

$$\text{Hangnyomás} = \frac{\text{erő}}{\text{felület}} = \frac{F}{A} = p \quad [Pa]_i \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad \#1$$

### ALAPFOGALMAK

$$\text{Rétegessebesség} = \frac{\text{út}}{\text{idő}} = v \quad \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\text{Frekvencia} \quad f = \frac{1}{T} \quad \text{ahol } T \text{ a periodusido}$$

$$\text{Körfrekvencia} \quad \omega = 2\pi f$$

$$\text{Hullámhossz} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ahol } c \text{ a hangsebesség}$$

$$\text{Hangsebesség} \quad c = \sqrt{\frac{\kappa \cdot p_{\text{stat}}}{S_0}} \quad \text{ahol } \kappa = 1,4 \quad p_{\text{stat}} = 1014 \text{ hPa} \quad c(T, \pi)$$

$$\text{Sűrűség} = \frac{\text{tömeg}}{\text{térfogat}} = \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = s$$

$$\text{Hullámszám} = \text{egy méterben} \quad \rightarrow \text{ennyi hullám van} \quad k = \frac{\omega}{c}$$

"Térbeli frekvencia" = hullámszám

$$\text{Hullámsebesség} = \text{egy arány fázisú pont sebessége} \quad c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\text{Tömegáram} = s v$$

$$\text{Térfogatsebesség} = A \cdot v = q$$

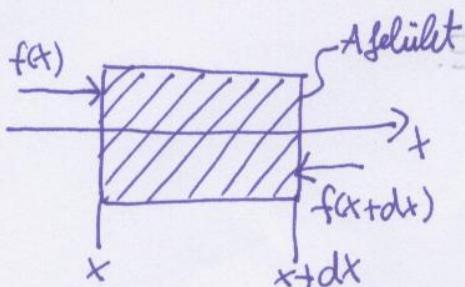
$$\text{Intenzitás} = I = \text{felületen átívelő teljesítmény} = \frac{P}{A} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$\text{Specifikus impedancia} = z = p \cdot v = S_0 \cdot c = 420 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} = \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] \quad 1 \text{ Rayl}$$

## HULLÁMUTERJEDÉS

#2

Egydimenziós hullámtérjedés



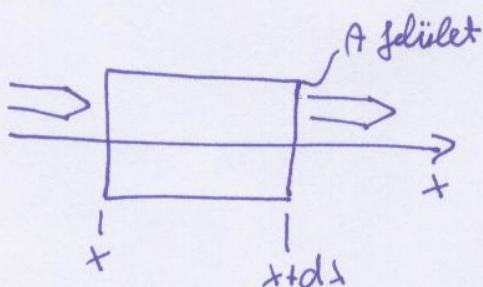
Kiindulunk Newton II.  $F = m \cdot a$

$$\sum F = \frac{\partial m \cdot v}{\partial t}$$

$$f(x) - f(x+dx) = p(x) \cdot A - p(x+dx) \cdot A$$

$$\frac{\partial (Sv)}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad S.v = \text{tömegáram}$$

Euler egyenlet kipipálva.



Angognemelkedés

ami be vagy annak ki is kell jön:

$$(S.v) \cdot A \Big|_x - (S.v) A \Big|_{x+dx} = \frac{\partial m}{\partial t}$$

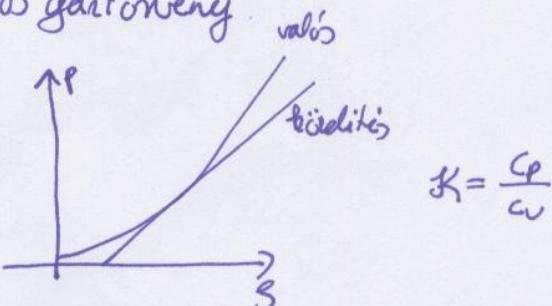
$$\frac{\partial (Sv)}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0$$

Kontinuitási egyenlet kipipálva.

Kapsolat  $p$  és  $S$  között. Általános gáztörvény

$$p = \text{const. } S^k$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{K} \quad \text{tervezett kapsolatot}$$



Betűnél, derivelvél, leírva egymárból a két alap egyenletet

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

$$C = \sqrt{\frac{K \cdot p_{\text{stat}}}{S_0}}$$

Megoldás

$$p(x,t) = f(t - \frac{x}{c}) \quad \text{Láderindl., viszalélyezet, öriül}$$

Szinuszos esetben Helmholtz egyenlet

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + k^2 p = 0$$

Helmholtz

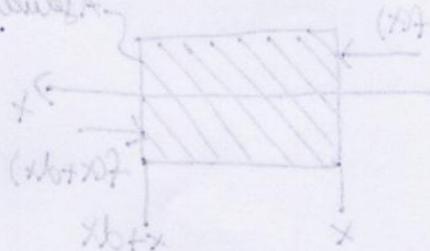
$$p = \hat{p} e^{i(\omega t - kx)} = \frac{\partial}{\partial t} \text{föltér} \rightarrow -\omega^2 \hat{p} e^{i(\omega t - kx)}$$

strókkal összehújtva

visszainva a hullámegyenletbe adódik a H.E.

$$\Delta (\Delta t + \Delta x) q = (\Delta t)^2 - (\Delta x)^2$$

$$\text{vértegység} = v \cdot \delta \quad Q = \frac{q_0}{\tau_0} + \frac{(v \cdot \delta) \cdot \tau_0}{\tau_0}$$



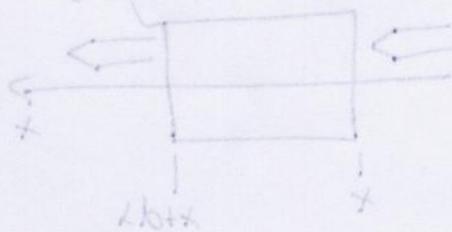
szabogád telnyppel nélkül

cikkbenhangosítva

szabogád a telnyppel nélkül

$$\frac{M_0}{\tau_0} = \left| A(v \cdot \delta) - A(\Delta t) \right|$$

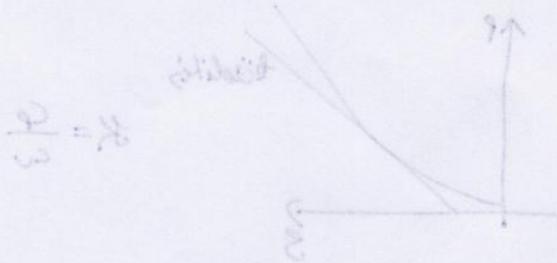
szabogád



$$Q = \frac{q_0}{\tau_0} + \frac{(v \cdot \delta) \cdot \tau_0}{\tau_0}$$

szabogád telnyppel összehúztuk

azaz fürrötökön keresztül a telnyppel nélkül a telnyppel



$$c \cdot t = x$$

$$\text{telnyppel többlet } \frac{1}{2} \cdot \frac{q}{\tau_0} = \frac{q}{\tau_0}$$

telnyppel plusz telnyppel nélkül összehúztuk, mivel

$$\left[ \frac{\text{telnyppel}}{\tau_0} \right] = 0$$

$$Q = \frac{q_0}{\tau_0} + \frac{q}{\tau_0} = \frac{q_0}{\tau_0}$$

cikkbenhangosítva

szisz, feszültségharmonikus, hármas  $(x-t)q = (t,x)q$

telnyppel összehúztuk minden cikkbenhangosítva

$$Q = q \cdot \frac{q_0}{\tau_0} + \frac{q^2}{\tau_0}$$

## AKUSZTIKAI SZINTEK

#3

Intenzitásszint

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{ahol } I_0 = 1 \frac{\text{pW}}{\text{m}^2}$$

Hangnyomás szint

$$L_P = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad \text{ahol } P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

mértékegység [dB]

Résekesszencesszint

$$L_V = 20 \lg \frac{V}{V_0} \quad \text{ahol } V_0 = 5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Hangteljesítményszint

$$L_W = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad \text{ahol } P_0 = 1 \text{ pW}$$

P(A) A súlyozó görbeivel  
korrígálva [dB(A)]

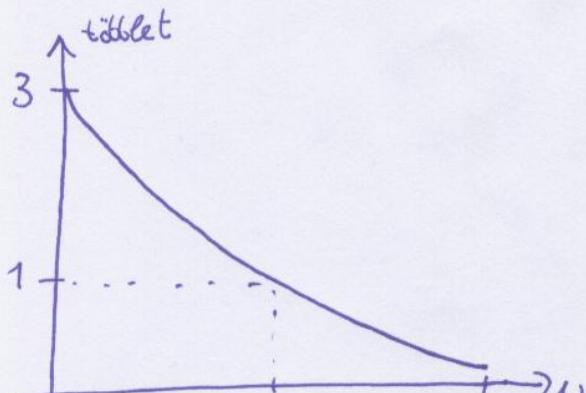
Kapcsolatok

$$I = p \cdot v \quad I = \frac{P}{A}$$

Síkhullámban  $p, s, v$  füavisban van de a kritérius erekkel nincs füavisban  
 Síkhullámban  $L_I, L_P, L_V$  megegyezik.

Szintösszegzés

$$L_e = L_1 + 10 \lg \left( 1 + \frac{1}{10^{44/10}} \right)$$



- AKTÍZSÁV KAI ZSÍRÁS
- Két 70 dB hangnyomású egymástól független vélletlen jelet előállító hangforrás eredője 73 dB
  - Két 70 dB hangnyomású arányos frekvenciájú és fázisú szinkrozes forrás eredője 76 dB
  - Egy 70 és egy 80 dB hangnyomású egymástól független vélletlen jelet előállító forrás eredője 80 dB
  - Egy 70 és egy 80 dB hangnyomású ellentétes fázisú forrás eredője 80 dB
  - Két 70 dB hangnyomású, ellentétes fázisú forrás esetén az eredő  $\sim \infty$  dB, létrejön a kioltás.

$$\frac{I}{A} = I \quad V \cdot I = I$$

$$\left( \frac{1}{\alpha^2 + 1} + 1 \right) g^2 \alpha + \beta = g$$



## HULLÁMVEZETŐ LEÍRÁSA

#41

Egydimenziós hullámtengedés

$$p(x,t) = \hat{p} e^{j(\omega t - kx)}$$

Merő fallal lezárt hullámtengedés

$$p(x,t) = \hat{p}_+ e^{j(\omega t - kx)} + \hat{p}_- e^{j(\omega t + kx)}$$

$$v(x,t) = \frac{\hat{p}_+}{S_0 \cdot C} e^{j(\omega t - kx)} - \frac{\hat{p}_-}{S_0 \cdot C} e^{j(\omega t + kx)}$$

$$\text{Reflexiós tényező } r = \frac{\hat{p}_-}{\hat{p}_+}$$

Falnál metszések amplitúdó levezetése  $p(t,t) = \cos x + j \sin x$  alakból  $\Rightarrow 2\hat{p}$

$$\text{Lezárt impedancia } \frac{P}{V} = z \Big|_{x=e} \text{ helyen}$$

$p(x,t)$ ,  $v(x,t)$  behelyettesít  
 $\hat{p}_+$ -al lezárta,  $r$  beir

$$\frac{P}{V} \Big|_{x=e} = z_2 = S_0 C \frac{1 + r e^{j2k_e l}}{1 - r e^{j2k_e l}}$$

$$\text{Halakítás után } r = \frac{z_2 - S_0 C}{z_2 + S_0 C} e^{-j2k_e l}$$

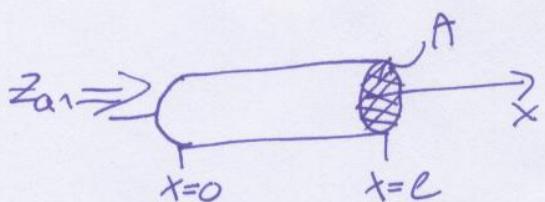
$$\frac{P}{V} \Big|_{x=0} = z_1 \text{ behelyettesít, } r \text{ helyére a kifejtett alak, } e \rightarrow \cos x + j \sin x + \frac{\sin x}{\cos x} = \tan x \text{ helyettesítés után}$$

$$z_1 = S_0 \cdot C \frac{z_2 + j S_0 C \tan k_e l}{S_0 C + j z_2 \tan k_e l}$$

$$\text{ha } l < \frac{1}{8} \quad \tan k_e l \approx k_e l$$

$$z_1 = S_0 \cdot C \frac{z_2 + j S_0 \cdot C \cdot k_e l}{S_0 C + j z_2 \cdot k_e l}$$

Kalibrált vastagságú hullámvéztő, csak hosszúságú tengedéssel



specifikus helyett akusztikai  
impedancia  $Z_a$

$$\frac{P}{V} \Rightarrow \frac{P}{A \cdot V}$$

A/V tengedelesbersege

Minden leorsztank A-val összességtelenítve

$$\frac{Z_0 C}{A} = Z_{a0} \text{ hallásimpedancia}$$

$$Z_{a1} = Z_{a0} \frac{Z_{a2} + j Z_{a0} \frac{8l}{A}}{Z_{a0} + j Z_{a2} \frac{8l}{A}}$$

$l < \frac{A}{8}$  akusztikai tömeg nélkül

$$(x_0 + j u_0) + (x_2 + j u_2) \Rightarrow \frac{j}{j} = (j \cdot l) \Omega$$

Két szíbső eset -  $Z_{a2} \gg Z_{a0}$  lebegőtett csővég

-  $Z_{a2} \ll Z_{a0}$  szabad csővég

Ha  $Z_{a2}$  nagy:

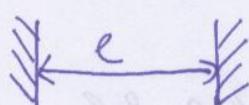
$$Z_{a1} = Z_{a0} \frac{Z_{a2} + j Z_{a0} \frac{8l}{A}}{Z_{a0}} = Z_{a2} + j Z_{a0} \frac{\omega}{c} l = Z_{a2} + j \omega \frac{8l}{A}$$

$$\frac{8l}{A} = M_a \text{ akusztikai tömeg}$$

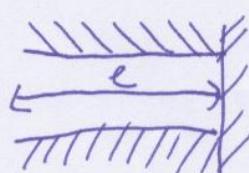
Ha  $Z_{a2}$  nagy:

$$Z_{a1} = Z_{a2} \times \frac{1}{j \omega C_a} \quad \frac{V}{A} = C_a \text{ akusztikai kapacitás}$$

+ rezonanciaik



$$l = 2n \frac{\lambda}{4}$$



$$l = (2n+1) \frac{\lambda}{4}$$

Jelzői: ipari rezonancia, összességtelenítésben részt vevő induktív hengerek működésére

$$\Sigma \text{ munkaidő}$$

$$\frac{q}{VA} \Leftrightarrow \frac{q}{V}$$

$$\text{feszültségfeszítés } \frac{q}{VA}$$

elosztókkal összességtelenítve

$$(x_0 + j u_0) \frac{j}{j} = (j \cdot l) \Omega$$

$\frac{j}{j} = 1$  ügynöktől

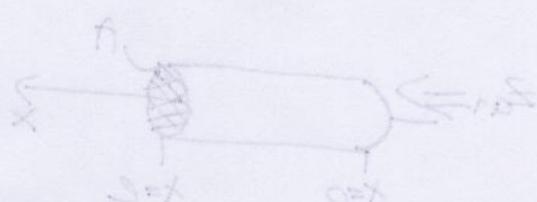
$$S = \frac{q}{V} \text{ munkaidő$$

$$\frac{V}{A} = C_a \text{ akusztikai kapacitás}$$

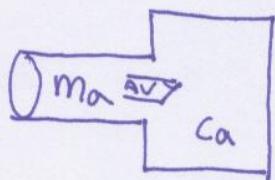
$$\frac{Y_{00}}{X_{00}} = \frac{Y_{00}}{X_{00}}$$

$$\frac{Y_{00}^2 + X_{00}^2}{2(Y_{00}^2 + X_{00}^2)} = \frac{1}{2}$$

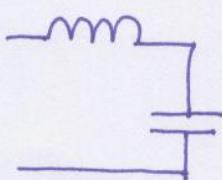
$$\frac{Y_{00}^2 + X_{00}^2}{2(Y_{00}^2 + X_{00}^2)} = \frac{1}{2}$$



Helmholtz rezonátor



$\Leftrightarrow$



KONCENTRÁLT PARAMÉTERES

ELEKTROMOS  $\Leftrightarrow$  AKUSTIKUS

#5

#6

Mikor  $C_a$ ?

Ha az öt lemezhez sokkal nagyobb mint a saját  $Z_{a0}$

Mikor  $m_a$ ?

Ha az öt lemezhez sokkal kisebb mint a saját  $Z_{a0}$

$p \Leftrightarrow U$

villamos analógiára

$q = (A) V \Leftrightarrow I$

$z \Leftrightarrow R$

Modell korlátok

$$W_{\max} \quad l < \frac{\lambda}{8} \quad f = \frac{c}{l} \quad f = \frac{c}{l \cdot 8} \quad l \text{ a legnagyobb hosszúig}$$

$$W_{\min} \quad \text{a lemezről fön} \quad Z_{a2} \gg \frac{s_0 c}{A_1}$$

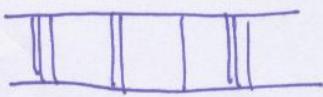
$$j\omega m_a \gg \frac{s_0 c}{A_1}$$

$$\omega = \frac{s_0 c}{m_a \cdot A_1}$$

Helmholtz rezonátor = akustikai aluláteresztő "szűrő"

$$H(\omega) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m_a C_a}}$$

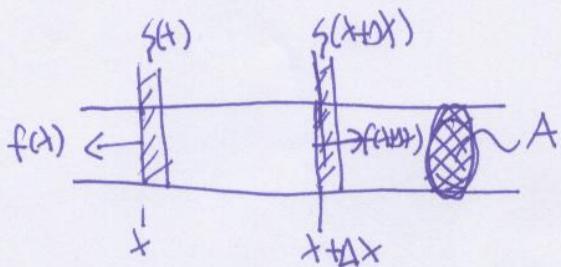
Longitudinalis rezgés



## LONGITUDINALIS REZGÉS

#7

fázisik színváltozások és részletek



Kündülünk Hooke törvény

$$G = \epsilon \cdot E \quad \text{ahol } E \text{ a Young modulus}$$

$\epsilon$  a relatív megnagyítás  $\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \epsilon$

$$\epsilon = \frac{\xi(x+\Delta x) - \xi(x)}{\Delta x}$$

$\xi$  a megnagyítás mértéke (feszí)

$$G = \frac{f}{A} \quad (= \text{mechanikai feszültség})$$

$$\frac{f}{A} = \frac{\xi(x+\Delta x) - \xi(x)}{\Delta x} \cdot E \Rightarrow f = \frac{\partial \xi}{\partial x} E \cdot A$$

Kündülés II.  $\Rightarrow$  Newton II.  $F = m \cdot a$

$$f(x+\Delta x) - f(x) = m \cdot a$$

$$m = A \cdot \Delta x \cdot s$$

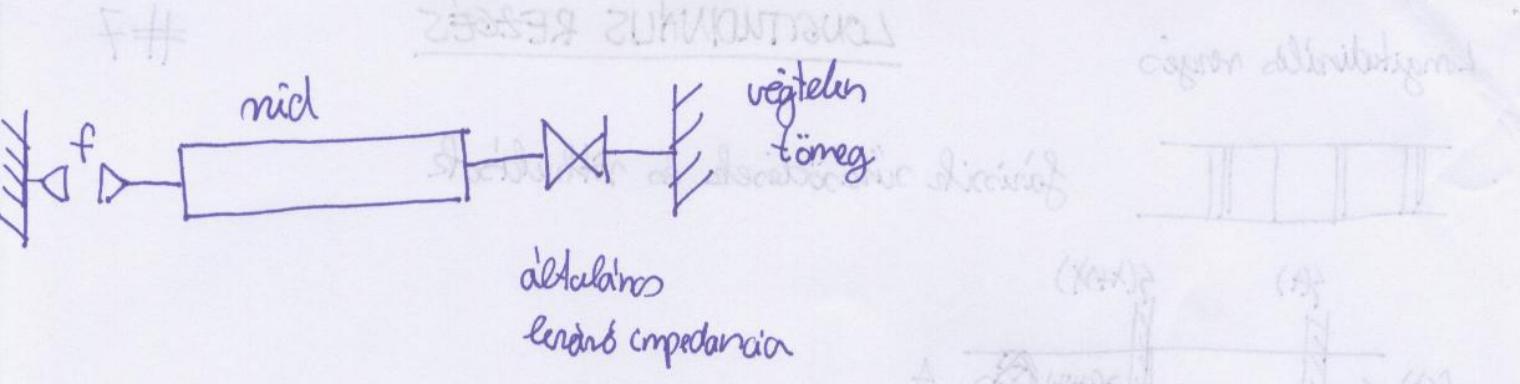
$$a = \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

derivál, render, egyenlítőben, kivon

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - \frac{1}{c_e^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0 \quad \text{ahol } c_e = \sqrt{\frac{E}{s}}$$

longitudinalis hullámegyedési sebesség

$$k_e = \frac{\omega}{c_e}$$



az akustikai modell analógiája alapján

$$Z_{m1} = Z_{mo} \frac{Z_{m2} + jZ_{mo} \cdot R}{Z_{mo} + jZ_{m2} \cdot R}$$

$$Z_{mo} = S_0 \cdot C \cdot A = A \sqrt{ES}$$

Két eset ha  $Z_{m2} \ll Z_{mo}$

$$Z_{m1} = Z_{m2} + j\omega A \cdot R = Z_{m2} + j\omega m \quad m = S \cdot A$$

a nincs tömegként viselkedik

ha  $Z_{m2} \gg Z_{mo}$

(párhuzamú indukció)  $\frac{1}{A} = 0$

$$Z_{m1} = Z_{m2} \times \frac{1}{j\omega C_m} \quad \Rightarrow \quad C_m = \frac{X}{f} = \frac{1}{A}$$

a nincs rugóhárítás viselkedik

ideális rugó

$$\sigma \cdot m = (\lambda f - (\lambda + X)f)$$

ideális tömeg

$$\sigma \cdot m = A \cdot \rho$$

ideális csillapító

$$\frac{2f}{f_0} = \sigma$$

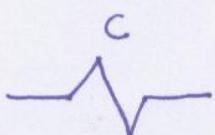
$$\frac{E}{\sigma} = \omega \quad \omega = \frac{2f}{f_0} \quad \frac{1}{\sigma} = \frac{2f}{f_0}$$

gyakorlati kölcsönhatást összehibákodás

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \sigma^2$$

MECHANIKA  $\Leftrightarrow$  AKUSTIKA  $\Leftrightarrow$  ELEKTR. #8

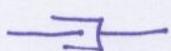
elektromosság	akustika	mechanika
U	p	f
I	$A \cdot v = q$	v
Z	$Z_a$	$Z_m$
P	P	P
R	( $r_a$ )	r
L	$m_a$	m
C	$C_a$	c



$$C = \frac{x}{f} \quad \frac{f}{v} = \frac{1}{j\omega C} = Z_m \text{ rugó}$$



$$\frac{f}{v} = j\omega m = Z_m \text{ tömeg}$$



$$\frac{f}{v} = r = Z_m \text{ csillapító}$$

közös erő = közös feszültség

közös sebesség = közös áram

rugó = kapacitás

tömeg = induktivitás

## GÖMBHULLÁMOK SZÁRMATÁSA

#9

$\frac{\partial p}{\partial x}$  helyett  $\nabla p$  mert 3D világban éltünk

$$\nabla p = \frac{\partial}{\partial r} \vec{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \nu} \vec{\nu} + \frac{1}{r \sin \nu} \frac{\partial}{\partial \varphi} \vec{\varphi}$$

$$\nabla^2 p = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \dots \nu \dots + \dots \varphi \dots$$

$\nu$  és  $\varphi$  irányban a változás olyan kicsi, hogy elhanyagolható viszonyuk a hullámegyenletbe majd ismérő alakra hozuk

$$\frac{\partial^2 (r \cdot p)}{\partial r^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 (r \cdot p)}{\partial t^2} = 0 \quad \text{megoldás } f(t - \frac{r}{c})$$

$$p(r, t) = \frac{\hat{p}}{r} e^{j(\omega t - kr)} \quad p \text{ és } r \text{ kapcsolata íme! az Euler egyenletből}$$

$$v(v_{it}) = \frac{\hat{p}}{r} \cdot \frac{1}{s_0 \cdot c} \cdot e^{j(\omega t - kr)} \left[ 1 + \frac{1}{jkr} \right] \quad v(v_{it}) = -\frac{1}{j s_0 \omega} \nabla p \Rightarrow z \text{ komplex lesz}$$

$$z(v_{it}) = s_0 \cdot c \frac{jkr}{jkr + 1}$$



nincs valódi gömbugározó mert a részarábeszerig értéke nullaban os húne, hogy legyen

$$I = p \cdot v \quad \text{villamos átalégría alapján} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ p \cdot v^* \}$$

$$I = \frac{p_{eff}}{s_0 \cdot c} \cdot \frac{1}{r^2}$$

$$P = S \cdot I = 4\pi r^2 \frac{p_{eff}}{s_0 \cdot c} \frac{1}{r^2} = \frac{p_{eff}}{s_0 c} 4\pi \quad \text{nem függ a lejtől}$$

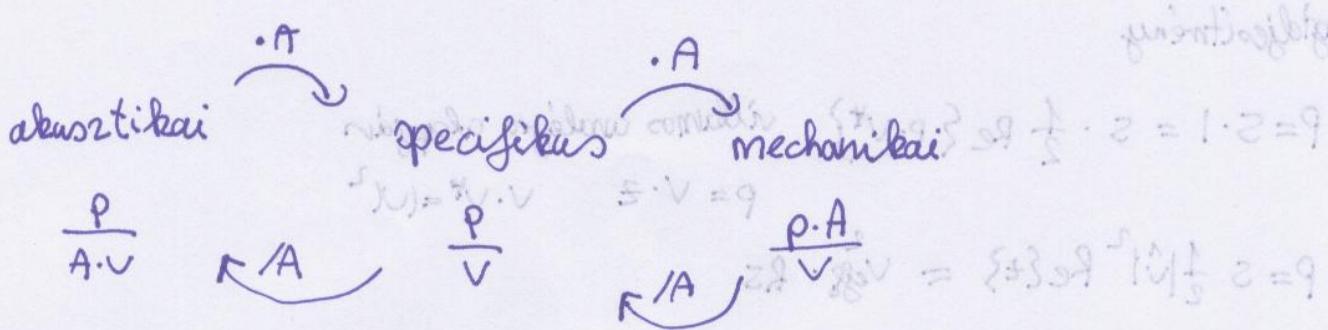
Addt helyen az akustikai varázsló adadobja a lelegző gömböt a gömbhallánsra

$$\hat{V}_S e^{j\omega t} = \frac{\hat{p}}{s_0 \cdot c} \frac{1}{a} e^{j(\omega t - ka)} \left[ \frac{1}{jka} + 1 \right]$$

$$p(r, t) = s_0 \cdot Q \cdot \frac{1}{4\pi r} \cdot \frac{1}{1+jka} \cdot e^{j(\omega t - k(r-a))}$$

## IMPEDANCIAK + SUGÁRZÁSI IMPEDANCIA

#10



$$z = \frac{\rho}{v} = s_0 \cdot c$$

$$Z_a = \frac{\rho}{A \cdot v} = \frac{\rho}{q}$$

$$Z_{a0} = \frac{s_0 \cdot c}{A} \quad ; \quad Z_{am} = j\omega m_a = j\omega \frac{s_0 c}{A} \quad ; \quad Z_{ac} = \frac{1}{j\omega c_a} = \frac{1}{j\omega \frac{v}{s \cdot p}}$$

$$Z_m = \frac{\rho \cdot A}{v} = \frac{f}{V}$$

$$Z_{mo} = A s_0 \cdot c_e = s_0 \sqrt{\frac{E}{g}} \cdot A = A \sqrt{s E} \quad ; \quad Z_{mm} = j\omega m = j\omega s \cdot c_a \cdot A$$

$$Z_{mc} = \frac{1}{j\omega c} = \frac{1}{j\omega \frac{X}{f}}$$

Lélegző görbék

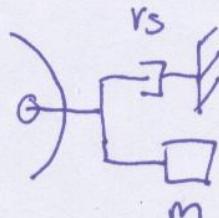
$$\frac{\rho}{v} = z(v, t) = s_0 \cdot c \cdot \frac{jka}{jka + 1} = s_0 c \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{jka}} = s_0 c (1 + jka)$$

$$f \text{ feszidő} = s \cdot p \quad \frac{s \cdot p}{v} = Z_m \quad \text{Pest benzovorak s-el}$$

$$Z_m = s s_0 \cdot c \times j\omega s_0 \cdot s \cdot a \quad \text{Lélegző erő}$$

$$Z_m = s s_0 \cdot c \cdot \frac{jka}{jka + 1} \quad \text{bővítem } \frac{(1-jka)}{(1+jka)} \text{-val és néhányan valós + képzelei-re}$$

$$Z_m = s s_0 \cdot c \cdot \frac{(ka)^2}{1+(ka)^2} + j\omega s s_0 \cdot a \cdot \frac{1}{1+(ka)^2}$$



01#

## A DUARÉM IZKESKELÉS + KADUARÉM

### Hangfeljegűítmény

$$P = S \cdot I = S \cdot \frac{1}{2} \operatorname{Re}\{P \cdot V^*\}$$

villamos analógiára alapján

$$P = V \cdot Z \quad V \cdot V^* = V^2$$

$$P = S \frac{1}{2} |V|^2 \operatorname{Re}\{z\} = V_{eff} \cdot R_S$$

$$R_S = S \cdot s_0 \cdot c \frac{(ka)^2}{1+(ka)^2}$$

$$\sigma \cdot \omega = \frac{q}{V} = \Sigma$$

$$\frac{I}{P} = \frac{q}{V \cdot A} = \rho \Sigma$$

$$\frac{1}{\sqrt{\omega_i}} = \frac{1}{\omega_i} = \omega_i^{-1} ; \frac{\omega_i}{A} \omega_i = \rho \pi \omega_i = m \omega_i = m \omega_i$$

$$\frac{I}{V} = \frac{A \cdot q}{V} = \rho \Sigma$$

$$AS \cdot \omega_i = m \omega_i = m \omega_i ; \boxed{38} A = A \cdot \frac{\pi}{8} \omega = \omega \cdot \pi \hbar = m \omega$$

$$\frac{1}{\sqrt{\omega_i}} = \frac{1}{\omega_i} = \omega_i^{-1}$$

dúgószerelés

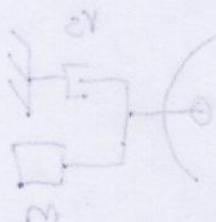
$$(nd_i \times 1) \omega_i = \frac{1}{\frac{1}{\omega_i} + 1} \cdot \omega_i = \frac{\omega_i}{1 + \omega_i} \quad \sigma \cdot \omega = (\tau, n) \Sigma = \frac{q}{V}$$

ld. c. sh. minden török

$$\text{ld. c. minden török} \quad M\S = \frac{q \cdot \omega}{V} \quad q \cdot \omega = \text{akkert}$$

$$\boxed{E} \quad \omega \cdot Z \cdot \omega \omega_i \times \omega \cdot \omega \omega = M\S$$

$$\omega \cdot \omega \omega + \omega \omega \text{ minden török} \quad \frac{\omega \omega}{1 + \omega \omega} \omega \cdot \omega \omega = M\S$$



$$\frac{1}{(n \omega + 1)} \omega \cdot \omega \omega \omega_i + \frac{(n \omega)}{(n \omega + 1)} \omega \cdot \omega \omega = M\S$$

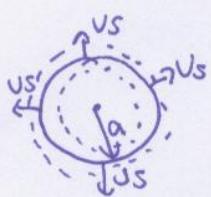
## LÉLEGZŐ GÖMB + HANGTELJESÍTMÉNY

#11



A névrekeszbereszésekkel  $\theta$ -ban végtelenek lenne lennie  $\Rightarrow$  elnélkülöz súlyos valódi gömbörgörzs

Követjük, így, hogy a már haladó gömbhullánnak egy akustikai visszhangja egy adott helyen ráadja a lélegző gömbet



$$\hat{V}_S e^{j\omega t} = \frac{\hat{P}}{S_0 \cdot C} \frac{1}{a} e^{j(\omega t - k a)} \left( 1 + \frac{1}{j k a} \right)$$

diből  $P = S_0 \cdot Q \cdot \frac{1}{4\pi r} e^{j(\omega t - k(r-a))} \frac{1}{1+jka}$

$$Q \text{ terjedt gyorsulás} = j\omega Q = j\omega S \cdot vs$$

ha  $k \cdot a \gg 1$  akkor  $Q$  és  $P$  fázisban van, vagyis a gömb már elérte akkora, hogy síkhullámat indít el

ha  $k \cdot a \ll 1$  fáziseltérés van ( $90^\circ$ )

### Hangteljesítmény

$$P = S \cdot I = S \cdot \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ P \cdot V^* \} = S \cdot \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ V \cdot V^* \cdot z \} \Rightarrow S \cdot z = 2m$$

$V \cdot V^* = |\hat{V}|^2$

$$P = V_{eff}^2 \cdot R_S$$

$$R_S = S_0 \cdot C \cdot S \cdot \frac{(ka)^2}{1+(ka)^2}$$

## ELEKTRODINAMIKUS ATALAKÍTÓ

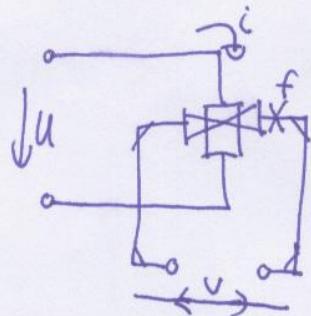
#12

Ha egy  $\ell$  hosszú vezetőt  $B$  mágneses törében elhelyezve, i áramot folytatunk át akkor anna egy  $F$  erő fog hatni.

$$F = B \cdot \ell \cdot i = T \cdot i$$

$$T = B \cdot \ell \text{ transzmissziós tényező}$$

### Elektrodinamikus átalakító



$$F = T \cdot i$$

$$U = T \cdot V$$

valódi lekapcsolatot (finikai) teremt a bét oldal mennyiségei között

a jók magsorba

erő  $\leftrightarrow$  feszültség

helyett

erő  $\leftrightarrow$  feszültség

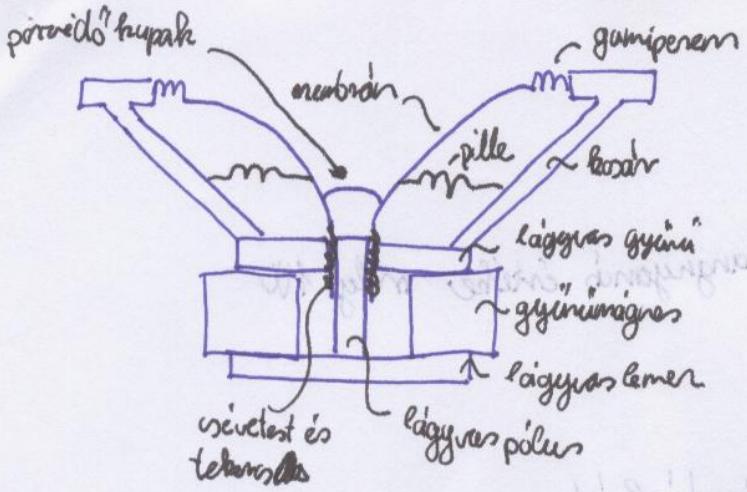
szénteg  $\leftrightarrow$  áram

szénteg  $\leftrightarrow$  áram

### Impedancia transformátor

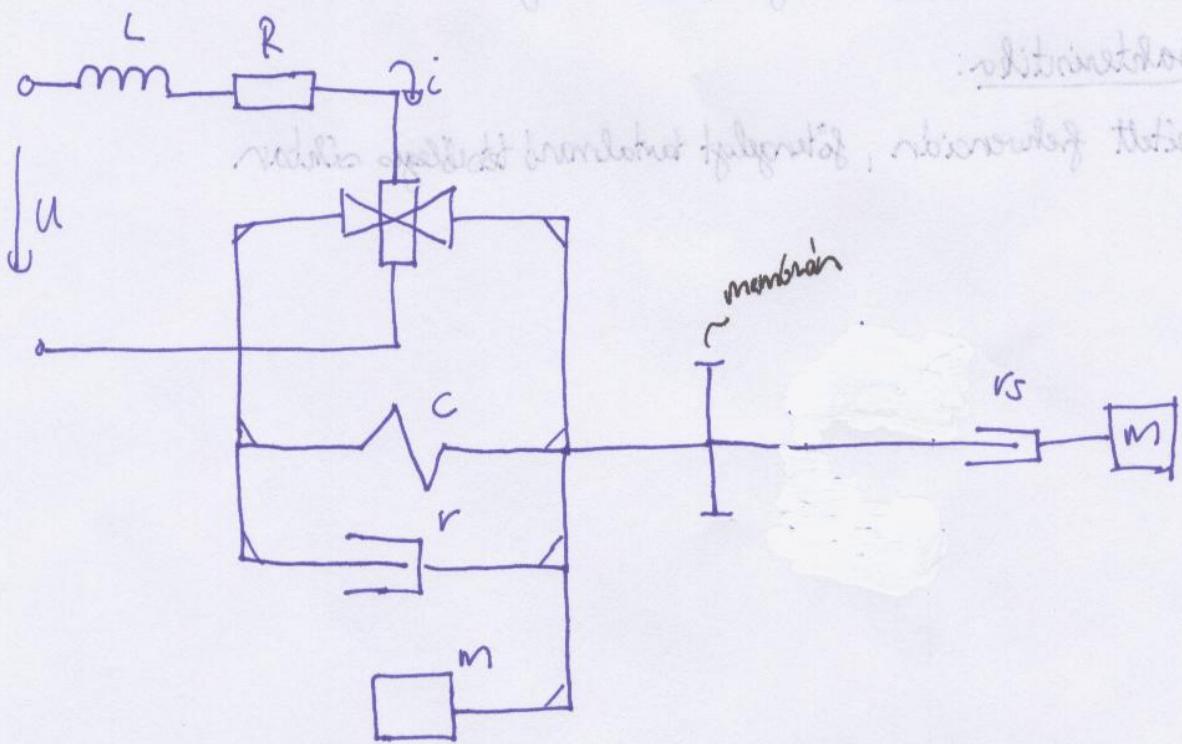
$$Z_e = \frac{T^2}{Z_m}$$

rugó  $\leftrightarrow$  kondenzátor  
tömeg  $\leftrightarrow$  terhelés



#13

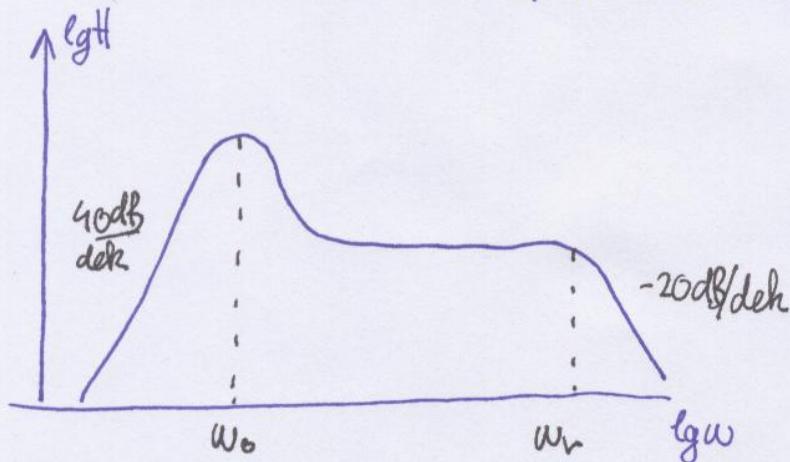
### DINAMIKUS HANGSZÓRÓ



A villamos elemeket áttranszformálom a mechanikai oldalra.

Majd ennek fölrajzolom a villamos helyettesítő képet.

A modellt szílen his és nagyfrekvencián vizsgálva, fölírhats az önteteli függvény és fölrajzolható az amplitudó karakterisztika



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{c(m+ms)}}$$

teljes egységi rezgő tömeg

Ej #

Érőhelyszig: ~~ZINNAKA~~

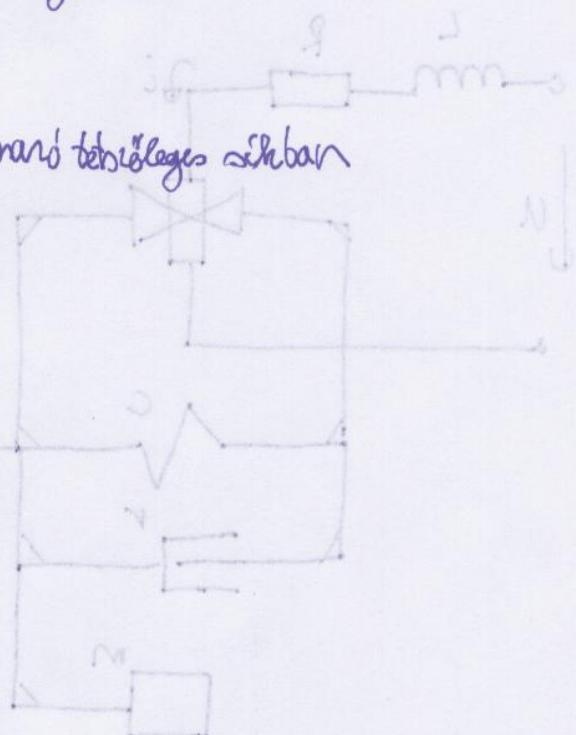
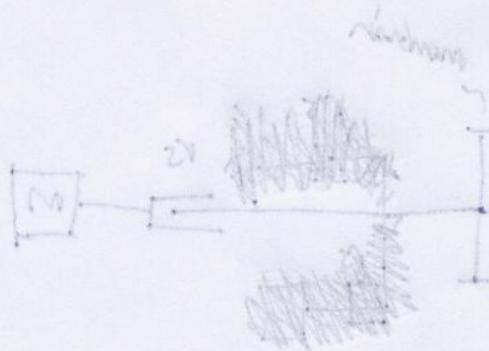
Sötengelyben 1m távolságban mért hangnyomás értéke mely 1kV  
határhoz rugásmódik le.

Frekvenciámenet:

Sötengelyben, állandó feszültségen, 1m távolságban

Hang karakteristika:

rögzített frekvencián, sötengelyt tartalmazó térfüleges zsinórban

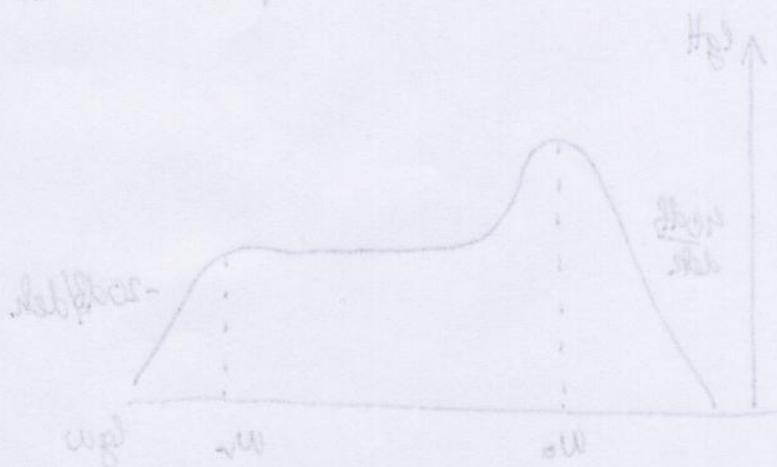


valószínűségekben a rezonanciahoz közelítően a  
fesz. összetevői közülök a rezonancia fesz. hosszú

ideális esetekben, valójában részaráányai és az adott részben A  
szinten körülbelül 10%-os kihagyását a rezonancia fesz. gyorsaság

$$\frac{1}{(m+n)} = 0.01$$

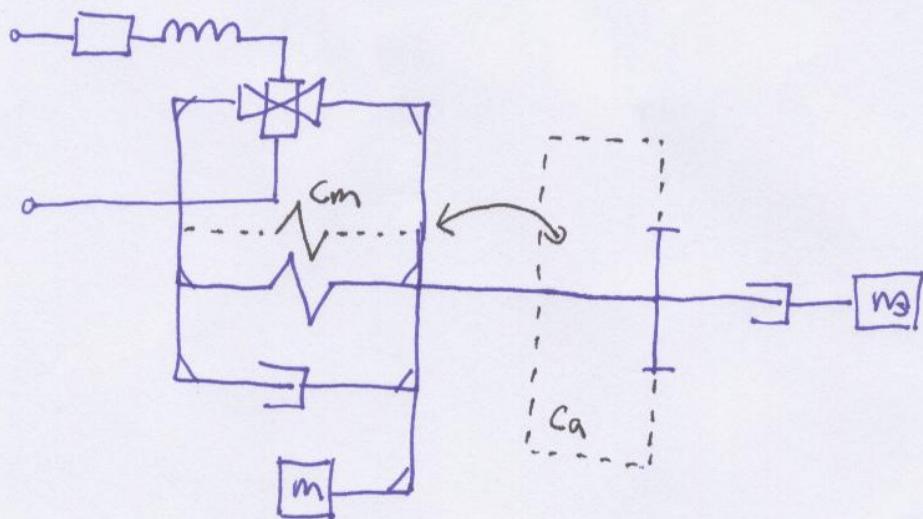
gyakorlati számításoknál



## ZÁRT DOBOZOS HANGSZÓRÓ

#14

A hangszörítő dobzba vagy falba tessziuk, hogy megakadályozzák az akusztikai rövidhár hullámlakását, de enélkül egy + Ca kapacitást viszünk a rendszerbe.

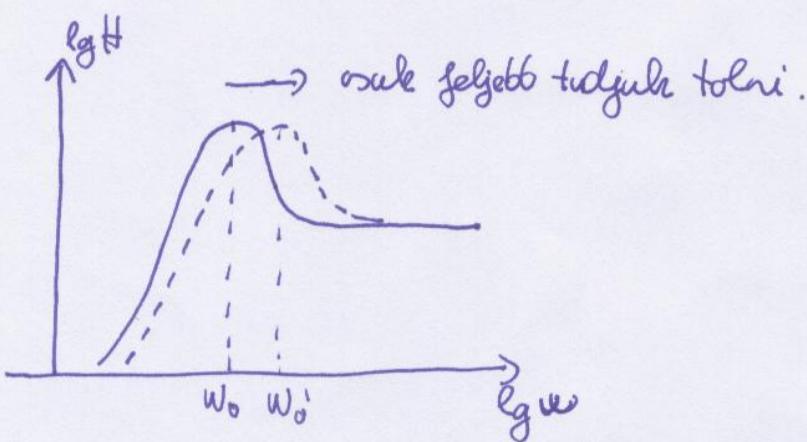


A rezonancia frekvenciájának képe:  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(Cxcm)(m+ms)}}$

Seljebb tolódik, beszükül a szín.

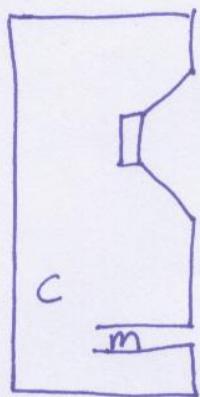
$$V_{doboz} = \frac{V_{as}}{n^2 - 1} \quad n = \frac{f_{húvadt}}{f_s}$$

$$\omega_0' = \omega_0 \cdot n$$

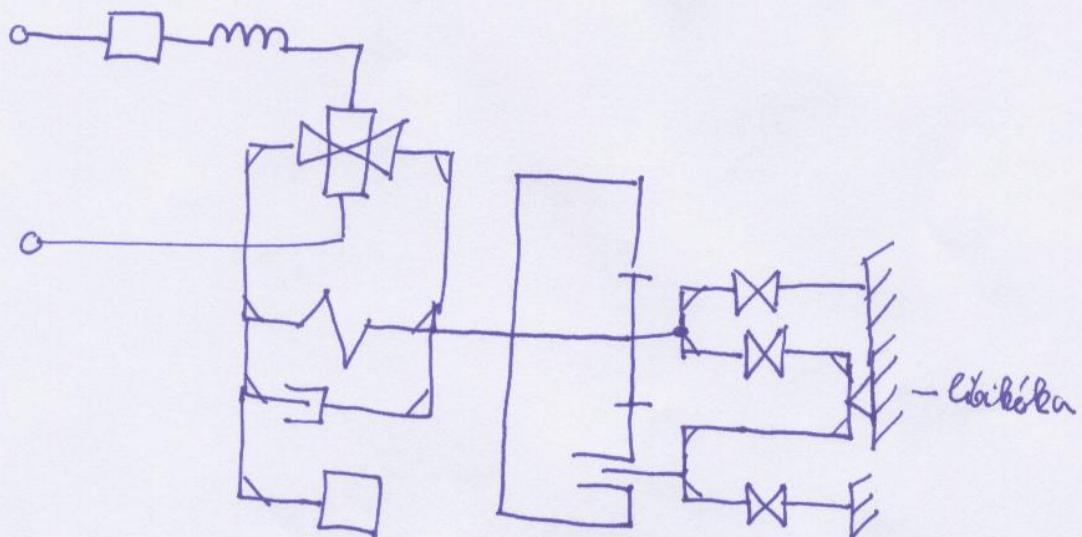


## MÉLYREFLEX DOBOZ

#15



egy új rezgőkört viszünk a rendszerbe



ön és hölsönös impedanciák

Az új akustikai tömeg (reflexnyílás) kapcsolt rezgőkört alkot a már meglévővel.

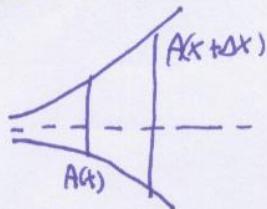
Az általánosan így működik



## TÖLCSÉRES + NYOMÓKAMRAIS

#16

Töltésérés



erőhet fölmi Newton II. -ból. Nyomára öthetni

Webster feje töltéséregyenlet

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + m \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

exponenciálisan lassú  
töltésű felbőlve  
 $A(t) = A_0 \cdot e^{mx}$

ahol  $m$  a tölgulás mértéke  
(meredeksége)

azt összegyűjtendő annak

$$p(x,t) = \hat{p} e^{-\frac{m}{2}x} e^{-jk\sqrt{1-\left(\frac{m}{2a}\right)^2}} e^{j\omega t}$$

megváltozik a hullámorám a töltésénben, hisebb lesz erőttel megnő a hullámhoz, megnyúlik a hullám a töltésénben.

$$-\frac{m}{2} - jk\sqrt{1-\left(\frac{\omega_h}{\omega}\right)^2}$$

ha  $\omega > \omega_h$  haladó hullám

ha  $\omega < \omega_h$  exponenciálisan csillapodó hullám

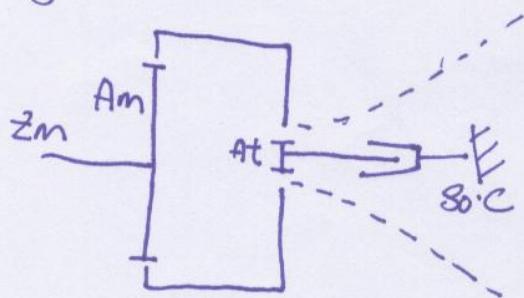
Cut-on frekvencia: amitől van haladó hullám a töltésénben  
Mehkora az impedancia a töltésirányában?  $\approx S_o \cdot C$

Tanulásig: töltéssel javítani tudjuk a sugárzási impedanciát

$m$  megadja a tölgulás mértékét (meredekséget) és erőttel a cut-on frekvenciát. Ha hamar fájl cut-on magas lesz.

Milyen hosszú legyen? Legalább 2-3  $\lambda$  legyen a töltési hossz

Nyomókamrais

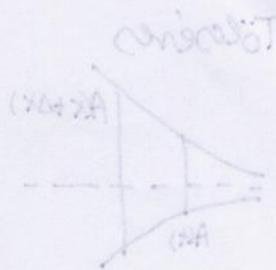
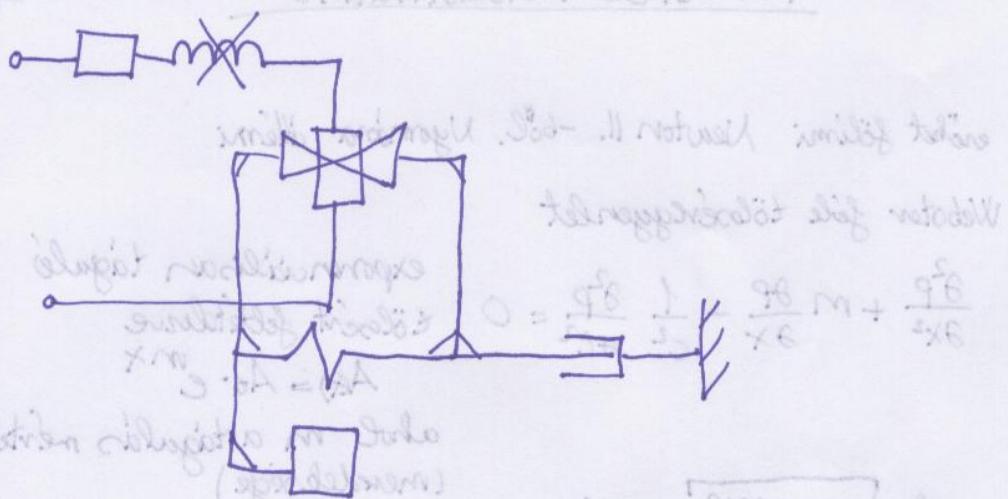


Milyen terhelést lát a meghajtó?  
az üreg kapacitását és a töltés  
állandó részétet

$$\frac{S_o \cdot C}{A_t} \times \frac{1}{j\omega C_a} \approx \frac{S_o \cdot C}{A_t}$$

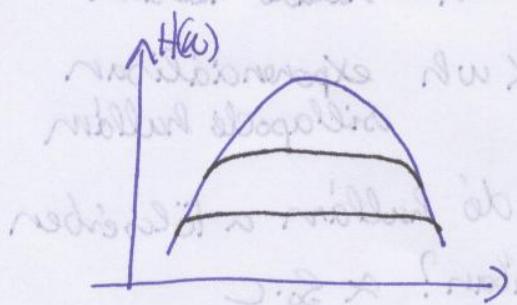
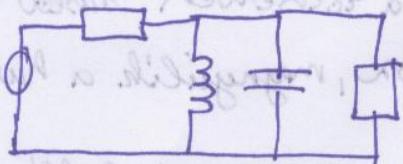
$$Z_{mech} = \frac{A_m^2}{A_t^2} S_o \cdot C = \frac{A_m^2}{A_t^2} \cdot v_{smech}$$

# Törzsfeszültség + zártvonalak



## villamos hengereltípus

sűrűsített előtérrel tűz  
birtoktani de nagy (20-30%)  
hastányokkal

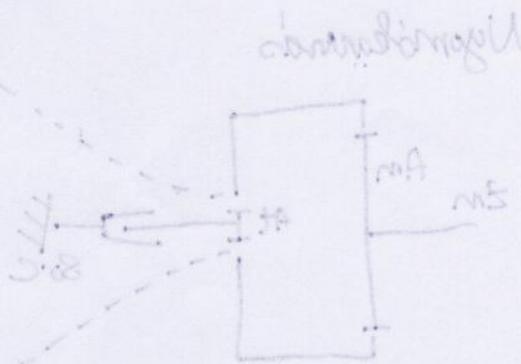


ha csillapítom egyszer szükséges a tartály  
a saját akkumulátorral

Fürdőszoba hengereltípus a hengerelt működését: feszültséget  
a hengerelt (fogaskereket) hengerelt hengeret a szigetelésen  
soha nem használhatunk. Fürdőszoba hengerelt  
szigetelésben meggyőző E-L általapított napellenes működés

Fürdőszoba a hengerelt működés  
szigetelésben a hengerelt hengeret a szigetelésen  
szigetelésben hengerelt hengeret

$$\frac{2 \cdot 0.8}{3A} > \frac{1}{2\pi f} \times \frac{2 \cdot 0.8}{3A}$$



$$Amperes \cdot \frac{m^2}{3A} = 2 \cdot 0.8 \cdot \frac{m^2}{3A} = Amperes$$

## TEREM AKUSTIKA

#17

Pontfona szebad térben

$$P^2 \approx S_0 \cdot C \frac{P_a}{4\pi r^2}$$

A hangnyomás 6dB-val csökken a távolság négyzetével

Ha a pontfonást, fel, negyed térből terem akkor egy  $D_{(H)}$  indutivitású is bejön a héjba

félter  $D_{(H)} = 2$

nagyobb térről  $D_{(H)} = 4$

$$P^2 \approx S_0 \cdot C \frac{D_{(H)} P_a}{4\pi r^2}$$

szabottban  $D_{(H)} = 8$

szabad térből  $D_{(H)} = 1$

Zárt térből, falak, reflexiók. A beérő energia eggyel többet elnyelődik, eggyel több visszaverődik.

$$E_{vissza} = E_{be} \cdot r \quad r = \text{reflexiói ténylező}$$

$$E_{elnyelt} = (1-r) E_{be} = \alpha E_{be} \quad \alpha = \text{elnyelési ténylező}$$

Az elnyelési ténylező indufüggő  $\Rightarrow$  átlagos elnyelési ténylező  $\bar{\alpha}$   
diffúz térről elnyelési ténylező

Diffúz térről = egyenletes a hangnyomás eloszlása

$$A_S = A \cdot \bar{\alpha} \quad \text{elnyelési szám}$$

$$\text{ulőréngéssi idő} \quad T_{60} = 0,161 \cdot \frac{V}{\sum \alpha_i A_i} \quad \begin{array}{ll} \text{szak} & \text{diffúz térből} \\ \text{szak} & \alpha < 0,3 \quad \text{esetén igaz} \end{array}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{C \cdot V}{C \cdot A_S}$$

Diffúz térről kialakulásához feltétellel  $\frac{3 \cdot L}{C} < T$

ahol  $L$  a terem egy jellemző  
mérete

# LEKSEN AUFZÄHLIK

Pontiforme zentrischen

$$P^2 = S_0 \cdot C \cdot P_m \left( \frac{D\Theta}{4\pi r^2} + \frac{1}{R_{ec}} \right) \quad \text{mit } R_{ec} \text{ durch Durchmesser}$$

$$R_{ec} = \frac{\pi A}{1-\epsilon} / \text{Room-constant} / \quad \text{mit } A \text{ Fläche}$$

Welle muss nicht koppeln, liefert Trennung von H  
Schnell & niedrig & langsam & hoch

$$S = \Theta A \text{ Wirkung}$$

$$\frac{\text{mt } \Theta}{4\pi r^2} \propto \epsilon \propto \frac{1}{r^2}$$

$$P = \Theta A \text{ mit koppeln}$$

$$S = \Theta A \text{ reaktion}$$

$$N = \Theta A \text{ nicht koppeln}$$

reinige Welle reagiert nicht. Blockiert, durchdringt, reagiert nicht  
Reaktionen sind groß, blockieren

Reaktionen nicht  $\propto \epsilon$   $\propto \epsilon^2 = \propto \Theta^2$

Reaktionen nicht  $\propto \epsilon$   $\propto \epsilon^2 = \Theta^2 (1-\epsilon) = \Theta^2 \epsilon$

$\rightarrow$  Reaktionen nicht  $\Leftrightarrow$  Reaktionen  $\rightarrow$  Reaktionen nicht sichtbar

Reaktionen blockiert  $\rightarrow$  Reaktionen nicht sichtbar

$$\text{Wirkungswinkel } \pi \cdot A = \pi A$$

$$\text{Reaktionen nicht sichtbar } \rightarrow \frac{V}{A \cdot \pi} \cdot N_A \cdot P = c \cdot T \quad \text{für Reaktionen}$$

$$\frac{V \cdot P}{2 \cdot A \cdot c} = \frac{P}{c}$$

$\rightarrow$   $\frac{P}{c}$  Reaktionen nicht sichtbar

Formelle Wirkung  $\propto$  Reaktionen