



Vhodna stopnja elektronskega voltmetra

Voltmetri imajo ponavadi le **dve vhodni sponki**, med katerima je **upornost (impedanca pri izmeničnih razmerah)**:

$$R_V = \frac{U_V}{I_V}$$

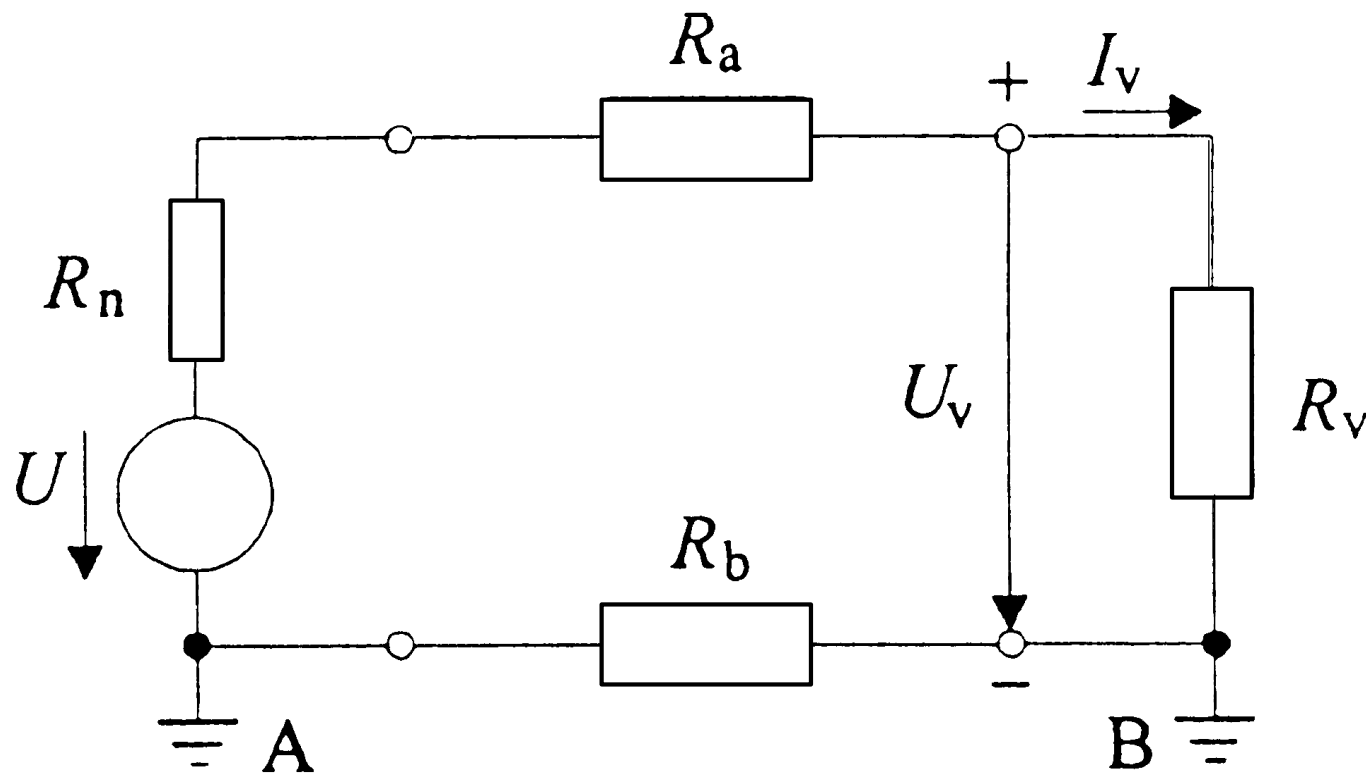
Pogosto je **negativni vhod ((-), skupna točka, common, \perp pri izmeničnih voltmetrih) ozemljen**.

Tudi merjeni vir ima **notranjo upornost in upornost veznih vodnikov ni enaka nič**.





Če je ozemljen tudi vir, imamo **posplošeno nadomestno vezje**:



Slika 5.26 Ozemljen vhod voltmetra

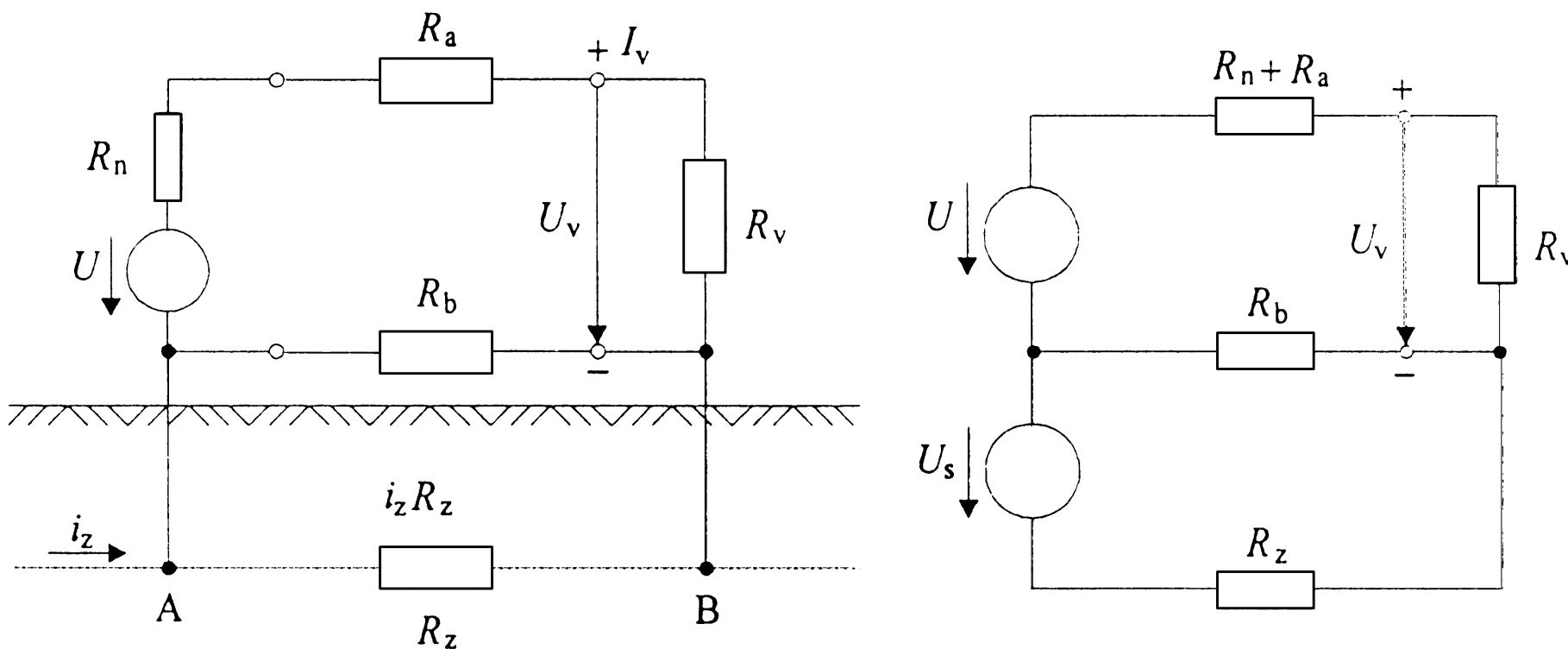
- Kadar sta točki A in B na istem potencialu, je **voltmeter z ozemljenim vhodom** najboljši način.





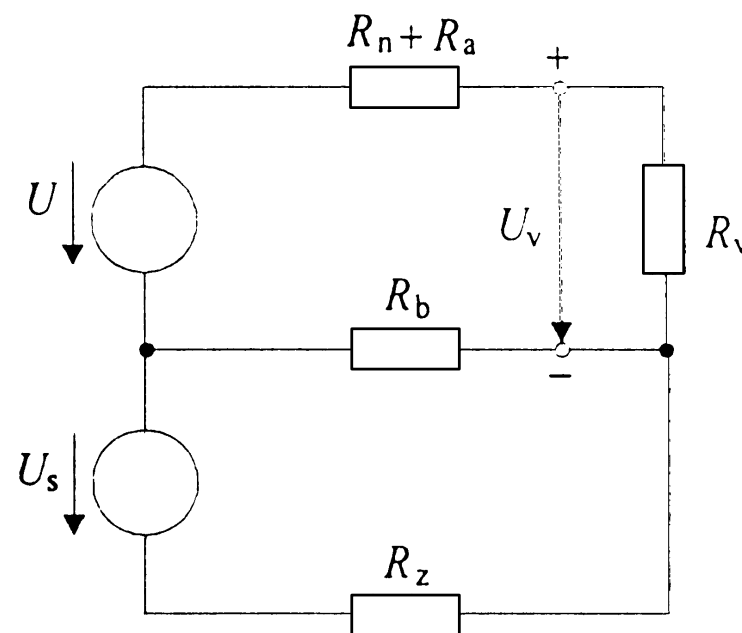
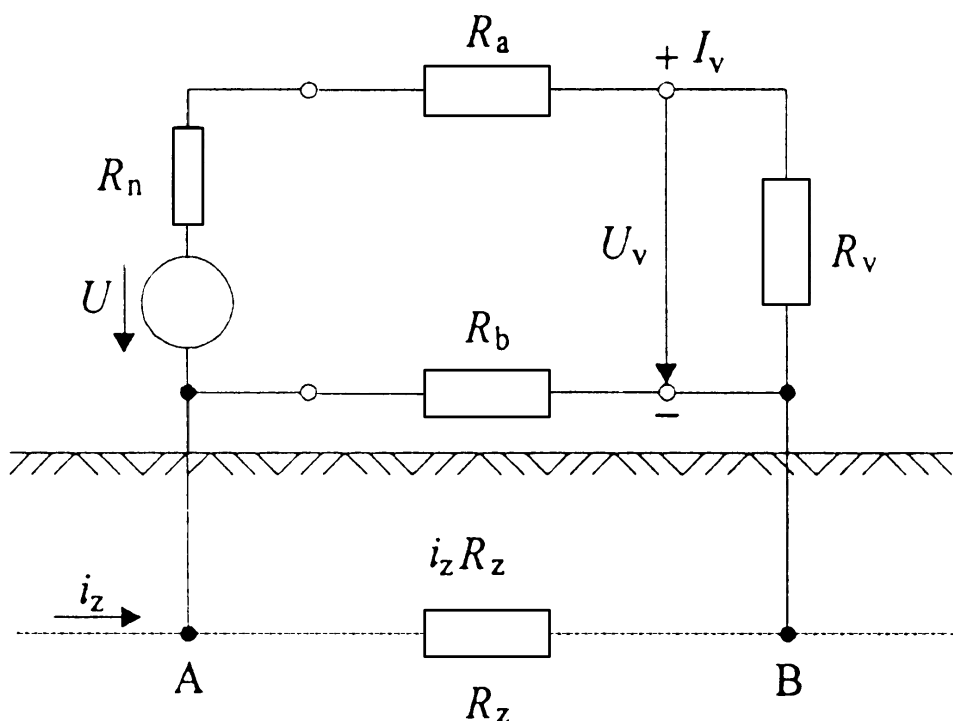
V splošnem **točki A in B nista na istem potencialu!**

- voltmeter je ozemljen krajevno drugje kot merjeni vir,
 - po zemlji tečejo **tokovi omrežne frekvence,**
- med točkama A in B imamo **sofazo napetost!**



Slika 5.27 Blodeči zemeljski tokovi – vir sofazne napetosti



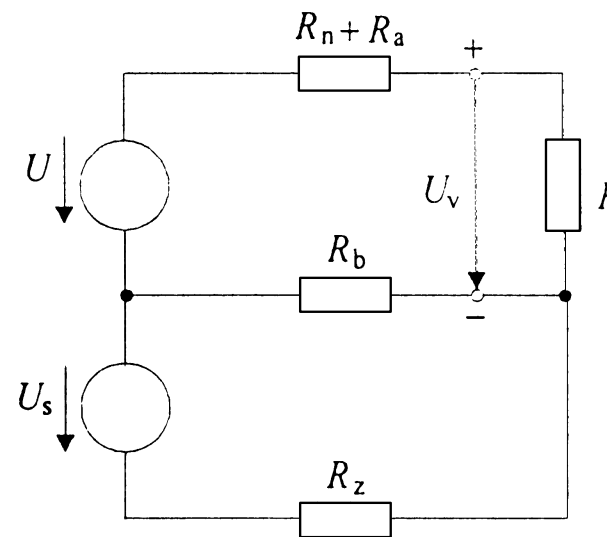
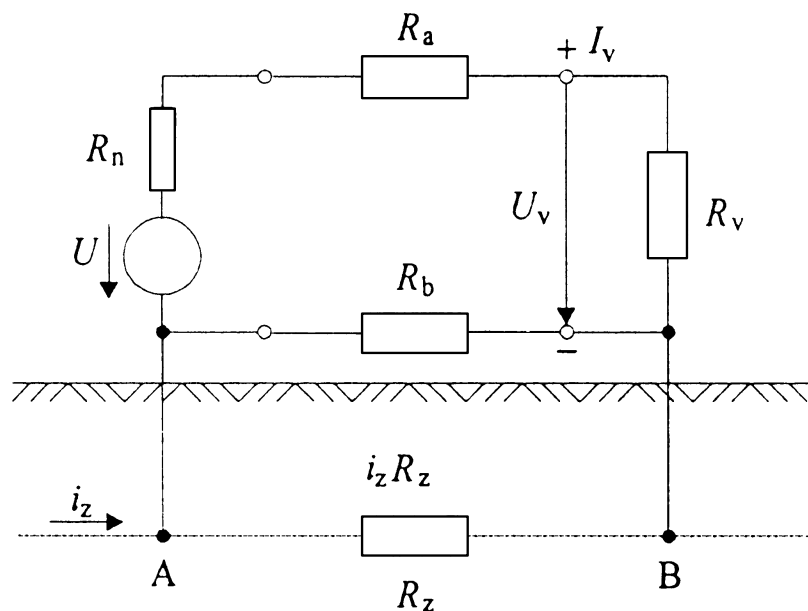


Zemeljski tok i_z povzroči na zemeljski upornosti R_z padec napetosti:

$$U_s = i_z R_z$$

- ker deluje na oba vhoda (+ in -) z isto fazo (v isto smer), se imenuje **sofazna**.





Kot **motilna napetost** se prenese **na vhod voltmetra** v dveh korakih:

- ker je $R_v + R_n + R_a \gg R_b$, teče **ves motilni tok po vodniku R_b** , in imamo:

$$U_{R_b} = U_s \frac{R_b}{R_b + R_z}$$

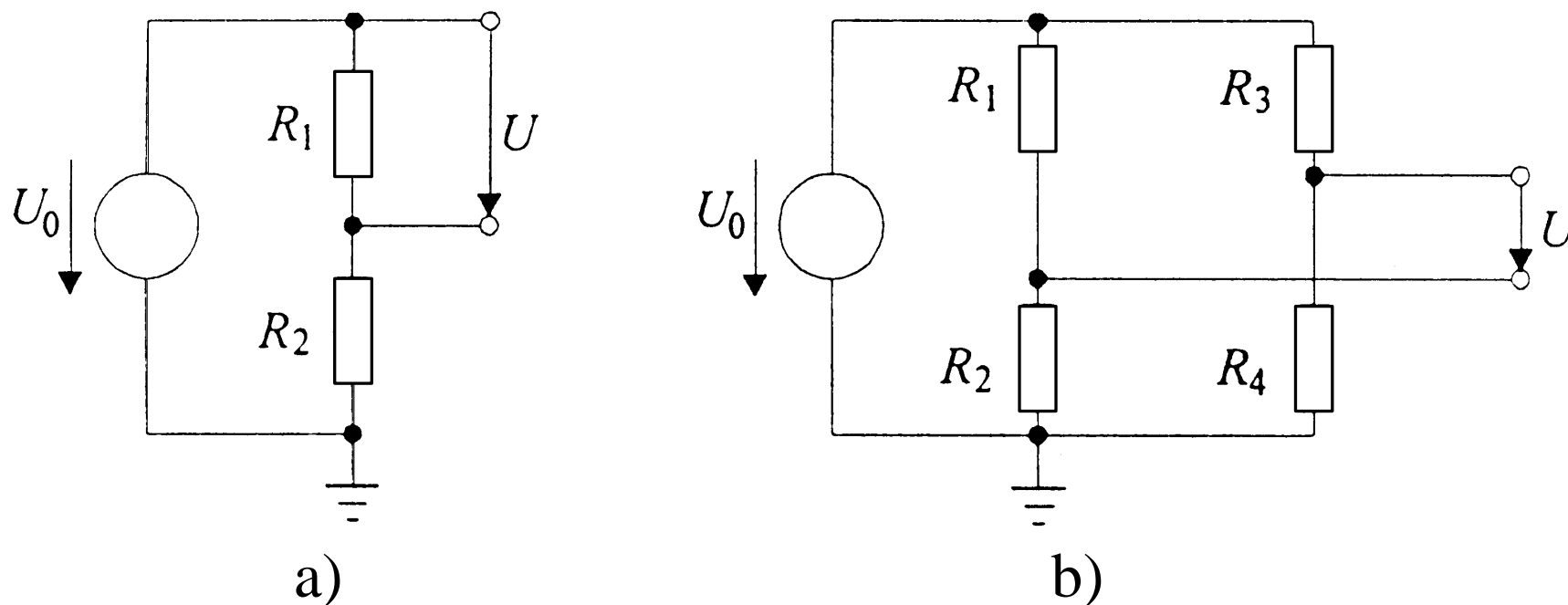
- ker je $R_v \gg R_n + R_a$, dobimo **vso napetost na vhod:**

$$U_m = U_{R_b} \frac{R_v}{R_n + R_a + R_v} \cong U_{R_b} \Rightarrow U_m = U_s \frac{R_b}{R_b + R_z}$$





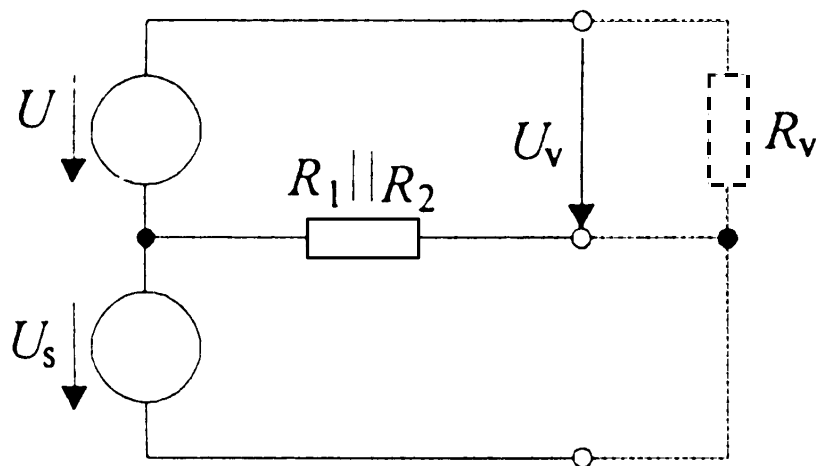
Sofazno napetost (točka nižjega potenciala ni na potencialu zemlje) povzročajo tudi **različne priključitve voltmetra v vezje**: uporovni delilnik, mostič, itn...



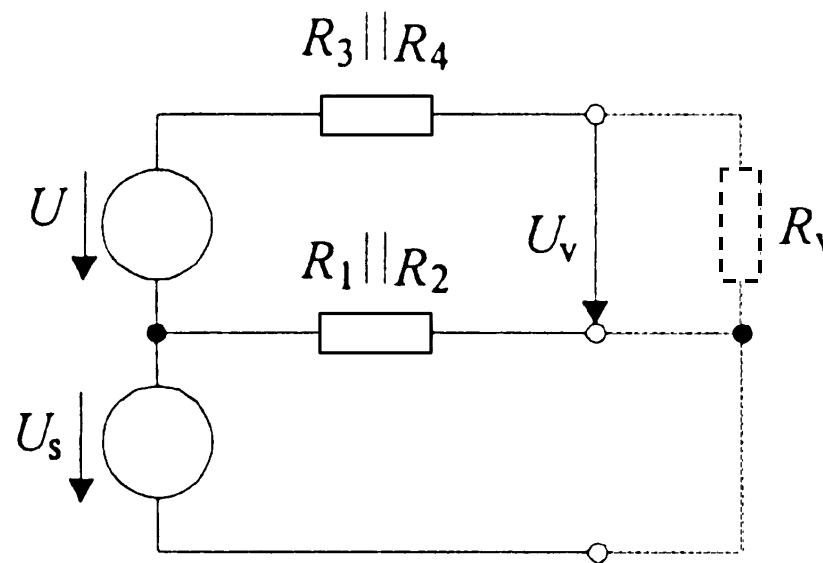
Slika 5.28 Merilna vira s sofazno napetostjo

Če bi uporabili ozemljeni voltmeter, bi bila meritev grobo popačena.





a)



b)

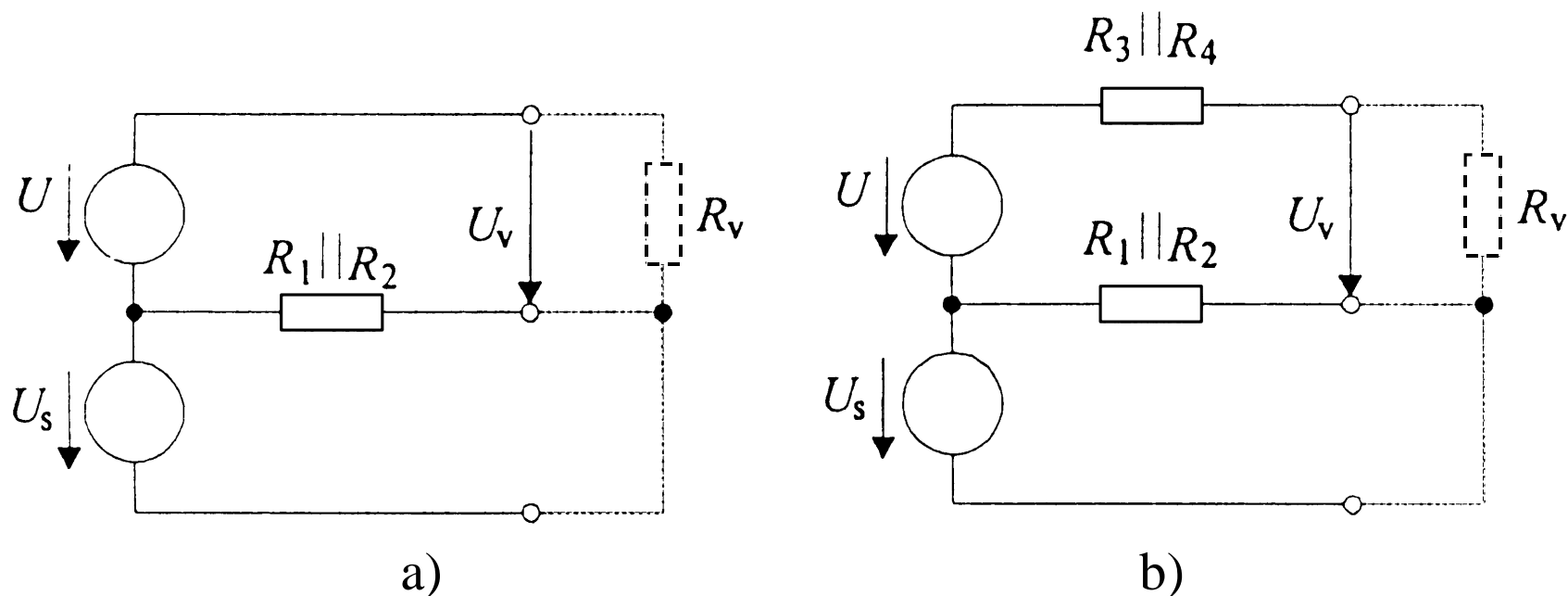
Slika 5.29 Nadomestni vezji za uporovni delilnik in mostič

V primeru delilnika (a) je na vhodu voltmetra namesto

$$U = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \text{ za sofazno napetost povečana napetost:}$$

$$U_V = U + U_s = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_0$$





Slika 5.29 Nadomestni vezji za uporovni delilnik in mostič

V primeru mostiča (b) imamo **povečano merjeno napetost** (diferencialni značaj), če je $R_v \gg R_1, R_2, R_3, R_4$:

$$U_v = U + U_s = U + U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

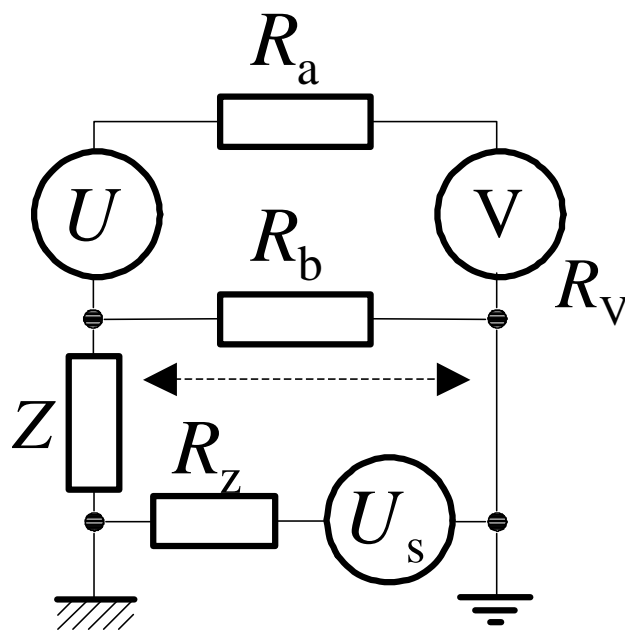




Problem rešimo tako, da proti zemlji dodamo veliko upornost Z ($Z \gg R_b + R_z$)!

- **ozemljimo samo na enem mestu!**

$$U_{R_b} = U_s \frac{R_b}{Z + R_b + R_z} \Rightarrow U_{V,m} \approx \frac{R_v}{R_v + R_a} \frac{R_b}{Z} U_s \rightarrow 0$$



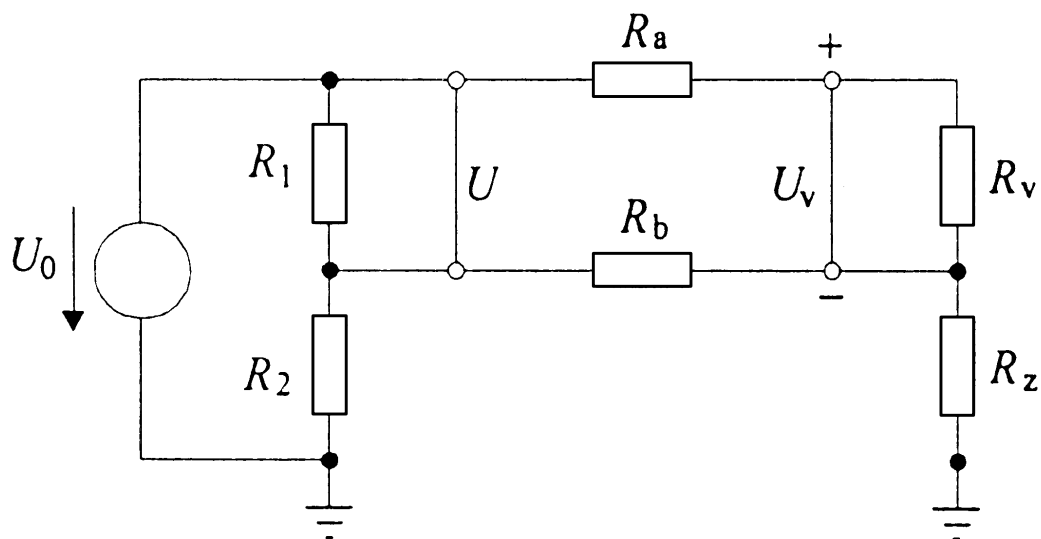
Slika 5.29c Ozemljitev



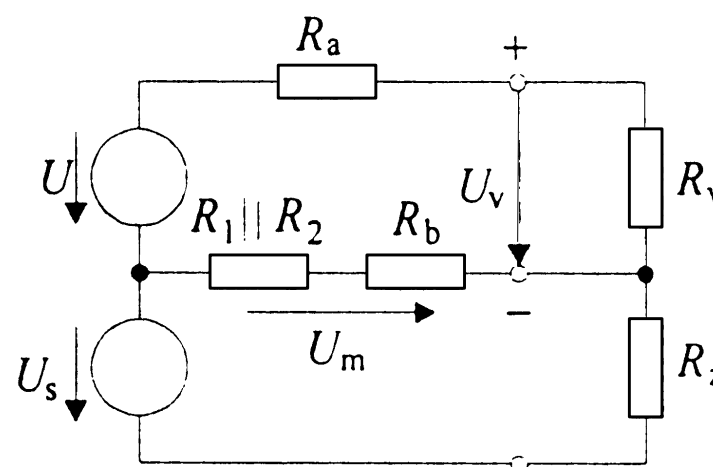


Uporablja se tudi **voltmeter z neozemljenim** (lebdečim) **vhodom**.

- negativna sponka ni ozemljena,
 - proti ozemljitvi teče zelo majhen tok, ki je **odvisen od izolacijske upornosti R_z** .



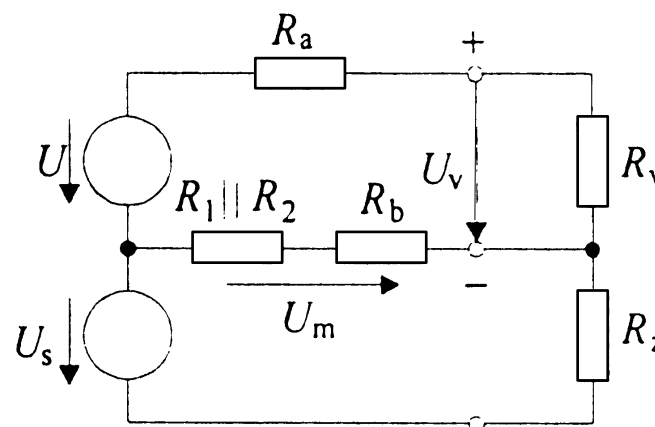
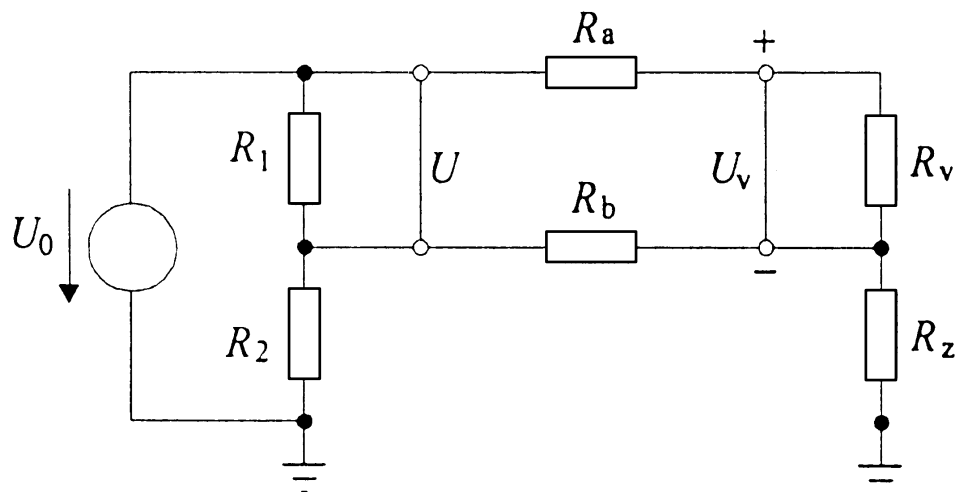
a)



b)

Slika 5.30 Voltmeter z neozemljenim vhodom in nadomestno vetje





Motilna napetost zaradi U_s na vhodu voltmetra ($R_1 \parallel R_2 + R_b \ll R_a + R_v$) je enaka:

$$U_m = U_s \frac{R_1 \parallel R_2 + R_b}{R_1 \parallel R_2 + R_b + R_z} \approx U_s \frac{R_1 \parallel R_2 + R_b}{R_z}$$

- **primer:** $R_1 \parallel R_2 + R_b = 1\text{k}\Omega$; $R_z = 1\text{G}\Omega$
 - sofazni rejekcijski oz. **potlačitveni faktor:**

$$\frac{U_m}{U_s} = \frac{1\text{k}\Omega}{1\text{G}\Omega} = 10^{-6} \hat{=} -120\text{dB}$$

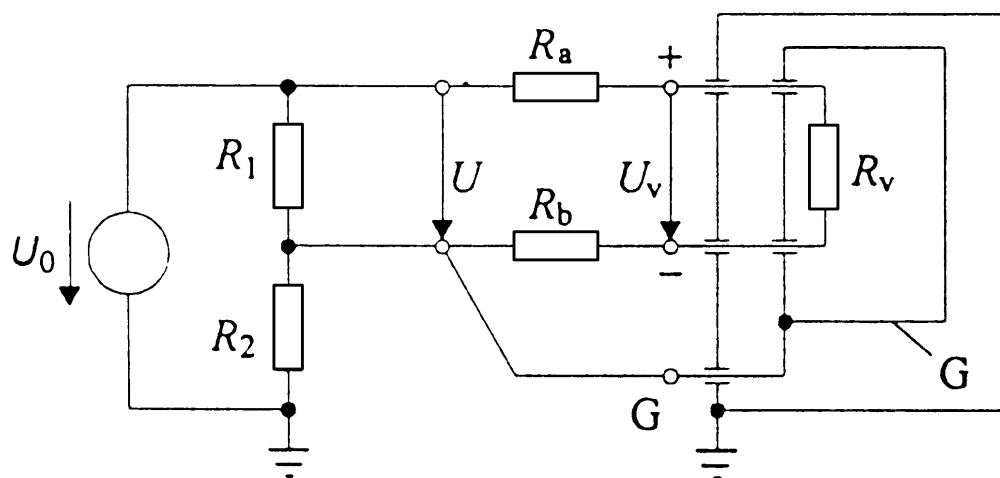




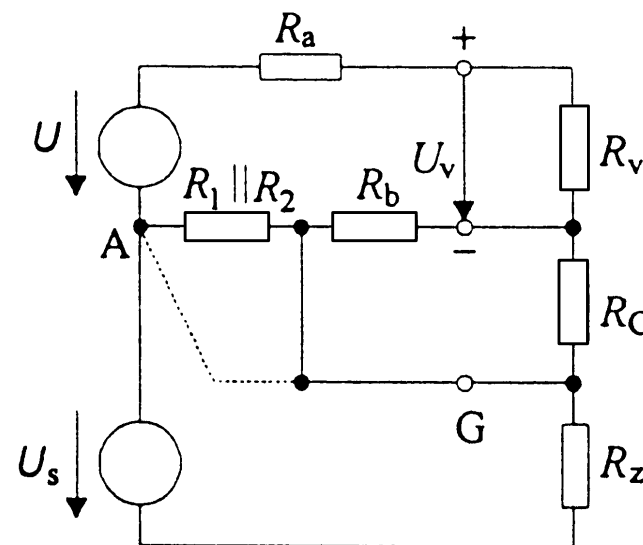
Vpliv sofazne napetosti zmanjšamo tudi z oklopom.

Voltmeter z oklopljenim vhodom.

- vhodna stopnja je oklopljena,
 - **izolirana** od oklopa ohišja,
 - ima lastno **priključno mesto G** (guard)



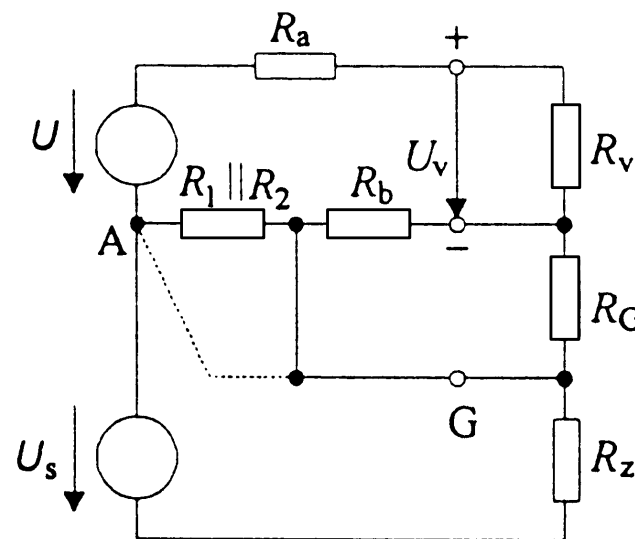
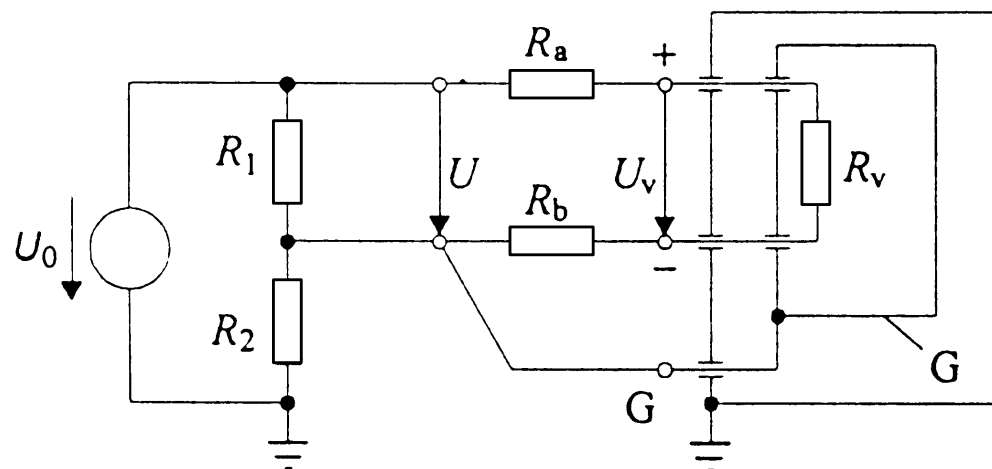
a)



b)

Slika 5.31 Voltmeter z oklopom in nadomestno vezje





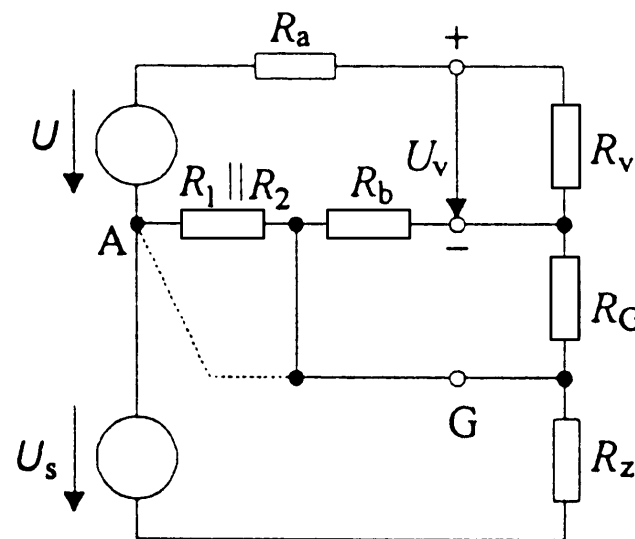
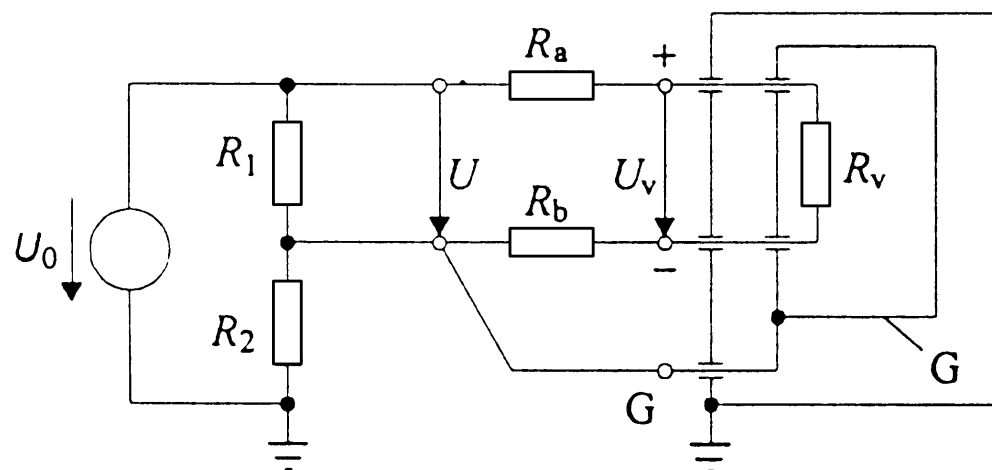
Motnja zaradi sofazne napetosti je:

$$U_m \approx U_s \frac{R_1 \parallel R_2}{R_z}$$

Če bi uspeli priključiti **oklop G v točko A**, kjer ‘prijemlje’ sofazna napetost, bi bila **izločitev sofazne napetosti popolna**.

- žal točka A pogosto ni fizično prisotna.





Potencial oklopa G tudi umetno (aktivno z ojačevalniki) vzdržujemo na potencialu točke A (potencial sofazne napetosti).

- **Če ni potencialne razlike, ni motilnih tokov!**





5.2 Elektronski osciloskop

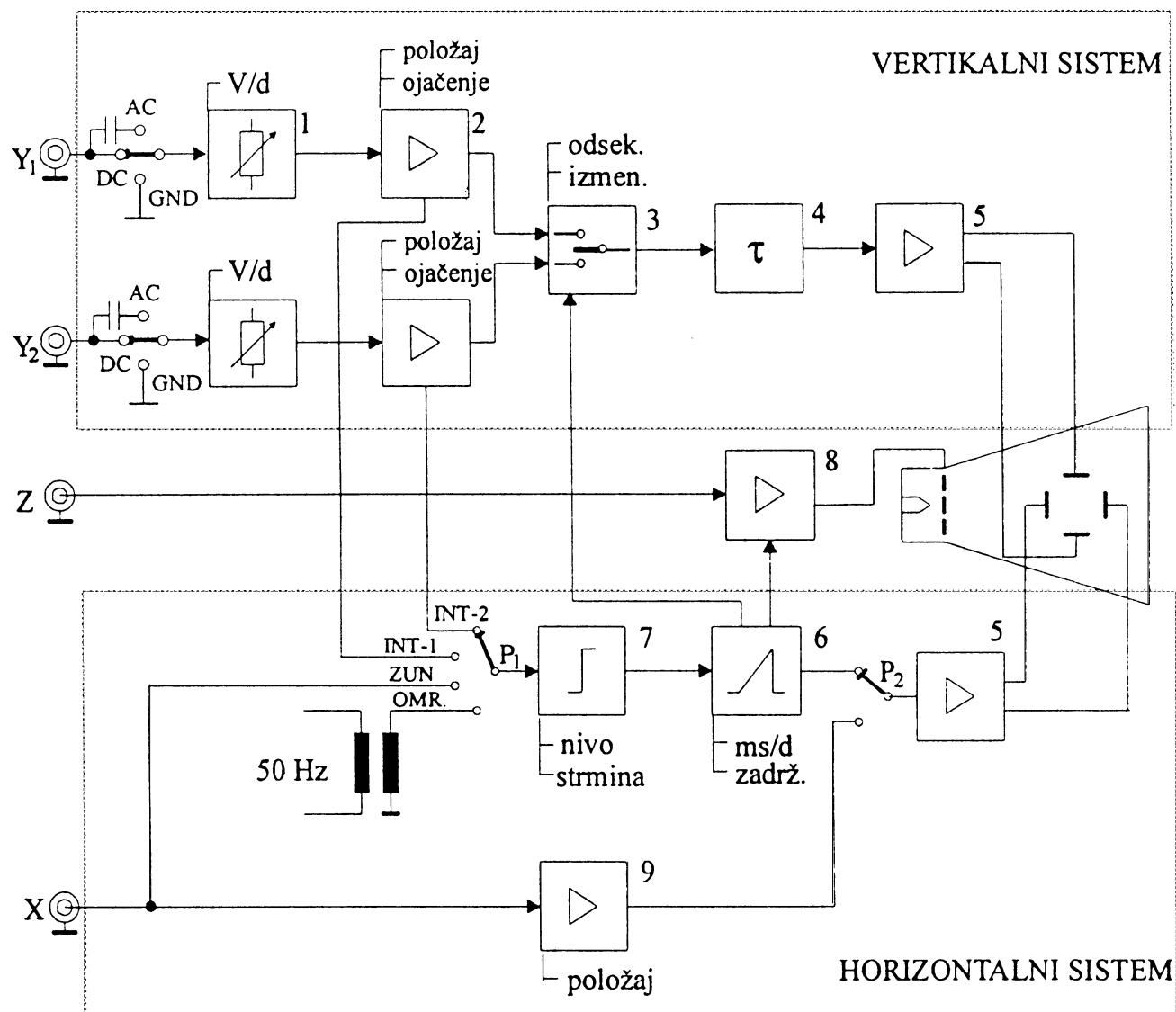
Najpogosteje uporabljen merilni instrument (lat. oscillatio – nihanje, gr. skopein - videti) - **opazujemo merilni signal.**

- omogoča **opazovanje trenutnih vrednosti** veličine v odvisnosti **od časa** : **Y-t delovanje**
- ali **ene veličine od druge**: **X-Y delovanje**
- z njim merimo: frekvenco, fazni zamik, moč, itn.





Dvokanalni osciloskop

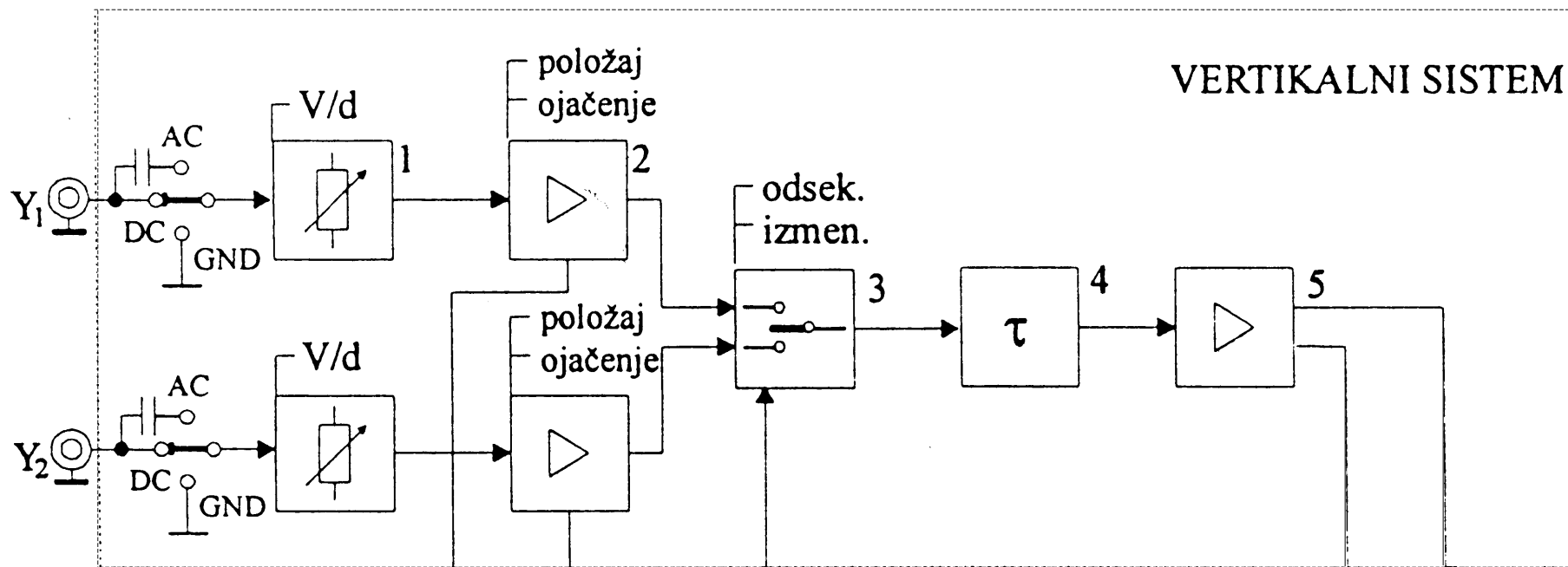


Slika 5.35 Dvokanalni elektronski osciloskop

Setavljen je iz treh enot:

- **Prikazovalnega zaslona** (rasterske Braunove elektronke),
- **vertikalnega in**
- **horizontalnega sistema.**

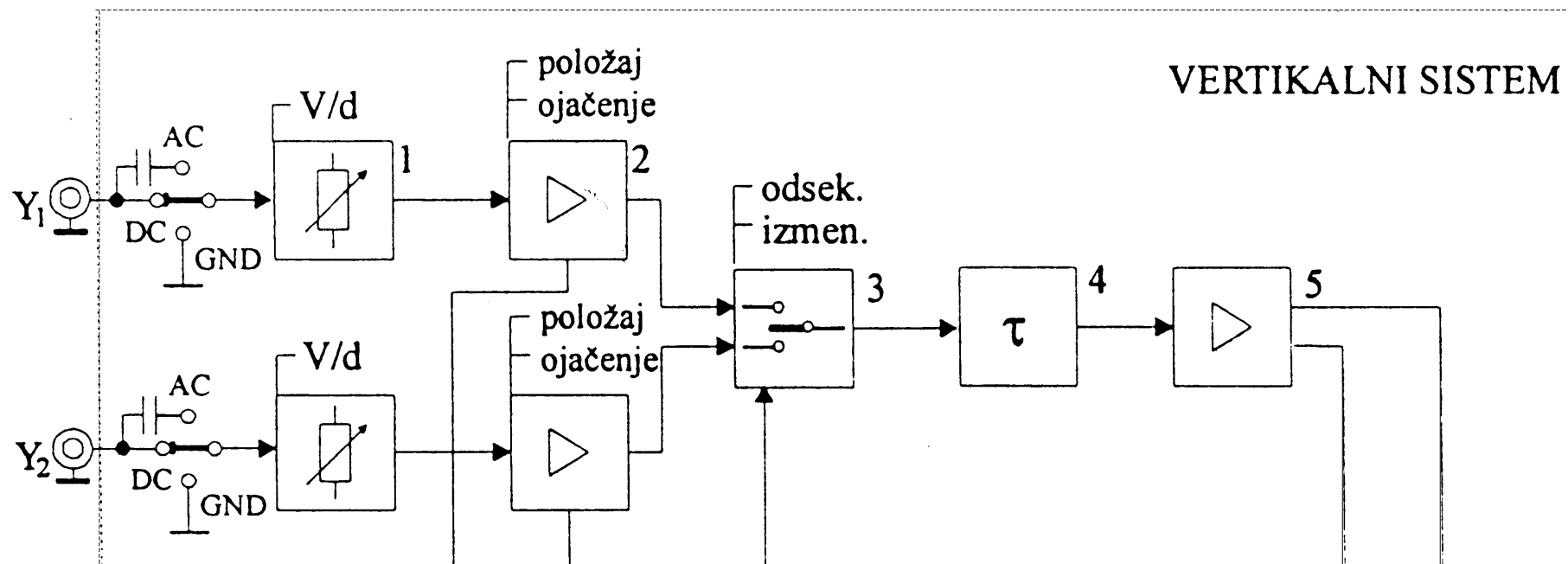




Vertikalni sistem dvokanalnega osciloskopa:

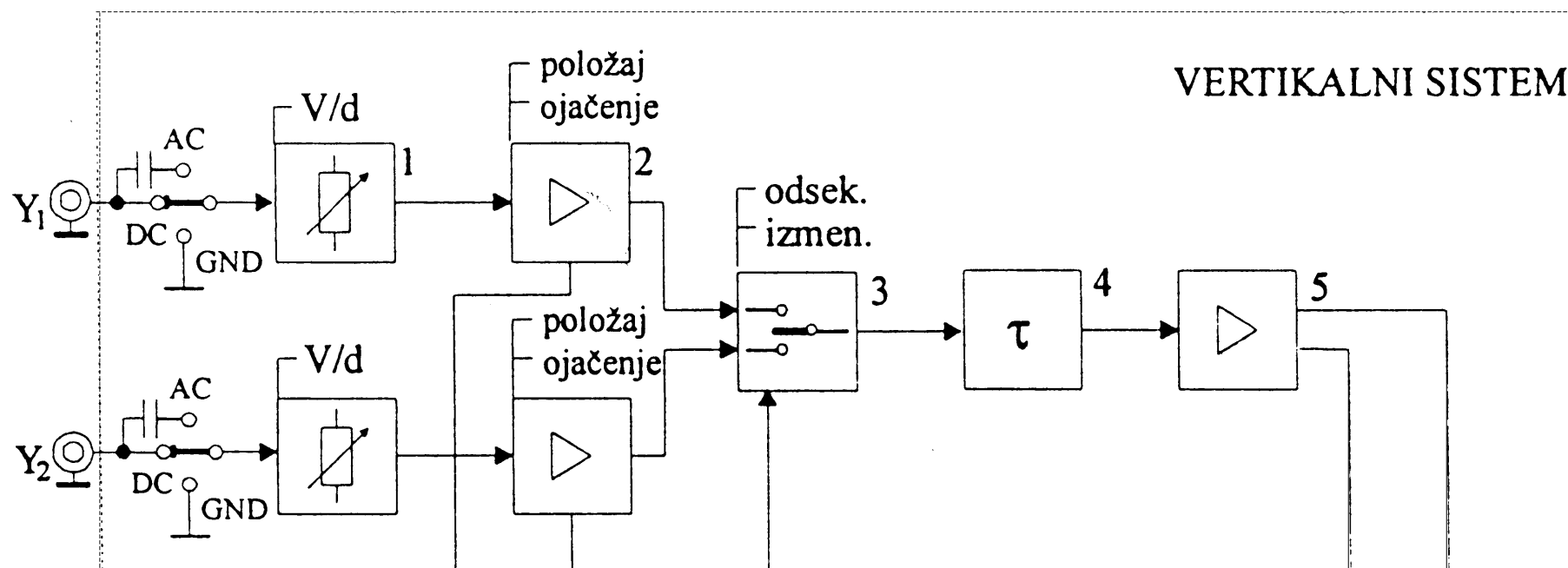
- ima dva ozemljena vhoda Y_1 in Y_2 ,
- v atenuatorju (1) se zmanjša (ojači) opazovana napetost,
 - izbiramo s koeficientom k_y v enotah V/d (volt na delec),





- s posebno tipko lahko vključimo na vhodu kondenzator in s tem blokiramo enosmerno napetost,
 - **AC/DC** – alternating current/direct current
- atenuatorju sledi **ojačevalnik (2)**
 - nastavljam ojačenje in enosmerni premik slike – **ničelni položaj**,



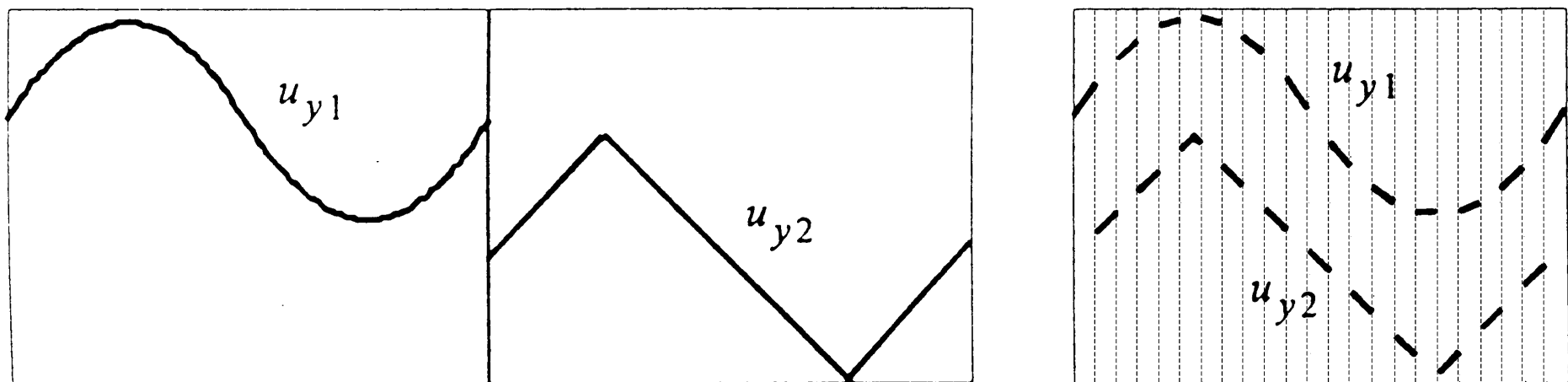


- da lahko opazujemo dve napetosti 'hkrati' ima osc. **elektronski preklopnik** (3),
- **zakasnitev** (4) glede na časovno bazo nam omogoča **opazovanje sprednjega roba** napetosti impulzne oblike,
- s **končnim ojačanjem** (5) priredimo napetost za y-odklonski sistem prikazovalnika - zaslona.



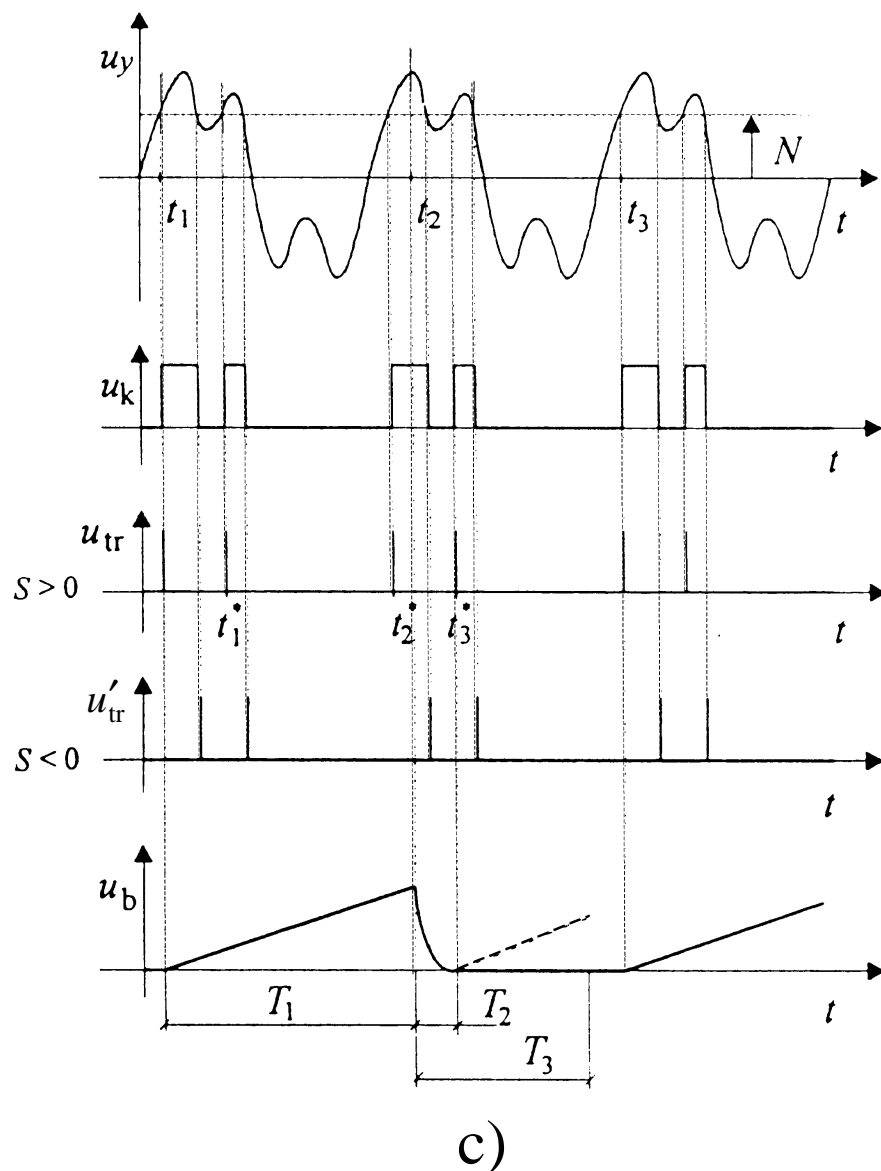
Signala lahko opazujemo na dva načina:

- **izmenično delovanje,**
 - najprej se izriše en u_{y1} signal v celoti nato pa drugi u_{y2} ,
 - primeren za signale **visoke frekvence**;
- **odsekovno delovanje,**
 - elektronski **preklopnik hitro preklaplja** z enega signala na drugi – **razseka signal** (ca. 100 kHz),
 - primeren za signale **nizke frekvence** – slika signala deluje zvezno.



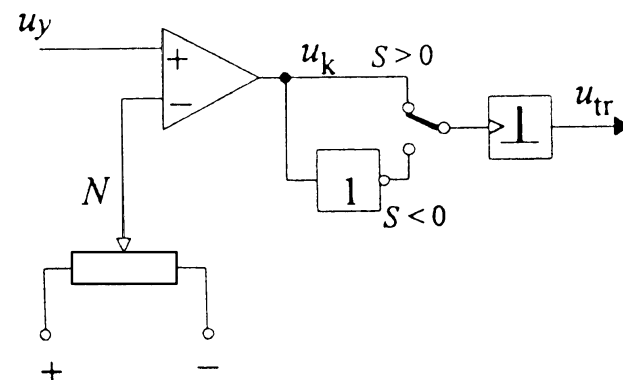
Slika 5.36 Izmenično in odsekovno delovanje





c)

Slika 5.37 Proženje časovne baze

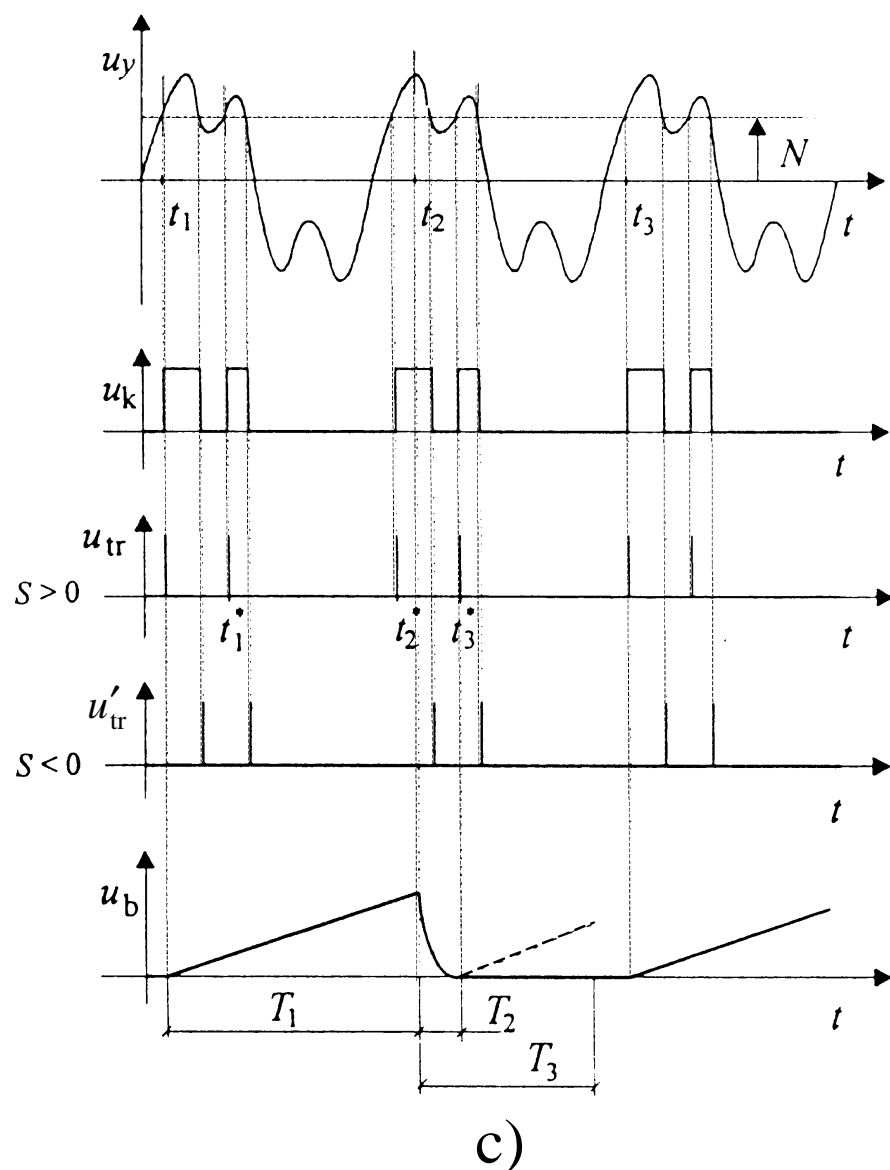


a)

Primer proženja časovne baze:

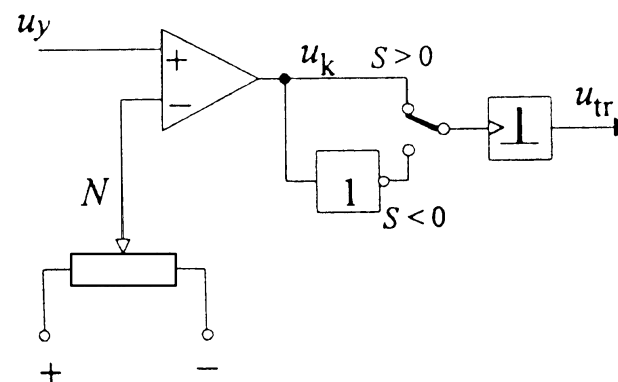
- **vir proženja** je napetost u_y (npr. napetost kanala Y_1),
- **prožilnik** vsebuje **komparator**,
 - stanje $0 \rightarrow 1$, ko u_y **preseže** nastavljeni napetostni nivo N .
 - stanje $1 \rightarrow 0$, ko se u_y **spusti pod** napetostni nivo N .





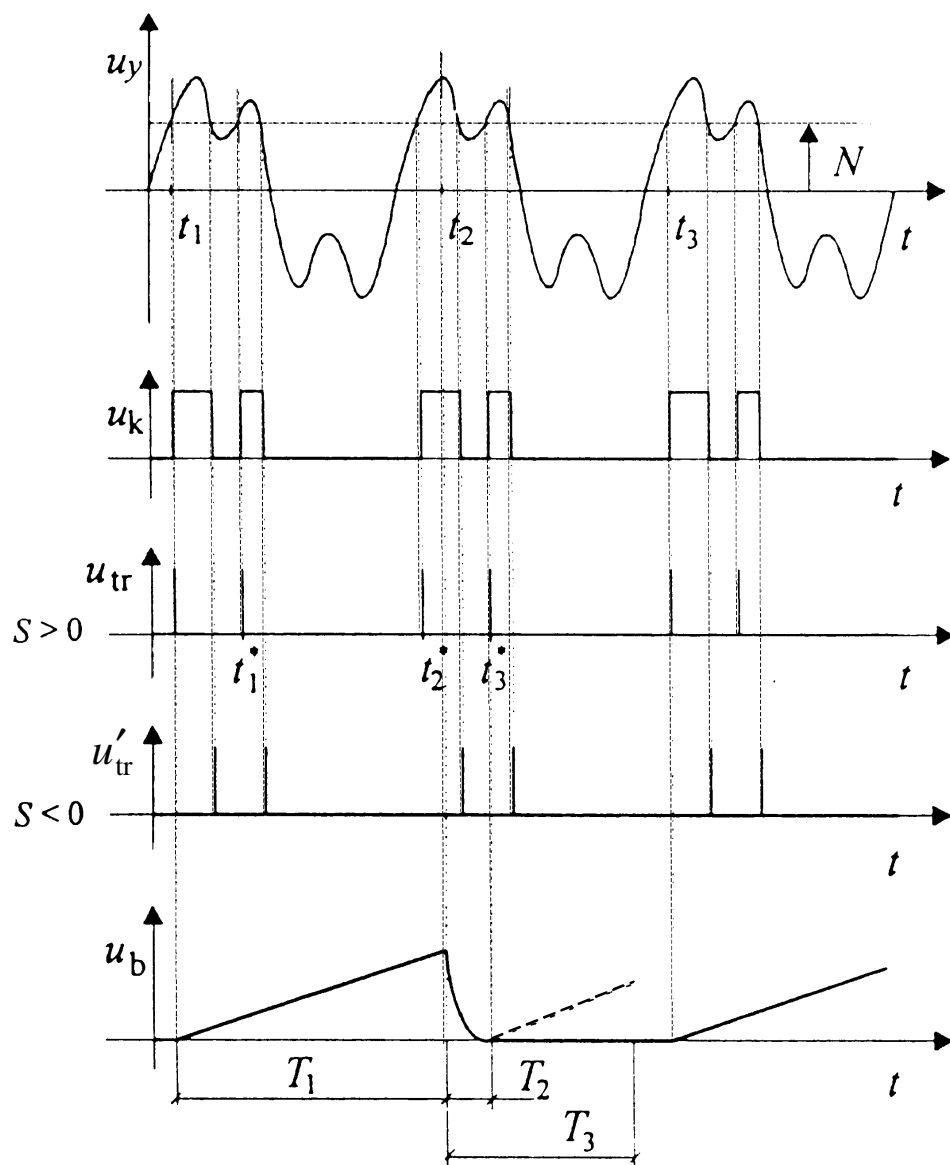
c)

Slika 5.37 Proženje časovne baze



a)

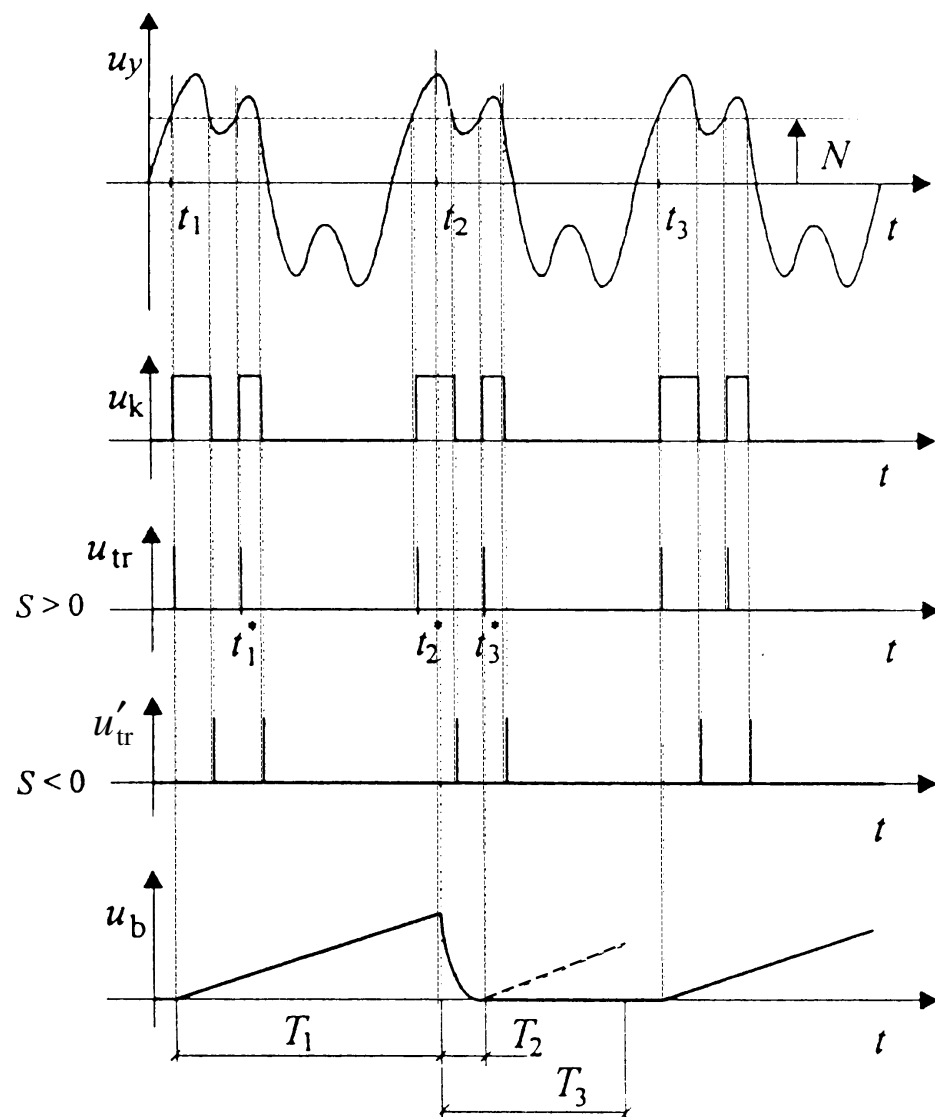
- pri **pozitivni strmini** proženja uporabljamo izhod $S > 0$ in pri **negativni invertiran** izhod $S < 0$.
- monostabilni multivibrator se proži na pozitivno (u_{tr}) oz. negativno (u'_{tr}) strmino napetosti u_k .



Slika 5.37 Proženje časovne baze

- slika na zaslonu EO npr. ustreza intervalu $T_1 = t_2 - t_1$
 - t_1 ustreza levemu robu zaslona,
 - t_2 ustreza desnemu robu zaslona,
 - T določimo s časovno konstanto k_t (ms/d),
- prelet žarka se ponavlja pod enakimi pogoji proženja, da dobimo mirujočo sliko,

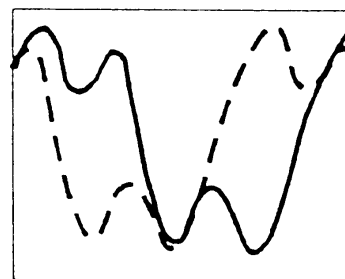




Slika 5.37 Proženje časovne baze

Med preletom je **proženje blokirano**.

- v času $t_1 \div t_3$ so trije trenutki: t_1^*, t_2^*, t_3^*
- t_1^*, t_2^* sta slepa, ker sta še v času preleta žarka in vrnitve na izhodišče,
- t_3^* sproži premaknjen prikaz b)



b) dvojnemu prikazu

se lahko izognemo z zadržanjem časovne baze za čas T_3 (**hold off**)

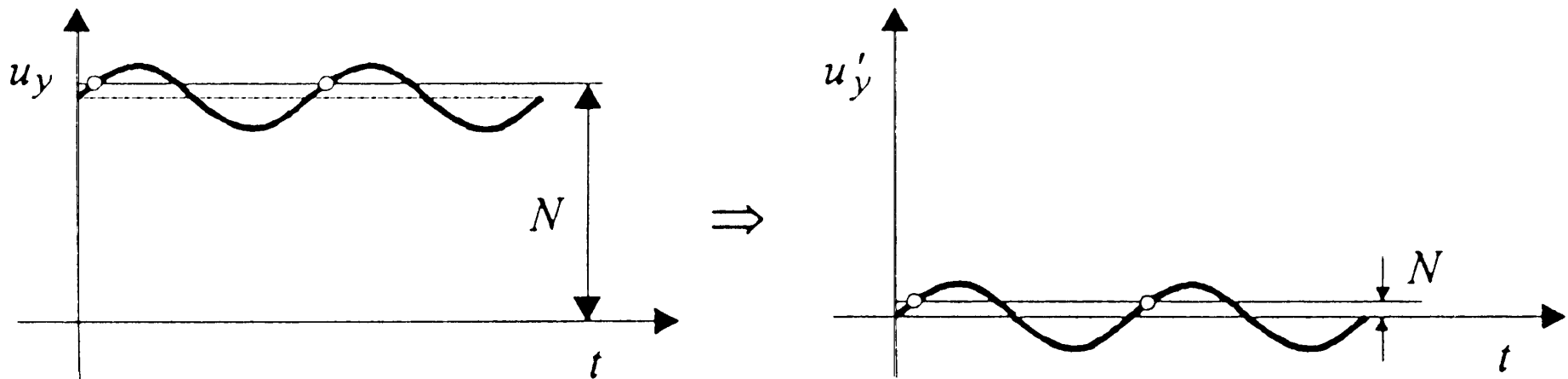


Širina zaslona je običajno 10 delcev $x_m = 10d$,

- če je $k_t = 0,1 \text{ ms/d}$, traja prelet $T_1 = k_t x_m = 1 \text{ ms}$

Če je **izmenična napetost majhna** v primerjavi z enosmerno, nastopi problem **stabilnosti proženja**.

- s tipko **AC/DC** (coupling) izločimo enosmerni signal,
- in **prožimo** na ojačani **izmenični komponenti** napetosti u'_y .

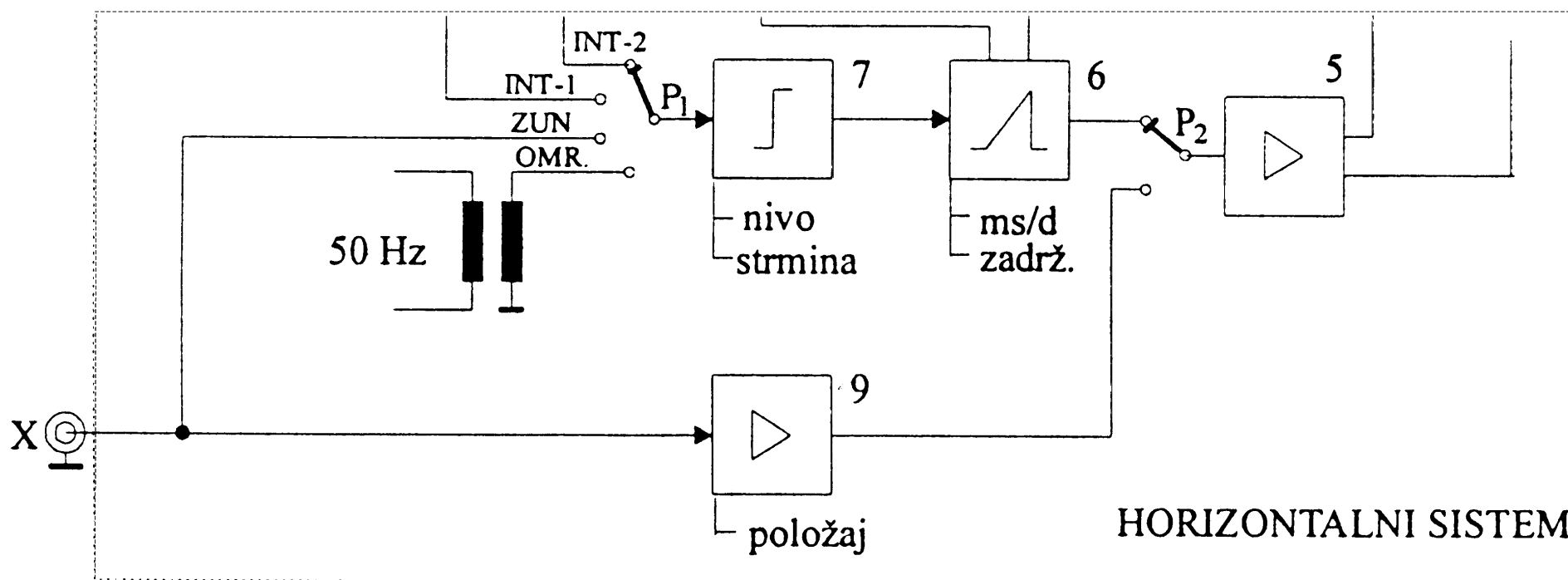


Slika 5.38 Izločitev enosmerne komponente za mirujočo sliko



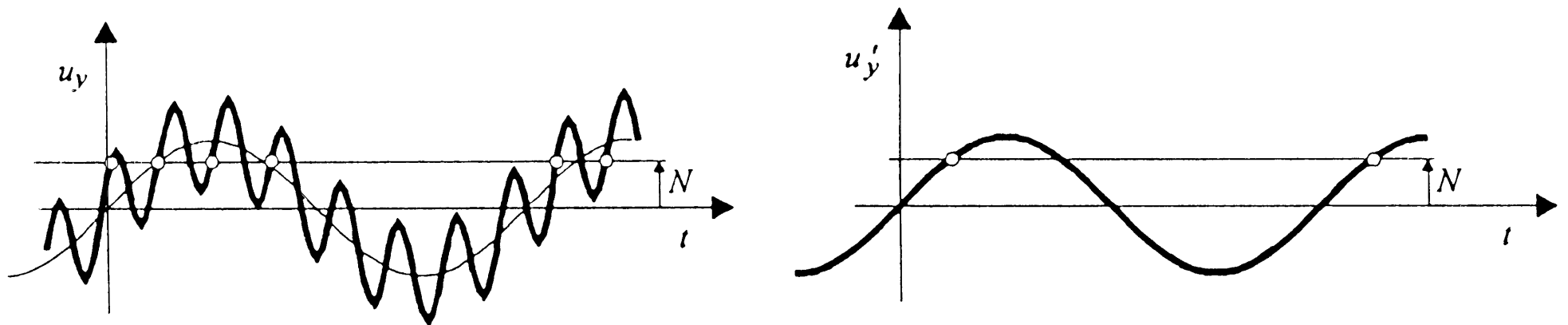


Če je izmenična napetost omrežne frekvence, uporabljamo za vir proženja napetost **omrežja (Line)**.





Visokofrekvenčno motnjo v signalu izločimo z **nizkoprepustnim filtrom** $f_{m, \text{filt}} < 0,01B_{EO}$ (**HF rejection**).

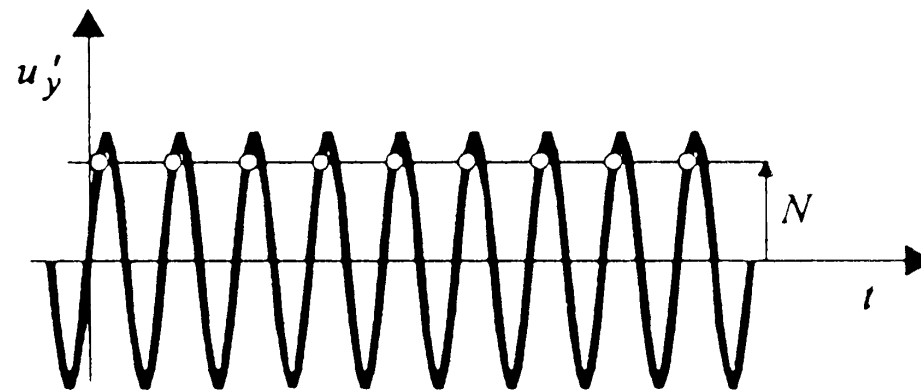
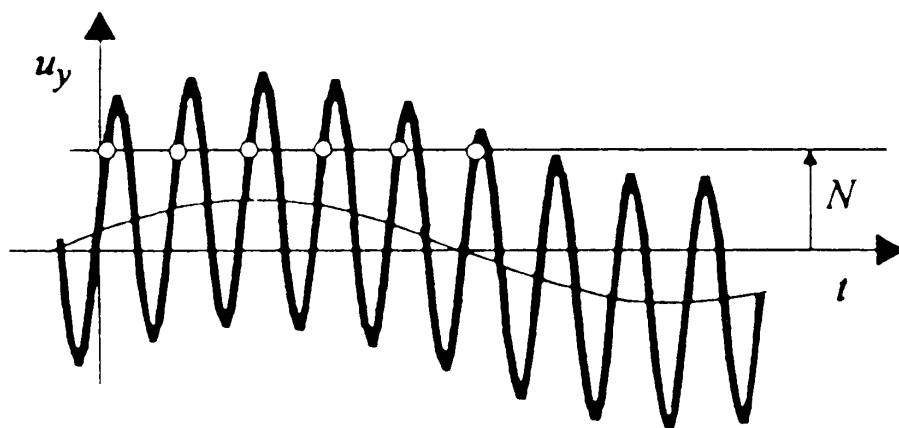


Slika 5.39 Izločitev visokofrekvenčne motnje za stabilno proženje





Nizkofrekvenčno motnjo v signalu izločimo z visokoprepustnim filtrom $f_{sp, filt} > 0,01B_{EO}$ (LF rejection).

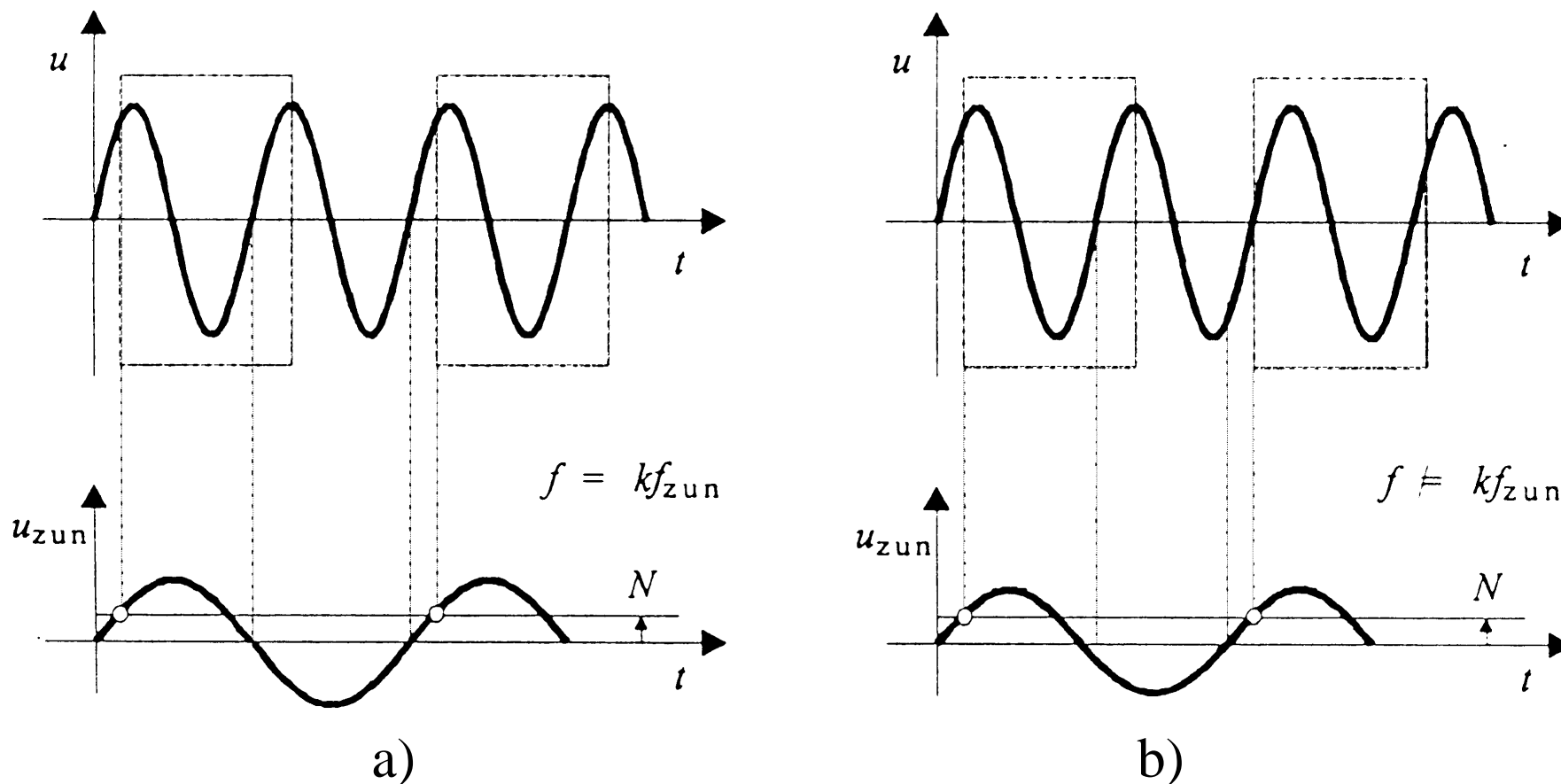


Slika 5.40 Izločitev nizkofrekvenčne motnje (npr. 50 Hz) za mirujočo sliko

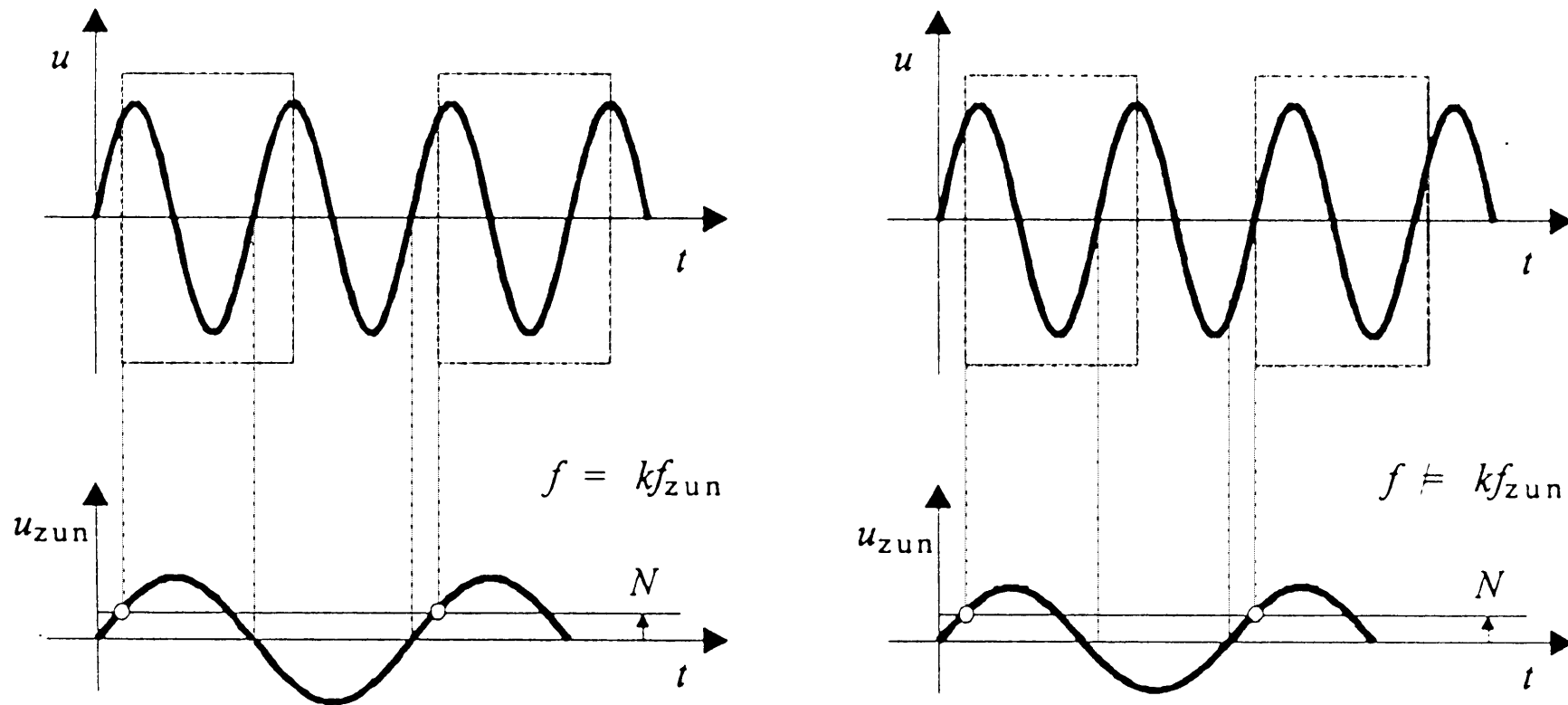


Vir proženja je lahko tudi zunanji signal u_{zun} (Ext),

- mora biti v **sinhronizmu** z merjenim signalom,
- mnogokratnik frekvence.



Slika 5.41 Zunanji signal kot vir proženja



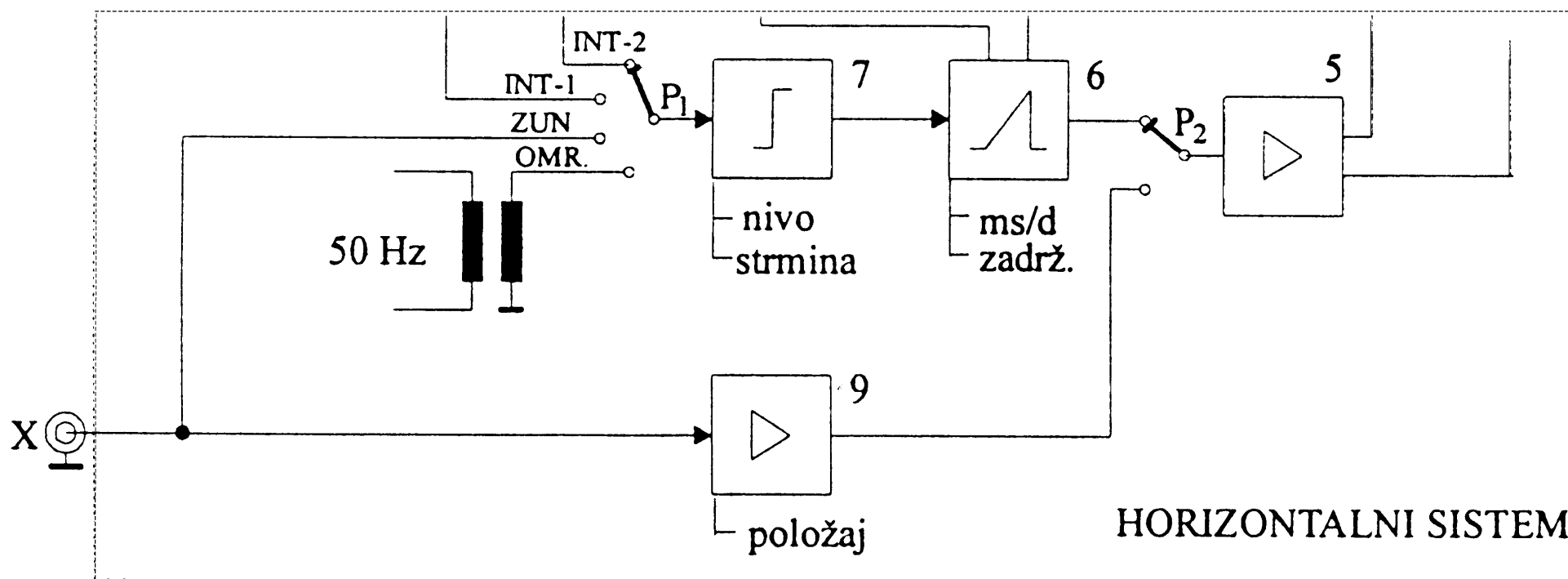
- če zunanji signal **ni v sinhronizmu** (b) slika 'potuje' po zaslonu,
 - večje kot je odstopanje od mnogokratnika kf_{zun} , hitreje potuje.





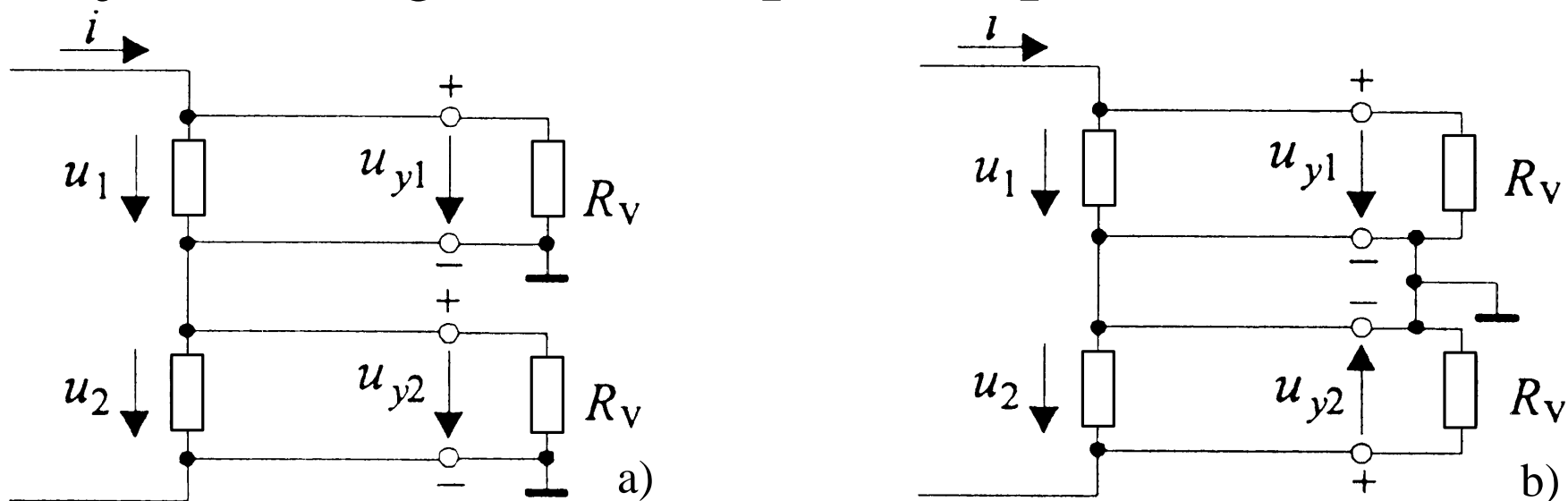
X-Y delovanje

Če preklopimo stikalo P_2 lahko opazujemo, kako se napetost u_y spreminja v odvisnosti od u_x .





Ker so vhodi EO ozemljeni in niso galvansko ločeni, opazujemo več signalov samo **proti skupni točki!**



Slika 5.42 Obrnjena polariteta u_2

EO ne moremo priključiti **po vezavi a)**.

Pri vezavi b) je **polariteta u_2 obrnjena** (uporabimo lahko **inverter**):

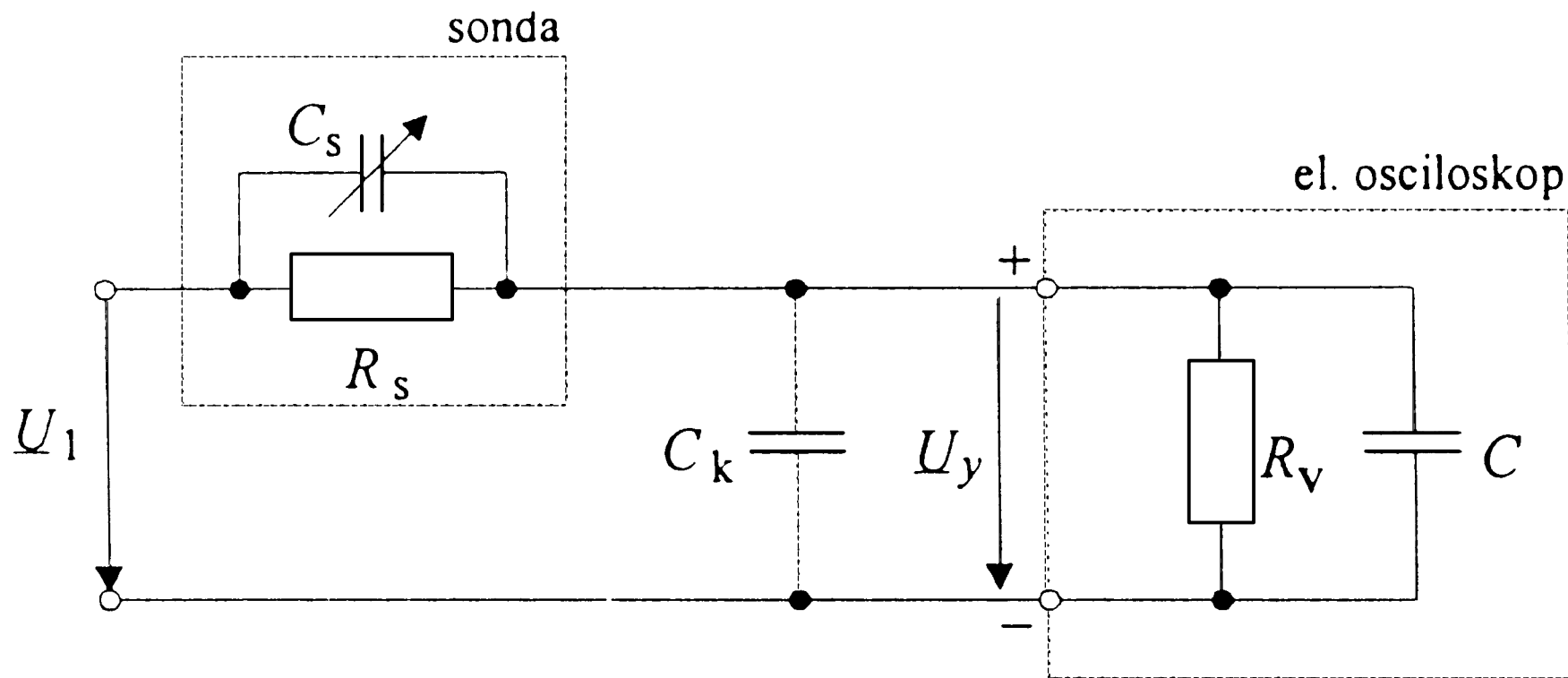
$$u_1 - u_{y1} = 0 \quad \Rightarrow \quad u_{y1} = u_1$$

$$u_2 - u_{y2} = 0 \quad \Rightarrow \quad u_{y2} = -u_2$$

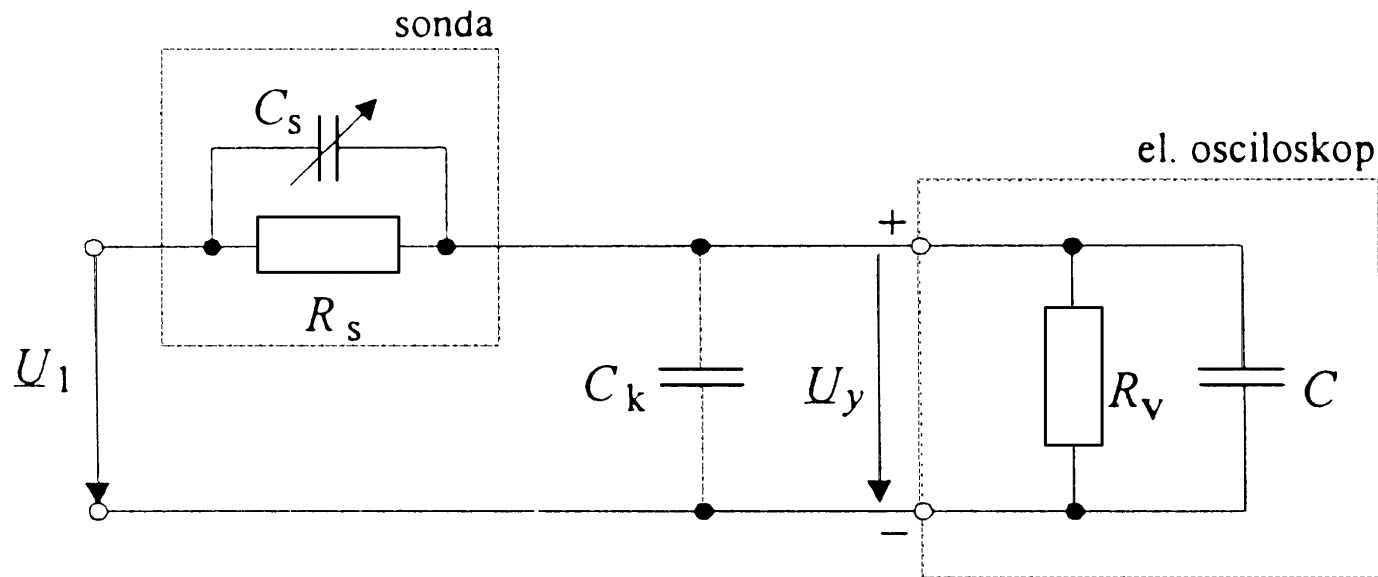


Vhod EO

Sestavljajo ga elementi **sonde**, **koaksialen kabel** in sam vhod EO (**BNC vhod**).



Slika 5.43 Nadomestno vezje osciloskopa z napetostno sondo



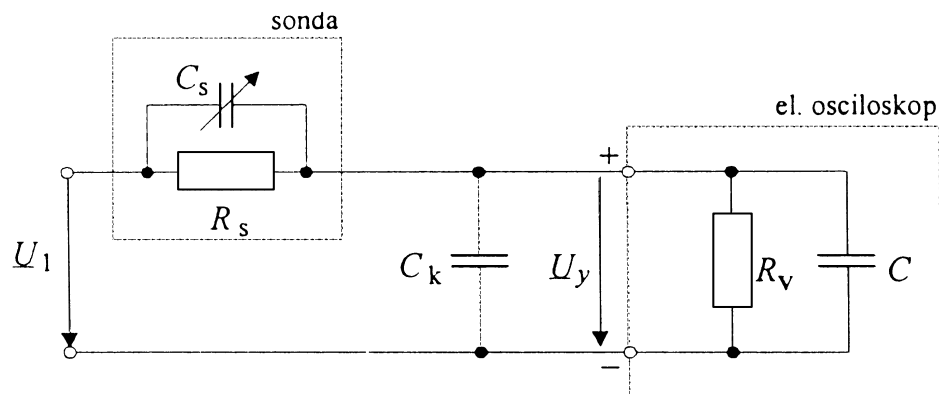
Vhodno impedanco sestavljata:

- **vzporedna upornost:** $R_v \approx 1\text{M}\Omega$,
- **kapacitivnost:** $C(30\text{pF} \div 50\text{pF})$.

Koaksialni kabel ima svojo impedanco, katere bistveni del je **kapacitivnost** C_k podana na dolžino (ca. 50pF/m).

- je frekvenčno odvisna. $C_v = C + C_k$





Frekvenčno odvisnost kompenziramo s **frekvenčno kompenzirano napetostno sondo**.

- ne pači signal, manj obremenjuje vir, signal pa slabi.

Napetostni delilnik:

$$\frac{U_y}{U_1} = \frac{Z_V}{Z_V + Z_s} = \frac{1}{1 + Z_s/Z_V} = \frac{1}{1 + Y_V/Y_s} = \frac{Y_s}{Y_s + Y_V} \quad \text{z elementi:}$$

$$\frac{U_y}{U_1} = \frac{(1/R_s + j\omega C_s)}{(1/R_s + j\omega C_s) + (1/R_v + j\omega C_v)} = \frac{(1 + j\omega R_s C_s)/R_s}{(1 + j\omega R_s C_s)/R_s + (1 + j\omega R_v C_v)/R_v}$$

- s C_s nastavimo $R_s C_s = R_v C_v$ in **kompenziramo** sondo:

$$\frac{U_y}{U_1} = \frac{R_v}{R_v + R_s} = \frac{C_s}{C_s + C_v} \quad \text{- napetostno razmerje neodvisno od } f$$



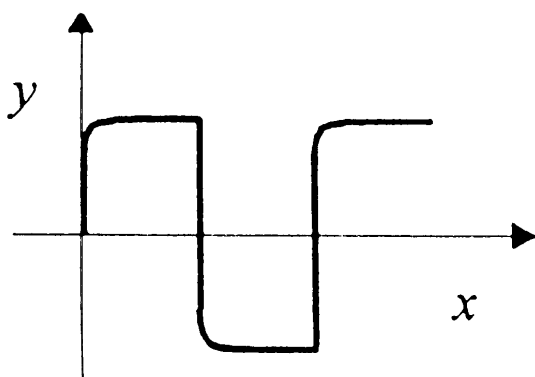


- sondo kompenziramo s pomočjo **pravokotnega signala** (prikluček na osciloskopu):

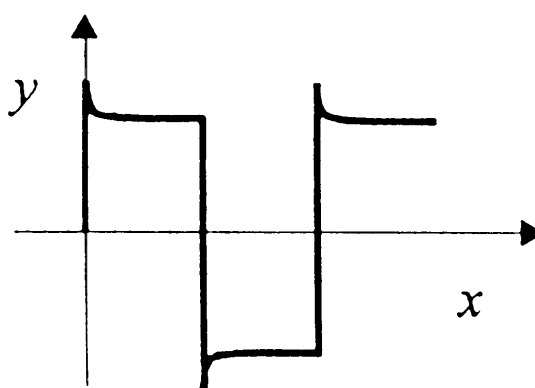
- **podkompenzirana (a):** $R_s C_s < R_v C_v$

- **nadkompenzirana (b):** $R_s C_s > R_v C_v$,

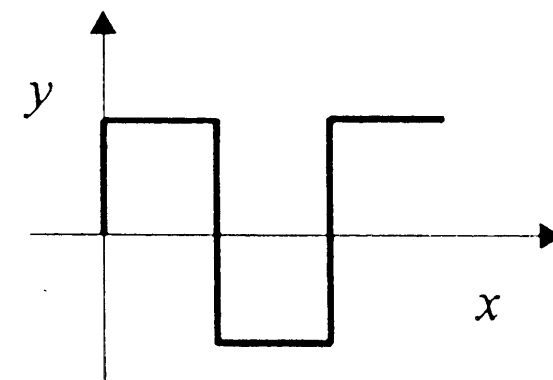
- **pravilno kompenzirana (c):** $R_s C_s = R_v C_v$,



a)



b)



c)

Slika 5.44 Slika na zaslonu EO za različne stopnje kompenzacije sonde





Impedanca osciloskopa je še vedno **odvisna** od **frekvence**:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_s + \underline{Z}_v = \frac{1}{\underline{Y}_s} + \frac{1}{\underline{Y}_v} = \frac{1}{1/R_s + j\omega C_s} + \frac{1}{1/R_v + j\omega C_v} = \frac{R_s + R_v}{1 + j\omega R_v C_v}$$

- če je sonda 1:10, je \underline{Z} desetkrat večja kot \underline{Z}_v brez sonde.

$$\underline{Z} = \frac{R_s + R_v}{R_v} \frac{R_v}{1 + j\omega R_v C_v} = \frac{R_s + R_v}{R_v} \frac{1}{1/R_v + j\omega C_v} = 10 \underline{Z}_v$$





Spominski osciloskop

Ohranja sliko na zaslonu, kadar:

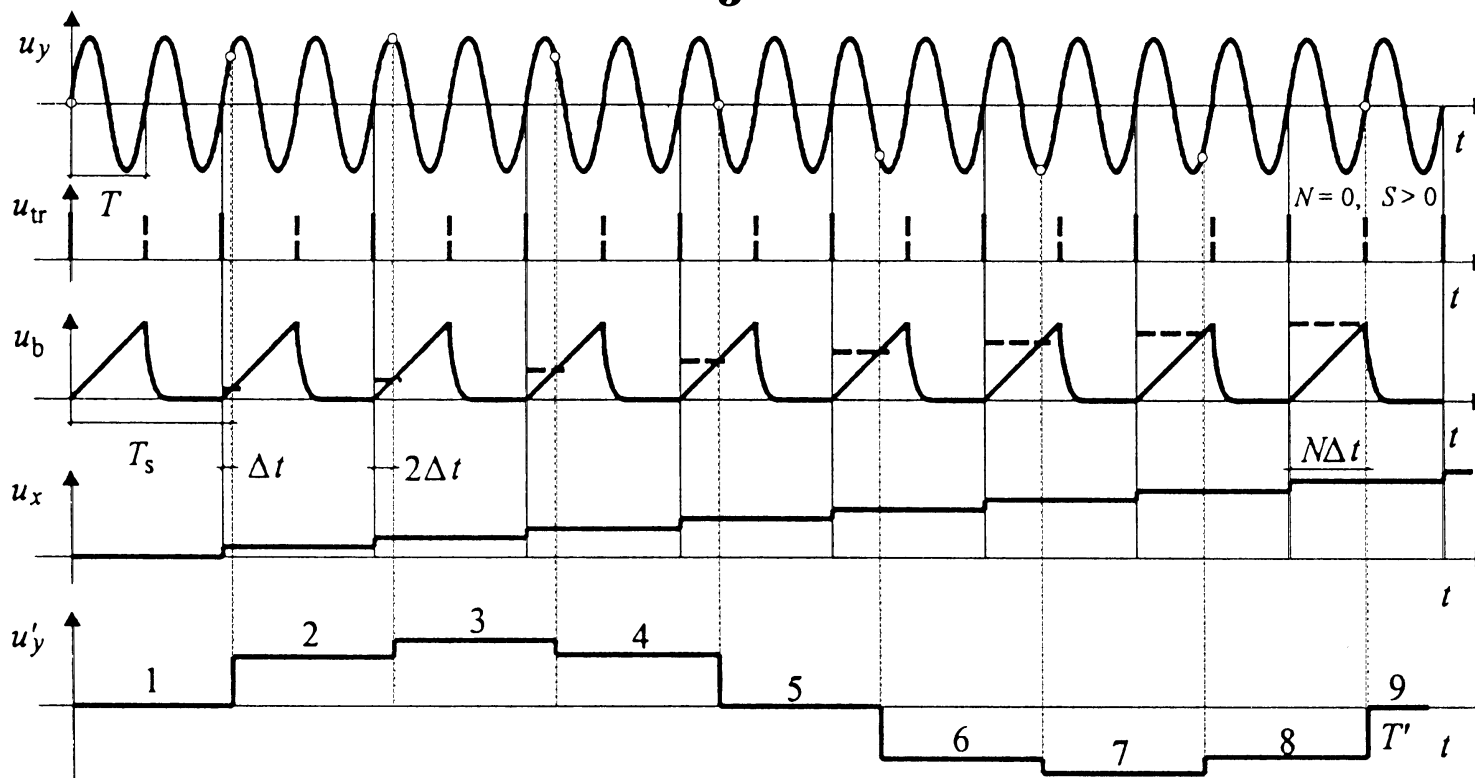
- se signal **spreminja zelo počasi**,
 - vidimo le potujočo **svetlobno točko**,
- opazujemo **enkratni** pojav.





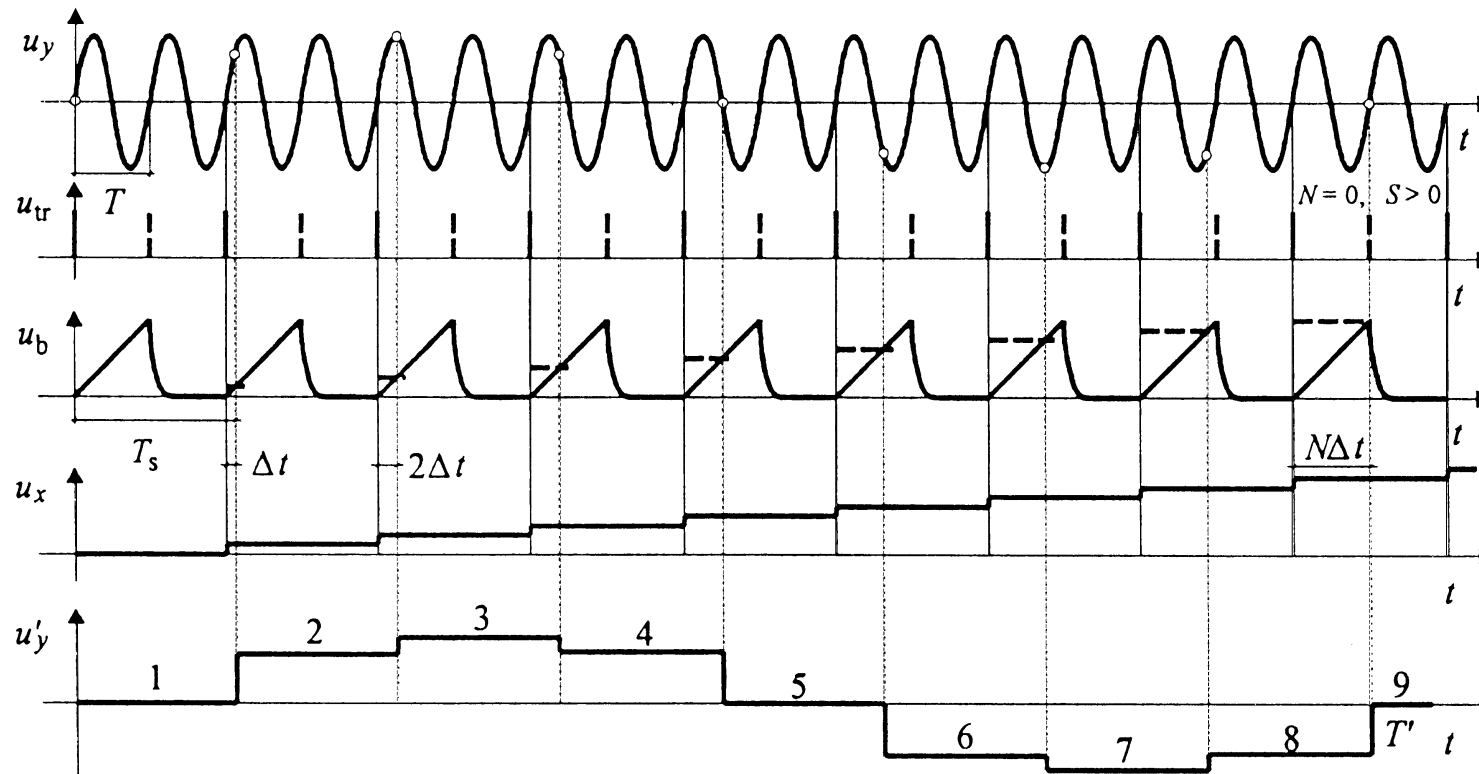
Vzorčevalni osciloskop

Pri redki osciloskopih preseže mejna frekvenca vrednost 1GHz. Za višje frekvence se uporablja **tehnika jemanja vzorcev z zamikom – sekvenčno vzorčenje**:



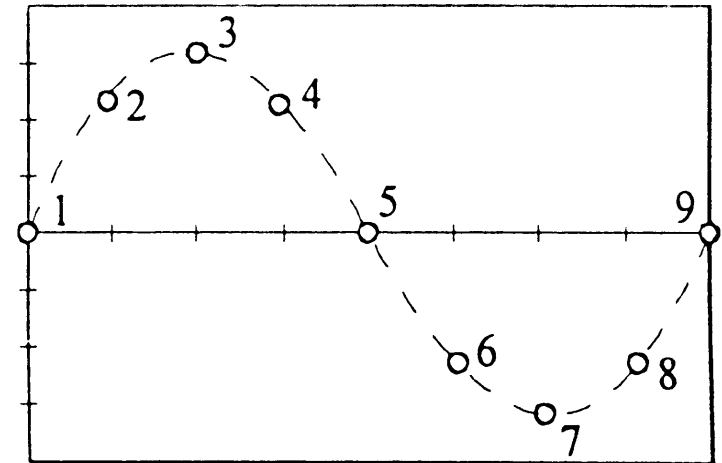
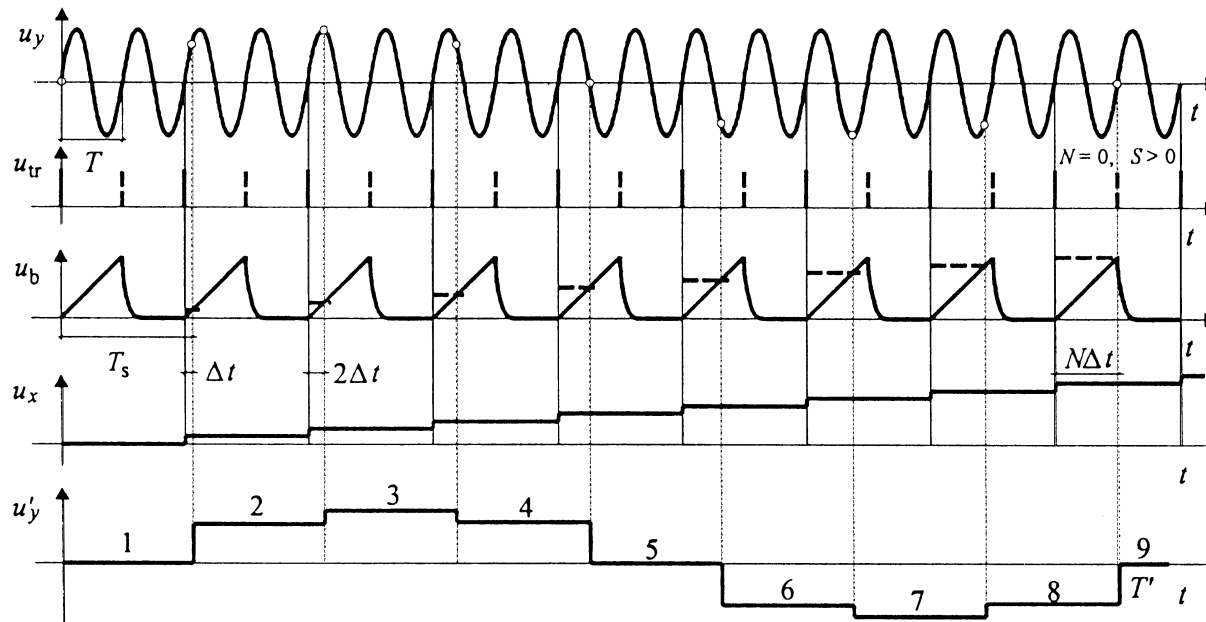
Slika 5.46 Princip sekvenčnega vzorčenja





- **prožilni impulzi u_{tr}** (ob prožilnem dogodku: $N = 0, S > 0$)
 - **prožijo časovno bazo u_b** in
 - **hkrati enakomerno povečujejo napetost u_x**





- **jemanje vzorcev se enakomerno zakasni u'_y po naslednjih M periodah za Δt ,**
 - **vzorec se po vsaki M -ti periodi dovede na odklonski sistem (na sliki: $M = 2$)**
- na zaslonu imamo prikaz u'_y od u_x ,
- perioda jemanja vzorcev: $T_s = MT + \Delta t$





Krajši kot je čas Δt , bolj fino imamo podan signal $N = T/\Delta t \gg 1$ in **daljši** je čas rekonstrukcije.

$$T' = NT_s = N(MT + \Delta t)$$

- **frekvenca** rekonstruiranega signala je: $f' = f \frac{1}{MN + 1}$

- **kompresijski faktor:**

$$\frac{1}{MN}$$

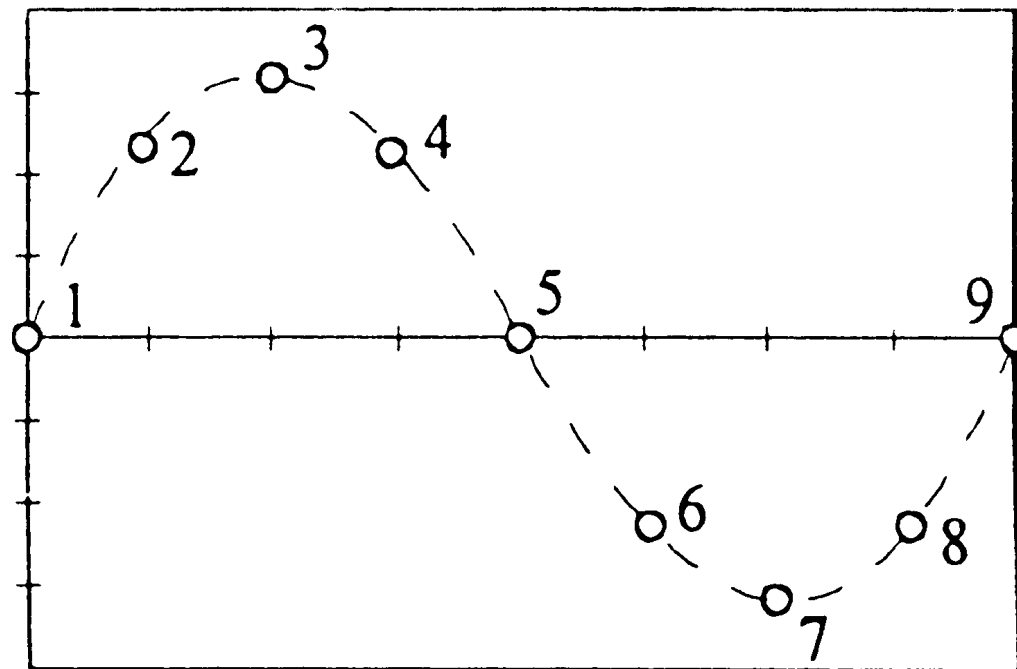
- kolikokrat je frekvenca rekonstruiranega signala f' manjša od dejanske.





S postopnim (sekvenčnim) vzorčenjem smo frekvenčno transformirali signal.

- vzorčenje v ekvivalentnem času,
 - samo kadar je periodični signal,
 - izmerki prikazane periode **ustrezajo različnim periodam:**



Slika 5.47 Slika na zaslonu vzorčevalnega





Digitalni spominski osciloskop (DSO)

V **prvi** fazi **pridobi podatke** o signalu in **jih shrani**.

- ta faza poteka zelo hitro.

V **drugi** fazi jih **uporabi za rekonstrukcijo slike** na zaslonu.

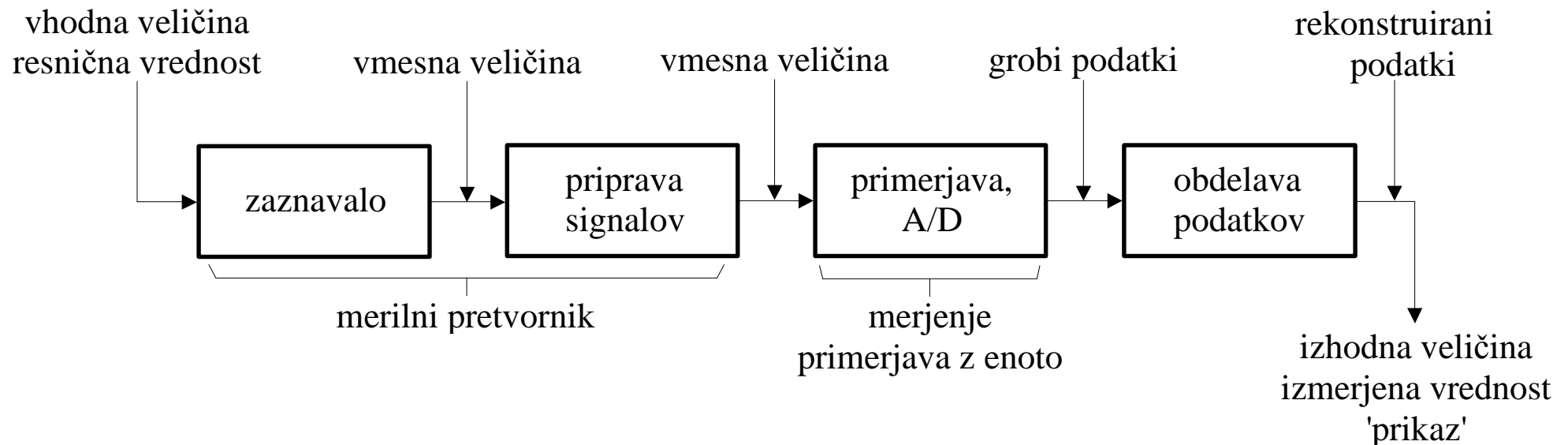
- poteka precej počasneje.





Vgrajen ima **mikroprocesor** s katerim **obdeluje podatke**:

- za **prikaz** (tudi statistična obdelava),
- za **vrednotenje** parametrov:
 - v **amplitudni osi**:
 - temenska vrednost, efektivna vred. itn.,
 - v **časovni osi**:
 - perioda, frekvenca, dvižni čas itn.
- za **prenos** (ustrezne oblike formatov).



Slika 5.48a Zgradba merilnega sistema





Za prikaz se uporablja **rasterski zaslon**.

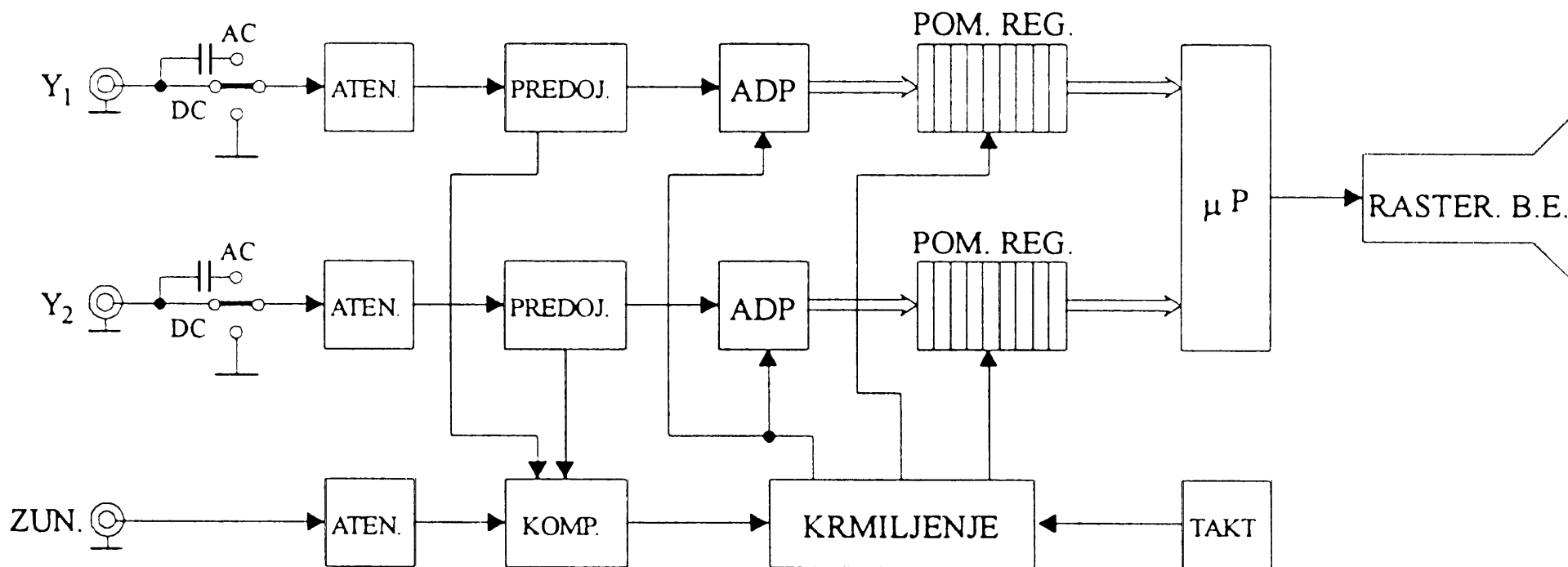
- Primer rasterske Braunove elektronke:
 - uporabljajo nizkofrekvenčno magnetno odklanjanje,
 - počasnejša toda bolj točna od visokofrekvenčne elektrostatične vektorske Braunove elektronke.





Za DSO je značilno **izpopolnjeno prožilno vezje**,

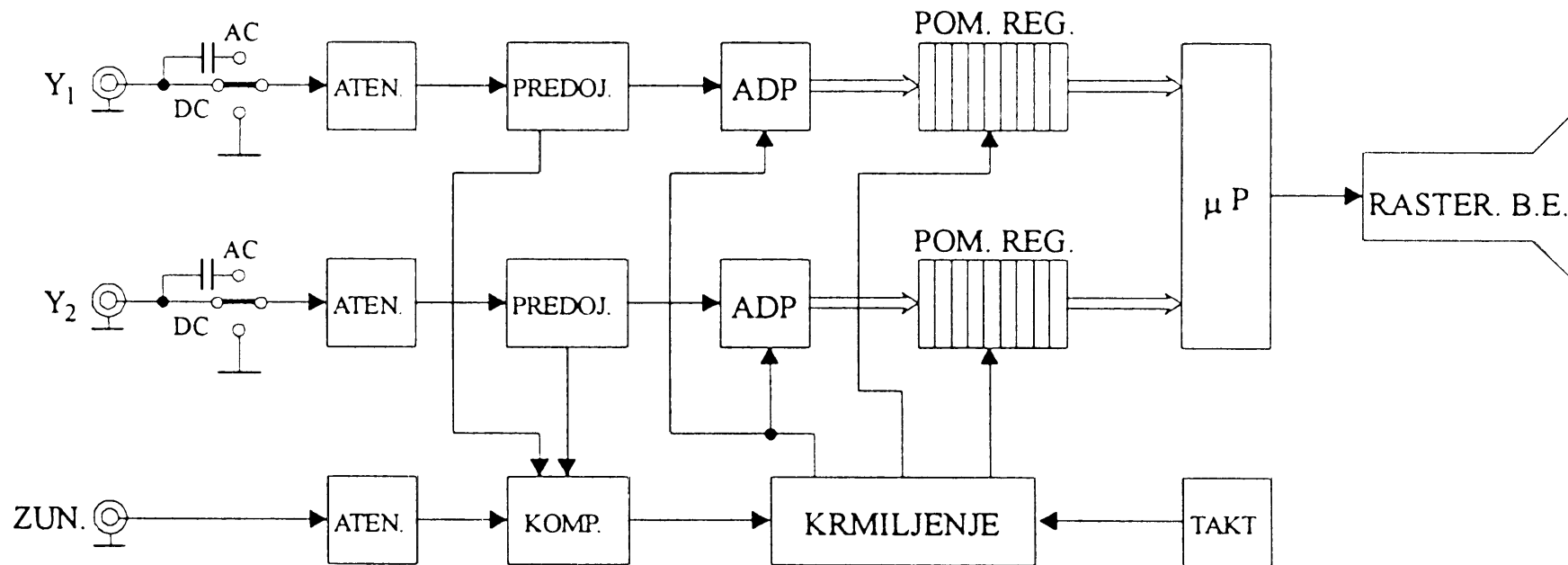
- možno proženje **z impulzno kodiranim signalom** –
logično proženje s stanjem 0101...



Slika 5.48 Dvokanalni digitalni spominski osciloskop

- vhodna **kanala sta ločena do ADP**,
 - **sočasno vzorčena**,





- z **atenuatorjem** in **predojačevalnikom** prilagodimo napetostni nivo za ADP,
- uporabljajo se trenutni **paralelni ADP**,
- **pomnilnik** mora biti **sposoben sprejemati podatke** s **frekvenco vzorčenja f_s** ,
 - $f_s = 10 \text{ MHz} \rightarrow t(\text{zapis}) = 100 \text{ ns}$





Ločimo **dva načina pridobivanja podatkov** in shranjevanja:

- vzorčenje v **realnem času**,
 - jemanje vzorcev in shranjevanje **teče hkrati** z dogodkom,
- vzorčenje v **ekvivalentnem času**,
 - jemanje vzorcev in shranjevanje **teče v podaljšanem času**.





Vzorčenje v realnem času omogoča opazovanje **enkratnih pojavov** ali periodičnih signalov z enkratnim posnetkom (**enkratno proženje** - single shot).

- upoštevati moramo **vzorčni teorem**,
 - največja frekvenca signala mora biti manjša od polovice vzorčne frekvence $f_s/2$,
- **pasovna širina** vertikalnega kanala (atenuator, predojačevalnik) je ponavadi **večja od vzorčne frekvence**.



Pri vzorčenju v ekvivalentnem času se uporablja večkratno proženje,



- podatke zbiramo postopoma,
 - **postopkovno (sekvenčno) vzorčenje,**
- **ponavljajoče dele** periodičnega signala **opazujemo večkrat,**
- **relativni položaji** vzorcev se **razlikujejo** med seboj,
 - poznati je potrebno relativni **položaj na časovni osi** proti **prožilnemu dogodku,**
 - v spomin **jih shranjujemo** ne zaporedoma temveč **ustrezno časovnemu zamiku.**
- jemanje vzorcev je lahko tudi **naključno** proti **prožilnemu dogodku** (random sampling),
- frekvenčno mejo določa **pasovna širina** analognega dela vertikalnega kanala do ADP.



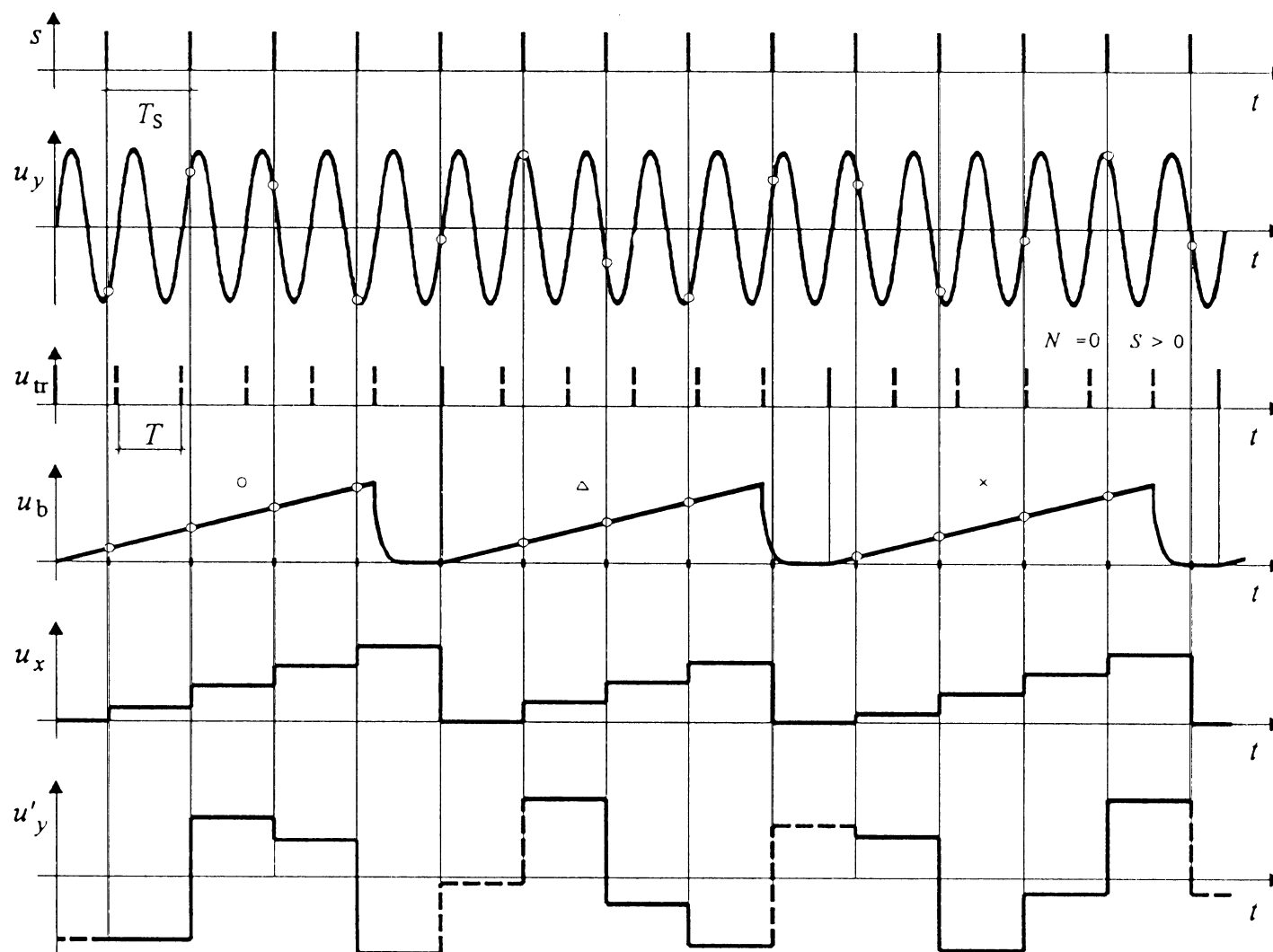


Naključno vzorčenje v ekvivalentnem času

Vzorčevalni signal s (jemanje vzorcev) **ni sinhroniziran** z merjenim signalom,

- končna slika nastane **po etapah**,
 - v vsaki etapi se vzame nekaj vzorcev (ni nujno konstantno),
 - **prvi** vzorec v etapi je **različno zamaknjen** proti začetku etape,
 - ostali vzorci v etapi so enakomerno razmaknjeni (u_b).

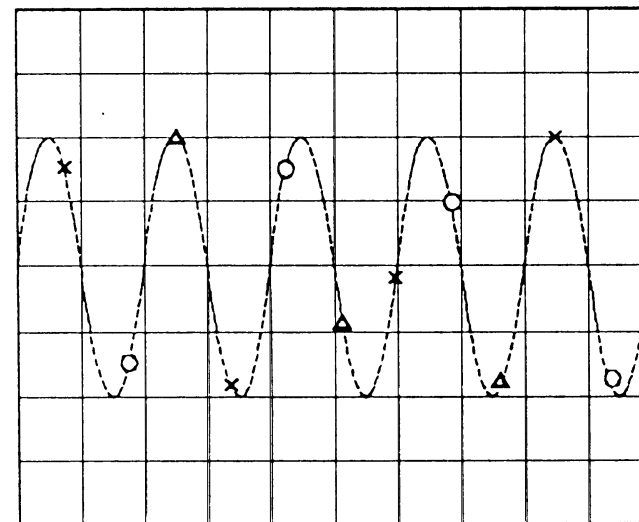
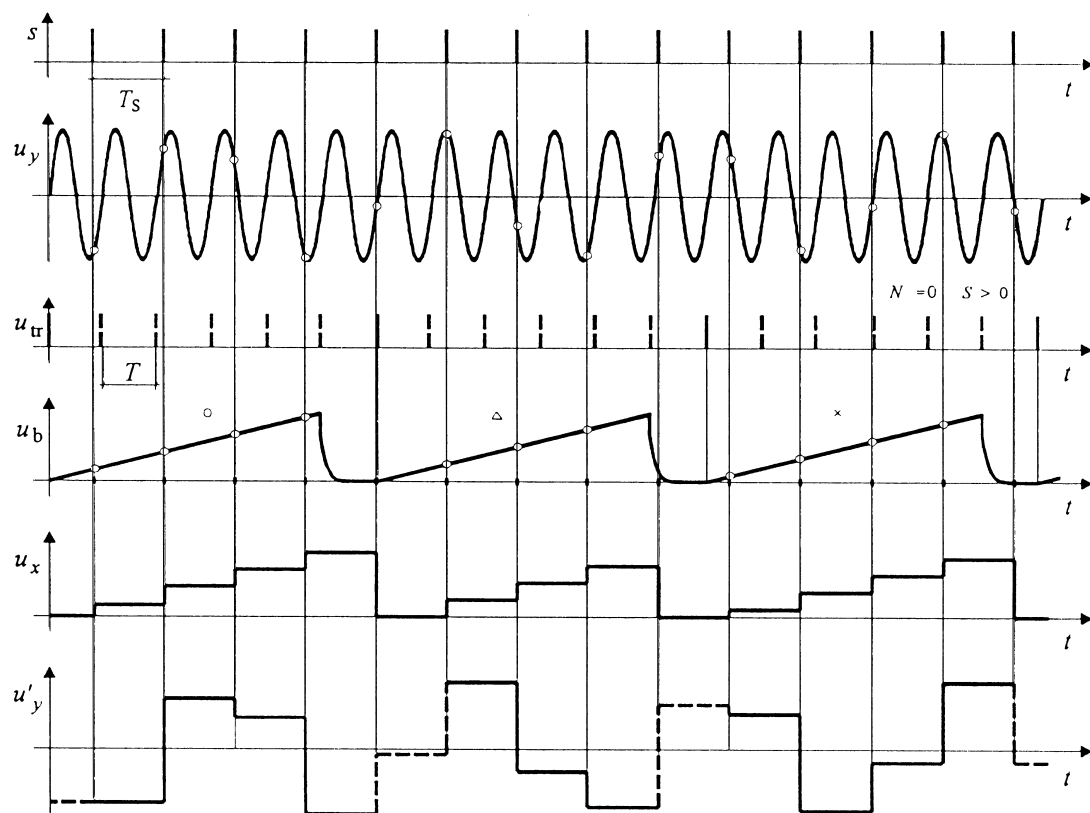




Slika 5.41 Princip naključnega vzorčenja

**Prožilni impulzi u_{tr} (ob prožilnem dogodku: $N = 0, S > 0$)
prožijo časovno bazo u_b**

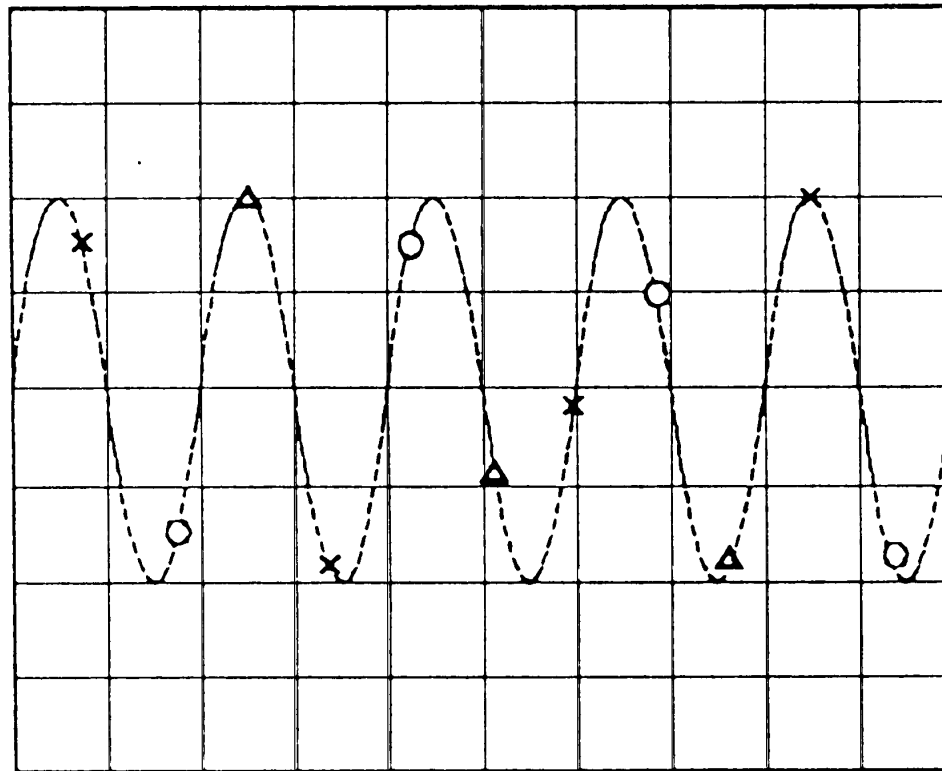




- 1. posnetek
- △ 2. posnetek
- × 3. posnetek

- obstajata **dva člena za vzorčenje in zadržanje**, ki ju krmili vzorčevalni signal s ($f_s = 1/T_s$)
 - prvi zajema vzorce napetosti $u_b \rightarrow u_x$,
 - drugi zajema vzorce napetosti $u_y \rightarrow u'_y$,





- 1. posnetek
- △ 2. posnetek
- × 3. posnetek

Slika 5.42 Nastajanje slike na zaslonu osciloskopa

- potrebujemo zadostno število vzorcev,
 - za sinus **25 izmerkov na periodo** – točkovna podaja,
- periodičen pojav,
- možnost opazovanja signala **pred prožilnim dogodkom!**

