

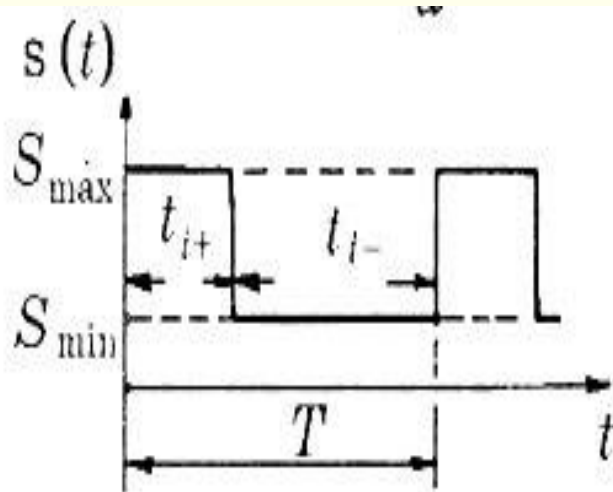
## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

Средноквадратичната стойност на периодичен сигнал (ефективна стойност) е равна на стойността на постоянен сигнал, който пренася за време  $T$  същата енергия, както периодичния сигнал.

*RMS-root mean square*  
**ефективна стойност**  
**на синусоидни сигнали**

$$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; U_{RMS} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; S_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T S^2(t) dt}$$

**- Правоъгълни положителни импулси**



$S_{\max} = S_{m+}$  - положителен импулс с продължителност  $t_{i+}$

$S_{\min} = S_{m-}$  - условно отрицателен импулс  $t_{i-}$

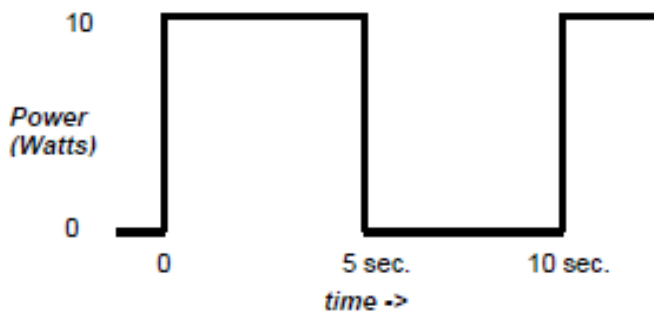
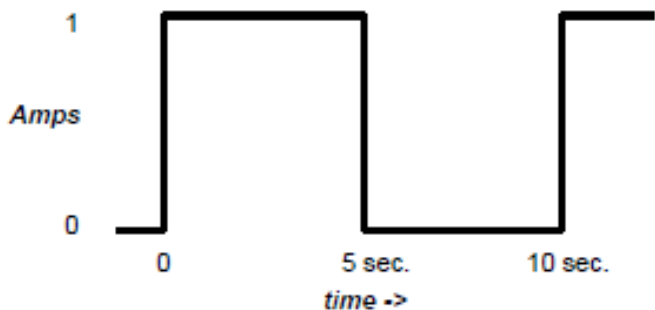
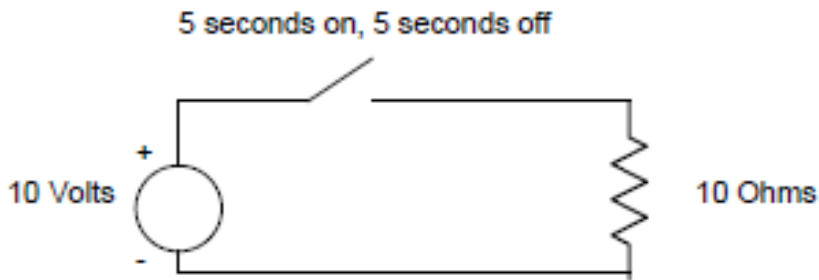
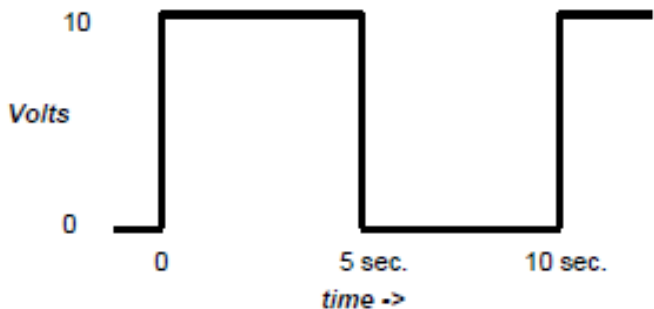
$S_{p-p} = S_{\max} - S_{\min}$  - амплитуда на импулсите

$T = t_{i+} + t_{i-}$  - период на импулсите

$f = 1/T$  - честота на повторение на импулсите

$\delta = \frac{t_{i+}}{T}$  - коефициент на запълване

# Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала



Еднополярни положителни импулси

$$A = P \cdot t = I \cdot U \cdot t$$

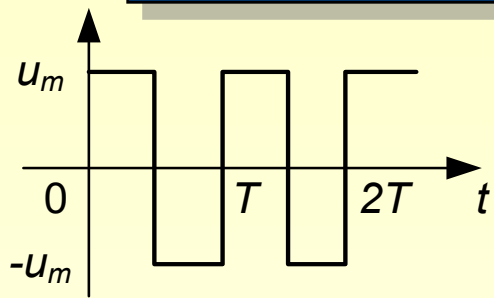
$$A = \frac{U_m}{R} \cdot U_m \cdot \frac{T}{2} + 0 = \frac{U_m^2}{2 \cdot R} T = \frac{P_m}{2} \cdot T$$

$$A = P_{AV} \cdot T \Rightarrow P_{AV} = P_m / 2 \quad U_{RMS} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$P_{AV} = 10 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} / 2 = 5 \text{ W}$$

$$P_{AV} = P_m \frac{t_+}{T} = P_m \cdot \delta$$

## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

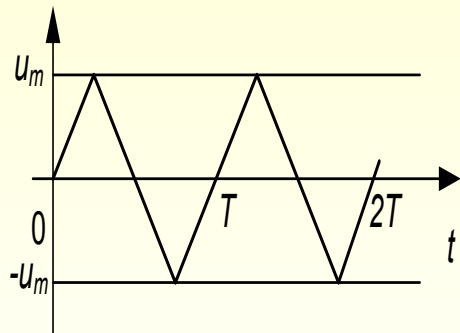


- меандър –двуполярни правоъгълни импулси:

$$S_{m+} = -S_{m-}, t_{i+} = t_{i-}$$

$$T = 2t_{i+} \Rightarrow \delta = \frac{t_{i+}}{T} = 0.5 \quad t_{i+} = t_{i-} = T / 2$$

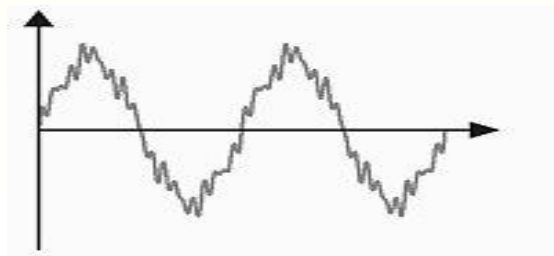
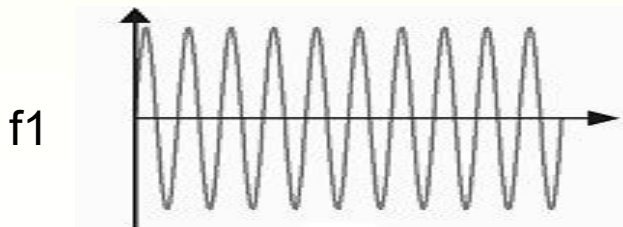
$$U_{RMS} = U_m$$



- триъгълен периодичен сигнал

$$U_{RMS} = \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

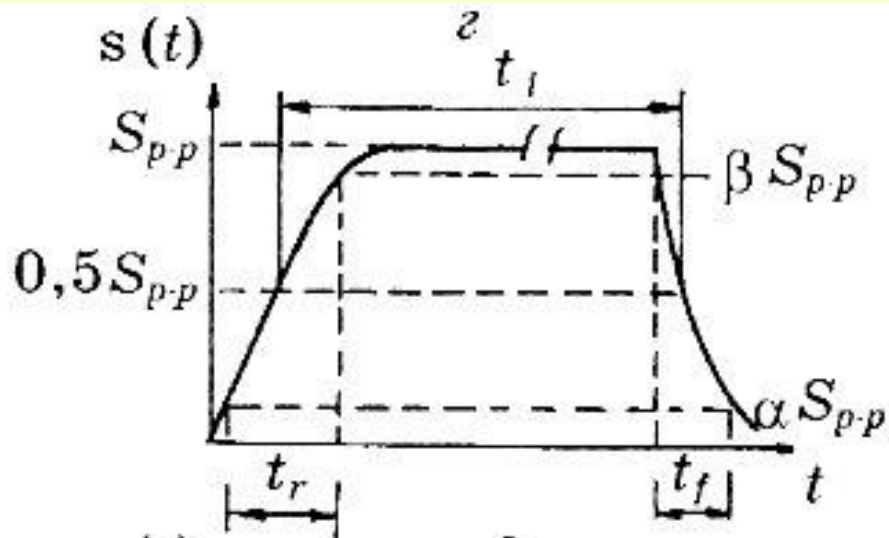
- Периодични моночестотни и мултичестотни сигнали



сигналът е сума от  
сигнали с различна  
честота  $f_1+f_2+f_3+\dots$

## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

### - Реален правоъгълен импулс



$S_{p-p}$  – амплитуда на импулса- максималната стойност на сигнала.

$t_i$  - продължителността на импулса (s)

измерва се на ниво  $(0.5S_{p-p})$

$t_r$  - продължителност на предния фронт (време за нарастване)

$t_f$  - продължителност на задния фронт (време на намаляване)

1.  $\alpha = 0.1$      $\beta = 0.9$

2.  $\alpha = 0$      $\beta = 0.95 - 0.99$

нива за определяне на продължителността на фронтите на импулсите-  
указва се на какви нива са определени !

## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

### 5. Детерминирани неперидични сигнали:

Сигнали, при които няма периодична повтораемост на амплитудата във времето, но амплитудата и времето на появяване на сигнала са отнапред известни.

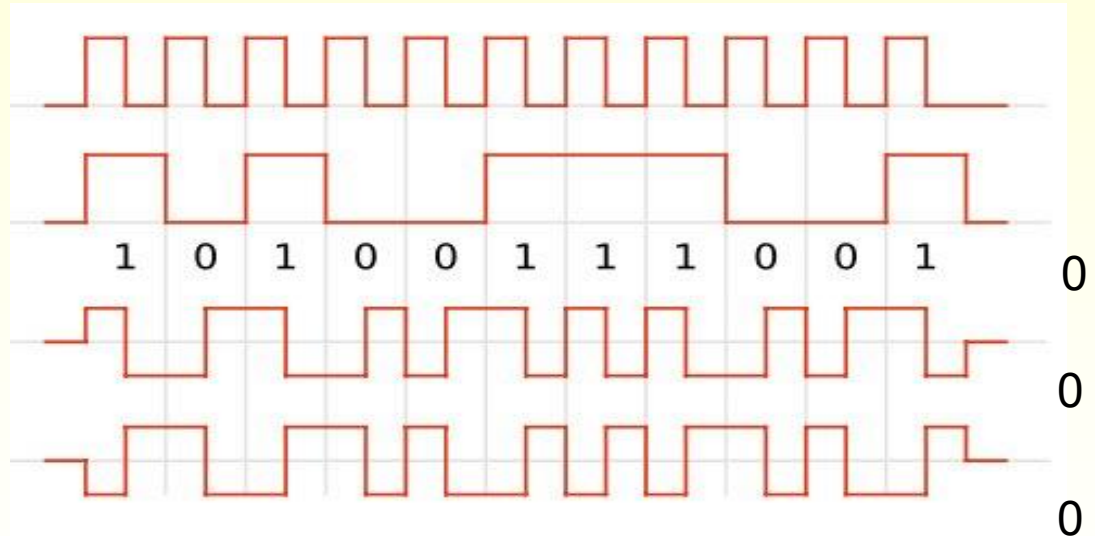
**периодичен сигнал**

**неперидичен сигнал**

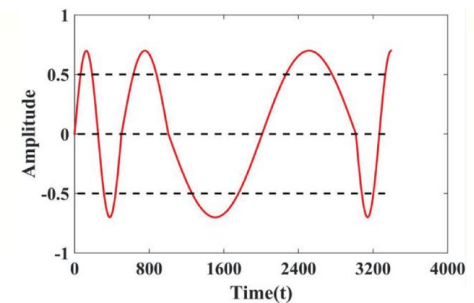
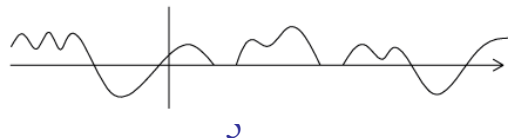
- еднополярни



- двуполярни

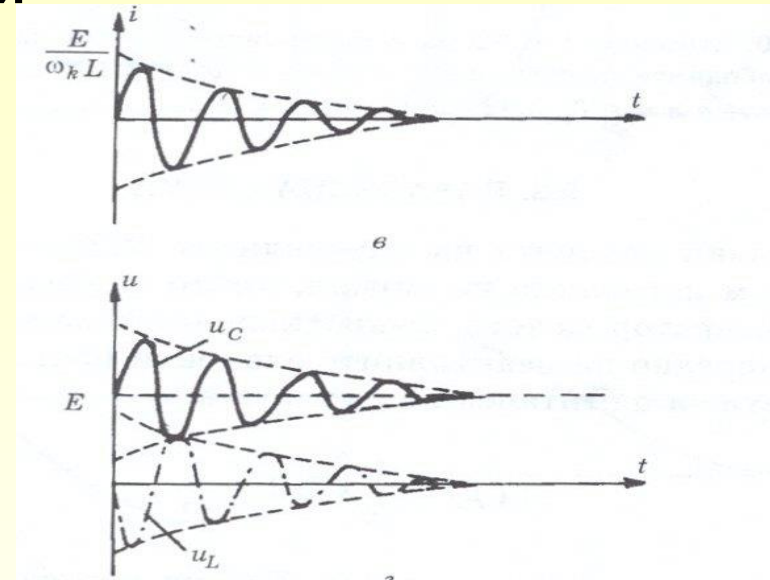
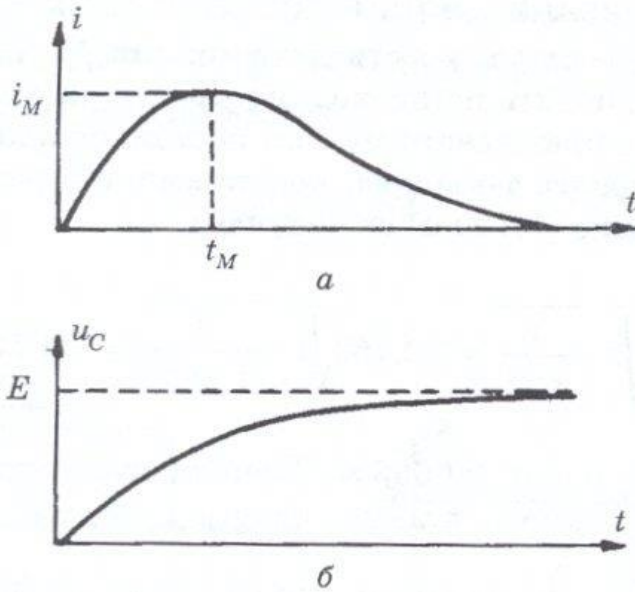


**Пр.: Безкрайни неперидични сигнали  
(известна стойност в бъдещ момент)**

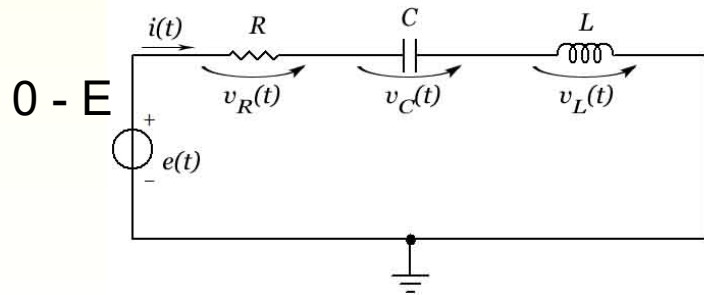


# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

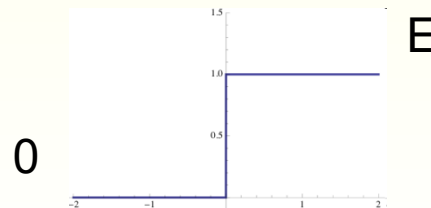
## - неперiodични преходни сигнали



Зареждане на кондензатор в последователна RLC верига



Затихващи трептения в RLC кръг ( $E=0$ )



## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

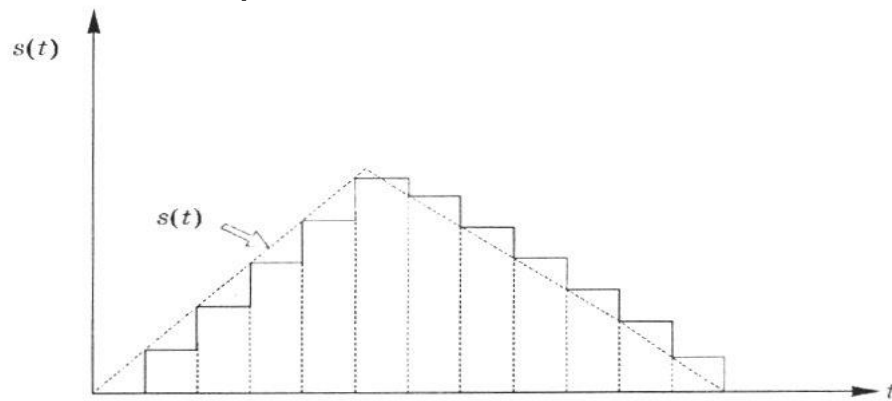
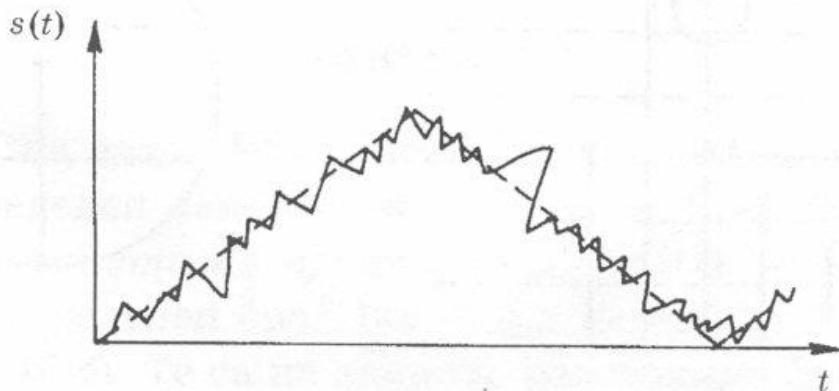
### 6. Дискретни и цифрови сигнали:

Сигнали, които могат да се нулират или имат постоянна амплитуда за краен интервал от време се наричат **дискретни**.

**Дискретизация (квантуване)** – процес на преобразуване на един непрекъснат сигнал  $s(t)$  в дискретен сигнал по точно определен закон.

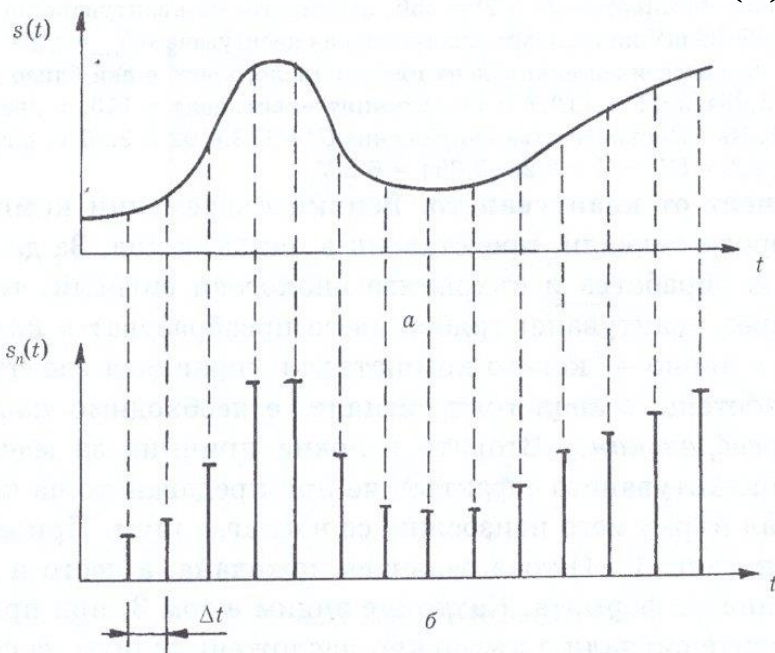
**Цифрови сигнали** – поредица от импулси с еднаква продължителност и амплитуда, посредством които сигнала се предава в кодиран вид.

- компютрите работят с кодирани цифрови сигнали;
- цифровите сигнали са много по-шумозащитени;
- предаване на кодираната информация на далечни разстояния.



# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

## Квантуване на сигнал $S(t)$



-квантуване по време- сигналът се замества с определен брой **моментни** стойности  $S_1, S_2, S_3..$  през интервал  $\Delta t$ .

$\Delta t$  - стъпка на квантуване по време

$$f_k = 1 / \Delta t \quad - \text{честота на квантуване}$$

- квантуване по ниво

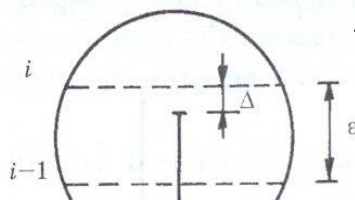
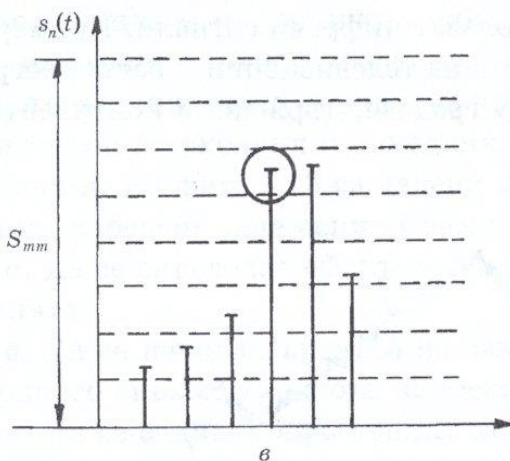
**N** - брой нива, равномерно разположени

$\varepsilon$  - стъпка на квантуване по ниво

$$\varepsilon = S_{mm} / N$$

$\Delta$  - грешка на квантуване по ниво

$$\Delta_{\max} = \frac{\varepsilon}{2} \quad - \text{максимална грешка на квантуване}$$



$$N = 2^n; \quad n = 8, 10, 12, 14, 16, 18, \dots, 24$$

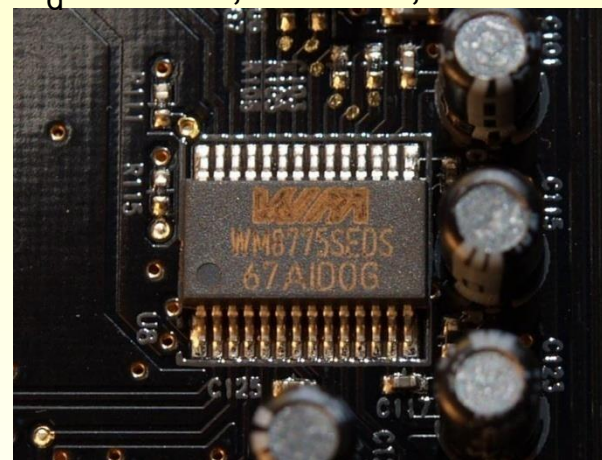
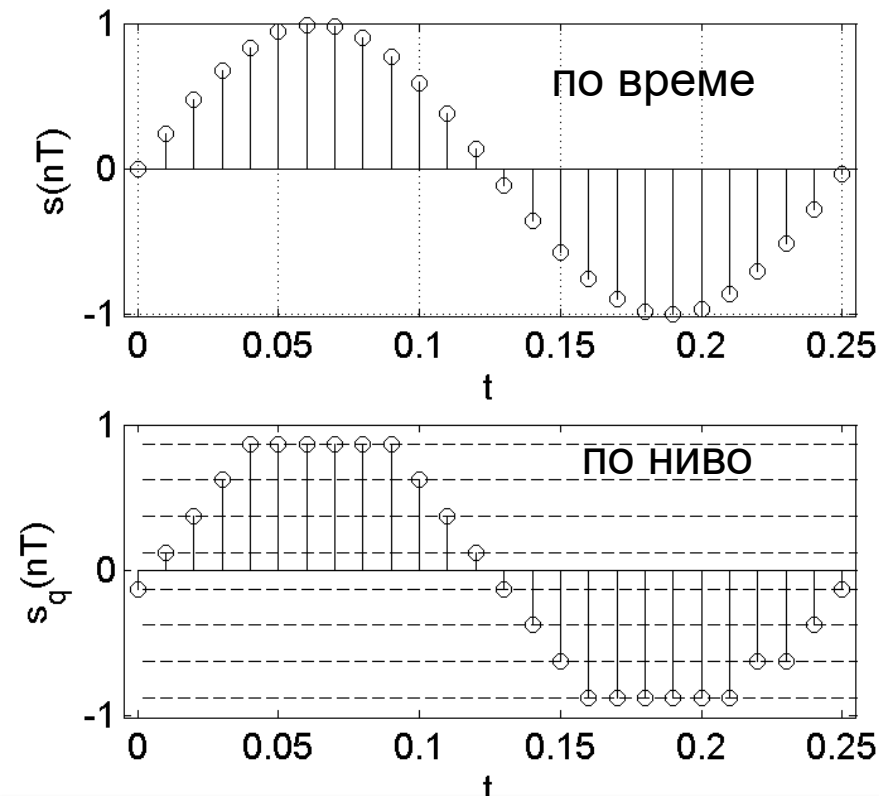
**Аналогово-цифрово преобразуване**- чрез квантуване по време и по ниво, всяка моментна стойност на непрекъснатия сигнал (t) се превръща в двоично число (код).

## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

Задача:  $U=5.12\text{ V}$  се квантува с  $n=8$ . Определете двоичното число на  $U=2.26\text{ V}$

$f_e$  - най-високата честота в спектъра на квантувания сигнал  $s(t)$ ,  $\Delta t \ll 0.5 / f_e$

$f_d=1\text{ MHz}, 10\text{ MHz}, 100\text{ MHz}$

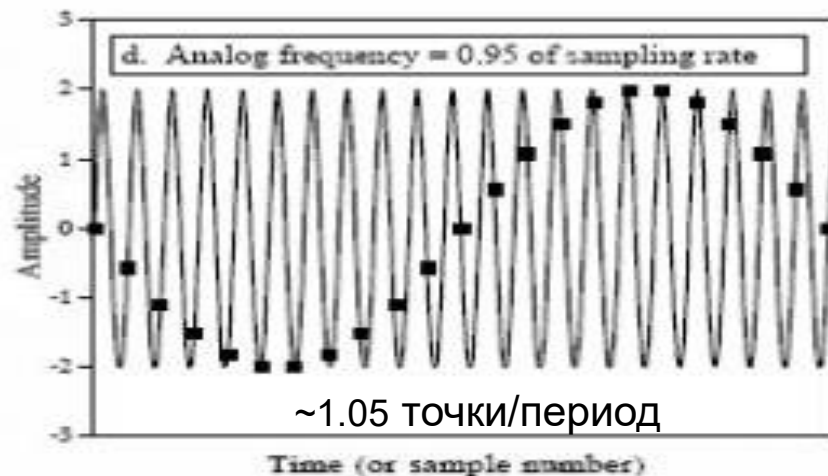
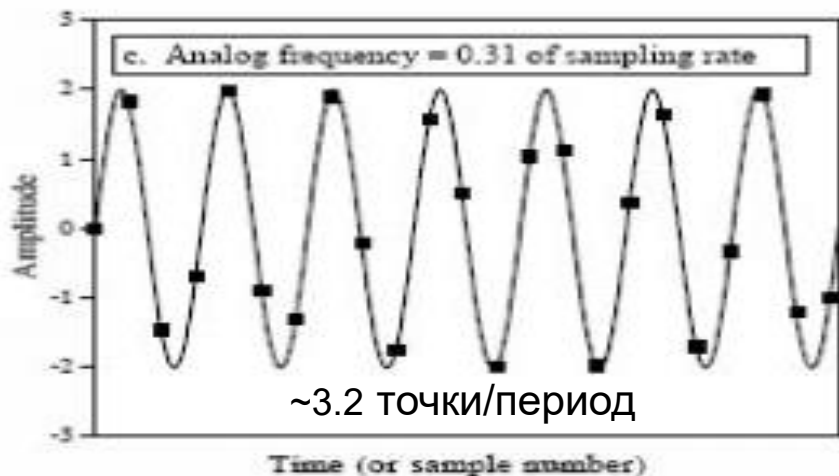
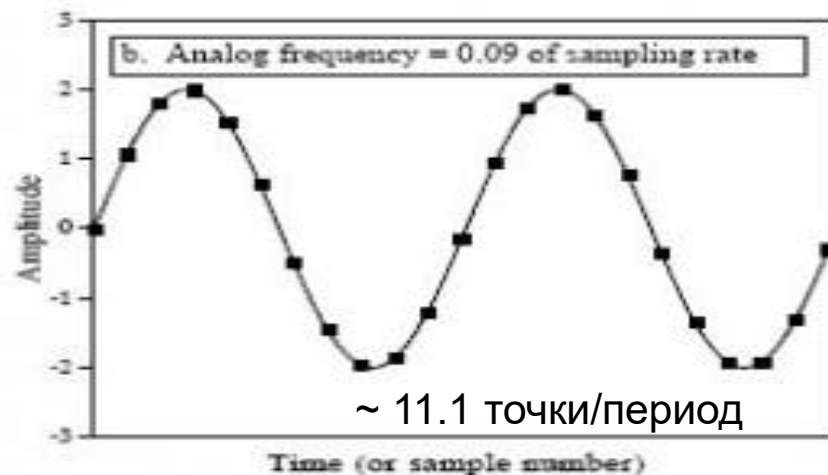
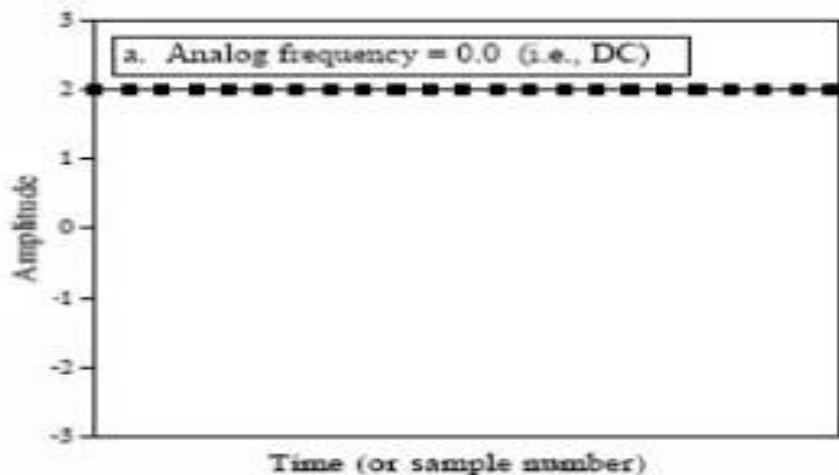


4-канален стерео мултиплексиран аналогово-цифров преобразувател WM8775SEDS от Wolfson Microelectr.

$$f_D \geq 2f_e \left( \Delta t_D \leq \frac{1}{2f_e} \right) \text{ Теорема на Найкуист}$$

Сигналите трябва да бъдат дискретизирани с честота най-малко два пъти по-висока от най-високата честота в спектъра на квантувания сигнал, за да се осигури точно възстановяване на  $s(t)$ .

## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала



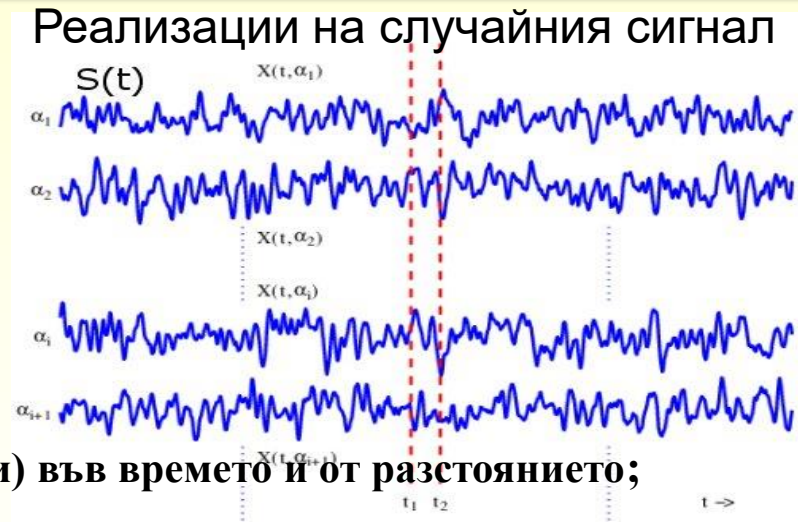
**aliasing**-два сигнала с различна честота, стават неразличими при процеса на квантуване по време, когато честотата на сигнала е близка до честотата на дискретизация.

# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

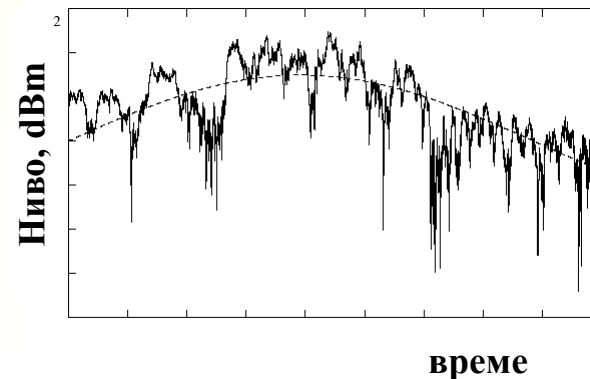
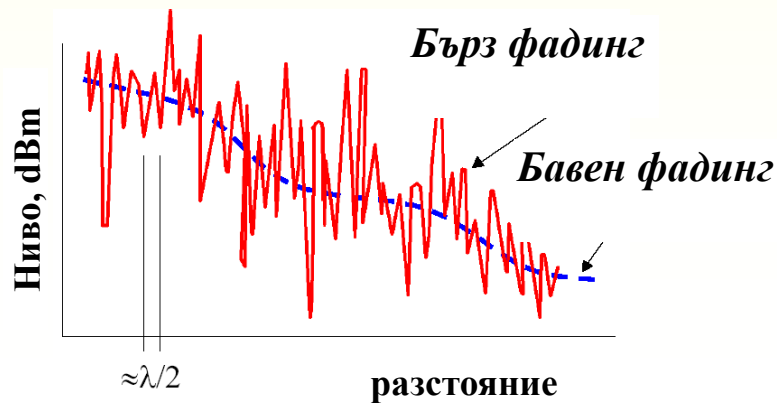
## 7. Случайни сигнали (недетерминирани)

Определение - случайни сигнали наричаме сигнали, чиято моментна стойност във времето не може да бъде определена точно, а само с дадена вероятност  $P < 1$ .

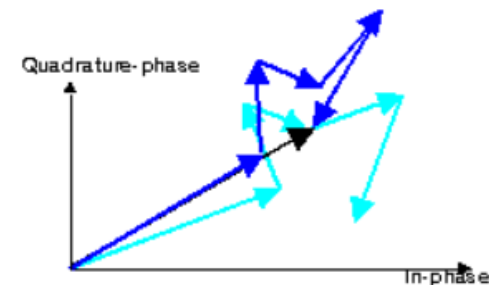
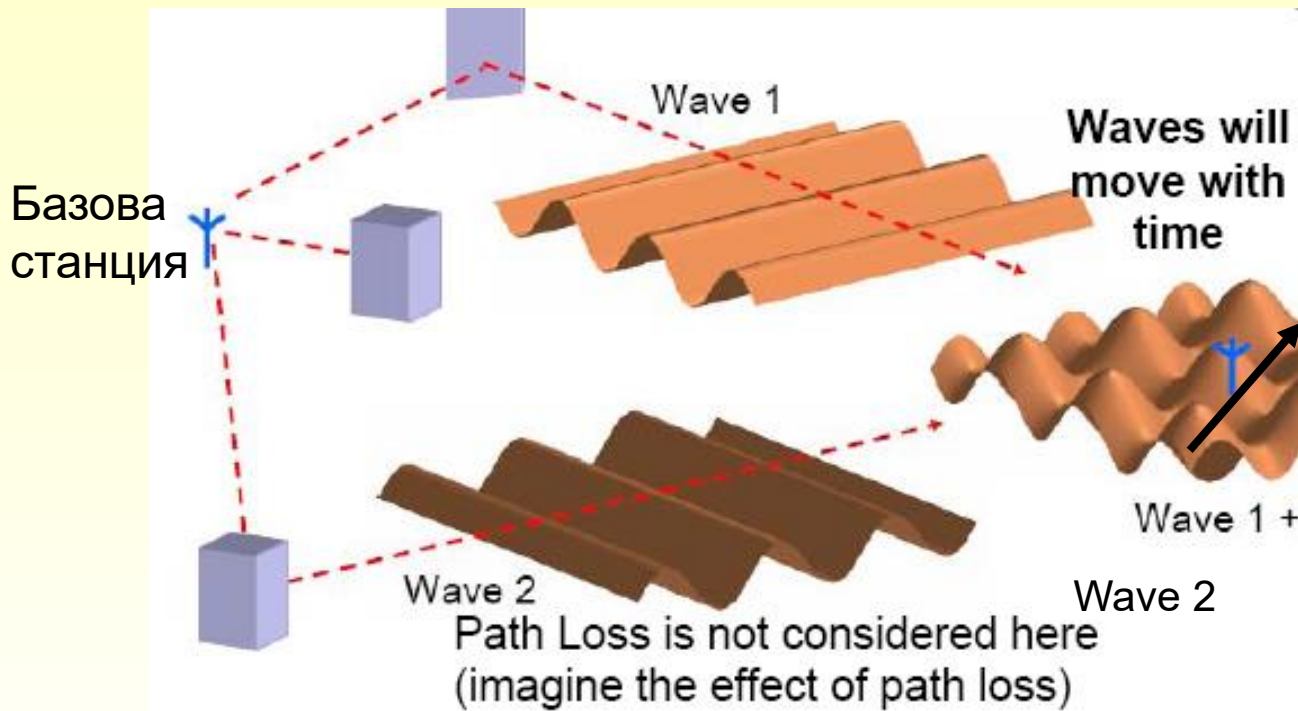
- външни фактори (захранване, електрични шумове от други устройства)
- топлинно движение на частиците (електрони) в проводниците,
- многократно отражение и дифракция на сигнала в комуникационния канал.



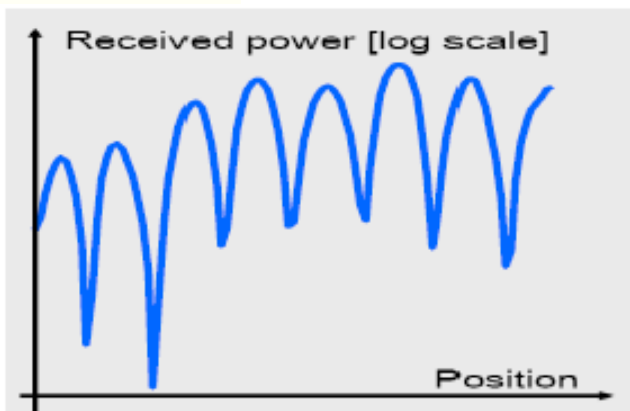
Рязко изменение на GSM-сигнала (стръмни флуктоации) във времето и от разстоянието;



# Статистическо описание на мобилните радиосигнали



Мобилна станция



**small-scale fading**  
малкомащабно пропадане на сигнала при движение на MS

Случайните сигнали се характеризират със средна стойност и дисперсия

## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

$N$  – брой записани сигнала (реализации)

$N_1$  - брой на сигналите с амплитуда между  $x_1$  и  $x_1 + \Delta x$  в момента  $t$ .

$$P_1 = P(X_1 < X < X_1 + \Delta X, t) \approx \frac{N_1}{N}$$

- **плътност на разпределение на вероятността**

$$\omega(x, t) = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ \Delta X \rightarrow 0}} \frac{1}{\Delta X} \frac{N_1(t)}{N(t)} \rightarrow P_x \sim \omega(x, t) * \Delta x \rightarrow P(b < x < a) = \int_b^a \omega(x, t).dx$$

- **стационарни процеси**       $\omega(x, t) = \omega(x)$       *Плътноста на разпределение на вероятността не зависи от времето (конкретния момент)*
- **нестационарни процеси**       $\omega(x, t)$  -зависи от времето.

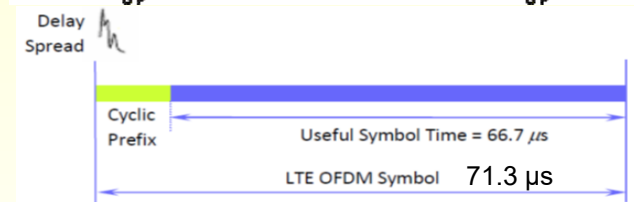
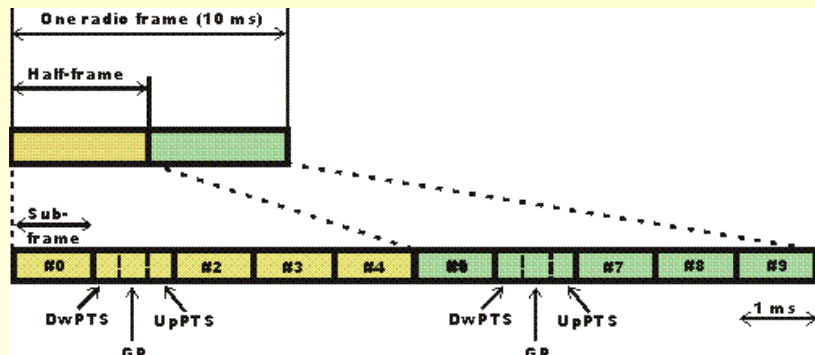
Случайните процеси се характеризират с **математическо очакване** (средна стойност), **средноквадратична стойност** и **дисперсия**.

**В действителност всички сигнали в електрониката са случайни, но тези чиято стойност може да се предвиди с точност близка до 100% наричаме детерминирани.**

# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

## 8. Параметри на сигналите и каналите за връзка

### 1. Продължителност на сигнала- $T_c$ времето, през което се предава сигнала



4G-LTE-Long-term-evolution –Advanced 1800 MHz (UL-1710 - 1785 MHz и DL-1805 - 1880 MHz)

$$T_{\text{frame}} = 10 \text{ ms}, T_{\text{subframe}} = 1 \text{ ms} = 2 \text{ slot} \times 0.5 \text{ ms} = 2 \times (7 \text{ symbols} \times 71.3 \mu\text{s})$$

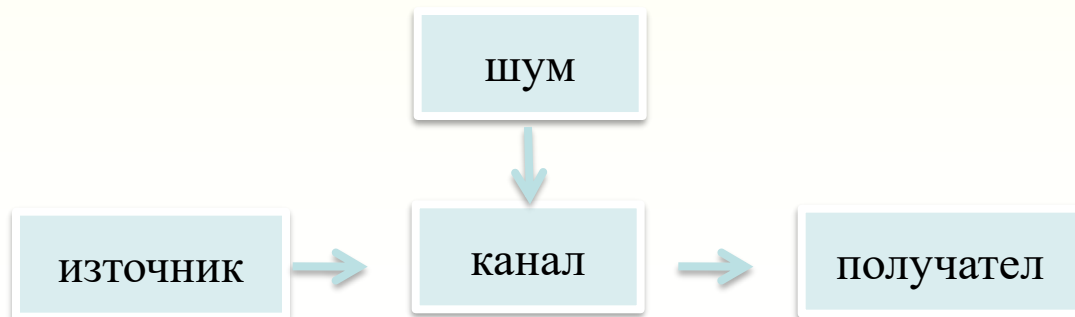
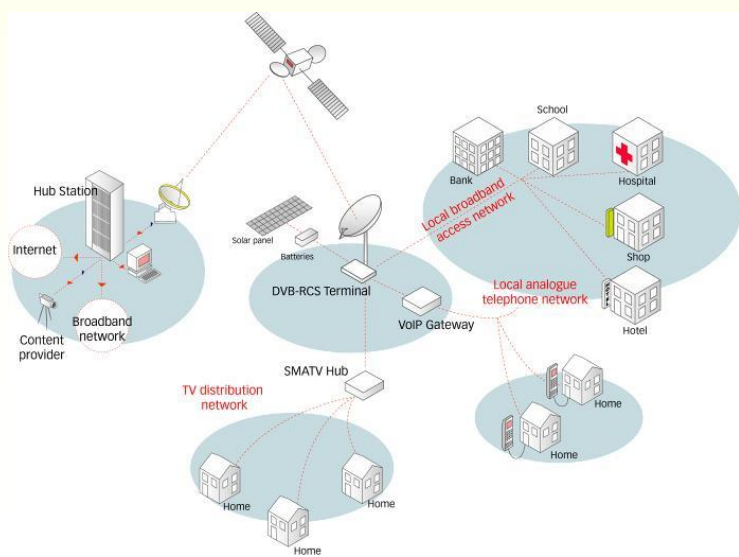
Такова честота-  $f_t = 32.72 \text{ MHz}$ , Време за 1 бит-  $T_s = 32.552 \text{ ns}$

### 2. Динамичен обхват на сигнала

$$D_c = \frac{P_c}{P_{ui}} = \frac{S}{N} \quad D_c = 10.1 \lg \frac{P_c}{P_{ui}} \text{ (dB)}$$

### 3. Честотен спектър на сигнала $W_c$

съвкупността от честотите на съставките на сигнала, които трябва да се предадат.



## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

Параметри на **канала за връзка**:

1.  $W_k$  - честотната лента, в която **канала** може да **пропуска** сигнал.
2.  $T_k$  - времето, през което каналът се използва за предаване на сигнали –(време на кохерентност  $\sim 0.423/f_d$ ).
3.  $D_k$  - отношението на средната мощност на сигнала и средната мощност на шумовете в канала.

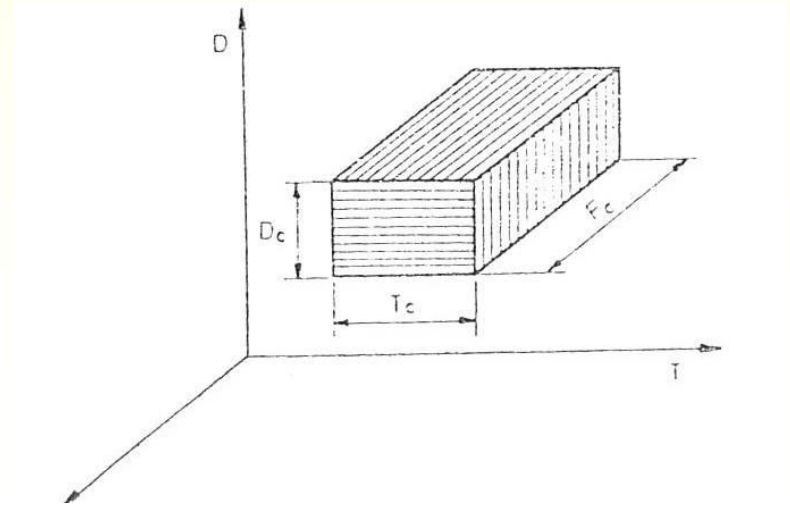
За да се предаде сигналът по канала за връзка без изкривявания е необходимо:  $T_c \leq T_k, W_c \leq W_k, D_c \leq D_k$

$$V_c \leq V_k \quad V_c - \text{обем на сигнала}$$

Сигналът може да бъде предаван по канала за връзка ако е спазено това условие.

$$V_c = T_c \cdot W_c \cdot D_c$$

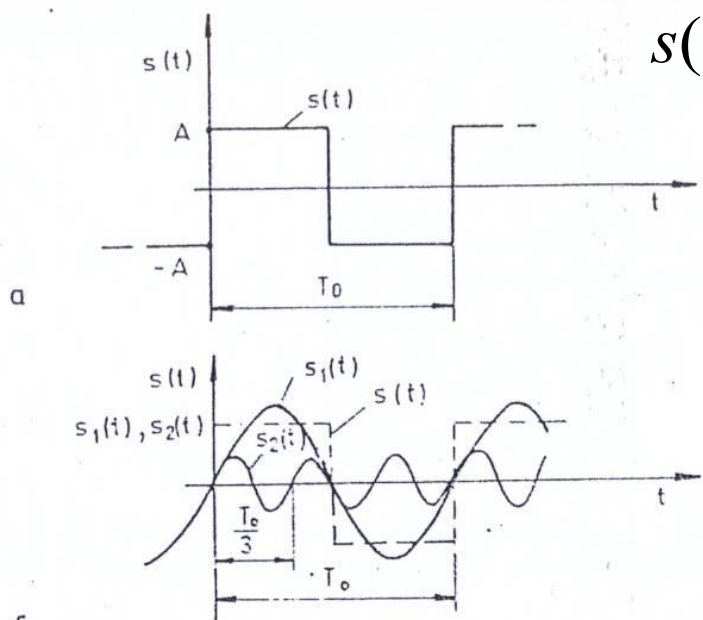
$$V_k = T_k \cdot W_k \cdot D_k$$



# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

## 9. Спектри на периодични сигнали

A – амплитуда,  $T_0$ -период на повторение. Правоъгълните импулси могат да бъдат представени като сума от синусоидни сигнали.



$$s(t) \approx s_1(t) + s_2(t) + \dots$$

$$\omega_1 = \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$\omega_2 = 3\omega_0 = \frac{6\pi}{T_0}; \omega_3 = 5\omega_0 = \frac{10\pi}{T_0}$$

$$T_1 = T_0 \quad T_2 = \frac{T_0}{3} \quad T_3 = \frac{T_0}{5}$$

$$s(t) = \frac{4A}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

Фиг. 2.5

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots + b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin(2\omega_0 t) + \dots$$

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t) + b_n \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t))$$

**Ред на Фурие**

Всеки периодичен сигнал  $s(t)$  с период  $T$ , може да се представи като сума от постоянна съставляваща  $a_0/2$  и **безкраен** брой синусоидни сигнали с амплитуди  $a_n$  и  $b_n$  и честота  $f_n = n/T$ , където  $n$  е цяло число.

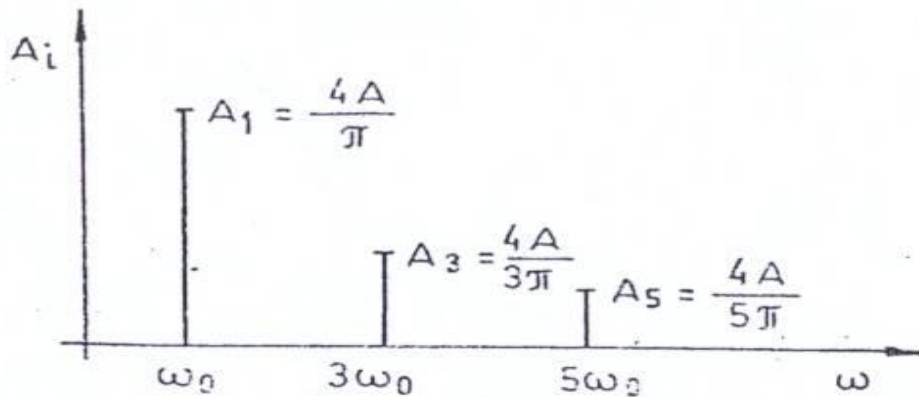
## 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

Синусоидните членове в сумата за  $s(t)$  се наричат:

$\omega = 2\pi / T_0 = 2\pi f_0$  - на основната честота - основна (първа) хармонична.

$n \cdot \omega = 2\pi n / T_0 = 2\pi \cdot (n f_0)$  - на  $n$ -та честота -  $n$ -та хармонична

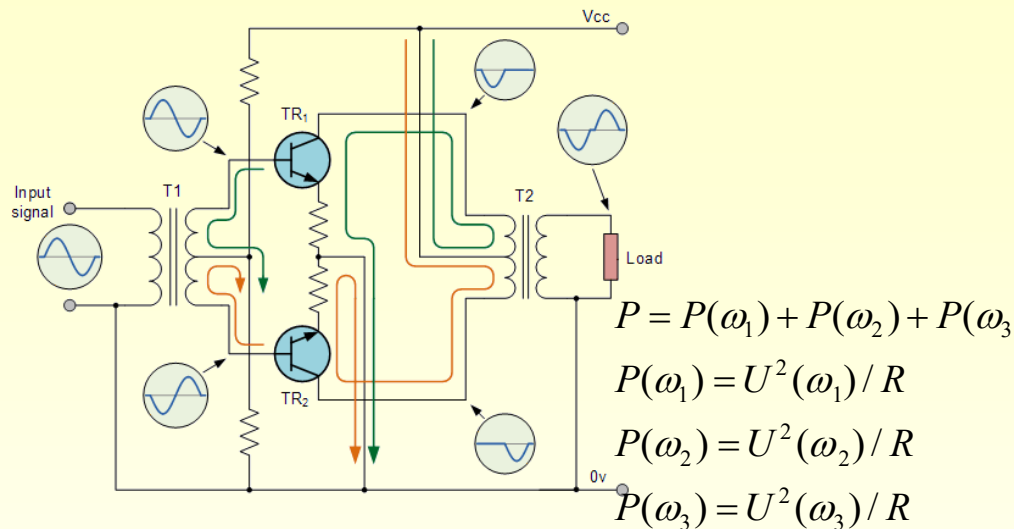
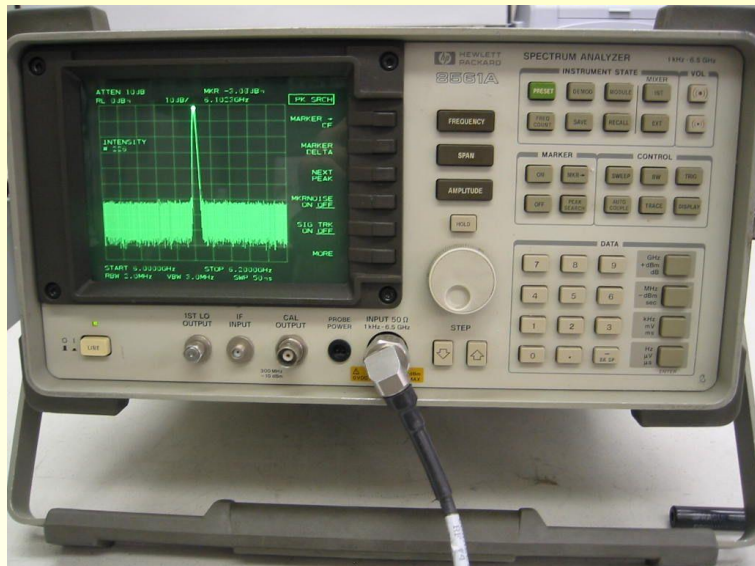
**Амплитуден спектър на периодичния сигнал** – съвкупността от постоянната съставляваща и амплитудите на хармоничните.



Фиг. 2.6

- дискретен спектър от сигнали на различни честоти;
- постоянна съставляваща  $\rightarrow a_0 / 2$  или 0;
- хармонични честоти ( $\omega_0, 3\omega_0, 5\omega_0, \dots$ ) с намаляваща амплитуда. След  $k$ -та, могат да бъдат пренебрегнати ако амплитудата  $A_k \leq 0.1A_1$ .

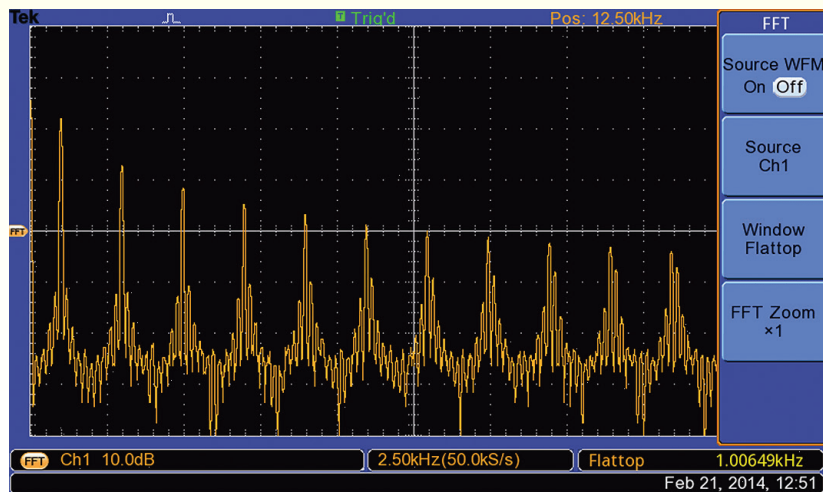
# Спектри на периодични сигнали



Спектрални анализатори- $G(\omega)$

$G(\omega)$  - спектрална плътност на сигнала- описва средната интензивност на процеса (мощност) по честоти ( $-\infty < f < + \infty$ ).

$G(f=0)$ - нулева отметка на анализатора



$$\xi = x(t) - \bar{x} \quad - \text{напрежение}$$

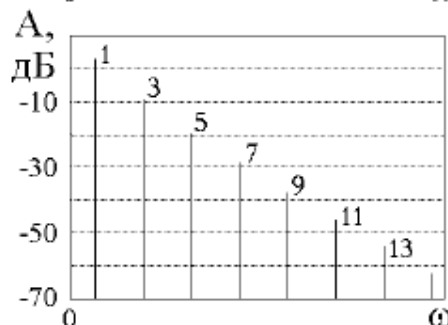
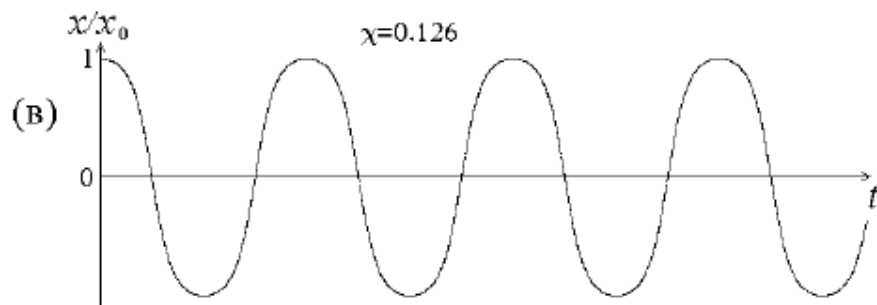
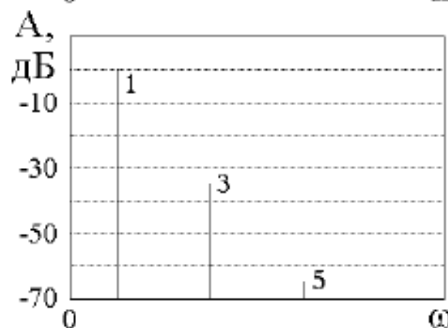
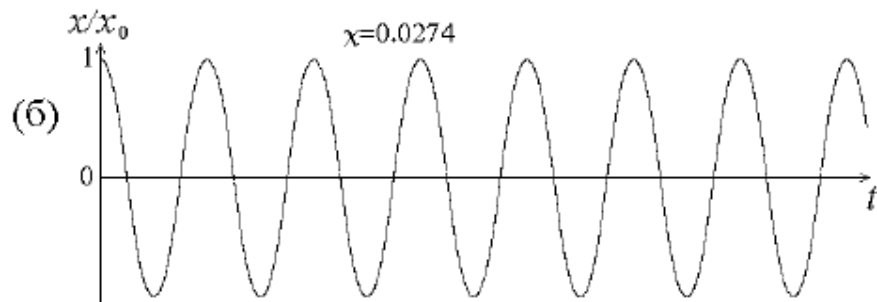
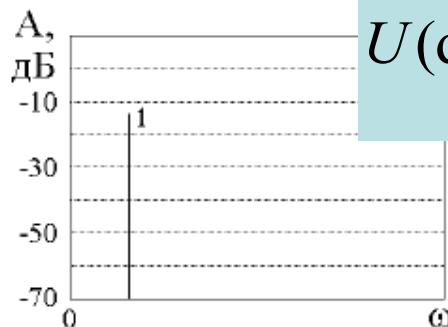
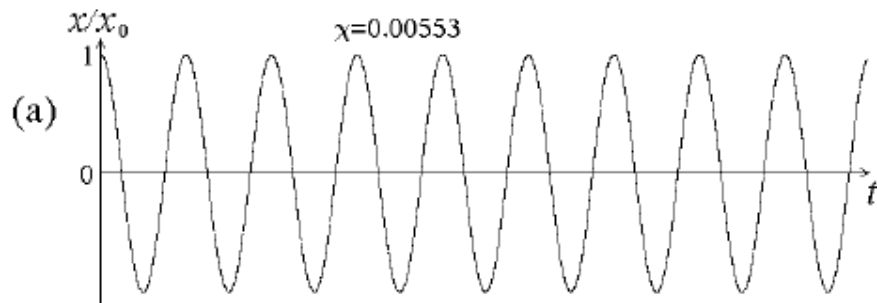
$$\langle \xi^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) d\omega$$

$$P(\omega) = U^2(\omega) / R \quad - \text{МОЩНОСТ}$$

цифрови осцилоскопи – FFT ( $f > 0$ )<sup>8</sup>

# Спектър на мултичестотен синусоиден сигнал

$$U(\text{dB}) = 20 \log_{10} \frac{U(\text{V})}{U_0(\text{V})}$$



**Коефициент на нелинейни изкривявания,**  
 определен от амплитудите на хармоничните във (V):  
 $A_{изх1}$ -на основната честота,  $A_{изх2}$ - втора хармонична,  
 $A_{изх3}$  на третата хармонична

$$K_{\text{КНИ}} = \chi = \sqrt{(A_{\text{изх}2}^2 + A_{\text{изх}3}^2 + \dots)} / A_{\text{изх}1}$$

# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

- спектър на положителни правоъгълни импулси

$$S(t) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^k d_n \cos(n\omega t - \Phi_n)$$

$k$  – крайно число

$$d_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \Phi_n = \arctg(b_n/a_n)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos\left(\frac{2\pi \cdot n}{T} t\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin\left(\frac{2\pi \cdot n}{T} t\right) dt$$

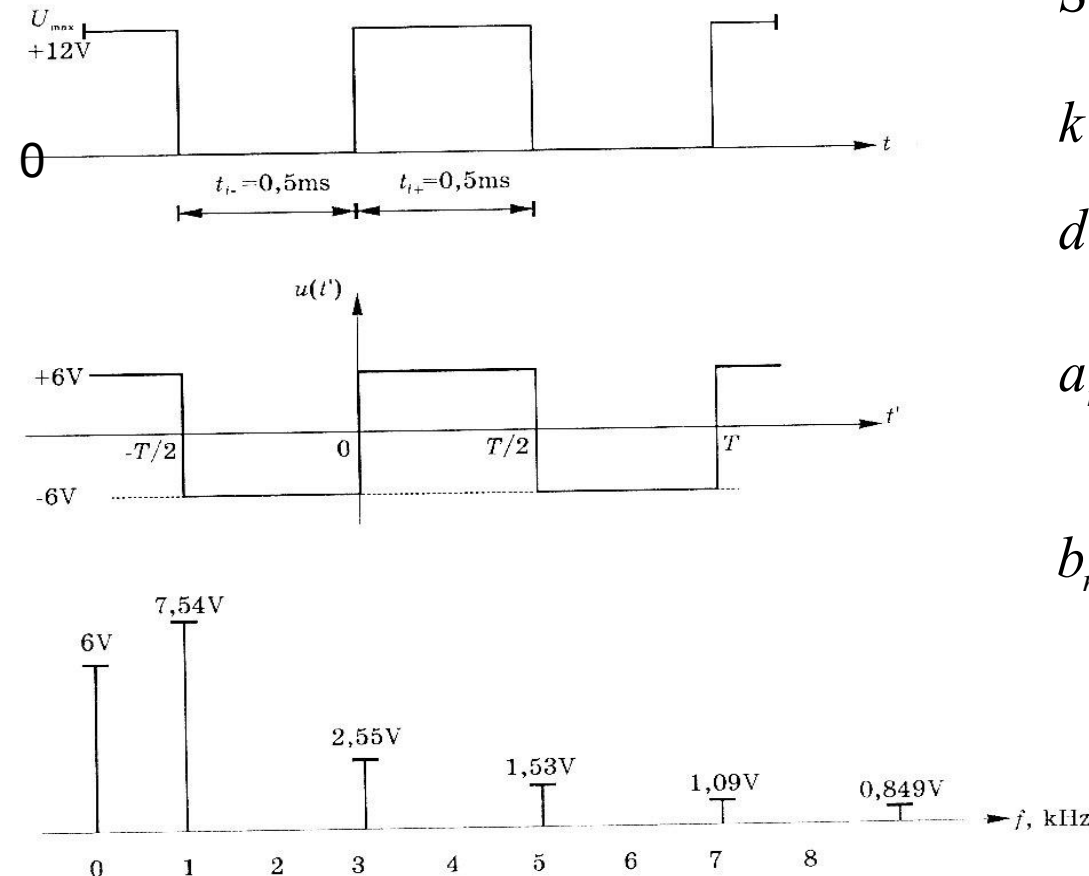
$$f_0 = 1 \text{ kHz}, U_m = 12 \text{ V}, T_0 = 1 \text{ ms}$$

$$a_0 / 2 = 6 \text{ V}, d_n = 2 \cdot U_m / (n \cdot \pi)$$

$$d_1 = 7.64 \text{ V}, d_3 = 2.55 \text{ V},$$

$$d_5 = 1.53 \text{ V}, d_7 = 1.09 \text{ V},$$

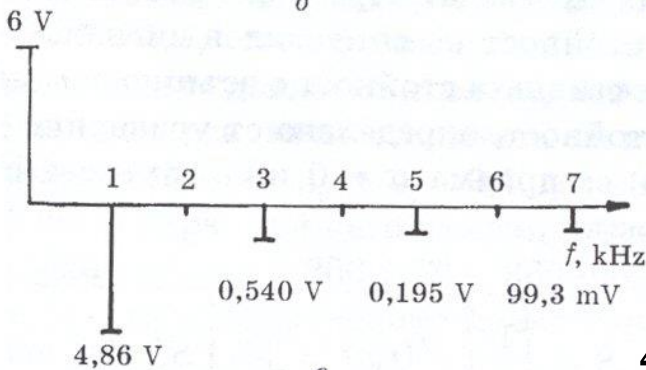
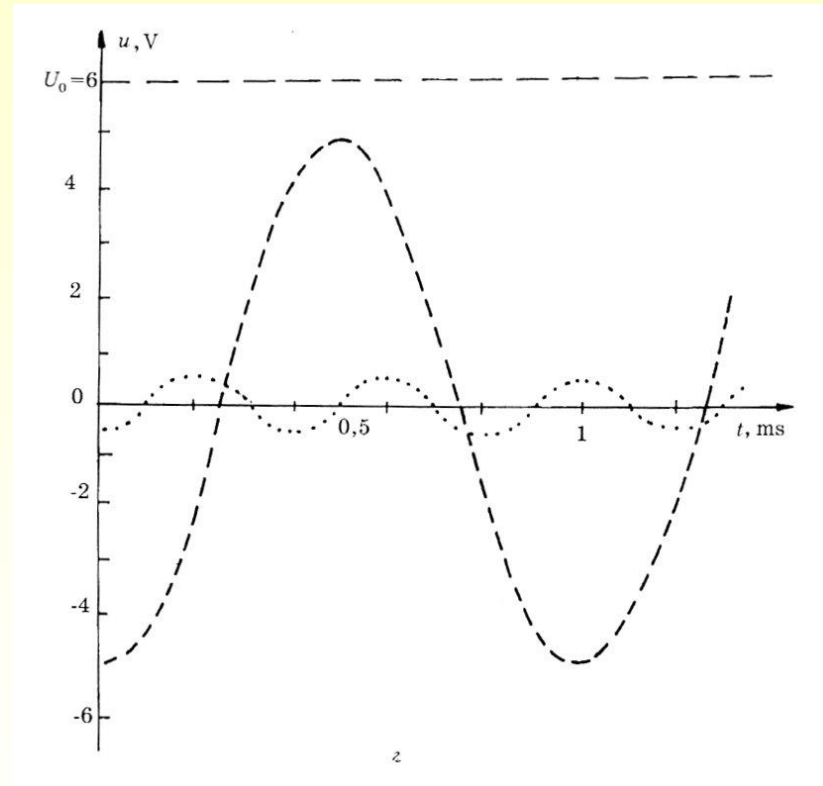
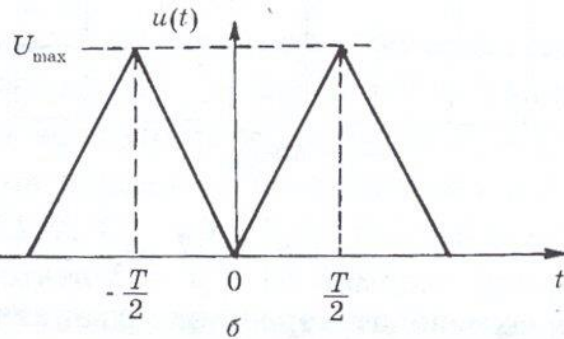
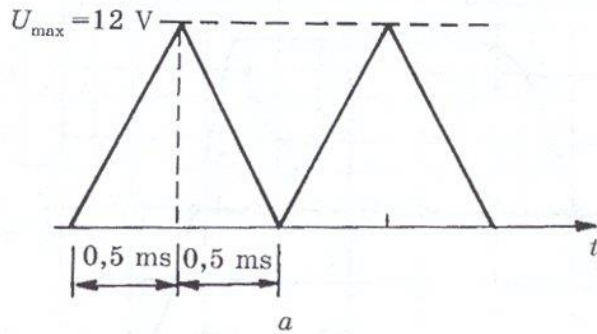
$$d_9 = 0.849 \text{ V}, d_{11} = 0.694 \text{ V}$$



При четна функция ( $s(t) = s(-t)$ ) редът на Фурие съдържа постоянен член и само членове с косинуси а при нечетна ( $s(t) = -s(-t)$ ) само членове със синуси.

# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

- спектър на периодични триъгълни импулси.

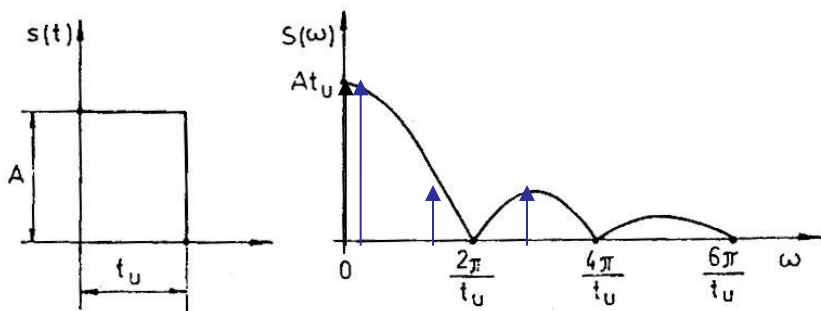


$$u(t) = 6 - \frac{48}{\pi^2} \left( \cos(\omega t) + \frac{1}{9} \cos(3\omega t) + \frac{1}{25} \cos(5\omega t) + \dots \right)$$

# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

## 10. Спектър на неперидични сигнали

Единичен импулс:



$$T_0 \rightarrow \infty, \omega_0 = 2\pi/T_0 \rightarrow 0$$

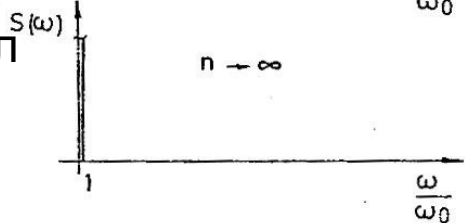
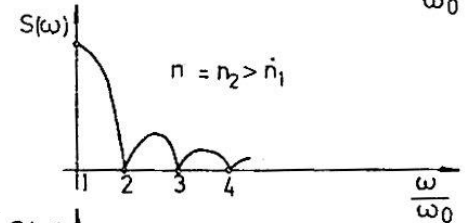
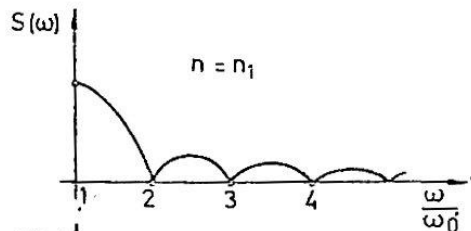
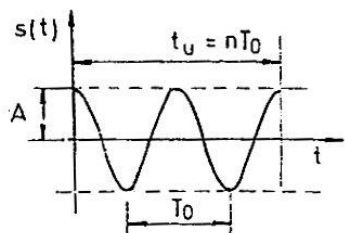
**n.  $\omega_n$  - непрекъснат спектър**

- неперидичните сигнали имат непрекъснат спектър честотни компоненти от 0 до  $\infty$ .

- енергията на импулса е съсредоточена в първите няколко  $2\pi/t_u$  области.

- колкото по-тесен е импулса по време, толкова е по-широк неговия спектър.

- за предаване на **кратки единични импулси** е необходим **канал с широка честотна лента**.



-n-брой периоди на синусоидния сигнал в импулса.

**Пример:** Импулс с продължителност  $t_u = 1 \mu s$  съставен от моночестотен сигнал  $s(t) = S_m \cos(\omega.t)$  с период  $T_0$  и

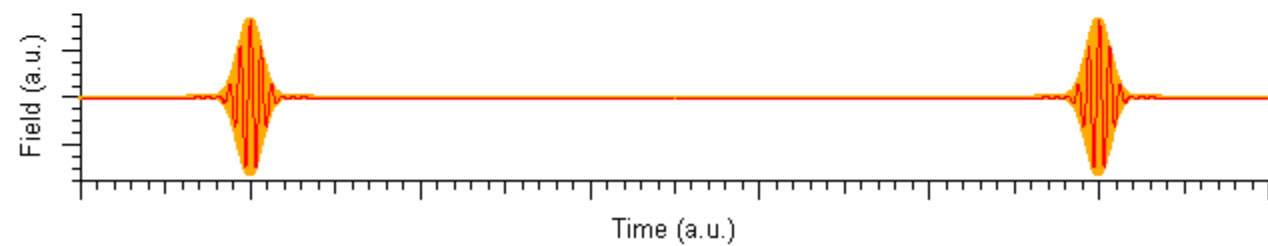
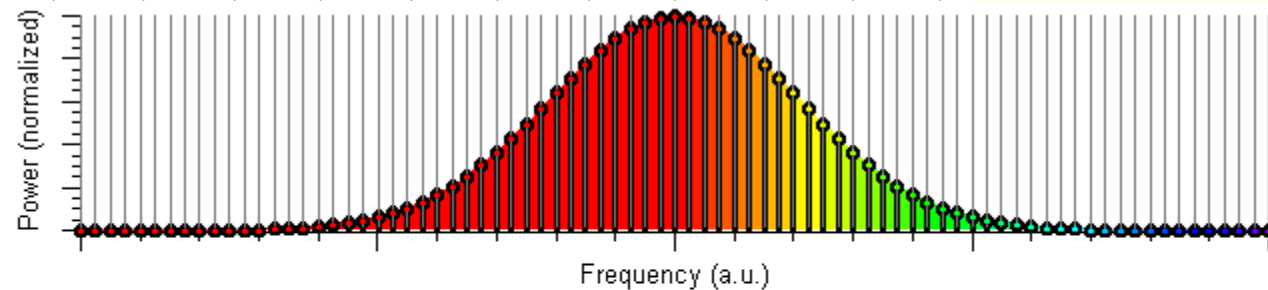
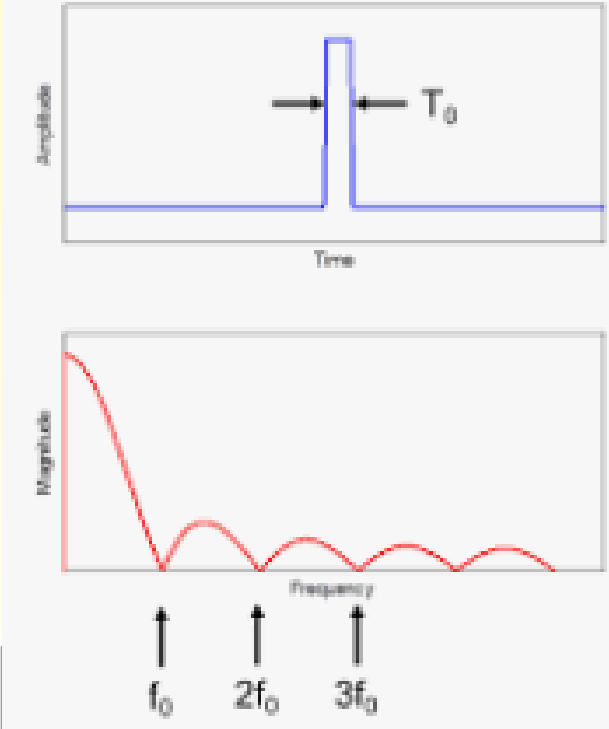
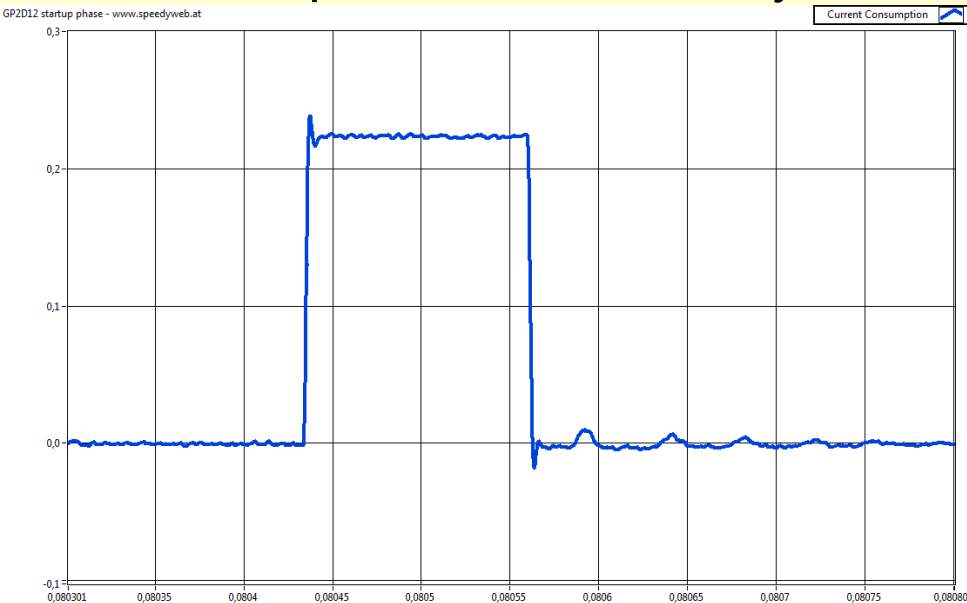
$$n_1 < n_2 \ll n_3 \rightarrow \infty$$

$$1 < 10 \ll 100 \quad 1000$$

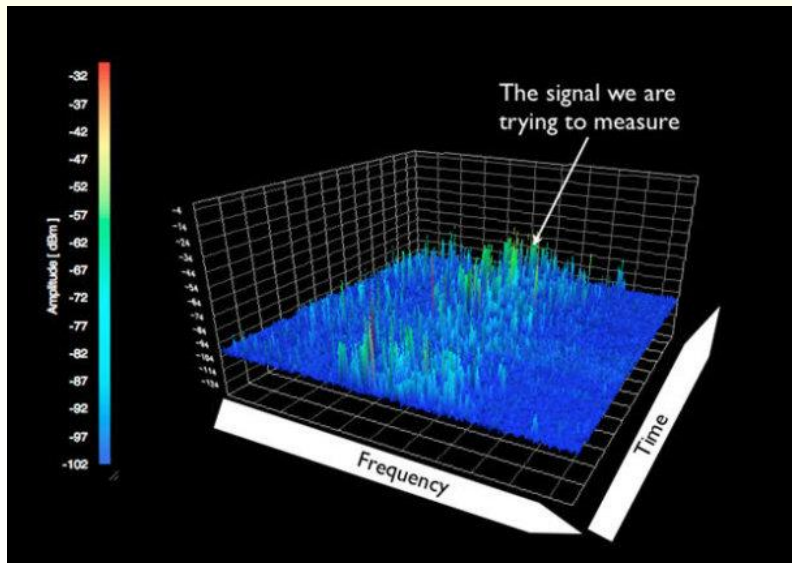
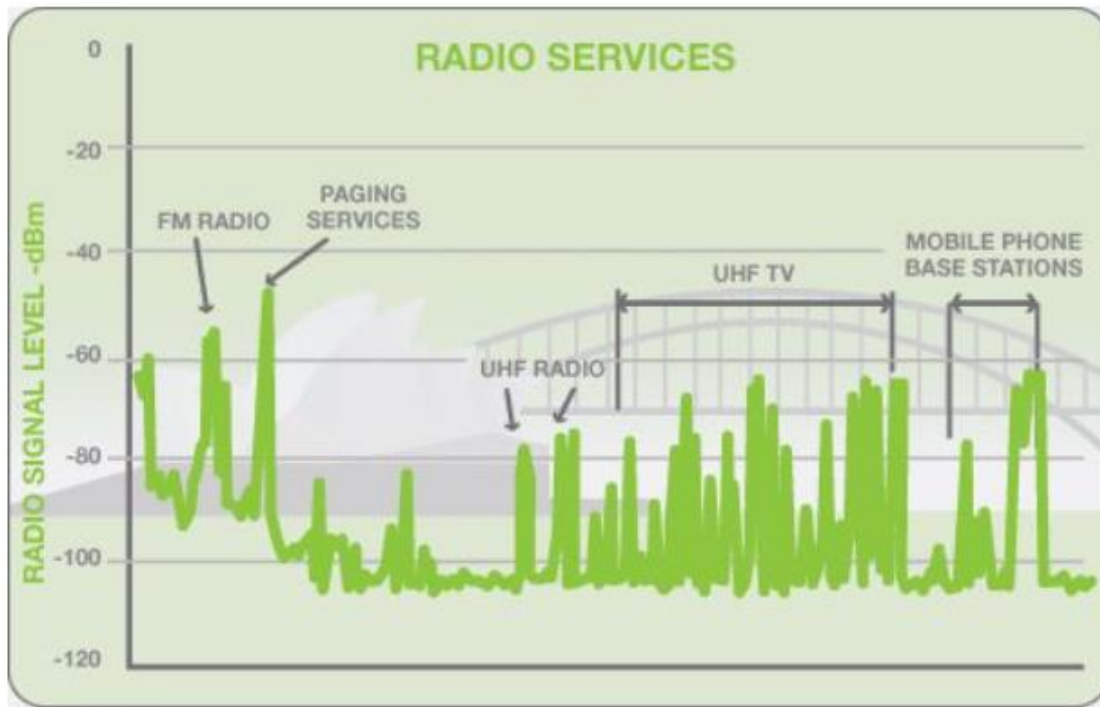
↙↘ (честота 1 MHz, 10 MHz, 100 MHz  $\rightarrow$  1 GHz)

# 4. Сигнали: определение, класификация, основни характеристики на сигнала

## - спектър на единични импулси



# Спектър на сигналите около нас?



Спектър на сигналите:  
Измерването на нивото на приетите  
сигнали е в единици dBm:

$$P_{\text{signal}}(f) = 10 \log \left( \frac{P_{\text{signal}}(f)}{1 \text{ mW}} \right) \quad (\text{dBm})$$

24 Зад.  $P_{\text{max}}=46\text{dBm}$ , колко е  $P$  (W)?