

Keramická piezoelektrika

Ing. Jindřich Flisál } np. Techn. Skladu Křivá
Ing. Jiří Čermák }
Ing. Dobroslav Černohlavský }
Ing. Oto Štefan } Vyb. úst. elektrotechnické keramiky v Kř. K.

Přímý piezoelect. jev : def. monokryst. $\rightarrow$ elekt. náboj na ich ploche (1880 Curie[†])

Neprímý $\rightarrow$ $\rightarrow$

Monokryst. : krumalín, křemín (stále parametre)

Polykryst. : titanicitan barietový

nikonicitan titanicitanov olomaleho : $Pb(Zr,Ti)O_3$ }
michaly.

[Magnetr. ferity $\uparrow$ C. tepl. (550°C) než polykryst. piezoelect. ; $\downarrow$ imp. náboje $\Rightarrow$ proud.
studie a trans. bez prevod. kof. ; kadenie do rezon. s bond. ; $\approx 0,5$ MHz]

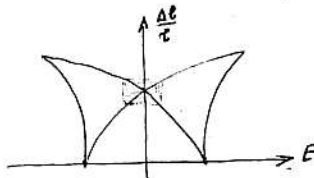
Piezoelectr. faza do Cur. teploty. (pri prech. anomálie rôzn. fyz. vlast., μ : nepojist' $\epsilon = \epsilon(T)$)

Polarizácia $\rightarrow$ el. struk. def. $\rightarrow$ zmeny kryšt. štruktúry.

11 asymetr. tried kryštálov (struk. nemá štedr. symetrie), z toho 20 piezoelectr.

triedy $\rightarrow$ domény (dipóly) Polarizácia v elekt. poli (súvisí s def. telca).

Hyperbena krivka polykryst. dielektrika :



Depolarizácia : $\rightarrow$ zmena parametrov. ($\leftarrow$ teplota, tlak, stávanie)

Dopr. : napr. prac. a sklad. teplota $\varphi_{max} \leq 0,5$ C.T.

gradient el. pols : < 5000 / mm.

medie mechan. nap. (pripravenie, ...) - náklad neli.

$\uparrow$ stability (stávanie) čistočnou depolarizáciou.

L : Převítkar, V. a kol. : Piezoelektrika a její technické použití, Mlad. ČSAV, Praha 1960.

Haik, K. : Piezoelektrische Keramik, German Nachrichten (40)

Mason, W.P. : Physical Acoustics, Vol. 4, Part A, 1964.

Burgel, C.M. a kol. : Piezoelectric - Wandler, Walter, Hamburg, 1968.

1. Polykryst. pel. mat-y, výroba.

$BaTiO_3$ $\sim$ možnosť substitúcie kov. elementov.

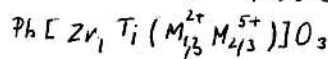
Štruktúry, potlačenie redukcie, zjemnenie štruktúry $\leftarrow$ prídanie Al_2O_3 , CaO , ZnO , MgF_2 ...

Príklady : $NaNbO_3 \sim$ pov. časť subst. Na^+ (Cd). (subst. aj redukčinnými) } $\sim$ náklad.

Metaniobáty $\sim PbNb_2O_6$ ($C_T \sim +570^\circ C$)...

Tuže reťazky titanicitan - nikonicitan olomaleho $Pb(Zr,Ti)O_3$, substitúcie, prídavné prvky, plni.

Príkladne sústavy perovskitovej štruktúry : $Pb[Zr, Ti(M_{1/2}^{+5} M_{1/2}^{3+})]O_3$ $\Rightarrow$ zm. vlastností.

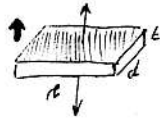


Príkl. kmitky tyčky : $f_i = \frac{i}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho S_{ii}^E}}$ / $i = 1, 2, 3, \dots$ = $\frac{i \cdot N_i}{\tau}$ / $N_i \sim$ prechovná hustota.

Rad. kmitky tenkej štrukt. dosky : $f_i = \frac{x_i}{\pi d} \sqrt{\frac{1}{\rho S_{ii}(1-G^2)}}$ / $x_i = 1,05; 5,39; 8,57 \dots$ korene fr. rovnice (pre $G \approx 0,3$).

$$N_{Ri} = \frac{x_i}{\pi} \sqrt{\frac{1}{\rho S_{ii}(1-G^2)}}$$

Kružkové pozdl. šemát. : (pozdl. týčky ~ 100 kHz → 15 MHz, prakt. 4 MHz)



- prstenc. y upnutí (př. ↑ km.)

$$\frac{p}{r_h} = \frac{h}{2t} \sqrt{\frac{c_{33}}{s}} \frac{2}{s} X_{ij} \quad | \quad h = 1, 3, 5, \dots$$

$$c_{33} = c_{33} / (1 - k_e^2) \quad \text{efektivní elastická konstanta.}$$

$$c_{33} = \frac{s_{11} + s_{12}}{s_{33}(s_{11} + s_{12}) - 2s_{13}^2} \quad | \quad X_{ij} - \text{kovenné rovnice: } \lg X = \frac{X}{k_e^2}$$

Kružkové šikmé šemát. : (2 ÷ 15 MHz)

$$\beta = \frac{K}{t} \sqrt{\frac{1}{s_{33}}}$$

K - korekční faktor [konstante rozměry]

- určování energie pod elektrodou (⇒ nesávislé rezonátory na jedné desce)
Potlačení jiných řádů a typů šemátov.

$$\text{Vzájemná vlna: } (f_a^2 - f^2)(f_h^2 - f^2) = f_a^2 f_h^2 K_v^2 \quad | \quad K_v - \text{vzájemný koeficient.}$$

$$\text{Prstenc. gen. vrp. napětí: } E = g_{33} \cdot \frac{F}{S}$$

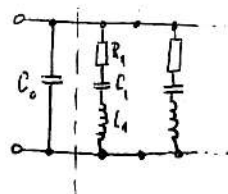
F ~ síla

S ~ průřez prstenc.

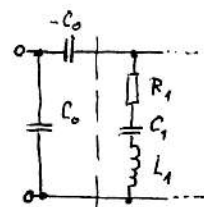
E ~ napětí (elektr.)

Elektr. máh. obvod řet. rezonátov.:

vlně typy šemátov:



prstenc. upnutí šemát.:



stat. kapacita výbrusu C₀

$$= C_0(E, t, S, \text{elektr.})$$

rezonantní odpor R₀

~ mechanická izolace (Dampedelektřin)

R_h

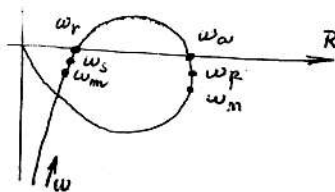
~ ... šaty při přeměně energie

Impedancie máh. obvodu:

$$Z_h = R_h + j\omega L_h + \frac{1}{j\omega C_h}$$

$$\text{res. fr.: } \omega = \frac{1}{\sqrt{L_h C_h}}$$

X A



ω_m

~ minim. abs. hodnot. impedancie

ω_r

~ rezonantní

ω_s

~ antiz. fr.

ω_m

~ max. abs. hodnot. impedancie

ω_s

~ sériová rez. fr. (0 reaktancie)

ω_p

~ parale. rez. fr.

$$\omega_p = \sqrt{\frac{C_h + C_0}{L_h C_h C_0}} = \omega_r \sqrt{1 + \frac{C_h}{C_0}}$$

účinn. el. vlny, k :

$$1/k^2 = a f_r^2 / (f_a^2 - f_r^2) + b$$

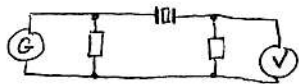
účinn. akosi

$$Q = \frac{\omega L_h}{R_h}$$

(např. v křemenných rez.)

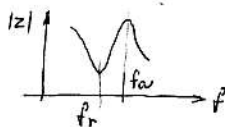
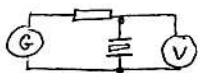
Určovanie parametrov náhr. obvodov, materiálových konštánt:

Rez. fr.:

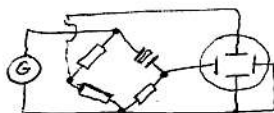


$$R_T < |Z_{rez}|$$

antirez. fr.:



farová metóda:



~ pri rez. fr. - priamka na osc.

Činiteľ el. mech. vĺstvy - pre radiálne kmity: $k_r \approx \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\Delta f}{f_r}}$ / $\Delta f = f_a - f_r$

- poskl. kmity lyžy: (lyžka polariz. v smere hĺbkoty)

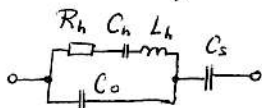
$$\frac{k_{31}^2}{1 - k_{31}^2} = \frac{\pi}{2} \frac{f_a}{f_r} \lg \left(\frac{\pi}{2} \frac{\Delta f}{f_r} \right)$$

- krútkové kmity: (rez. fr. poskl. kmitov - polar. v smere dĺžky)

$$k_{33}^2 = \frac{\pi}{2} \frac{f_r}{f_a} \lg \left(\frac{\pi}{2} \frac{\Delta f}{f_r} \right)$$

- krútkové strižné kmity: $k_{15}^2 = 1 - \frac{\epsilon_{11}^S}{\epsilon_{11}^T} \sim \text{mich. vlnový výtlak}$

Zmena rezon. fr. -ie rezonátoru pri ser. kapacite C_s :



$$C_h = \frac{2\Delta\omega_1}{\omega_r} \cdot \frac{C_{s1} - C_{s2}}{1 - \frac{\Delta\omega_1}{\Delta\omega_2}}$$

~ dynam. kapacita

$L_h \sim 12$ Thomsonovho svorca ~ dynam. indukčnosť

Pisocl. rezon. - ako ultrazv. merič:

Mechanická impedancia (pre jednotku plochy):

$$Z_{\text{mech.}} = r + j\omega m + \frac{1}{j\omega d}$$

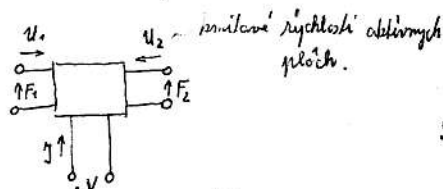
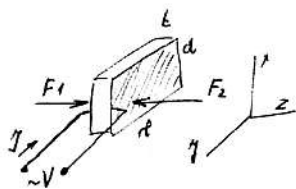
r - mechanický odpor

(výpočtový odpor + vnút. trenie - j. platy)

m - akustická hmotnosť

d - ekvivalentná poddajnosť

Náhr. obvod desky s upnutými bočnými plochami - limitujúce krútkové poskl. kmitmi.



$$\text{Statika' kapacita: } C_0 = \frac{\epsilon d}{\beta_{33}^S} \quad \left| \beta_{33}^S - \text{dielektr. impervneabilita} \right.$$

$$\text{Rýchl. súv. hĺbk. vlnenia: } V_t^D = \left(\frac{C_{33}^E}{1 - k_t^2} \right)^{1/2}$$

$C_{33}^E \sim \text{elast. modul}$

$k_t \sim \text{činiteľ el. mech. vĺstvy, pre hĺbk. kmity}$

Impedancia: $Z_0 = \rho c d V_t^D$

$$\text{Prevod koef. } N = C_0 h_{33} = \frac{\epsilon d}{t} \left[\frac{k_t^2}{1 - k_t^2} \cdot \frac{C_{33}^E}{\beta_{33}^S} \right]^{1/2}$$

Vl. čísel: $\eta = P_{ak.} / P_{el.}$

$S_{\lambda\mu}$ - tenzor elastických konstant. (číselné hodnoty: poměr deformace k elast. napětí)

λ 1, 2, 3 směr def- ϵ , 4, 5, 6 rovina stříhu
 μ 1, 2, 3 směr elast. nap. 4, 5, 6 rov. elast. nap.

$$S_{\lambda\mu} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{11} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{13} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11}-S_{12}) \end{bmatrix}$$

ϵ_{ij} - tenzor permittivity $\beta_{ij} = \frac{1}{\epsilon_{ij}}$ [čís. hodm.: poměr elektr. posun. k intenz. el. pol. $\vec{E}$]
 i 1-3 směr el. pos. j 1-3 sm. el. pol.

$$\epsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{33} \end{bmatrix}$$

$d_{i\alpha}$ - tenzor piezoelektr. konstant.

[č. h. : poměr el. pos. k p.č. elast. nap. - E -konst.]
 ["V" pom. def- ϵ k p.č. intenz. elektr. pol. $\vec{E}$]
 i 1-3 směr el. pol.

piezoelektr. p.č. : α 1-3 směr vyvol. def- ϵ
 4-6 rovina stříhu

piezoelektr. p.č. : α směr (rov.) p.č. elast. napětí

$$[d_{i\alpha}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & 0 & d_{31} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[d_{i\lambda}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{13} \\ 0 & 0 & d_{13} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & d_{15} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ transponov. matice.}$$

$g_{i\alpha}$ - tenz. piezoelektr. konstant. [poměr vyvol. intenzity elektr. pol. k p.č. elast. napětí]
 [poměr vyvol. def- ϵ k p.č. elektrickému posunu]

$$g_{32} = g_{31} = \frac{d_{31}}{\epsilon_{33}}$$

$$g_{33} = \frac{d_{33}}{\epsilon_{33}}$$

$$g_{15} = \frac{d_{15}}{\epsilon_{11}}$$

$$\text{ost.} = 0$$

Čísel. el. vel. vzhledy "k".

$$k^2 = \frac{W_1}{W_2} \sim \text{schopn. přeměny} \\ \sim \text{celk. přijat. energ.}$$

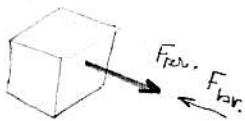
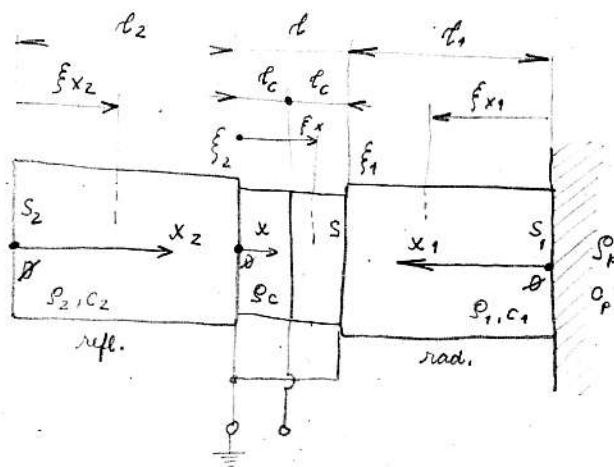
$$k_{i\alpha}^2 = \frac{d_{i\alpha}^2}{S_{\lambda\mu}^E \epsilon_{ij}^T}$$

i - 1-3 směr přived. en- ϵ

α 1-6 směr (rov.) p.č. energie [el. "V" mech.]

Kmiločtová konstanta

$$N_i = f_h \cdot \epsilon_i \quad [\text{kHz} \cdot \text{mm}]$$



$$m_1 a = -C \cdot x$$

úvčet.: $y'' + k^2 y = 0$ / $y = A \cos kx + B \sin kx$ / $\varphi: 2\pi = x:l \Rightarrow \varphi = \frac{2\pi x}{l}$
 $\rightarrow k = \frac{2\pi}{l}$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Pozumatie: $y = A \cos \frac{2\pi}{\lambda} x + B \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$ / $x \sim \text{polohar}$

Relat. predĺženie: $\epsilon = \frac{dy}{dx}$;

$\left. \begin{matrix} x_1 = 0 \\ x_2 = 0 \end{matrix} \right\} - \text{uvet. "povrch"} \Rightarrow \text{sily (N } x_1=0, x_2=0) = 0$ } $\left. \begin{matrix} \frac{dy}{dx} (x_i=0) = 0 \\ G = E \cdot \epsilon \end{matrix} \right\}$

$\left. \begin{matrix} \frac{dy_1}{dx_1} (x_1=0) = A \cdot \left(-\sin \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \frac{2\pi}{\lambda} + B \left(\cos \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \frac{2\pi}{\lambda} = A \cdot 0 + B \cdot 1 = 0 \Rightarrow B_1 = 0 \\ \frac{dy_2}{dx_2} (x_2=0) = 0 \Rightarrow B_2 = 0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow$

$$y_1 = A_1 \cos \frac{2\pi}{\lambda} x_1$$

$$y_2 = A_2 \cos \frac{2\pi}{\lambda} x_2$$

$$y = A \cos \frac{2\pi}{\lambda} x + B \sin \frac{2\pi}{\lambda} x$$

def = def. $\Rightarrow y_2(x_2=l_2) = y_1(x_1=0)$

$$A_2 \cos k_2 l_2 = A \cdot 1$$

$$y(x=l) = -y_1(x_1=l_1)$$

$$A \cos kl + B \sin kl = -A_1 \cos k_1 l_1$$

Boundary condition:

$$F(x_2 = l_2) = F(x = 0)$$

$$F = S \cdot G = S \cdot E E$$

$$S_2 E_2 \frac{dy_2}{dx_2}(x_2 = l_2) = S_1 E \frac{dy}{dx}(x = 0)$$

$$\frac{S_2 E_2}{S E} = \frac{\frac{d}{dx}(A \cos kx + B \sin kx)(x=0)}{\frac{d}{dx}(A_2 \cos k_2 x_2)(x_2 = l_2)} = \frac{[Ak(-\sin kx) + Bk \cos kx](x=0)}{A_2 k_2 (-\sin k_2 x_2)(x_2 = l_2)}$$

$$\frac{S_2 E_2}{S E} = \frac{-Bk}{A_2 k_2 \sin k_2 l_2}$$

$$S_2 E_2 k_1 A \sin k_1 l_1 + S E B \cos k_1 l_1 = 0$$

Boundary condition:

$$F(x = 0) = -F(x_1 = l_1)$$

$$S E \frac{dy}{dx}(x=0) = + S_1 E_1 \frac{dy_1}{dx_1}(x_1 = l_1)$$

$$\frac{S E}{S_1 E_1} = + \frac{\frac{d}{dx_1}(A_1 \cos k_1 x_1)(x_1 = l_1)}{\frac{d}{dx}(A \cos kx + B \sin kx)(x=0)} = - \frac{k A_1 (-\sin k_1 x_1)(x_1 = l_1)}{(Ak(-\sin kx) + Bk \cos kx)(x=0)}$$

$$\frac{S E}{S_1 E_1} = - \frac{-k_1 A_1 \sin k_1 l_1}{-Ak \sin kl + Bk \cos kl} = \frac{A_1 k_1 \sin k_1 l_1}{Bk \cos kl - Ak \sin kl}$$

$$A_1 \cos k_1 l_1 = A_1 \cos kl + B_1 \sin kl$$

$$S E k (-A \sin kl + B \cos kl) \cos k_1 l_1 = S_1 E_1 k_1 [A_1 \cos kl + B_1 \sin kl] \sin k_1 l_1$$

$$A = A_2 \cos k_2 l_2$$

$$+ A_1 \cos k_1 l_1 = A \cos kl + B \sin kl$$

$$- S E B k = S_2 E_2 A_2 k_2 \sin k_2 l_2$$

$$S E (B k \cos kl - A k \sin kl) = S_1 E_1 A_1 k_1 \sin k_1 l_1$$

$$A, B, A_1, A_2$$

$$A + 0 + 0 - A_2 \cos k_2 l_2 = 0$$

$$A \cos kl + B \sin kl + A_1 \cos k_1 l_1 + 0 = 0$$

$$0 - B S E k + 0 - A_2 S_2 E_2 k_2 \sin k_2 l_2 = 0$$

$$- A S E k \sin kl + B S E k \cos kl - A_1 S_1 E_1 k_1 \sin k_1 l_1 + 0 = 0$$

$$A S_2 E_2 k_2 \sin k_2 l_2 + B S E k \cos k_2 l_2 = 0$$

$$A [-S E k \sin kl \cos k_1 l_1 - S_1 E_1 k_1 \cos kl \sin k_1 l_1] + B [S E k \cos kl \cos k_1 l_1 - S_1 E_1 k_1 \sin kl \sin k_1 l_1] = 0$$

hlavní determinant předch. soustavy:

$$\begin{vmatrix} A & B \\ S_2 E_2 k_2 \sin k_2 l_2 & SEK \cos k_2 l_2 \\ (-SEK \sin k l \cos k_1 l_1 - S_1 E_1 k_1 \cos k l \sin k_1 l_1) & (SEK \cos k l \cos k_1 l_1 - S_1 E_1 k_1 \sin k l \sin k_1 l_1) \end{vmatrix} = 0$$

$$S_2 E_2 k_2 SEK \sin k_2 l_2 \cos k l \cos k_1 l_1 - S_2 E_2 k_2 S_1 E_1 k_1 \sin k_2 l_2 \sin k l \sin k_1 l_1 + SEK SEK \cos k_1 l_1 \sin k l \cos k_1 l_1 + SEK S_1 E_1 k_1 \cos k_2 l_2 \cos k l \sin k_1 l_1 = 0 \quad \left/ \frac{1}{(SEK)^2} \right.$$

$$\text{ozn: } a = \frac{S_2 E_2 k_2}{SEK} = \frac{S_2}{S} \cdot \frac{\rho_2 c_2^2}{\rho c^2} \cdot \frac{\frac{2\pi f l_2}{c_2}}{\frac{2\pi f}{c}} \quad \left. \vphantom{\frac{S_2}{S}} \right\} a = \frac{S_2}{S} \cdot \frac{\rho_2}{\rho} \cdot \frac{c_2}{c} = \frac{S_2}{S} \cdot \frac{W_2}{W_1}$$

$f = f_2$

Náhl. rovnice složeného meniča:

$$a \cos k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \cos k l + b \sin k_1 l_1 \cos k_2 l_2 \cos k l + \cos k_1 l_1 \cdot \cos k_2 l_2 \sin k l - a b \sin k_1 l_1 \sin k_2 l_2 \cdot \sin k l = 0$$

Při daných a, b pro $\frac{l}{\lambda}$ je možno vyřeš. l_1, l_2 .

Nisk - v intenzitě 11% polář.

$$G_i = \frac{(y_1)_{x_1=0}^2}{(y_2)_{x_2=0}^2} = \frac{(A_1 \cos k_1 x_1)^2_{x_1=0}}{(A_2 \cos k_2 x_2)^2_{x_2=0}} = \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

$$G_i = 4 \left[\frac{\cos \cos_1}{b \cos_2} - \frac{\sin \sin_1}{\cos_2} - \frac{\cos \sin_1}{a \sin_2} - \frac{\cos_1 \sin}{ab \sin_2} \right]^{-2} \quad \text{podle rovnice, odvození}$$

$$G_i = \left\{ [-\cos_1 \cos_1 + b \sin \sin_1]^2 + \frac{1}{a^2} [\sin_1 \cos_1 + b \cos \sin_1]^2 \right\}^{-1}$$

Průtoky mol. PKM 30: $\phi = 38$ $\rho_c = 5,8 \text{ mm}$ $\rho = 7,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ $E = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ $S = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$c = 4 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ $d_{33} = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/V}$ ~ piezoelect. koef. při hřívání, kmitání

$k_{33} = 0,7$ čísel. el. mech. vlnový

$\epsilon_g = 5 \cdot 10^{-3}$ sklovitý čísel. při 20°C a 1 kHz

$\bar{\rho}_{p_1} = 5 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$

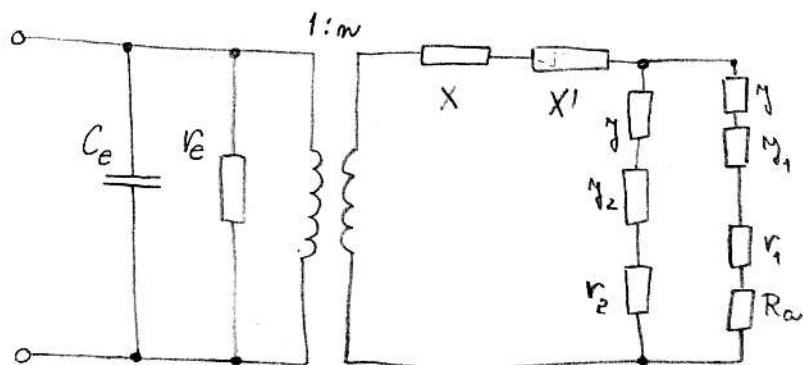
$E \approx 1,1 \cdot 10^3 / 20^\circ\text{C}, 1 \text{ kHz}$

Kritická amplitúda prúdu $T_{e \max} < 4 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ / $20 \div 50 \text{ kHz}$

Intenzita: $(I_w)_{\max} = \frac{1}{2} G_c \left[\frac{(T_e)_{\max}}{S \cdot c} \right]^2 \cdot \rho_p \cdot c_p \quad [\text{W/m}^2]$

$(\rho_p \cdot c_p)_{\text{H}_2\text{O}} = 1,48 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$

Materiál sandviča: oceľ - keramika - dural.
↑ radiátor.



$C_e = \frac{\epsilon}{4\pi} \cdot \frac{S}{t}$ kapacita meniča s jedným keramickým diskom

$C_e = 2 \cdot \frac{\epsilon}{4\pi} \cdot \frac{S}{t_c} \sim$ pre menič s 2 keram. diskami.

$r_e = \frac{1}{\omega C_e \lg \delta} \sim$ elektr. stratorý odpor kapacity

$n = d_{33} E \frac{S}{t} \sim$ transformačný činiteľ

$X = \frac{W S}{\sin k l} \quad X' = \frac{n^2}{\omega C_e}$

$y = W S \lg \frac{k l}{2}$

$y_1 = \frac{W_1 S_1 \lg k_1 l_1}{1 + \left(\frac{W_p}{W_1} \right)^2 \lg^2 k_1 l_1}$

$y_2 = W_2 S_2 \lg k_2 l_2$

reaktívne zložky

$R_a = \frac{W_p S_1}{\cos^2 k_1 l_1 + \left(\frac{W_p}{W_1} \right)^2 \sin^2 k_1 l_1} \sim$ absol. odpor prostredia / $W_p = \rho_p \cdot c_p$

Straty v radiátore: $P_1 = 2\pi \epsilon_1 E^2 S_1 \int_0^{l_1} \left[\frac{d}{dx_1} \left(y_1 \frac{\cos k_1 x_1}{\cos k_1 l_1} \right) \right]^2 dx_1 = \frac{\epsilon_1 W_1 S_1}{2} \omega^2 y_1^2 k_1 l_1 \left(\frac{1}{\cos^2 k_1 l_1} - \frac{\lg k_1 l_1}{k_1 l_1} \right)$

Straty v reflektore: $P_2 = 2\pi \epsilon_2 E^2 S_2 \int_0^{l_2} \left[\frac{d}{dx_2} \left(y_2 \frac{\cos k_2 x_2}{\cos k_2 l_2} \right) \right]^2 dx_2 = \frac{\epsilon_2 W_2 S_2}{2} \omega^2 y_2^2 k_2 l_2 \left(\frac{1}{\cos^2 k_2 l_2} - \frac{\lg k_2 l_2}{k_2 l_2} \right)$

Účty v keramice:

$$P = 2\pi e E f S \int_0^l \left[\frac{d}{dx} \left(-\eta_1 \frac{\sin kx}{\sin kl} + \eta_2 \frac{\sin[k(l-x)]}{\sin kl} \right) \right]^2 dx = \dots =$$

$$= \frac{\epsilon N S}{2} \left[\dot{\xi}_1^2 kl \left(\frac{1}{\sin^2 kl} + \frac{\cot^2 kl}{kl} \right) + \dot{\xi}_2^2 kl \left(\frac{1}{\sin^2 kl} + \frac{\cot^2 kl}{kl} \right) + 2 \dot{\xi}_1 \dot{\xi}_2 \frac{1}{\sin kl} (1 + kl \cot^2 kl) \right]$$

$\dot{\xi} = \omega \xi \sim$ šmirné rychlosti polepov přerocčadi.

$e \sim$ bezormerné stratoné koeficienty.

Šlatový odpor: $r = \frac{P}{\dot{\xi}^2}$;

$$\begin{cases} 2 \cdot 10^{-3} - \text{ker} \\ 4 \cdot 10^{-4} - \text{kov} \end{cases}$$

Mechanická impedancia:

$$Z_M = \frac{r_2(r_1 + R_0) - \eta(\eta_1 + \eta_2 + \eta) - \eta_1 \eta_2 + j[(R_0 + r_1)(\eta_1 + \eta_2) + r_2(\eta_1 + \eta_2)]}{R_0 + r_1 + r_2 + j[2\eta + \eta_1 + \eta_2]} - jX + jX' + r_{12}$$

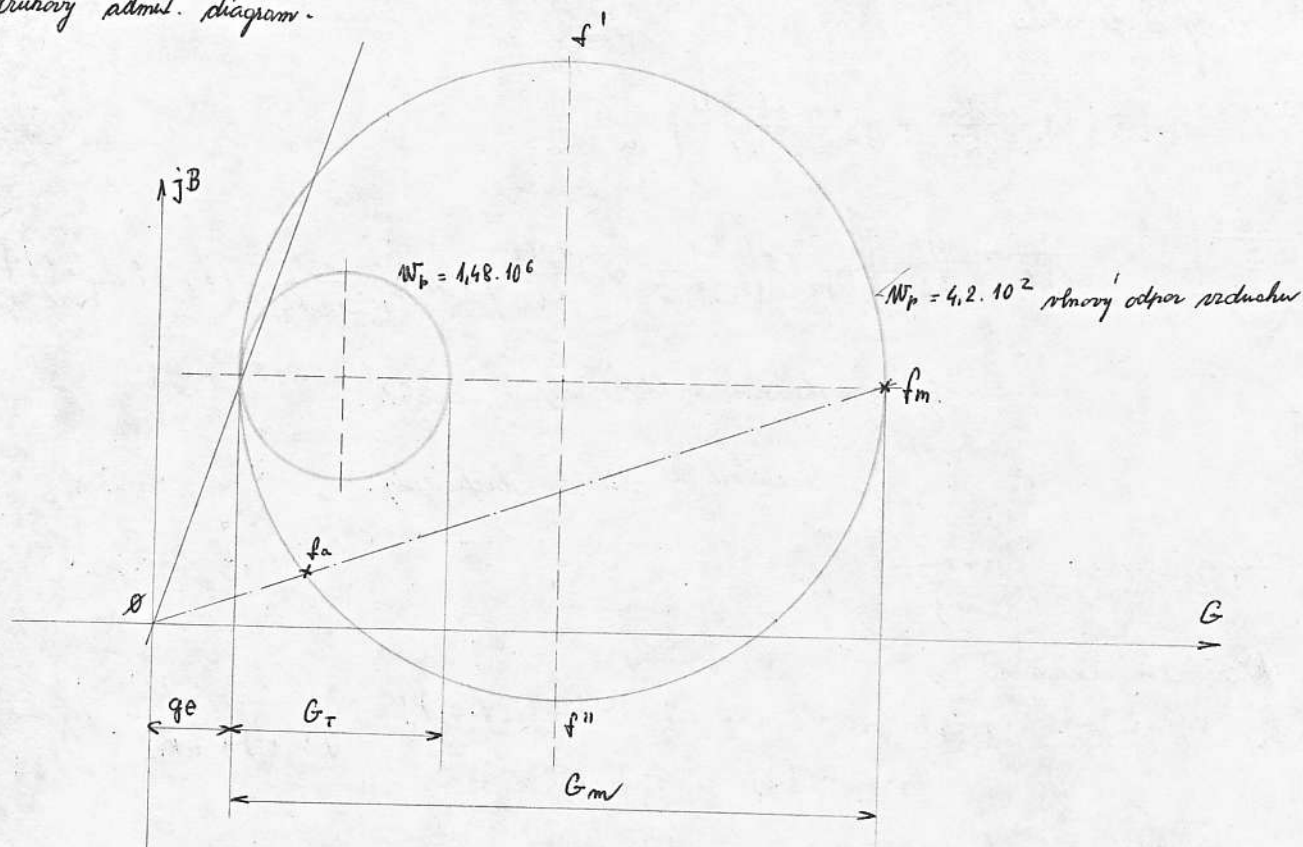
Elektr. admittance (po přelamf. na vstup.)

$$\eta = \frac{m^2}{Z_M} + j\omega C_e + g_e$$

Akustická účinnost: $\eta_r = \frac{P_a}{P_e} = \eta_{\text{elmech}} \cdot \eta_{\text{mechakud.}}$

	ang. menš.		p. menš.	
signal	↓	↑	↓	↑
g_e	$1,5 \cdot 10^{-5} \text{ S}$	$1,55 \cdot 10^{-5} \text{ S}$	$5,14 \cdot 10^{-6}$	$5,14 \cdot 10^{-6}$
G_m	$17,87 \cdot 10^{-3} \text{ S}$	$2,36 \cdot 10^{-3} \text{ S}$	$2,846 \cdot 10^{-3}$	$1,197 \cdot 10^{-3}$
Q_e	72,8	80,5	44,6	77,9
Q_m	694	190	412	168
k^2	0,102	0,099	0,238	0,178
m	5158	1524	4322	2329
$\eta_{\text{em.}}$	0,9999	0,9993	0,9997	0,99

Kružový admit. diagram.



el. mech. vstřevý čísel: $k^2 = 1 - \left(\frac{f_m}{f_a} \right)^2 \sim \min 0,055$

číslo mech. kvality: $Q_m = \frac{f_m}{f'' - f'} \sim \min 1100$

číslo el. kvality: $Q_e = \frac{\omega_m C_e}{g_e} = \frac{2\pi f_m C_e}{g_e} \rightarrow G_e = \frac{1}{Z_{max}} ; f_m = f_{min}$

vstřevý převodový čísel: $n = k^2 Q_m Q_e \sim \min 5000$

kalibrovací čísel: $p = \frac{G_m}{G_T} - 1$

el. mech. účinnost: $\eta_{em} = \frac{n}{n+p+1}$

mech. akust. úč.: $\eta_{ma} = \frac{p}{p+1}$

vstřev. účinnost: $\eta_r = \frac{n}{n+p+1} \cdot \frac{p}{p+1}$

opt. kalib. čísel: $p_p = \sqrt{n+1} \rightarrow (\eta_r)_{max} = \eta_p = \frac{p_p - 1}{p_p + 1} \sim \min 97$

rozdílnost: $G_{Tp} = \frac{G_m}{p_p + 1}$

$p > p_p \sim$ přetřetí menší.

Ohraničenie max. priemeru : pre $\sigma = 0,29$ (Poissonova konst.) $\frac{D}{\lambda/4} \leq 1$ / $c \approx c_k$

(Piezoelectric ceramics - Philips application book edited by J. van Banderlaal, June 1968)

$c \sim$ rýchlosť šírenia prídutnej vlny v nekonečnom prostredí.

$c_k \sim$ (v kryšt. - ohranič. prídut.)

$\rightarrow$ pre 20 kHz : výpar. do ležutiny : $D = \left(2 \div 2,4 / \frac{\lambda_p}{4} \right) \sim$ nepriepust. menič.

$D \geq 2 \frac{\lambda_p}{4} \sim$ id. priepust. menič.

$\lambda_p \sim$ vln. dĺžka v médiu, do kt. výpar. radiátor meniča.

Pre rodu : $c_p = 1,48 \cdot 10^3 \text{ m/s}$; $f \approx 20 \text{ kHz}$

$$\lambda_p = \frac{c_p}{f} = 7,4 \text{ cm} \quad D \geq 2 \cdot \frac{7,4}{4} = 3,7 \text{ cm}$$

Prímer valcového plochého meniča pre podm. nálež. a 20 kHz = 3,7 ÷ 6,25 cm.

ϕD (PKM-30) = 38

$$\text{dĺžka horových častí : } l_i = \frac{\lambda_i}{2\pi} \arctg \left(\frac{q_i}{\lg \frac{2\pi l_i}{\lambda}} \right) \quad / \quad q_i = \frac{P_c S}{P_i c_i S_i}$$

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

Pre radiátor : dural : $P_1 = 2,79 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$c_1 = 5,13 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

reflektor : oceľ : $P_2 = 7,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$c_2 = 5,25 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$S_2 = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow q_1 = 1,74 \quad q_2 = 0,605$$

$$l_1 = 6 \text{ cm}$$

$$l_2 = 5,3 \text{ cm}$$

Keram : uloží. v valcovom priereze , $G_1 = 2,8$ $G_2 = 0,4$

$$P_c S = 7,6 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 1,13 \cdot 10^{-3} = 3,435 \cdot 10^4 \text{ kg/s}$$

[Dĺžka zahran. reflektorov hradiť.]

Meranie pri malých výkonnostiach :

priamoukazujúci impedančný mer. H.P. 4800 A. (USA)

[abs. hodn. a fázor impedancie]

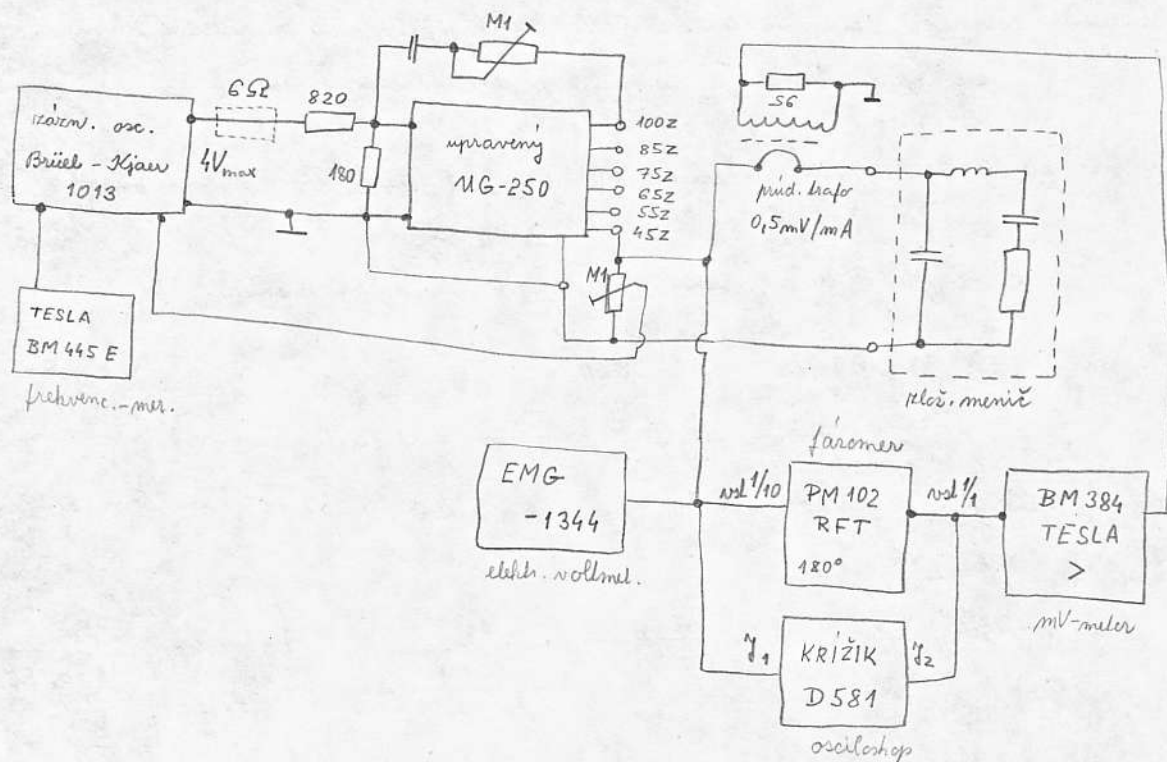
Doplňky : číslicový merac. frekvencie : TESLA BM 445 E.

mátrada preladiteľného oscilátora : Bruel-Kjaer 1013 (↑stab., zemn. ladenie).

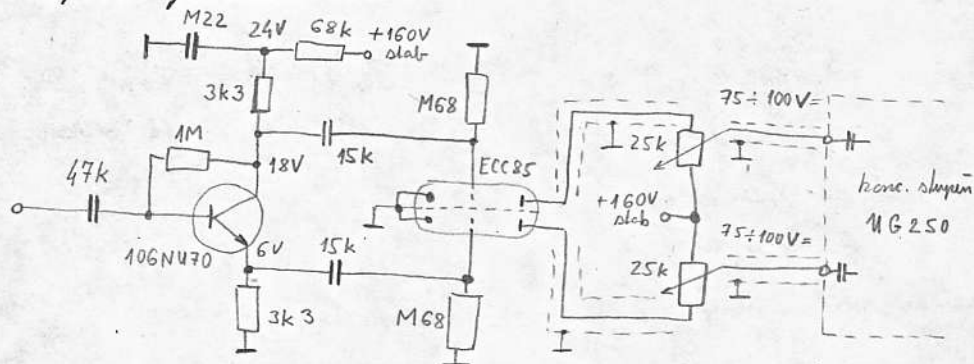
[Prívody a menič káblov.]

Meranie pri veľkých signáloch.

- prevádzkavanie prúdu a napätia meranej admittance meniča.

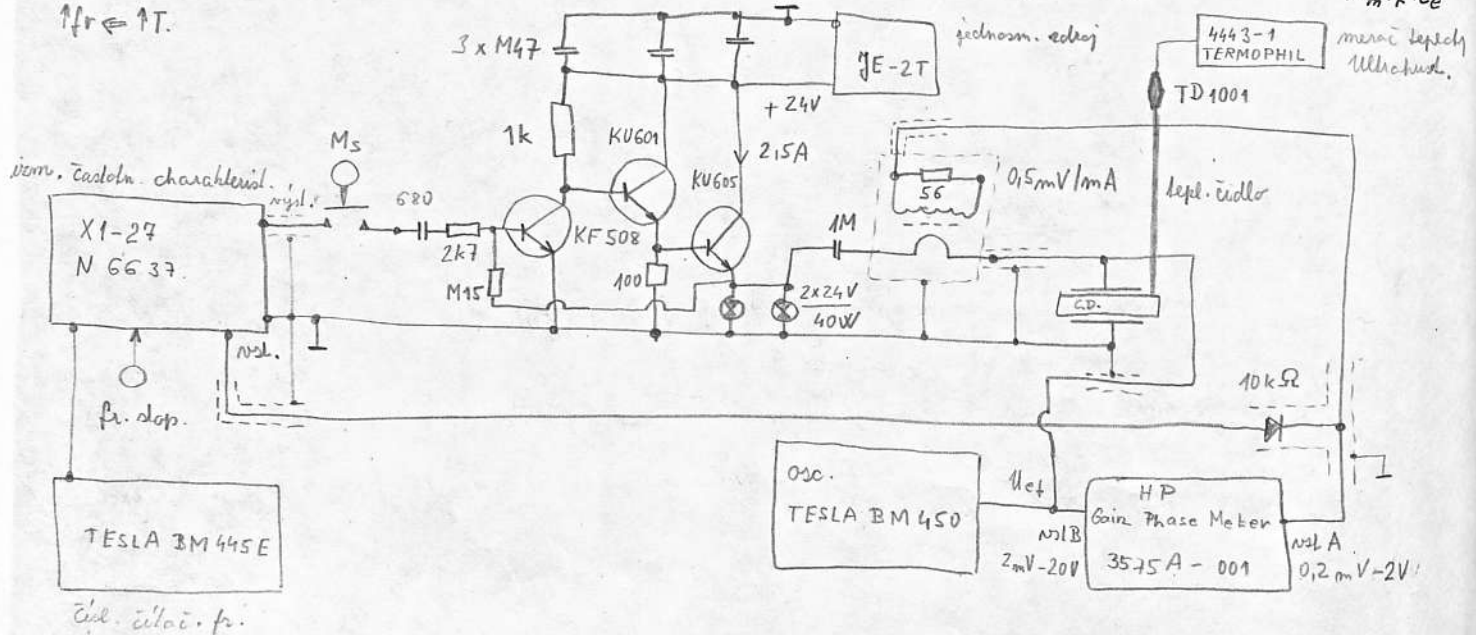


- úprava generátoru UG-250:



Účinnosť vodivosti $G = g_e + G_m$ (pri f_e , keď f_{ei} prev. medzi g_e a m_{ep} = 0) $Q_m = \frac{G_m}{\omega_m \cdot k^2 \cdot C_e}$

$f_e \ll f_T$



Seřivá kompenzácia: $L_s = \frac{1}{(2\pi f_a)^2 C_e}$; $\uparrow$ zm. imp. adrcja } $\rightarrow$ menič pracuje na antires. fr.

Paral. komp. : $L_p = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C_e}$; $\uparrow$ zm. adm. adrcja. } $\Rightarrow$ — res. fr.

Mechanické transformátory amplitúdy - koncentrátor.

Literatura (ss. 265)

- Piezoelectric ceramics - Philips application book edited by J. van Randerdaal, June 1968.
- Galperina - K konstrukciomomu rasčetu pchelných piezokeramických prebravoketj. Trudy VNIITVC, vypuš. 7, 1966
- Carlos Rana Guerra - Contribucion a la teoria de la radiacion ultrasonora de transductores sandwich; Nuevo metodo de calculo, Madrid, Mayo de 1972.
- Kirst, Černoklávek, Dufan, Čermák : Keramické piezokeramické - vlastnosti a techn. použití, Praha 1970.
- D. Jagedžinskij - The radiation efficiency of ultrasonic transducers. Archivum akustiki 7, 2, 151-167 1972.
- T. Tomašovic - Ultrazvukový piezoelektrický menič, dipl. práce. SVST Bratř. 1973.
- Čičonpa schindoški (osc. ultrazv. stn.) Ľiremný projekt fy. Nippon, Tohoku Togyō, Nagoya / NTK New Ceramics / č 166-1, apr. 1972.
- Galperina, Angelov - Vybor režima raboty pchelnogo piezokeramického prebravoketela technologicického primenenija. Trudy VNIITVC, vypuš. 11, 1970.
- Travěner - Využitie piezokeramických materiálov v UZ čistiacech zariadeniach. VŠ. 595, VUNA, 1972.
- D. Berbincont - Variation of piezoelectric constants of polycrystalline lead titanate zirconate With thoroughness of poling. Jap., vol 36, March 1964.
- Fukas - Výchum tranzistorového generátora pre napájanie kmitovej sústavy s hladným člankom do výchumu 650W. ss. 262. VUNA, 1973.

Výskum a vývoj nových ultrazvukových magnetostrieknych meničov
pre vyšarovanie do švrapalín.

- 1970 -

Magnetostriekni meniče: väčšia robustnosť, variabilita, schopnosť spracovať ťažké.

Časová časť: ochrana akt. časti, (kavit., chem. pús., tepl.), prispôbienie na prostredie,
na nálož, ...

Magn. efekt. - joule 1847 ; ex. aj pr. aťm. magn. efekt.
Výsk. na lineárna magn.

$$\Delta l = -l \cdot \frac{\alpha}{E} \cdot B$$

Δl - predĺženie

l - dĺžka tyče

α - magn. konst. [N/WeB]

E - modul pr. oť. [N/m²]

B - magn. indukcia [T]

Ni; permendur
permaloy, alfer.

[Exam. dť. jadra sa nemení pri zmene smeru magnet. pol.].

Magn. efekt; materiály:

- 2, A.V. Donohov, O.K. Keller, G.S. Khatyp. - Ultrazvukovye elektr. technologicéskie ustanovki
Leningrad, Enerzia 1968
- 3, M.A. Jendohimov: Gidraakustičeskaja apparatura
Leningrad (Kompekt prednášok) VSE, V.I. Lenin.
- 4, D.A. Gersgal, V.M. Fridman: Ultrazvukovaja apparatura
Moshva, Enerzia 1967.
- 8, M.A. Belousov, V.A. Tuzlukova: Oobimosti konstrukcii i tehnologii izgotovlenija
magnetostriekcionnych prevratorov.
Dť. prednášok: Isloženija ultrazvukovoj energii, Moshva 1960.
- 12, Frettha Z.: Materiály pro výhonové magnetostriekni meniče.
V.S. 23/1968 VUK Banenahí Brěřany.
- 18, Travněcov L.: Patentová revěř: Magnetostriekni meniče (1960 ÷ 1970) TEI VUMA 1970.

Teória, technika:

- 1, I.I. Teumin: Ultrazvukovye kolebalelnye sistemy. Moshva, Mašgiz, 1959
- 2, 3, 4,
- 5, A.V. Hamor - Vihovskij, N.P. Brijuhova: Rasčel i konstruirovanie mnych magnetostriekcionnych
prevratorov dťi tehnologicéskogo primeneniija.
Ultrazvukovaja tehnika 1968, č. 2, str. 8.
- 6, R.K. Schmit: Granitělnije tehnico - ekonomičeskie charakteristiki prevratorov velk. ustanovok.
Ultr. techn. 1968, č. 3, str. 17.
- 7, J. J. Kijazgrodskij: Ekonomičnosť ultrazvukovoj apparatury. Ultr. techn. 1963, č. 1, str. 16.
- 17, Schafft H.W.: Magnetricline transducer (jeden prahladomý magn. pás.)
Patent USA 3 339 432 TEI VUMA P-8534.

Účinnost magnet. převodů.

Elektrom. přeměna: stály ve vinutí
vzájemní proudění ($\uparrow I$) $\sim$ obm. se $\uparrow$ el. odporem, tenkými plechy,
hyperéme. ($\uparrow I$) $\sim$ obm. se zvýšením mat.-u.

[Při def. průřezu mění se magn. indukce $\Rightarrow$ další ztr. proudy.
Kromě magn. toku v doménách $\Rightarrow$ místné série mikroproudů]

Magn.-mech. přeměna: stály při mech. deformaci. [Úmrt. kmitů, nepřímý, zpětný, ...]

Elektromech. účinnost: $\eta_{ea} = \eta_{em} \eta_{m.e} = \frac{\sum \text{mech. energy}}{\sum \text{tot. elect. en.}} \cdot \frac{\sum \text{výkon. výkon}}{\sum \text{mech. energy}} \sim 40 \div 50\% / 20 \text{ kHz}$

$\eta_{ea} \approx 60 \div 70\%$ - pro feritové.

Koeficient efektivity (pro měniče s malým kmitočtem):

$$\epsilon = \frac{A^2 S}{P}$$

$A \sim$ amplit. kmitů měniče [A]

$S \sim$ průř. výřez. plochy [cm²] - plechy

$P \sim \sum$ el. výkon odb. a gener.

Podle št. 7: $\eta_{ee} = \frac{b}{1+b+(b+1)^2 \cdot K K_e K_m}$

$$\epsilon = \frac{N}{(1+K K_e K_m) S c l_g \gamma_m}$$

$b \sim$ poměr vnitřního odporu zářiče k vn. mech. odporu měniče

$P_e \sim$ vn. odp. mat.-u měniče

K_e - koef. char. el. vl.-i měniče; pro magn. = $\frac{l_g \gamma_e}{\mu}$

$l_g \gamma_e \sim$ long. $\&$ magn. stráž mat.-u.

$\mu \sim$ magn. permeab. mat.-u

$K_m \sim$ koef. char. mech. vl.-i mat.-u měniče; = $\frac{l_g \gamma_m}{a^2}$

$l_g \gamma_m \sim$ long. $\&$ mech. stráž mat.-u.

$a \sim$ dynam. magn. konst. = $\frac{\Delta F}{\Delta B} \sim$ magn. síla

$K \sim$ koef. úmernosti; pro magn. měniče: = 0.4, 5

$l \sim$ délka měniče

$N \sim$ koef. rozložení elud. systému spj. s měničem.

Magnet. materiály:

$\Rightarrow$

	číslo příslušenství $E = \frac{dL}{c}$ pri H ₀	technická data $H_0 \left[\frac{A}{Wb} \right]$	typ materiálu μ	modul pružnosti $E \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	elastická deformace $k_v [\%]$	specif. hm. $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	specif. odpor $R_s \left[\Omega m \right]$	cenová pásma $\left[Kč/kg \right]$	Curieho tepl.	
Ni Křemík	$-26 \cdot 10^{-6}$	1200	41	$20 \cdot 10^{10}$	31	$8,7 \cdot 10^3$	$70 \cdot 10^{-7}$	164,20	nízká	dobrá technická korozivod.
Permalloy PY50 45% Ni 55% Fe	$14 \cdot 10^{-6}$	600	230	$13,8 \cdot 10^{10}$	12,4	$8,25 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^{-7}$	93,20		0,1 mm tepelné cívky - spřávkov. !!
Alfer 13% Al 87% Fe	$26 \cdot 10^{-6}$	800	190	$15 \cdot 10^{10}$	22	$6,7 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^{-7}$	-		
Permendur CV49 49% Co 49% Fe 2% H V	$65 \cdot 10^{-6}$ dlouhá rozl. 95.10 ⁶ 10g	Permendur	50	$26 \cdot 10^{10}$	23	$8,05 \cdot 10^3$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	7770	980°C	koroduje, ↑ předmagnet. křehké 0,2 mm pro laminaci menší společně s 1:10 ÷ 1:15
Mikelnový špič.	$-20 \cdot 10^{-6}$	Permendur	27	$12 \cdot 10^{10}$	17	$4,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	-		↓ el. obch. → ↑ el. obch. ↓ izol. obch.

Whanee: PY 50 900°C/2h - H₂ - 50°C/h → 750°C - obr. pec. i 1/4^h vydrží. - chl. na vzduch. Mem 77 ÷ 78%

CV 49 750°C/2h - H₂ - chl. na vzduch.

82,5% (oxid) 89,5% (silik. lak.)

[oxidace - obr. pec. (450÷460°C 2÷2,5h) chl. opečen do 300°C ; → 60÷80°C/h.]

[křemík špič. spřávk. Ag 45 hr-0,4 i poj. pasta Super AS. - 760÷780°C. - vydrží. 30-35 min.]
[Ag 50dr - 670÷690°C]

Monstr. sčítanie:

- výter magnet. mat. ✓
- forma, rozmer plechov
- tepelné sprac.
- spojov. meniča s výřaz. systémom
- izolácia plechov ✓
- prispôb. meniča na pracov.
- vinutie ✓
- chladenie ✓

PMS-6M

N_{mem}	— 2,5 kW
f_r	— 19 kHz
U_m	— 400V
$I_{predmery}$	— 20A
S	— 300 x 300
Q_{chl}	— 3l/min
η	— 50%

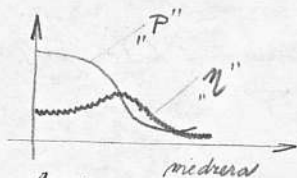
Teplotné riadiče

s rovnomernou rozlož. polom, vyřaz. chybov. korig. membrány.

optimalizované rameny plechov sväzok $\rightarrow 1\eta$ (lit. 5).Teplotné riadiče s laminovanými meničmi.možnosť priamo prispôbiť riadič dvaplatej rätáci $\rightarrow$ max. el. akust. η .

- Lit.: 16, 17a. Westinghouse E.C.: Improvements in or relating to Electrical Transducer Apparatus.
(Výřazenia vzťahujúce sa na riadič s elektromechanickým meničom.)
Patent VB 922,562 TEI VUMA P-5294.

- 15, E.B. Wright: A Spaced Lamination Transducer For Industrial Use.
(Menič pre priemyslové použitie s oddelenými plechmi)
Laboratory Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania
International Convention Record. roč. 11. 1960, č. 6. str. 232-242.

Vložou medzi medzi plechmi - možnosť nastaviť max. účinnosť ($\approx$ pod. úč. meniča).

l - plechy.

 1η , $\downarrow$ el. straty, prirodz. chladenie.opt.-meda: 0,1 1mm
0,2 1,9mm (lit. 15.)Opt. vlastnosti laminovaných meničov v obl. rezonancie sú príd. fr. závislé $\Rightarrow$ možnosť vyřadzušenia napáj. generátorov.Metodika skúšok

13. Gaiparin G.: Výřekum a výřpoj metod a príd. strojov pre meranie elektrických a akustických veličín ultrazvukových meničov.
VS 430 1969 VUMA.

Výřhodnocovanie meničov: - metoda merania príd. plochy príd. príd. meničov v rät. na príd.

Lit.: 3, 13, 9. A. N. Galperina, B. V. Monachinson: O metodike výřiputania magnetostatických preobrazovateľov.

Uřkarmuková technika 1963 č. 1 str. 23.

- meranie kruhovřých řmped. diagramov (pre príd. príd. rovřn. kavitáciu).

Lit. 13, 14. J. Parkins: Analysis of transducers. Ultrasonics Reprint, Mullard Ltd.
XII. 1962. Publ. TEI VUMA č. T. 1825 UTEIN č. 0234892.

Spisob homitania membran: - rid: vizualne pom. priesku.

Typový rad žiarivcov.

- voda pri $p_{\text{atm}} < 1,5 \text{ Wab/cm}^2$

Exponent.		$D \leq \lambda/2$	$K_A = 1$	K_T^2	$\propto \frac{r_m}{r_z}$
Katenoid.		"	1	-	0,6 ÷ 0,9
Konický.		"	1	-	1 - 2,5
Gušňový.		"	1	-	< 1
Prstový.		"	1	-	< 3,25
melad. membr. s oh. kmitm.		bez obmedz.	~0,5	1	$\sim \frac{1}{4} \frac{S_z}{S_m}$
Lad. membr. s oh. kmitm.		bez obm.	0,7	1	$\frac{1}{2} \frac{S_z}{S_m}$
Laminovaný m.		bez obm.	1	1	$\frac{S_z}{S_m}$

$$L = (0,1 \div 0,5) \frac{r_z}{r_m} \cdot \frac{S_z}{S_m}$$

$$L = \frac{r_z}{r_m} \cdot \frac{S_z}{S_m}$$

	Čelná pl. m-a				Merný príb. m-a			Cena m-a	Ka/Wak	Cena mal-u m-a	Podiel mal-u v cene m-a
	Počet m-a	Plocha m-a	W	W/cm²	Wak	Wak/cm²	Kos				
Prírob. sendr.	5	33	50	1,5	0,5	162	0,54	2000	12,35	1150	57%
ferit. π	24	8	10,4	1,3	6,5	162	0,54	1500	9,25	1450	96
Lamin. s odd. plechmi	3	30	83,5	2,8	5,5	137	0,56	300	2,20	140	47
Kvadr. 40x40	2	16	125	7,8	4,2	105	0,35	400	3,8	240	60

Príkon p.: 250W

Plocha výř. 300cm²

Merný príkon: 0,835W/cm²

Fer. m-a π 60Kos

1kp PY 50 96Kos

1prac. h. 50Kos

1kp. plech. (lep. sp.) 50Kos.

	mal. m-a				mal. m-a		Cena m-a	mal. m-a	1Wak
	kp	Kos	W	W/cm²	kp	Kos			
PMS 38	8	9	500	55,5	9,8	6000	6500	92%	3,25
lam. m-a	8	200	1000	5	14	1350	1850	73	0,92

Príkon: 4kW

Pl.: 226x535 ~ 1210cm²

ηca ~ 50%

Pl. m-a. príkon ~ 3,3W/cm²

Pl. m-a. ch. výř. ~ 1,65Wak/cm²

1kp PY 50... 96Kos

1kp CV 608Kos

Vetkoplošné riadiče s ohyb. kmitmi membrány

$$\text{Res. fr. : } f = \frac{\pi h (m - \frac{1}{2})^2}{2b^2} \sqrt{\frac{E}{12 \rho (1 - \nu^2)}}$$

2. L.D. Rozenberg: *Fyzika i tekhnika mŕnogo ũlŕaznuka*, tom. III.

Typičeskie osnovy ũlŕaznukovoj tekhnologii

Moskva, Nauka 1970.

6. A.V. Gomer-Vil'kinskij: *Pročel i konstruirovanie mŕnyx magnitukcionnyx*
M.P. Birjuhova *pristrojstv dlia tekhnologičeskogo primeneniya.*
Ŭlŕaznukovaja Tekhnika 1968. č. 1. str. 8.

ρ - hustota met.-u desky

h - hrúbka desky

E - mod. pr. v ũhu

ν - Poissonova konštant

b - dĺžka druzky desky

m - počet uzlových priamok.

↓

$$b = (m - \frac{1}{2}) \sqrt{\frac{\pi h}{2f}} \sqrt{\frac{E}{12 \rho (1 - \nu^2)}} \quad K_1 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ pre } 17242$$

$$h = \frac{2b^2 f}{(m - \frac{1}{2})^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{E}{12 \rho (1 - \nu^2)}}}$$

Meniče sa namiestni. v Amplitnách na "X".

$$\text{Ak } \frac{A(\text{hrej meniča})}{A(\text{stud meniča})} \geq \frac{9}{10} \quad \rightarrow \quad h_{\text{revätku}} \leq 0,14 \lambda \quad (\text{oh. v deske}).$$

Patent ZSSR č. 173489 v. 1965.

Vetkoplošné riadiče s laminovanými meničmi

Lepení spoj $\sim \rightarrow 3 \text{ W/cm}^2 / 125^\circ \text{C}$...

Tento kvásky plexos perm. PY50 0,1 ; 0,2 spracujú podľa skúsok až 50 W/cm^2 .

axb	η_{ea}	W	W/cm^2	chla.	med. frekv.	abst. mosh. NICKB	rozob. pro 43	rozob. pro 43	rozob. pro 43	S_z	S_m	men.	$\bar{K}_{100}$	S_z/S_m	prípady Δ	2500W 500V SSA predmagn. 15A	1 akt. nájden
18 kHz 112M11	$\geq 50\%$ 300V/2500	1600 400/	1,0/ 1,5	nzh.	PY50 0,1mm	"	"	"	"	42 (4,8)	3	38W 1men. 60W 1men.	1W/cm 155W cm ²	8	9÷10	2500W 500V SSA predmagn. 15A	510W
17,7 kHz 112M10	$\geq 50\%$ 250V/640	170V/ 400/ 600	0,7/ 1,12	nzh.	"	"	"	"	"	12 (4,8)	57,5 cm ²	333W 535W 1men.	0,7W 1,12W cm ²	10	11 10,5	640W/28A 250V (Buckmagn. 14A	2,5mm ² 7 zar. 640W: nrodo 90, 120A 140°C -11- : 60°C, ... 90°C (po 3hod.) ... 70°C ... 108°C
21 kHz 112M9	$\geq 45\%$	2500	2,84	no.	EP 207 0,2	abst. mosh. NICKB 3-04.	rozob. pro 43 pochov	rozob. pro 43 pochov	rozob. pro 43 pochov	12 men. (3,4cm)	42,8 cm ²	625W cm ²	284W cm ²	21,6	7,5	2500W 450÷500V 55A predmagn. 12A	142W/cm ²
21 kHz 112M8	$\geq 45\%$	1000 1600	2,08 3,34	no.	"	"	rozob. pro 43 pochov	rozob. pro 43 pochov	rozob. pro 43 pochov	6 men. (3,4cm)	244 cm ²	78W cm ²	334W cm ²	23,5	8	1600W: 220÷250V 7A predmagn. 12A	167W/cm ²

$$2 \times [(3 \text{ zar.} \times 2 \text{ par.})] = 12 \times 112M9.$$

RG-1

UG 10: (2 zar. x 3) par. 112M9
(2 zar. x 4) par. -1-
4 par. 112M9
6 (3 zar. x 2) par. 112M9

Lévilier ME 1 R PIR ; 60V ... 330kV/cm² ...
55kV/cm² ... 100°C.

UG 1600 :
2 x 112M10 (2 zar.)
3 x 112M10 (2 zar.)
1 x 112M11 (1200W) 1

UG 4
1 x 112M11 (2500W)
2 x 112M11 (2 zar.)
4 x 112M10 (2 zar. x 2 par.)
6 x 112M10 (3 zar. x 2 par.)

UG 10:
4 x 112M11 (2 zar.) x 2 par.
6 x 112M11 (2 zar.) x 3 par.
8 x 112M11 (2 zar.) x 4 par. 1
16 x 112M10
24 x 112M10
8, 10, 12 112M10 - 10V n.j.k. 11G

	ks	W	m ²	W _{km²}	%	W	Kč	Kč	%	Kč	Kč	Kč						
	Počet meničov	Púhon	Výpar. plocha	Merný púhon kárice	Ob. ab. účinnosť	Akust. výkon	Cena meničov	Cena kárice ~ (predp.)	podiel ceny mat-u v cene kárice	Cena ka 1W ab. výkonu.	Cena mat. meniča							
príložka, penduc	8	400	600	0,67	70	280	3200	4-500	43	14,30	1720							1 kusok. mun. — 400 Kč
II Feil	30	400	570	0,70	70	280	2600	3-3500	80	10,70	2400							1 T menič — 80 Kč
ALM 11	42	2500	1600	1,50	50	1250	4500	4-5000	46	3,20	1850	2,60						11 pr. prevodový PR 50 — 118 Kč
ALM 10	12	400	570	0,70	50	200	800	2-2500	27	10,00	530	8,30						
ALM 9	12	2500	880	2,84	50	1250	4400	8-10000	28	5,00	2220	3,30						1 pr. prevodový EP 207 — 608 Kč
ALM 8	6	1600	480	3,34	50	800	2200	4-5000	28	5,00	1110	10,40						1 pr. kárice ~ 50 Kč
									22	6,25								

ŠS 258 Výskum žiarivcov s feritovými meničmi

$\uparrow \eta_{ea} \rightarrow 1W/cm^2$; nedostatok: $\downarrow G_{PE} \rightarrow \downarrow$ prevádzkovej spoľahlivosti. [$\sim \rightarrow 2W/cm^2 \dots \eta_{ea} 60 \div 65\%$]

Ferit: lisovanie, spekanie práškového dyslivčnka (železo - kovy)

$\uparrow$ magn. vodivosť ; $\uparrow$ elektr. odpor.

Vplyv prísad (kyp. kovov): 1, E. Kikuči : Ultrazvukové preobrazovateľi.

Rušt. z angl. MIR 1972 Moskva.

4, J. A. Gofjamina : Magnetostrukcijsnyje ferity tak material
dlya elektroakustičeskich preobrazovatelej.

Akustičeskij žurnal , Tom VI. č. 3, 1960.

3, Katalog fy TDK Electronics. Co. Japonsko:

Frekv. 1. U. II

fr 15 ÷ 100 kHz

menj Cu, viac Co
VI, V2 (vibro) viac Cu, menj Co

Podľa tit. 1. $[(NiO)_{0,85 \div 0,90} (CuO)_{0,15 \div 0,10}]_{0,996 \div 0,985} [CoO]_{0,004 \div 0,015} [Fe_2O_3]_1$

[V1 - veľký koef. el. mech. vĺny, pri opt. predmagn.]
[V2 - Rep. kyp. slab. fr.-ie, $\uparrow$ mech. prevn.]

2, C.M. van der Burgt : Ferocube 7A1a 7A2

Valvo Berichte 5. č. 1 str 1-33. 1959. Interný prehľad VUMA č 356. (fy. Philips)

VUPM Ľumpert (1971-72)

5, L. Kroustny
V. Chroust

Ferit pro ultrazvukové měniče.
VUPM Ľumpert VS 793; 1972.

Koeficient el. mech. vĺny : $\frac{\text{mech. energ.}}{\text{energ. magn. pole v jadre meniča}}$
podľa tit. 1. : $K \approx 0,27$

- pri fr. $\downarrow$ od f_{res} ; kde skoky meniča
sú zanedbateľné.

Mech. pevnosť : (převodit', teplota spekania) $G_{Pd} > G_{PE}$

[$\uparrow$ mech. na tep. sprac. $\Rightarrow$ volba sklenia (pre danú mech. pevnosť)]

Teplotný koef. rez. frekv.-ie.

Za dobrú sa považ. : pod $10 \cdot 10^{-5}/^\circ C$ [$\Rightarrow$ 100Hz pri 20kHz a zmene $50^\circ C$]

6, L. D. Rozenberg : Fyzika i tehnika mošnego ul'trazvuka.

Diel 1. Istočniki mošnego ul'trazvuka. Nauka, Moskva 1967.

Menič II. 2 namer. charakt. $\Rightarrow \uparrow$ ampl. s predmagn. = prúdcom, než fr. magnetom (ale len zanedbateľné!)

fr $\sim$ Nálejšie s hr. magnetom. (Dumax 280)

$G_{PE} = (150) 300 (400) \text{ kp/cm}^2$ [tit. 1 : sk. mer. pŕík. : $10,16 W/cm^2$ - do vody s rozvin. kavit. $\Rightarrow 400 \text{ kp/cm}^2$]

Nelineárna závisl. parametrov - pri mer. s mal. a veľk. výkonomi.

$\eta_{ea} (1 \div 2 W/cm^2) \approx \rightarrow 60 \div 65\%$

Feit 422 - nestabilita fr (s teplotou).

[C_{ma} s magnetom $\approx 121,7 \text{ Ks/kv}$; pŕisčesovníka : $\phi 38 \dots 96 \text{ Ks/kv}$]

$L_{optim} = L(\eta_{em})$

ma byt' : $\alpha \approx 10 \div 15$

$= \frac{r_{zlat} \cdot S_z}{r_m \cdot S_m} \cdot K_T^2 \cdot K_A^2$

$r_z(\text{zlat}, \text{Pak} \approx 2 \div 20 W/cm^2) = (1 \div 0,6) 10^6 \text{ Nsec/m}^3$

$r_m(\text{feit}) = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Nsec/m}^3$ [pre $\uparrow$ výkony pŕisposobit']

Konštr. riaričov s ferit. meničmi:

- výber magn. mat.-u
- tvar feritu
- spôsob predmagn.
- prípoč. na kwap. prvky
- spojov. men. s uprevn. syst.
- prevedenie vinutia
- chladenie.

Param. riar.: el. príkon 630 W
membr. 182 x 316
S_ž 570 cm²
meniče 30 kus.
S_m 8 cm²
21 W/1 men.
2,62 W/cm² menič
1,12 W/cm² ž
S_ž/S_m = 2,38

Repidlo ME1 z PLR (0,1 mm)

← lim. účinnosť ohrev membr-y.

Výskum riaričov s feritovými meničmi

N.Š. 665. (Ing. Gašparík), 1973. dec.

- malá pevnosť feritov ⇒ obm. el. príkonu.

priemyselne rozpracovanie sústredené mas Ni-Cu; Ni-Cu-Co

Českosl.: výskum fer. uz. men. VUST Praha 1962-63,

výsledky zaved. do výroby: VUPM Ľumpark 1965-66:

"Uz. 2" (~ ako 7A1 Philips, ~ ferit č. 42 z Akad. ústavu Akad. vied ZSSR)

VUPM Ľumpark (1971-72): priech. mŕm.-i zlepš. vlastností magn. feritov pre uz. meniče a vývoj nového uz. meniča (varu T. s f rez ≈ 28 kHz.) (s bval. magnetom).

[- porovnateľnosť Ni-malej masy, bežnej akosti - na "Uz-2",

- čiast. náhrada NiO s CuO (zlepš. mech. vlastn.) a vplyv prís-y V₂O₅

- vývoj techn.-ie T s f rez ≈ 28 kHz, s bval. magnetom.]

[↑ P_{ak} → ↓ η_{ea} ~ opt. predmagn ≈ 20 ÷ 30 Oe; pri ↑ [Oe] lepší lineárity →
vodi sa väčš. predmagnetizácia]

[η_{ea} ≈ 1 ÷ 2 W/cm² ... ≈ 60 ÷ 65 % η_{ea}]

E = E(ampl. mech. nap.) ⇒ tem. f rez.

↑ η_{em} ⇒ ↑ opt. veľkosť L (L = koef. priprôbenia).

[Výsl. skúšob.: el. príkon až 4 W/cm² na menič ≈ až 32 W]

[briedenie - podľa rozplytu f rez ≈ do 7 ÷ 8 kVied.]

11. navrhnutý typ riadiča s feritovým meničmi:
 pri $2 \div 4 \text{ W/cm}^2$ meniča sa prijav. nelinear. $\Rightarrow S_z/S_m \approx 3 \div 5$:

630 W
 membr. 182×316
 S_z — 570 cm^2
 20 meničov
 plocha meniča 8 cm^2 } $\Rightarrow 160 \text{ cm}^2$
 31,5 W / 1 menič
 3,94 W/cm² (men.) } $S_z/S_m = 3,56$
 1,12 W/cm² (riar.) }

Namerané:
 200 W — $\eta_{ea} \approx 24\%$
 400 W — 60%
 630 W — 38%

12.) A.N. Galperina | O metodike ispitaniya magnetostrukcionnykh preobrazovatelej.
 B.V. Monarchinson | Ul'trazvukovaja tekhnika 1963, č.1, str.23.

V.L. 197: Impulsná a kont. prevádzka piezol. a piezomagn. keramických
 uz. meničov v pásme fr. $20 \div 40 \text{ kHz}$. (Ing. Travněc) 1963

Parametre báriumtitanátových meničov

		Unipiero	
		H 254	H 298C
Specif. hmotas	10^{-3} kg/m^3	5,5	5,4
Youngov modul	10^{11} N/m^2	1	1,2
Prac. tepl.	°C	-7 +100	-50 +100
Permitivita		1300	570
Objemový odpor	$10^{12} \Omega/\text{m}^3$	1	1
Vázdobný koef.		30	30
— " — radiálny.		27	26
Piezoelek. konst. ^{31}d		3	2,5
— " — ^{33}d		8	6
Tepl. tep. koef.		0,15	0,005
Kap. tep. koef.		- 0,75	+ 0,2

Lezenie — kate. lát.: Lepidla "Araldity" (epoxydy fr. CIBA Švajčiarsko) — neuvied. prúenie, ani tvrdidlo.
 Metakron (epoxy éter — NSR)
 prúenie lepidla (od silik. kaučuku) } v us. pol. sa poruší.

Lepidla.

- a, epoxý 1200 - křídlo 72 - medzír na keramiky
 b, Alkafen 6607, 6643, 6637 - keram.-kov. spojuj. po 6 h uz.
 c, Versamit (NSR) - Epoxýd 1200

1:1 Pevn. v šmyku: 120 kg/cm² - neryt. pružnost.
 1:1 95
 4:2 ? 19 - neryt. pružnost. dobrá

- d, Aminoamidová prysk. L 190 - Epoxýd 1200

2:1 79
 3:1 59
 1:1 184 - vřhov. (na fer. při 20 kHz > 100 h
 1:2 111 tai.-lit. 40 kHz > 100 h)
 1:3 20

Báryumtitanátový menič A = 49,21 Plocha S = 13,28 cm²
 B = 26,99
 C = 52,239

$$f_{rez} = \frac{K'}{d} = \frac{2100}{52,4} = 40,2 \text{ KHz}$$

d - tloušťka meniča v mm
 K' - konstanta meniča (kHz . mm)
 pro báryumtit. K = 2100
 toler. : f = ± 1 kHz

U_{el} int. - výřar. do prost. :

$$I = \frac{14,4 \cdot 10^2 f^2 U_{el}^2}{P_0 C_0}$$

P₀ C₀ - akust. odpor kvap.-y (g cm² sec⁻¹)
 f - frekv. (MHz)
 U - tloušťka nap. (V)

[pro vodu : P₀ C₀ = 1,45 · 10⁵ ; při jednosm. výř. ; a U_{el} = 200 V :

$$I = 0,64 \text{ W/cm}^2]$$

Výřon odovod. meniču :

$$P_{ak} = I \cdot S = 0,64 \cdot 13,28 = 8,5 \text{ W}$$

El. výřon - pre vřřhod. meniča , při úč. 40% :

$$P = \frac{P_{ak}}{\eta} = \frac{8,5}{0,4} = 21,2 \text{ W}$$

Při imp. převaděči K = 4 :

$$\text{intenzita } I_i = 4 I_k = 2,56 \text{ W/cm}^2$$

fy. Mullard : 4 št. meniče v uzavř. celkoch z nehrd. ocele. : L 357 (150 x 101 x 70)

max. výř. 250 W imp. max. prac. tepl. ~ 70°C
 65 W kontin.
 W_{intenz.} 2 W/cm² imp. min. výřka Aladiny nad meničem 12 cm
 0,5 W/cm² kont.

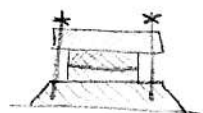
Plovo - mirkonál titanátová polykryst. keramika: (SSSR, Angl., USA)

$Pb(Ti, Zr)O_3$ — Cur. bod. $\uparrow 300^\circ C$, $\uparrow$ diel. konšt. ... (— výhodnejšie než relat. povr. $BaTiO_3$).

ETS-16 (SSSR)	spec. hm.	g/cm^3	7,8
	pevn. n. oh.	kg/cm^2	700
	diel. konšt.		155 ± 300
	Cur. tepl.	$^\circ C$	305
	ϵ_g	%	2,5

PZT-5 (Angl. fy Brush Crystals CO. LTD.)	PZT-4	PZT-5
relat. diel. konšt. (pri 1 kHz) (normov. k pol. ose)	1200	1500
($\perp$ k pol. ose)	1360	1285
ϵ_g (1 kHz)	0,005	0,02
merný odpor $\Omega \cdot cm$	$\begin{cases} 25^\circ C & 10^{12} \\ 200^\circ C & 10^{8,5} \end{cases}$	$\begin{cases} 10^{13} \\ 10^{11} \end{cases}$
Poissonova konšt.	0,3	0,3
Frekv. konšt.	k Hz. mm	1890
Cur. bod.	$^\circ C$	320
Hust.	g/cm^3	7,6
Remanentn. pol.	coul/cm ²	35
		32

Al blok: $\phi 66$, $\phi 40$; $h 38$; $2 \times Pb(Ti, Zr)O_3$ $\phi 40$ $h=6$
 Fe: $\phi 51$, $h=12$
 $f_{rez} = 25,6$ kHz.



Feritové meniče

$V_{\text{K}} - 2$

Max. dor. výkon P	4 W/cm ²
Rez. meniča na vlnách	$41 \pm 3\%$ kHz
Pevnosť n. ohybu P_0	50 kp/cm ²
Elmech. koef. väzby K	28

Menič I: výř. $23 \pm 0,2$
 šíř. $14 \pm 0,2$
 hl' $50 \pm 0,2$

$\uparrow$ q_{ea} .

Možnosť priamo ponoriť — len do koncent. kyseliny nie.

Mech. cititeľnosť akosť Q_{mech}	300
Tepl. koef. rez. fr. ie $T_{kfr}(10 \div 50^\circ C)$	$< 250 \cdot 10^{-6}/^\circ C$
Spec. váha	5 g/cm ³
Rýchlosť šíř. vlnenia	$5,5 \cdot 10^5$ cm/s

Young. mod. pružn. E	$1,53 \cdot 10^{12}$ dyn/cm ²
Cur. tepl.	500 $^\circ C$
Coef. permeat. (pri 5 mOe) μ_i	$40 \pm 20\%$
Remanentn. ind. B_r	1250
Maxim. ind. B_{max}	2300
Koercit. sila H_c	7 Oe

Lye 45-48

29/424-4,2

Uz. interakcia - jednotk. nat. lyčový menič

10, Ferroxcube 7A1 7A2 - nový piez. keram. materiál
pre uz. výhon. meniče. Valov Berichte 5, č. 1, str. 1-33, 1959

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(\bar{\sigma}_z)^2}{Q_W^Y \cdot p \cdot v^B} \cdot m_m^Y$$

$p \cdot v^B$ - špec. impedancia

$\bar{\sigma}_z$ - pruhové napätie v látke

Q_W^Y - faktor mech. kvality bez katalýzy

Q_W^Y - " " " pri katalýze

η_m - mech.-akust. účinnosť = $\frac{1 - Q_W^Y}{Q_W^Y}$

Pre Ferroxcube 7A : $I = 8 \xi' (\bar{\sigma}_z)^2$ [W/cm²]

$$\bar{\sigma}_z = 10^7 \text{ N/mm}^2$$

Pre Uz 2 $\approx \xi' \approx 1, \bar{\sigma}_z = 0,8 \text{ kg/mm}^2 \Rightarrow I = 5,12 \text{ W/cm}^2$

(Pre lyč. men. - vo vode výhon $\approx 3,8 \div 4 \text{ W/cm}^2$)

Kavit. efekt v sprac. vode : 40kHz pri 0,35 W/cm²
1MHz 50 W/cm²

[↑ pri 3 W/cm² - v čast. kar. ; izol. vstava kavitac. bublín $\Rightarrow$ plytvanie energiou]

Per. - krehký mat. ; Uz 2 máva lepl. vodivosť $\Rightarrow$ lepl. pruhová.

$\eta_{ea} = \eta_{ea}(\dots, H)$ opt. predmagnetizácia 7A1 ... 12 ÷ 20 A/cm
7A2 ... 9 ÷ 14
Uz 2 ~ 10.

[podľa skúšok (r. 1963) spoľahl. feily pri 20kHz, do 3 W/cm²]

Vývojové typy meničov a prenosových systémov, VŠ. 249, Ing. Travněc 30.12.1965.

prilohový výrobný člen - pre 4 meniče.

Uz. keramický menič S.S. 64/1 Ing. Travněc 30.10.67.

Lepidlo, remienta a patentoch.

Vývoj. pískov. materiálů v Uz čisl. akademickách VŠ. 595 Ing. Travněc. 1972.

Lepidlo Loctite 306 ; vyl. 65°C - 30 min. Ustale do 200°C

pevnosť, stisk 105 - 126 kg/cm² p. v látke 175 ÷ 196 kg/cm² pevn. na ohybovanie 0,2 kg/cm
náraz. namáh. 0,45 ÷ 0,65 kg/cm² lrd. 75. dilatácia 2%

Liarič LPM. [„přírodní proměna“]

Prírodná kordónová malica (vr. kmib. sústava) – statické zatvorenie.

4. silové pomery. M52 x 1,5 SH8 (max SH8). , dĺžba ráviku 30 - (9+15) = 6

$$\frac{d_1}{d} = \frac{6}{52} = 0,115 \Rightarrow \text{stredný stupeň lisovania : 6 [Vreál/178]}$$

hrube : 8

Záhl. toler. M52 — S8 224 μm

Max. toler. hr. ϕ 324 μm

Medzné odchylky $\phi_{\text{shr.}}$ horné +224 μm

dolné $\emptyset$

$\phi_{\text{mel.}}$ horné — nepredpis.

dolné — $\emptyset$

$\phi_{\text{mel.}}$ horné +250 μm

dolné $\emptyset$

$\phi_{\text{shr.}}$ $\emptyset$

-224 μm

$\phi_{\text{mel.}}$ $\emptyset$

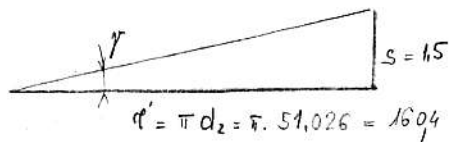
-240 μm

$\phi_{\text{mel.}}$ $\emptyset$

-224 - 108 = -332 μm

malica

skrutka



$$\lg \gamma = \frac{1,5}{160,4} = 0,00936$$

$$\lg \gamma \approx \gamma = 0,00936 \text{ rad.} \approx 0,562^\circ \approx 3,7'$$

Trci uhol $F_c - F_c$: $f \approx 0,1$ (0,15)

$$f' = \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,1}{\cos 30^\circ} = \frac{0,1}{0,866} = 0,115 \text{ (0,173)} \approx 6,9^\circ \text{ (10,4^\circ)}$$

Závislosť medzisk. momentom a priľáčnou silou (pri uťahov.)

$$M_k = F_{os} \cdot \lg(\gamma + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} = F_{os} \cdot \lg(0,56 + 6,9)^\circ \cdot \frac{51,1}{2} [\text{kp} \cdot \text{cm}] = F_{os} \cdot 0,132 \cdot 2,55 = 0,334 F_{os}$$

$$(M_k = F_{os} \cdot \lg(0,56 + 10,4)^\circ \cdot \frac{51,1}{2} [\text{kp} \cdot \text{cm}] = F_{os} \cdot 0,194 \cdot 2,55 = F_{os} \cdot 0,496)$$

$$F_{ker} = \frac{\pi d_k^2}{4} = \pi \cdot 1,9^2 = \pi \cdot 3,62 = 11,18 \text{ cm}^2$$

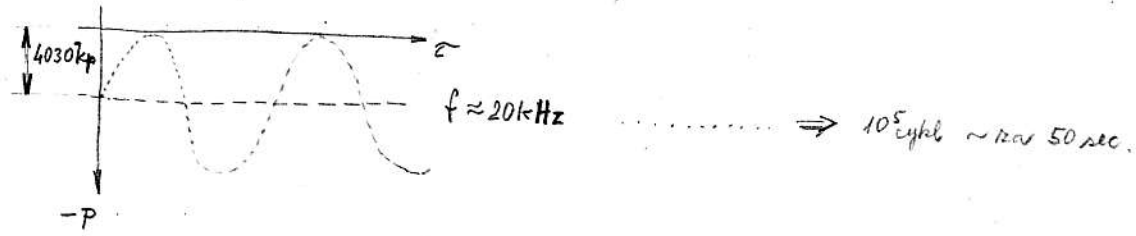
$$p_{opt} \approx 35 \text{ N/mm}^2 \approx 350 \text{ kp/cm}^2$$

$$\Rightarrow F_{os} = 3915 \text{ kp}$$

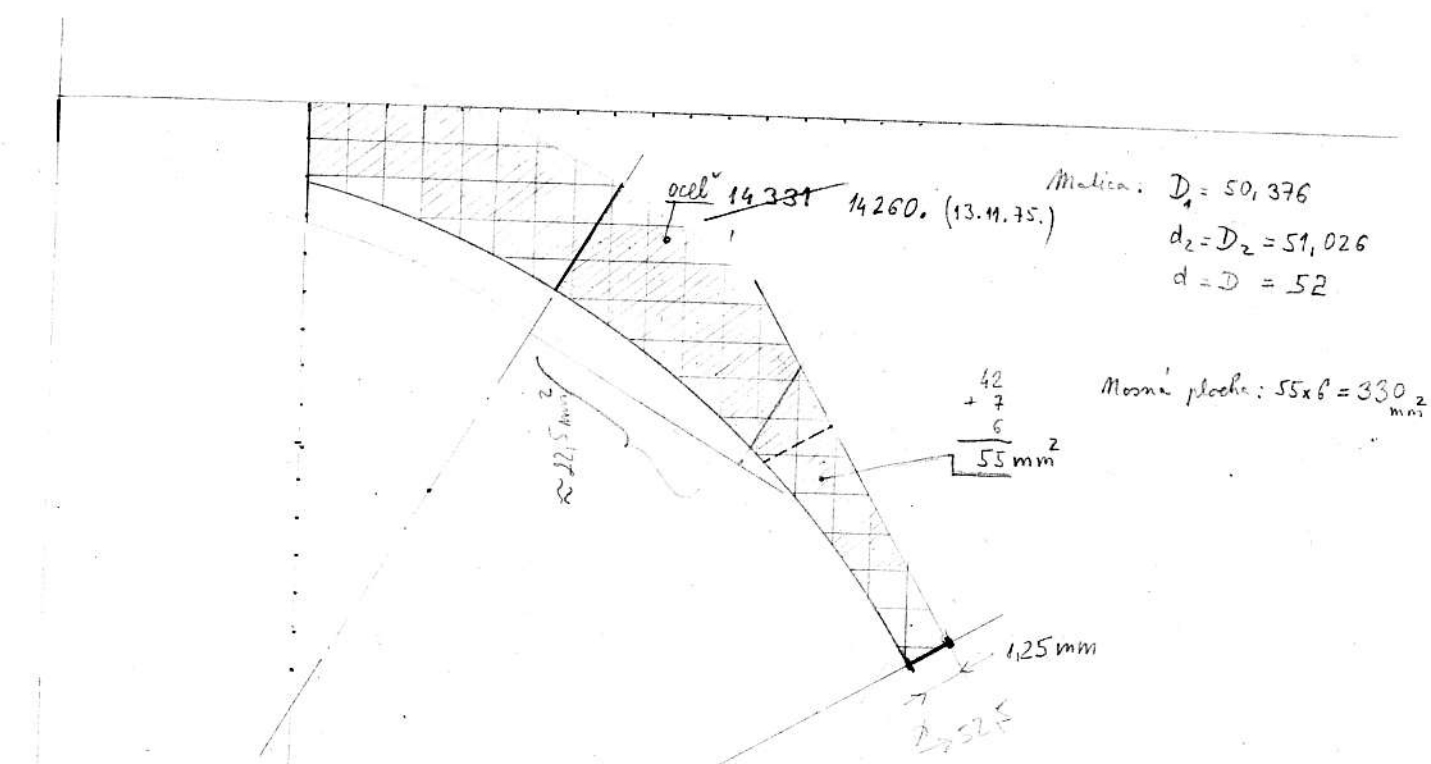
$$\Rightarrow M_k = 1310 \text{ kp} \cdot \text{cm} \hat{=} 13,1 \text{ kp} \cdot \text{m} \quad (\sim 19,5 \text{ kp} \cdot \text{m})$$

Pri pouz. 20 kp.m. = M_k ; suché drevo na kľuč $f \approx 0,15$: $F_{os} = \frac{M_k}{0,496} = \frac{2000 \text{ kp} \cdot \text{cm}}{0,496 \text{ cm}} = 4030 \text{ kp}$

2. *Približne: predpokladaný priebeh namáhania (N matice):*



3. *Pevnosť (slab.) v pol. rovine matice.*



$$\sigma_{(4030kp)} = \frac{4030kp}{3.3cm^2} = 1222 kp/cm^2$$

14331.7 (kov, valc.)

$$\sigma_{kl} = \frac{85kp}{mm^2}$$

$$\sigma_{pl} = \frac{110kp}{mm^2}$$

Minim. tážn. $\sigma_s = 10\%$

Minim. konšt. $\psi = 45\%$

nejm. vr. tážn. $RM = 4.5 [kp/mm^2]$

331 ÷ 385 HB

(pre 14 331.7 ... max 229 °C)

Matice so 6. dierami $\phi 13$:

$$\text{Možná plocha} = 6 \times (55 - 9) = 276 mm^2$$

— v stenách

$$\sigma_{(4030kp)} = \frac{4030}{2.76} = 1460 kp/cm^2$$

$$\dots \frac{85}{1.416} \approx 51.8$$

Pre ocel: $\sigma_{CE} \approx 0.47 \sigma_{pl} \dots 110 \cdot 0.47 = 51.7 kp/mm^2$

$$\sigma_c^* = \frac{\sigma_{ce} \cdot v \cdot \eta}{\beta}$$

$$\left| \frac{\eta}{v} \sim 0.18 \right|$$

			σ_{kt}	σ_{PL}	σ_s %	φ	RM	R	H
12 061	nř. j. morn. z mahn. ruš. j. b. b.	C, uřl.	.1 39.6 .0 53	.1 64 .0 76	112 4	25	3? 35!	hor. vale. ř. stud.	26.5 HB 285 "
14 220	cem, hal ruřl.,	Mn Cr	.4 60 .6 90	.480 .6 90	40	40		5.	239 → 331 208 →
14 240	řuřl.,	Mn Cr	.6 54	.6 75	16	55	8		223 →
14 260	řuřl.	st. dyp. 1 man. vale. nř. v.	.7 120.8 130	.7 145.8 150	7 6	25 20	C	nale. legel	426 → 438
16 420	cem hal řuřl.	ř. hř. p. v. n. jedr. po hal.	.4 75 .6 55	.4 95 .6 75	9 21, 12%	40	hor. vale	5	285 → 223 →
14 331	řuřl.	Mn, Si, Cr	.85	110	10	45	4, 5		331 →

- 0 - lip. męszp.
- 1 - żół. męszp. ...
- 2 - żół.
- 3 - żół. na m. szkieł
- 4 - kol. - pop.
- 6 → 8 żół. męszp. ...

4.) Počet pravidel:

$$d = d_2 \cdot n \cdot \pi = 5,1 \pi \cdot 4 = 64,1 \text{ cm}$$

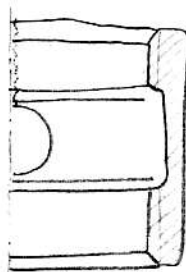
$\checkmark \text{im } \left\{ \begin{aligned} F &\approx 64,1 \cdot 912 = 7,69 \text{ cm}^2 \\ (\text{bez vor.}) \quad \tau &= \frac{4030}{7,69} = 526 \text{ kp/cm}^2 \end{aligned} \right.$

$\sigma_{th} = \begin{cases} M_{th} = 4030,010487 = 196 \text{ k.p.cm} \\ W_{th} = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} 64,1,0,12^2 = 10,68,0,0144 = 0,154 \text{ cm}^3 \\ \sigma_{th} = \frac{196}{0,154} = 1270 \text{ k.p./cm}^2 \end{cases}$

Radiators PSN 427510.02; 424222.71.
Poi. variables ≈ 6

$$\sigma_{0,2} \geq 44 \text{ kN/m}^2 \quad \sigma_{PL} \geq 54 \quad ; \quad \alpha_{10} = 5\%$$

5. Prevrátenie kávitov na malici.



[0, - poloha ložiska...]

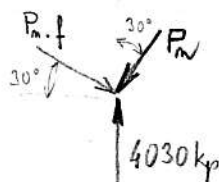
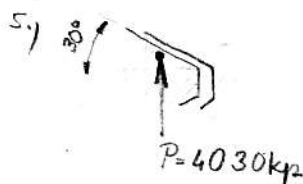
1, voda materiálu

2, statický obrát ... $M_k \Rightarrow P$; $\angle$ pri útlah. pri práci

3, efekt silne roztiah. priútlah (od „osovej“ sily čast' obrátke mo chytr)

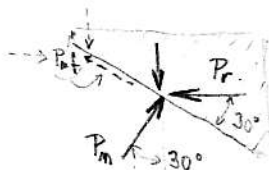
4, od rad. sil pri roztiahn. reflektore (roztlačanie).

5, roztlačanie obrátke roztiahom - kľm $\approx \angle = 30^\circ$!

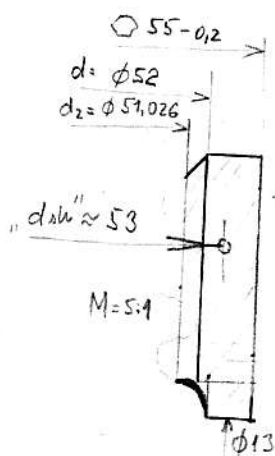


$$\Rightarrow P_m \cdot \cos 30^\circ + P_m \cdot \sin 30^\circ = 4030 \text{ kp}$$

$$P_m = \frac{4030}{\cos 30^\circ + \sin 30^\circ} = \frac{4030}{0,866 + 0,5} = \frac{4030}{1,366} \approx 2950 \text{ kp}$$



$$P_r = P_m \cdot \sin 30^\circ = 2020 \text{ kp}$$



- majurší priemer $F \approx 0,2 \cdot 0,65 = 0,13 \text{ cm}^2$

„vnút. pretlak na valcovej ploche“ obrátke:

$$p = \frac{2020 \text{ kp}}{\pi \cdot 5,3 \text{ cm} \cdot 0,65 \text{ cm}} = \frac{2020}{10,8} \approx 187 \text{ kp/cm}^2$$

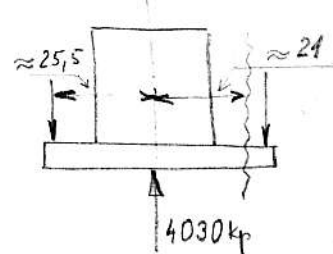
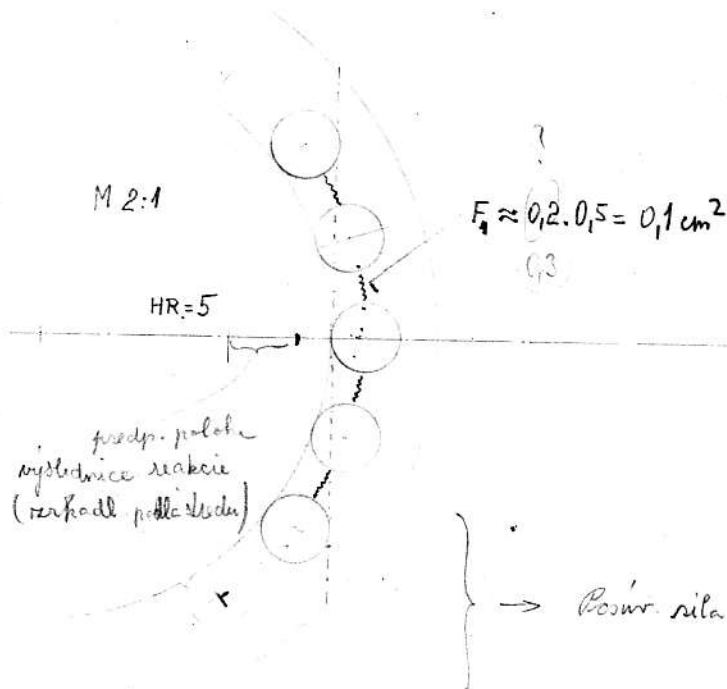
$$\text{max. roztiah. roztiah} \Rightarrow \check{T} = \frac{1}{2} \cdot 187 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 0,65 \text{ cm} \cdot 5,3 \text{ cm} = 93,5 \cdot 3,45 = 322 \text{ kp}$$



$$\check{\sigma}_t = \frac{\check{T}}{F} = \frac{322}{0,13} = 2480 \text{ kp/cm}^2$$

6) Kontrola reflektora (príruty) — sila predpätia : 4030 kp.

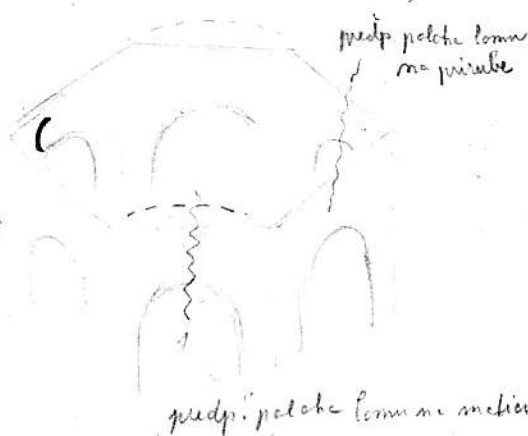
Material 14 260.4



Posuv sila ≈ hril. priemer :

$$P = 4030 \frac{25,5}{46,5} = 2210 \text{ kp}$$

$$\rightarrow \text{Posuv sila} \approx 4030 \frac{12}{12+21} = 4030 \frac{12}{33} = 1465 \text{ kp}$$



Pri 4 plochách: $F = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ cm}^2$

$$\tau = \frac{1465}{0,4} = 3660 \text{ kp/cm}^2$$

Celý obvod:

$$\tau = \frac{4030}{20 \cdot 0,1} = \frac{4030}{2} = 2015 \text{ kp/cm}^2$$

Pri kružke 7 (namiesto 5) : Pre celý obvod smykové napätie :

$$\tau = \frac{4030 \text{ kp}}{20 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \text{ cm}} = \frac{4030}{20 \cdot 0,21} = \frac{4030}{4,2} = 960 \text{ kp/cm}^2$$

7, Matice so 6 dierami na $\varphi 30^\circ$

$$\frac{1}{6} F_{\text{celn}} = 55 + 9 = 64 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1}{6} S_{\text{obr.}} = 64 - 2(19,5) = 64 - 39 = 25 \text{ mm}^2$$

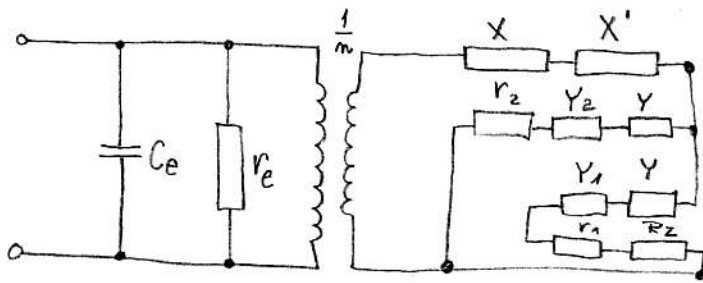
Plocha v strednej rovine matice: $F = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}^2$

Predpoklad $\sim 4030 \text{ kp}$

$$\sigma_{\text{stat.-predp.}} = \frac{4030 \text{ kp}}{1,5 \text{ cm}^2} = 2686 \text{ kp/cm}^2 \quad \dots \quad \sigma_{\text{KE}} = \frac{12000 \text{ kp/cm}^2}{14 \cdot 260,7}$$

A 3 dier na ploche 6 hrann: $F = 6 \times 55 = 330 \text{ mm}^2$

Náhradná schéma priedičového meniča.



C_e - kap. meniča p k paral. súhlasne polariz. piezoelektr. v jednotku farad

r_e - rel. str. odp. kapacitly v Ω

n - el. mech. transf. čísel' $\left[\frac{N}{V} \right]$

$$X = \frac{W \cdot S}{\sin k l} = \frac{P_c S}{\sin \frac{2\pi f}{c} \cdot l} \quad [kg/sec]$$

$W = P_c \sim$ vln. imp. keramiky $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot sec} \right]$

$S \sim$ spec. hm. keram-y $[kg/m^2]$

$c \sim$ rýchlt. šíř. vln. v šer. $[m/sec]$

$S_{kl} \sim$ prierez a dĺžka 2 ker. dišt. spolu $[m^2][m]$

$f \sim$ fr. $[Hz]$

$k \sim$ vln. koef. šer-y.

$$X' = \frac{m^2}{\omega \cdot C_e} = \frac{d_{33}^2 E^2 S^2}{\omega \cdot C_e \cdot l^2} \quad [kg/sec]$$

$\omega = 2\pi f \sim$ kruh. fr.

$d_{33} \sim$ piezoelektr. koef. drútkového medu keram. y $[m/V]$

$E \sim$ mod. pružn. ker. $[N/m^2]$

$$Y = W S f_g \frac{k \cdot l}{2} \quad [kg/sec]$$

$X, X', Y \sim$ sa považ. za reaktívne.

Reaktívna

Kalibračná plocha mech. impedancie radiátora:

$$\eta_1 = \frac{W_1 \cdot S_1 \lg k_1 l_1}{1 + \left(\frac{W_p}{W_1} \right)^2 \cdot \lg^2 k_1 l_1} \quad [kg/sec]$$

$W_1 = P_1 C_1 \sim$ vln. imp. rad-a $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot sec} \right]$

$P_1 \sim$ obj. hmotn. radiátora $[kg/m^3]$

$c_1 \sim$ rýchlt. šíř. vln. v rad. $[m/sec]$

$k_1 \sim$ vln. koef. rad.-a $[1/m]$

$$k_1 = \frac{2\pi f}{c_1}$$

$l_1 \sim$ dĺž. rad. $[m]$ v smere šíř. vlnenia

$S_1 \sim$ prierez radiátora $[m^2]$

$W_p = P_p \cdot C_p \sim$ vln. imp. prahedla do kt. vyš.

hmo. prier. rad-a $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot sec} \right]$

$P_p \sim$ obj. hmotn. ošarov. prost.-a $[kg/m^3]$

$C_p \sim$ rýchlt. šíř. vlnenia v oš. prost. $[m/sec]$

Reakt. rel. mech. imp. reflektora (vyš. den do vzduchu)

$$\eta_2 = W_2 S_2 \lg k_2 l_2 \quad [kg/sec]$$

$W_2 = P_2 C_2 \sim$ vln. imp. refl. $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot sec} \right]$

$P_2 \sim$ obj. hm. refl. $[kg/m^3]$

$C_2 \sim$ rýchlt. šíř. vln. v refl. $[m/sec]$

$k_2 \sim$ vln. koef. reflektora $[1/m]$; $k_2 = \frac{2\pi f}{C_2}$

$l_2 \sim$ dĺžka refl.-a $[m]$ v smere šíř. vlnenia.

Aktivna složka mech. impedancie radiátoru, vypočítaná označovaným prvkem.

$$R_a = \frac{W_p \cdot S_1}{\cos^2 k_1 l_1 + \left(\frac{W_p}{W_1} \right)^2 \sin^2 k_1 l_1} \quad [\text{kg/sec}]$$

Alk. složky mech. imp. radiátoru skeram. i s keram. reflektorem vnášané ich mech. stratami

$$r_1 = \frac{e W S}{2} \varphi_1 + \frac{e_1 W_1 S_1}{2} \varphi_1 \quad [\text{kg/sec}]$$

$$r_2 = \frac{e W S}{2} \varphi_2 + \frac{e_2 W_2 S_2}{2} \varphi_2$$

e, e_1, e_2 ~ stratové koeficienty jednotl. častí sendviča.

$$\varphi_1 = k_1 l_1 \left[\frac{1}{\cos^2 k_1 l_1} - \frac{\lg k_1 l_1}{k_1 l_1} \right]$$

$$\varphi_2 = k_2 l_2 \left[\frac{1}{\cos^2 k_2 l_2} - \frac{\lg k_2 l_2}{k_2 l_2} \right]$$

$$\varphi_1 = k l \left[\frac{1 + m \cos k l}{\sin^2 k l} + \frac{m + \cos k l}{k l \cdot \sin k l} \right]$$

$$\varphi_2 = k l \left[\frac{m + \cos k l}{m \cdot \sin^2 k l} + \frac{1 + m \cos k l}{m \cdot k l \cdot \sin k l} \right]$$

$$m = \frac{\sqrt{R_a^2 + (\gamma + \gamma_1)^2}}{\gamma + \gamma_2}$$

~ koef., char. polohu prísôcadi vzhl' k celku sendviča

Kompl. hodn. celk. mech. imp. sendviča:

$$Z_M = \frac{r_2(r_1 + R_a) - \gamma(\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma) - \gamma_1 \gamma_2 + j[(R_a + r_1)(\gamma + \gamma_2) + r_2(\gamma + \gamma_1)]}{R_a + r_1 + r_2 + j[2\gamma + \gamma_1 + \gamma_2]} + jX' - jX$$

Kompl. hodn. celk. vstupnej elektr. admittance sendviča: $Y = \frac{m^2}{Z_M} + j\omega C_e + \frac{1}{r_e}$

Keram. (?)

$$C_e = 4,25 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$r_e = 8 \cdot 10^4 \Omega$$

$$d_{33} = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/V}$$

$$E = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$e = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho = 7,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 4 \cdot 10^3 \text{ m/sec}$$

$$S = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d = 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

PKM30

$$\rho = 7,4 \text{ kg/dm}^3$$

$$E = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$d_{20 \rightarrow 300} = (2 \div 3) \cdot 10^{-6} / \text{deg}$$

$$\bar{G}_{Pd} \approx 5000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{G}_{Pd}(\text{rel.}) = 500 \text{ kg/cm}^2$$

$$T_{\text{max}} = 300^\circ \text{C}$$

$$k_r \sim \min 0,5$$

$$d_{33} \approx 250 \cdot 10^{-12} \text{ m/V}$$

$$d_{34} \approx -100 \cdot 10^{-12}$$

Voda: $C_p = 1,48 \cdot 10^3 \text{ m/sec}$ $W_p = 1,48 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$

Vzduch: $W_p = 4,2 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$

$$l_2(\text{refl.}) \Rightarrow 1 \text{ frez.}$$

$$l_2 \rightarrow 2 \text{ cm}; l_1 \rightarrow 3,5 \text{ cm} \sim \text{pádlatálne neorplyvň. } \eta_r, \eta_{em}$$

$$\text{Max. uc. pri ustavnom stave keram-y: } l_2 = 5,3 \text{ cm}, l_1 = 6 \text{ cm}, m \approx 1.$$

Max. výkon v súčine:

$$N_{\max} = \frac{1}{2} W \cdot d_{33} \cdot U_{\max} \cdot G_{31\max} \approx 4 \text{ W/cm}^3 \text{ kHz} \quad [\rightarrow \eta_{ca} \sim 88\%]$$

$$\begin{cases} \text{mech. polarizačné nap.} \sim 20 \text{ N/mm}^2 \\ \text{max. el. napätie} \quad 2 \text{ kV/cm} \end{cases}$$

Max. výkon je obmedz. mech. (horúte, technol.) a tepeln. (dielekt.) stratami.

Sredný činný výkon: $N_{\text{av}} = \frac{1}{2} U^2 r_z = 2 \pi^2 f^2 \xi^2 r_z$

↳ str. ekviv. hodn. merav. na čase
(Namiesto R_z)

$[W; \text{hed}^v r_z [\frac{\text{kg}}{\text{s}}]]$

$$N = \frac{F_z}{r_z} = \omega \xi \quad ; \quad \omega = 2\pi f$$

f - frekv.

ξ - amplit. výchylky.

$$\text{Výkon: } N_{\text{av}} = \frac{1}{2} (U_s \cdot n)^2 r_z = \frac{1}{2} U_s^2 (n^2 r_z)$$

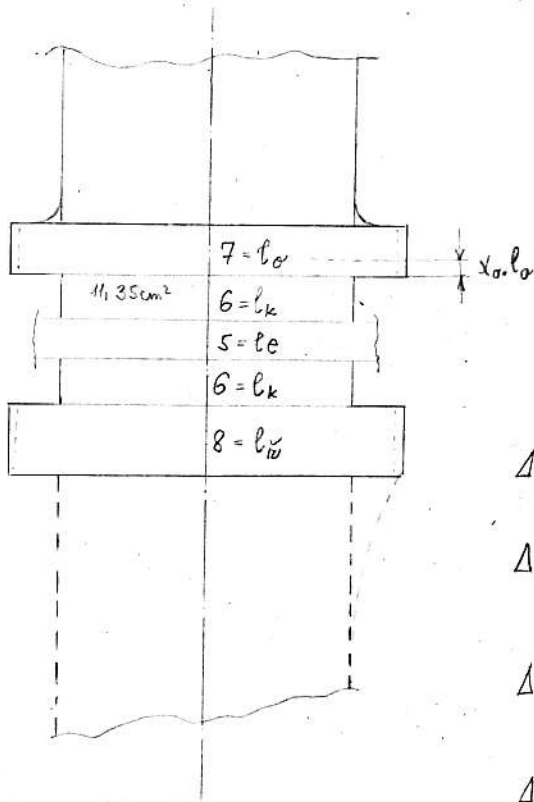
$$\begin{cases} n = \frac{U}{U_s} = \frac{\xi}{\xi_s} \sim \text{koef. transformácie} \\ \text{výchl. na čelný plochu menšie} \end{cases}$$

Z energ. hľadiska v príp. nepriepustenia káľaz - voči prerozovým členom kmitovej sústavy: $K_0 = \left[\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right]^2$

Z_2 - imped. káľaz

Z_1 - rovný odpor (char. imp) preroz. členov

Koef. postupný vlny: $K_p = \frac{Z_z}{K_s} = \frac{1}{K_s}$ / K_s - koef. spätý vlny.



$$E \text{ [kp/cm}^2\text{]}$$

$$\text{ker.} - 8 \cdot 10^5$$

$$\text{Al} - 7,22 \cdot 10^5$$

$$\text{Cu} - 12,5 \cdot 10^5$$

$$\text{Fe} - 21,5 \cdot 10^5$$

$$\text{Ti} - 10,5 \cdot 10^5$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot S}$$

$$\Delta l_k = F \cdot \frac{6}{8 \cdot 10^5 \cdot 11,35} = F \cdot \frac{600}{110,8 \cdot 10^7} = F \cdot 5,42 \cdot 10^{-7} \text{ [mm; kp]}$$

$$\Delta l_{e, \text{Al}} = F \cdot \frac{5}{7,22 \cdot 10^5 \cdot 11,35} = F \cdot \frac{500 \cdot 10^{-7}}{82} = F \cdot 6,1 \cdot 10^{-7} \text{ [mm; kp]}$$

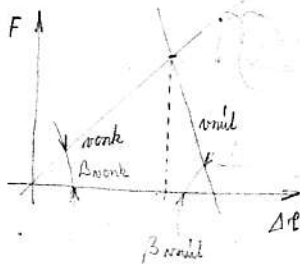
$$\Delta l_{e, \text{Cu}} = F \cdot \frac{5}{12,5 \cdot 10^5 \cdot 11,35} = F \cdot \frac{500 \cdot 10^{-7}}{142} = F \cdot 3,52 \cdot 10^{-7} \text{ [mm; kp]}$$

$$\Delta l_{\sigma} = F \cdot \frac{x_{\sigma} \cdot 7}{21,5 \cdot 10^5 \cdot 11,35} = F \cdot x_{\sigma} \cdot \frac{700 \cdot 10^{-7}}{244} = F \cdot x_{\sigma} \cdot 2,87 \cdot 10^{-7} \text{ [mm; kp]}$$

$$\Delta l_{\omega} = F \cdot \frac{x_{\omega} \cdot 8}{7,22 \cdot 10^5 \cdot 11,35} = F \cdot x_{\omega} \cdot \frac{800 \cdot 10^{-7}}{7,22 \cdot 11,35} = F \cdot x_{\omega} \cdot 9,76 \cdot 10^{-7} \text{ [mm; kp]}$$

$$\Delta l_{\text{vnit}} = F \left\{ 2,542 + \frac{\text{Al}}{\text{Cu}} \frac{6,1}{3,52} + x_{\sigma} \cdot 2,87 + x_{\omega} \cdot 9,76 \right\} \cdot 10^{-7} \text{ [mm; kp]}$$

$$\Delta l_{\text{vonk}} = F \cdot \left(\frac{l}{S} \cdot \frac{1}{E} \right) = F \cdot \frac{l_{\text{mm}}}{S_{\text{mm}^2}} \cdot \frac{1}{21,5 \cdot 10^3 \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2}} = F \cdot \left(\frac{l_{\text{mm}}}{S_{\text{mm}^2}} \right) \cdot 4,65 \cdot 10^{-5} \text{ [mm; kp]}$$



$$F = \frac{\Delta l_{\text{vnit}}}{L_{\text{vnit}}} = \frac{1}{L_{\text{vnit}}} \cdot \Delta l_{\text{vnit}}$$

$$F = \frac{\Delta l_{\text{vonk}}}{L_{\text{vonk}}} = \frac{1}{L_{\text{vonk}}} \cdot \Delta l_{\text{vonk}}$$

$\Rightarrow L_{\text{vnit}}$ - čo najmenšie

$\Rightarrow L_{\text{vonk}}$ - čo najväčšie

↓ Aby došlo v matrici čo najmenšie amplitúdy dyn. sily:

- 1, zmeniť hrúbku strednej elektrody,
- 2, robiť ju z materiálu s veľkou hodnotou modulu pružnosti.
- 3, v matrici " $\frac{l}{S}$ " má byť veľké,
- 4, robiť matricu z mat. s malou hodnotou modulu pružnosti.

} platí aj pre odťaháč a ťlačič.

$$\Delta l_{\text{váh}} = F \cdot 10^{-7} \left\{ 10,84 + \begin{matrix} \text{Al} \\ 6,1 \\ 3,52 \\ \text{Cu} \end{matrix} + x_{\text{Fe}} \cdot 2,87 + x_{\text{Ti}} \cdot 9,76 \right\} \quad [\text{mm}; \text{kp}]$$

- čo najmenš. $\Rightarrow$ použiť malé hrúbky

použiť materiál s veľkou hodnot. mod. pružnosti

$$\Delta l_{\text{matice}} = F \cdot 10^{-5} \left(\frac{l[\text{mm}]}{S[\text{mm}^2]} \right) \cdot \begin{matrix} 4,65 - \text{Fe} \\ 8 - \text{Cu} \\ 9,52 - \text{Ti} \\ 13,83 - \text{Al} \end{matrix}$$

14260.7 : 602 = 12000 kp/cm ²
423016.41 : 602 = (5500) $\sigma_{PE} \text{ min } 6000$
med. $\sigma_{0,2} = 3150 \div 3850 \text{ kp/cm}^2$
424222.71 : 602 = 4400 kp/cm ²

- čo najväčš. $\Rightarrow \left(\frac{l}{S} \right)''$ - má byť veľké

" použiť materiál s malou hodnotou mod. pružnosti

Počet prac. hodín v 1 sm prevádzky za rok $\sim 257.8 = 2056 \text{ h} \hat{=} 123300 \text{ s} = 12,33 \cdot 10^4 \text{ s}$

Počet kmitov, pri "stály prevádzke" za rok: $12,33 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 10^3 = 24,66 \cdot 10^8$ (v 1 sm. prev.)

[Ti: ↑ meda um. v pomere k σ_{PE}]

30.7.76: či mi zmysel počítať $\times 10^3$?
keď pri $\sim 1,5 \cdot 10^6$ už lin. príchod!

Predpokl.: maticea je 14260.7, $\sigma_{PE} = 145 \text{ kp/mm}^2$

počet cyklov: $N = 10^9$ - doporučená

stredné napätie: $26,86 \text{ kp/mm}^2 = \sigma_m$

max. amplit. napätie: $26,86 \text{ kp/mm}^2$ [?!]

(pre už et. maticeu s 6 dierami v hranách)

↓ - podľa Heywoodových emp. vzorcov.

$$m = \log N = \log 10^9 = 9$$

$$A_0 = \frac{1 + 0,0038 \cdot 9^4}{1 + 0,008 \cdot 9^4} = \frac{1 + 0,0038 \cdot 6561}{1 + 0,008 \cdot 6561} = \frac{1 + 3,8 \cdot 6,561}{1 + 8 \cdot 6,561} = \frac{25,94}{53,5} = 0,485$$

$$r = \left(2 + \frac{\sigma_m}{\sigma_{PE}} \right) \frac{\sigma_m}{3 \sigma_{PE}} = \left(2 + \frac{26,86}{145} \right) \cdot \frac{26,86}{3 \cdot 145} = 2,185 \cdot 0,0618 = 0,135$$

$$\sigma_a = \sigma_{PE} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{PE}} \right) [A_0 + r(1 - A_0)] = 145 \left(1 - \frac{26,86}{145} \right) [0,485 + 0,135(1 - 0,485)] =$$

$$= 145 (1 - 0,185) [0,485 + 0,135 \cdot 0,515] = 145 \cdot 0,815 (0,485 + 0,0695) = 118 \cdot 0,5545 = 65,5$$

$$\sigma_a = 65,5 \text{ kp/mm}^2 > \text{predpokl. } 26,86 \text{ kp/mm}^2$$

Platí pre hladkú tyč - namáhajúci skladový: ťah - tlak.

$$\hookrightarrow \sigma_{\text{max}} = \sigma_m + \sigma_a = 26,86 + 65,5 = 92,36 \text{ kp/mm}^2$$

Průřez: molica W 424222.71, $\sigma_{pe} = 54 \text{ kp/mm}^2$
 počet cyklů $N = 10^9$ — do porušení
 skr. nap.: $26,86 \text{ kp/mm}^2 = \sigma_m$

$$m = \log N = \log 10^9 = 9$$

$$A_0 = \frac{1 + \frac{0,0031 m^4}{1 + 0,064 \sigma_{pe}}}{1 + 0,0031 m^4} = \frac{1 + \frac{0,0031 \cdot 6561}{1 + 0,064 \cdot 54}}{1 + 0,0031 \cdot 6561} = \frac{1 + \frac{20,4}{1 + 3,45}}{1 + 20,4} = \frac{1 + 4,58}{21,4} = 0,26$$

$$\sigma_a = \sigma_{pe} \left[1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{pe}} \right] \cdot A_0 = 54 \left[1 - \frac{26,86}{54} \right] \cdot 0,26 = 14,05 \cdot (1 - 0,497) = 14,05 \cdot 0,503 = 7,08$$

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a = 26,86 + 7,08 = 33,94 \text{ kp/mm}^2$$

$$\text{Al: } \sigma_m = 20 \Rightarrow \left[1 - \frac{20}{54} \right] = 1 - 0,37 = 0,63 \rightarrow \sigma_a = \frac{7,08}{0,503} \cdot 0,63 = 14,05 \cdot 0,63 = 8,88$$

$$\sigma_m = 30 \Rightarrow 1 - \frac{30}{54} = 1 - 0,555 = 0,445 \rightarrow \sigma_a = 14,05 \cdot 0,445 = 6,25 \text{ kp/mm}^2$$

$$\sigma_m = 15 \Rightarrow 1 - \frac{15}{54} = 1 - 0,278 = 0,722 \rightarrow \sigma_a = 14,05 \cdot 0,722 = 10,18$$

$$\sigma_m = 35 \Rightarrow 1 - \frac{35}{54} = 1 - 0,648 = 0,352 \rightarrow \sigma_a = 14,05 \cdot 0,352 = 4,96 \text{ kp/mm}^2$$

$$\text{Fe: } \sigma_m = 20 \Rightarrow \gamma = \left(2 + \frac{20}{145} \right) \frac{20}{435} = 2,138 \cdot 0,046 = 0,0984$$

$$\sigma_m = 30 \Rightarrow \gamma = \left(2 + \frac{30}{145} \right) \frac{30}{435} = 2,207 \cdot 0,069 = 0,152$$

$$\sigma_m = 15 \Rightarrow \gamma = \left(2 + \frac{15}{145} \right) \frac{15}{435} = 2,103 \cdot 0,0345 = 0,0725$$

$$\sigma_m = 35 \Rightarrow \gamma = \left(2 + \frac{35}{145} \right) \frac{35}{435} = 2,241 \cdot 0,0805 = 0,181$$

$$\sigma_m = 50 \Rightarrow \gamma = 0,269$$

$$\sigma_{a20} = 145 \cdot \left(1 - \frac{20}{145} \right) [0,485 + 0,0984 (1 - 0,485)] = 145 \cdot (1 - 0,138) [0,485 + 0,0984 \cdot 0,515] = 145 \cdot 0,862 \cdot (0,485 + 0,0507) = 125,05357 = 67 \text{ kp/mm}^2$$

$$\sigma_{a30} = 145 \left(1 - \frac{30}{145} \right) [0,485 + 0,152 (1 - 0,485)] = 145 \cdot (1 - 0,206) [0,485 + 0,152 \cdot 0,515] = 145 \cdot 0,794 \cdot (0,485 + 0,0785) = 115,05635 = 64,7 \text{ kp/mm}^2$$

$$\sigma_{a15} = 145 \left(1 - \frac{15}{145} \right) [0,485 + 0,0725 (1 - 0,485)] = 145 \cdot (1 - 0,103) [0,485 + 0,0725 \cdot 0,515] = 145 \cdot 0,897 \cdot (0,485 + 0,0374) = 130,95124 = 68 \text{ kp/mm}^2$$

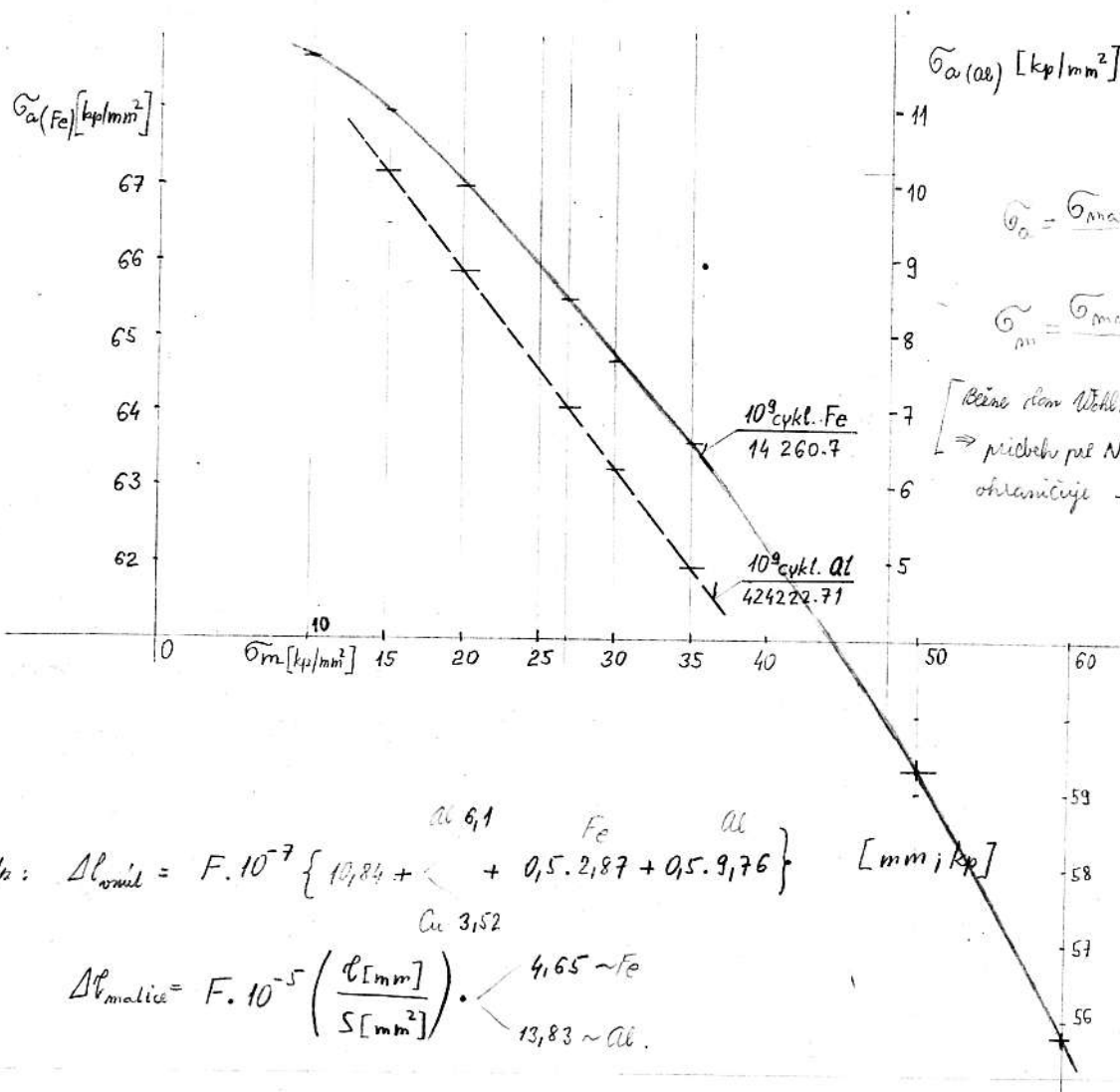
$$\sigma_{a35} = 145 \left(1 - \frac{35}{145} \right) [0,485 + 0,181 (1 - 0,485)] = 145 \cdot (1 - 0,241) [0,485 + 0,181 \cdot 0,515] = 145 \cdot 0,759 \cdot (0,485 + 0,0933) = 110,05783 = 63,6 \text{ kp/mm}^2$$

$$\sigma_m = 10 \rightarrow \gamma = \left(2 + \frac{10}{145} \right) \frac{10}{435} = 2,069 \cdot 0,023 = 0,0476$$

$$\sigma_{a10} = 145 \left(1 - \frac{10}{145} \right) [0,485 + 0,0476 (1 - 0,485)] = 145 \cdot (1 - 0,069) [0,485 + 0,0476 \cdot 0,515] = 145 \cdot 0,931 \cdot (0,485 + 0,0246) = 135,8096 = 68,7 \text{ kp/mm}^2$$

$$\sigma_{a50} = 59,3$$

→ napsat do grafu



$$\text{Shedp: } \Delta l_{unil} = F \cdot 10^{-7} \left\{ 10,84 + \overset{Al \ 6,1}{\underset{Cu \ 3,52}{}} + \overset{Fe}{0,5 \cdot 2,87} + \overset{Al}{0,5 \cdot 9,76} \right\} [mm; kp]$$

$$\Delta l_{malice} = F \cdot 10^{-5} \left(\frac{e [mm]}{S [mm^2]} \right) \cdot \begin{cases} 4,65 \sim Fe \\ 13,83 \sim Al \end{cases}$$

$$\Delta l_{unil}^{Al} = F \cdot 10^{-7} (10,84 + 6,1 + 1,44 + 4,88) = F \cdot 10^{-7} \cdot 23,26$$

$$\Delta l_{unil}^{Cu} = F \cdot 10^{-7} (10,84 + 3,52 + 1,44 + 4,88) = F \cdot 10^{-7} \cdot 20,68$$

$$\left. \begin{array}{l} F = 4,03 \cdot 10^3 \text{ kp} \rightarrow \Delta l = 4,03 \cdot 10^{-4} \cdot 23,26 = 9,38 \text{ cm} \\ F = 4,03 \cdot 10^3 \text{ kp} \rightarrow \Delta l = 8,34 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$\text{max: } \frac{p}{S} = \frac{24}{150} = 0,16$$

$$\text{min: } = \frac{15}{384} = 0,0391$$

$$\Delta l_{mal.} = F \cdot 10^{-5} \cdot 904 \cdot 4,65 = F \cdot 10^{-7} \cdot 18,6$$

Fe; 904

$$0,08 \sim F \cdot 10^{-5} \cdot 0,08 \cdot 4,65 = F \cdot 10^{-7} \cdot 37,2$$

$$0,12 \sim F \cdot 10^{-5} \cdot 0,12 \cdot 4,65 = F \cdot 10^{-7} \cdot 55,8$$

$$0,16 \sim F \cdot 10^{-5} \cdot 0,16 \cdot 4,65 = F \cdot 10^{-7} \cdot 74,4$$

$$\Delta l_{mal.} = 554 \cdot F \cdot 10^{-7}$$

Al; 904

$$0,08 \sim 1115 \cdot F \cdot 10^{-7}$$

$$0,12 \sim 166 \cdot F \cdot 10^{-7}$$

$$0,16 \sim 2215 \cdot F \cdot 10^{-7}$$

$$F = 4 \cdot 10^3 \text{ kp} \rightarrow \Delta l = 4 \cdot 10^3 \cdot 10^{-7} \cdot 18,6 = 74,4 \cdot 10^{-4} = 7,44 \text{ mm}$$

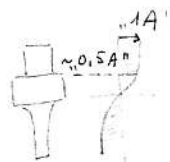
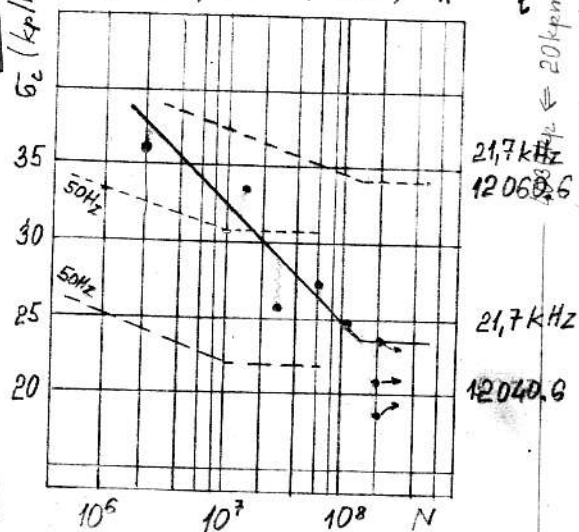
$$\Delta l = 7,44 \text{ cm}$$

$$\approx 29,6 \text{ cm} \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ kp}$$

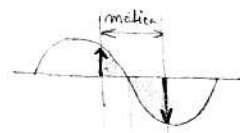
$$F = 4 \cdot 10^3 \text{ kp} \rightarrow \Delta l = 4 \cdot 10^3 \cdot 10^{-7} \cdot 2215 = 885 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\Delta l = 88,5 \text{ cm}$$

$P_e = 95; 100$ (SVST) $G_A = \pm \frac{EA_0 \pi}{l}$

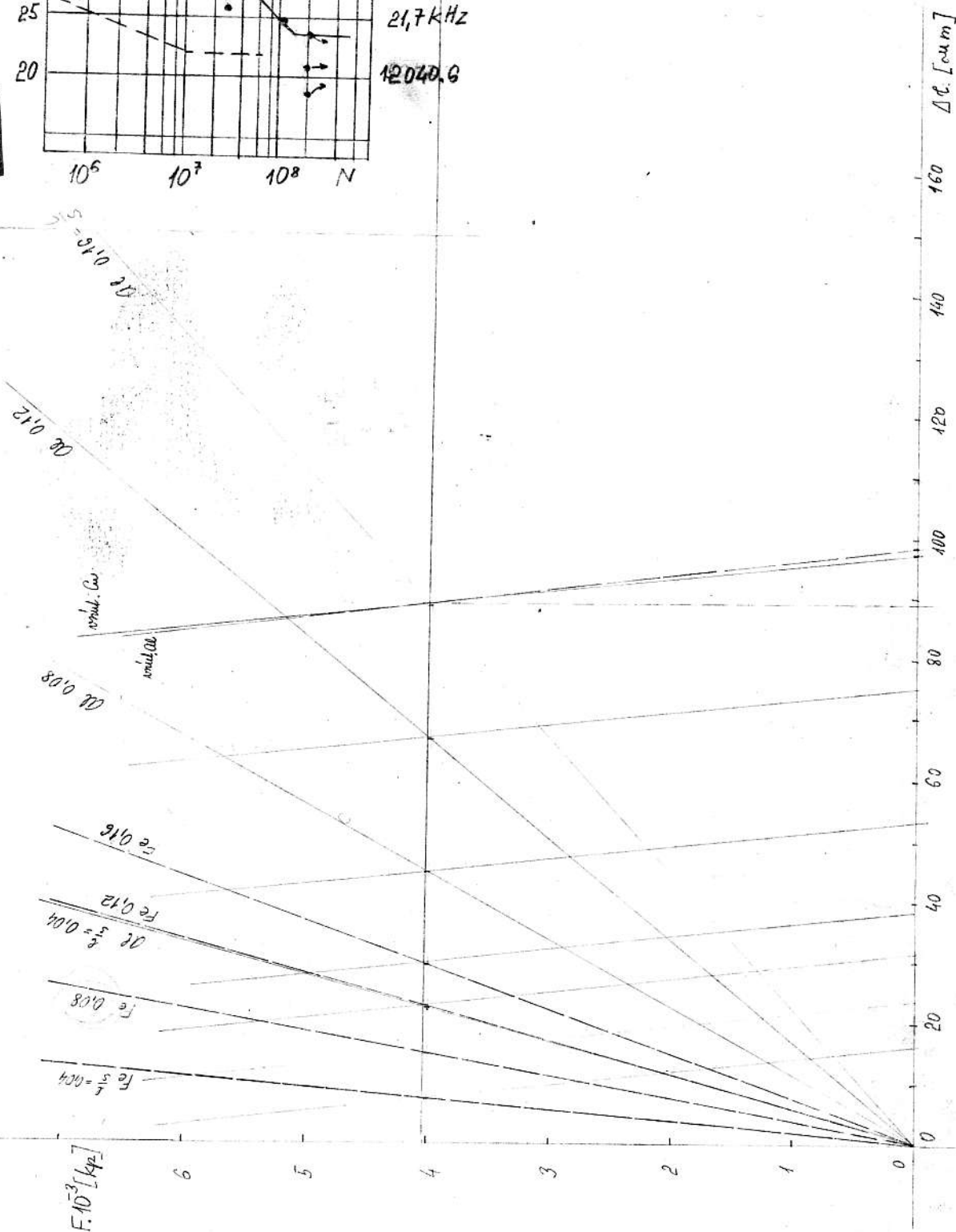


$\Rightarrow$ pri postupnem vlnen
max nat. matice:



$\rightarrow \sim 1,3A$

$\Rightarrow \sim 3 \times \uparrow \text{ nat. pri post. vln. !!!}$



Keramický:

2 KM 30

$\sigma_{pd} \approx 5000 \text{ kp/cm}^2$

čsl. — přemost. v tlaku: $4 \cdot 10^7 \text{ kp/m}^2 = 4 \cdot 10^3 \text{ kp/cm}^2$ [můj odhad $\sigma_{pe} \text{ dyn} : 348$]

stl. přem. v tahu $4 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 = 392 \cdot 10^2 \text{ kp/cm}^2$

stl. přem. v tlaku: $2,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 = 2,45 \cdot 10^3 \text{ kp/cm}^2$ [můj odhad $\sigma_{pe} \text{ dyn} : 213$]

am. ? stl. tah: $11000 \text{ psi} \hat{=} 4675 \text{ kp/cm}^2$

dyn. přem. v tahu: $6000 \text{ psi} \hat{=} 418 \text{ kp/cm}^2$

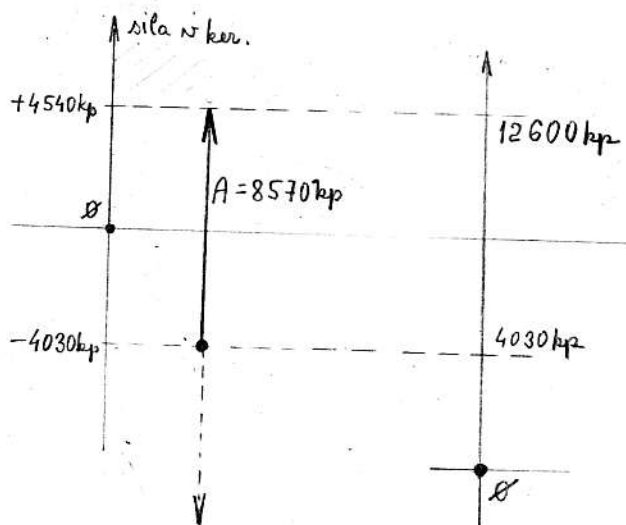
$1 \text{ lb} = 0,453595 \text{ kg}$

$1 \text{ sq. in} = 645,16 \text{ mm}^2$

$\frac{1 \text{ lb}}{1 \text{ sq. in}} = \frac{0,45 \text{ kp}}{6,45 \text{ cm}^2} = 0,0698 \text{ kp/cm}^2$

am. ? tah: $0,8 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 \hat{=} 7,85 \cdot 10^2 \text{ kp/cm}^2$

↓ Uvaž. dyn. přemost. v tahu: $400 \text{ kp/cm}^2 \Rightarrow \text{Max. síla v tahu (na ker.)} = 400 \cdot 11,35 = 4540 \text{ kp}$

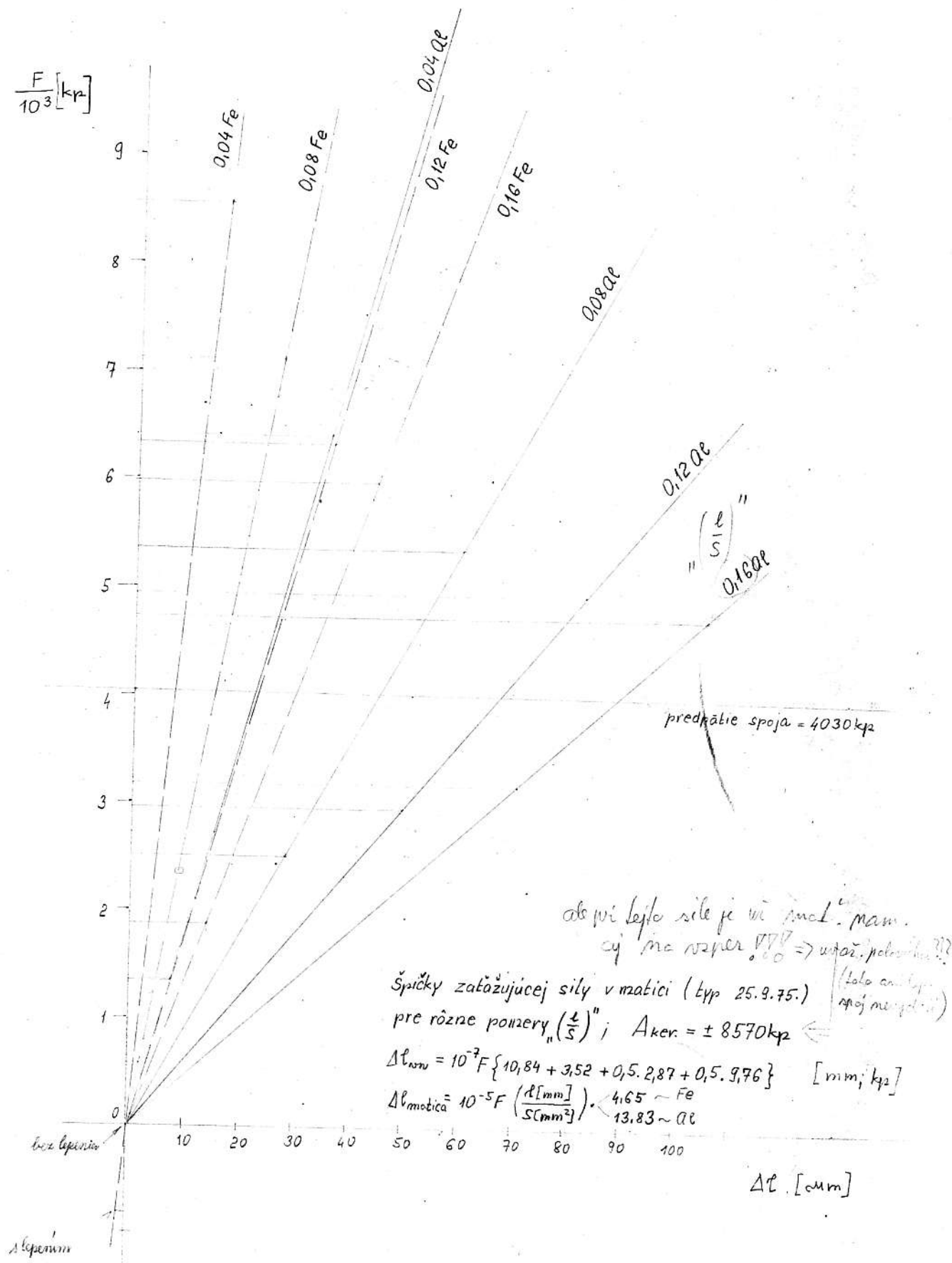


$2A_{\max} = 17140 \text{ kp}$ (do diagr. na předch. stránce)

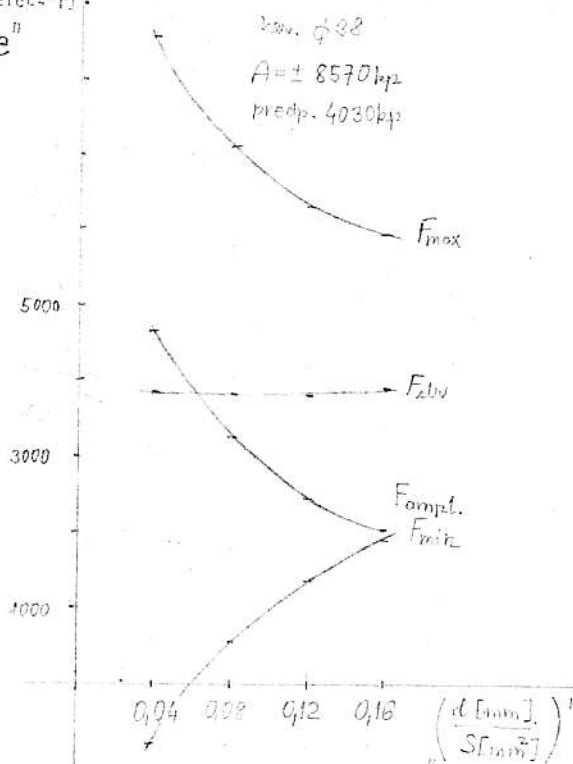
Při $-A = -8570 \text{ kp}$ hnutí ker. y se zmenší σ :

$\Delta l_1 = \frac{8570 \text{ kp} \cdot 0,6 \text{ cm}}{8 \cdot 10^5 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot 11,35 \text{ cm}^2} = \frac{5150}{90,8} \cdot 10^{-5} = 56,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm} \hat{=} 56,7 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \mu\text{m} = 5,67 \mu\text{m}$

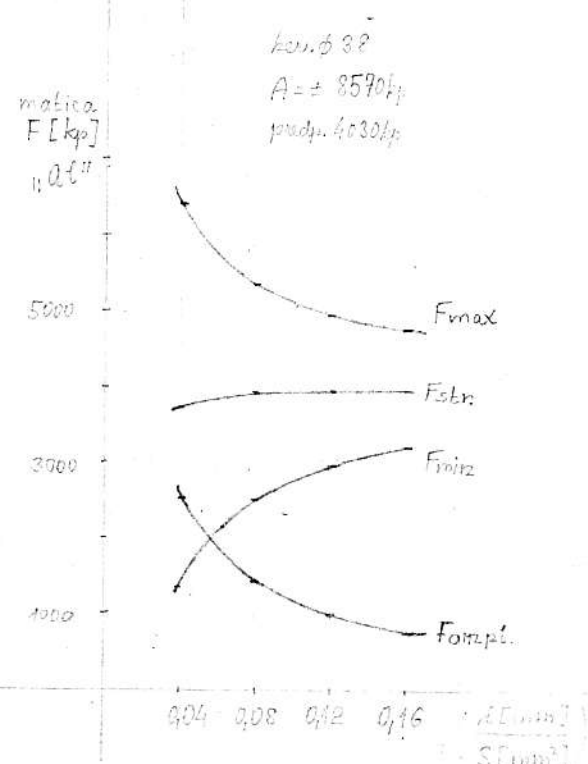
$\Delta l_k = 2\Delta l_1 = 11,34 \mu\text{m}$



$\sigma_{matice} [kp]$
"Fe"



matice
F [kp]
"Al"



↓

$$\left. \begin{aligned} F_{str}(Fe) &\approx F_{str}(Al) \\ F_{ompl}(Fe) &\approx 2 F_{ompl}(Al) \end{aligned} \right\} \text{ porovn. s výpoč. diagramem } \sigma_a = f(\sigma_m)$$

⇒ vhodný materiál pro svar. typ matice
(úroveň materiálu s rov. od $\sigma_{0.2}$; E)

v okamžiku, kdy se měří - přeměna
amplitudy a střední hodnoty při σ_a !

Orientačně pro matice s 6 díř. v hranách, v střední rovině, měřící koncentrac. napětí:

$$\sigma_{t,shr}^v = \frac{4000 \text{ kp}}{115 \text{ cm}^2} = 3478 \text{ kp/cm}^2 \quad \sim \text{ k této hodnotě pro } 10^9 \text{ cyklů se už, výpoč. "}$$

diagramu odpovídá amplituda; pro Fe:

$$\sim \sigma_a \approx 6550 \text{ kp/cm}^2,$$

podle výpočtu $\sigma_a \approx 4800 \div 2000 \text{ kp/cm}^2$

Při svar. dvojicí pevnosti sme asi "okolo hranice"

— při vnitř. otvoru $\phi 53,2^{+0,3}$ (podobná matice)

$$\sigma_{t,shr}^v \approx \frac{4000 \text{ kp}}{(1,65 \cdot 16) \cdot 6} = \frac{4000 \text{ kp}}{62,4 \text{ mm}^2} = 641 \text{ kp/mm}^2 \approx 6410 \text{ kp/cm}^2$$

matice se 8. XI. 75.

№	tepelné zpracování	$\rho \cdot 10^{-3}$ kg/m ³	$E \cdot 10^{-3}$ kp/mm ²	C výchl. tepeln. m/s	obnovný odpor kp/m ²	amp. napětí v mV/m $\sigma_{\text{нх}}$	dráh. čas pro průběh křivky $E \cdot 10^{40}$ 25
Сталь 10 12010	-	7,83	21,04	5177	40,60	4	3,5
20 12024/22	-	7,82	21,00	5174	40,60	4	5,0
40 12041	-	7,80	20,84	5168	40,31	6	5,0
	zahal. H ₂ O 820-850°C 2h map. 150°C	7,80	20,77	5118	39,67	12	3,3
	820-850 1h 520-530	7,80	20,72	5152	40,18	12	3,2
45 12050	-	7,81	20,92	5169	40,47	11	4,0
	zahal. 840-850°C 2h 150°C map.	7,81	20,36	5100	39,93	12	2,1
	- " - 1h 520-530	7,81	20,80	5157	40,34	12	2,0
50 12051	-	7,86	20,86	5151	40,52	5	5,0
	840-850°C zahal. 2h 150°C map	7,86	20,36	5099	40,06	12	1,6
	- " - 1h 520-530°C	7,86	20,65	5113	40,19	12	1,6
20X 14220	-	7,90	20,98	5155	40,78	3	4,0
12X H3A 16420 (520) nicholeg.	-	7,88	20,81	5136	40,52	7	4,5
	zah. 880-890°C 2h 150°C map	7,88	20,36	5082	40,0	10	2,0
25XHBA 16730	-	7,82	20,87	5168	40,42	3	5,0
	zah. 840-850°C 2h 150°C map.	7,82	21,04	5187	40,56	12	4,5
30X ГСА 14331	-	7,70	20,86	5206	40,10	7	3,0
	zah, olej 860-880°C 2h 120°C	7,70	20,41	5148	39,64	12	1,4
	- " - 1h 620-640°C	7,70	20,82	5200	40,04	12	1,5
1X 18H9T 17247	-	7,96	20,24	5039	40,17	5	4,4
Ti BT-1	-	4,52	11,62	5072	22,91	6	1,4
TiAl. OT-4	-	4,45	11,76	5141	22,88	6	1,8
TiAl BT-3-1	-	4,50	12,07	5178	23,29	6	1,5
BT-4	-	4,42	11,64	5130	22,69	6	2,0
BT-5	- $\sigma_c = 40+50 ?$	4,52	11,62	5070	22,92	?	1,4
Cu M2	- $\sigma_H = 80+90 ?$	8,93	13,10	3842	34,00	2	5,0
mosadze J759	-	8,50	10,0	3450	29,20	2	2,4
alum. tel. AMn	-	2,66	7,20	5200	19,20	2	3,0
("E" měření pro "σ _{нх} "...)							
		σ_{PE}	σ_{KE}	$\sigma_{\text{ch. } 10^3 \text{ s.}}$	$\sigma_{\text{sm. } 10^3 \text{ s.}}$	/ ~20°C	
12010		32-42	18	16-22	8-12		
12050		60-75	34	25-34	15-20		
12051		63-80	35	27-35	16-21		
16342		100-170	85-160	50-70	27-38		
16320 (520)		95-140	70-110	42-64	22-30		
14331		110-170	85-150	48-70	28-40		

Сини, Франгуи, Косан: Ультразвуковая шкала ГНТУМП, Москва 1962.

fy: TRA-CON, INC. - Resin Systems Division, 55 North Uxal, Medford, Massachusetts 02155, USA.

Tra-bond 2115 - míchovité, epox. lep. (vytvořeno v rámci výzkumu)

$\rho = 1,22 \text{ kg/dm}^3$

visk: 180 cps - 25°C

def. při 35°C

-70 + 100 - prac. rozs. tepl. °C

$\sigma_{PE} = 2,900 \text{ psi}$

78 Shore D

nom. predlž. 30%

roz. bod (střep. břez. / palec vrubu) 2,2

$\sigma_{PE} = 4,500 \text{ psi}$

říc. roztáhn. $\text{cm/cm/}^\circ\text{C} = 57 \cdot 10^{-6}$

diel. konst. 1 kHz při 25°C 4,8

strat. čin: 1 kHz 25°C 0,014

1 kHz 80°C 0,33

diel. perm. $V / \frac{\text{palec}}{1000} = 430$

vnit. odp. $8,7 \cdot 10^8 \text{ Ohm-cm} - 25^\circ\text{C}$

$2,4 \cdot 10^4 \text{ Ohm-cm} - 80^\circ\text{C}$

vyhrdch.: 18h - 25°C (roztah. po 72h.)

Tra-bond 2211 - pro vyz. lepidlo ($\rightarrow 190^\circ\text{C}$)

míchovité, vyz. smáčecí, - včasná kovová, dřevo, keramika.

odoln. mech. a tep. strátam, -razom, vode, O_2 , O_3 , včasn. benzinových paliv a maradit.

řed. kypelinám a alkáliím.

Tranovostarova farba, $1,21 \text{ kg/dm}^3$ - 60 ÷ 190°C def. při 145°C $\sigma_{PE} = 8000 \text{ psi} \approx 560 \text{ kp/cm}^2$

88 Shore D nom. predlž. 2,5%

roz. bod (střep. břez. / palec vrubu) 0,50

diel. konst. 1 kHz, 25°C 4,2

strat. čin. 1 kHz, 25°C 0,02

diel. perm. $V / \frac{\text{palec}}{1000} = 375$

vnit. odpor $2,5 \cdot 10^{15} \text{ Ohm-cm} / - 25^\circ\text{C}$

$\sigma_{PE} (\text{Al-Al})$ [vyhrdch. 1h/100°C] + 2h.

175°C ... 2500 psi $\approx 175 \text{ kp/cm}^2$

125°C ... 2000 ≈ 160

165 1050

(Břez. 25°C: 5h) 12h/25°C + 2h/65°C + 2h/90°C - vyhrdch.

Při predp. poruž. při 125°C. ————— + 4h/125°C.

Tra-bond 2902 - stříbro-epoxidové vodivé lepidlo. (dřevo, ker., kov, včasná pryskyřič. plastik.)

stříbrná farba, $2,5 \text{ kg/dm}^3$ 80 Shore D def. při 85°C prac. rozs. -60 + 120°C

koef. tep. rozlž. $49 \cdot 10^{-6}$ lep. vod. cel. $\text{cm/cm}^2/\text{sec}/^\circ\text{C} = 37 \cdot 10^{-4}$

vyhrdch.

vnit. odp. $\text{Ohm-cm}/25^\circ\text{C}$

$\sigma_{PE} \text{ Al-Al}$

24h/25°C

0,20

700 psi

2h/65°C

0,02

1000

1h/100°C

0,01

1500

1h/110°C

0,005

1600

Poruž. do 60 mm.

vyhrdch. 25°C - 18h ; (dřev. vyhrdch. 72h) 25°C/4 + 65°C/2h.

Tra-bond 2203 - ep. lep. pro 1 lepidlo ; křídlovitý spoj, dřevo, smáčecí.

$1,12 \text{ kg/dm}^3$ 890 cps/25°C -60 ÷ +140°C 7100 psi σ_{PE} 85 Shore D nom. predlž. 4,1%

roz. bod. / střep. břez. / palec / 405. diel. konst. 1 kHz 25°C 2,9

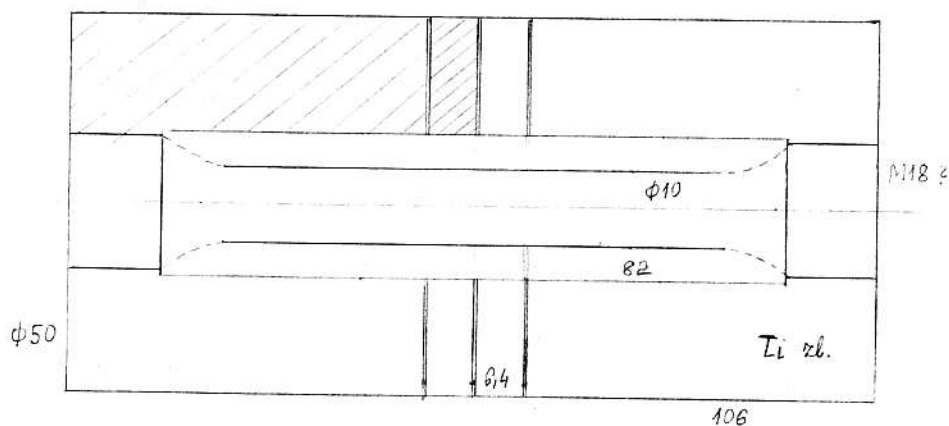
strat. čin. 1 kHz / 25°C 0,008 vnit. odp. (ohm-cm) při 25°C $1,4 \cdot 10^{14}$

150°C $9,7 \cdot 10^{11}$

Poruž. 3 dni při 25°C

65°C/2h + 115°C/8h

65°C/2h + 130°C/4h



Predpokl. úplné izolácia 1.-ho ráviku $\rightarrow$,

$$\Delta l_{kr} = \frac{82 \text{ cm} \cdot F}{E_{Ti} \cdot \pi \cdot (0,5 \text{ cm})^2}$$

$$\Delta l_{pr} = \frac{6,9 \text{ cm} \cdot F}{E_{Ti} \cdot \pi \cdot (2,5^2 - 0,96^2) \text{ cm}^2} + \frac{1,28 \text{ cm} \cdot F}{E_{ker} \cdot \pi \cdot (2,5^2 - 0,96^2) \text{ cm}^2}$$

predp $E_{ker} = 8 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$

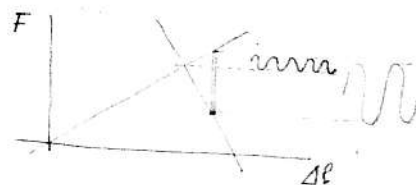
$E_{Ti} \approx 11 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$

$$\Delta l_{skr} = F [kp] \cdot \frac{8,2 \cdot 10^{-5}}{11 \cdot \pi \cdot 0,25} = F \cdot 10^{-6} \cdot \frac{82}{8,65} = 948 \cdot 10^{-6} F$$

$$\Delta l_{pr} = F \cdot \left\{ \frac{6,9 \cdot 10^{-5}}{11 \cdot \pi \cdot (6,25 - 0,92)} + \frac{1,28 \cdot 10^{-5}}{8 \cdot \pi \cdot (6,25 - 0,92)} \right\} = \frac{F \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 5,33} \left\{ \frac{6,9}{11} + \frac{1,28}{8} \right\} = \frac{F \cdot 10^{-6}}{16,73} (6,27 + 1,6) = F \cdot 10^{-6} \cdot 0,47$$

Menšie "VUKA" : $\Delta l_{malice} = F \cdot 10^{-6} \cdot \begin{matrix} 1,86 \\ 7,44 \end{matrix}$

$$\Delta l_{min} = F \cdot 10^{-6} \cdot 2,068$$



$$\frac{\Delta l_{skr}}{\Delta l_{pr}} = \frac{948 \cdot 10^{-6} F}{0,47 \cdot 10^{-6} F} = 2016$$

$$\frac{F \cdot \Delta l_{mal}}{\Delta l_{min}} = \frac{1,86 \div 7,44}{2,068} = 0,927 \div 3,7$$

↓
 " prevedenia so stredovou skrutkou je lenačne menšia amplituda dyn. sil
 so spojovacím elementom $\Rightarrow$ väčšia životnosť, väčšia spoľahlivosť, prínosnejšie "menšie"
 2) menšia pravdepodobnosť porušenia $\leftarrow$ minimálny povrch pri danej ploche! (dehliny!)

Chladicí merníci srovnání

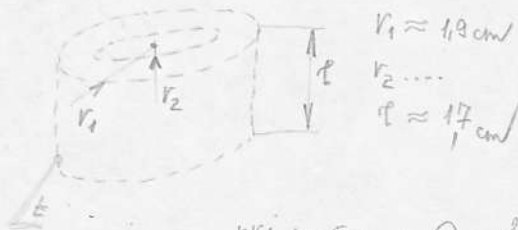
Objemová roztažnost oleje: Předp. pracovní rozsah teplot: $-10 + +60^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta t = 70^{\circ}\text{C}$

$$0 \rightarrow 60^{\circ}\text{C} \dots \Delta V_{v1} = \alpha \cdot \Delta t = (0,72 \div 0,98) \cdot 10^{-3} \cdot 60$$

$$\Delta V_{v1, \text{max}} = 588 \cdot 10^{-3} = 0,0588 \approx 0,063$$

Přesup tepla z keramiky do oleje — předp. 100 W

Teplotní vodivost oleje:



$$r_1 \approx 1,9 \text{ cm}$$

$$r_2 \dots$$

$$l \approx 1,7 \text{ cm}$$

$$Q = \frac{2\pi l \lambda \Delta t}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\lambda \approx \begin{matrix} 20^{\circ}\text{C} & 0,159 \\ 40^{\circ}\text{C} & 0,157 \\ 60^{\circ}\text{C} & 0,154 \end{matrix} \text{ W/mdeg}$$

$$\text{při } r_2 = 5 \text{ cm} : Q = \frac{2\pi \cdot 1,7 \text{ cm} \cdot (0,157 \text{ W/100 cmdeg}) \cdot (50 - 40)_{\text{deg}}}{\ln \frac{5}{1,9}}$$

$$= \frac{10,7 \text{ cm} \cdot 0,0157 \text{ W/cmdeg} \cdot 10}{\ln 2,63} = \frac{16,8}{0,967} = 1,74 \text{ W}$$

$$r_2 = 5 \text{ cm}$$

$$t = 30^{\circ}\text{C}$$

$$Q = \frac{2\pi \cdot 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 0,157 \frac{\text{W}}{\text{mdeg}} \cdot (50 - 30)_{\text{deg}}}{\ln \frac{5}{1,9}} = \frac{10,7 \cdot 10^{-2} \cdot 3,14}{0,967} \text{ W} = 0,348 \text{ W}$$

$$r_2 = 3,5 \text{ cm}$$

$$t = 40^{\circ}\text{C}$$

$$\ln \frac{3,5}{1,9} = \ln 1,842 = 0,612$$

$$Q = \frac{0,174 \cdot 0,967}{0,612}$$

$$r_2 = 3,5 \text{ cm}$$

$$t = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\ln \frac{3,5}{1,9} = 0,612$$

$$Q = \frac{0,348 \cdot 0,967}{0,612}$$

tep vod 14 260

~ 35 W/mdeg

olej - voda

~ 15 W/mdeg

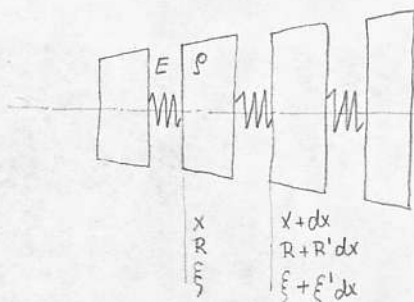
do vody ~ 320

Porobedie:	Al	Fe	ocel	Cu	sklo
Pratové č.:	0,015	0,18	0,8	1,1	5

Benzin	20°C	P 879 kg/m ³	c 1320 m/s	$\chi_0 = \rho \cdot c$
Glycerin	20	1261	1923	
Hg	20	13 551	1451	
Petrol	34	825	1295	
Tramp. olej	32	895	1425	
Trichlor-ol.	20	1477	1049	
Voda	25	997	1497	

ρ (g/cm ³)	BT	ZTO
strat. uhol 1g/% pri $E_p = 5kV/cm$	5,3	7,3
piezoelektr. konst. $d_{33} \cdot 10^{-6}$ (CGSE)	25,0	9,0
dielektr. konst. $\epsilon \pm 10\%$	3,5	8
	1400	1500
Rychl. šíření $U_z \cdot c 10^{-5} m/s$	4,15	3,17
Polarizační el. pole E_p (kV/cm)	4,5	12
mod. pružn. $E \cdot 10^{-6}$ (kp/cm ²)	1,05	0,68
Curieho teplota T_c (°C)	120	330

Máďské a transformátory vykonávající podélné kmitání. (Grup. obřeka)



silov: $F' = "m \cdot a" = \rho \cdot S \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$

$\xi' = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} = \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)$

} pro jednotkovou délku.

$\vec{E} = E_{dyn}(1 + j\epsilon)$ koef. stráž.

$(\xi' S)' = \frac{F'}{E} = \frac{1}{E} \rho \cdot S \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$

$(\xi' S)' - \frac{S}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0$ $c \sim$ kompl. rychl. podéln. vln. = $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$

Zaved. ϕ : $\xi = \frac{\phi}{R_{peru}} \cdot \cos \omega t$

pro délku: $R_{peru} = \sqrt{r_2^2 - r_1^2}$
pro horní: $R_{peru} = \sqrt{ab/\pi}$

$\frac{\partial}{\partial x} \left[\pi R^2 \left(\frac{\phi}{R} \cos \omega t \right)' \right] - \frac{\pi R^2}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{\phi}{R} \cos \omega t \right] = 0$

$\frac{\partial}{\partial x} \left[\pi R^2 \frac{\phi' R - R' \phi}{R^2} \cos \omega t \right] + \frac{\pi R^2}{c^2} \cdot \frac{\phi \omega^2}{R} \cos \omega t = 0$

$\phi'' R + \phi' R' - R'' \phi - R' \phi' + \phi \frac{\omega^2}{c^2} = 0$

$\frac{\omega}{c} = k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$\phi'' + \left(k^2 - \frac{R''}{R} \right) \phi = 0$

y^2

vln. dl. podéln. kmit.

uväč.: $R = R_0 \frac{p e^{px} + q e^{-px}}{p + q} \rightarrow$ priebeh zmeny reduk. polomeru

Exponenciálny nástroj: $q = 0 : R = R_0 \cdot e^{px}$

Katenoidálny "- : $q = p : R = R_0 \cosh(px)$

Konický "- : $p = \frac{R_0}{R_0} - e^{-px} ; q = - \left(\frac{R_0}{R_0} - e^{px} \right) : R = R_0 \left[1 + \left(\frac{R_0}{R_0} - 1 \right) \frac{x}{R} \right]$

$\frac{R''}{R} = p^2 \rightarrow \phi = A \cos x \sqrt{k^2 - v^2} + B \sin x \sqrt{k^2 - v^2} \dots k^2 > v^2$

z hraničných podmienok: $\phi_{R_0} = 0 ; \xi_{R_0} = \xi_0 ; \dots k^2 < v^2$ (skladá sa z mena, bez uhl. a km s masou!)

$\phi = \xi_0 R_0 \left[\cos x \sqrt{k^2 - v^2} + \phi_0 \sin x \sqrt{k^2 - v^2} \right] / \phi = \frac{1}{\sqrt{k^2 - v^2}} \cdot \frac{R'}{R}$

(4 stupň.) Pre exp, kat, kon. nástroje: $\phi = \frac{v}{\sqrt{k^2 - v^2}} \lg v x ; \phi_0(x=0) = 0$

$\phi = \phi_0 = \frac{v}{\sqrt{k^2 - v^2}}$

$\phi = \frac{1}{k\ell} \cdot \frac{C-1}{1+(C-1)\frac{x}{\ell}} ; \phi_0 = \frac{C-1}{k\ell}$

Namieslo C ... $N = \frac{R_0}{R_0} ; \phi_0 = 0$

120 SS 290

Rýchlosť kmilov: $v = \xi' = -\frac{\phi}{R} \sin \omega \tau$

Sila: $\xi' = \frac{1}{ES} \rightarrow F = E \pi R^2 \left(\frac{\phi}{R} \cos \omega \tau \right)' = E \pi R^2 \frac{\phi' R - R' \phi}{R^2} \cos \omega \tau = E \pi (\phi' R - R' \phi) \cos \omega \tau$

$\rightarrow$ napätie: $\sigma = \frac{F}{S} = E \left(\frac{\phi' R - R' \phi}{R^2} \right) \cos \omega \tau$

Dĺžka nástroja: $x = \ell \rightarrow F = 0 \Rightarrow \dots \phi' R - R' \phi = 0 \Rightarrow \lg(\ell \sqrt{k^2 - v^2}) = \frac{\phi_0 - \phi_\ell}{1 + \phi_0 \phi_\ell}$

Uzly: sil, napätie - zač, koniec nástroja

Kmilov, rýchlosť: $\phi = 0$ (tu $N = \dots$) $\Rightarrow \lg(\sqrt{k^2 - v^2} x_{uz. rýchle.}) = -\frac{1}{\phi_0}$

Kmitne: kmilov a rýchlosť - na koncoch nástroja [skúm. ξ : $\xi' = 0 \Rightarrow F = 0$]

sila: [skúm. F : $F' = 0 \Rightarrow \phi'' R - R'' \phi = \phi [(k^2 - v^2) R - R''] = 0 \Rightarrow$

$\lg(\sqrt{k^2 - v^2} \cdot x)_{\text{kmil. sily}} = -\frac{1}{\phi_0} \checkmark \sim$ kolísny s uzlom rýchlosti.

napätie: [skúm. σ : $\sigma' = \dots$, $R(\phi'' R - R'' \phi) = 2R'(\phi' R - R' \phi) = 0$ skúm. $\phi = \dots$]

$\lg(\sqrt{k^2 - v^2} \cdot x)_{\text{kmil. nap.}} = \frac{2\phi\phi_0 + (1+\phi_0^2 - 2\phi^2)}{2\phi_0 - 2\phi\phi_0 \frac{v^2}{k^2} - 2\phi^2 + 2\phi_0^2 \frac{v^2}{k^2} + 1} \cdot \frac{2\phi - \phi_0(1+\phi_0 - 2\phi^2)}{2\phi_0 - 2\phi\phi_0 \frac{v^2}{k^2} - 2\phi^2 + 2\phi_0^2 \frac{v^2}{k^2} + 1} / \phi = \frac{v^2}{k^2 - v^2}$

[alebo: $\dots$? Anne mi odvod.]

Koeficient transformácie:

$$M = \frac{f_0}{f_e} = \frac{v_0}{v_e}$$

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{\phi}{R} \cos \omega t \\ \phi &= f_0 R_0 [\cos \dots] \end{aligned}$$

$$M = \frac{R_e}{R_0} \frac{1}{\cos(\sqrt{k^2 - v^2} l) + \varphi_0 \sin(\sqrt{k^2 - v^2} l)}$$

$$x_{\text{vrel. rých.}} = \dots$$

$$M = \frac{R_e}{R_0} \frac{\sqrt{(1 + \varphi_0 \varphi_e)^2 + (\varphi_e - \varphi_0)^2}}{1 + \varphi_0^2}$$

Veľkosť sily v kmitoch:

$$F = \pi E (\phi' R - \dots)$$

$$x_{\text{kmit. sily}} = \dots$$

$$F_{\text{kmit.}} = \pi E \sqrt{k^2 - v^2} \sqrt{1 + \varphi_0^2} f_0 R_0 R_{\text{km. sil.}}$$

Veľkosť napätia v kmitoch:

$$\tilde{G}_{\text{kmit.}} = E \sqrt{k^2 - v^2} f_0^2 \left[\frac{R_0}{R} \cdot \frac{1 + \varphi}{2\varphi} (\cos \sqrt{k^2 - v^2} x) + \varphi_0 \sin \sqrt{k^2 - v^2} x \right]$$

Energia počas periódy:

$$dW = \pi \epsilon \tilde{G}_m \xi'_m dV$$

$$\tilde{G}_m \approx E_{\text{dyn.}} \xi'_m, \quad f = \frac{\omega}{2\pi}$$

v mäskeji

$$P_m = \int_V \frac{\epsilon}{2} \frac{\omega}{E_{\text{dyn}}} \tilde{G}_m^2 dV$$

$$\begin{aligned} \xi_m &= \xi_{m0} \cdot \cos kx \\ \tilde{G}_m &= -\xi_{m0} \cdot E_{\text{dyn.}} k \sin kx \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{pre konst. priemer!} \\ \text{slaby} \end{array} \right\}$$

Pre $\frac{1}{2}\lambda$ mäskeji ($kx=0; kl=\pi$)

$$P = \frac{\pi}{4} \epsilon (\omega f_0)^2 \rho_{\text{cnp}} (\pi R^2)$$

výchl. int.

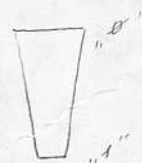
Pre výpočty radané: fázor, koef. transformácie, amпл. výchylky, rozmery výst. pier., fáz. vlastn. mat-u.
 Hľadane: rozmery, porovnanie kmitní a veľor amplitúdy napätia a výchylky, slaby energie.

Mačarov: metodika výpočtu lyčových expon. uv. koncentrátorov:

$$\text{Plocha priečného rezu } S = S_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

$$\text{Amplitúdy kmitov: } \xi_1 = \xi_0 \sqrt{\frac{S_0}{S_1}}$$

$$\text{Plaky: } p_1 = p_0 \sqrt{\frac{S_0}{S_1}}$$



$$f > f_{\text{krit}} = \frac{\alpha \cdot c}{4\pi} \quad \left| c \sim \text{výchl. rozuku. v kyči} \right.$$

Výchl. rozuku v exp.:

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\alpha c}{4\pi f}\right)^2}} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{f_k^2}{f^2}}} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_k^2}{\omega^2}}}$$

$$\begin{aligned} \omega_k &= 2\pi f_k = \frac{\alpha c}{2} \\ \omega &= 2\pi f \end{aligned}$$

Koef. rozšírenia:

$$k = \frac{p_1}{p_0} = \frac{\xi_1}{\xi_0} = \sqrt{\frac{S_0}{S_1}}$$

$$S_1 = S_0 \cdot e^{-\alpha l}$$

$$\frac{S_0}{S_1} = k^2 = e^{\alpha l}$$

$$\rightarrow 2 \ln k = \alpha l \rightarrow \alpha = \frac{2 \ln k}{l}$$

Geom. dĺžka:

$$l = m \cdot \lambda = m \cdot \frac{v}{f} = \frac{m \cdot 2\pi v}{\omega}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\omega^2 - \omega_k^2}}$$

$$l = \frac{m \cdot 2\pi}{\omega} \cdot \frac{\omega c}{\sqrt{\omega^2 - \omega_k^2}} = \frac{2\pi m c}{\sqrt{\omega^2 - \omega_k^2}} \rightarrow$$

$$\omega^2 - \omega_k^2 = \frac{4\pi^2 m^2 c^2}{l^2}$$

$$\omega_k^2 = \omega^2 - \frac{4\pi^2 m^2 c^2}{l^2}$$

$$\omega_k^2 = \frac{c^2 (\ln k)^2}{l^2} \quad \left. \vphantom{\omega_k^2} \right\} \rightarrow \eta^2 = \frac{c^2 [(\ln k)^2 + 4\pi^2 m^2]}{\omega^2}$$

$$\eta = n \frac{c}{f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln k}{2\pi m} \right)^2}$$

$= 1$ (pre 2x polovlnovú dĺžku)

Kmity v fkr. - sa meria

Akčná plocha vstupného odporu exp. (pre podupm. vlnu):

$$Re Z_{\text{vst.}} = S_0 \rho c \sqrt{1 - \frac{\omega_k^2}{\omega^2}} = S_0 \rho c \sqrt{1 - \frac{\alpha^2 c^2}{16\pi^2 f^2}} \quad / \quad P - \text{ hustota}$$

$\Downarrow$

m. $f \geq 1.5 f_k$: vst. odpor exp. sa nelíš od vst. odporu vedenia, ohnisk. plochou < 25%, čo bežne vyhovuje.

Krakový expon. koncentrátor

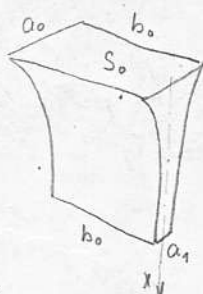
$1/2\lambda$

$$D = D_0 e^{-\beta x} \quad | \quad S \approx D^2, \quad S_0 \approx D_0^2 \rightarrow \beta = \frac{\alpha}{2} = \frac{\ln k}{\eta}$$

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{\alpha}{2} x} \quad \text{alebo} \quad S = S_0 e^{-2\beta x} \quad \rightarrow k = \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} = \frac{D_0}{D_1}$$

$$\text{pre } m = \frac{1}{2} : \quad \eta = \frac{c}{2f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln k}{\pi} \right)^2}$$

Exp. koncentra. obdĺh. praveku

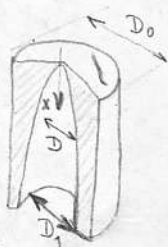


$$S = a_0 b_0 e^{-\alpha x} \quad a = a_0 e^{-\alpha x} \quad k = \sqrt{\frac{a_0}{a_1}}$$

$$\eta = n \frac{c}{f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln k}{2\pi m} \right)^2} \quad \alpha = \frac{2 \ln k}{l} \quad f \geq 1.5 \frac{\alpha c}{4\pi}$$

platia aj $\downarrow$

Valcovitý konc. s vln. vybraním



$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_1^2) & S_0 &= \frac{\pi D_0^2}{4} \\ S_1 &= \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_1^2) \end{aligned} \right\} k = \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} = \sqrt{\frac{D_0^2}{D_0^2 - D_1^2}}$$

$$S = \frac{\pi D_0^2}{4} e^{-\alpha x} = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_1^2) \rightarrow D = D_0 \sqrt{1 - e^{-\alpha x}}$$

St. 152: Dif. rovnice fyz. systém a vlnový odpor, měnící se podle expon. zákona.

- postupná změna průřezu rezu.

Změna síly na úseku dx : $dF_m = \dot{F}_m (R_1 + i\omega m_1) dx \rightarrow \frac{dF_m}{dx} = \dot{F}_m (R_1 + i\omega m_1)$

Změna rychlosti: $d\dot{F}_m = F_m i\omega C_1 dx$
 $C_1 = \frac{1}{ES}$

$\frac{d\dot{F}_m}{dx} = F_m i\omega C_1$
 $\frac{d^2 \dot{F}_m}{dx^2} = \frac{dF_m}{dx} \cdot i\omega C_1 + F_m \frac{d(i\omega C_1)}{dx}$

$\frac{d^2 \dot{F}_m}{dx^2} - \dot{F}_m (R_1 + i\omega m_1) \cdot i\omega C_1 - \frac{d\dot{F}_m}{dx} \cdot \frac{1}{i\omega C_1} \cdot \frac{d(i\omega C_1)}{dx} = 0$

$\frac{d^2 \dot{F}_m}{dx^2} - \frac{d\dot{F}_m}{dx} \cdot \frac{d}{dx} (\ln i\omega C_1) - \dot{F}_m (R_1 + i\omega m_1) i\omega C_1 = 0$

ozn.: $\sqrt{(R_1 + i\omega m_1) i\omega C_1} = \beta + \alpha i = \gamma$
 $\sqrt{\frac{R_1 + i\omega m_1}{i\omega C_1}} = \omega_0'$

$\frac{d^2 \dot{F}_m}{dx^2} + \frac{d\dot{F}_m}{dx} \frac{d}{dx} \left(\ln \frac{\omega_0'}{\gamma} \right) - \dot{F}_m \cdot \gamma^2 = 0$

Uděl $\gamma = \text{konst}$ pro každý rez, a $\omega_0' = \omega_{0e}' \cdot e^{bx}$ | ω_{0e}' - vlnový odpor při úzkém konci fyzik. systému.

protože $\frac{d}{dx} [\ln(\omega_0' \gamma)]$ a $\frac{d}{dx} (\ln \frac{\omega_0'}{\gamma})$ sú konstantné, rovné b .

při rovnoměrném přechodu $P = \text{konst}$, $E = \text{konst}$.

$S = S_e = e^{bx}$

Při $\omega m_1 \gg R_1$: $\alpha = \frac{\omega}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{R_1}{\omega m_1} \right)^2} \right]}$; $\beta = \frac{R_1}{2\omega_0}$

Na základě předch.: $\frac{d^2 \dot{F}_m}{dx^2} + b \frac{d\dot{F}_m}{dx} - \gamma^2 \dot{F}_m = 0$

Charakt. rovn.: $k^2 + b k - \gamma^2 = 0 \Rightarrow k_{1,2}$

Riešení dif. rovn.: $\dot{F}_m = A_1 e^{k_1 x} + B_2 e^{k_2 x}$

$\dot{F}_m = e^{-\frac{b}{2} x} \left[A_2 e^{x \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2}} + B_2 e^{-x \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2}} \right]$

(V.12)

analogicky: $\frac{d^2 F_m}{dx^2} - \frac{dF_m}{dx} \cdot \frac{d}{dx} [\ln(R_1 + i\omega m_1)] - F_m (R_1 + i\omega m_1) i\omega C_1 = 0$

30

$$\frac{d^2 F_m}{dx^2} - \frac{dF_m}{dx} \cdot \frac{d}{dx} [\ln(\omega_0 \gamma)] - F_m \gamma^2 = 0$$

$$\frac{d^2 F_m}{dx^2} - b \frac{dF_m}{dx} - \gamma^2 F_m = 0 \quad \left| \quad k^2 - bk - \gamma^2 = 0 \Rightarrow k_{1,2} \right.$$

$$F_m = A_1 e^{k_1 x} + B_1 e^{k_2 x}$$

$$F_m = e^{\frac{b}{2} x} \left[A_1 e^{x \sqrt{\gamma^2 + (\frac{b}{2})^2}} + B_1 e^{-x \sqrt{\gamma^2 + (\frac{b}{2})^2}} \right]$$

Do dos. $F_m, \dot{\xi}_m$ do vŕch. rovníc $\rightarrow$ závislosť A_1, A_2 a B_1, B_2

$$A_2 = A_1 \left[\frac{b}{2\gamma} + \sqrt{1 + \left(\frac{b}{2\gamma}\right)^2} \right] \frac{1}{\omega_0 \epsilon}$$

$$B_2 = B_1 \left[\frac{b}{2\gamma} - \sqrt{1 + \left(\frac{b}{2\gamma}\right)^2} \right] \frac{1}{\omega_0 \epsilon}$$

Prí $x=0$: $F_m = F_{m0}$
 $\dot{\xi}_m = \dot{\xi}_{m0} = \frac{F_{m0}}{Z_H}$ / Z_H - impedancia

$\Downarrow$

$$A_1 = \frac{F_{m0} \left[-\frac{b}{2} + \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \right] + \dot{\xi}_{m0} \gamma \omega_0 \epsilon}{2 \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}$$

$$B_1 = \frac{F_{m0} \left[\frac{b}{2} + \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \right] - \dot{\xi}_{m0} \gamma \omega_0 \epsilon}{2 \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}$$

$$e^{\frac{b}{2} x} = \sqrt{\frac{\omega_0}{\omega_0 \epsilon}}$$

$\rightarrow$ exp. sústava, ako transformátor síl i rýchlostí.

$$\frac{d^2 \dot{\xi}_m}{dx^2} - \frac{d\dot{\xi}_m}{dx} \cdot \frac{d}{dx} (\ln i\omega C_1) - \dot{\xi}_m (R_1 + i\omega m_1) i\omega C_1 = 0$$

$$\frac{1}{i\omega C_1} \frac{d(i\omega C_1)}{dx} = \frac{1}{C_1} \frac{dC_1}{dx} = -\frac{1}{S} \frac{dS}{dx}$$

prí $\omega m_1 \gg R_1$: $\dot{\xi}_m (R_1 + i\omega m_1) i\omega C_1 \approx -\dot{\xi}_m \omega^2 C_1 m_1$

$$N = \sqrt{\frac{FS}{S \cdot S \cdot 1}} = \frac{1}{\sqrt{C_1 m_1}} \rightarrow -\dot{\xi}_m \omega^2 C_1 m_1 = -\dot{\xi}_m \cdot \frac{\omega^2}{N^2}$$

$\Downarrow$
 Vŕnová rovnica: $\frac{d^2 \dot{\xi}_m}{dx^2} + \frac{d\dot{\xi}_m}{dx} \frac{1}{S} \frac{dS}{dx} + \frac{\omega^2}{N^2} \dot{\xi}_m = 0$

Prí malé straty: $\beta \ll 1$

Fázová rychlost šíření se průměrných limitů v exp. typ. systému.

Způsob. (V.12) [předch. sl.], s rovn. pro neexp. systém:

$$\beta' = \sqrt{\gamma^2 + \left(\frac{b}{2d}\right)^2} = \beta' + i\alpha'$$

Nahrad. γ , i předp. $\beta \ll \alpha$:

$$\beta' = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \left(\frac{b}{2d}\right)^2}}$$

$$\alpha' = \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{b}{2d}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\omega}{v} \\ \beta &= \frac{R_1}{2\omega\beta_0} \end{aligned}$$

$$\beta' = \frac{R_1}{2\omega\beta_0} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{b^2\omega^2}{4\omega^2}}}$$

$$\alpha' = \frac{\omega}{v} \sqrt{1 - \frac{b^2\omega^2}{4\omega^2}}$$

$$\kappa' = \frac{\kappa}{\sqrt{1 - \frac{b^2\omega^2}{4\omega^2}}}$$

$\kappa \sim$ rychl. šíř. se vln (průměrných) v odhán. prostředí

$\kappa' \sim$ fázová rychl. šíř. vln v exp. přet. systému.

$$f_{exp} = \frac{\kappa}{2\ell \sqrt{1 - \frac{b^2\omega^2}{4\omega^2}}}$$

$$\frac{b^2\omega^2}{4\omega^2} < 1 \Rightarrow f > \frac{b\omega}{4\pi} \quad \text{podmínka správnosti rovnice.}$$

[Dále $d_0 \leq \lambda/2$]

Vlnová rovn. z předch. sl. může být psána: $\hat{f}_m = e^{-\frac{b}{2}x} [A_2 e^{(\beta' + i\alpha')x} + B_2 e^{-(\beta' + i\alpha')x}]$ / $\beta' \ll \alpha'$

$$\hat{f}_m = e^{-\frac{b}{2}x} (A_2 e^{i\alpha'x} + B_2 e^{-i\alpha'x}) = e^{-\frac{b}{2}x} \left(A_2 e^{i\frac{\omega}{v}x} + B_2 e^{-i\frac{\omega}{v}x} \right)$$

v trigon. formě: $\hat{f}_m = e^{-\frac{b}{2}x} \left(A_2 \cos \frac{\omega}{v}x + B_2 \sin \frac{\omega}{v}x \right)$

Podmínky přizpůsobování exp. přet. systém.

- aby odražené vlny se navzájem kompenzovaly, a ost. člen postupná vlna.

H odstraňování odrazů - zátěž. se systémem na daný odpor (reaktiv).

$$Z_{nat.} = \frac{\omega_0 \ell}{-i\frac{b}{2d} + \sqrt{1 - \left(\frac{b}{2d}\right)^2}}$$

vln. odpor u konce vln.
(oproti měřiču!)

Když $\frac{b}{2d} \ll 1$ (při relat. malé šířce prvků, nebo dost. vysoké frekv.) : $Z_{nat.} \approx \omega_0 \ell = R_{nat.}$

Poloha vstupních limitů rychlosti, pro exp. systém (měří na širokém konci)

$$\hat{f}_m = e^{-\frac{b}{2}x} \left(A_2 \cos \frac{\omega}{v}x + B_2 \sin \frac{\omega}{v}x \right)$$

při $x=0$: $\hat{f}_m = \hat{f}_{m0} = A_2$

$$\left| \frac{d\hat{f}_m}{dx} \right|_{x=\ell} = 0 = \frac{b}{2} e^{-\frac{b}{2}x} [A_2 \cos \frac{\omega}{v}x + B_2 \sin \frac{\omega}{v}x] + e^{-\frac{b}{2}x} [-A_2 \frac{\omega}{v} \sin \frac{\omega}{v}x + B_2 \frac{\omega}{v} \cos \frac{\omega}{v}x]$$

$x=\ell$; $\ell = \frac{\kappa'}{2f} = \frac{\kappa'}{\omega} \pi \Rightarrow B_2 = A_2 \frac{b}{2} \frac{\kappa'}{\omega} = -\hat{f}_{m0} \frac{\kappa' b}{2\omega} = \hat{f}_{m0} \cdot \frac{b\ell}{2\ell}$

Pre uhol rýchlosti: $\dot{\xi}_{m0} e^{\frac{b}{2}x} \left[\cos \frac{\omega}{v} x - \frac{b\ell}{2\pi} \sin \frac{\omega}{v} x \right] = 0$

31

$$\downarrow \cotg \left(\frac{\omega}{v} x_{w0} \right) = \frac{b\ell}{2\pi} \quad / \quad \omega = \frac{\pi v}{\ell}$$

$$\cotg \frac{\pi}{\ell} x_{w0} = \frac{b\ell}{2\pi} \quad / \quad \frac{b\ell}{2\pi} = \frac{1}{\pi} \cdot \ln \frac{d_0}{d\ell}$$

Prispôbovací členy

- odstránenie odrazových efektov energie pri postupnej vlně, pri stojatých vlnách,
- max. odraz vo vybranom mieste $\Rightarrow$ max. amplit. rýchlosti kmitov.

1. meduzlákľé prispôbov. telesá

Ampl. rýchlosti kmitov v kataláži (na vchode): $\dot{\xi}_{m0} = \frac{F_m}{Z_H + Z_1}$

Výkon v kataláži: $P_m = \frac{1}{2} \dot{\xi}_{m0}^2 Z_m$

F_m - amplit. kmit. sily generátora kmitov.
 Z_1 - jeho vnút. odpor
 Z_m - vn. odpor kataláže.

Obyčajne: $Z_1 = R_1 + iX_1$
 $Z_m = R_m + iX_m$

Aktivná reakcia výhonu:

$$P = \frac{1}{2} \frac{F_m^2 R_H}{(R_1 + R_m)^2 + (X_1 + X_m)^2}$$

Max. energie: $\frac{dP}{dX_m} = 0 \Rightarrow X_m = -X_1 \Rightarrow$ keď reaktancia reaktor je inercion. charakteru, kataláž má malú reaktanciu prúvneho ch. u.

$\frac{dP}{dR_m} = 0 \Rightarrow R_m = R_1 \Rightarrow$ aktívne odpory reaktor i kataláže ... rovnaké!

Nerovnomerné prúv. systavy - ako prispôbov. člen.

Expon.: $S_x = S_0 e^{bx}$

$R_{\text{tech}} = e^{b\ell} Z'_{\text{vst}}$ | Z'_{vst} vn. odpor rovnomerných sústav (bez krenia); s vln. odp. $w_0 e$; $w' = \frac{w}{\sqrt{1 - \frac{b^2 w^2}{4\omega^2}}}$ kde je vln. kataláž.

Nenastavený prispôbovací člen

Aktivná reakcia kataláženia R_m má byť transformovaná v kač. prispôbov. člena - na odpor. vn. odpor prispôbov. člena: $R_m = w_0 \ell$; a $w_0 \ell = R_m \cdot e^{b\ell} \Rightarrow b\ell = \ln \frac{w_0 \ell}{R_m}$ } vzm. postup. vlna.

$b < \frac{4\pi f}{v}$ ~ ako pre vs. exp. systavy. Keď $Z_{\text{vstup}} \neq w_0 \ell$ (odp. 1. prispôbov. člena); vln. odpor. druhého člena (prisp.) $= w_0 \ell$, a je daný koef. odrazu: $\rho = 0,04 \frac{\lambda}{|F|} \left| \ln \frac{w_0 \ell}{w_0 \ell} \right| \rightarrow$

$b_{\text{minimum}} = \frac{\ln \frac{w_0 \ell}{w_0 \ell} |KF|}{0,04 \lambda \left| \ln \frac{w_0 \ell}{w_0 \ell} \right|}$

Uhlňkový prispôs. člen

$$Z_{\text{vst.}} = e^{b\ell} \cdot Z_{\text{vst.}}' \quad \left| \begin{array}{l} Z_{\text{vst.}}' \sim \text{vstupný odpor jednotovej sústavy bez strát,} \\ \text{a vlnovým odporom } W_{0e}. \end{array} \right.$$

$$Z_{\text{vst.}}' = \frac{W_{0e}^2}{W_{02}} \quad \left| \begin{array}{l} W_{0e} \sim \text{vln. odpor meniča; } \ell = \frac{\lambda}{4} \\ W_{02} \sim \text{vln. odpor druhého prispôs. členu.} \end{array} \right.$$

$$\downarrow$$

pre $\frac{1}{4}$ vln. expon. prispôs. člen: $Z_{\text{vst.}} = \frac{W_{0e}^2}{W_{02}} e^{b\ell}$

$$\left. \begin{array}{l} Z_{\text{vst.}} = W_{01} \sim \text{vln. odp. 1. členu} \end{array} \right\} \Rightarrow W_{0e} e^{\frac{b\ell}{2}} = \sqrt{W_{01} \cdot W_{02}}$$

Dáva väčšie možnosti, ako „rovnorodý“ prispôs. člen.

Robtný prispôs. člen

pre exp.: $Z_{\text{vst.}} = e^{b\ell} \cdot Z_{\text{vst.}}'$

$$\frac{W_{01}}{W_{02}} = e^{b\ell} \rightarrow b\ell = \ln \frac{W_{01}}{W_{02}}$$

Koncentrátory

Výkony: $P_{\text{vst.}} = P_{\text{vyst.}}$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{S}_{m1}^2 \frac{R_{\text{vst.}}}{2} = \dot{S}_{m2}^2 \frac{R_{\text{vst.}}'}{2} \\ \text{Pre exp. prispôs.: } \frac{R_{\text{vst.}}}{R_{\text{vst.}}} = \frac{S_1}{S_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\dot{S}_{m2}}{\dot{S}_{m1}} = \frac{\dot{S}_{m2}}{\dot{S}_{m1}} = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} = \frac{F_{m1}}{F_{m2}}$$

Intenzita (výkon/cm²) na úzkom konci: $I_2 = \frac{S_1}{S_2} I_1$

Pre kruhové prierezy: pretransformovaný odpor rozťaženia — ku začiatku koncentrátora:

$$R_{\text{tr}}' = R_{\text{tr}} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad \sim \text{nie je väzbané s vlnovým odporom.}$$

$$\alpha = \frac{N}{2f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln \frac{d_1}{d_2}}{\pi} \right)^2} \quad b = \frac{2}{\ell} \ln \frac{d_1}{d_2} \quad \ln \frac{d_1}{d_2} < \ell \frac{2\pi}{\lambda} f \Rightarrow \text{krit. fr. } \lambda = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

má byť splnené: $d_1 < \frac{\lambda}{2}$

Uhol šírenia: $x_0 = \frac{\ell}{\pi} \operatorname{arccotg} \left(\frac{1}{\pi} \ln \frac{d_1}{d_2} \right) \quad \left| \begin{array}{l} x_0 - \text{od svis. konca.} \end{array} \right.$