

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

В.Г. КАЗАЧКОВ, Е.В. ВОЛКОВ

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 23

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет» в качестве
методических указаний для студентов

Оренбург 2009

УДК 621.317.75 (07)

ББК 31.2я7

К 14

Рецензент

кандидат физико-математических наук, доцент Э.А. Савченков

К14 **Казачков В.Г.**
Электронный осциллограф: методические указания к
лабораторной работе №23 / В.Г. Казачков, Е.В. Волков –
Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 19 с.

Методические указания предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного отделений всех специальностей для выполнения лабораторной работы № 23 «Электронный осциллограф».

ББК 31.2я7

© Казачков В.Г.,
Волков Е.В.

© ГОУ ОГУ, 2009

Электронный осциллограф широко используется в научных и инженерных работах. С его помощью можно посмотреть форму электрического сигнала, представляющую собой функциональную зависимость параметров изучаемого процесса; можно измерить величины параметров исследуемых сигналов (амплитуду, частоту и фазу). Кроме измерения электрических величин, осциллограф широко используется при измерении различных неэлектрических величин

Электронный осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки, генератора развертки, двух усилителей и блока питания. Структурная схема осциллографа представлена на рисунке 1.

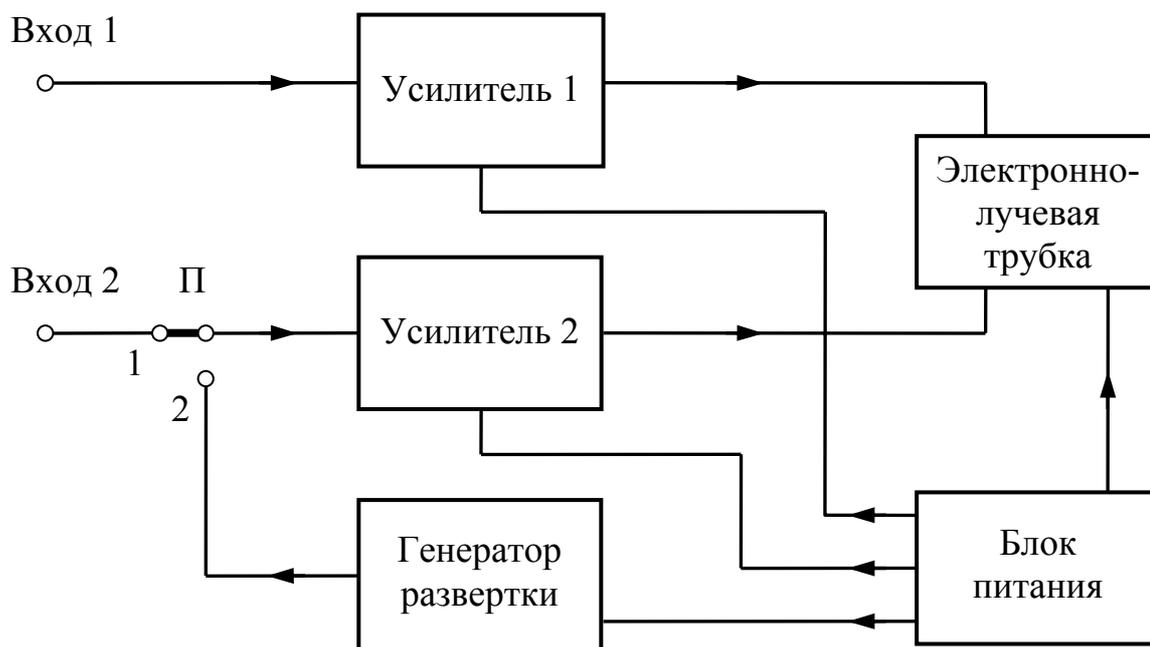


Рисунок 1

Для ознакомления с работой осциллографа разберем назначение каждой части.

1 Электронно-лучевая трубка

Электронно-лучевая трубка является основным элементом осциллографа. Кроме того, она широко используется в радиолокации, телевидении и других областях современной радиоэлектроники. Рассмотрим, прежде всего, электронно-лучевую трубку с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением луча, называемую часто просто электростатической трубкой.

На рисунках 2а и 2б схематически показаны устройство трубки и цепи ее питания, а также изображение трубки на схемах.

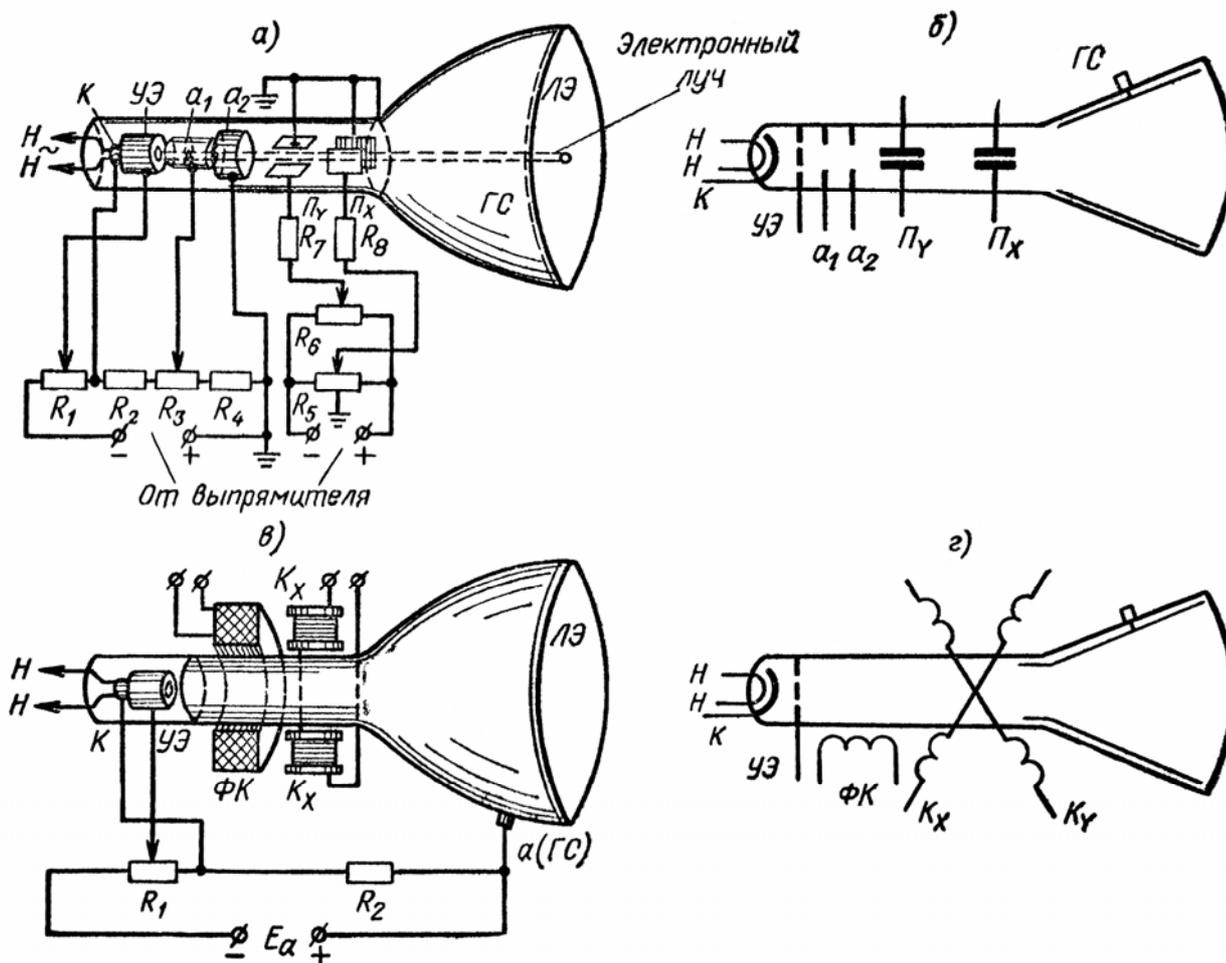


Рисунок 2

Подогревный оксидный *катод* K имеет форму цилиндрика, внутри которого находится *нить накала* $НН$. Эмиссия электронов получается с покрытого оксидным слоем доньшка катода. Около катода располагается *управляющий* электрод $УЭ$ цилиндрической формы с отверстием в доньшке, называемый иногда сеткой, модулятором или цилиндром Венельта. На управляющий электрод подается отрицательное относительно катода напряжение порядка десятков вольт. Величину его можно регулировать при помощи потенциометра R_1 . Электрическое поле между катодом и управляющим электродом сжимает поток электронов, вылетевших из катода, направляя его в отверстие управляющего электрода. С увеличением отрицательного напряжения на управляющем электроде все больше электронов отталкивается обратно на катод и уменьшается количество электронов, пролетающих в отверстие. При некотором отрицательном напряжении на управляющем электроде все электроны возвращаются на катод.

Два следующих электрода, также цилиндрической формы, называются *первым и вторым анодами* (a_1 и a_2). Они имеют высокий положительный по-

тенциал относительно катода. Напряжение второго анода U_{a2} от 600 В до нескольких тысяч вольт (в зависимости от типа трубки), а напряжение первого анода U_{a1} в несколько раз меньше. Первый анод имеет перегородки с отверстиями (диафрагмы). В некоторых трубках конструкция более сложная. Под действием ускоряющего поля анодов электроны приобретают большую скорость. Благодаря диафрагмам и влиянию электрического поля между анодами электроны фокусируются в тонкий пучок – *электронный луч*. Вся система, состоящая из катода, управляющего электрода и анодов, называется *электронным прожектором* или *электронной пушкой*.

Электронный луч, пройдя остальное пространство трубки, ударяется в *люминесцирующий экран ЛЭ*, который представляет собой слой вещества (например, оксида цинка, кремнекислого цинка и др.) способный давать свечение под ударами электронов. В месте, где электронный луч попадает на экран, получается светящееся пятно. Различные вещества дают свечение того или иного цвета. У трубок для визуального наблюдения свечение зеленое или желтое (глаз наиболее чувствителен к этой части спектра), а у трубок для фотографирования осциллограмм свечение синее, так как фотопленка более чувствительна к синей части спектра. Телевизионные трубки имеют белое свечение.

Количество электронов, ударяющих в экран, определяет яркость свечения. Её регулируют изменением отрицательного потенциала на управляющем электроде. Потенциометр R_1 является *регулятором яркости*. Фокусировка электронов достигается изменением разности потенциалов между анодами. *Регулятор фокусировки* – потенциометр R_3 , изменяющий напряжение на первом аноде. При этом меняется напряженность электрического поля между анодами, что приводит к улучшению или ухудшению фокусировки электронного луча.

На пути электронного луча под прямым углом друг к другу поставлены две пары *отклоняющих* пластин $П_y$ и $П_x$. Когда между ними нет разности потенциалов, то они не влияют на электронный луч. Если подать на пару пластин напряжение, то между ними образуется электрическое поле, которое отклонит электронный луч в сторону положительно заряженной пластины. Чем больше напряжение на пластинах, тем сильнее отклоняется луч и светящееся пятно на экране трубки.

Пластины $П_y$ отклоняют луч по вертикали и называются *пластинами вертикального отклонения*, а пластины $П_x$, отклоняющие луч в горизонтальном направлении, называются *пластинами горизонтального отклонения*.

Обычно второй анод электронно-лучевой трубки соединяется с корпусом и имеет нулевой потенциал относительно земли. Катод же изолирован от корпуса и имеет высокий отрицательный потенциал.

Прикосновение к проводу катода и цепи накала представляет опасность. Вообще всякие прикосновения к схеме трубки можно делать только при выключенном питании.

Одна отклоняющая пластина из каждой пары часто также бывает соединена с анодом a_2 , то есть имеет нулевой потенциал.

На электронный луч сильно влияют магнитные поля, поэтому трубку помещают в металлический корпус (магнитная защита). Выводы электродов делаются, как правило, к штырькам цоколя, которые, для упрощения, на рисунке 2а показаны в разных местах трубки.

Электроны, попадающие на экран, необходимо отвести, чтобы они не заряжали экран до высокого отрицательного потенциала. Для этого экран делают с вторичной эмиссией, и часть внутренней поверхности трубки покрывают проводящим графитовым слоем $ГС$, соединенным с землей. Вторичные электроны летят от экрана к этому слою, так как он имеет небольшой положительный потенциал относительно экрана.

Графитовый слой иногда используется в качестве третьего анода. В этом случае на него подается более высокое напряжение, чем на второй анод.

Чтобы установить начальное положение светящегося пятна, на потенциометры R_5 и R_6 подается некоторое постоянное напряжение от внутреннего источника питания. Движки потенциометров соединены с незаземленными отклоняющими пластинами через большие сопротивления R_7 и R_8 . Когда движки стоят в средних положениях, то на отклоняющих пластинах напряжение равно нулю. Перемещая движки, можно подавать на отклоняющие пластины напряжение того или иного знака и смещать пятно по вертикали или по горизонтали.

От выпрямителя, (который находится внутри осциллографа и является источником питания) через делитель R_1, R_2, R_3, R_4 подаются различные напряжения на электроды электронного прожектора. Ток, потребляемый трубкой, обычно составляет доли миллиампера. Делитель также потребляет небольшой ток. Поэтому выпрямитель должен давать высокое напряжение при малом токе. Накал трубки обычно питается переменным током.

Трубку характеризуют величины питающих напряжений, ток накала, диаметр экрана и чувствительность.

Чувствительностью трубки называют отклонение светящегося пятна при изменении напряжения на отклоняющих пластинах на 1 В. Она выражается в миллиметрах на вольт (мм/В). Она несколько выше для пластин, более удаленных от экрана. При увеличении напряжения на втором аноде чувствительность трубки падает.

Главными свойствами электронно-лучевой трубки являются: малая инерционность (электронный луч отклоняется при изменении напряжения на пластинах с частотой мегагерцы (МГц) и выше); пропорциональность отклонения пятна вдоль экрана прикладываемому к пластинам напряжению.

Электронно-лучевая трубка с магнитной фокусировкой и магнитным отклонением, называемая просто магнитной трубкой, показана на рисунке 2в и 2г. Её электронный прожектор имеет только один анод. В качестве второго анода используется графитовый слой. В некоторых трубках он является единственным анодом.

Питание управляющего электрода и анода осуществляется так же, как и в электростатической трубке. Выходящий из прожектора поток электронов попадает в магнитное поле, созданное фокусирующей катушкой $\Phi К$ (на ри-

сунке она показана в разрезе). Эта катушка питается постоянным током. Под влиянием магнитного поля фокусирующей катушки электронный поток фокусируется, то есть движется к экрану сходящимся пучком. Увеличивая или уменьшая ток в катушке ΦK , можно усиливать или ослаблять её фокусирующее действие.

Для отклонения электронного луча служат две пары отклоняющих катушек, расположенных под прямым углом друг к другу. На рисунке 2в показана пара катушек, расположенных вертикально. Катушки K_x , создающие вертикальное магнитное поле, отклоняют луч по горизонтали. Отклонение луча по вертикали осуществляется при помощи катушек K_y , которые расположены горизонтально и создают горизонтальное магнитное поле (на рисунке 2в не показаны).

Чем больше витков имеют отклоняющие катушки и чем больше в них ток, тем сильнее отклоняется электронный луч. Направление его отклонения зависит от направления тока в катушке.

Чувствительность магнитных трубок оценивается отклонением светящегося пятна к ампер-виткам соответствующей отклоняющей пары катушек (в миллиметрах на ампер-виток).

Магнитные трубки по сравнению с электростатическими имеют более простое устройство, дают лучшую фокусировку электронного луча и имеют меньшую длину (их используют в телевизорах). К их недостаткам следует отнести непрерывное потребление тока отклоняющими катушками. В электростатической трубке отклоняющие пластины не потребляют тока, к ним подводится только напряжение.

Условные обозначения электронно-лучевых трубок начинаются с числа, которое указывает диаметр или диагональ экрана в сантиметрах. Затем ставятся две буквы: ЛО – для осциллографических и приемных телевизионных трубок (кинескопов) с электростатическим отклонением и ЛК для кинескопов с магнитным отклонением. Следующим элементом обозначения является число для отличия трубок друг от друга, у которых остальные элементы обозначения одинаковы. Иногда в конце обозначения ставится буква для указания люминесцирующего экрана (например, буква Б указывает на белое свечение). Приведём некоторые обозначения осциллографических трубок: 8ЛО29, 13ЛО37, 13ЛО54 и ряд других, а также кинескопы 18ЛК4Б, 35ЛК2Б, 53ЛК2Б.

2 Генератор развертки

Вторым важным элементом осциллографа является генератор развертки. Генератор развертки создает электрическое напряжение, с помощью которого электронный луч перемещается вдоль горизонтальной оси с постоянной скоростью, что позволяет развернуть исследуемый сигнал во времени. Это напряжение называется напряжением развертки или просто разверткой.

Если исследуемое напряжение представляет собой периодическую функцию времени, то наиболее удобной является синхронизированная развертка с периодом, равным или кратным периоду сигнала. Такая развертка бывает обычно возвратно-линейной или пилообразной и создается (как мы уже сказали) с помощью специального генератора развертки. Пример такой развертки представлен на рисунке 3.

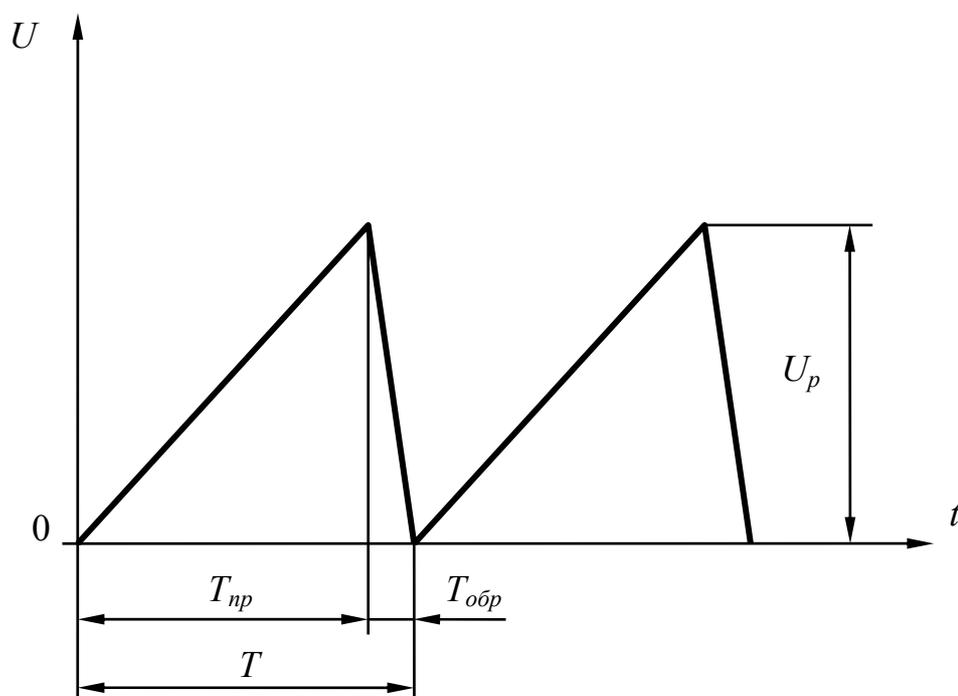


Рисунок 3

Световое пятно на экране осциллографа под воздействием развертывающего напряжения равномерно перемещается слева направо. Исследуемое напряжение вызывает вертикальное отклонение. Таким образом, световое пятно описывает траекторию, являющуюся результатом сложения двух взаимно-перпендикулярных колебаний (исследуемого напряжения – по вертикали; и линейного напряжения развертки – по горизонтали). В результате траектория пятна описывает временной график сигнала.

Действительно, так как

$$\begin{aligned} y &= A \cos \omega t, \\ x &= kt, \end{aligned}$$

то, исключая t из уравнений, получим, что

$$y = A \cos \frac{\omega}{k} t.$$

Из последнего выражения видно, что форма сигнала на экране соответствует входному сигналу.

По окончании так называемого «прямого хода», когда световое пятно достигает правого края экрана, оно быстро возвращается в исходное положение в левой части экрана («обратный ход») и затем снова начинает перемещаться вправо. Если развертка синхронизирована, то траектории светового пятна в течении каждого периода развертки в точности повторяют друг друга (то есть изображение функции на экране остается неподвижным), что представляет большое удобство для наблюдения сигнала и его фотографирования. Часть изображения, соответствующая обратному ходу развертки, может мешать наблюдению, поэтому световое пятно на время обратного хода обычно затемняют.

При осциллографировании вольтамперных характеристик, а также при измерении фазы и частоты применяется синусоидальная развертка.

При точных измерениях времени, частоты или фазы используют круговую развертку. В этом случае к вертикальным и горизонтальным отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки прикладывают квадратурные синусоидальные напряжения, под влиянием которых световое пятно перемещается по окружности. Наблюдение формы сигнала при круговой развертке неудобно и связано с техническими затруднениями, так как требует радиального отклонения луча исследуемым напряжением. Для радиального отклонения луча нужно применять специальные электронно-лучевые трубки или модулировать исследуемым сигналом отклоняющие синусоидальные напряжения.

Наибольшее расширение масштаба времени обеспечивают двухчастотные развертки (спиральная и радиальная). Спиральная и радиальная развертки представляют собой сочетание круговой развертки с пилообразной разверткой в радиальном направлении. Двухчастотная пилообразная (например, телевизионный растр) получается при одновременном действии быстрой горизонтальной (строчной) развертки и медленной вертикальной (кадровой).

Наблюдение формы непериодических сигналов осуществляется с помощью ждущей развертки, которая представляет собой однократную развертку, которая запускается фронтом исследуемого сигнала или специальным импульсом, предшествующим исследуемому сигналу. Ждущая развертка применяется также при исследовании периодических сигналов, если наблюдению подлежит не весь период, а его малая часть.

Устройства для получения пилообразных напряжений развертки, усилителей сигналов и блок питания в данной работе рассматриваться не будут, т.к. их изучение выходит за рамки курса общей физики и является предметом изучения радиотехнических дисциплин.

3 Панель управления электронным осциллографом

В данной работе представлен осциллограф ОДШ-2, на переднюю панель которого выведены ручки управления и настройки. Вообще следует иметь в виду, что панели различных типов осциллографов могут отличаться, но рассмотренные здесь ручки управления и настройки присутствуют у всех типов осциллографов. На рисунке 4 представлена фотография передней панели осциллографа ОДШ-2.

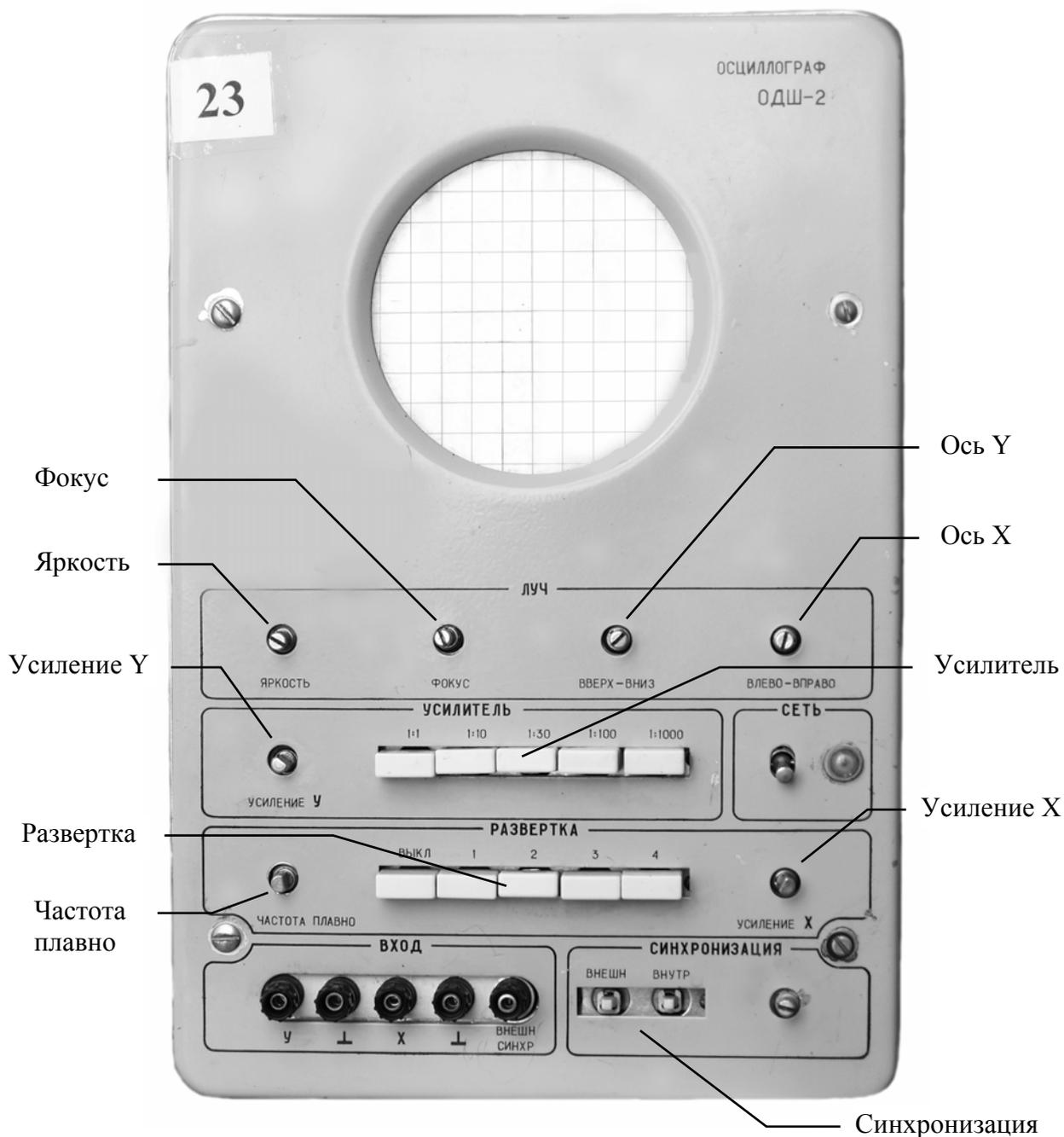


Рисунок 4

Яркость свечения светового пятна на экране определяется количеством электронов, ударяющихся об экран в единицу времени. Меняя отрицательный потенциал управляющего электрода, можно регулировать яркость светового пятна на экране. Это достигается при помощи потенциометра R_1 (рисунок 2), ручка которого снабжена надписью «**Яркость**» на панели осциллографа.

Фокусировка электронов в одну точку на экране осуществляется изменением разности потенциалов между первым и вторым анодами. Фокусировка луча производится при помощи потенциометра R_3 , ручка которого имеет надпись «**Фокус**» на передней панели осциллографа.

Смещение изображения в вертикальном направлении производится при помощи потенциометра R_6 , имеющего надпись «**Ось Y**» или «**Вверх-вниз**».

Смещение изображения по горизонтали производится при помощи потенциометра R_5 , имеющего надпись «**Ось X**» или «**Влево-вправо**».

Ручками «**Ось X**» и «**Ось Y**» устанавливают изображение исследуемого сигнала в нужном месте на экране.

Переключатель «**Усилитель**» дает возможность ослабить исследуемый сигнал в отношениях 1:10, 1:100 и т.д.

Ручкой с указателем «**Усиление Y**» можно плавно регулировать усиление вертикального смещения от нуля до максимальной величины.

При малых амплитудах исследуемого напряжения величина отклонения электронного луча мала, что неудобно для проведения измерений. В этих случаях исследуемый сигнал подается на «вход» вертикального усилителя, а затем после усиления на вертикально отклоняющие пластины P_y . Цифры, стоящие у тумблера «Вертикальное усиление», показывают во сколько раз можно усилить исследуемый сигнал.

Ручка с указателем «**Усиление X**» служит для усиления напряжения сигнала, подаваемого на горизонтально отклоняющие пластины P_x .

Переключатель «**Развертка**» дает возможность выбрать нужный диапазон частот (в данном случае для непрерывной развертки).

Ручка с указателем «**Частота плавно**» дает возможность в пределах выбранного диапазона плавно менять собственную частоту непрерывных пилообразных колебаний генератора развертки.

При помощи переключателя «**Синхронизация**» выбирается род синхронизации: внутренняя (исследуемым сигналом), внешняя (внешним сигналом, синхронным с исследуемым) или от сети.

В зависимости от типа осциллографа на панели могут быть дополнительные ручки, которые управляют входным сигналом или видом синхронизации.

4 Подготовка осциллографа к работе

Перед включением осциллографа в сеть переменного тока необходимо:

Проверить соответствие переключателя напряжения осциллографа с имеющимся напряжением в сети.

Поставить выключатель сети в положение **«Выкл.»**; с указателями **«Фокус»**, **«Ось X»** и **«Ось Y»** перевести в среднее положение; ручку с указателем **«Яркость»** перевести в крайнее правое положение.

Установить переключатель **«Синхронизация»** в положение **«Внутр.»**.

Выполнив указанные операции, осциллограф можно включить в сеть; для этого переключатель сети нужно перевести в положение **«Вкл.»**, при этом должна загореться сигнальная лампочка. Через 1...2 минуты, на экране появится световое пятно.

Вращая ручки **«Ось X»** и **«Ось Y»**, установить световое пятно в центре экрана.

Поворачивая регулятор **«Яркость»**, уменьшить яркость светящейся точки.

Поворачивая регулятор **«Фокус»**, добиться четкого изображения светящейся точки.

Приведем несколько примеров использования осциллографа.

4.1 Измерение напряжений

По принципу действия осциллограф представляет чувствительный к напряжению прибор. Все измерения, проводимые с помощью осциллографа, основаны на том, что под воздействием приложенного напряжения происходит отклонение электронного луча. Поэтому вполне естественно использование осциллографа для измерения напряжения. Процесс измерения заключается в следующем: на вход осциллографа подается измеряемое напряжение и определяется смещение светящейся точки (в случае измерения постоянного напряжения) или величины размаха (при подаче переменного напряжения) на экране трубки. После этого производят вычисления по формуле

$$U = \frac{h}{S},$$

где h – отклонение светящейся точки, мм; S – чувствительность осциллографа, мм/В.

Развертка в процессе измерения может быть отключена.

При измерении переменных напряжений следует помнить, что таким образом определяется величина двойной амплитуды и пересчет на действующее значение возможен только для синусоидальной кривой по формуле

$$U_{эф} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_a = \frac{h}{2\sqrt{2}S} = \frac{h}{2,8S}.$$

При необходимости, наблюдая на экране исследуемую кривую, можно произвести измерения напряжения в различные моменты времени (в отдельных точках кривой). В некоторых случаях это очень важно и является одним из основных преимуществ осциллографа перед остальными приборами, предназначенными для измерения напряжений.

В качестве примера можно привести случай измерения амплитуд импульсов, следующих друг за другом, как показано на рисунке 5. В этом случае импульсы имеют различные амплитуды и длительности. Применяя, в данном случае, пиковый вольтметр, мы получили бы показание, соответствующее амплитуде второго импульса. Совершенно иные показания будут получены с помощью обычного вольтметра и только применение осциллографа дает возможность составить правильное представление об амплитудах отдельных импульсов.

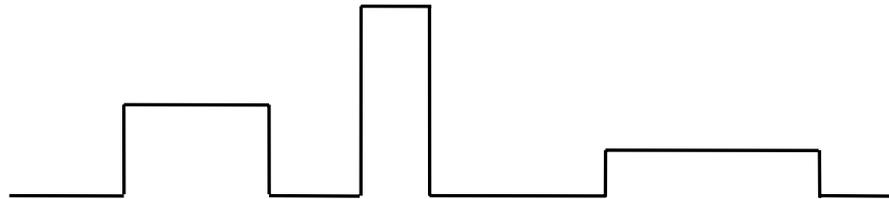


Рисунок 5

4.2 Измерение частоты и фазы

Одним из наиболее распространенных способов измерения частоты является способ, основанный на сравнении измеряемой частоты с известной частотой с помощью осциллографа. Широкое распространение этого способа объясняется тем, что при всей своей простоте он позволяет получить наиболее высокую точность.

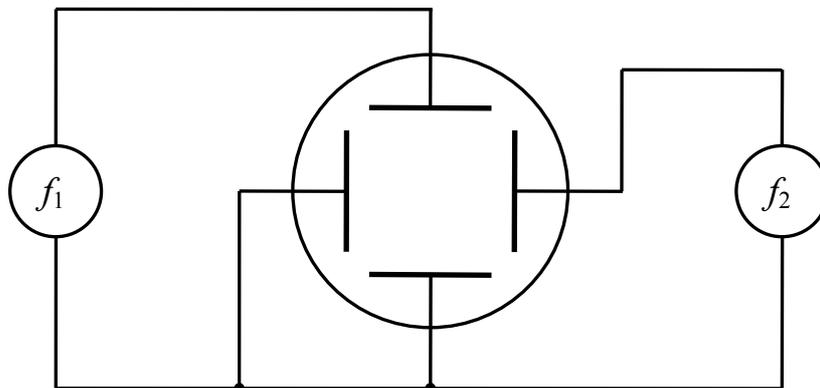


Рисунок 6

Сущность метода заключается в следующем. К одной паре отклоняющих пластин осциллографа (непосредственно или через усилитель) подводится напряжение измеряемой частоты, а ко второй – напряжение известной частоты от генератора (рисунок 6). При этом на экране осциллографа появляются фигуры Лиссажу, характер которых зависит от соотношения частот. Предположим, что к пластинам подводится синусоидальные напряжения, равные по частоте. Тогда отклонения луча будут описываться следующими выражениями:

$$x = A \sin \omega t ,$$

$$y = B \sin (\omega t + \varphi) ,$$

где x и y – отклонение луча по горизонтали и вертикали;
 A и B – амплитудные отклонения;
 φ – сдвиг фаз между исследуемыми выражениями.

В результате сложения двух взаимно-перпендикулярных колебаний получим выражение:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi = \sin^2 \varphi , \quad (1)$$

где φ – разность фаз.

Для $\varphi = 0^\circ$ или 180° уравнение (1) приобретет вид

$$y = \pm \frac{B}{A} x .$$

В этом случае на экране появится прямая линия с углом наклона по отношению к горизонтальной оси $\varphi = \arctg \left(\pm \frac{B}{A} \right)$ (рисунок 7).

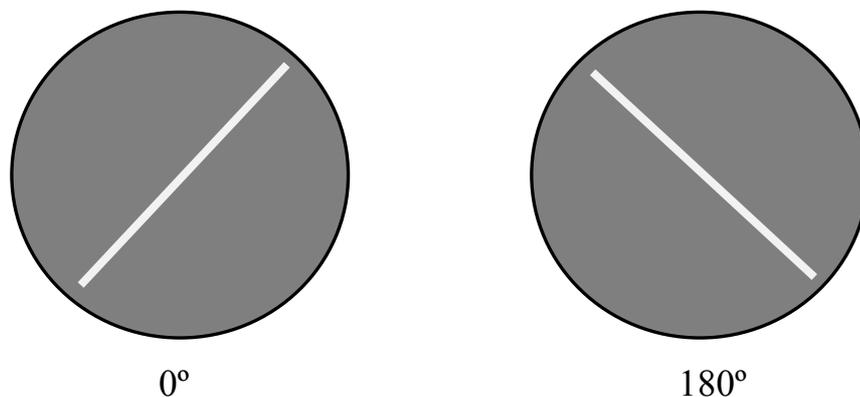
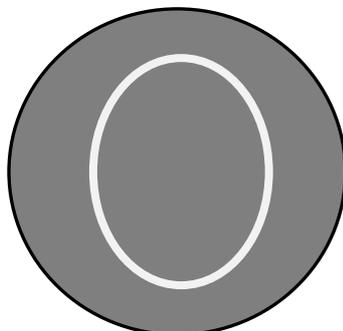


Рисунок 7

Если $\varphi = 90^\circ$ или 270° уравнение превращается в уравнение эллипса с полуосями A и B

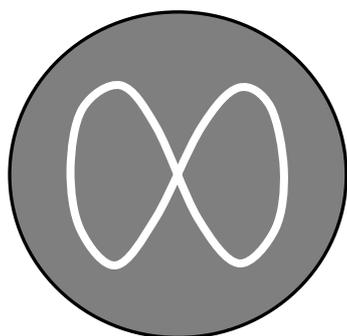
$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1.$$



$90^\circ, 270^\circ$

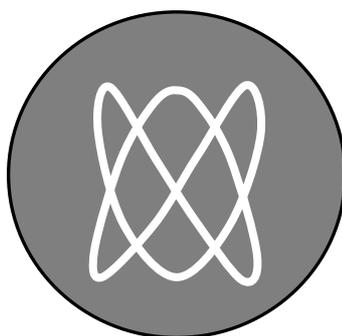
Рисунок 8

В случае неравенства частот сравниваемых напряжений на экране осциллографа появятся более сложные фигуры Лиссажу. Некоторые примеры таких фигур показаны на рисунке 9.



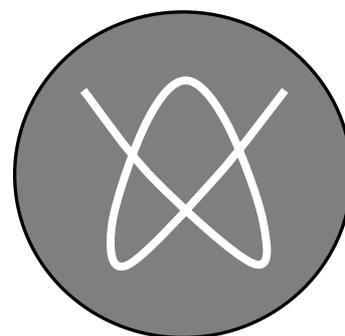
а)

$$f_y/f_x = 2/1$$



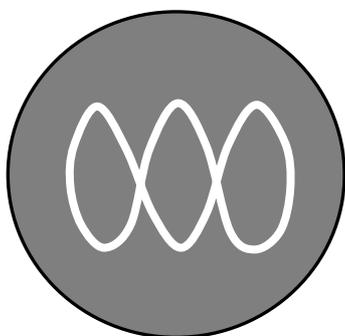
б)

$$f_y/f_x = 3/2$$



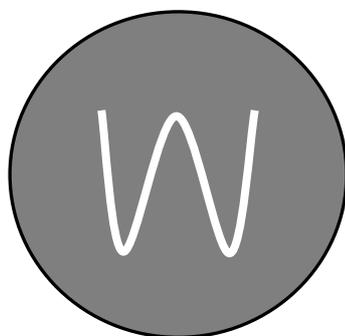
в)

$$f_y/f_x = 4/3$$



г)

$$f_y/f_x = 3/1$$



д)

$$f_y/f_x = 4/1$$

Рисунок 9

Фигуры на экране будут неподвижны, если сравниваемые частоты относятся как целые числа. Для того чтобы определить отношение частот, необходимо сосчитать число пересечений вертикальной и горизонтальной линии с наблюдаемой фигурой и взять их отношение. При этом следует помнить, что число пересечений с горизонтальной осью характеризует частоту вертикально отклоняющего напряжения, а число пересечений с вертикальной осью – горизонтально отклоняющее напряжение. Так, для фигуры, изображенной на рисунке 9в, отношение частот $f_y/f_x = 4/3$.

Описанный способ позволяет производить измерение частоты с высокой точностью. Погрешность измерения в основном определяется погрешностью генератора.

В практике измерений преимущественно встречается необходимость измерения фазового сдвига между двумя напряжениями одинаковой частоты, например при исследованиях фильтров, усилителей, трансформаторов и т.д.

Поэтому для определения фазового сдвига между сигналами можно воспользоваться схемой, использованной для определения частоты (рисунок 6).

Действительно, если на отклоняющие пластины осциллографа подать два напряжения одинаковой частоты:

$$u_1 = U_1 \cos(\omega t + \varphi_1),$$

$$u_2 = U_2 \cos(\omega t + \varphi_2),$$

где φ_1 и φ_2 – начальные фазы, соответствующие моменту времени $t = 0$, то на экране получится изображение в виде эллипса (как это представлено на рисунке 8), положение которого зависит от сдвига фаз и отношения амплитуд исследуемых сигналов. Сдвиг фаз равный

$$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

в этом случае легко определить, по точкам пересечения эллипса с горизонтальной или вертикальной осью.

Если найти точки пересечения с осью абсцисс (рисунок 10), то сдвиг по фазе можно определить из соотношения

$$\varphi = \arcsin \frac{x}{A},$$

которое получается из уравнения (1) подстановкой $y = 0$. Соответственно получается выражение

$$\varphi = \arcsin \frac{y}{B}.$$

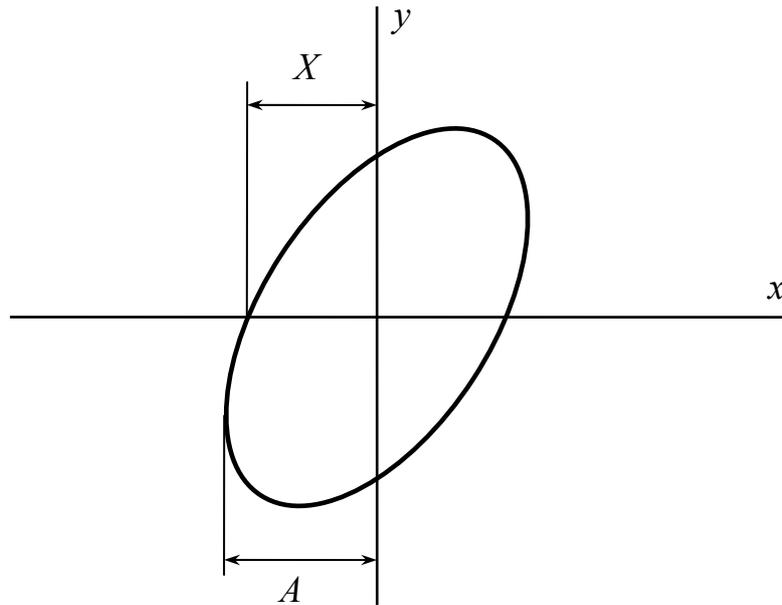


Рисунок 10

Рассмотренный метод не дает возможности непосредственно определить знак фазового сдвига, кроме того погрешность измерения довольно велика (10 % и более). Источниками погрешностей являются конечная ширина луча, наличие гармоник в исследуемых напряжениях и дополнительная погрешность за счет фазовых сдвигов в усилителях осциллографа (если они используются). Некоторое повышение точности достигается включением в схему дополнительных приборов.

Использование электронного осциллографа не ограничивается приведенными выше примерами. Например, если модель осциллографа имеет ступенчатый переключатель развертки позволяющий точно установить определенную частоту развертки, то при помощи такого осциллографа возможно измерение периода и частоты периодических сигналов.

Для измерения периода периодического сигнала T по шкале на экране осциллографа отсчитывают количество делений между двумя повторяющимися элементами периодического сигнала и умножают полученное значение на цену деления, которая соответствует фиксированному положению переключателя развертки. Частота находится как обратная величина от периода T

$$f = \frac{1}{T}.$$

При таких измерениях необходимо правильно учитывать размерности получаемых величин, внимательно следя за положением переключателя развертки. Для более точных отсчетов рекомендуется путем подбора положения переключателя развертки устанавливать на экране 1... 2 периода наблюдаемого периодического сигнала.

Список использованных источников

- 1 Физический практикум. Электричество и оптика /под ред. В.И. Ивероной. – М.: Наука, 1968. – 814 с.
- 2 Руководство к лабораторным занятиям по физике /под ред. Л.Л. Гольдина. – М.: Наука, 1973. – 688 с.