



7. MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN

Obpravnavali bomo splošne zakonitosti pri merjenju:

- napetosti,
- toka,
- moči,
- upornosti,
- kapacitivnosti,
- lastne in medsebojne induktivnosti,
- frekvence,
- in magnetnega polja ...

Pogosto merjeno veličino ugotovimo (**izračunamo**) na osnovi **neposrednih merjenj** drugih fizikalnih veličin.

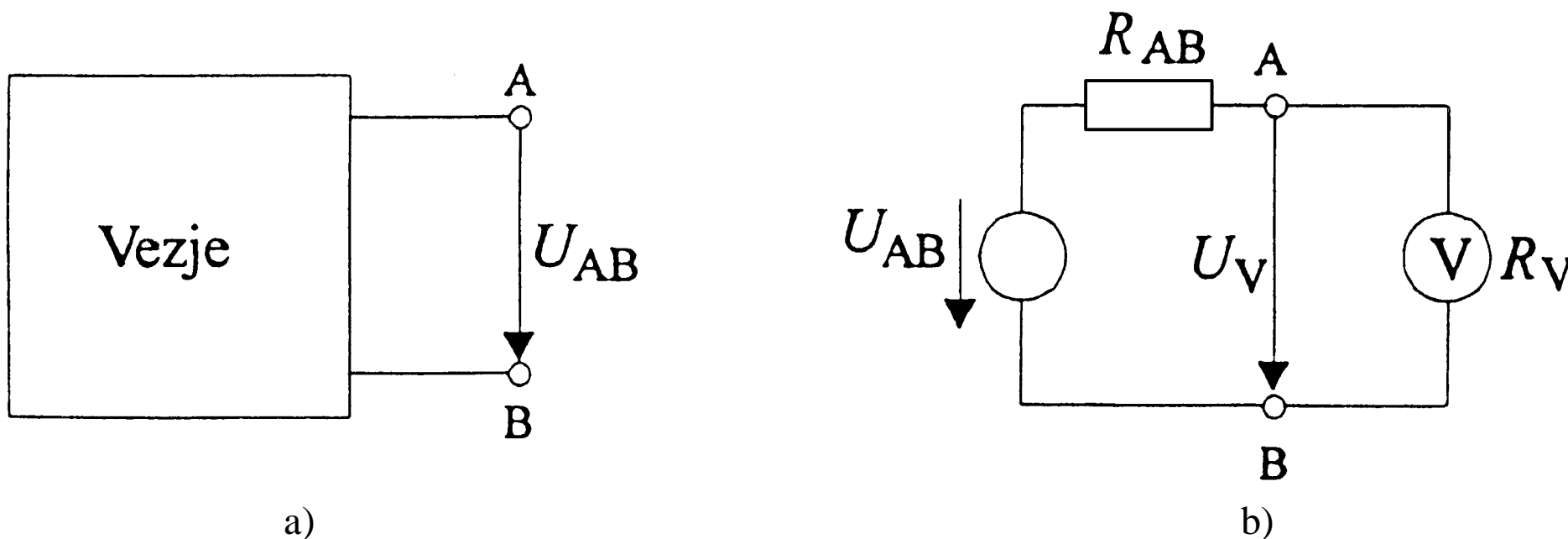




7.1 Merjenje napetosti in toka

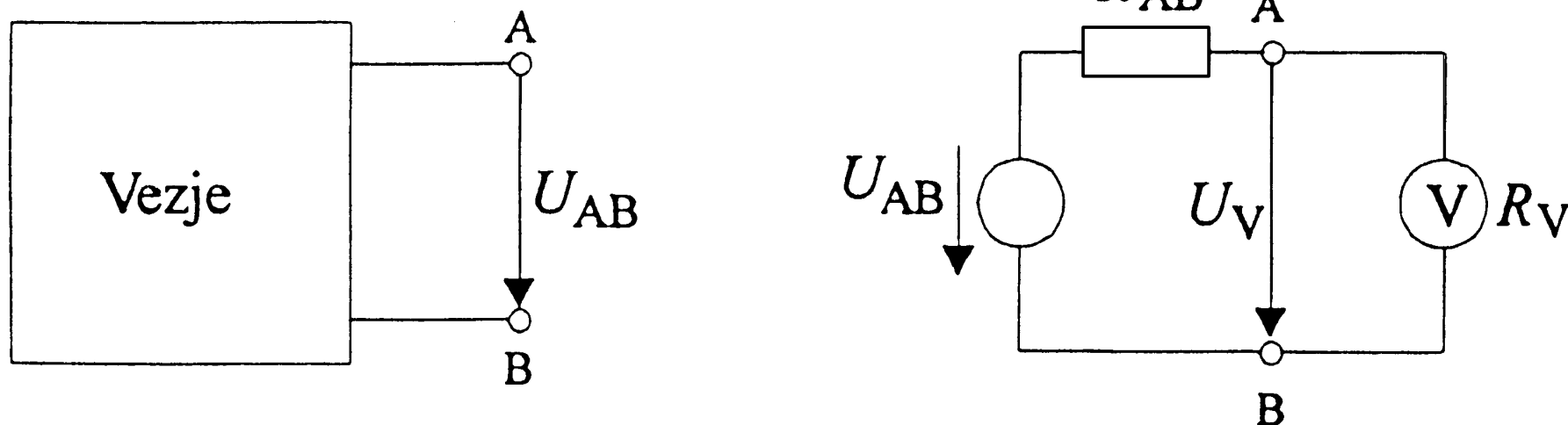
Vključitev merilnih instrumentov ima za posledico spremembo razmer.

Priključitev voltmetra



Slika 7.1: Vpliv priključitve voltmetra





- Napetost med sponkama A, B po priključitvi voltmetra:

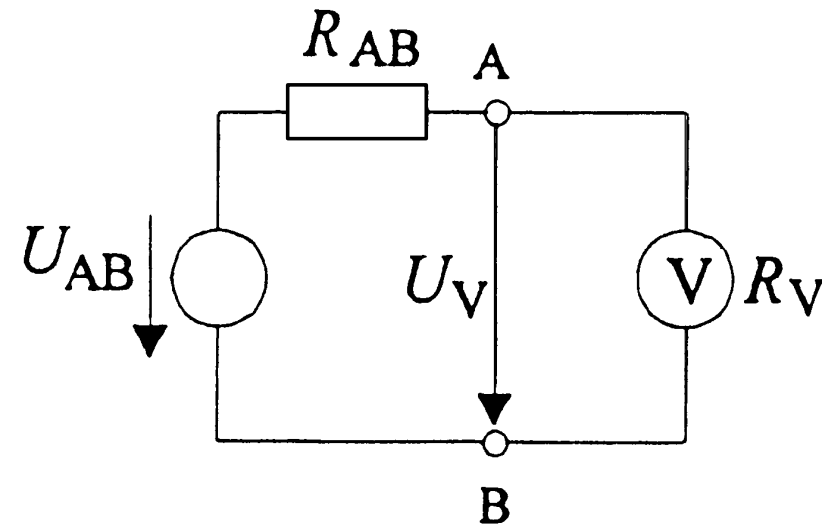
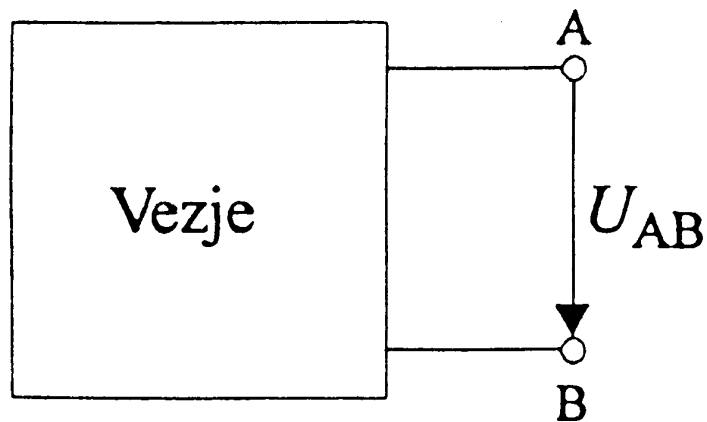
$$U_V = U_{AB} \frac{R_V}{R_V + R_{AB}}$$

- Relativna sprememba napetosti:

$$\frac{\Delta U}{U_{AB}} = \frac{U_V - U_{AB}}{U_{AB}} = - \frac{1}{1 + R_V / R_{AB}}$$

- **napetost je manjša,**
- odvisna od razmerja R_V / R_{AB}





- Če učinek priključitve (končne vrednosti upornosti) zanemarimo, naredimo **systematični pogrešek** merilne metode:

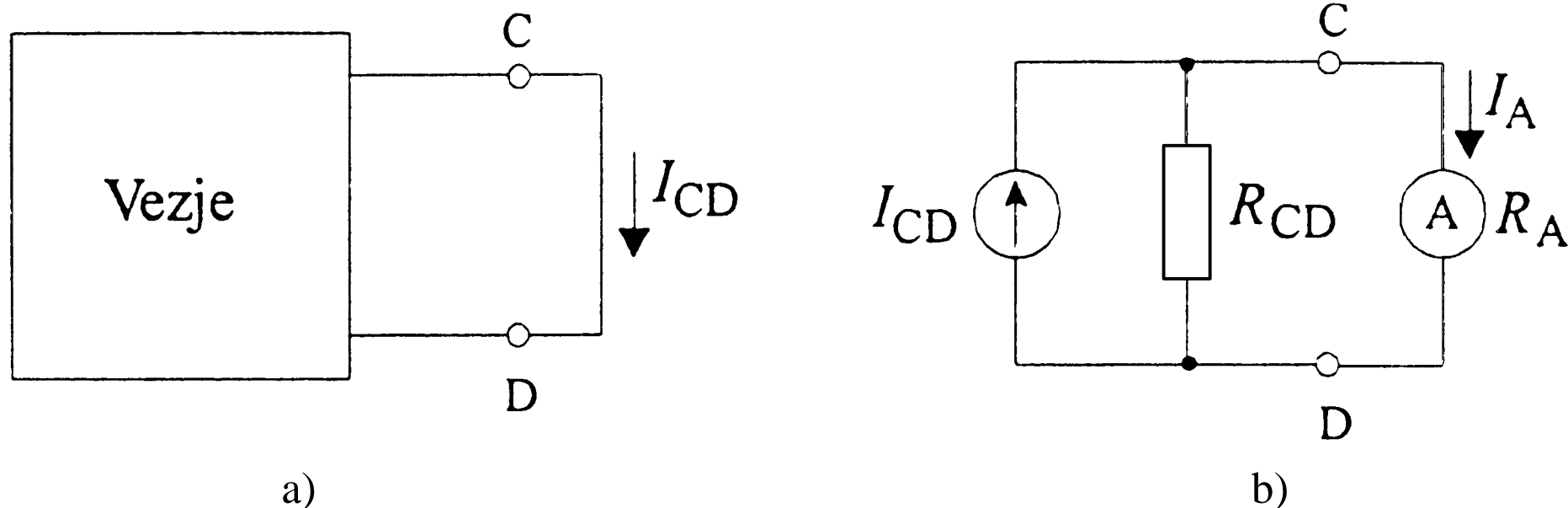
$$e = -\frac{1}{1 + R_V / R_{AB}}$$

Uporaba kompenzatorjev nam kljub končnim upornostim omogoča $R_V \rightarrow \infty$!





Vključitev ampermetra

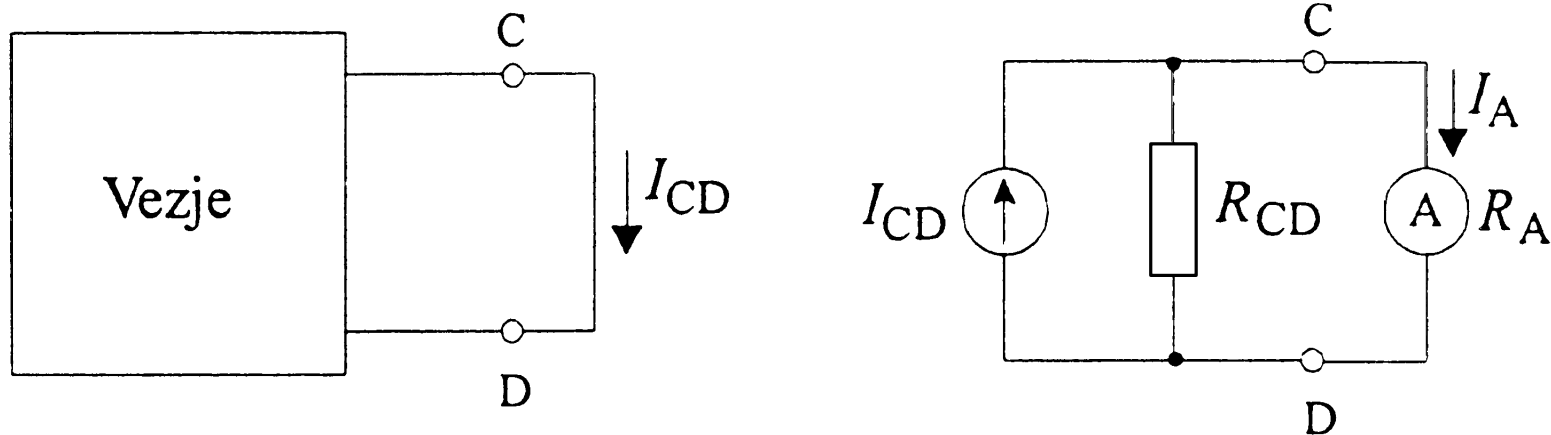


Slika 7.2: Vpliv vključitve ampermetra

Tok med sponkama C, D **po vključitvi ampermetra** (pred tem je bila kratka vez):

$$I_A = I_{CD} \frac{R_{CD}}{R_{CD} + R_A}$$





- Relativna sprememba toka:

$$\frac{\Delta I}{I_{CD}} = \frac{I_A - I_{CD}}{I_{CD}} = -\frac{1}{1 + R_{CD}/R_A}$$

- tok je manjši,
- odvisna od razmerja R_{CD}/R_A

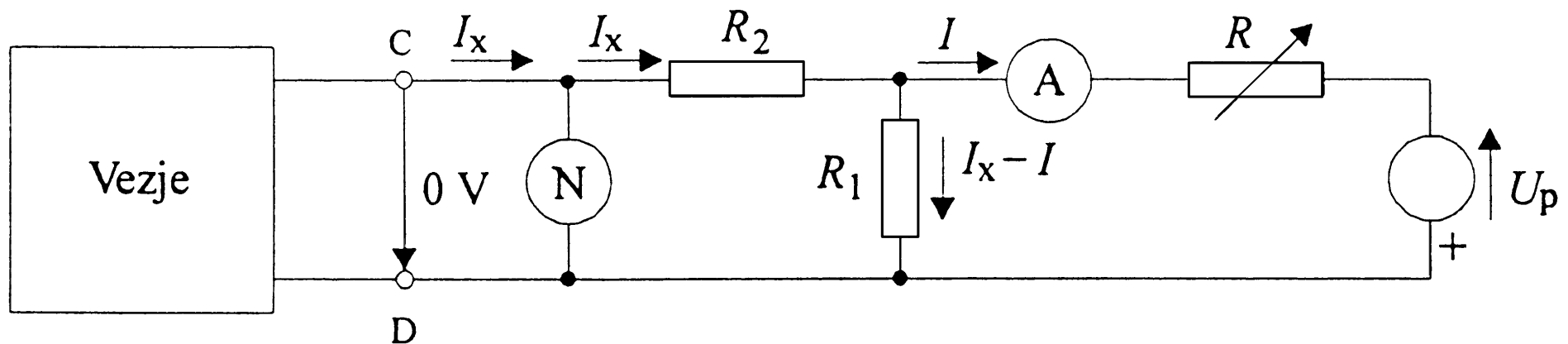
Če učinek priključitve (končne vrednosti upornosti) zanemarimo, naredimo **systematični pogrešek**:

$$e = -\frac{1}{1 + R_{CD}/R_A}$$





Kompenzacijski način merjenja toka (s sesalnim vezjem)
nam ustvari navidezno $R_A \rightarrow 0$



Slika 7.3: Sesalno vezje (temelji na Lindeck-Rothejevem principu)

- ko je **ničelni indikator brez odklona**, velja:

$$I_x R_2 + (I_x - I) R_1 = 0 \quad - \text{z } R \text{ spreminjamo tok } I$$

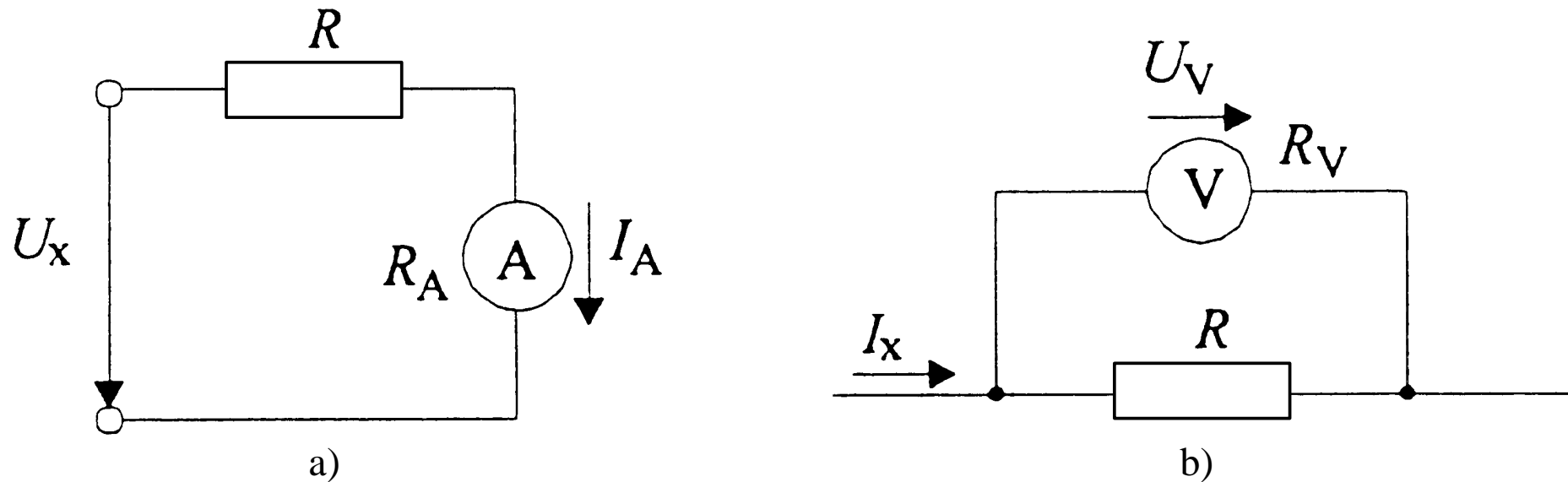
- merjeni 'sesani' tok je: $I_x = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

- med točkama C, D ni padca napetosti! $\Rightarrow R_A = 0 \Omega$





Posredno merjenje napetosti in toka



Slika 7.4: Posredno merjenje napetosti in toka

Posredno merjenje napetosti preko toka čez znano upornost

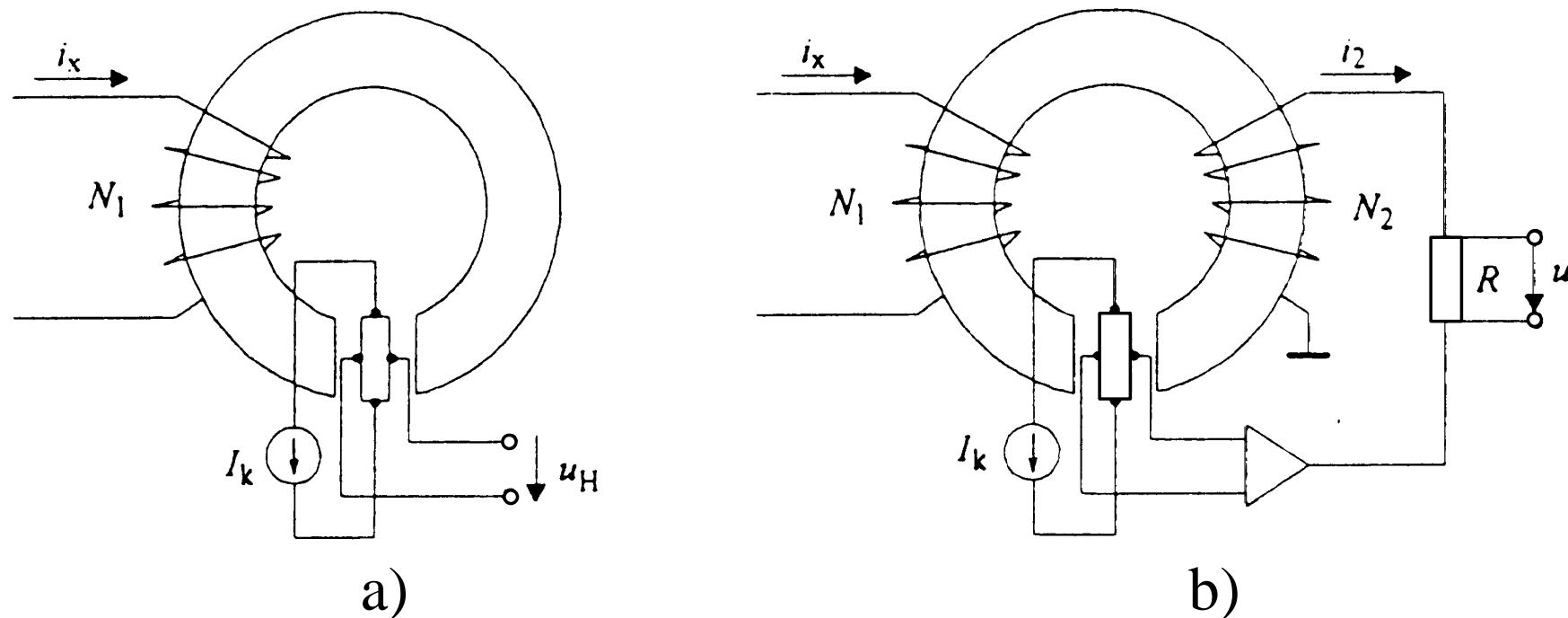
$$(a): \quad I_A = \frac{U_x}{R + R_A} \quad - \text{če } R \gg R_A: \quad U_x = I_A R$$

Posredno merjenje toka preko napetosti na znani upornosti

$$(b): \quad U_V = I_x \frac{RR_V}{R + R_V} \quad - \text{če } R_V \gg R: \quad I_x = U_V / R$$

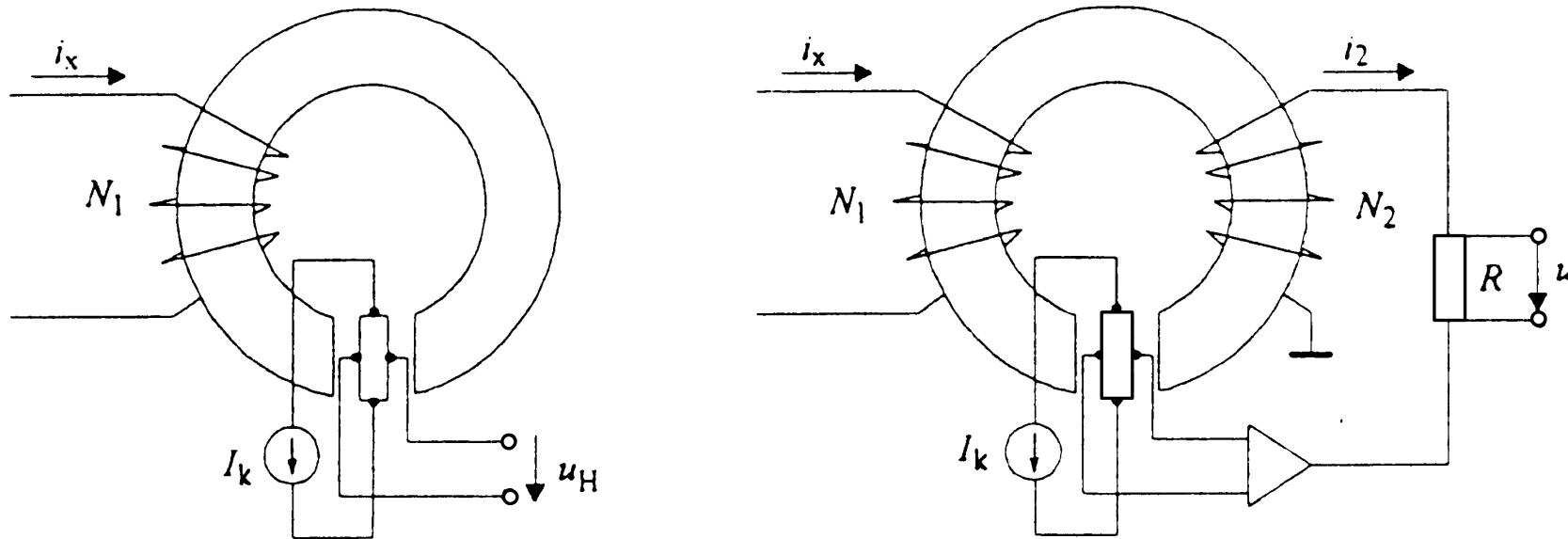


Posredno merjenje toka z uporabo magnetnega kroga.



Slika 7.5: Merjenje toka prek magnetnega kroga s Hallovo sondo

- magnetni krog se zaključi preko **toroidnega feromagnetnega jedra**,
- jedro se vzbuja z merjenim tokom i_x preko N_1 ovojev



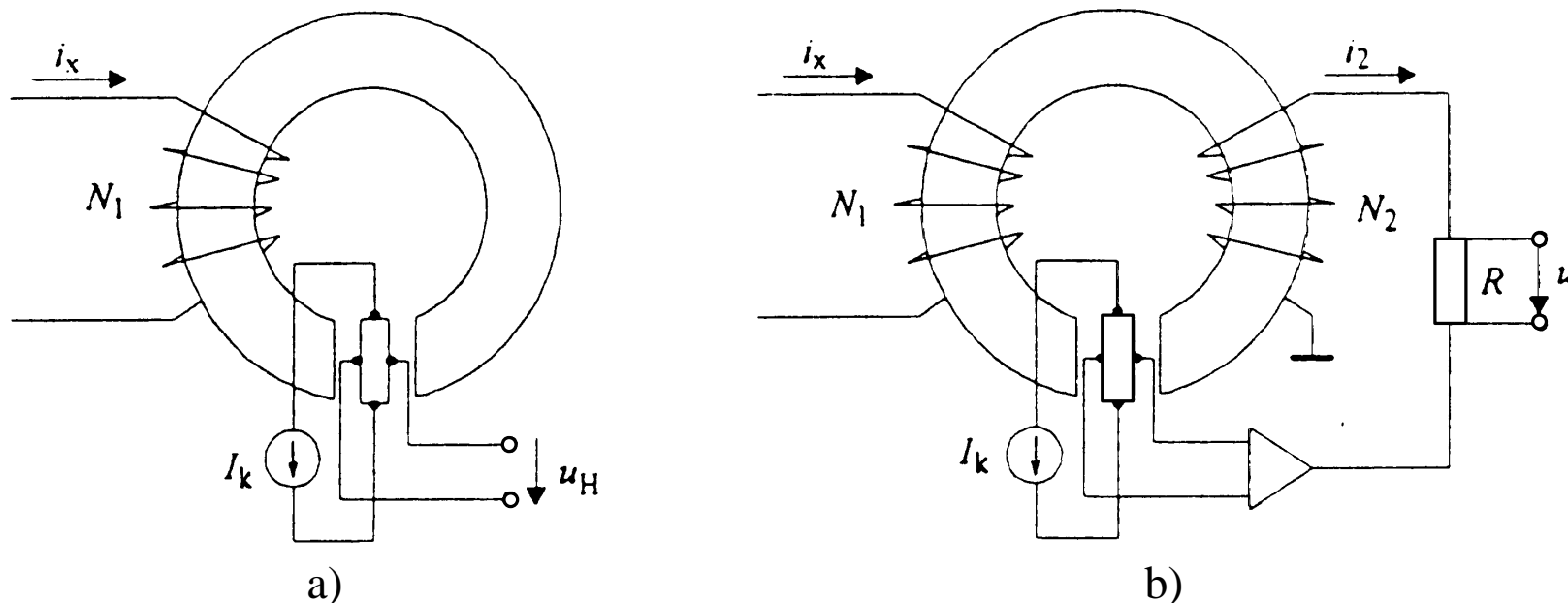
- **v reži se nahaja Hallova sonda:**

- skoraj linearna povezava: $u_H = \frac{1}{ned} I_k B \approx \text{konst.} \cdot i_x$
- občutljivost sonde od nič do 10MHz neodvisna od frekvence.
- slaba stran je v **temperaturni odvisnosti**
 - **in nelinearnosti.**



Nelinearnost izboljšamo s **kompensacijskim** navitjem (b)

- ravnotežje vzpostavimo s tokom i_2 ki ga preko ojačevalnika krmili napetost u_H

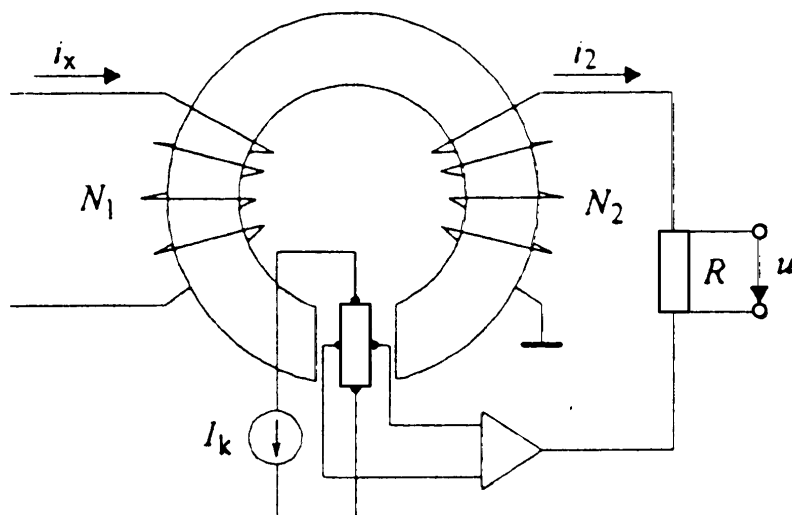


Slika 7.5: Merjenje toka prek magnetnega kroga s Hallovo sondo

Kadar je **magnetni pretok kompenziran**, imamo:

$$u_H = 0 \quad \Rightarrow \quad i_x N_1 = i_2 N_2 \quad \Rightarrow \quad i_x = \frac{N_2}{N_1 R} u$$





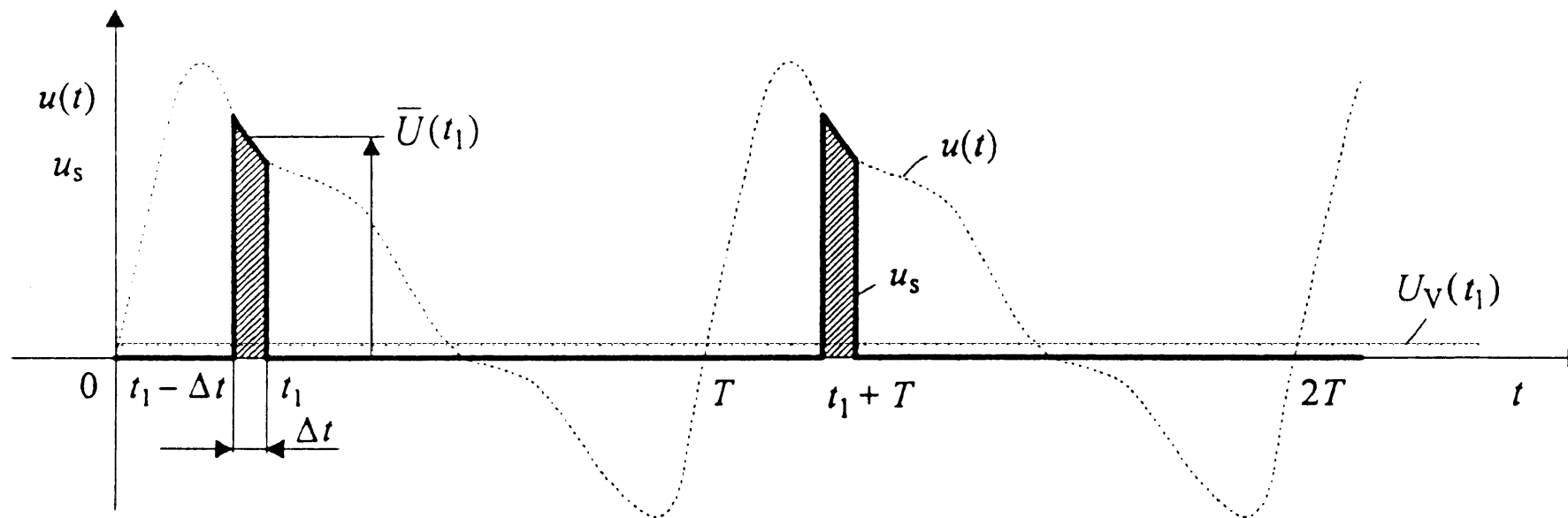
Na tem principu temeljijo **tokovne klešče**.

- tok merimo brez prekinitve vodnika,
 - pri montaži razklenemo jedro,
- **primar ima en sam ovoj.**





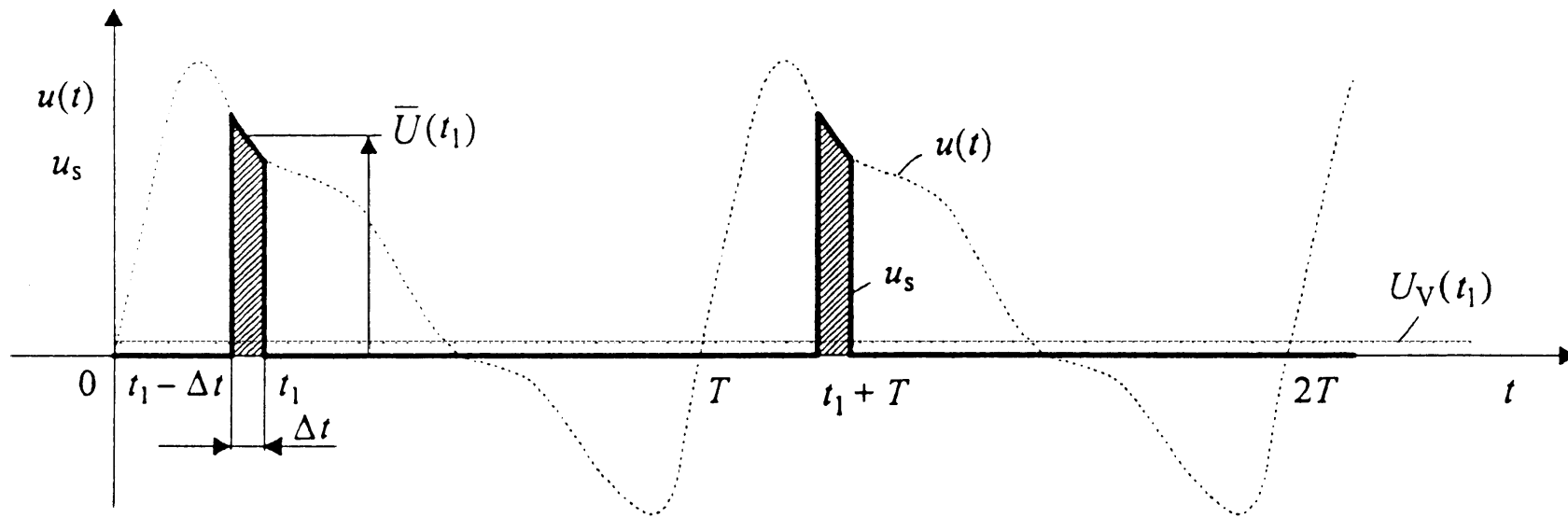
Merjenje časovnega poteka periodičnih signalov preko povprečnih vrednosti odsekov u_s



Slika 7.6: Princip merjenja trenutnih vrednosti periodične napetosti
Tekoča povprečna vrednost periodičnega odseka širine Δt :

$$\bar{U}(t_1) = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1 - \Delta t}^{t_1} u \, dt$$





Votmeter kaže napetost:
$$U_V(t_1) = \frac{1}{T} \int_{t_1 - \Delta t}^{t_1} u \, dt$$

Napetosti $\bar{U}(t_1)$ in $U_V(t_1)$ sta v razmerju:
$$\bar{U}(t_1) = \frac{T}{\Delta t} U_V(t_1)$$

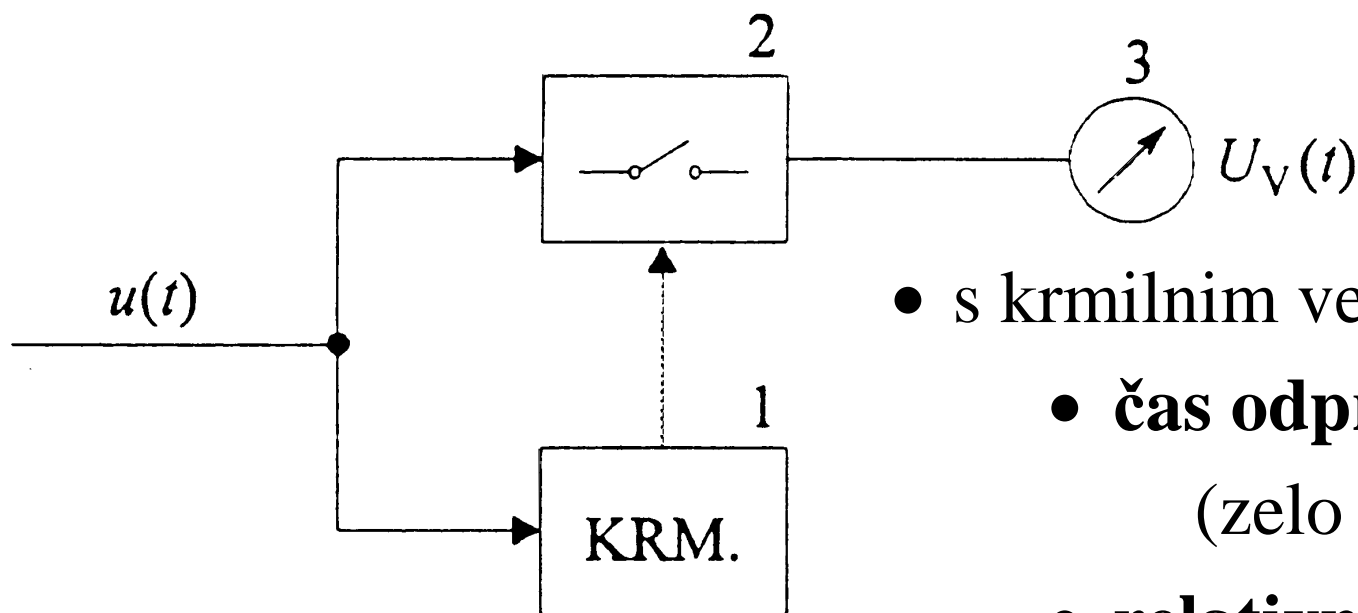
- če je odsek Δt dovolj ozek, je tekoča povprečna vrednost $\bar{U}(t_1)$ enaka trenutni vrednosti $u(t_1)$,
- tudi povprečna vrednost voltmetra $U_V(t_1)$ je enaka trenutni.





Z instrumentom, ki se **odziva na povprečno** vrednost, lahko **merimo trenutne** vrednosti.

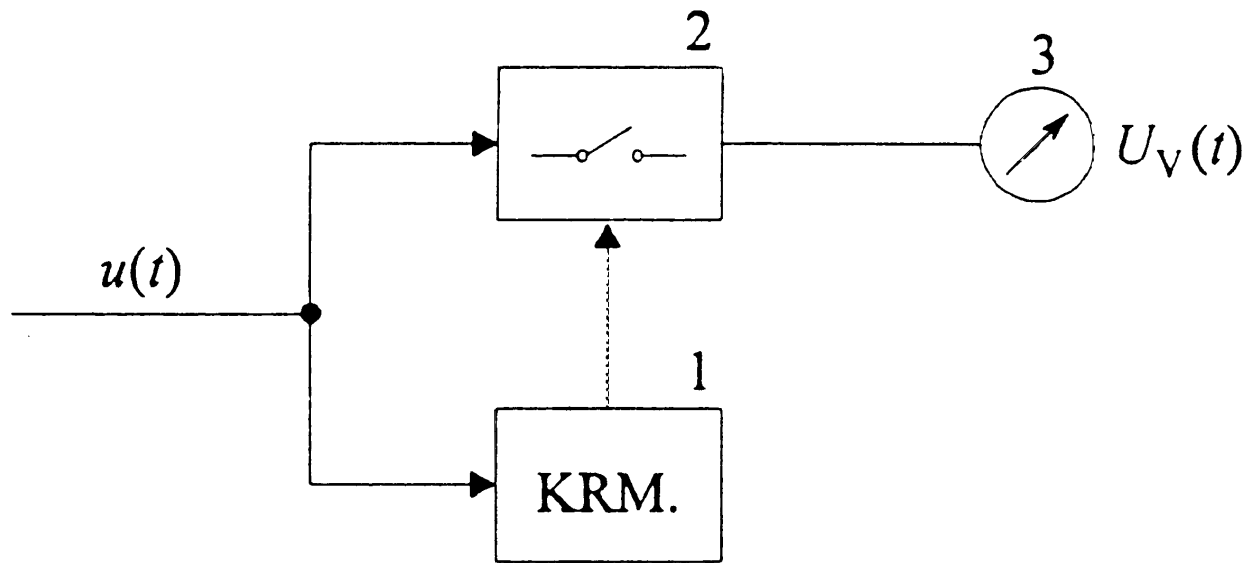
- čas vklopa stikala premikamo po periodičnem signalu.
- s **sinhronskim stikalom**,
- skupaj z instrumentom tvori **vektometer**



- s krmilnim vezjem (1) določamo:
 - **čas odprtja** vrat $\Delta t = T_k$
(zelo ozek, da $\bar{U}(t) = u(t)$),
 - **relativni položaj** vklopa.

Slika 7.7: Snemanje časovnega poteka periodične napetosti





Z vektometrom lahko merimo tudi, ko imamo **znan le odvod** merjene veličine.

- signal mora imeti **simetrijo III.** vrste: $x(t - T/2) = -x(t)$
- kontaktni čas T_k (**integracijski čas**) mora biti **enak**

polovici periode:

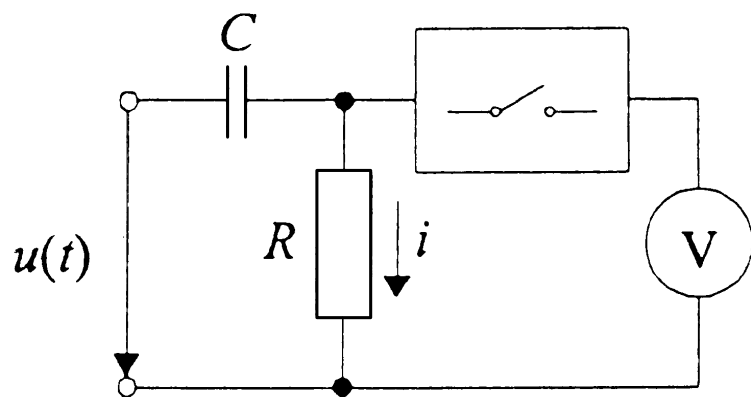
$$\int_{t-T/2}^t \dot{x} dt = \int_{x(t-T/2)}^{x(t)} dx = 2x(t)$$

- trenutna vred.: $x(t) = \frac{1}{2} \int_{t-T/2}^t \dot{x} dt = \frac{T}{4} \frac{1}{T/2} \int_{t-T/2}^t \dot{x} dt = \frac{T}{4} \dot{X}(t)$

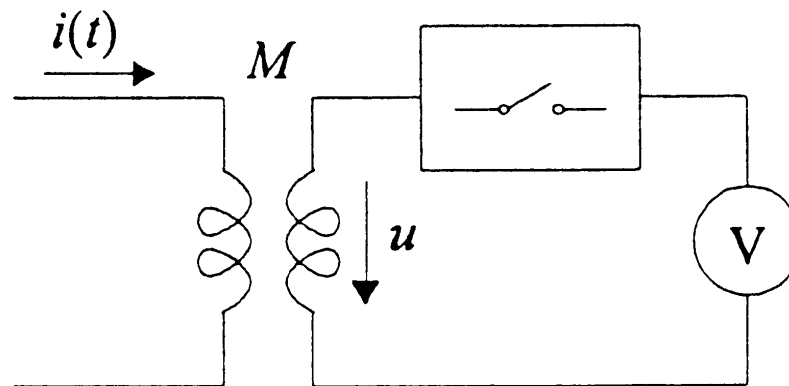




Če je dana sama veličina, jo najprej **diferenciramo**.



a)



b)

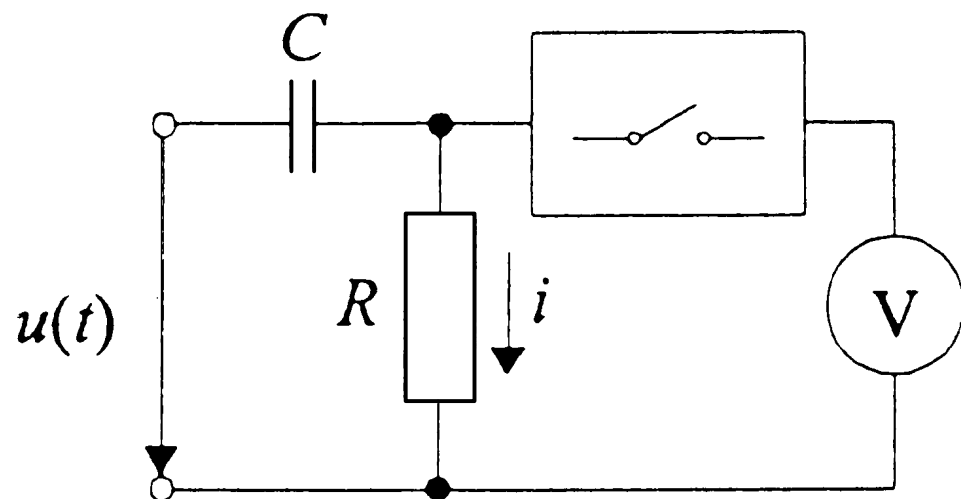
Slika 7.8: Merjenje trenutnih vrednosti napetosti in toka

Realizacija diferenciranja pri merjenju napetosti (a):

- **velika upornost** voltmetra $R_V \gg 1$,
- **majhna časovna konstanta** $RC \ll T$,

- tok čez upor je :
$$i = i_C = C \frac{du_C}{dt} \approx C \frac{du}{dt}$$





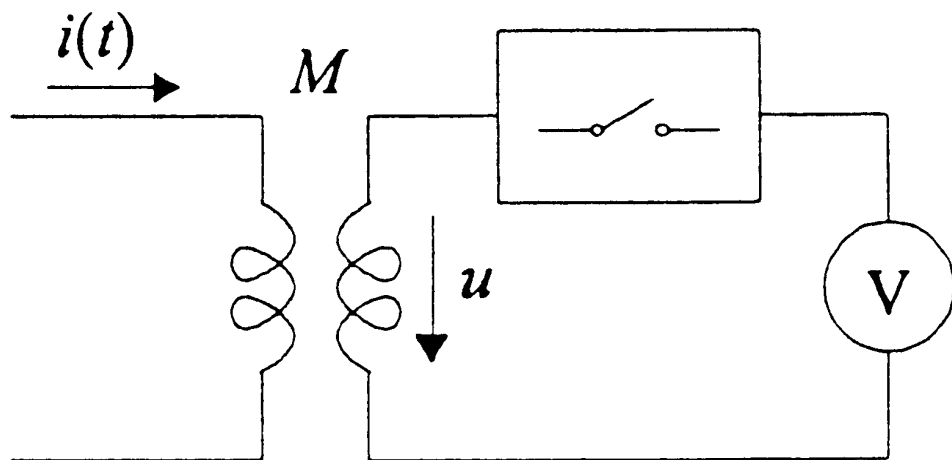
Povprečna vrednost napetosti:

$$U_V(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^t iR dt = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^t \left(C \frac{du}{dt} \right) R dt = \frac{RC}{T} \int_{u(t-T/2)}^{u(t)} du$$

- zaradi **simetričnosti** $u(t - T/2) = -u(t)$:

$$u(t) = \frac{U_V(t)}{2f RC}$$





Pri merjenju toka realiziramo **diferenciranje z medsebojno induktivnostjo** (b): $u = M \frac{di}{dt}$

Povprečna vrednost napetosti je enaka **trenutnemu toku**

$$U_V(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^t u \, dt = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^t \left(M \frac{di}{dt} \right) dt = \frac{M}{T} \int_{i(t-T/2)}^{i(t)} di, \quad i(t) = \frac{U_V(t)}{2fM}$$

