



Instrument z vrtljivo tuljavico in polprevodniškim usmernikom

Instrument se odziva na **povprečno vrednost** navora (nizko prepustno sito!).

Če želimo meriti z njim izmenični tok, moramo **tok** najprej **usmeriti**.

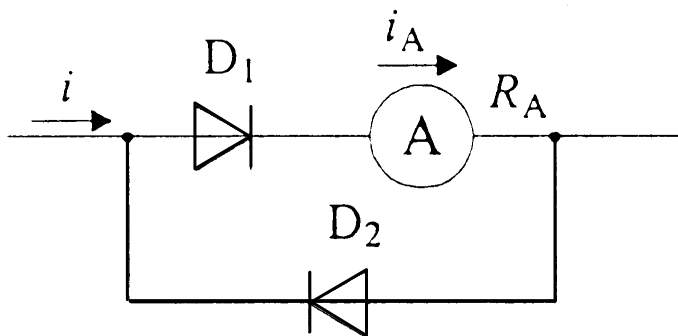
- s polprevodniškimi **diodami**. Razlikujemo
 - **polvalno** in
 - **polnovalno** usmerjanje.



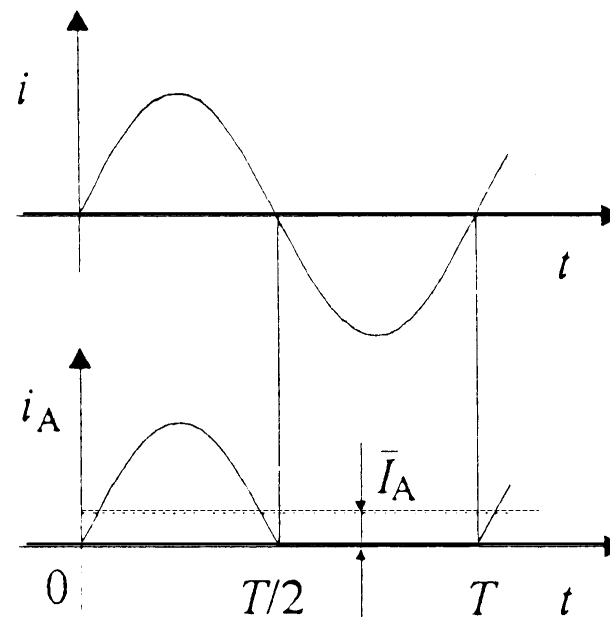


Polvalno usmerjanje:

$$\bar{I}_A = \frac{1}{T} \int_0^T i_A dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i dt = \frac{i_m}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t = \frac{i_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I$$



a)



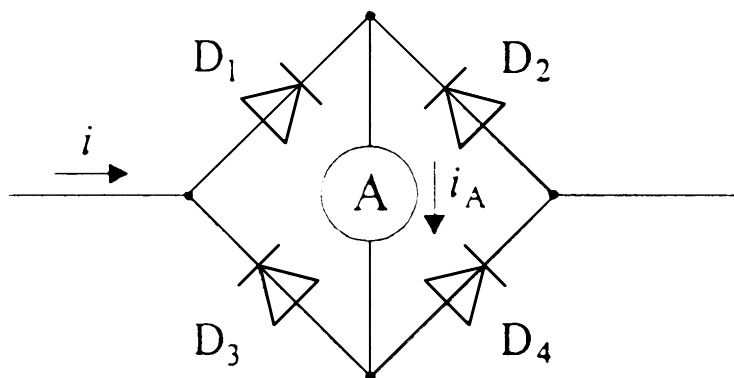
b)

Slika 4.16 Polvalno usmerjanje

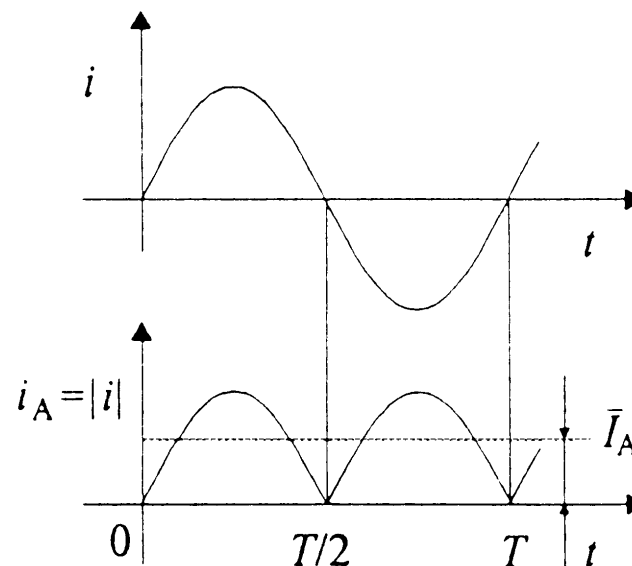


Polnovalno usmerjanje

- s pomočjo **Graetzove vezave**:



a)



b)

Slika 4.17 Polnovalno usmerjanje

Srednja vrednost toka instrumenta je enaka **povprečku absolutne vrednosti toka**.

- pri sinusni obliki 1,11-krat manjša od efektivne vrednosti:

$$I_r = 2\sqrt{2}/\pi \cdot I = 0.90 \cdot I$$



- da kaže instrument **pravilno pri sinusni obliki**, so **številске vrednosti skale instrumenta 1,11-krat večje**.
- Če **nimamo** signala **sinusne oblike**, je pogrešek enak:

$$e = \frac{I_r \cdot 1,11 - I}{I} = \frac{I_r \cdot F_0 - I_r \cdot F}{I_r \cdot F} = \frac{F_0 - F}{F}$$

- pravokotna oblika ($F = 1$ - med efektivno in usmerjeno vrednostjo ni razlike):

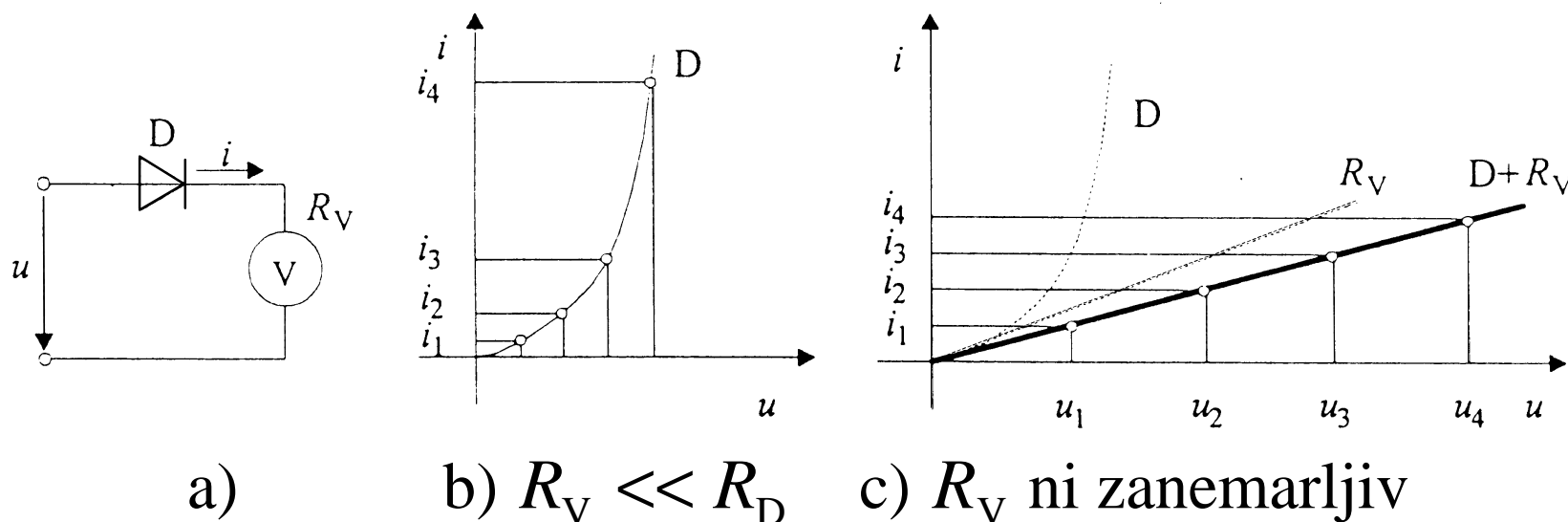
$$e = \frac{F_0 - F}{F} = \frac{1,11 - 1}{1} = 11\%$$





Vsiljena napetost

Do izraza pride **nelinearna** uporovna **karakteristika diode**.



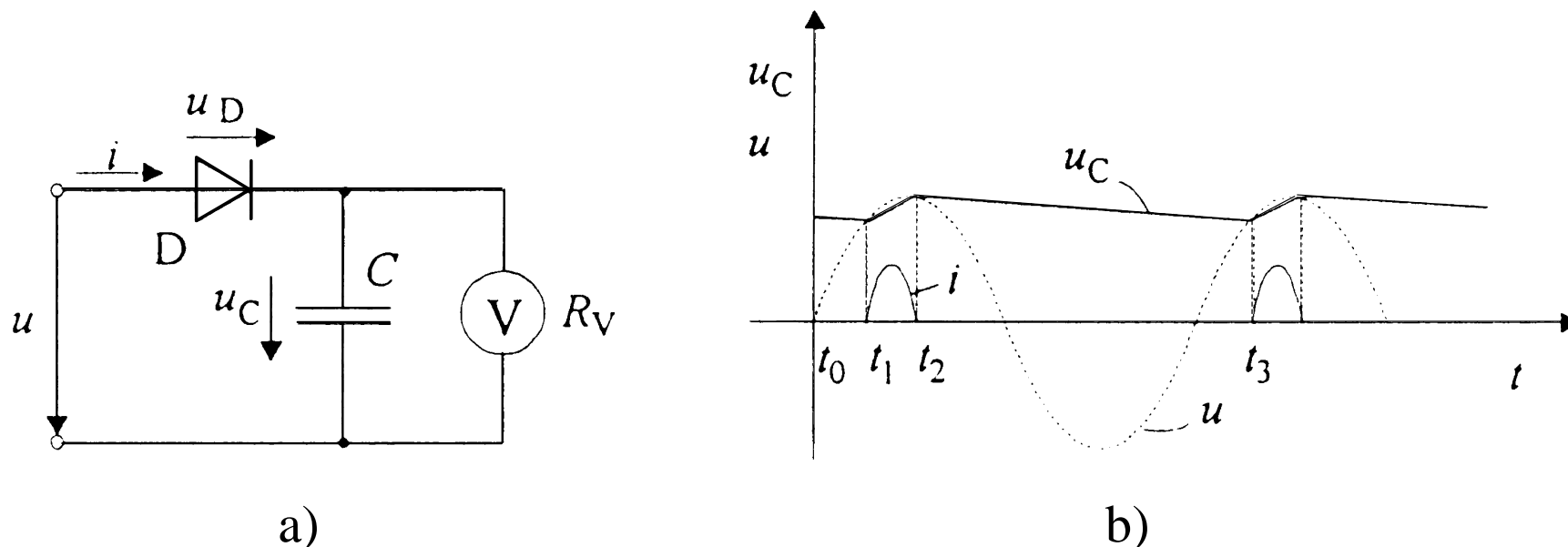
Slika 4.18 Vpliv polprevodniških diod in upornosti voltmetra na skalo

Večja kot je upornost R_V , bolj je skala linearna.





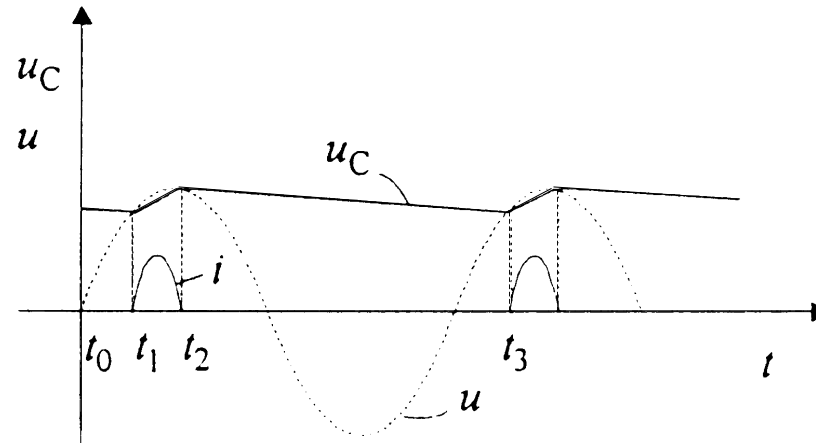
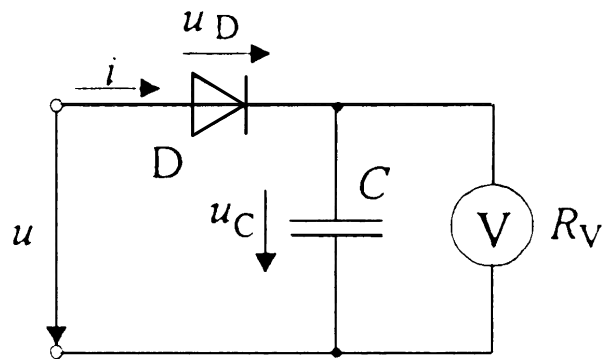
Odzivanje na temensko vrednost



Slika 4.19 Voltmeter, ki se odziva na temensko vrednost

- Če je merjena **napetost nižja** kot je napetost **na kondenzatorju** (intervali: $t_0 \div t_1$, $t_2 \div t_3$, ...), dioda **ne prevaja** \Rightarrow kondenzator se **počasi prazni** prek R_V .
- Ko je napetost višja (**dioda prevaja** v intervalu $t_1 \div t_2$), se kondenzator polni.





Napetost u_C je v stacionarnem stanju za padec napetosti na diodi u_D manjša, kot je vhodna napetost u .

Če je instrument **umerjen na efektivno vrednost pri sinusni obliki**, pri kateri je **temenski factor** $C_0 = \hat{u}/U|_{\sin} = 1,41$, kaže pri drugačni obliki narobe:

$$e = \frac{\hat{u}/C_0 - U}{U} = \frac{\hat{u}/C_0 - \hat{u}/C}{\hat{u}/C} = \frac{C - C_0}{C_0}$$

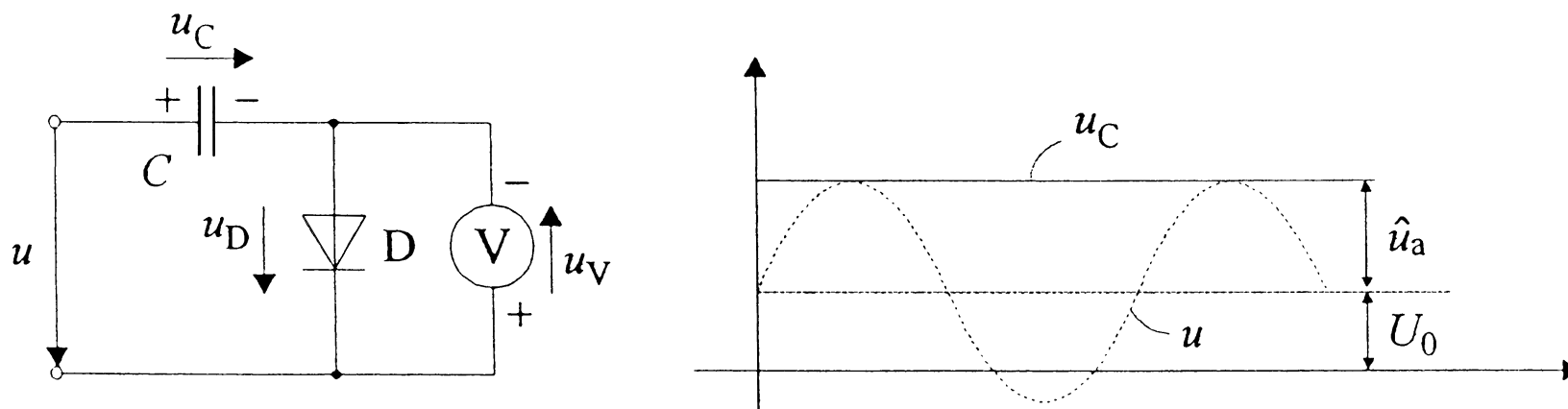
- pri pravokotni obliki ($C = 1$) kaže 29% premalo!





Merjenje pulzirajoče napetosti

Če želimo meriti samo **izmenično komponento**, priključimo **vzporedno k diodi** in **zaporedno kondenzatorju**.

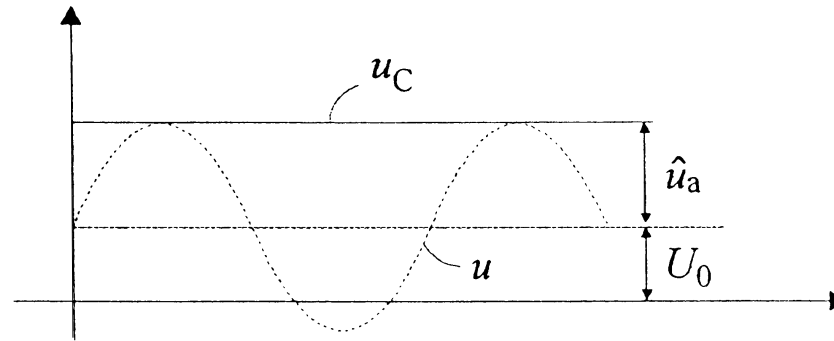
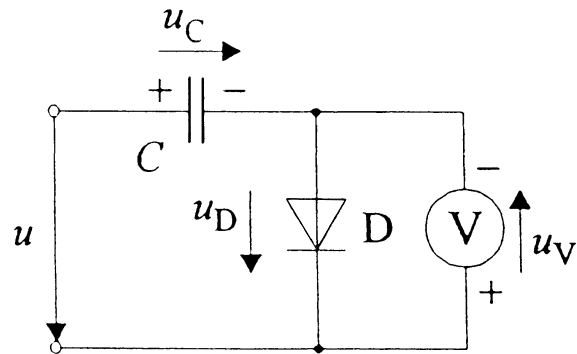


Slika 4.21 Merjenje izmenične komponente napetosti

Pulzirajoča napetost: $u = U_0 + u_a$

- U_0 - enosmerna komponenta,
- u_a - izmenična komponenta





Napetost na kondenzatorju u_C v ustaljenem stanju je enaka temenski vrednosti: $u_C = U_0 + \hat{u}_a$

Napetost na diodi: $u_D = u - u_C = (U_0 + u_a) - (U_0 + \hat{u}_a) = u_a - \hat{u}_a$

- neodvisna od enosmerne komponente,

Odklon voltmetra: $u_V = -u_D = \hat{u}_a - u_a$

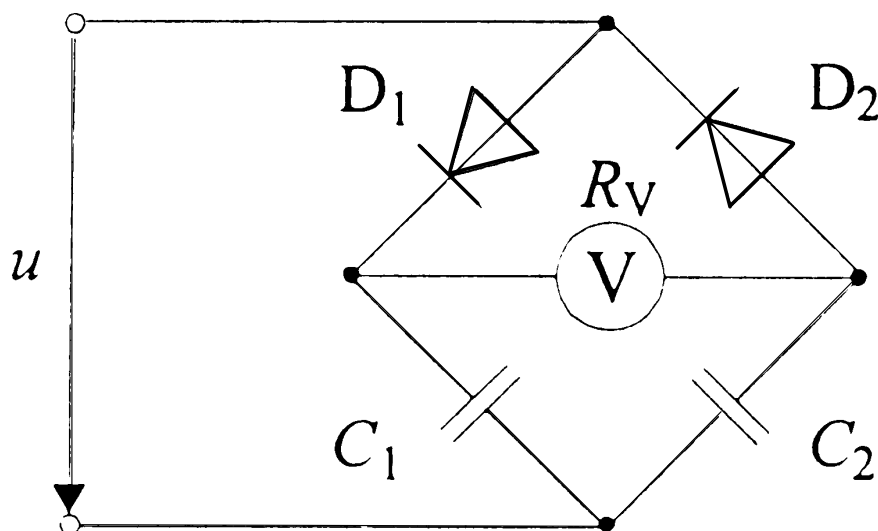
- **srednja vrednost** napetosti u_V je **enaka maksimalni vrednosti** izmenične komponente:

$$\bar{U}_V = \frac{1}{T} \int_0^T u_V dt = \frac{1}{T} \int_0^T (\hat{u}_a - u_a) dt = \hat{u}_a$$





Večjo občutljivost dosežemo z **Greinacherjevimi** mostičnimi vezjem:



Slika 4.20 Greinacherjevo mostično vezje

Kondenzator C_1 se polni preko diode D_1 in kondenzator C_2 preko diode D_2 .

- Ker oba dosežeta **temensko vrednost** napetosti, je na voltmetru njena dvojna vrednost $2\hat{u}$ ($R_V \gg 1$).

Usmerniška vezja se dobro uporabljajo v območju **akustičnih frekvenc** (nekaj deset do sto kHz).

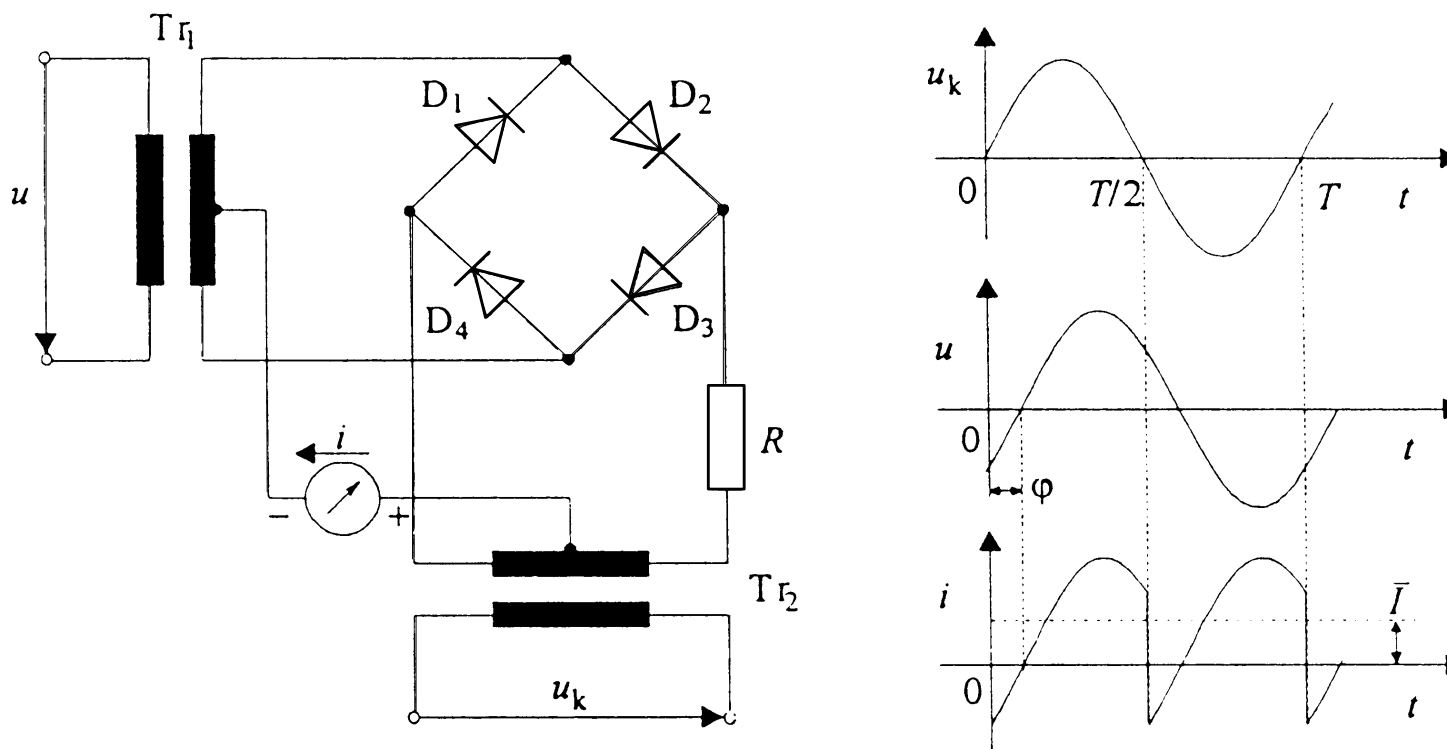
- pri višjih frekvencah pride do izraza kapacitivnost diod – uporaba boljših diod!



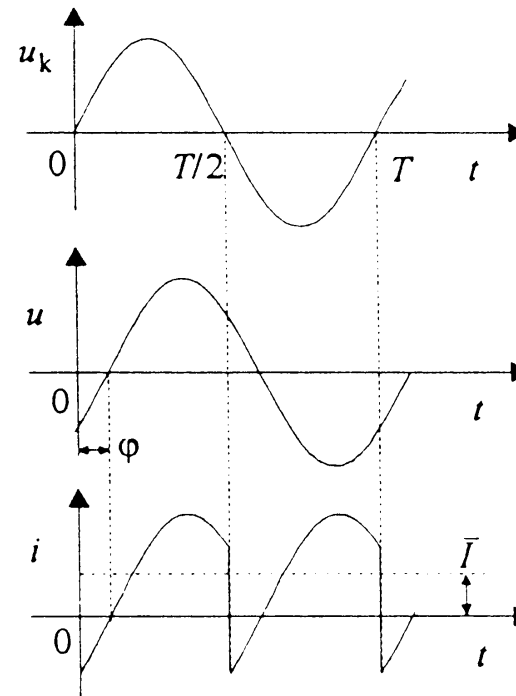
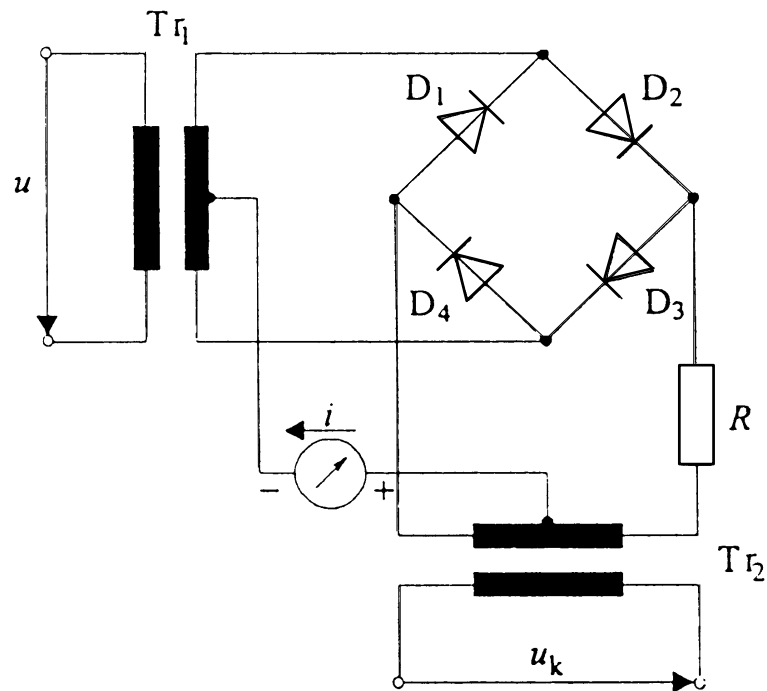
Tuje krmiljeni usmerniki

Prevajanje/zapiranje diode ni **odvisno** od merjene napetosti temveč **od krmilne napetosti**.

- **krmilna napetost je mnogo večja od merjene napetosti!**



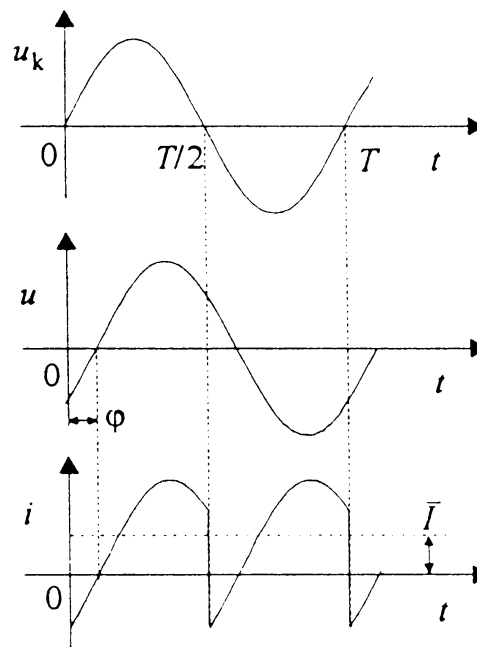
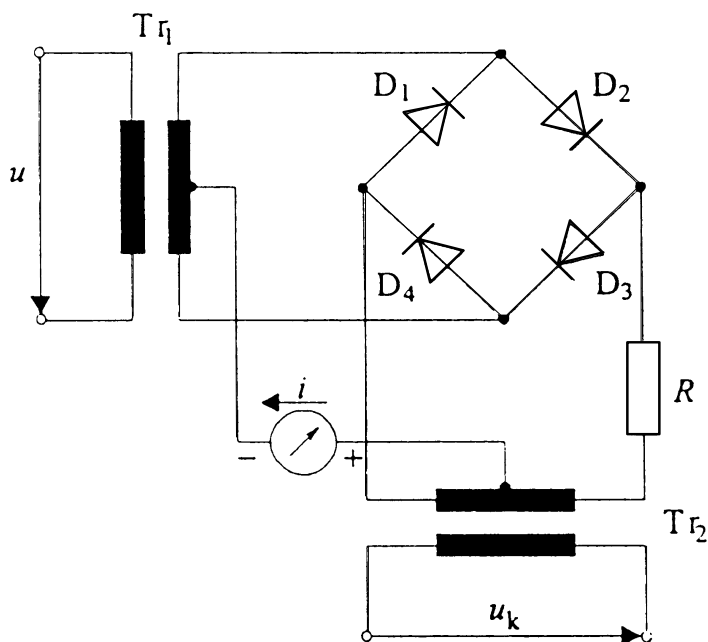
Slika 4.21 Tuje krmiljeni usmernik



Diode deluje v stikalnem obratu:

- v intervalu $0 \div T/2$ prevajata diodi D_1 in D_2
 - tok se zaključi preko **D_1** ali **D_2** , upora R , **srednjega odcepa** transformatorja Tr_2 , **instrumenta** z vrtljivo tuljavico nazaj na **srednji odcep** transformatorja Tr_1 .





- v intervalu $T/2 \div T$ prevajata diodi D_3 in D_4
 - tok se zaključi preko **D_3** ali **D_4** , itd.
 - Na tuljivici se smer toka obrne!

Srednja vrednost toka je :

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T i \, dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i \, dt = \frac{2}{T} k \int_0^{T/2} u \, dt$$





$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T i \, dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i \, dt = \frac{2}{T} k \int_0^{T/2} u \, dt$$

Če je merjena napetost $u = \hat{u} \sin(\omega t - \varphi)$, imamo:

$$\bar{I} = \frac{2}{\omega T} k \hat{u} \int_0^{T/2} \sin(\omega t - \varphi) \, d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} k U \cos \varphi$$

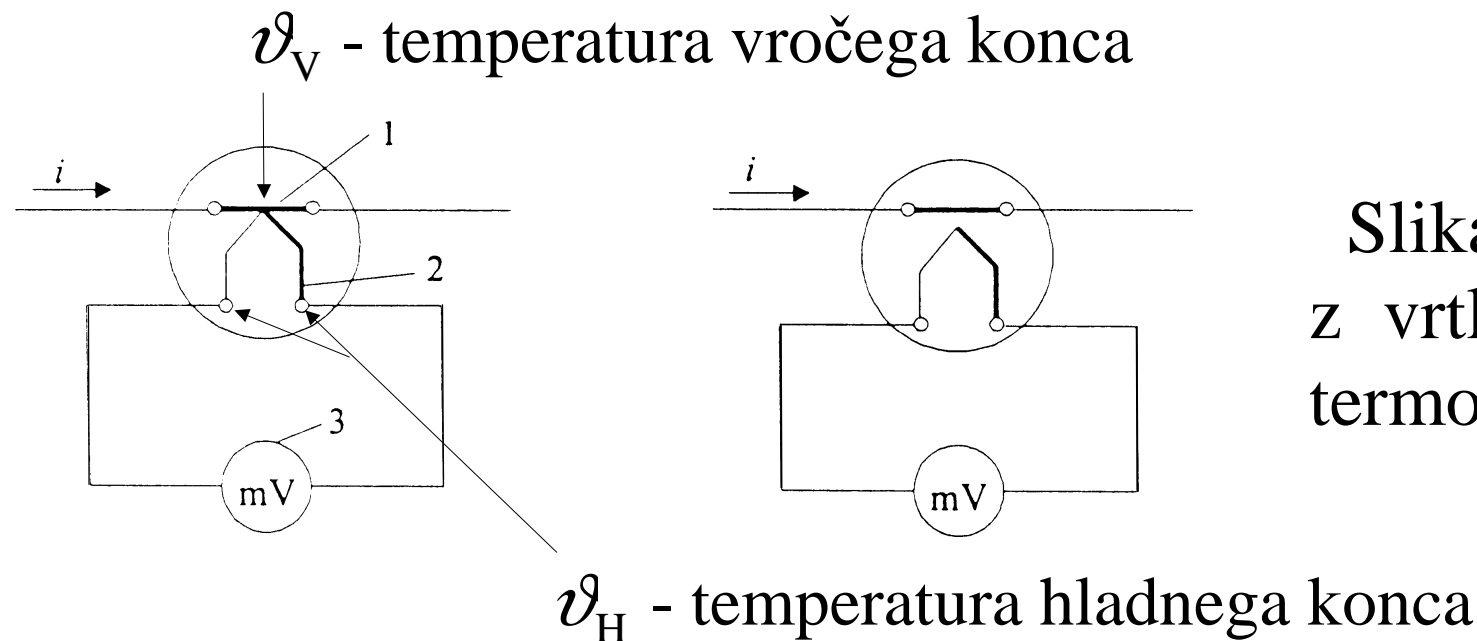
- Odklon je odvisen **od efektivne vrednosti** in od **faznega pložaja** glede na krmilno napetost.
 - Če lahko **kot nastavljam**, lahko **merimo** različne **komponente** napetosti (npr.: jalova, delovna,...)





Instrument z vrtljivo tuljavico in termopretvornikom

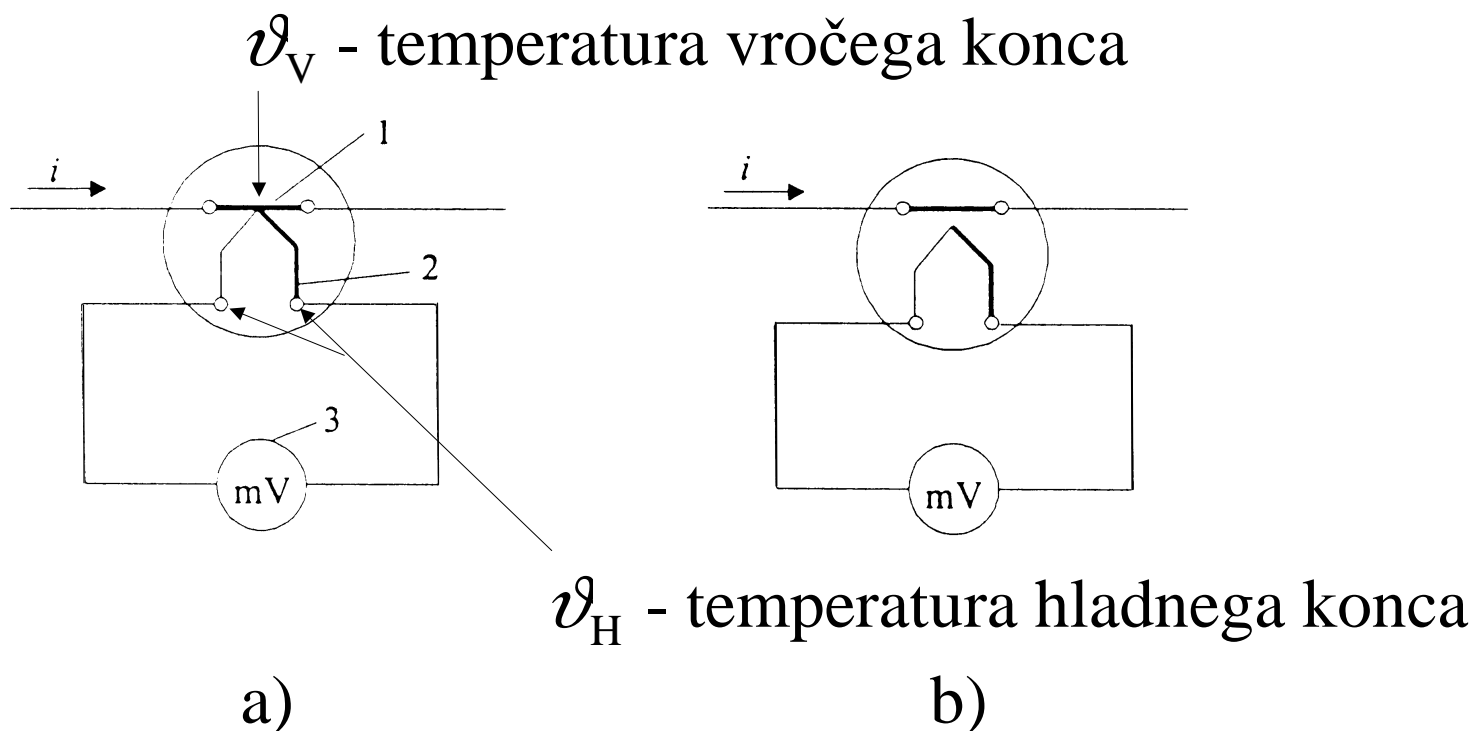
Kadar želimo meriti efektivno vrednost signala tudi **pri nesinusnem toku**, moramo instrumentu dodati **merilni člen – termopretvornik**.



Slika 4.22 Instrument z vrtljivo tuljavico in termopretvornikom

- izhodna veličina (enosmerna napetost/tok) je **sorazmerna efektivni vrednosti** merjene veličine.

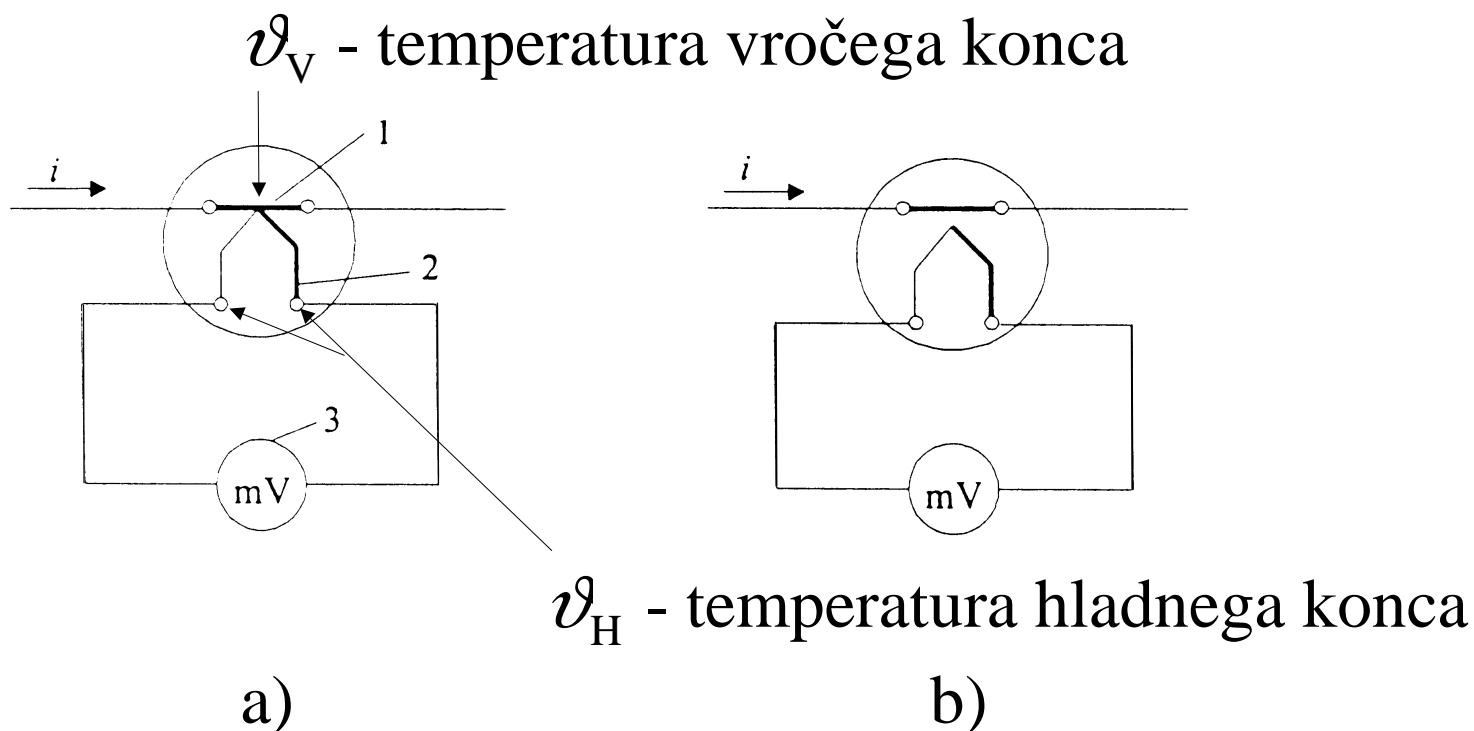




Slika 4.22 Instrument z vrtljivo tuljavico in termopretvornikom

- **Grelna žica (1) in termoelement (2) sta v toplotnem stiku.** Napetost termoelementa:

$$U = k(\vartheta_V - \vartheta_H) = k \Delta \vartheta \quad k - \text{odvisen od materialov}$$



Slika 4.22 Instrument z vrtljivo tuljavico in termopretvornikom

- če je tudi električni stik \Rightarrow neizoliran termopret.(a),
- če stika ni \Rightarrow izoliran termop.(b) – posredno ogrevan.





Za **ogrevanje** žice je potrebna moč:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (iR)i dt = R \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = RI^2$$

- V ustaljenem stanju sta zaradi toplotne vztrajnosti termopretvornika ϑ_V in ϑ_H **stalni**.
- Temperaturna razlika $\Delta\vartheta$ je **odvisna od moči** na grelni žici in dobimo: $U = aP = aRI^2 = bI^2$
 - **skala** takega instrumenta je **kvadratična** (odziva se na efektivno vrednost).

Občutljiv na preobremenitev.

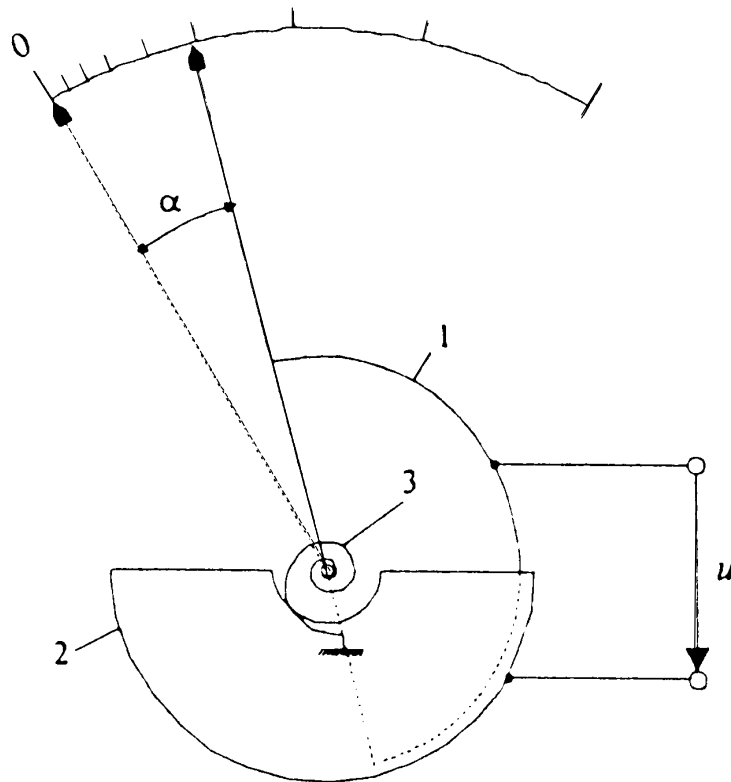
Z uporabo tankostenske cevke (zmanjša se **kožni pojav**) je zgornja frekvenčna meja okoli 1GHz.



4.6 Elektrostatični instrument

Temelji na električni sili med dvema naelektrenima telesoma:

- to sta **vrtljiva** (1) in **nepremična** plošča (2) kondenz.



Slika 4.30 Elektrostatični instrument

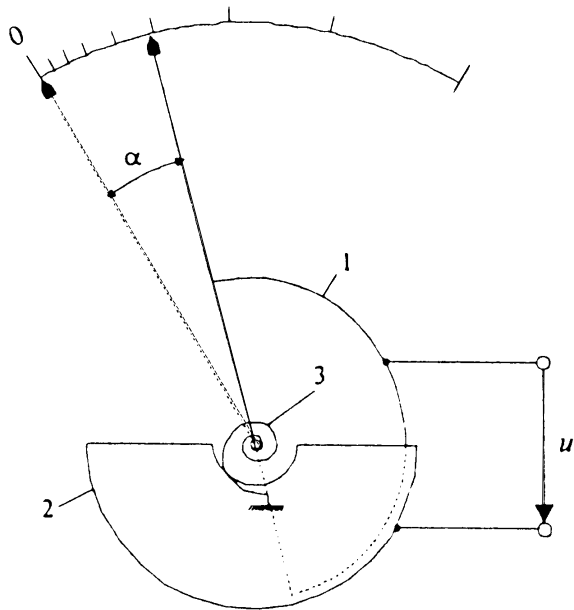
Priključena napetost povzroči silo, ki **poveča kapacitivnost**.

- Delo sile je enako spremembi energije:

$$W = \frac{1}{2} C u^2$$

- In električni vrtilni moment:

$$T_e = \frac{1}{2} u^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha}$$



Moment je **odvisen od napetosti** \Rightarrow izredno **nizka poraba**

Povprečna vrednost navora:

$$\bar{T}_e = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{2} u^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha} \right) dt = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial \alpha} \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U^2$$

V ravnovesju: $\alpha = \frac{1}{2D} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U_0^2 \cong k U_0^2$ - **kvadratična skala**





Navor je **odvisen** od **kvadrata** **efektivne** vrednosti.

- Primer: enosmerna U_0 in izmenična napetost u_a

$$\bar{T}_e = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{2} (U_0 + u_a)^2 \frac{\partial C}{\partial \alpha} \right) dt =$$

$$\bar{T}_e = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial \alpha} \left[\frac{1}{T} \int_0^T U_0^2 dt + 2U_0 \frac{1}{T} \int_0^T u_a dt + \frac{1}{T} \int_0^T u_a^2 dt \right]$$

$$\bar{T}_e = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial \alpha} (U_0^2 + U_a^2) = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U^2$$

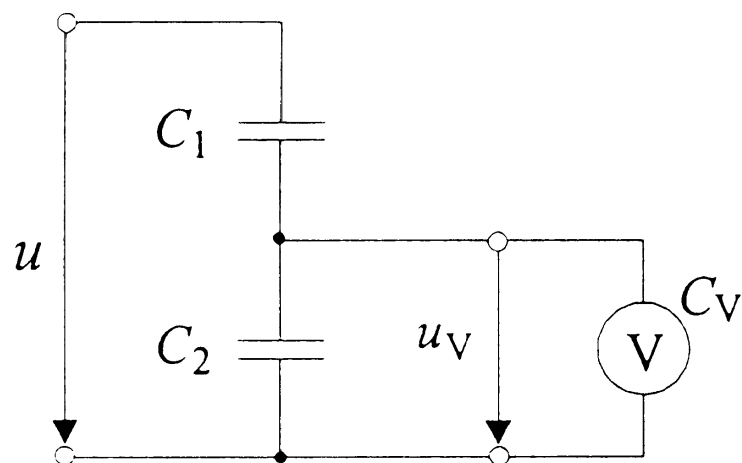
Zgornja **frekvenčna meja** je pri 100MHz.

Razred točnosti je lahko tudi 0,1.

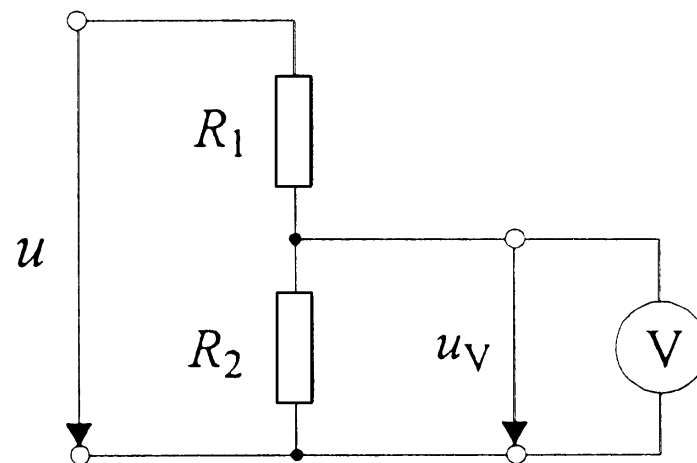




Območje razširimo s kapacitivnim delilnikom (a) ali uporovnim delilnikom (b):



a)



b)

Slika 4.31 Razširitev merilnega območja elektrostatičnega voltmetra

$$A = \frac{u}{u_V} = \frac{C_1 + C_2 + C_V}{C_1}$$

- upoštevamo tudi C_V voltmetra

$$A = \frac{u}{u_V} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

- $R_V \gg R_2$

