

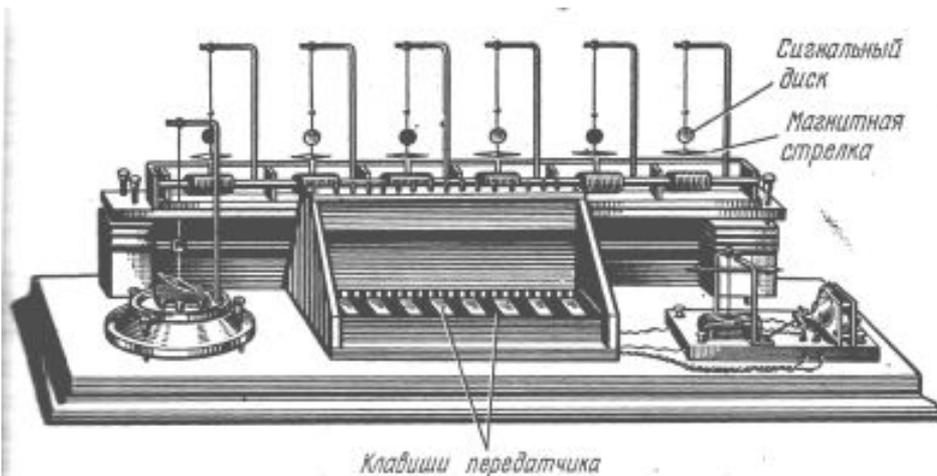
## Лекция 2

# **РАДИОСВЯЗЬ И РАДИОВЕЩАНИЕ**

# СВЯЗЬ ДО ИЗОБРЕТЕНИЯ РАДИО

- 1832 г. – П.Л.Шиллинг продемонстрировал первый в мире электрический телеграф
- 1840г. – Самуэль Ф.Б. Морзе и его партнеры получили американский патент на телеграфный аппарат и используемый код (код Морзе)
- 1866г. – Проложен трансатлантический кабель телеграфной связи между Европой и Америкой
- 1876 г. – Александр Белл подал заявку на изобретение телефона

# Телеграф Шиллинга - стрелочный

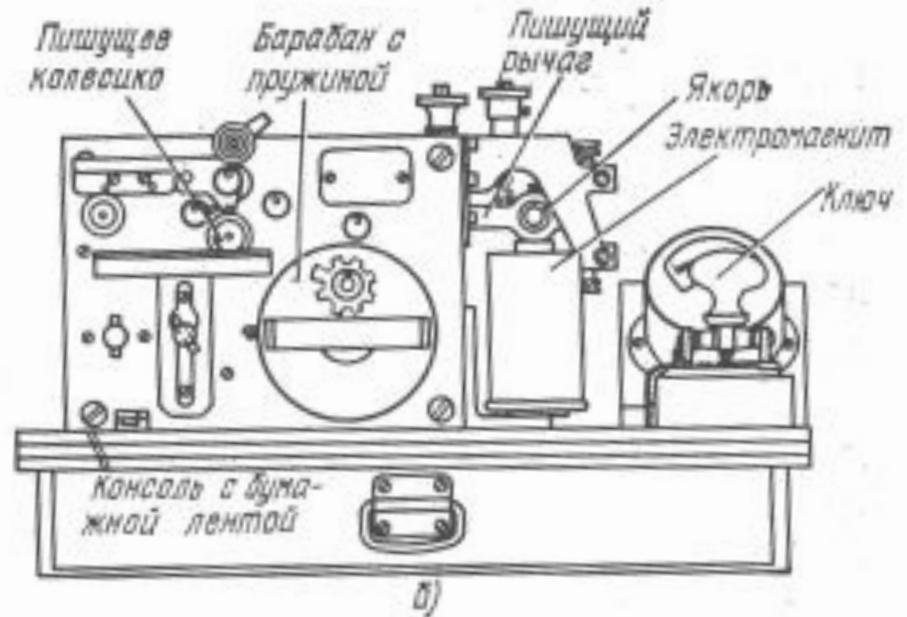
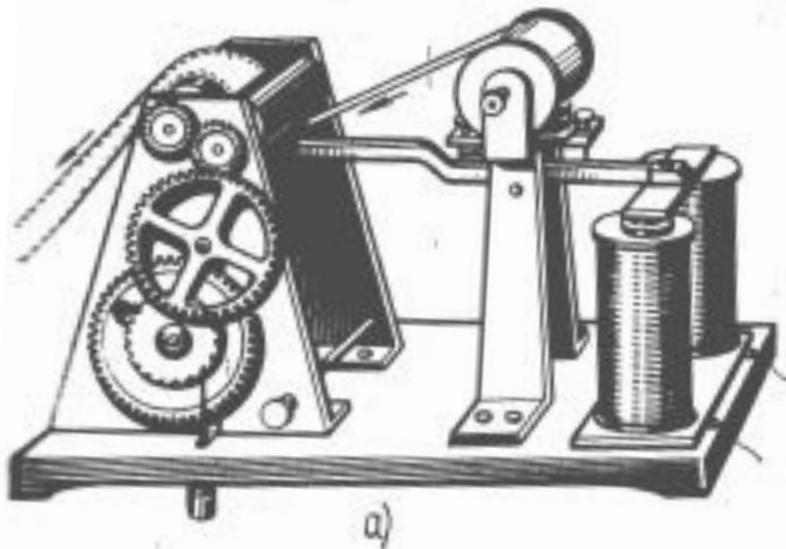


Первый электромагнитный телеграфный аппарат П. Л. Шиллинга

Буква или цифра	Цвет сигнального диска при нажмие клавиши						Буква или цифра	Цвет сигнального диска при нажмие клавиши						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
А	○						Ф	○		○				
Б	●						Х		○		○			
В		○					Ц		●		●			
Г		●					Ч			○		○		
Д			○				Ш			●		●		
Е			●				Щ				○		○	
Ж				○			Ы				●		●	
З				●			Ю		○	○				
И					○		Я		●	●				
К				●			1	○	○	○				
Л					○		2	●	●	●				
М					●		3		○	○	○			
Н	○	○					4		●	●	●			
О	●	●					5			○	○	○		
П			○	○			6			●	●	●		
Р			●	●			7				○	○	○	
С					○	○	8				●	●	●	
Т					●	●	9	○		○		○		
У	○	○					10	●		●		●		

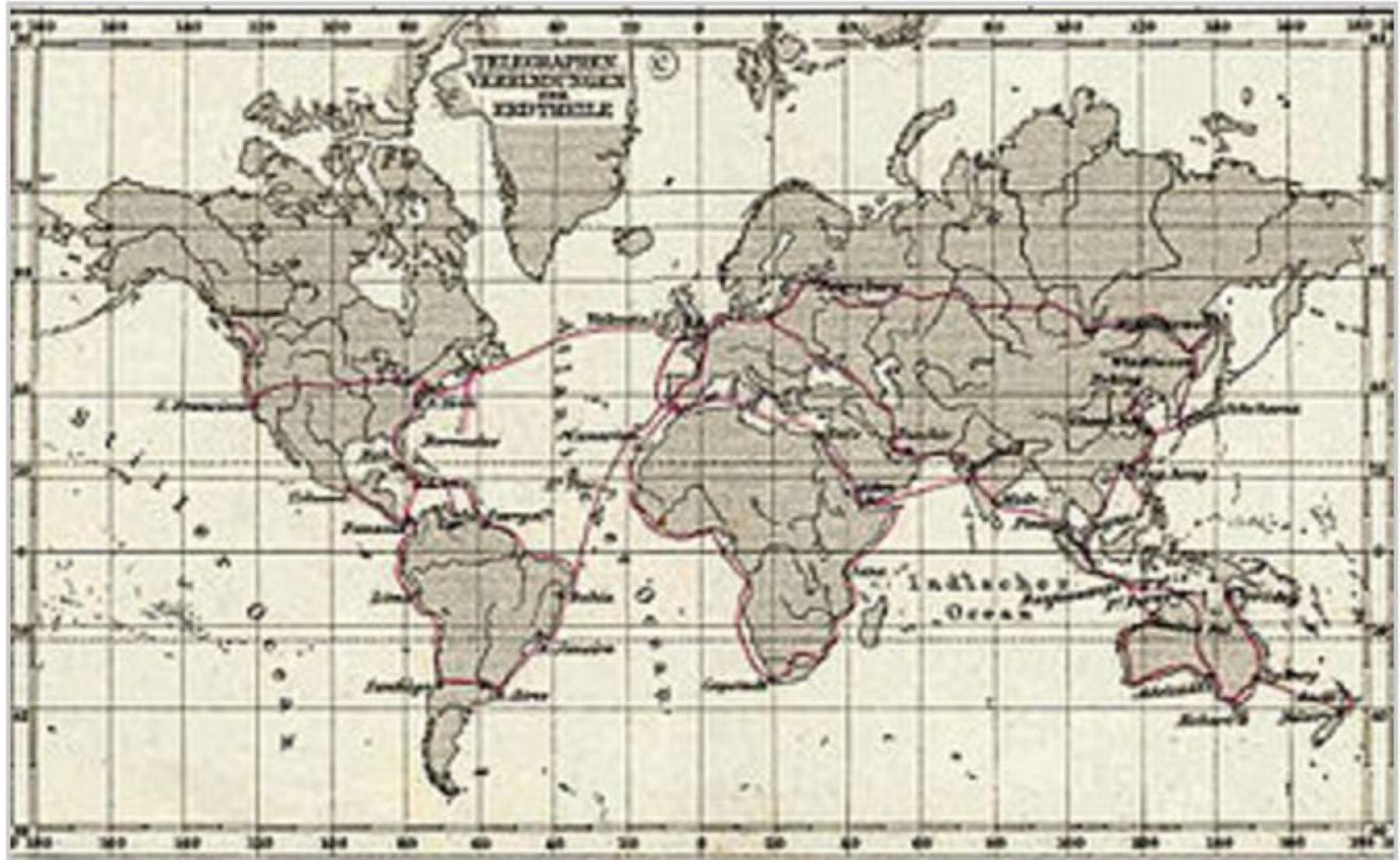
Телеграфный код П. Л. Шиллинга

# Телеграф Морзе - электромеханический



Пишущие телеграфные аппараты Морзе:  
а — образца 1844 г.; б — образца 1944 г.

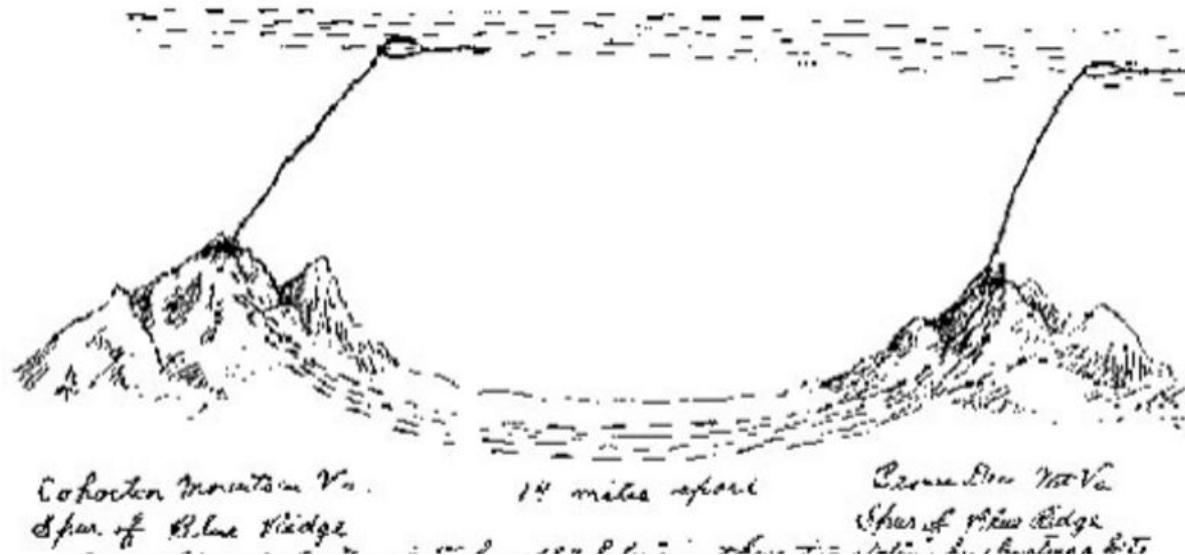
К концу XIX века существовала обширная сеть проводной связи во всем мире.



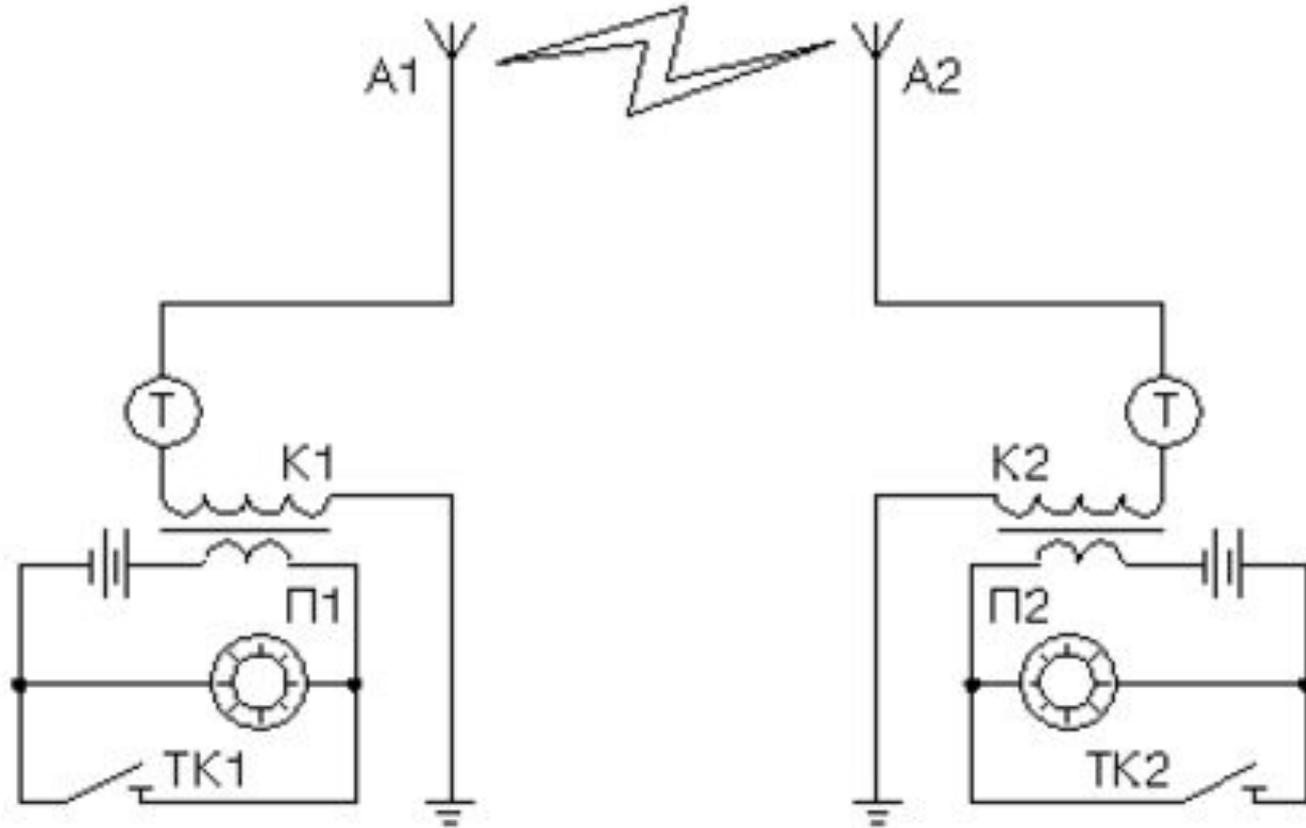
# Первые патенты беспроводной связи

1872 г. – Махлон Лумис получил первый в мире патент на беспроводный телеграф с использованием атмосферного электричества.

В 1869 г. он продемонстрировал конгрессменам атмосферную связь на расстоянии около 22 км и обратился с просьбой к конгрессу США о выделении 50 000 долларов для разработки трансатлантического беспроводного телеграфа.



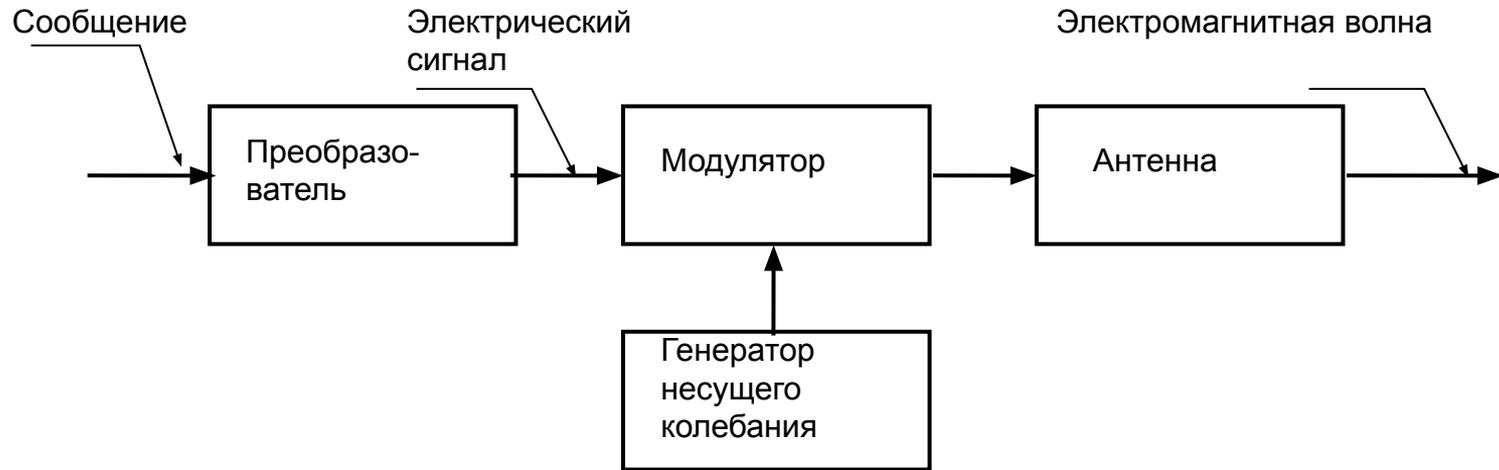
В 1885 г. - Томас Алва Эдисон получил патент США на беспроводный телеграф для связи с кораблями на море.



П1, П2 – вращающиеся многоконтактные прерыватели,  
Т – телефон,  
TK1, TK2 – телеграфные ключи

# БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ

Беспроводная связь реализуется единственным способом – наложением на электромагнитную волну информационного сообщения, то есть модуляцией



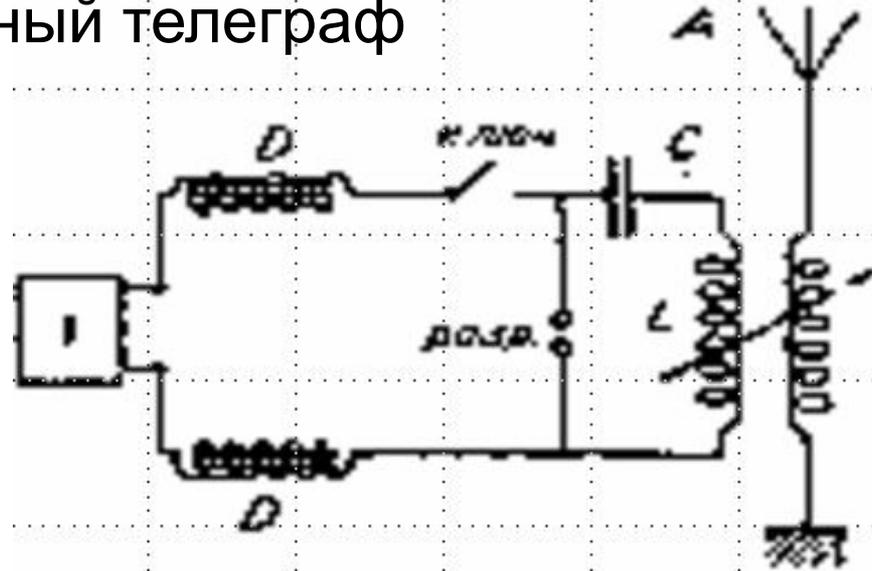
Этапы развития радиосвязи:

1. Искровая радиосвязь (беспроволочный телеграф) – с 1897 г. по 1935 г.
2. Аналоговая радиосвязь – с 1900 г
3. Цифровая радиосвязь – с 1948 г.

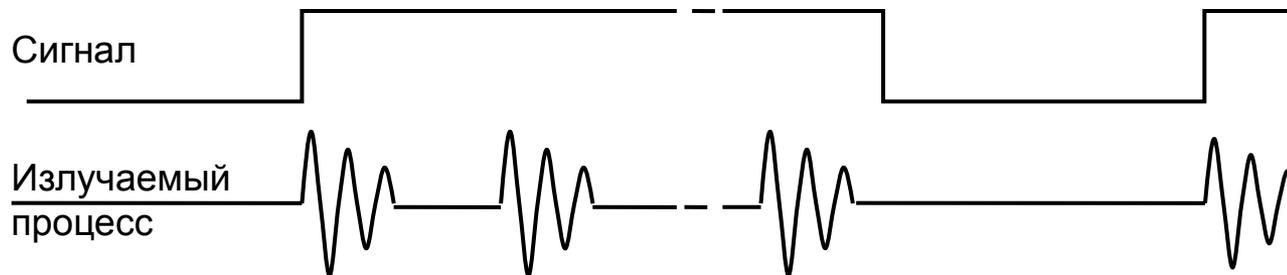
# ИСКРОВАЯ РАДИОСВЯЗЬ

С 1897 г. - беспроводный телеграф

Искровой передатчик:



Модуляция осуществлялась подачей питания на искровой передатчик на время передачи точки или тире азбуки Морзе.



**А.С.Попов** в 1896 г. установил беспроводную связь между кораблями на расстоянии 5 км, а в 1899 г – около 50 км между островом Гогланд и г. Котка

**Маркони** в 1897 г. реализовал связь на расстоянии 21 км, в 1901 г – 300 км

1900г. – Реджинальд Фессенден (США) первым в мире передал речь, включив угольный микрофон в антенную цепь искрового передатчика.

С 1903 г. стал использоваться термин радиотелеграф

# АНАЛОГОВАЯ РАДИОСВЯЗЬ

Аналоговая радиосвязь предполагает передачу непрерывного сообщения (например, речи) с использованием непрерывного излучения электромагнитных волн

## Передатчики непрерывного излучения

Дуговые: Дуддель (Англия, 1900),  
Паульсен (Дания, 1902)

Машинные: Фессенден (Германия, 1906),  
Александрсон (США, 1908)

Ламповые: Мейсснер (Германия, 1913),  
Раунд (Англия, 1914)

1909г. – Ли де Форест (США) передал музыку, используя дуговой передатчик

# Амплитудная модуляция

У истоков амплитудной модуляции стояли Р. Фессенден и Ли де Форест.

$$u(t) = [U + kU(t)] \sin(2\pi f_0 t),$$

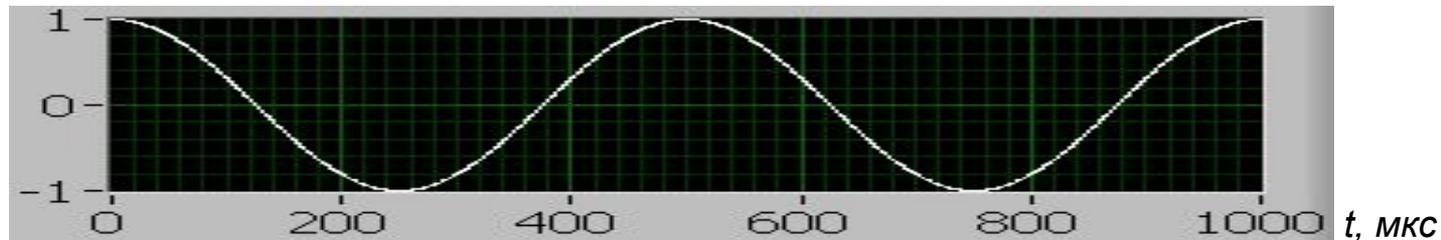
$U$  – амплитуда несущего колебания,

$U(t)$  – информационный сигнал.

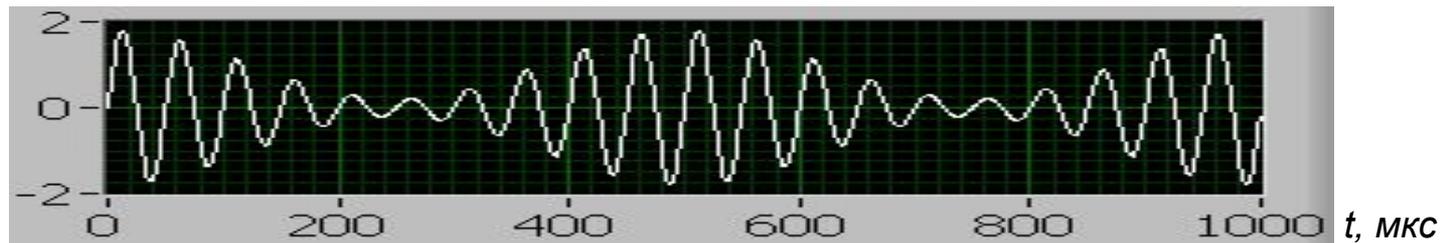
Для синусоидального сигнала  $U(t) = U_m \sin(2\pi Ft)$

$$u(t) = U [1 + m \sin(2\pi Ft)] \sin(2\pi f_0 t), \quad m \text{ – глубина модуляции}$$

НЧ сигнал



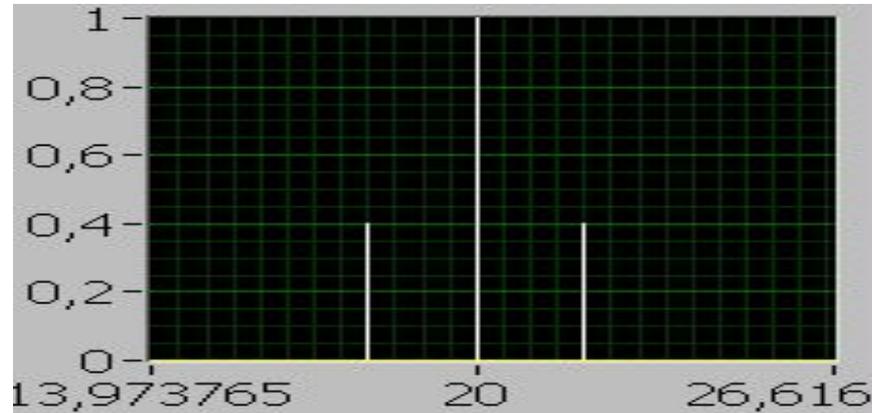
Амплитудно-модулированное колебание ( $m = 0,8$ )



Теоретический анализ амплитудной модуляции провели в 1910-х годах Джон Карсон (США) и М.В. Шулейкин (Россия)

$$u(t) = U \sin(2\pi f_0 t) + (m/2)U \sin(2\pi(f_0 - F)t) + (m/2)U \sin(2\pi(f_0 + F)t)$$

Амплитудный  
спектр  
АМ-колебания



Большой неожиданностью для практиков стал вывод, что для передачи АМ-сигнала требуется полоса пропускания канала связи, равная удвоенной ширине спектра сообщения.

Амплитудная модуляция энергетически невыгодна. Даже при 100%-ной модуляции ( $m = 1$ ) на несущую приходится  $2/3$  мощности, а на боковые, содержащие информацию, только  $1/3$ .

В 1915 г. Дж. Карсон предложил однополосную АМ с подавленной несущей, которой требовалась меньшая полоса канала передачи и меньшая излучаемая мощность.

1921 г. – год рождения радиовещания. Впервые в мире регулярные радиопередачи начались из города Питсбурга (США). В радиовещании использовалась обычная АМ

Однополосная АМ стала использоваться и до сих пор используется в профессиональной связи и в телевидении для передачи сигнала изображения.

АМ оставалась единственным видом модуляции до конца 1930-х годов

# Частотная модуляция

1905 г. - Корнелиус Эре (США) предложил метод частотной модуляции

$$u(t) = U \cdot \sin [2\pi(f_0 + k \cdot U(t))t]$$

$U(t)$  – информационный сигнал,

$k$  [Гц/В] – коэффициент, переводящий напряжение в частоту,

$f_0$  – несущая частота.

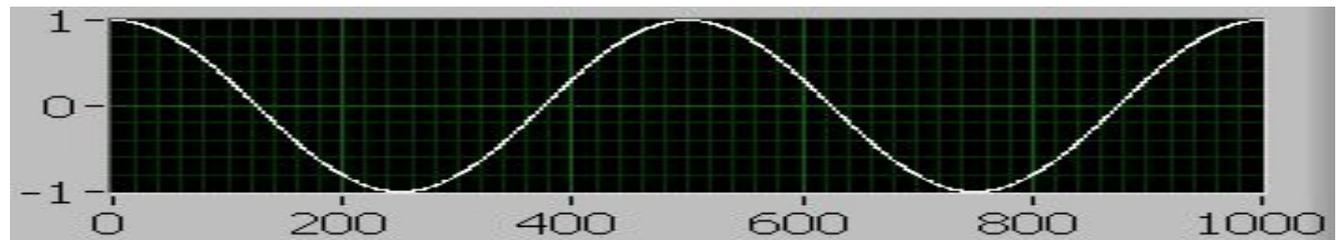
Для синусоидального информационного сигнала

$$u(t) = U \sin[2\pi(f_0 t + f_d \sin(2\pi F t))]$$

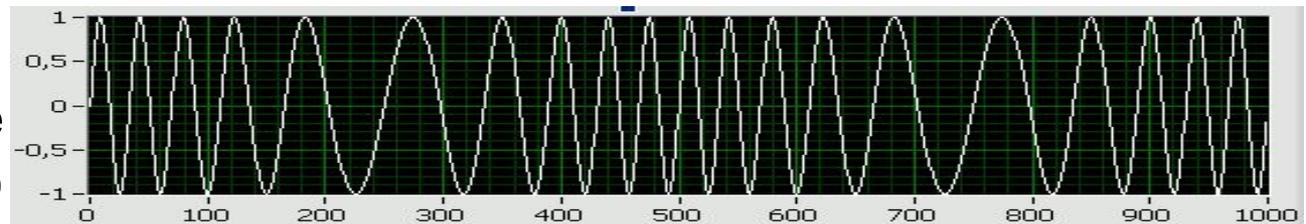
$f_d$  - девиация частоты.

$f_d/F = m$  – индекс модуляции

Сигнал

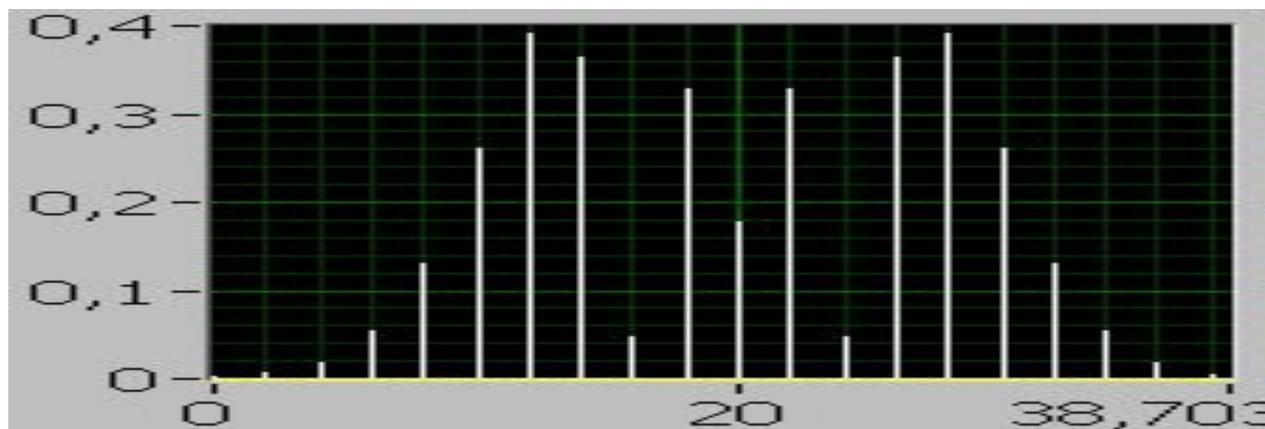


Частотно-модулированное колебание ( $m=5$ )



## 1922 – Дж. Карсон провел анализ ЧМ-сигнала

Спектр  
ЧМ-колебания  
( $m=5$ )



Дж. Карсон сделал вывод, что ЧМ не лучше, а может и хуже АМ.

ЧМ стала использоваться только благодаря усилиям Эдвина Армстронга (США). Он получил четыре патента (1933 г) и потратил свыше миллиона долларов на изготовление ЧМ-радиостанции и ЧМ-приемника.

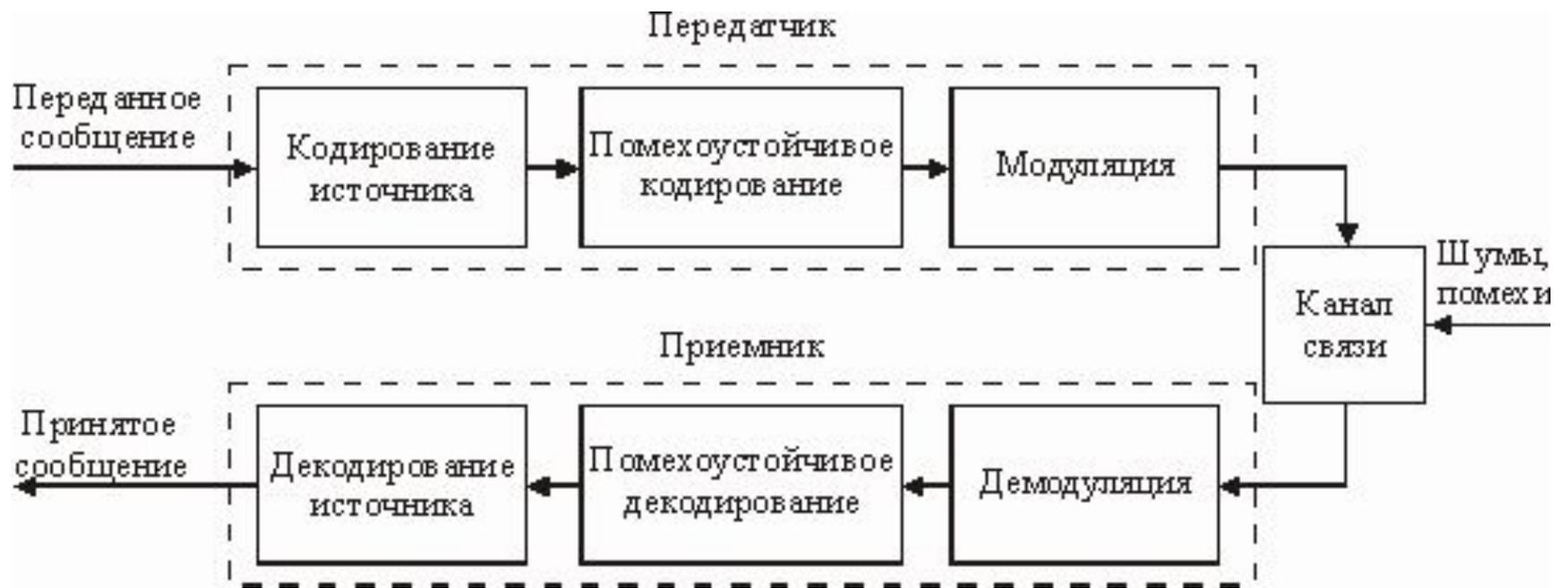
В 1939 г. его ЧМ-радиостанция вышла в эфир

# ТЕОРИЯ СВЯЗИ

1947 г. – В.А.Котельников (СССР) разработал теорию потенциальной помехоустойчивости.

1948 г. – Клод Шеннон (США) издал монографию «Математическая теория связи». Он определил теоретический предел количества информации, которое можно передать по зашумленному каналу за 1 сек – предел Шеннона

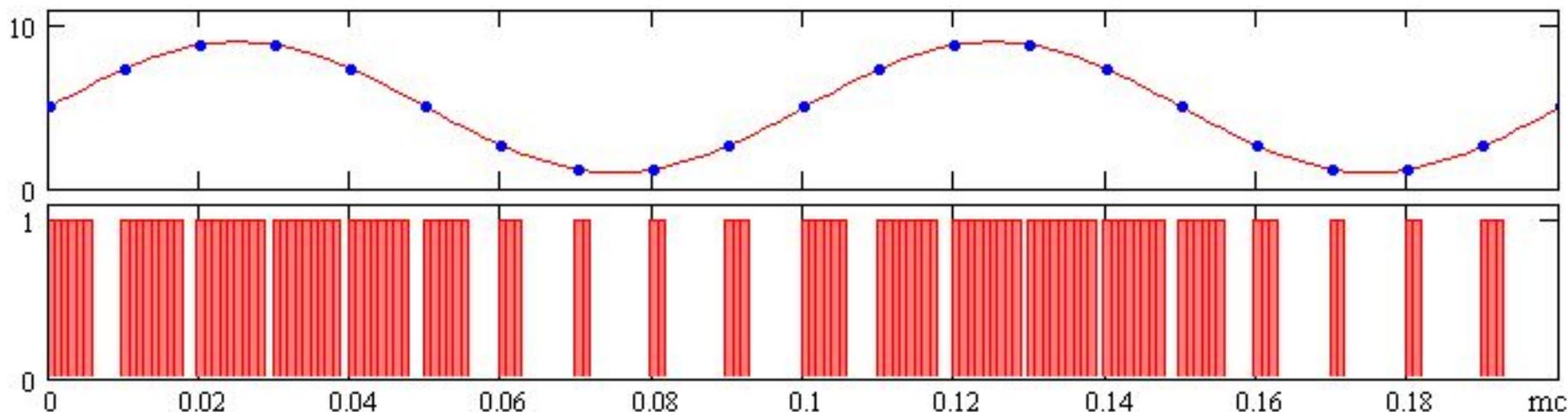
Чтобы приблизиться к пределу Шеннона, нужно кодировать передаваемое сообщение, уменьшая его избыточность, и ввести помехоустойчивое кодирование, чтобы обнаружить и устранить ошибки, возникшие в канале связи из-за шумов и помех.



Операции кодирования и декодирования можно проделать только с цифровым сигналом

# ЦИФРОВАЯ РАДИОСВЯЗЬ

1938 г. – Р.Х.Ривз (Франция) предложил импульсно-кодovou модуляцию.



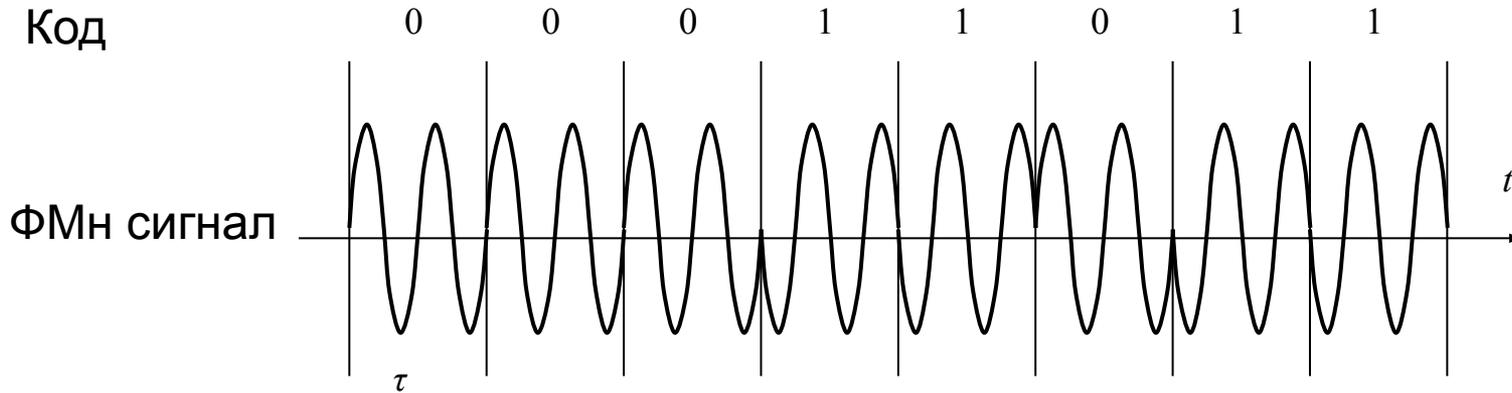
Как выбрать частоту дискретизации?

Частота дискретизации определена Г.Найквистом(1928 г.), В.А.Котельниковым (1933 г.), К.Шенноном (1949 г.)

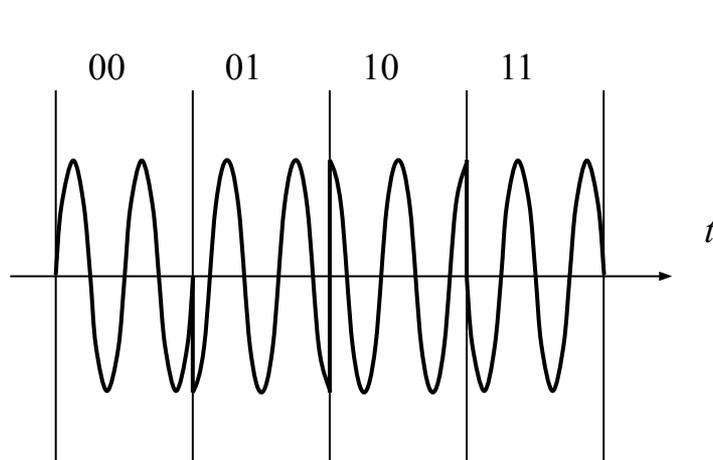
Как модулировать несущее колебание кодом ?

Использовать методы цифровой модуляции

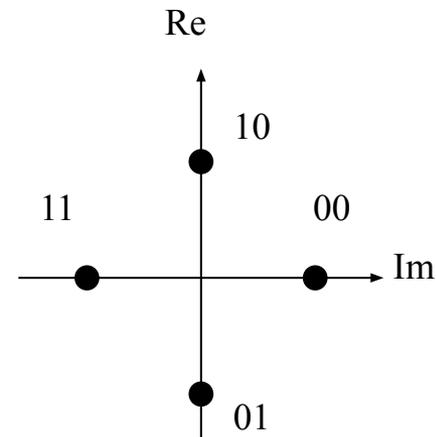
При модуляции каждым битом используется манипуляция несущей: амплитудная (АМн), частотная (ЧМн) или фазовая (ФМн)



При модуляции двумя и более битами используются фазовая или квадратурная амплитудная (КАМ) модуляции

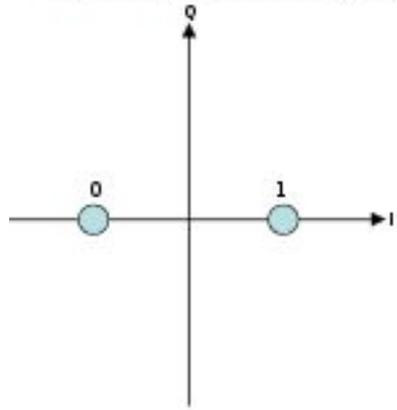


ФМ-4

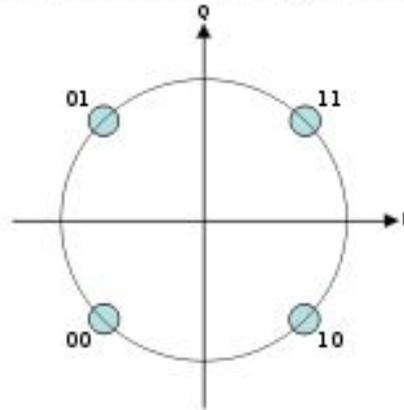


Сигнальная диаграмма

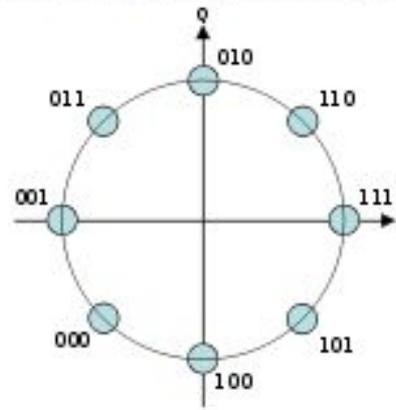
Примеры созвездий для различных видов манипуляций (к дискретному сигналу применены [коды Грея](#))



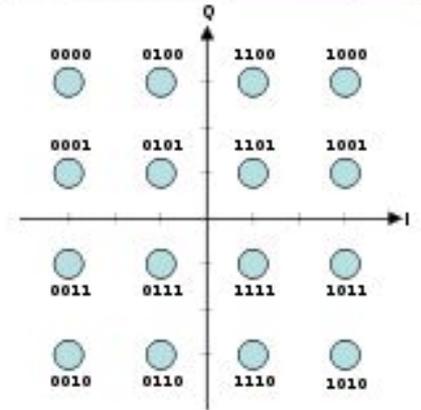
Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)



Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)



Восьмеричная фазовая манипуляция (8-PSK)



Сигнальное созвездие для прямоугольной 16-QAM.