Горизонтально расположенные пластины вызывают перемещение пятна по вертикальному направлению, а вертикально расположенные — по горизонтальному. Отклоняющие пластины расположены по оси трубки за анодами, поэтому электроны летят к ним, двигаясь равномерно (никакие силы в направлении оси  $X$  на них не действуют).

*Покажем, что, несмотря на неравномерное движение электронов между вертикально отклоняющими пластинами, отклонение луча на экране осциллографа пропорционально напряжению, приложенному к ним.*

<sup>1)</sup>Электрон, влетающий в пространство между пластинами, предварительно проходит разность потенциалов  $U_a$  между вторым анодом и катодом. Его начальная скорость  $\vec{V}_0$ , направленная по оси  $X$ , может быть определена из закона сохранения энергии

$$\frac{mV_0^2}{2} = eU_a \quad (1)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $m$  — его масса.

Время  $t_1$ , необходимое для того, чтобы электрон пролетел горизонтальные пластины длиной  $l$ , равно  $t_1 = l/V_0$ . Пусть между этими пластинами имеется электрическое поле с напряженностью  $\vec{E}$ . Тогда на электрон в направлении оси  $Y$  действует постоянная сила  $\vec{f} = e\vec{E}$ , и он получает в этом направлении ускорение  $\vec{a} = \frac{\vec{f}}{m} = e\vec{E}/m$ . Отклонение  $y$ , которое получит электрон, пройдя горизонтальные пластины, равно

---

<sup>1)</sup>Вывод формулы (7) принадлежит Пустовалову Г.Е. «Электричество. Элементы радиофизики» §4, «Катодный осциллограф», Изд. МГУ 1987 г.

$$y_1 = \frac{at_1^2}{2}. \quad (2)$$

Подставляя сюда значения  $a$  и  $t_1$ , получим

$$y_1 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{eEl^2}{2mV_0^2}. \quad (3)$$

Подставив сюда значение  $mV_0^2$  из (1), найдем  $y_1 = \frac{El^2}{4U_a}$ .

Напряженность электрического поля между пластинами  $E = \frac{U_y}{d}$ , где  $U_y$  - разность потенциалов между пластинами,  $d$  - расстояние между ними. Отсюда

$$y_1 = \frac{El^2}{4U_a} = \frac{U_y l^2}{4U_a d}. \quad (4)$$

Пусть экран расположен на расстоянии  $L$  от горизонтальных пластин. Тогда отклонение луча по вертикали будет равно  $y_0 = y_1 + y_2$ , где  $y_1$  определено выше, а  $y_2$  представляет собой вертикальную составляющую смещения электрона, полученного им на пути от пластин до экрана. При этом  $y_2 = V_y t_2$ , где  $V_y$  - скорость в вертикальном направлении, которую электрон приобретает при вылете из пространства между пластинами. Легко видеть, что  $V_y = at_1$ , а  $t_2 = \frac{L}{V_0}$ . Подставляя значения  $a, t_1$  и  $t_2$  в выражение для  $y_2$  имеем

$$y_2 = V_y t_2 = \frac{at_1 L}{V_0} = \frac{alL}{V_0^2} = \frac{U_y lL}{2U_a d}. \quad (5)$$

Полное отклонение электронного луча, таким образом, будет равно

$$y_0 = y_1 + y_2 = \frac{U_y l^2}{4U_a d} + \frac{U_y lL}{2U_a d} = \frac{U_y l}{2U_a d} \left( \frac{l}{2} + L \right) \approx \frac{lL}{2U_a d} U_y \quad (6)$$

так как  $L + \frac{l}{2} \approx L$  (поскольку  $l \ll L$ ).

Из формулы (6) следует, что *полное отклонение  $l_0$  линейно зависит от напряжения  $U_y$ , приложенного к вертикально отклоняющим пластинам*, т.е.

$$y_0 = \gamma U_y, \quad (7)$$

где коэффициент  $\gamma$ , равный  $\frac{lL}{2U_a d}$  определяет чувствительность трубки.

Следовательно, если на пластины осциллографа подать переменное напряжение, то при положительном потенциале верхней пластины луч будет отклоняться вверх, а при отрицательном – вниз. Таким образом, электронный луч будет вычерчивать на экране полосу, длина которой  $2l_0$  пропорциональна удвоенной амплитуде приложенного напряжения.

В реальных приборах переменное напряжение поступает вначале в блок ступенчатой и плавной регулировки коэффициента отклонения  $k_0$  по вертикали. Коэффициентом отклонения называют величину напряжения в вольтах или милливольтмах на входе осциллографа, которое вызывает отклонение луча на экране осциллографа по вертикали на одно большое деление масштабной сетки. Значения коэффициентов отклонения указываются на передней панели осциллографа рядом с соответствующими переключателями. Электронные усилители напряжения, входящие в состав блока, обладают высокостабильным коэффициентом усиления во всем диапазоне рабочих частот и напряжений, что позволяет указывать значения коэффициентов отклонения на передней панели осциллографа рядом с соответствующей ручкой переключения. Из сказанного следует, что для получения результата измерения амплитуды переменного напряжения  $U^1$  в вольтах (милливольтмах) необходимо используемый при данном измерении коэффициент отклонения  $k_0^1$  умножить на половину длины вертикальной полоски  $l_0^1$ ,  $U^1 = k_0^1 \cdot \frac{l_0^1}{2}$ .

С помощью осциллографа можно измерять величины напряжений не только синусоидальной формы, но и прямоугольной, пилообразной и другой формы. Измерение таких напряжений цифровыми и стрелочными вольтметрами переменного напряжения приводят к большой ошибке.

## **Наблюдение формы переменного напряжения и измерение частоты**

Очень часто осциллограф применяется для наблюдения формы колебаний напряжений. В этом случае желательно получить на экране осциллографа неподвижное изображение кривой, изображающей зависимость напряжения от времени, в том виде, как эта зависимость изображается на обычном графике. Например, если исследуемое напряжение имеет синусоидальную форму, то обычным графиком его является синусоида. При изображении синусоиды горизонтальная ось служит осью времени, а вертикальная ось является осью мгновенных значений напряжения. Напряжение  $U$  и время  $t$  изображаются на графике в виде отрезков прямой. Синусоида будет иметь неискаженную форму только в том случае, если эти отрезки будут пропорциональны - по вертикали напряжению -  $y = aU_y$  (указанное равенство следует из формулы (7)), а по горизонтали времени -  $x = bt$ .

Таким образом, чтобы получить на экране осциллографа неискаженное изображение исследуемого напряжения, нужно на горизонтально отклоняющие пластины подать напряжение, пропорциональное времени. Напряжение, подаваемое на горизонтально отклоняющие пластины, называется напряжением развертки. Напряжение развертки вырабатывается генератором развертки (рис. 1).

Форма этого напряжения представлена на рис. 3б. Частоту напряжения, вырабатываемого генератором развертки, можно ступенчато и плавно менять в достаточно больших пределах.

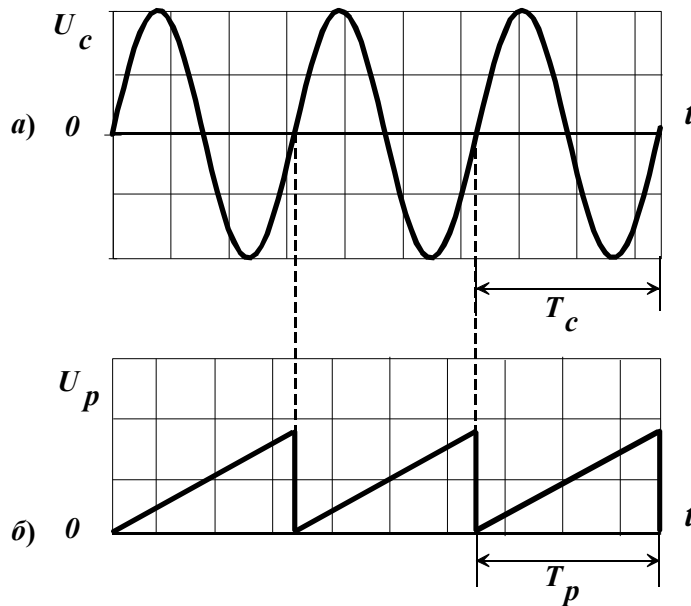


Рис. 3

Для получения неподвижного изображения, период  $T_p$  генератора развертки должна быть равен или в целое число раз больше периода исследуемого сигнала.

Добиться абсолютно точного совпадения периодов практически невозможно. Поэтому разверткой в осциллографе управляет специальная схема синхронизации. Она задерживает начало движения луча по экрану так, чтобы луч начал двигаться в тот момент, когда входное напряжение достигло определенного значения, напряжения стабилизации  $U_c$ . В этом случае луч начинает движение каждый раз с одной и той же точки графика входного сигнала. В результате, каждое следующее движение луча рисует картинку в одном и том же положении,

даже если периоды сигнала и развертки заметно не совпадают. Изображение получается стабильным и устойчивым. Напряжение сигнала, при котором происходит синхронизация (уровень синхронизации) задается органами управления осциллографом. Визуально изменение этого напряжения вызывает смещение начала изображаемого графика относительно начала периода сигнала (рис. 4). Существует несколько вариантов синхронизации, но наиболее часто используют внутреннюю синхронизацию. При внутренней синхронизации в блок синхронизации подается часть исследуемого сигнала, рис. 1.

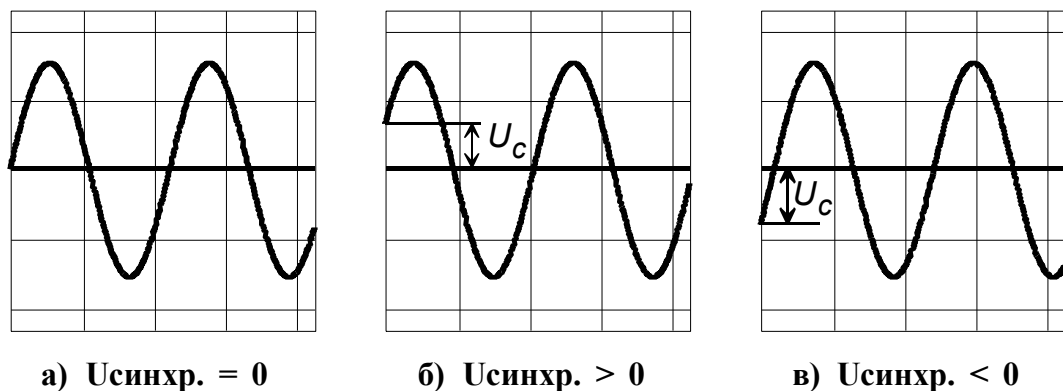


Рис.4

даже если периоды сигнала и развертки заметно не совпадают. Изображение получается стабильным и устойчивым. Напряжение сигнала, при котором происходит синхронизация (уровень синхронизации) задается органами управления осциллографом. Визуально изменение этого напряжения вызывает смещение начала изображаемого графика относительно начала периода сигнала (рис. 4). Существует несколько вариантов синхронизации, но наиболее часто используют внутреннюю синхронизацию. При внутренней синхронизации в блок синхронизации подается часть исследуемого сигнала, рис. 1.

Перед началом измерения частоты удобно установить уровень синхронизации равным нулю (рис. 4а). По существу измеряется не частота, а период  $T_0$  измеряемого сигнала, а частота  $f_0$  вычисляется по известной формуле  $f_0 = 1/T_0$ . Период сигнала можно измерять в различных частях осциллограммы, но наиболее удобно и точно измерять его в точках пересечения графиком оси времени. Значение периода вычисляют как произведение коэффициента развертки  $k_p$  (в секундах ( $s$ ), мили ( $ms$ ) или микросекундах ( $\mu s$ ) на деление) на число больших делений экранной сетки. *Коэффициентом развертки называют интервал времени, которому соответствует отклонение луча по горизонтали на одно большое деление масштабной сетки.* Значения ко

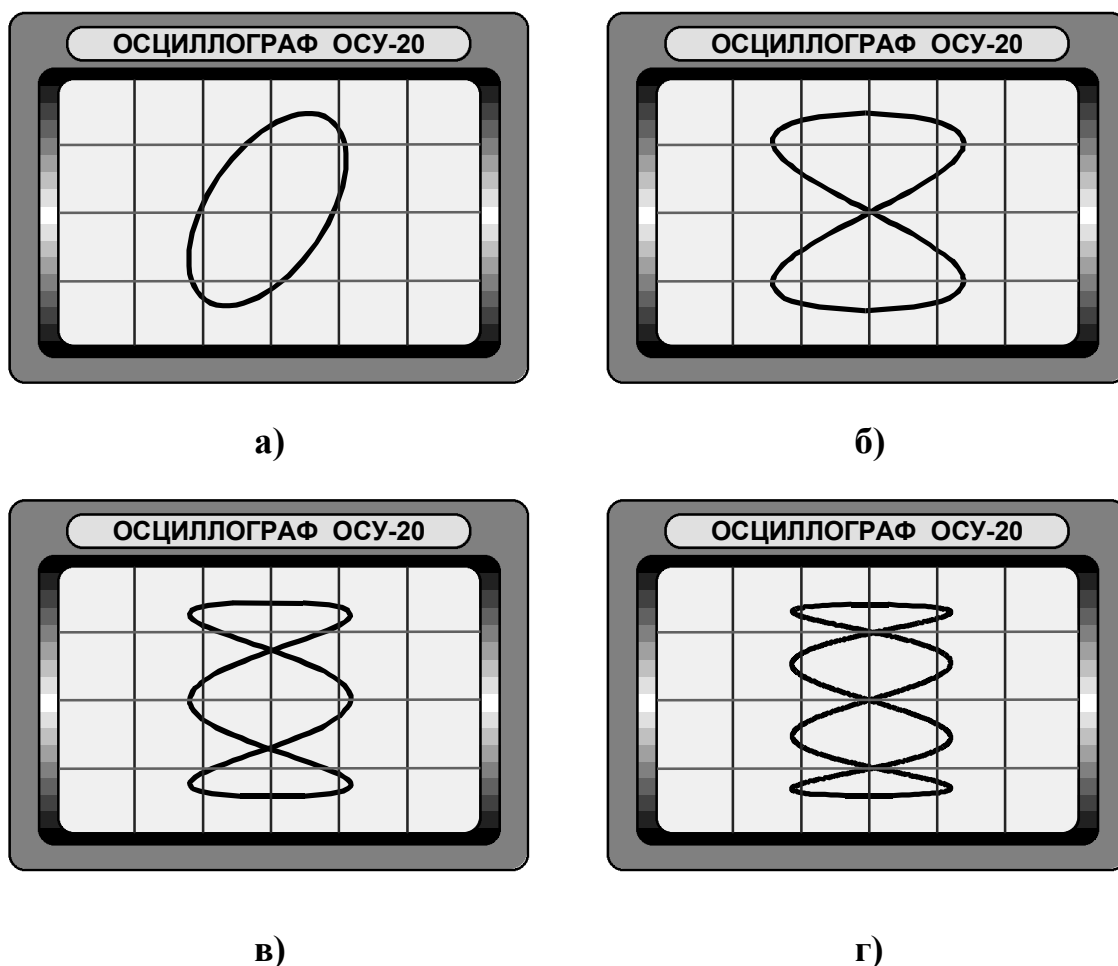


Рис. 5

эффициентов развертки указываются на передней панели осциллографа рядом с соответствующим переключателем.



## Наблюдение фигур Лиссажу

Одним из применений осциллографа является сравнение частот двух напряжений. Для этого, например, на  $X$ -пластины подают напряжение известной частоты  $f_x$  (от генератора низкой частоты), а на  $Y$ -пластины подают исследуемое напряжение частоты  $f_y$  (например, от другого генератора низкой частоты). Меняя частоту  $f_y$ , добиваются на экране неподвижной замкнутой кривой – фигуры Лиссажу (рис. 5). При равенстве частот  $f_y = f_x$  на экране получается эллипс, окружность или наклонная линия в зависимости от сдвига фаз между напряжениями и от соотношения между их амплитудами. Фигура в виде восьмерки или двойной дуги соответствует отношению частот 1:2 или 2:1, так как за время одного колебания в одном направлении происходит два колебания в перпендикулярном направлении и т. д. Если отношение частот не кратны целому числу, кривая на экране осциллографа не замкнута и движется по экрану. При большой разности частот фигуры на экране трудно разобрать.

## Измерение сдвига фаз между двумя напряжениями

### а) по расположению кривых на экране осциллографа

На рис. 6 представлены графики двух синусоидальных напряжений  $U_1$  и  $U_2$ . Амплитуды и частоты напряжений как видно из графиков одинаковы. Из рис. 6а видно, что процесс изменения напряжения  $U_2$  начинается на  $\Delta t$  секунд

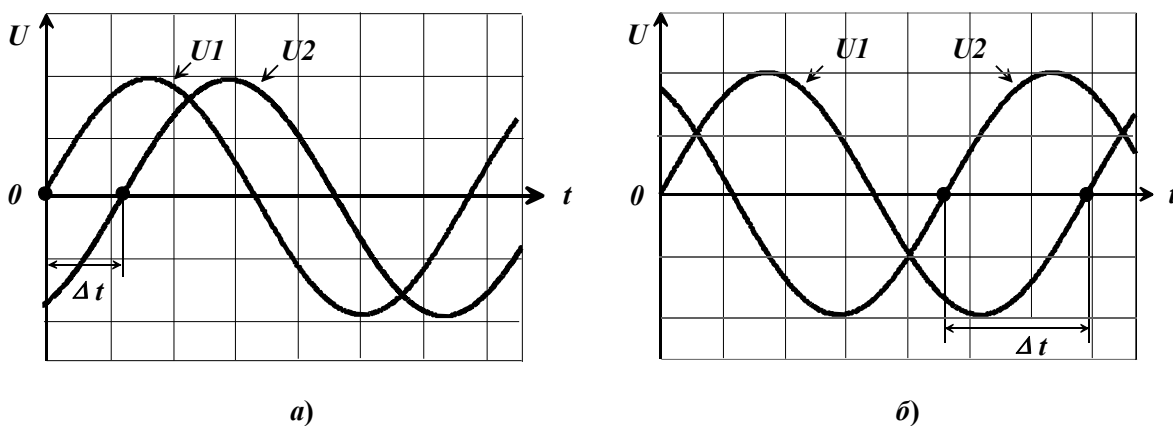


Рис. 6

позже  $U_1$ . Следовательно, можно записать:  $U_2 = U_0 \sin \omega(t - \Delta t)$ . Словами это можно выразить так: напряжение  $U_2$  в момент времени  $t$  имеет такое значение, какое напряжение  $U_1$  имеет в момент времени  $(t - \Delta t)$ . Формулу для  $U_2$  можно переписать в виде:  $U_2 = U_0 \sin(\omega t - \omega \Delta t) = U_0 \sin(\omega t - \Delta \varphi)$ , где  $\Delta \varphi = \omega \Delta t$ . Величина  $\Delta \varphi$  (в дальнейшем просто  $\varphi$ ) называется сдвигом фаз между  $U_2$  и  $U_1$ . Знак  $\varphi$  зави-

сит от того, какое напряжение отстает, а какое опережает. На рис. 6а  $U_2$  отстает от  $U_1$ , т.к. начало его периода расположено во времени позже, чем начало  $U_1$ . Этой ситуации соответствует отрицательное значение угла сдвига фаз,  $-\varphi$ . На рис. 6б начало процесса  $U_2$  не отображается, но из окончания первого периода видно, что напряжение  $U_2$  приходит к нулю раньше напряжения  $U_1$ , следовательно, оно опережает напряжение  $U_1$ . Сдвиг фаз  $U_2$  относительно  $U_1$  в этом случае положительный,  $+\varphi$ .

Наблюдать одновременно два процесса на экране можно с помощью двухканальных осциллографов. Такие осциллографы имеют два независимых входа (два канала), которые с помощью блока коммутации поочередно подключаются к вертикально отклоняющим пластинам. Оба графика можно независимо смещать по экрану в вертикальном направлении, добиваясь их удобного, как на рис. 6, взаимного расположения.

Из свойства периодичности функции синуса следует, что после прошествии времени, равного одному периоду колебания фаза изменяется на  $2\pi$  радиан. Поэтому, если измерить период и  $\Delta t$  в делениях экранной сетки, то модуль угла сдвига фаз  $\varphi$  можно вычислить по формуле

$$\varphi = 2\pi \frac{n}{N}, \quad (8)$$

где  $N$  - число делений экранной сетки, соответствующих периоду  $T$ , а  $n$  - число делений экранной сетки, соответствующих интервалу  $\Delta t$ .

### **б) по фигурам Лиссажу**

Двухканальные осциллографы позволяют простым поворотом ручки установки коэффициента развертки подключить одно из напряжений  $U_1$  или  $U_2$  к горизонтально отклоняющим пластинам осциллографа и наблюдать фигуры Лиссажу. Форма фигуры Лиссажу зависит от сдвига фаз  $\varphi$  между напряжениями на  $X$  и  $Y$  пластинах и отношения их амплитуд.

Выясним эту зависимость. Пусть на  $X$  и  $Y$  пластинах напряжение меняется по закону

$$U_x = A \cos \omega t, \quad U_y = B \cos(\omega t + \varphi). \quad (9)$$

Чтобы получить уравнение траектории движения луча на экране осциллографа, исключим из уравнений (9) параметр  $t$ . Из первого уравнения имеем

$$\cos \omega t = \frac{x}{A}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует,

$$\sin \omega t = \pm \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}}. \quad (11)$$

Развернем косинус во втором из уравнений (9) по формуле для косинуса суммы двух углов, подставляя при этом вместо  $\cos \omega t$  и  $\sin \omega t$  их значения (10) и (11). В результате получим

$$\frac{y}{B} = \frac{x}{A} \cos \varphi \mp \sin \varphi \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}}. \quad (12)$$

Это уравнение путем очевидных преобразований можно привести к виду

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi = \sin^2 \varphi. \quad (13)$$

Мы получили уравнение эллипса, оси которого повернуты относительно координатных осей  $X$  и  $Y$ , рис. 7.

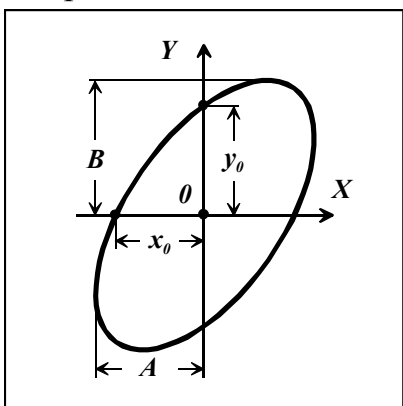


Рис. 7

Уравнение (13) позволяет по положению эллипса в декартовой системе координат вычислять угол сдвига фаз  $\varphi$ . Действительно, при значении  $x = 0$  из (13) получаем

$$y_0^2 = B^2 \sin^2 \varphi, \quad (14)$$

а при  $y = 0$  из того же уравнения имеем

$$x_0^2 = A^2 \sin^2 \varphi. \quad (15)$$

Сдвиг фаз  $\varphi$  из уравнений (14), (15) равен, соответственно,

$$|\varphi| = \arcsin\left(\frac{y_0}{B}\right), \quad |\varphi| = \arcsin\left(\frac{x_0}{A}\right)^2. \quad (16)$$

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Описание экспериментальной установки

Общий вид установки представлен на рис. 8. В состав установки входят следующие приборы: двухканальный осциллограф *ОСУ-20* и два низкочастотных генератора – *ГЗ-112/1* и *ГЗ-118*. Выбор режима работы установки осуществляется с пульта управления с помощью двух тумблеров  $T_1$  и  $T_2$ . Генератор *ГЗ-118* используется только для наблюдения фигур Лиссажу. Основным, рабочим является генератор *ГЗ-112/1*.

### Описание приборов установки

#### Осциллограф *ОСУ-20*

Осциллограф *ОСУ-20* предназначен для наблюдения формы переменного напряжения и измерения электрических параметров этого напряжения- амплитуды и частоты. При исследовании двух напряжений помимо указанных пара-

<sup>2)</sup>О выборе знака в формулах (16) можно прочитать в учебнике И.В.Савельева.

метров осциллограф позволяет измерять отношение частот этих напряжений и сдвиг фаз между ними. Изображение передней панели осциллографа представлено на рис. 9.

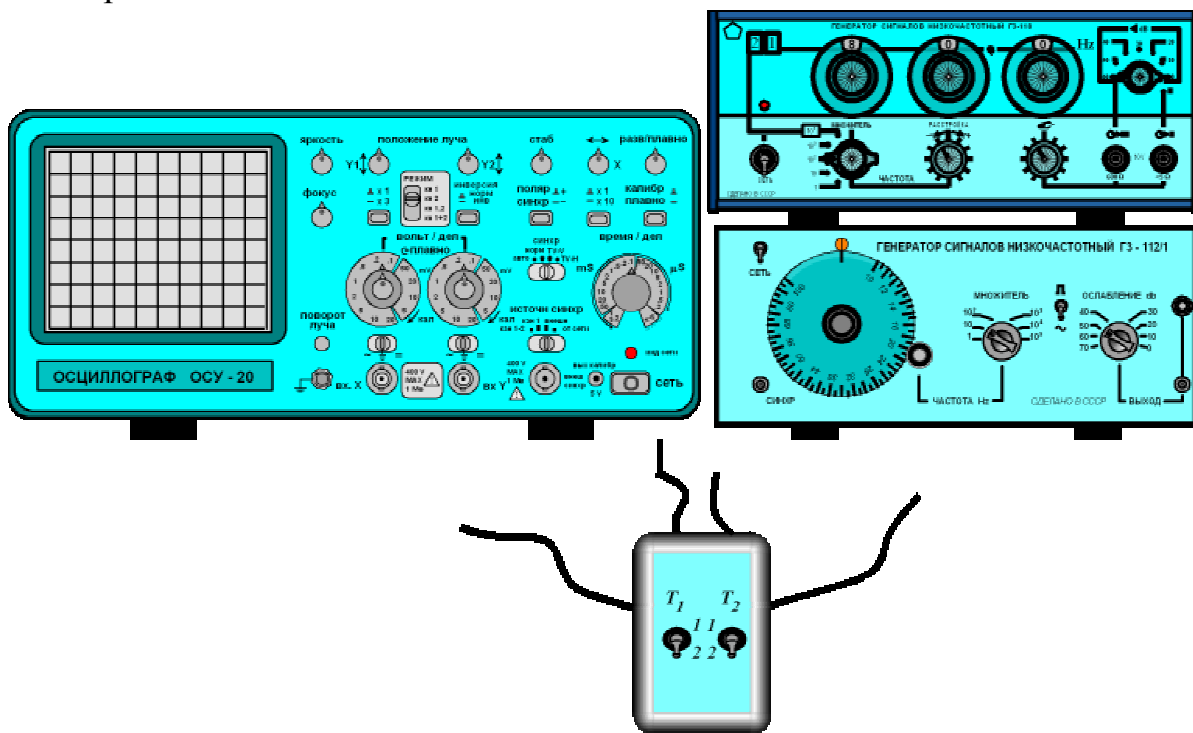


Рис. 8

### Назначение основных органов управления осциллографа

Обозначения ручек управления на передней панели прибора выполнены на английском языке. На рис. 9 они переведены на русский. Для удобства пользования описанием в тексте рядом с русским в скобках дается обозначение на английском языке.

- Кнопка (6) «СЕТЬ» (*POWER*) служит для подключения прибора к сети питания - напряжению  $\sim 220$  В.
- Индикатор (7) является индикатором включения питания.
- Высокочастотные разъемы (2) и (3) «Вх Х» (*CH1*) и «Вх Y» (*CH2*) служат для подключения к осциллографу исследуемых напряжений. Здесь следует отметить, что «Вх Х» и «Вх Y» оба являются входами каналов вертикального отклонения луча. При наблюдении фигур Лиссажу напряжение канала «Вх Х» подается на горизонтально отклоняющие пластины, что и определяет название канала. В некоторых случаях входной сигнал может содержать кроме переменной ( $\sim$ ) (*AC*) еще и постоянную составляющую ( $=$ ) (*DC*). Выбор режима для наблюдения того, или иного сигнала осуществляется переключателями с символами ( $\sim, \perp, =$ ) (*AC, GND, DC*), находящи-

мися над высокочастотными разъемами. Если какой-либо переключатель находится в положении ( $\perp$ ) (*GND*), то это означает, что соответствующий вход закорочен на землю. В этом случае изображение напряжения соответствующего канала на экране осциллографа отсутствует.

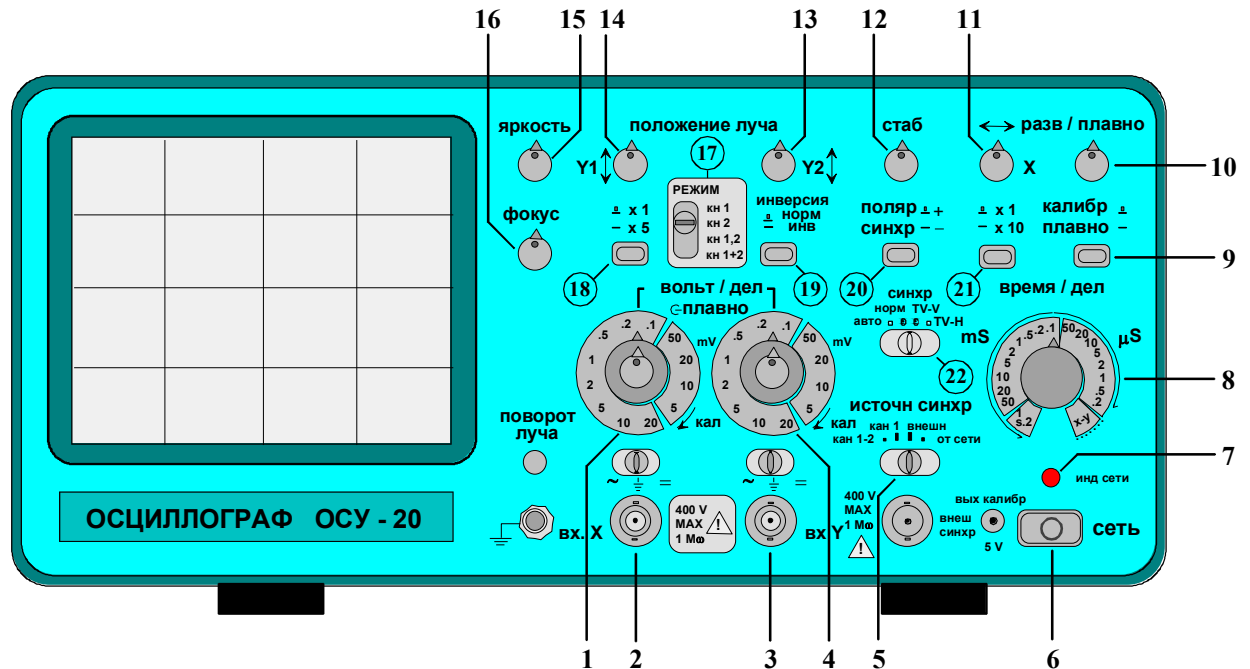


Рис. 9

- Переключатель (17) «РЕЖИМ», (*MODE*) обеспечивает выбор режима вывода напряжений по «*VxX*» (*CH1*) и «*VxY*» (*CH2*) на экран осциллографа: в положении «*КН1*» (*CH1*) на экране наблюдается только напряжение «*VxX*» (*CH1*), в положении «*КН2*» (*CH2*) на экране наблюдается только напряжение «*VxY*» (*CH2*), в положении «*КН1,2*» (*DUAL*) на экране наблюдаются оба напряжения, в положении «*КН1+2*» (*ADD*) на экране наблюдается алгебраическая сумма или разность (при нажатии кнопки (19) «ИНВЕРСИЯ» (*NORM/INV*)) напряжений каналов «*КН1*» и «*КН2*».
- Ручки (16), (15), (14), (13) «ФОКУС» (*FOCUS*), «ЯРКОСТЬ» (*INTEN*), «ПОЛОЖЕНИЕ ЛУЧА  $Y_1, Y_2$ » (*POSITION Y*) служат для фокусировки, регулировки яркости и перемещения лучей (по вертикали) на экране осциллографа.
- Ручка (11) «*X*» ( $\leftrightarrow$  *POSITION X*) служит для горизонтального перемещения луча.
- Ручки (1), (4) «ВОЛЬТ/ДЕЛ плавно» (*VOLTS/DIV variable*) служат для ступенчатого и плавного изменения коэффициента отклонения каналов вертикального отклонения. Когда ручка плавной регулировки находится в

крайнем правом положении, это обеспечивает калиброванное значение положений переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ».

- Кнопка (18) « $\frac{\times 1}{\times 5}$ » служит для увеличения коэффициентов отклонения усилителей в пять раз.
- Ручки (8) и (10) «ВРЕМЯ/ДЕЛ», (TIME/DIV), «разв/плавно» (variable) служат для ступенчатого и плавного изменения длительности (частоты) развертки. Отжатое положение кнопки (9) «КАЛИБР-ПЛАВНО» (CAL-VAR) обеспечивает калиброванное значение положений переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» (TIME/DIV). Перевод ручки (8) в положение «X-Y» обеспечивает наблюдение фигур Лиссажу.
- Кнопка (21) « $\frac{\times 1}{\times 10}$ » служит для увеличения скорости развертки в десять раз.
- Переключатели (5), (20) и (22) «ИСТОЧНИК СИНХР» (TRIGGER SOURCE), «ПОЛЯР СИНХР» (SLOPE) и «СИНХР» (MODE) служат для выбора источника, полярности и режима синхронизации.
- Ручка (12) «СТАБ» (TRIG LEVEL) служит для установки уровня напряжения стабилизации  $U_c$ .

## Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112/1

Генератор ГЗ-112/1 предназначен для выработки напряжений синусоидальной и прямоугольной формы в диапазоне частот от 10 Гц до 10 МГц

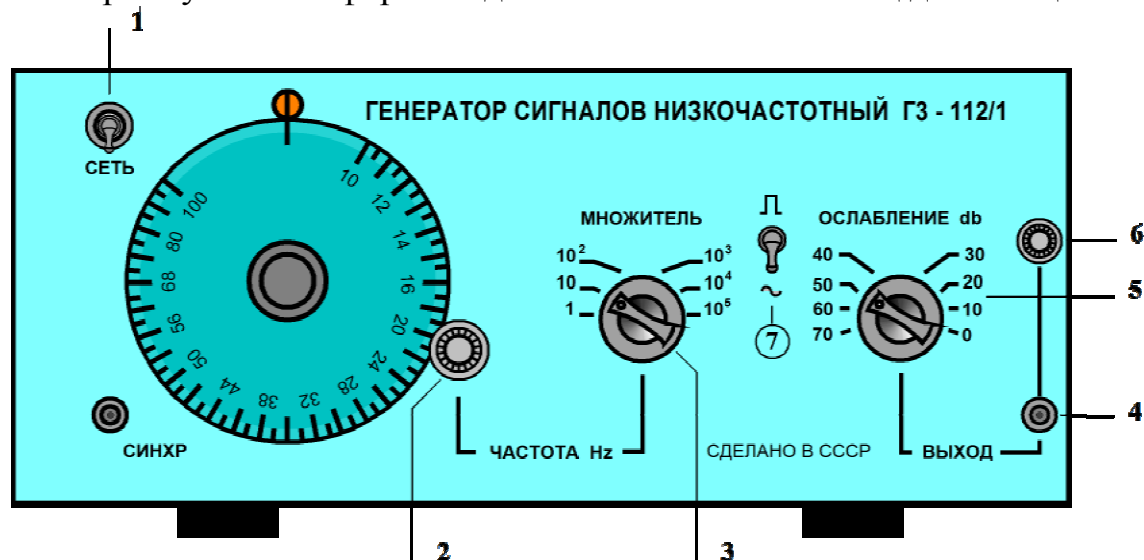


Рис. 10

(мегагерц). Передняя панель прибора представлена на рис. 10.

## Назначение основных органов управления генератором

- (1) «СЕТЬ» – тумблер включения прибора в сеть ~ 220 В.
- (2) – ручка плавной установки частоты в выбранном диапазоне частот.
- (3) «МНОЖИТЕЛЬ» - переключатель диапазона частот генератора. Частота выходного напряжения изменяется ступенчато с помощью переключателя «МНОЖИТЕЛЬ» и плавно с помощью малой ручки (2), находящейся во фрикционном зацеплении с лимбом отсчета частоты. Над верхним концом вертикального диаметра лимба находится подсвечиваемая риска для отсчета частоты. Если напротив этой риски, например, установлена отметка лимба с цифрой 10, а ступенчатый переключатель «МНОЖИТЕЛЬ» находится в положении  $10^3$ , то частота напряжения на выходе генератора равна  $10 \times 10^3 \text{ Гц} = 10 \text{ кГц}$ .
- (4) «ВЫХОД» - высокочастотный разъем, на который выводится напряжение генератора.
- (5) «ОСЛАБЛЕНИЕ db» - переключатель ступенчатого изменения уровня выходного напряжения.
- (6) – ручка плавного изменения уровня выходного напряжения.
- (7) – Тумблер переключения режима работы генератора: режим синусоидального сигнала  $\sim$ , режим прямоугольного сигнала  $\square$

## Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-118

Генератор ГЗ-118 предназначен для выработки напряжений синусоидальной формы в диапазоне частот от 10 Гц до 200 кГц (килогерц). Передняя панель

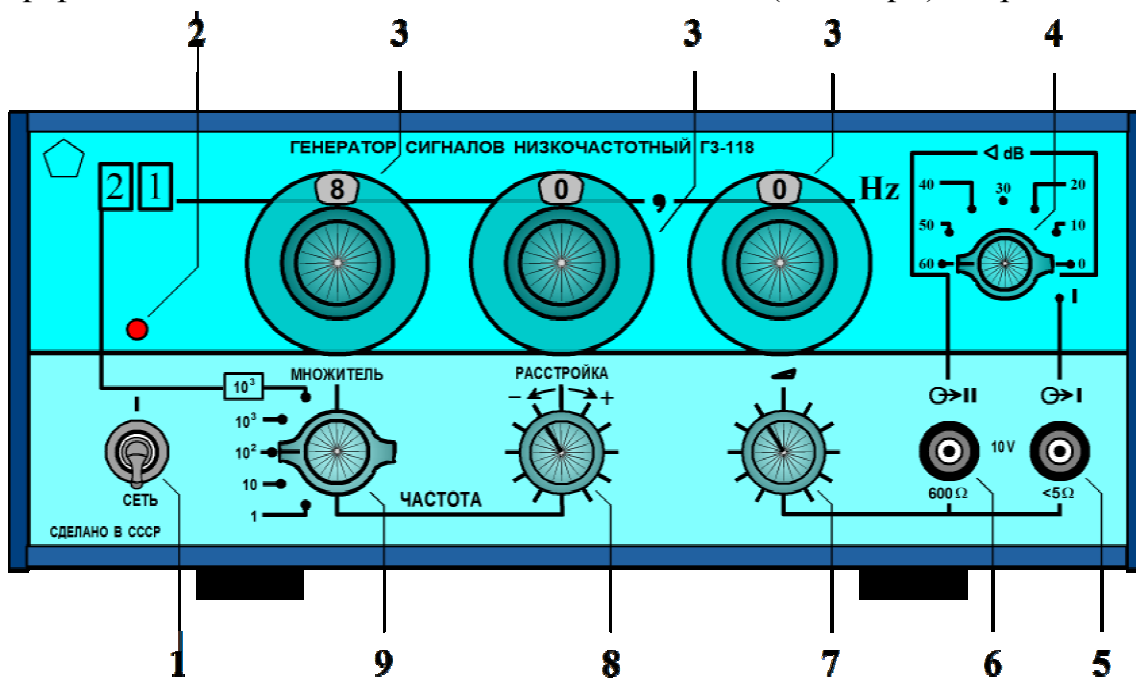


Рис. 11

прибора представлена на рис. 11.

- (1) «СЕТЬ» - тумблер включения прибора в сеть  $\sim 220 В$ .
- (2) – световой индикатор включения прибора в сеть.
- (3) – переключатели ступенчатого изменения частоты выходного напряжения.
- (4) – переключатель ступенчатого изменения уровня выходного напряжения на высокочастотном разъеме (6) с  $600 \Omega$  выходом.
- (5) – высокочастотный разъем с сопротивлением выхода  $< 5 \Omega$ .
- (7) – плавное изменение выходного напряжения на высокочастотных разъемах (5) и (6).
- (9) «МНОЖИТЕЛЬ» – переключатель диапазонов частоты выходного напряжения. Для нахождения частоты напряжения на выходах (5), (6) необходимо показания переключателей (3) умножить на множитель (9). Пример вычисления частоты выходного напряжения генератора изображенного на рис. 11:  $80,0 Гц \times 10^2 = 8000 Гц$ .
- (8) «РАССТРОЙКА» - ручка плавного изменения в малых пределах частоты выходного напряжения генератора.

## Пульт управления

Общий вид пульта управления приведен на рис. 8. В состав его входят два тумблера  $T_1$  и  $T_2$ , которые имеют два устойчивых состояния, отмеченных цифрами 1 и 2. Принципиальная схема пульта приведена на рис. 12. Из рис. 12 следует:

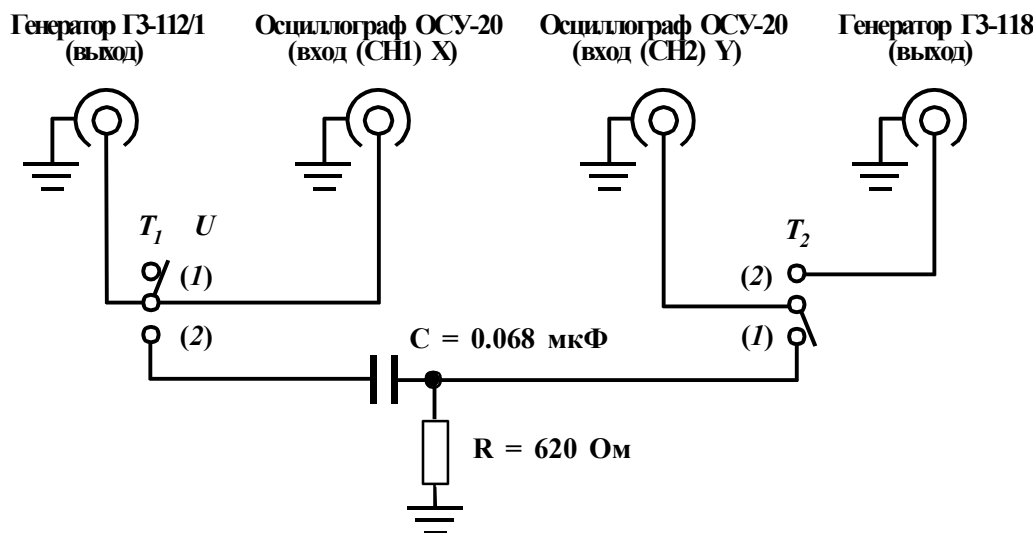


Рис. 12

- Если тумблеры  $T_1$  и  $T_2$  находятся в состоянии 1, то переменное напряжение с генератора  $G3-112/1$  подается на  $VxX$  (CH1) осциллографа  $OCY-20$ , а ко  $VxY$  (CH2) подключается сопротивление  $R$ , напряжение на котором



- равно нулю. При таком состоянии пульта наблюдают форму напряжения генератора  $\Gamma 3-112/1$ , измеряют амплитуду и частоту этого напряжения.
- Если тумблер  $T_1$  находится в состоянии 1, а тумблер  $T_2$  в состоянии 2, то на вход осциллографа  $VxX$  ( $CH1$ ) по-прежнему поступает напряжение от генератора  $\Gamma 3-112/1$ , но ко входу  $VxY$  ( $CH2$ ) подключается напряжение от генератора  $\Gamma 3-118$ . При таком состоянии пульта на экране осциллографа наблюдают фигуры Лиссажу. Устойчивого состояние картинки добиваются изменением частоты генератора  $\Gamma 3-112/1$ .
  - Если тумблер  $T_1$  находится в состоянии 2, а тумблер  $T_2$  находится в состоянии 1, то на входе  $VxX$  ( $CH1$ ) по-прежнему сохраняется напряжение генератора  $\Gamma 3-112/1$ , а на вход  $VxY$  ( $CH2$ ) поступает напряжение с того же генератора, но сдвинутое  $RC$  цепочкой на некоторый угол  $\varphi$ . На экране осциллографа появляется эллипс, повернутый на некоторый угол относительно декартовой системы координат.

## ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К ИЗМЕРЕНИЯМ

Все приборы установки связаны между собой высокочастотными кабелями, расположение которых в процессе работы не меняется.

До включения приборов в сеть  $\sim 220$  В установить их органы управления в следующие положения:

### Осциллограф ОСУ-20

- Кнопка (18) – отжата.
- Кнопка (19) – отжата.
- Кнопка (20) – отжата.
- Кнопка (21) – отжата.
- Кнопка (9) – отжата.
- Ручка (10) – в произвольном положении.
- Ручки (1), (4) – ступенчатой регулировки коэффициента отклонения в положение (2).
- Ручки (1), (4) – плавной регулировки коэффициента отклонения повернуть по часовой стрелке до упора.
- Переключатель (22) «СИНХР» ( $MODE$ ) - в положение «АВТО» ( $AUTO$ ).
- Переключатель (5) «ИСТОЧНИК СИХР» ( $TRIGGER SOURCE$ ) - в положение «КАН1» ( $CH1$ ).
- Переключатель (17) «РЕЖИМ» ( $MODE$ ) в положение «КН1» ( $CH1$ ).

### Генератор ГЗ-112/1

- Переключатель (3) «МНОЖИТЕЛЬ» - в положение  $10^2$ .
- Переключатель (5) «ОСЛАБЛЕНИЕ db» - в положение 0.
- Ручку (6) повернуть против часовой стрелки до упора.

## Генератор ГЗ-118

- Переключатели (3) « $Y\ Hz$ » - в положение  $08,0\ Hz$ .
- Переключатель (9) «МНОЖИТЕЛЬ» - в положение  $10^3$ .
- Переключатель (4) « $\angle db$ » - в положение  $1$ .
- Ручку (7) плавной регулировки выходного напряжения установить на 4-е деление, что соответствует, примерно, напряжению  $3.0V$  на выходе генератора.

### ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ

- Тумблеры  $T_1$  и  $T_2$  установить в положение  $1$ .

## ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

### Упр. 1

## НАБЛЮДЕНИЕ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЙ, ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ И ЧАСТОТЫ

Кнопкой (6) осциллографа и тумблерами (1) генератора ГЗ-112/1 и ГЗ-118 подключить приборы к сети  $\sim 220V$  и дать им прогреться в течение нескольких минут.

### Генератор ГЗ-112/1

- Тумблер (7) установить в положение ( $\sim$ ).
- Ручкой (2) произвольно установить частоту в диапазоне 20-80 дел. (отсчет по лимбу).

### Осциллограф ОСУ-20

- Переключатели состояния входа « $\sim, \perp, =$ » ( $AC, GND, DC$ ) установить в положение « $\sim$ » ( $AC$ ).
- Ручками (15) «ЯРКОСТЬ» ( $INTEN$ ), (16) «ФОКУС» ( $FOCUS$ ) добиться появления на экране четкой, но не слишком яркой линии развертки.
- Ручкой (14) «ПОЛОЖЕНИЕ ЛУЧА» ( $POSITION$ ) установить линию развертки по центру экрана (вдоль горизонтальной линии с малыми делениями).

Поворотом ручки (6) генератора ГЗ-112/1 установить амплитуду синусоидального напряжения на экране, равную 3-м большим делениям. Ручкой (8) «ВРЕМЯ/ДЕЛ» ( $TIME/DIV$ ) осциллографа добиться того, чтобы на экране укладывалось минимальное число полных колебаний. Ручкой (12) «СТАБ» ( $TRIG LEVEL$ ) осциллографа установить напряжение стабилизации  $U_c = 0$  (положение синусоиды на экране должно соответствовать рис. 4а). Зарисовать изображение синусоиды в тетради. Измерить частоту и амплитуду напряжения. Поставить переключатель (7) генератора ГЗ-112/1 в положение  $\square$ , изменить частоту и провести те же измерения с сигналом прямоугольной формы. После из-

мерений вернуть переключатель (7) генератора в положение (~). При отчете представить графики напряжений с указанием амплитуды и частоты.

## Упр. 2 НАБЛЮДЕНИЕ ФИГУР ЛИССАЖУ И ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЧАСТОТ ГЕНЕРАТОРОВ

Установить переключатели пульта управления в следующие положения:  $T_1$  - в положение 1,  $T_2$  - в положение 2.

Поставить переключатель (8) «ВРЕМЯ/ДЕЛ» (TIME/DIV) осциллографа в положение X-Y. На экране появится квадрат зеленого цвета, представляющий собой ненастроенную фигуру Лиссажу. Сместите изображение в центр экрана. Установите последовательно частоту генератора ГЗ-112/1 равной 80, 60, 40 и 20 делениям лимба. Добейтесь в каждом случае устойчивой картинке фигур Лиссажу, зарисуйте их и укажите отношение частот  $f_x : f_y$  для каждой картинке. При отчете представьте зарисованные картинке с указанием отношения  $f_x : f_y$  под каждой.

## Упр. 3 ИЗМЕРЕНИЕ СДВИГА ФАЗ

### а) По сдвигу кривых напряжений

- Установите тумблер  $T_1$  пульта управления в положение 2, а  $T_2$  - в положение 1.
- Верните переключатель (8) «ВРЕМЯ/ДЕЛ» (TIME/DIV) осциллографа в положение, которое он занимал при выполнении упражнения 1 (на экране должно появиться неподвижное изображение синусоиды).
- Установите переключатель (17) «РЕЖИМ» (MODE) осциллографа в положение «KH1,2» (DUAL). На экране появятся изображения двух синусоид, одинаковой частоты сдвинутых по фазе на некоторый угол.
- Закоротите входы каналов «ВхХ» (CH1) и «ВхУ» (CH2) на землю. Для этого переключатели «~, ⊥, =» (AC, GND, DC) переведите в положение «⊥» (GND).
- Ручками (13) и (14) «ПОЛОЖЕНИЕ ЛУЧА» (POSITION) осциллографа установите линии развертки обоих каналов на одну и ту же линию в центре экрана (линию с мелкими делениями).
- Верните переключатели «~, ⊥, =» в прежнее положение «~» (AC).

- Ручкой (12) «СТАБ» (*TRIG LEVEL*) осциллографа установите начало изображения синусоиды по каналу «ВхХ» (*CH1*) от генератора ГЗ-112/1 на горизонтальную линию с мелкими делениями,  $U_c = 0$ .
- Ручкой (11) (*POSITION*) осциллографа установите начало той же синусоиды на одну из вертикальных линий экранной сетки.

Измерьте в малых делениях сетки период той же синусоиды  $N$  и длину  $n$  отрезка  $\Delta t$  (см. рис 6б). По формуле

$$\varphi = 2\pi \frac{n}{N} \quad (8)$$

Вычислите сдвиг фаз  $\varphi$  между напряжениями. Укажите, какое напряжение отстает, либо опережает другое.

### б) Определение сдвига фаз методом фигур Лиссажу

- Переведите переключатель (8) «ВРЕМЯ/ДЕЛ» (*TIME/DIV*) в положение X – Y. На экране появится фигура Лиссажу в виде эллипса. Зарисуйте эллипс в тетради.
- Установите центр эллипса в центре экрана. Для этого закоротите на землю входы каналов «ВхХ» (*CH1*) и «ВхY» (*CH2*) (соответствующие переключатели поставьте в положение «⊥» (*GND*)) и ручками (11) «X» (*POSITION X*) и (13) «Y2» (*POSITION Y*) поместите луч в центр перекрестия линий экрана с малыми делениями.
- Поочередно, возвращая переключатели входов в положение «~» (*AC*) измерьте длину линий по горизонтали –  $2A$  и по вертикали –  $2B$  (в малых делениях экранной сетки) (см. рис 7).
- Измерьте в тех же единицах  $x_0$  и  $y_0$  (см. рис. 7).

По формулам

$$|\varphi| = \arcsin\left(\frac{y_0}{B}\right), \quad |\varphi| = \arcsin\left(\frac{x_0}{A}\right) \quad (16)$$

вычислите модуль сдвига фаз  $\varphi$ .

При отчете представьте: эллипс с указанием отрезков  $2A$  и  $2B$ ,  $x_0$  и  $y_0$  и среднее значение трех измерений угла сдвига фаз  $\varphi$  с указанием погрешности измерений.