

**Федеральное агентство по образованию  
Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**С.Н. Охулков**

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Кафедра “Теоретическая и общая  
электротехника”**

**Для студентов электротехнических  
специальностей всех форм обучения**

# Автозаводская высшая школа управления и технологий

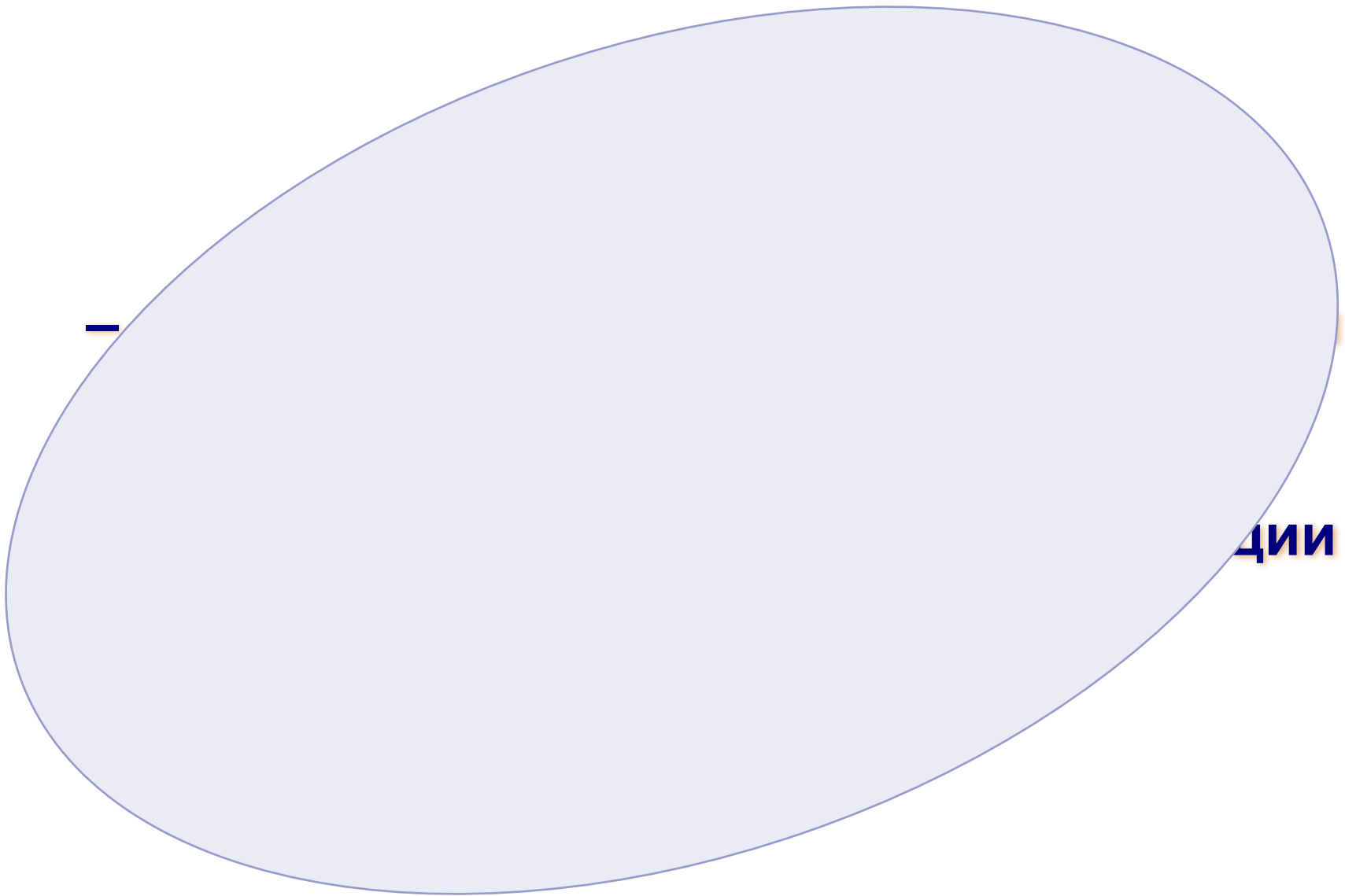
Очная и заочная форма обучения

- Автомобили и автомобильное хозяйство
- Автомобиле- и тракторостроение
- Технология машиностроения

г. Нижний Новгород, ул. Лескова, 68, т. (831) 256-02-10

# Тема 11

## **СИГНАЛЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**



-

ДИИ

# **Физический носитель информации**

**– это процесс (явление), одно или несколько свойств которого могут принимать технически различные значения.**

***В информатике и вычислительной технике, как правило, в качестве физического процесса используется электрическое напряжение в узле или ток в ветви.***

# **Форма представления информации**

**– это соглашение о вложении  
передаваемой информации  
в физический носитель информации.**

***Например, высокий уровень напряжения  
соответствует логической «1», а низкий  
уровень напряжения – логическому «0».***

В общем случае изменение параметров физического носителя информации в макромире непрерывно во времени и в пространстве.

Однако при построении технических устройств информационной техники можно условиться использовать для передачи информации либо всю совокупность значений параметра (аналоговая форма представления информации), либо только некоторые его значения (дискретная форма представления информации).

**В соответствии с этим сигналы можно разделить на следующие классы:**

- ***аналоговые сигналы, т.е. сигналы произвольные по величине и непрерывные по времени (см. рисунок);***
- ***сигналы произвольные по величине и дискретные по времени (см. рисунок);***
- ***сигналы квантованные по величине и непрерывные по времени (см. рисунок);***
- ***цифровые сигналы, т.е. сигналы квантованные по величине и дискретные по времени (см. рисунок).***

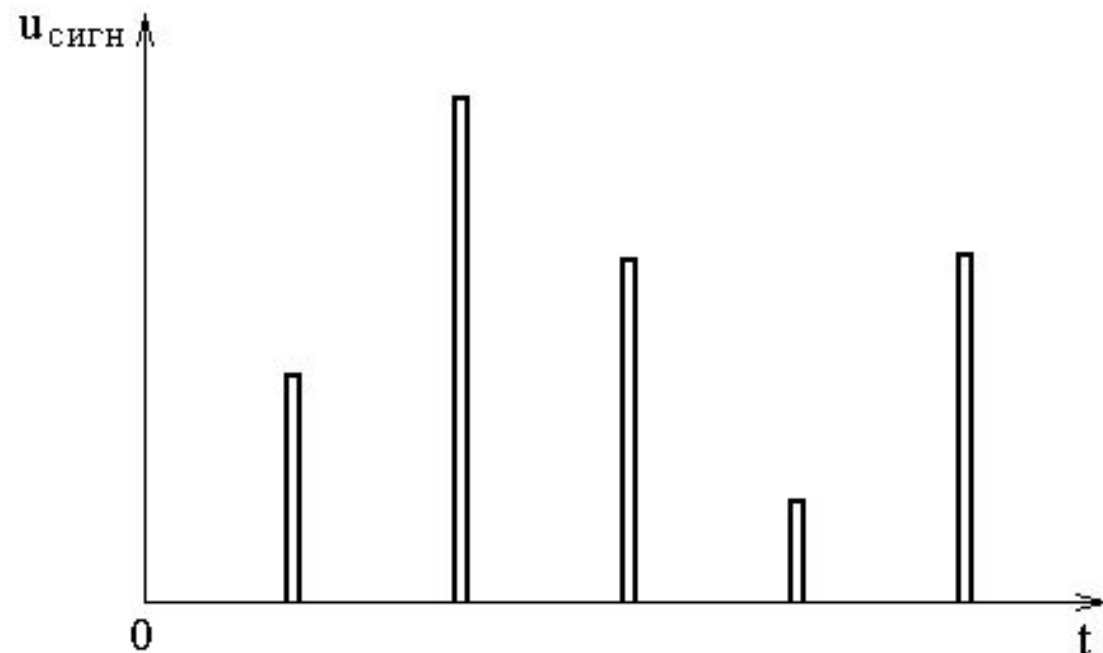
***Аналоговые сигналы, т.е. сигналы произвольные по величине и непрерывные по времени***



[назад](#)

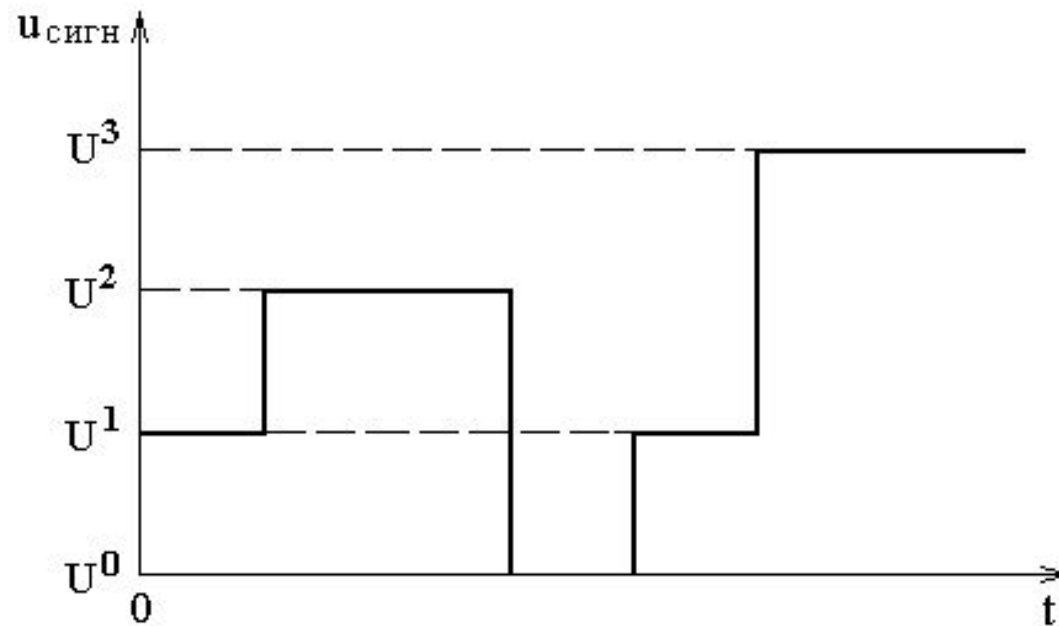


***Сигналы произвольные по величине и дискретные по времени***



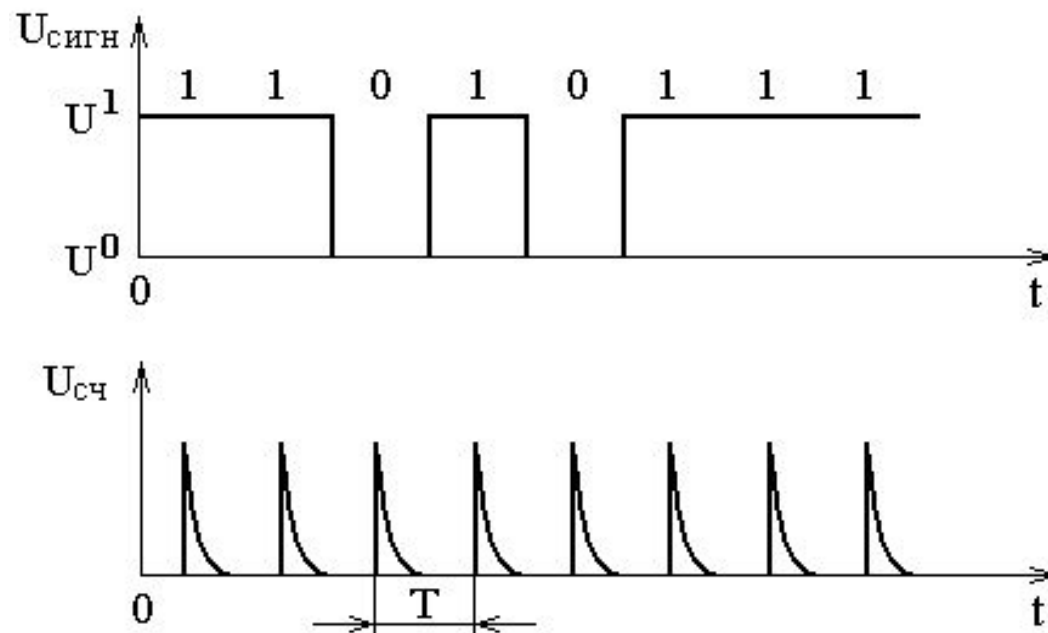
[назад](#)

## *Сигналы квантованные по величине и непрерывные по времени*



[назад](#)

**Цифровые сигналы, т.е. сигналы квантованные по величине и дискретные по времени**

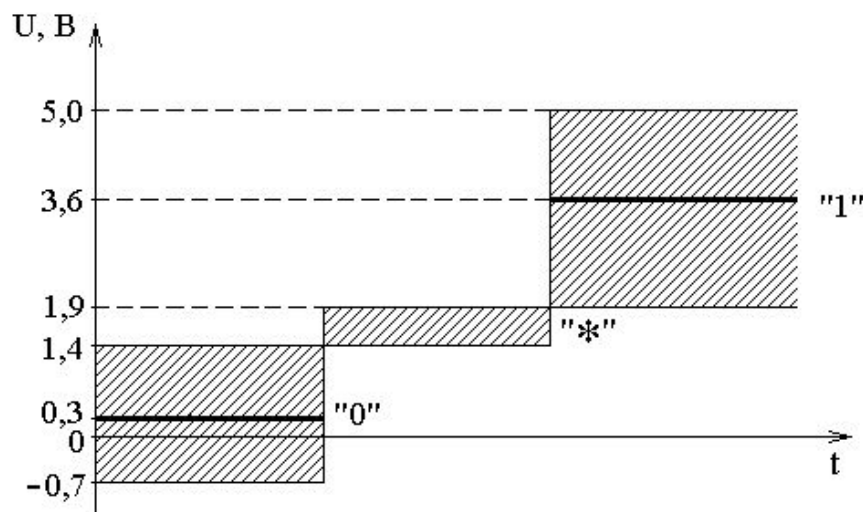


[назад](#)

**Основной недостаток аналогового сигнала –**  
**принципиальная незащищенность от**  
**воздействия помех. То есть, при обработке**  
**аналогового сигнала отношение сигнал/помеха**  
**(сигнал/шум) может только ухудшиться.**

В цифровых сигналах введены специальные зоны (области допустимых значений), значения сигналов в которых либо равнозначны (независимо от величины зоны), либо не могут существовать вообще.

**Например,** в транзисторно-транзисторной логике (ТТЛ) введены следующие допустимые области значений сигналов:



Номинальные значения сигналов для ТТЛ:  $U_{\text{НОМ}}^1 = 3,6 \text{ В}$ ,  $U_{\text{НОМ}}^0 = 0,3 \text{ В}$ ;

однако любое значение сигнала в интервале от 1,9 В до 5 В будет воспринято, как логическая "1", в интервале от -0,7 В до 1,4 В – как логический "0". Запрещенный интервал значений сигналов от 1,4 В до 1,9 В ("\*"). Если сигнал попадает в этот интервал, то он может быть воспринят и как логический "0", и как логическая "1", что приведет к сбою работы вычислительных устройств.

Другим достоинством цифрового сигнала является то, что каждый цикл обработки устремляет его значение к номинальному значению.

**Например**, на вход устройства поступил сигнал:  $U'_{\text{ВХ}} = 2,1 \text{ В}$

На выходе устройства сигнал принимает значение:  $U'_{\text{ВЫХ}} = 3,5 \text{ В}$

То есть, при обработке цифровых сигналов отношение сигнал/помеха (сигнал/шум) не ухудшается, а, как правило, улучшается.

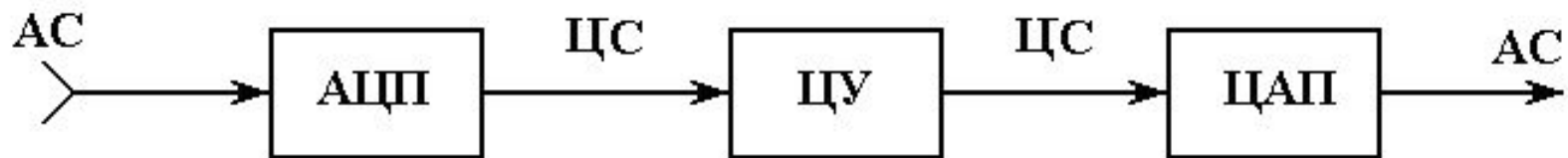
Таким образом,

***цифровой сигнал обладает значительно большей помехоустойчивостью, чем аналоговый.***

Поэтому в современных электронных устройствах аналоговые сигналы часто обрабатываются цифровыми методами.

Схема цифровой обработки  
аналогового сигнала

## ***Схема цифровой обработки аналогового сигнала***



*АС – аналоговый сигнал*

*ЦС – цифровой сигнал*

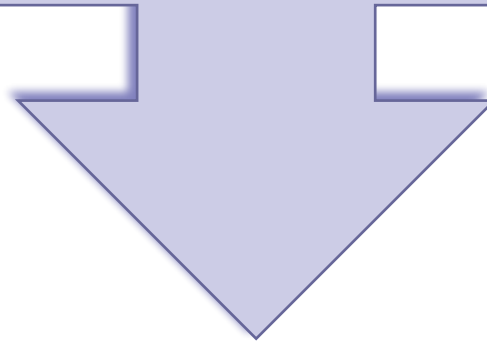
*АЦП – аналогово-цифровой преобразователь*

*ЦУ – цифровое устройство*

*ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь*

# Основные характеристики сигналов

- ▶ *Область допустимых значений или динамический диапазон*
- ▶ *Спектральный состав*





## ОБЛАСТЬ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЛИ ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН

Динамический диапазон определяется по формулам:

$$D = 10 \lg \frac{P_{c \max}}{P_{c \min}}, \text{ дБ}$$

$$D = 20 \lg \frac{U_{c \max}}{U_{c \min}}, \text{ дБ}$$

где  $P_{c \max}$  ( $U_{c \max}$ ) – максимальная мощность (напряжение) сигнала;

$P_{c \min}$  ( $U_{c \min}$ ) – минимальная мощность (напряжение) сигнала.

Например, для разборчивой передачи человеческой речи в системах сотовой связи  $D \geq 40$  дБ, для качественной передачи музыкальных программ  $D \geq 65$  дБ.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Любой сигнал можно представить в виде суммы ряда:

$$U(t) = \sum_{n=1}^{\infty} U_n \theta_n(t)$$

где  $\theta_n(t)$  – ортогональная функция времени;

$U_n$  – коэффициент при  $\theta_n$ .

Вышеуказанный ряд называется **обобщенным рядом Фурье**.

Совокупность коэффициентов  $U_n$ , называемая **спектром** сигнала  $U(t)$  в ортогональной системе  $\theta_n(t)$ , полностью определяет этот сигнал.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Наибольшее распространение получила ортогональная система основных тригонометрических функций – синусов и косинусов.

Это объясняется следующими причинами:

*во-первых, гармоническое колебание является единственной функцией времени, сохраняющей свою форму при прохождении через любую линейную цепь;*

*во-вторых, разложение сложного сигнала по синусам и косинусам позволяет использовать символический метод, разработанный для анализа передачи гармонических колебаний через линейные цепи (без решения интегро-дифференциальных уравнений).*

В ряде случаев используются другие ортогональные системы функций: полиномы Чебышева, Лагерра, Хаара и многие другие.

Для обработки цифровых сигналов большое распространение получили функции Уолша.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Тригонометрический ряд Фурье для периодического сигнала имеет следующий вид:

$$U(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos(2\pi n f_1 + \varphi_n)$$

- где  $U_0$  – постоянная составляющая сигнала (может отсутствовать);  
 $U_n$  – амплитуда  $n$ -ой гармоники;  
 $f_1$  – циклическая частота первой гармоники;  
 $\varphi_n$  – фазовый сдвиг  $n$ -ой гармоники.

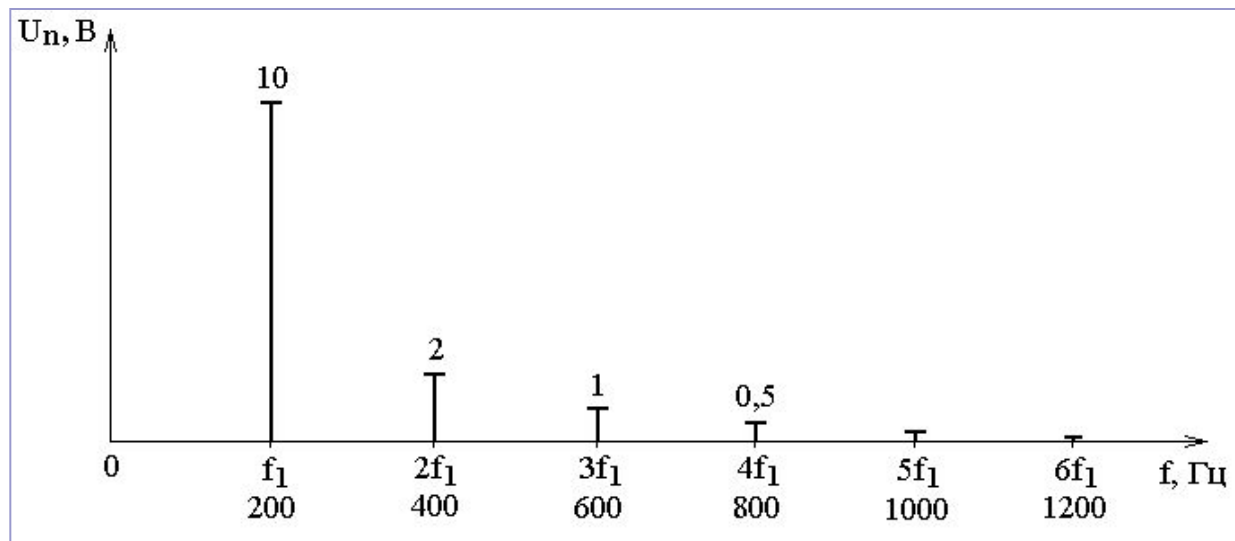
Наглядное представление о структуре спектра дают графические изображения, которые называются ***амплитудной и фазовой спектральными диаграммами.***

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Например, для звука “0”:

$$U(t) = 10 \cos 2\pi \cdot 200t + 2 \cos 2\pi \cdot 400t + 1 \cos 2\pi \cdot 600t + 0,5 \cos 2\pi \cdot 800t + \dots$$

Амплитудная спектральная диаграмма этого сигнала имеет следующий вид:

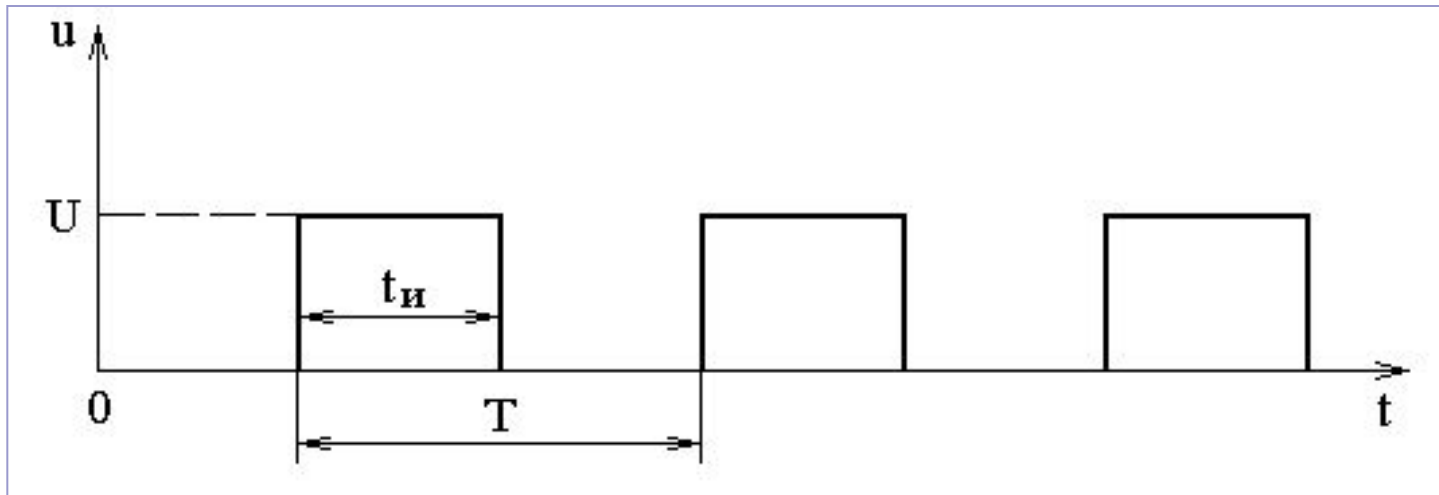


**На основании этого можно сделать вывод, что почти вся энергия сигнала содержится в полосе частот от 200 Гц до 800 Гц.**

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Человеческое ухо воспринимает сигналы, спектр которых лежит в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц.

Для анализа спектрального состава цифровых сигналов их можно представить в виде последовательности униполярных прямоугольных видеоимпульсов:



$U$  – амплитуда импульса;

$t_{и}$  – длительность импульса;

$T$  – период повторения.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

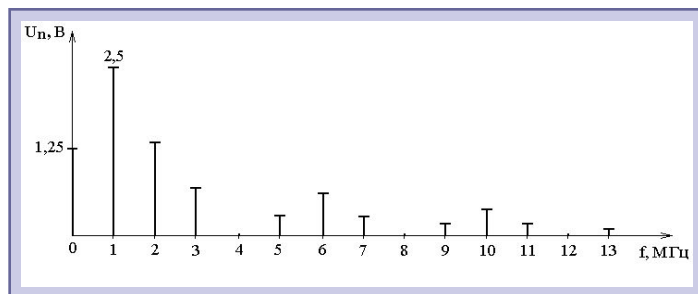
Тригонометрический ряд Фурье  
для этого сигнала:

$$u(t) = U \left( \frac{1}{q} + \frac{2}{q} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi/q)}{n\pi/q} \cos(n2\pi f_1 t) \right)$$

где  $q = T/t_{\text{и}}$  – скважность;  $f_1 = 1/T$  – частота первой гармоники.

**Например,**  $U = 5$  В;  $T = 1$  мкс;  $t_{\text{и}} = 0,25$  мкс;  $q = 1/0,25 = 4$ ;  $f_1 = 1/10^{-6} = 1$  МГц;  
 $U_0 = U/q = 5/4 = 1,25$  В;  $U_1 = \frac{2U}{q} \cdot \frac{\sin(\pi/q)}{\pi/q} = 2,25$  В и т.д.

**Амплитудная спектральная диаграмма этого сигнала имеет следующий вид:**

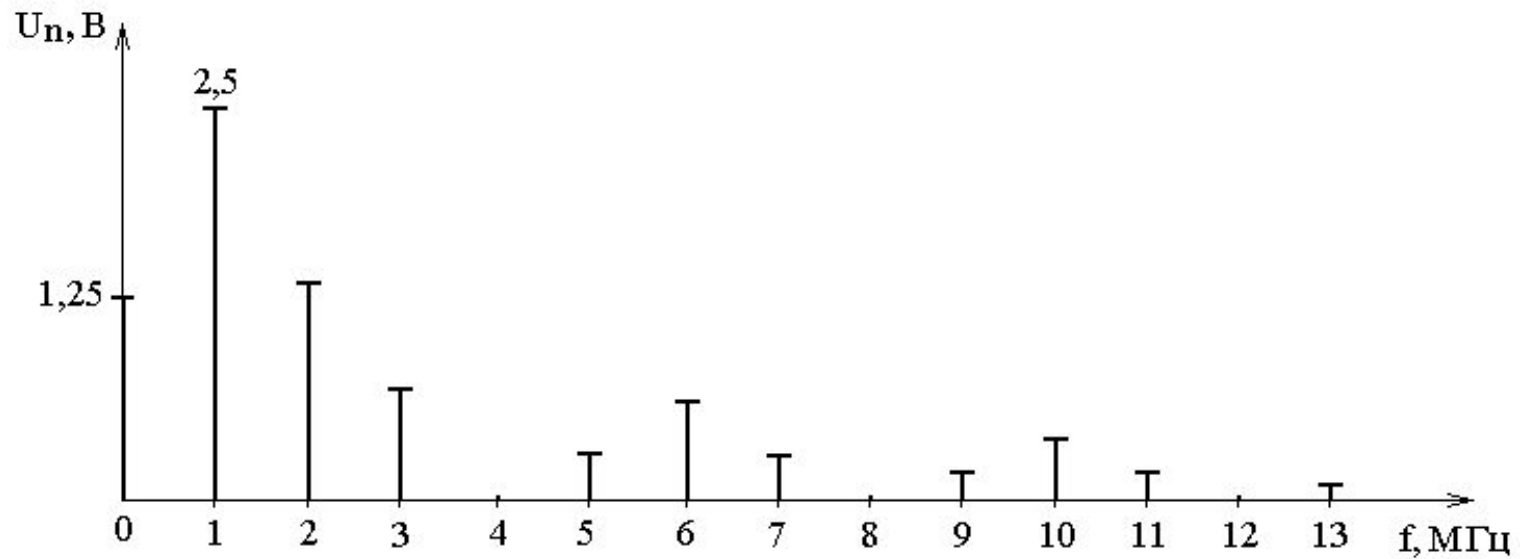


(увеличить рисунок)

Из формулы и рисунка видно, что амплитуды гармоник, номера которых кратны скважности, равны нулю. Часть спектра сигнала, заключенная между гармониками с нулевыми амплитудами называется «лепестком». Можно показать, что в первом лепестке (от 0 до 4 МГц) сосредоточено 90% энергии сигнала. Таким образом, зная спектр сигналов, можно определить требования к частотным характеристикам устройств для обработки этих сигналов.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

### Амплитудная спектральная диаграмма последовательности прямоугольных видеоимпульсов





# Рекомендуемая литература

---

- 1. Алтунин Б.Ю., Панкова Н.Г. Теоретические основы электротехники:** Комплекс учебно - методических материалов: Часть 1 / Б.Ю. Алтунин, Н.Г. Панкова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-130 с.
- 2. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.1/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-98 с.
- 3. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.2/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2008.-98 с
- 4. Касаткин, А.С. Электротехника** /А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
- 5. Справочное пособие по основам электротехники и электроники** /под. ред. А.В. Нетушила.-М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники.**-3-е изд., перераб. И доп.-М.: Радио и связь, 1990.-512 с.: ил.
- 7. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника:** учебник / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.

# Тема 11 Закончена

Благодарю за внимание