

**TOMSK  
POLYTECHNIC  
UNIVERSITY**



**ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

**УТВЕРЖДАЮ**

## **ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу  
«Физический практикум» для студентов инженерных направлений и  
технических специальностей

*Составитель: Л.В. Никитина*

Издательство  
Томского политехнического университета

2025

УДК\_

ББК\_

**Осциллографические измерения характеристик сигналов в цепях переменного тока:** методические указания к лабораторной работе по курсу «Физический практикум» для студентов инженерных направлений и технических специальностей / сост. Л.В. Никитина; томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2025. – 18 с.

В методических указаниях изложен теоретический материал и основы работы с цифровым осциллографом, а также практическая часть проведения лабораторной работы по осциллографическим измерениям характеристик сигналов цепей переменного тока.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию  
методическим семинаром Отделения  
Экспериментальной Физики

«\_\_\_\_\_» 2025 г.

Председатель

учебно-методической комиссии \_\_\_\_\_

*Рецензенты*

**Должность**

Отделения экспериментальной физики ТПУ

**И.О. Фамилия**

# ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель:** Измерить характеристики сигнала в цепях переменного тока при помощи цифрового осциллографа.

**Приборы и принадлежности:** Цифровой осциллограф, набор соединительных проводов, генератор переменного тока, монтажная панель, линейные компоненты: конденсаторы, резисторы, катушка индуктивности.

## Краткая теория и основы работы с цифровым осциллографом

*Осциллограф* - прибор, используемый для визуализации электрических сигналов и измерения их основных характеристик. Осциллограф показывает изменение напряжения во времени, что определяет его преимущества перед, например, мультиметром.

Для работы с цифровым осциллографом необходимо начать с настроек, а именно: амплитуды сигнала – развертка по вертикали, времени - развертка по горизонтали, и уровня триггера – точка начала отображения сигнала.

*Вертикальная развертка (вертикальная шкала, шкала напряжения)* – отображение на дисплее осциллографа диапазона напряжения сигнала на вертикальной оси. Позволяет регулировать количество вольт в одном делении шкалы. Единица измерения вертикальной развертки - *В/дел*.

*Горизонтальная развертка (горизонтальная шкала, шкала времени)* – отображение на дисплее осциллографа масштаба времени. Позволяет регулировать скорость отображения сигнала на дисплее. Коэффициент горизонтальной развертки задает масштаб шкалы времени и измеряется во временных единицах на деление, например, *сек/дел* или *мс/дел*.

*Триггер* – специальный механизм, который позволяет определить момент времени, когда осциллограф начинает захватывать аналоговый

сигнал, оцифровывает его и визуализирует на дисплее. Различают следующие основные типы триггеров:

1. По уровню. Этот тип триггера используется для запуска системы по заданному уровню напряжения.
2. По фронту или спаду. Запуск системы происходит при изменении сигнала от низкого уровня к высокому и наоборот.
3. По ширине импульса. Запуск системы исходя из длительности импульса.

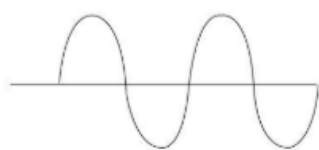
Неправильная настройка триггера не дает получить четко-стабильное изображение.

*Полоса пропускания осциллографа* (аналоговая полоса пропускания) – диапазон частот, в пределах которой осциллограф измеряет сигналы без внушительных потерь на искажение. Полоса пропускания позволяет отсекал паразитные составляющие спектров с более высокими частотами. На цифровых осциллографах горизонтальная развертка связана также с частотой снятия показаний с входного сигнала – *частотой дискретизации*. То есть аналоговый сигнал преобразуется в цифровой путем измерения амплитуды сигнала через определенные промежутки времени. Частота дискретизации осциллографа должна быть в несколько раз выше полосы пропускания.

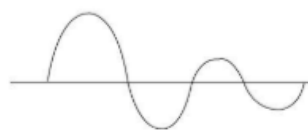
### **Типы сигналов**

Осциллограф, эволюционировавший от лучевых трубок до современных цифровых приборов с высокой полосой пропускания, способных запоминать данные и даже математически обрабатывать, является основным инструментом анализа широкого разнообразия электрических сигналов, встречающихся в природе и технике. К основным типам сигналов относятся: синусоидальные, прямоугольные, треугольные, пилообразные, модулированные и др. Каждый вид сигнала имеет свои характеристики и требует от специалиста знания и подхода к настройке осциллографа и

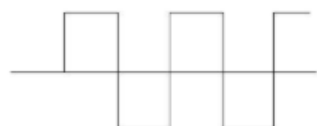
интерпретации результата. Рассмотрим некоторые распространенные формы сигналов.



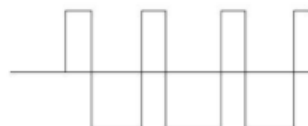
Синусоидальная волна



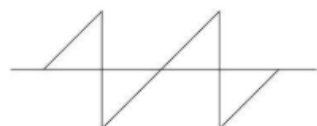
Затухающая синусоидальная волна



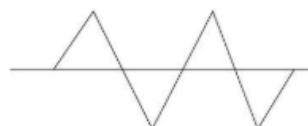
Квадратичная волна



Прямоугольная волна



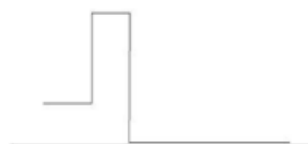
Пилообразная волна



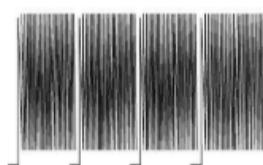
Треугольная волна



Пошаговая волна



Пульсирующая волна



Комплексная волна

*Рис.1. Различные формы сигналов*

Сигнал источника переменного тока является *синусоидальным*. Если колебание затухает, то амплитуда сигнала будет уменьшаться экспоненциально. *Прямоугольный* сигнал, иногда называют меандр, - скачкообразно периодически изменяющейся между двумя значениями сигнал. Такой сигнал дают теле-радио коммуникации. *Пилообразные* и

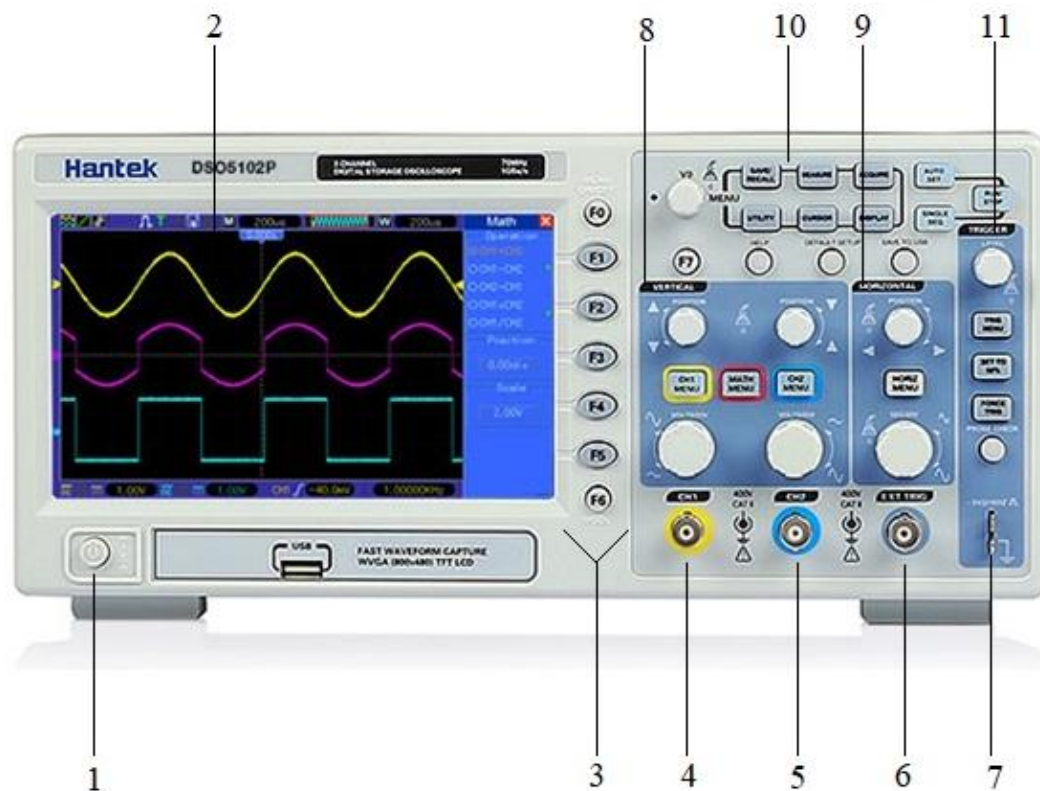
*треугольные* сигналы используют для линейного управления напряжением. Скорость изменения напряжения между переходами (рампами) – постоянна. *Пошаговая* и *пульсирующая* волна чаще всего отвечает за одиночное изменение напряжения, например, при включении/выключении переключателя, или незапланированного сбоя в цепи. *Комплексная* волна сочетает в себе несколько разновидностей сигналов и является сигналом сложной формы.

### **Передняя панель осциллографа**

Передняя панель осциллографа (рис.2) разбита на несколько характерных областей. На рисунке ниже представлены основные области передней панели осциллографа Hantek DSO5102P. 1 – кнопка запуска/выключения осциллографа. Дисплей 2 служит для визуализации сигналов и определения основных его характеристик. 3 – набор кнопок F1-F5 является функциональными клавишами, отвечающими за настройку осциллографа. С помощью этих кнопок можно работать с функциями вертикальной и горизонтальной развертки, а также системы триггера. 4 и 5 – это каналы подключения щупов или, например, генератора переменного тока. 6 – это канал внешнего запуска (внешнего триггера). Данный аналоговый канал позволяет синхронизировать сигнал на дисплее осциллографа с внешним событием. 7 – вход сигнала компенсации щупа – используется для настройки емкостной нагрузки подключаемого щупа. Неправильная настройка щупа может привести к отклонению от прямоугольного сигнала, а значит к ошибкам при измерении амплитуды и формы сигнала.

За положение и масштаб осциллограммы отвечают области вертикальной 8 и горизонтальной 9 развертки. Развертка по вертикали отвечает за амплитуду сигнала, развертка по горизонтали – за время. Область оснащена поворотными настроечными регуляторами. 10 – панель управления меню. Область настройки триггера 11 используется для синхронизации

горизонтальной развертки с входным сигналом. Также осциллограф оснащен USB-портом и может быть подключен к компьютеру.



1 – кнопка включения/выключения осциллографа, 2 – дисплей, 3 – функциональные настроечные клавиши, 4 – первый аналоговый канал подключения, 5 – второй аналоговый канал подключения, 6 – канал внешнего запуска (триггера), 7 – компенсация щупа, 8 – панель вертикальной развертки, 9 – панель горизонтальной развертки, 10 – область, 11 – панель триггера

*Рис.2. Внешний вид панели осциллографа Hantek DSO5102P*

Панель вертикальной развертки (Рис. 3) содержит в себе два больших и два малых настроечных регулятора. Пара этих регуляторов соответствует одному из аналоговых каналов (в данной модели осциллографа аналоговых каналов два). Регулятор POSITION отвечает за положение сигнала относительно начала координат по вертикальной оси. Регулятор VOLTS/DIV позволяет растягивать или сжимать сигнал по вертикальной оси задавая количество вольт в одном делении шкалы. Кнопки CH1 MENU и CH2 MENU позволяют перейти в настроечное меню функций канала. Кнопка MATH

MENU позволяет выполнять математические операции над сигналами (сложение, вычитание, умножение и т.д.).



*Рис.3. Панель вертикальной развертки*

Панель горизонтальной развертки (Рис.4) также содержит в себе два поворотных регулятора: POSITION – положение сигнала на оси времени, а также SEC/DIV – скорость отображения сигнала по горизонтальной оси – позволяет «растянуть/сжать» сигнал. Кнопка HORIZ MENU позволяет выйти в настроечное меню горизонтальной развертки.



*Рис.4. Панель горизонтальной развертки*



## Панель триггера



*Рис.5. Панель триггера*

На данной панели находятся: ручка настройки уровня триггера (LEVEL), меню триггера (TRIG MENU), кнопка установки уровня триггера на 50 % (SET TO 50 %), кнопка принудительного завершения выборки (FORCE TRIG), кнопка пробного запуска (PROBE CHECK). Также в нижней части располагаются клеммы компенсации щупа.

Одним из преимуществ цифровых осциллографов является возможность фиксации сигнала для детального изучения. Для этого используют кнопку RUN/STOP в правом верхнем углу передней панели осциллографа.

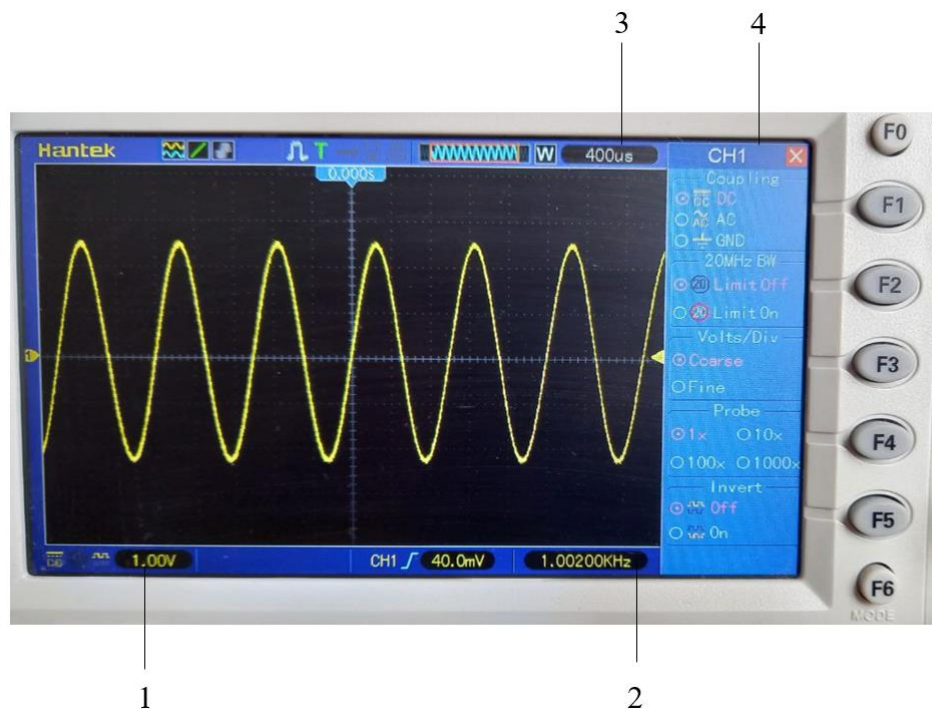
## Дисплей осциллографа

После подсоединения коаксиальных кабелей запускаем генератор и осциллограф. Для данной лабораторной работы выбран функциональный генератор, встроенные в лабораторный стенд, произведенный ООО «ЭнергияЛаб» (Рис.6).



*Рис.6. Лабораторный стенд с источниками постоянного и переменного тока, а также монтажной панелью(слева) и панель генератора переменного тока (справа)*

Вращая регуляторы на панели функционального генератора установите частоту 1 кГц, шаг частоты 0,01 кГц, амплитуда 0,5 В.



1 – масштаб клетки по вертикали; 2 – частота сигнала; 3 – масштаб клетки по горизонтали; 4 – меню канала 1 (CH1)

*Рис.7. Дисплей осциллографа Hantek и функциональные кнопки*

Для того, чтобы измерить и рассчитать параметры сигнала, необходимо знать масштаб вертикальной и горизонтальной оси. На рисунке 7 приведены масштабы клетки оси напряжения 1 и оси времени 3. Под номером 2 указана частота регистрируемого сигнала.

### **Упражнение 1. Настройка щупа**

Особое внимание стоит уделить калибровке щупов (пробников), во избежание неточных измерений, а также настройке масштабов отображения разверток. Калибровка щупа производится, чтобы емкость щупа не влияла на исследуемый сигнал.

Произведем настройку щупа. Для этого необходимо подсоединить щуп к тестовому выходу осциллографа. Щуп подключаем в гнездо первого канала (CH 1). Второй конец пробника необходимо закрепить на выходе компенсации пробника, который представляет собой две клеммы в правом нижнем углу передней панели осциллографа. В данном виде осциллографа нижняя клемма – это «земля», верхняя клемма – сигнальная. Острие щупа подключаем к сигнальной клемме, «крокодил» к «земле», как показано на рисунке 8.



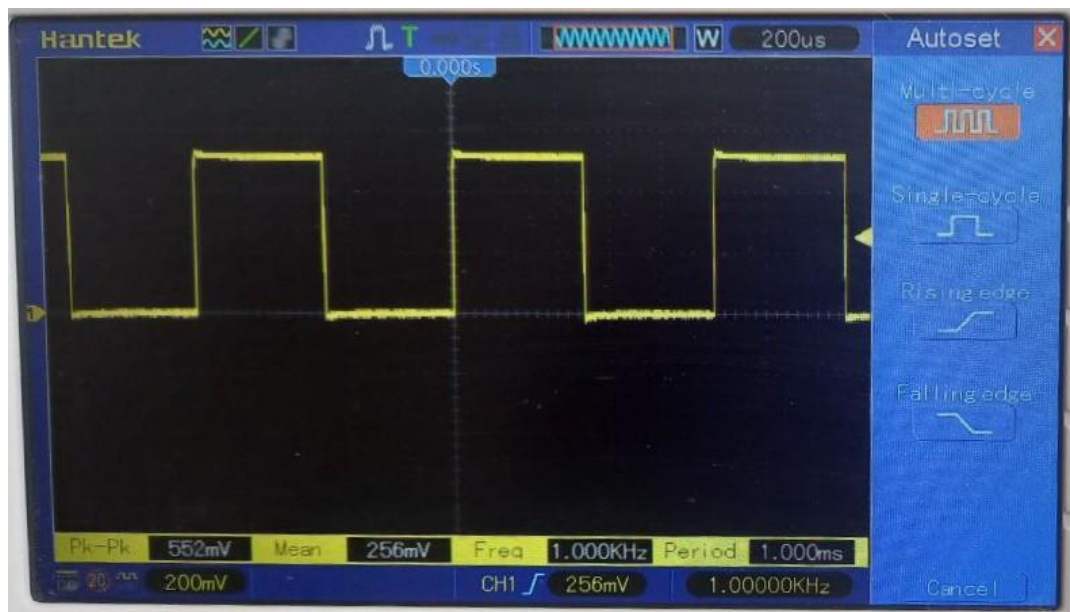
*Рис.8. Подключение щупа*

Запускаем осциллограф. Получаем на экране осциллографа тестовый прямоугольный сигнал. Данный вид сигнала удобно использовать для исследования временных характеристик. Если при подключении картинка на осциллографе не дала качественное изображение прямоугольного сигнала, воспользуйтесь кнопкой автоматической настройки AUTO SET в правом верхнем углу передней панели осциллографа. Теперь необходимо проверить форму сигнала на дисплее осциллографа. Форма должна быть максимально приближена к прямоугольной. Варианты сигнала неправильно скомпенсированного пробника представлены на рисунке 9.



*Рис.9. Варианты осциллограмм при настройке компенсации пробника*

Если наблюдаете отклонение, то необходимо с помощью **НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ!!!** отвертки (лучше предоставляемой производителем из набора) на щупе подкрутить настроечный винт переменного конденсатора до тех пор, пока форма не станет максимально прямоугольной (Рис.10). Настроечный винт расположен внутри внешней полиэтиленовой оболочки конца пробника, подсоединяемого к входу осциллографа.



*Рис.10. Прямоугольный сигнал от встроенного генератора компенсации пробника*

## **Упражнение 2. Исследование осциллограмм линейных элементов в цепи переменного тока**

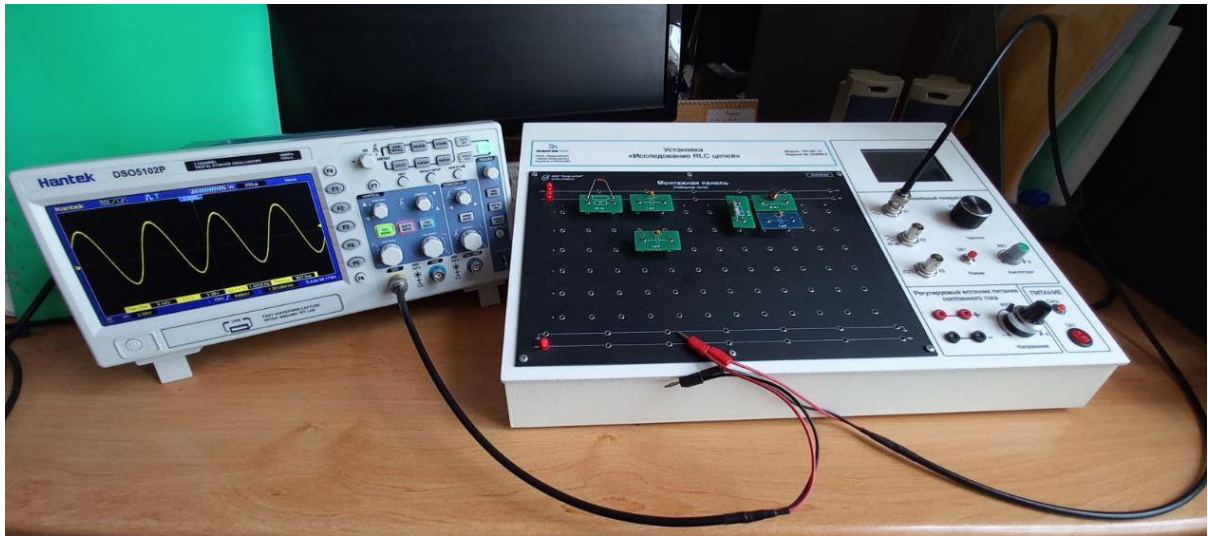
В данном упражнении исследуем линейные элементы, такие как резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности. Причиной исследования линейных элементов является сохранность формы гармонического сигнала.

### **2.1 Исследование характеристик синусоидального сигнала генератора переменного тока**

Для начала получим синусоидальный сигнал с генератора. Для этого необходимо подсоединить коаксиальный кабель с 1 канала (CH1) осциллографа к кабелю с генератора. **Делайте это при выключенном генераторе!!!!** Коаксиальный кабель на одном конце заканчивается оплеткой, которая подсоединяется непосредственно к входному каналу осциллографа и выходному каналу генератора. Второй конец кабеля заканчивается красным сигнальным кабелем и черным – «землей». «Сигнал» и «земля» кроме щупа имеют еще один вход для возможности последовательного подключения к другому коаксиальному кабелю или непосредственно к цепи. Подключите



коаксиальные кабели от осциллографа и генератора друг к другу согласно рисунку 11.



*Рис.11. Подключение осциллографа к генератору через соединение коаксиальных кабелей*

Исходя из полученной осциллограммы генератора переменного тока измерьте следующие характеристики: амплитудное значение напряжения, размах сигнала, период. Частоту рассчитайте согласно общепринятой формуле

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота, измеряемая в Герцах (Гц),  $T$  – период, измеряется в секундах (с). Сравните данную величину с величиной, показываемой на приборе.

## **2.2 Исследование характеристик прямоугольного сигнала генератора переменного тока линейных элементов в цепи переменного тока**

Наиболее удобным для таких исследований является применение прямоугольных сигналов. Основные параметры сигнала:  $U_A$  – максимальная амплитуда,  $T$  – период сигнала,  $\tau$  – активная длительность импульса, выбираем на середине амплитуды сигнала,  $\tau_1$  – длительность плоской

вершины (плато),  $\tau_2$  – длительность паузы,  $\tau_\phi$  – передний фронт (длительность фронта),  $\tau_c$  – время спада (задний фронт). Исследовать более подробно каждый участок сигнала удобно в меню автоматической установки – кнопка AUTO SET.

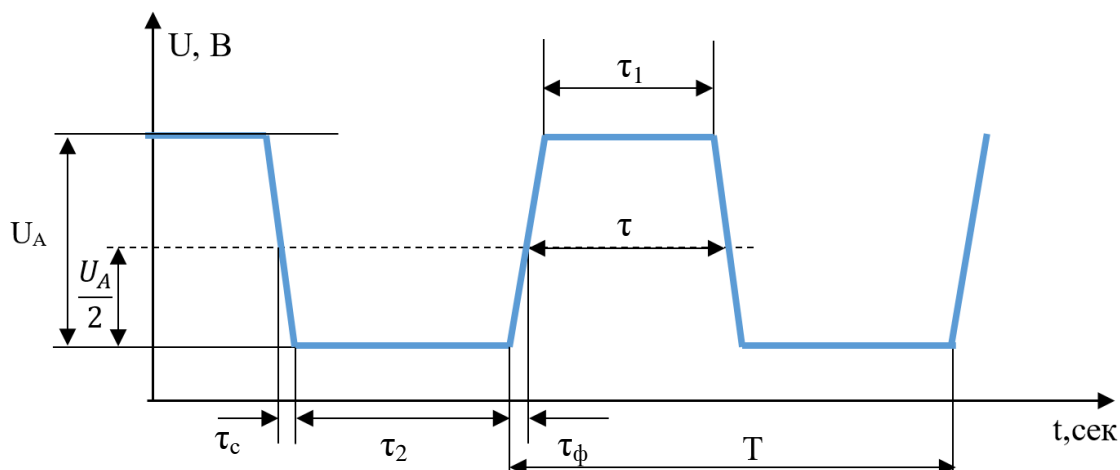


Рис.12. Характеристики прямоугольного сигнала

Если на осциллограмме плоского сигнала плато не горизонтальное, то рассчитывается коэффициент спада вершины прямоугольного импульса.

На осциллографе измерение амплитуды осуществляется по размерной сетке. Например, для установления значения амплитудного напряжения подсчитывается количество клеток до точки пересечения с осциллограммой и умножается на количество вольт в одной клетке.

Амплитудное значение напряжения сигнала рассчитывается по формуле

$$A = K_A n, \quad (2)$$

где  $n$  – количество делений по оси напряжения,  $K_A$  – цена деления оси напряжения (В/дел).

Период сигнала рассчитывается по формуле

$$T = K_t m, \quad (3)$$

где  $m$  – количество делений по оси времени,  $K_t$  – цена деления временной оси (с/дел).

**Таблица 1** Характеристики синусоидального сигнала

Характеристики сигнала генератора	А, В			F, Гц			
Осциллографические измерения	$K_A$ , В/дел	$n$ , дел	А, В	$K_t$ , с/дел	$m$ , дел	Т, с	f, Гц

**Таблица 2** Характеристики прямоугольного сигнала

Характеристики сигнала генератора	А, В			F, Гц			
Осциллографические измерения	$K_A$ , В/дел	$n$ , дел	А, В	$K_t$ , с/дел	$m$ , дел	Т, с	f, Гц

F – частота, задаваемая в окне функционального генератора.

**Таблица 3** Характеристики прямоугольного сигнала при подключении линейных элементов

Осциллографические измерения	$K_A$ , В/дел	$n$ , дел	А, В	$K_t$ , с/дел	$m$ , дел	Т, с	f, Гц
Конденсатор, $C=10\text{мкФ}$							
Последовательное соединение конденсаторов, $C_1=C_2=10\text{мкФ}$							
Параллельное соединение							



конденсаторов, $C_1=C_2=10\text{мкФ}$							
Резистор, $R=10$ Ом							
Резистор, $R=150$ Ом							
RC-цепь (прямая)							
RC-цепь (обратная)							
RLC-цепь							

### Ход работы

#### Упражнение 1

1. Выполните компенсацию емкости измерительного щупа (пробника).

#### Упражнение 2

2. Получите на экране осциллографа синусоидальный сигнал генератора переменного тока.
3. Запишите характеристики сигнала в таблицу 1. Сравните частоту сигнала, выдаваемую осциллографом с частотой, рассчитанной по формуле 1.
4. Получите на экране осциллографа прямоугольный сигнал генератора переменного тока.
5. Запишите характеристики сигнала в таблицу 2.
6. Подключите конденсатор, проведите аналогичные замеры, запишите результаты в таблицу 3.
7. Подключите два конденсатора последовательно, затем параллельно, проведите замеры, запишите результаты в таблицу 3.
8. Подключите резистор, проведите замеры, запишите результаты в таблицу 3.

9. Подключите последовательно резистор и конденсатор, проведите измерения. Подключите обратную схему (сначала конденсатор, затем резистор), проведите измерения. Запишите результаты в таблицу 3.
10. Соберите последовательный RLC-контур. Зарисуйте осциллограмму и опишите основные характеристики полученного сигнала. Запишите результаты в таблицу 3.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие цифрового осциллографа от аналогового?
2. Какие виды электрических сигналов существуют в природе и технике?  
Приведите примеры.
3. Что подразумевается под вертикальной и горизонтальной разверткой для цифрового осциллографа?
4. Что характеризует триггер?
5. Для чего необходимо проводить настройку компенсации пробника (щупа)?
6. Почему при калибровке щупа речь идет о компенсации емкости щупа?
7. Поясните на основе формул, как изменение частоты тока приводит к изменению емкостного сопротивления щупа.
8. Какие типы сигналов формируются при неправильной настройке пробника?
9. Что собой представляет коаксиальный кабель?
10. Поясните с чем связана синусоидальная форма сигнала с генератора переменного тока?
11. Укажите основные величины, характеризующие форму сигнала.