

*Мухамедшин И.Р.*

Допущено к использованию решением учебно-методической комиссии  
физического факультета Казанского государственного университета

# **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ**

(Учебно-методическое пособие  
для студентов второго курса физического факультета)

автор пособия:

ассистент кафедры общей физики *Мухамедшин И.Р.*

Рецензент:

доцент кафедры квантовой электроники и радиоспектроскопии  
*Никитин С.И.*

# **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ**

*Учебное пособие*

В пособии рассмотрены физические идеи, лежащие в основе работы широкого класса физических приборов - осциллографов вообще, и, электронных осциллографов, в частности. Показано, что несмотря на различия в конкретной реализации, работа различных видов электронных осциллографов основана на одних и тех же принципах. Пособие рассчитано на студентов второго курса физического факультета и может рассматриваться как теоретический материал для подготовки к сдаче работы №66 общего физического практикума “ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ”.

Данное пособие доступно на сайте физического факультета:  
[www.ksu.ru/f6/](http://www.ksu.ru/f6/) - в разделе “Студентам” на странице Мухамедшина И.Р.

©Мухамедшин И.Р.

© Физический факультет Казанского госуниверситета.

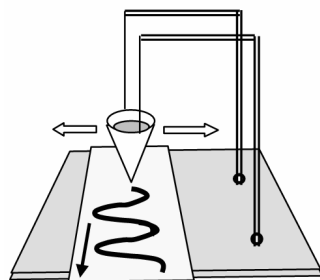
Казань 2009

## Введение

Осциллографом называют измерительный прибор, предназначенный для визуального наблюдения и исследования формы сигналов. Название "осциллограф" происходит от латинского "oscillo" - качаюсь и греческого "gráphō" – пишу. Осциллограф позволяет достаточно точно и оперативно измерять основные параметры сигналов: амплитуду, частоту, временные интервалы, фазовый сдвиг и т. д. Под сигналом понимают величину, отражающую тем или иным способом состояние физической системы.

В зависимости от исследуемого сигнала и способа получения изображения, существуют различные виды осциллографов.

Простейшим осциллографом является механический осциллограф. Основным элементом его является небольшой сосуд (чашка), подвешенная на нитях и заполненная песком. В дне сосуда есть небольшое отверстие, через которое песок высыпается. При качании сосуда песок падает на горизонтальную поверхность, оставляя рисунок колебаний. Для того чтобы получить зависимость колебаний чашки от времени, в направлении, перпендикулярном плоскости качания чашки, протягивают ленту. Например, при равномерном движении ленты и малой амплитуде колебаний сосуда с песком, след песка будет графиком синусоиды.



Однако значительно чаще осциллографы используются для изучения электрических сигналов - тока или напряжения, изменяющихся во времени. Для их исследования и записи были изобретены различные виды электронных осциллографов.

Для исследования медленно меняющихся во времени электрических сигналов используется электромеханический осциллограф, или самописец. В нем сосуд с песком заменен механическим пером, перемещаемым в одном направлении электродвигателем, на который подается предварительно усиленный входной сигнал. При этом в перпендикулярном направлении либо перо передвигается вдоль листа бумаги другим электродвигателем, либо же относительно пера протягивается с постоянной скоростью бумажная лента. След пера на бумаге является записью зависимости входного сигнала от времени, а скорость протягивания бумаги определяет масштаб времени. Из-за инертности механических частей самописцы широко используются для записи относительно медленных процессов – например, кардиограммы человека или температуры и влажности в музейном хранилище.

Следующим этапом в развитии осциллографов стали светолучевые осциллографы. В них значение входного электрического сигнала в какой-то момент времени преобразуется в пропорциональное сигналу

вертикальное отклонение светового луча, сфокусированного на отражающем экране или светочувствительной плёнке. В качестве преобразователя величины тока или напряжения в пропорциональное отклонение светового луча в светолучевом осциллографе применяют магнитоэлектрический гальванометр, к рамке которого прикрепляют отражающее зеркальце. Высокая чувствительность гальванометров позволяет применять их в светолучевых осциллографах без усилителей, однако инерционность рамки гальванометра с зеркальцем не позволяет исследовать колебательные процессы с частотой выше 10 кГц.

Для исследования процессов с более высокими частотами, используются электронно-лучевые осциллографы. В них изображение сигнала осуществляется с помощью сфокусированного электронного луча, который вызывает свечение люминофора экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Существуют различные модификации электронно-лучевых осциллографов, такие например, как импульсные, многоканальные, запоминающие, стробоскопические, универсальные осциллографы. Можно сказать, что фактически во 2-й половине XX века именно электронно-лучевые осциллографы "завоевали" все лаборатории в мире, и, произнося слово "осциллограф", большинство людей имеют в виду именно электронно-лучевую его разновидность.

Электронно-лучевые осциллографы использовались и до сих пор широко используются при проведении различных исследований, однако в последнее десятилетие начался процесс их вытеснения цифровыми осциллографами. Несмотря на это, физические основы работы даже с современными цифровыми осциллографами, остаются прежними.

Современные осциллографы позволяют наблюдать и исследовать сигналы амплитудой от долей милливольт до сотен вольт в диапазоне частот от постоянного тока до десятков гигагерц. Погрешность измерений физических величин с помощью осциллографа составляет, как правило, 1-10%, что достаточно много и не позволяет использовать осциллографы для проведения прецизионных измерений.

В данном пособии сначала будут разобраны основные идеи, лежащие в основе работы любого осциллографа, а затем будут разобраны особенности реализации различных видов электронных осциллографов.

Хотелось бы отметить, что по-английски "oscillograph" – это именно электромеханический осциллограф, или самописец. То, что по-русски называется электронно-лучевым осциллографом, по-английски корректно называется "oscilloscope", так как обычно этот класс приборов ничего не записывает, а лишь позволяет пронаблюдать исследуемый сигнал (греческое scope – наблюдать). Конечно же, придумано множество способов записывать наблюдаемый на экране электронно-лучевого осциллографа сигнал (например, сфотографировать его), так что по-русски весь этот класс приборов называется осциллографами, а по-английски используется чаще всего термин "oscilloscope".

## Основные идеи, лежащие в основе работы любого осциллографа.

Основной функцией любого осциллографа является отображение (визуализация) зависимости входного сигнала от времени либо от другого сигнала. Общепринято, что по горизонтали – ось  $X$  – откладывается параметр (например, время), а по вертикали – ось  $Y$  – откладывается входной сигнал. Функционально любой осциллограф состоит из следующих блоков (рис. 1):

- устройства отображения;
- формирователя вертикального положения;
- формирователя горизонтального положения;
- генератора развертки;
- блока синхронизации и запуска генератора развертки.

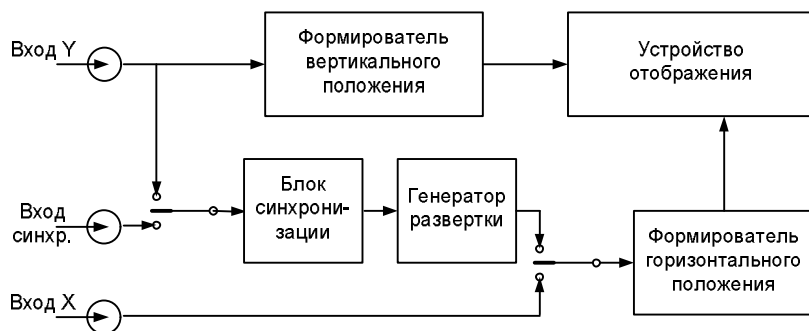


Рис. 1. Блок-схема осциллографа.

Рассмотрим назначение каждого из функциональных блоков.

Устройство отображения позволяет пользователю увидеть требуемую зависимость исследуемого сигнала. Условно в нем можно выделить экран, на котором рисуется изображение, и указатель, отображающий значение входного сигнала. В различных осциллографах устройство отображения может быть реализовано по-разному: это может быть резиновая лента и песок в механическом осциллографе, бумажная лента и перо в самописце, экран и луч света в светолучевом осциллографе, электронно-лучевая трубка или жидкокристаллический экран в электронных осциллографах.

Положение указателя на экране устройства отображения определяются формирователями вертикального и горизонтального положения. Конкретная реализация их может весьма разнообразна. Например, в механическом осциллографе формирователем вертикального положения указателя можно считать сосуд с песком и систему его подвеса. А формирователем горизонтального положения указателя

является электродвигатель, протягивающий ленту.

Если положение указателя по горизонтали на экране устройства отображения задается некоторым внешним сигналом, подаваемым на вход  $X$  осциллографа (рис. 1), то тогда работа формирователя горизонтального изображения не отличается от работы формирователя вертикального положения. Важно, что горизонтальное положение  $X(t)$  и вертикальное положение  $Y(t)$  указателя формируются независимо, а время  $t$  при этом является неявным параметром, так что экспериментатор видит на экране зависимость  $Y(X)$ .

Однако чаще всего осциллографы используются для наблюдения зависимости входного сигнала, откладываемого по оси  $Y$ , как функции времени, отсчитываемого по оси  $X$ . Для формирования оси времени в осциллографах существует генератор развертки, сигнал с которого подается на вход формирователя горизонтального изображения (см. рис. 1). Главное требование к генератору развертки – его линейность: в любой части устройства отображения одинаковый горизонтальный интервал должен соответствовать одинаковому промежутку времени. Кроме того, генератор развертки должен позволять изменять масштаб времени по оси  $X$ . Примером генератора развертки в механическом осциллографе является источник электрического напряжения, подаваемого на электродвигатель. Изменяя это напряжение, можно изменять скорость протяжки ленты осциллографа.

Принципиально важным в любом осциллографе является определение момента времени, с которого должна начинаться ось времени. Для определения этого момента служит блок синхронизации и запуска генератора развертки. Генератор развертки может запускаться как дополнительным внешним сигналом – внешней синхронизацией, так и входным сигналом осциллографа – внутренней синхронизацией (см. рис. 1). В простейшем случае механического осциллографа им служит выключатель источника напряжения электродвигателя. Однако в электронных осциллографах блок синхронизации становится существенно более сложным, и особенности его работы будут разобраны позднее.

Устройство отображения обычно разграфлено на клетки (или, более официально, деления), что позволяет по изображению входного сигнала оценить параметры входного сигнала (рис. 2). Кроме того, часто на экранах осциллографов между клетками есть штрихи, позволяющие отсчитывать доли деления как по вертикали, так и по горизонтали (например, см. рис. 2). Например, период входного сигнала на рис. 2 равен 6,3 клеткам. Зная масштаб времени по оси  $X$  – 10 миллисекунд на деление, получаем период входного сигнала равным  $6,3 \cdot 10 = 63$  мс. Также легко определить полный размах входного сигнала по вертикали – на рис. 2 он равен 50 милливольтам.

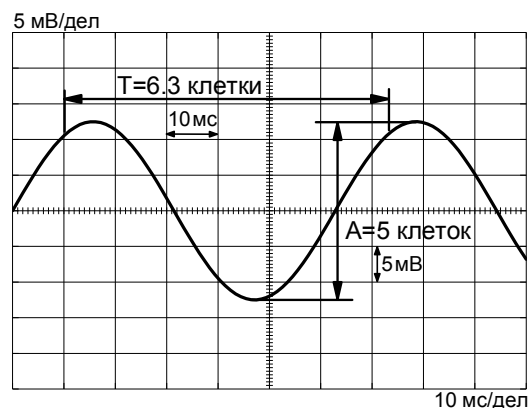


Рис. 2. Пример определения параметров входного сигнала по изображению на экране осциллографа.

Надо отметить, что у реальных осциллографов чаще всего масштабы по осям указываются без указания “/дел”. То есть, видя у ручки управления генератором развертки надпись “50 мкс”, ее надо понимать как 50 микросекунд на деление.

### Особенности формирователей вертикального положения электронных осциллографов

Рассмотрим, как формируется вертикальное положение указателя на экране устройства отображения электронного осциллографа. Входной сигнал  $U_{вх}$  можно представить как сумму  $U_{вх} = U_{=} + U_{\approx}$ , где  $U_{=}$  – постоянная (во времени) составляющая сигнала, а  $U_{\approx}$  – переменная (изменяющаяся во времени) часть сигнала. Обычно на входе формирователя стоит переключатель на три положения со следующими обозначениями:

- '≅' или 'DC' (direct current – постоянный ток) – вход открыт для постоянной и переменной составляющей входного напряжения;
- '≈' или 'AC' (alternative current – переменный ток) – проходит только переменная составляющая входного напряжения;
- '⊥' или 'GND' (ground – земля) – входной сигнал отключён от осциллографа, а вход формирователя вертикального положения замкнут на корпус осциллографа, т.е. на землю, если корпус соединён с землёй. Это положение необходимо для того, чтобы пользователь мог определить положение нулевого уровня входного сигнала на экране устройства отображения.

Далее в формирователе вертикального положения входной сигнал усиливается (или, если нужно, ослабляется) усилителем вертикального

отклонения. Для того чтобы задать масштаб вертикальной оси осциллографа, на входе формирователя стоит переключатель, позволяющий изменять этот масштаб ступенчато. Обычно крайнее по часовой стрелке положение этого переключателя соответствует максимальной чувствительности осциллографа – например, 5 мВ/дел., а крайнее против часовой стрелки положение – минимальной чувствительности, например, 50 В/дел. Кроме того, часто в центре этого переключателя располагают ручку, позволяющую плавно менять масштаб по вертикали. ВНИМАНИЕ! Установленный переключателем масштаб по вертикали верен только в том случае, если эта ручка повернута по часовой стрелке до конца – при этом ощущается лёгкий щелчок. Перед проведением измерений амплитуды наблюдаемого сигнала необходимо удостовериться, что ручка плавного изменения масштаба находится в этом положении.

Кроме того, изображение на экране осциллографа можно перемещать по вертикали – для этого служит ручка с символом '↑': когда пользователь вращает эту ручку, изменяется величина постоянного напряжения, добавляемая к усиленному входному сигналу, что и приводит к изменению положения изображения на экране.

Часто интерес представляет исследование соотношения между двумя сигналами, поэтому в большинстве осциллографов обычно предусмотрена возможность наблюдения двух входных сигналов одновременно. В таком случае говорят, что осциллограф имеет два входных канала, или же, что осциллограф двухканальный. Однако встречаются и многоканальные осциллографы – например 4-х канальные, а также и одноканальные.

В многоканальных осциллографах предусматривают возможность инвертирования сигнала по крайней мере в одном из каналов, а также переключатель отображаемых на экране входных каналов. Последний позволяет наблюдать сигнал в любом из каналов, их сумму (разность при инвертировании сигналов) или оба канала сразу. Для наблюдения сигналов в обоих каналах предназначены два режима: ЧЕРЕДОВАНИЕ, когда при следующих друг за другом развертках отображаются сигналы с разных входных каналов; режим МЕТКИ, при котором луч быстро перемещается (0,1-1 МГц) туда и обратно между двумя входными каналами. Режим ЧЕРЕДОВАНИЕ, как правило, предпочтительнее, за исключением наблюдений слабых сигналов. Для того чтобы убедиться в правильности своих наблюдений, полезно пронаблюдать сигналы и в том, и в другом режиме.

Входы осциллографа обычно обладают высоким сопротивлением – характерное значение сопротивления 1 МОм, как и должно быть в хорошем приборе для измерения напряжения. Однако в высокочастотных осциллографах для лучшего согласования входа осциллографа с исследуемыми цепями делают входной импеданс равным 50 или 75 Ом. В

универсальных осциллографах существует переключатель, позволяющий выбрать входной импеданс входного усилителя.

### Особенности формирователей горизонтального положения электронных осциллографов

Если положение указателя по горизонтали на экране устройства отображения задается некоторым внешним сигналом, тогда работа формирователя горизонтального изображения определяется такими же органами управления, как и для формирователя вертикального положения. Однако, как уже было отмечено, чаще всего осциллографы используются для наблюдения зависимости входного сигнала, откладываемого по оси Y, от времени, отсчитываемого по оси X. Для формирования оси времени в осциллографах существует генератор развертки, сигнал с которого подается на вход формирователя горизонтального изображения.

Для изменения режимов работы генератора развертки в электронных осциллографах предусмотрены следующие органы управления:

– Переключатель масштаба горизонтальной оси, позволяющий ступенчато изменять этот масштаб. Как правило, крайнее против часовой стрелки положение соответствует наиболее длительным промежуткам времени на одно деление экрана – например, 1 сек/дел, а крайнее по часовой положение – наиболее коротким промежуткам, например 0,1 мкс/дел.

– Ручка плавного изменения масштаба горизонтальной оси, позволяющая сжимать или растягивать изображение по горизонтали. Она обычно находится в центре переключателя масштаба горизонтальной оси. **ВНИМАНИЕ!** Установленный переключателем масштаб по горизонтали верен только в том случае, если эта ручка повернута по часовой стрелке до конца – при этом ощущается лёгкий щелчок. Перед проведением измерений временных характеристик наблюдаемого сигнала необходимо удостовериться, что ручка плавного изменения масштаба находится в этом положении.

– Ручка для плавного перемещения изображения направо или налево без изменения размеров. Обычно над ней нарисован символ ' $\leftrightarrow$ ' с двумя стрелками, направленными направо и налево, а под ней обозначение  $\times 10$ , что означает, что если ручку потянуть на себя, то в вытянутом положении масштаб развёртки по горизонтали увеличивается в 10 раз. Если, например, переключатель масштаба установлен в положение 1 мкс/дел, то при вытянутой ручке он становится равным 0,1 мкс/дел.

Момент запуска генератора развертки электронного осциллографа может быть в принципе произвольным, однако чаще он выбирается относительно некоторого сигнала, выбираемого с помощью специального переключателя. В качестве такого сигнала может быть использован один

из входных сигналов осциллографа или же сигнал, поданный на специальный вход внешней синхронизации осциллографа. У некоторых осциллографов есть возможность использовать для синхронизации напряжение электрической сети с частотой 50 Гц – этот режим используется в тех случаях, когда интерес представляют фон или пульсации в исследуемой схеме. Момент запуска генератора развертки определяется в блоке синхронизации осциллографа и задается с помощью ручки выбора уровня синхронизации – "УРОВЕНЬ", а также переключателя выбора запуска генератора развертки по фронту или спаду сигнала (НАКЛОН '+' или '-', соответственно, на рис. 3). Как видно на рис. 3, комбинация этих двух параметров вполне однозначно позволяет задать момент запуска генератора развертки.

Когда выбранный сигнал проходит через установленный уровень запуска и изменяется в выбранном направлении, блок синхронизации

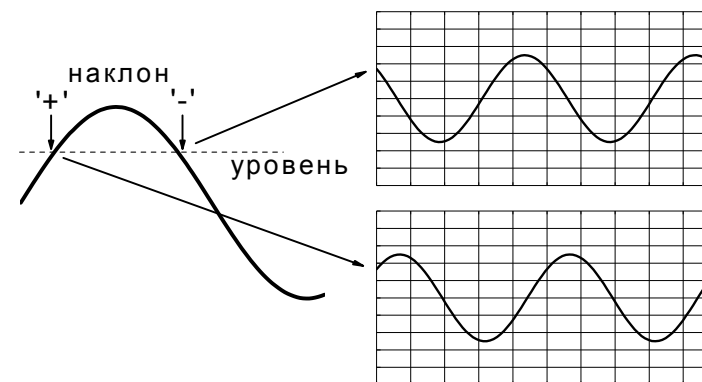


Рис. 3. Пример определения моментов времени, задающих начало работы генератора развертки электронного осциллографа и получаемые при этом изображения на экране.

вырабатывает запускающий импульс для генератора развертки. Если после этого генератор развертки один раз формирует ось времени на экране осциллографа, то говорят об **ОДНОКРАТНОМ** режиме работы генератора развертки. Подобный режим используется в самописцах, запоминающих электронных осциллографах, или же цифровых осциллографах при исследовании непериодических сигналов. Однако существенно чаще осциллографы используются для исследования периодических быстропротекающих процессов. Человеческий глаз не может пронаблюдать быстропротекающий процесс, длящийся меньше долей секунды, и поэтому в электронных осциллографах обычно реализуется многократное повторение отображения входного периодического сигнала и возникает проблема синхронизации работы

генератора развертки и входного сигнала.

Рассмотрим эту проблему подробнее. Представим, что нам предстоит пронаблюдать некий периодический сигнал и генератор развертки позволяет увидеть несколько периодов этого сигнала. Если на экране осциллографа умещается целое число периодов исследуемого сигнала, то при следующем повторении изображение на экране повторится и пользователь увидит устойчивое изображение (рис. 4).

Однако, если периоды исследуемого сигнала и генератора развертки не кратны друг другу, то изображение на экране будет двигаться вдоль

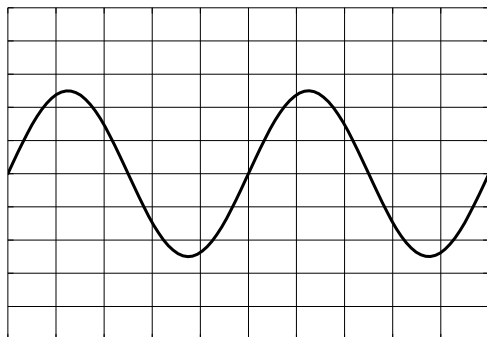


Рис. 4. При выполнении условия  $T_p = nT_s$  где  $T_p$  - период развертки, а  $T_s$  - период исследуемого сигнала, а  $n$  - целое число, осциллограмма представляет собой неподвижную кривую из  $n$  периодов исследуемого напряжения.

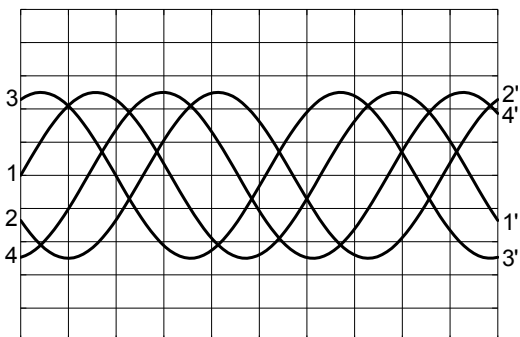


Рис. 5. Пример изображения на экране осциллографа в случае если периоды исследуемого сигнала и генератора развертки не кратны друг другу. 1,2,3,4 – последовательные изображения на экране осциллографа.

оси X – как пример на рис. 5 изображены несколько последовательных осциллограмм. Как видно, возникает эффект бегущего изображения, или же, при малости периода развертки, экран будет заполнен семейством сдвинутых относительно друг друга кривых и пользователь увидит на экране широкую светлую полосу.

Подобный режим генератора развертки называется режимом внутреннего запуска (или АВТО режимом). Этот режим хорошо использовать в тех случаях, когда исследуемый сигнал может уменьшаться до малых значений, так как изображение на экране не будет пропадать и не будет возникать впечатление, что сигнал исчез. Также этот режим является самым подходящим, если рассматривается совокупность различных сигналов и нет желания каждый раз производить установку схем запуска, а важно просто отслеживать наличие входного сигнала.

В НОРМАЛЬНОМ режиме развертка начинается только в том случае, когда выбранный сигнал проходит через установленную вами точку запуска и изменяется в выбранном направлении (имеется в виду заданный НАКЛОН). При этом устойчивость повторяющегося изображения на экране осциллографа достигается двумя путями:

1. В НЕПРЕРЫВНОМ режиме происходит подстройка (удлинение) периода генератора развертки так, чтобы по возможности период развертки был кратен периоду входного сигнала. При этом реальный период работы генератора развертки больше промежутка времени, отображаемого на экране осциллографа, так что часть входного сигнала не отображается на экране. Непрерывная развертка используется при исследовании непрерывных периодических процессов или периодической последовательности импульсов небольшой скважности (скважность  $Q$  есть отношение периода  $T$  сигнала к его длительности  $\tau$ ,  $Q=T/\tau$ ).

2. Для наблюдения импульсных сигналов большой скважности и непериодических (одиночных) импульсов используется ЖДУЩАЯ развертка. В этом режиме генерируется только один период генератора развертки, после чего генератор развертки "ждет" прихода очередного запускающего импульса от блока синхронизации. Этот режим является наиболее часто используемым, так как позволяет в деталях исследовать различные участки сложного периодического входного сигнала.

На практике, выбор непрерывного или ждущего режима генератора развертки осуществляется специальным переключателем или же регулятором "СТАБИЛЬНОСТЬ".

При наличии регулятора "СТАБИЛЬНОСТЬ" рекомендуем следующий алгоритм настройки работы генератора развертки:

1) В режиме АВТО генератора развертки выбираем такой масштаб вертикальной оси осциллографа, чтобы на экране наблюдался входной сигнал достаточной амплитуды или же широкая светлая полоса для быстрых сигналов.

2) Ручку "УРОВЕНЬ" вращаем влево (против часовой стрелки) до отказа, затем ручку "СТАБИЛЬНОСТЬ" ставим в такое положение, при котором появляется изображение на экране (на самом краю этого режима). Больше ручку "СТАБИЛЬНОСТЬ" не трогаем.

3) Теперь, ручкой "УРОВЕНЬ" и переключателем "НАКЛОН" синхронизируем изображение на экране осциллографа.

## Принцип действия светолучевых осциллографов.

В светолучевых осциллографах значение входного электрического сигнала в какой-то момент времени преобразуется в пропорциональное отклонение светового луча, сфокусированного на отражающем экране и/или светочувствительной плёнке.

Схема устройства светолучевых осциллографов приведена на рис. 5. В качестве преобразователя величины тока или напряжения в пропорциональное отклонение светового луча в светолучевом осциллографе применяют магнитоэлектрический гальванометр, к рамке которого прикрепляют отражающее зеркальце. На рис. 5 луч света от источника 1 проходит через узкую щель 2 и призму 3 и отражается от зеркальца 4 гальванометра. Затем он попадает на призму 5, где разделяется на 2 части. Часть луча проходит поверх призмы 5 и концентрируется с помощью цилиндрической линзы 6 в точку на фотобумаге (или фотопленке) 7. Вторая часть луча отклоняется призмой 5 и направляется на зеркальный многогранный барабан 8, отражаясь от которого, падает на экран 9. Если пленка 7 и зеркальный барабан 8 находятся в покое, то при колебаниях зеркала в гальванометре световые пятна описывают на пленке и на экране в поперечном направлении прямую линию. Для наблюдения и фотографирования исследуемого процесса во времени надо развернуть движение луча по оси времени. Для этого пленку протягивают, а зеркальный барабан приводят во вращение. Скорость вращения этого барабана определяет масштаб вдоль оси времени - коэффициент развертки. Если скорость вращения барабана такова, что луч перемещается по одной его грани в течение времени, равного целому числу периодов исследуемого тока, то кривая на экране повторится при переходе луча на следующую грань барабана.

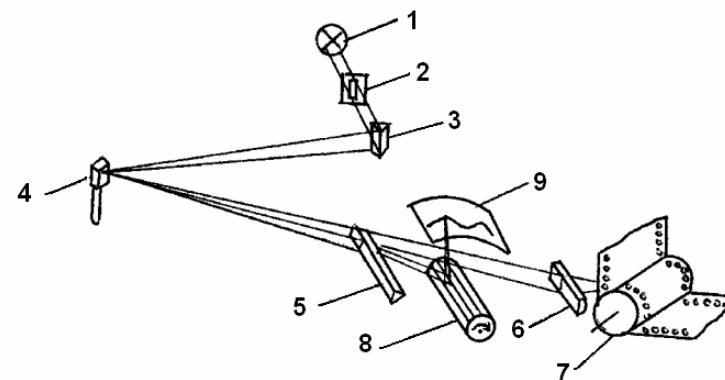


Рис. 5. Схема устройства светолучевых осциллографов.

Лентопротяжный механизм фотопленки и барабан имеют свой привод, причем скорость фотопленки может варьироваться специальной коробкой передач от 0,1 мм/с до 10000 мм/с и более. С помощью специальных реле времени и прерывателей можно устанавливать длину кадра от 0,1 до 5 м. Продольное и поперечное графление получающегося изображения можно получить, установив перед кассетой с фотопленкой металлическую пластину с рядом узких щелей, используя часть светового потока источника 1.

Магнитная система может быть общей для нескольких гальванометров, поэтому существуют светолучевые осциллографы, имеющие несколько измерительных каналов. Высокая чувствительность гальванометров позволяет применять их в светолучевых осциллографах без усилителей, однако инерционность рамки гальванометра с зеркальцем не позволяет исследовать колебательные процессы с частотой выше 10 кГц.

Кроме указанных выше узлов, светолучевые осциллографы так же могут иметь в своей конструкции системы стабилизации температуры для получения стабильного магнитного поля в гальванометре, возможность регулировки отдельных гальванометров для выведения того или иного светового пучка в нужную часть экрана и фотопленки, дистанционное управление, например, для измерения параметров в опасных, вредных, экстремальных условиях – исследованиях сейсмическими методами колебаний земной коры, исследованиях в зонах радиоактивного заражения и т.п.

Иногда светолучевые осциллографы также называются шлейфовыми осциллографами, так как для них входные каналы часто называются шлейфами. По английски данный тип осциллографов называется light-beam oscillographs.

На сегодняшний день светолучевые осциллографы выходят из употребления и заменяются на цифровые осциллографы.

## Принцип действия цифровых осциллографов.

Цифровой осциллограф - это конструктивное объединение аналогового осциллографа и электронно-вычислительной машины. На рис. 6 показано упрощенная структурная схема цифрового осциллографа. "Мозгом" цифрового осциллографа является контроллер или компьютер, который через органы управления обеспечивает связь осциллографа с пользователем, а также управляет всеми узлами осциллографа.

Входной сигнал  $Y(t)$  через усилитель входного сигнала попадает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который с частотой, определяемой генератором развертки, производит оцифровку мгновенных значений входного сигнала. Частоту генератора развертки (частоту дискретизации) можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развертки в аналоговых осциллографах.

На выходе АЦП входной сигнал представлен дискретной последовательностью кодовых (цифровых) слов, которые записываются в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Запись данных в ОЗУ осуществляется таким образом, что каждое новое значение вытесняет из ОЗУ наиболее старое по времени значение. Таким образом, если ОЗУ состоит из  $N$  ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится  $N$  последних кодовых слов.

Когда выбранный для синхронизации сигнал проходит через установленный уровень запуска и изменяется в выбранном направлении, блок синхронизации сообщает об этом контроллеру. Контроллер производит оцифровку следующих  $M$  точек ( $M < N$ ), а затем останавливает генератор развертки. Последние записанные в ОЗУ  $M$  точек отображаются на экране дисплея. Каждой ячейке ОЗУ соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её горизонтальная координата определяется номером ячейки, а вертикальная кодовым словом, находящемся в этой ячейке. Таким образом пользователь видит

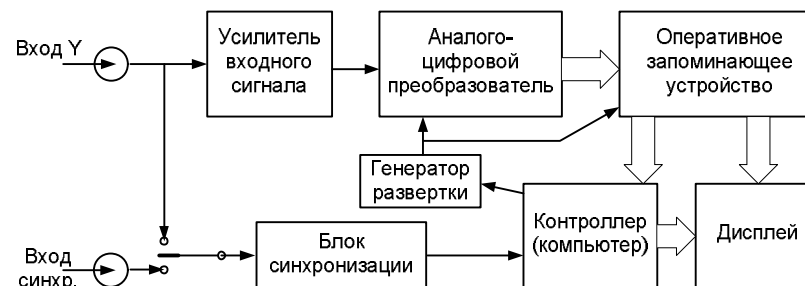


Рис. 6. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа.



на дисплее изображение входного сигнала. Высокая скорость работы современных электронных схем приводит к тому, что пользователь видит изображение на экране цифрового осциллографа практически в реальном времени.

Так как число ячеек в ОЗУ больше, чем число точек на экране дисплея ( $N > M$ ), то пользователь, может вывести на дисплей те ячейки ОЗУ, данные в которые были записаны до появления импульса запуска генератора развертки, а значит пользователь может увидеть предысторию сигнала. Это называют "предзапуском". Также цифровые осциллографы позволяют "вытягивать" записанные в ОЗУ данные порциями, соответствующими ширине экрана, растягивать или же сжимать записанные данные на экране в соответствии с пожеланиями пользователя.

Используя возможности компьютера цифрового осциллографа, можно не только наблюдать входные сигналы в реальном времени, но и выполнять различные математические операции с ними: усреднять входной сигнал для уменьшения шума, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье, измерять различные параметры входных сигналов (амплитуда, частота, период и т.п.). Кроме того многие модели цифровых осциллографов способны выводить изображение с экрана на печатающее устройство (принтер), записывать оцифрованный входной сигнал на носители информации - дискеты или устройства хранения на основе флеш-памяти ("флешки"), передавать накопленные данные на компьютеры или даже в Интернет. Все эти возможности цифровых осциллографов приводят к тому, что они постепенно вытесняют все остальные виды осциллографов.

В последнее время все чаще встречаются модели цифровых осциллографов вообще не имеющих дисплея и каких-либо внешних органов управления. Они подключаются к персональному компьютеру и управляются пользователем через специализированные программы. Пользователь управляет всеми режимами работы осциллографа, а также наблюдает входные сигналы на экране персонального компьютера, что еще больше расширяет возможности по математической обработке исследуемых сигналов.

## **Заключение**

В пособии рассмотрены физические основы работы электронных осциллографов как широкого класса приборов, используемых в различных областях науки и техники. При этом не затрагиваются многие вопросы об узкоспециализированных осциллографах, особенностях использования осциллографов для исследования высокочастотных сигналов, особенностях тех или иных узлов осциллографов или их реализаций. Ответы на эти вопросы могут быть найдены читателями в специализированной литературе.

## **Литература:**

1. Новопольский В.А. Работа с электронно-лучевым осциллографом. М: Радио и связь, 1999.
2. Хоровиц, П. , Хилл, У. Искусство схемотехники. М: Мир, 1998.
3. Иванов Б. С. Осциллограф - ваш помощник. Как работать с осциллографом. Радио, 1991.
4. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. М.: Мир, 1990.
5. Евтихийев Н.Н. и др. Измерение электрических и неэлектрических величин. М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Цифровая осциллография / Под ред.А.М-Беркутова, Е.М.Прошина, М: Энергоатомиздат, 1983.