

MERILNI SISTEMI IN ELEMENTI

1. NAMEN VAJE

Predstavitev elementov merilnih sistemov, karakteristik elementov ter njihovo povezovanje v merilni sistem.

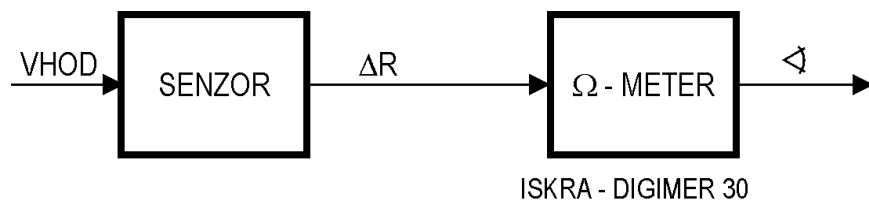
2. CILJI VAJE

- predstavitev primarnih senzorjev, ojačevalcev katerih ohmska upornost se spreminja s spremembo merjene veličine (fotocelica, magnetorezistor, termopur, fotodioda);
- merilni sistem za merjenje poti (LVDT, ojačevalnik z nosilno frekvenco, x-t pisalnik). Praktični primer: merjenje lastne frekvence mehanskega sistema **masa-vzmet-dušilka** in poenostavljen način določanja občutljivosti;
- spoznavanje filtrov – vrste, princip delovanja in vloga filtrov;
- merilni sistem za merjenje hitrosti translacijskih nihanj (seizmični senzor z vgrajenim hitrostnim senzorjem na osnovi elektrodinamičnega principa, osciloskop). Praktični primer: merjenje hitrosti nihanj na objektu-mizi;
- eksperimentalno preverjanje obremenilnega efekta na potenciometru;
- prikaz delovanja digitalnega osciloscopa.

Poudarek pri vseh točkah vaje je na statičnih in dinamičnih karakteristikah elementov, modifikacijskih in motilnih vplivih, ter na zahtevah pri povezovanju elementov, ki so značilni za posamezne konkretne primere.

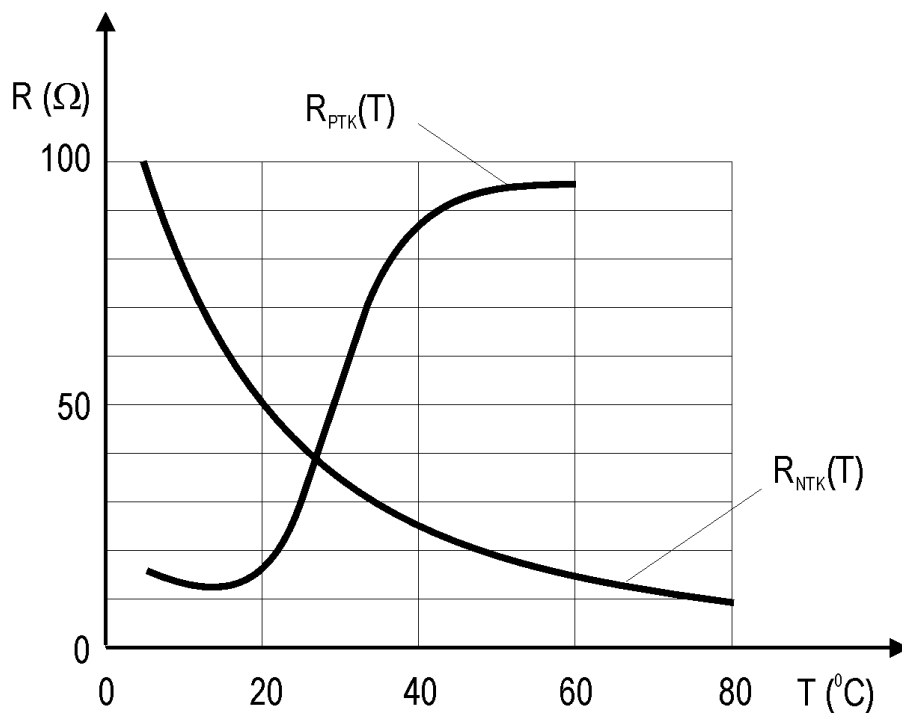
DEMO 1: SENZORJI NA PRINCIPU SPREMEMBE OHMSKE (Ω) UPORNOSTI

Opis: Seznanitev s senzorji, katerim se spreminja ohmska upornost na podlagi vhodnega fizikalnega vpliva (svetlobe, sile,...).



- FOTOUPOP (foto celica)
- FOTODIODA
- TERMOUPPOR (termoresistor)
- MAGNETORESISTOR

Slika 1: Blokovna shema enostavnega merilnega sistema

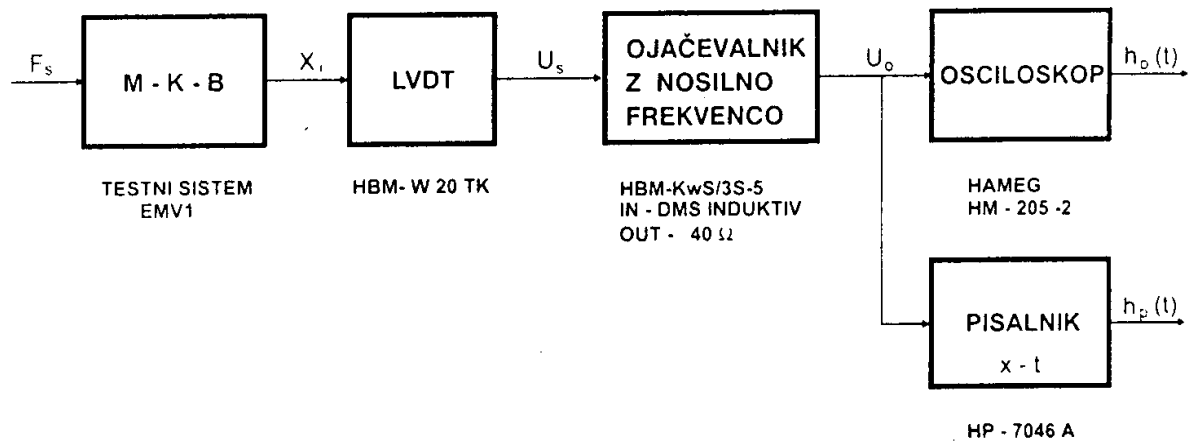


- Legenda:
- $R_{PTK}(T)$ – karakteristika elementa s pozitivnim temp. koeficientim
 - $R_{NTK}(T)$ – karakteristika elementa z negativnim temp. koeficientim

Slika 2: Diagram: karakteristike različnih temperaturnih koeficientov

DEMO 2: MERJENJE LASTNE FREKVENCE MEHANSKEGA SISTEMA: MASA – VZMET – DUŠILKA

Opis: Sistem masa – vzmet – dušilka (M – K – B) se vzbuja z zunanjim impulzom. Eksperimentalno je potrebno določiti lastno frekvenco, koeficient dušenja in koeficient ojačanja merilnega sistema.



Slika 3: Blokovna shema sistema za eksperimentalno merjenje lastne frekvence

Določi lastno frekvenco sistema M – K – B f_n

Določi koeficient dušenja sistema ζ

Določi ojačanje merilnega sistema K_{MS}

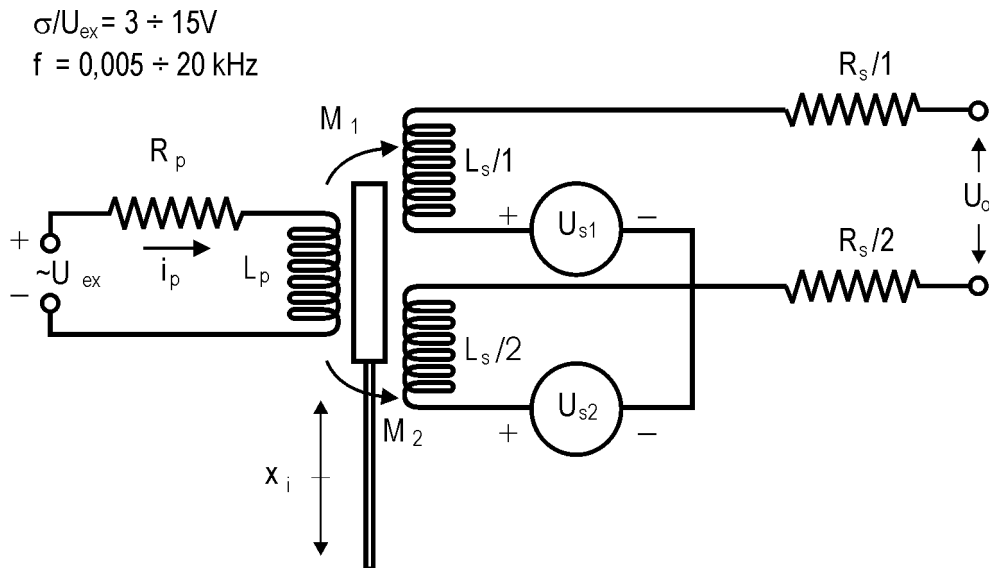
$$f_n = \frac{1}{T}$$

$$\zeta \cong \frac{\ln \frac{x_p}{x_{p+1}}}{2\pi}$$

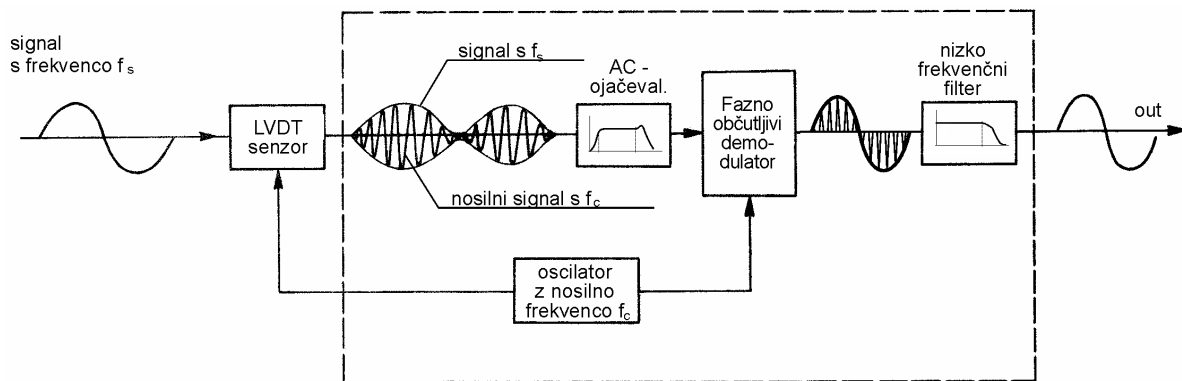
$$K_{MS} = \frac{l_0}{x_i}$$

Prediskutiraj frekvenčne pasove elementov merilnega sistema!

$$f_c = \sqrt{\frac{a_{dop}}{x_i}} \text{ (LVDT)} \quad ; \quad f_c \approx 0.25 f_n \text{ (ojacevalnik)} \quad ; \quad f_c \approx 3 \dots 5 \text{ Hz (pisalnik)}$$



Slika 4: Princip delovanja LVDT

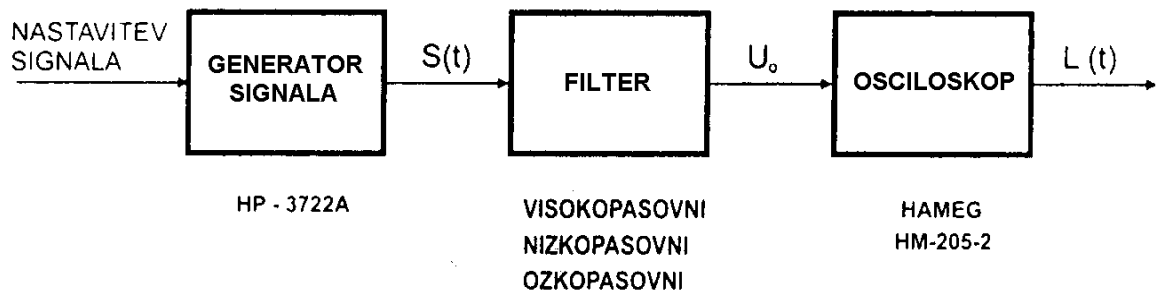


Tipična nosilna frekvenca $f_c = 2, 5, 10, 50 \text{ kHz}$

Slika 5: Princip delovanja ojačevalnika z nosilno frekvenco (ONF)

DEMO 3: LASTNOSTI IN UPORABA FILTROV

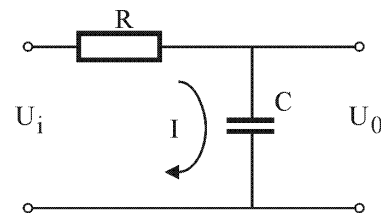
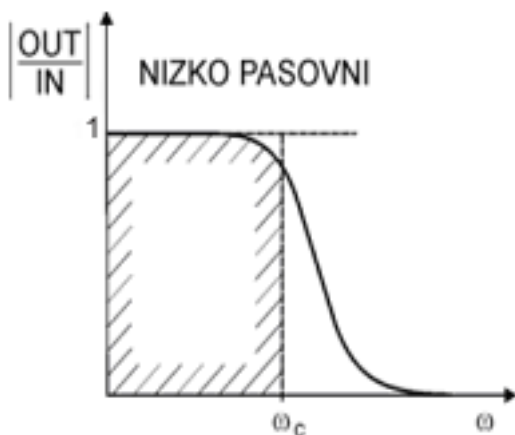
Opis: Seznanitev s filtri - osnovne in sestavljene izvedbe filtrov. Demonstracija delovanja filtrov na preprostem primeru.



Slika 6: Blokovna shema sistema za prikaz delovanja filtrov

Osnovne izvedbe filtrov

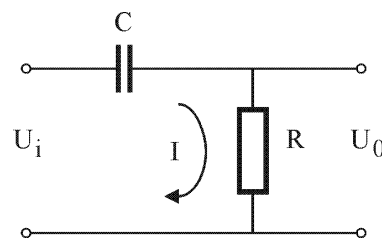
1. karakteristika in zgradba nizkopasovnega filtra (NP)



$$\omega_c = \frac{1}{\tau} ; \quad f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} ; \quad \tau = R \cdot C$$

$$R = 50\text{k}\Omega , \quad C = 22\text{nF} , \quad f_c \cong 145\text{Hz}$$

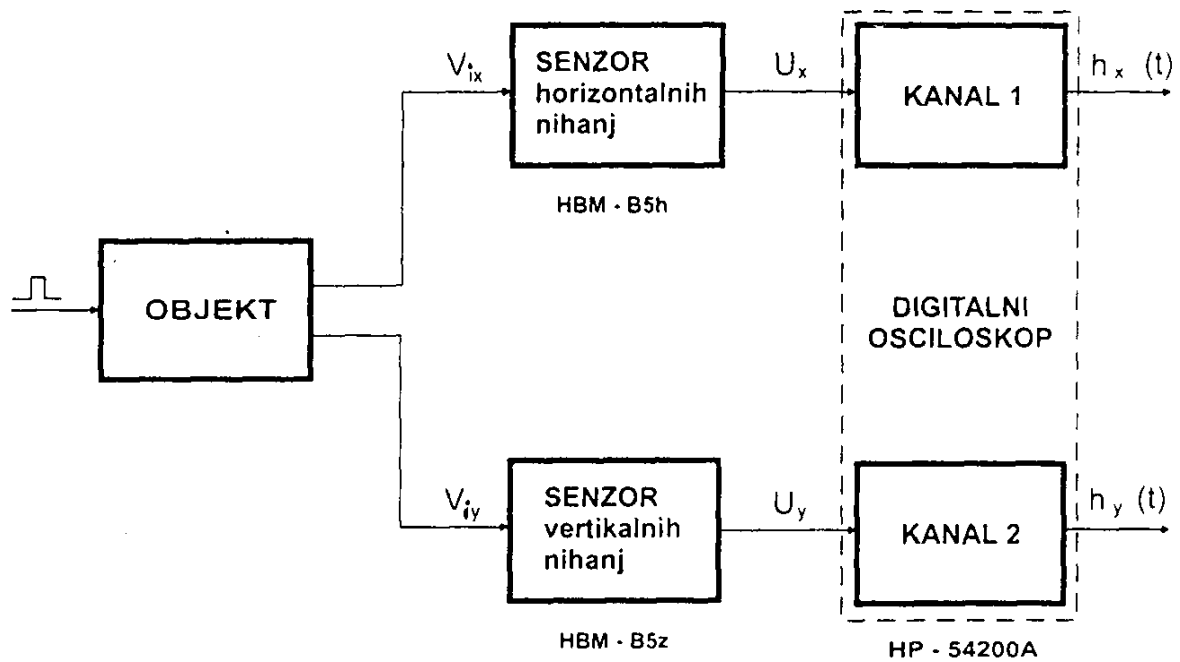
2. karakteristika in zgradba visokopasovnega filter (VP)



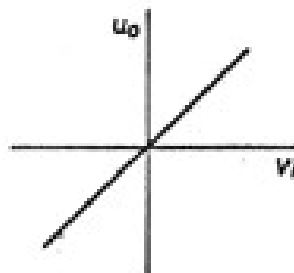
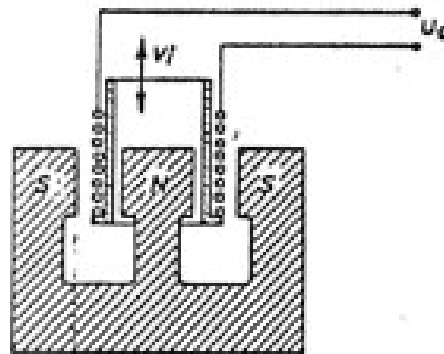
$$R = 10\text{k}\Omega , \quad C = 22\text{nF} , \quad f_c \cong 725\text{Hz}$$

DEMO 4: MERJENJE HITROSTI NIHANJ

Opis: Merjenje hitrosti nihanj sistema. Predstavitev seizmičnih senzorjev. Primer merjenja lastne frekvenca testnega objekta.



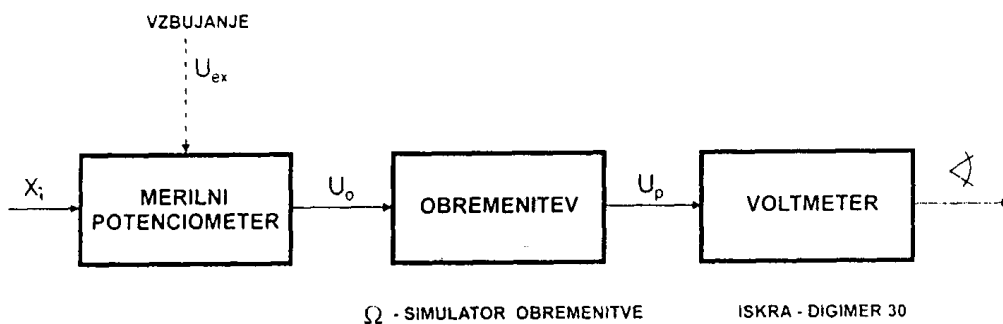
Slika 7: Blokovna shema sistema za merjenje hitrosti nihanj



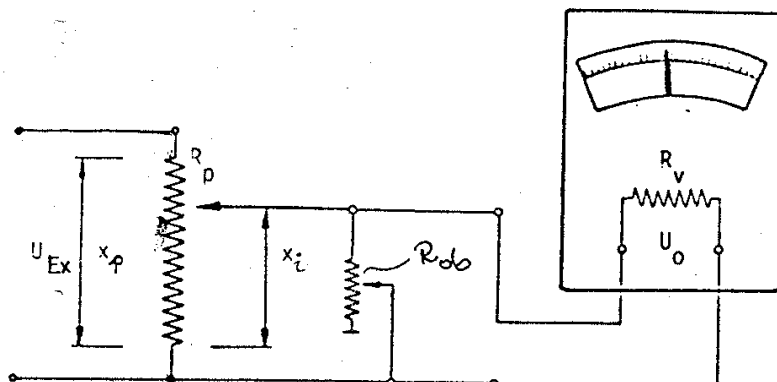
Slika 8: Hitrostni induktivni senzor

DEMO 5: OBREMENILNI EFEKT

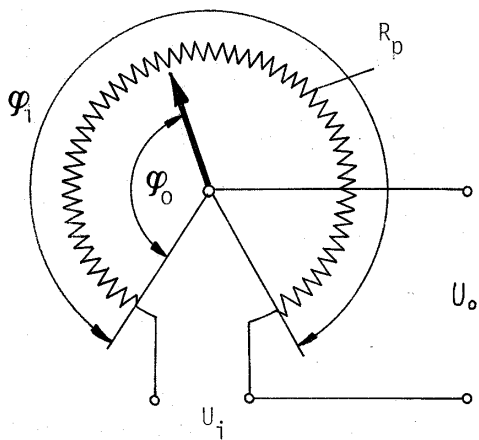
Opis: Seznanitev z obremenilnim efektom in demonstracija na primeru.



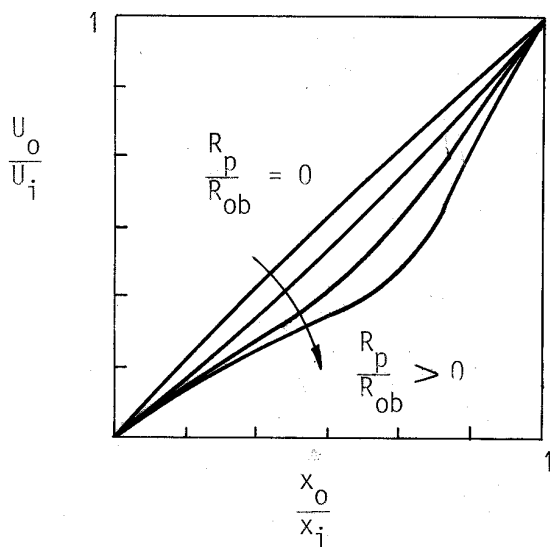
Slika 9: Blokovna shema sistema za demonstracijo obremenilnega efekta



Slika 10: Semioperacijska shema sistema za demonstracijo obremenilnega efekta



Slika 11: Shematski prikaz potenciometra



Slika 12: Obremenilni efekt v enotskem kvadratu

$$\frac{U_o}{U_{EX}} = \frac{1}{\frac{x_p}{x_i} + \frac{R_p}{R_{ob}} \left(1 - \frac{x_i}{x_p}\right)}$$

$$\frac{U_o}{U_{EX}} \Big|_{R_{ob} \rightarrow \infty} = \frac{x_i}{x_p}$$

$$e \Big|_{\frac{x_i}{x_p} = 0.5} = ?$$

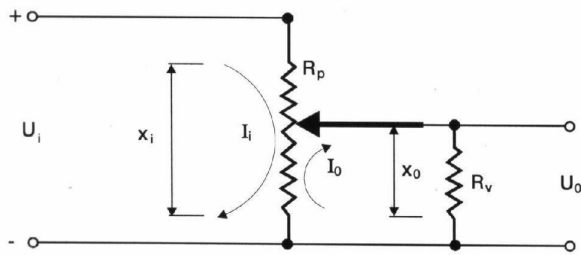
pri :

- 1) $R_{ob} = 10^3 \cdot R_p$
- 2) $R_{ob} = 10^2 \cdot R_p$
- 3) $R_{ob} = 10 \cdot R_p$
- 4) $R_{ob} = 1 \cdot R_p$

$$e = \frac{x_i}{x_p} - \frac{U_o}{U_{EX}} \left(\frac{R_p}{R_{ob}} \right)$$

$$e = \frac{x_i}{x_p} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{R_p}{R_{ob}} \cdot \left(1 - \frac{x_i}{x_p}\right) \cdot \frac{x_i}{x_p}} \right)$$

OBREMENILNI EFEKT VOLTMETRA



$$U_i = R_p I_i - \frac{x_0 R_p}{x_i} I_0$$

$$\frac{x_0}{x_i} R_p I_i = R_v I_0 + \frac{x_0}{x_i} R_v I_0$$

$$U_0 = R_v I_0$$

$$I_i = \left(\frac{x_i R_v}{x_0 R_p} + 1 \right) I_0$$

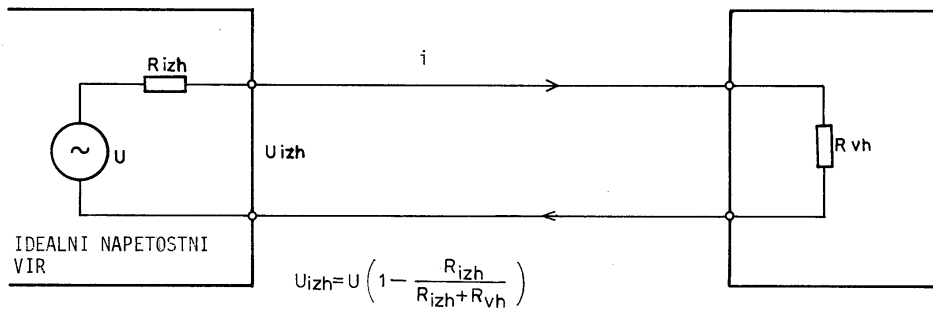
$$U_i = R_p \left(\frac{x_i R_v}{x_0 R_p} + 1 \right) I_0 - \frac{x_0 R_p}{x_i} I_0 = \left[\left(\frac{x_i R_v}{x_0 R_p} + 1 \right) - \frac{x_0}{x_i} \right] R_p \frac{U_0}{R_v}$$

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{1}{\frac{R_p}{R_v} \left[\frac{x_i R_v}{x_0 R_p} + 1 - \frac{x_0}{x_i} \right]} = \frac{1}{\frac{x_i}{x_0} + \frac{R_p}{R_v} \left(1 - \frac{x_0}{x_i} \right)}$$

NAPAKA ZARADI OBREMENILNEGA EFEKTA

$$e \left(\frac{x_0}{x_i} \right) = \frac{U_0}{U_i} \left(\frac{x_0}{x_i}, R_v = \infty \right) - \frac{U_0}{U_i} \left(\frac{x_0}{x_i}, \frac{R_p}{R_v} > 0 \right)$$

$$= \frac{x_0}{x_i} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{x_0 R_p}{x_i R_v} \left(1 - \frac{x_0}{x_i} \right)} \right]$$



IDEALNI NAPETOSTNI VIR

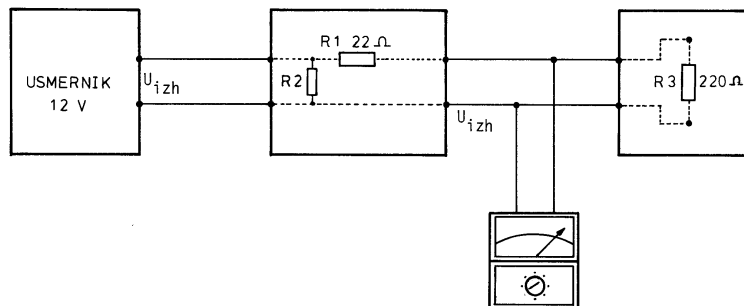
$$U_{izh} = U \left(1 - \frac{R_{izh}}{R_{izh} + R_{vh}} \right)$$

idealne razmere $\Leftrightarrow R_{izh} = 0$ ali $R_{vh} = \infty$

$U_{izh} = U!$

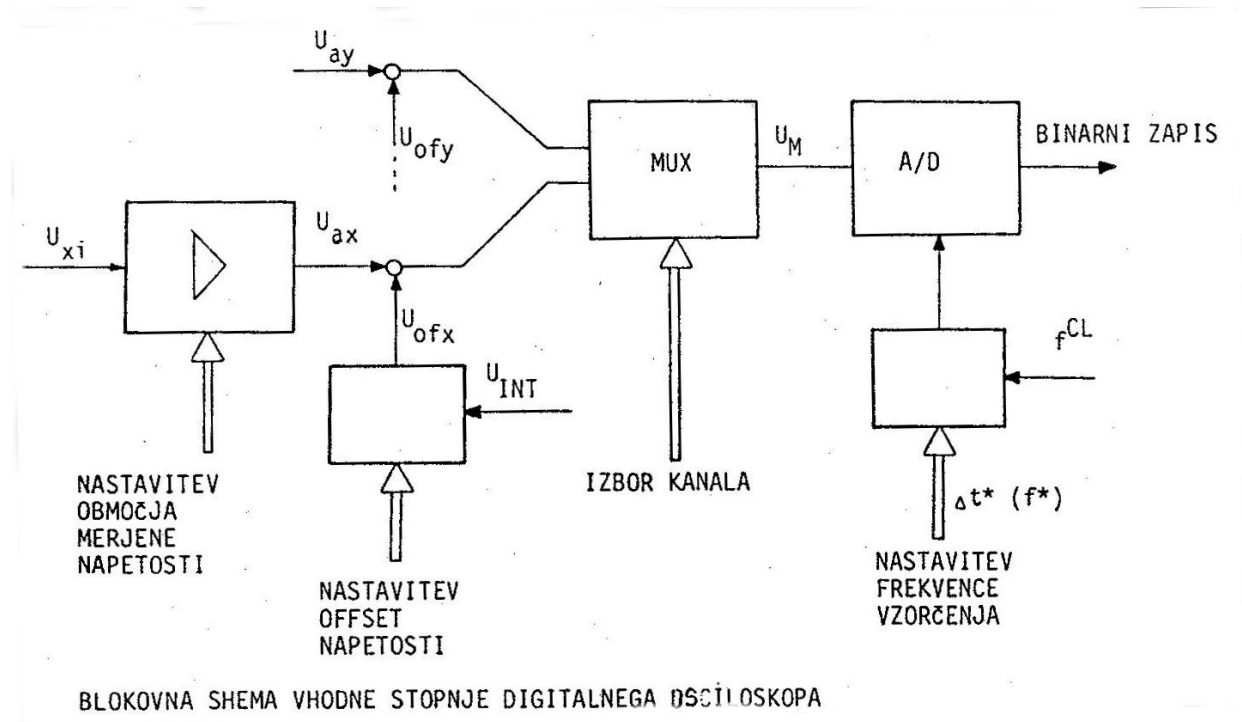
$U_{izh} = U!$

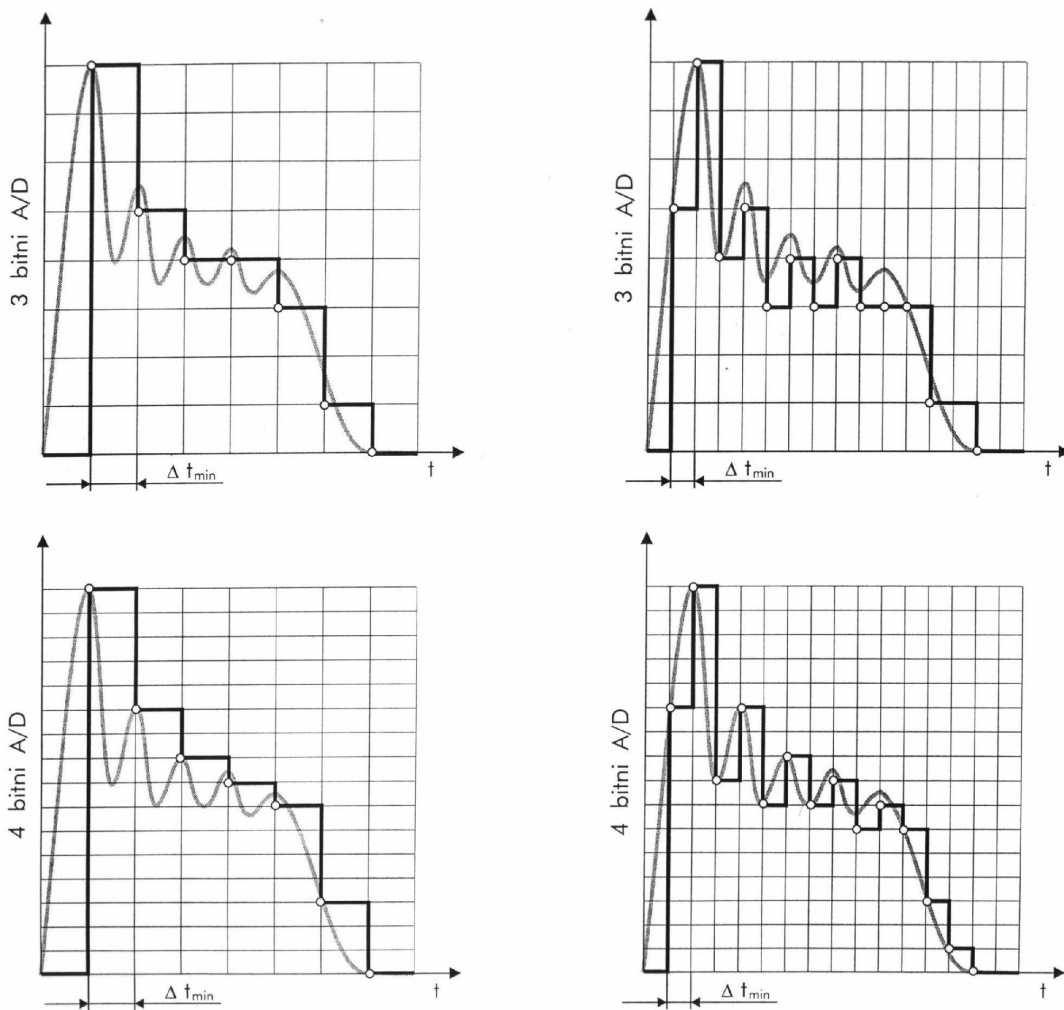
VEZJE ZA DEMONSTRACIJO OBREMENILNEGA EFEKTA



DEMO 6: OSNOVE DIGITALIZACIJE IN DIGITALNI OSCILOSKOP

Opis: Seznanitev z osnovnimi pojmi digitalizacije in predstavitev digitalnega osciloscopa.

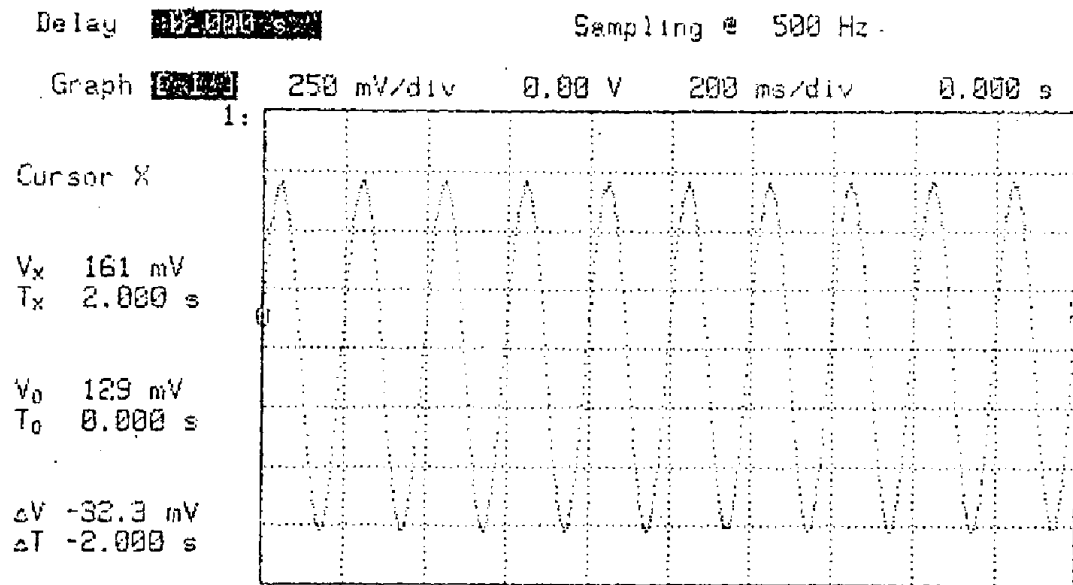




Slika 13: Različne oblike digitalizacije v odvisnosti od števila bitov A/D kartice in časa vzorčenja

NALOGE

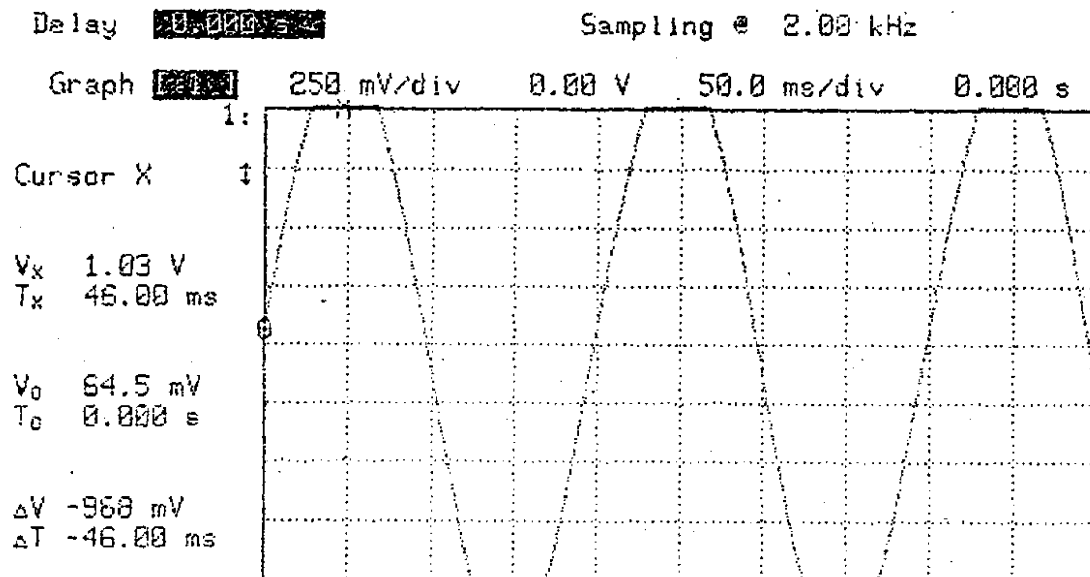
Naloga 1



Frekvenca f^* in frekvenca vhodnega signala f_1 sta usklajeni.

Iz diagrama zaslona osciloscopa določi frekvenco vhodnega signala in amplitudo.

Naloga 2



Amplituda vhodnega signala je prevelika. Kaj je potrebno spremeniti?

Določi frekvenco vhodnega signala f_1 .

Kaj je potrebno uskladiti, da zadostimo osnovnim kriterijem pri digitalizaciji?

Naloga 3

Delay 15.000 s

Sampling @ 20.0 kHz

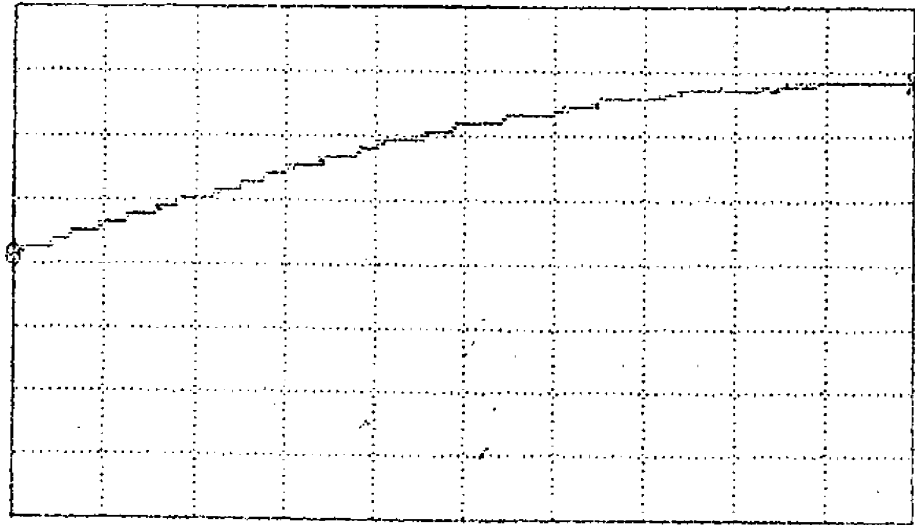
Graph 1: 250 mV/div 0.00 V 5.00 ms/div 0.000 s

Cursor X

V_x 710 mV
 T_x 50.00 ms

V_0 32.3 mV
 T_0 0.000 s

ΔV -677 mV
 ΔT -50.00 ms



Dolžina vzorca ni vsklajena s frekvenco vhodnega signala f_i .

Kaj moramo storiti?

Dodatek:
Teoretična izhodišča

Dodatek k demu 2:

Za idealen sistem M – K – B (sistem 2. reda) velja:

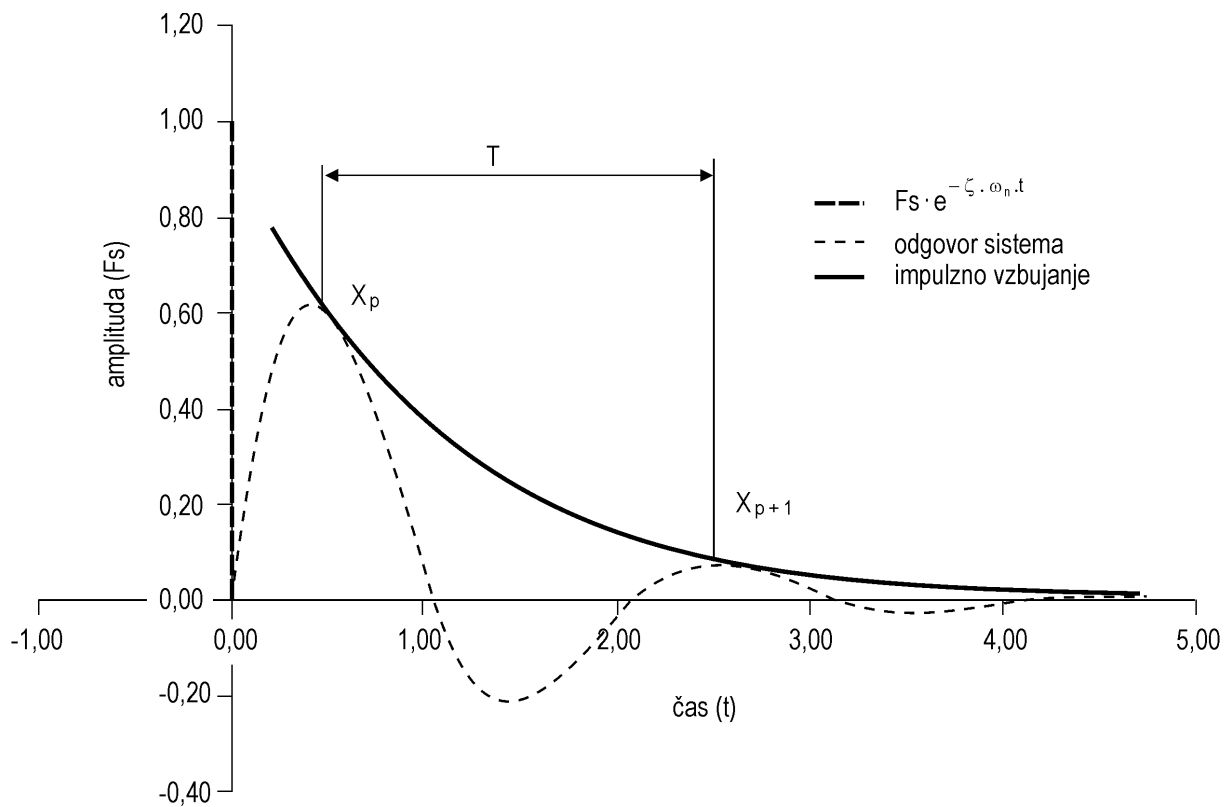
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad [\text{Hz}]$$

$$\zeta = \frac{B}{2\sqrt{KM}}$$

K....vzmetna konstanta [N/m]

M...masa [kg]

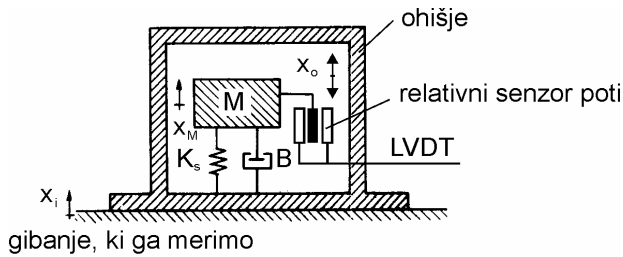
B.....dušenje [Ns/m]



Slika 14: Časovni odziv sistema M-K-B

Dodatek k demu 4:

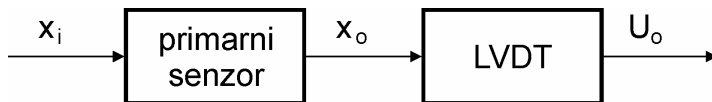
Opis: Merjenje nihanj sistema



$$x_M = x_i - x_o$$

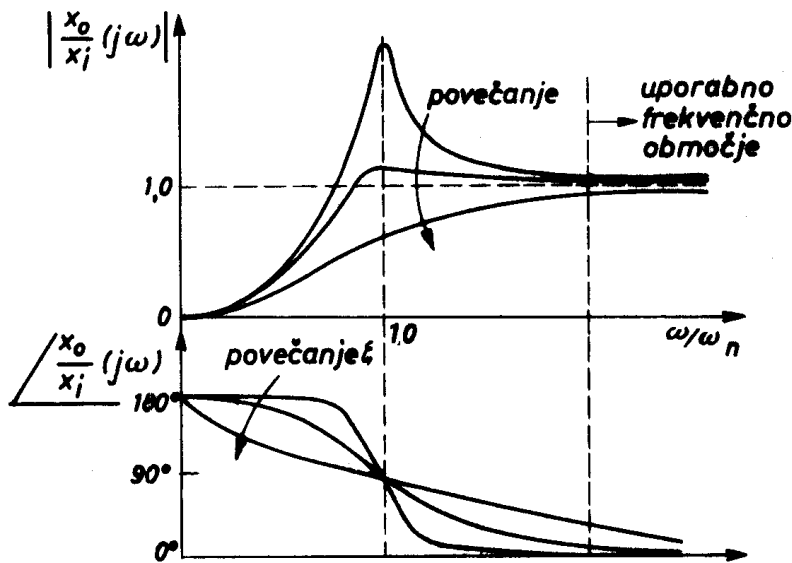
$$x_M \cong 0 \rightarrow x_i \cong x_o$$

$$M D^2 x_M = B D x_o + K_s x_o$$



$$M (D^2 x_i - D^2 x_o) = B D x_o + K_s x_o$$

Slika 15: Seizmični senzor za merjenje hitrosti nihanj



$$\frac{x_o}{x_i}(D) = \frac{\frac{D^2}{\omega_n^2}}{\frac{D^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta D}{\omega_n} + 1}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_s}{M}}$$

$$\zeta = \frac{B}{2\sqrt{K_s M}}$$

$$\frac{x_o}{x_i}(j\omega) = \frac{\left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right)^2}{\left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right)^2 + \frac{2\zeta}{\omega_n} j\omega + 1}$$

Slika 16: Bodejev diagram s karakteristiko senzora