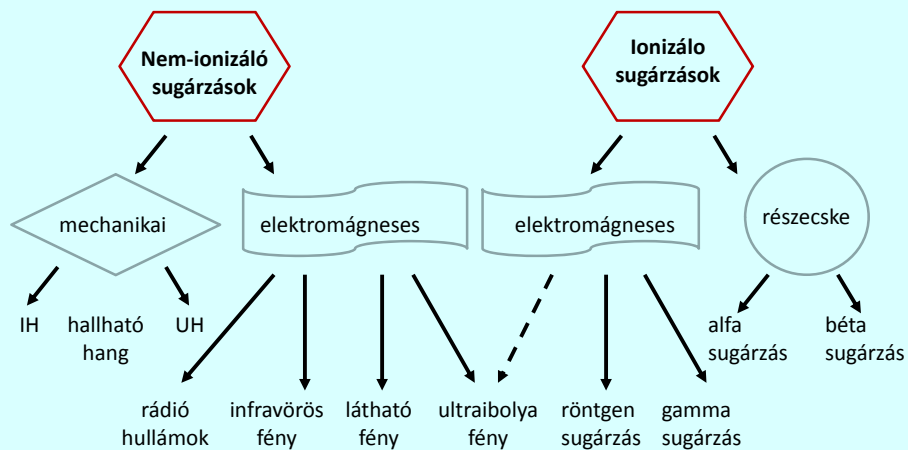


Sugárzások



Hang

és

ultrahang

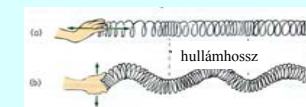


A hang/ultrahang mint hullám

A hang *mechanikai hullám*

Terjedéséhez közegre van szükség – vákuumban nem terjed

Longitudinális vs. transzverzális hullám



longitudinális hullám
(gázokban és folyadékok belsejében csak ilyen)

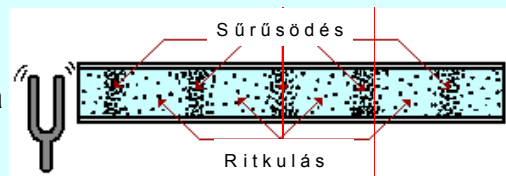


transzverzális hullám is kialakulhat
szilárd testekben, folyadékok felszínén

A hullám leírása

Mechanikai hullám (model)

hangvilla

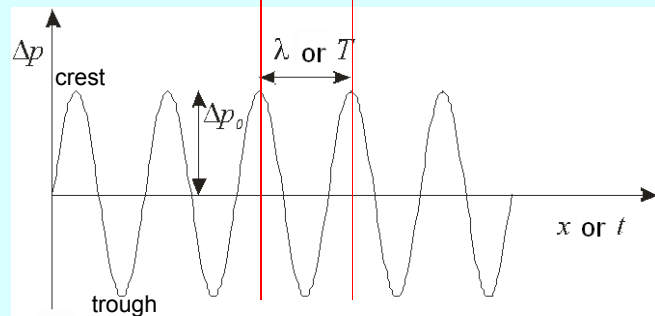


rugó



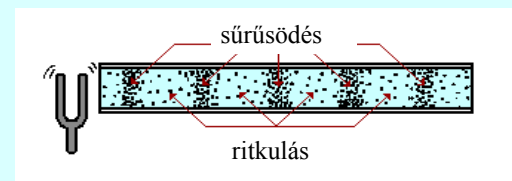
Térbeli és időbeli periodicitás

kitérés



A nyomás periódikus változása

A közeg részecskéinek sűrűsödése és ritkulása a terjedési irány mentén



hidrosztatikainyomás

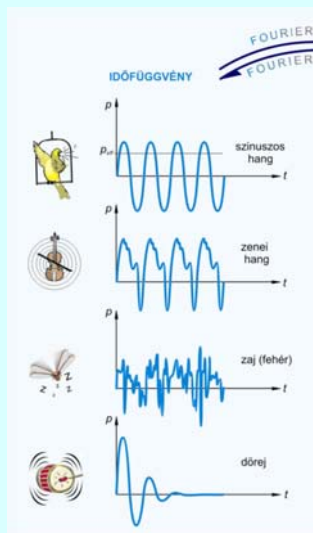
nyomásváltozás,
hangnyomás

$$p_{\text{teljes}} = p_{\text{hidrosztat}} + \Delta p$$

$$\Delta p(t, x) = \Delta p_{\text{max}} \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

amplitúdó fázis

A nyomás periódikus változása



$$p(t) = p_1 \sin(\omega t) + p_2 \sin(2\omega t) + p_3 \sin(3\omega t) + \dots$$

Tkv. IV.23. ábra.

alaphang
frekvenciája

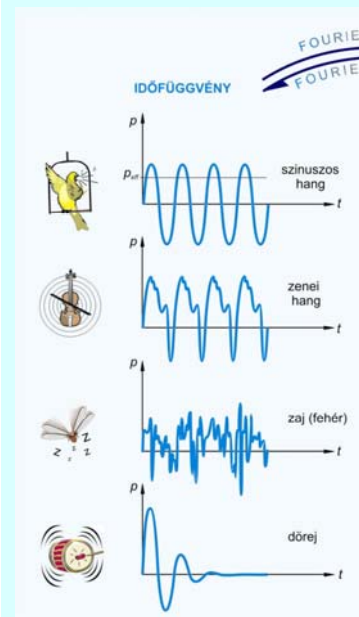
hangmagasság

felhangok aránya
(spektrum)

hangszín

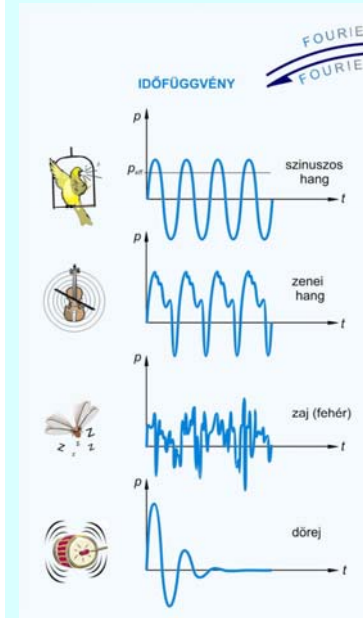
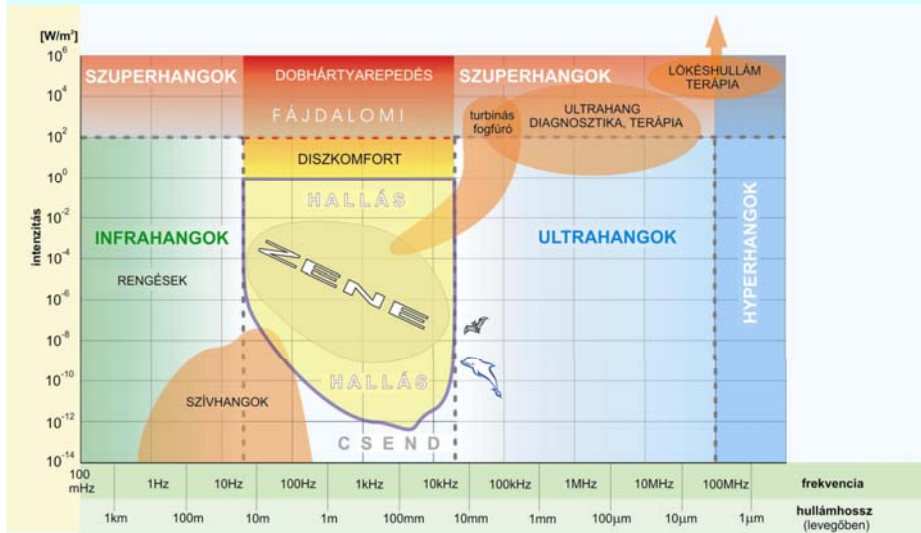
nyomás / intenzitás*

hangosság



Tkv. IV.23. ábra.

Mechanikai hullámok tartományai frekvencia és intenzitás alapján



Tkv. IV.23. ábra.

alaphang
frekvenciája

hangmagasság

felhangok aránya
(spektrum)

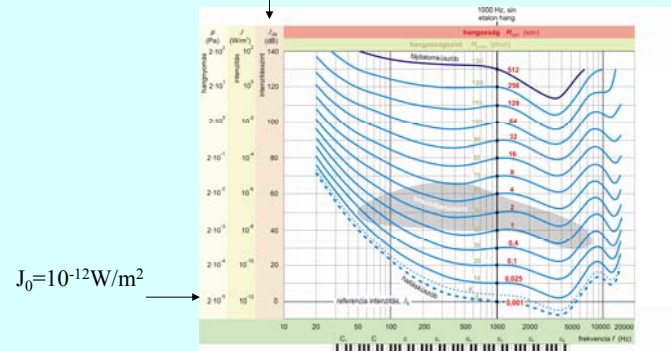
hangszín

nyomás / intenzitás*

hangosság

$$* J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0} \quad J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$



Azonos hangosságszintű görbék

Mekkora intenzitású 300 Hz-es hangot hall meg az az ember, akinek a hallásvesztése ezen a frekvencián 25 dB? A normális hallásküszöb ezen a frekvencián $3 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2$.

$$J_{dB} = 10 \lg \frac{J}{J_0}$$

$$25 = 10 \lg \frac{J}{3 \cdot 10^{-11}}$$

$$10^{2.5} = \frac{J}{3 \cdot 10^{-11}}$$

$$J = 9,5 \cdot 10^{-9} [\text{Wm}^{-2}]$$

A hang/ultrahang terjedése

A hang *terjedési sebessége* – a rugalmas közeg szerepe

$$c = f\lambda$$



$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right) \text{ [Pa}^{-1}\text{]}$$

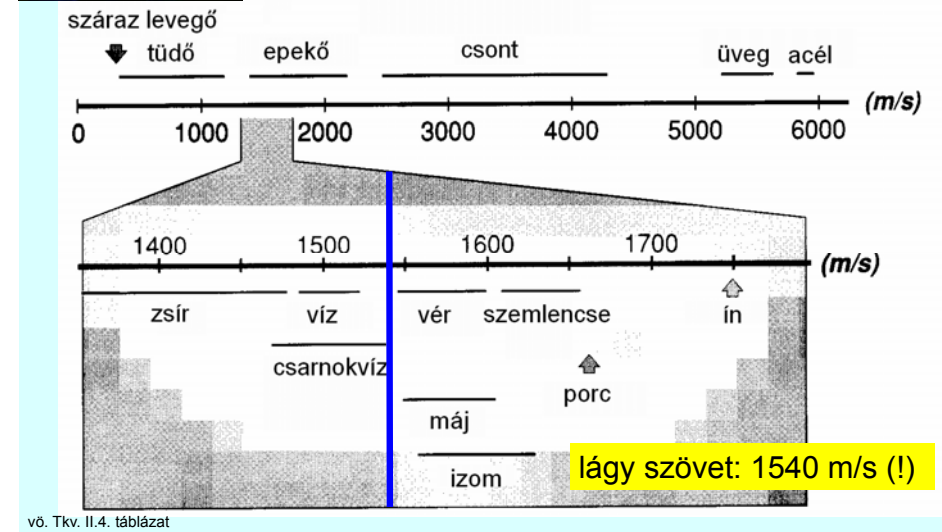
$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho \kappa}}$$

κ a közeg kompresszibilitása
 ρ a közeg sűrűsége

Szilárd anyagokban nagyobb a terjedési sebesség, mint gázokban, mert

$$\rho \uparrow \quad \kappa \downarrow$$

A hang/UH sebessége különféle közegekben



A hang/ultrahang terjedése

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}}$$



$$\kappa = \frac{-\Delta V/V}{\Delta p}$$

$$Z = \frac{\rho}{v} = \frac{\rho_{\max}}{v_{\max}}$$

Akusztikus **impedancia**
(definíció)

$$(Z_{\text{elektronikus}} = \frac{U}{I})$$

$$Z = c\rho = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

acoustic **impedance**
(useful form)

$$[\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

Az akusztikus impedancia

mennyire áll ellen a részecske annak, hogy részecskéit rezgésbe hozzuk.

$$Z = \frac{\rho}{v} = \frac{\rho_{\max}}{v_{\max}}$$

akusztikus impedancia/
akusztikus ellenállás/
akusztikus keménység
(definíció)

$$Z_{\text{el}} = \frac{U}{I}$$

$$Z = \rho c = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

Mértékegység:

$$[\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}]$$

anyag	ρ [kg/m ³]	κ [1/GPa]	c [m/s]	Z [kg/(m ² s)]
levegő	1,3	7650	331	0,00043·10 ⁶
víz, 20°C	998	0,45	1492	1,49·10 ⁶
aluminium	2700	0,009	6400	17,28·10 ⁶
kvarc	2650	0,011	5736	15,2·10 ⁶

Példa:

Egy 3 MHz-es, 50 mW/cm² intenzitású hullám terjed vérben. Mekkora a nyomás, a rezgő részecskék maximális kitérése és sebessége ebben a hullámban?

$$Z_{\text{vér}} = 1,66 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

Megoldás:

Intenzitás: $J = \frac{p_{\text{max}}^2}{2Z}$

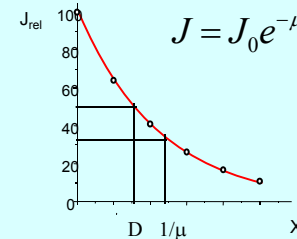
$$p = \sqrt{2JZ} = 40.74 \text{ kPa}$$

Részecske sebessége: $v = \frac{p}{Z} = \frac{40,74 \cdot 10^3}{1,66 \cdot 10^6} = 0,0245 \text{ m/s} = 24,5 \text{ mm/s}$

Kitérés: $A = \frac{v}{\omega} = \frac{24,5}{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^6} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,3 \text{ nm}$

A hang/ultrahang terjedése

Intenzitásgyengülés terjedés közben $J = \frac{1}{Z} \Delta p_{\text{eff}}^2$



csillapítás (dB)

$$\alpha = 10 \lg \frac{J_0}{J}$$

$$\alpha = 10 \cdot \mu \cdot x \cdot \lg e$$

μ a diagnosztikai frekvencia tartományban arányos a frekvenciával

$f = 1 \text{ MHz-re}$

$D_{\text{levegő}} \sim 1 \text{ cm}$

$D_{\text{víz}} \sim 1 \text{ m}$

fajlagos csillapítás

$$\frac{\alpha}{f \cdot x}$$

μ a diagnosztikai frekvencia tartományban arányos a frekvenciával

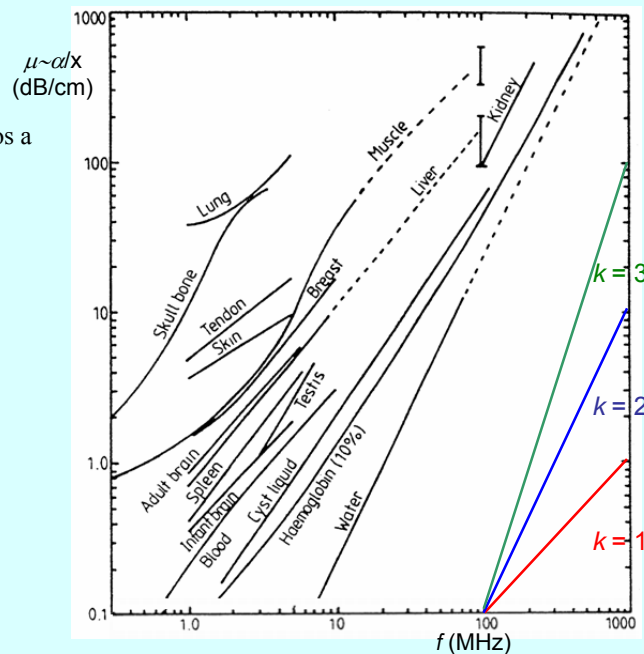
$$\mu \sim f^k, \quad k \sim 1(?)$$

$$\log \mu \sim k \log f$$

ha egyenest kapunk, akkor jó a hatványfüggvény közelítés

fajlagos csillapítás lágy szövetre:

$$\frac{\alpha}{f \cdot x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$

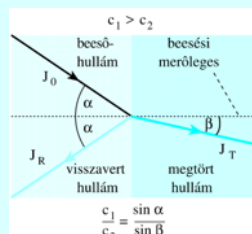


$$\frac{\alpha}{f \cdot x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$

szövet	fajlagos csillapítás
Máj	0,6 – 0,9
Vese	0,8 – 1,0
Zsír	1,0 – 2,0
Vér	0,17 – 0,24
csont	16 – 23

A hang/ultrahang terjedése

Törés



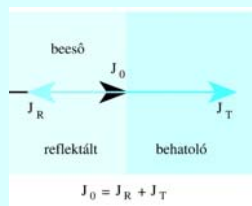
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}^*$$

Snellius-Descartes

Visszaverődés

$$R = \frac{J_R}{J_0}$$

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$



$$^* c = \sqrt{\frac{1}{\rho k}}$$

Hang - ultrahang

Hallható hangok frekvenciatartománya



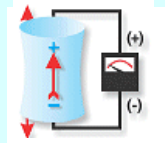
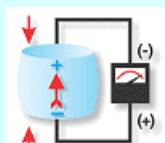
20 Hz – 20 kHz

Ultrahang: $f > 20 \text{ kHz}$

Gyakorlatban: 0,8 – 15 MHz

Infrahang: $f < 20 \text{ Hz}$

Piezoelektromos hatás



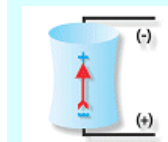
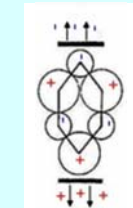
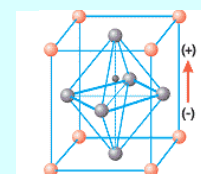
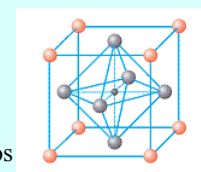
Mechanikai deformáció (nyomás) hatására

elektromos feszültség

Ultrahang előállítás

Inverz piezoelektromos hatás

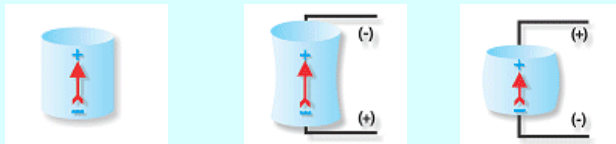
Piezoelektromos
kristály tipikus
szerkezet



Az elektromos
potenciál- különbség
deformációt okoz

Ultrahang előállítás

Inverz piezoelektromos hatás

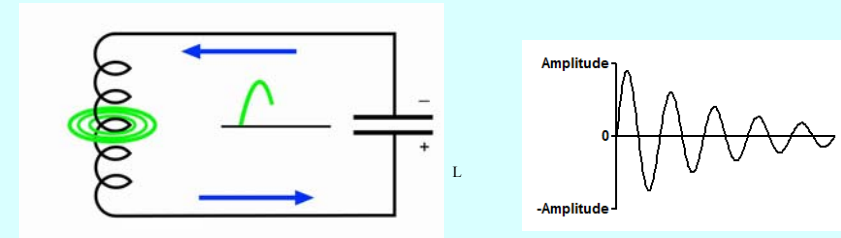


periodikus (szinuszos) elektromos jel

periodikus deformáció rezgés

mechanikai rezgés

Oscillátor – LC-kör



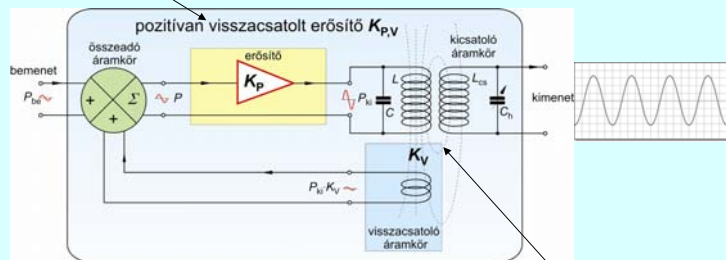
L : induktivitás [H] azaz [$\text{s} \cdot \Omega^{-1}$]

$$L \sim A^2$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Elektromos jelforrás: szinuszoszcillátor

$$A_f = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{A}{1 - A \cdot \beta}$$



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

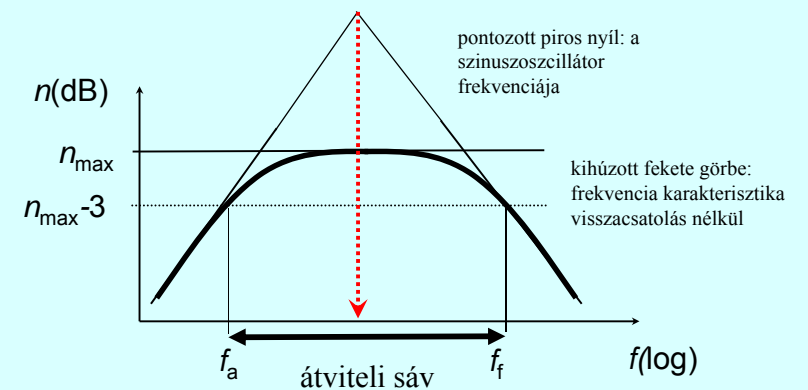
Elektromos jelforrás: szinuszoszcillátor

pozitív módon visszacsatolt erősítő

$$A_{U, \text{visszacatolt}} = \frac{A_U}{1 - \beta A_U}$$

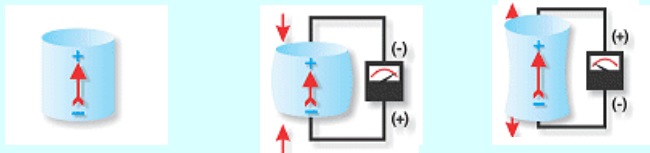
$\beta A_U = 1$, erősítés= „végtelen“ \Rightarrow szinuszoszcillátor

bemenő jel: nincs, kimenet: szinuszos feszültség



Ultrahang detektálása

Piezelektromos hatás



Mechanikai deformáció (nyomás) hatására

elektromos feszültség

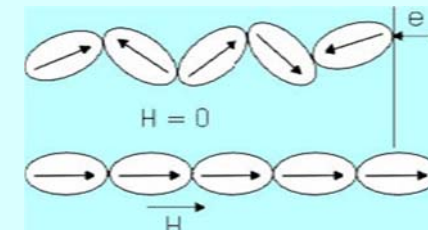
Ultrahang transzducer kettős funkciója:

Adás – elektromos jelből ultrahang (inverz piezelektromos hatás)

Vétel – ultrahangból elektromos jel (piezelektromos hatás)

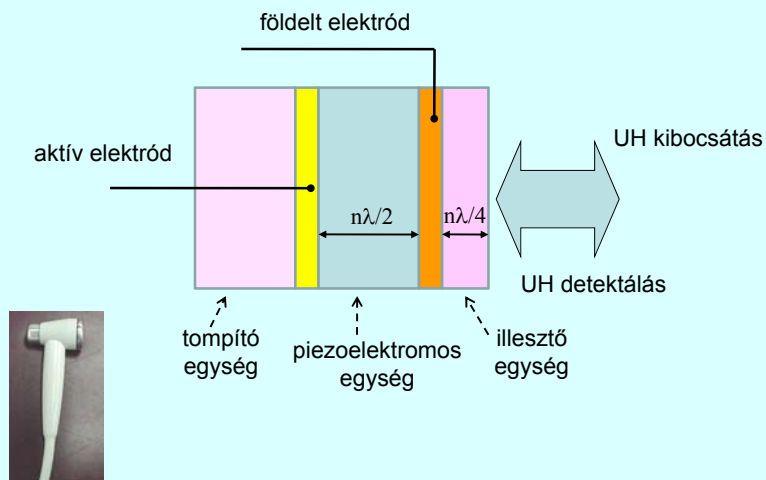
Ultrahang előállítás

Magnetostrikció



ferromágneses anyagok (pl. Co) viselkedése
mágneses térben.

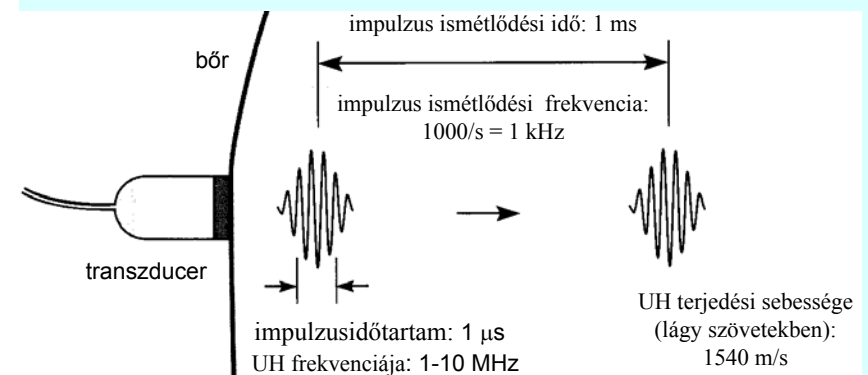
Az ultrahang-fej felépítése



Az UH impulzusok jellemzői

transzducer: adó és vevő egyben

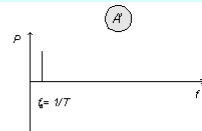
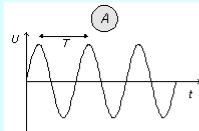
időbeli szétválasztás – folyamatos hullám helyett impulzusok



Jelalak

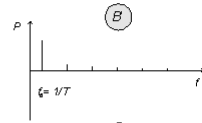
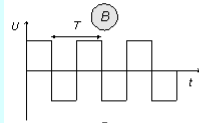
Spektrum

szinuszos



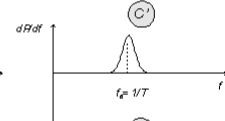
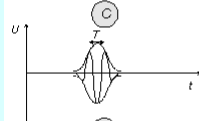
Vonalas spektrum
(1 vonal)

négyszög



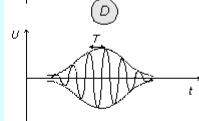
Vonalas spektrum

szinuszos
sorozat



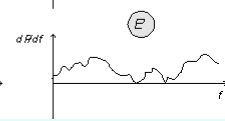
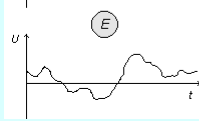
Sávos spektrum

Szinuszos
sorozat (több
sorozat)



Sávos spektrum

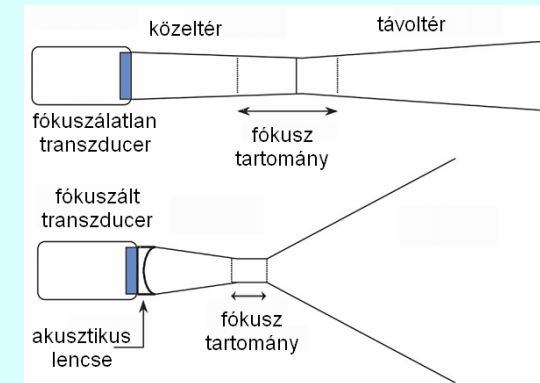
Aperiodikus



Folytonos spektrum

33

Fókuszálás



Fókuszáláskor a nyaláb divergenciája nő a távoltérben és romlik a mélységélesség.

Vö. Tkv. 500.o. 1. ábra

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 2.4.

VIII. 4.2.