

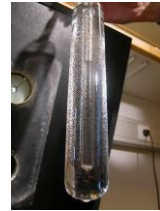
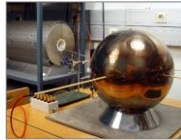


## Avdilogija in elektroakustika

doc. dr. Samo Beguš



Nosilec nacionalnega etalona  
enote za termodinamično  
temperaturo



Nosilec nacionalnega etalona enote  
za vlažnost




Preskušanje varnosti električnih naprav v  
skladu z zahtevami nizkonapetostne  
smernice Evropske skupnosti (LVD - Low  
Voltage Directive)




*Meritve, akustika, senzorji, ...*

## Kontakt

- [samo.begus@fe.uni-lj.si](mailto:samo.begus@fe.uni-lj.si)
- 01 4768 421 
- Govorilne ure
  - dogovor preko elektronske pošte
  - pri LMK2, 2. nadstropje na koncu, stara stavba FE
- Spletna učilnica PEF
  - Predavanja, navodila za vaje, datoteke ...
  - Ključ: 4153

## Avdilogija in elektroakustika

- Predavanja
  - LMK2
- Laboratorijske vaje na FE
  - Priprave na vaje
  - Vaje v laboratoriju
  - Demo vaje, gluha soba
- Izpit 
- Dodatne točke - vprašanja

## Laboratorijske vaje – demo

- Meritve v gluhi sobi
- Merjenje frekvenčne karakteristike mikrofona
- Enkripcija govora
- Maskiranje govora
- Akustična kamera
- Merjenje nelinearnega popačenja zvočnika



## Laboratorijske vaje

- Zvočna kartica
- Analogni in digitalni filtri
- Nelinearna popačenja
- Nizkofrekvenčni ojačevalnik
- Ugotavljanje slušnega praga
- Merjenje zvočnega tlaka
- Prostorski zvok
- Navodila za vaje



# Elektroakustika ?

## Osnovni pojmi

- Signal
  - Električni
    - Napetost, tok
  - Akustični
    - Zvočni tlak
- Časovni prostor
- Frekvenčni prostor
  - Spekter
  - Spektrogram
- Impedanca (izmenični sinali)
- Upornost (enosmerni sinali)
- (Električni) filter / sito

## Osnove akustike

- Akustika je znanost o zvoku
- Zvok slišimo - zaznamo s sluhom
- Iz fizikalnega stališča
  - Pojavi povezni s širjenjem in razširjanjem mehanskih vibracij
    - V plinih
    - Tekočinah
    - Trdnih snoveh

## Nekoč ...

- Že iz Antike je poznano, da zvok povzročajo telesa, ki nihajo.
- V Antiki so že poznali načine za izboljšanje razumljivosti in glasnosti v amfiteatrirh in gledališčih
  - Dionizev amfiteater, Atene, leta 451 pr.n.št.
  - Marcellusovo gledališče, Rim, leta 13 pr.n.št.
    - 11000 gledalcev



## Nekoč ...

- The Swan theatre, London
- Zgrajen leta 1595
  - William Shakespeare (26.4.1564 - 23.4.1616)
  - Prva polovica kariere
- Delno lesena konstrukcija
- Za 3000 gledalcev
- Vizualno najbolj impresiven, ko je bil zgrajen



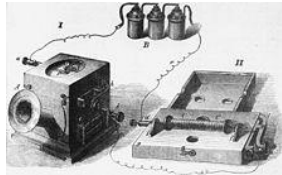
## Akustika

- Prva uporaba besede „Akustika“ leta 1693
- Podatki o hitrosti zvoka
  - Sir Isaac Newton (1642 - 1727)
  - Pierre-Simon, marquis de Laplace (1749 - 1827)
- Raziskave na področju akustike so izvajali tudi:
  - Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827)
  - Georg Simon Ohm (1789 - 1854)
  - Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821 - 1894)
  - John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh (1842 - 1919)



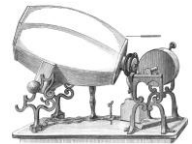
## Prenos zvoka

- Prvi prenos zvoka (govor) s pomočjo elektrike
  - Philipp Reiss, 1861
  - Nemški izumitelj in znanstvenik
- Začetek elektroakustike



## Prvi avdio posnetek

- 9. april 1860
  - „Au Clair de la Lune“
- Phonautograph
  - Édouard-Léon Scott de Martinville
  - Optično zajemanje zvoka
  - Ni predvideno predvajanje
- 17 let pred patentiranjem Edisonovega fonografa
- Ameriški avdio zgodovinar David Giovannoni
- Phonautogram iz arhiva v Parizu
  - Novica objavljena v New York Timesu, 27. marca 2008



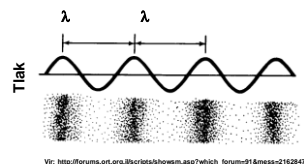
## Edisonov fonograf, 100 let star posnetek

- 1877
- Valj z voskom na površini
- Primer posnetka iz 1913
  - University of California, Santa Barbara Library.
- Naslov posnetka:
  - Blue Danube (An der schönen, blauen Donau)
  - Performer(s): American Standard Orchestra
  - Issue Number/Label: 1750: Edison Blue Amberol
  - Issue Number/Label: 481: Edison Amberol
  - Year of Release: 1913



## Zvok

- Spreminjanje, nihanje zračnega tlaka
- Longitudinalno valovanje
- Vibracije:
  - periodično gibanje sistema, ki ima maso in je elastičen



## Valovanje

- **Longitudinalno** valovanje (vzdolžno)
  - V plinih in tekočinah
  - Zvok v zraku je spreminjanje, nihanje zračnega tlaka okrog njegove statične vrednosti
- **Transverzalno** valovanje (prečno)
  - V trdnih medijih
- Valovanje v vodi
  - Površinska napetost in gravitacija
  - Pri majhnih amplitudah se molekula v vodi giba krožno



## Valovanje

- Prosto valovanje
  - Valovanje s časom upada zaradi dušenja
- Vsiljeno valovanje
  - Valovanje v snovi
- Resonanca
  - Frekvenca vsiljenega valovanja = frekvenci lastnega valovanja in v fazi
  - Amplituda narašča
  - Če je prisotno dušenje se energija spreminja v toploto
- Divergentno valovanje
  - Jakost valovanja se z razdaljo zmanjšuje
- Progressivno valovanje
  - Energija se širi v isto smer kot valovanje

## Vrste valovanj

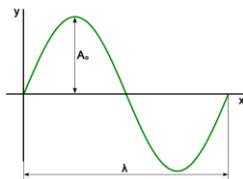
- Valovanje se v splošni obliki razširja v vseh smereh
- Opišemo z valovnimi frontami
  - Ploskev vseh sosednjih mest, kjer je v danem trenutku enako velik premik delcev iz ravnotežnih leg
  - Razdalja med njimi je valovna dolžina

## Vrste valovanj

- Ravno valovanje
  - Valovne ravnine so ravni, vzporedni žarki
    - Pravokotno na valovno fronto
- Sferično valovanje
  - Valovne fronte so koncentrične kroglaste ploskve izhajajoče iz skupnega središča
  - Točkast izvor
- V veliki oddaljenosti od izvora so valovne fronte kroglaste.

## Harmonično valovanje

- Izvor valovanja povzroča harmonične periodične motnje
  - Sinusne ali kosinusne
    - $f(t) = A_0 \sin(\omega t)$



- Razdalja med dvema motnjama je valovna dolžina  $\lambda$ 
  - Premo sorazmerna s hitrostjo širjenja
  - Obratno sorazmerna s frekvenco širjenja

## Hitrost širjenja zvoka

- Na hitrost zvoka v plinih (zraku) vpliva
  - Gostota
  - Tlak
  - Konstanta  $\gamma = C_p / C_v$ 
    - razmerje specifičnih toplot zraka pri konstantnem tlaku in pri konstantnem volumnu, za zrak  $\gamma = 1.4$
  - Vlaga v zraku
    - Manjši vpliv, se poveča ker se molekule  $O_2$  in  $N_2$  zamenjajo z molekulami vode
  - Suh zrak pri  $0^\circ C$ :

$$c_0 = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} = 331.4 \text{ m/s}$$

$$c = 331.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{1 + \frac{\theta}{273 \text{ K}}}$$

$$R = 8.3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\theta \dots \text{temperatura v } ^\circ C$$

$$T = 273 \text{ K}$$

$$M = 28.95 \text{ kg/kmol}$$

$$? \text{ pri } -20, +20^\circ C$$

## Hitrost širjenja zvoka

- Z nadmorsko višino normalno upada temperatura in hitrost zvoka, kar povzroča lom zvoka navzgor.
- Povečana vlaga v zraku vpliva na smer razširjanja zvočnih valov na velike razdalje.
- Nad vodno gladino je zrak nasičen z vlogo, zato se zvočni valovi usmerjajo navzgor.

## Hitrost zvoka v kovinah

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$\rho$  ... gostota snovi

$E$  ... modul elastičnosti

$l$  ... dolžina

$p$  ... tlak

$V$  ... volumen

$$\frac{dl}{l} = \frac{p}{E} = \frac{dV}{V}$$

- Hitrost zvoka v kovinah je tem večja, čim lažja in manj stisljiva je snov.

## Hitrost zvoka v kapljevinah

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

$\rho$  ... gostota snovi  
 $K$  ... faktor stisljivosti  
 $l$  ... dolžina  
 $p$  ... tlak  
 $V$  ... volumen

- Hitrost zvoka v kapljevini je tem večja, čim lažja in manj stisljiva je snov.

## Hitrosti zvoka v nekaterih snoveh

CO <sub>2</sub> .....	260 m/s	Pb .....	1300 m/s
N <sub>2</sub> .....	340 m/s	beton .....	2200 m/s
H <sub>2</sub> .....	1260 m/s	baker .....	3900 m/s
H <sub>2</sub> O .....	1440 m/s	les .....	5000 m/s
Pluta .....	430 m/s	aluminij .....	5100 m/s
Železo ...	5100 m/s	steklo .....	4000 m/s

## Frekvenca zvoka

- Infrazvok: do 20 Hz
  - Zaznamo ga lahko v želodcu in prsnem košu
  - Vpliva na počutje
  - Potuje lahko na velike razdalje (grom)
    - Se v zraku malo absorbira
- Zvok: 20 Hz do 20 kHz
  - Slišno območje
- Ultrazvok: nad 20 kHz
  - Zaznavajo in proizvajajo nekatere živali

## Slušno območje

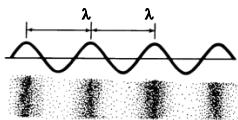
- Človek
  - 20 Hz do 20 kHz (v mladosti)
  - 50 Hz do 8 kHz (v starosti)
- Mačka
  - 100 Hz do 60 kHz
- Pes
  - 40 Hz do 60 kHz
- Delfin
  - 200 Hz do 150 kHz
- Miš
  - 1 kHz do 100 kHz
- Netopir
  - 20 Hz do 120 kHz
  - Orientacija v prostoru s pomočjo ultrazvoka
- Slon
  - 1 Hz do 20 kHz
  - zaznavanje infrazvoka
    - komuniciranje

## Valovna dolžina

- Pri konstantni hitrosti širjenja valovanja po mediju  $c$  je valovna dolžina

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

kjer je  $\lambda$  v m,  $c$  v m/s in  $f$  v Hz.



- Valovna dolžina
  - Perioda valovanja
  - Razdalja med sosednjima območjema zgoščin ali razredčin v mediju

## Valovna dolžina v zraku

- $f = 20$  Hz
 
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343 \frac{m}{s}}{20 \text{ Hz}} = 17 \text{ m}$$
- $f = 1$  kHz
 
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343 \frac{m}{s}}{1 \text{ kHz}} = 34 \text{ cm}$$
- $f = 20$  kHz
 
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343 \frac{m}{s}}{20 \text{ kHz}} = 17 \text{ mm}$$

## Valovna dolžina infrazvoka in ultrazvoka v medicini

### • Infrazvok

$f = 5 \text{ Hz}$ , hitrost zvoka v kamnu je  $3800 \text{ m/s}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3800 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ Hz}} = 760 \text{ m}$$

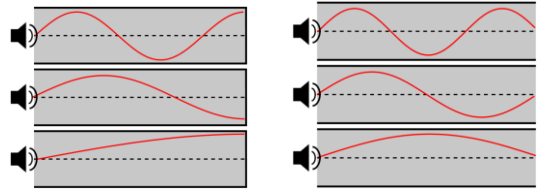
### • Ultrazvok

$f = 5 \text{ MHz}$ , hitrost zvoka v vodi je  $1530 \text{ m/s}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1530 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \text{ MHz}} = 0.3 \text{ mm}$$

## Stojno valovanje v cevi

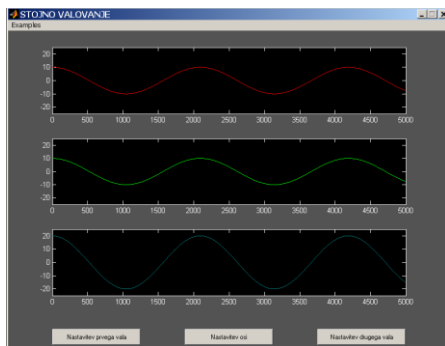
- Cev zaprta ali odprta na eni strani
- Na drugi strani zvočnik
- Rdeča črta predstavlja tlak
  - Premik molekul je najmanjši kjer je tlak največji!



Cev zaprta na desni strani

Cev odprta na desni strani

## Simulacija zvočnega stojnega valovanja v cevi



## Kundtova cev

- Zvočno stojno valovanje v cevi
- Uporaba
  - Merjenje hitrosti valovanja
  - Merjenje absorpcije zvoka v materialih
- Prikaz delovanja

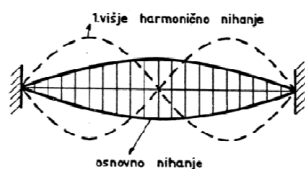


## Struna vpeta na obeh koncih

- Stojno valovanje na struni
- Frekvence lastnega nihanja so odvisne od pogojev na začetku in koncu strune
- Osnovna frekvenca:

$$f_n = \frac{\sqrt{\frac{T}{m/L}}}{2L}$$

$L$  ... dolžina strune  
 $T$  ... napetost strune  
 $m$  ... masa strune



## Primer:

- Izračunajmo lastne frekvence strune, ki je vpeta na koncih in ima dolžino  $1 \text{ m}$ . Masa strune je  $20 \text{ g}$ , napeta je s silo  $50 \text{ N}$ .

$$f_1 = \frac{\sqrt{\frac{T}{m/L}}}{2L} = 25 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 50 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 75 \text{ Hz}$$

## Značilnosti prenosa zvoka po snovi

- Lom zvoka
  - na meji (ali prekinitvi) dveh snovi se del zvočnih valov odbije, del pa gre skozi mejo - preneseni valovi
- Odmev
  - razločen zakasnen zvok, ki nastane zaradi odboja zvoka
- Uklon (difrakcija) zvoka
  - širjenje zvočnih valov okrog robov ovire
  - zvočni valovi se bolj uklanjajo kot odbijajo, če je njihova valovna dolžina primerljiva z dimenzijami ovire
- Sipanje zvoka
  - če je dimenzija ovire majhna v primerjavi z valovno dolžino se zvočni valovi sipajo v vseh smereh
  - pri daljših valovnih dolžinah je manj efektov sipanja, pri krajših več
- Interferenca
  - superpozicija zvočnih valov iste frekvence
  - vektorsko seštevanje

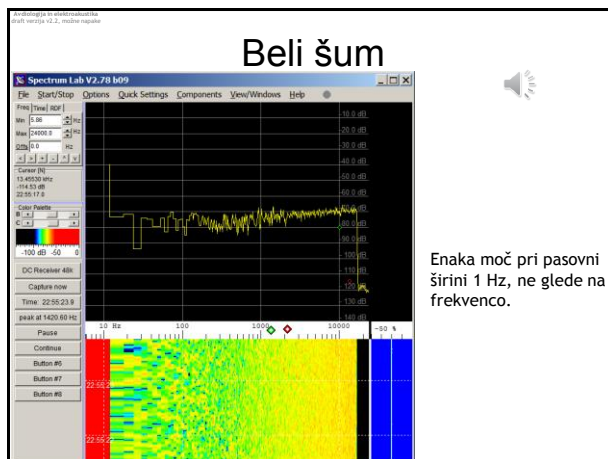
## Zvočni spekter

- Vsako nesinusno nihanje se lahko zapiše kot vsota sinusnih nihanj:
  - Osnovne frekvence:  $f_0$  (prva harmonska frekvenca)
  - Višjih frekvenc:  $f_h$ , ki so enake celoštevilčnim mnogokratnikom osnovne frekvence (višje harmonske frekvence:):
    - $f_h = f_0 \cdot N$        $N: 2, 3, 4, \dots$
- Spekter
- Signal v časovnem prostoru

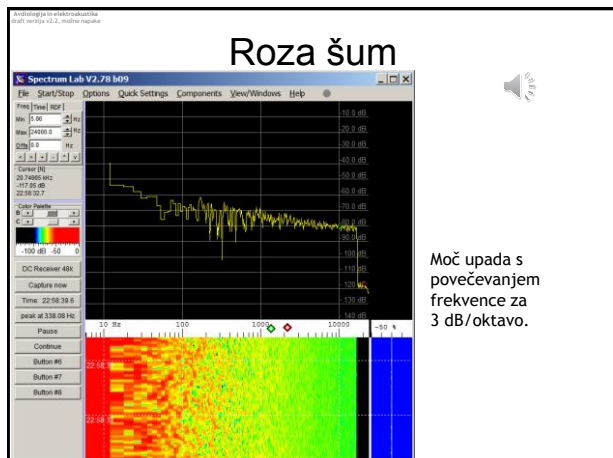
## Spektri različnih signalov

- Pravokotnik
- Žaga
- Trikotni signal
- Pulz
- Pravokotnik z različnim razmerjem signal/pavza
  - Praktični prikaz s programom *SpectrumLab*

## Beli šum



## Roza šum



## Zvočni tlak

- Enota za merjenje je Pa
- Zvočni tlak je superponiran atmosferskemu statičnemu zračnemu tlaku.
- S povečanjem oddaljenosti od izvora upada zvočni tlak obratno sorazmerno z razdaljo
  - Zakon  $1/r$
  - Moč oz. jakost zvoka pa upada z  $1/r^2$

## Jakost zvoka v odvisnosti od oddaljenosti

Arhivirano in elektronsko obliki  
Dati verzija v2.2, močre napake

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/acoustic/invqsq.html>

## Zvočna impedanca

- Specifična zvočna impedanca je razmerje zvočnega tlaka in hitrosti delca, ki valuje:  
$$z = p / v \quad (N \cdot s \cdot m^{-3} = rayl)$$
- Karakteristična zvočna impedanca:  
$$Z = \rho_o \cdot c$$
- Snov z večjo specifično impedanco je gostejša

Arhivirano in elektronsko obliki  
Dati verzija v2.2, močre napake

## Primer

- Slušni prag pri človeku je  $20 \mu Pa$ . Kolikšen je pri tem pomik delcev ob bobniču? Frekvenca je  $1 \text{ kHz}$ , gostota zraka pa  $1.3 \text{ kg/m}^3$

$$y_0 = \frac{dp}{\rho \omega c} = 7 \text{ pm}$$

- Premer atoma vodika je  $50 \text{ pm}$

Arhivirano in elektronsko obliki  
Dati verzija v2.2, močre napake

## Meritve zvoka

- Veliko dinamično območje
  - Logaritemska skala
  - Logaritem razmerja
- Decibel: razmerje moči ali amplitud
  - $[dB] = 20 \cdot \log(U_o / U_{ref})$  za amplitudo
  - $[dB] = 10 \cdot \log(P_o / P_{ref})$  za moč
- Nivo zvočne moči:
 
$$PWL = 10 \cdot \log(W / W_0)$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$
- Nivo zvočnega tlaka
 
$$SPL = 20 \cdot \log(p / p_0)$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N / m}^2$$

Arhivirano in elektronsko obliki  
Dati verzija v2.2, močre napake

## dB

Amplituda		Moč			
Razmerje	[dB]	Razmerje	[dB]	Razmerje	[dB]
1,000	0	1,000	0	1,000	0
1,122	1	0,891	-1	1,259	1
1,259	2	0,794	-2	1,585	2
1,413	3	0,708	-3	1,995	3
1,995	6	0,501	-6	3,981	6
3,162	10	0,316	-10	10,000	10
10	20	0,1	-20	100,000	20
100	40	0,01	-40	1000,000	40
1000	60	0,001	-60	1,000E+06	60
10000	80	0,0001	-80	1,000E+08	80
100000	100	0,00001	-100	1,000E+10	100
1000000	120	0,000001	-120	1,000E+12	120

Arhivirano in elektronsko obliki  
Dati verzija v2.2, močre napake

## Zvočna jakost

- Zvočna jakost  $I$  je povprečna moč, ki jo oddaja valovanje na enoto površine v smeri valovanja

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho c} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

- Kolikšna je gostota zvočnega toka pri efektivnem tlaku  $20 \mu Pa$ ?

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho c} = \frac{20 \mu Pa^2}{1.2 \frac{kg}{m^3} \cdot 343 \frac{m}{s}} = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

Arhivirano in elektronsko obliki  
Dati verzija v2.2, močre napake

Arhivirano in elektronsko  
grafo verzija v2.2, mobilna naprava

Nivo zvočne moči (sound power level) **PWL**

$$PWL = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} [dB], \dots \dots \dots W_0 = 10^{-12} W$$

Nivo zvočne jakosti (intensity level) **IL**

$$IL = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} [dB], \dots \dots \dots I_0 = 10^{-12} W / m^2$$

Nivo zvočnega tlaka (sound pressure level) **SPL**

$$SPL = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} [dB], \dots \dots \dots p_0 = 20 \mu Pa$$

Nivo hitrosti (velocity level) **VL**

$$VL = 20 \cdot \log \frac{v}{v_0} [dB], \dots \dots \dots v_0 = 10^{-8} m / s$$

Nivo pospeška (acceleration level) **AL**

$$AL = 20 \cdot \log \frac{a}{a_0} [dB], \dots \dots \dots a_0 = 10^{-5} m / s^2$$

Arhivirano in elektronsko  
grafo verzija v2.2, mobilna naprava

## Več zvočnih virov hkrati

- Zvočni tlak dveh enakih zvočnih izvorov
 
$$P = p_1 + p_2$$
- Zvočni tlak dveh zvočnih izvorov z različno frekvenco
 
$$P = (p_1^2 + p_2^2)^{1/2}$$

Arhivirano in elektronsko  
grafo verzija v2.2, mobilna naprava

## Subjektivne slušne zaznave

- Občutljivost ušesa
  - Logaritmsko odvisna od gostote zvočnega toka
  - Odvisna od frekvence zvoka
- FON je subjektivna enota glasnosti
  - Pri 1 kHz se ujema z dB.
  - Ni linearna
- SON je akustično merilo za ugotavljanje glasnosti
  - Čisti ton frekvence 1 kHz ima po definiciji pri nivoju zvočne jakosti 40 dB glasnost en son.
  - Dvakrat ali trikrat večje število sonov pomeni dvakrat ali trikrat višjo glasnost
- MEL je akustično merilo za višino zvoka
  - Čisti ton s frekvenco 1 kHz in nivojem glasnosti 40 fonov ima po definiciji višino 1000 melov

Arhivirano in elektronsko  
grafo verzija v2.2, mobilna naprava

## Krivulje enake glasnosti

Glasnost zvoka  
Velikost slušnih senzacij  
Subjektivna veličina

Uho je za različne frekvence različno občutljivo  
Različna "frekvenčna karakteristika" pri različnih glasnostih

Fletcher-Munson, 1933; s slušalkami      Robinson-Dadson, 1956; prosto polje, binauralno, zvočnik pri 0°

Arhivirano in elektronsko  
grafo verzija v2.2, mobilna naprava

## Kaj slišimo

- slušni prag pri 3 kHz:
  - $10^{-12} W/m^2$  ( $20 \mu Pa$ )
- Prag bolečine:
  - $1 W/m^2$  ( $20 Pa$ )
- Slušni obseg:
  - 20 Hz do 20 kHz
  - S starostjo se niža zgornja frekvenčna meja

Vr: <http://www.kfratone.se/images/kfrsound1.jpg>

Arhivirano in elektronsko  
grafo verzija v2.2, mobilna naprava

## Moč zvočnika

- Izhodna moč iz zvočnika se je povečala iz 1 W na 100 W. Kolikšna je sprememba nivoja zvočne moči?

$$PWL = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right)$$

$$PWL2 - PWL1 = 10 \log \left( \frac{W_2}{W_1} \right) = 20 \text{ dB}$$

## Merjenje zvoka - fonometer

- Naprave za merjenje zvoka - hrupa
  - Karakteristika fonometra naj bi se čim bolj približala karakteristiki realnega ušesa
- Merjenje jakosti zvoka
  - = merjenje amplitude nihanja zračnega tlaka
- Referenčna vrednost za glasnost zvoka je 0 dB
  - Nivo zvočne moči:  $10^{-12} \text{ W/m}^2$
  - Nivo zvočnega tlaka:  $20 \mu\text{Pa}$
  - Slušni prag pri človeku



Viri: [http://www.bruekjaer.de/tdm/38471593\\_Type2250\\_enp1.jpg](http://www.bruekjaer.de/tdm/38471593_Type2250_enp1.jpg)

## Merjenje glasnosti - fonometer

- Frekvenčna karakteristika fonometra - filtri
  - A filter: za nivoje pod 30 fonov, sledi krivulji 20 fonov
  - B filter: za nivoje 30 fonov do 60 fonov, sledi krivulji 40 fonov
  - C filter: za nivoje nad 60 fonov, sledi krivulji 70 fonov
  - D filter: le pri nekaterih fonometrih, za nivoje okrog 120 fonov

Viri: <http://content.answers.com/main/content/img/en/thumb/1/18/400px-Lindb2.png>

## Zgradba fonometra

## 1/1 in 1/3 oktavni filtri

**1/1 Octave**

$f_2 = 2 \times f_1$

$B = 0.7 \times f_0 = 70\%$

**1/3 Octave**

$f_2 = \sqrt[3]{2} \times f_1 = 1.25 \times f_1$

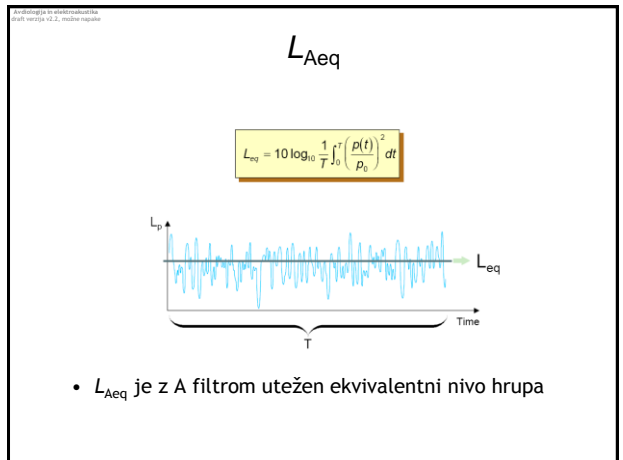
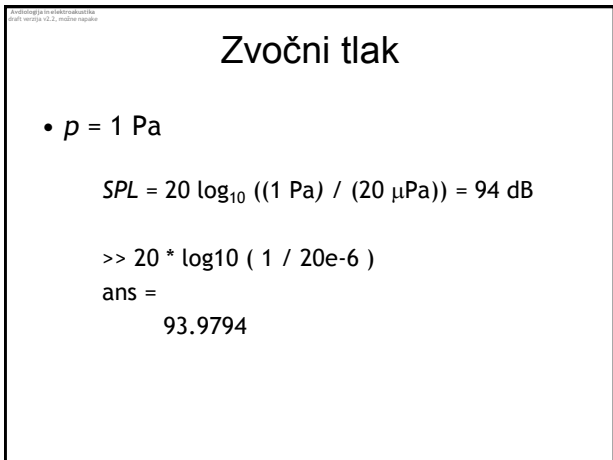
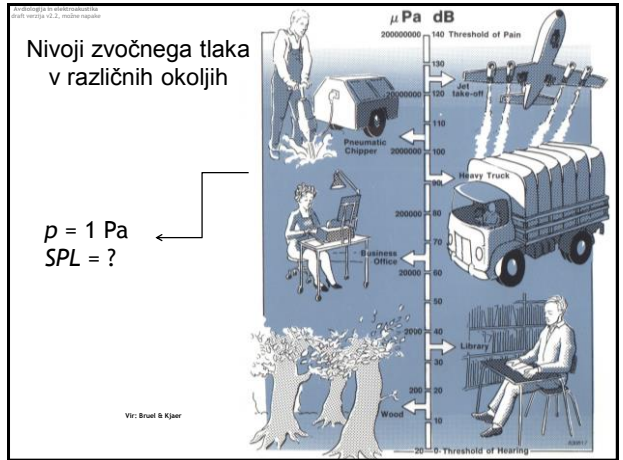
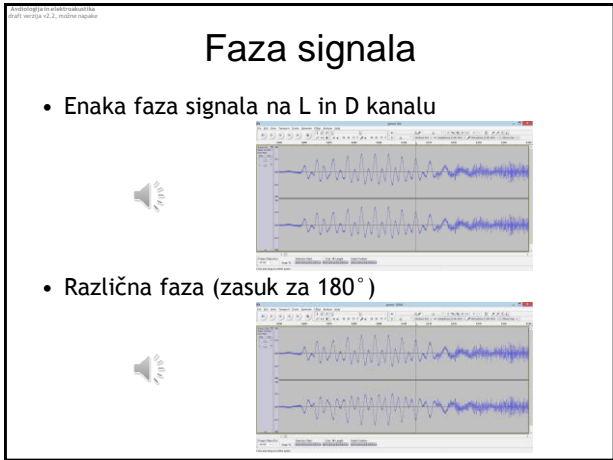
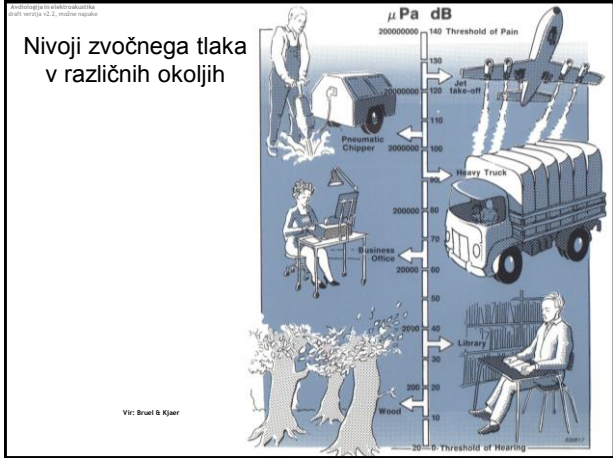
$B = 0.23 \times f_0 \approx 23\%$

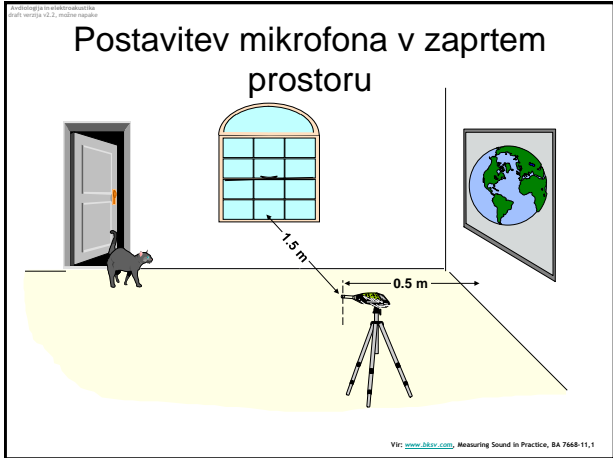
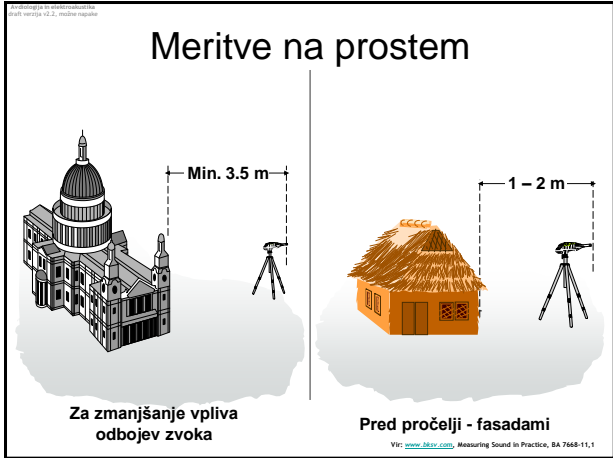
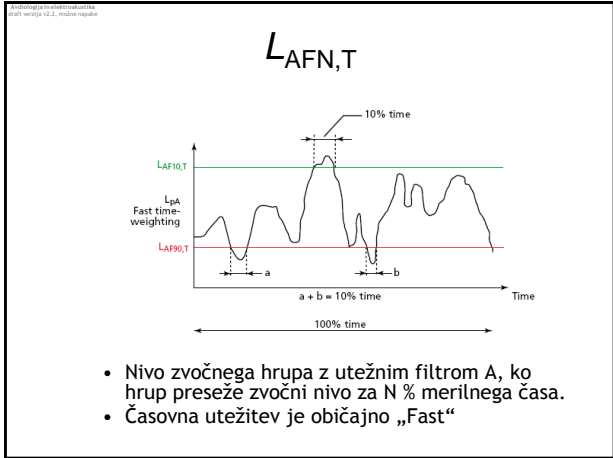
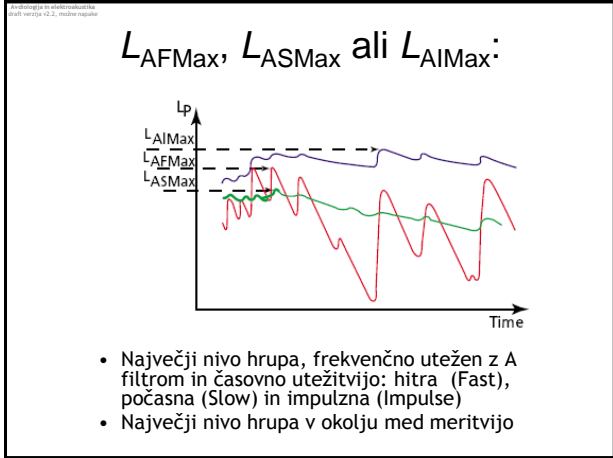
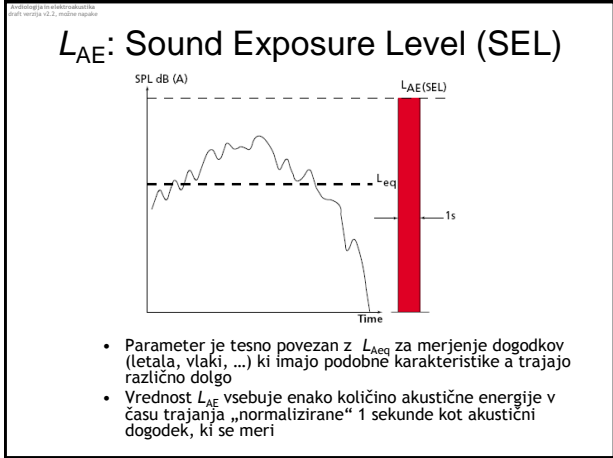
## 1/1 in 1/3 oktavni filtri

## Kalibracija fonometra

- Pistofon
  - 250 Hz
  - 124 dB
- Kalibratorji
  - 1 kHz
  - 94 dB / 114 dB







## Vpliv operaterja

Vir: [www.bkcv.com](http://www.bkcv.com), Measuring Sound in Practice, BA 7668-11,1

## Dovoljen hrup okolice pri avdiometriranju

- Prevajanje zvoka po zraku
- Lahko je večji, če se uporabi 'zaprte' slušalke
- Primerjava s hrupom v predavalnici in gluhi sobi
- Standard: ISO 8253

<35 dB(A)

Maximum permissible ambient sound pressure levels for measuring air-conduction audiometry (supra-aural earphones) to a minimum hearing level of 0 dB HL between frequencies 250 Hz and 8000 Hz.

Mid-frequency of one-third octave band (Hz)	dB re 20 µPa	Mid-frequency of one-third octave band (Hz)	dB re 20 µPa	Mid-frequency of one-third octave band (Hz)	dB re 20 µPa
31.5	66	250	19	2000	30
40	62	315	18	2500	32
50	57	400	18	3150	34
63	52	500	18	4000	36
80	48	630	18	5000	35
100	43	800	20	6300	34
125	39	1000	23	8000	33
160	30	1250	25		
200	20	1600	27		

Vir: [http://www.thebca.org.uk/wp-content/uploads/2014/04/BSA\\_BP\\_PTA\\_FINAL\\_24sept11\\_MinorAmend06Feb12.pdf](http://www.thebca.org.uk/wp-content/uploads/2014/04/BSA_BP_PTA_FINAL_24sept11_MinorAmend06Feb12.pdf)

## Umetno uho in umetni mastoid

- Brüel&Kjær 4152 in 4153
- Podobna akustična impedanca kot uho
- Merjenje frekvenčnega odziva in občutljivosti slušalk
- Kalibracija avdiometrov
- Meritve slušnih aparatov
- Brüel&Kjær 4930
- Kalibracija vibratorja avdiometra

Umetno uho BK Type 4153

Brüel&Kjær 4930

[http://www.bkcv.com/media/News\\_Products/transducers/4152\\_4153.pdf](http://www.bkcv.com/media/News_Products/transducers/4152_4153.pdf)  
<http://www.bkcv.com/media/Products/4930.pdf>  
 & Brüel&Kjær Artificial Ear Type 4153, Instructions and applications.

## Primer

- Slušalke AKG K141 mkII
- slušalke uporabljamo na laboratorijskih vajah

## Gluha soba

- Zagotavlja akustične pogoje prostega polja
- Upadanje zvočnega tlaka z razdaljo od vira zvoka po zakonu 1/r
- Zaduši odboj zvoka od sten
- Dušenje zunanjega hrupa
- Meritve v gluhi sobi
  - Karakteristike zvočnikov
    - Smerna
    - Frekvenčna
  - Karakteristike mikروفonov
    - Smerna
    - Frekvenčna
  - Avdiološke meritve pri raziskovanju lastnosti sluha
  - Meritve lastnosti govora v fonetiki


## Gluha soba na FE

- Višina: 3.25 m do 3.75 m
- Tla: 6 m x 6.5 m
- Debelina absorpcijskega materiala: 75 cm
- Prostor je podprt z gumijastimi podporami z lastno frekvenco 7 Hz.
- Nosilna konstrukcija iz lahkega profiliranega železa
- Na tleh je nosilna jeklena mreža.

Arhivirana in elektronska  
graft verzija v2.2, molče napake

## Gluha soba

- na FE
  - Hrup okolice < 12 dB(A)
  - $RT_{60}$ : 0.05 s
- Univerza Salford, Manchester, VB
  - Hrup okolice -12.4 dB(A)
  - Velikost: 5.4 m x 4.1 m x 3.3m



<http://www.acoustics.salford.ac.uk/facilities/index.php?content=anechoic>

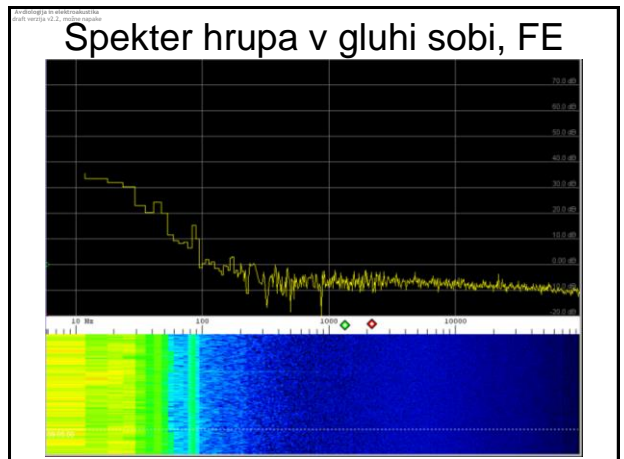
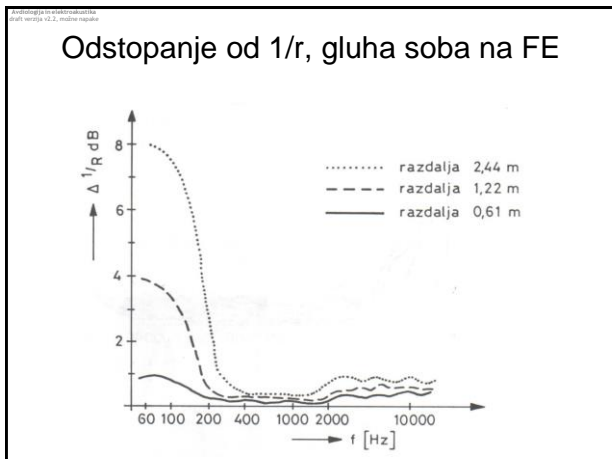
Arhivirana in elektronska  
graft verzija v2.2, molče napake

## Gluha soba

- Microsoftov akustični laboratorij, Redmond, Washington
- Najtišje mesto na Zemlji: -20,6 dB(A)
- Brownovo gibanje: -23 dB(A)





<http://www.businessinsider.com/ac/microsoft-creates-quietest-place-on-earth-guinness-world-record-2015-10?hock-out-the-video-better-to-watch-microsofts-quietest-its-guinness-world-record-for-quietest-place-on-earth-11>



Arhivirana in elektronska  
graft verzija v2.2, molče napake

## Posnetki v gluhi in odmevni sobi

- Posnetek v gluhi sobi:
  - Glinka, M Rusian and Ludmilla Overture
- Posnetek v dvorani
  - Glinka, M Rusian and Ludmilla Overture

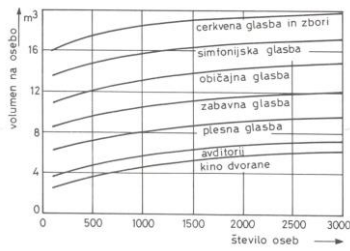
Arhivirana in elektronska  
graft verzija v2.2, molče napake

## Akustika prostorov

- Na prenos zvoka od vira do ponora v prostoru vplivajo:
  - volumen prostora
  - oblika prostora
  - razporeditev različnih absorpcijskih materialov
- Pomemben dejavnik je čas podmevnosti ali čas reverberacije
  - Postavljanje različnih absorpcijskih materialov
  - Elektronske naprave
- Na akustične pogoje v prostoru vpliva tudi hrup

## Volumen

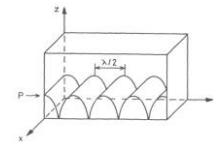
- Z večanjem volumna prostora se večja možnost absorpcije
- Volumen dvoran se določa na osnovi zahtevanega volumna na poslušalca
- Volumen - namembnost prostora



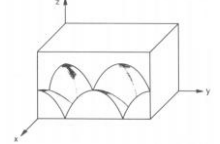
Volumen na osebo v odvisnosti od št. oseb in namembnosti prostora

## Oblika

- V zaprtem prostoru nastanejo pri določenih frekvencah stojni valovi in drugi resonančni pojavi
- Resonance delimo na načine :
  - aksialne
  - tangencialne
  - poljubne
- Razlika med direktnim in odbitim zvokom sme biti največ 12 m (35 ms), za razumljiv govor



aksialna resonanca



tangencialna resonanca

## Čas odmeva – $RT_{60}$

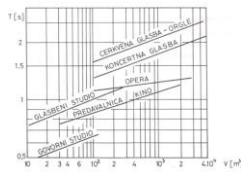
- Čas v katerem pade zvočna energija na milijonti del prvotne vrednosti – to je za 60 dB
- Čas reverberacije,  $RT_{60}$
- Lahko ga umetno večamo ali manjšamo
  - absorpcijski materiali
  - elektronske naprave za podaljšanje odmeva
- **Demo:** meritve v laboratoriju

Sabine-ova enačba

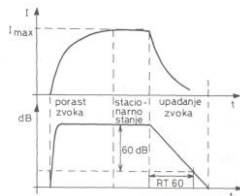
$$RT_{60} = 0.161 \cdot V / (S a)$$

$$a = \sum S_i a_i / S$$

V ... volumen prostora  
S ... celotna površina  
S<sub>i</sub> ... posamezna površina  
a<sub>i</sub> ... absorpcijski koeficient



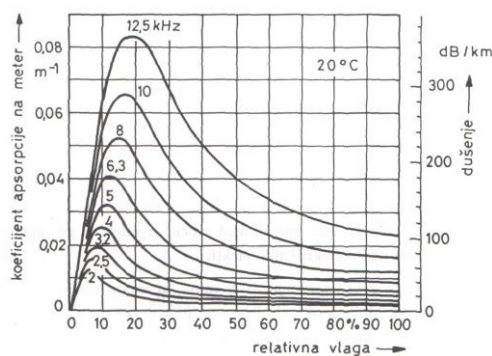
Primeri časi odmeva



definicija  $RT_{60}$

## Absorpcija zvoka

- Predstavlja izgubo energije pri prehodu skozi snov ali površino
- Posledice kot gretje ali razkranjen snovi
- Z absorpcijskimi materiali dušimo hrup ali poudarjamo želene tone
- Slabljenje v zraku, dimu, megli odvisno od vlažnosti in odvisno od frekvence (interakcija H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>)
- Slabljenje v megli odvisno tudi od velikosti delcev (veliki delci ne sledijo gibanju-sipanje)
- Slabljenje v trdih snoveh nastane zaradi interakcije med zvočnimi valovi in vibracijami v kristalni mreži



Odvisnost koeficienta absorpcije od vlage in frekvence

## Lom in odboj zvoka

- Na meji dveh snovi z različnimi hitrostmi širjenja zvoka se ga del odbije, nekaj pa se ga širi naprej v drugo snov.

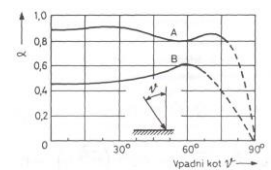
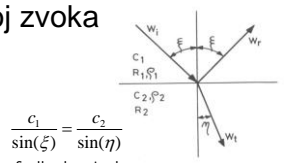
$$\frac{c_1}{\sin(\xi)} = \frac{c_2}{\sin(\eta)}$$

Snellov lomni zakon

- Vpadni kot je enak odbojnemu
- Za lom velja Snellov lomni zakon

Koeficient absorpcije  $\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i}$

Koeficient odboja  $\alpha_r = \frac{W_r}{W_i}$



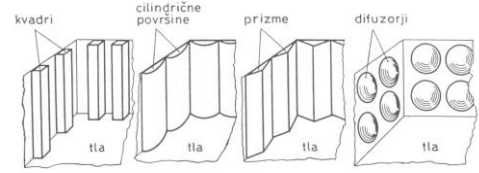
Odvisnost koef. absorpcije od vpadnega kota za steklo, volno dveh debelin (4,5 cm in 2 cm pri 1 kHz)

## Difuznost prostora

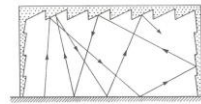
- Lastnost prostora, da se zvok, ki prihaja iz ene točke čim bolj enakomerno razporedi po prostoru
- Razpršeni zvok ne sme biti poudarjen v nobeni smeri
- Za dobro difuznost prostora je pomembno da:
  - Je v prostoru čim bolj nesimetrično razporejeno več različnih absorpcijskih materialov različnih površin
  - Imajo površine zidov primerno obliko (odboji v več smereh)
  - Je prostor primerne oblike in velikosti
  - V velikih prostorih so težave zaradi zmanjšanja difuznosti in pojavljanja odmeva
- Difuzorji
  - Sisanje zvoka
  - Reflektiran zvok daje barvo in polnost
  - Enakomernost porazdelitve reflektiranega zvoka
  - Majhni prostori delujejo kot resonatorji NF
  - Nekontrahiran – naključen raspored



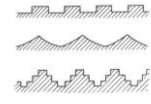
## Primeri difuzorjev



Različni difuzorji



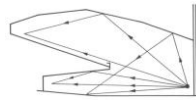
Difuzorji na stropu



Primerne oblike površin zidu

## Direktni – reflektiran zvok

- Informacijo o položaju izvora zvoka nosi le direktni zvok
- Jakost direktnega zvoka pada s kvadratom oddajenosti od vira
- Jakost odbitega zvoka je približno konstanta po vsem prostoru
  - Jakost reflektiranega zvoka (lahko) prekriva direktni zvok
- Z ustrezno obliko lahko ojačimo "direkten" zvok (bočni reflektorji)
  - Majhna zakasnitve - enoten zvok
- Oblika površine, ki jo zasedajo poslušalci prav tako vpliva na ojačanje "direktnega zvoka"
- Reflektorji
  - Direktni zvok navidezno ojačamo s pomočjo reflektorjev
  - Naj bodo večji od valovnih dolžin
  - Lesene ali mavčne plošče

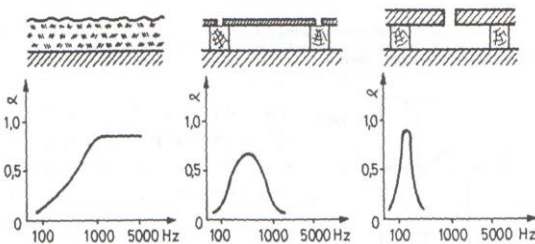


## Jek - Odboj

- Povzroča nerazumljivost
- Pojav ko ponovno slišimo zvočni impulz, ki se je odbil od neke oddaljene ploskve
- Zvočna slika je popačena
- Z zakasnitvijo 50 ms slišimo reflektirani zvok takrat, kadar je odbiti zvok iste jakosti kot direktni, pri 100 ms pa 1/2 jakosti
- Frfotajoč odboj (Flutter echo)
  - ko se zvočni impulz po nekem času  $t_1$ , zopet vrne na mesto svojega izvora, kjer se odbije in se po času  $t_2$ , zopet vrne na mesto svojega izvora. To se ponavlja toliko časa dokler se zvok ne zaduši.

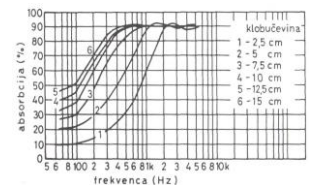
## Absorberji

- Porozni
- Membranski
- Resonatorski



## Porozni absorberji

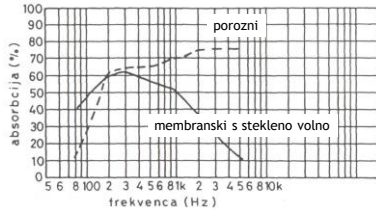
- Učinkoviti predvsem za višje frekvence (nad 250 Hz)
- Energijo zvočnega valovanja se pretvarja v toploto
- materiali kot so:
  - steklena volna
  - tkanine
  - žaganje
  - azbest
  - juta
  - klobučevina
- Absorpcijski koeficient odvisen:
  - debeline absorberja
  - frekvence
  - nihanje upornosti
  - poroznosti
  - faktorja strukture



Ovisnost absorpcije od frekvence za različne materiale

## Membranski absorberji

- Energija zvočnega valovanja se porablja za vzdrževanja nihanja membrane-le majhen del energije se odbije.
- Različni zrakotesni materiali (usnje, papir, vezana plošča,...) postavljeni pred zid na različnih razdaljah.
- Dosegamo slabljenja od 30-50 dB
- Za večja slabljenja zapolnimo prostor med steno in membrano s poroznim materialom



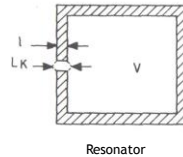
- Karakteristika membranskega absorberja
  - medprostor zapolnjen s stekleno volno debeline 8 cm.
  - absorber brez membrane (črtkano)

## Resonančni absorberji

- Omogočajo široko območje absorpcije po želji
- Na resonančno frekvenco vplivamo z dimenzijami
- Helmholtzovim resonatorjem spreminjamo tako amplitudo kot tudi resonanco dušenja.
- Delitev:
  - Enojni resonančni absorberji
  - Sklopljeni resonančni absorberji
  - Režni resonančni absorberji

## Enojni absorberji

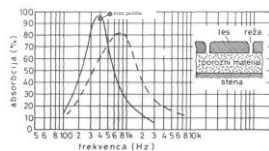
- Postavljeni na zidni površini
- So iz trdega materiala - zrak vzbudi stene
- Povečanje absorpcije dosežemo s povečanjem akustične upornosti
  - namestitev mrežice v resonatorski vrat
  - v resonančni prostor namestimo absorpcijski material
- Največje dušenje v resonanci



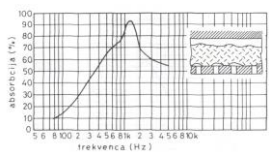
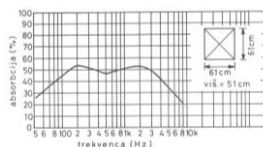
## Sklopljeni absorberji

- V osnovi podobni enojnim le na delujejo hkratno (primer perforirane plošče)
- Tudi tu lahko večamo absorpcijo s polnjenjem vratu in/ali medprostora in manjšanjem odprtih v perforirani plošči
- Namestimo lahko več perforiranih sten s čimer razširimo frekvenčni pas absorpcije brez izgube absorpcije
- S polnjenjem zmanjšamo absorpcijo pri resonančni frekvenci

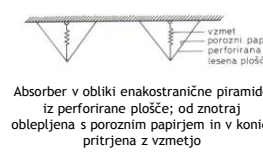
## Primeri sklopljenih absorberjev



### Povečanje efektivne površine absorpcije



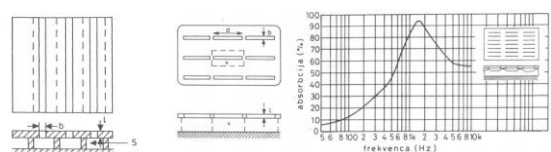
Sklopljen absorber s stekleno volno



Absorber v obliki enostranične piramide iz perforirane plošče; od znotraj oblepljena s poroznim papirjem in v konici pritrjena z vzmetjo

## Režni resonatorji

- Večja odprtina (reža po celotni dolžini)
- Resonančna frekvenca delno odvisna od frekvence ki jo dušimo
- Izvedba s krajšimi režami - neke vrste kombinacija med sklopljenimi in režnimi resonatorji.



Arhitektura in obdelava signalov  
Drafi verzija v2.2, močnej napake

## Digitalno filtriranje in obdelava signalov

- FIR filtri
- IIR filtri
- FFT in IFFT
  - FFT = Fast Fourier Transformation, Hitra Fourierjeva transformacija
- Procesiranje vzorcev
  - FIR, IIR
- Procesiranje blokov vzorcev
  - FFT
- Filtri:
  - Nizkopropustni ("lowpass")
  - Visokopropustni ("highpass")
  - Pasovno propustni ("bandpass")
  - Pasovno zaporni ("bandstop")
    - Ce stabi zelo ozko področje ("notch")

Arhitektura in obdelava signalov  
Drafi verzija v2.2, močnej napake

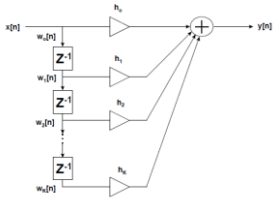
## Gradniki pri digitalni obdelavi signalov

- Zakasnitev  $x(n) \rightarrow Z^{-1} \rightarrow x(n-1)$
- Seštevanje  $x(n) \rightarrow \oplus \rightarrow x(n) + y(n)$
- Odštevanje  $x(n) \rightarrow \ominus \rightarrow x(n) - y(n)$
- Množenje  $x(n) \rightarrow \otimes \rightarrow x(n) * y(n)$
- Ojačanje  $x(n) \rightarrow k \rightarrow k * x(n)$

Arhitektura in obdelava signalov  
Drafi verzija v2.2, močnej napake

## FIR filter

- Filter s končnim impulznim odzivom
  - Izhodna vrednost se izračuna le iz preteklih vrednosti vhoda



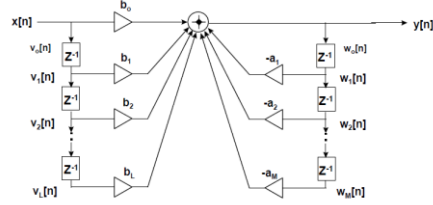
$$y[n] = \sum_{k=0}^M h[k] x[n-k]$$

Vr: [1]

Arhitektura in obdelava signalov  
Drafi verzija v2.2, močnej napake

## IIR filter

- Filter z neskončnim impulznim odzivom
  - Izhodna vrednost se izračuna iz preteklih vrednosti vhoda in izhoda



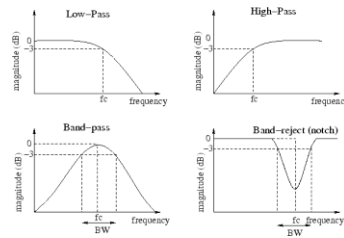
$$y[n] = \sum_{i=1}^M (-a_i y[n-i]) + \sum_{j=0}^L (b_j x[n-j])$$

Vr: [1]

Arhitektura in obdelava signalov  
Drafi verzija v2.2, močnej napake

## Filter / sito

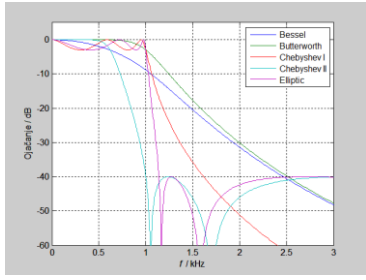
- Nizkopropustno
  - Low-pass
- Visokopropustno
  - High-pass
- Pasovno propustno
  - Band pass
- Pasovno zaporno
  - Band-reject/Band-stop/ Notch filter
- $f_c$  ... centralna/mejna frekvenca
- BW ... pasovna širina
  - Bandwidth
- Kvaliteta filtra Q
  - $Q = f_c / BW$



<https://www.cs.sfu.ca/~tamaras/filters/img9.png>

Arhitektura in obdelava signalov  
Drafi verzija v2.2, močnej napake

## Vrste filtrov



- Mejna frekvenca: 1 kHz
  - amplitudni odziv pade za 3 dB
- Prepustno območje (pass-band): od 0 do 1 kHz
  - Valovitost (Pass-band ripple): 3 dB
- Zaporno območje (stop-band): > 1,14 kHz
- Filtri 5. reda; IIR

## Filtri

- Butterworth, IIR filter
- Red filtra (Filter order):
  - 1 red: 20 dB/dekado
  - 2 red: 40 dB/dekado ...

## Digitalna tonska kontrola

- “Graphic Equalizer”
  - Več pasovno propustnih filtrov z nastavljivim ojačanjem ali slabljenjem
- Analogna implementacija
  - Veliko filtrov - kompleksno vezje
- DSP implementacija
  - Število filtrov pogojeno s hitrostjo procesorja
  - Enostavna implementacija
  - Enostavna sprememba frekvenc
    - Sprememba koeficientov filtrov
    - Izračun koeficientov filtrov s komercialnimi programi
  - PurePath Studio od Texas Instruments ima že gradnik s funkcijo nastavljivega filtra

## FFT filter

- FFT
- Množenje koeficientov v frekvenčnem prostoru
- IFFT
- Oknenje signala
  - Hann-ovo okno
  - „Flat Top“ okno

## Filtriranje

- Labview
- Latenca
  - do 500 ms
- Praktični prikaz

## Filtriranje

- PurePath Studio (Texas Instruments)
- Grafični izenačevalnik
  - 100 Hz, 330 Hz, 1 kHz, 3,3 kHz in 10 kHz
- IIR filter
  - Pasovno zaporni 50 Hz
- Latenca
  - majhna < 1 ms

## Akustična reakcija / mikrofoniija

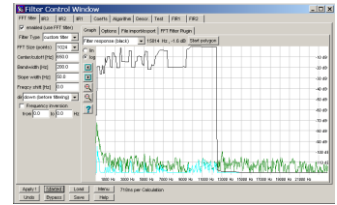
- Oscilacije zaradi akustične povratne vezave po zaključeni poti mikrofon-ojačevalec-zvočnik-prostor-mikrofon...
  - Nastane mikrofoniija
- majhen del energije, ki jo seva zvočnik pride nazaj na mikrofon (pozitivna povratna vezava)
- Ukrepi:
  - Uporaba usmerjenih mikrofonov
  - Notch filtri (različna odmevnost za razl. frekvence)
  - Frekvenčni pomikalniki (lahko opazno)
  - Fazni modulatorji (do 2x na sekundo)

## Odpravljanje mikrofonije

- Mikrofonija
  - Ojačevalnik + pozitivna povratna zveza = oscilator
- Nastavljivi ozkopasovni zaporni filtri
- Zakasnilne linije
- Frekvenčni premik (nekaj Hz)

## Odpravljanje mikrofonije

- Nastavljivi ozkopasovni zaporni filtri
  - FFT filter
  - Spectrum Laboratory
    - Delovanje v realnem času

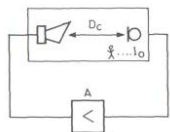


## Kritična razdalja

vsestrmerni izvor

usmerjeni izvor

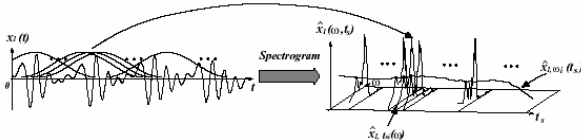
- Na razdalji  $D_c$  sta energijski gostoti odbitega in direktnega zvoka enaki
- Odvisna od :
  - prostora in njegovih dimenzij
  - koeficienta absorpcije
  - usmerjenosti izvora - mera širine zvočnega snopa



## Frekvenčna analiza - DFT

- Diskretna Fourierjeva transformacija
  - Transformacija iz časovnega v frekvenčni prostor
- Za realne signale:
  - zrcalni spekter okrog polovice
- Spekter:
  - Največja amplituda 0 dB<sub>FS</sub>
  - FS ..... "full scale" - polna skala
- N vzorcev, število diskretnih frekvenčnih "bin"-ov
  - $f_s$  frekvenca vzorčenja
- Ločljivost
  - $BIN_{BW} = f_s / N$

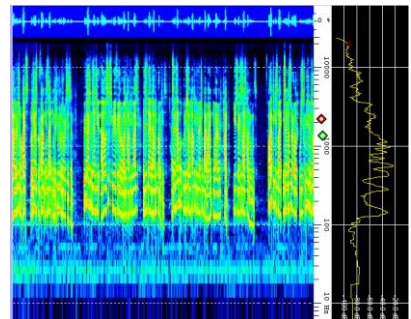
## Spektrogram



- Oknenje v časovnem prostoru
  - Preprečevanje "puščanja" spektra v sosednje "bin"-e
- FFT
  - Ločljivost v časovnem prostoru
  - Ločljivost v frekvenčnem prostoru
- "Zlaganje" posameznih spektrov v spektrogram
  - Slap - "waterfall"

## Spektrogram

- $f_s = 48$  kHz
- $N = 8192$
- Spektrogram je lahko tudi zasukan za 90 stopinj!

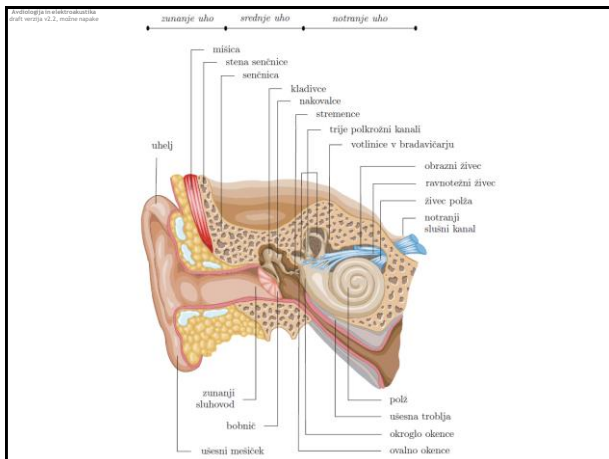


## Sluh

- Primarna funkcija je reševanje življenja (!)
- Obdelava (ne)koristnih informacij
- Obdelava (ne)ugodnih informacij
- 86% vseh komunikacijskih informacij preko sluha
- Procesiranje slušnih informacij je odvisno od same informacije
  - Relevantna: intenzivno procesiranje
- Sluh je vedno aktiven!

## Slušni organ

- Organ, ki sprejema zvok, analizator zvoka
- Zvočno valovanje spremeni v živčno vzdraženje, ta pa povzroči občutek sluha.
- Razlikuje zvok po višini (frekvenci), jakosti in barvi
- Lahko določi smer in oddaljenost od zvočnega izvora
- Frekvenčno območje 10 oktav
  - Oko samo eno oktavo
- Območje amplitude v razmerju 1:10<sup>6</sup> (!)
- Vsebuje mehanske in kemične sestave za samozaščito



## Zunanje uho

- Uhelj
  - Uhelj in zunanji sluhovod ojačata zvok pri srednjih in visokih frekvencah
  - Ojačanje odvisno od smeri in frekvence zvoka
    - Oblika uhlja
    - Razlika zvočnega tlaka do ±15dB
- Zunanji sluhovod
  - 2.5 cm x 0.8 cm
  - Resonančna frekvenca 3.5 kHz
  - Do +10 dB ojačanje zvočnega tlaka

## Srednje uho

- Bobnič
  - Membrana v obliki elipsastega plitvega lijaka
    - 10 mm x 8.5 mm
  - 0.1 mm debelina
  - Resonančna frekvenca 1.2 kHz do 1.5 kHz
  - Impedanca odvisna od frekvence
    - Najnižja pri 800 Hz, se ujema z impedanco zraka
    - Absorpcija največja pri 2 kHz do 3 kHz

## Srednje uho

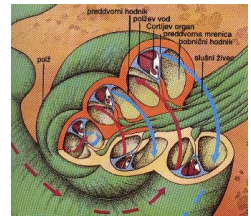
- Evstahijeva cev
- 3 slušne koščice: kladivce, nakovalce in stremence
  - Prenašajo vibracije bobniča na notranje uho
  - Prilagoditev majhnega zvočnega upora zraka velikemu akustičnemu uporu limfne tekočine
  - Resonančna frekvenca 1.2 kHz
  - Šistem vzvodov
    - Prenosno razmerje 1.3 : 1 do 3 : 1
    - Razmerje površin bobniča in ovalnega okenca 3:80 mm<sup>2</sup>
  - Razmerje tlaka pri bobniču in tlaka v notranjem ušesu
    - 100 Hz: 1:10
    - 500 Hz do 2.5 kHz: 1:15

## Srednje uho - zaščita

- Pri > 60 dB
  - Spremeni se os vrtenja ovalne ploščice stremena
  - Avtomatska regulacija glasnosti
  - Zaščita
- Pri > 90 dB do 100 dB
  - Dodatna mišica pritiska na bobnič in zmanjšuje njegovo nihanje
- Zaščita pred hrupom s frekvencami pod 1 kHz
- Slabljenje lastnega govora
- Kemijska zaščita
  - Deluje na živčni sistem
    - Utrujenost in razdražljivost

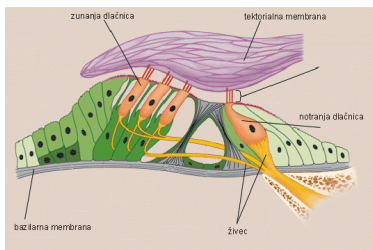
## Notranje uho

- Predvor
  - Pred polkrožnimi kanali in polžem
- Polkrožni kanali
  - Ravnotežje
- Polž
  - 3 cm, 2,5 ovoja
  - 3 kanali
    - Razdeljeni z bazilarno in Reissnerjevo membrano
- Endolimfa
- Ovalno okence
- Okroglo okence



<http://www.kvarkadabra.net/article.php/Kako-deluje-sluh>

## Cortijev organ

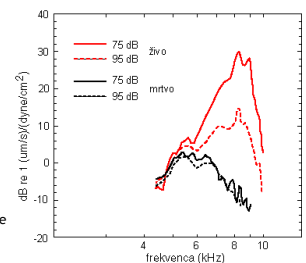


- Cortijev organ daje živčne impulze kot reakcijo na nihanje bazilarne membrane
- Čutni receptorji v Cortijevem organu
  - Notranje čutne celice z dlačicami - notranja dlačnica
  - Zunanja čutne celice z dlačicami - zunanja dlačnica

<http://www.kvarkadabra.net/article.php/Kako-deluje-sluh>

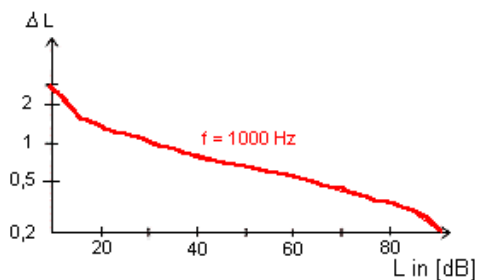
## Zaznavanje slušnih dražljajev

- Pasivna mehanika
- Herman von Helmholtz (1821-1894)
  - plošč - frekvenčni analizator
- Aktivna mehanika
  - Georg von Bekesy (1899 - 1972), 1961: Nobelova nagrada za fiziko
  - polž - teorija potujočih valov
- aktivni mehanski proces:
  - ojačanje odziva bazilarne membrane v Cortijevem organu
  - pozitivna povratna zanka - zunanje dlačnice
  - le pri živem polžu

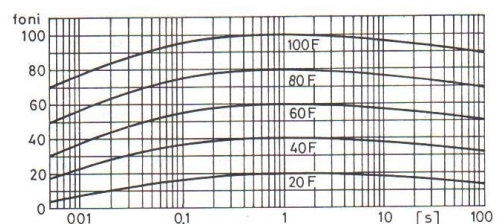


<http://www.kvarkadabra.net/article.php/Kako-deluje-sluh>

## Zaznavna sprememba glasnosti pri 1 kHz

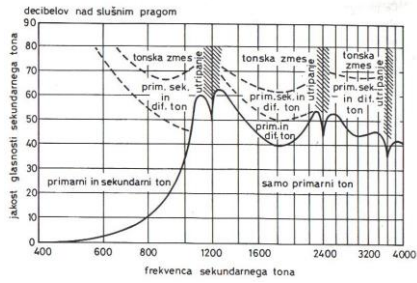


## Lastnosti sluha



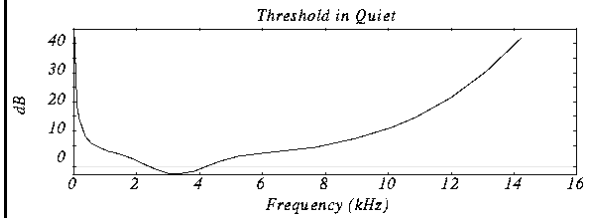
- Odvisnost nivoja jakosti tona od trajanja tona

## Lastnosti sluha



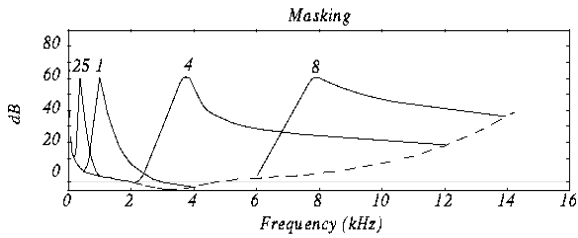
- Odvisnost prekrivanja od frekvence
  - Motilni ton: 1200 Hz, sekundarni ton spremenljive frekvence slišimo tedaj, če je njegov zvočni tlak večji od vrednosti, ki ustreza izvlečni krivulji

## Slušni prag



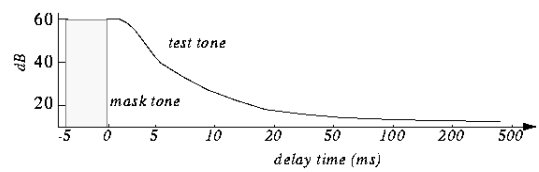
- Slušni prag pri različnih frekvencah
- Merimo v gluhi sobi

## Maskiranje tonov



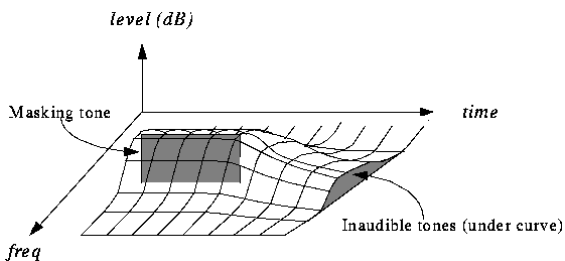
- Ton na neki frekvenci "maskira" tone z manjšo amplitudo in nekoliko različno frekvenco

## Začasno maskiranje



- Po prenehanju glasnega zvoka je potreben nek čas, da slišimo tih ton enake frekvence

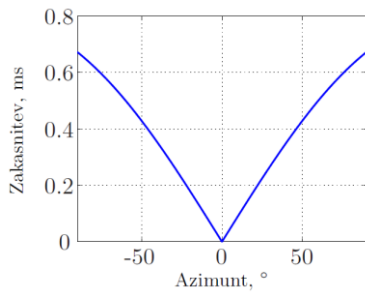
## Maskiranje



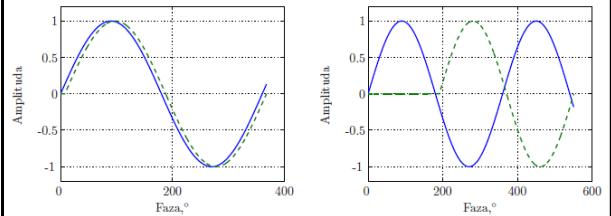
## Zaznavanje smeri zvoka

- Časovna razlika med D in L ušesom (interaural time difference)
- Razlika v glasnosti med L in D ušesom zaradi senčenja z glavo in uhljem (interaural intensity difference)
- Fazna razlika med L in D ušesom pri stalnem signalu
- Dinamična lokalizacija z obračanjem smeri glave
- Spektralna razlika v odvisnosti od smeri in analiza zvočne scene

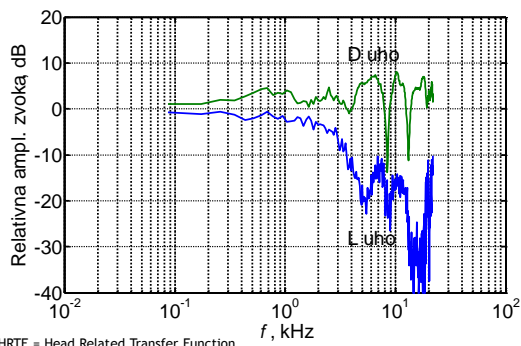
Odvisnost interauralne zakasnitve od velikosti azimutnega kota  $\varphi$  za povprečno velikost glave



Fazna zakasnitev med ušesoma pri frekvenci 40 Hz in 1 kHz

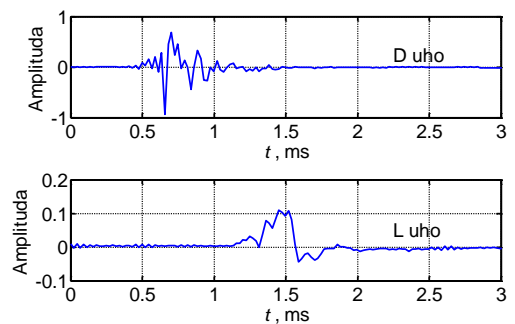


HRTF pri azimutu  $\varphi = 90^\circ$



HRTF = Head Related Transfer Function

HRIR pri azimutu  $\varphi = 90^\circ$



HRIR = Head Related Impulse Response

Načini predvajanja prostorskega zvoka

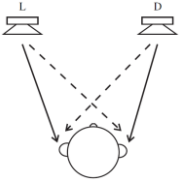
- S slušalkami
  - Sinteza zvok pri poslušalčevih ušesih
  - Izolacija med ušesoma
  - Izolacija od okolice
  - Prostorska informacija mora biti vsebovana že v posnetku
    - Snemanje z mikrofoni v slušnem kanalu
    - Procesiranje mono posnetka z znanimi HRTF
  - Slušalke so lahko neudobne pri daljši uporabi
  - Posnetek „v sredini glave“
    - Posnetek brez prostorske informacije

Načini predvajanja prostorskega zvoka

- Z zvočniki
  - Stereofonska reprodukcija
    - Več zvočnikov v prostoru, spreminjanje amplitude
    - Za 3D zvok > 3 zvočniki
  - Ambifonsko snemanje
    - Amplituda in faza
    - W mono kanal, X naprej-nazaj, Y levo-desno, Z gor-dol
  - Sinteza valovnega polja (WaveField Synthesis)
    - Polje zvočnikov
    - Zaznavanje prostorskega zvoka ni odvisno od položaja poslušalca


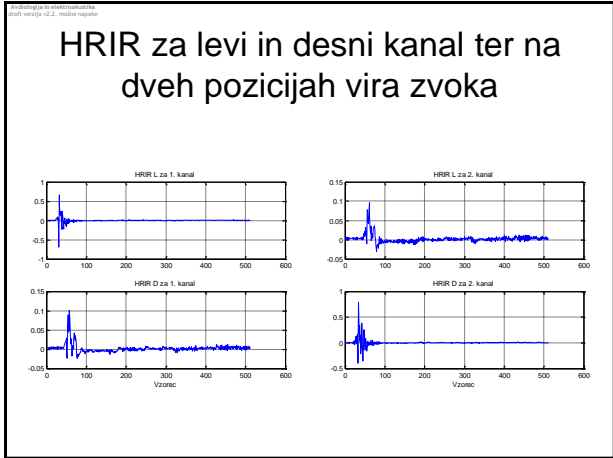
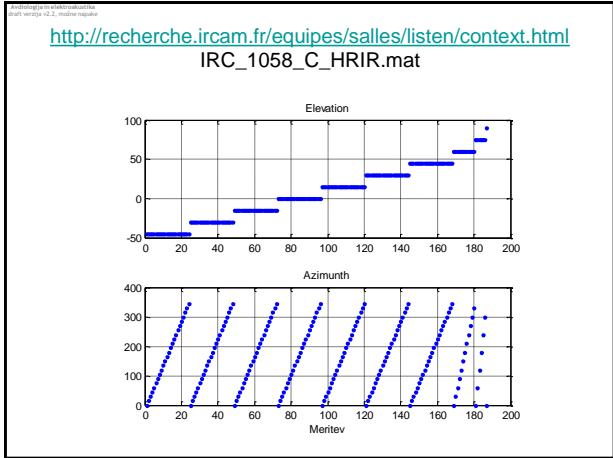
## Načini predvajanja prostorskega zvoka

- Par zvočnikov („Transaural“)
  - Presluh --->
  - „Akustična stena“ za preprečevanje presluha
  - Neželeno obarvanje zvoka
  - „Pure stereo“, Edgar Choueiri, PU
    - 2 zvočnika
    - 3D prostorska reprodukcija
    - „sweet spot“ - optimalna točka poslušanja, se jo lahko nastavi

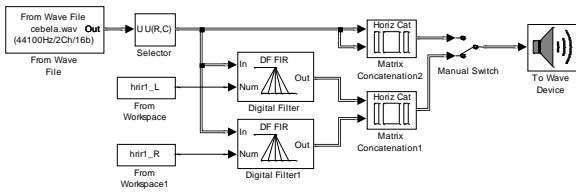


## HRIR podatkovna zbirka

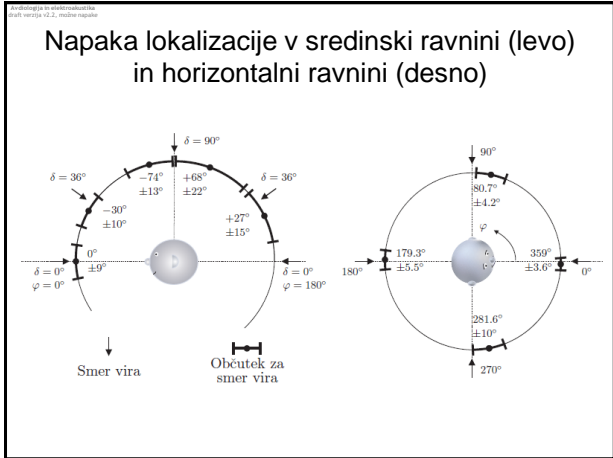
- Head Related Transfer Function (HRTF) podatkovna zbirka »LISTEN«
  - <http://recherche.ircam.fr/equipements/salles/listen/index.html>
- Meritve HRIR
  - v gluhi sobi
  - zvočnik
  - mikروفon v slušnem kanalu
  - različne pozicije okrog glave

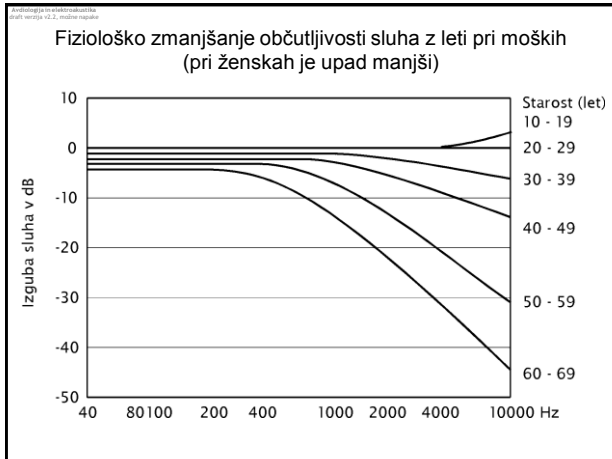



## Simulacija 3D zvoka



- MatLab Simulink
- Nastavitev parametrov
- Obdelava podatkov v realnem času
  - Bločno (frame based) ✓
  - Vzorčno (sample based) x





## Hrup

- Zvok različne jakosti, vzbuja nemir, moti človeka, vpliva na njegovo počutje, zdravje.
- Veličina opredeljena subjektivno
  - merjenje - ?
- Kdaj je določen zvok hrup ?
- Subjektivno, odvisno od:
  - razpoloženja
  - okoliščin
  - dejavnosti, ...

## Vplivi hrupa na človeški organizem

- Vplivi hrupa na sluh
  - začasno zmanjšanje slušne sposobnosti
  - trajna okvara sluha, akustična travma
  - avralni učinek - učinek akustične travme (zmanjšanje sposobnosti slisanja)
- Ostali vplivi
  - na organizem ali organe
  - ekstravitalni vplivi
- Hrup vpliva na:
 

Vpliv	Nivo hrupa [dBA]
psihične reakcije	30
vegetativne reakcije	65
motnje sluha	80
mehanske poškodbe	120

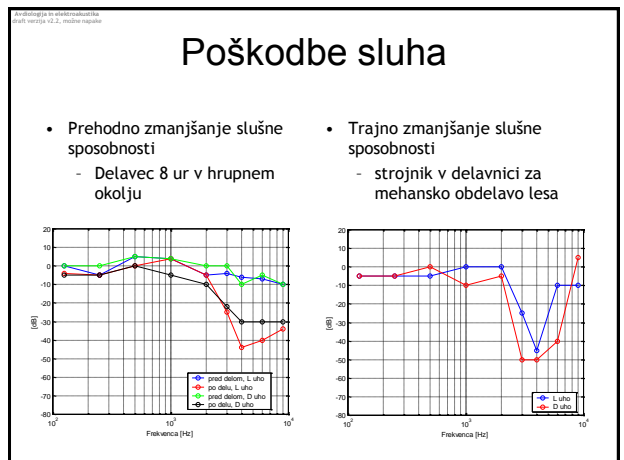
  - žleze z notranjim izločanjem
  - centralni živčni sistem
  - kardiovaskularni sistem
  - prebavni sistem
  - sistem za ravnotežje
  - oči
- Kumulativno delovanje hrupa na človeka !

## Varovanje pred hrupom

- Fiziološki načini
  - kontrakcija mišic
  - nevrološki način
  - adaptacija
- Tehnični načini
  - ukrepi pri izvoru (preprečevanje nastajanja hrupa)
  - ukrepi na prenosni poti
  - ukrepi na mestu sprejema
    - Ušesni čepi
    - Slušalke - glušniki
- Socialno-pravni načini
  - pritožbe posameznikov in peticije
  - odloki in pravilniki
  - standardi, norme, zakoni
  - stopnje varstva pred hrupom

## Izpostavljenost hrupu

Nivo hrupa, dB(A)	Največja dnevna izpostavljenost
85	8 ur
88	4 ure
97	30 minut
109	< 2 minuti
115	< 30 sekund



Arhivirano in elektronsko  
društvo verjeto 12.2.2018, močine napake

## Uradni list RS

### Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, stran 6944.

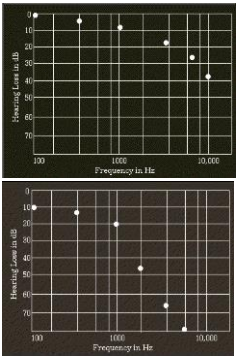
- <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2018-01-2127/uredba-o-mejnih-vrednostih-kazalcev-hrupa-v-okolju>



Arhivirano in elektronsko  
društvo verjeto 12.2.2018, močine napake

## Simulacija dojemanja zvoka pri okvari sluha

- Normalno dojemanje zvoka
  - govor glasba
- Srednja okvara sluha
- Huda okvara sluha



Arhivirano in elektronsko  
društvo verjeto 12.2.2018, močine napake

## Zvočno sevanje ušesa

- Posledica „ojačanja“ v notranjem ušesu (polžu)
- Spontano
- Vzbujano
  - Vzbujanje s čistimi toni
  - Vzbujanje s pulznimi signali
    - Kratak ton
    - Pok
- Vzbujeni signali zaradi popačenja
  - Amplituda signalov ca 55 dB do 65 dB
  - Frekvence vzbujenih signalov
    - $2 * f_1 - f_2$
    - $f_1 - f_2$
- Neinvazivni test sluha

Arhivirano in elektronsko  
društvo verjeto 12.2.2018, močine napake

## Lastnosti sluha - Haas

- Če je zvok zakasnen glede na drug izvor zvoka z enakim signalom od 5 ms do 35 ms (govor 10 ms do 20 ms)
  - Slišimo le zvok, ki ni zakasnen
  - Zakasnen zvok je lahko do 10 dB glasnejši od nezakasnjenega zvoka da ga poslušalec ne sliši
- Če je zvok zakasnen od 35 ms do 50 ms
  - Slišimo tudi drugi zvok iz smeri nezakasnjenega zvoka
  - Pri še večji zakasnitvi se zazna odmev
- „Zakon prvega valnega čela“
  - (Precedence Effect)
- Ozvočenja
  - Zakasnen zvok za 10 ms do 20 ms
  - Lokalizacija - zvok z odra
  - Zakasnen, ojačan zvok poveča glasnost

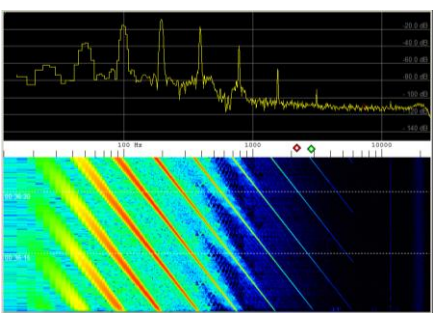
Arhivirano in elektronsko  
društvo verjeto 12.2.2018, močine napake

## Lastnosti sluha - odmev

- Daljša časovna razlika
  - Meja 35 ms do 50 ms
  - Pri pulzih 2 ms
  - Govor 20 ms
  - Pri večji glasnosti se odmev pojavi pri krajšem času zakasnitve

Arhivirano in elektronsko  
društvo verjeto 12.2.2018, močine napake

## Shepard-ovi toni



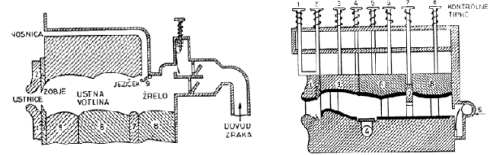
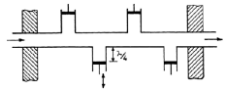
- Več tonov, ki daj občutek stalnega zmanjševanja/povečevanja frekvence
  - Ovojnica spektra je konstantna

## Lastnosti sluha - Fransen

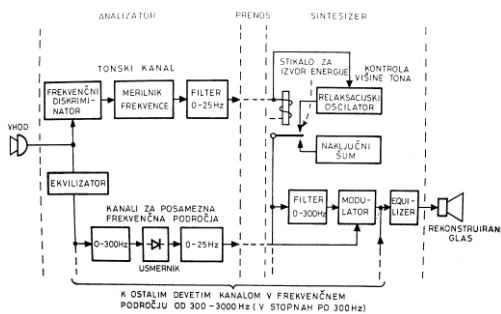
- L in D zvočnik
- L zvočnik predvaja ton
- Komplementarno na D zvočnik
- Človek dojema kot da zvok prihaja z L strani

## Sinteza govora

- Temelj moderne analize govora so Strumpfove ugotovitve
  - Raziskoval je vokale z interferenčno cevjo in glasbenimi vilicami
- Poskusi sinteze z mehansko napravo
  - Operater je s spreminjanjem govornih votlin dobil sintetiziran govor



## Vocoder (voice coder), Homer Dudley 1939



- Govorni signal potuje preko 10 pasovnih filtrov s širino 300 Hz
  - Potrebna je majhna pasovna širina za prenos govora
  - Enkripcija kontrolnih signalov - enkripcija govora
  - Glasbeni instrumenti

## Uporaba vocoderjev

- Polževi vsadki
- Digitalne mobilne radijske zveze
- Enkripcija govora
- Shranjevanje govora in predvajanje
- VoIP (Voice over Internet Protocol)
- Sistemi za govorno sporočanje
- Glasba
  - Kot vokal
  - Posebni efekt

Electric Light Orchestra - Sweet Talkin' Woman



## Digitalne metode sinteze in analize govora

- Frekvenca vzorčenja za govor
  - 8 kHz, 16 bit: 128 kbit/s
  - Vocoder
    - 2.4 kbit/s za dobro simulacijo govora
    - 8 kbit/s za dobro kvaliteto govora
- PCM (Pulse Code Modulation)
- Kanalni vocoder (Channel Vocoder)
  - Ugotovi ali je zveneč ali nezveneč zvok
  - Razdeli spekter na frekvenčne pasove (100 Hz do 300 Hz)
  - Za vsak pas ugotovi amplitudo
  - Rekonstrukcija
    - Modulira nosilec s to amplitudo
    - Kombinira vse signale v izhodni signal

## Digitalne metode sinteze in analize govora

- Metode formantnega kodiranja
  - Ugotovi prve tri ali štiri formante v bloku procesiranega signala
  - Ugotovi osnovno frekvenco
- LPC (Linear Predictive Coding)
  - Ugotavljanje ovojnice spektra
  - Napovedovanje iz preteklih podatkov
  - Obdelava v „paketih“, 30-50 s<sup>-1</sup>
- SBC Sub-band coder
  - Kodiranje posameznih frekvenčnih območij
- MBE (Multi-Band Excitation)
  - Delitev spektra na frekvenčna območja
  - Delitev zvokov na zveneče in nezveneče v vsakem frekvenčnem območju

## Vocoder - primer

- <http://www.epiphyte.ca/proj/vocoder>
- The Zerius Vocoder
  - kanalni vocoder

- DEMO
- Modulator
- Nosilec
- Avdio izhod

## Energija govora

- Majhna energija človekovega govora
- En stavek
  - Delo: maso 0,5 g na višino 1 cm
  - Delo: 0.05 mJ
- Moč govora
  - Trenutna moč govora lahko naraste na 100 x vrednost povprečne moči

## Spreminjanje dinamičnega območja avdio signala

- Kompander = kompresor + ekspander
- Slušni aparati (!)
- Znižanje nivoja šuma z zmanjšanjem dinamike signala
- Prenos govora
- Brezžični mikrofoni
- Dinamično območje signala 90 dB se "stisne" na npr. 45 dB

## Slabosti kompanderja

- Popačenje nenadnega visokega nivoja:
- Hitro nastali visoki nivoji se ne morejo pravočasno kompresirati zaradi velike časovne konstante kompresorja
- Pojavi se lahko „pumpanje“ (sprememba ojačenja ekspanderja)
- Prenosni karakteristiki kompresorja in ekspanderja morata biti komplementarni, da se ohrani originalna dinamika

## Prenosni funkciji kompresorja in ekspanderja

KOMPRESOR

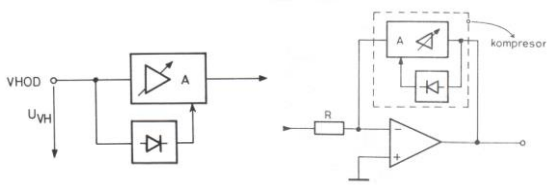
EKSPANDER

## Prenosna naprava

- Prenos signala skozi napravo: kompander izključen
- Prenos signala skozi napravo: kompander vključen

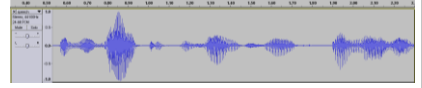
# Kompresor

# Ekspander

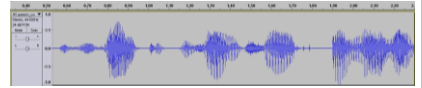
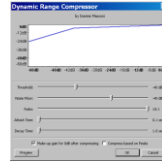


# Primer: kompresija dinamike govora

- Originalni posnetek
  - gluha soba FE

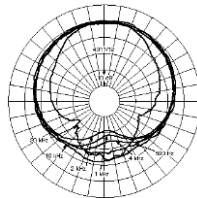
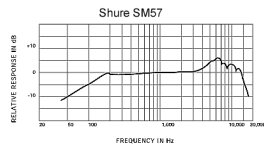


- Kompresija



# Mikrofoni

- Pretvori akustično energijo v mehansko in nato električno (elektroakustični pretvornik)
- Glavne lastnosti:
  - občutljivost
    - razmerje napetosti in zvočnega tlaka
  - frekvenčna karakteristika
  - smerna karakteristika
    - krožna
    - osmičasta
    - ledvičasta
  - dinamika



Vir: [http://www.audionid.com/assets/5145\\_fm57\\_targa.gif](http://www.audionid.com/assets/5145_fm57_targa.gif)

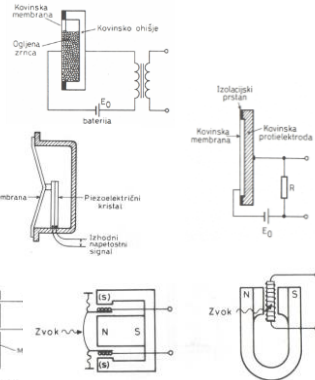
# Vrste mikrofonov

- Akustična delitev
  - Gradientni
    - Na membrano deluje tlak z obeh strani
    - Smerna karakteristka v obliki osmice
  - Tlačni
    - Na membrano deluje zvočni tlak le z ene strani
    - Krožna smerna karakteristika
  - Kombinacija
    - Smerna karakteristika v obliki kardioide

# Vrste mikrofonov

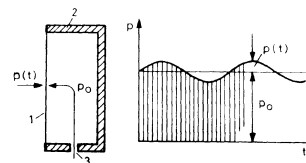
- Električna delitev:

- Ogljeni mikrofoni
- Kondenzatorski
  - DC polarizacija
  - RF signal
- Piezoelektrični
- Elektrodinamični
- Elektromagnetni



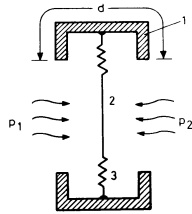
# Tlačni mikrofoni

- Na membrano deluje zvočni tlak le z ene strani
- Na eno stran membrane deluje zvočni in atmosferski tlak na druga pa le atmosferski tlak
- Sila na membrano neodvisna od vpadnega kota - smerna karakteristika je krog
- Največji premik membrane pri resonančni frekvenci



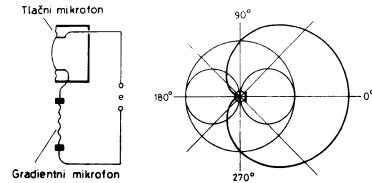
## Gradientni mikrofons

- Na membrano deluje zvočni tlak z obeh strani
- Membrana zazna fazno razliko zvočnih tlakov
  - Različne dolžine poti
  - Sila sorazmerna razliki poti in frekvenci - smerna karakteristika v obliki osmice
- Največja občutljivost s sprednje in zadnje strani
  - Nad resonanco - hitrost nihanja membrane neodvisna od frekvence
  - Pod resonanco - pomik neodvisen od frekvence in proporcionalen tlaku



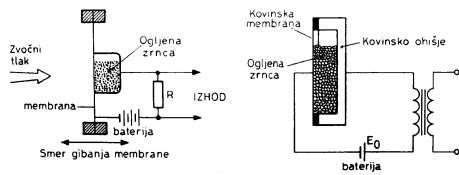
## Kombinacija tlačni-gradientni mikrofons

- Serijska (zaporedna) vezava gradientnega in tlačnega mikrofona
- Smerna karakteristika v obliki kardioide (pri enakih aksialnih občutljivostih)



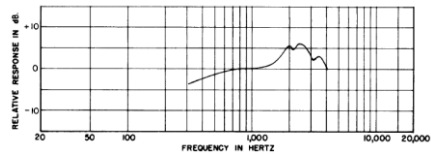
## Ogljeni mikrofons

- Velika občutljivost !
- Potrebuje enosmerni vir napetosti
- Velika popačenja
- Za prilagoditev potrebuje transformator
- Impedanca: 10-50 Ohmov ali 100-300 Ohmov
- Občutljivi na vlago
- Uporabljal tudi kot ojačevalni element - telefonija



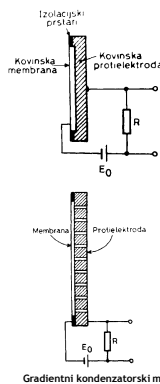
## Ogljeni mikrofons Shure 104C

- Bremenska upornost
  - 50  $\Omega$  to 100  $\Omega$
- Impedanca mikrofona
  - 30  $\Omega$  (pri toku 50 mA)
- Občutljivost
  - 56 mV/Pa
  - 100  $\Omega$  breme
- Priporočljiv tok obratovanja
  - 50 mA (20 mA min., 120 mA max.)



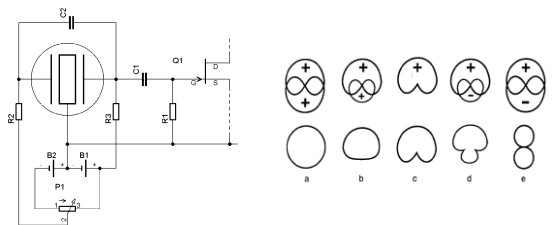
## Kondenzatorski mikrofons

- Polarizacijska enosmerna napetost od 100 V do 200 V
- Baterija vgrajena v mikrofons ali fantomsko napajanje
- Visoka impedanca
- Velika občutljivost
- Kvalitetni
- Vpliv kapacitivnosti kablov
- Niso občutljivi na zunanja magnetna polja
- Ojačevalnik
- Radiofrekvenčni (RF) kondenzatorski mikrofons
  - RF signal na ploščah kondenzatorja



## Nastavljanje smerne karakteristike kondenzatorskega mikrofona


- Patent: 927037, Herbert Großkopf: Capacitive microphone with variable directional characteristics
- Dva kondenzatorska mikrofona s skupno elektrodo
- Spreminjanje enosmerne električne napetosti na ploščah
- Možna daljinska kontrola



Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, molče naprave

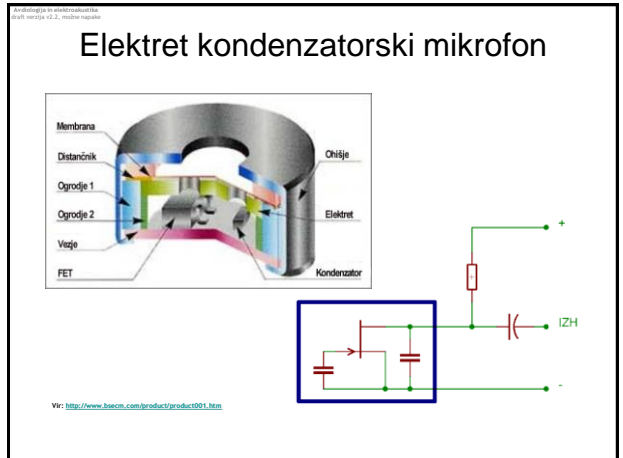
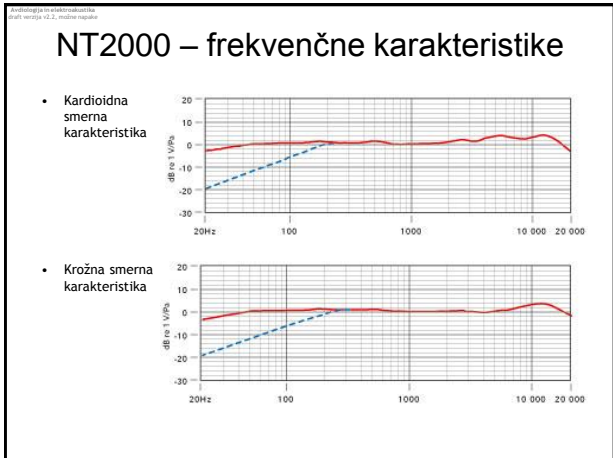
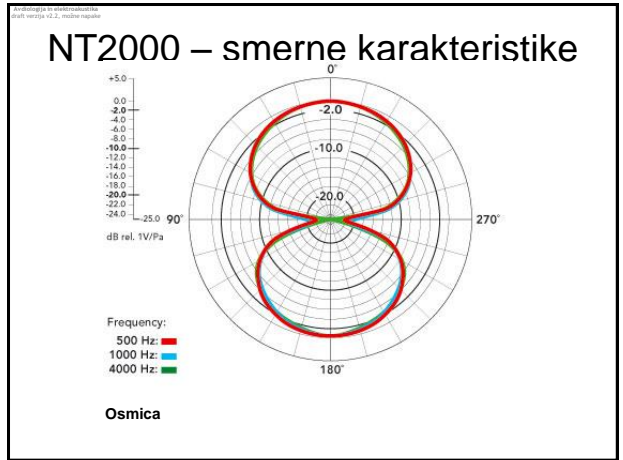
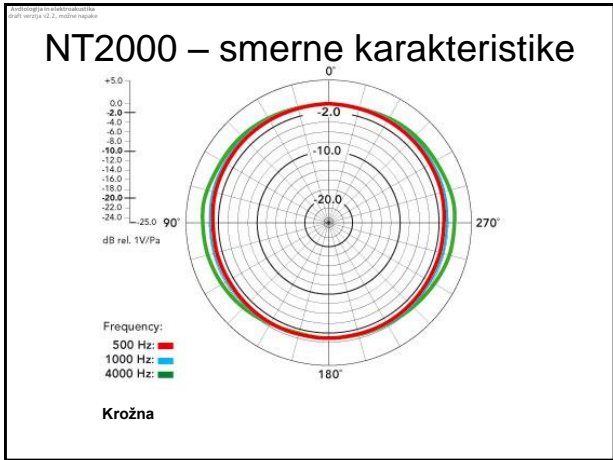
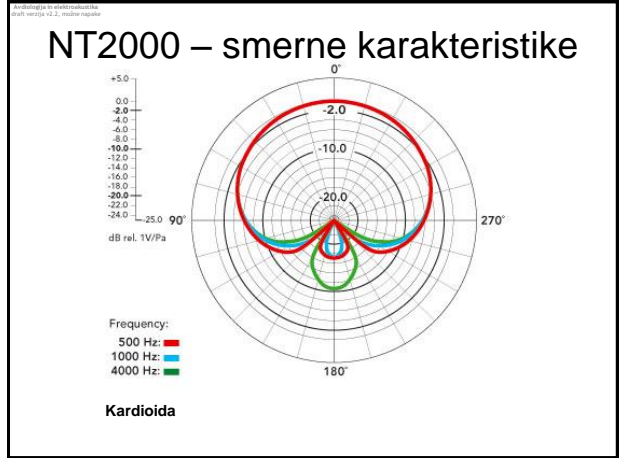
# Kondenzatorski mikrofons

- Rode Microphones
  - NT2000
  - Spremenljiva smerna karakteristika



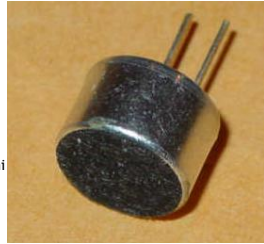
**Specifications**

Acoustic Principle	Pressure, Pressure gradient	Directional Pattern	Continuously variable multi pattern - Omni, through Cardioid to Figure 8
Frequency Range	20 Hz-20 kHz	Sensitivity	-36 dB re 1 Volt/Pascal (16 mV @ 94 dB SPL) +/- 2 dB @ 1kHz
Output Impedance	200Ω	Dimensions	Length - 208mm (8.1889") Diameter - 55mm (2.1653")
Output Connection	3 pin XLR, balanced output between Pin 2 (+), Pin 3 (-) and Pin 1 (ground)	Shipping Weight	2.6kg
Net Weight	831g		



## Elektret kondenzatorski mikrofoni

- Membrana je že polarizirana
- FET ojačevalnik v mikrofону
- Lastnosti:
  - Izhodna impedanca
    - 400 Ω do 2 k Ω
  - Občutljivost:
    - -60 dB do -75 dB
  - Krožni smerni diagram
    - Posebne izvedbe tudi usmerjeni
  - Napajanje 1 V do 10 V
- Neposredna priključitev na PC
  - Mikrofonski vhod
  - Kvaliteta ?



Vir: <http://www.circuitcellars.com/products/full/4214.asp>

## Občutljivost mikrofонов

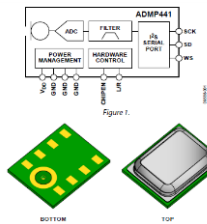
Frequency range	20-20,000Hz, ±2dB
Sensitivity	6mV/Pa/1kHz, ±4dB
Output impedance	2kΩ, RL: 2.2kΩ
S/N ratio	> 58dB
Coupling capacitor	0.1-4.7μF
Admiss. ambient temp.	0-40 °C
Power supply	1.5-10V DC current 0.5 mA



- Občutljivost:
  - 6 mV/Pa pri 1 kHz ± 4dB
- Amplituda signala pri govoru na sponkah mikrofona bi bila:
  - Govor: 60 dB -> 20 mPa -> 6 mV/Pa · 0,020 Pa = 120 μV
  - Potrebujemo ojačevalnik
  - Šum ojačevalnika -> SNR = ?
  - Demo: Določanje SNR

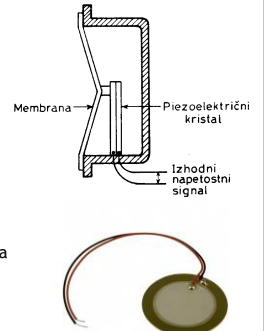
## MEMS mikrofoni

- Micro Electrical Mechanical System
  - Mikro elektro-mehanski sistem
- Mikrofoni izdelani na polprevodniškem čipu
- Ojačevalnik na istem čipu
- AD pretvornik lahko na istem čipu
  - Digitalni izhod
- Kondenzatorski mikrofoni
- ADMP441 (Analog Devices)
  - Digital I<sup>2</sup>S interface with high precision 24-bit data
  - High SNR of 61 dB(A)
  - High sensitivity of -26 dB<sub>FS</sub>
  - Flat frequency response from 60 Hz to 15 kHz
  - Low current consumption of 1.4 mA
  - High PSR of -75 dB<sub>FS</sub>
  - Small 4.72 mm × 3.76 mm × 1 mm surface-mount package



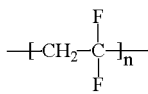
## Piezoelektrični mikrofoni

- Piezoelektrični efekt
- Občutljivost odvisna od površine in debeline kristala
- Izhodna napetost odvisna od kapacitivnosti kristala
- Impedanca kapacitivnega značaja
- Široko frekvenčno območje
- Majhna popačenja in dimenzije
- Občutljivi na vlago in temperaturo
- Približno krožni smerni diagram
- Recipročen (se lahko uporabi kot majhen zvočnik)



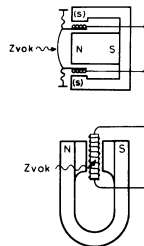
## Piezoelektrični pojav

- Piezoelektrični pojav
  - 1880, Pierre Curie
  - ojačevalniki ( $Z_{in}$ )
  - mehanska deformacija povzroči spremembo električnega naboja na površini
  - Ni primeren za stacionarne meritve
- Materiali:
  - Kremen (SiO<sub>2</sub>)
  - Keramike (PZT)
  - PVDF (polivinilidien fluorid) ->



## Elektrodinamični mikrofoni

- Nizka notranja upornost
- Široko frekvenčno območje
- Majhna popačenja in šum
  - Tuljavica na membrani v reži permanentnega magneta
  - Dobra frekvenčna karakteristika
  - Dinamično območje 120 dB
  - Malo občutljivi na vlago in temperaturo
- Občutljivost odvisna od debeline traku
  - Širina traku 2-3 mm
  - Dolžina traku 5-6 cm
  - Občutljivi na zunanja magnetna polja
  - „Ribbon microphone“

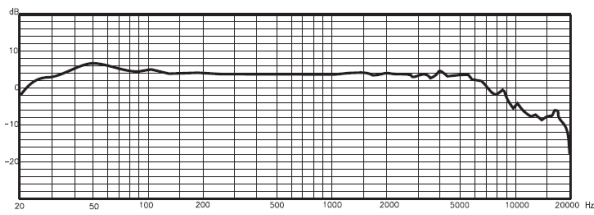


## Tračni mikrofon

- VR88
- 6.35 cm trak
- 2 µm debelina
- Smerna karakteristika
  - Oblika osmice



## VR88 – frekvenčna karakteristika



## Dinamični mikrofon Audiotechnica Pro 41



PRO 41 SPECIFICATIONS*	
ELEMENT	Dynamic
POLAR PATTERN	Cardioid
FREQUENCY RESPONSE	90-16,000 Hz
OPEN CIRCUIT SENSITIVITY	-55 dB (1.7 mV) re 1V at 1 Pa*
IMPEDANCE	300 ohms
SWITCH	MagnaLock™ on/off
WEIGHT (less cable and accessories)	10.7 oz (304 g)
DIMENSIONS	7.28" (185.0 mm) long, 2.09" (53.1 mm) head diameter
OUTPUT CONNECTOR	Integral 3-pin XLRM-type
CABLE	15.0' (4.5 m) cable with XLRF-type connector at microphone end, XLRM-type connector at equipment end
ACCESSORIES FURNISHED	AT8470 Quiet-Flex™ stand clamp for 1/2"-27 threaded stands; 1/2"-27 to 1/4"-16 threaded adapter; soft protective pouch

Output from the microphone's XLRM-type connector is line impedance (60-2) balanced. The signal appears across Pin 2 and 3. Pin 1 is ground (shield). Output phase is "Pin 2 hot" - positive acoustic pressure produces positive voltage at Pin 2.

Plug Type	Ground	Audio "+"	Audio "-"
XLR	Pin 1	Pin 2	Pin 3
1/4" TRS*	Shield	Tip	Ring
1/4"	Shield	Tip	Shield

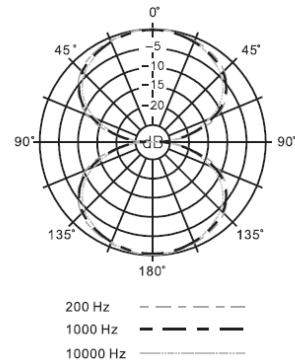
\*In the interest of standards development, A.T.U.S. offers full details on its test methods to other industry professionals on request.  
\*1 Pascal = 10 dynes/cm<sup>2</sup> = 10 microbars = 94 dB SPL  
Specifications are subject to change without notice.

## VR88

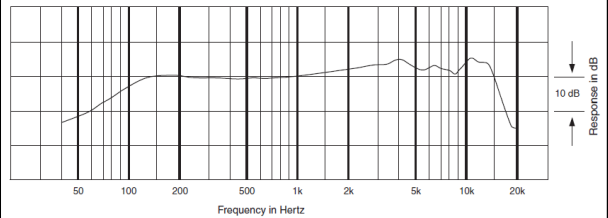


Frequency Response	30 ~ 16000 Hz
Polar pattern	Bi-directional (Figure 8)
Element type	Velocity Ribbon
Ribbon thickness	2 microns
Sensitivity	-40 dB/Pa
Max SPL	135 dB
Equivalent Noise Level	17dB
Impedance	200 ohms
Minimum Load Impedance	1000 ohms
Power supply voltage	phantom power 48V +/-3V
Weight	1.1 lbs. (500 g)
Dimensions	Height: 7" (175 mm) Width: 2.125" (54 mm) Depth: 2.125" (54 mm)

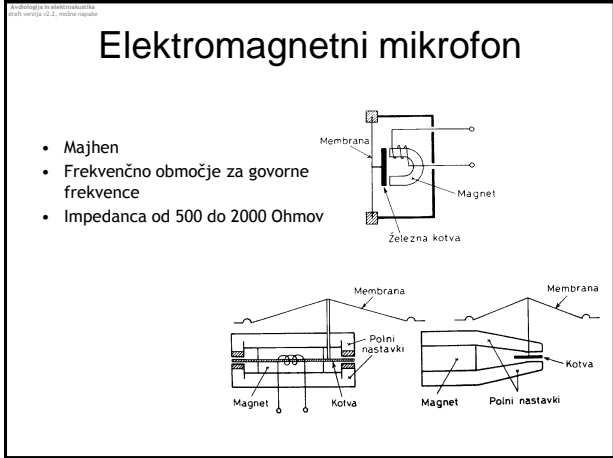
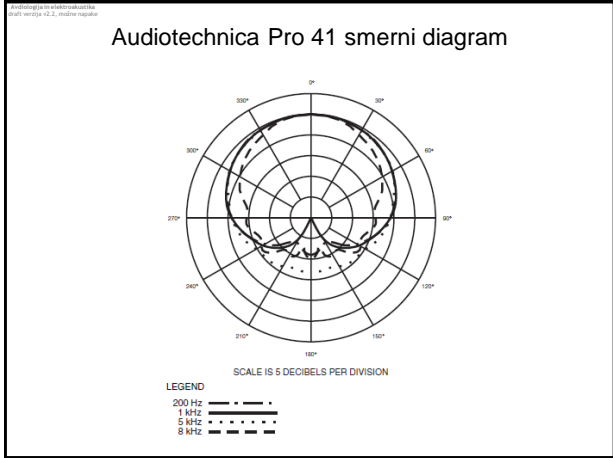
## VR88 – smerna karakteristika



## Audiotechnica Pro 41 frekvenčna karakteristika



LEGEND ——— 12" or more on axis



### Optični mikrofoni

- Laserski mikrofoni
  - Odboj laserske svetlobe od površine, ki zaradi zvoka vibrira
  - Detekcija vibracij z interferometrom
  - Detekcija zvoka s pomočjo dima ali pare z laserjem
- Mikrofoni z optičnim vlaknom
  - Odboj svetlobe laserja od membrane
  - Fotodiodni detektor
  - Široko dinamično območje
  - Širok frekvenčni razpon
  - Imuni na EM motnje (MRI)
  - Robustni

### Usmerjeni mikrofoni

- Parabolno zrcalo + mikrofoni
- Večcevni mikrofoni
- „Shotgun“ mikrofoni
- Mikrofonski sistemi
  - DSP
  - Več mikrofonov
    - Nastavljiva smerna karakteristika

### Laringofon

- Uporaba v posebnih situacijah - hrup
- Prenašajo se le vibracije glasilk, ne pa hrup okolice
- S konstrukcijo se poveča odziv na visokih frekvencah
- Uporaba:
  - Gasilci, vojska, v diskotekah, kabina letala, rudniki, ...
  - v hrupnem okolju

### PZM mikrofon

- PZM „Pressure Zone Microphone“
  - Mikrofon območja pritiska
- Neusmerjen mikrofon z membrano tik nad večjo površino, ki odbija zvok
- Boljši frekvenčni odziv kot z mikrofoni blizu ravnih odbojnih površin
  - Efekt „comb“ filtra

Arhivirano in elektronsko obliko  
DRAFT verzija v2.2, molimo napravo

## Pojav „glavnikastega“ (Comb) filtra

- Frekvenčna karakteristika v obliki glavnika
  - Če prispe direktni in zakasnjjen zvok do mikrofona
  - Če je isti izvor posnet z več mikrofoni postavljenimi na različnih razdaljah od vira, signali pa kombinirani
- Praktični prikaz

Arhivirano in elektronsko obliko  
DRAFT verzija v2.2, molimo napravo

## Določanje frekvenčne in smerne karakteristike mikrofona

Arhivirano in elektronsko obliko  
DRAFT verzija v2.2, molimo napravo

## Merjenje karakteristike mikrofona v gluhi sobi

Arhivirano in elektronsko obliko  
DRAFT verzija v2.2, molimo napravo

## Merjenje frekvenčne karakteristike mikrofona v gluhi sobi

Arhivirano in elektronsko obliko  
DRAFT verzija v2.2, molimo napravo

## Merjenje frekvenčne karakteristike mikrofona v gluhi sobi

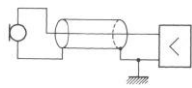
Arhivirano in elektronsko obliko  
DRAFT verzija v2.2, molimo napravo

## Motnje in šum

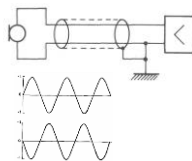
- Termično gibanje molekul zraka (Brownovo gibanje)
- Termično gibanje atomov v mehanskem delu mikrofona
- Termično gibanje elektronov v vodniku
- Šum predojačevalnika
- Zunanja električna in magnetna polja
- Mehanske vibracije
- Vpliv gibanja zraka

## Mikrofoni - priključitev

- Nesimetrično
  - Neposredno na vhod naprave
  - Preko ojačevalnika
  - Brum



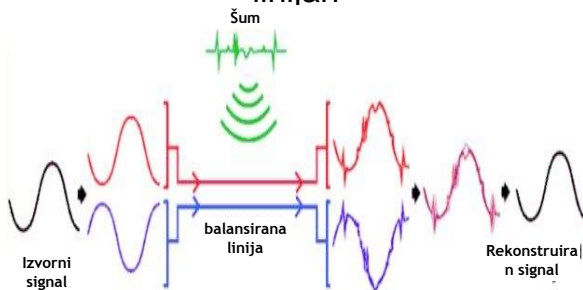
- Simetrično
  - Dušenje sofaznih motenj
  - Fantomsko napajanje
    - Dušenje motenj z napajalnih linij



## Motnje in odpravljanje

- CMRR (Common Mode Rejection Ratio)
  - Dušenje signala z enako amplitudo na signalnih linijah (dušenje sofaznih signalov)
- Enaka impedanca vira in ponora
- Zanke pri masah naprav (Ground loops)
  - Nebalansiran/Balansiran sistem
  - Ojačevalniki razlike (Diferencialni ojačevalniki)

## Dušenje motenj na balansiranih linijah



<http://www.controlbooth.com/attachments/question-day/1436d1224127721-audio-gotd-balanced-lines-balanced.jpg>

## Feritna jedra za kable



## dBu, dBV, dBm ...

- dBV
  - Napetost glede na 1 V
- dBu
  - Napetost glede na 0.775 V
  - $P = UI = U^2 / R$
  - $U = (PR)^{1/2} = (0.001W * 600 \Omega)^{1/2} = 0.7746 V$
- dBmV
  - Napetost glede na 1 mV
- dB $\mu$ V
  - Napetost glede na 1 V
  - 60 dB $\mu$ V = 0 dBmV
- dB<sub>FS</sub>
  - Glede na največjo napetost „Full Scale“
- dBHL
  - glede na normalen človekov sluh
  - dB „Hearing Level“
- Avdio oprema za domačo uporabo
  - -10 dBV ustreza 0.316 V in -7.8 dBu
  - Nesimetrična priključitev signala
- Profesionalna avdio oprema
  - 1.8 dBV ustreza 1.228 V in +4 dBu
  - Simetrična priključitev signala

## Mikrofonski ojačevalniki

- Ojačanje signala
- Prilagoditev impedance med mikrofonom in naslednjo stopnjo
- Filtriranje
  - LP, HP, BP
- Prilagoditev signalov
  - Simetrična priključitev (profesionalni avdio)
    - “Balanced”
  - Nesimetrični (PC, radio ...)
    - “Single ended”

## Mikrofonski ojačevalniki

- Parametri
  - Ojačanje
  - Šum ojačevalnika
  - Dinamično območje
- Postlabšanje razmerja signal/šum
  - Se lahko izračuna
- Električno napajanje ojačevalnika
  - Baterija
  - 'Fantomsko' napajanje (profesionalni avdio)
- Izvedba ojačevalnika
  - Vrsta uporabljenih elektronskih komponent (različna vhodna impedanca, lastni šum, ...)

## Zvočniki

- Pretvori električno energijo pretvorni v akustično
- Glavne karakteristike:
  - Nazivna moč
    - Največja moč, da ne pride do poškodbe zvočnika
  - Resonančna frekvenca
  - Frekvenčna karakteristika
  - Občutljivost
  - Karakteristika usmerjenosti
  - Impedanca
  - Popačenje
    - Harmonsko
    - Intermodulacijsko
    - Fazno
    - Iznihavanje
    - Zakasnitve



## Vrste zvočnikov

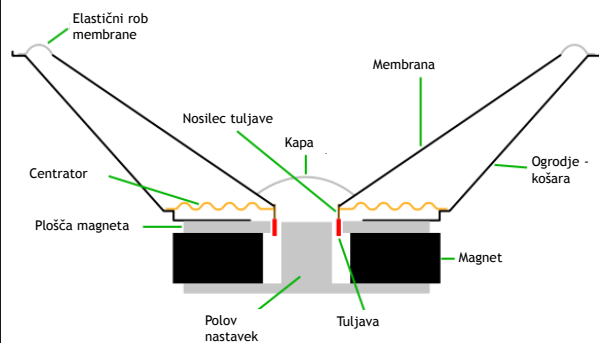
- Dinamični zvočnik
  - Premikanje električnega vodnika v magnetnem polju
- Elektromagnetni zvočnik
  - Premikanje feromagnetne membrane zaradi spremenljivega magnetnega polja
- Piezoelektrični zvočnik
  - Piezoelektrični pojav
- Elektrostatični zvočnik
  - Delovanje sile na električno nabito ploščo
- Zvočnik s plazmo
  - Ionizirani delci služijo kot membrana zvočnika
- Magnetostrikcijski zvočnik
  - Magnetostrikcijski pojav - spreminjanje oblike feromagnetnih materialov zaradi vpliva magnetnega polja

## Dinamični zvočnik

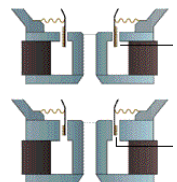
- Najbolj uporabljen zvočnik
  - Zračna tuljava v reži permanentnega magneta
  - Na tuljavo je pritrjena membrana
  - Sila odvisna od toka tuljave
- Različne oblike membran
- Več membran na isti tuljavici
  - „Full-range“ izvedbe
- Različne trdote vpetja membrane za različna frekvenčna območja
- Frekvenčna karakteristika
  - LF: prevladuje vpliv elastičnosti pritrditve membrane, -12 dB/oktavo pod resonanco
  - Resonanca
  - SF: ravna frekvenčna karakteristika
  - VF: -6 dB/oktavo, če je druga resonanca: -12 dB/oktavo



## Prerez dinamičnega zvočnika



- Magnet
  - 1 T do 2 T v zračni reži
  - Homogenost
  - Polov nastavek
- Trdna konstrukcija ogradja zvočnika - košare
- Tuljava zvočnika („voice coil“)
  - Čim daljši bakreni vodnik (večja sila)
  - Čim manjša ohmska upornost
  - Majhna masa
  - Tanki
  - Vedno mora biti enako število ovojev tuljave v konstantnem magnetnem polju
  - 2 tipa tuljavic
    - Dolga - daljša od dolžine zračne reže
    - boljše linearnost
    - Kratka - krajša od dolžine zračne reže

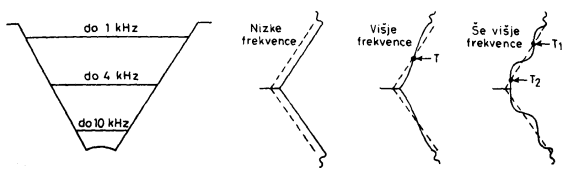


**Analogni in elektroakustični delavnica št. 2, moduli naprave**

- **Tuljava**
  - Moč zvočnika je omejena z močjo, ki se troši na tuljavici
  - S segrevanjem se povečuje upornost tuljave (0.4 %/K)
  - Lahko se deformira
  - Lahko deformira tuljavnik
  - Za večje moči
    - Pravokotni ali šestkotni presek žice
    - Boljši polnilni faktor
    - Boljše hlajenje
- Membrana mora biti čim lažja in čim bolj trdna
  - Največjih premik membrane je omejen s pritrditvijo membrane in porazdelitvijo magnetnega polja v reži
  - Obseg membrane < valovne dolžine pri  $f_{max}$
  - „Nawi“ namesto konusne membrane
  - Kupolasta - „Kalotna“ membrana
    - Za VF
    - Širši kot sevanja
    - Zaradi pritrditve IMD, subharmonski signali



**Analogni in elektroakustični delavnica št. 2, moduli naprave**



- Pri višjih frekvencah se premika le del membrane
  - Zvijanje membrane, popačenja

**Analogni in elektroakustični delavnica št. 2, moduli naprave**

## Impedanca zvočnika



- Odvisna od frekvenca
- Odvisna od obremenitve
- Običajno od 4 - 16  $\Omega$
- Meritev - primer

**Analogni in elektroakustični delavnica št. 2, moduli naprave**

## Piezoelektrični zvočniki

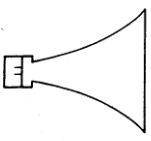
- Piezoelektrični pojav
- Zvočniki za visoke frekvence
- Kapacitivni značaj
- Majhni pomiki, velika sila
- Večja popačenja pri večji amplitudi
- Način vzbujanja
  - Enaka smer električnega vzbujanja in mehanskih vibracij - majhna debelina glede na prečno deformacijo
  - Električno vzbujanje je pravokotna na smer mehanskega nihanja - pri dolgih in ozkih trakovih
- Običajno: dve ploščici zlepljeni, z naporjenimi elektrodami v zaporedni in vzporedni vezavi



**Analogni in elektroakustični delavnica št. 2, moduli naprave**

## Zvočniki s tlačno komoro

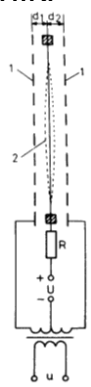
- Zvočnik z membrano v komori
- Zvočni lijak
  - Prilagoditev
- Velik izkoristek
- Velika moč
- Ozko frekvenčno območje
  - Za srednje frekvenčno območje
- Govor



**Analogni in elektroakustični delavnica št. 2, moduli naprave**

## Elektrostatični zvočniki

- Električno prevodna membrana se nahaja med dvema perforiranimi elektrodama
- Membrana je na konstantni napetosti, plošči sta napajani protifazno z avdio signalom
- Sila na membrano je proporcionalna naboju na pomični membrani in električni napetosti avdio signala

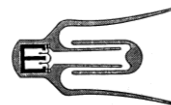


- Kombinacija z nizkofrekvenčnim zvočnikom
- Sila deluje na celo površino membrane
- Velika površina membrane
- Zelo lahka membrana
- Kapacitivno breme za ojačevalnik
- Prilagoditev
- Usmerjena smerna karakteristika



## Vgradnja zvočnika v ohišje

- Akustični kratki stik
  - Če je dolžina poti med sprednjo in zadnjo stranjo zvočnika  $< \lambda/2$
  - Zvočni tlak pada 6 dB/oktavo
- Lijak („trobenta“)
  - Prilagoditev
  - Le nad resonančno frekvenco
  - Območje srednjih frekvenc
  - Se lahko preoblikuje
    - Skrajša



## Zaprte omarice

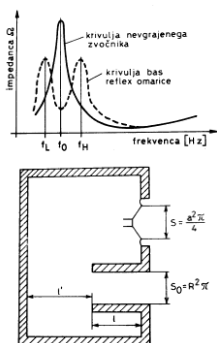
- Loči valovanje z obeh strani
- Zaprt zrak v omarici zmanjšuje elastičnost sistema
  - Zvišanje resonančne frekvence
- Zmanjšanje frekvenčnega obsega s spodnje strani
- Karakteristična usmerjenosti odvisna od oblike in dimenzij omarice
- Lastne resonančne frekvence
  - Odvisno od dimenzij
  - Zmanjšanje z akustičnimi absorberji na stenah omarice

## Kompresijska omarica

- Posebna izvedba zaprte omarice
- Majhen volumen
- Majhne dimenzije
- Dober odziv na prehodni pojav
- Za doseganje nizke resonančne frekvence je potrebno povečati maso membrane
- Slab izkoristek

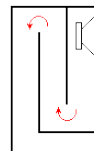
## Bas-refleks omarica

- Zaprta omarica s cevasto odprtino
- Obračanje faze pri nizkih frekvencah
- Akustični oscilatorski sistem obrne fazo zvočnih valov z zadnje strani za  $180^\circ$
- Ne povečajo resonančne frekvence
- Za visoke frekvence se obnaša kot zaprta
- Resonančni frekvenci zvočnika in omarice z odprtino sta enaki
- Pod spodnjo frekvenčno mejo upada moč zvoka z 18 oz. 24 dB/oktavo
- Dobra reprodukcija zvoka tudi pod resonančno frekvenco zvočnika
- Zmanjša se resonanca



## Omarica s prenosno linijo

- Zvočnik se vgradi v cev
- Dolžina cevi  $\lambda/4$  pri resonančni frekvenci
  - Zadušena resonanca
  - Polnjena z absorpcijskim materialom
- Velikost
  - Se lahko preoblikuje - zavije



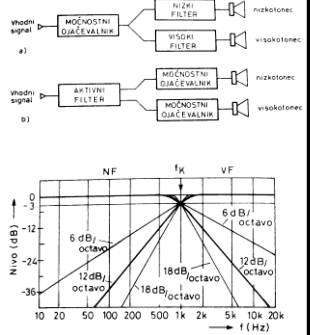
## Zvočni stolp

- Zvočniki postavljeni eden nad drugim
- V vertikalni smeri se snop sevanja ožja
  - Primerno za ozvočenje velikih površin
- Usmerjenost se poveča s številom zvočnikov
- Oblika stolpa (zakrivljenost) vpliva na usmerjenost
- Z obračanjem posameznih zvočnikov v smeri levo-desno se lahko usmerjenost pri visokih frekvencah zmanjša



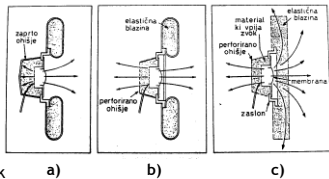
## Zvočniške kretnice

- Aktivne (b) in pasivne (a)
  - Razdelijo slišno frekvenčno območje po frekvenčnih pasovih ki jih lahko reproducirajo zvočniki
- Frekvenca križanja
  - kriterij -3 dB - ni ojačanja p tej frekvenci
- Naklon slabljenja in fazna karakteristika



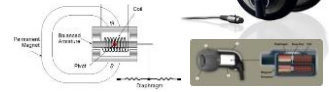
## Slušalke

- Popolnoma zaprte (a)
  - Zračni volumen zaprt
  - Reprodukcija NF
  - Izolacija motenj okolice
- Polzaprte (b)
- Odpрте (c)
  - Oblazinjenje prepušča zvok
  - Lahke
- Zunanje uho spremeni zvočni tlak na vhodu v uho v odvisnosti od frekvenca
- Vpliv uhlja kompenziramo s frekvenčno karakteristiko
- Ni občutka zvoka na telesu



## Izvedbe slušalk

- Elektrodinamične
  - Slabo izražene resonance
  - Izvedba membrane na tiskanem vezju (majhni izkoristki zaradi majhnih gostot magnetnega pretoka)
  - 'Balanced armature'
    - slušni aparati; in ear monitor
- Piezoeltrične
  - Visoka občutljivost
  - Lastnosti podobne elektrostatičnim
- Elektrostatične
  - Visoka občutljivost
  - Majhna popačenja
  - Dober frekvenčni odziv
  - Potrebujemo polarizacijsko napetost
  - Priklon na izhod za zvočnike
  - Potreba po polarizacijski napetosti



## Slušalke: SPL, moč, občutljivost

	AKG K141	AKG K141 MKII
Občutljivost (S)	97.5 dB/mW	114 dB/V, 101 dB/mW
Impedanca (Z)	600 Ω	55 Ω
Največja moč (P <sub>max</sub> )	200 mW	200 mW

SPL = 85 dB	pri	184 mV	36 mV
Podatek: 101 dB/mW			
$P = 10^{((SPL - S) / 10)} * 0.001 W = 10^{((85 - 101) / 10)} * 0.001 W = 0.0251 mW$			
$U_{SPL85} = (P * Z)^{1/2} = (0.0251 mW * 55 \Omega) = 37.2 mV$			
$I_{SPL85} = (P / Z)^{1/2} = (0.0251 mW / 55 \Omega) = 0.676 mA$			

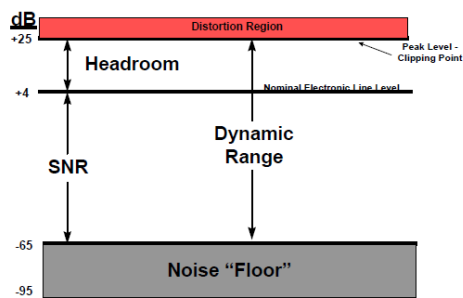
  

Podatek 114 dB/V	Občutljivost: 114 dB/V	signal 1 V ..... zvočni tlak 114 dB (!)
85 dB - 114 dB = -29 dB		
$10^{(-29/20)} = 0.0355$		
$1 V * 0.0355 = 35.5 mV$		

## Lastnosti avdio sistemov

- Frekvenčni odziv
- Harmonsko popačenje (THD)
- Harmonsko popačenje + šum (THD+N)
- Izhodna moč
- Intermodulacijsko popačenje (IMD)
- Popačenje ob prehodu preko ničle (Cross-over distortion)
- Šum
- Presluh
- Dušenje sofaznih signalov (CMRR)
- Dinamično območje
- Razmerje signal / šum (SNR)
- Popačenje faze - fazni zamik, časovni zamik (Phase delay, group delay)
- Odziv na prehodni pojav (Transient response)
- Faktor dušenja (Damping factor)

## SNR, dinamično območje, ...



Vir: [1]

## Faktor popačenja – IEC standard

- International Electrotechnical Commission (IEC)
- THD (Total harmonic distortion)
- Razmerje efektivnih vrednosti vseh harmonskih komponent in osnovne harmonske komponente

$$THD_{IEC} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n a_k^2}}{a_1} = \frac{\sqrt{a^2 - a_1^2}}{a_1}$$

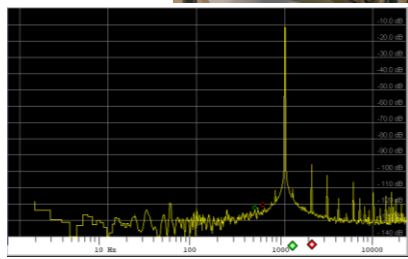
$a$  predstavlja efektivno vrednost amplitude

- Efektivne vrednosti se seštevajo kvadratično

## Primer

- 1 kHz: -10.2 dB
- 2 kHz: -94.7 dB
- 3 kHz: -101.3 dB
- 4 kHz: -115 dB
- 5 kHz: -105.7 dB

THD = -83.3 dB



## Lastnosti avdio sistemov

- Mehanski avdio sistemi
  - „Wow“
    - Počasne spremembe predvajanja (Hz)
  - „Flutter“
    - Hitre spremembe predvajanja (10 Hz)
  - „Rumble“
    - Nizkofrekvenčne motnje (pogonski motorji)

## Lastnosti avdio sistemov

- Digitalni avdio sistemi
  - Drhtenje (Jitter)
  - Frekvenca vzorčenja
  - Bitna globina
    - Šum kvantizacije
      - Dodajanje šuma za enakomerno porazdelitev šuma kvantizacije (Dither-ing)
  - Sinhronizacija vzorčenja
  - Linearnost

## Digitalizacija zvoka

- Pretvorba analognega signala v digitalno informacijo
  - Filtriranje
    - Efekt prekrivanja (“aliasing”)
    - Shannonov teorem
  - Vzorčenje
    - S&H vezje (Sample and hold: vezje za vzorčenje in zadržanje)
    - Vzorčna frekvenca
  - Kvantizacija
    - Bitna globina (število diskretnih nivojev)
  - Kodiranje
    - Določanje številke za vsako diskretno vrednost amplitude

## Kvantizacija

- Analogni signal
  - Zvezni signal
- Digitalni signal
  - Diskretni signal
- Kvantizacija signala: signal ima lahko le določene vrednosti
  - Koliko vrednosti - bitna globina vzorčenja
- Vzorčenje signala: signal se izmeri le v določenih časovnih intervalih (periodičnih)
  - Frekvenca vzorčenja

## Kvantizacija

- Število bitov pri vzorčenju
 

		razmerje S/Š (približno)
- 8	256 nivojev	48 dB
- 16	65 536 nivojev	96 dB
- 24	16 777 216 nivojev	144 dB
- Razmerje  $S/\tilde{S} = (6.02 * n + 1.76) \text{ dB}$ 
  - n ..... število bitov
- Frekvenca vzorčenja
  - Od 5 kHz do 192 kHz (odvisno od opreme in namena)

## Vzorčenje

Simusni signal s frekvenco 70 Hz vzorčimo s frekvenco vzorčenja: 1 kHz.

## Vzorčenje

Simusni signal s frekvenco 70 Hz vzorčimo s frekvencami vzorčenja: 1 kHz, 200 Hz, 70 Hz in 80 Hz. Pri frekvenci vzorčenja 80 Hz bi imel rekonstruirani signal frekvenco 10 Hz.

Za verno rekonstrukcijo vzorčenega signala je potrebno frekvenčno omejen (filtriran) signal vzorčiti s frekvenco, ki je vsaj **dvakrat** večja od največje frekvence vzorčnega signala.

## Uporabljene frekvence vzorčenja

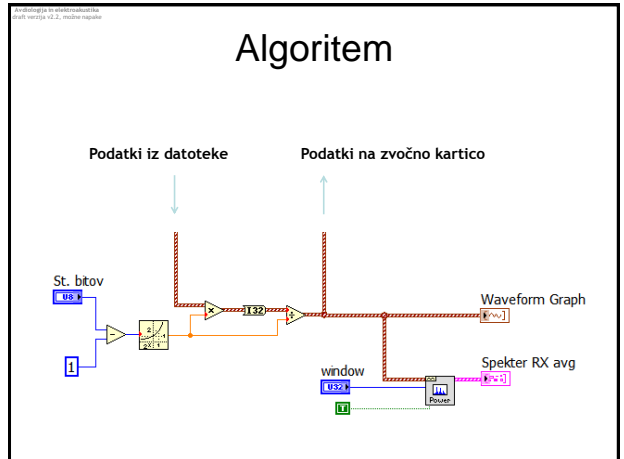
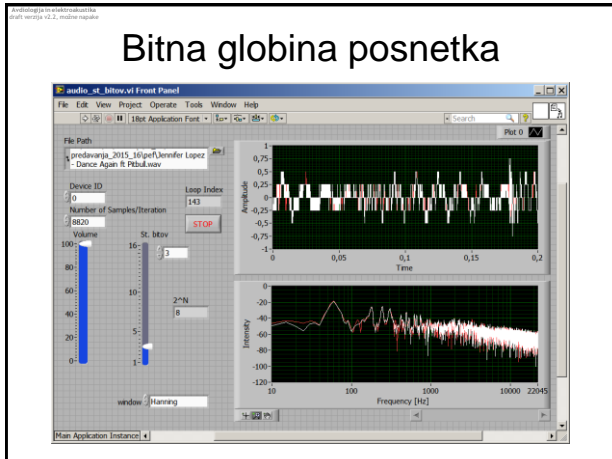
- Avdio posnetki
  - 16 bit / 24 bit
  - 44,1 kHz; 88,2 kHz; 176,4 kHz
  - 48 kHz; 96 kHz; 192 kHz; 384 kHz
- CD
  - 16 bit; 44,1 kHz; PCM
- DVD
  - 16 bit; 48 kHz; PCM
  - 24 bit; 96 kHz; tudi 192 kHz; PCM
- Telefonija
  - 8 bit, 8 kHz (A-law,  $\mu$ -law: nelinearno)

## Sprememba frekvence vzorčenja

- Sample rate conversion ... prevzorčenje
- 44,1 kHz -> 48 kHz
 
$$\frac{7056000}{48000} = 147$$

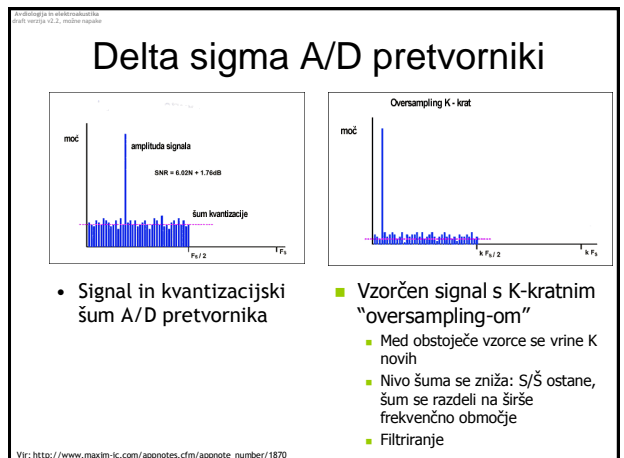
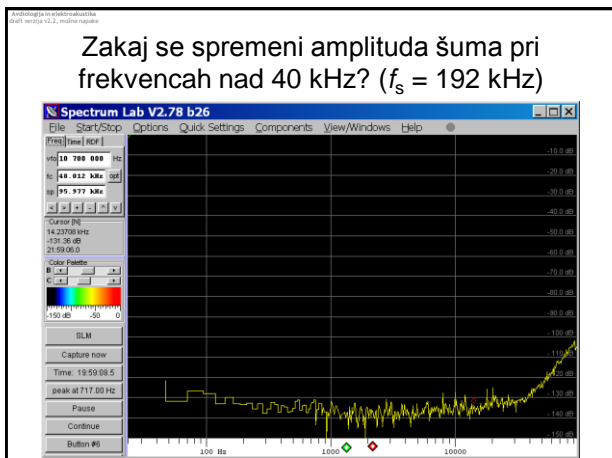
$$\frac{7056000}{44100} = 160$$

$$\frac{147}{160} = 44,1/48$$
- Dodajanje „ničel“
- Filtriranje
- Interpolacija
- Odvzemanje vzorcev
- Zvočna kartica 48 kHz / posnetek 44,1 kHz
  - Operacijski sistem - ?
    - Filtriranje, harmonsko in intermodulacijsko popačenje, prestuh

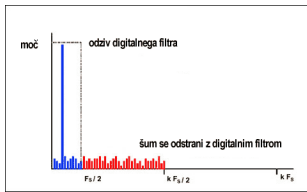


- ## PCM
- Pulse Code Modulation
  - Binarni zapis kvantiziranih analognih vrednosti
    - Analogni vrednost -> kvantizacija -> prirejanje binarne vrednosti
  - WAV datoteke:
    - 16 bit PCM: vrednosti -32768 do 32767
  - Frekvenca vzorčenja:
    - 11.025 kHz, 22.05 kHz, 44.1 kHz, ...

- ## Delta sigma A/D pretvorniki
- Frekvenca vzorčenja do 192 kHz (avdio)
    - Ločljivost: 24 bit
    - Efektivna?
  - Enostavno analogni vezje
    - 1 bit A/D pretvornik
  - Kompleksno digitalno vezje - enostavnejše za realizacijo v integrirani obliki
    - Filtriranje
    - "Decimation"
      - Pretvorba 1 bitnih podatkov pri frekvenci vzorčenja več MHz na tok podatkov s 16 (24) bitno ločljivostjo in frekvenco več kHz
- Vir: [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1870](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1870)



## Delta sigma A/D pretvorniki



- Filtriranje z digitalnim filtrom
  - Izboljšanje razmerja S/Š!

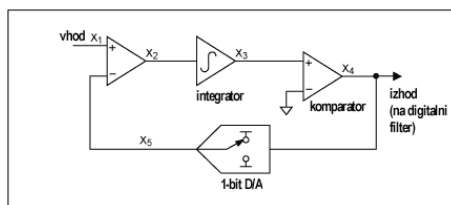
Vir: [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1870](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1870)

## Delta sigma A/D pretvorniki

- S/Š za 1 bit A/D je 7.8 dB
- "Oversampling" za 4 -> izboljšanje S/Š za 6 dB  
6 dB ..... Ekvivalentno "dodanemu" bitu A/D pretvornika
- 24 x "oversampling" z 1 bit A/D -> 4 bit A/D
- Za 16 bit (zvočne kartice) ->  $4^{15} = 1\,073\,741\,824$ 
  - Ni praktično!
- "Noise shaping" - oblikovanje šuma
  - Več kot 6 bit za 4 x "oversampling"

Vir: [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1870](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1870)

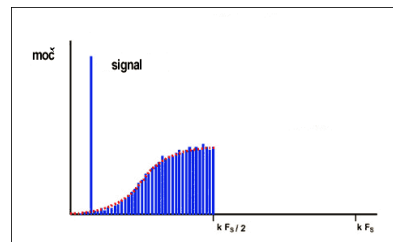
## Delta sigma modulator



- Delta sigma modulator prvega reda
  - Integrator: nizkopropustni filter za vhodni signal in visokopropustni za šum kvantizacije

Vir: [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1870](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1870)

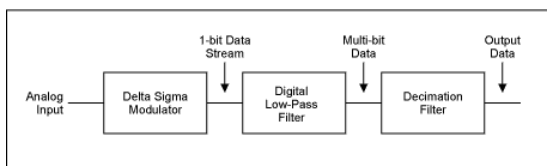
## Oblikovanje šuma: "Noise shaping"



- Spekter signala delta sigma modulatorja
  - Spremeni se porazdelitev signala, ne pa njegova moč
  - Filtriranje signala za nizkopropustnim filtrom

Vir: [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1870](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1870)

## Digitalni filter



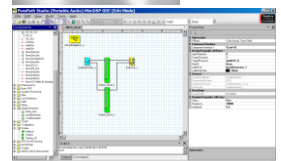
- Izhod delta-sigma modulatorja je tok 1 bitnih podatkov s frekvenco vzorčenja modulatorja (območje MHz)
- Nizkopropustni filter
- Prevzorčenje (MHz -> kHz)

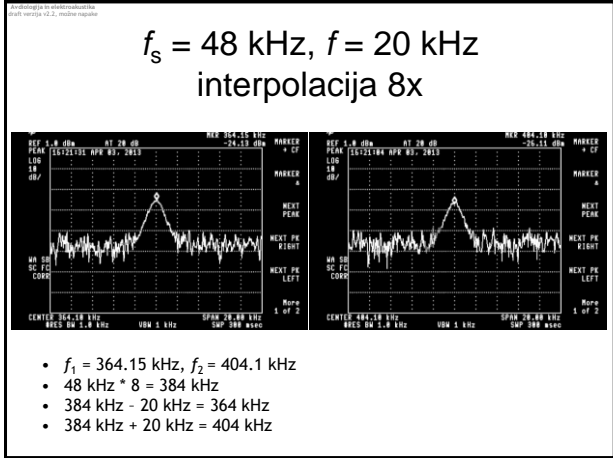
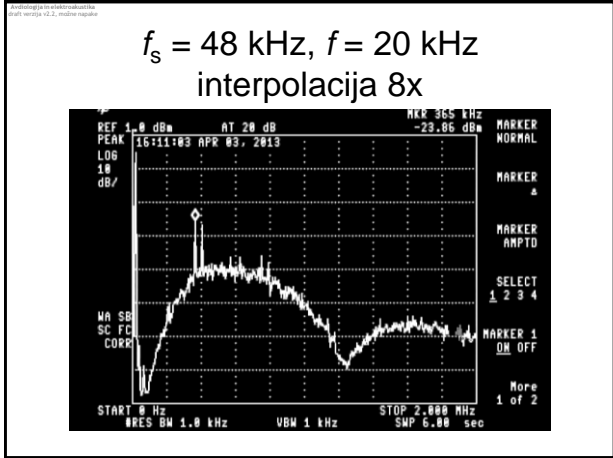
Vir: [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1870](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1870)

269

## Spekter delta sigma D/A pretvornika

- Spektralni analizator
  - HP8593A
    - 9 kHz do 26.5 GHz
- TLV320AIC3254 codec
  - Spekter signala DA pretvornika
    - Izhod za slušalke priključen na vhod spektralnega analizatorja
  - Spekter vzorčenega signala
  - Pojav prekrivanja: „aliasing“
  - Generator + DAC
  - Grafično okolje „PurePath Studio“, 48 kHz





Primerjava dinamičnega območja nekaterih signalov

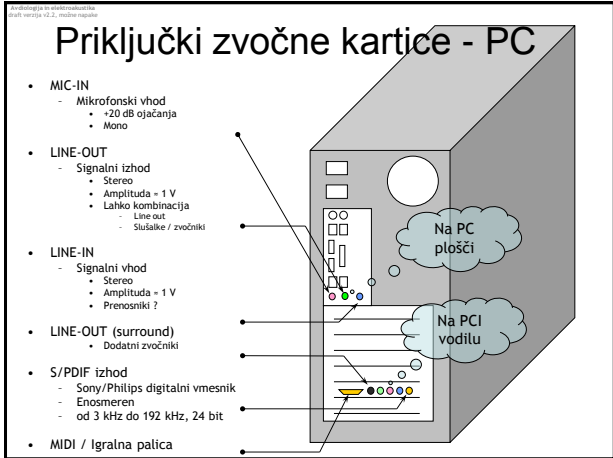
Avdio oprema	Dinamično območje signala
AM radio	48 dB
Analogna televizija	60 dB
FM radio	70 dB
Analogni magnetofon	73 dB
Video kamkorder	75 dB
16 bit AD in DA pretvorniki	90 dB do 95 dB
Digitalna TV	85 dB
Mini-disk	90 dB
CD	92 dB do 96 dB
18 bit AD in DA	104 dB
DAT (Digital Audio Tape)	110 dB
20 bit AD in DA	110 dB
24 bit AD in DA	110 dB do 120 dB
Analogni mikrofoni	120 dB

Vir: [1]

Zvočna kartica

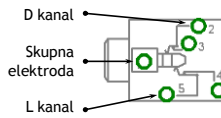
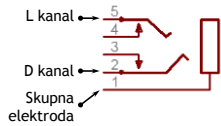
- CODEC (= COder + DECoder)
  - Analogno - digitalni pretvornik (A/D)
  - Digitalno - analogni pretvornik (D/A)
- Filtri
- Ojačevalniki
- Procesor (DSP)
- Vezja za priklop na podatkovno vodilo
  - PCI, USB, FireWire

- Zvočne kartice – tipi gonilnikov
- **MME (MultiMedia Extension)** - del OS, privzet od WIN 3.0 - počasen
  - **Direct Sound** - WIN 95 - ni mogoče snemati
  - **ASIO (Audio Streaming Input/Output)** - razvoj Steinberg (<http://www.steinberg.de>), manjša latenca
  - **WDM (Windows Driver Model with Kernal Streaming)** - Cakewalk's Sonar - omogoča avdio aplikaciji neposreden dostop do kartice - latenca kot pri ASIO
  - **EASI** - Emagic - podoben kot ASIO - odprt standard, se ne uporablja več
  - **GSIF (Gigasampler)** - namenski za njihove izdelke, snemanje ni mogoče, se uporablja z ASIO, majhna latenca
  - **Core Audio** - za Mac OS X (Apple)
- Vir: [http://www.tweakheadz.com/soundcards\\_page\\_2.htm](http://www.tweakheadz.com/soundcards_page_2.htm)



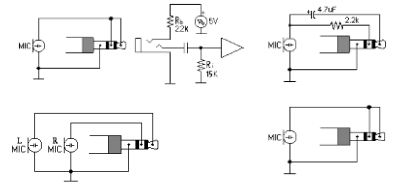
## Zvočna kartica - priključki

- **LINE-IN**
  - L kanal
  - D kanal
  - Skupna elektroda
- **MIC-IN**
  - NF Signal
  - DC napetost ( = 2.5 V)
  - Skupna elektroda
- **LINE-OUT**
  - L kanal
  - D kanal
  - Skupna elektroda

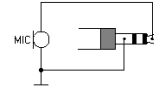


## Priključitev mikrofona na zvočno kartico

- **Kondenzatorski elektret mikrofoni**

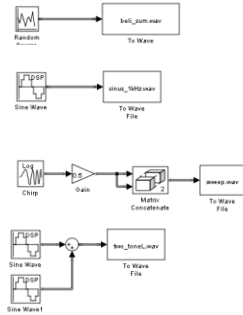


- **Dinamični mikrofoni**



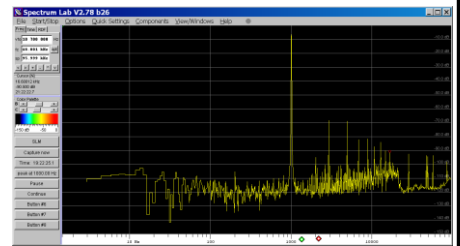
## Testni signali

- Beli šum
- Sinusni signal 1 kHz
  - L in D
  - En kanal L/D
    - Presluh ?
- Frekvenčni prelet (Sweep/Chirp)
- Dva tona
  - 200 Hz
  - 8 kHz
  - L kanal / D kanal
- 16 bitni posnetki
- brez „dithering-a“

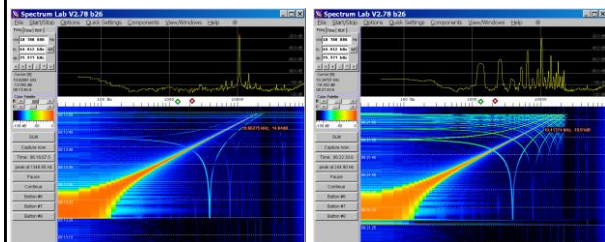


## Test „pametnega“ telefona z različnimi avdio signali

- Prevrženje signalov (predvajanje 48 kHz / 44.1 kHz)
- Posebni učinki (npr.: za povečanje glasnosti)
- Frekvenčni odziv
- IMD
- SNR
- THD



## Frekvenčni prelet



- 44.1 kHz

- 48 kHz

## Naprave za snemanje in reprodukcijo

- Snemanje in reprodukcija s pomočjo magnetnega traku
  - Magnetofon
  - Kasetofon



- Gramofon



- CD



- DAT



Arhivirana in elektronska slika  
grafičska verzija v2.2, modre naprave

• Snemanje na magnetni trak

- Brisanje: VF, velika amplituda, brez DC komponente
- Snemanje: VF za predmagnetizacijo + NF
- Predvajanje: inducirani NF signal, linearno popačenje

Vir: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/tape.html>

Arhivirana in elektronska slika  
grafičska verzija v2.2, modre naprave

• Vpliv posameznih stopenj magnetofona na oblikovanje frekvenčne karakteristike

- Poudarjene VF na snemalni glavi
- Upad amplitude pri VF zaradi demagnetizacije v traku
- Inducirana napetost raste v SF, upada pri VF - reža
- Kompenzacija z ojačevalnikom

Arhivirana in elektronska slika  
grafičska verzija v2.2, modre naprave

## Parametri zvoka – snemanje na magnetni trak

- Frekvenčna karakteristika
  - Ravna pri nizkih nivojih signala, s povečevanjem nivoja upada pri visokih frekvencah
- Popačenje
  - Zaradi nasičenja traku in nelinearne magnetilne (BH) krivulje
  - Veča se z večanjem nivoja snemanja
  - Pri 0 dB od 0.1 % do 1 %
- Razmerje signal / šum (S/Š)
  - 60 dB pri kakovostnih kasetofonih
- Dinamika
  - Manjša od razmerja S/Š za 10 dB do 20 dB!
  - Odvisna od vrsti (govor, vrsta glasbe)

Arhivirana in elektronska slika  
grafičska verzija v2.2, modre naprave

## Redukcija šuma s "kompanderjem"

- Znižanje nivoja šuma z zmanjšanjem dinamike signala

- Dinamično območje signala 90 dB se "stisne" na npr. 45 dB:

Arhivirana in elektronska slika  
grafičska verzija v2.2, modre naprave

## Redukcija šuma z Dolby sistemi

- Odpravljene pomanjkljivosti komponderja:
  - Popačenje nenadnih visokih nivojev: dinamika signalov z visokimi nivoji se ne spreminja
  - Pumpanje: dinamika se spreminja različno v različnih delih spektra
- Dolby A
  - Frekvenčno področje razdeli na štiri območja
  - Uporablja se v profesionalne namene: glasbena in filmska snemanja
- Dolby B
  - Izboljša razmerje S/Š do 10 dB, na območju visokih frekvenc, kjer je šum najbolj moteč
- Dolby C
  - Izboljša razmerje S/Š do 20 dB
  - Deluje na dveh območjih nivojev vhodnega signala

Arhivirana in elektronska slika  
grafičska verzija v2.2, modre naprave

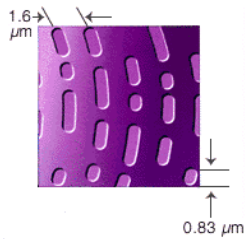
## CD plošča

- Razvila Sony in Philips
  - Compact Disc Digital Audio (CD-DA) standard
    - Japonska: oktober 1982, ZDA in Evropa začetek 1983
- Digitalni zapis
  - 16 bit, stereo, 44.1 kHz,
  - 176 400 bytov/s, 1 411 200 bit/s
- Lastnosti
  - Disk premera 12 cm ali 8 cm
  - Se ob uporabi ne obrablja
  - Naključni dostop do posnetkov
  - Do 80 minut posnetkov
  - Specifikacije definirane v t.i. "Red Book"

Vir: <http://www.dictronics.co.uk/technology/cdbasics/>

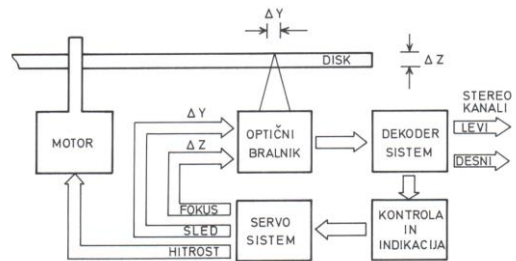
## Zgradba CD plošče

- Debelina 1.2 mm
- Sloji (navzdol)
  - Barva, napisi
  - Zaščitna plast
  - Plast Al
  - Polikarbonat (osnova)
- Širina vdolbine 0.5  $\mu\text{m}$
- Globina vdolbine 0.15  $\mu\text{m}$
- Dolžina vdolbine 0.8  $\mu\text{m}$  do 3  $\mu\text{m}$
- Branje 1.3 m/s
- Razmak med stezami 1.6  $\mu\text{m}$
- Valovna dolžina laserja 780 nm

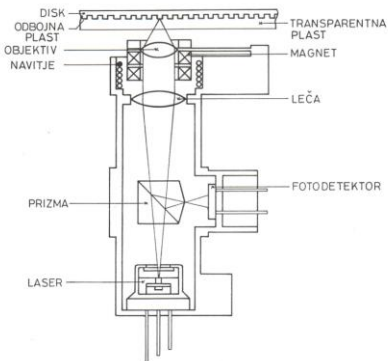


Vr: <http://www.electronics.co.uk/technology/cbaa/cd/>  
<http://www.seehr.com/da/archiv/2004/04/05/cd-dvd-rip.gif>

## Blokovna shema CD predvajalnika



## Bralna glava CD predvajalnika

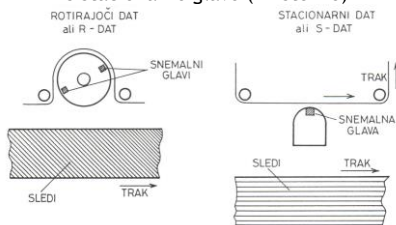


## Oznake CD

- SPARS koda
  - Society of Professional Audio Recording Services
- AAD
  - Analogni posnetek
  - Analogno mešanje
  - Shranjeno v digitalni obliki
- ADD
  - Analogni posnetek
  - Analogno mešanje
  - Shranjeno v digitalni obliki
- DDD
  - Vsi postopki opravljeni v digitalni tehniki

## DAT - "Digital Audio Tape"

- Digitalni zapis na magnetni trak
- Frekvenca vzorčenja 48 kHz (kopiranje!)
- Dva načina
  - R-DAT - z rotirajočo glavo
  - S-DAT - s stacionarno glavo (22 stezno)



## DAT

- R-DAT
  - Glava zapisuje podatke na trak 2,46 Mb/s
  - Relativna hitrost glave glede na trak 3,13 m/s
  - Hitrost traku 8,15 mm/s
  - Debelina sledi na traku 13,6  $\mu\text{m}$
  - Dolžina sledi 23,5 mm
  - Gostota zapisa je 17 Mb/cm<sup>2</sup>
- S-DAT
  - Glava miruje
  - 22 vzporednih sledi (20 podatki, 2 pomožni)
  - Širina sledi je 65  $\mu\text{m}$ , razdalja 15  $\mu\text{m}$ ,
  - Hitrost traku 4,76 cm/s
  - Gostota zapisa je 250 kb/cm<sup>2</sup>

## Gramofon

- Najbolj razširjen za predvajanje zvoka od 1877 do 1980
- Fonograf, 1877
  - T.A. Edison, valj 5 cm
  - Govoreči stroj - „talking machine“

Diagram labels: disk iz Al, prstan na podlagi iz gume, ročka iz specialne zlitine, kardanski ležaj, nastavljeni antirezorator s viskozim dušenjem, HDC ohišje z visokim notranjim dušenjem, vzmet in guma s silikonskim dušenjem, motor z velikim vrtilnim momentom, spodnja plošča, notranje ohišje, nastavljava nožica gramofona.

## Pogonski sistem

- Konstantno število vrtljajev
  - Čim manj vibracij, šuma
  - Čim večja masa diska
- Pogon s tornim koleščkom
  - Slabo
- Jermenski pogon
  - Manj vibracij
  - Dušenje vibracij motorja
- Direktni pogon
  - vibracije motorja se prenašajo na disk

Diagram labels: podložna plošča, gumjasto torni kolo, stopničasta gred za prešapljanje vrtljajev.

## Gramofonska ročka

- Gibanje brez upora preko površine plošče
- Na iglo deluje le sila brazde na plošči
- Vrezovalna doza se giblje premočrtno v radialni smeri plošče
- Odjemna doza se giblje po loku okoli vertikalne osi ročice
  - Ukrivljena ročica v obliki črke S
  - Napaka - popačenje do 0.6 %, druga harmonska komponenta

Diagram labels: vrezovalna doza, ročica, ukrivljena ročica v obliki črke S.

## Odjemna doza

- Preтвори mehanska nihanja v električni signal
  - delitev glede na fizikalni princip
- Elektromagnetne
  - MM - moving magnet
- Elektrodinamične
  - MC - moving coil
- Kristalne
- Polprevodniške
- Kapacitivne
- Keramične
- Fotoelektrične

Diagram labels:  $\delta V$ ,  $\delta H$ .

## MC

Typical MC cartridge side cross-section

Labels: Mounting screwholes (one on each side), Cartridge body, Output pins (right channel on this side, left channel on other side), Output pin block, Rear polepiece (rear yoke), Grub screw, Suspension wire, Rear damper, Front damper, Signal coils & coil former, Stylus, Cantilever, Front polepiece (front yoke), Magnet, Gap, Front screw.

Vir: <http://www.henleydesigns.co.uk>

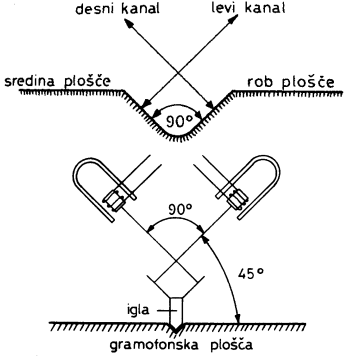
## MM

Labels: Cartridge Case, Electrical Output, Coils, Rigid Cantilever, Suspension, Magnet, Diamond Tip.

Vir: <http://www.henleydesigns.co.uk>

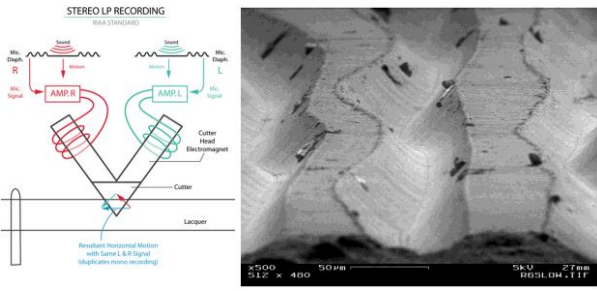
## Stereofonsko snemanje

- Rez pod kotom  $45^\circ$



- Reprodukcija z eno iglo, pretvornika pa sta pod kotom  $45^\circ$  glede na površino plošče

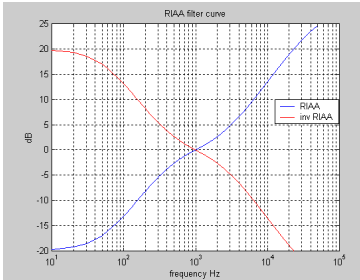
## Vrezovanje gramofonske plošče



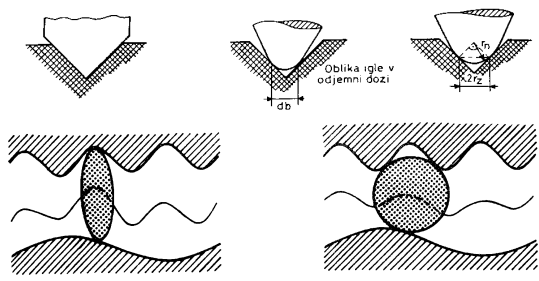
Chris Supranowitz, The Institute of Optics at the University of Rochester, elektronski mikroskop

## Frekvenčno izenačevanje

- RIAA korekcija, od 1954, (Recording Industry Association of America)
  - 75 us, 318 us, 3180 us
  - Dušenje šuma
  - Poveča se vpliv NF motenj
- IEC RIAA (1972)
  - Za predvajanje
  - HPF 20 Hz, 1. reda
  - ?
- Snemanje (RIAA)
  - Povečamo VF
  - Zmanjšamo LF
- Predvajanje (inv RIAA)
  - Povečamo LF
  - Zmanjšamo VF




## Oblika igle



- Idelano: oblika noža
- Poškodbe, prah, obraba

## Vibracije

- Vpliv vibracij na človekovo telo
  - Vibracije celotnega telesa (Whole-body vibration)
  - Vibracije prenesene preko roke (Hand-transmitted vibration)
- Vplivi vibracij
  - Zamegljen vid, tresoč govor, vpliv na notranje organe,
  - Poškodbe
  - Vpliv na živčni sistem
- Resonančne frekvence
- Impulzne vibracije bolj škodljive
- Vpliv odvisen od frekvence, smeri vibracij
- Merjenje
  - Vršna vrednost (peak)
  - RMS vrednost: ekvivalentna/trenutna
  - $10 \text{ m/s}^2 = 0 \text{ dB}$
  - Frekvenčno uteževanje
    - Celotno telo
    - Smer
    - Vibracije roke
- Zaščita pred vibracijami



<http://www.bksv.com/doc/bv056.pdf>

## Merjenje vibracij

- Pospeškometer
  - Piezoelektrični senzor
- Vgrajen ojačevalnik
  - Pretvoba: naboj -> električna napetost
  - Nizka izhodna impedanca
  - Poljubno dolg kabel
  - Napajanje za vgrajeni ojačevalnik
- ICP (Integrated Circuit Piezoelectric)
  - Napajanje s konstantnim tokom
  - Izhodni signal: napetost
  - Sklopitev preko kondenzatorja
  - Fantomsko napajanje
- Kalibracijski podatki
- Demo: meritev pospeška
  - Stavba
  - Srce



Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, močnej napake

## Pospeškometer

ojačevalnik  
zvočni oklop  
potresna masa  
podstavek  
osnova  
pritrditev  
piezoel. material  
konektor

[http://www.bksv.com/Products/transducers/vibration/accelerometers/-/media/New\\_Products/transducers/Accelerometer/4513\\_ashx](http://www.bksv.com/Products/transducers/vibration/accelerometers/-/media/New_Products/transducers/Accelerometer/4513_ashx)  
<http://www.pcb.com/portals/1/images/fig02.jpg>

Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, močnej napake

## B&K 4513-002

### PRODUCT DATA

DeltaTron® Accelerometers  
— Types 4513, 4513-001, 4513-002, 4513-B, 4513-B-001 and 4513-B-002

The wide frequency range, low noise-to-signal ratio and choice of sensitivity from 1 to 50 mV/ms<sup>2</sup> (10 to 500 mV/g) means the Type 4513 range of accelerometers covers a wide range of measurement applications and can be used in a variety of environmental conditions.

**FEATURES**

- Insulated base
- Hermetically sealed
- High resolution
- Low noise
- Low-impedance output
- TEDS – 'B' types only

TEDS device will survive the temperature range of the accelerometer and operate in the temperature range from -40°C to +85°C.

Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, močnej napake

## ICP (Integrated Circuit Piezoelectric)

ICP pretvornik  
piezo  
Q  
U  
Tokovni vir  
U<sub>b</sub>  
I<sub>s</sub>  
Koaksialni kabel  
R<sub>1</sub>  
U<sub>out</sub>

Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, m

### Calibration Chart for DeltaTron® Accelerometer Type 4513-002

**Brüel & Kjær**

Serial No.: 56839

Reference Sensitivity<sup>1)</sup> at 159.2 Hz ( $\omega = 1000 \text{ s}^{-1}$ ), 20 ms<sup>-2</sup> RMS, 4 mA supply current and 22.5°C: 49.08 mV/ms<sup>2</sup> (481.3 mV/g)

Frequency Range: Amplitude ( $\pm 10\%$ ): 1 Hz to 10 kHz

Mounted Resonance Frequency: 32 kHz

Transverse Sensitivity<sup>2)</sup>: < 5% re Reference Sensitivity  
Maximum (at 30 Hz, 100 ms<sup>-2</sup>):

Calculated Values for TEDS<sup>3)</sup>:

Resonance frequency:	<u>31.1</u> kHz
Quality factor @ f <sub>res</sub> :	<u>93.4</u>
Amplitude slope:	<u>-1.8</u> % / decade
High-pass cut-off frequency:	<u>0.20</u> Hz
Low-pass cut-off frequency:	<u>66</u> kHz

Measuring Range:  $\pm 98 \text{ ms}^{-2}$  peak ( $\pm 10 \text{ g}$  peak)

Polarity of the signal is positive for an acceleration into the accelerometers mounting surface. For triaxial accelerometers and accelerometers with multiple mounting surfaces, the polarity of the signal is positive for an acceleration in the direction of the arrow on the drawing.

Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, močnej napake

## AES standardi

- AES3 (tudi AES/EBU) - digitalne avdio povezave
- AES10 (tudi MADI) - za večkanalne digitalne povezave
- AES11 - digitalna avdio sinhronizacija
- AES42 - digitalni mikrofoni
- AES47 - prenos AES3 digitalnega avdio signala preko asinhronskih mrež
- AES48 - povezave, ozemljitev in EMC, oklopi pri avdio opremi z aktivnimi vezji
- AES53 - absolutni časovni markerji pri standardu AES47

Arhivirano in elektronsko obliko  
Dati verzija v2.2, močnej napake

## AES3

- Standard za digitalni prenos avdio signalov med profesionalnimi napravami
- Tudi znan kot AES/EBU, Audio Engineering Society
  - Del IEC 60958
  - Razvit s strani AES in European Broadcasting Union (EBU)
  - Prva različica 1985, revizija 1992 in 2003.
- 2 avdio PCM kanala
- Neprofesionalna različica S/PDIF
  - Sony/Philips Digital Interconnect Format

## S/PDIF

- Sony/Philips Digital Interconnect Format - Sony Philips Digital Interface
- IEC 60958 (IEC 958 pred 1998)
- IEC 60958-3:2006
- Digitalni prenos avdio signalov med neprofesionalnimi avdio napravami
  - Zabavna elektronika
  - Domači kino sistemi
  - HI-FI oprema
- Kratke razdalje
- Koaksialni kabel (činč konektor)
- Optični kabel (TOSLINK konektor)
- 2 avdio kanala brez kompresije
- 5.1/7.1 surround zvok s kompresijo
  - Dolby Digital Plus or DTS-HD High Resolution Audio
  - DTS/AC-3/ATRAC/AAC/MPEG-2
  - NE podpira nekomprimiranega formata
    - Dolby TrueHD in DTS-HD Master Audio, (HDMI ga omogoča)

## Akustično transparentna oprema

- Naprava ne vpliva
- Frekvenčna odvisnost
  - < 0.1 dB
  - Od 20 Hz do 20 kHz
- Popačenje signala (THD+N, IMD)
  - < -100 dB

## Reprodukcija avdio posnetka

- Šibki člen ?
  - Zvočnik
    - THD
    - „Zvonenje“
    - IMD
  - Prostor
    - Odboji (!)
  - Pozicija poslušalca v prostoru
- Demo
  - Mikrofoni na različnih pozicijah v prostoru

## Konektorji

- ~~Banane~~
- BNC
- Činč / RCA
- XLR
- Konektor za slušalke
  - „Jack“
  - 3.5 mm / 6.3 mm
  - Mono/stereo
- DIN konektorji
  - Mini DIN
- Konektor D-sub

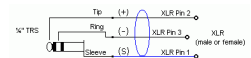
## XLR konektor

- Tudi Cannon konektor
- Simetrični profesionalni analogni avdio
- AES/EBU digitalni avdio
- Mini XLR (slušalke, mikrofoni, ...)
- Nekateri XLR konektorji imajo podaljšan kontakt za maso
  - Ni bruma pri priključitvi (!)
- Priključki
  - 1 ohišje, oklop kabla
  - 2 signal +
  - 3 signal -
  - Pogled s strani priključitve žic



## Konektor za slušalke

- 'Phone connector'
- TRS connector (Tip-Ring-Sleeve)
  - Tip - kontakt na vrhu konektorja
  - Ring - obroč na sredini
  - Sleeve - kontakt na koncu
- Jack plug, stereo plug, audio jack, phone plug, Klinckenstecker
- Premeri:
  - 6.35mm (1/4")
  - 3.5mm (1/8")
  - 2.5mm (3/32")
- Stereo: L (tip) in D (ring) kanal
- Mono: Simetrična priključitev
- Priključitev opreme
  - Nesimetrični izhod na simetrični vhod (pravilna povezava 'masa')
  - Simetrični izhod na nesimetrični vhod
    - ne povezati - izhoda na maso !!!
- Posebne izvedbe s 4 kontakti (telefoni, ...)



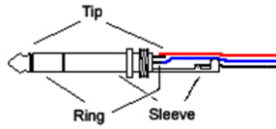
XLR <-> TRS kabl



Kombinirani konektor: XLR + TRS

## Konektor za slušalke

- »Tip«, vrh
  - signal +
  - D kanal
- »Ring«, obroček
  - signal -
  - D kanal
- »Sleeve«, tulec
  - ohišje, oklop kabla,
  - »masa«



## Činč konektor

- RCA, phono (phonograph input, 1930), cinch
- Centralni pin premer 1/8 " (3.175 mm)
- Oklop premer 1/3 " (8.25 mm)
- Avdio signali
- Video signali (75 Ω kabli)
- S/PDIF (75 Ω kabli)
- Priklop signala pred priklopom mase
  - brum ob priključitvi (!)

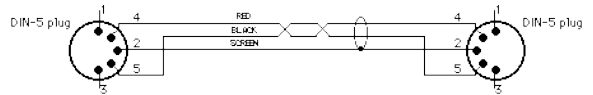


## Consumer Electronics Association standard CEA-863-B - Connection Color Codes for Home Theater Systems

Composite analog video	Composite	Yellow	
Analog audio	Left/Mono	White	
	Right	Red	
	Center	Green	
	surround	Blue	
	Right surround	Gray	
	Left back surround	Brown	
	Right back surround	Tan	
Digital audio	Subwoofer	Purple	
	S/PDIF	Orange	
Component analog video (YPbPr)	Y	Green	
	P <sub>b</sub>	Blue	
	P <sub>r</sub>	Red	
Component analog video/VGA (RGB/HV)	R	Red	
	G	Green	
	B	Blue	
	H/Horizontal sync	Yellow	
	V/Vertical sync	White	

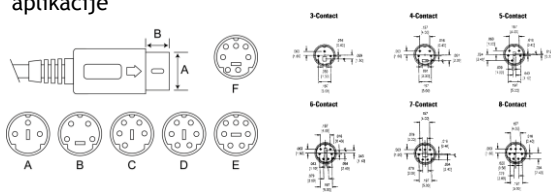
## 5 pinski DIN

- MIDI
- DIN 5 pinski, 180°
- Tr in tf < 2 μs
- < 15 m
- Oklopljena parica
- Oklop konektorja se ne poveže



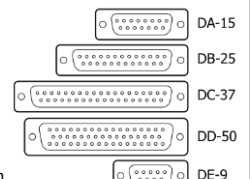
## Mini DIN konektor

- 3 - 9 kontaktov
- 9.5 mm premer
- S-Video
- Miška, tipkovnica
- Različne avdio in video aplikacije



## Konektor D-sub

- Ali D-subminiature
- 2 vrsti kontaktov
- Zaščitni kovinski oklop v obliki črke D
  - Mehanska trdnost
  - Orientacija
  - Lahko ščiti pred EMI
  - 2 vijaka za mehansko pritrditev
- ITT Cannon, 1952
- Razdalja med kontakti: 2.77 mm
- Razdalja med vrsticami kontaktov: 2.84 mm
- Standardi: IEC 60807-3 / DIN 41652
- MIL-DTL-24308
- Uporaba:
  - DE9: Komunikacijska vrata: RS-232
  - DB25: Tiskalniška vrata
  - DE-15, (visoka gostota): VGA analogni video
- Robustni konektorji
- Uporaba upada
  - Velikost, cena

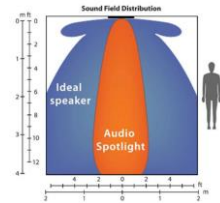


## Ultrazvok

- $f > 20$  kHz
- Uporaba:
  - Medicina, senzori, čiščenje, manipulacija, vlaženje varjenj, ...
- Uporaba ultrazvoka na javnih mestih
  - Pri 20 kHz: 70 dB SPL
  - Nad 25 kHz: 100 dB SPL
- Sistemi za komunikacijo pod vodo
  - Z modulacijo
  - Za kratke razdalje (nekaj km)
  - Absorpcija UZ v morski vodi:
    - <http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/seaabsorption/>
    - 1 kHz: < 0.1 dB/km
    - 10 kHz: 0.8 dB/km
    - 100 kHz: 39 dB/km
- Sistemi za usmerjeno širjenje ultrazvoka

## Sistem za usmerjeno širjenje ultrazvoka

- Usmerjen ultrazvočni vir zvoka
- Boljša usmerjenost kot z običajnimi zvočniki
- Modulacija ultrazvoka
  - Demodulacija pri prehodu skozi nelinearni medij
    - Izguba ca 60 dB (!)
  - Enostavni sistemi uporabni le za govor
  - Za boljše kvaliteto reprodukcije je potrebno vnaprejšnje kompenziranje
- Uporaba:
  - Javne stavbe, osebni avdio sistemi, umetnost, oglaševanje, ...
- Varna uporaba ultrazvoka
  - 130 dB, 3m, 60 kHz (AudioSpotlight)
  - 25 to 50 kHz: do 110dB (Kanada, Japonska, Ruska federacija)



<http://www.holosonic.com/Brochure/SoundCommunications2009-07.pdf>

## Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation

TABLE A4 Occupational exposure limits for sound pressure level, SPL, for occupational airborne exposure (dB referenced to 20 µPa)

1/3 octave band centre frequency (kHz)	ACGIH (2003)	IRPA (1984)
20	135	75
25	140	110
31.5	145	110
40	145	110
50	145	110
63	-	110
80	-	110
100	-	110

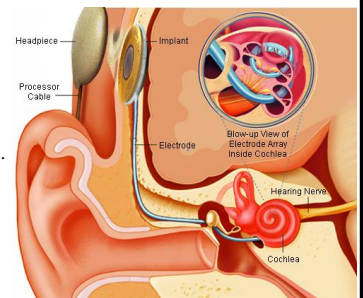
TABLE A6 Exposure limits for sound pressure levels, SPL, for occupational and public exposure (dB referenced to 20 µPa) for 1/3 octave bands (IRPA, 1984)

1/3 octave band centre frequency (kHz)	Occupational exposure	Public exposure
20	75	70
25, 31.5, 40, 50, 63, 80 and 100	110	100

[http://www.hpa.org.uk/web/hpawebfile/hpaweb\\_c/1265028](http://www.hpa.org.uk/web/hpawebfile/hpaweb_c/1265028)

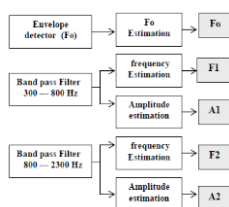
## Slušni implanti

- Vzbujanje slušnega živca z električno stimulacijo
- Andrejev, Gerzuni in Volkov, 1934
  - članek: Električna stimulacija slušnega organa
- Djurnom in Eyriesom, Francija.

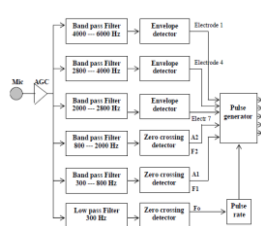


- Implant - sprejemnik
- Polje elektrod v polžku
- Mikrofoni
- Procesor z oddajnikom

## Kodne strategije za slušne implante



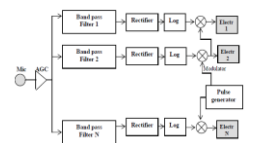
- $F_0, F_1, F_2$ 
  - osnovna frekvenca
  - frekvenca drugega in prvega formanta
- $F_0, F_2$



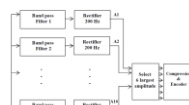
- MPEAK
  - $F_0, F_1, F_2$
  - 3 dodatna VF območja

Vir: Bouaffr Lamin\*, Ouni Kais and Ellouze Houridine. Performance Study of a New Speech Coding Strategy with Reduced Channels for Cochlear Implants. The Open Signal Processing Journal, 2009, 2, 29-39.

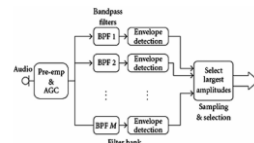
## Kodne strategije za slušne implante



- CIS (Continuous Interleaved Sampling)
  - elektrode se prožijo posamezno



- SMPS (Spectral Maxima Sound Processor)



- ACE (Advanced combinatorial Encoder)



- Electro-Acoustic stimulation

Vir: Bouaffr Lamin\*, Ouni Kais and Ellouze Houridine. Performance Study of a New Speech Coding Strategy with Reduced Channels for Cochlear Implants. The Open Signal Processing Journal, 2009, 2, 29-39.



## Glavne teme

- Zvok, valovanje, lastnosti, hitrost, valovna dolžina, infrazvok, ultrazvok, prenos zvoka po snovi
- Spekter, časovni in frekvenčni prostor
- Beli šum, roza šum
- Zvočni tlak
- Slušni prag, nivo zvočne moči, nivo zvočnega tlaka, več zvočnih virov, dB
- Subjektivno dojetje zvoka
- Fonometer, Laeq, Lae
- Umetno uho, umetni mastoid
- Gluha soba
- Akustika prostora, čas odmeva
- Absorpcija, odboj, lom zvoka, difuznost prostora, absorberji, jek (odmev)
- Digitalno filtriranje in obdelava signalov
- FFT, DFT, frekvenčna analiza, spektrogram
- Mikrofonija (akustična reakcija)
- Slušni organ, lastnosti, maskiranje, zaznavanje smeri, HRTF, HRIR
- Hrup, varovanje pred hrupom, nivo hrupa
- Vocoder
- Zaznavanje smeri zvoka
- Kompresor in ekspander
- Mikrofoni, akustična in električna delitve (vrste), lastnosti, delovanje
- Merjenje karakteristik mikrofona
- Mikrofoni - priključitev
- dBV, dBHL, ...
- Vrste zvočnikov, delovanje
- Slušalke, vrste, delovanje, lastnosti, glavne značilnosti
- Lastnosti avdio sistemov (frekvenčni odziv, THD, THD+N, IMD, šum, presluh, SNR)
- Digitalizacija zvoka, vzorčenje
- Sigma delta A/D pretvorniki (glavne značilnosti)
- Frekvenca vzorčenja, izbira, tipične vrednosti, prevzorčenje
- CD plošča (glavne lastnosti)
- Vibracija, vpliv, merjenje
- Akustično transparentna oprema
- Slušni implanti

## Praktični prikazi

- Predavanja
  - Kundovina cev - stojajo valovanje
  - Različne frekvence
  - Meritev RT60 v predavalnici
    - video s sple. addressy: <http://audioblog.com>
    - Program RW: <http://www.computer-voice.com>
  - Bitna globina posnetka - vpliv kvantizacija
    - 1 bit do 16 bit - spekter, poslušanje posnetka, signal v časovnem prostoru
  - Fonometer
    - Meritev hrupa v predavalnici
    - Merjenje (kalibrator, pistofon)
  - Umetno uho
    - Meritev slušalke K141 mik.
  - Spektralna analiza
    - Spektrum: ton / šum / razni signali
    - Spektrigram
  - Merjenje vibracij
    - Resonanca - ali deli odboj na tleh
    - Maskiranje zvoka s konstantnim tonom
      - primarni ton: 1.2 kHz, sekundarni po izbiri, upoštevamo amplitudo, da slišimo obo
- Vaje
  - Meritev lastnosti zvočnika
    - frekv. obč., THD, IMD
    - pri različnih frekvencah
  - Merjenje frekvenčne karakteristike mikrofona v gluhih sobi
  - Meritev hrupa v gluhih sobi
  - Enkripcija govora
  - Maskiranje govora
  - Akustična kamera
  - Filtriranje zvoka z analognimi in digitalnimi filtri
  - Mikrofonski ojačevalniki
  - Spremljanje frekvence vzorčenja posnetka
  - 3D zvok
  - Zaznavanje harmoničnega pospeženja 2. in 3. reda s simulacijo
  - „izgradnja“ fonometra / merjenje hrupa
  - Ugotavljanje slušnega praga
  - Meritev SPL pri poslušanju poljubnega posnetka