

# Основные понятия и законы ЭМП

Взаимодействие заряженных частиц находящихся на расстоянии друг от друга описывают с помощью понятия поля. Можно говорить, что одна частица создает возле себя поле и о последующим взаимодействии этого поля с другой частицей.

**Электромагнитное поле** представляет собой особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами.

Поведение электромагнитного поля изучает классическая электродинамика, но при больших частотах проявляются квантовые свойства электромагнитного поля. В этом случае классическая электродинамика становится неприменимой и электромагнитное поле описывается квантовой электродинамикой.

Свойство частицы определяющее её взаимодействие с электромагнитным полем определяется **зарядом частицы  $q$** . Он может быть как положительным, так и отрицательным или равным нулю.

Электрические заряды существуют в природе в виде заряженных частиц.

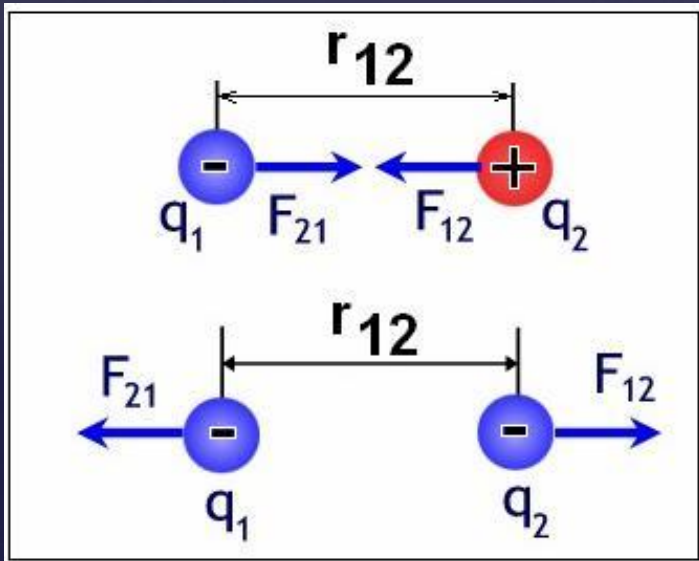
Элементарная отрицательно заряженная частица, с которой нам приходится встречаться в электрических явлениях, называется **электроном**. Заряд электрона равен  $1,6 \cdot 10^{-12}$  Кл.

# Теория электромагнитного поля.

## Электростатическое поле

Частным случаем ЭМП является электрическое поле. **Закон Кулона** - два неподвижных точечных электрических зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , находящихся в покое в вакууме притягиваются или отталкиваются друг от друга с силой, пропорциональной произведению величин этих зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

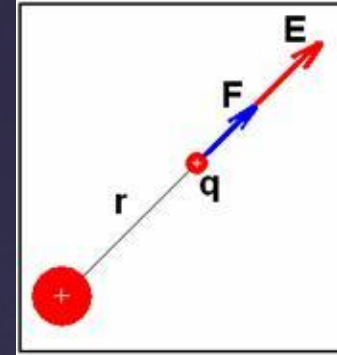
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2}$$



$F$  – модуль силы взаимодействия двух зарядов (Н);  
 $q_1$  – величина первого заряда (Кл);  
 $q_2$  – величина второго заряда (Кл);  
 $r_{12}$  – расстояние между зарядами (м);  
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  – электрическая постоянная (Кл/(В м)).

Для количественной характеристики электрического поля используют — напряженность электрического поля  $E$ . **Напряженность электрического поля  $E$**  равна отношению механической силы  $F$ , действующей на неподвижный положительный пробный заряд  $q$  к величине этого заряда

$$E = \frac{F}{q}$$



Напряженность электрического поля по направлению совпадает с вектором силы, действующей на положительный заряд

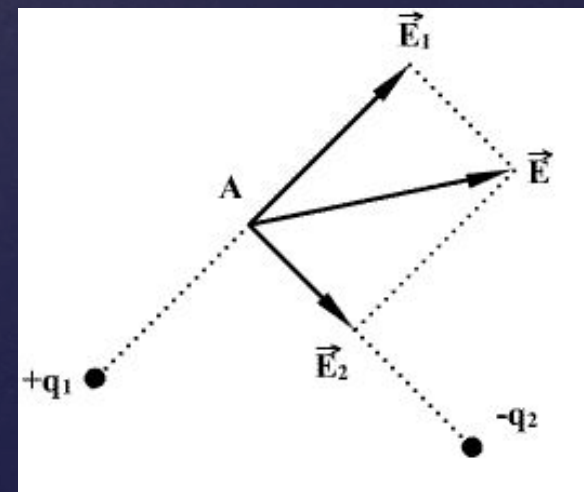
Если электрическое поле вызвано одним точечным зарядом  $q$ , то напряженность поля можно получить непосредственно из закона Кулона путем деления обеих частей равенства на пробный заряд

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

Если известна напряженность поля в какой-либо точке, то тем самым определена и сила, действующая на электрический заряд, помещенный в эту точку

$$F = qE$$

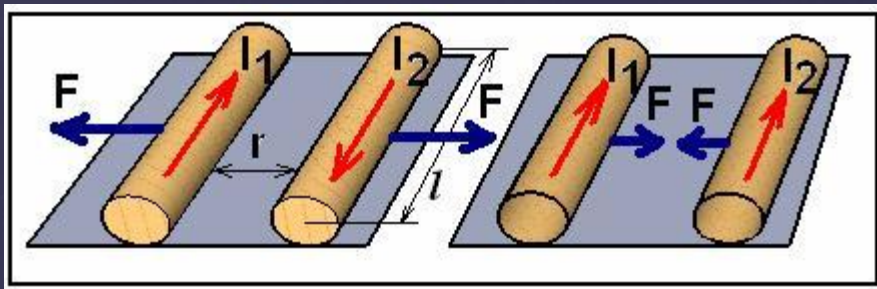
Если  $E_1, E_2, \dots, E_n$  — векторы напряженности полей, создаваемых отдельными зарядами в какой-либо точке, то напряженность результирующего поля в этой же точке равна их векторной сумме (**принцип суперпозиции** (наложения) электрических полей)



$$\vec{E}^+ = \vec{E}_1^+ + \vec{E}_2^+ + \dots + \vec{E}_n^+ = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i^+$$

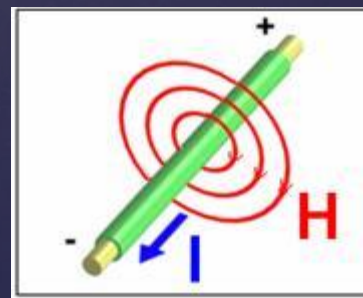
# Магнитное поле

Между проводниками по которым протекают электрические постоянные токи, возникают механические силы взаимодействия, зависящие от силы этих токов и расположения проводников (**закон Ампера**). Если направления токов одинаковы, то параллельные проводники притягиваются, если же направления токов противоположны – отталкиваются



где  $F$  – сила действующая между параллельными проводниками, Н;  
 $\mu_0$  –  $4\pi \cdot 10^{-7}$  магнитная постоянная, Гн/м;  
 $I_1$  – сила постоянного тока в первом проводнике, А;  
 $I_2$  – сила постоянного тока во втором проводнике, А;  
 $l$  – длина проводников, м;  
 $r$  – расстояние между проводниками, м.

Магнитное поле в каждой точке пространства может быть исчерпывающим образом описано некоторым **вектором  $H$** , называемым **напряженностью магнитного поля**



Опытным путем установлено, что сила  $F$  связана с  $H$  следующим выражением 
$$F = \frac{I}{c} [dsH]$$

где  $ds$  элемент тока длины, по которому течет ток силы  $I$  ;  
 $c=3 \cdot 10^8$  м/с –  
электродинамическая постоянная (скорость света в вакууме).

Для описания магнитного поля наряду с напряженностью магнитного поля  $\mathbf{H}$  широко используют еще другую физическую величину — **магнитную индукцию**

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

где  $\mathbf{B}$  – вектор магнитной индукции, Тл;  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  В с/(А м) – магнитная постоянная;  
 $\mathbf{H}$  – вектор напряженности магнитного поля, А.м.

Опыт показывает, что для магнитного поля, так же как и для электрического справедлив **принцип суперпозиции** или наложения, если имеется несколько элементов с током, каждый из которых создает магнитные индукции  $\mathbf{B}_1$ ,  $\mathbf{B}_2$  и  $\mathbf{B}_n$ , то магнитная индукция результирующего поля  $\mathbf{B}$  равна векторной сумме индукций отдельных элементов с током

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 + \dots + \mathbf{B}_n$$

# Уравнения электромагнитного поля

Закон Ома в дифференциальной форме.

где  $\mathbf{j}$  – плотность тока проводимости;

$\sigma$  – удельная проводимость.

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$$

Ток смещения  $\mathbf{j}_{\text{см}}$  определяется как

$$\mathbf{j}_{\text{см}} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

где  $\mathbf{D}$  – вектор электрического смещения для вакуума, Кл/м<sup>2</sup>,

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$$

$$\text{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Уравнения Максвелла в дифференциальной форме

$$\text{div} \mathbf{B} = 0$$

$$\text{rot} \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\text{div} \mathbf{D} = \rho$$

Уравнения Максвелла в интегральной форме

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{j} d\mathbf{S} + \int_S \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} d\mathbf{S}; \\ \oint_{\Gamma} \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} d\mathbf{S}; \\ \int_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = \int_V \rho dV; \\ \oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0. \end{array} \right.$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

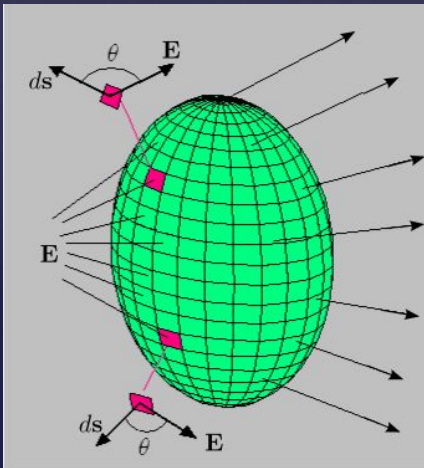
Электрический заряд является источником электрической индукции

Не существует магнитных зарядов

Изменение магнитной индукции порождает вихревое электрическое поле

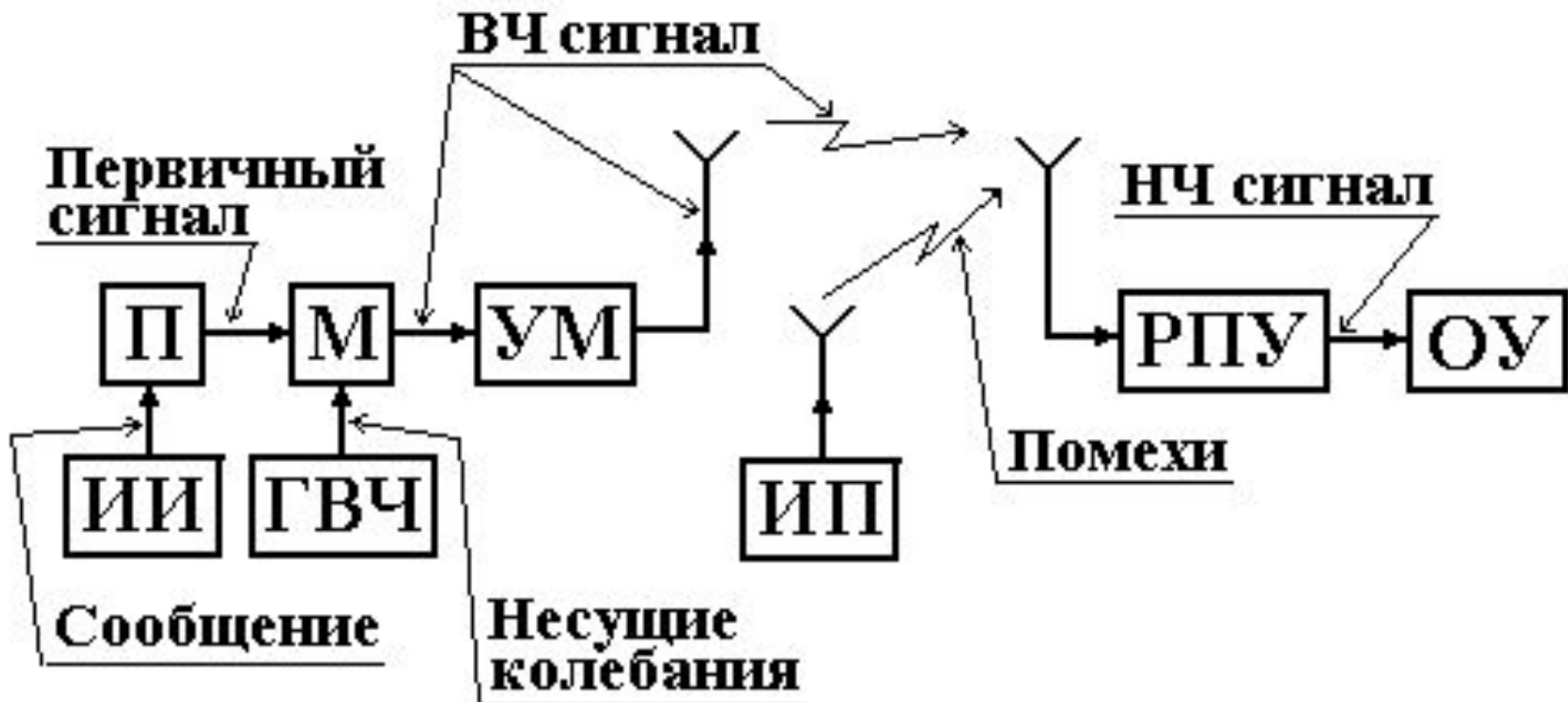
Электрический ток и изменение электрической индукции порождают вихревое магнитное поле

Полный электрический ток свободных зарядов и изменение потока электрической индукции через незамкнутую поверхность, пропорциональны циркуляции магнитного поля на замкнутом контуре, который является границей поверхности.



$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{j} d\mathbf{S} + \int_S \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} d\mathbf{S}; \\ \oint_{\Gamma} \mathbf{E} d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} d\mathbf{S}; \\ \int_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = \int_V \rho dV; \\ \oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0. \end{array} \right.$$

# Общие понятия о передаче информации на расстояние





# Демонстрация в LabView



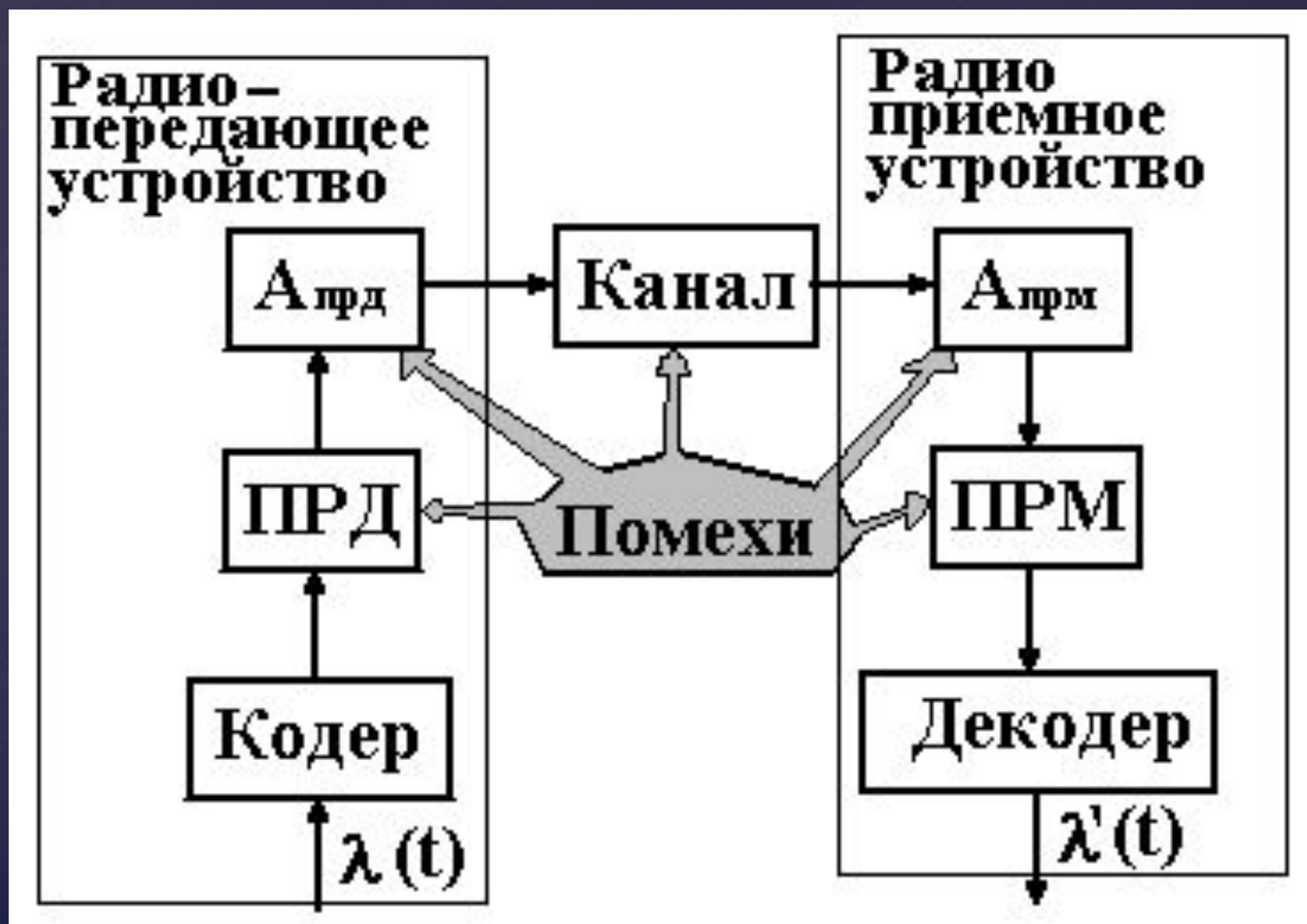
Все радиотехнические системы по  
информационному назначению  
подразделяются на следующие классы :

• передачи информации;

• извлечения информации;

• противодействия передаче или извлечению  
информации

# Структура системы передачи информации



# Структура системы извлечения информации



# Структура системы противодействия передаче или извлечению информации



# Сообщения, сигналы, помехи



Структурная схема радиотехнической системы передачи информации

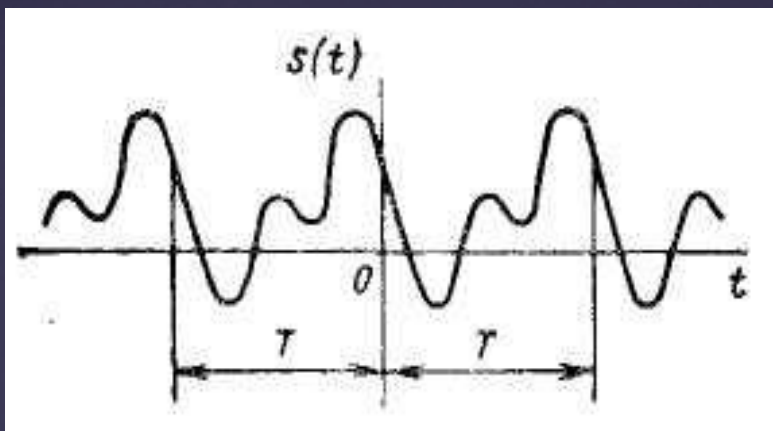


График периодического колебания

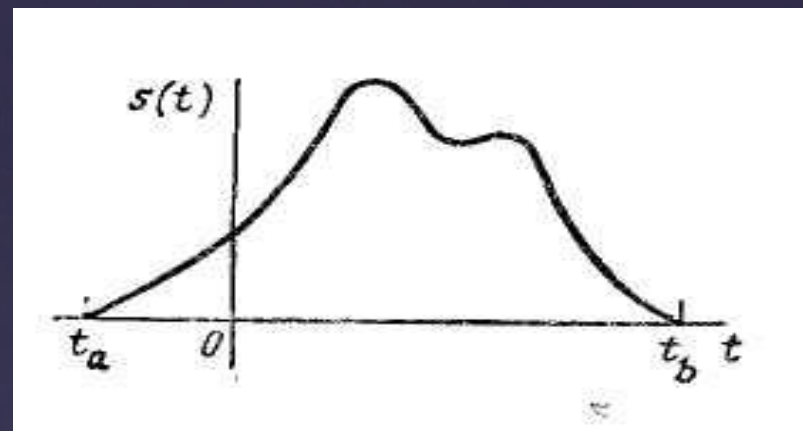
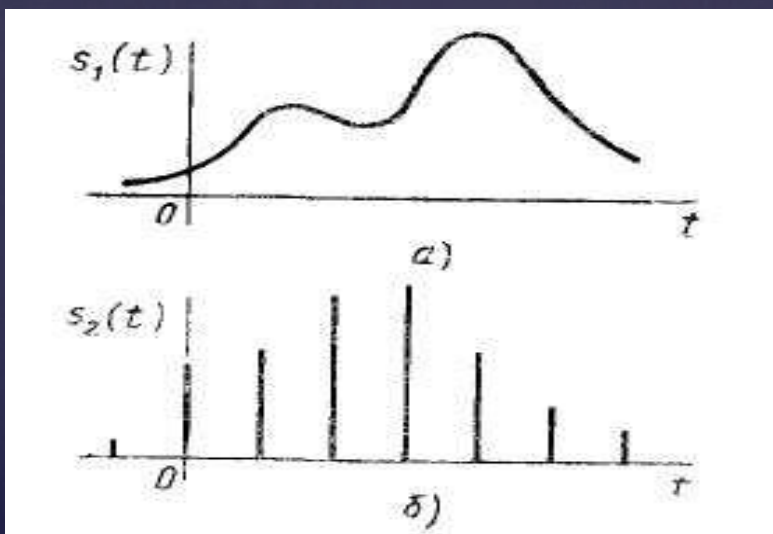


График финитного колебания



Графики непрерывных колебаний  
а) аналогового б) дискретного



График дискретного сигнала