

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Петрозаводский филиал ПГУПС

ОДОБРЕНО

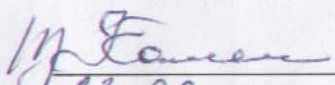
на заседании цикловой комиссии  
протокол № 11 от 23.06.2017

Председатель цикловой комиссии:

 (Каминский)

УТВЕРЖДАЮ

Начальник УМО

  
«23» 06

А.В. Калько  
2017г.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ по организации и проведению лабораторных работ

По учебной дисциплине  
ОП.02. Технологии физического уровня передачи данных

Специальность: 09.02.02 Компьютерные сети

Разработчик: Зайцев В.А.

2017г

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по организации и проведению лабораторных работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.02. Технологии физического уровня передачи данных и предназначены для выполнения лабораторных работ обучающимися.

Лабораторные работы по учебной дисциплине направлены на усвоение знаний, освоение умений и формирование элементов общих компетенций, предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь:**

осуществлять необходимые измерения параметров сигналов;  
рассчитывать пропускную способность линии связи;

**знать:**

физические среды передачи данных;

типы линий связи;

характеристики линий связи передачи данных;

современные методы передачи дискретной информации в сетях;

принципы построения систем передачи информации;

особенности протоколов канального уровня;

беспроводные каналы связи, системы мобильной связи;

**В результате освоения учебной дисциплины происходит поэтапное формирование элементов общих и/или профессиональных компетенций:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности

ПК 1.1. Выполнять проектирование кабельной структуры компьютерной сети.

ПК 1.2. Осуществлять выбор технологии, инструментальных средств и средств вычислительной техники при организации процесса разработки и исследования объектов профессиональной деятельности.

ПК 3.1. Устанавливать, настраивать, эксплуатировать и обслуживать технические и программно-аппаратные средства компьютерных сетей.

ПК 3.2. Проводить профилактические работы на объектах сетевой инфраструктуры и рабочих станциях.

Рабочей программой предусмотрено выполнение обучающимися практических занятий, включая, как обязательный компонент практические задания с использованием персонального компьютера.

Распределение результатов освоения учебного материала в ходе выполнения лабораторных работ/заданий на практических занятиях происходит в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Распределение результатов освоения учебного материала

Раздел, тема	Контрольно-оценочные мероприятия	Кол-во часов	результаты		Поэтапно формируемые элементы общих и профессиональных компетенций
			Усвоенные знания	Освоенные умения	
Тема 3.1. Физическая среда передачи данных	<b>Лабораторная работа №1</b> Изучение диагностической аппаратуры	2	Устройство, принцип работы, технические характеристики диагностической аппаратуры	Умение выполнять измерения с помощью диагностической аппаратуры	ПК 3.4, ОК1, ОК2, ОК4, ОК8, ОК9
Тема 3.3 Классификация линий связи	<b>Лабораторная работа №2</b> Восстановление амплитуды и формы сигнала в линиях связи	2	Назначение и функции репетиров. Принцип работы и технические характеристики триггера Шмитта	Умение выполнять измерения с помощью осциллографа и мультиметра. Умение применять генератор сигналов.	ПК 3.6, ОК1, ОК2, ОК4, ОК8, ОК9
Тема 3.2. Аналоговые и цифровые сигналы	<b>Лабораторная работа №3</b> Исследование модема	2	Назначение и технические характеристики модемов	Умение выполнять измерения с помощью осциллографа. Умение применять генератор сигналов	ПК 3.6, ОК1, ОК2, ОК4, ОК8, ОК9
Тема 3.4 Коаксиальный кабель и витая пара.	<b>Лабораторная работа №4</b> Исследование фильтра нижних частот.	2	Электрические схемы и технические характеристики электрических фильтров	Умение работать в виртуальной лаборатории Workbench	ПК 3.6, ОК1, ОК2, ОК4, ОК8, ОК9

Содержание лабораторных работ охватывает весь круг умений и компетенций, на формирование которых направлена учебная дисциплина.

### ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторная работа №1. Изучение диагностической аппаратуры

Лабораторная работа №2. Восстановление амплитуды и формы сигнала в линиях связи

Лабораторная работа №3 Исследование модема

Лабораторная работа №4. Исследование фильтра нижних частот.

## КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

При оценке освоенных умений при выполнении лабораторных работ применяется пятибалльная шкала оценивания

Оценивание практических занятий/лабораторных работ производится в соответствии со следующими нормативными актами:

- Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся;
- Положение о планировании, организации и проведении лабораторных работ и практических занятий.

## Лабораторная работа №1

**Тема:** Изучение диагностической аппаратуры

**Цель:** Изучить технические характеристики измерительных приборов применяемого для ремонта электронного оборудования

Научиться: выполнять измерения с помощью радиоизмерительных приборов

**Перечень необходимых средств обучения:**

генератор синусоидальных сигналов, мультиметр, осциллограф.

**Краткие теоретические сведения**

### 1. Работа с мультиметром

Мультиметр (от слов *multy* много *metr* измерять) - многофункциональный и многопредельный измерительный прибор. В отличие от приборов, предназначенных для измерения какой либо одной величины, мультиметр предоставляет возможность измерения различных величин: постоянные электрическое напряжение и сила тока, сопротивление, переменный ток и напряжение, проверку диодов и транзисторов, измерение электрической емкости конденсаторов, температуры и другое.

Мультиметры используемые в лабораторном практикуме- это малогабаритные цифровые многопредельные приборы. Общий вид мультиметра приведен на рис 1

Прибор включается в электрическую цепь с помощью двух проводников. Один проводник включаемый в гнездо 1 СОМ («общий») используется при всех видах измерений. Включение второго провода определяется выбранной функцией.

Для измерения напряжения, сопротивления и небольших по величине токов провод подключается к клемме 2.

Для измерения постоянного тока до 10 Ампер подключается к клемме 3

Выбор измеряемой величины и пределов измерения выполняется переключателем 4

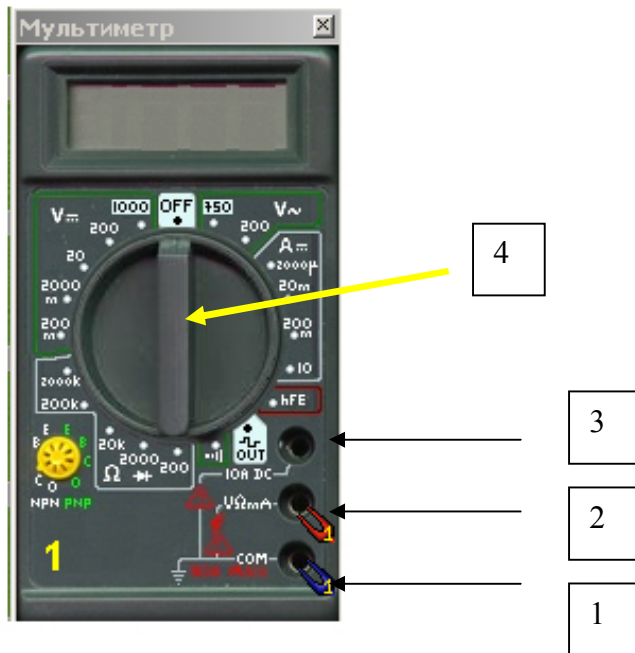


Рис 1 Общий вид мультиметра

Положение переключателя для выполнения различных измерений приведены на рис 2 – рис 7



Измерение  
постоянного  
напряжения



Измерение  
постоянного  
тока



Измерение  
переменного  
напряжения



Измерение электрического сопротивления



Измерение сопротивления р-п перехода



Режим «прозвонки» проводников

### 1. Работа с осциллографом

Осциллограф-это прибор, который позволяет наблюдать на экране форму электрических сигналов ( то есть зависимость напряжения от времени) и измерять их параметры.



Рис 8 Общий вид осциллографа

Преимуществом осциллографа по сравнению с другими измерительными приборами являются наглядность восприятия информации и универсальность – можно измерять сразу несколько параметров сигнала. К недостаткам можно отнести небольшую точность (2-5%) и относительно большую трудоемкость измерений.

По назначению и принципу действия осциллографы разделяются на универсальные аналоговые, цифровые, запоминающие, стробоскопические,

и специальные. Наиболее часто используются **универсальные осциллографы**

### Устройство осциллографа

Главным узлом любого осциллографа является электронно-лучевая трубка – ЭЛТ, поэтому осциллограф и называется электроннолучевым. Схематически устройство ЭЛТ показано на **рис. 9**.

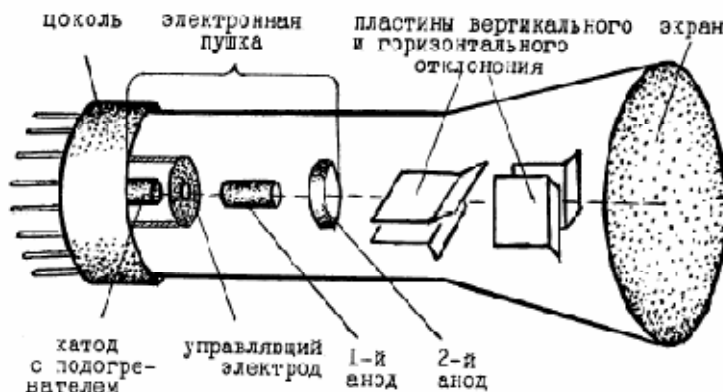


Рис. 9 Устройство электронно-лучевой трубки

### Регулировка яркости и фокусировки

Изменяя величину потенциала на управляющем электроде можно регулировать число электронов в пучке, а значит, **яркость** свечения пятна на экране (ручка "яркость", "☀").

Фокусировка луча осуществляется анодами. Процесс подобен фокусировке световых лучей.

Регулируя напряжение на 1-м аноде, можно изменять электростатические поля (фокусное расстояние линзы) и фокусировать электронный луч (ручка "фокус").

Лицевая панель осциллографа приведена на рис 10



Принцип образования осциллограммы



Положение светового пятна на экране зависит от пары напряжений, приложенных к горизонтально – (X) и вертикально – (Y) отклоняющим пластинам.

Важным свойством осциллографа является линейность между напряжением, приложенным к паре отклоняющих пластин, и линейным отклонением электронного луча на экране электронно-лучевой трубки.

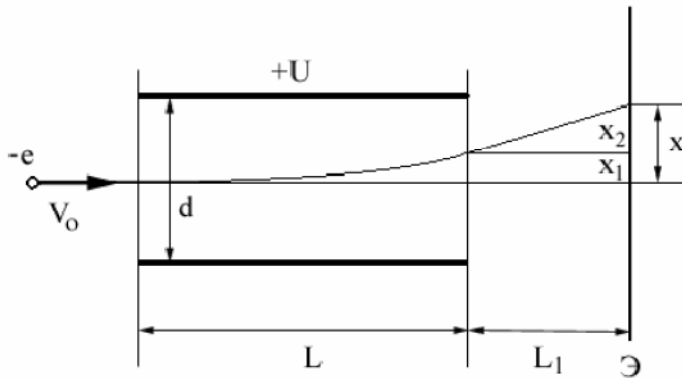


Рис 11 Смещение электронного луча под действием Приложенного напряжения

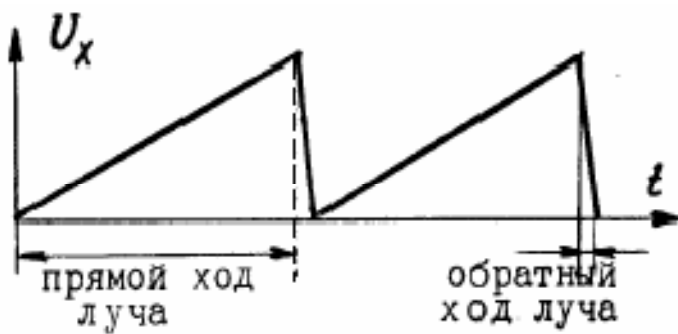


Рис 12 Напряжение развертки

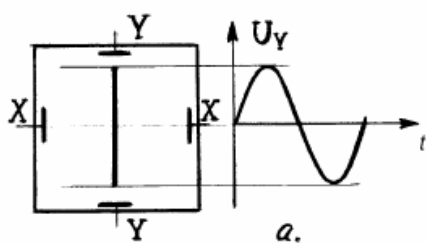
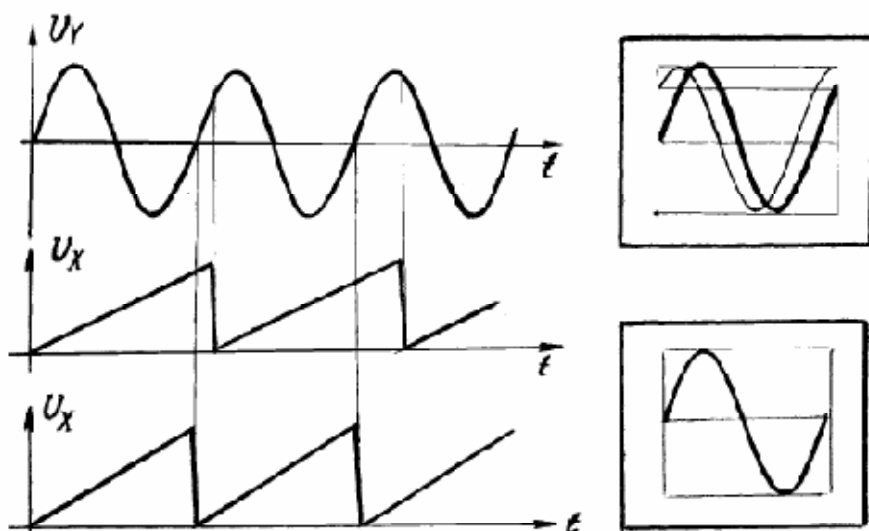


Рис 13 Получение осциллограммы



- а). Образование "бегущей синусоиды": частота сигнала  $U_Y$  отлична от частоты повторения пилообразного напряжения.  
 б). Неподвижная картина: частоты сигналов  $U_Y$  и  $U_X$  равны.

Рис 14 Образование бегущей синусоиды

**БЛОК СИНХРОНИЗАЦИИ** выполняет автоматическую подстройку периода развертки под исследуемый сигнал без изменения масштаба. Этот процесс – изменение частоты повторения пилообразного напряжения до значения, равного или кратного частоте сигнала  $U_Y$ , называется синхронизацией.

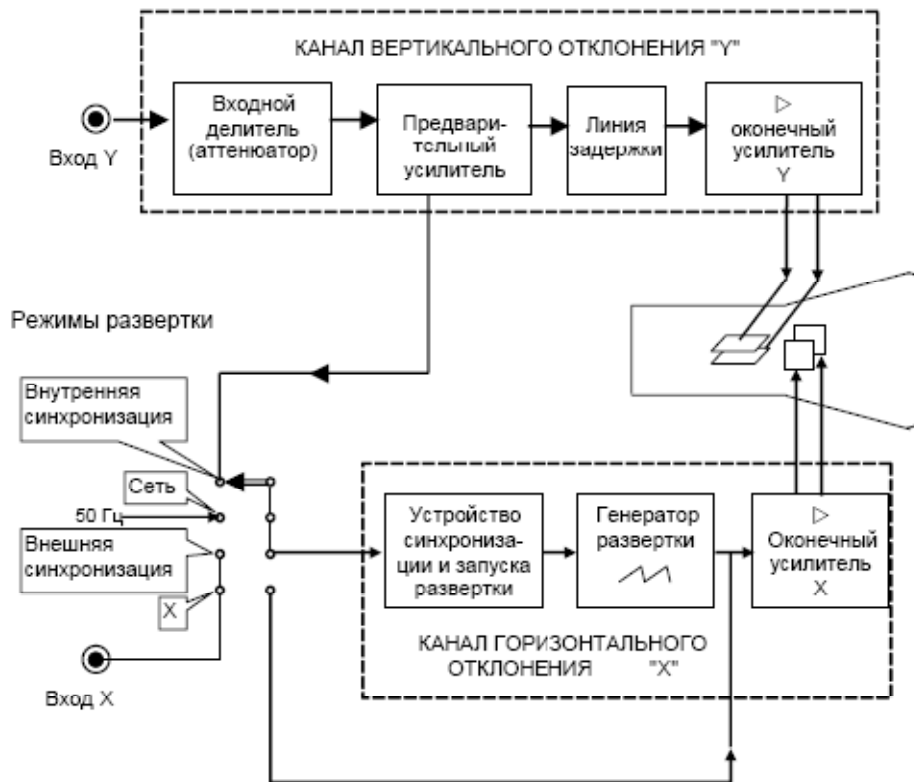
В зависимости от того, как сигнал попадает в блок синхронизации, различают три вида синхронизации: внутреннюю внешнюю и от сети.

При **внутренней синхронизации** исследуемый сигнал поступает на вход "Y" и уже внутри осциллографа разделяется и идет как на вертикально отклоняющие пластины, так и в блок синхронизации. Таким образом, исследуемый сигнал сам управляет разверткой осциллографа.

При **внешней синхронизации** сигнал с входа "Y" идет только на пластины вертикального отклонения, а в блок синхронизации сигнал пойдет с входа "X" – его надо специально подать. Использовать внешнюю синхронизацию целесообразно в случае, если исследуемый сигнал недостаточен по амплитуде или непригоден по форме для синхронизации (например, содержит шумы).

#### **Канал вертикального отклонения**

– усиливает или ослабляет сигнал до значения, удобного для изучения (ручки управления: "В/дел" или "мВ/дел", где деление – это большая клетка на шкале экрана трубки). Линия задержки задерживает сигнал на некоторое время, необходимое для запуска генератора горизонтальной развертки схемой синхронизации – это позволяет наблюдать начальный участок сигнала



### **Канал горизонтального отклонения**

– обеспечивает формирование напряжения развертки для управления перемещением луча по горизонтали.

**Генератор развертки** – основной узел канала X. Он формирует пилообразное напряжение. Генератор может работать в автоколебательном или ждущем режиме.

**В автоколебательном режиме** генератор непрерывно вырабатывает пилообразное напряжение. Этот режим используется для наблюдения гармонических, а также периодических импульсных сигналов с небольшой скважностью (т.е. когда импульс занимает значительную часть периода).

**В ждущем режиме** генератор вырабатывает однократную "пилу" только когда приходит сигнал запуска (сигнал синхронизации). Запуск следующей осуществляется следующим импульсом синхронизации, но *только после того, как закончился ранее начатый ход развертки*. Этот режим оптимален для наблюдения непериодических сигналов или сигналов с очень большим периодом.

При исследовании электрических сигналов полученную осциллограмму (рис 16) обрабатывают следующим образом:

Амплитуда сигнала = N клеток по вертикали × цена деления по вертикали

Период сигнала = M клеток по горизонтали × цена деления по горизонтали

$$A \text{ (амплитуда)} = 3 \text{ клетки} \times 2 \text{ Вольт /деление} = 6 \text{ Вольт}$$

$$T \text{ (период)} = 2,9 \text{ клетки} \times 1 \text{ ms / деление} = 2,9 \text{ миллисекунды}$$

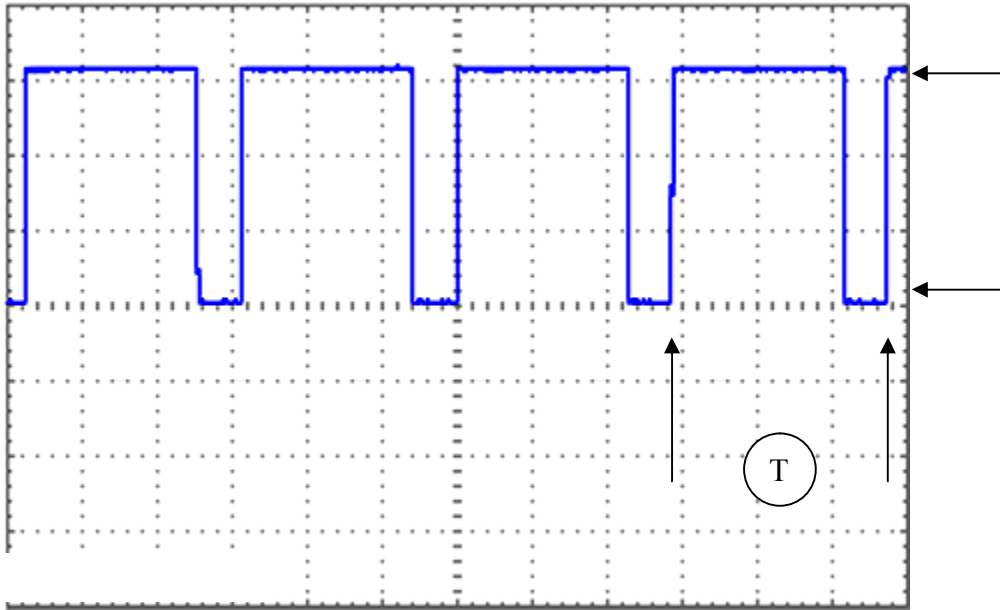


Рис 16 Осциллограмма сигнала

**Задания:**

1. Ознакомьтесь с техническими характеристиками предложенного мультиметра. Зафиксируйте в отчете физические величины измеряемые мультиметром и пределы измерения. Выполните измерение постоянного напряжения с помощью мультиметра.
2. Ознакомьтесь с техническими характеристиками осциллографа. Выполните измерение амплитуды и периода исследуемого сигнала
3. Ознакомьтесь с генератором сигналов. Как установить на выходе сигнал нужной частоты, формы и амплитуды?
4. Подготовьте отчет о проделанной работе

**Контрольные вопросы**

1. Как с помощью мультиметра измерить постоянное напряжение? Ток? Сопротивление?
2. Как с помощью мультиметра измерить переменное напряжение ?
3. Объясните, как устроен осциллограф? Что такое синхронизация?
4. Что такое развертка? Ждущая развертка?

## Лабораторная работа №2

### Тема: Восстановление амплитуды и формы сигнала. Исследование триггера Шмитта

**Цель:** Исследование технических характеристик триггера Шмитта. Ознакомление с принципом работы и применением триггера Шмитта.

#### Перечень необходимых средств обучения:

Стенд, электронная плата с исследуемым триггером, осциллограф, генератор сигналов

#### Краткие теоретические сведения

Триггер Шмитта представляет собой импульсное устройство с двумя устойчивыми состояниями. В одном состоянии на выходе триггера логическая «1», то есть высокий уровень напряжения. В другом состоянии на выходе логический «0», то-есть напряжение близкое к 0 Вольт.

Особенность триггера в том, что он реагирует (меняет состояние) при определенном значении напряжения входного сигнала. Зависимость между входными и выходными напряжениями триггера приведена на рис 1

Значения входных сигналов для перехода от высокого напряжения на выходе к низкому и от низкого к высокому различны ( $U_{вх1} (\epsilon_1) > U_{вх2} (\epsilon_0)$ ) – рис. 1). Разность между этими напряжениями называют напряжением гистерезиса. Напряжения, при которых триггер Шмитта меняет состояние, часто называют пороговыми.

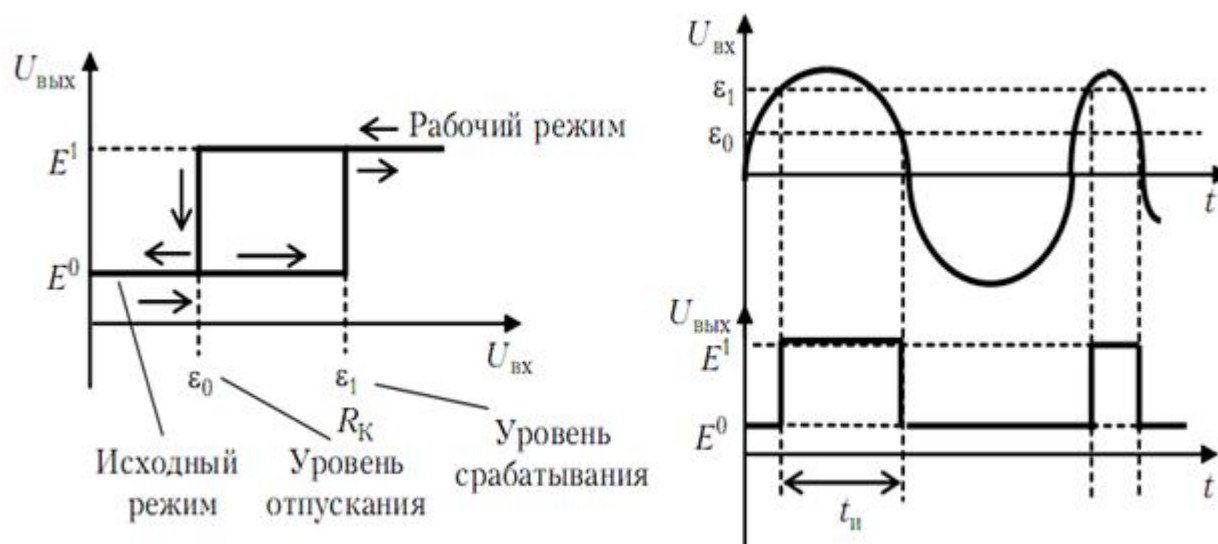


Рис 1 Зависимость между входными и выходными напряжениями триггера Шмитта

Триггер Шмитта может быть реализован:

- ✓ на дискретных элементах- транзисторах
- ✓ на операционном усилителе
- ✓ в виде отдельной микросхемы

Электрические схемы и способы реализации приведены на рис 2

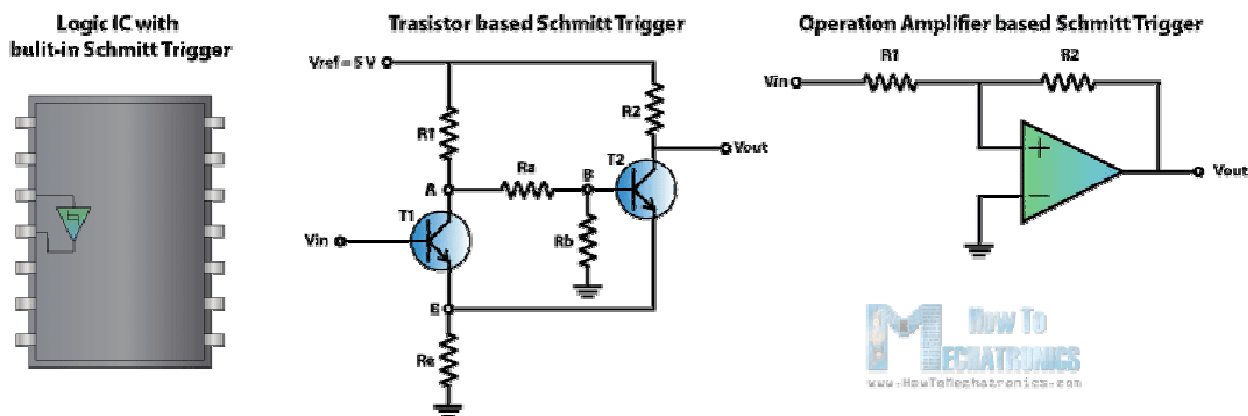


Рис 2 Способы реализации триггера Шмитта

На электрических схемах триггер Шмитта обозначается следующим рисунком

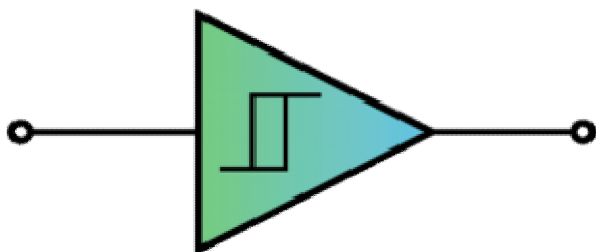


Рис 3 Обозначение триггера Шмитта в электрических схемах  
Символ в центре значка обозначает петлю гистерезиса.

Триггеры Шмитта применяются для формирования прямоугольных импульсов из сигналов с меняющейся амплитудой, когда входное напряжение превышает  $U_{вх1}$ , – вплоть до момента, пока оно не станет меньше  $U_{вх2}$ . Отметим, что при этом фронты импульсов становятся круче и удовлетворяются требования к фронтам интегральных логических микросхем.. Этим свойством часто пользуются для формирования прямоугольных импульсов из импульсов с пологими фронтами.

В вычислительной технике триггер Шмитта применяется:

- ✓ для преобразования аналоговых сигналов в прямоугольные импульсы напряжения (рис 4)
- ✓ для восстановления амплитуды и формы цифровых сигналов (рис 5)

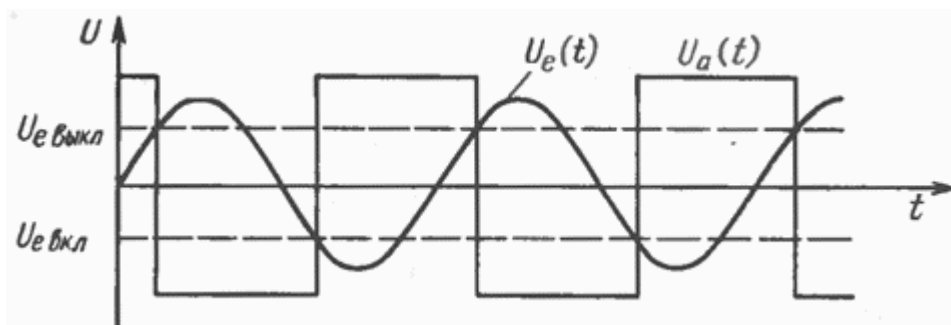


Рис 4 Преобразование синусоидального сигнала в прямоугольные импульсы

При передаче цифровых сигналов, имеющих прямоугольную форму импульсов, происходит искажение формы импульсов (они становятся колоколообразными) и

уменьшается амплитуда сигнала. Причина- проводники (витая пара) обладают электрическим сопротивлением, индуктивностью, емкостью.

Кроме того, внешние электромагнитные поля, обусловленные включением и выключением оборудования, грозовые разряды и т.д. вызывают появление в проводниках высокочастотных помех.

Такой искаженный сигнал будет принят с ошибками.

На рис 5 Б приведен способ восстановления сигнала с использованием триггера Шмитта. Очевидно, что для надежной работы устройства необходимы разные значения уровня срабатывания и отпускания. В противном случае, под действием помех, произойдет ложное срабатывание триггера (рис 5А).

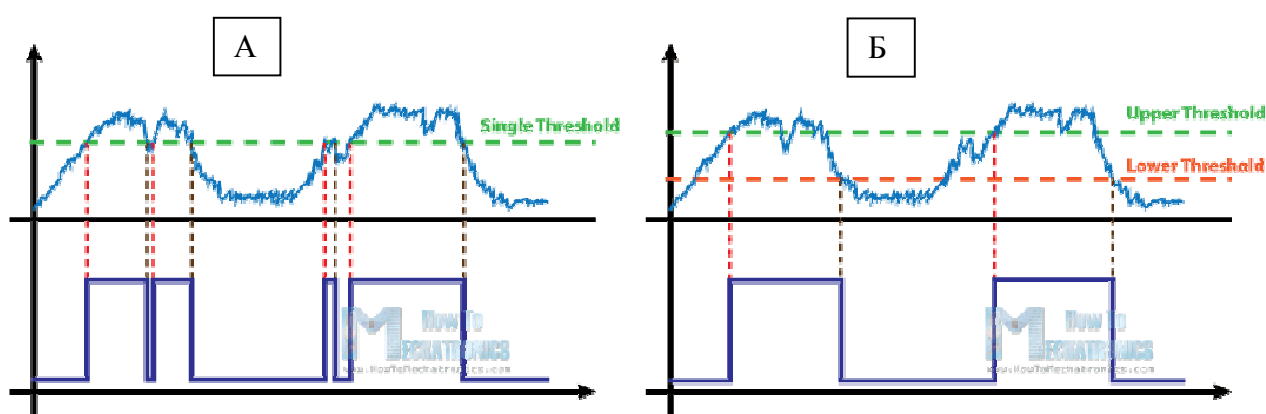


Рис 5 Восстановление амплитуды и формы цифровых сигналов

В данной лабораторной работе необходимо экспериментально определить напряжение срабатывания и отпускания триггера Шмитта и исследовать процесс восстановления амплитуды и формы сигнала.

#### Задания:

1. Подключите приборы к стенду в соответствии с документацией.
2. Включите питание стенда.
3. Плавно изменяя напряжение на входе триггера Шмитта, зафиксируйте напряжение срабатывания триггера при **нарастании** напряжения ( $U_1$ ). Момент срабатывания определяется **включением** светодиода на выходе триггера.
4. Зафиксируйте напряжение срабатывания триггера при **спаде** напряжения на входе ( $U_2$ ). Момент срабатывания определяется **выключением** светодиода на выходе триггера.
5. Рассчитайте гистерезис ( $U_1 - U_2$ )
6. Подключите к входу триггера Шмитта генератор синусоидальных сигналов
7. Включите генератор. Установите режим работы, указанный в документации
8. Включите осциллограф. Получите и зарисуйте осциллограммы входного и выходного сигнала. Объясните полученные результаты.
9. Оформите отчет по лабораторной работе

## Лабораторная работа №3

**Тема:** Исследование модема

**Цель:** Изучить: способы модуляции;

Изучить устройство телефонного модема

Научиться: работать с радиоизмерительными приборами

### Перечень необходимых средств обучения:

телефонный модем, стенд для лабораторной работы, осциллограф, генератор сигналов

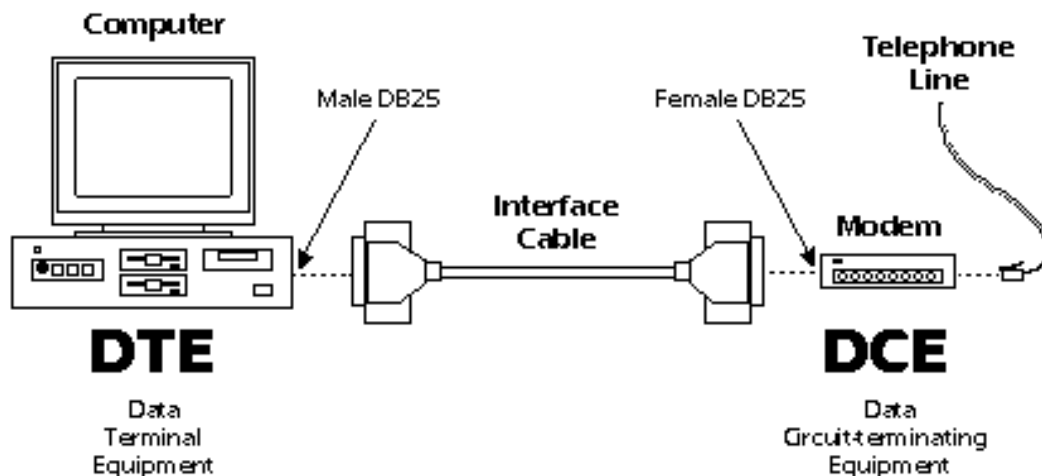
### Краткие теоретические сведения

Передача сигналов прямоугольной формы высокой частоты по обычным проводам невозможна – сигнал быстро затухает. Для связи устройств вычислительной техники между собой (компьютерные сети) необходимы специализированные кабели: коаксиальный кабель, витая пара и специализированные усилители.

Подобного рода сети отсутствовали и возникла необходимость применить уже используемую широко развитую телефонную сеть для работы вычислительной техники.

Телефонные линии были рассчитаны на передачу сигналов синусоидальной формы частотой до 3400 Гц. В компьютерах использовались сигналы прямоугольной формы частотой 4.7 МГц

Использование для связи компьютеров телефонных линий требует устройств преобразующих цифровую информацию в синусоидальный сигнал низкой частоты (до 3400 Гц) - телефонных модемов.



Модем-(модулятор-демодулятор) устройство передачи цифровой информации при помощи аналоговых сигналов путем их **модуляции**-изменения во времени одной или нескольких характеристик аналогового сигнала: частоты, амплитуды и фазы. При этом модулируемый аналоговый сигнал называется несущим (carrier).



Виды модуляции : амплитудная, частотная, фазовая. В некоторых случаях применяется комбинированная модуляция: изменяются сразу несколько параметров сигнала. В современных модемах применяется амплитудно-фазовая модуляция. Изменяется как амплитуда , так и фаза сигнала. Таким образом повышается объём и скорость передаваемой информации. Такую модуляцию называют **квадратурной амплитудной модуляцией** (QAM - Quadrature Amplitude Modulation).

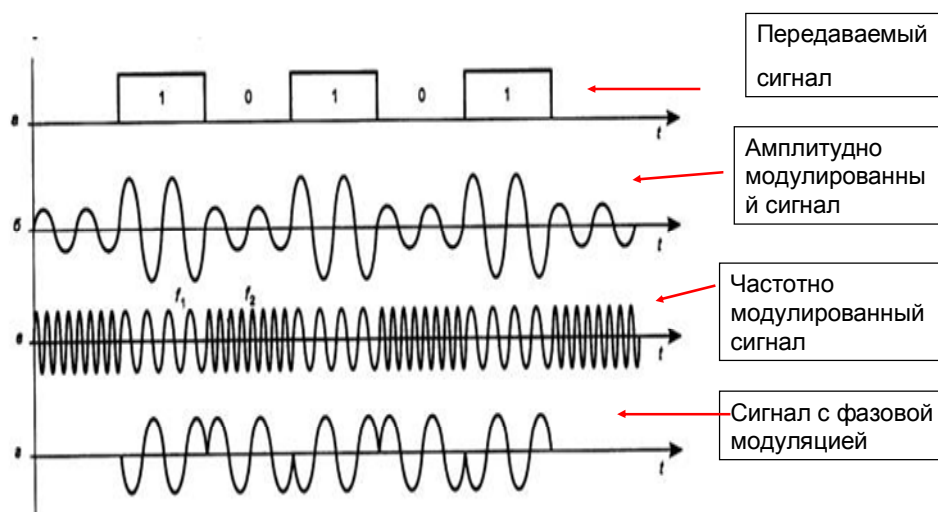


Рис 1 Виды модуляции сигнала

### Принцип работы модема

Исходный цифровой сигнал подается на модулятор, преобразующий его в серию изменений несущего аналогового сигнала.

По линии связи ( телефонной) аналоговый модулированный сигнал поступает на принимающий модем.

Принимающий модем с помощью демодулятора воссоздает исходный цифровой сигнал.

Для получения симметричной двунаправленной линии связи модулятор и демодулятор объединяются в одном устройстве - модеме)

# Структура модема



## Цифровой сигнальный процессор

- Обработывает поступающие сигналы в реальном масштабе времени.
- В модеме он обеспечивает работу алгоритмов кодировки и декодирования информации и другие логические действия

## Устройства сопряжения с каналом связи

- Обеспечивают преобразование сигнала из цифровой формы в аналоговую или цифровую форму, модуляцию и передачу по каналу с обнаружением и обработкой ошибок.

## Протоколы

- Протокол — это набор формализованных правил, процедур и спецификаций, определяющих формат и способ передачи данных.
- Протоколы, предназначенные для работы модемов по телефонным каналам, представлены в рекомендациях и обозначаются V.xx.

### Примеры протоколов

Название    Тип модуляции

V.21        FSK

Объект применения- Дуплексный модем на 300 бит/с. для телефонных сетей общего назначения, используется факсаппаратами и факсмодемами

## Работа модема при установлении исходящего соединения

- Проводится процедура обмена сигналами синхронизации и предложение возможных скоростей. Выбирается наибольшая возможная скорость.
- Информация о выбранной скорости передается в компьютер, и модем переходит в состояние "обмен данными"

## Недостатки аналоговых модемов

- Низкая скорость передачи
- При работе модема невозможно использовать телефон( линия занята)

### Модемы ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line - асимметричная цифровая абонентская линия).

Телефонные аппараты используют диапазон от 300 Гц до 3.4 кГц. Исследования показали, что возможна передача данных по телефонной сети в более широком спектре частот (до 1 МГц). Для этого необходимо выполнить доработку АТС.

#### Принцип работы ADSL

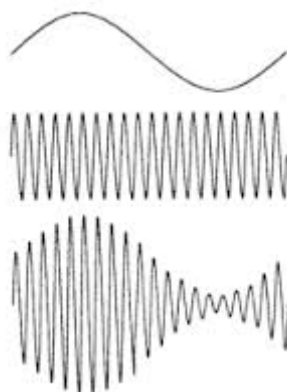
- К телефонной розетке подключается сплиттер (splitter) или частотный разделитель. Сплиттер разделяет сигналы по различным частотным диапазонам. При этом на телефонный аппарат направляются частоты до 4 кГц, а на модем - все остальное. Задача сплиттера состоит в выделении голосового канала, а также защите модема от помех, создаваемых телефонным оборудованием.

#### Разделение канала ADSL

- Высокочастотный канал делится на две неравных части. Одна из них (большая) расположена в верхней части диапазона и отводится на поток данных от сети к абоненту, а вторая - от абонента к сети. Из-за различия каналов входящих/исходящих данных эта технологии и названа асимметричной. Канал, используемый для ADSL называют *выделенным*.

#### Задания:

1. В данной работе исследуется амплитудная модуляция. Подключите к стенду генератор ГЗ-102. Задайте режим работы частота 20 000 Гц. Амплитуда 2 В. Этот сигнал является несущим. В качестве модулирующего сигнала используется сигнал с трансформатора 50 Гц. Включите стенд, генератор, осциллограф. Получите осциллограмму исследуемого сигнала



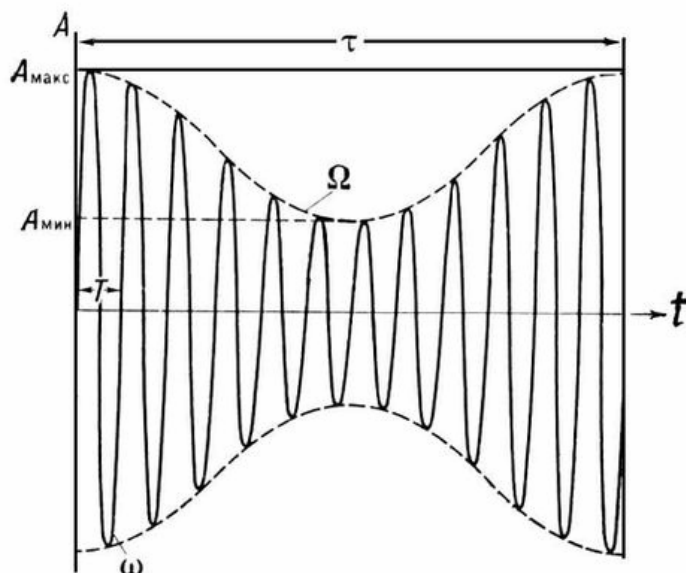
Информационный  
(модулирующий) сигнал

Несущий сигнал

Суммарный сигнал

2. Определите коэффициент модуляции  $M$  по следующей методике  
**Коэффициент амплитудной модуляции** (устар. глубина модуляции) — основная характеристика **амплитудной модуляции** — отношение разности между максимальным и минимальным значениями амплитуд модулированного сигнала к сумме этих значений, выраженное в процентах  $m = (A_{max} - A_{min}) / (A_{max} + A_{min})$ .

По полученной осциллограмме определите  $A_{max}$   $A_{min}$



3. Ознакомьтесь с комплектом документации к модему. В данной лабораторной работе используется модем US Robotics. Выполните разборку модема и ознакомьтесь с его устройством.

4. Подготовьте отчет о проделанной работе

### Контрольные вопросы

1. Для каких целей был предназначен телефонный модем?
2. Что такое амплитудная модуляция? Частотная? Фазовая?
3. Что такое протокол передачи данных?
4. Характеризуйте ADSL модем
5. Что такое коэффициент модуляции?
6. Что такое сплиттер? Назначение сплиттера?
7. Объясните устройство модема

## Лабораторная работа №4

**Тема:** Исследование фильтра нижних частот.

**Цель:** Изучить характеристики фильтров нижних частот

Научиться: определять характеристики фильтров с помощью программы Workbench

**Перечень необходимых средств обучения:**

компьютер, программа Workbench

### Краткие теоретические сведения

Любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных кратных частот и различных амплитуд. Эта теорема носит название теоремы Фурье. Математическое выражение этой теоремы приведено в формуле

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos \alpha t + A_2 \cos 2\alpha t + \dots + B_1 \sin \alpha t + B_2 \sin 2\alpha t + \dots$$

$A_0$  – постоянная составляющая входного сигнала

$A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t$  – собственная составляющая (имеет частоту и период равный частоте и периоду входного сигнала)

$A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t$  – n-ная гармоника функции

$A, B$  – коэффициенты

$\omega = 2\pi/T$  – собственная круговая частота, или период частоты входного периодического сигнала

Синусоидальные составляющие несинусоидальных колебаний называются гармониками.

С помощью электрических фильтров можно выделить из общего сигнала отдельные составляющие сигнала или определенную полосу частот.

### Электрические фильтры

Электрический фильтр (Э.Ф.)-устройство, предназначенное для частотного разделения электрических сигналов.

Из совокупности сигналов произвольных частот, поступающих на вход Э. ф., на его выходе остаются сигналы определенной частоты, Рис 1.

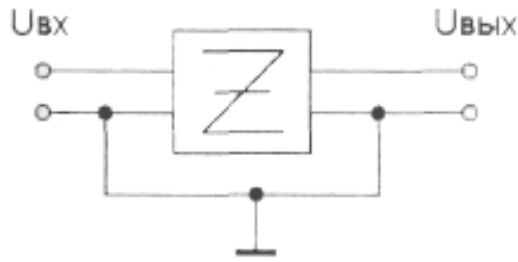


Рис 1 Принцип работы электрического фильтра.

- Полосу частот, в пределах которой колебания пропускаются фильтром, называют *полосой прозрачности* или *полосой пропускания фильтра*.
- Полосу частот, в пределах которой колебания не пропускаются фильтром, называют *полосой запираания* или *полосой затухания фильтра*.
- Частоту, лежащую на границе полос прозрачности и запираания называют *граничной частотой среза*

Название фильтра определяется характером его полосы прозрачности.

1. Фильтры нижних частот, пропускающие токи с частотами от 0 до  $f_c$ .
2. Фильтры верхних частот, пропускающие токи с частотами от  $f_c$  до  $\infty$

### Характеристики фильтров

К- коэффициент пропускания.

$$K = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

Затухание  $\beta$  определяет степень уменьшения амплитуды входного напряжения  $U_{\text{вх}}$  к выходному  $U_{\text{вых}}$ .

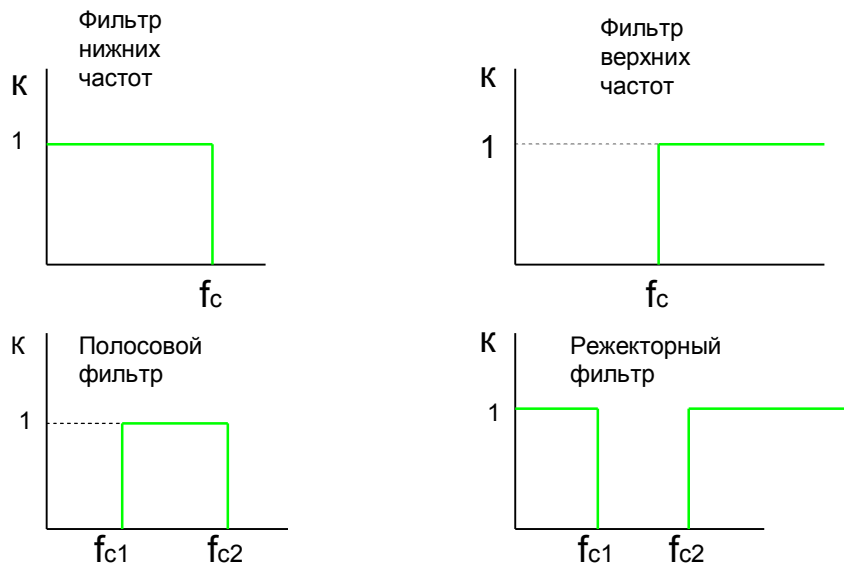
$$\beta = 20 \text{ Lg}(U_{\text{вх}} / U_{\text{вых}})$$

*Коэффициент затухания измеряется в децибеллах*

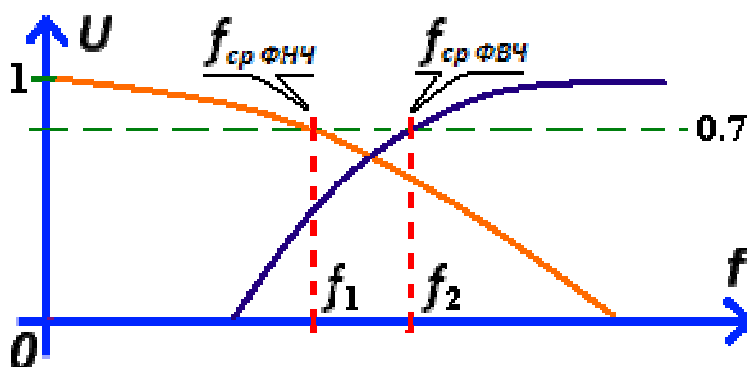
Частотной характеристикой фильтра называют зависимость затухания (или пропускания) от частоты

- Качество фильтра считается тем выше, чем ярче выражены его фильтрующие свойства, т.е. чем сильнее возрастает затухание в полосе задерживания.

# Идеальные амплитудно-частотные характеристики фильтров



## Частота среза реальных фильтров



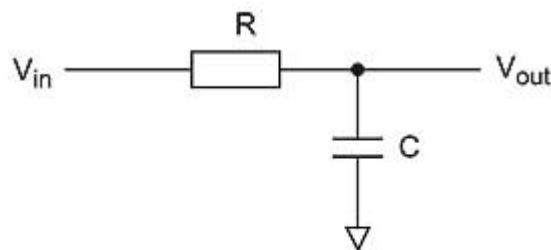
**Частота среза** – это частота, на которой происходит спад амплитуды выходного сигнала фильтра до значения 0,7 от входного сигнала.

- В схемах *пассивных аналоговых фильтров* используют реактивные элементы, такие как катушки индуктивности и конденсаторы.
- Сопротивление реактивных элементов зависит от частоты сигнала, поэтому, комбинируя такие элементы, можно добиться усиления или ослабления гармоник с нужными частотами.
- Реактивные сопротивления, используемых в фильтрах конденсаторов ( $X_C$ ) и катушек индуктивности ( $X_L$ ) связаны с частотой формулами:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \qquad X_L = \omega L = 2\pi f L$$

Для улучшения частотных характеристик в фильтры встраивают активные элементы- транзисторы и микросхемы, обладающие свойством усиления сигнала.

В данной лабораторной работе исследуются фильтры нижних частот. Эти фильтры пропускают сигналы низкой частоты и не пропускают сигналы высокой частоты. Простейший фильтр нижних частот Г –структуры приведен на рис 5



**Рисунок 5.** Схема пассивного фильтра нижних частот 1-го порядка

**Задания:**

1. Соберите в Workbench схему для исследования фильтра нижних частот (схема прилагается)
2. Рассчитайте емкость конденсатора фильтра НЧ Г- структуры для частоты среза 2.2 кГц R= 3 кОм
- 3.Выполните измерения выходного напряжения в диапазоне 100 Гц – 20 кГц
4. Рассчитайте коэффициент передачи на каждой частоте и заполните таблицу
5. Постройте график амплитудно-частотной характеристики фильтра
6. Определите по графику частоту среза фильтра
- 7.Сделайте выводы. Подготовьте отчет о проделанной работе

**Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте теорему Фурье
2. Что такое гармоники?
3. Что такое спектр сигнала?
4. Объясните, каким образом по одной линии можно передавать сигналы от нескольких источников одновременно
5. Что такое электрический фильтр? Для чего он предназначен?
6. Что такое полоса пропускания фильтра? Полоса запираания? Граничная частота среза?
7. Что такое фильтры нижних частот? Фильтры верхних частот?
8. Что такое коэффициент пропускания фильтра? Коэффициент затухания? В каких единицах они измеряются?