

Časovni potek laboratorijskega praktikuma

Priprave na vaje 3x

Laboratorijski praktikum 16.3.16 (10x)

Avditorne vaje 2x



Merjenje magnetnih lastnosti feromagnetnih materialov



Razmagnetenje materialov



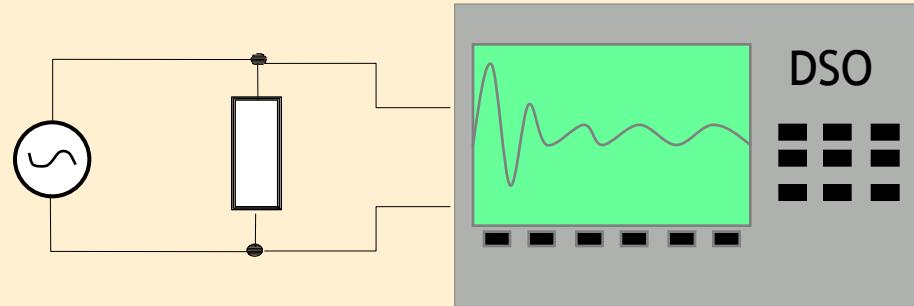
RS232 komunikacija med voltmetrom in računalnikom



VAJA 1

Besedilo naloge

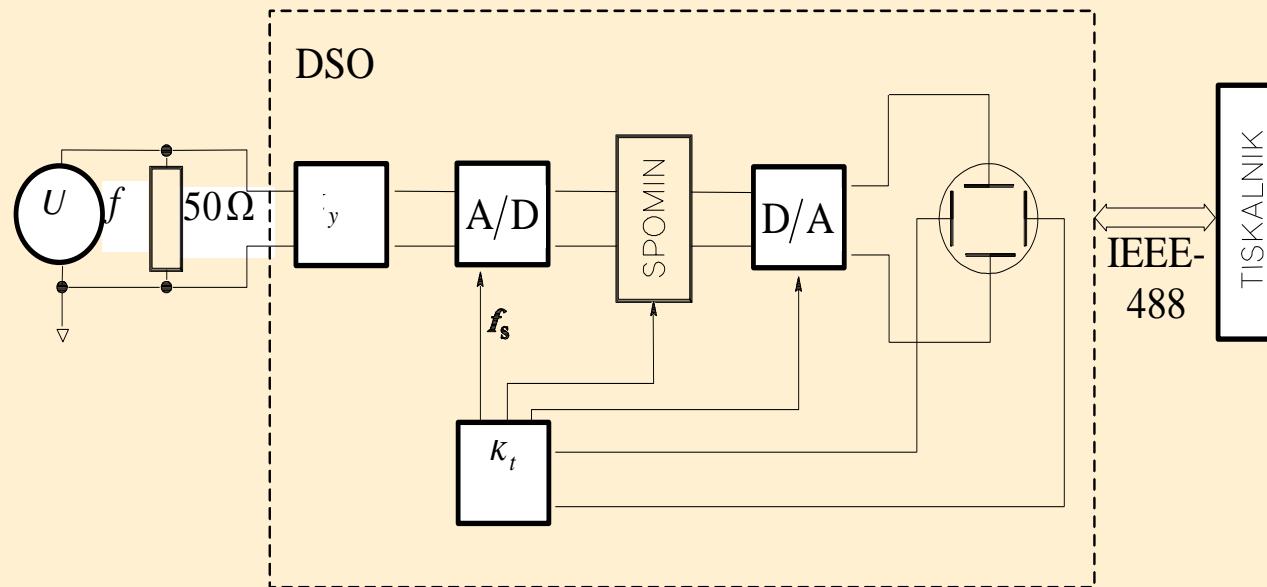
Preverite vzorčni teorem s spremenjanjem vzorčnega razmerja f_s/f . Določite uporabno pasovno širino in dvižni čas digitalnega spominskega osciloskopa (DSO).

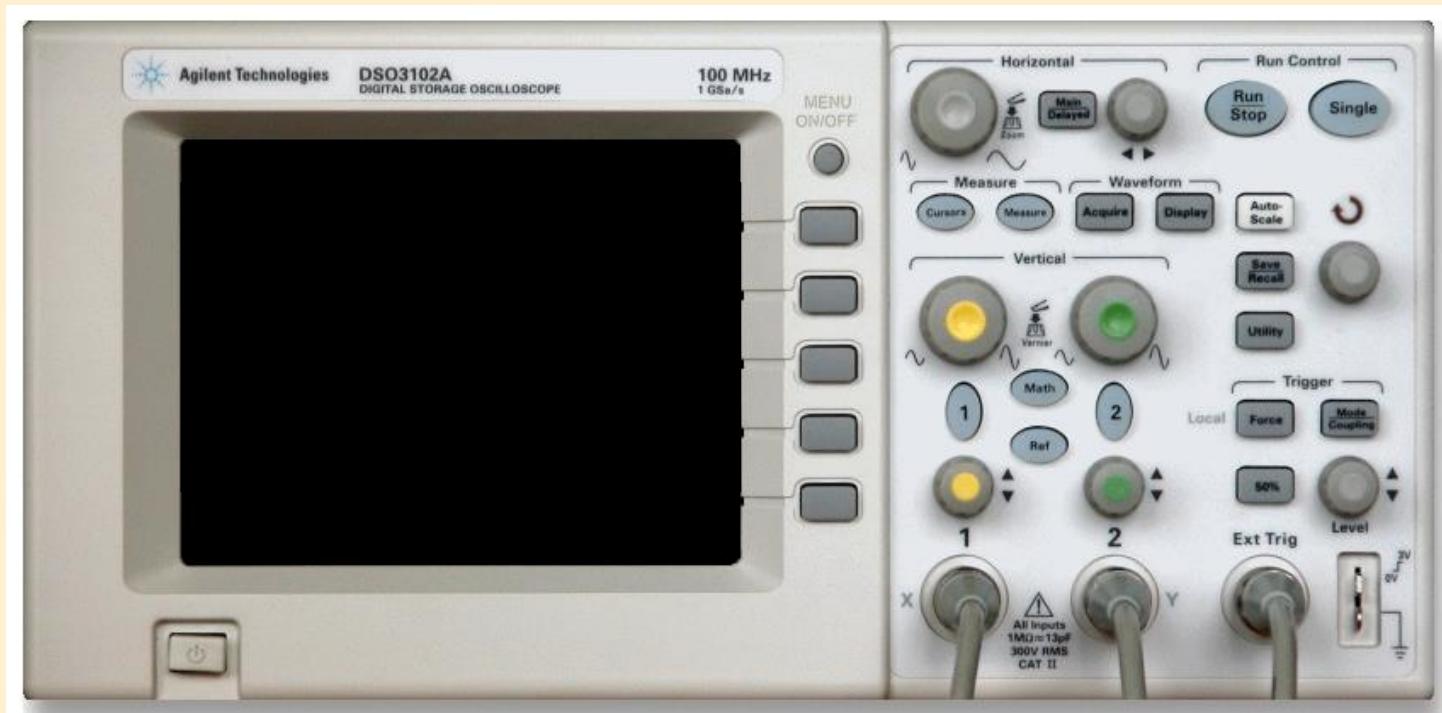


VAJA 1

Besedilo naloge

Preverite vzorčni teorem s spremenjanjem vzorčnega razmerja f_s/f . Določite uporabno pasovno širino in dvižni čas digitalnega spominskega osciloskopa (DSO).

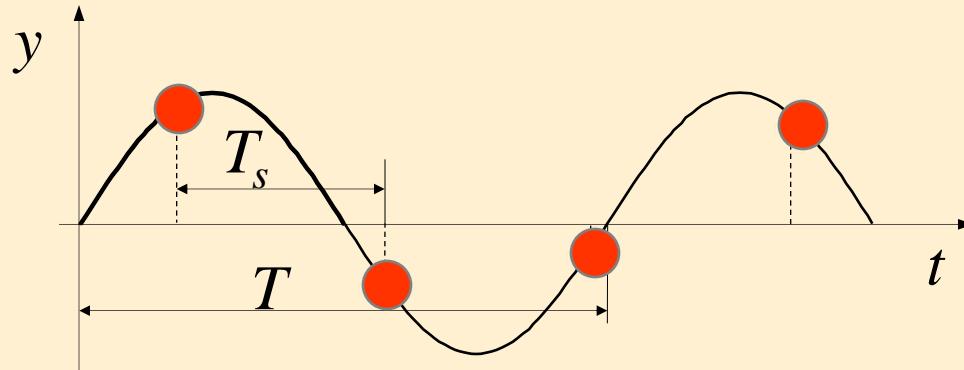




Vzorčni ali Shannonov teorem

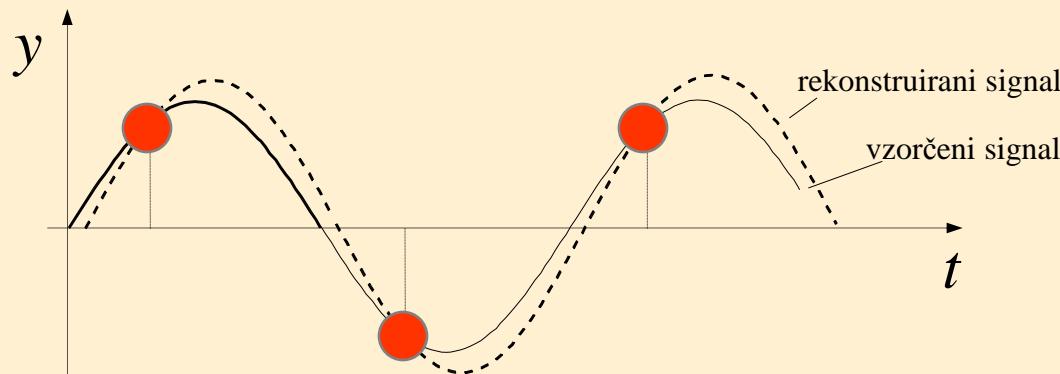
Za dobro reprodukcijo signala najmanj

$$f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$$



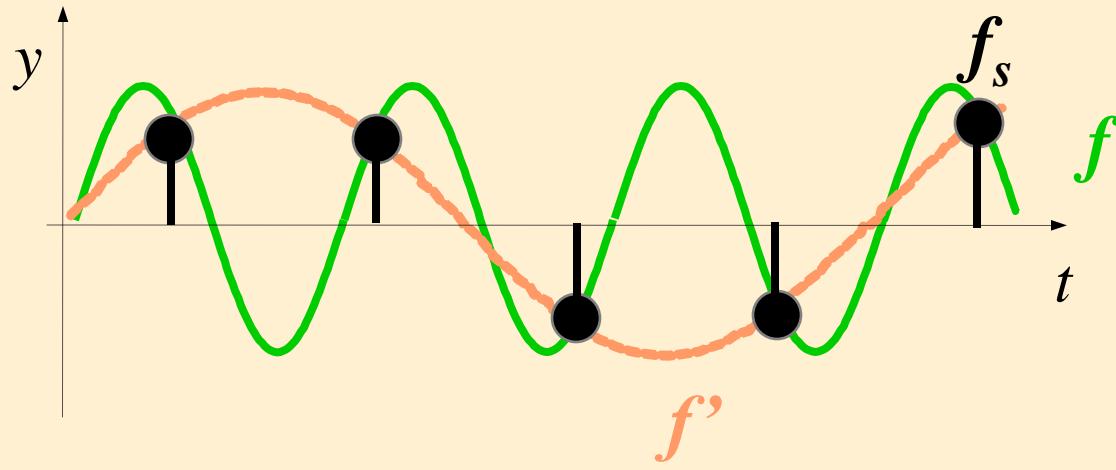
$$y = A \sin(2\pi ft + \varphi)$$

tri točke, tri neznanke



A in φ sta lahko poljubna

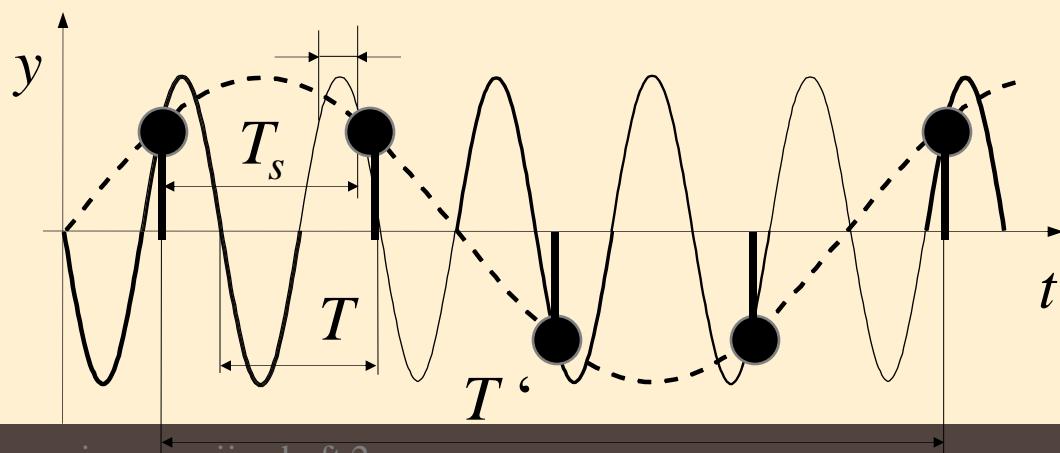




f - pravi signal
 f' - rekonstruiran
 f_s – vzorčna frekv.

$$f_s \geq f \geq \frac{1}{2} f_s$$

$$f' = f_s - f$$



$$\frac{2}{3} f_s \geq f \geq f_s$$

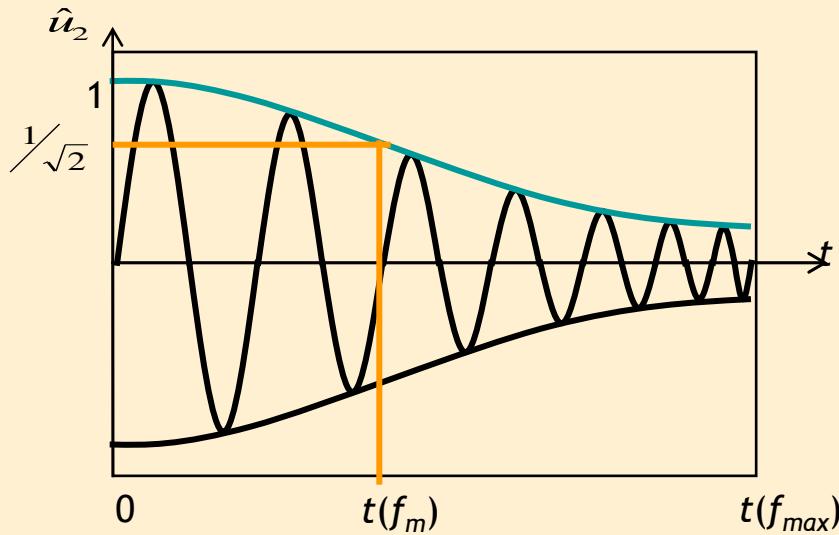
$$f' = f - f_s$$

Pasovna širina B

Pri rekonstrukciji signala je pomembna uporabljena interpolacijska metoda, od katere je odvisna uporabna pasovna širina B , ki je definirana za vzorčenje signalov v realnem času ($f < f_s/2$).

Analogni osciloskop

pasovna širina vezana na padec vhodnega signala na $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (3 dB)



Digitalni osciloskop:
pasovna širina vezana na pravo rekonstrukcijo signala \Rightarrow interpolacijska metoda

Točkovna podaja - zahteva večje št. vzorcev na periodo (25)

$$B_{pt} = \frac{f_s}{25}$$

Linearna interpolacija - manjše št. vzorcev na periodo (10)
večja pasovna širina

$$B_{pt} = \frac{f_s}{10}$$

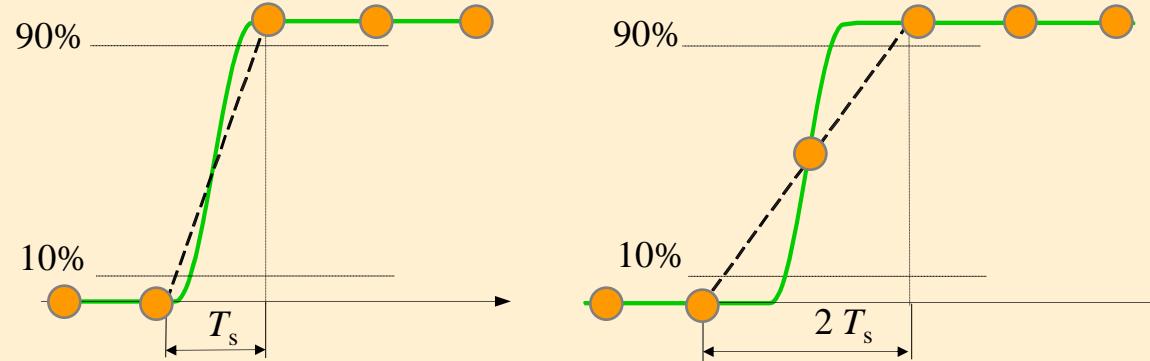
Interpolacija s funkcijo - $y=\sin(x)/x$
zadostuje že 2,5 točk na periodo

$$B_{pt} = \frac{f_s}{2,5}$$

Analogni osciloskop:

T_r - čas, ko naraste izhodni signal od 10% na 90% stac. stanja

$$T_r = \frac{0,35}{B}$$



Digitalni osciloskop:

Pri večjem številu vzorcev je dvižni čas odvisen od pasovne širine analognega dela vertikalnega vhoda B

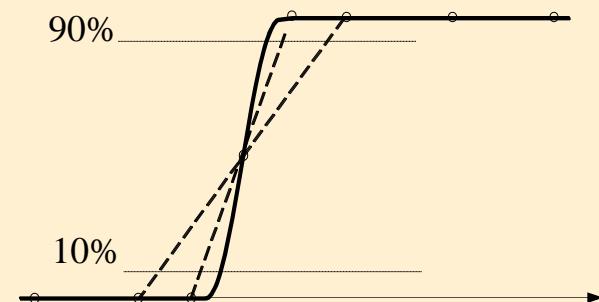
$$T_r(\text{signala}) = \sqrt{T_r^2(\text{izmerjeni}) - (0,35/B)^2}$$



$f /$ MHz	$f' /$ MHz	$f_s /$ MHz

proženje	$T_r /$
Enkratno (min)	
Enkratno (max)	
Ponavljajoče	
Ponavljajoče z upoštevanjem analognega dela	

Skica enkratno in ponavljaljajoče proženje

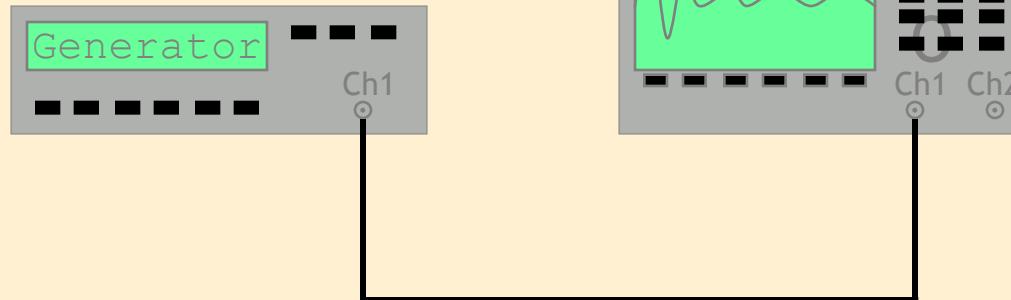


$$T_r(\text{signala}) = \sqrt{T_r^2(\text{izmerjeni}) - (0,35/B)^2}$$

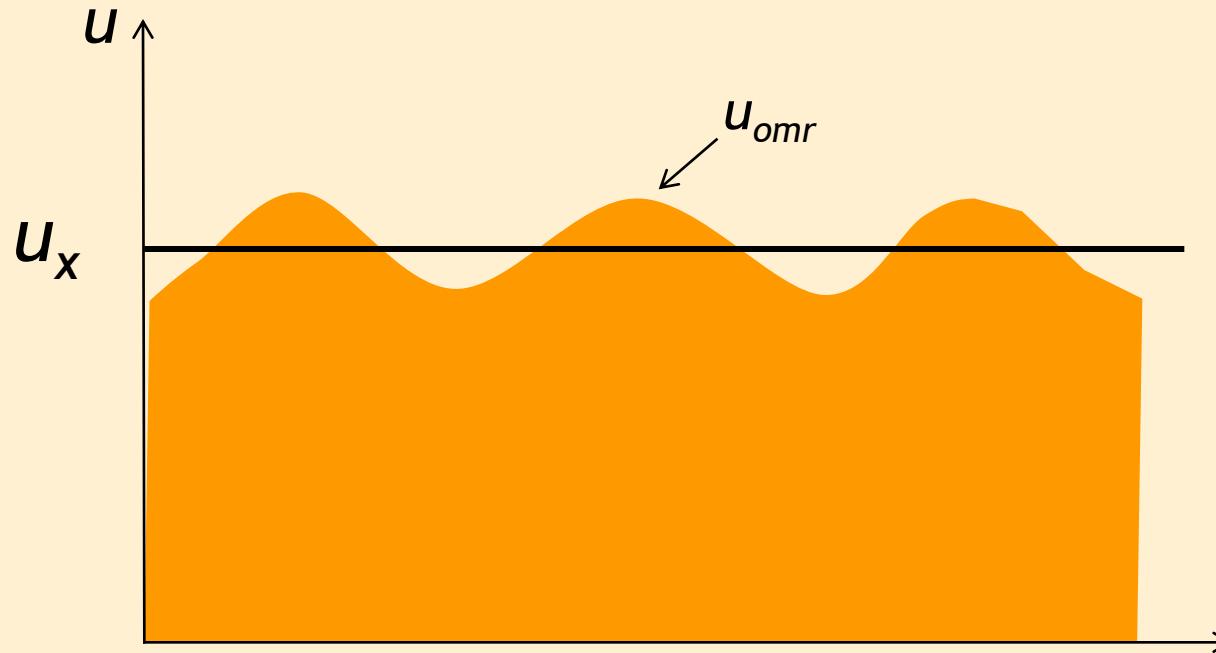
VAJA 2

Besedilo naloge

- Opazujte vpliv integracijskega časa T_i na učinkovitost **izločanja omrežne (sinusne) motnje**. Učinkovitost opazujte pri najbolj neugodnem položaju integracijskega intervala.
- Ugotovite, kako se **pogrešek zaradi integracije** merilnega signala spreminja v odvisnosti tega signala.



Omrežna motnja



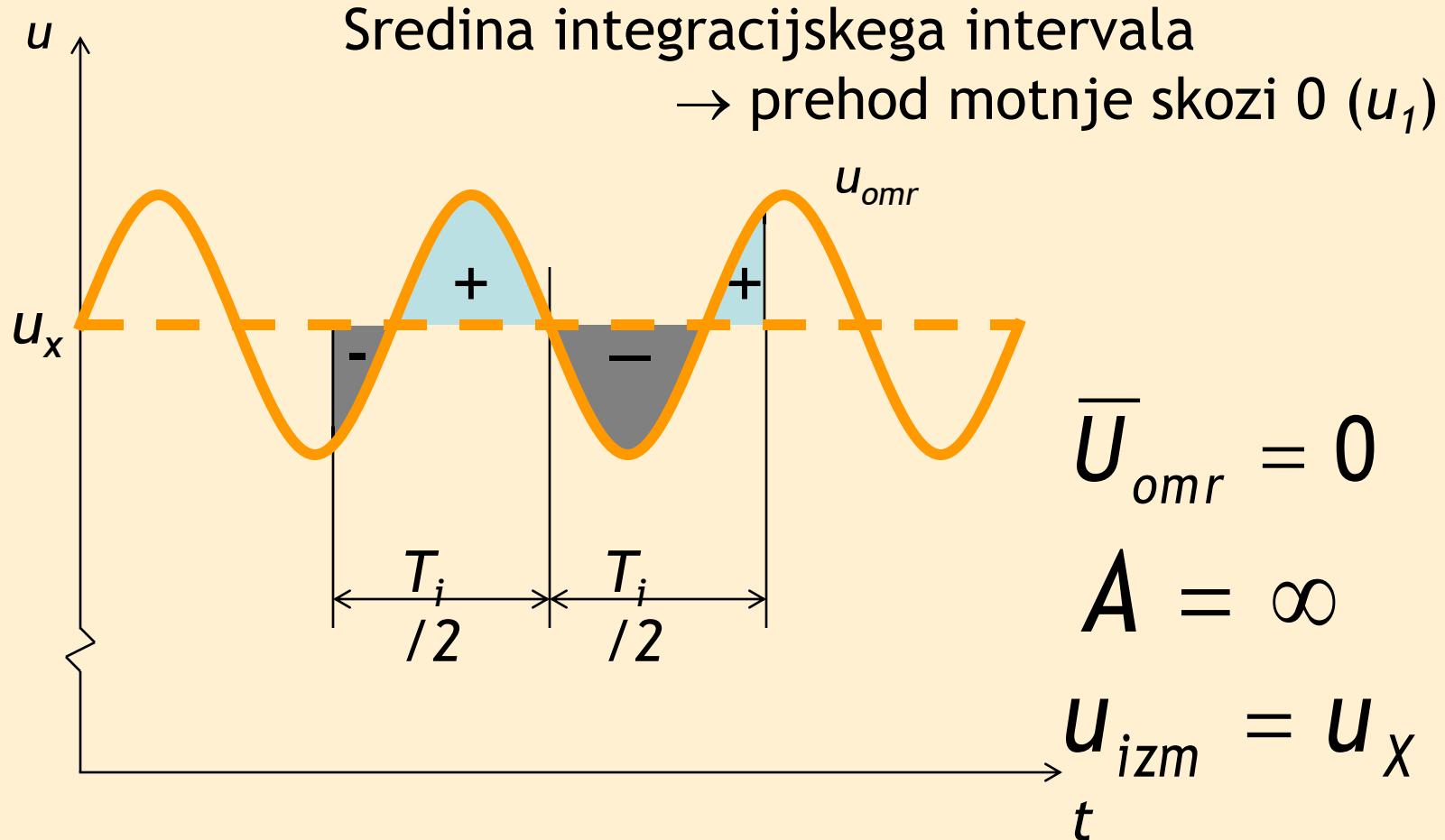
Kako izmeriti U_x ?

Povprečiti!?

t
Od kod do kod?

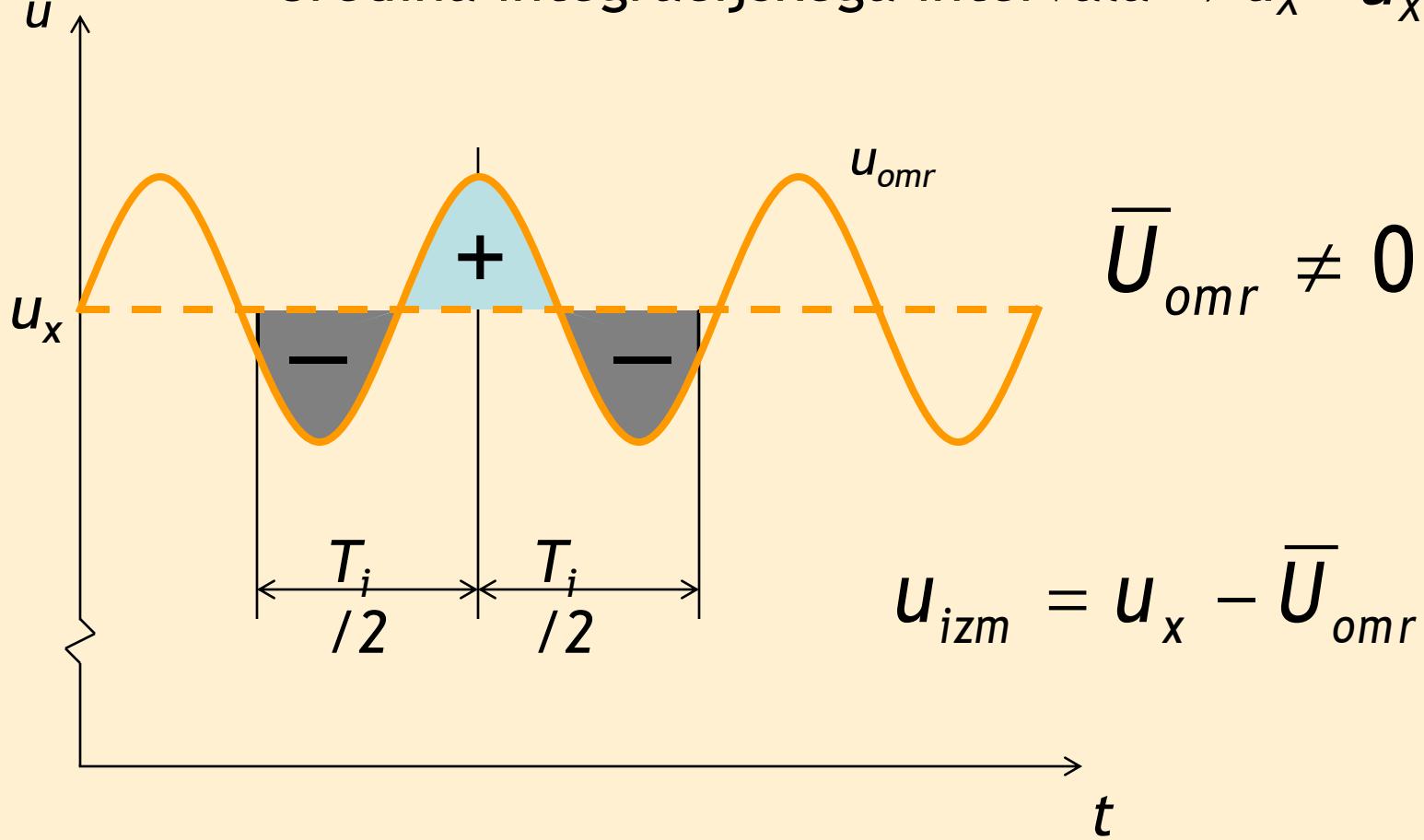


Izločanje omrežne motnje



Izločanje omrežne motnje

Sredina integracijskega intervala $\rightarrow u_x = \hat{u}_x$



Slabljenje omrežne motnje A

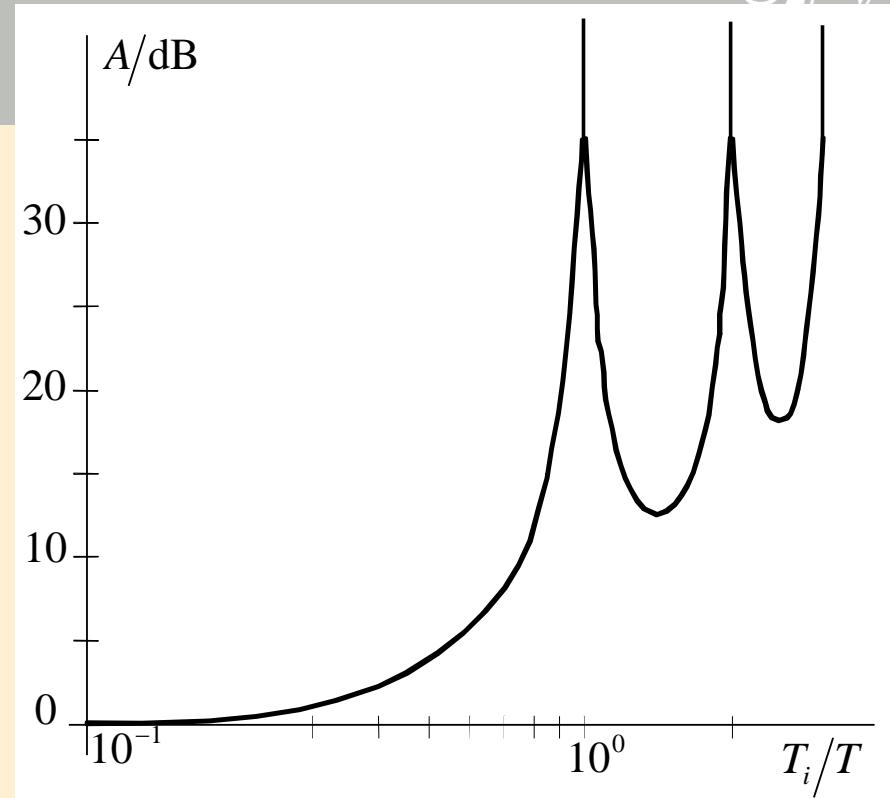
$$A/dB = 20 \cdot \lg \frac{\hat{U}_{omr}}{\bar{U}_{omr}}$$

Če je motnja sinusna:

$$\bar{U}_{omr} = \frac{1}{T} \int_{-T_i/2}^{T_i/2} \hat{u}_{omr} \cos \omega t \, dt = \hat{u}_{omr} \frac{\sin \omega T_i / 2}{\omega T_i / 2}$$

$$A/dB = 20 \lg \frac{\pi T_i / T}{|\sin(\pi T_i / T)|}$$

$$A/dB = 20 \lg \frac{\pi T_i / T}{|\sin(\pi T_i / T)|}$$

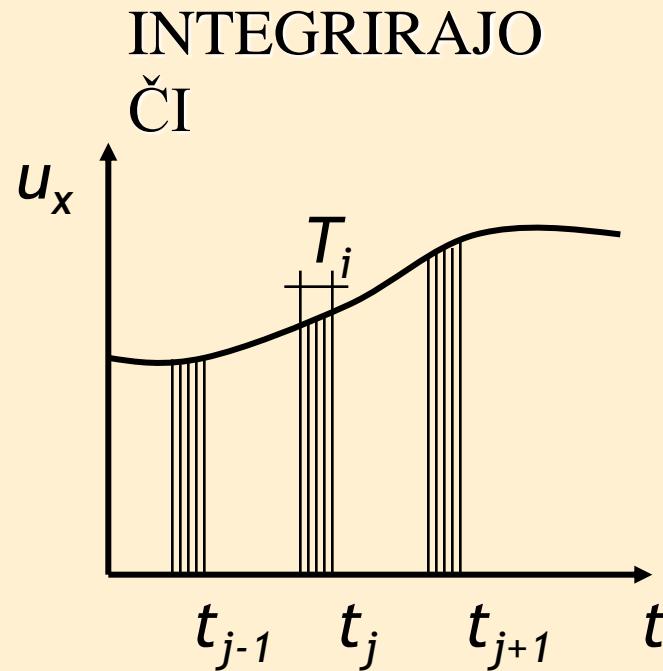
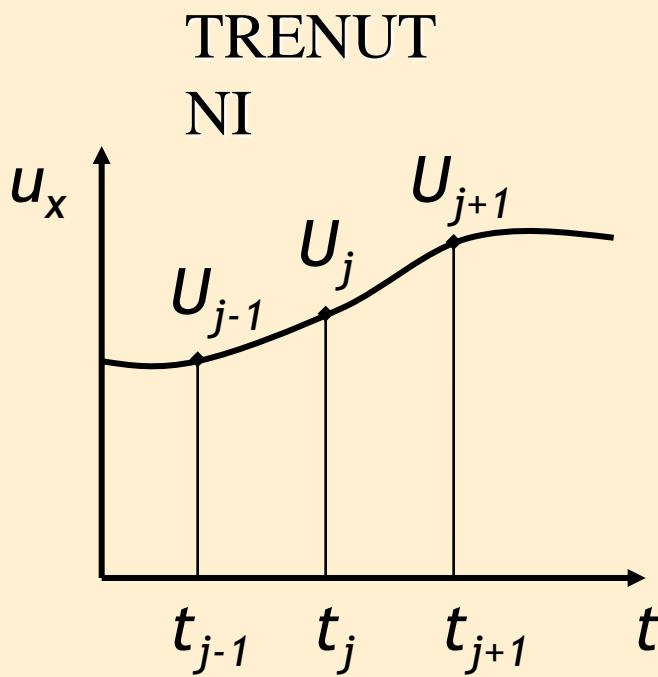


integracijski čas T_i osciloskopa

$T_i = k T$ \rightarrow učinkovito odstranjevanje motnje

$T_i <> k T$ \rightarrow neučinkovito odstranjevanje

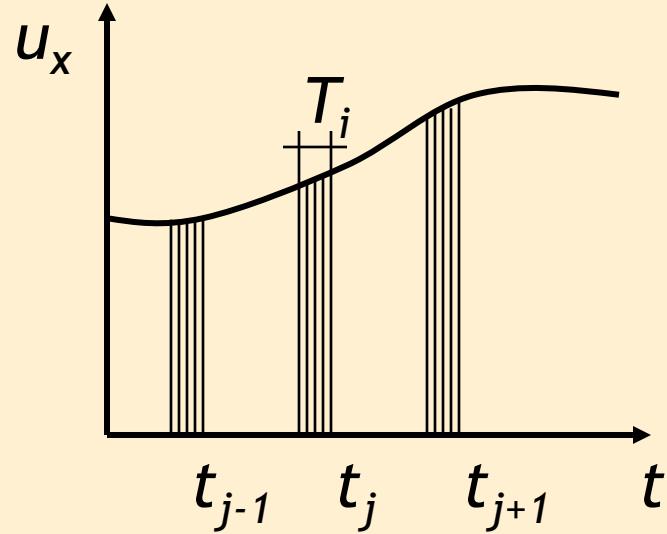
Analogno digitalni pretvorniki - ADP



$$\bar{U}_j = \frac{1}{T} \int_{t_0-T_i}^{t_0} u_x \, dt$$

Integrirajoči ADP

INTEGRIRAJO ČI



$$\bar{U}_j = \frac{1}{T} \int_{t_0-T_i}^{t_0} u_x \, dt$$

Pogrešek pretvorbe je odvisna od:

- T_i
- frekvence signala f

Če ima npr. u_x sinusno obliko:

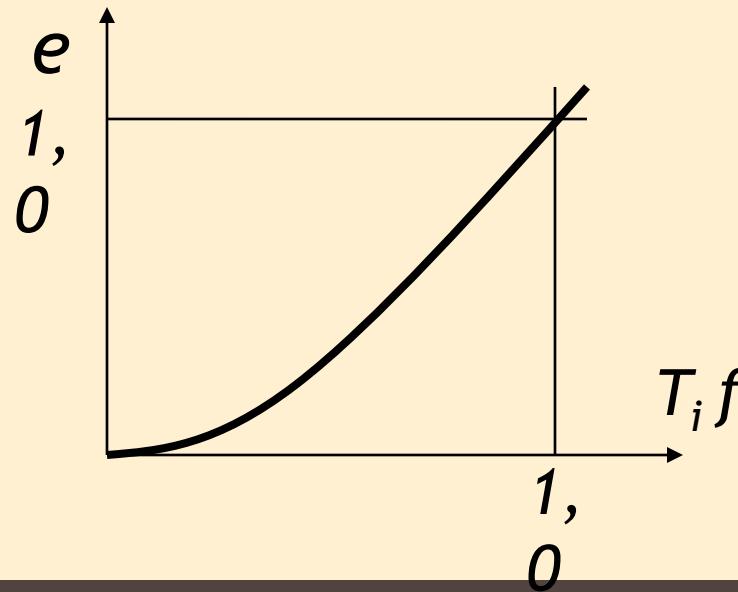
$$\bar{U}_j = \bar{U}_x(t_j) = \frac{1}{T} \int_{t_0-T_i}^{t_0} \hat{u}_x \cos \omega t \, dt = u_x \frac{\sin \pi T_i f}{\pi T_i f}$$



Pogrešek integrirajočega ADP

Pogrešek pretvorbe

$$e = \frac{\bar{U}_j - u_x}{u_x} = 1 - \frac{|\sin \pi T_i f|}{\pi T_i f}$$

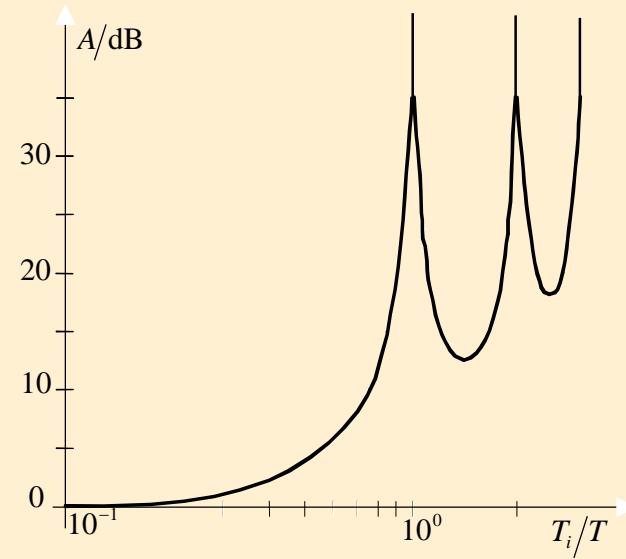


Rezultati meritev

Izločanje motnje:

T_i/T	\bar{U}_{omr}	A/dB

graf

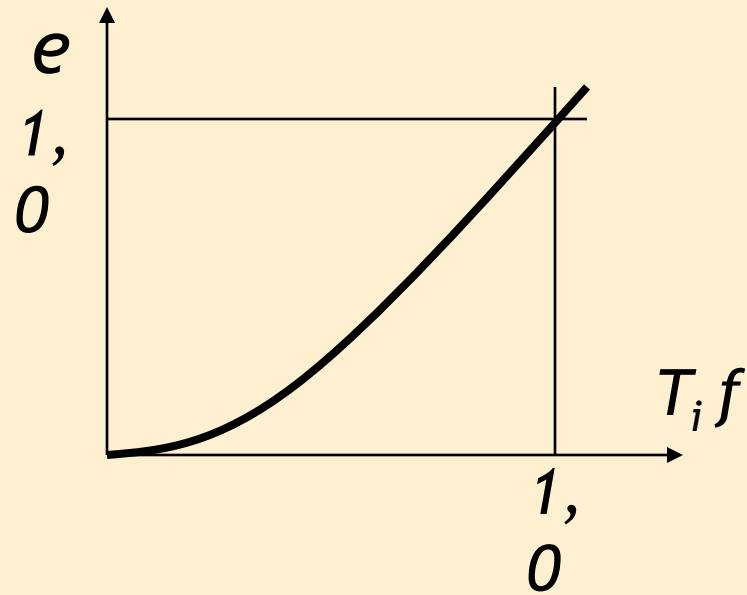


Rezultati meritev

Pogrešek ADP:

$T_i f$	\bar{U}_x	e

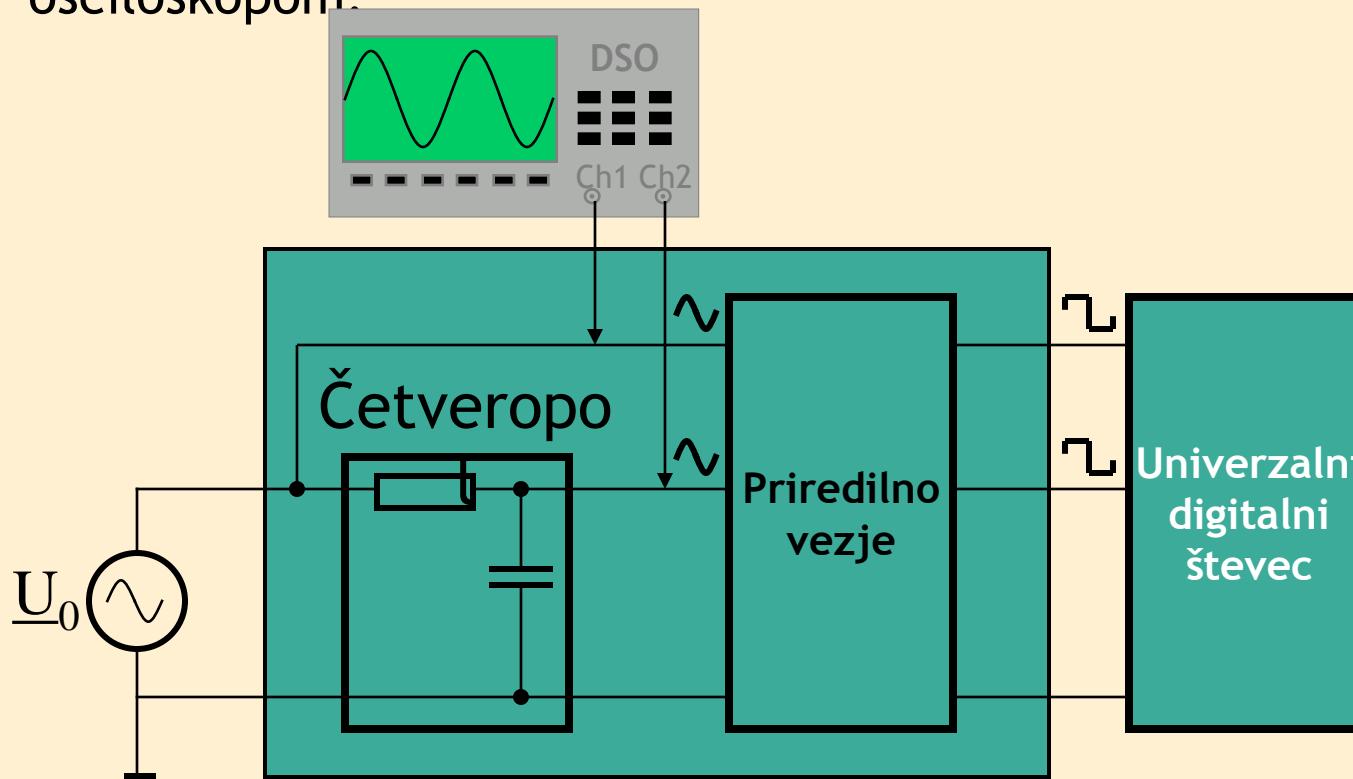
graf



VAJA 3

Besedilo naloge:

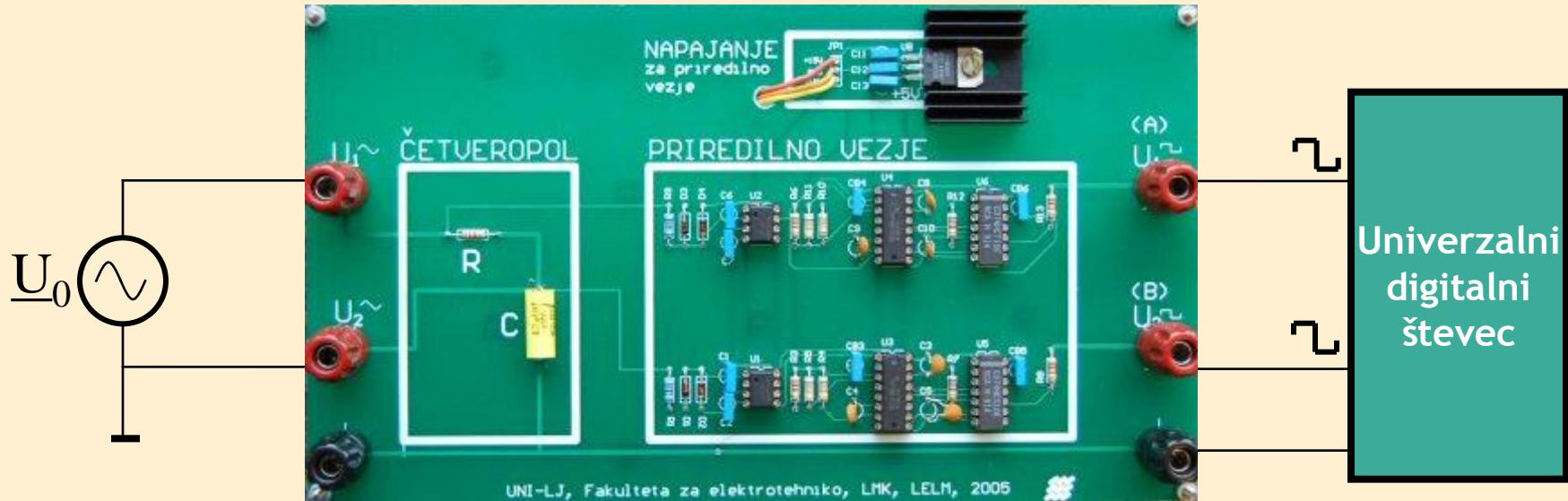
- Izmerite fazno karakteristiko danega četveropola z univerzalnim digitalnim števcem.
- Opazujte vhodno in izhodno napetost četveropola z elektronskim osciloskopom.

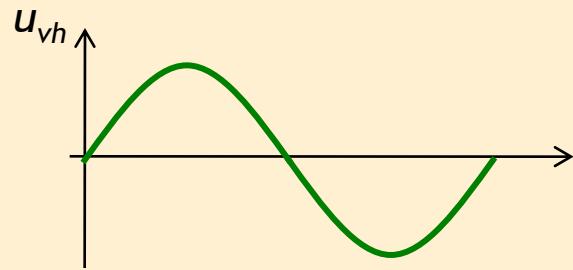


VAJA 3

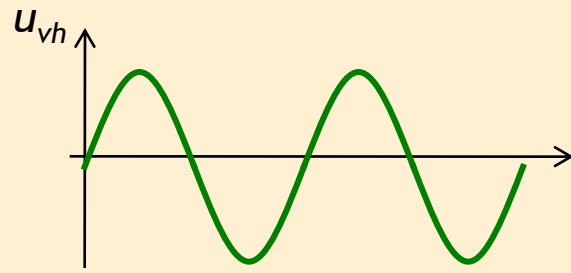
Besedilo naloge:

- Izmerite fazno karakteristiko danega četveropola z univerzalnim digitalnim števcem.
- Opazujte vhodno in izhodno napetost četveropola z elektronskim osciloskopom.



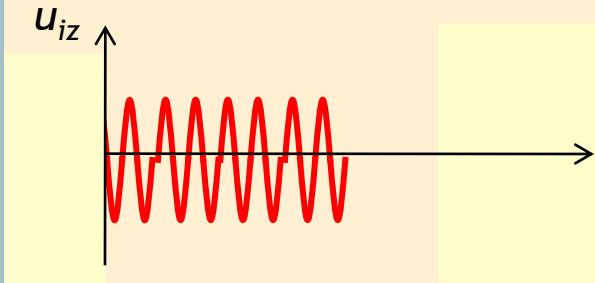
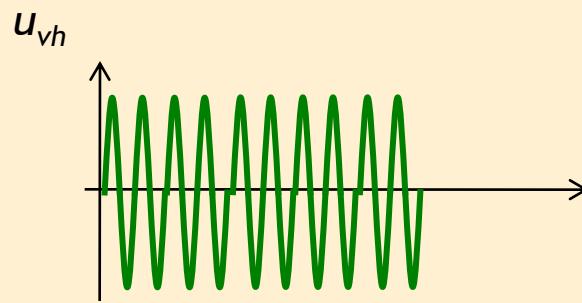


$$f = 10 \text{ Hz}$$



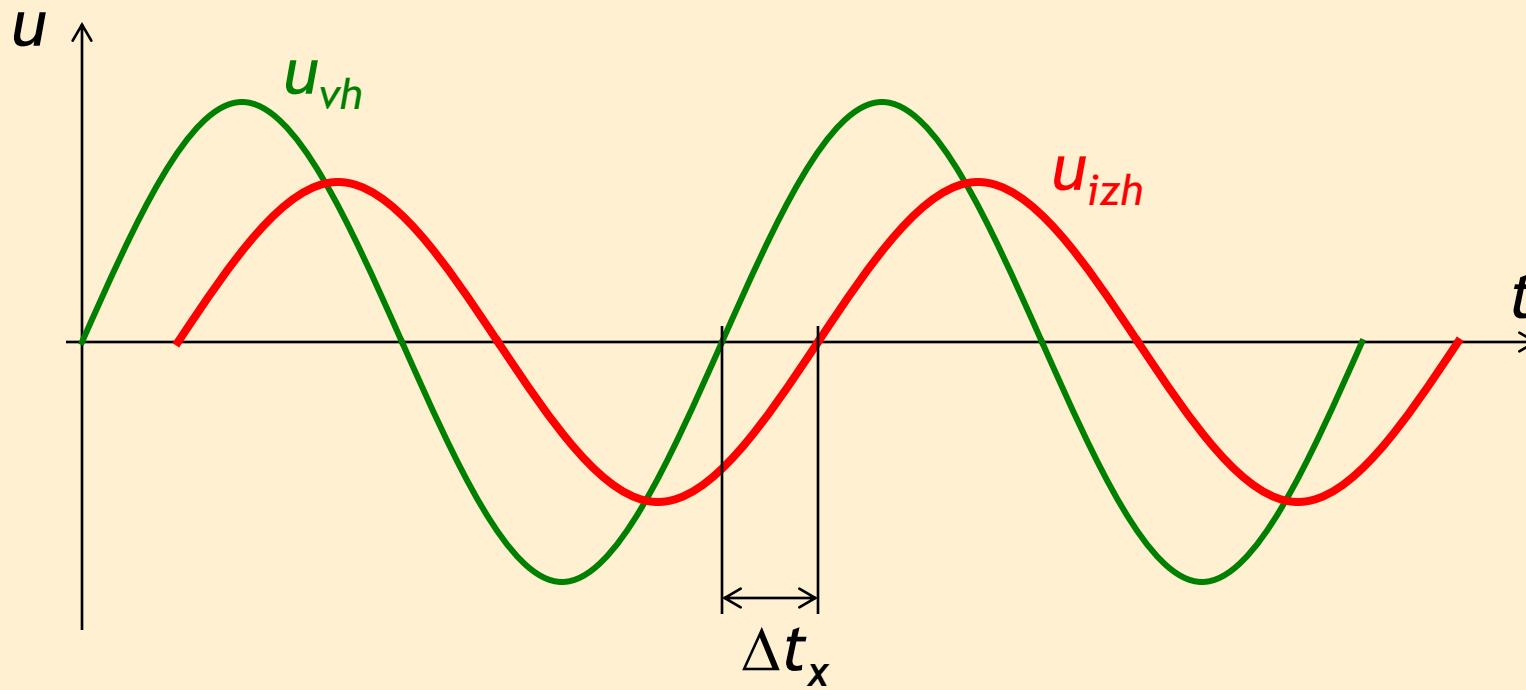
$f = 500 \text{ Hz}$



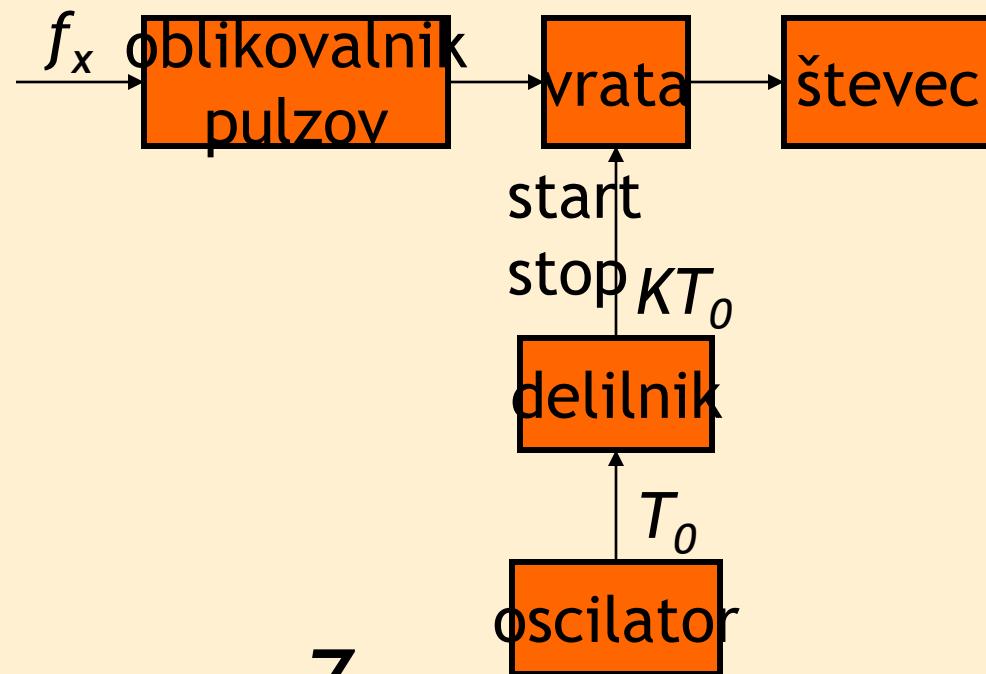


$$f = 10\ 000 \text{ Hz}$$

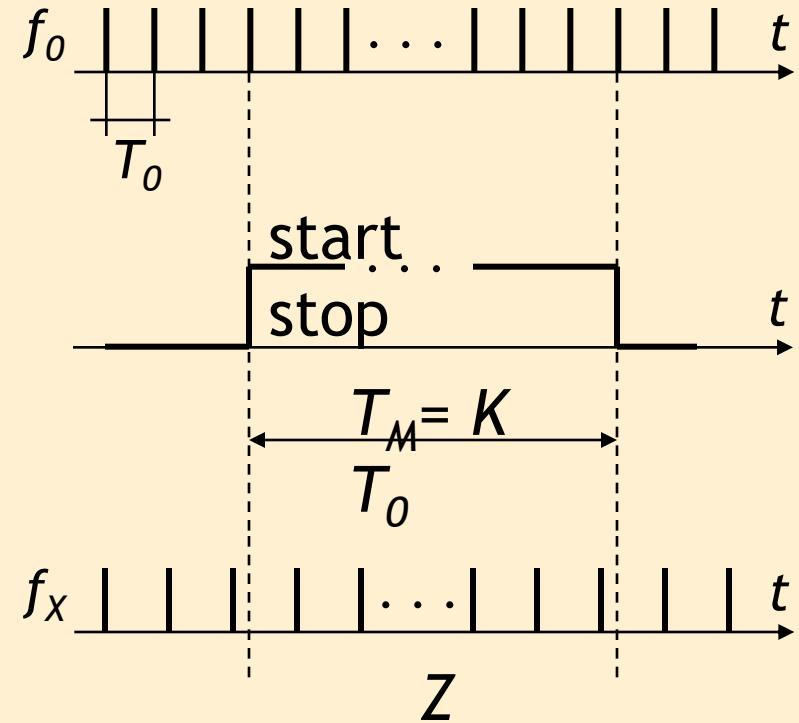
Fazna karakteristika $\varphi(f)$

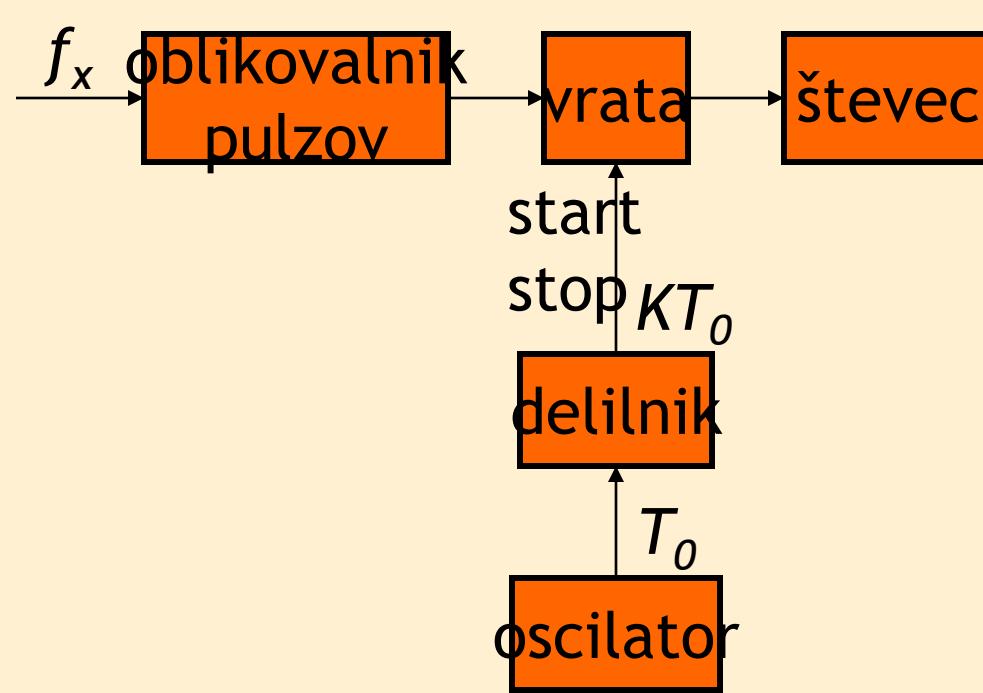


$$\varphi = \omega \cdot \Delta t_x = 2\pi f_x \cdot \Delta t_x = 2\pi \cdot \frac{\Delta t_x}{T_x}$$

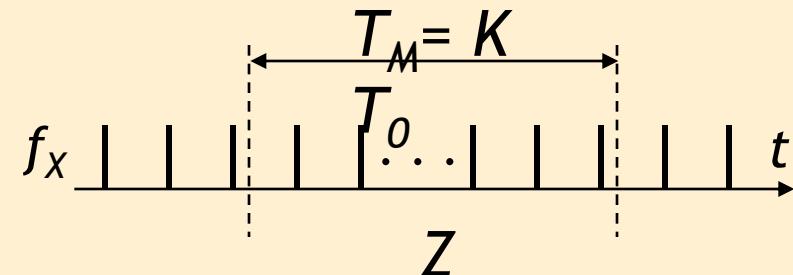


$$f_x = \frac{Z}{T_M}$$





1000.0 Hz

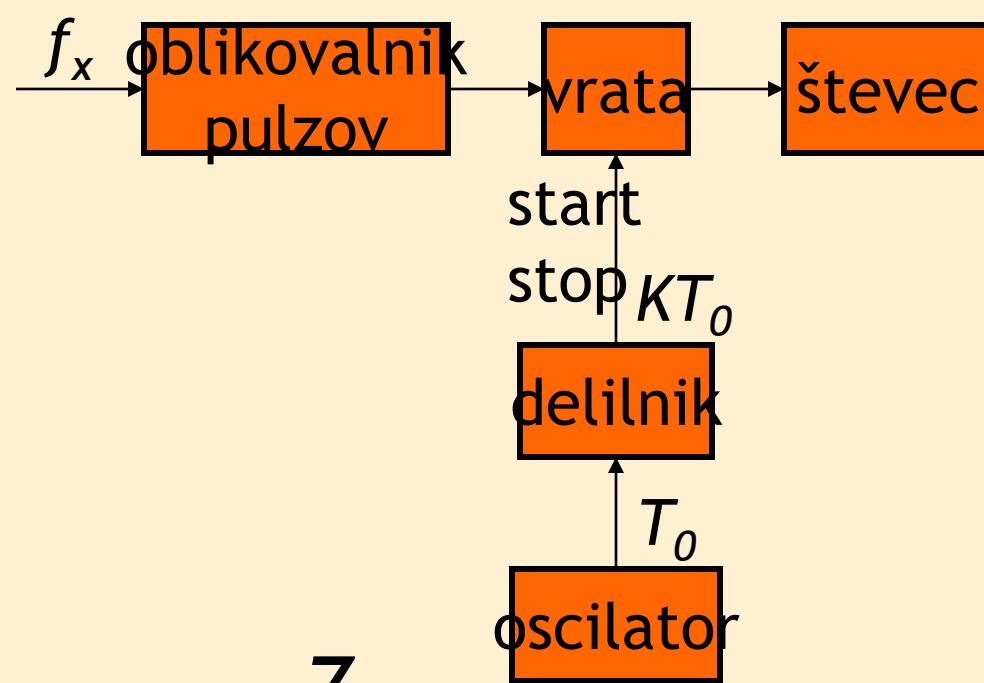


Primer:

$$f_x = 1000 \text{ Hz}$$

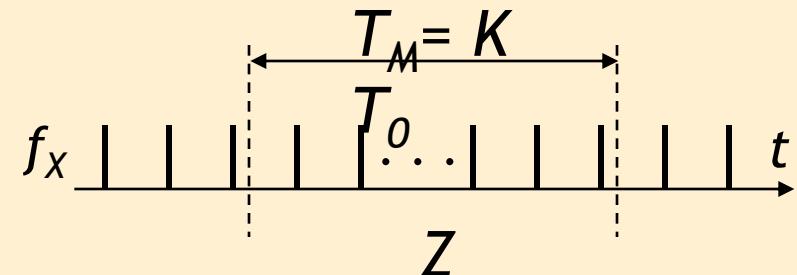
$$T_M = 10 \text{ s}$$

$$Z = 10.000$$



$$f_x = \frac{Z}{T_M}$$

1.00 kHz



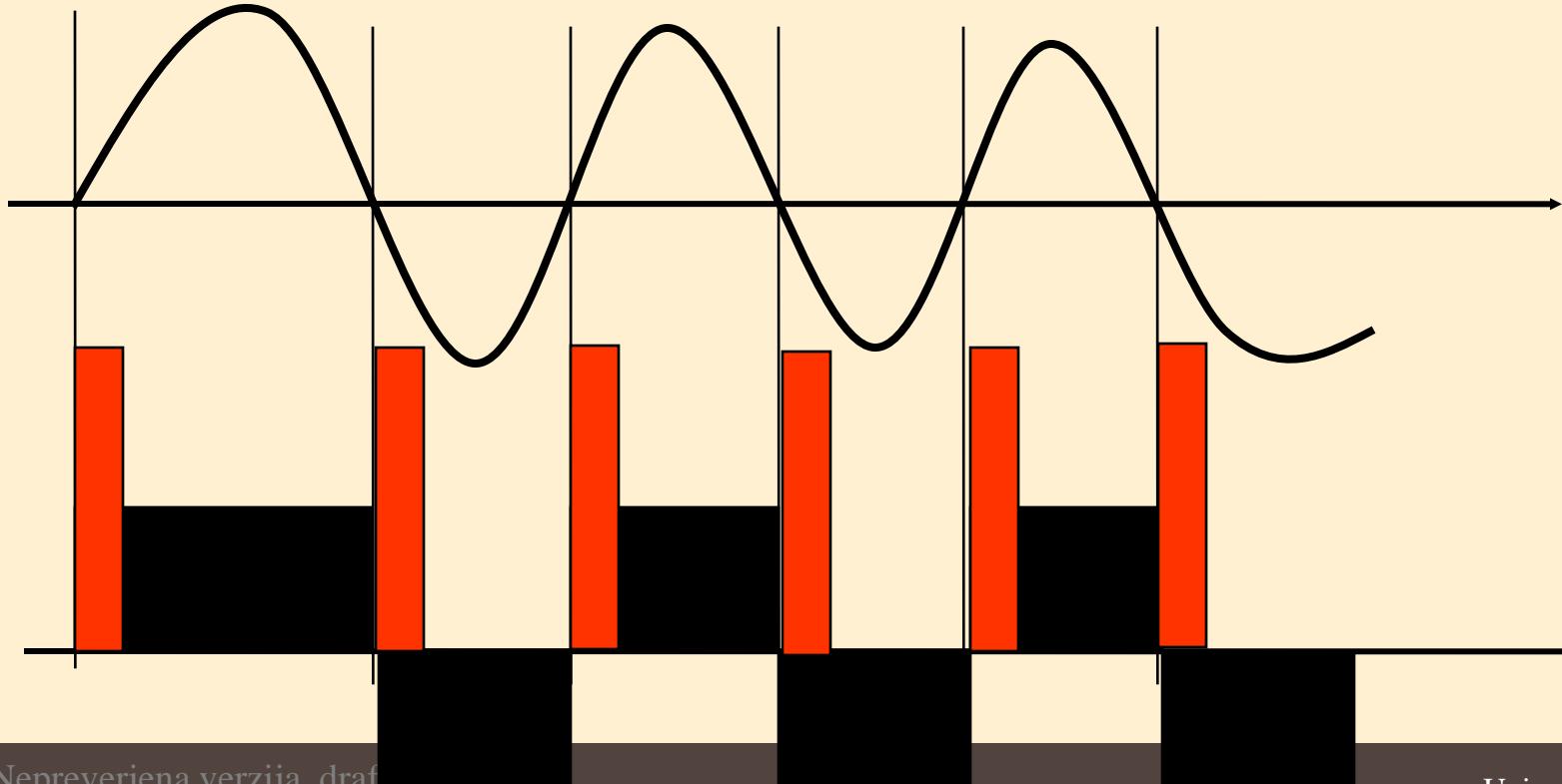
Primer:

$$f_x = 1000 \text{ Hz}$$

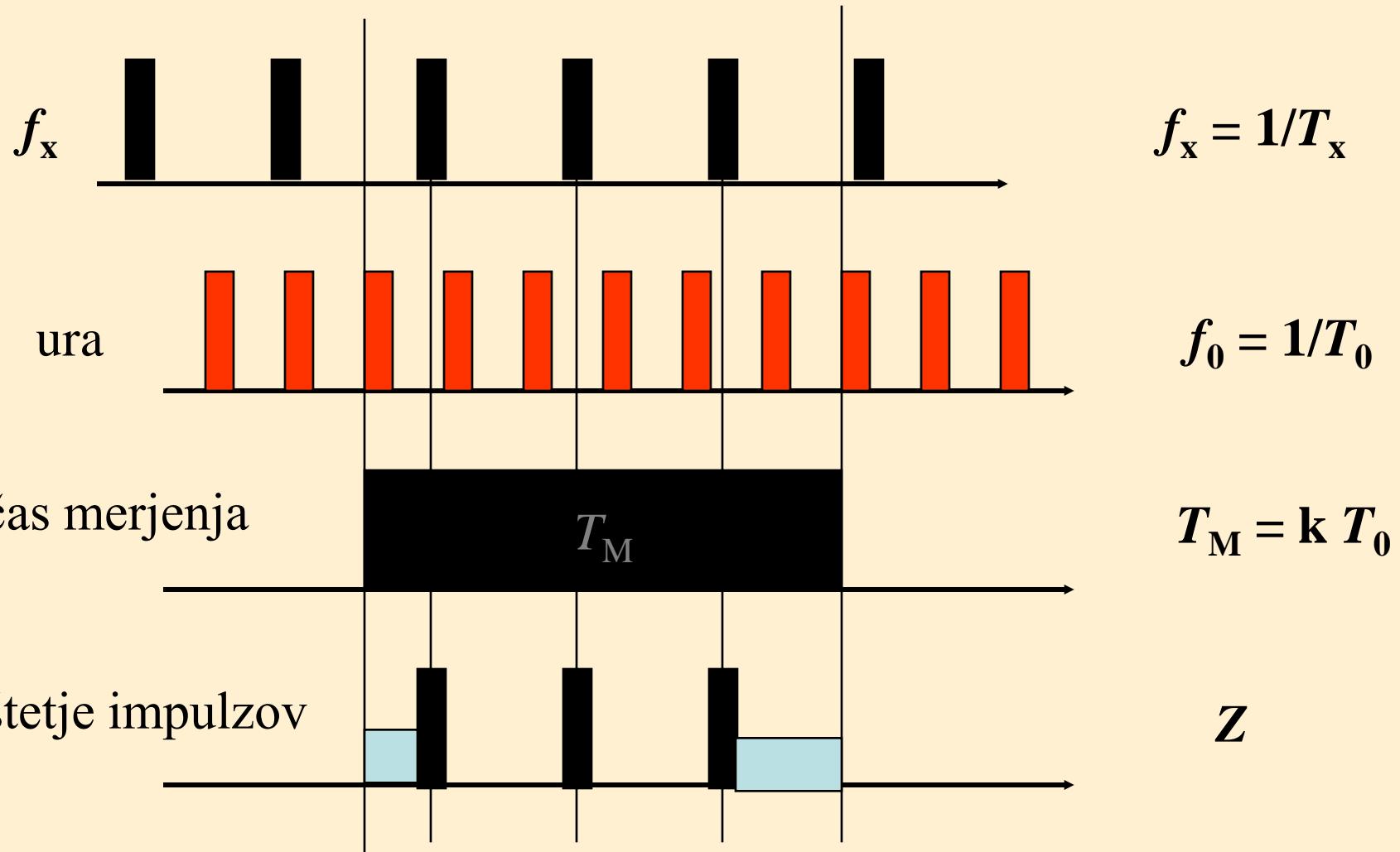
$$T_M = 0,1 \text{ s}$$

$$Z = 100$$

Vsak elektronski merilni inštrument najbolj točno meri pravokotne signale! (SYNC izhod)



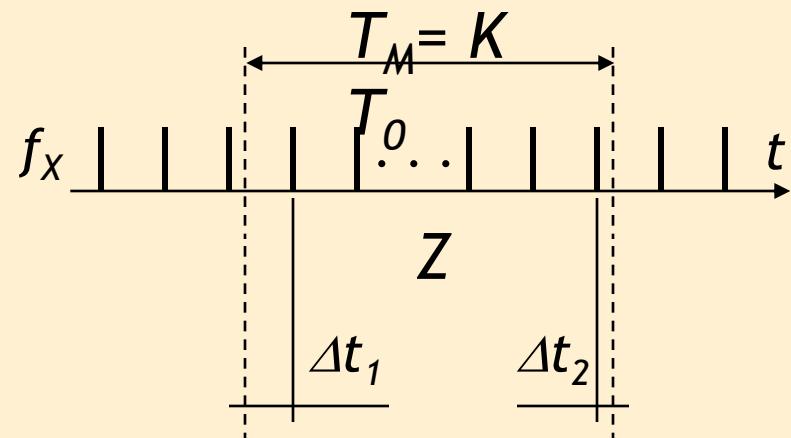
a) Merjenje frekvence f_x



$$T_M = (Z - 1)T_x + \Delta t_1 + \Delta t_2 ,$$

$$Z = f_x T_M$$

$$f_x = \frac{Z}{T_M}$$



oz. bolj točno...

$$f_x = \frac{Z}{T_M - \Delta t_1 - \Delta t_2} \Rightarrow Z \rightarrow Z \pm 1$$
$$\Rightarrow m_f = \pm \frac{1}{Z}$$

pogreški pri merjenju frekvence f_x

$$m_f = \pm \frac{1}{Z}$$

$$M_f = m_f f_x = \pm \frac{1}{T_M} = \pm Q_f$$

$$u(f) = \frac{1}{T_M} \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{Q_f}{\sqrt{6}} = \frac{M_f}{\sqrt{6}}$$

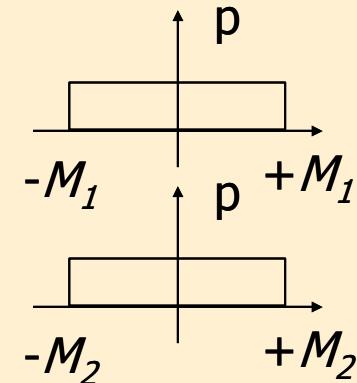
⇒ uporabnik lahko sam
izbira pogrešek s T_M



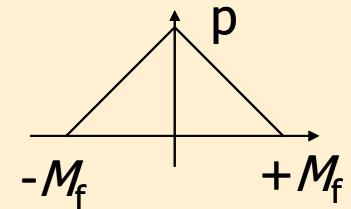
Merjenje frekvence f_x

Negotovost

$$f_x = \frac{Z}{T_M - \Delta\tau_1 - \Delta\tau_2} \quad \left\{ \begin{array}{l} u_1(f) = \left| \frac{\partial f_x}{\partial \Delta\tau_1} \right| u(\Delta\tau_1) \approx \frac{Z}{T_M^2} \frac{T_x/2}{\sqrt{3}} = \frac{Q_f}{2\sqrt{3}} \\ u_2(f) = \left| \frac{\partial f_x}{\partial \Delta\tau_2} \right| u(\Delta\tau_2) \approx \frac{Z}{T_M^2} \frac{T_x}{2\sqrt{3}} = \frac{Q_f}{2\sqrt{3}} \end{array} \right.$$



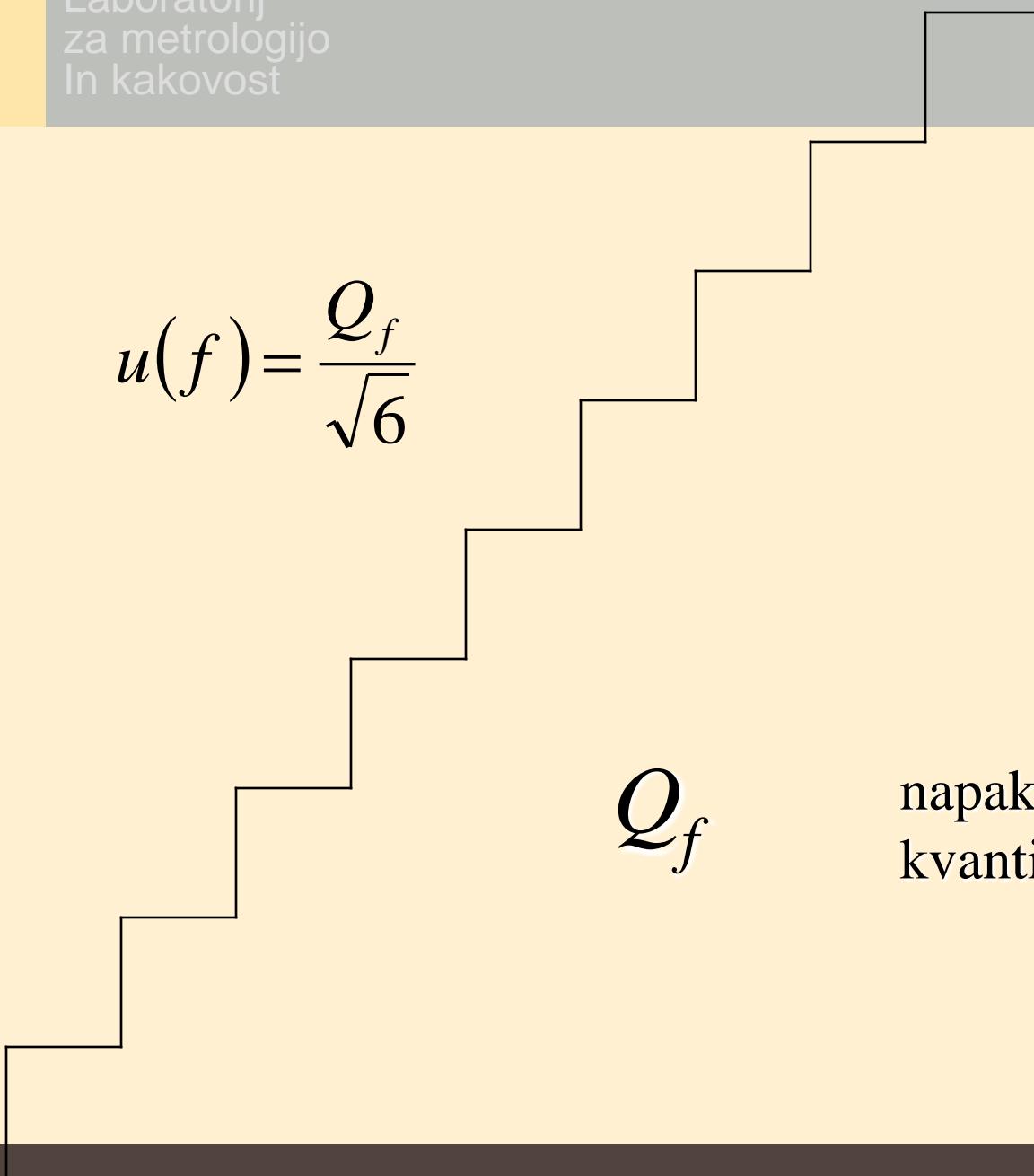
$$u(f) = \sqrt{u_1^2(f) + u_2^2(f)} = \frac{1}{T_M} \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{Q_f}{\sqrt{6}} = \frac{M_f}{\sqrt{6}}$$

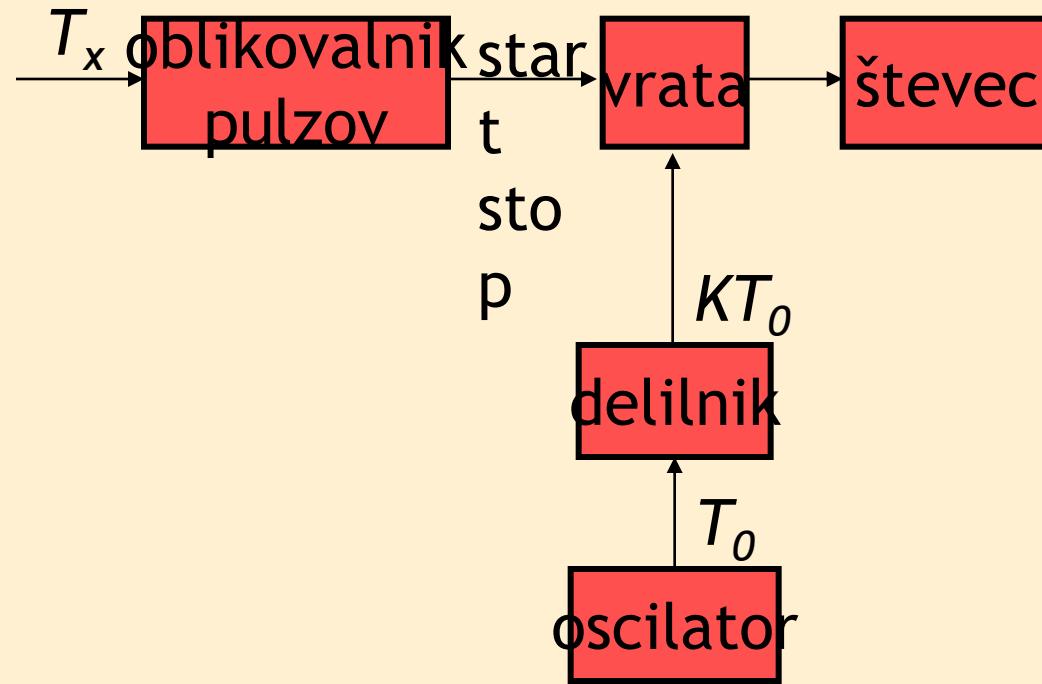


$$u(f) = \frac{Q_f}{\sqrt{6}}$$

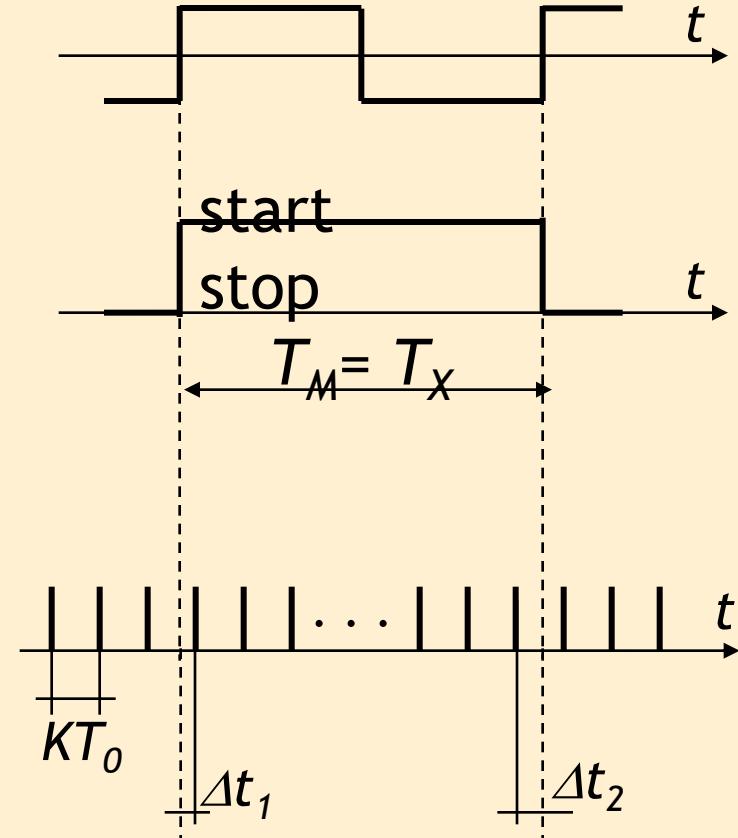
Q_f

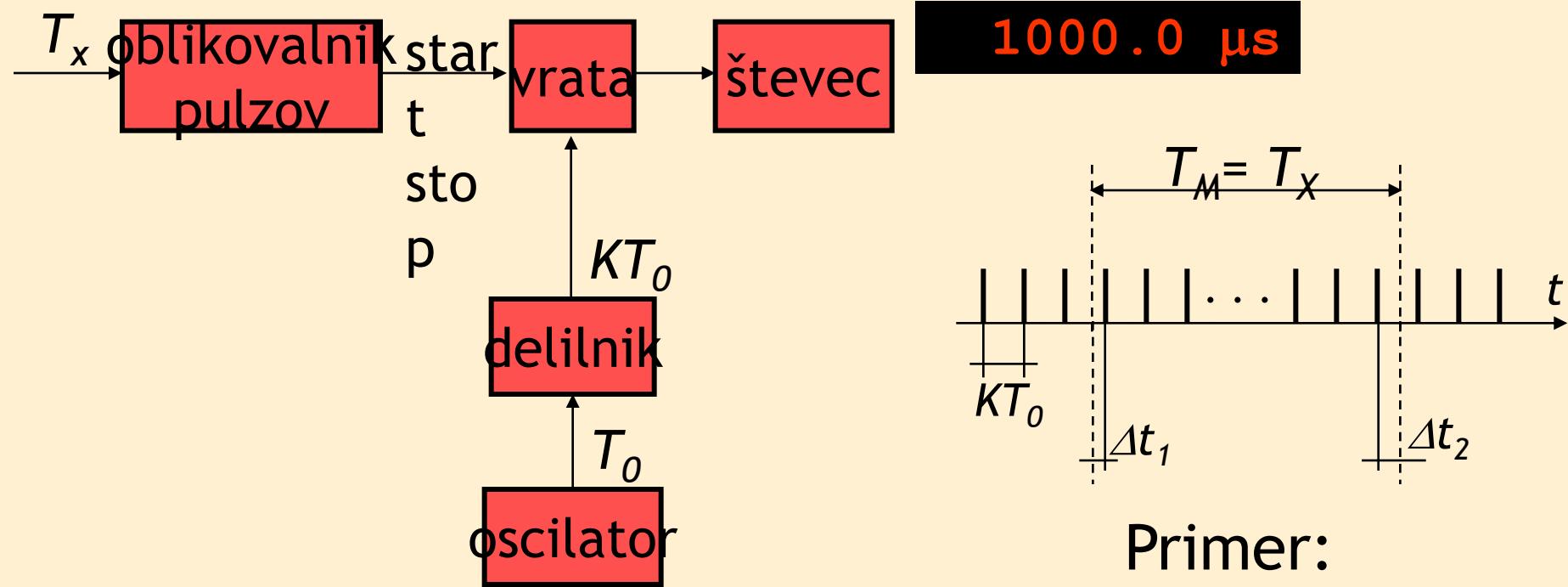
napaka enega digita
kvantizacijski pogrešek





$$T_x = Z \cdot K \cdot T_0$$





$$T_x = Z \cdot K \cdot T_0$$

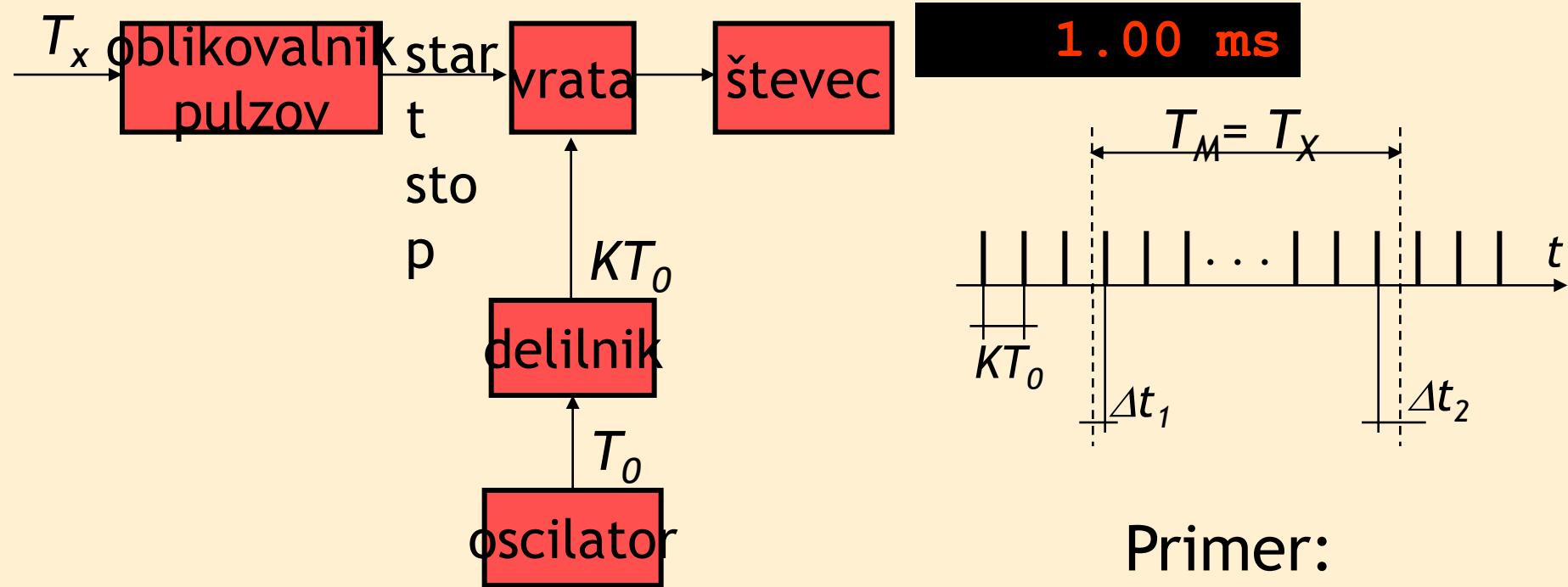
$$T_x = 1 \text{ ms}$$

$$KT_0 = 0,1 \mu\text{s}$$

$$Z = 10.000$$

Merjenje periode T_x

Delovanje števca



Primer:

$$T_x = Z \cdot K \cdot T_0$$

$$T_x = 1 \text{ ms}$$

$$KT_0 = 10 \mu\text{s}$$

$$Z = 100$$

$$M_T = \pm K T_0 = \pm Q_T$$

$$m_T = \frac{M_T}{T_x} = \pm \frac{K T_0}{T_x} = \pm K T_0 f_x$$

$$u(T) = \sqrt{u_1^2(T) + u_2^2(T)} = \frac{Q_T}{\sqrt{6}} = \frac{M_T}{\sqrt{6}}$$

Primer:

1.00 ms

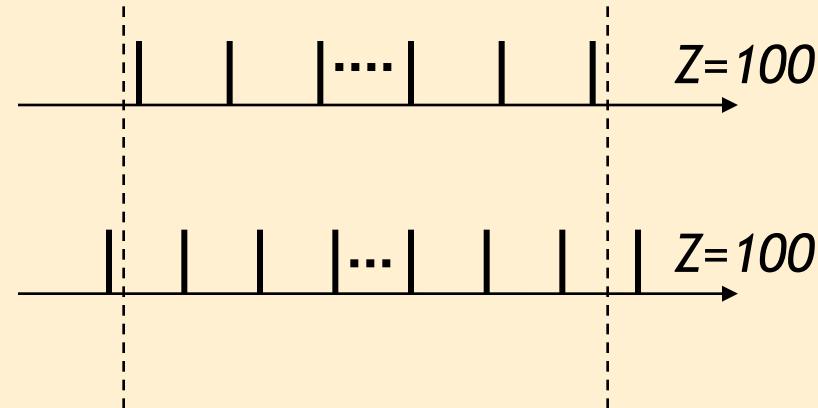
$$T_x = 1 \text{ ms}$$

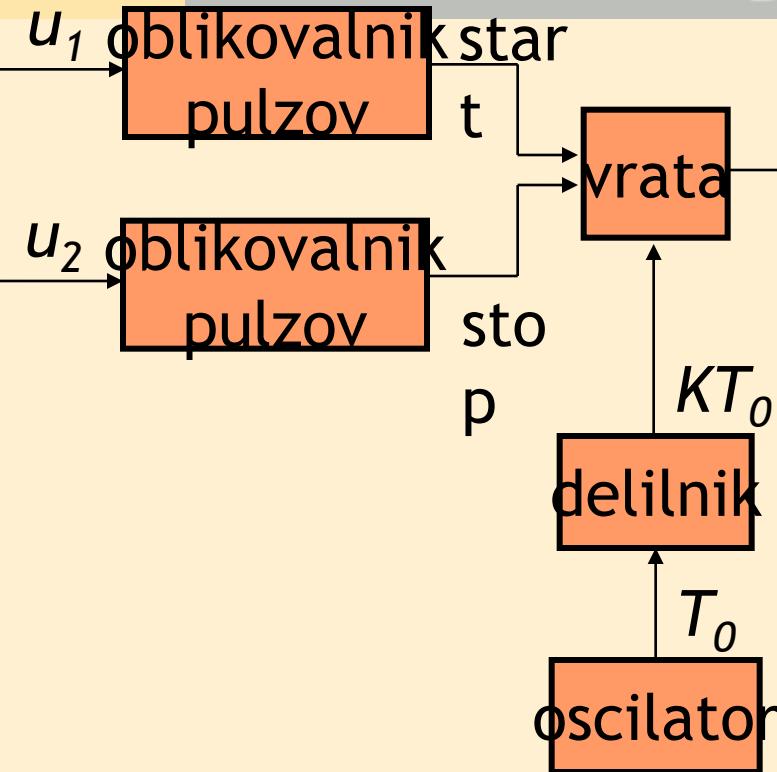
$$K T_0 = 10 \mu\text{s}$$

$$M_T = \pm 10 \mu\text{s}$$

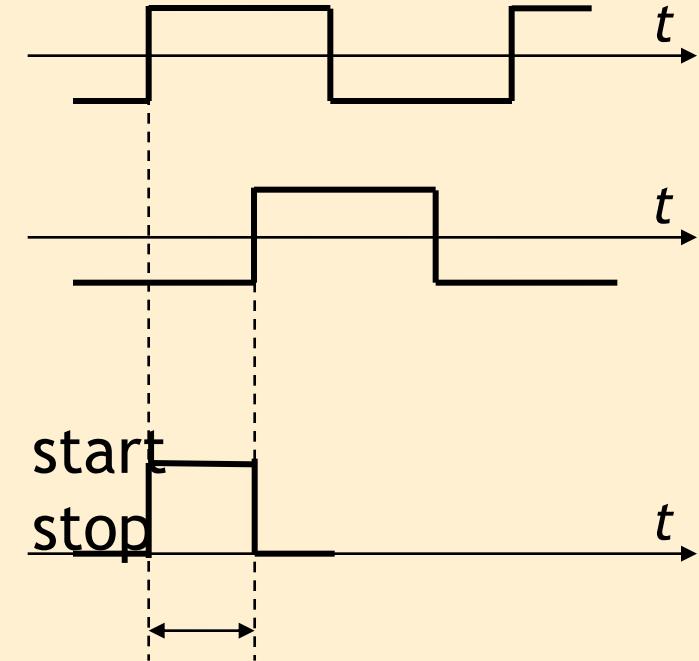
$$m_T = \pm 1 \%$$

$$U_T = 4,1 \mu\text{s}$$



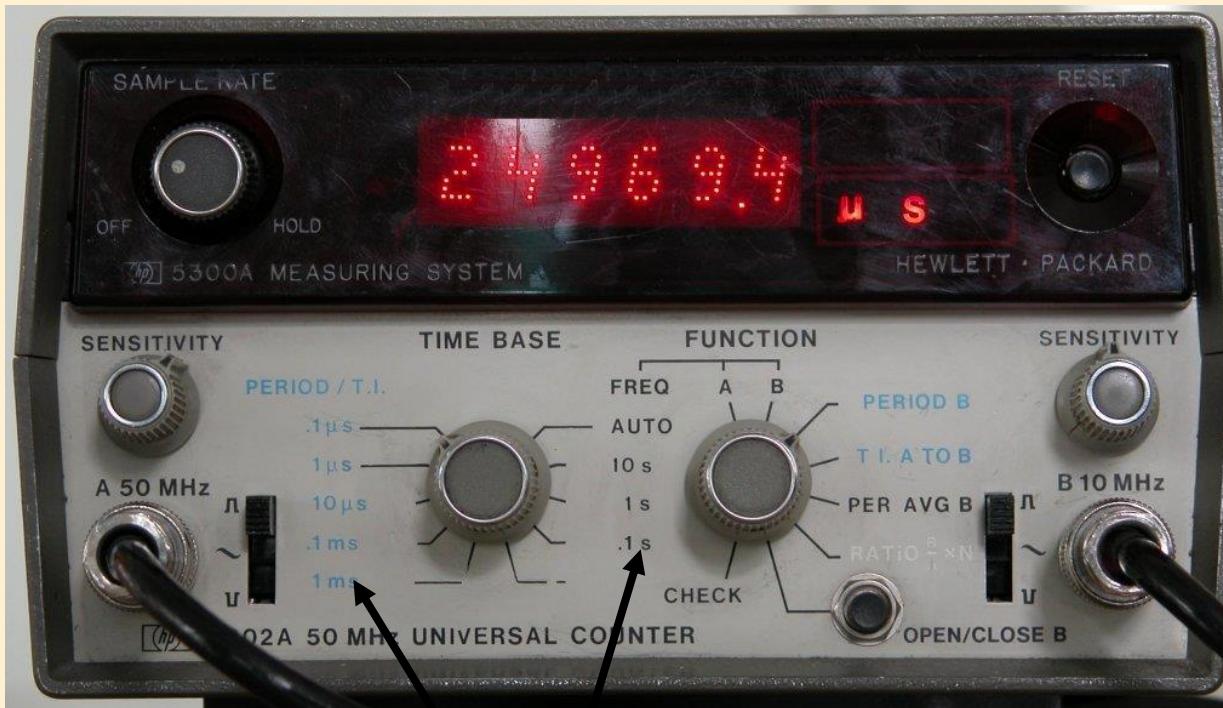


$$\Delta t_x = Z \cdot K \cdot T_0$$

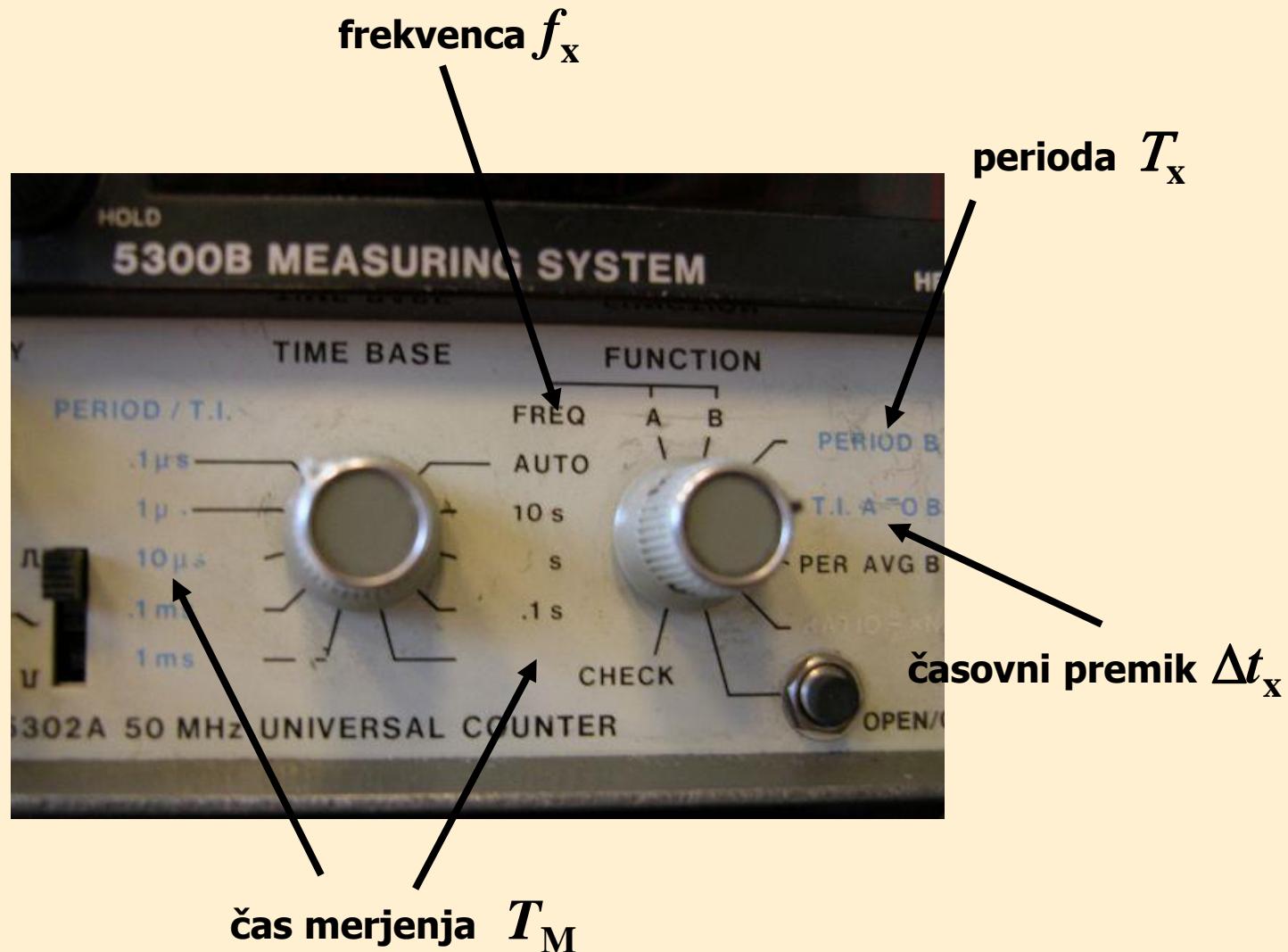


$$T_M = \frac{\Delta t_x}{Z}$$

Elektronski števec

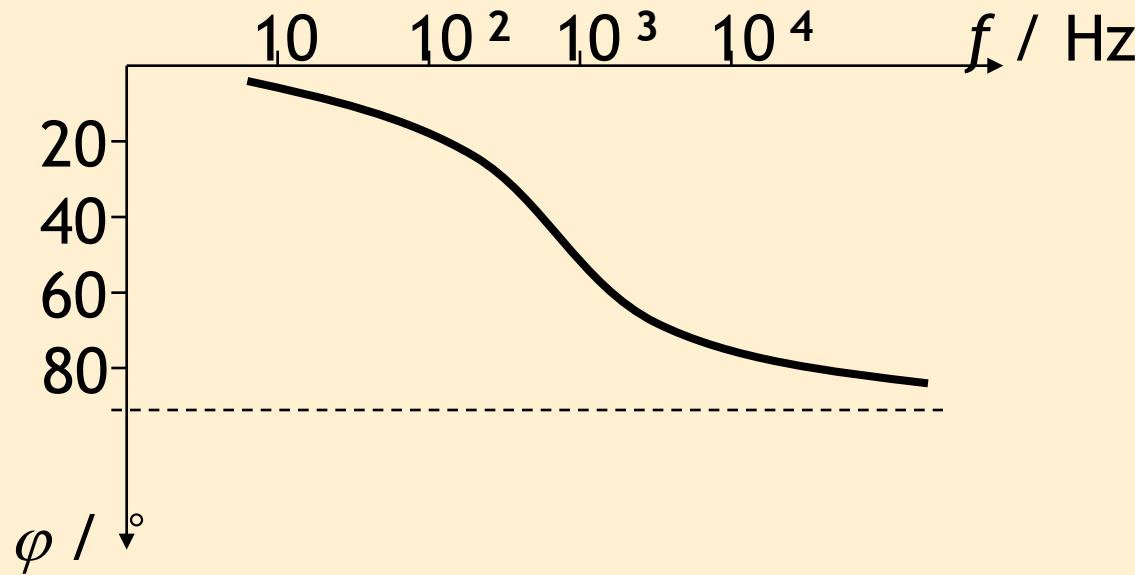


KT_0



Rezultat:

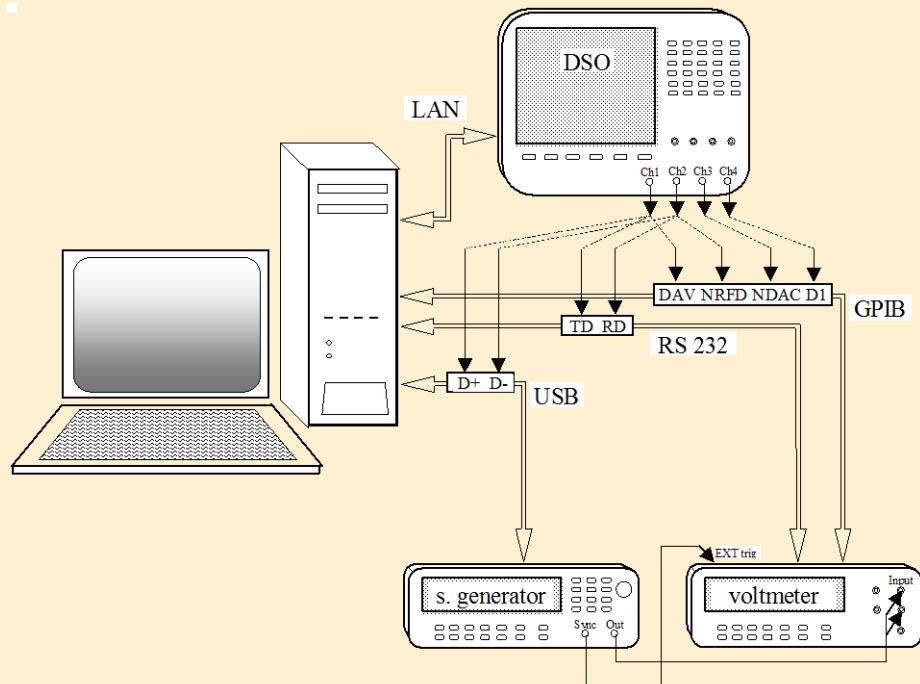
$f_{\text{nast}} / \text{Hz}$	f_x / Hz	$T_x / \mu\text{s}$	$\Delta t_x / \mu\text{s}$	$u(f_x)$	$u(T_x)$	φ
100	100,0	10.000,0



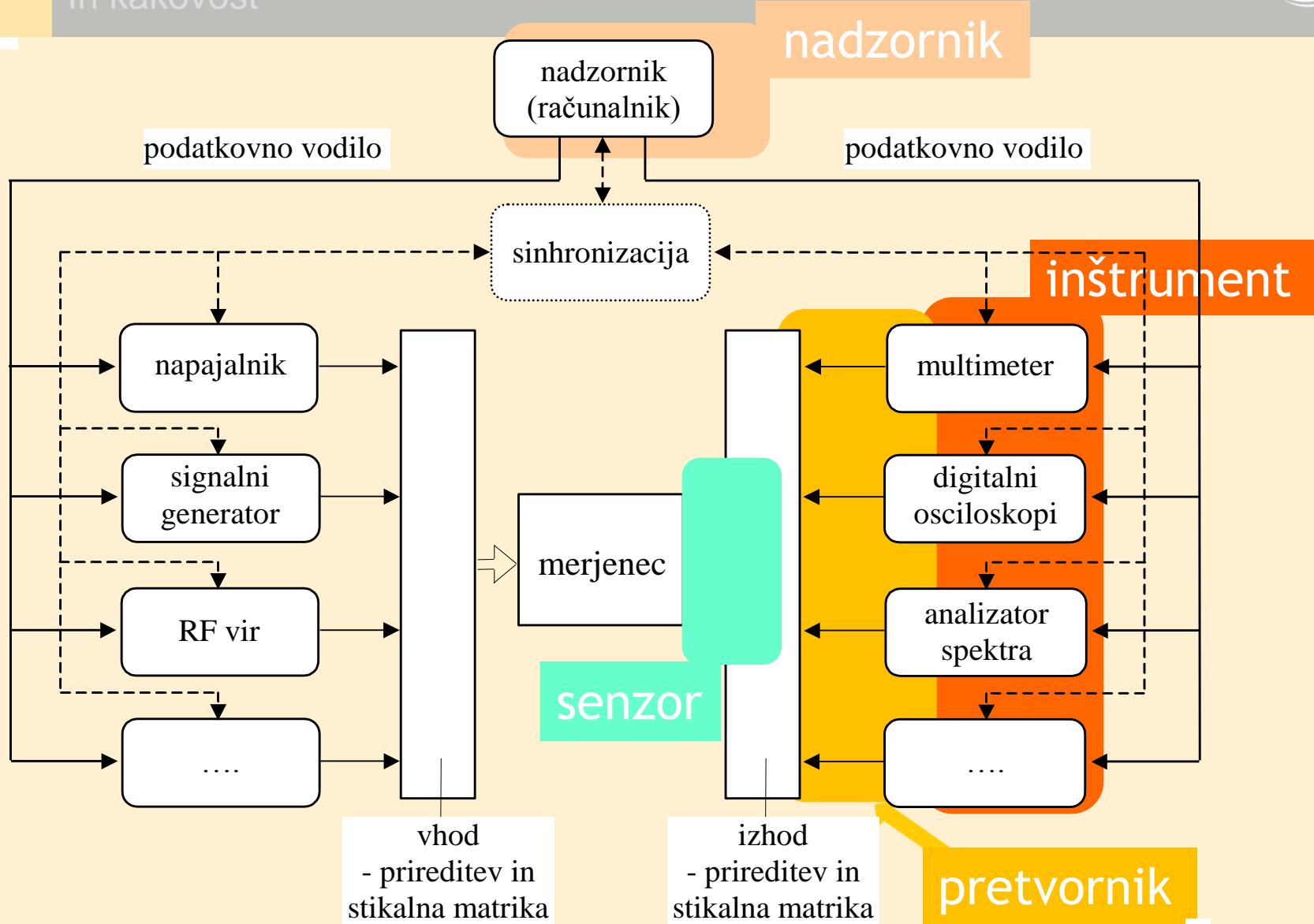
VAJA 4

Besedilo naloge

S pomočjo osciloskopa analizirajte delovanje računalniško podprtega merilnega sistema povezanega s procesnimi vodili po standardih RS232, GPIB, USB in LAN. Primerjajte hitrosti prenosa podatkov za RS232 in GPIB vodili pri različnih parametrih delovanja.



Merilni sistem



Vodilo

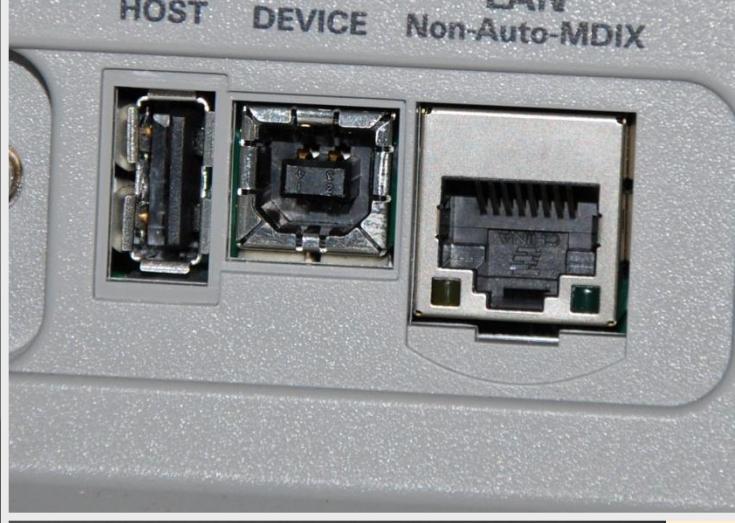
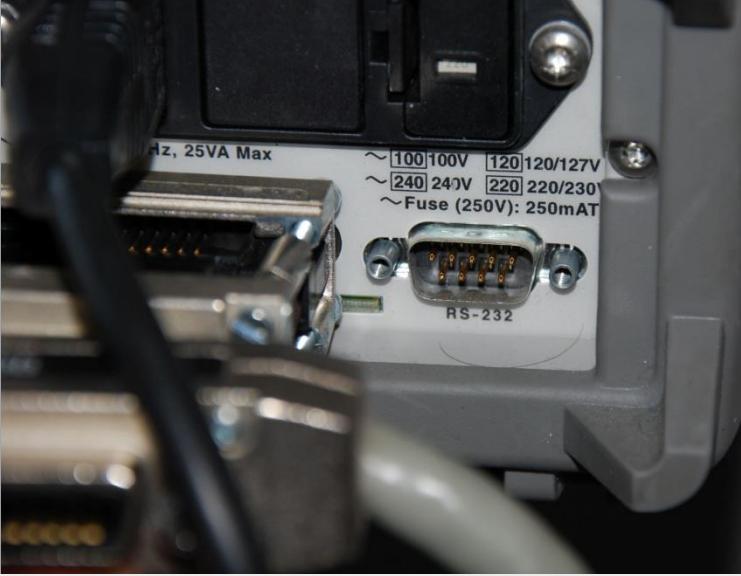
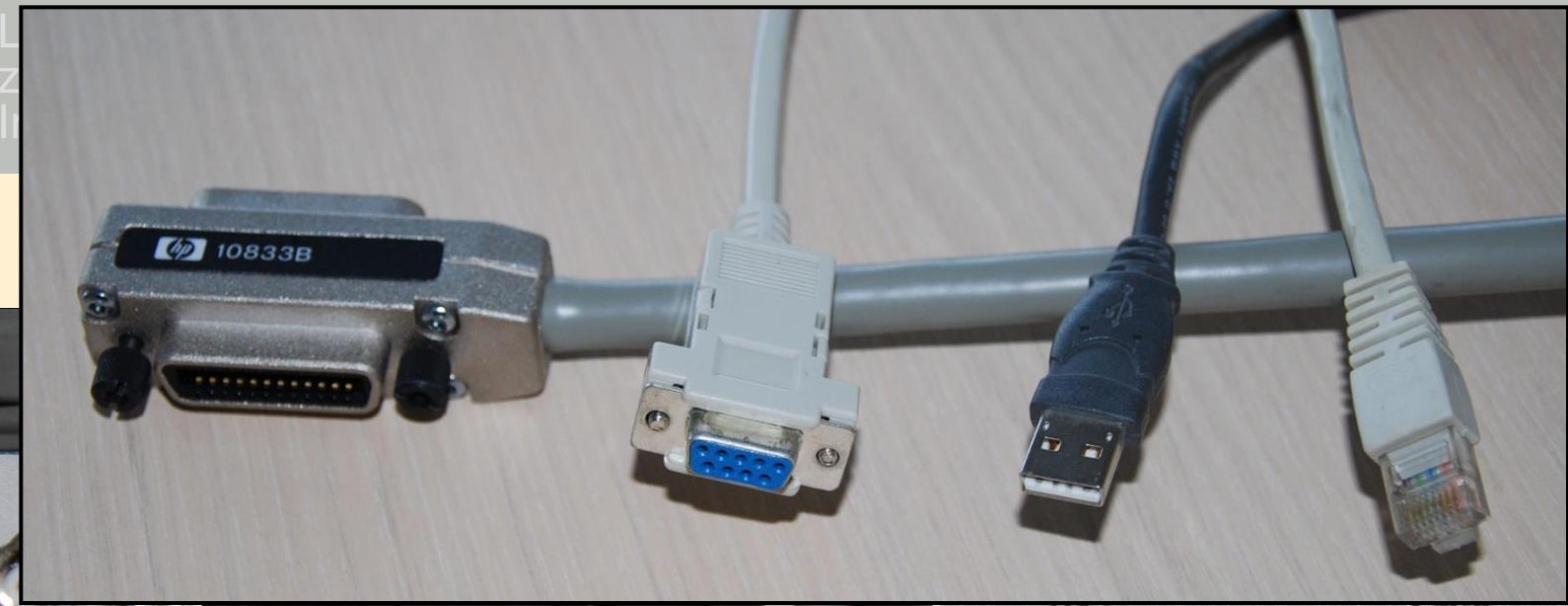
Podatkovna vodila (npr. RS232, GPIB, USB, LAN itd.)

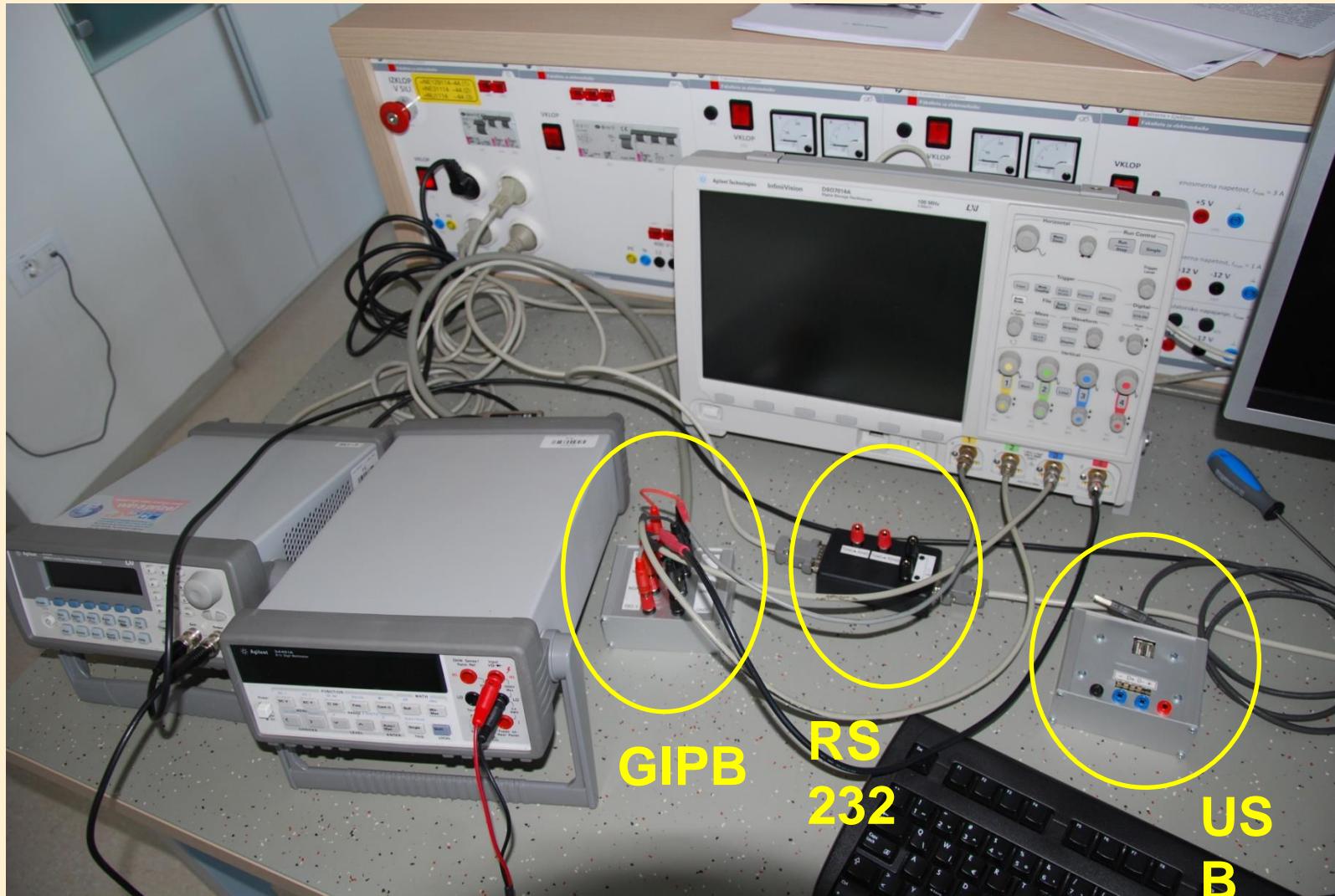
- Povezljivost merilnih členov
- Boljša koordinacija merjenja
- Omogočajo prenos ukazov, naslovov naprav in podatkov v organizirani obliki

Ločimo:

- serijska vodila, biti znaka se prenašajo **zaporedno** (RS 232 in USB vodilo)
- parallelna vodila, biti znaka se prenašajo **vzporedno** (GPIB vodilo).







Standardni jezik za programabilne instrumente SCPI

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) - programski jezik za programiranje instrumentov (pošiljanje ukazov in branje rezultatov) ne glede na vodilo.

Ukazi so v obliki ASCII kodiranih nizov.
***RST** (postavitev v osnovno stanje)

CONFigure:VOLTage:DC 1V, 0.01 (nastavitev parametrov merjenja)

INITiate;FETCH? (=READ?) (sprožitev in branje podatkov)

Dodatek:

- a) Vodilo po standardu RS 232
- b) Paralelno vodilo GPIB po standardu IEEE 488.2
- c) USB vodilo
- d) LAN



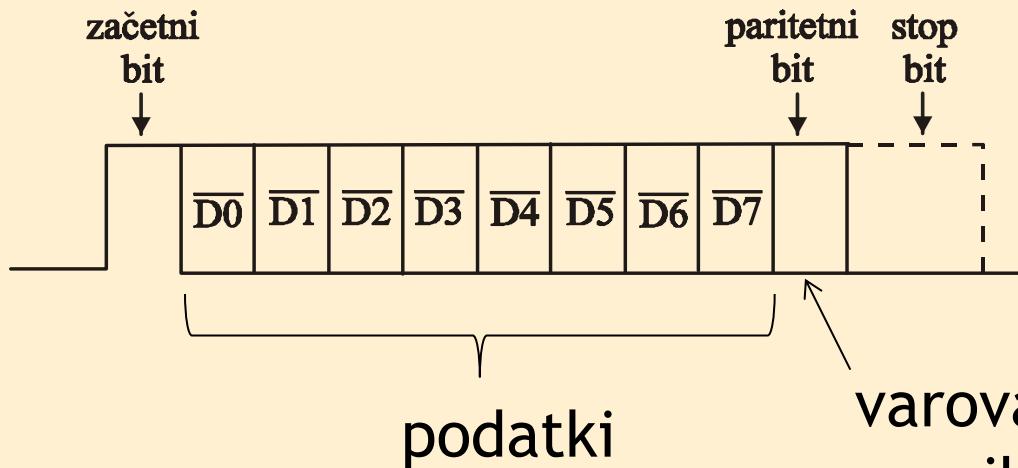


a) Vodilo po standardu RS-232

Na vodilu je naenkrat samo en par naprav.

Podatki se lahko prenašajo na tri načine:

- prenos podatkov samo v eni smeri;
- prenos podatkov v obeh smereh, vendar ne istočasno (Half Duplex);
- prenos podatkov v obeh smereh istočasno (Full Duplex).

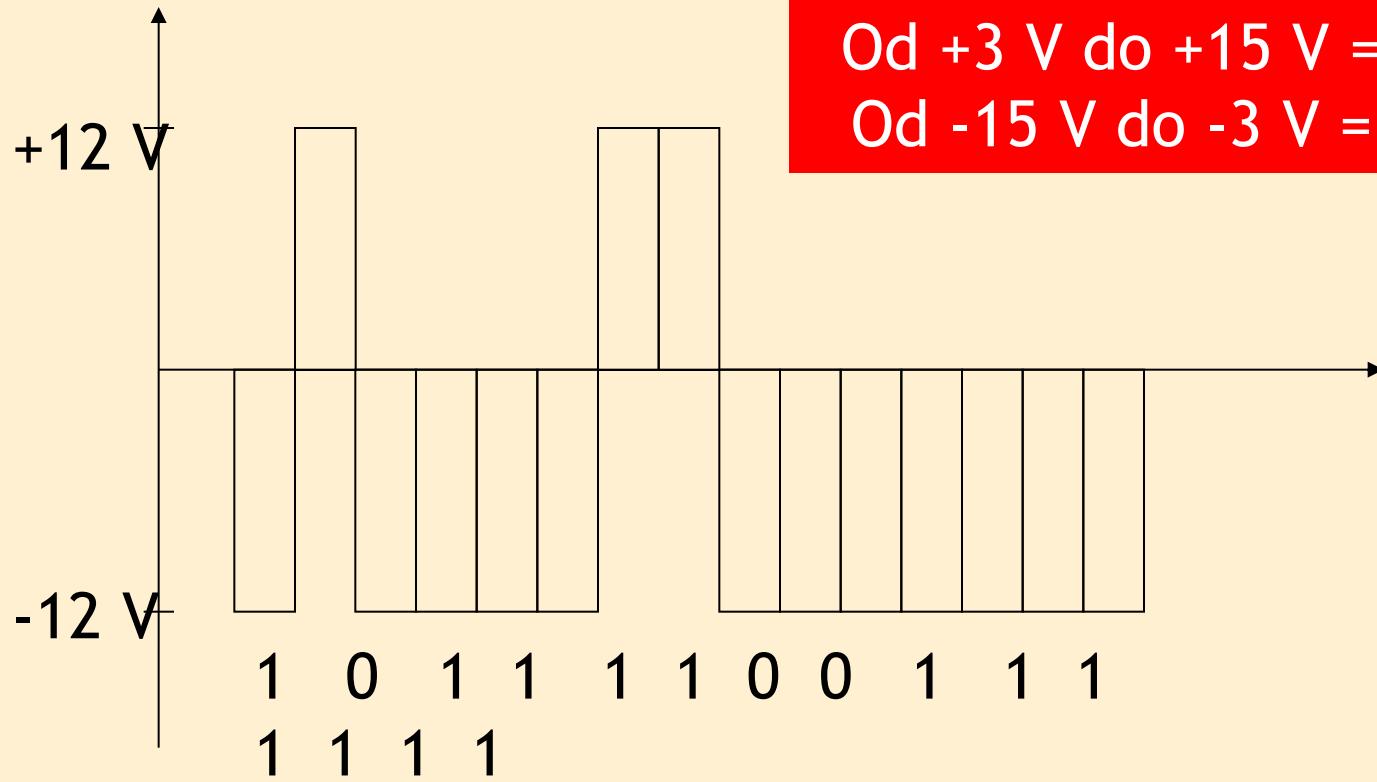


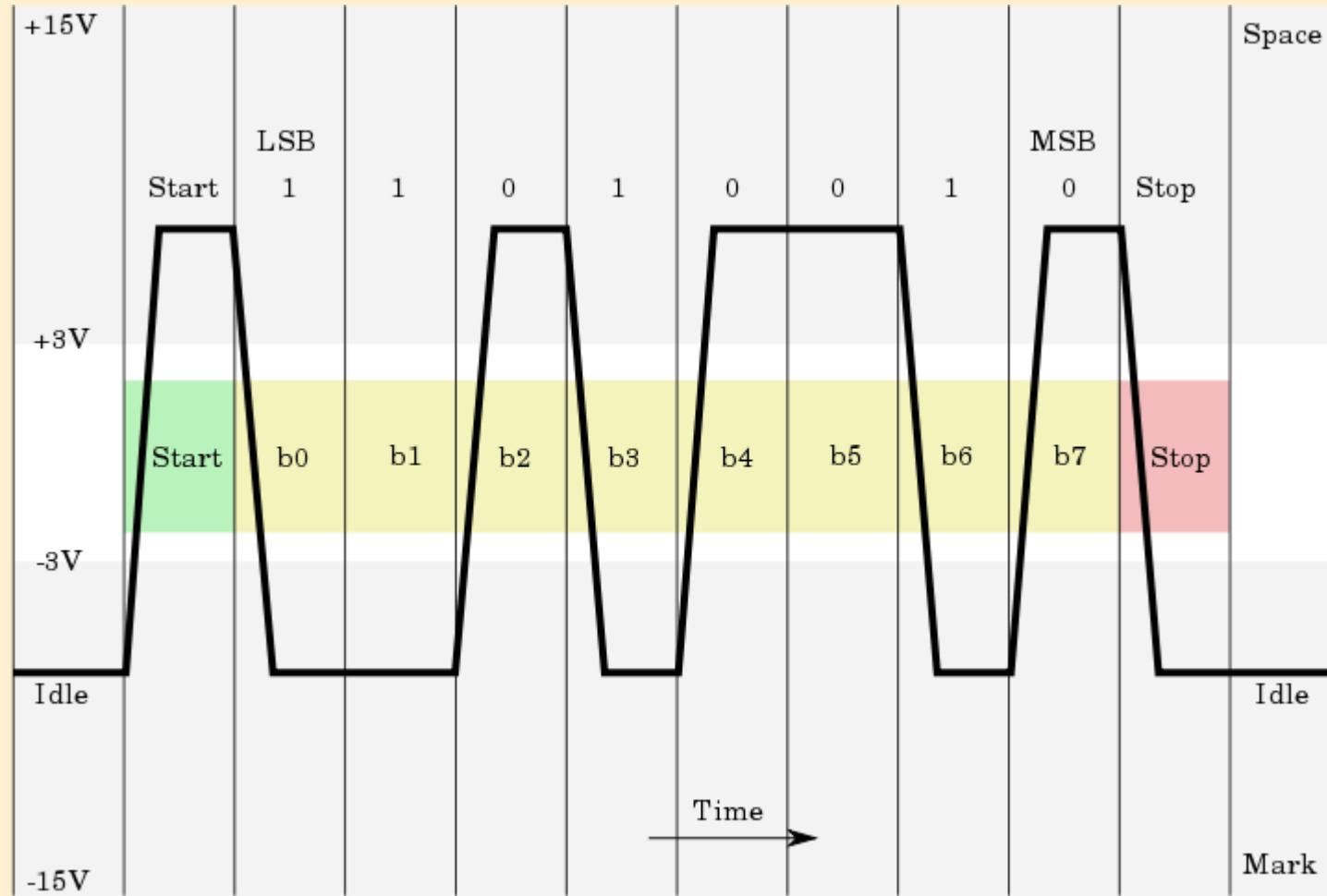
Dolžina kabla naj ne bo večja kot 15 metrov.

RS - Recommended
Standard 232

varovanje in kontrola
pravilnosti prenosa
podatkov

Podatki po RS-232 vodilu

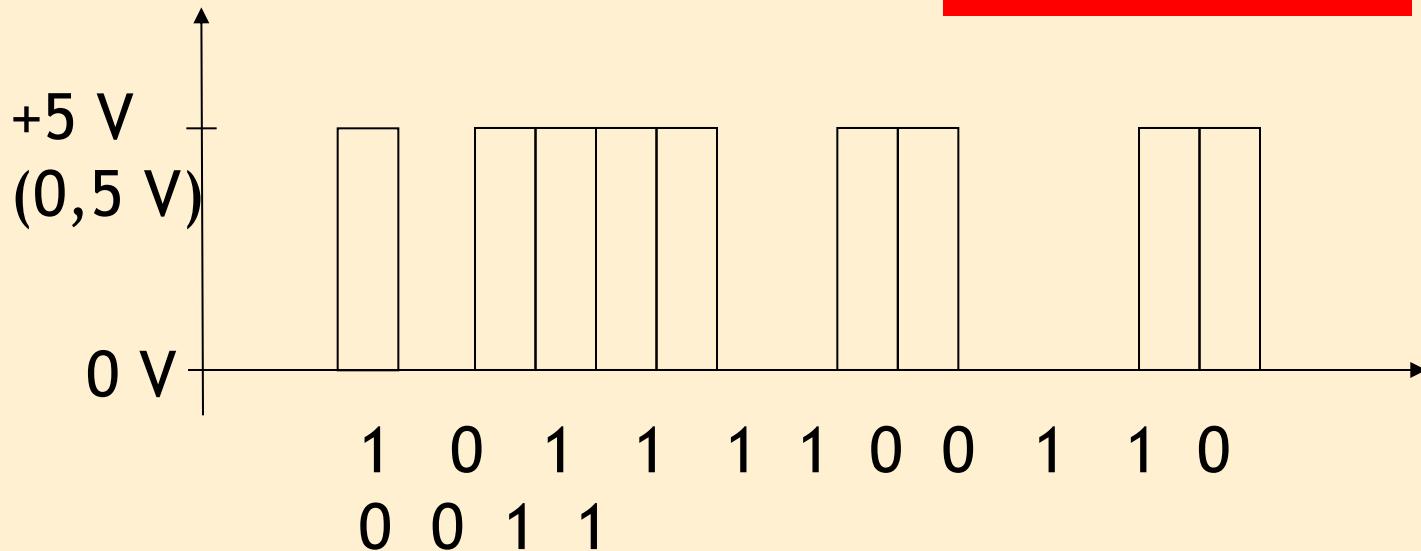




Podatki po USB vodilu



+ 5 V = “1”
0 V = “0”





b) Paralelno vodilo GPIB po standardu IEEE 488.2

GPIB - General Purpose Interface Bus

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

Komunikacijo med napravami omogočajo funkcije:

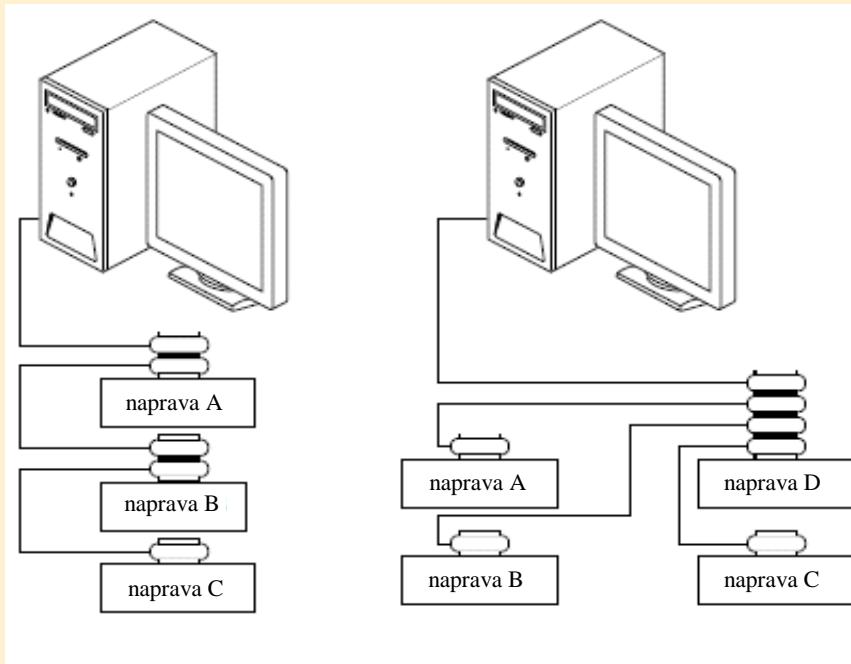
- oddajnika (talker),
- sprejemnika (listener) in
- nadzornika (controller).

Vsaka svoj naslov oziroma hišno številko.

Največ 15

maksimalna skupna dolžina vodila 20 m (tipično 2 metra med napravama)

Prenos podatkov preko vodila je omejen na 1 MB/s, omejena je s hitrostjo najpočasnejše naprave v sistemu.



Paralelno vodilo GPIB



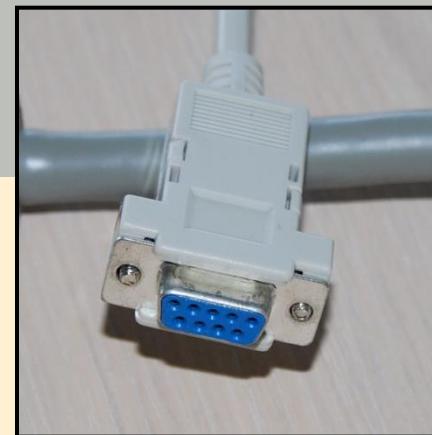
- GPIB vodilo je sestavljeno iz 24 linij, ki si jih delijo vsi priklopljeni instrumenti.
- 16 linij se uporablja za prenos podatkov oziroma za signale, ostalih 8 linij je ozemljitev. Signalne linije so razdeljene v naslednje skupine:
 - 8 podatkovnih linij; 5 linij za nadzor in urejanje vodila; 3 linije za nadzor prenosa podatkov - handshake.

pin	oznaka	Ime signala	pin	oznaka	Ime signala
1	DIO1	Podatki	13	DIO5	Podatki
2	DIO2	Podatki	14	DIO6	Podatki
3	DIO3	Podatki	15	DIO7	Podatki
4	DIO4	Podatki	16	DIO8	Podatki
5	EOI	Podatki	17	REN	Remote Enable
6	DAV	Data Valid	18	GND	DAV ground
7	NRFD	Not Ready For Data	19	GND	NRFD ground
8	NDAC	Not Data Accepted	20	GND	NDAC ground
9	IFC	Interface Clear	21	GND	IFC ground
10	SRQ	Service Request	22	GND	SRQ ground
11	ATN	Attention	23	GND	ATN ground
12	Shield	Chassis ground	24	GND	Signal ground

Meritve



RS-232



- Slika prenosa enega ASCII znaka (npr.. '0' ali '1').
- Merjenje časa prenosa podatkov izmerjene napetosti:

N	$T(\text{skupni}) / \text{s}$
1	
2	
4	
8	
16	
32	
64	
128	

N - število izmerjenih vrednosti napetosti

$T(\text{vzorec})$ - čas prenosa vzorca z N meritvami
(10x prenesti, \bar{X} , s)

$$T(\text{vzorec})/\text{s} = \frac{T_{N_2} (\text{npr. } \bar{T} \text{ pri } 128) - T_{N_1} (\text{npr. } \bar{T} \text{ pri } 64)}{N_2 - N_1}$$

GPIB



- Slika prenosa enega ASCII znaka (npr.. '0' ali '1').
- Merjenje časa prenosa podatkov izmerjene napetosti:

N	$T(\text{skupni}) / \text{s}$
1	
2	
4	
8	
16	
32	
64	
128	

N - število izmerjenih vrednosti napetosti

$T(\text{vzorec})$ - čas prenosa vzorca z N meritvami
(10x prenesti, \bar{X} , s)

$$T(\text{vzorec})/\text{s} = \frac{T_{N_2} (\text{npr. } \bar{T} \text{ pri } 128) - T_{N_1} (\text{npr. } \bar{T} \text{ pri } 64)}{N_2 - N_1}$$

Meritve časov

Skupni čas prenosa podatkov razdelimo v:

- čas prenosa N vzorcev po vodilu ($N \cdot T(\text{vzorec})$),
- ostali čas ki ga zahteva merilni sistem (tako programski kot strojni del).

$$T(\text{skupni}) = T(\text{sistem}) + N \cdot T(\text{vzorec})$$

Če merimo z različnim številom vzorcev, je čas prenosa vzorcev odvisen od tega števila, ostali čas pa je pogojno konstanten

(npr.: ne sme priti do začasne prekinitve programa zaradi opravil višje prioritete - akcija z miško itd.) •

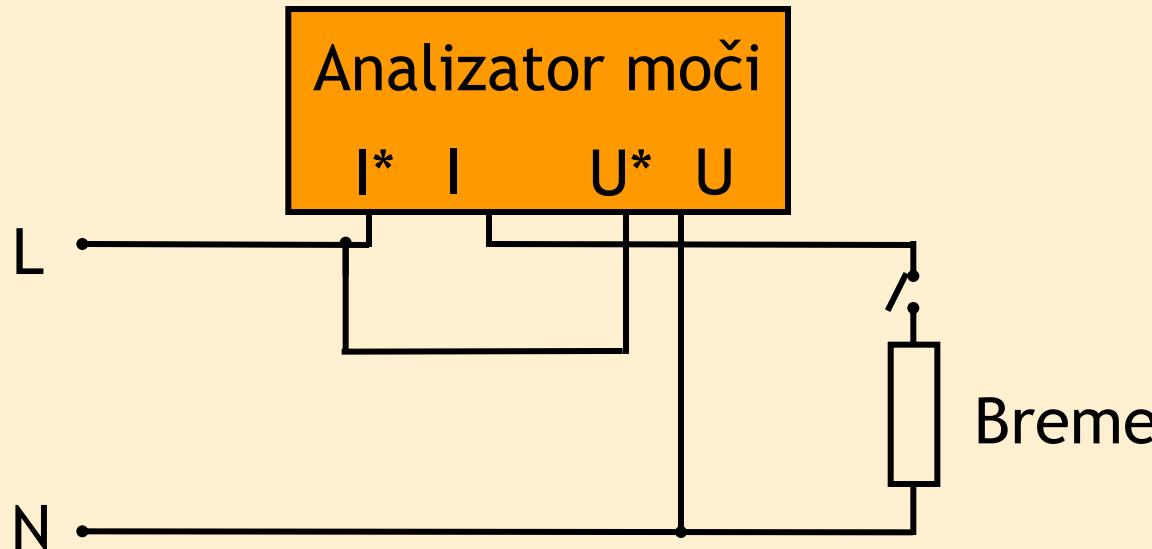
Iz dveh skupnih časov pri različnem številu vzorcev N izracunamo čas prenosa enega vzorca z izločitvijo časa $T(\text{sistem})$:

$$T(\text{vzorec}) = \frac{T_{N_2}(\text{skupni}) - T_{N_1}(\text{skupni})}{N_2 - N_1}$$

VAJA 5

Besedilo naloge

Z analizatorjem moči izmerite faktor moči λ za različne porabnike. Opazujte časovni potek toka posameznih porabnikov ter določite faktor popačenja THD_{IEC} .



Definicije moči

Trenutna moč

$$p = u \cdot i$$

Delovna moč

$$P = \bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T ui \, dt$$

Če sta u in i sinusna

$$P = UI \cos \varphi$$

Navidezna moč

$$S = UI$$



Faktor moči λ

Faktor moči

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$$

če sta u in i sinusna $\lambda = \cos \varphi$

Merjenje λ

Omrežna napetost ima ponavadi sinusno obliko.

Če je tok sinusne oblike $\rightarrow \lambda$ merimo preko φ

Sicer $\rightarrow \lambda$ merimo preko U_{ef} , I_{ef} in delovne moči

Negotovost faktorja moči λ

$$u(\lambda) = \frac{M_\lambda}{\sqrt{3}}$$

λ_{izm} odčitamo z analizatorja moči.

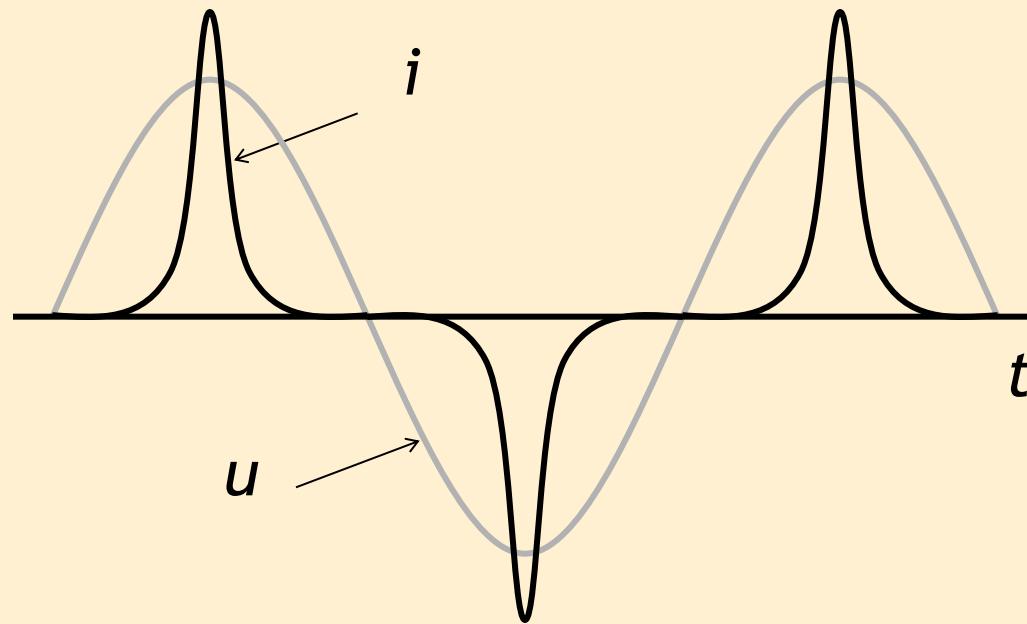
$\lambda = \dots, \dots,$

$u(\lambda) = \dots, \dots,$

$n = \dots, \dots$

Oblika toka skozi breme

Primer toka skozi breme:
(THD)



Oblika toka skozi breme

Popačenost oblike toka

...pomeni odstopanje dejanske oblike od sinusne oblike.

⇒ Faktor popačenja THD (Total Harmonic Distortion)

Harmonika analiza (Fourierova vrsta):

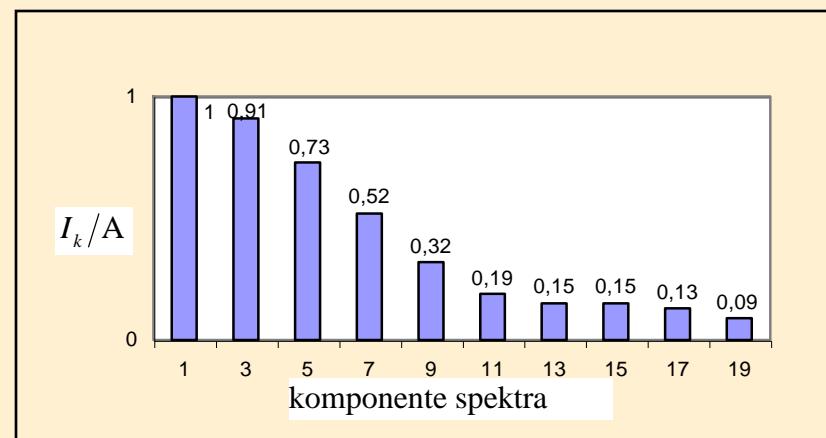
$$i(t) = \hat{i}_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + \boxed{\hat{i}_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + \hat{i}_n \sin(n\omega t + \varphi_n) + \dots}$$

Oblika toka skozi breme

Popačenost oblike toka

$$THD_{IEC} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1}$$

$$THD_{DIN} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I}$$



VAJA 6

Besedilo naloge

Izmerite delovno in jalovo moč v trifaznem trivodnem sistemu!

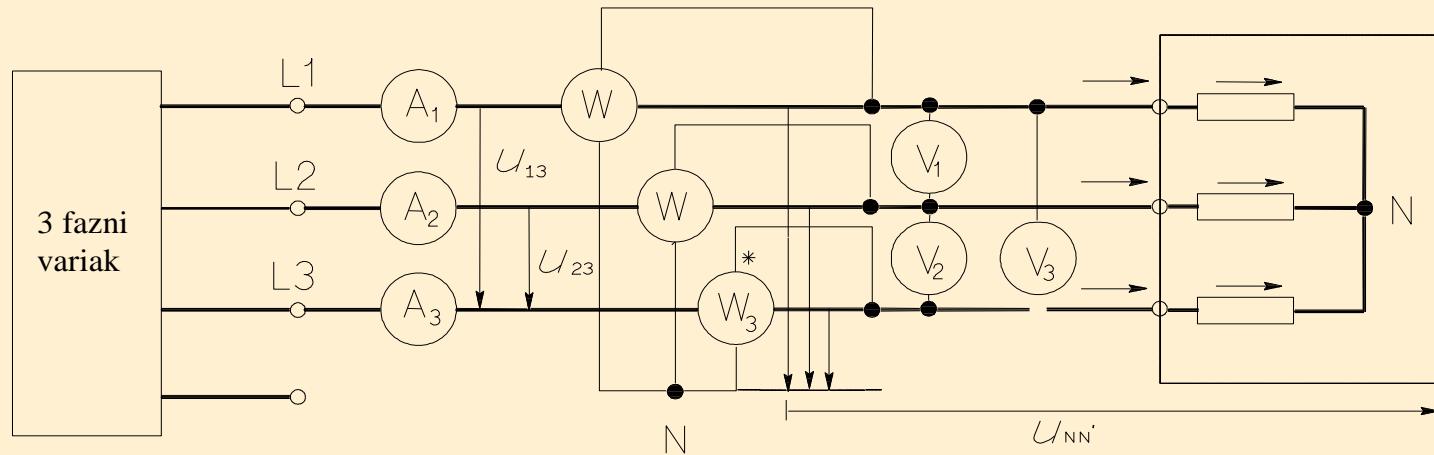


VAJA 6

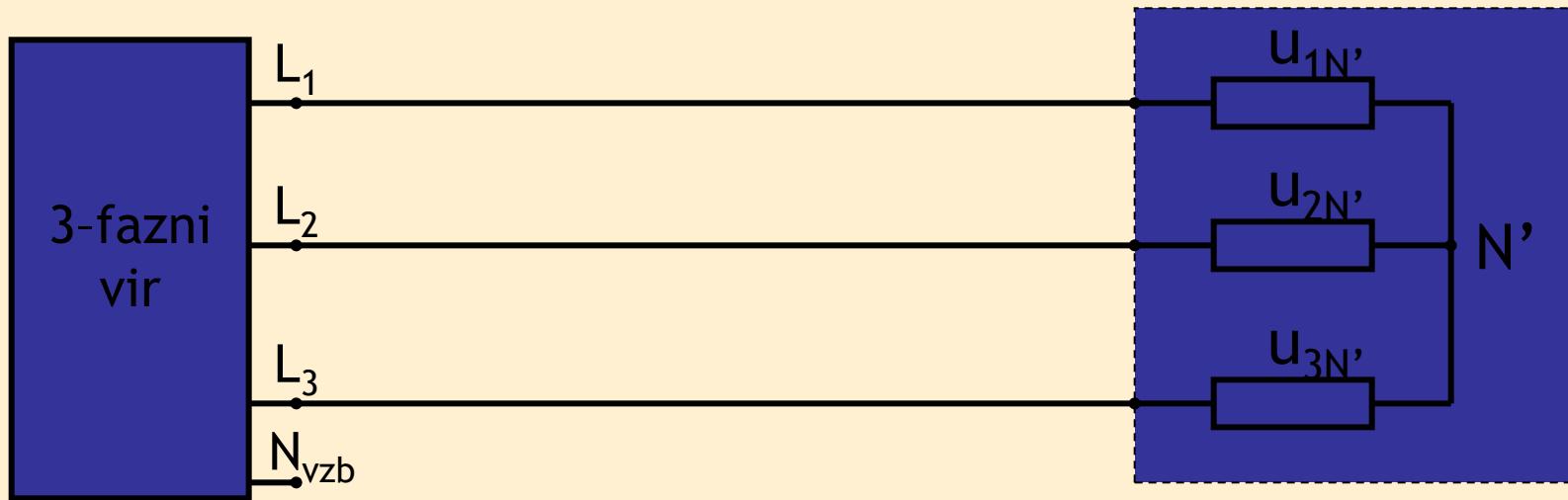
Besedilo naloge

Izmerite delovno in jalovo moč v trifaznem trivodnem sistemu!

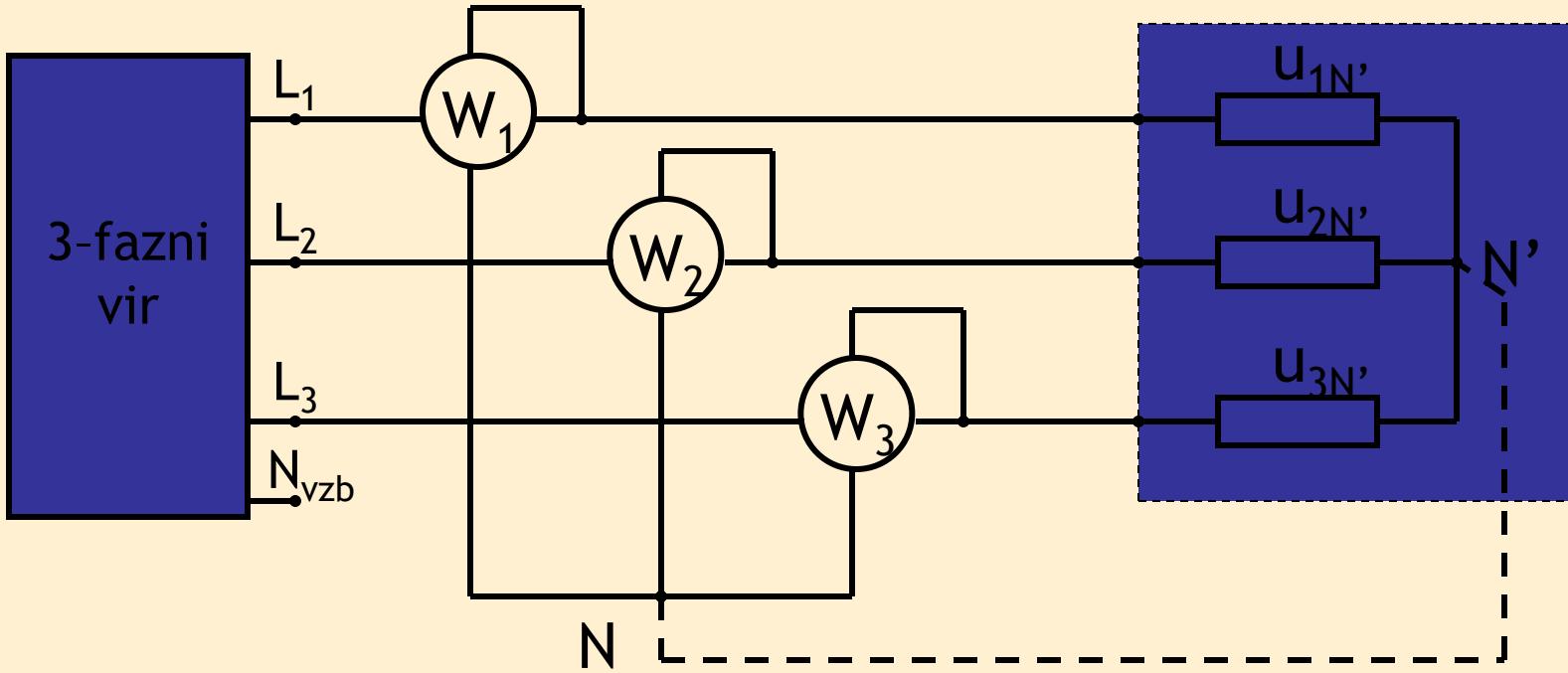
Merilno vezje - delovna moč



Merjenje delovne moči s tremi vatmetri



$$P = \overline{u_{1N'} \cdot i_1} + \overline{u_{2N'} \cdot i_2} + \overline{u_{3N'} \cdot i_3}$$



$$P = \overline{u_{1N'} \cdot i_1} + \overline{u_{2N'} \cdot i_2} + \overline{u_{3N'} \cdot i_3} = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} ?$$

Kaj če $u_{NN'} \neq 0$?

$$P = \overline{u_{1N} i_1} + \overline{u_{2N} i_2} + \overline{u_{3N} i_3} = \dots \quad u_{1N'} = u_{1N} + u_{NN'}$$

$$u_{2N'} = u_{2N} + u_{NN'}$$

$$u_{3N'} = u_{3N} + u_{NN'}$$

$$\dots = \overline{u_{1N} i_1} + \overline{u_{2N} i_2} + \overline{u_{3N} i_3} + \overline{u_{NN'} (i_1 + i_2 + i_3)} \rightarrow 0$$

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}$$

Ne glede, kje je točka N!

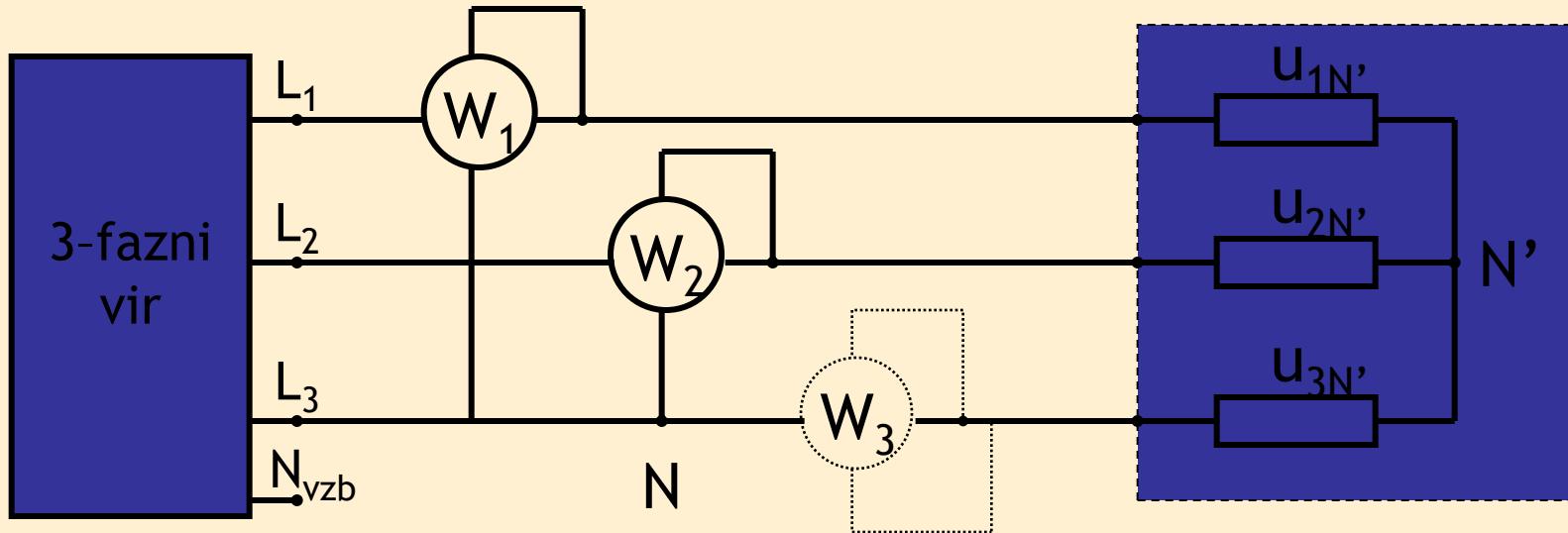


**Kamor koli vežemo skupno točko
vatmetrov N, bo VSOTA moči
vatmetrov ostala enaka.**

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = \text{konst}$$

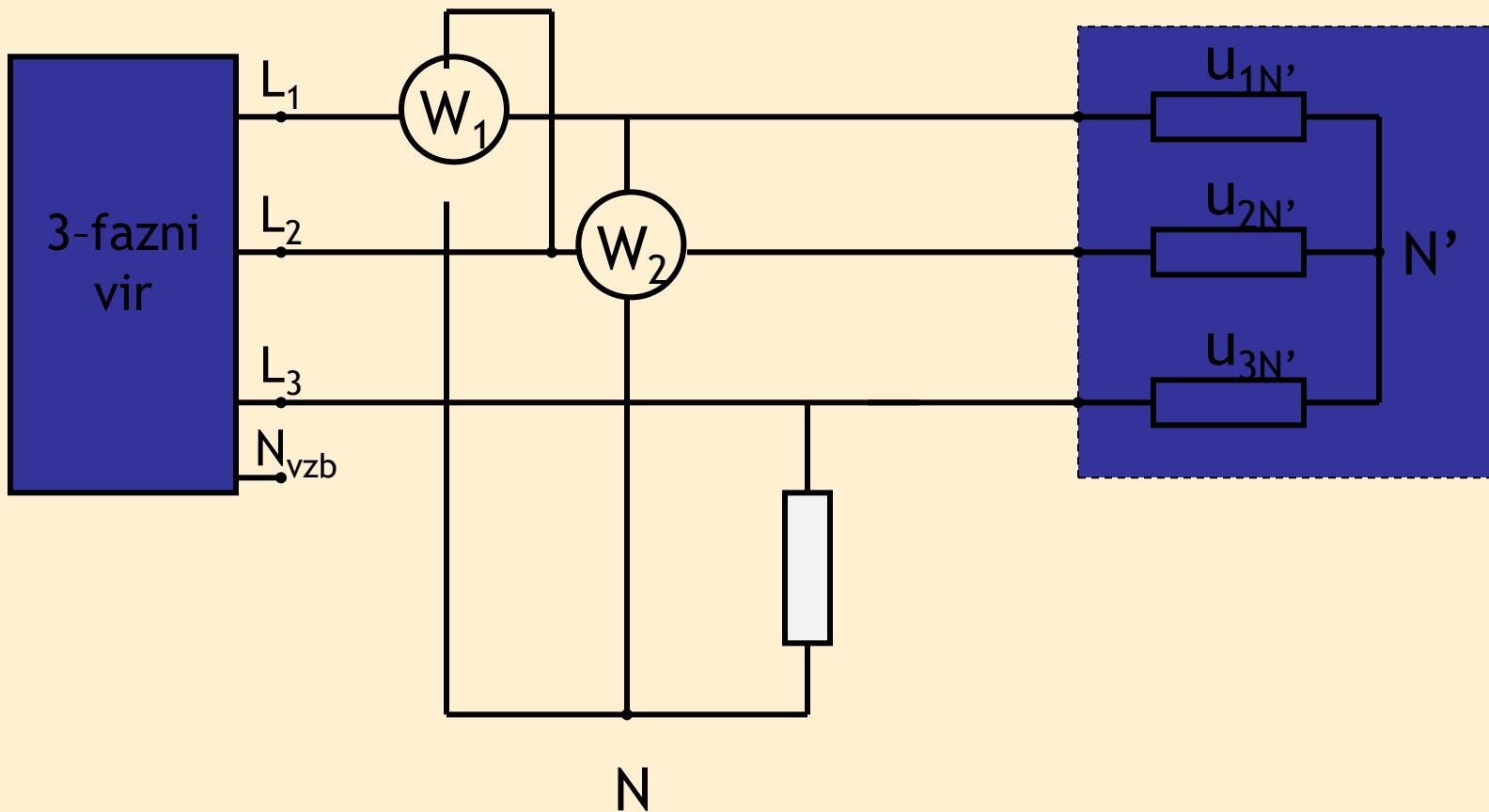


Merjenje delovne moči s tremi vatmetri

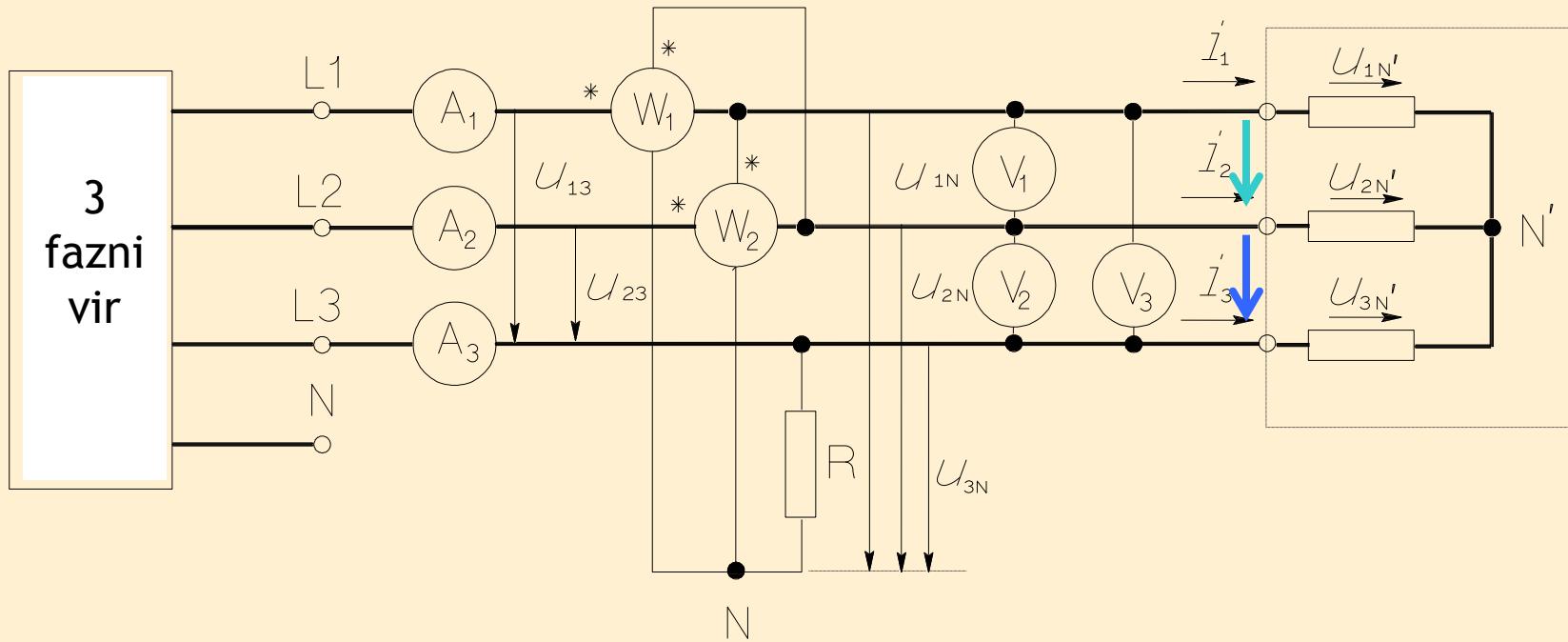


Zato sta dovolj le dva vatmetra -
ARONOVA VEZAVA.

Merjenje jalove moči z dvema vatmetromma in uporom



Merjenje jalove moči z dvema vatmetromi



$$Q = \frac{1}{2} \operatorname{Im} \left\{ \underline{U}_{1N'} \underline{I}_1^* + \underline{U}_{2N'} \underline{I}_2^* + \underline{U}_{3N'} \underline{I}_3^* \right\}$$

$$\underline{I}_3^* = -(\underline{I}_1^* + \underline{I}_2^*)$$

$$Q = \frac{1}{2} \operatorname{Im} \left\{ (\underline{U}_{1N'} - \underline{U}_{3N'}) \underline{I}_1^* + (\underline{U}_{2N'} - \underline{U}_{3N'}) \underline{I}_2^* \right\}$$

b) jalova moč motorja

$$Q = \sqrt{3} (P_{W_1} - P_{W_2}).$$

Rezultati

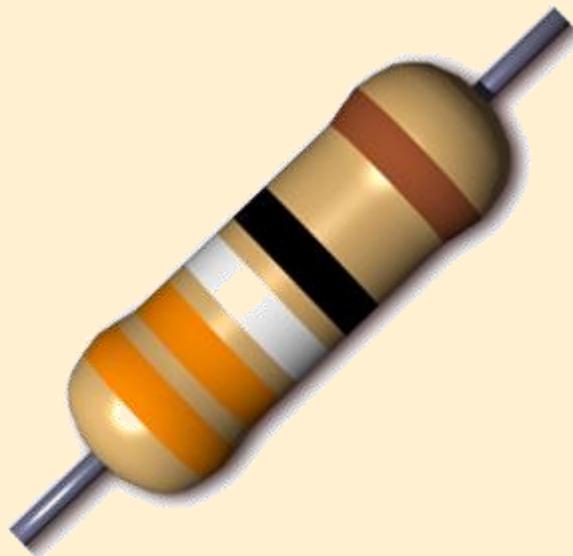
	$U_1 /$	$U_2 /$	$U_3 /$	$I_1 /$	$I_2 /$	$I_3 /$	$P_{W1} /$	$P_{W2} /$	$P_{W3} /$	$P /$	$Q /$

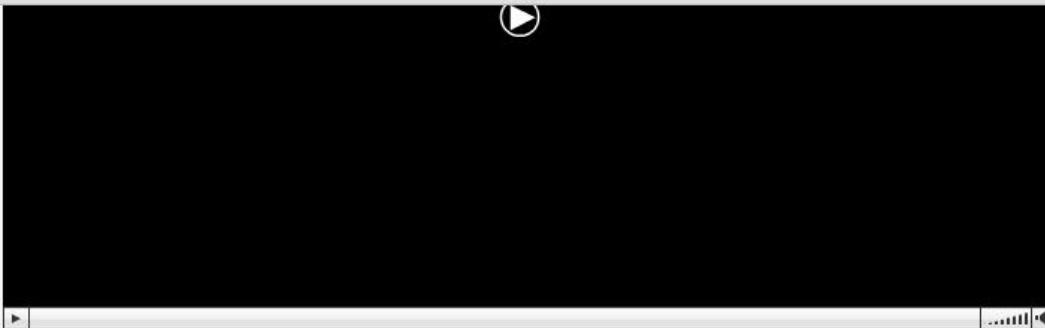
- nevtralna točka na različnih mestih
- fazno zaporedje pri jalovi moči

VAJA 7

Besedilo naloge

Izmerite ohmsko upornost s pomočjo preciznega Kelvinovega (Thomsonovega) mostiča.





Merilna instrumentacija - vaja 7 (pripravil: Domen Hudoklin)

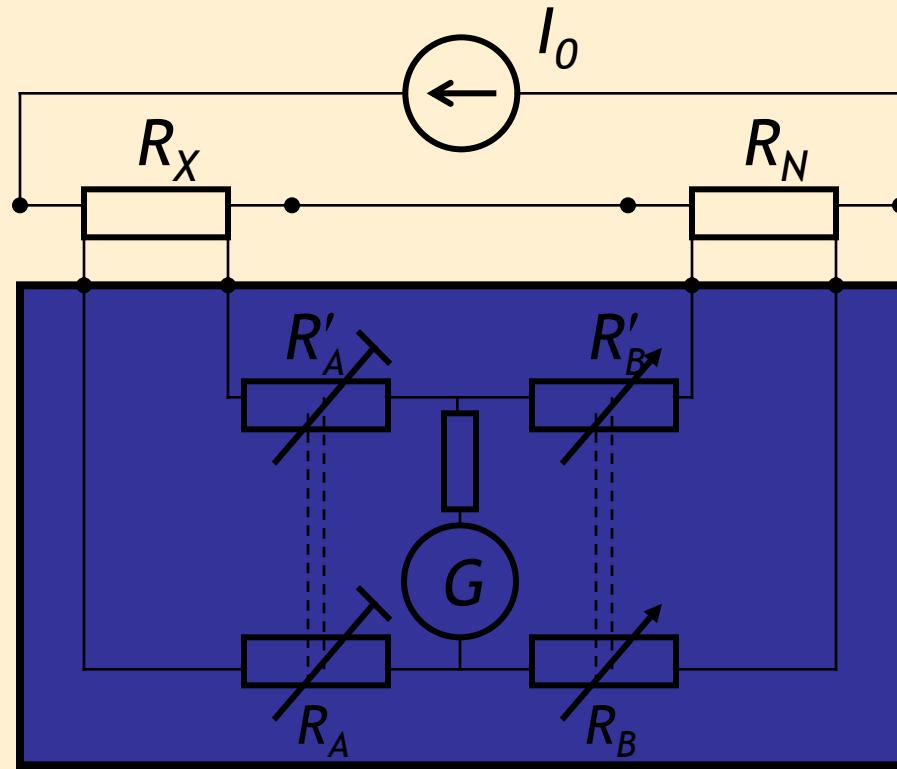


www.lmk.si
www.mero.si

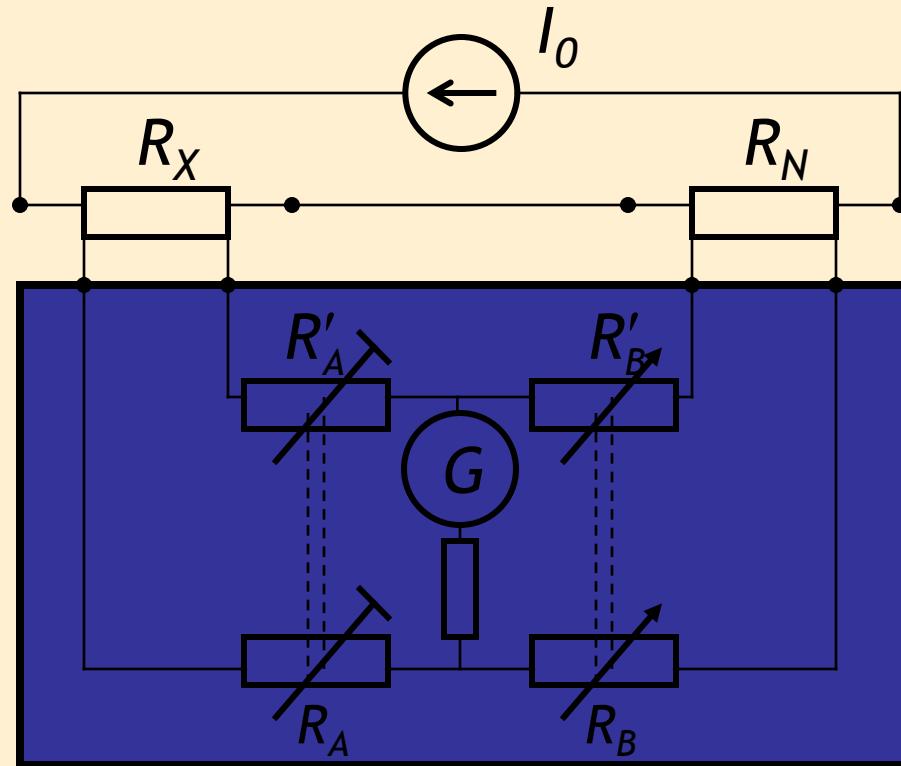
VAJA 7

Besedilo naloge

Izmerite ohmsko upornost in ugotovite specifično upornost danega materiala s pomočjo preciznega Kelvinovega (Thomsonovega) mostiča.



Princip merjenja upornosti R_x

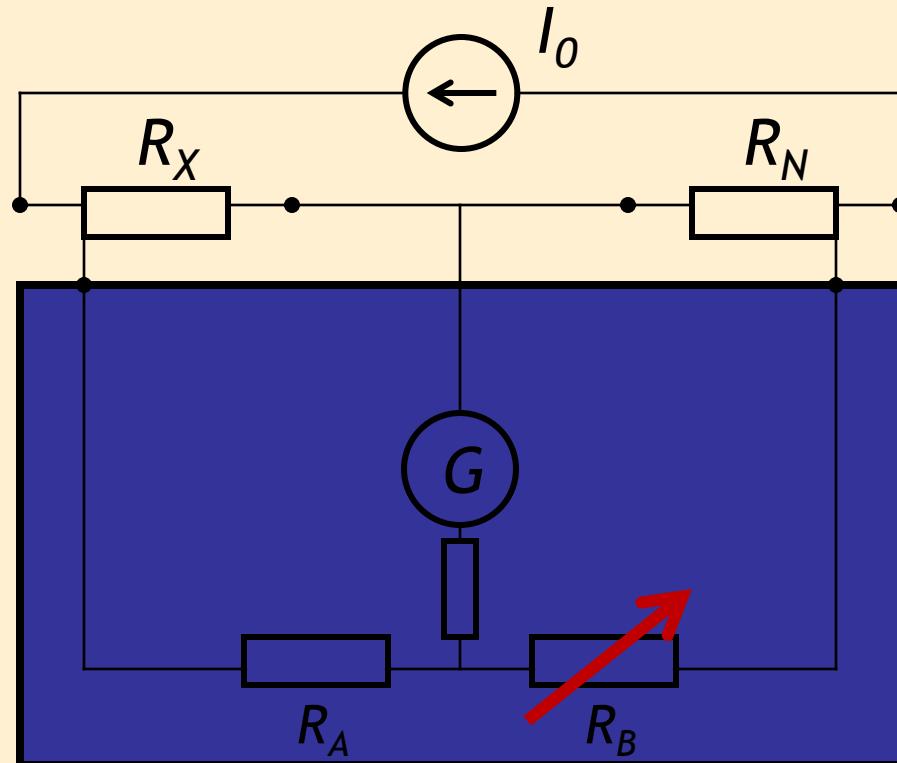


Thompsonov mostič

Princip merjenja upornosti R_x

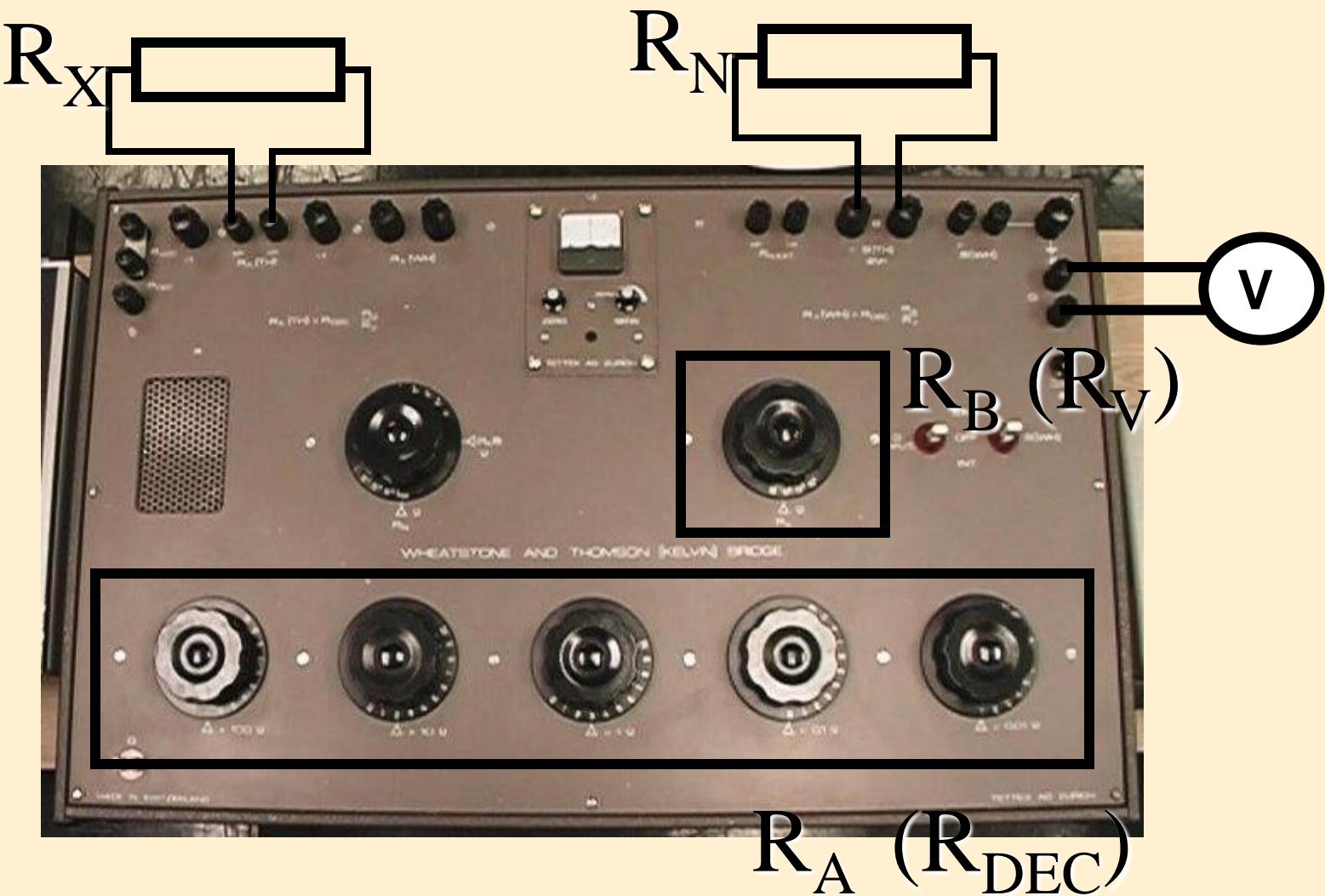
Ravnotežje?

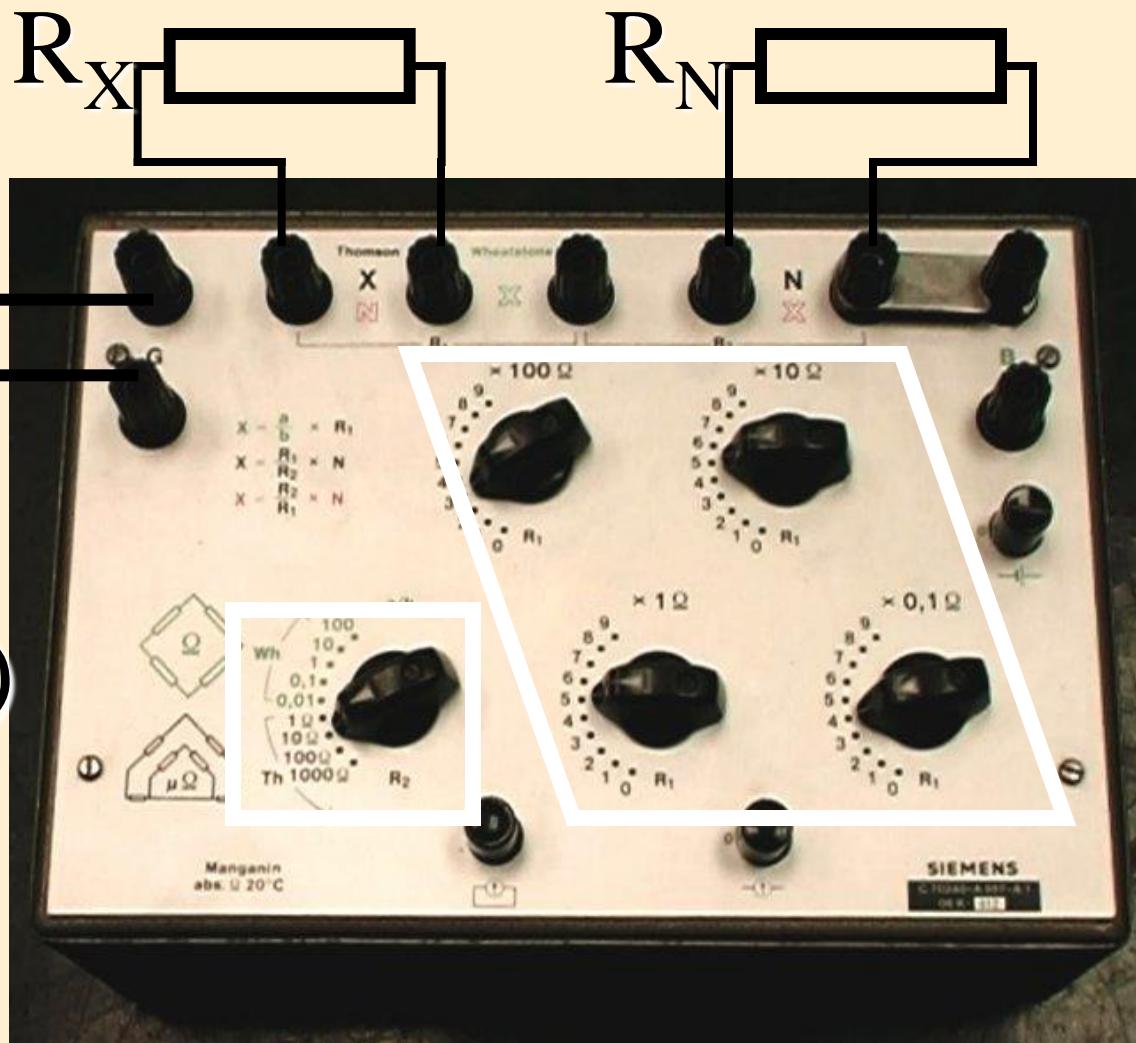
$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{R_A}{R_B}$$



$$\begin{aligned} & R_B \\ \Updownarrow & \\ G &= 0 \\ \Downarrow & \\ R_x \end{aligned}$$

Thompsonov (Kelvinov) mostič





R_A (R_1)

R_B (R_2)

Ločljivost mostiča δ_q

Da bo precizni (drag!) mostič izkoriščen, se mora ničelni indikator odzivati tudi na majhne spremembe uporovne dekade - mostič mora biti zadosti občutljiv.

$$\delta_q = \frac{(\Delta I_5)_q}{I_0 R_x} \left[2R_A + R_g \left(1 + \frac{R_A}{R_B} \right) \right]$$

I_0 ... napajalni tok

$(\Delta I_5)_q$... najmanjša sprememba toka ničnega indikatorja,
ki jo še opazimo

$$(\Delta I_5)_q = \frac{(\Delta U_5)_q}{R}$$

R_g ... notranja upornost ničnega indikatorja



Negotovost meritve R_x

$$R_x = R_N \frac{R_A}{R_B} \Rightarrow$$

$$\frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{u(R_N)}{R_N}\right)^2 + \left(\frac{u(R_A)}{R_A}\right)^2 + \left(\frac{u(R_B)}{R_B}\right)^2 + \left(\frac{u(R_x)_q}{R_x}\right)^2}$$

ločljivost

$$\frac{u(R_x)_q}{R_x} \quad \text{je zanemarljiv, če velja} \quad \frac{u(R_x)_q}{R_x} \leq \frac{1}{5} \frac{u(R_x)}{R_x}$$



Rezultati meritev

$R_x =$

$u(R_x) =$

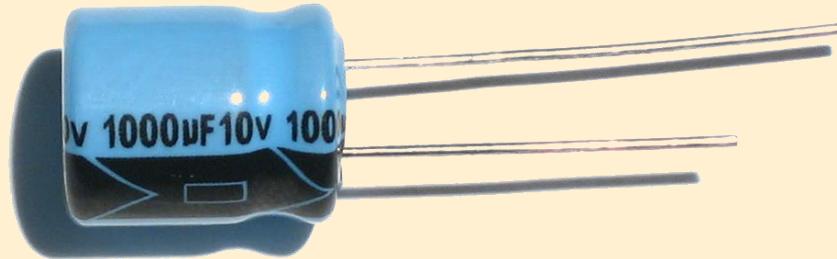
$n =$



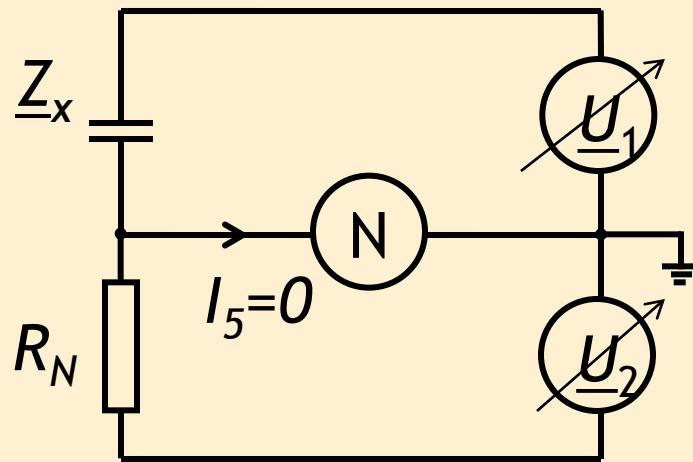
VAJA 8

Besedilo naloge

Izmerite impedanco (C_x, d_x) z aktivnim izmeničnim mostičem v odvisnosti od frekvence.



Princip merjenja Z_x

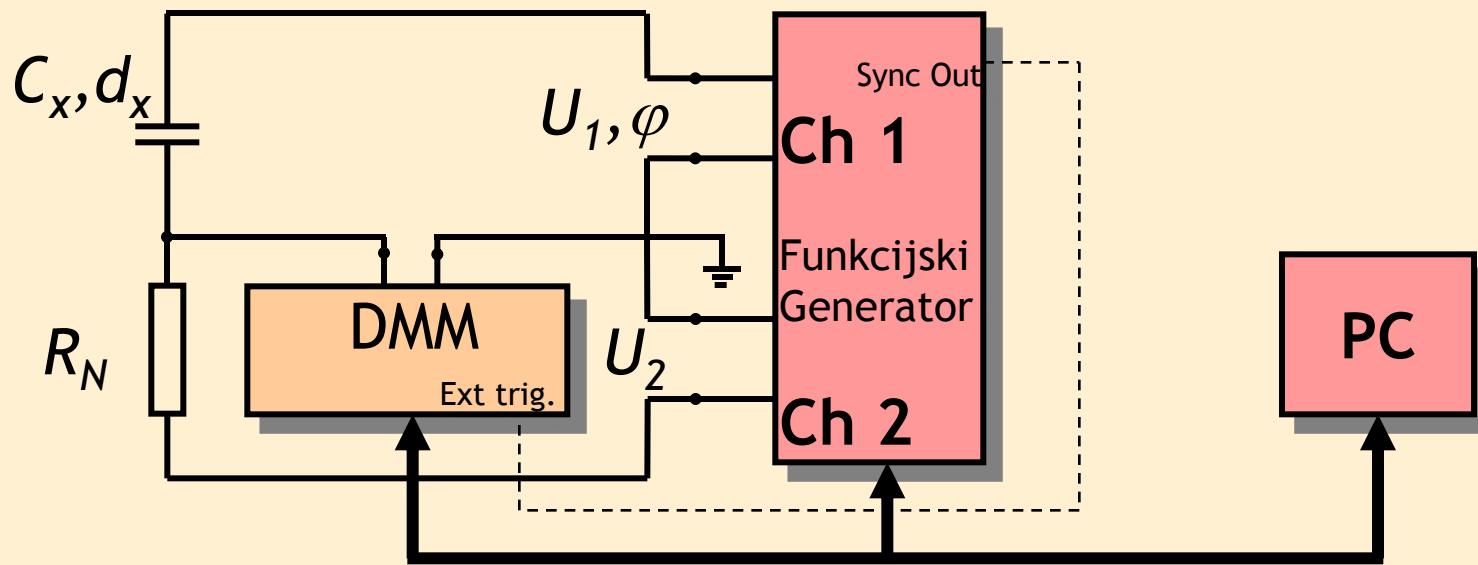


$$\frac{\underline{U}_1}{Z_x} = I = \frac{\underline{U}_2}{Z_2} \quad \Rightarrow \quad Z_x = R_N \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = R_N \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} e^{j\varphi}$$

VAJA 8

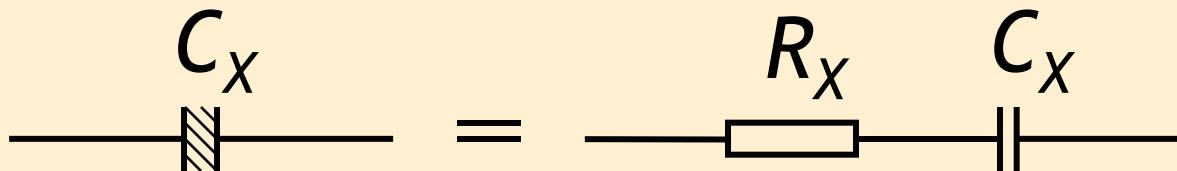
Besedilo naloge

Izmerite impedanco (C_x, d_x) z aktivnim izmeničnim mostičem v odvisnosti od frekvence.



Princip merjenja Z_X

$$Z_X = R_N \frac{U_1}{U_2} e^{j\varphi} = R_N \frac{U_1}{U_2} (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$



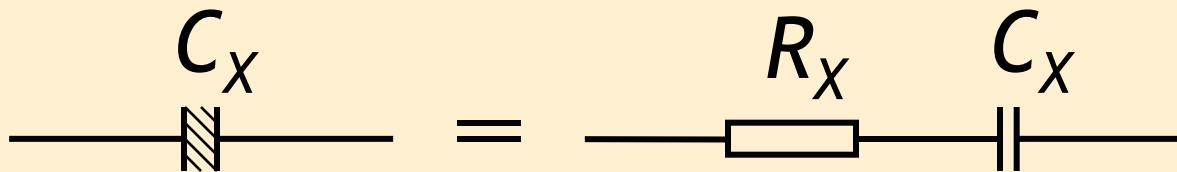
$$Z_X = R_X + \frac{1}{j\omega C_X} = R_N \frac{U_1}{U_2} (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

$$\Rightarrow R_X = R_N \frac{U_1}{U_2} \cos \varphi$$

$$C_X = \frac{U_2}{R_N U_1 \omega} \frac{1}{\sin \varphi}$$

Princip merjenja Z_x

$$Z_x = R_N \frac{U_1}{U_2} e^{j\varphi} = R_N \frac{U_1}{U_2} (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

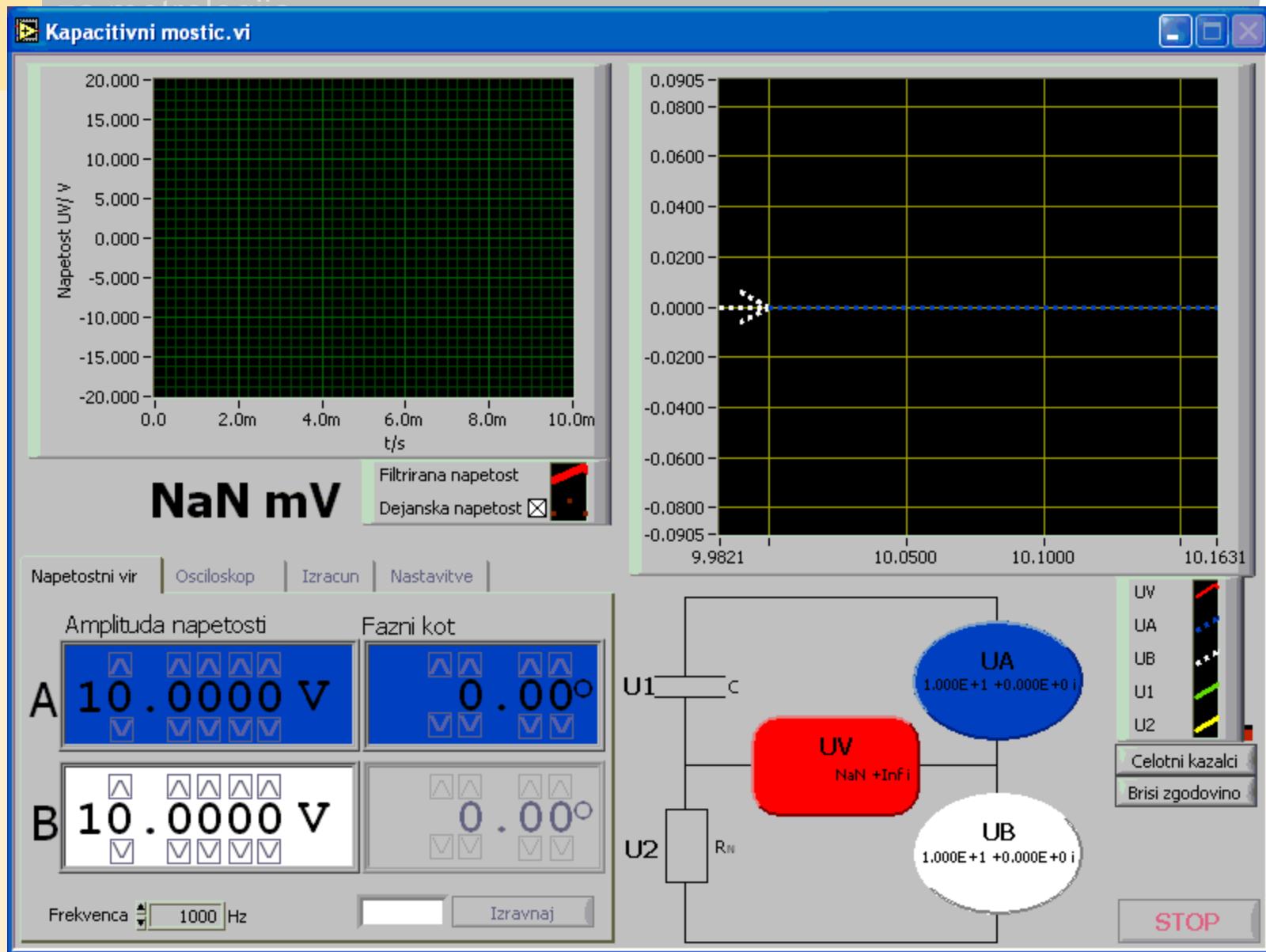


$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x} = R_N \frac{U_1}{U_2} (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

$$\Rightarrow R_x = R_N \frac{U_1}{U_2} \cos \varphi$$

$$d_x = \frac{R_x}{\omega C_x} = \frac{1}{\tan \varphi}$$

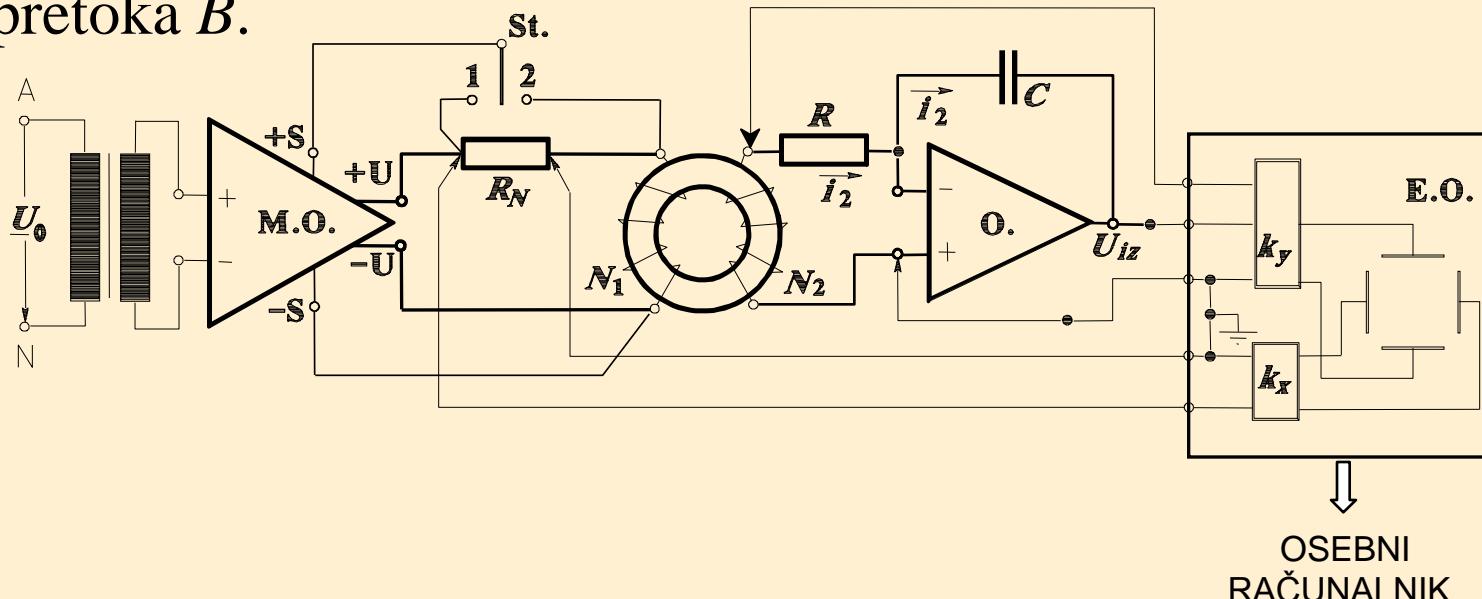
Faktor izguge



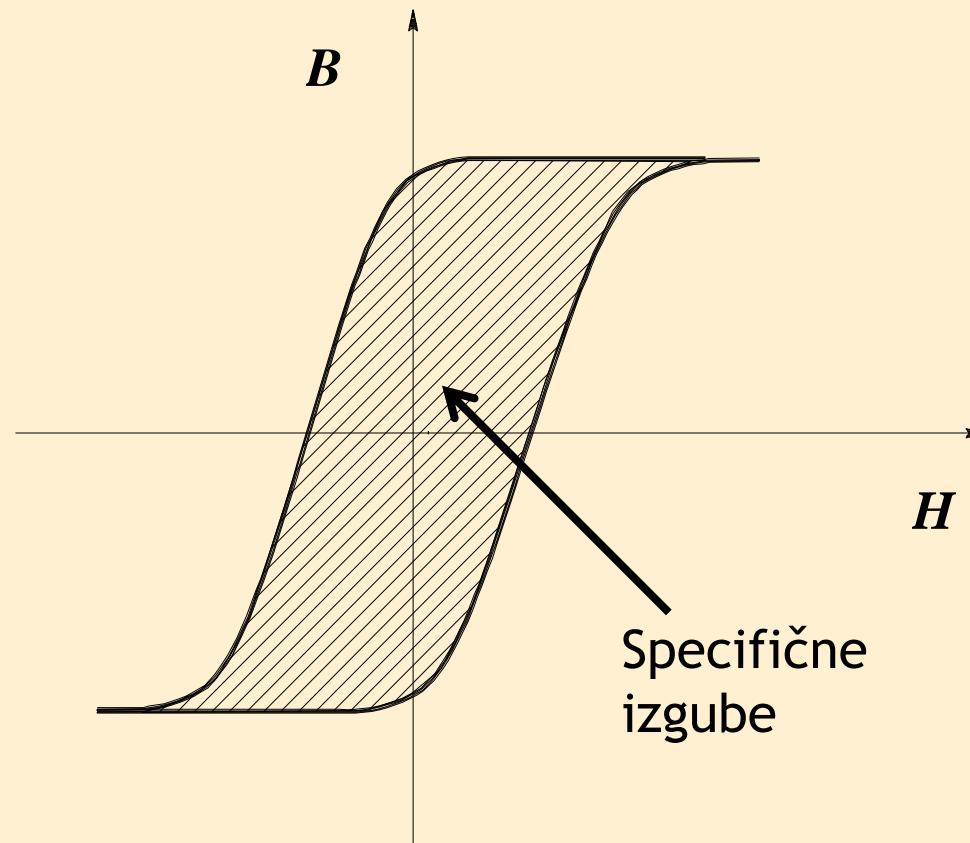
VAJA 9

Besedilo naloge

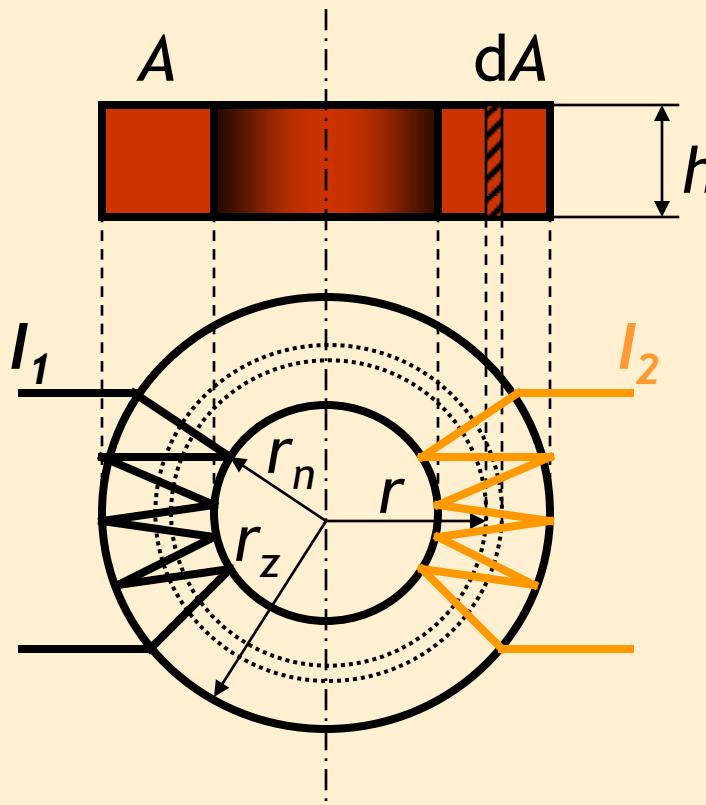
Izmerite dinamično histerezno zanko feromagnetnega toroidnega jedra z elektronskim osciloskopom in podajte specifične izgube za sinusno obliko gostote magnetnega pretoka B .



Dinamična histerezna zanka feromagnetnega toroidnega jedra



Merjenje jakosti magnetnega polja H



$$\oint H_r \, ds = i_1 N_1 - i_2 N_2 \approx i_1 N_1 \quad i_2 \approx 0$$

$$\Rightarrow H = \frac{i_1 N_1}{l_{sr}} = k \cdot i_1$$

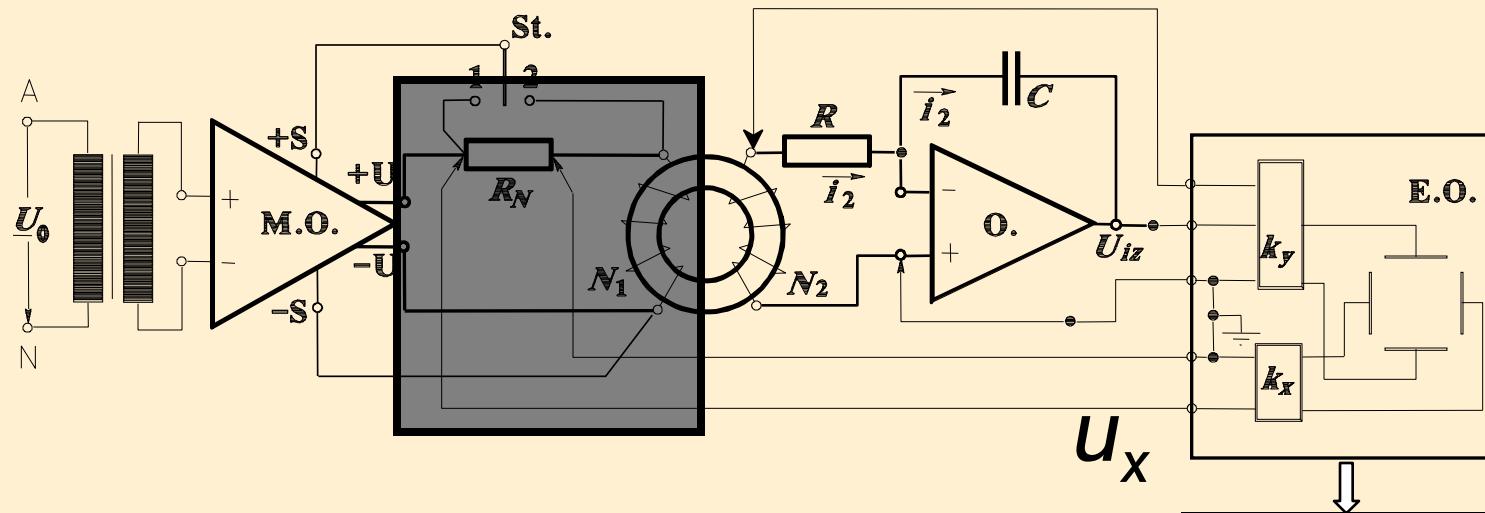
$$\phi = \int_A B \, dA = \int_{r_n}^{r_z} \mu H_r h \, dr = \frac{\mu i_1 N_1 h}{2\pi} \ln\left(\frac{r_z}{r_n}\right) \Rightarrow l_{sr} = 2\pi \frac{r_z - r_n}{\ln(r_z/r_n)}$$

Merjenje jakosti magnetnega polja H

$$H = \frac{i_1 N_1}{l_{\text{sr}}}$$

↓

Merjenje toka i_1



Merjenje jakosti magnetnega polja H

$$H = \frac{i_1 N_1}{l_{\text{sr}}}$$

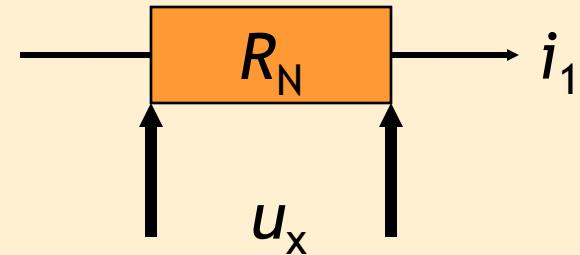


Merjenje toka i_1

Tok i_1 teče skozi referenčni upor R_N in ga merimo s pomočjo merjenja napetosti z osciloskopom.

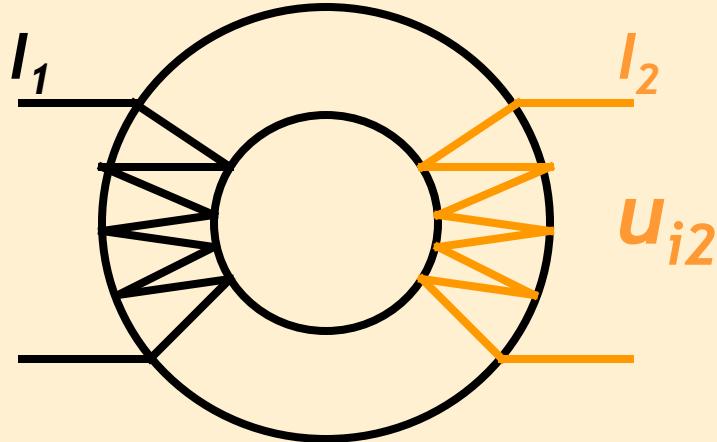
$$U_x = i_1 R_N$$

$$H = \frac{U_x N_1}{R_N l_{\text{sr}}}$$



$$U_x = k_x x \quad \Rightarrow \quad H = \frac{N_1 k_x}{R_N l_{\text{sr}}} x$$

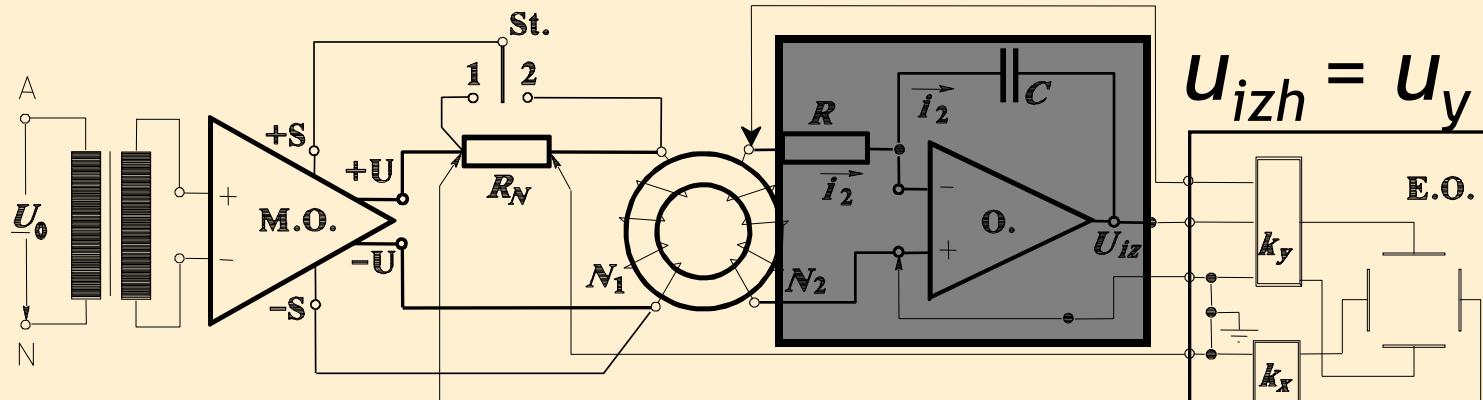
Merjenje gostote magnetnega pretoka B



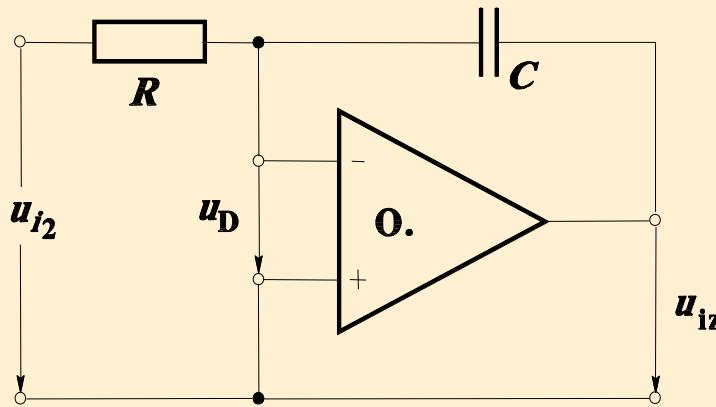
$$u_{i2} = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 A \frac{dB}{dt}$$

$$\Rightarrow B = -\frac{1}{N_2 A} \int u_{i2} dt$$

Merjenje $\int u_{i2} dt$



Merjenje gostote magnetnega pretoka B



$$\frac{u_{i2} - u_D}{R} + C \frac{d(u_{iz} - u_D)}{dt} = 0$$

$$u_D \approx 0$$

$$u_{iz} = -\frac{1}{C} \int \frac{u_{i2} - u_D}{R} dt + u_D = -\frac{1}{RC} \int u_{i2} dt + \frac{u_D}{RC} t + u_D = -\frac{1}{RC} \int u_{i2} dt$$

$$u_{i2} = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 A \frac{dB}{dt} \quad \Rightarrow \quad B = -\frac{1}{N_2 A} \int u_{i2} dt$$

$$u_{iz} = k_y y$$

$$B = \frac{RC k_y}{N_2 A} y$$



Specifične izgube feromagnetika P_s

Specifične izgube feromagnetika P_s so podane kot razmerje moči, potrebne za magnetenje feromagnetika, in njegove mase

$$P_s = \frac{P_{\text{Fe}}}{m}$$

$$P_{\text{Fe}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{i1} i_1 \, dt$$



Specifične izgube feromagnetika P_s

$$u_{i1} = N_1 A \frac{dB}{dt}, \quad i_1 = \frac{H l_{sr}}{N_1}$$

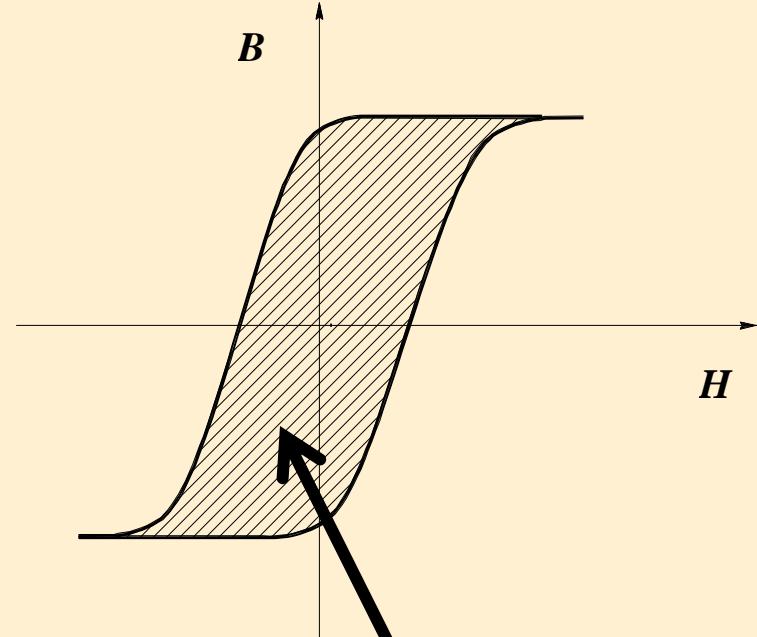
$$P_{Fe} = f A l_{sr} \oint H dB$$

$$m = \rho V = \rho A l_{sr}$$

$$P_s = \frac{P_{Fe}}{m}$$

$$P_s = \frac{f}{\rho} \int H dB$$

$$P_s = \frac{f N_1 R C k_x k_y}{\rho R_N l_{sr} N_2 A} \int x dy$$



$$P_s = P_h + P_e$$

P_h histerezne specifične izgube \Rightarrow odvisne od F

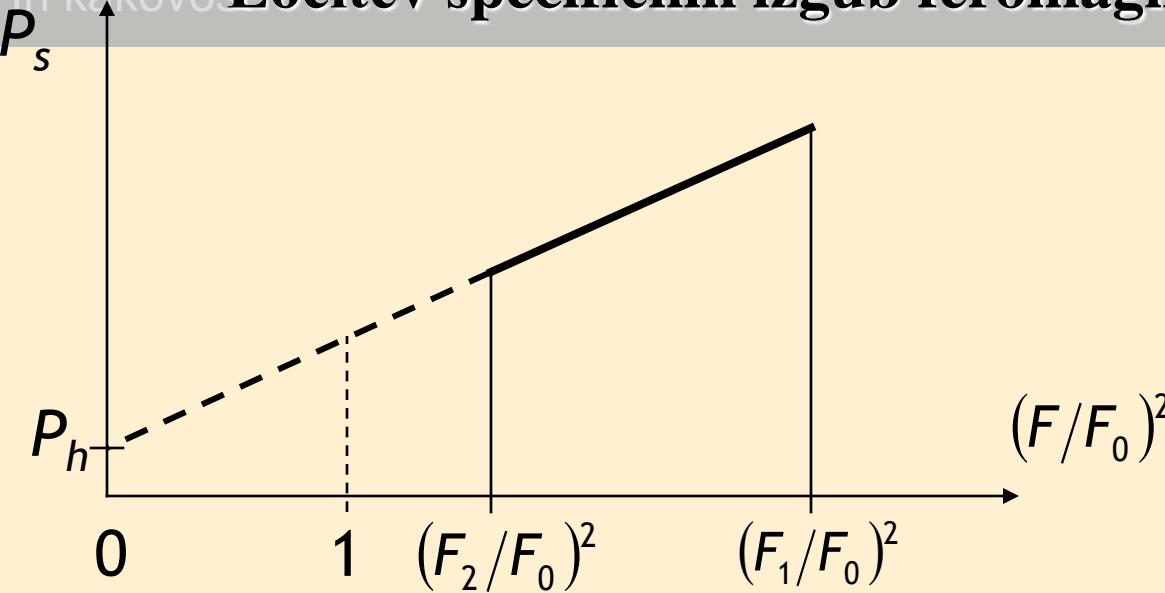
P_e vrtinčne specifične izgube \Rightarrow neodvisne od F

oblikovni faktor $F = \frac{U}{U_r}$

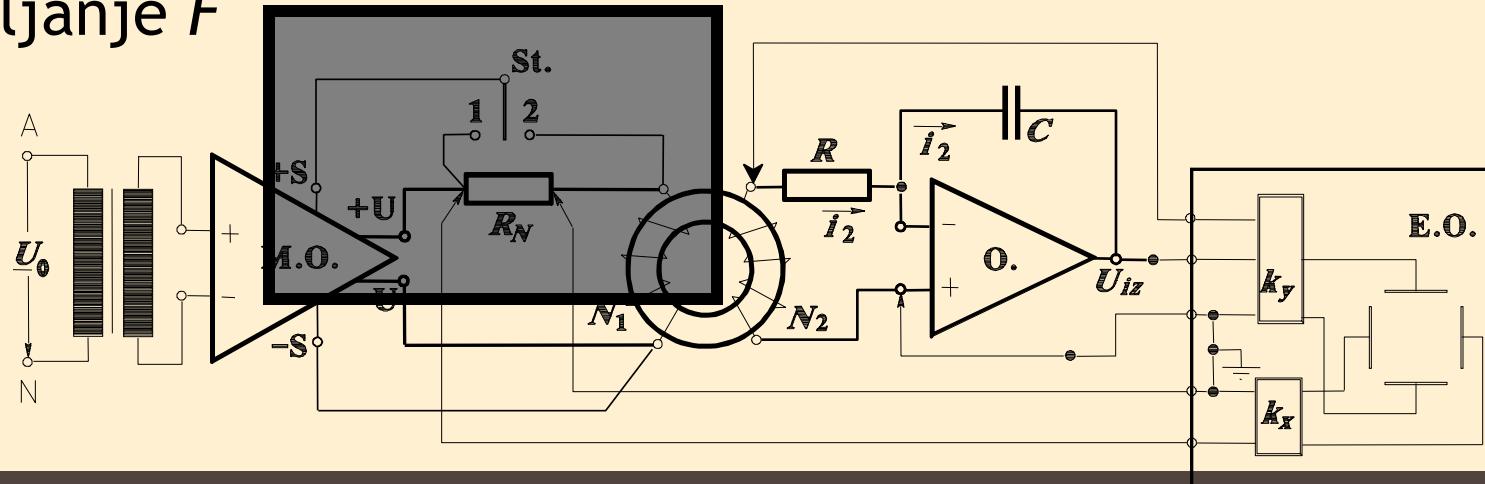
oblikovni faktor za sinus
 $F_0 = 1,111$

$$P_s = P_h + k \cdot \left(\frac{F}{F_0} \right)^2$$

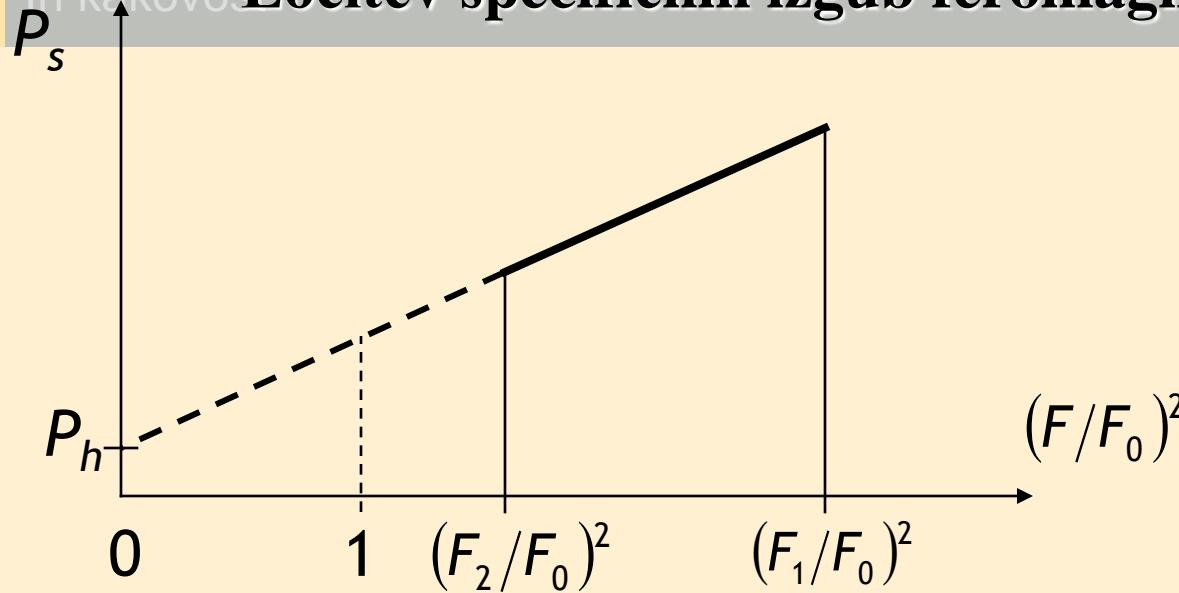
Ločitev specifičnih izgub feromagnetika



Nastavljanje F



Ločitev specifičnih izgub feromagnetika

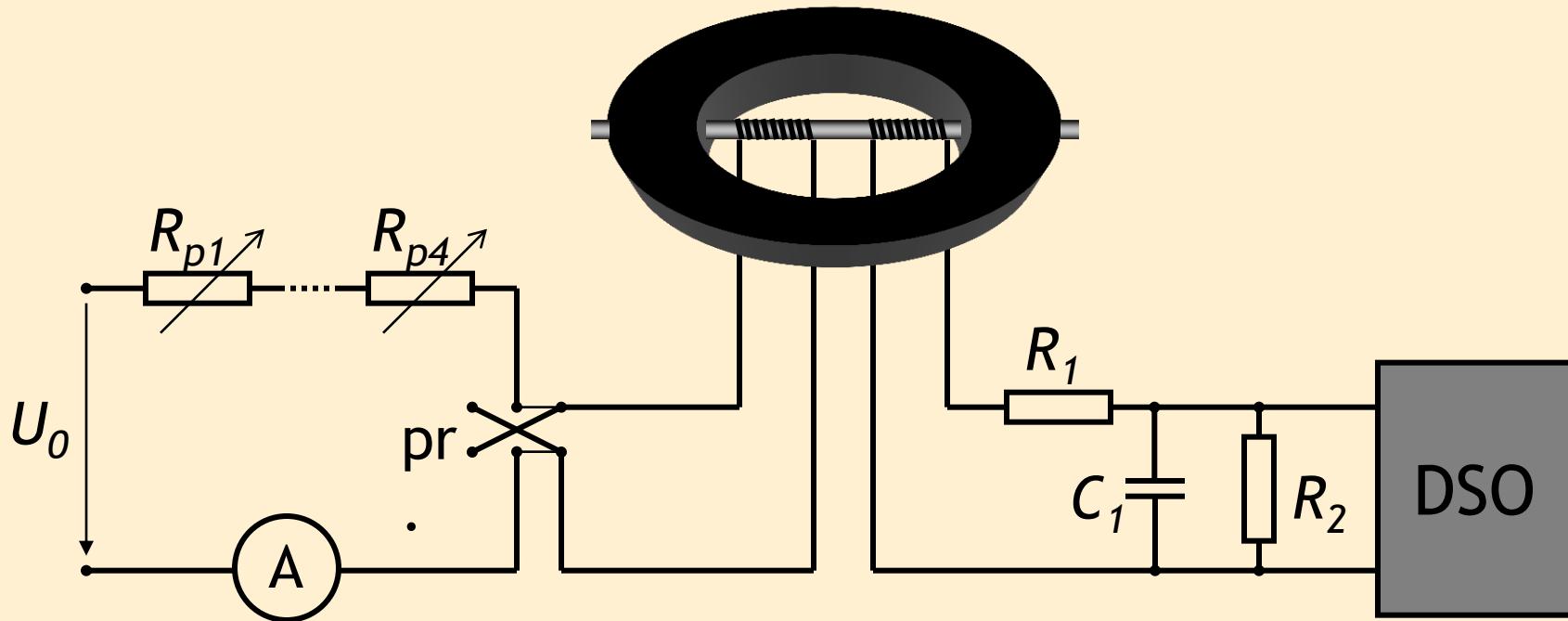


$$P_s = P_h + k \cdot \left(\frac{F}{F_0} \right)^2$$

VAJA 10

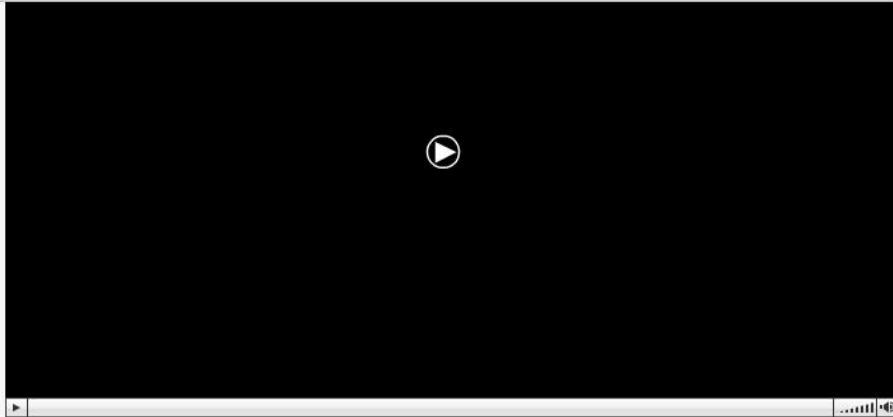
Besedilo naloge

Izmerite statično komutacijsko B - H magnetilno krivuljo feromagnetne palice s Hopkinsonovim jarmom.



Video - Laboratorij za metrc

cent&task=view&id=49&Itemid=22

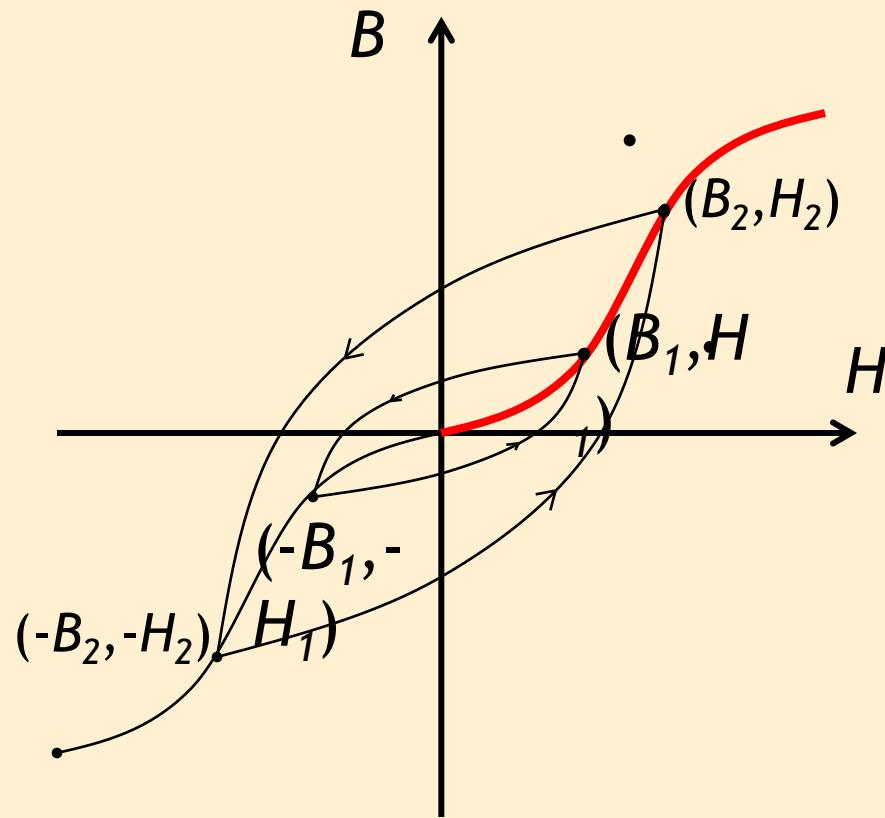


Merilna instrumentacija, Merilna tehnika - vaja 10 (pripravil: Gregor Geršak)



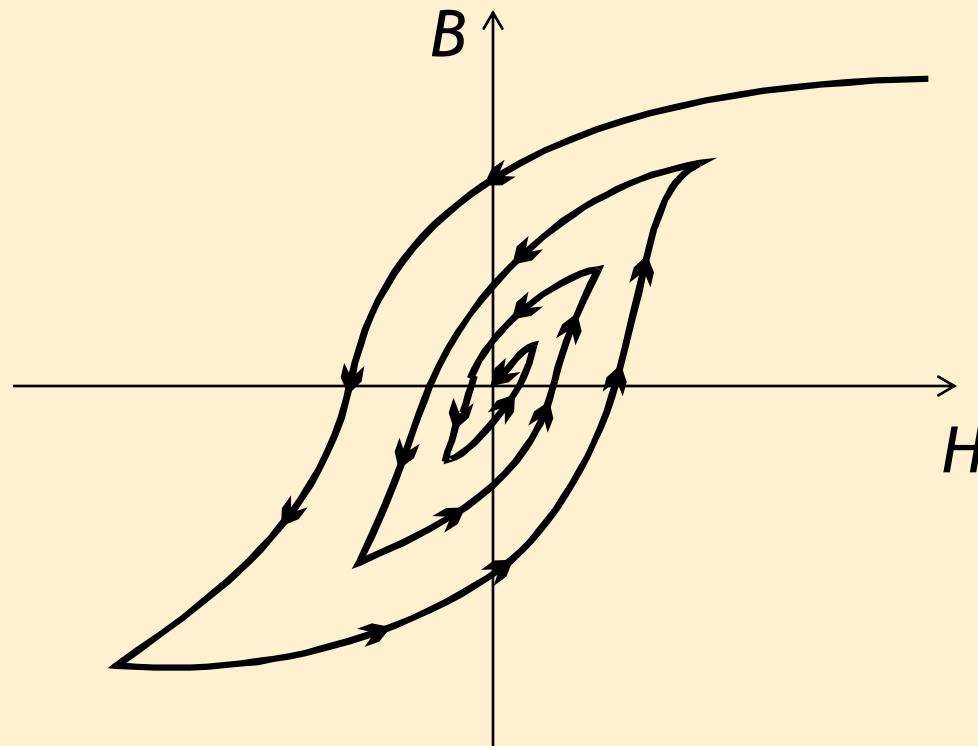
Statična komutacijska magnetilnica

...je krivulja, ki povezuje vrhove družine statičnih histereznih zank za različne stopnje vzbujanja.

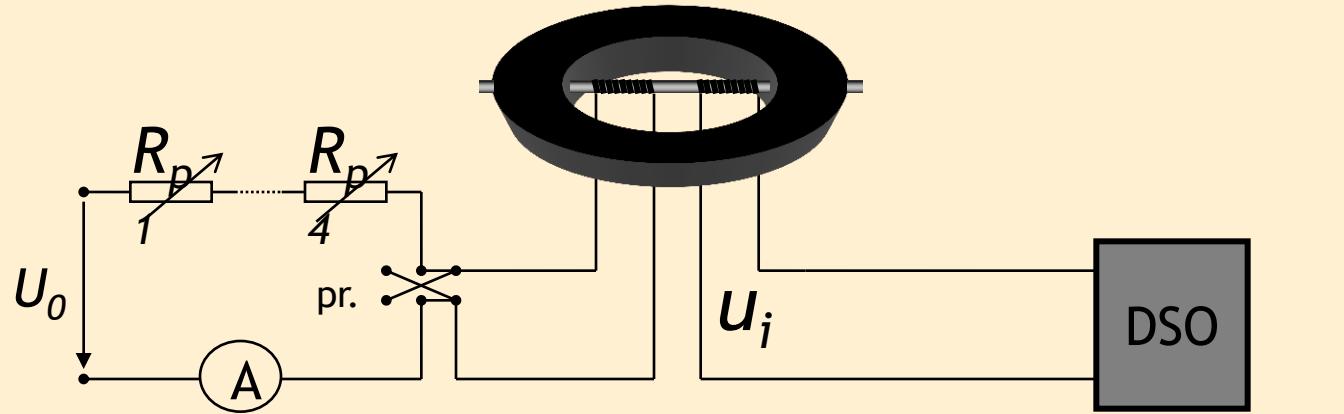


Razmagnetenje vzroca

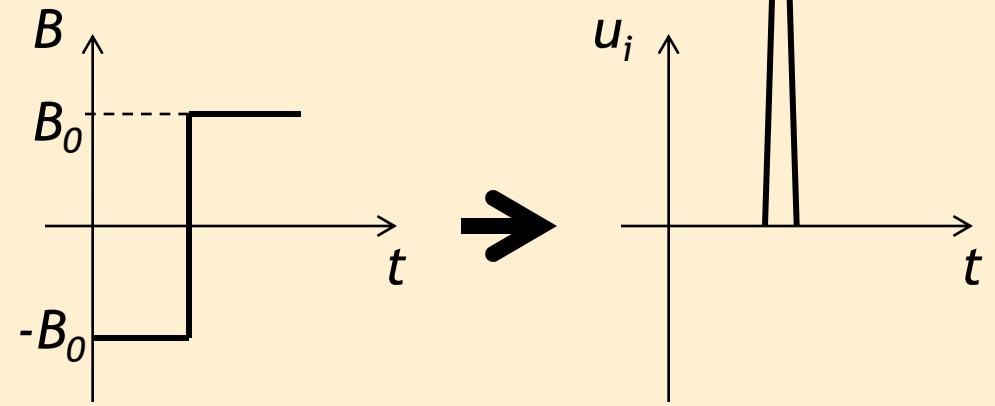
Pred pričetkom snemanja statične magnetilne krivulje je potrebno vzorec razmagnetiti!



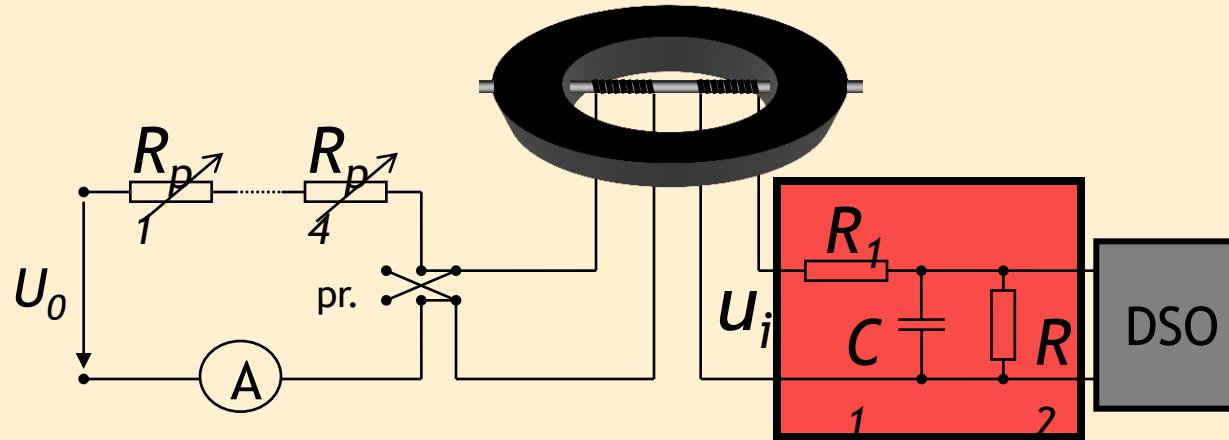
Merjenje gostote magnetnega pretoka B



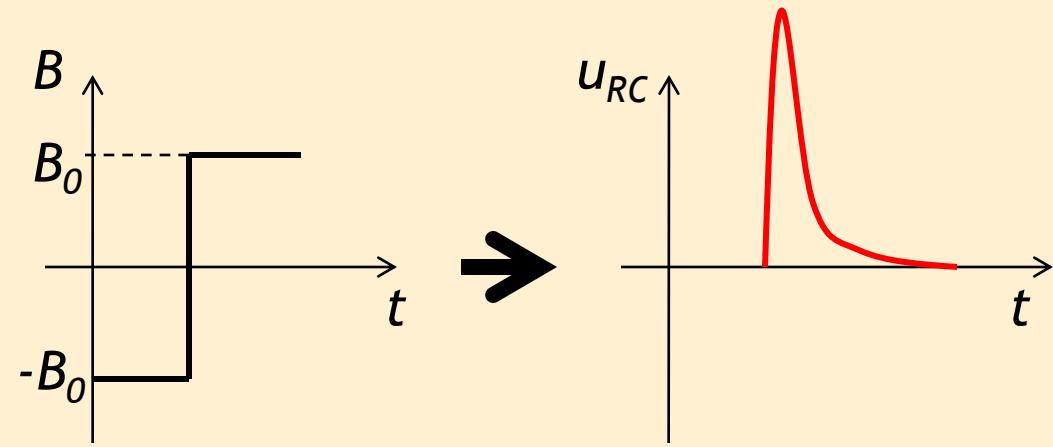
$$u_i = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 A \frac{dB}{dt}$$



Merjenje gostote magnetnega pretoka B



$$u_i = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 A \frac{dB}{dt}$$

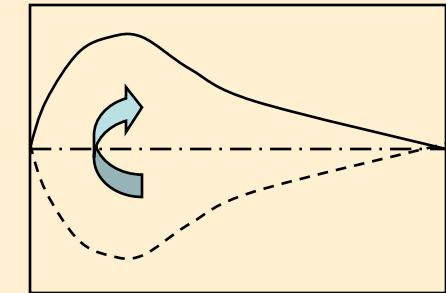


Merjenje gostote magnetnega pretoka B

Izločanje parazitne enosmerne prednapetosti

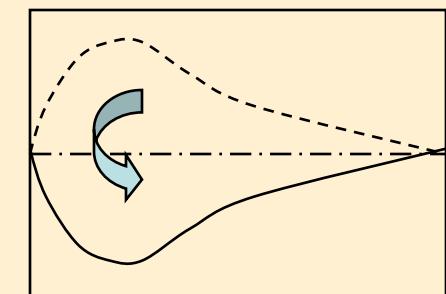
Sprememba iz - $B v + B$:

$$\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} (u + u_0) dt = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} u dt + \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} u_0 dt = \bar{U}_1$$



Sprememba iz + $B v - B$:

$$\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} (-u + u_0) dt = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} -u dt + \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} u_0 dt = \bar{U}_2$$

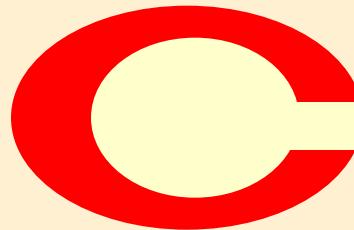


Povprečna vrednost je:

$$\bar{U} = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} u dt = \frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{2}$$

a) merjenje jakosti magnetnega polja H

$$\oint H ds = I N_1 \quad : \quad H_v l_v + H_z l_z + H_j l_j = I N_1$$



- majhna zračna reža in velik presek
- jarem majhne dolžine in velikega prereza in visoko permeabilen material

$$H_v = \frac{I N_1}{l_v}$$

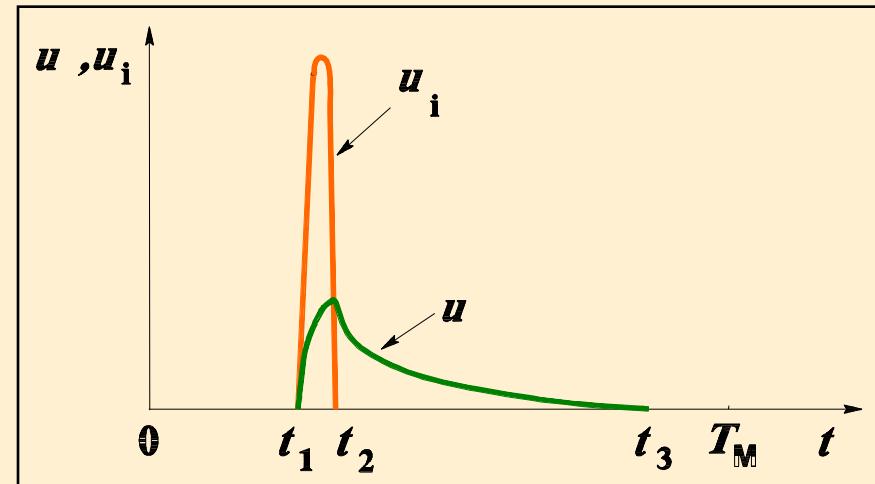
$$H = 4000 I \quad (H/(A/m), I/A)$$



b) merjenje gostote magnetnega pretoka B

Magnetno indukcijo B ugotovimo z meritvijo ploščine impulza inducirane napetosti v sekundarnem navitju.

$$u_i = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -N_2 A \frac{dB}{dt}$$



$$B = k \bar{U} = \frac{T_M}{2N_2 A a} \bar{U}$$

II	$H/$	$\bar{U}_1 /$	$\bar{U}_2 /$	$\bar{U} /$	$B/$

