

## 14 Správa, informácia, signál

**Cieľ kapitoly:** Uviesť základné pojmy z teórie informácie a vysvetliť ich spojitosť s parametrami elektronických komunikačných systémov pre prenos informačných signálov. Zorientovať čitateľa v problematike zdrojov audio a video signálov.

### Prirodzené biologické formy komunikácie.

Najviac sa v prírode evolučne vyvinuli formy vzájomnej komunikácie medzi ľuďmi. Najdokonalejším prostriedkom ľudskej komunikácie je reč. Na rôznej úrovni komunikujú medzi sebou aj iné živočíchy, ale ich komunikácia je pre človeka viac menej neznámy kód. Hlavným nedostatkom pri rečovej komunikácii je jej priestorové obmedzenie spôsobené poklesom intenzity zvuku pri väčšej vzdialenosti komunikujúcich osôb. Uvedené obmedzenie sa ľudia snažili odstrániť rôznymi technickými spôsobmi komunikácie na diaľku (telekomunikáciou).

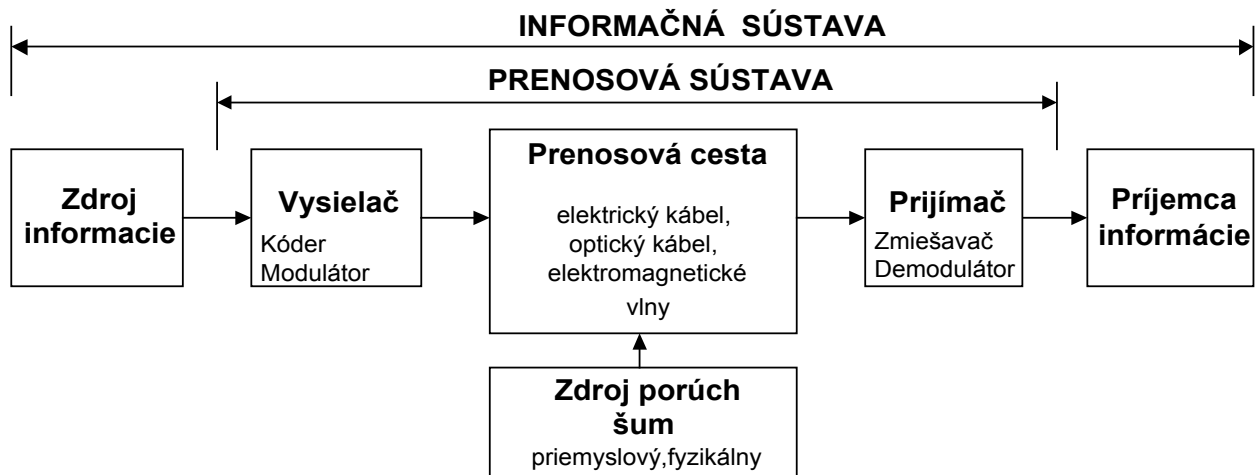
### 14.1 Technické spôsoby telekomunikácie

- |                    |   |
|--------------------|---|
| • napísaný list    | je to zakódovaná reč - časovo neobmedzená správa      |
| • signalizácia     | optická – dohodnuté signály v reálnom čase            |
| • telegraf         | Morzeho telegrafný kód - digitálny spôsob komunikácie |
| • telefón          | analógový drôtový telekomunikačný systém              |
| • rozhlas          | KBKA Pittsburg (od r. 1920) - rádiokomunikácia        |
| • ďalekopis        | prenos textových správ telefónnym vedením             |
| • telefax          | prenos dokumentov telefónnym vedením                  |
| • televízia        | elektronický prenos pohyblivých obrazov               |
| • počítačové siete | komunikácia: človek - počítač - počítač - človek      |

**Správou** je teda okrem reči, písma a obrazov pre človeka aj údaj meracieho prístroja, schéma a podobne.

**Signál** je ľubovoľná fyzikálna veličina alebo fyzikálny proces v ktorom sa niektorý zvolený parameter v čase zhodne mení s prenášanou správou (informáciou) podľa vopred zvolených pravidiel. Signál je materiálnym nosičom informácie v priestore a v čase (akustický tlak, elektrické napätie, elektromagnetické vlny a podobne). Reálne informácie sú **náhodné funkcie** času.

## 14.2 Informačná a prenosová sústava



Obr. 14.1 Bloková schéma informačnej a technickej prenosovej sústavy

**Prenosová sústava** je súbor technických prostriedkov slúžiacich na prenos správ (informácií) na väčšiu vzdialenosť. Najpoužívanejšie typy prenosových sústav sú:

- telekomunikačný drôtový systém pre prenos hlasu a dát – základná telefónna sieť,
- rádiokomunikačný systém – pozemský (terestriálny), alebo družicový,
- optický komunikačný systém – optické káble pre prenos dát

Problematikou definície informácie, určenie jej množstva, štruktúry, nadbytočnosti (redundancie) a vplyvom porúch pri prenose sa zaoberá **Teória informácie** (Shannon, Hartley, Kotelnikov...)

Rozhodujúcim kritériom pre hodnotenie a meranie informácie nie je zmysel správy ani fyzikálny proces, ktorým je správa prenášaná, ale **miera a spôsob organizácie množiny informačných symbolov**, ktoré tvoria správu. Informačným symbolom sa rozumie elementárny prvok pri konštrukcii informačného pojmu.

### Informačný zdroj

Informácia je množina elementárnych informačných symbolov, z ktorých uskutočňujeme výber podľa zvoleného systému.

Napr.

$$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$$

$$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$$

$$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$$

$p_n$  - pravdepodobnosť výskytu informačných symbolov.

Pri hracej kočke máme

$$A_1 = 1, \quad A_2 = 2, \quad A_3 = 3, \quad \dots, \quad A_6 = 6$$

$$\uparrow \quad \quad \uparrow \quad \quad \uparrow \quad \quad \uparrow \quad \quad \uparrow$$

$$p_1 = \frac{1}{6}, \quad p_2 = \frac{1}{6}, \quad p_3 = \frac{1}{6}, \quad \dots, \quad p_6 = \frac{1}{6}$$

V tomto prípade je pravdepodobnosť výskytu jednotlivých symbolov rovnaká.

Druhý príklad: (bežná abeceda písma)

$$\begin{array}{cccccc} A_1 = a, & A_2 = b, & A_3 = c, & \dots, & A_n = z \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ p_1 = ?, & p_2 = ?, & p_3 = ?, & \dots, & p_n = ? \end{array}$$

Pravdepodobnosť výskytu jednotlivých písmen abecedy (informačných symbolov) v slovenčine (ani v iných jazykoch) nie sú rovnaké. Lingvisti toto rozloženie pravdepodobnosti poznajú zo štatistického rozboru toho ktorého jazyka. Čím je väčšia neurčitosť pri výbere prvkov, tým väčšie množstvo informácie zo zdroja získavame. Stupeň neurčitosti je závislý na organizácii množiny. Neurčitosť stúpa ak:

- 1) ak sa  $p_1, p_2, \dots, p_n$  približujú k tej istej hodnote  $\frac{1}{n}$
- 2) ak rastie počet elementov množiny

Pozn.: Obyčajne platí:  $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$

### Miera informácie (množstvo)

Za kvantitatívnu mieru informácie bola na základe skúsenosti prijatá definíciou miera:

$$I = \log_a \frac{1}{p_i} = -\log_a p_i \quad (14.1)$$

Napr. abeceda s dvomi symbolmi "0", "1" dáva pre jeden symbol informačný obsah  $I = \log_2 2 = 1$  - jednotka informácie pre binárnu číselnú sústavu je 1 bit = binary digit.

Základ logaritmov môže byť aj iný ako 2, ale pre dvojkovú sústavu (ktorá sa technicky presadila) sa hodí číslo 2.

Pre správu, ktorá má informačné symboly s počtom "Z" elementov a uskutoční sa "m" výberov platí pre množstvo informácie:

$$I = \sum_{l=1}^m \log_2 z \quad (14.2)$$

ak platí  $p_i = \frac{1}{z^m}$  (rovnomé rozdelenie)

Príklad: Informácia obsiahnutá v jednej ďalekopisnej značke (5 elementov) je:

$$I = 5 \log_2 2 = 5 \text{ bitov}$$

Informácia slova so siedmymi ďalekopisnými značkami  $I = 7 \cdot 5 \log_2 2 = 35 \text{ bitov}$

**Informačný tok** je množstvo informácie, ktoré prejde za 1 s.

$$\Phi_{\text{inf}} = \frac{I}{T} \quad \left[ \frac{\text{bit}}{\text{s}} \right] \quad (14.3)$$

### 14.3 Elektrické signály

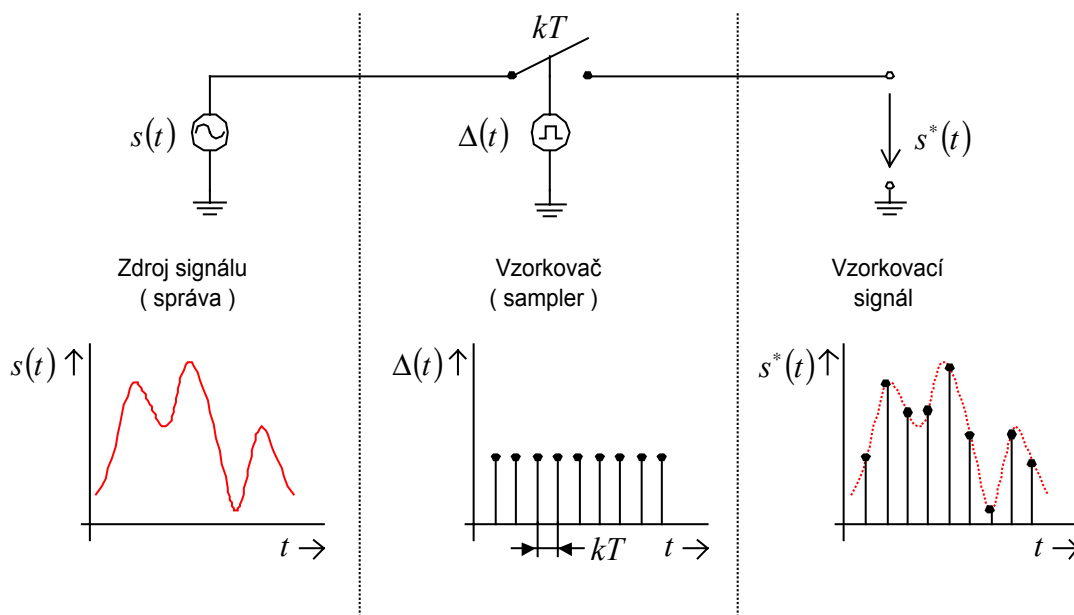
Elektromagnetické veličiny ako sú napätie, prúd a elektromagnetické pole bývajú najčastejšie používaným nositeľom správy (informácie). Reálne signály obsahujúce informáciu sú **náhodné funkcie času** a môžu mať:

- spojitý (analogový) charakter
- číslicový (digitálny) charakter

Väčšina informačných signálov má pri svojom vzniku analogový charakter. Prijemca správ, ktorým je najčastejšie človek je tak isto prirodzene prispôsobený prijímať signály nesúce správu v časovo spojitom podobe. Z hľadiska spracovania a prenosu signálov sa však ukazuje výhodnejším časovo diskretný, nespojitý tvar signálu. Argumenty pre transformáciu analogových signálov na časovo nespojité, resp. číslicové sú však rýdzo technické. Prvou operáciou pri tejto premene je vzorkovanie spojitého signálu (podľa obr. 14.2).

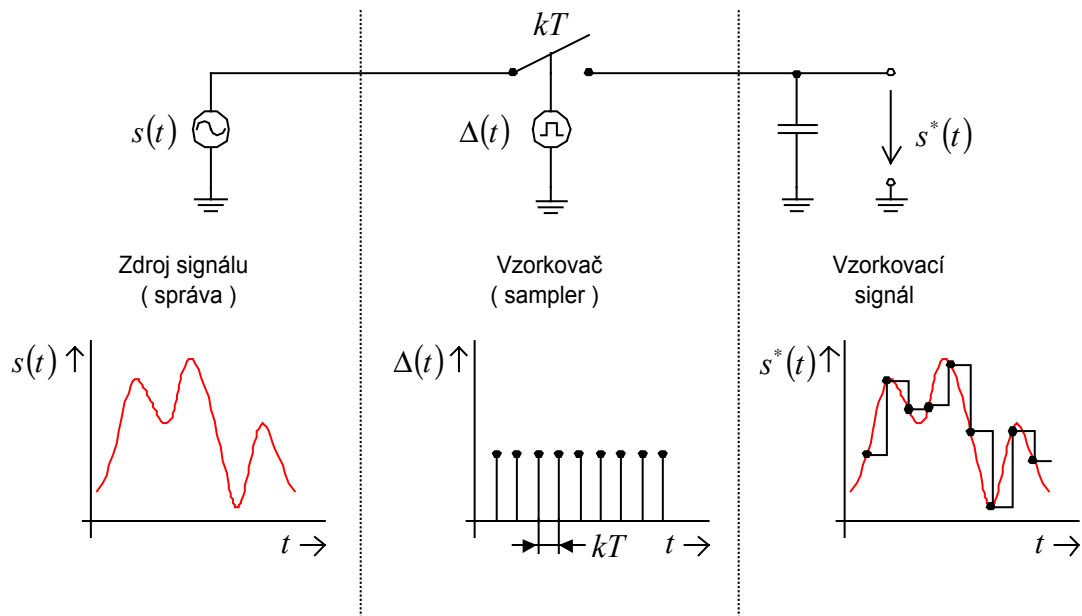
#### Vzorkovanie spojitého signálu

Vzorkovaný signál je signál diskretný v čase, amplitúda vzoriek odpovedá okamžitej hodnote spojitého signálu v okamihoch vzorkovania. Realizácia vzoriek spojitého signálu sa dá principiálne urobiť podľa nasledujúceho obrázku.



Obr. 14.2 Principiálna realizácia elektrického vzorkovacieho obvodu (vzorkovač)

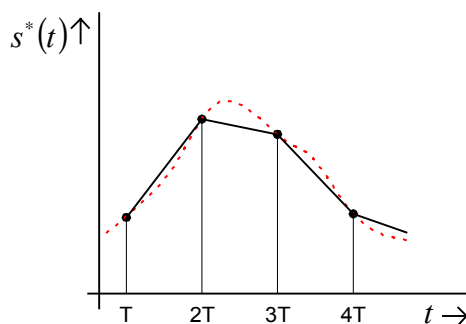
Ak pridáme k vzorkovaču pamäť získame **vzorkovač s pamäťou** (S&H - Sample and Hold)



Obr 14.3 Princiálna realizácia elektrického vzorkovacieho obvodu s pamäťou

### Rekonštrukcia pôvodného signálu zo vzoriek

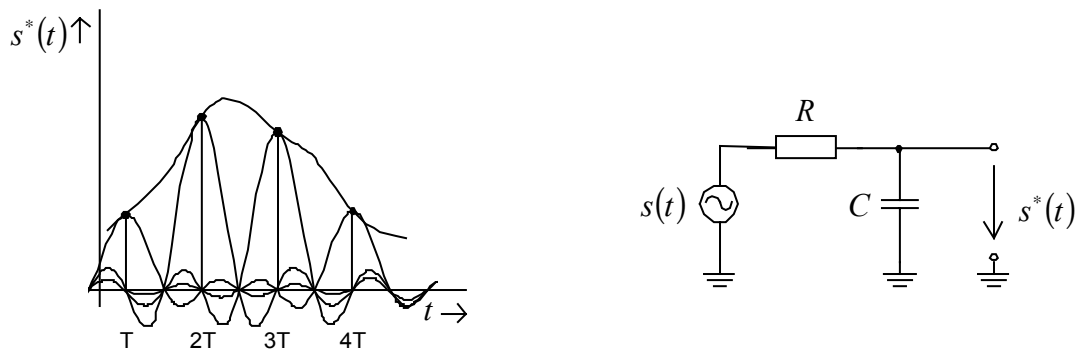
Vzorkovaný signál má svoje výhody pri spracovaní správ napríklad pomocou počítača, aj pri prenose správ pomocou časového multiplexu. Prijemca správy (človek) obyčajne požaduje informácie v spojitom tvare. Preto je potrebné urobiť opačný proces ako je vzorkovanie.



Obr. 14.4 Získanie približného tvaru správy zo vzoriek lineárnou interpoláciou

Rekonštrukcia signálu zo vzoriek pomocou lineárnej interpolácie, ktorú vieme realizovať napr. pomocou počítača je vhodná pre relatívne pomaly sa meniace signály, napríklad biosignály získané telemetriou.

Ďalší spôsob rekonštrukcie je založený na vzorkovacej teoréme (Shannon – Kotelnikov) a využíva na tento účel dolnopriepustný filter (pre ideálnu rekonštrukciu je potrebný ideálny DP filter).



Obr. 14.5 Ideálna rekonštrukcia signálu zo vzoriek pomocou superpozície odoziev ideálneho filtra a jej približná realizácia pomocou DP RC filtra.

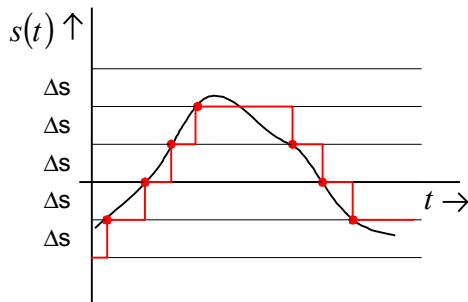
Základná otázka vzorkovania znie takto: Ako často treba vzorkovať pôvodný signál  $s(t)$ , aby rekonštruovaný signál  $s'(t)$  bol čo najmenej skreslený? Odpoveď na túto otázku dáva práve **vzorkovacia teoréma**, ktorá hovorí, že signál, ktorého maximálna frekvencia spektra je  $f_{max}$  stačí teoreticky vzorkovať s periódou

$$T = \frac{1}{2f_{max}} \quad (14.4)$$

Ak sa na rekonštrukciu použije teoreticky ideálny DP filter je rekonštrukcia presná vo všetkých bodoch (časových okamihoch). V praxi nevieme realizovať ani ideálne vzorky ani ideálny filter - preto sa volí vzorkovacia frekvencia väčšia (2-3 krát) ako umožňuje vzorkovacia teoréma.

### Kvantovanie spojitého signálu

Na rozdiel od vzorkovania budeme pod kvantovaním spojitého signálu rozumieť jeho nahradenie konečným počtom hodnôt amplitúdy. (kvantovanie resp. diskretizácia veľkosti signálu).



Obr. 14.6 Kvantovaný signál  $s_{kv}(t)$  - rovnomerné kvantovanie, (signál diskretný v hodnote, spojitý v čase)

Kvantovanie dovoľuje okrem iného pochopiť aj množstvo informácie, ktoré prenáša **spojitý signál so šumom**, čo je vždy reálna situácia v praxi. (Spojitý signál bez šumu obsahuje teoreticky nekonečné množstvo informácie).

**Číslcový signál** vyjadruje amplitúdu kvantovaného signálu pomocou konečného počtu konkrétnych hodnôt (prirodzeným číslom). V prirodzenej dvojkovej sústave, ktorá má  $n$ -číslíc platí pre vyjadrenie prirodzeného čísla známy zápis:

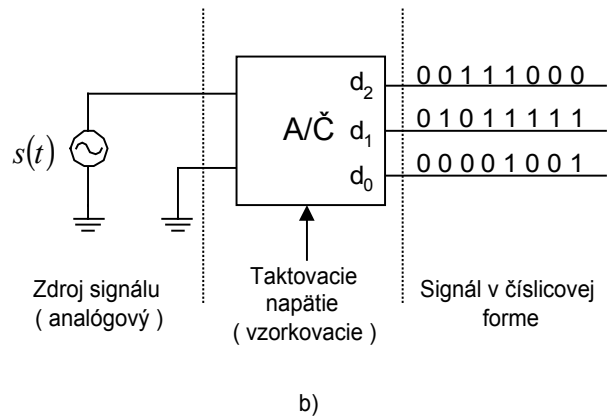
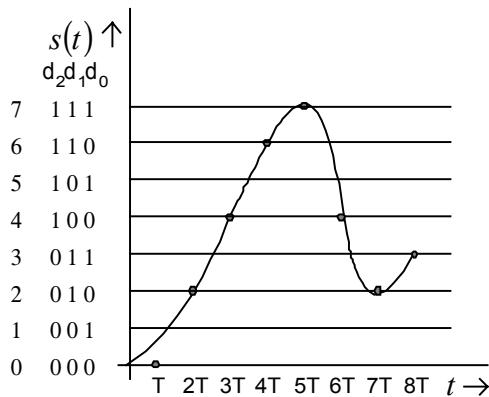
$$N = a_n 2^n + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0 \quad (14.5)$$

Vyjadrenie hodnoty  $N$  v prirodzenej dvojkovej sústave.

Pre trojmiestne binárne číslo máme:

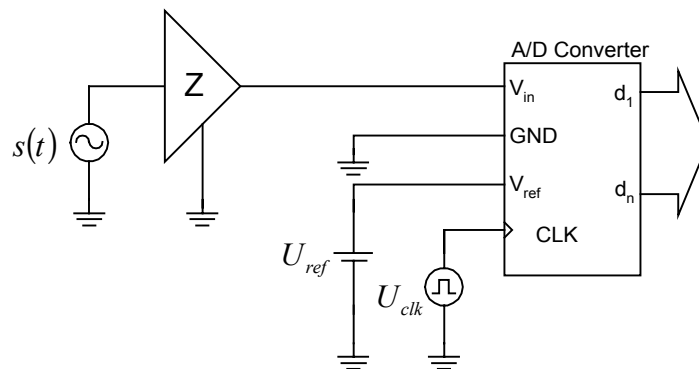
$$N = a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0$$

$$N = a_2 4 + a_1 2 + a_0$$



Obr. 14.7 Prevod analógového signálu na trojbitový číslicový signál

Číslicový signál vyjadrujúci vzorky vyjadrujú logické stavy (napätia) na troch datových vodičoch voči spoločnému potenciálu - trojbitovej zbernici. Kvantovanie spojitých signálov a premenu na číslicový signál zabezpečujú analógovo-číslkové prevodníky (A/Č prevodník, A/D converter). V praxi je obvyklá situácia podľa nasledujúcej blokovej schémy:



Obr. 14.8 Typická schéma pre digitalizáciu analógového signálu ( Z-zosilňovač analógového signálu,  $U_{clk}$  vzorkovacie – taktovacie napätie D/A prevodníka,  $U_{ref}$  – referenčné napätie prevodníka)

Dnešné A/D prevodníky pracujú štandardne s počtom bitov  $n = 8, 12, 16$ . Počet diskretných stavov na výstupe A/Č prevodníka (počet kvantovaných úrovni súvisí s počtom bitov - šírkou zbernice, dĺžkou kódového slova) podľa jednoduchého vzťahu:

$$N_{max} = 2^n, \text{ kde } N_{max} \text{ je počet úrovní výstupného signálu.}$$

n	$N_{\max}$	
6	64	TV signály
8	256	Lepšie osciloskopy
10	1024	
12	4096	
14	16 384	
16	65 536	HiFi (signál/šum)>90dB

Obr. 14.9 Tabuľka počtu bitov a odpovedajúcej rozlíšiteľnosti pre niektoré typické signály.

#### 14.4 Audio a video signál

Audiosignálom sa obvykle rozumie elektrický signál - napätie, ktoré sa používa na prenos zvukových správ. Časový priebeh tohto signálu je rovnaký ako časový priebeh akustického tlaku vo zvukovej správe t.j.

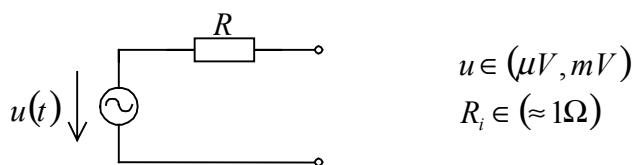
$$u(t) \approx p(t) \quad \text{resp.} \quad i(t) \approx p(t)$$

Reálny audiosignál je náhodnou funkciou času. Frekvenčné spektrum audiosignálov je závislé od požadovanej kvality fyziologického vnemu u človeka. Vzhľadom k tomu, že ide o subjektívne hodnotenie je potrebné použiť štatistické metódy na posúdenie kvality audiosignálu. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené požiadavky na potrebnú šírku frekvenčného spektra pre základné úrovne kvality vnemu.

16 Hz - 16 kHz	kvalitný hudobný vnem
40 Hz - 8 kHz	dobry hudobný vnem
300 Hz - 3400 Hz	reč s rozpoznaním rečníka

Zdrojmi audiosignálov sú mikrofóny. Sú to meniče akustického tlaku na elektrický signál - akustickoelektrické meniče. Existuje celý rad týchto meničov, ktorých názvy viac menej vystihujú fyzikálny princíp použitý pri ich technickej realizácii. Niektoré princípy mikrofónov stručne spomenieme.

- 1) Elektrodynamický mikrofón je založený na pohybe vodiča v homogénnom magnetickom poli spôsobeným zmenami akustického tlaku. Akustický tlak predstavuje malú striedavú zložku atmosferického tlaku spôsobenú vibráciou ľudských hlasoviek, alebo chvením akéhokoľvek tuhého telesa vo vzduchu.



Obr. 14.10 Náhradný obvod elektrodynamického mikrofónu



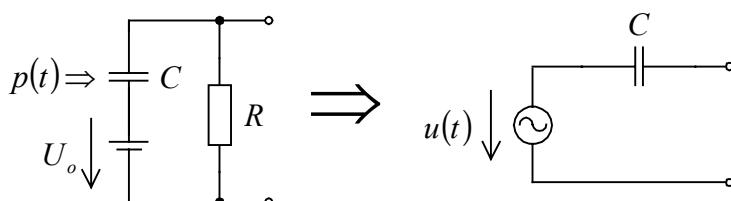
Môžu byť dve verzie týchto mikrofónov:

Cievkový  $1mV / N / m^2$   $R_i \approx 60 - 200\Omega$

Pásikový:  $40\mu mV / N / m^2$   $R_i \approx 0.1\Omega$

Elektrodynamický princíp je obojsmerný t.j.  $u(t) \approx p(t)$  resp.  $p(t) \approx u(t)$

- 2) Elektrostatický mikrofón využíva na premenu akustického tlaku na napätie zmeny kapacity (náboja) spôsobené zmenou vzdialenosti elektród kondenzátora - mikrofónu.



Obr. 14.11 Náhradný obvod elektrostatického mikrofónu

Výhoda: rovnomerná (vyrovnaná) frekvenčná charakteristika citlivosti mikrofónu.  
Nevýhoda: potreba polarizačného napätia, vysoký  $R_i=R$ .

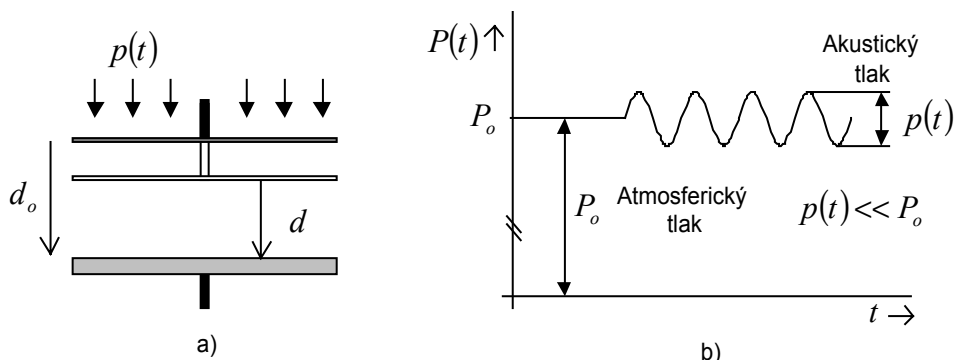
### Kondenzátorový mikrofón (princíp činnosti)

Kapacita kondenzátorového mikrofónu (doskový kondenzátor)

$$C_o = \epsilon \frac{S}{d_o} \quad (14.6)$$

Vplyvom akustického tlaku sa bude membrána prehýbať (bude sa meniť  $d$ ), pre kapacitu potom môžeme napísať

$$C(t) = C_o + k_c p(t) \quad (14.7)$$



Obr. 14.12 K princípu elektrostatického mikrofónu

Keď sa náboj kondenzátora nemení, pre  $R \rightarrow \infty$  platí:

$$u_R(t) = k_c U_p p(t) \quad (14.8)$$

- 3) *Piezoelektrický (kryštálový) mikrofón* (Seignetova soľ)  
napätie naprázdno je cca  $3mV / 0,1N / m^2$

vnútorná impedancia je:  $C = 500 - 5000 \text{ pF}$      $R_{i \min} = 2 \text{ M}\Omega$

#### 4) Uhlíkový kontaktný mikrofón (telefónna vložka)

$u = 6 - 20 \text{ mV}$  pre  $p = 0.1 \text{ N / m}^2$  6 - 20 mV

$R_i = 60 \Omega$      $R_i = 120 \Omega$      $R_i = 240 \Omega$

Frekv.charak:  $200 - 4000 \text{ Hz} \pm 15 \text{ dB}$

skreslenie: do 25%

rušivé napätie (0,5 - 5 mV)

Výhoda: dáva vysoký signál

Iné zdroje (akustických) signálov:

- Gramofónová prenoska (dynamická, kryštálová)
- vo filmovej technike: fotočlánok (plynový)
- magnetofónová hlava
- CD (kompaktný zvukový disk) - zdrojom audiosignálu signálu je D/A prevodník

### Videosignály

Elektrický signál odpovedajúci vizuálnej správe - videosignál.

Vizuálna správa nepredstavuje chvenie prostredia, ale informuje o rozložení viac alebo menej jasných miest s príslušným zafarbením. Pre jednoduchosť sa tu obmedzíme na čierno - biely obraz.

Obrazy sa dnes prenášajú *postupným* (sekvenčným) spôsobom (pri akustickom signáli je sekvenčnosť jasná).

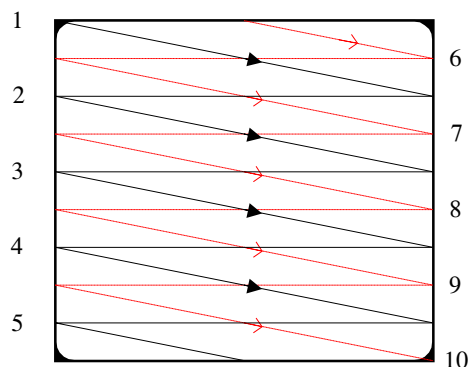
Preto je potrebné urobiť rozklad dvojrozmerného obrazu na elementárne obrazové prvky (body obrazu).

Pri technickom spracovaní a prenose obrazových správ sa využívajú fyziológické vlastnosti ľudského oka:

1. Ľudské oko nezachytí jednotlivito viac ako 25 zmien obrazu za sekundu !
2. Uhlová rozlišovacia schopnosť oka 0,5 - 1 uhlového stupňa
3. Pri malej uhlovej veľkosti obrazu ľudské oko vidí čierno-bielo.

Z uvedených vlastností vznikla televízna norma pre čiernobiely televíziu

Princíp rozkladu obrazu v televízii:



Obr. 14.13 Princíp prekladaného riadkovania pri televíznom rozklade obrazu

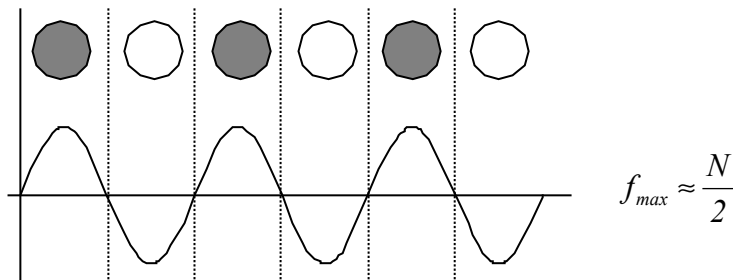
### Prekladané riadkovanie

1. polsnímok (polobraz)- 1/50 s
2. celý snímok - 1/25 s

Jeden obraz na obrazovke má teda  $N_o = 625 \cdot 625 \approx 390\,000$  bodov (elementárných obrazových bodov)

Aby sa dosiahol v oku spojitý vnem pohyblivých obrazov je treba preniesť aspoň 25 obrazov / s. Teda:  $N = 25N_o = 25 \cdot 390\,000 = 9\,750\,000$  bodov V najnepriaznivejšom prípade (striedanie čiernych a svetlých bodov) je

$$f_{max} \approx \frac{N}{2} \approx 5 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 5 \text{ MHz} .$$



Obr. 14.14

Kedže je potrebné prenášať toto množstvo informácie za kratšiu dobu (spätný beh lúča na obrazovke - cca 25%)

Po tejto korekcii je maximálna frekvencia videosignálu asi 6,25 MHz.