

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

---

Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

---

Лабораторная работа 3

## **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ**

Санкт-Петербург  
2016

### 3. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Цель работы – изучение структурной схемы и принципа действия однолучевого и двухлучевого осциллографов, основных методов осциллографических измерений, а также получение навыков проведения осциллографических измерений.

#### 3.1. Принцип действия и структурная схема универсального электронно-лучевого осциллографа

Электронно-лучевой осциллограф (ЭЛО) – прибор, предназначенный для исследования формы и измерения амплитудных и временных параметров электрических сигналов.

Основным элементом ЭЛО является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с электростатическим управлением лучом. Эмитированный катодом К поток электронов ускоряется и фокусируется тремя анодами  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  и бомбардирует люминесцентный экран, вызывая свечение. Плотность потока электронов регулируется потенциалом модулятора М, при этом меняется яркость свечения. Две пары пластин ЭЛТ отклоняют луч в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Исследуемый сигнал как функция времени  $u = f(t)$  изображается в прямоугольной системе координат, абсциссой которой является время, а ординатой – мгновенное значение сигнала. Для получения равномерной шкалы оси времени необходимо, чтобы луч отклонялся в горизонтальном направлении с постоянной скоростью. Для этого к горизонтально отклоняющим пластинам подводится линейно изменяющееся (пилообразное) напряжение. Исследуемый сигнал подводится к вертикально отклоняющим пластинам. В результате траектория луча на экране образует осциллограмму, соответствующую форме исследуемого сигнала.

При исследовании периодических сигналов для получения их неподвижного изображения на экране ЭЛТ необходимо, чтобы периоды повторения исследуемого  $T$  и развертывающего  $T_p$  напряжений были кратны  $T_p/T = n$ , где  $n = 1, 2, \dots$ . В противном случае начало развертки будет совпадать с различными точками исследуемого сигнала, и изображение на экране ЭЛТ будет смещаться. Во избежание этого в осциллографах предусматривается синхронизация начала развертки. Синхронизация может осуществляться либо от исследуемого сигнала (внутренняя синхронизация), либо от внешнего сигнала, синхронного с исследуемым (внешняя синхронизация).

При исследовании непериодических сигналов развертка может запускаться как исследуемым, так и внешним сигналами.

Структурная схема универсального осциллографа представлена на рис. 3.1. Она включает в себя каналы вертикального ( $Y$ ) и горизонтального ( $X$ ) отклонений; канал  $Z$ , служащий для модуляции яркости луча, ЭЛТ, а также калибратор. Осциллограф содержит также блок питания, не показанный на схеме.

Канал вертикального отклонения служит для усиления или ослабления входного сигнала до уровня, удобного для наблюдения на экране ЭЛТ, и включает калиброванный аттенюатор, предварительный усилитель, линию задержки и оконечный усилитель.

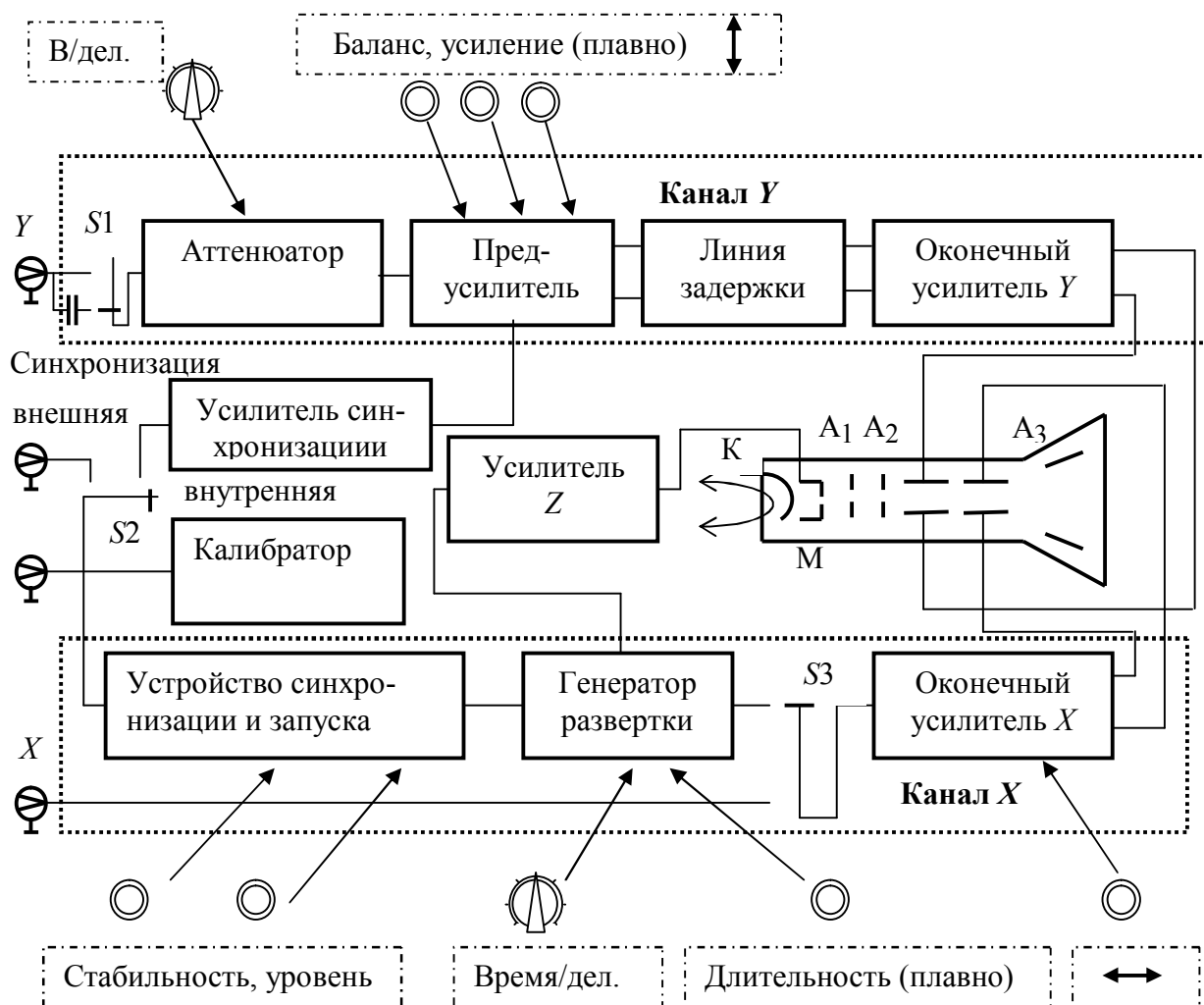


Рис. 3.1. Структурная схема универсального осциллографа

Аттенюатор служит для ослабления исследуемого сигнала, ему предшествует переключатель  $S1$ , через который сигнал поступает на вход аттенюатора либо непосредственно (открытый вход), либо через разделительный

конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую исследуемого напряжения (закрытый вход). Далее сигнал усиливается в предварительном усилителе, имеющем симметричный выход. В нем имеется возможность плавной регулировки коэффициента усиления и балансировки усилителя регулировкой *Баланс* для предотвращения смещения осциллограммы по вертикали при изменении коэффициента отклонения. Здесь же осуществляется смещение осциллограммы по вертикали  $\updownarrow$  (в некоторых осциллографах эта регулировка осуществляется в окончательном усилителе).

Линия задержки обеспечивает подачу исследуемого сигнала на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ с задержкой относительно начала развертки, что позволяет наблюдать начальный участок сигнала, например фронт импульса.

Оконечный усилитель *У* увеличивает сигнал до уровня, позволяющего получить достаточный размер сигнала по вертикали на экране ЭЛТ. Кроме того, окончательный усилитель обеспечивает симметричный выход для подачи напряжения на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Это означает, что напряжение на верхней пластине положительно относительно земляной шины, а на нижней – отрицательно. В отличие от этого входное напряжение осциллографа поступает на вход в несимметричном виде, т. е. определяется относительно земляной шины.

Канал горизонтального отклонения предназначен для создания развращающего напряжения, синхронного с исследуемым сигналом, и включает устройство синхронизации и запуска, генератор развращения, окончательный усилитель *Х*.

Устройство синхронизации и запуска может работать в режиме внутренней синхронизации от исследуемого сигнала, поступающего из канала *У* через усилитель синхронизации, или в режиме внешней синхронизации в зависимости от положения переключателя *S2*. В последнем случае сигналы синхронизации подаются на вход внешней синхронизации. Устройство синхронизации и запуска вырабатывает импульсы запуска генератора развращения. Регулировка *УРОВЕНЬ* устанавливает уровень напряжения, по которому осуществляется запуск генератора развращения, регулировка *СТАБИЛЬНОСТЬ* позволяет улучшать синхронизацию высокочастотных сигналов (ВЧ).

Генератор развращения формирует линейное пилообразное напряжение, используемое для горизонтального отклонения луча. Это напряжение характеризуется амплитудой  $U_m$ , периодом  $T_p$ , длительностями прямого  $t_{пр}$  и обратного  $t_{обр}$  хода, а также временем блокировки  $t_{бл}$  (рис. 3.2).

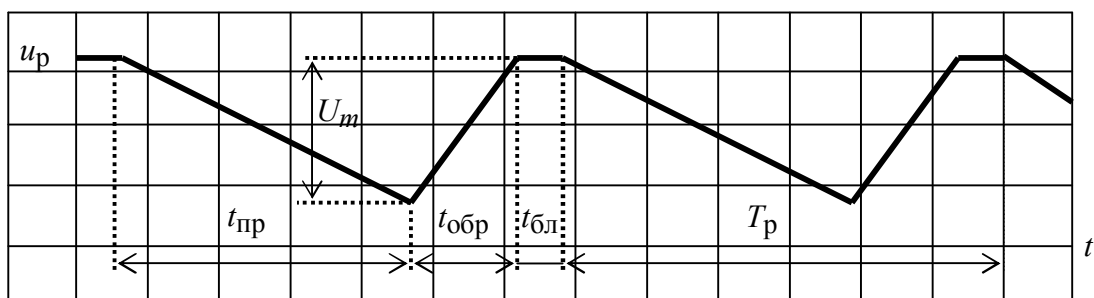


Рис. 3.2. Временная диаграмма напряжения генератора развертки

Генератор развертки может работать в автоколебательном, ждущем и однократном режимах. В ждущем режиме развертка возникает тогда, когда поступает запускающий импульс со схемы синхронизации и запуска. Этот импульс может формироваться как из исследуемого сигнала в режиме внутренней синхронизации, так и от специального импульса в режиме внешней синхронизации. В автоколебательном режиме генератор развертки формирует периодическое пилообразное напряжение. В этом случае напряжение развертки вырабатывается даже при отсутствии исследуемого сигнала в режиме внутренней синхронизации. Однократная развертка используется при фотографировании осциллограмм. В генераторе развертки осуществляется дискретная регулировка коэффициента развертки и его плавная регулировка.

Запуск генератора развертки может осуществляться как по положительному перепаду уровня сигнала (+), так и по отрицательному (–). Момент запуска развертки привязывается к определенному уровню сигнала. На рис. 3.3 представлены временные диаграммы исследуемого сигнала (а), напряжение генератора развертки в режиме внутренней синхронизации при запуске по положительному перепаду (+) от уровня  $U_1$  (б), напряжение генератора развертки при запуске по отрицательному перепаду (–) от уровня  $U_2$  (в), а также вид соответствующих осциллограмм на экране осциллографа (г) и (д). На представленных осциллограммах для простоты не принято во внимание наличие линии задержки в канале Y.

Оконечный усилитель X усиливает напряжение развертки до заданного уровня, а также обеспечивает симметричную подачу напряжения на горизонтально отклоняющие пластины. В нем также производится регулировка смещения осциллограммы по горизонтали ручкой  $\leftrightarrow$ . В ряде осциллографов предусматривается возможность подачи на X-канал внешних сигналов (XY-режим) с помощью переключателя S3. Генератор развертки при этом отключают.

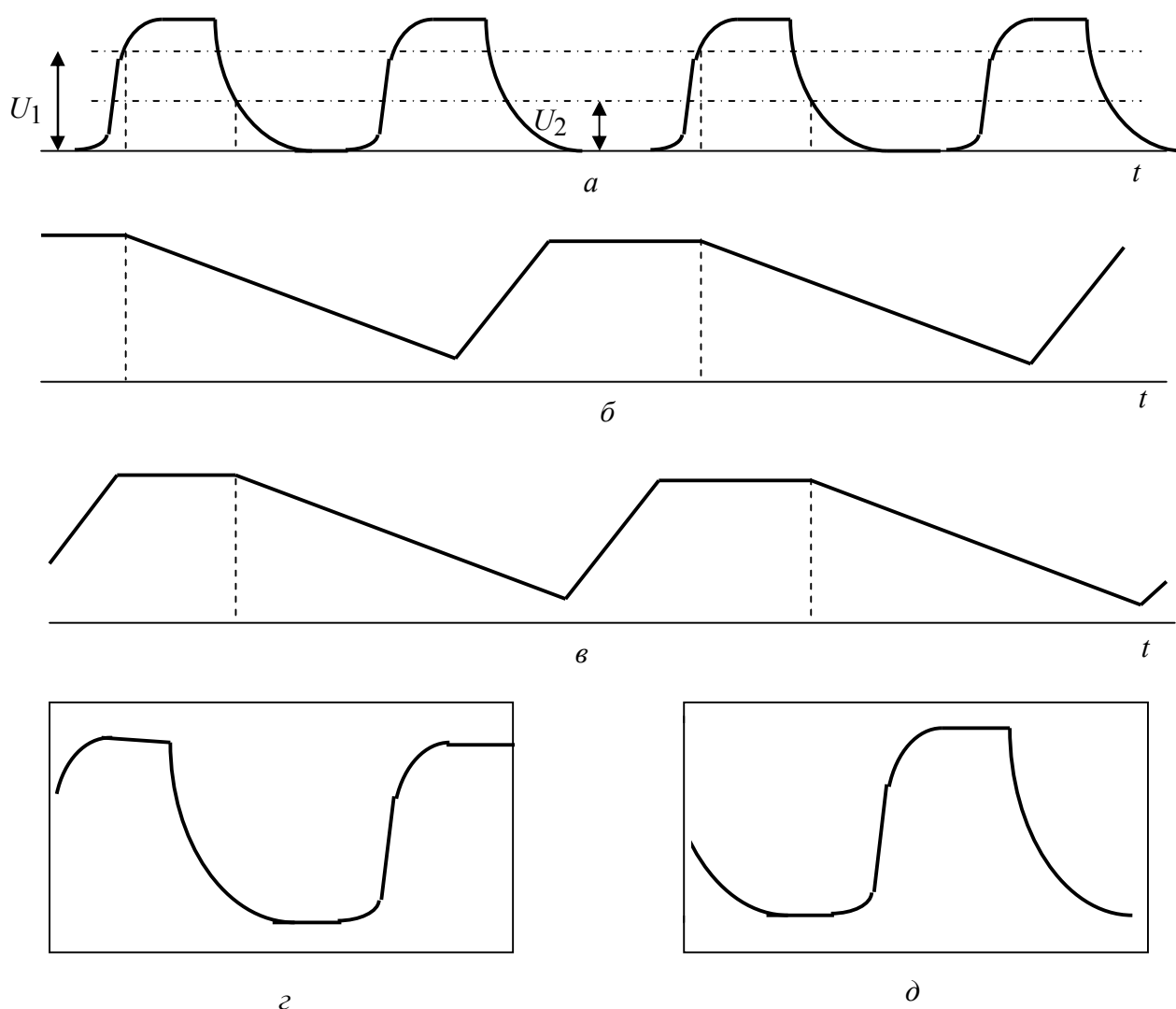


Рис. 3.3. Временные диаграммы исследуемого сигнала (а), напряжение генератора развертки при запуске по положительному перепаду (+) от уровня  $U_1$  (б), напряжение генератора развертки при запуске по отрицательному перепаду (-) от уровня  $U_2$  (в), а также вид соответствующих осциллограмм на экране осциллографа (з) и (д)

Усилитель канала  $Z$  усиливает импульсы, поступающие от генератора развертки на модулятор ЭЛТ, чем обеспечивает подсветку траектории луча во время прямого хода развертки. При этом длительность импульса подсветки и его положение совпадает с длительностью прямого хода напряжения развертки. Этот режим обеспечивает свечение экрана только при движении луча слева направо. Обратный ход луча – справа налево – остается невидимым (гашение обратного хода). В некоторых осциллографах на этот усилитель могут подаваться также внешние сигналы для модуляции яркости осциллограмм.

Калибратор вырабатывает сигнал с известными параметрами, необходимый для калибровки каналов вертикального и горизонтального отклонения

луча. Обычно это периодическая последовательность прямоугольных импульсов (меандр) с известными амплитудой  $U_K$  и периодом  $T_K$  (на осциллографе указывается не период, а частота повторения  $F_K = 1/T_K$ ).

Рассмотренная структурная схема соответствует однолучевому универсальному осциллографу. Для одновременного наблюдения на экране осциллограмм двух сигналов применяют двухлучевые осциллографы, в которых используются двухлучевые ЭЛТ. При этом структурная схема двухлучевого осциллографа содержит два канала вертикального отклонения  $Y1$  и  $Y2$ .

### 3.2. Основные характеристики универсальных осциллографов

*Рабочая часть экрана* – часть экрана, в пределах которой нормированы основные погрешности измерения.

*Полоса пропускания канала  $Y$*  – диапазон частот, в пределах которого значение амплитудно-частотной характеристики не отличается более чем на 3 дБ (0,707) от ее значения на опорной (относительно низкой) частоте. Полоса пропускания задается верхней граничной частотой  $f_B$ . Рабочий диапазон частот осциллографа обычно меньше и определяется граничной частотой  $f_{Гр}$ , на которой коэффициент отклонения составляет 0,95 от значения на опорной частоте.

*Время нарастания переходной характеристики канала  $Y$*  – интервал времени, в течение которого переходная характеристика нарастает от уровня 0,1 до уровня 0,9 установившегося значения. Время нарастания  $t_H$  связано с верхней граничной частотой соотношением  $t_H = 350/f_B$ , где  $t_H$  выражено в наносекундах, а  $f_B$  – в мегагерцах.

*Входное сопротивление и входная емкость канала  $Y$  осциллографа.* Эти параметры влияют на методическую погрешность измерения, связанную с нарушением электрического режима исследуемой цепи при подключении к ней осциллографа. Для уменьшения этого влияния используют выносные делители напряжения, характеризующиеся большим входным сопротивлением и малой входной емкостью.

*Коэффициент отклонения  $K_O$*  – отношение напряжения входного сигнала к отклонению луча, вызванному этим напряжением, В/дел. или мВ/дел. Величина, обратная коэффициенту отклонения, называется чувствительностью. Регулировка коэффициента отклонения осуществляется во входном аттенюаторе.

Коэффициент развертки  $K_p$  – время, за которое луч проходит одно деление шкалы на экране ЭЛТ (с/дел., мс/дел., мкс/дел.). Регулировка коэффициента развертки производится изменением длительности прямого хода  $t_{пр}$  генератора развертки.

### 3.3. Измерение напряжений и временных интервалов

В большинстве современных осциллографов при измерении амплитуды и временных интервалов используется метод калиброванных шкал. Перед измерениями предварительно калибруют вертикальную и горизонтальную шкалы осциллографа, используя сигнал калибратора с известными параметрами.

Величина измеряемого напряжения определяется соотношением  $U = b K_0$ , где  $b$  – отсчитанный размер изображения по вертикали, выраженный в делениях шкалы осциллографа,  $K_0$  – коэффициент отклонения, выраженный в В/дел. или мВ/дел.

Аналогично измеряется временной интервал  $T = a K_p$ , где  $a$  – отсчитанный размер изображения по горизонтали, выраженный в делениях,  $K_p$  – коэффициент развертки, выраженный в мс/дел. или мкс/дел.

В ряде осциллографов имеется режим растяжки развертки в  $M$  раз за счет увеличения амплитуды напряжения развертки. При этом часть осциллограммы, находящаяся в центре экрана ЭЛТ, наблюдается в увеличенном масштабе. В режиме растяжки измеряемый временной интервал определяется соотношением  $T = a K_p M$ . Обычно множитель растяжки  $M = 0,1$  или  $0,2$ .

### 3.4. Задание и указания к выполнению работы

#### 3.4.1. Измерение параметров напряжения развертки осциллографа С1-65

Установите органы управления осциллографов в следующие положения:

С1-65: РАЗВЕРТКА:  $\times 1$ ;  $0,1 \mu\text{с/дел.}$ , АВТ (знак **Z**),

СИНХРОНИЗАЦИЯ: ВНУТР, +,  $\sim$ ;

С1-82: УСИЛИТЕЛЬ Y2:  $2 \text{ В/дел.}$ ,

РАЗВЕРТКА:  $\times 1$ ;  $2 \mu\text{с/дел.}$ , АВТ.,

СИНХРОНИЗАЦИЯ: Y2,  $\sim$ .



Соедините кабелем гнезда генератора развертки  $\vee$  и  $\oplus$  осциллографа С1-65 со входом усилителя  $Y_2$  осциллографа С1-82. Добейтесь устойчивого изображения напряжения вращением ручки *СИНХРОНИЗАЦИЯ: УРОВЕНЬ* осциллографа С1-82. Проведите измерения длительности прямого хода  $t_{пр} = a_1 K_p$ , периода  $T_p = a_2 K_p$  и амплитуды напряжения развертки  $U_m = b K_o$  (здесь  $a_1$ ,  $a_2$  и  $b$  – соответственно длительность прямого хода, период и перепад напряжения развертки, выраженные в делениях, согласно рис. 3.2, коэффициент развертки осциллографа С1-82  $K_p$  – масштабный множитель оси  $X$ , выраженный в мс/дел. или мкс/дел., коэффициент отклонения осциллографа С1-82  $K_o$  – масштабный множитель оси  $Y$ , выраженный в В/дел. или мВ/дел.) для значений коэффициента развертки осциллографа С1-65, равного 0,1 мкс/дел. Результаты измерений занесите в табл. 3.1. При этом обязательно записывайте размерность масштабных коэффициентов  $K_p$  и  $K_o$ , не забывайте делать это и в последующих пунктах работы для правильного оформления результатов измерений временных и амплитудных параметров сигналов.

#### ***3.4.2. Измерение параметров периодической последовательности прямоугольных импульсов генератора Г5-54***

Соедините разъем *СИНХРОИМПУЛЬСЫ* генератора Г5-54 кабелем с разъемом  $\oplus$   $X$  осциллографа С1-65. Соедините также кабелями выходы 1:10 и 1:1 генератора Г5-54 со входами канала  $Y$  осциллографа С1-65 и канала  $Y$  осциллографа С1-82 соответственно. Схема соединения представлена на рис. 3.4.

В генераторе Г5-54 имеются белые и черные шкалы установки параметров, а также белые и черные клавиши множителей этих параметров. При нажатии белой клавиши следует пользоваться белой шкалой соответствующего параметра, а в противном случае – черной. Установите органы управления генератора Г5–54 в следующие положения: *ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ* 10 kHz; *ВРЕМЕННОЙ СДВИГ* 8  $\mu$ s; *ДЛИТЕЛЬНОСТЬ* 7  $\mu$ s; *АМПЛИТУДА* 20 V; полярность  $\sqcap$ . Нажмите одновременно обе клавиши множителя выходного напряжения  $\times 0,03$ , что обеспечит поступление сигнала с обоих выходных разъемов 1:1 и 1:10.

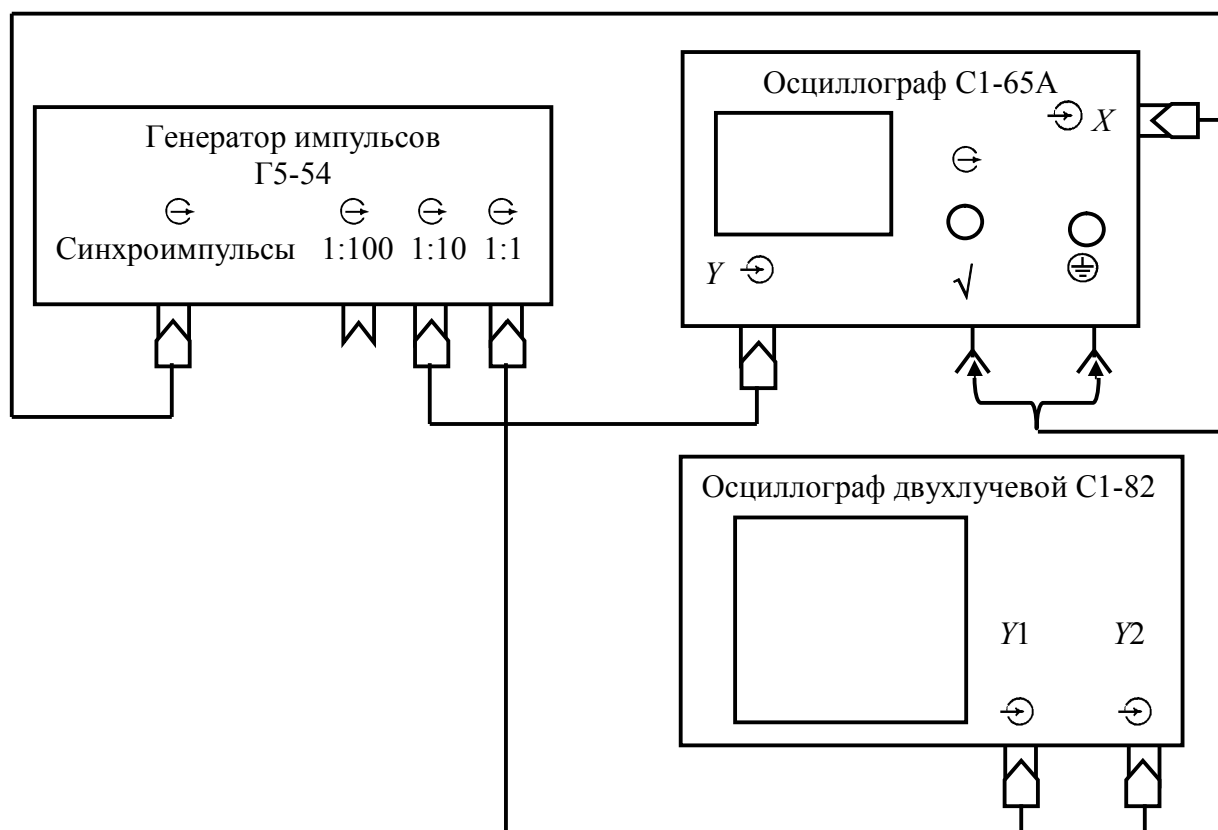


Рис. 3.4. Схема соединения приборов

Переключите развертку осциллографа C1-65 в режим *ABT* и установите коэффициент развертки так, чтобы на экране появилось 5...6 импульсов. На экране осциллографа C1-82 одновременно наблюдайте импульсную последовательность, поданную на канал *Y1*, и напряжение развертки осциллографа C1-65, поступающее на каналы *Y2*. При этом установите коэффициент развертки осциллографа C1-82 так, чтобы на экране наблюдалось 2...4 периода напряжения развертки. При неустойчивом изображении регулируйте ручки **СИНХРОНИЗАЦИЯ: УРОВЕНЬ** сначала на осциллографе C1-65, а затем на осциллографе C1-82. **Сфотографируйте осциллограммы 1 и 2 с обоих осциллографов.** Определите по осциллограмме с осциллографа C1-82 количество импульсов, которое укладывается на интервале, соответствующем длительности прямого хода напряжения развертки. Сравните результат с количеством импульсов *N*, наблюдаемых на экране осциллографа C1-65.

Установите коэффициент развертки осциллографа C1-65 таким, чтобы на его экране появился один импульс последовательности, и **сфотографируйте осциллограммы 3 и 4 с обоих осциллографов**, предварительно установив удобный коэффициент развертки на осциллографе C1-82. Определите по осциллограмме с осциллографа C1-82, сколько импульсов укладывается

на интервале, соответствующем длительности прямого хода напряжения развертки. Сравните результат с количеством наблюдаемых на экране осциллографа С1-65 импульсов  $N$ . В отчете укажите, от чего зависит количество наблюдаемых на экране ЭЛЮ импульсов?

Переведите осциллограф С1-65 в режим внешней синхронизации, для чего переключатель синхронизации установите в положение *ВНЕШ 1:1*. **Сфотографируйте осциллограммы 5 и 6 и сравните их с осциллограммами 3 и 4**, полученными в режиме внутренней синхронизации. В отчете объясните, чем и почему отличаются эти осциллограммы?

Выключите осциллограф С1-82, последующие измерения проводятся только с помощью осциллографа С1-65.

Проведите измерение периода  $T = 1/F$  ( $F$  – частота повторения импульсов), временного сдвига  $t_c$  начала импульса относительно начала развертки, длительности  $\tau$  и амплитуды  $U_m$  импульсной последовательности и сравните их с соответствующими значениями, установленными на генераторе Г5-54:  $F = 10^4$  Гц;  $t_c = 8$  мкс;  $\tau = 7$  мкс;  $U_m = 20 \times 0,03 : 10$  В.

Определите относительную разность измеренных  $A_{\text{и}}$  и установленных  $A_{\text{у}}$  параметров  $(A_{\text{и}} - A_{\text{у}}) 100/A_{\text{у}} \%$ . Результаты занесите в табл. 3.2.

### 3.4.3. Измерение параметров прямоугольных импульсов в режиме растяжки длительности развертки

Установите следующие параметры импульсной последовательности на генераторе Г5-54:  $F = 10^4$  Гц,  $t_c = 0,8$  мкс,  $\tau = 0,1$  мкс и  $U_m = 50 \times 0,03 : 10$  В. Измерьте длительность импульса  $\tau$ , а также длительности фронта  $\tau_{\text{ф}}$  и среза  $\tau_{\text{с}}$ . Эти параметры регламентируются ГОСТом и определяются в соответствии с рис. 3.5. При измерении параметров импульса воспользуйтесь режимом растяжки развертки. Для этого ручками осциллографа С1-65 переместите импульс в центр экрана и переведите переключатель развертки в положение  $\times 0,1$ . При этом коэффициент развертки уменьшается в 10 раз. Отрегулируйте коэффициент отклонения в том числе и

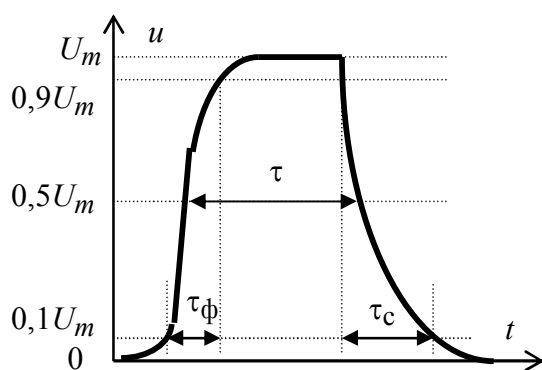


Рис. 3.5. Параметры импульса

с рис. 3.5. При измерении параметров импульса воспользуйтесь режимом растяжки развертки. Для этого ручками осциллографа С1-65 переместите импульс в центр экрана и переведите переключатель развертки в положение  $\times 0,1$ . При этом коэффициент развертки уменьшается в 10 раз. Отрегулируйте коэффициент отклонения в том числе и

ручкой *ПЛАВНО* так, чтобы амплитуда импульса была равна 8 делениям. При этом точечные горизонтальные линии будут соответствовать уровням 0,1 и 0,9. Коэффициент развертки установите таким, чтобы исследуемый участок сигнала занимал как можно большую часть ширины экрана. Длительность импульса определите по уровню 0,5 от амплитудного значения (рис. 3.5). Результаты измерений занесите в табл. 3.3.

Установите длительность импульса генератора  $\tau = 1$  мкс и вновь проведите измерения длительности импульса, а также длительностей фронта и среза. Результаты занесите в табл. 3.3.

### 3.5. Содержание отчета

Отчет должен содержать структурную схему ЭЛО, таблицы по установленной форме с результатами измерений и расчетов, 6 осциллограмм и выводы по 3.4.2.

### 3.6. Рекомендуемые формы таблиц

Таблица 3.1

$a_1$ , дел.	$a_2$ , дел.	$K_p$	$t_{np} = a_1 K_p$	$T_p = a_2 K_p$	$b$ , дел.	$K_o$	$U_m = b K_o$

Таблица 3.2

Параметр	Установленный параметр генератора	$a$ или $b$ , дел.	$K_p$ или $K_o$	Измеренный параметр $A_{и} = a K_p$ или $b K_o$	$\delta = \frac{A_{и} - A_y}{A_y} 100 \%$
$T = 1/F$					
$t_c$					
$\tau$					
$U_m$					

Таблица 3.3

$\tau_y$	$\tau$			$\tau_\phi$			$\tau_c$		
	$a$ , дел.	$K_p$	$\tau = a K_p$	$a$ , дел.	$K_p$	$\tau_\phi = a K_p$	$a$ , дел.	$K_p$	$\tau_c = a K_p$

### 3.7. Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы и назначение основных узлов универсального ЭЛО.
2. В каких режимах может работать генератор развертки, какова форма напряжения генератора в различных режимах?
3. Для чего нужна регулировка *УРОВЕНЬ СИНХРОНИЗАЦИИ* и ее полярность (+/–) в осциллографе?
4. Перечислите основные характеристики и параметры ЭЛО.
5. Как производят калибровку ЭЛО?
6. Поясните суть метода калиброванных шкал.
7. Как измеряют длительность фронта и среза импульса, а также его длительность?
8. Для чего нужна линия задержки в канале *Y* осциллографа? В каком режиме работы осциллографа ее присутствие необходимо, а в каком необязательно?
9. Для чего используется режим растяжки развертки осциллографа? Как определяют длительность измеряемых временных интервалов в режиме растяжки?
10. Что такое обратный ход луча? Каким образом в универсальном осциллографе осуществляется гашение изображения обратного хода луча?
11. В чем состоит отличие двухлучевого осциллографа от однолучевого и каковы достоинства двухлучевого осциллографа в сравнении с однолучевым?
12. Как правильно установить коэффициенты отклонения и развертки при осциллографических измерениях?
13. Поясните работу осциллографа в режимах внутренней и внешней синхронизации. Чем отличаются осциллограммы, сформированные в режимах внутренней и внешней синхронизации при наблюдении импульсов?
14. От чего зависит количество импульсов, наблюдаемых на экране осциллографа, при подаче на вход *Y* периодического импульсного сигнала?
15. Объясните, почему может «бежать» изображение периодического сигнала на экране осциллографа при использовании автоколебательного режима генератора развертки. Сформулируйте условие неподвижности изображения.