

### Тема 3. Съобщения, сигнали, комуникационни канали.

#### Аналогови и цифрови сигнали и канали, описание във времева и честотна област. Информационни параметри на съобщенията и каналите

#### ОПИСАНИЕ НА СЪОБЩЕНИЯТА

**Съобщенията**, обект на предаване в телекомуникациите, биват аналогови и дискретни. **Дискретни** са съобщенията, изградени чрез набор (азбука) от краен брой символи. Такива са текстовите съобщения и данните.

**Аналогови** (непрекъснати) са съобщенията, изградени от безбройно много символи (използващи безкрайно дълга азбука). Такива са говорните и музикалните съобщения, тези от аналогови сензори и др. Човекът генерира основно аналогови съобщения и основните му сензори (слух, зрение, осезание) възприемат аналогови съобщения. Въпреки това, техническите средства за предаване и съхраняване на съобщения са обект на тотална цифровизация.

Съобщенията се описват обикновено само информационно чрез *количеството информация* и *информационния излишък*, които съдържат, а източниците на съобщения се описват с техните *скорост на създаване на информация (производителност на източника)* и *максималната си информационна производителност (капацитет на източника)*, както и с *информационния си излишък*.

Всяко съобщение носи информация за някаква физическа система, която може да заема различни състояния. Колкото дадено състояние е по-неочаквано (с по-малка вероятност за заемане), толкова повече информация съдържа съобщението за него. Така количеството информация се свързва със степента на неопределеност на системите и с големината на вероятността за заемане на възможните ѝ състояния.

Мярката за неопределеност на една система е нейната **ентропия**. Ако една система  $X$  има  $n$  възможни състояния  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , които може да заема с вероятности  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ , **ентропията**  $H(X)$ , *bit* на тази система се определя по формулата

$$H(X) = - \sum p_i \log_2 p_i, \text{ bit}$$

Ако  $n$ -те състояния се заемат с равни вероятности  $p_i = 1/n$ , ентропията на системата ще бъде максимална

$$H(X)_{\max} = - \sum p_i \log_2 p_i = \log_2 n, \text{ bit}$$

Всяко съобщение  $a_i$  за дадена система намалява нейната неопределеност. Ако началната ентропия на системата е била  $H(X)$  и след получаването на съобщението е намаляла до  $H_1(X)$ , то **количеството информация**, съдържаща се в съобщението, е равна на това намаление.

$$I_a = H(X) - H_1(X), \text{ bit.}$$

Ако съобщението е изяснило напълно системата, т.е.  $H_1(X) = 0$ , то

$$I_a = H(X), \text{ bit.}$$

Така, количеството информация в съобщение, изясняващо напълно състоянието на система с 2 равновероятни състояния, ще бъде

$$I_a = H(X) = \log_2 n, = \log_2 2, = 1 \text{ bit,}$$

а на система с 32 равновероятни състояния:

$$I_a = H(X) = \log_2 n, = \log_2 32 = \log_2 2^5 = 5 \text{ bit.}$$

Ако състоянията не са равновероятни,  $I_a = H(X)$  ще се изчислява по общата формула за ентропия. Тогава

$$H(X) = -\sum p_i \log_2 p_i < H(X)_{\max} = \log_2 n, \text{ bit}$$

и количеството информация в съобщението ще е по-малко от максималното

$$I_{a \max} = H(X)_{\max}$$

т.е. все едно, че съобщението е недонатоварено с информация. За да се оцени тази недонатовареност, се въвежда мярката **информационен излишък  $R$  на източника на съобщението**

$$R = \left(1 - \frac{H}{H_{\max}}\right) \cdot 100, \%$$

В теорията на информацията под **източник на съобщение** се разбира набора (ансамбъла) от съобщенията за дадена система заедно с техните вероятности за поява. Излишъкът  $R$  очевидно е параметър и на съобщението. Съвременните говорими езици имат излишък от над 70%, защото отделните символи са свързани със сложни вероятностни връзки и така езикът може да служи при неидеални условия (напр. силен околнен шум), когато могат да се изгубят дори 70% от предаваните символи. При опростените, формализирани езици, напр. в телеграмите, този излишък достига до 90%. **Данните (цифровите съобщения) имат нулев информационен излишък и затова никакви загуби на символи (никакви грешки при предаването) не са допустими.** Понеже в телекомуникационните канали има смущения, които предизвикват грешки, се налага използване на специални шумоустойчиви кодове, които на практика въвеждат информационен излишък.

Информационна **производителност  $H_t$  (bit/s)** на източника се нарича количеството информация, произвеждана за единица време.

**Капацитет на източника  $C_u$  (bit/s)** се нарича неговата максимална производителност

$$C_u = H_{\max}(\text{bit/s})$$

Казаното до тук е много елементарно въведение в теорията на информацията

## ОПИСАНИЕ НА СИГНАЛИТЕ

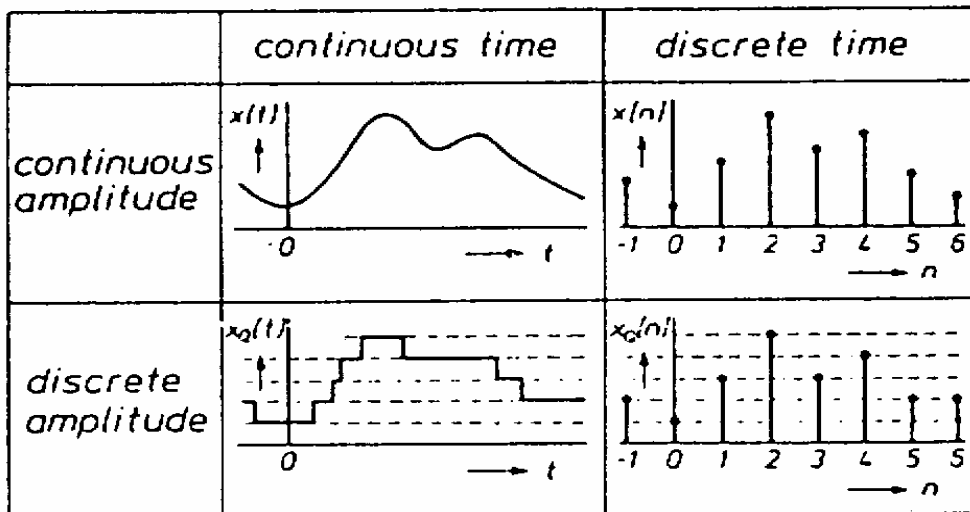
Сигнал се нарича **променяща се във времето** (в такт със съобщението) **физическа величина**, напр. електрическо напрежение или ток, интензивност на светлина, звуково налягане. Съществуват 4 типа сигнали:

а) **аналогови  $x(t)$**  (непрекъснати по време и по амплитуда),

б) **дискретни по време, но с аналогова амплитуда  $x(n)$** , където с  $n=nT$  е означено дискретизираното през интервали на дискретизация  $T$ ,  $s$ , време,

в) **аналогови по време, но с дискретни (краен брой) амплитуди  $x_q(t)$** , където индексът  $q$  означава **quantized** – квантуван, дискретизиран по амплитуда,

г) **цифрови  $x_q(n)$**  (дискретни по време и по амплитуда).



Най-често срещани в комуникациите са аналоговите и цифровите сигнали.

Сигналите се описват във **времева** и в **честотна** области, а също и в по-абстрактни области (като операторни функции, отношения на полиноми с **променлива  $s$**  – оператор на Лаплас – при аналогови сигнали и с **променлива  $z$**  – при цифрови сигнали). Информационното описание на сигналите съвпада с това на съобщенията, които те пренасят.

### Описание на сигналите във времева област

Времето описание на сигналите е това, което се вижда на екрана на осцилоскопа. Сигналите във времева област могат да бъдат:

а) **периодични** (с период на повторение  $T$ ),

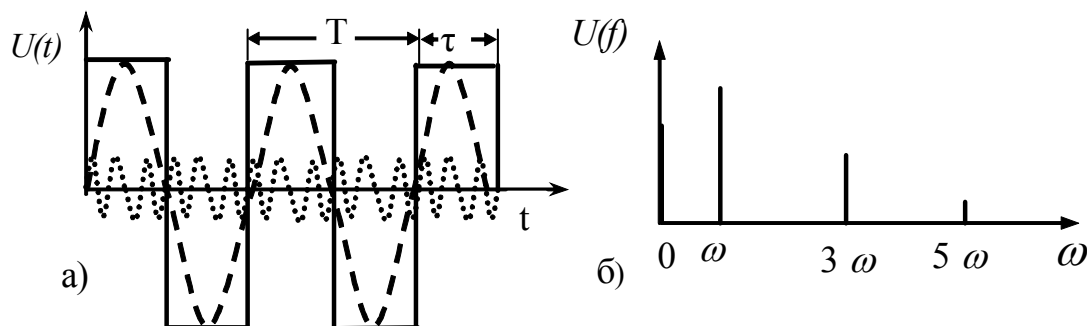
б) **непериодични**,

а в зависимост от степента на тяхната предсказуемост биват:

а) **детерминирани** – напълно предсказуеми и описвани с формула,

б) **случайни** – описвани с теорията на случайните процеси чрез различни статистически характеристики.

Детерминираниите сигнали не съдържат (не носят) полезна информация. Те са напълно описани и известни в приемната страна и могат да бъдат генерирани направо там. Сигналите, които пренасят информация, имат винаги вероятностен (случаен) характер.



*Периодичен дискретен сигнал във времева (а) и честотна (б) области*

**Скорост на предаване  $B$  (Baud)** на дискретен сигнал се нарича броят импулси (броят дискретни стойности) предавани за една секунда

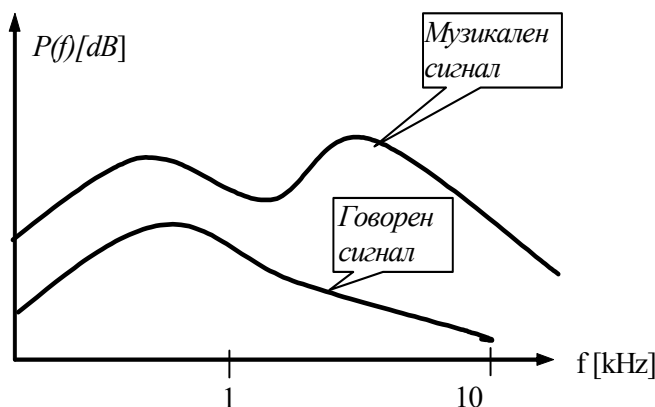
$$B = 1/\tau, \text{ Baud.}$$

**Ефективна продължителност  $\tau_e$**  на сигнала се нарича интервалът от време, в който се разполага основната част (напр. 90%) от енергията на сигнала.

### Описание на сигналите в честотна област

Детерминираниите **периодични** сигнали се описват в честотна област чрез техните **амплитуден** (виж горната фигура) и **фазов спектри**, получени чрез редове на Фурие. Периодичните сигнали имат дискретен (линейчат) спектър. Спектралното описание на неперидичните сигнали се получава от описанието във времева област чрез правото преобразуване на Фурие като **спектрална плътност**, която има непрекъснат характер.

Вместо амплитуден спектър при случайните сигнали се работи с т.нар. **енергиен спектър**, който дава представа за разпределението на енергията на сигнала за различни честоти. Той се получава по формулата на Винер-Хинчин.



*а) Енергийни спектри на звукови сигнали*

**Ефективна ширина  $F_e$**  на спектъра на сигнала се нарича лентата от честоти, в която се разполага основната част (напр. 90%) от енергията на сигнала. Съществува любопитна закономерност, свързваща параметри от честотна и времева области, съгласно която за всеки сигнал

$$F_e \tau_e = \text{const.}$$

Това означава, че:

1. Ако се скъсява сигнала, ширината на спектъра му се увеличава, защото

$$F_e = \text{const} / \tau_e.$$

2. Най-подходящи за предаване на информация са сигналите, чието произведение  $F_e \tau_e$  е минимално. Такива са сигналите с камбановидна форма.

Ефективната ширина  $F_e$  на спектъра на говорните сигнали с телефонно качество е само 3.1 kHz (от 0.3 до 3.4 kHz), на музикалните сигнали с много високо (Hi-Fi) качество е около 20 kHz (от 20 Hz до 20 kHz), а с УКВ или магнетофонно Hi-Fi-качество – 12.5 kHz, на т.в. сигналите – около 13 MHz.

### bit, Baud, Byte

В Изчислителната техника обикновено се работи само с двоични сигнали („единици” и „нули”) и ако те са равновероятни, всеки от тези двоични сигнали носи по един bit информация. Затова там често наричат импулсите и двоичните символи **битове** и мярката **скорост на предаване на информация в bit/s** (означавана още като **bps** – bits per second) съвпада по стойност с мярката **брой импулси за секунда в Baud**. Затова компютърните специалисти никога не използват единицата Baud.

В Комуникационната техника, за да се повиши скоростта на предаване на информацията, се предават дискретни сигнали с повече възможни състояния, напр. 4, 8, 16, 256 и т.н. Тогава всеки импулс носи 2, 3, 4 или 8 bit информация. Ако се работи с импулси с 256 стойности и скоростта на предаване на импулсите е напр. 2000 Baud, то скоростта на предаване на информацията с тези импулси ще бъде  $2000 \cdot 8 = 16000$  bit/s.

**Byte** се нарича група (кодова комбинация) от 8 bit или двоични сигнали. При оценка на скоростите на предаване на информация в Интернет, много често се използва единицата мярка Byte/s, респ. kByte/s и MByte/s, означавани по-често като B/s, kB/s и MB/s. Ясно е, че **на скорост на предаване от 250 kB/s съответства 2 Mbps**.

### Електрически параметри на сигналите

**Напрежение, ток и мощност** в абсолютни единици (V, A, W).

**Ниво по напрежение  $p_u$**  – напрежение  $U$  в относителни логаритмични единици (децибели – dB) – отнесено към 0.775 V

$$p_u = 20 \lg(U/0.775), \text{ dB}$$

**Ниво по мощност**  $p_w$  - мощност  $P_s$  в относителни логаритмични единици (децибели по мощност – dBm) – отнесено към 0.001 W

$$p_w = 10 \lg \frac{P_s}{0.001}, \text{ dBm}$$

**Динамичен обхват (диапазон)**  $D_s$  на сигнала:

$$D_s = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_{min}}, \text{ dBm}$$

представляващ логаритъм от отношението на максималната към минималната мигновена мощност на сигнала.

**Пикфактор на сигнала**  $Q$  – логаритъм от отношението на максималната към средната мощност  $P_{av}$  на сигнала

$$Q = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_{av}}, \text{ dBm}$$

В реалните комуникационни канали нивото на сигналите по мощност рядко надвишава 0 dBm. Динамичният обхват на говорните сигнали с телефонно качество е 20-35 dBm, а пикфакторът  $Q$  – 14-18 dBm.

## ОПИСАНИЕ НА КОМУНИКАЦИОННИТЕ КАНАЛИ

**Комуникационен канал** нарекохме техническата част на комуникационната система (без източника и получателя на съобщението). Каналите също биват аналогови и дискретни (цифрови) и също се описват с **електрически, времеви, честотни и информационни параметри**.

### Електрически параметри на каналите

**Допустимо ниво**  $p_{wk.don}$  на входа на канала.

**Динамичен обхват**  $D_k$  на канала

$$D_k = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_N}, \text{ dB},$$

представляващ лог. отношение на максимално допустимата мощност на входа на канала към мощността  $P_N$  на шуменията. Динамичният диапазон на аналогов телефонен канал е около 45 dB, а на музикално CD, разгледано като канал за предаване на информация – над 92 dB.

**Условия за неизкривено предаване:**  $D_s \leq D_k$  и  $p_{ws.max} \leq p_{wk.don}$

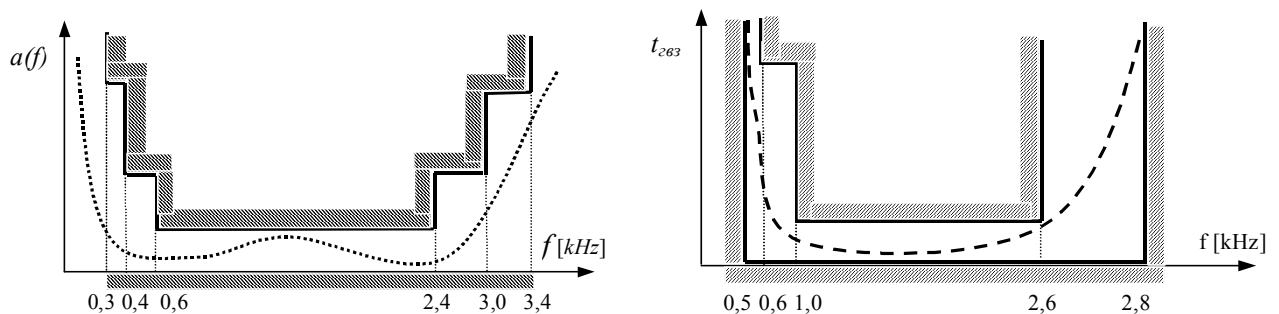
**Затихване**  $A(\omega)$  и **усилване**  $G(\omega)$  на канала:  $A(\omega) = -G(\omega) = 10 \lg \frac{P_{ex}}{P_{из}}, \text{ dBm}$

В комуникациите се използват няколко мерки за затихване, дефинирани при различни стойности на товарните съпротивления на канала.

## Описание на каналите в честотна област

Ако се разглеждат като линейни електрически вериги, каналите се описват с техните **амплитудно-честотна**  $K(\omega)$  и **фазово-честотна**  $\phi(\omega)$  **характеристики (АЧХ и ФЧХ)**. Вместо с АЧХ, която съвпада с усилването  $G(\omega)$ , по-често се работи с реципрочната и логаритмична мярка – затихването  $A(\omega)$ . Вместо с ФЧХ, която трудно се измерва при географски разместени вход и изход на каналите, по-често се работи с т. нар. групово време на закъснение  $t_{\text{згз}}(\omega)$

$$t_{\text{згз}}(\omega) = -d\phi(\omega)/d(\omega), \text{ s}$$

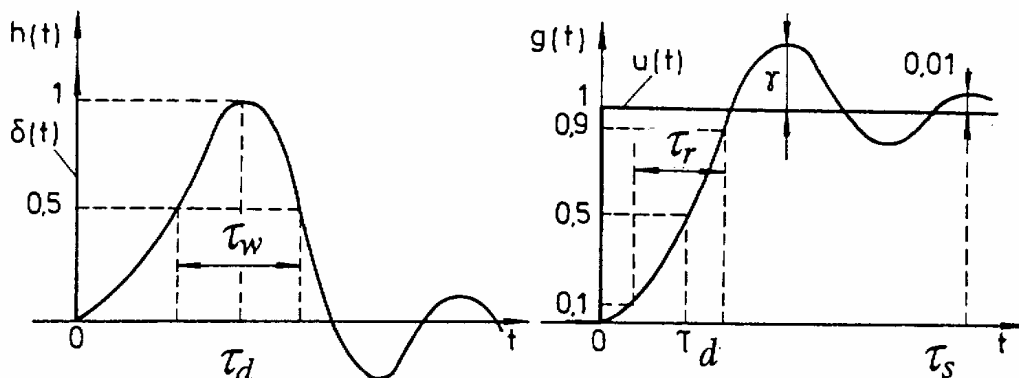


*Шаблони за неравномерностите на затихването  $a(f)$  и ГВЗ  $t_{\text{згз}}(\omega)$  на аналогов телефонен канал*

**Честотна лента ( $F_k$ )** на канала се нарича диапазонът на пропускане на канала, в който затихването не надвишава зададена стойност (най-често 3dB). Освен с  $F_k$  тя често се означава с  $BW_k$  (от bandwidth).

## Описание на каналите във времева област

Като линейни вериги, каналите се описват във времева област с техните **импулсна**  $h(t)$  и **преходна**  $g(t)$  характеристики, представляващи реакцията на канала на делта-функция и на единично напрежение подадени на входа.



Ширината  $\tau_w$  на импулсната характеристика, която е приблизително равна на времето за нарастване  $\tau_r$  на переходната характеристика, ограничава максималната скорост на предаване на импулсни сигнали  $B_{\text{max}}$  (Baud) по каналите. Тя е пряко свързана и с ширината на честотната лента  $F_k$  чрез

популярния критерий на Найкуист

$B_{max} = 2 F_k$ , Baud – за нискочестотни (т. нар. base-band) канали

$B_{max} = F_k$ , Baud – за лентови (високочестотни) канали)

Известно е друго фундаментално ограничение, свързващо честотните и времевите параметри на каналите

$$F_k \tau_w = \text{const} > 1/\pi = 0.318$$

При инженерни пресмятания се приема

$$F_k \tau_w > 0.35$$

### Информационно описание на каналите

Пропускателна способност на канала  $C_k$  (bit/s)

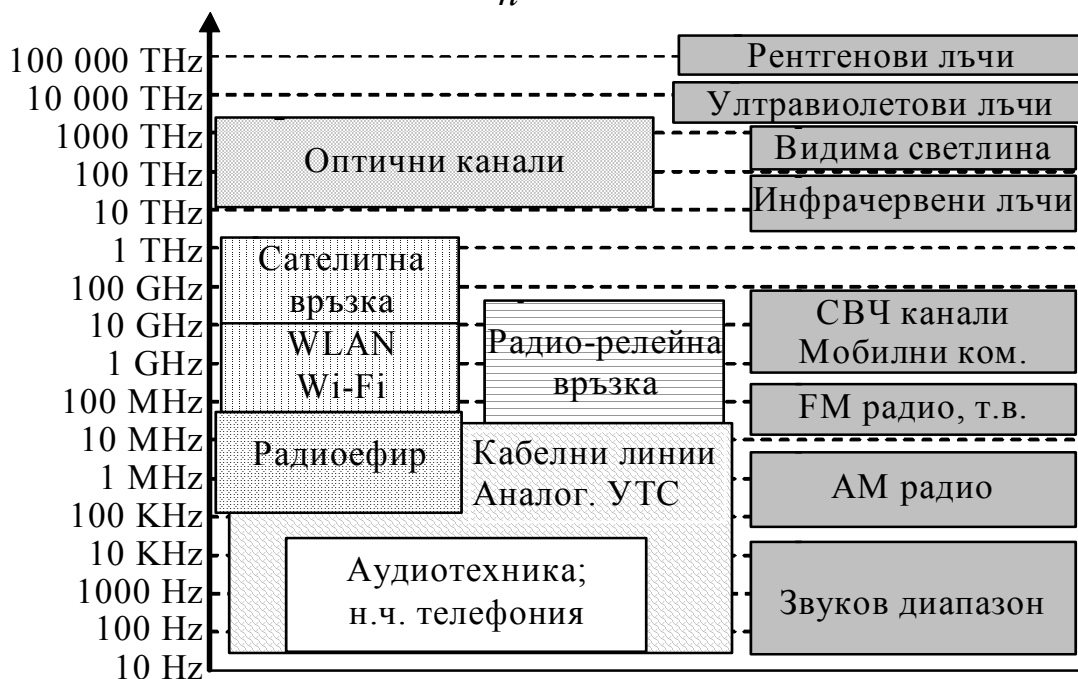
$$C_k = F_k \log_2 \left( 1 + \frac{P_s}{P_N} \right), \text{ bit/s}$$

В дискретен канал без смущения:  $C_{k.max} = B_{max} \cdot \log_2 m$ , bit/s

където  $m$  е броя на възможните равновероятни стойности на сигнала

Шумоустойчивост на канала

- грешка по импулс: (Bit Error Rate - BER)  $p_o = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_o}{n}$ ,
- достоверност:  $D = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_{np}}{n} = 1 - p_o$



Разпределение на честотните диапазони в комуникациите