



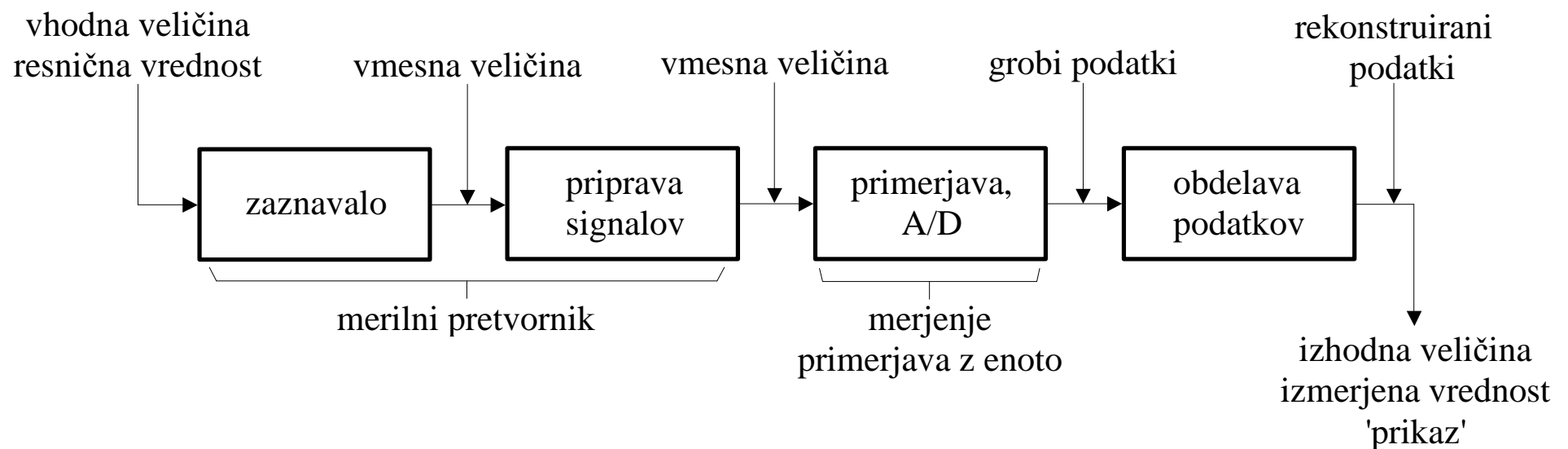
Digitalni spominski osciloskop (DSO)

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.



Slika 5.43a Zgradba merilnega sistema





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).



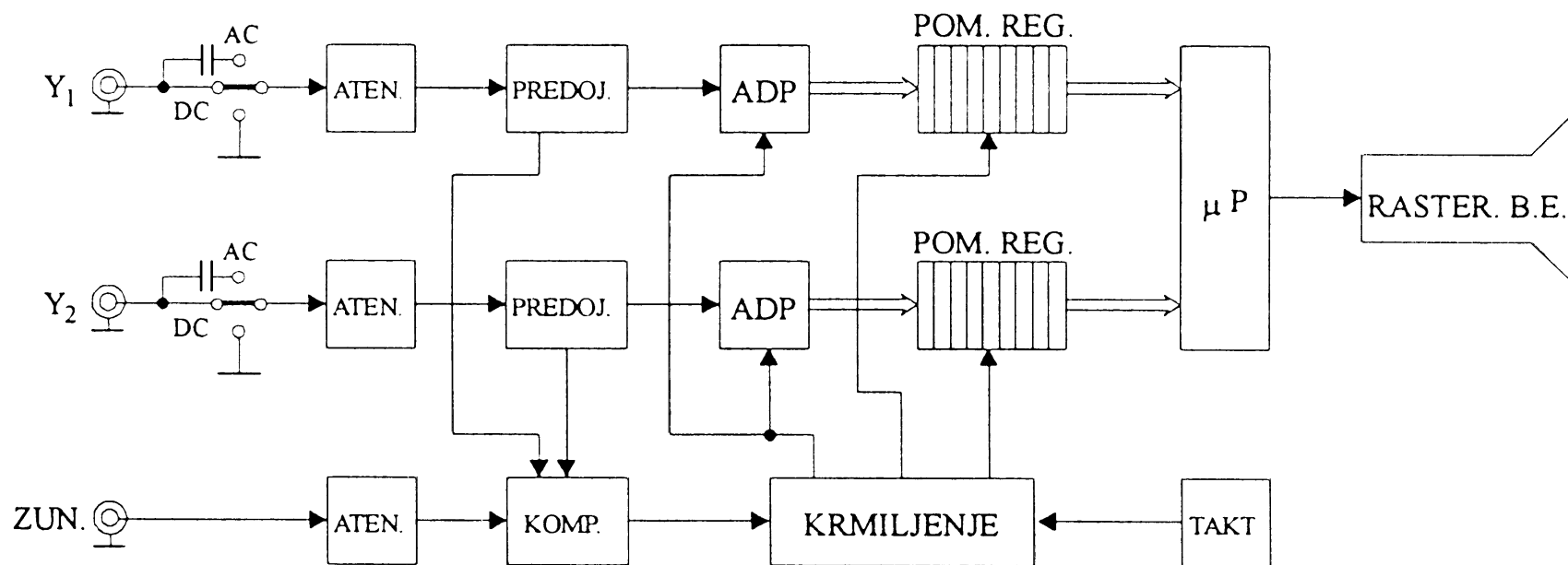


Za prikaz se uporablja **rasterska Braunova elektronka**.

- nizkofrekvenčno **magnetno odklanjanje**,
- **počasnejša** toda **bolj točna** od visokofrekvenčne **elektrostatične vektorske Braunove elektronke**.

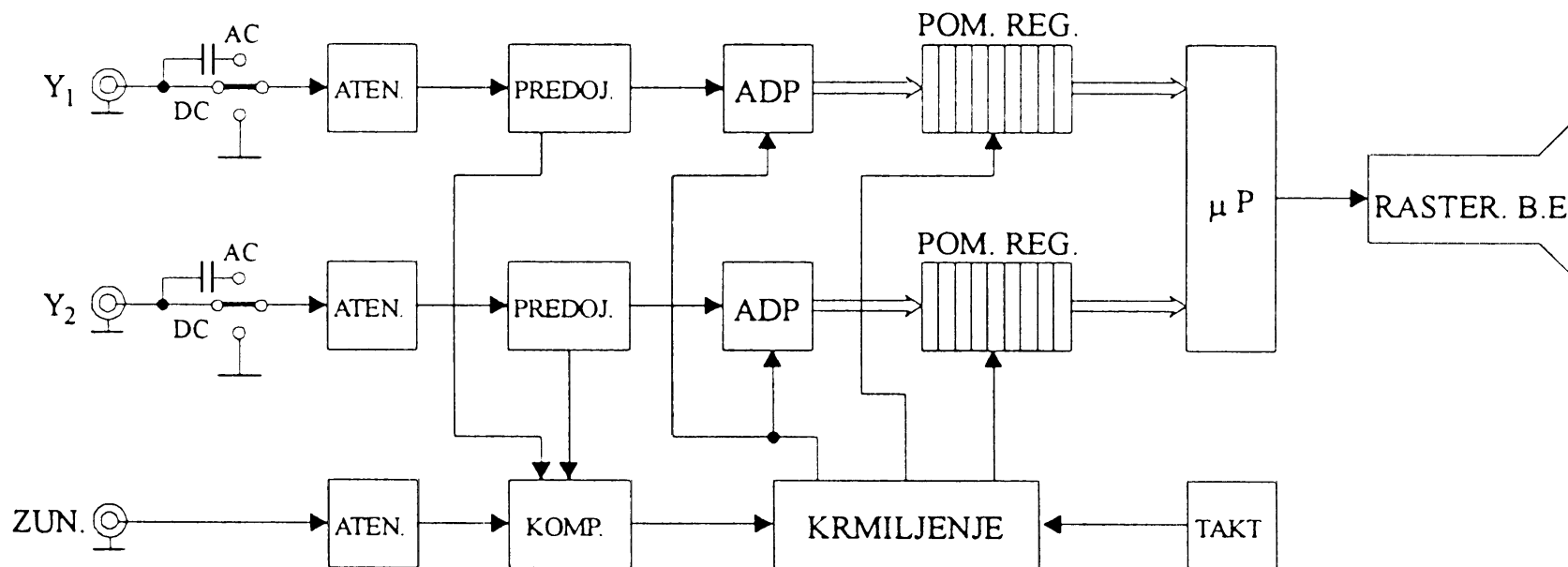
Za DSO je značilno **izpopolnjeno prožilno vezje**,

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



Slika 5.43 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 ,

$$f_s = 10 \text{ MHz} \quad \rightarrow \quad t(\text{zapis}) = 100 \text{ ns}$$





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

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**.





Vzorčenje v ekvivalentnem času

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.





Ekvivalentna frekvenca vzorčenja f'_s

V pomnilnik prikaza spravimo Z_m podatkov (globina pomnilnika – tipično $Z_m \approx 500$).

- v pomnilniku vertikalnega kanala je lahko tudi več točk (10000, 1M, ...), kot jih potrebujemo za prikaz.

Širina zaslona $T(\text{zaslona}) = k_t x_m$ vsebuje Z_m intervalov

dolгих: $T'_s = \frac{k_t x_m}{Z_m}$ - ekvivalentni vzorčni čas

- od tod dobimo ekvivalentno frekvenco vzorčenja:

$f'_s = \frac{Z_m}{k_t x_m}$ - večja od maksimalne frekvence vzorčenja ADP: $f'_s > f_{s,m}$





Primer: $Z_m = 1000$; $k_t = 50 \text{ ns/d}$; $x_m = 10 \text{ d}$

$$f_{s,m} = 10 \text{ MHz}$$

$$f'_s = \frac{1000}{50 \text{ ns/d} \cdot 10 \text{ d}} = 2 \text{ GHz} \Rightarrow T'_s = 500 \text{ ps}$$

- vzorci se jemljejo vsakih 100 ns,
- ko je vseh 1000 vzorcev zbranih, so prikazani v intervalih 500 ps.

Resnična frekvenca vzorčenja je lahko tudi manjša $f'_s < f_{s,m}$
(vzorčenje v realnem času):

- pri $k_t = 100 \mu\text{s/d}$ $\Rightarrow f_s = \frac{1000}{100 \mu\text{s/d} \cdot 10 \text{ d}} = 1 \text{ MHz}$





Dinamične lastnosti DSO

Za **analogni del** (atenuator, ojačevalnik,...) **do ADP** veljajo enake veličine kot za analogne osciloskope.

- **dvižni čas T_r :**
 - odziv na stopnico od 10% do 90%
- **mejna frekvenca f_m :** $T_r = 0,35/f_m$
 - padec amplitudne karakt. za 3dB ali $1/\sqrt{2}$,
 - ker je spodnja mejna frekvenca 0Hz (DC vhod) oziroma 10Hz (AC vhod), je f_m enaka **pasovni širini**: $B = f_m$





Vzorčenje pri DSO prinese dodatne omejitve, ker **med vzorci nimamo informacije** o signalu.

- '**Analogne**' definicije veljajo pri ponavljajočem proženju (vzorčenju v ekvivalentnem času).
- Pri **vzorčenju v realnem času** pa so odvisne od **načina prikaza** (točkovna podaja, linearna interpolacija, si-interpolacija, ...),

Uporabna pasovna širina:

- **točkovna podaja:** $B_{pt} = f / 25$ - 25 točk na periodo
- **linearna interpolacija:** $B_{lin} = f_s / 10$ - povezava z daljicami
- **si-interpolacija:** $B_{si} = f_s / 2,5$ - $si(x) = \sin x / x$





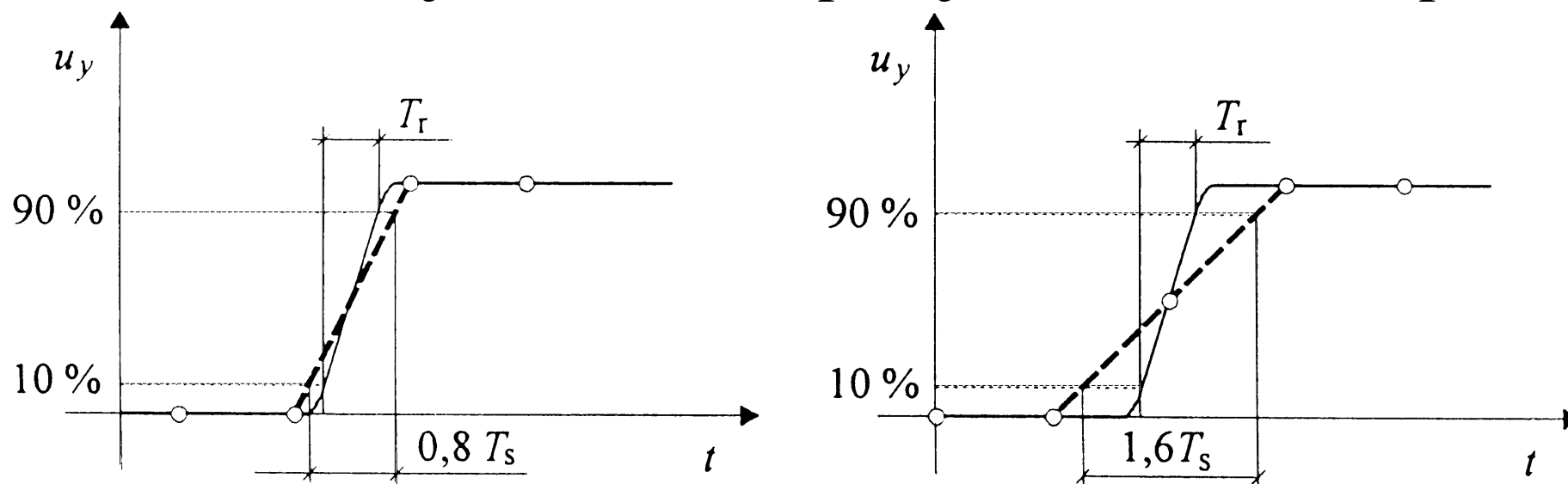
Uporabni dvižni čas:

- če je dvižni čas signala krajši kot vzorčni čas T_s , se spreminja med:

$$T_r = 0,8T_s \text{ in } T_{r, \max} = 1,6T_s$$

$$T_r = 1,6T_s - \text{uporabni dvižni čas}$$

- velja za točkovno podajo in linearno interpolacijo



Slika 5.44 Dvižni čas DSO z linearno interpolacijo



Poznamo dva načina prikazovanja podatkov:



- normalno s proženjem,
 - **posodabljanje slike** ob novih prožilnih dogodkih (**refresh-mode**),
- **počasni signali** brez proženja,
 - podobno odvijanju svitka (**roll-mode**)
 - **najnovejši podatek** se nahaja na začetku pomičnega registra (**skrajno desno na zaslону**),
 - naslednji podatki povzročijo pomik podatkov v registru za eno mesto,
 - **najstarejši podatek iz levega roba zaslona** izpade iz registra (FIFO – register)
- **primer:** $k_t = 500 \text{ ms/d}$; $x_m = 10 \text{ d}$
 - podatek je na zaslону prisoten 5s

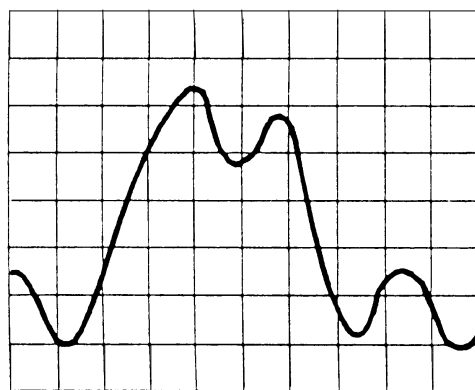
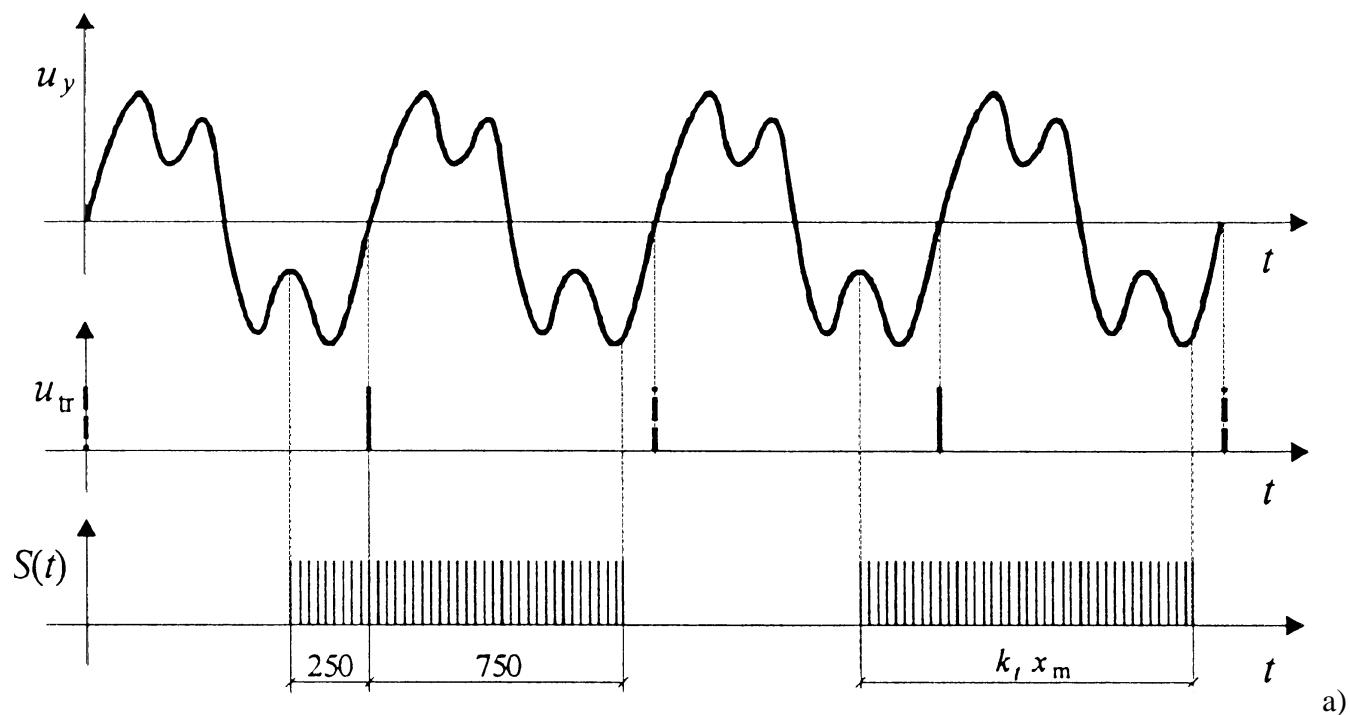




DSO za razliko od analognega osciloskopa omogoča opazovanje signala tudi pred prožilnim dogodkom.

- **potrebno je vzorčenje že pred prožilnim impulzom,**
- **v predprožilnem pomnilniku se neodvisno od prikaza začnejo shranjevati vrednosti,**
- **na zaslonu pa se te vrednosti prikazujejo glede na položaj prožilnega dogodka.**

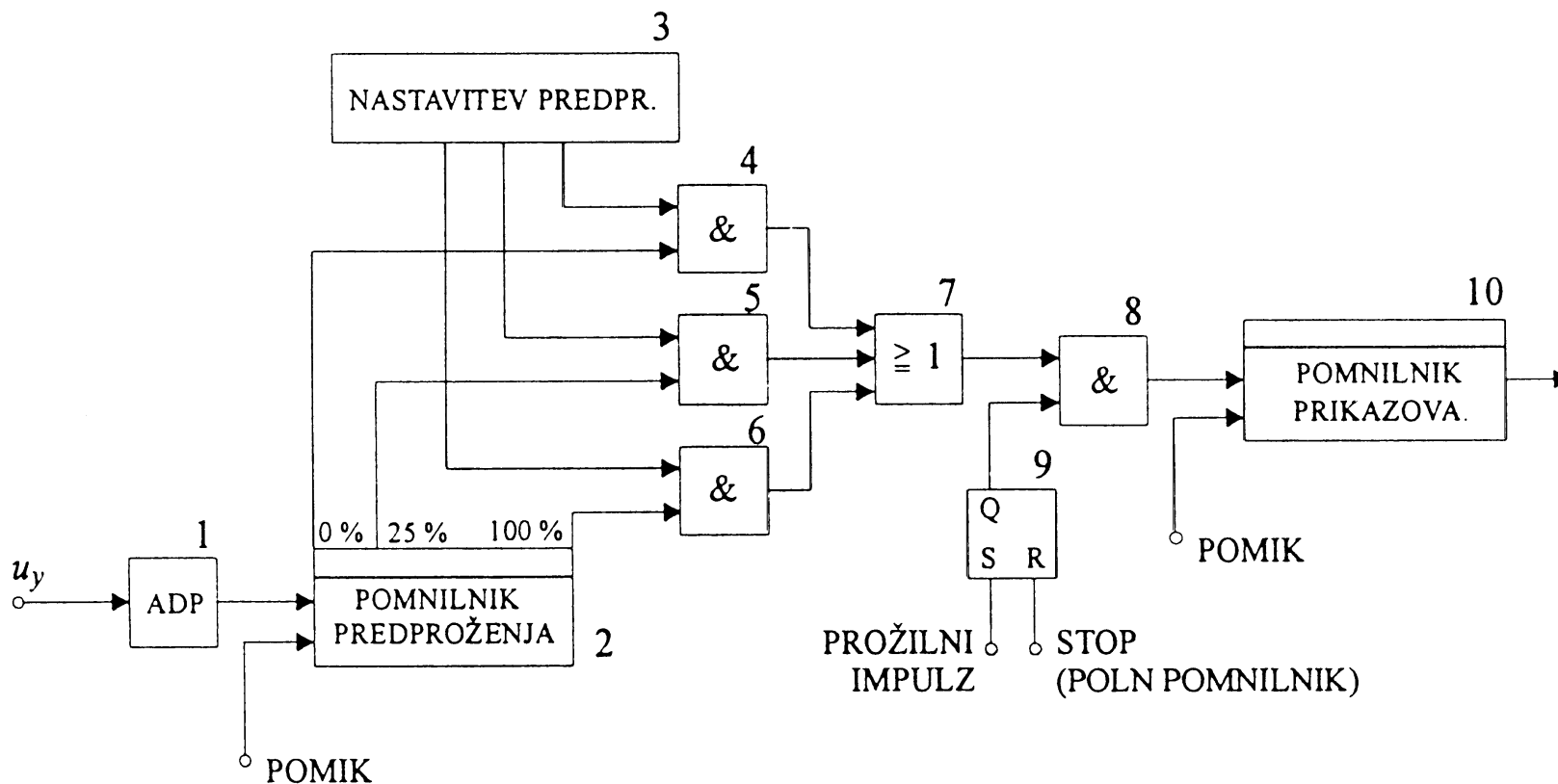




b)

Slika 5.45 Zbiranje vzorcev s predproženjem in slika na zaslonu DSO

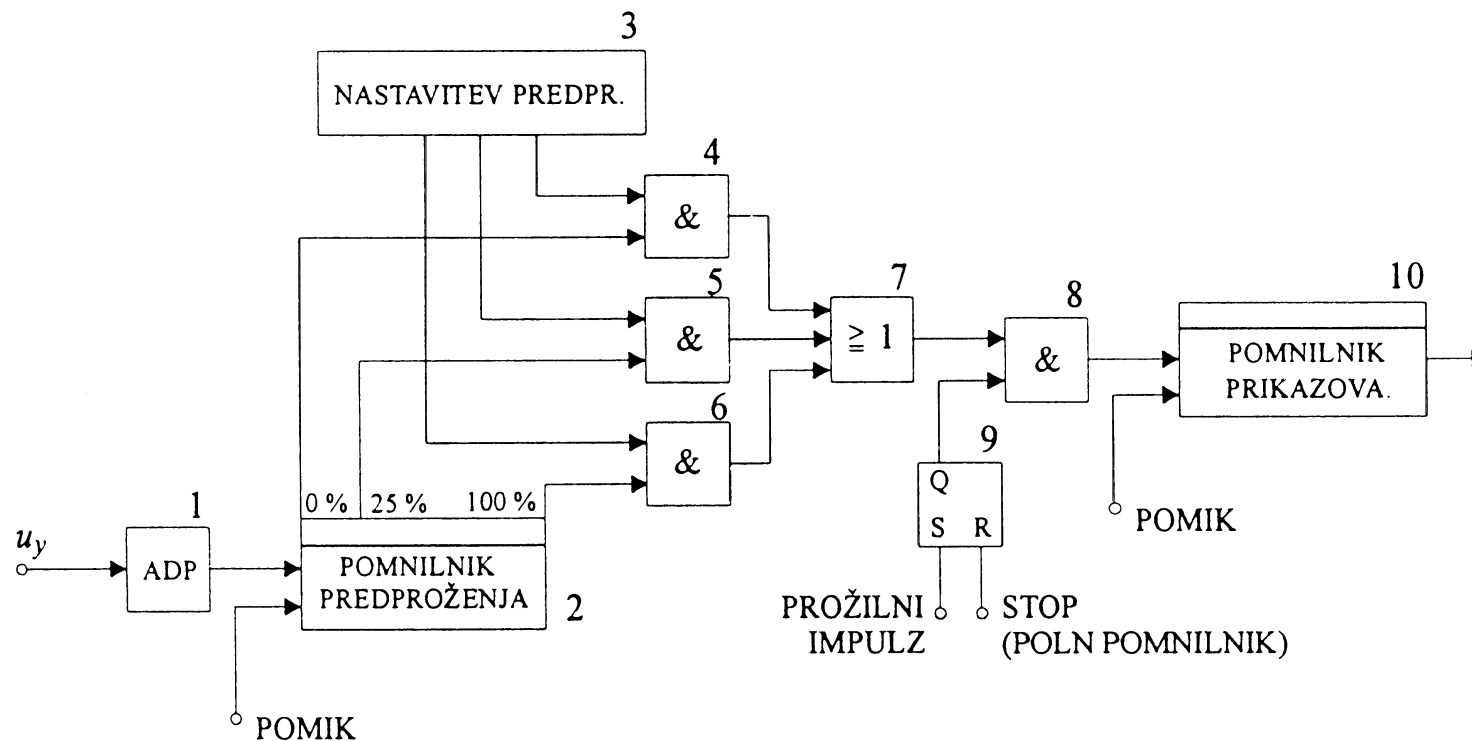




Slika 5.46
DSO s
prikazovanjem
dogodkov pred
prožilnim
impulzom

- v pomnilnik predproženja (2) pritekajo podatki s frekvenco vzorčenja ADP,
 - ob sinhronizacijskih impulzih (POMIK) se **pomikajo za eno mesto,**





- **pomnilnik prikaza (10) se napolni ($Z_m = 1000$ točk):**
- z določenim številom vrednosti **pred pojavom prožilnega impulza** iz pomnilnika predproženja (2),
 - npr.: 250 skozi vrata 5
- in s preostalim številom novih točk z ADP (npr. 750)

Vzorčenje se lahko tudi zamrzne (ni prožilnih impulzov) pa se slika obnavlja s podatki pomnilnika prikazovanja.





5.3 Univerzalni elektronski števec

Omogoča zelo točno merjenje:

- frekvence,
- periode,
- časovnih intervalov,
- razmerja frekvenc,
- štetje dogodkov itn.

Ločimo dva **merilna principa**:

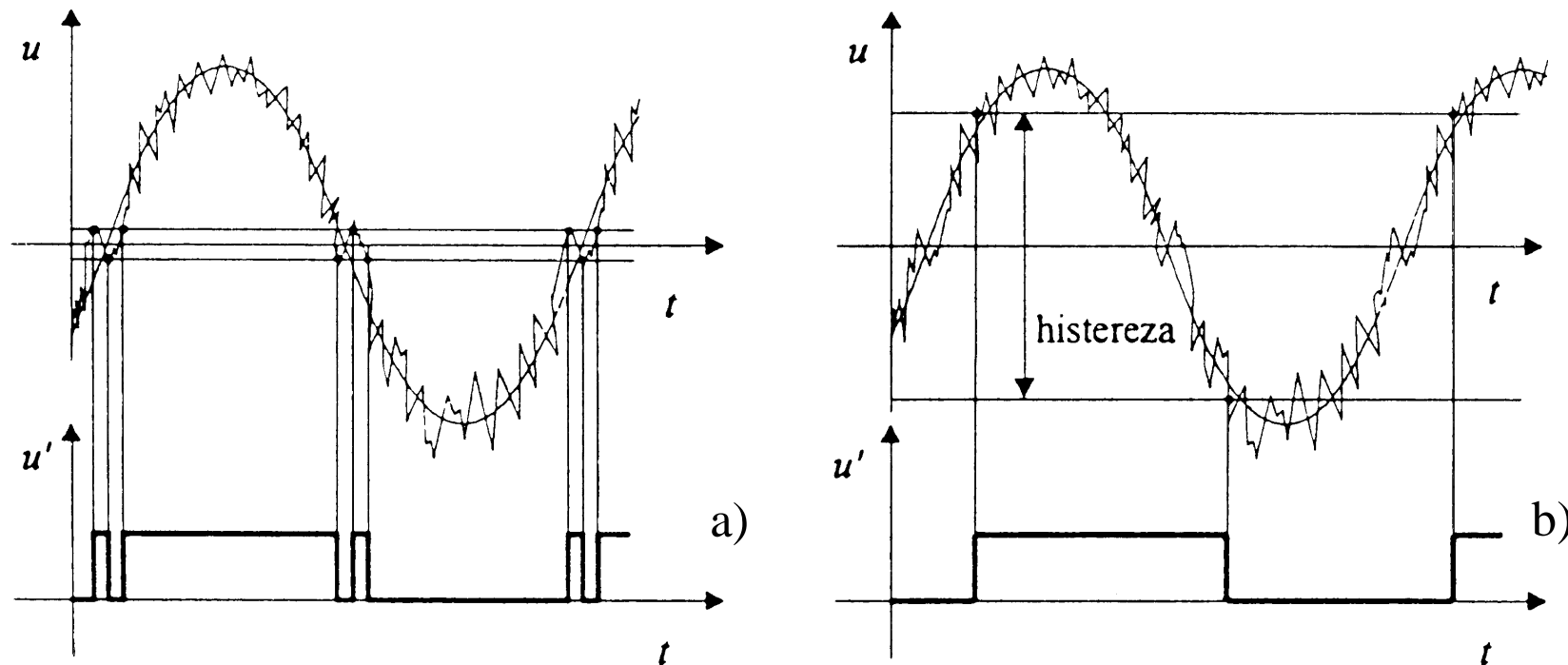
- štetje impulzov (counter),
- merjenje časa (timer).





Vhodna stopnja preoblikuje merjeni signal v impulze za nadaljno obdelavo.

- Schmittov prožilnik (**prožilnik s histerezo**) zmanjša vpliv dodanega šuma signalu.
 - z večjo histerezo se onemogoči šumno preklapanje

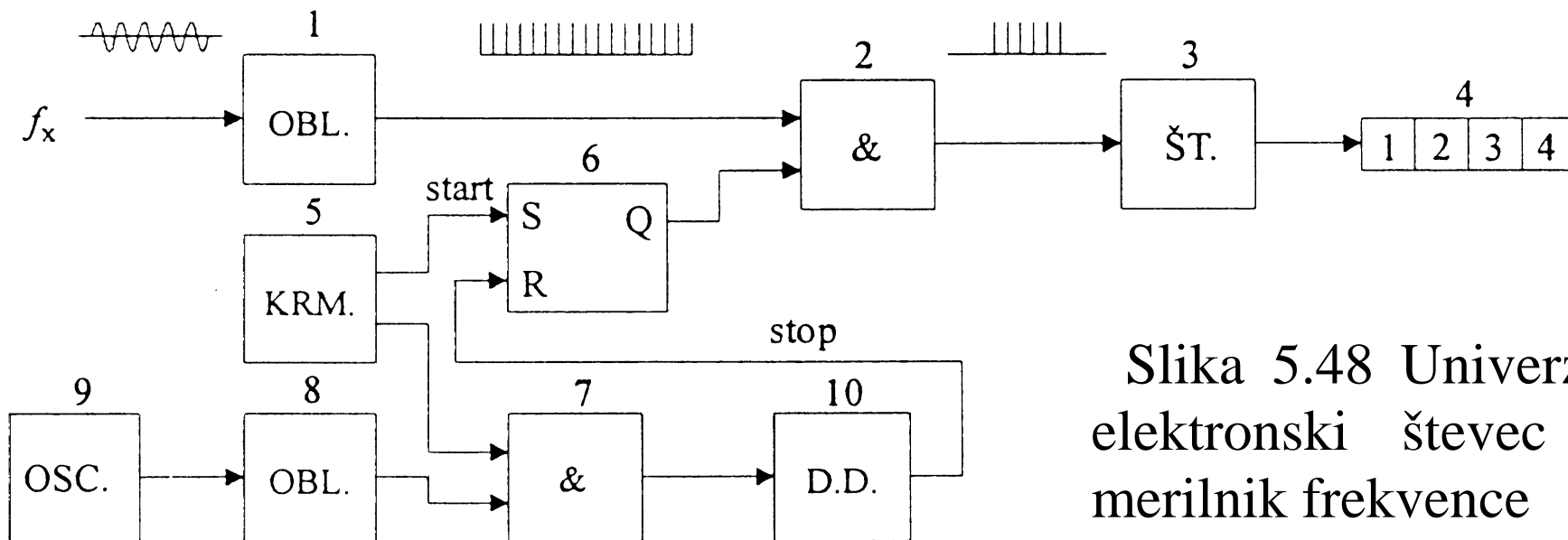


Slika 5.47 Vpliv histereze prožilnika na izločanje šuma





Merjenje frekvence

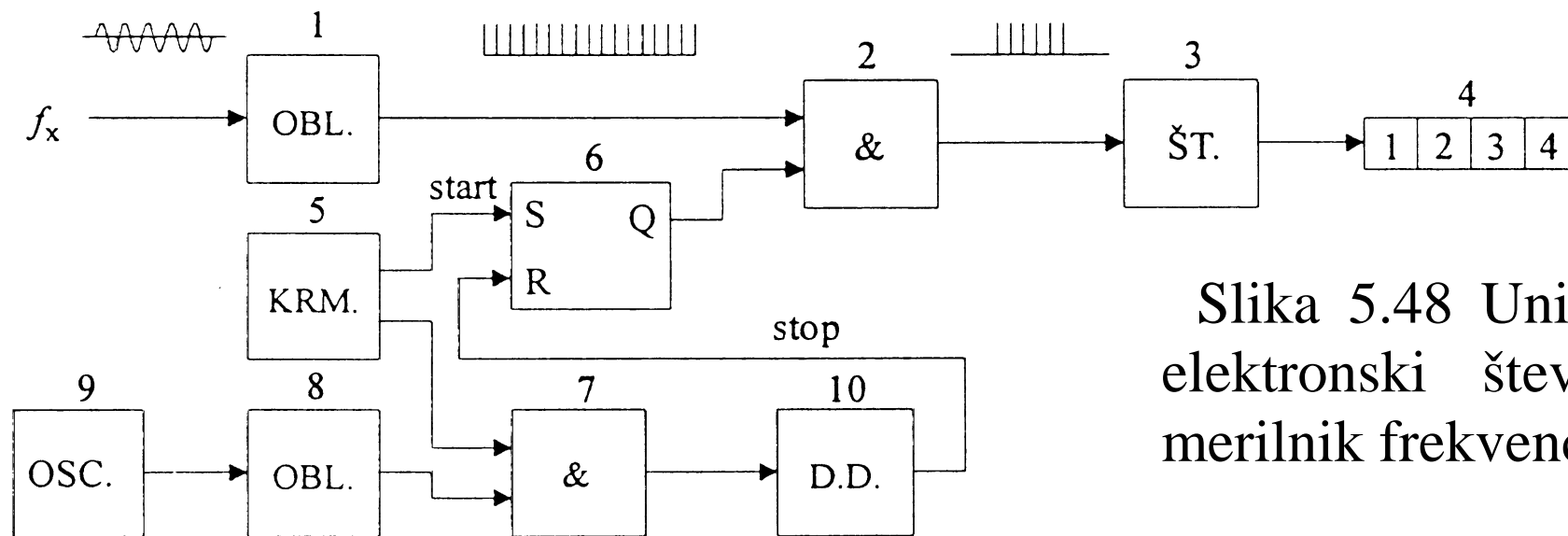


Slika 5.48 Univerzalni elektronski števec kot merilnik frekvence

Osnovni elementi števca:

- kvarčni **oscilator** (9), ki proizvaja frekvenčno stabilen impulzni signal (**referenčni signal**),
- skupaj z dekadnim delilnikom (7 in 10) sestavlja **časovno bazo**,
- **elektronska vrata** (2), ki se odpirajo v taktu časovne baze,
- **števec** električnih impulzov (3).





Slika 5.48 Univerzalni elektronski števec kot merilnik frekvence

Čas odprtja vrat (2) določa delilno razmerje dekadnega delilnika K (10),

- $K = 10^n$; $n = 0, 1, 2, 3, \dots$
- po K -tem impulzu se stanje na izhodu delilnika spremeni in RS-multivibrator (6) se resetira – **meritev se ustavi**.
- čas merjenja je enak: $T_M = KT_0$
 - T_0 perioda oscilatorja $1/f_0$





V tem času $T_M = KT_0$ števec našteje povprečno:

$$\bar{Z} = f_x T_M = f_x KT_0 \text{ impulzov neznane frekvence}$$

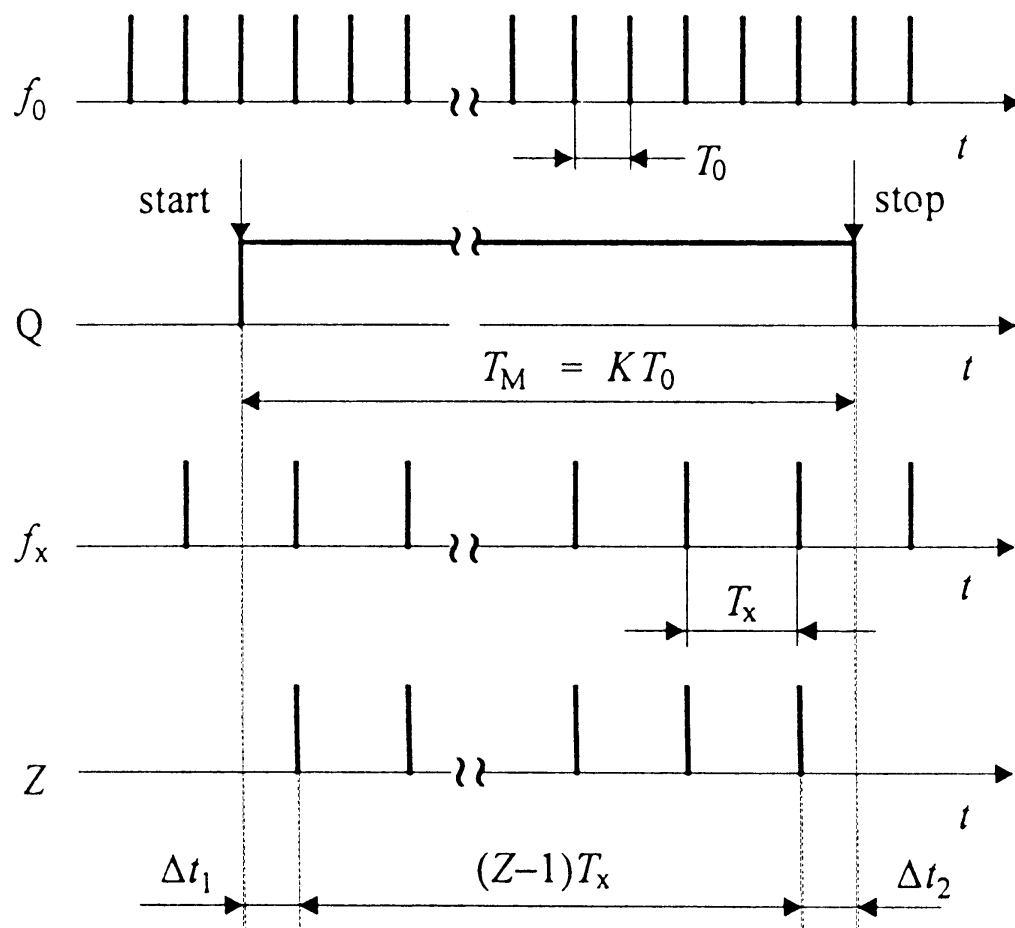
- **primer:** $f_0 = 10 \text{ MHz} \rightarrow T_0 = 100 \text{ ns};$
 $K = 10^7; f_x = 123,4 \text{ Hz}$

- čas merjenja: $T_M = KT_0 = \frac{K}{f_0} = \frac{10^7}{10 \text{ MHz}} = 1 \text{ s}$

- števec našteje: $\bar{Z} = f_x T_M = 123,4 \text{ Hz} \cdot 1 \text{ s} = 123,4$

- ker prešteje vedno celo število impulzov, število niha med 123 in 124!





Ker **meritev** (T_M) **ni sinhrona z merjenim signalom**, imamo pogrešek ločljivosti enega impulza - **kvantizacijski pogrešek!**

Slika 5.49 Kvantizacijski pogrešek pri merjenju frekvence

- za čas T_M velja: $T_M = \Delta t_1 + (Z - 1)T_x + \Delta t_2$
 - časa **nesinhronizacije** sta: $0 \leq \Delta t_1 \leq T_x$; $0 \leq \Delta t_2 \leq T_x$





Časa nesinhronizacije: $0 \leq \Delta t_1 \leq T_x$; $0 \leq \Delta t_2 \leq T_x$

- če sta oba **na spodnji meji** $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0$, velja:

$$T_M = (Z - 1)T_x' \Rightarrow Z = f_x' T_M + 1$$

- če sta oba **na zgornji meji** $\Delta t_1 = \Delta t_2 = T_x''$, velja:

$$T_M = (Z + 1)T_x'' \Rightarrow Z = f_x'' T_M - 1$$

Največji mejni pogrešek je ± 1 impulz!





Največji mejni pogrešek je ± 1 impulz!

- izrazimo ga v enoti merjene veličine: $f_x = \frac{Z}{T_M} \pm \frac{1}{T_M}$

- **absolutni mejni kvantizacijski pogrešek:**

$$E_f = \pm \frac{1}{T_M} = \pm \frac{1}{KT_0}$$

- **in v relativni obliki:** $e_f = \frac{E_f}{f_x} = \pm \frac{1}{f_x T_M} = \pm \frac{1}{Z}$
 - z manjšanjem frekvence se poveča,

- primer: $f_0 = 10 \text{ MHz}$; $K = 10^8$; $f_x = 10 \text{ Hz}$

$$e_f = \pm \frac{1}{f_x T_M} = \pm \frac{1}{f_x K T_0} = \pm \frac{10 \text{ MHz}}{10 \text{ Hz} \cdot 10^8} = \pm 10^{-2} = \pm 1\%$$



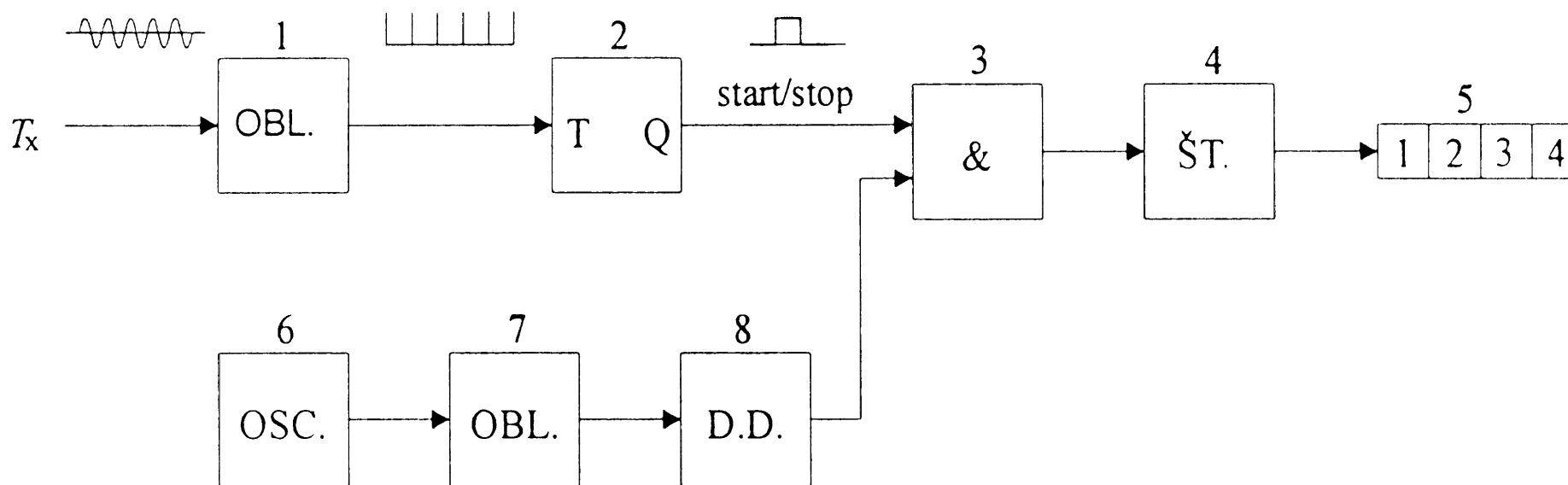


Merjenje časa

Poznamo:

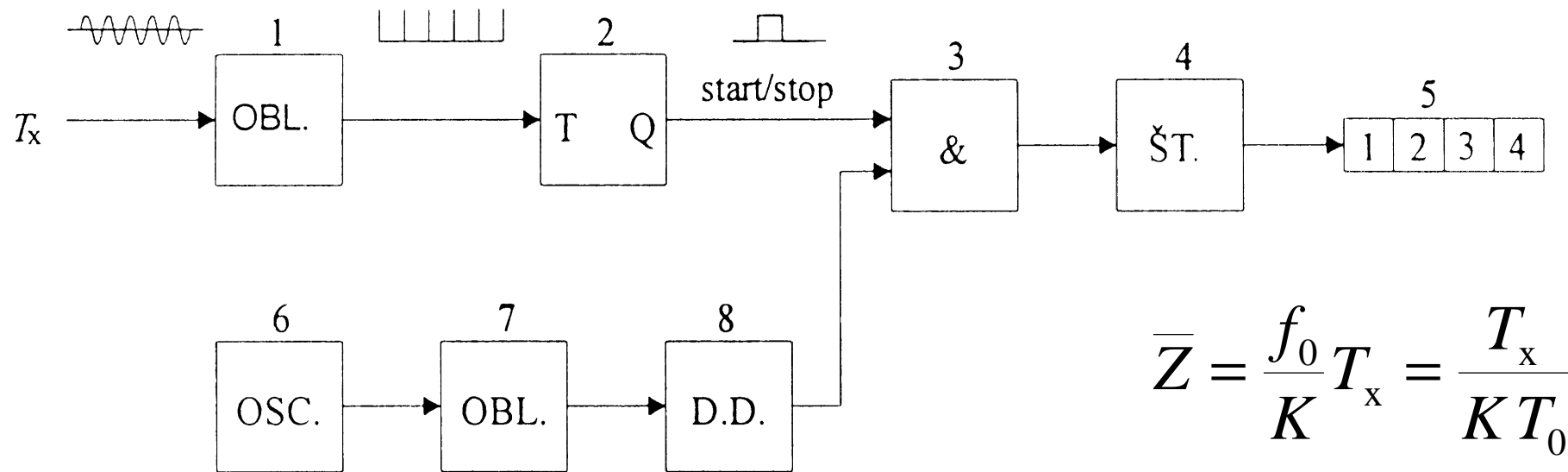
- merjenje **periode**,
- merjenje **časovnega intervala**.

Merjenje periode:



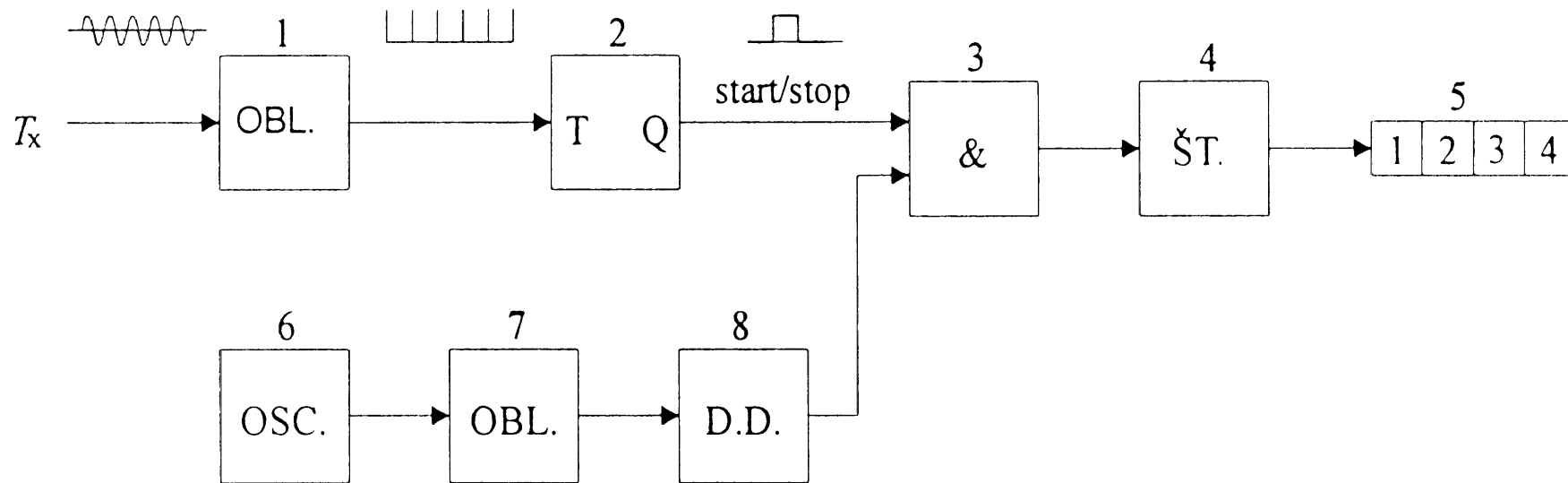
Slika 5.50 Univerzalni elektronski števec kot merilnik periode





- elektronska vrata krmili merjeni signal:
 - bistabilni T-multivibrator se preklopi ob vsakem drugem impulzu,
 - vrata so odprta eno periodo: $T_M = T_x$
- v tem času šteje števec impulze referenčne frekvence,
 - frekvenco lahko zmanjšamo z delilnikom K





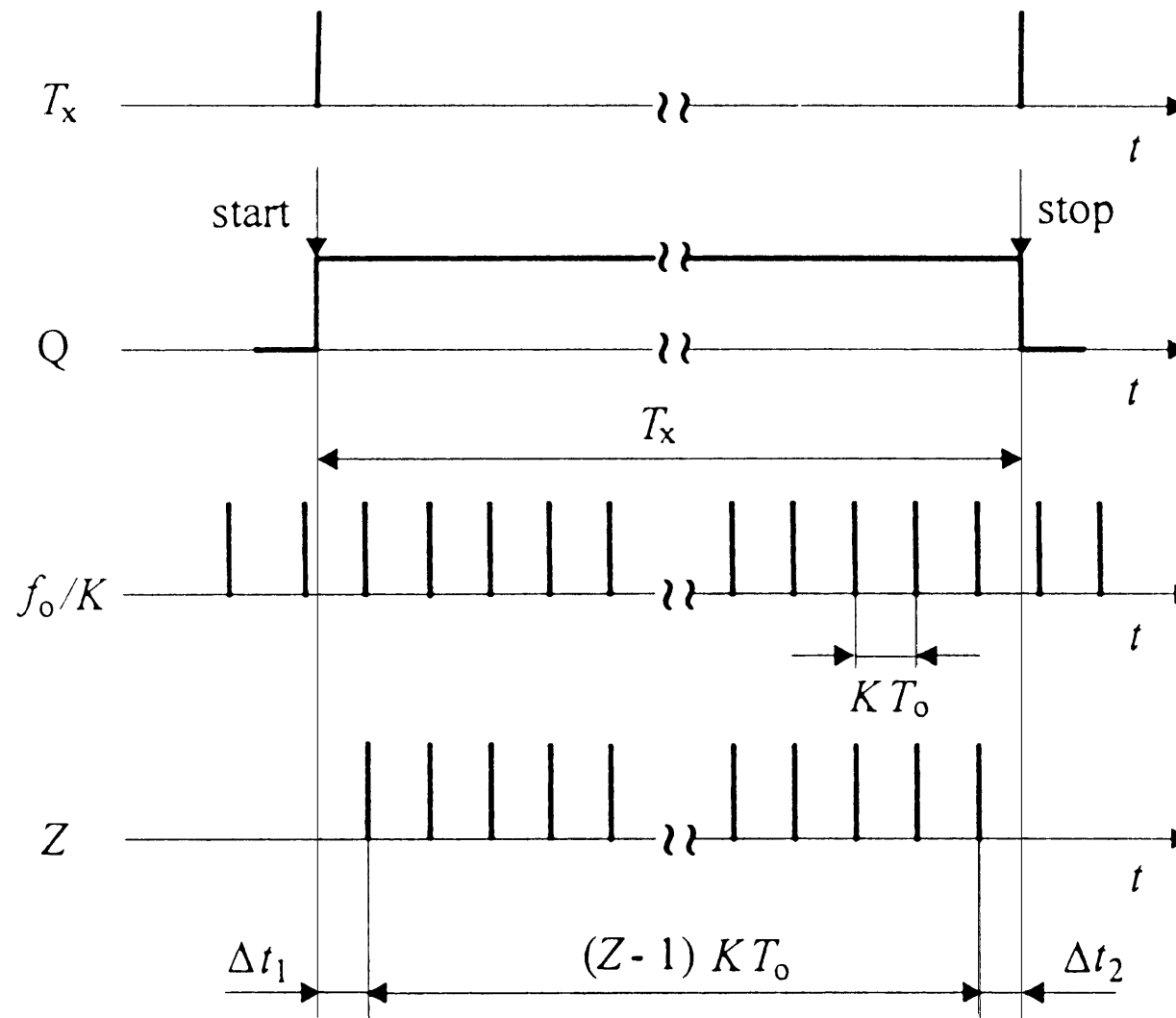
- primer: $f_0 = 10 \text{ MHz}$; $K = 100$; $T_x = 5,678 \text{ ms}$
 - števec našteje v povprečju:

$$\bar{Z} = \frac{f_0}{K} T_x = \frac{10 \text{ MHz}}{100} 5,678 \text{ ms} = 567,8$$





Števec lahko kaže **en impulz premalo ali preveč**:



Slika 5.51 Kvantizacijski pogrešek pri merjenju periode





Celotni čas je enak:

$$T_x = T_M = \Delta t_1 + (Z - 1)KT_0 + \Delta t_2$$

- časa **nesinhronizacije** sta:

$$0 \leq \Delta t_1 \leq KT_0 ; \quad 0 \leq \Delta t_2 \leq KT_0$$

- če sta oba **na spodnji meji** $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0$, velja:

$$T'_x = (Z - 1)KT_0 \Rightarrow Z = T'_x / KT_0 + 1$$

- če sta oba **na zgornji meji** $\Delta t_1 = \Delta t_2 = KT_0$, velja:

$$T''_x = (Z + 1)KT_0 \Rightarrow Z = T''_x / KT_0 - 1$$

Največji mejni pogrešek je ± 1 impulz.





Največji mejni pogrešek je ± 1 impulz.

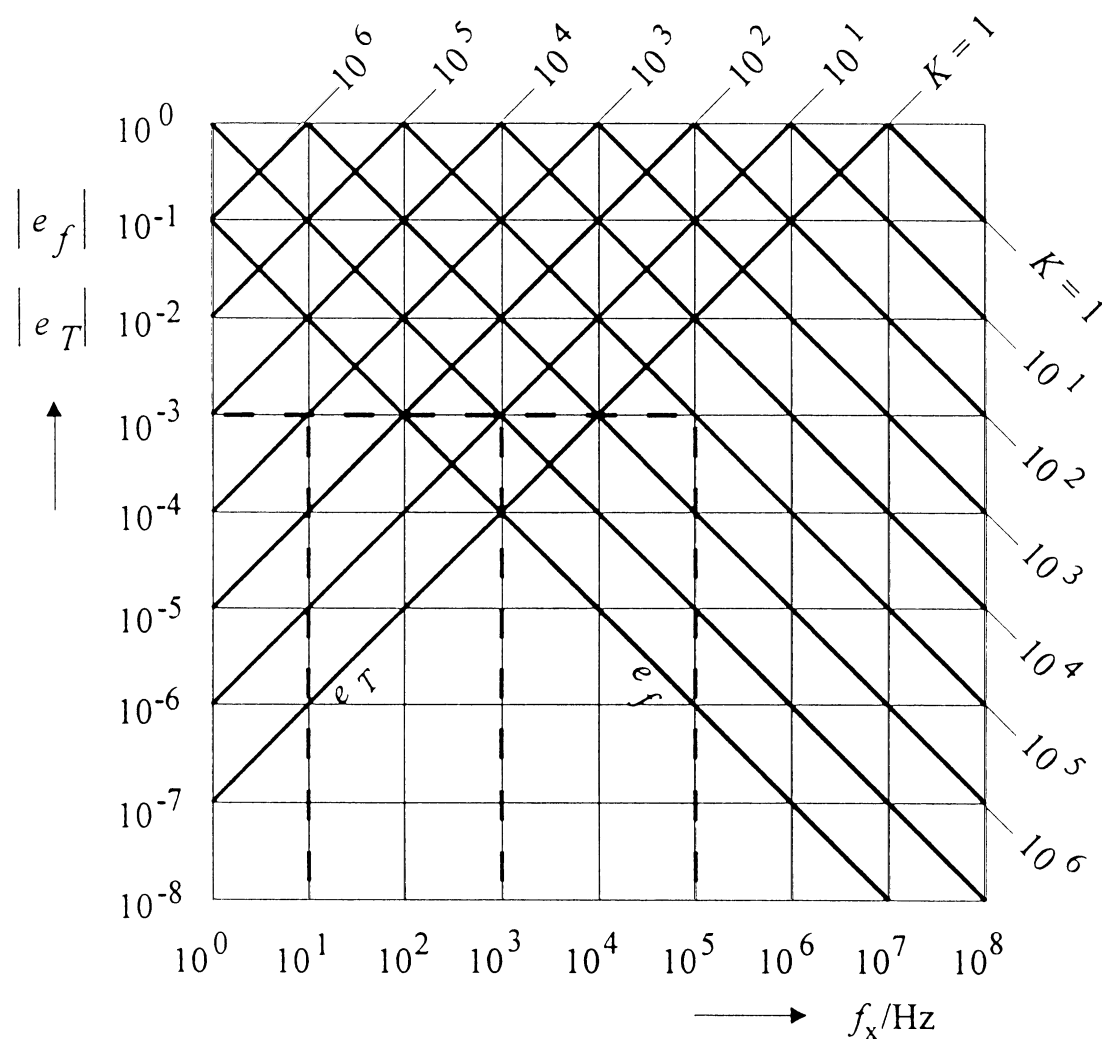
- Izražen v enoti merjene veličine: $T_x = ZKT_0 \pm KT_0$
- absolutni mejni kvantizacijski pogrešek: $E_T = \pm KT_0$
- in v relativni obliki: $e_T = \frac{E_T}{T_x} = \pm \frac{KT_0}{T_x} = \pm \frac{1}{Z}$
 - daljša je perioda, manjši je pogrešek!
- primer: $f_0 = 10 \text{ MHz}$; $K = 1$; $f_x = 10 \text{ Hz} \Rightarrow T_x = 100 \text{ ms}$

$$e_T = \pm \frac{KT_0}{T_x} = \pm \frac{1 \cdot 100 \text{ ns}}{100 \text{ ms}} = \pm 10^{-6} = \pm 10^{-4} \%$$





Mejna pogreška kvantizacije v odvisnosti od frekvence:



$$e_f = \pm \frac{1}{KT_0 f_x}$$

$$e_T = \pm KT_0 f_x$$

Pri nizkih frekvencah je bolje meriti periodo!

Pri visokih frekvencah je bolje meriti frekvenco!

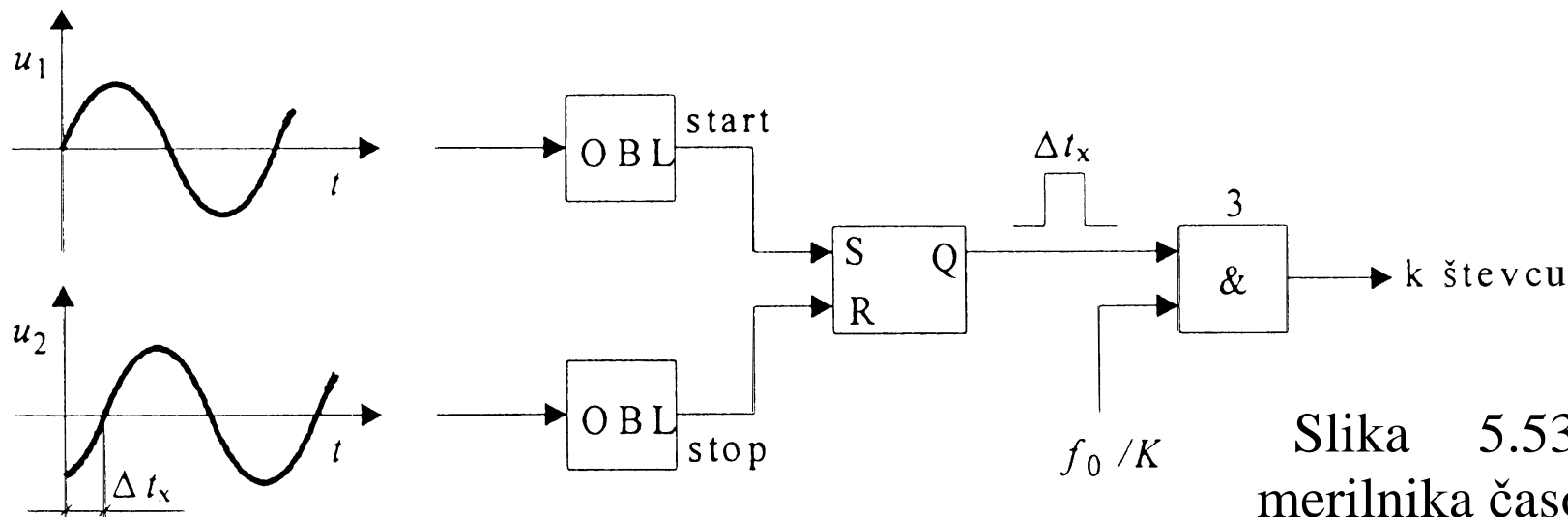
- K je spremenljiv:
 $K = 1, 10^1, 10^2, 10^3, \dots$
- $T_0 = 100$ ns ($f_0 = 10$ MHz) - tipično

Slika 5.52 Mejna kvantizacijska pogreška e_f in e_T v odvisnosti od frekvence





Merjenje časovnega intervala



Slika 5.53 Vhodni del merilnika časovnega intervala

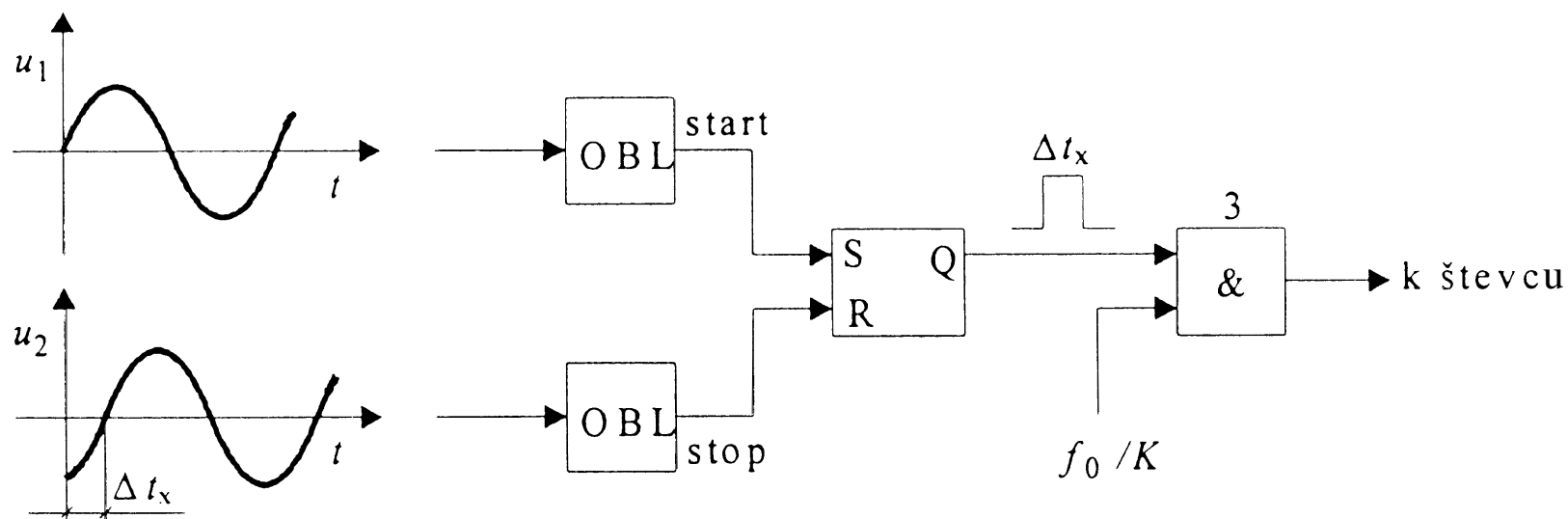
Časovni interval Δt_x pogosto ustreza **fazni razliki** med dvema sinusoma.

Na vrata pripeljemo **impulz dolžine** Δt_x ,

- oblikujeta ga **prožilna pulza** preko RS bistabilnega multivibratorja

Števec prešteje **v povprečju**: $\bar{Z} = \frac{f_0}{K} \Delta t_x$ impulzov





Za fazni zamik potrebujemo še **krožo frekvenco**:

$$\varphi_x = \omega \Delta t_x$$

- meriti moramo še **periodo**: $\varphi_x = 2\pi \frac{\Delta t_x}{T_x} = 360^\circ \frac{\Delta t_x}{T_x}$

- ali frekvenco: $\varphi_x = 2\pi f_x \Delta t_x = 360^\circ f_x \Delta t_x$

