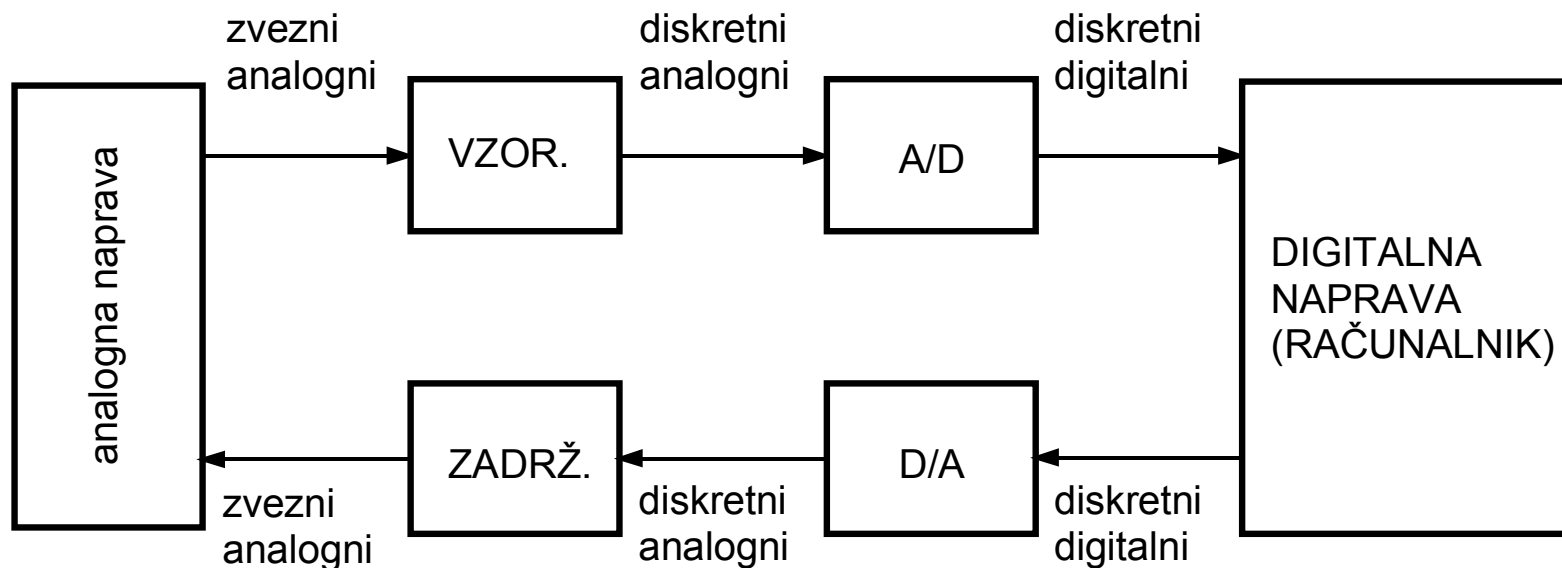
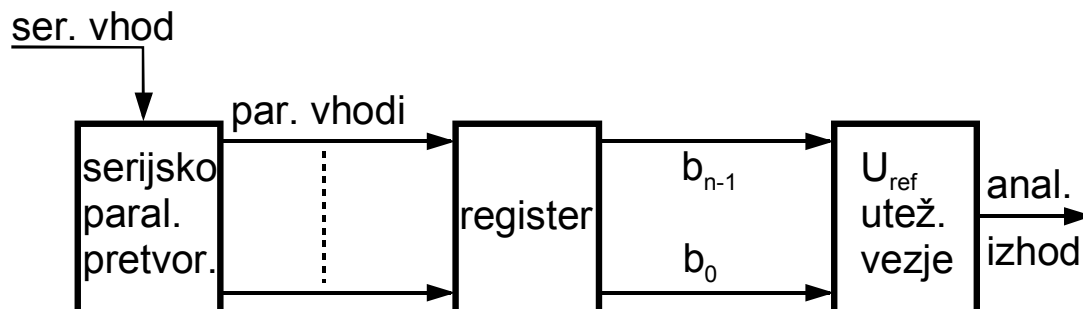


11 DIGITALNO ANALOGNI IN ANALOGNO DIGITALNI PRETVORNIKI



11. 1 D/A pretvorniki



Blokovna shema digitalno analognega pretvornika

Točnost pretvorbe je odvisna od dolžine besede, ki predstavlja analogno veličino.

$$2^{10} \cong 1000; \quad 2^{20} \cong 1.000.000$$

10 bitni pretvornik ima torej točnost 0.1%

Pri bipolarnih digitalno analognih pretvornikih so razmere sledeče:

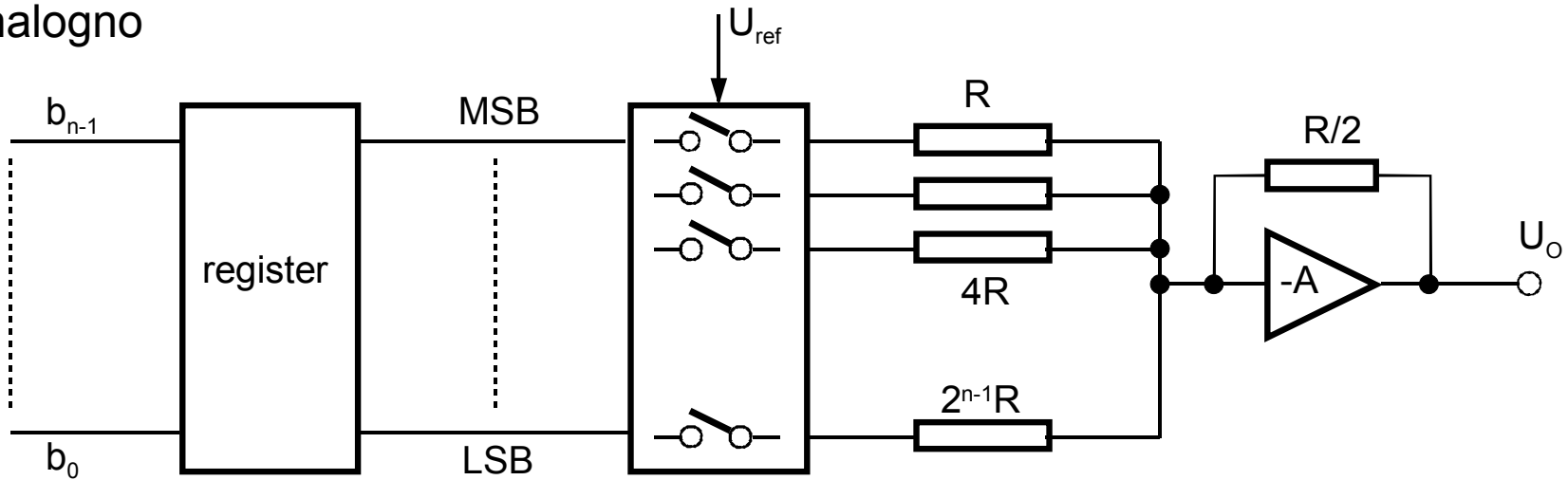
8 bitni $\pm 0.8\%$

10 bitni $\pm 0.2\%$

12 bitni $\pm 0.05\%$

16 bitni $\pm 0.003\%$

11. 1. 1 D/A pretvornik s seštevalnim principom pretvorbe digitalne veličine v analogno



$$U_o = - \left[\frac{1}{2^0} b_{n-1}^* + \frac{1}{2^1} b_{n-2}^* + \frac{1}{2^2} b_{n-3}^* + \frac{1}{2^3} b_{n-4}^* + \dots + \frac{1}{2^{n-2}} b_1^* + \frac{1}{2^{n-1}} b_0^* \right] \frac{U_{REF}}{2}$$

b_i^* – faktor, ki je "0" ali "1" v analognem smislu

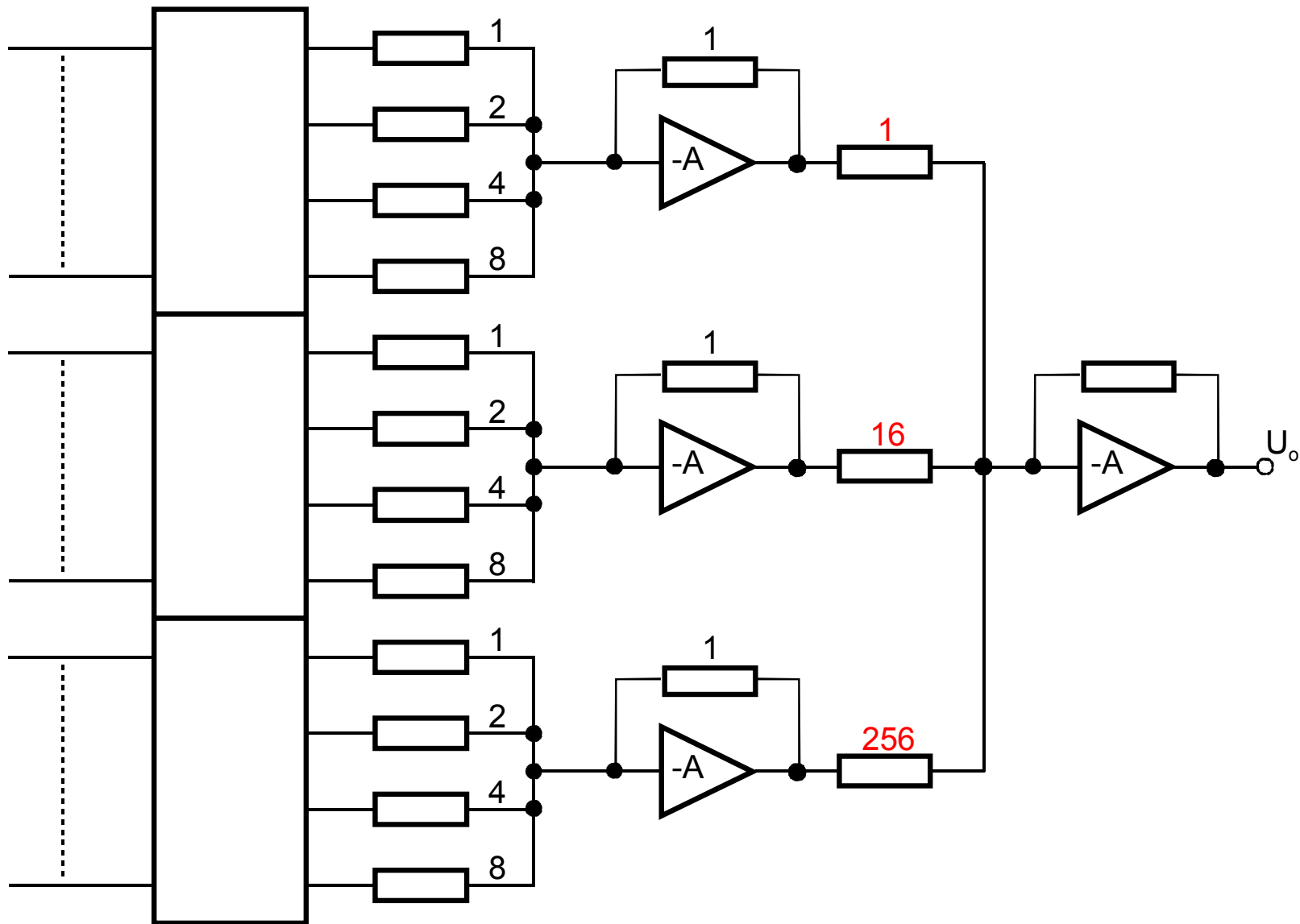
Vsota vrste z binarnimi utežmi:

$$\frac{1}{2^0} + \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{2^{n-1}}$$

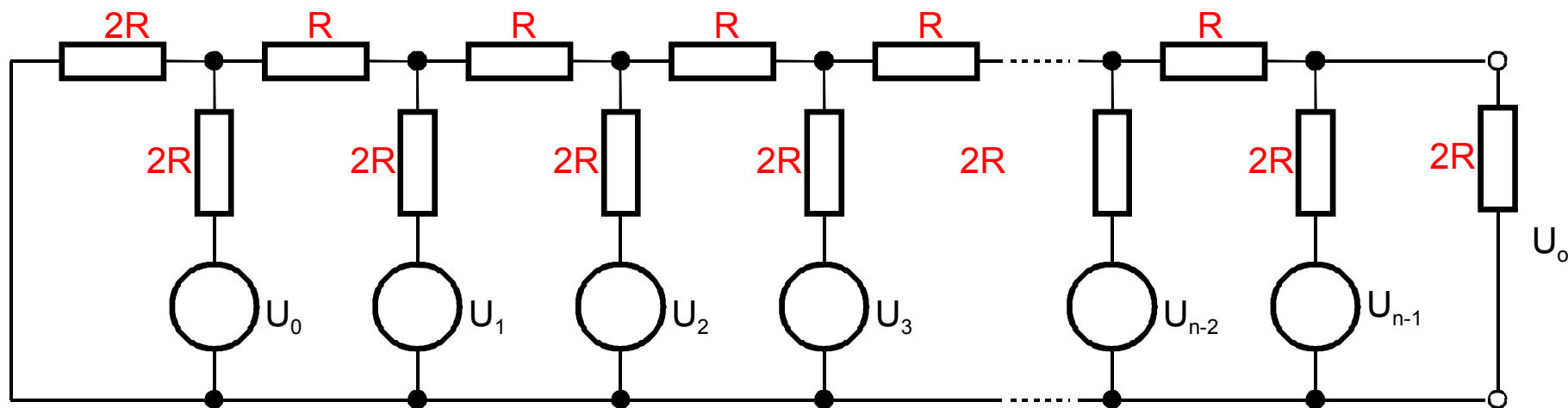
je v zaključeni obliki enaka:

$$2 - \frac{1}{2^{n-1}} = 2 \left[1 - \frac{1}{2^n} \right]$$

$$U_o = -2 \left[1 - \frac{1}{2^n} \right] \frac{U_{REF}}{2} = -U_{REF} \left[1 - \frac{1}{2^n} \right] \cong -U_{REF}$$



11. 1. 2 Zančni D/A pretvornik



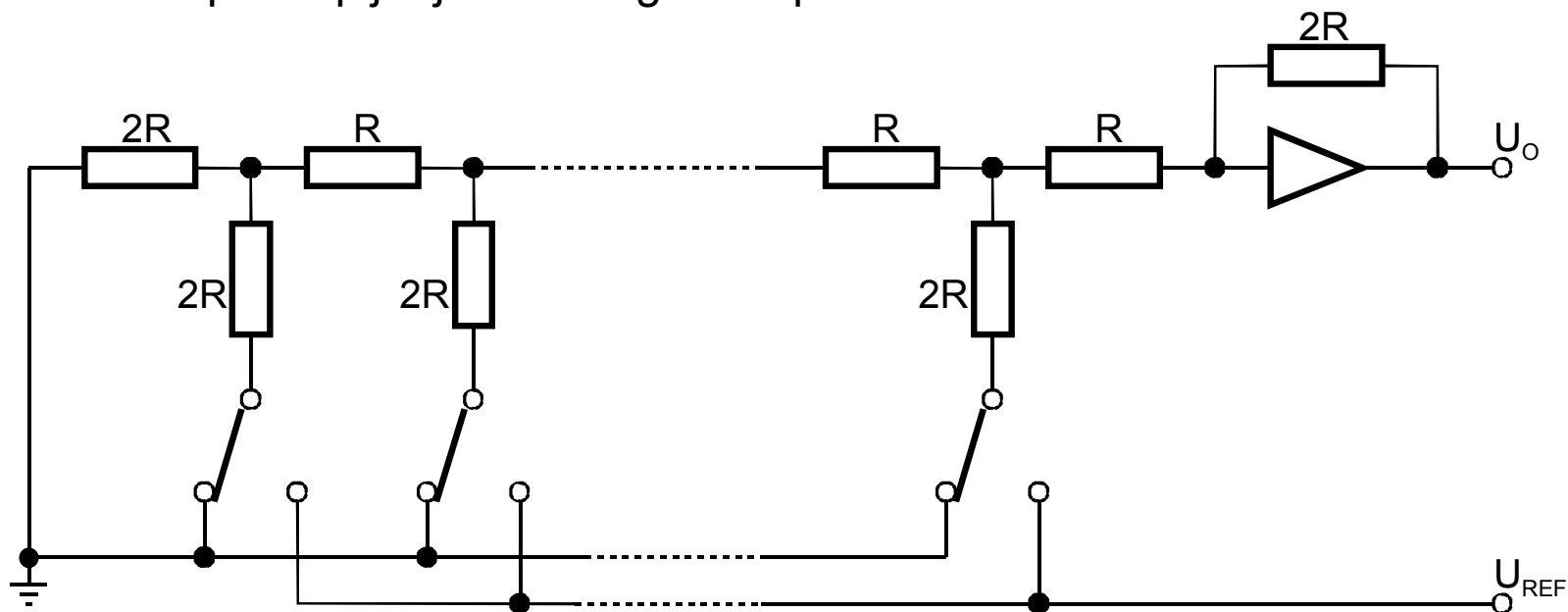
$$U_o = \frac{U_{n-1}}{2} + \frac{U_{n-2}}{4} + \frac{U_{n-3}}{8} + \dots$$

$$U_o = \left[\frac{1}{2^1} b_{n-1}^* + \frac{1}{2^2} b_{n-2}^* + \dots + \frac{1}{2^{n-1}} b_1^* + \frac{1}{2^n} b_0^* \right] U_{\text{REF}}$$

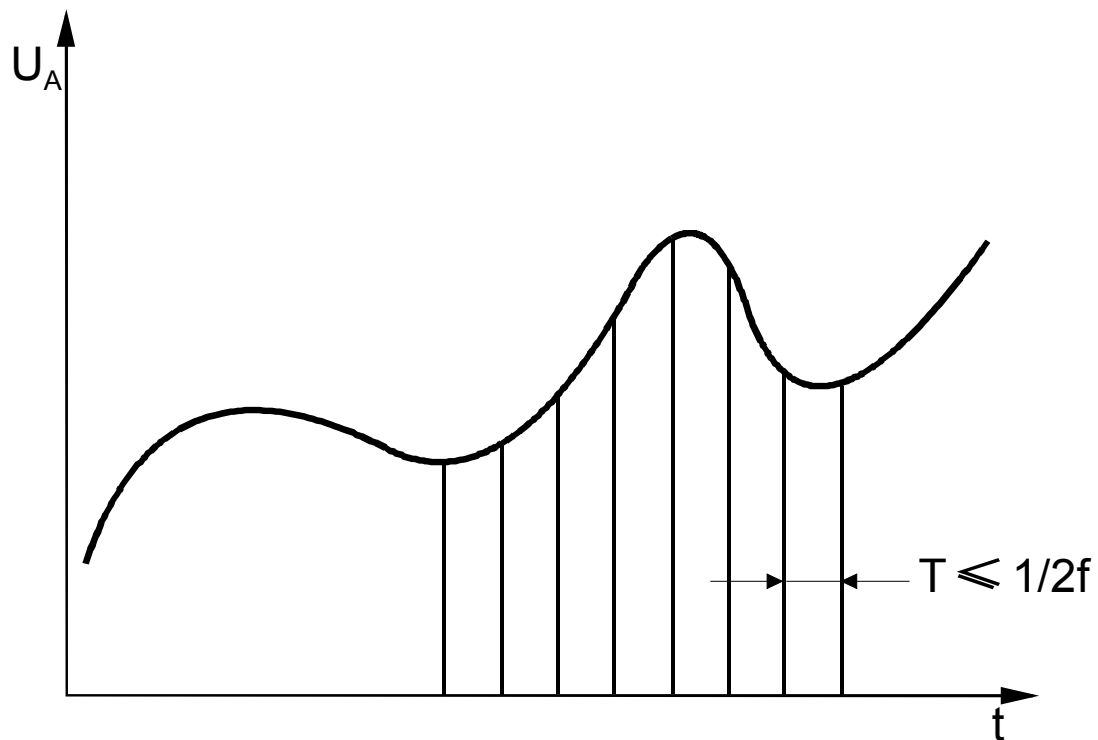
oziroma:

$$U_o = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2^0} b_{n-1}^* + \frac{1}{2^1} b_{n-2}^* + \dots + \frac{1}{2^{n-2}} b_1^* + \frac{1}{2^{n-1}} b_0^* \right] U_{\text{REF}},$$

Izvedba preklapljanja zančnega D/A pretvornika



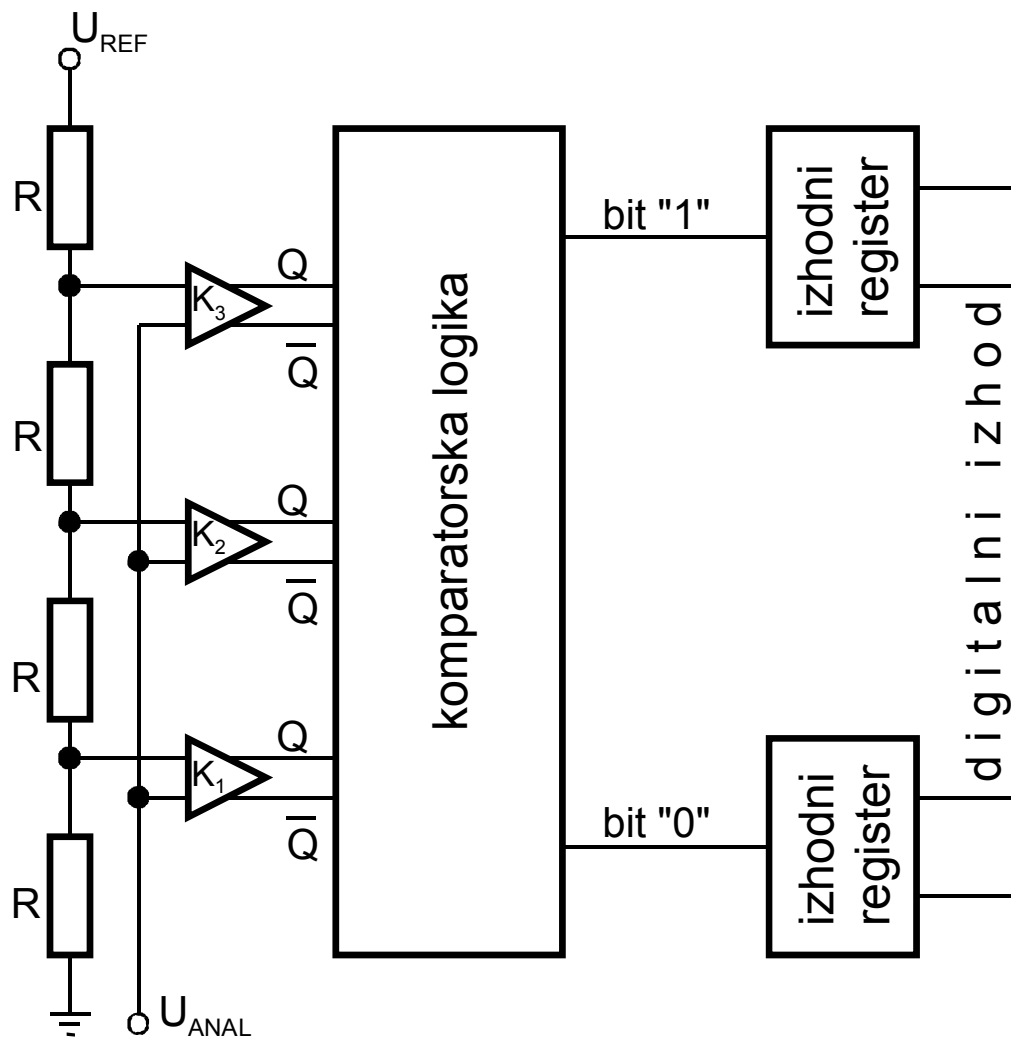
11. 2 Analogno digitalni pretvorniki



- Zajemanje signala
- Amplitudna kvantizacija
- Kodiranje diskretnega signala v digitalno vrednost

11. 2. 1 Pretvornik s hkratno pretvorbo (paralelni pretvornik)

Ta princip omogoča najhitrejšo pretvorbo analogne veličine v njeno digitalno vrednost; zahteva pa veliko število komparatorjev. Za splošni "n" bitni analogno digitalni pretvornik potrebuje $2^n - 1$ komparatorjev.



Analogni vhod (Razmerje z U_{REF})	Komparatorji			Izhodni register	
	K_3	K_2	K_1	bit 1	bit 0
0 - 0,25	0	0	0	0	0
0,25 - 0,50	0	0	1	0	1
0,50 - 0,75	0	1	1	1	0
0,75 - 1,00	1	1	1	1	1
-----	.	.	.	x	x
	.	.	.		
	.	.	.		

bit "0"

K_1			
0	1	x	x
1	x	x	0
K_3			

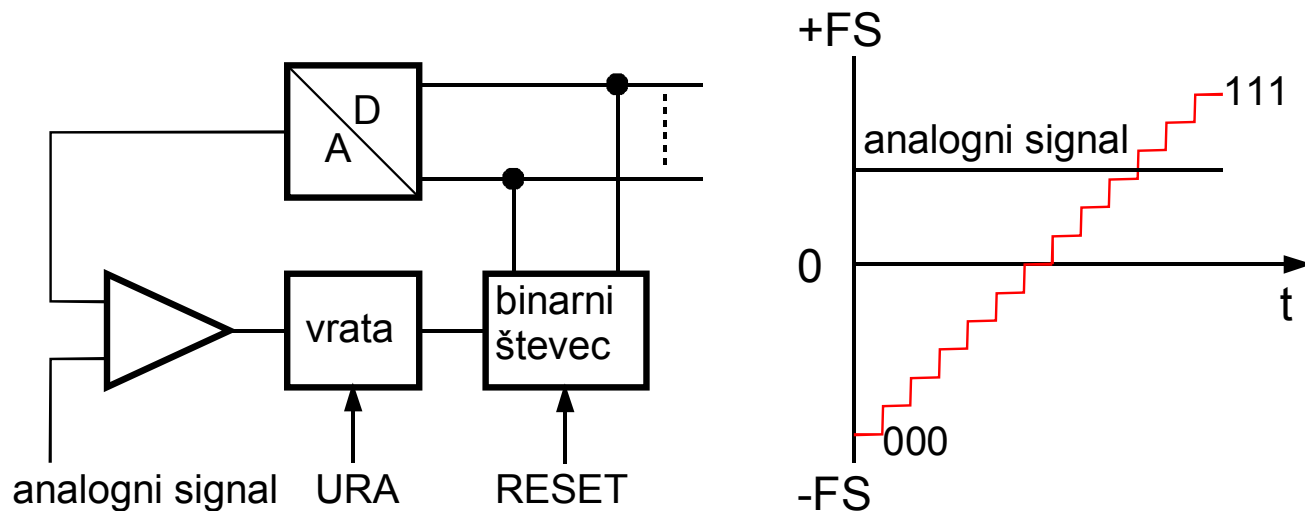
$$= K_3 + K_1 \bar{K}_2$$

bit "1"

K_1			
1	1	x	x
K_3			

$$= K_2$$

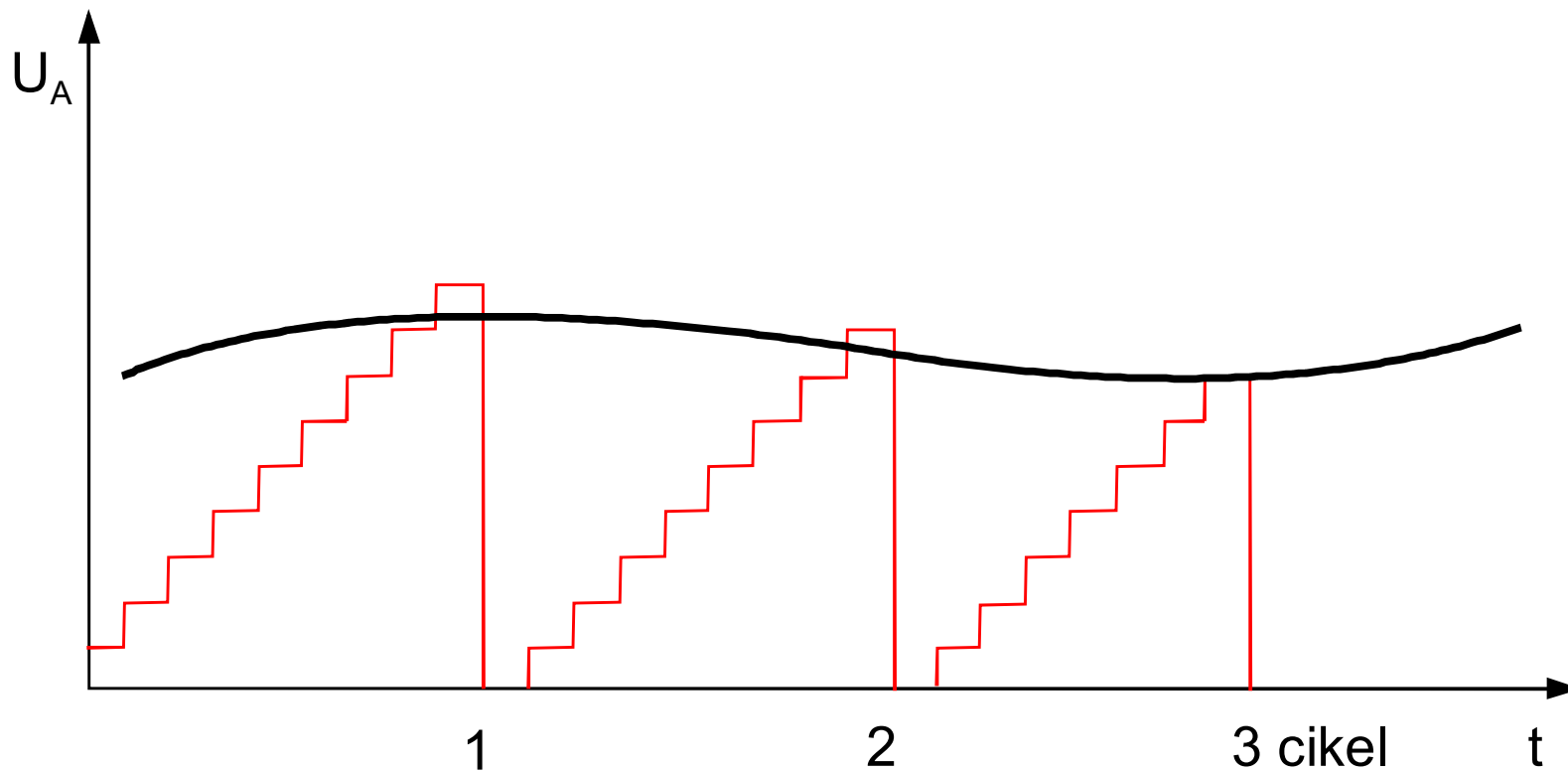
11.2.2 Štartno števeni pretvorniki



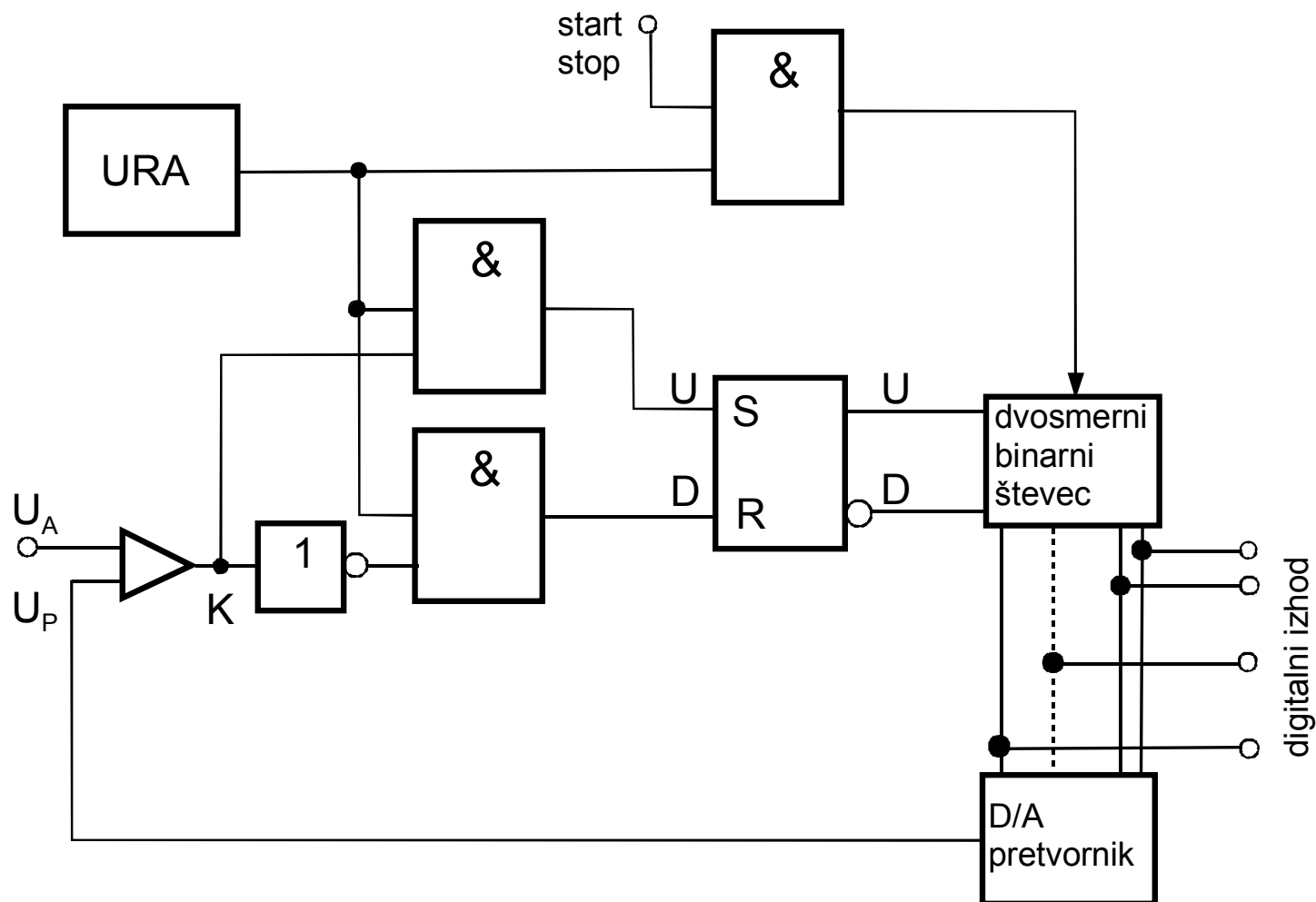
Čas pretvorbe je sedaj odvisen od velikosti analognega signala med obema skrajnima vrednostima.

Ta čas je fiksni in torej znan vnaprej samo za mejni vrednosti analognega signala.

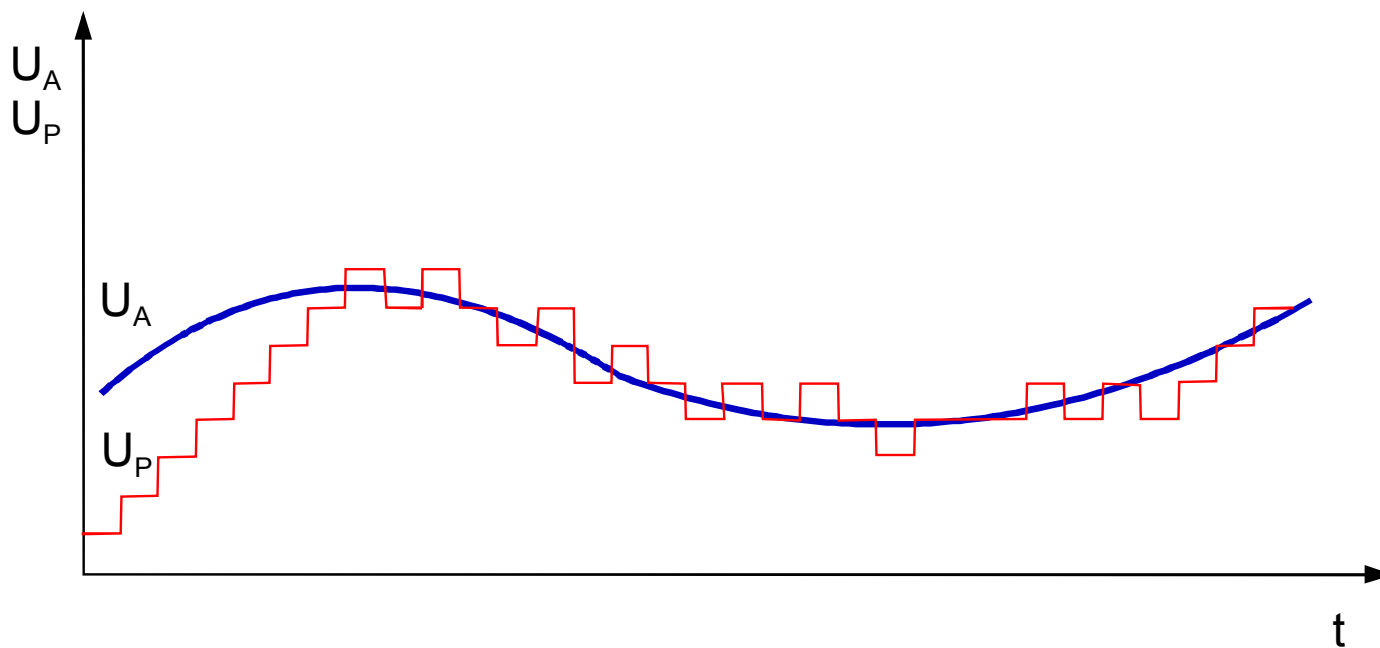
Ponavljanje ciklov startno števnice pretvorbe



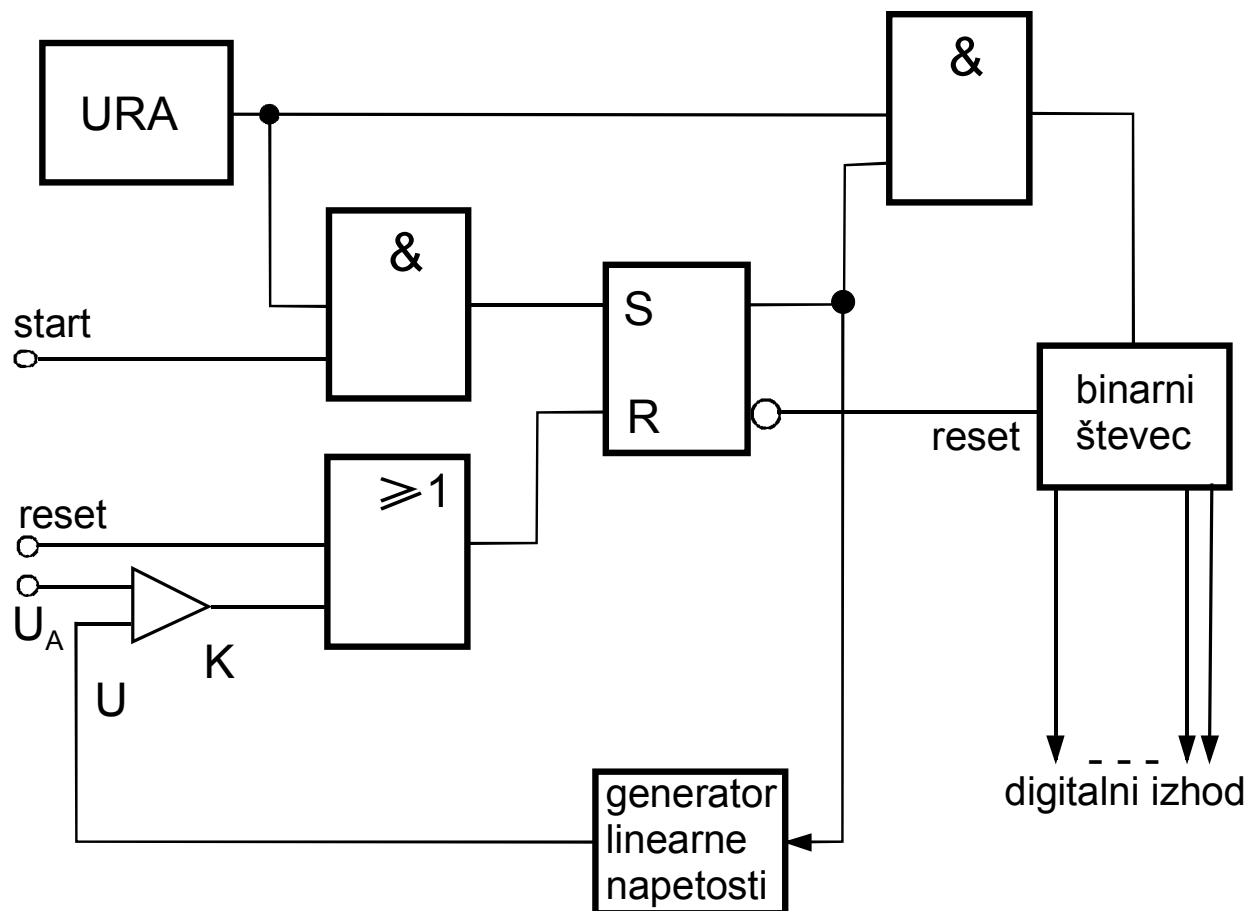
11.. 2. 3 Sledilno števniki

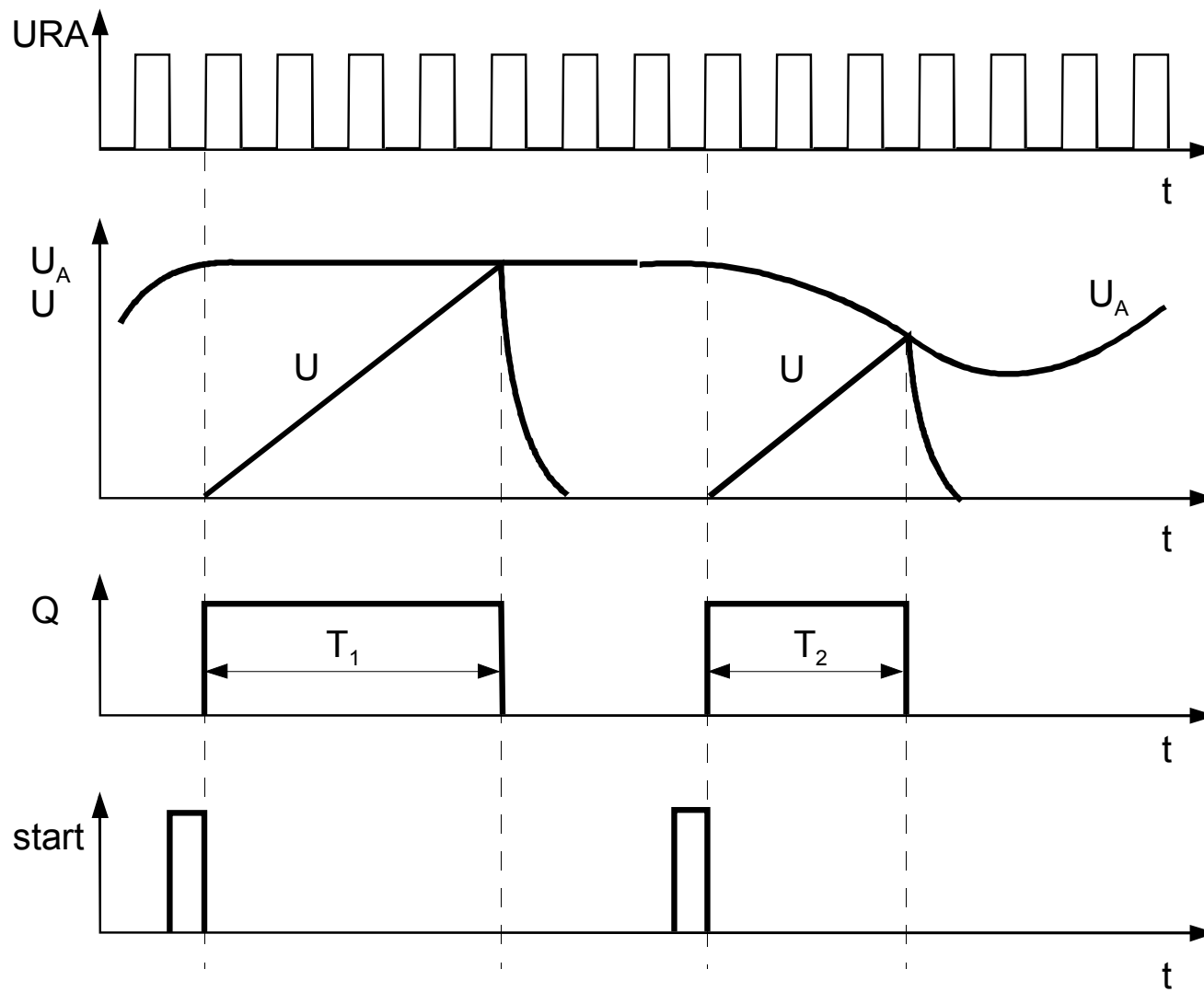


Potek pretvorbe:

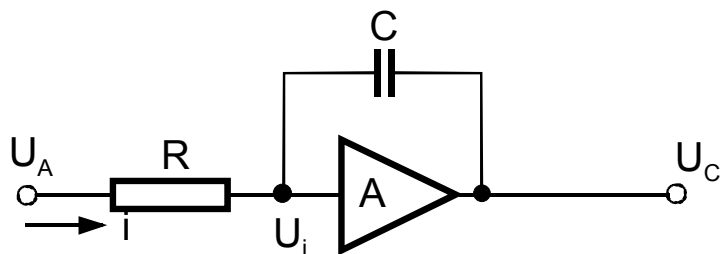


11. 2. 4 Pretvorniki s časovno kvantizacijo





11. 2. 5 Pretvorniki s frekvenčno kvantizacijo

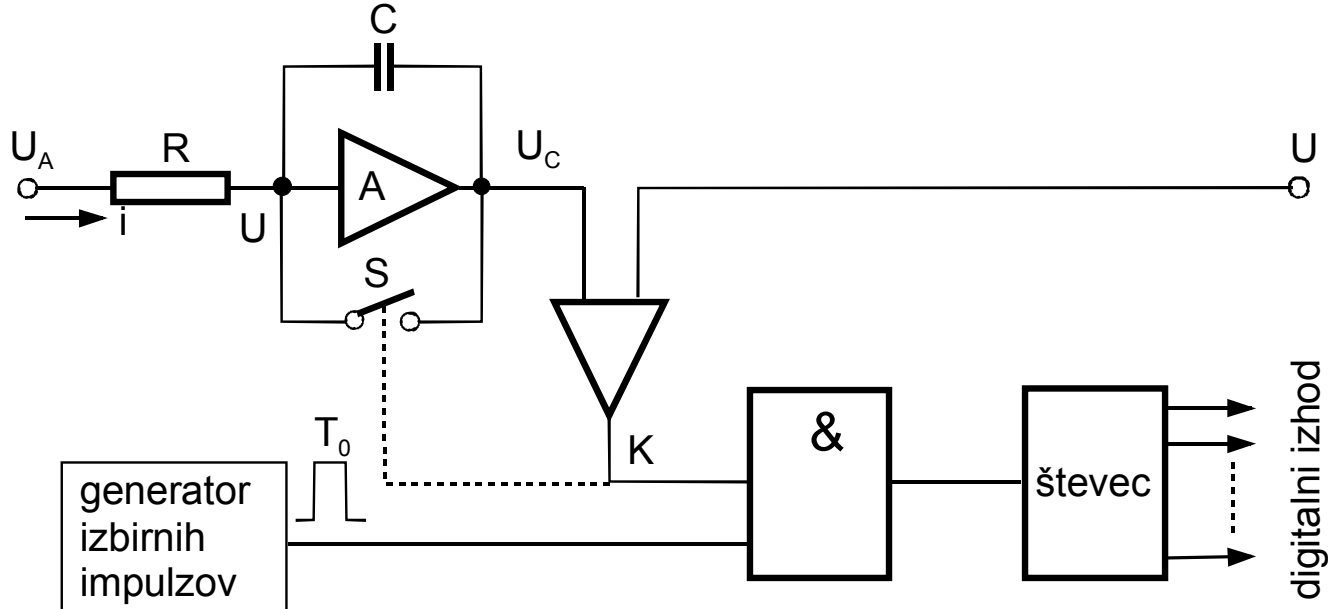


$$i = \frac{U_A - U_i}{R} = C \frac{d(U_i - U_C)}{dt}$$

$$U_i \cong 0 \quad \text{za } A \rightarrow \infty$$

$$U_A = -RC \frac{dU_C}{dt}$$

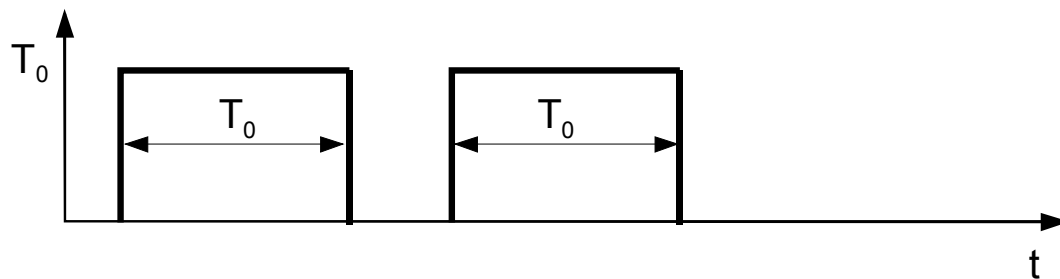
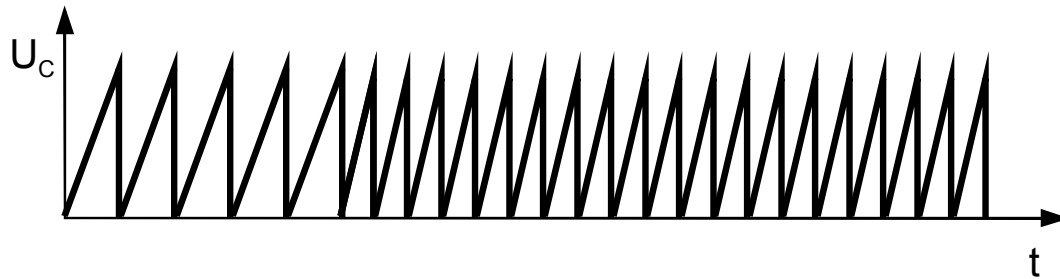
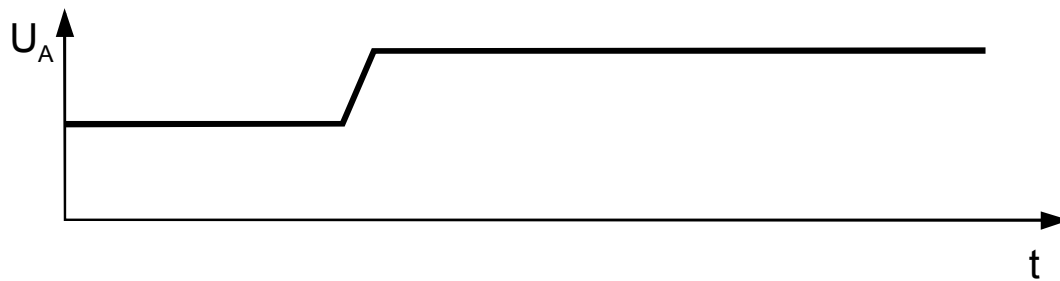
$$U_C = \int_0^t \frac{U_A}{RC} dt = \frac{U_A}{RC} t \rightarrow U_A = \frac{U_C RC}{t}$$



Čas T_1 , ko doseže U_C vrednost U , je določen iz prejšnje enačbe ob pogojih:
 $t = T_1$, $U_C = U$.

Tedaj velja: $U_A = U(RC/T_1)$;

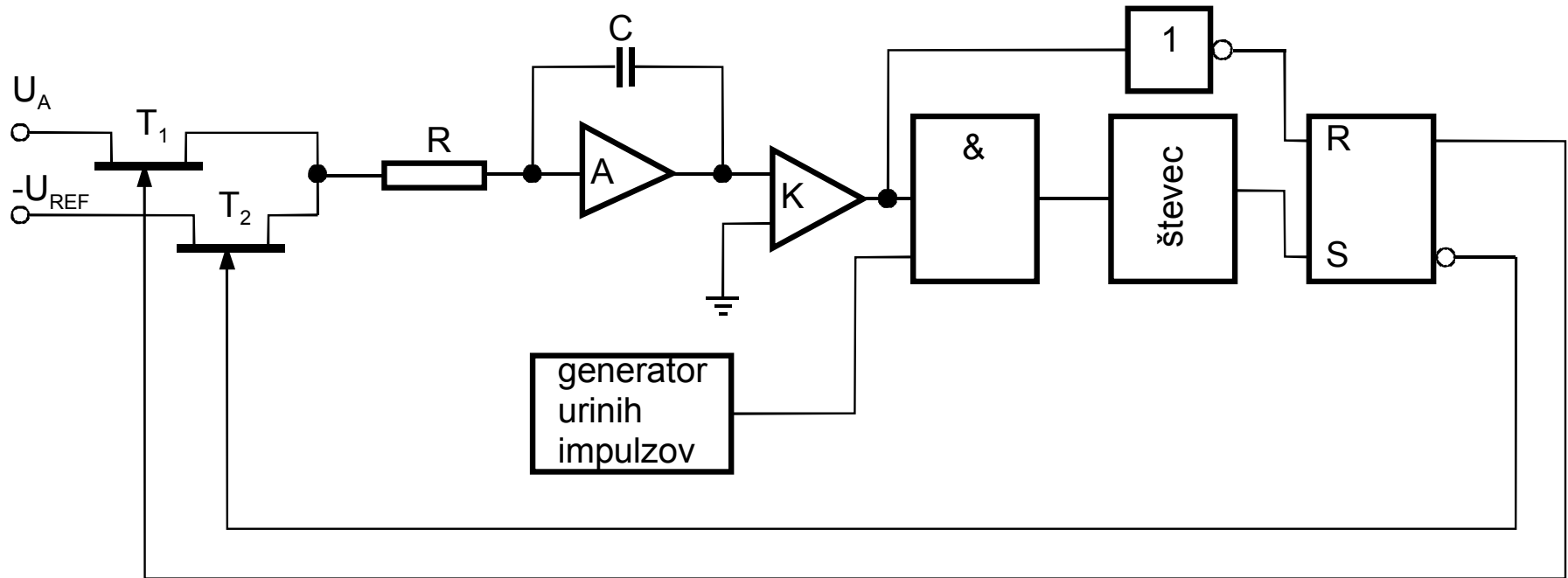
oziroma če privzamemo $T_1 = 1/f$: $U_A = URCf$



Če se na vhodu števcja pojavi f impulzov na sekundo, se jih bo v T_0 sekundah pojavilo $fT_0 = N$. Enačbo za U_A moremo tedaj pisati:

$$U_A = \frac{URC}{T_0} N = kN ; \text{ kjer } k \text{ konstanta pretvorbe}$$

11. 2. 6 Analogno digitalni pretvornik z dvojno žagasto napetostjo



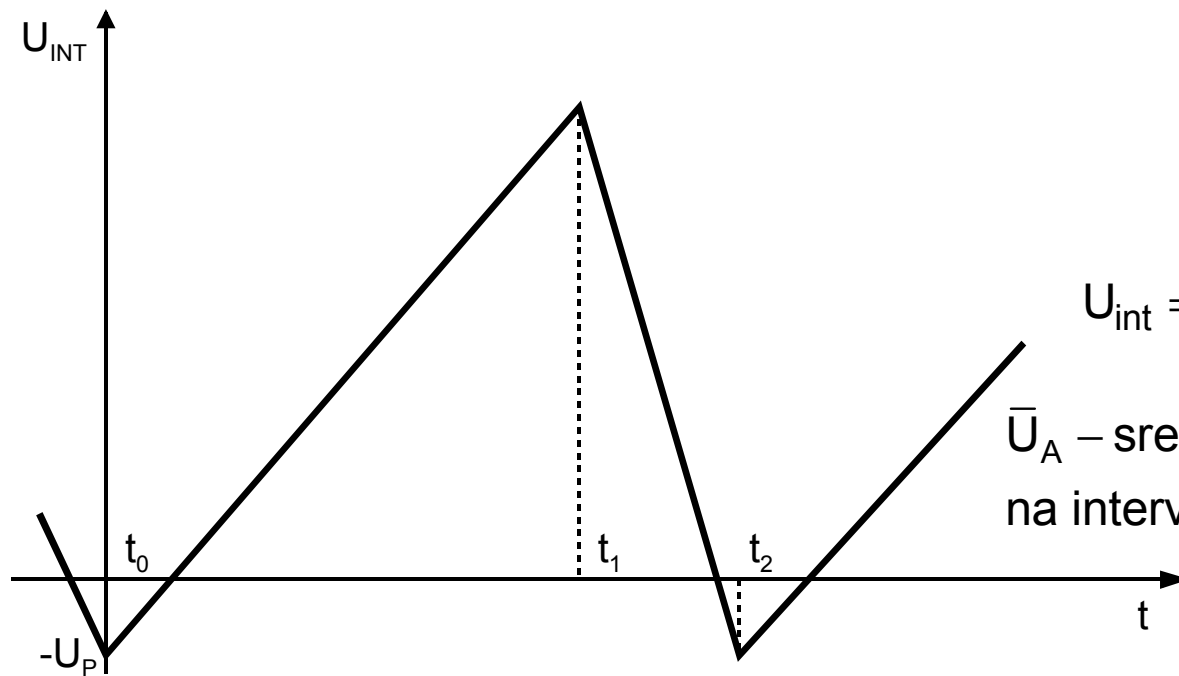
$t = 0$; oziroma $t = kT$; $k = 1, 2, 3, \dots$; števec se postavi na nič.

T_1 se odpre:

$$U_{\text{int}} = -U_P \quad (\text{idealno } U_{\text{int}} = 0);$$

kjer je: $-U_P$ napaka napetostnega komparatorja

$$U_{\text{int}} = \frac{1}{RC} \int_0^{t_1} U_A dt - U_P = \frac{1}{RC} \bar{U}_A t_1 - U_P$$



$$U_{\text{int}} = \frac{1}{RC} \int_0^{t_1} U_A dt - U_P = \frac{1}{RC} \bar{U}_A t_1 - U_P$$

\bar{U}_A – srednja vrednost vhodne napetosti
na intervalu: $0 \leq t \leq t_1$

Ker je t_1 vnaprej predpisan je:

$$U_{\text{int}} \cong \bar{U}_A$$

V trenutku t_1 števec preklopi R - S celico in s tem izključi T_1 , vključi pa T_2 .

T_2 se odpre: $t_1 \leq t \leq t_2$

Integrator sedaj integrira $-U_{\text{REF}}$.

Izhodna napetost integratorja je sedaj:

$$U_{\text{int}} = -U_P + \frac{1}{RC} \bar{U}_A t_1 - \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_{\text{REF}} dt$$

$$U_{\text{int}} = -U_P + \frac{1}{RC} \bar{U}_A t_1 - \frac{1}{RC} U_{\text{REF}} (t_2 - t_1) = -U_P$$

$$\bar{U}_A = U_{\text{REF}} \frac{t_2 - t_1}{t_1}$$

Ob $t = t_1$, ko je števec dosegel prednastavitev, se hkrati tudi sam resetira in začne šteti znova.

V času $t_1 - t_2$ števec prešteje do "N"

$$t_2 - t_1 = \frac{N}{f_{\text{URE}}}; \quad t_1 = \frac{2n}{f_{\text{URE}}}$$

$$\bar{U}_A = U_{\text{REF}} \frac{t_2 - t_1}{t_1} = U_{\text{REF}} \frac{N}{f_{\text{URE}}} \frac{f_{\text{URE}}}{2n} = U_{\text{REF}} \frac{N}{2n}$$

Vhodna napetost je torej proporcionalna preštetim impulzom v drugi fazi pretvorbe.

Prednosti in slabosti:

velika točnost pretvorbe,

enostavnost pretvornika brez zahtev za točnost posameznih elementov,

U_A ni odvisna od integracijske konstante RC,

frekvenca urinih impulzov ne potrebuje dolgotrajne časovne stabilnosti (potrebna je le znotraj enega cikla pretvorbe),

neobčutljivost na šum, ker je integracija vhodne napetosti neodvisna od njene velikosti,

nizka hitrost pretvorbe.

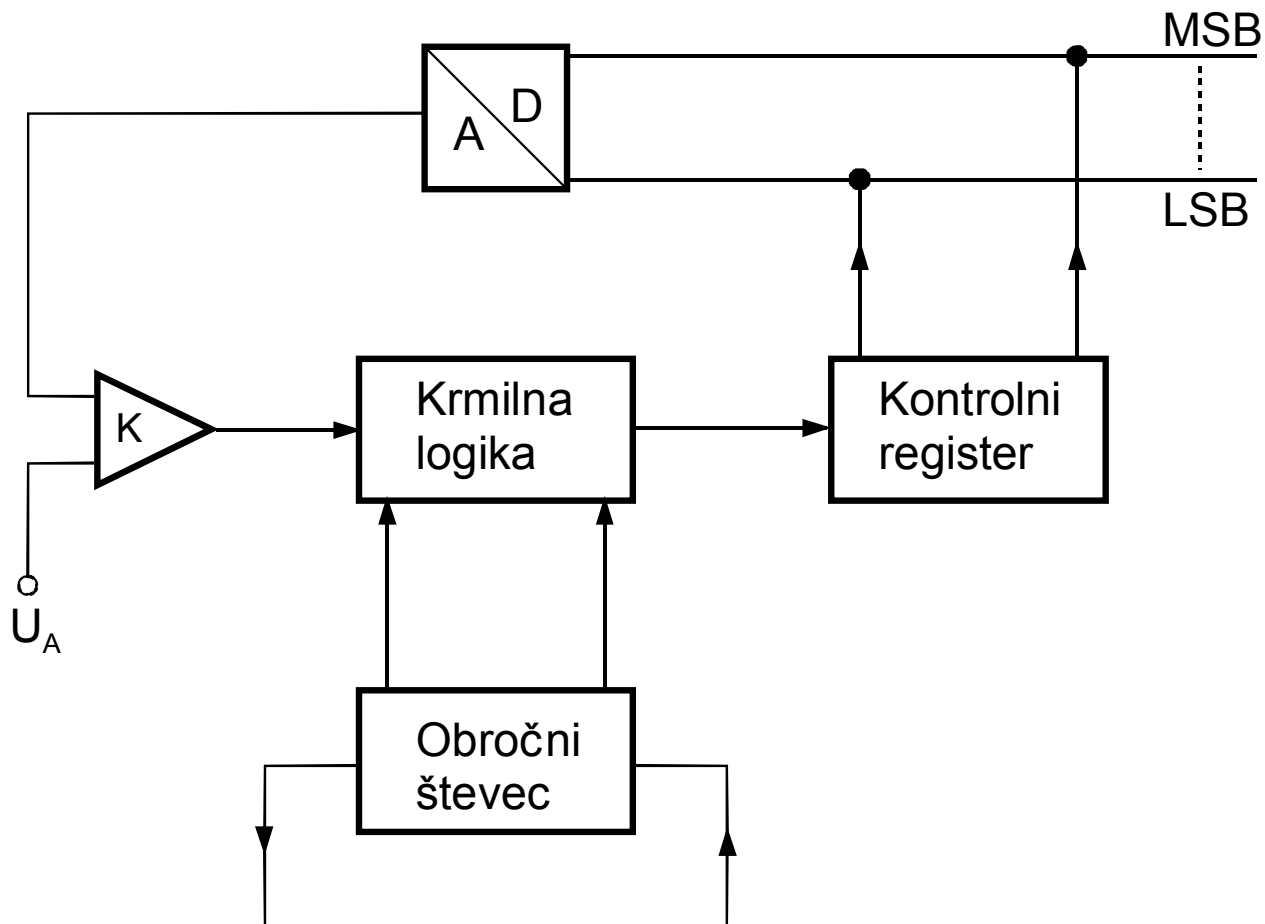
Viri napak:

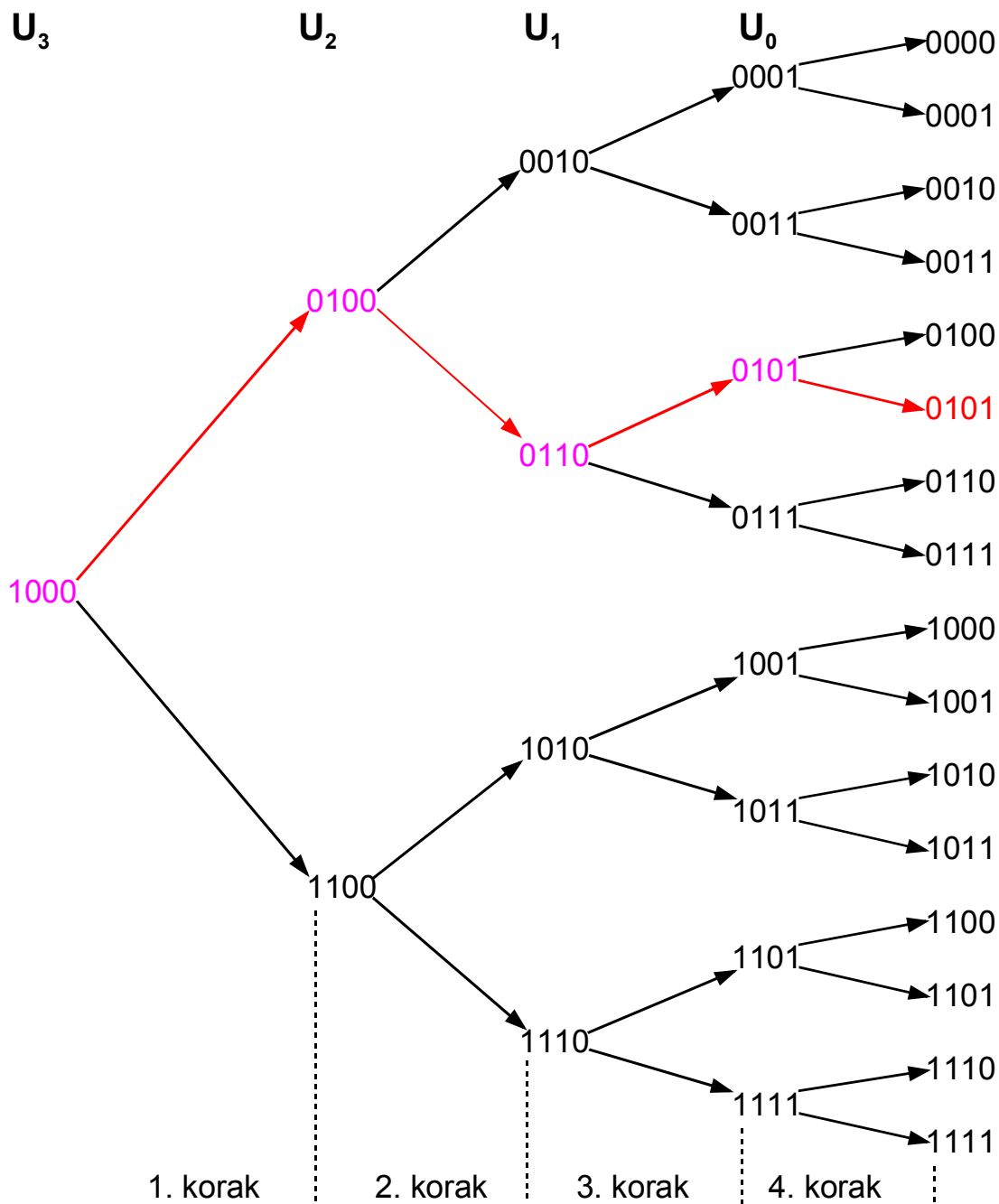
neidealnost preklopnih lastnosti tranzistorjev T_1 in T_2 ,

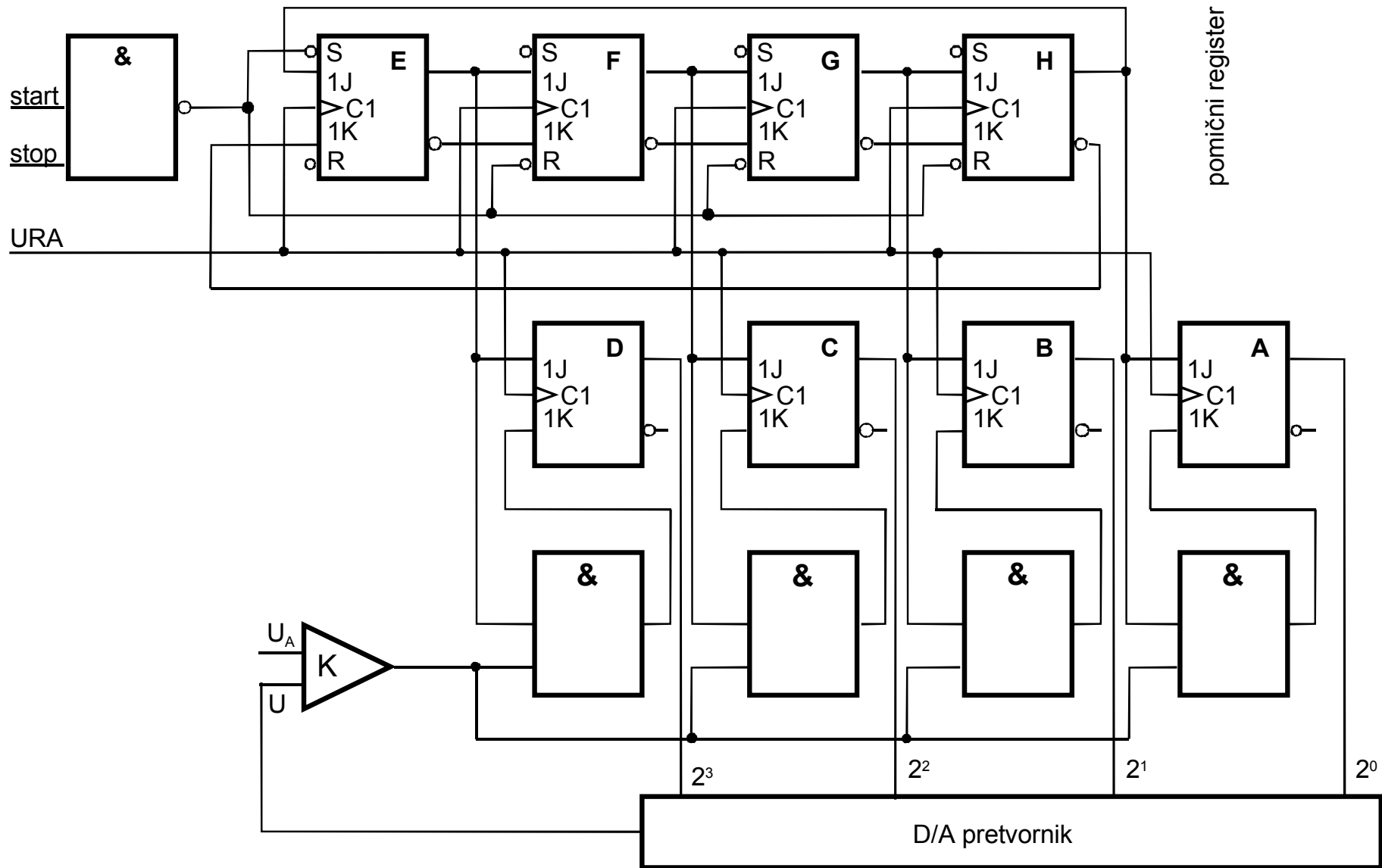
netočnost in nesatbilnost referenčnega vira,

nelinearnost integratorja.

11. 2. 7 Pretvorniki s postopno (sukcesivno) A/D pretvorbo







11. 3 Karakteristične lastnosti D/A in A/D pretvornikov

11. 3. 1 Napaka kvantizacije

$$1 \text{ LSB} = \frac{\text{Napetostno območje}}{2^n} = \frac{\text{Referenčno območje}}{2^n}$$

n - število bitov pretvornika

Primer:

U = 12V, $U_{\text{REF}} = 10\text{V}$ - bipolarna pretvorba, n = 12

$$\text{LSB} = \frac{20}{4096} = 4,88\text{mV} \rightarrow 0,025\%$$

11. 3. 2 Območje pretvorbe (FSR)

$$\text{FSR} = \text{Napetostno območje} \frac{2^n - 1}{2^n} = U_{\text{REF}} \frac{2^n - 1}{2^n}$$

Primer:

$$U = 12\text{V}, \quad U_{\text{REF}} = 10\text{V} - \text{monopolarna pretvorba, } n = 12$$

$$\text{FSR} = 10 \frac{2^{12} - 1}{2^{12}} = 10 \frac{4095}{4096} = 9,998\text{V}$$

Splošno bo zato veljalo:

$$\text{FSR} = U_{\text{REF}} - \text{LSB}$$

11. 3. 3 Napaka zaradi kodiranja

0 → 1 hitrejši prehod

1 → 0 počasnejši prehod

Pomagamo si z vpeljavo časovnih pravil in ustreznih kod (Gray koda)

11. 3. 4 Ločljivost, pogreški in nelinearnost

Ločljivost analogno digitalnega pretvornika je določena s številom nivojev na katere je razdeljeno področje vhodne analogne napetosti. Zato se ločljivost izraža s številom bitov izhodne besede:

10 bitni analogno digitalni pretvornik

Področje se razdeli na $1023 = 1024 - 1$ diskretnih nivojev

Ločljivost je $1/(2^n - 1)$, kjer je "n" število bitov izhodne besede. Ker pa je:

$2^n \gg 1$, je ločljivost pretvornika kar $1/2^n$.

Vhodna napetost se v pretvorniku lahko določi le do določenega števila kvantizacijskih nivojev. Pogrešek, ki nastopi zaradi tega se imenuje kvantizacijski pogrešek. Ta pogrešek lahko znaša maksimalno:

$\pm \frac{1}{2}$ vrednosti najnižjega bita v izhodni besedi pretvornika.

Mera pogreška analogno digitalnega pretvornika se izraža v enotah vhodnih vrednosti na mestih prehoda med kvantizacijskimi nivoji. Prehod iz prvega na drugi kvantizacijski nivo se lahko ne pojavi točno na nivoju $1/2$ vrednosti, ki odgovarja bitu z najnižjo vrednostjo v izhodni besedi pretvornika; zaradi tega se pojavi pogrešek, ki ga povzroča napetostni pomik.

Da se izognemo tej napaki zahtevamo ustrezne prehode v A/D pretvorniku.

Unipolarna pretvorba:

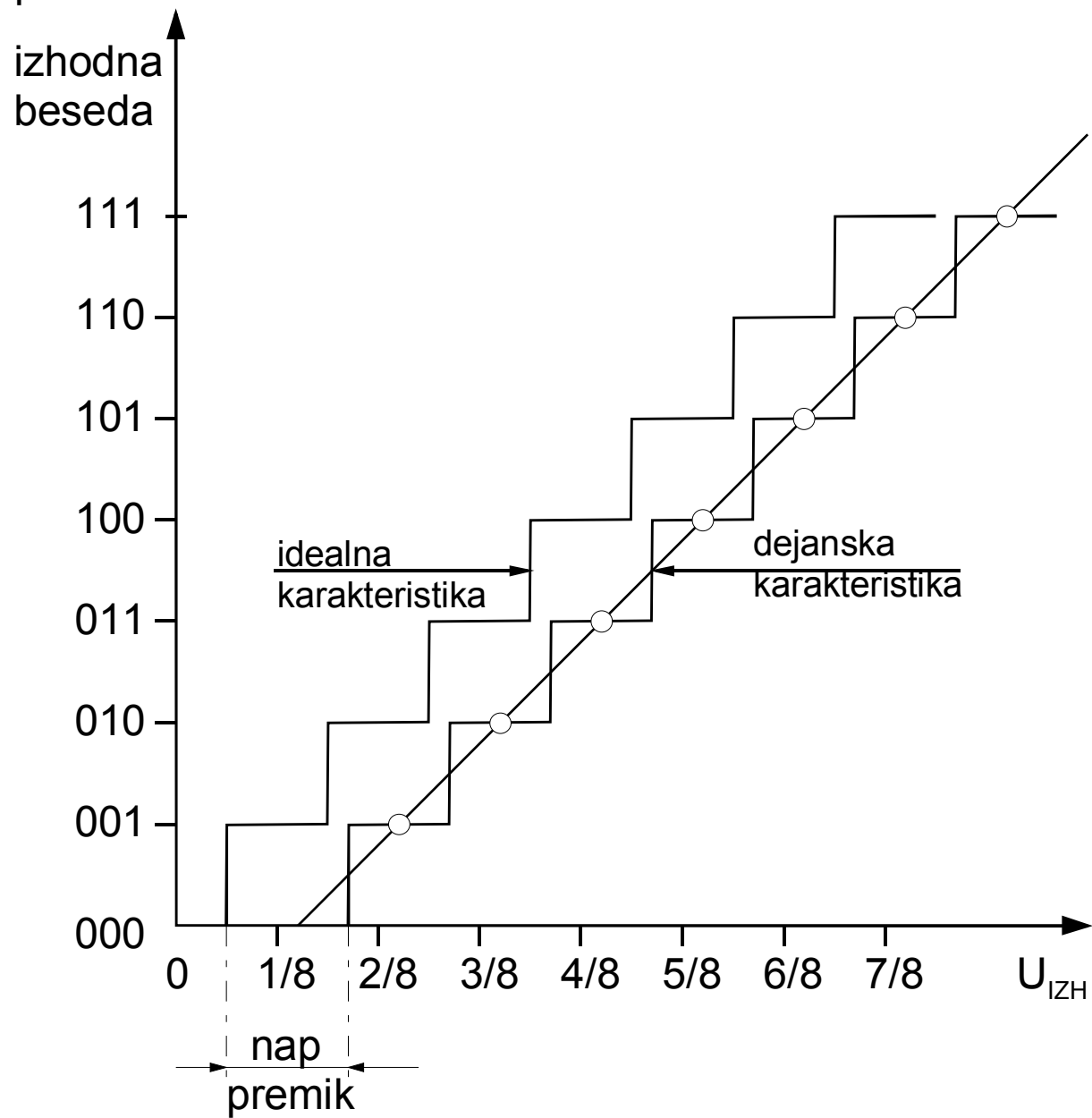
1. prehod $1/2$ LSB nad "0"

Bipolarna pretvorba:

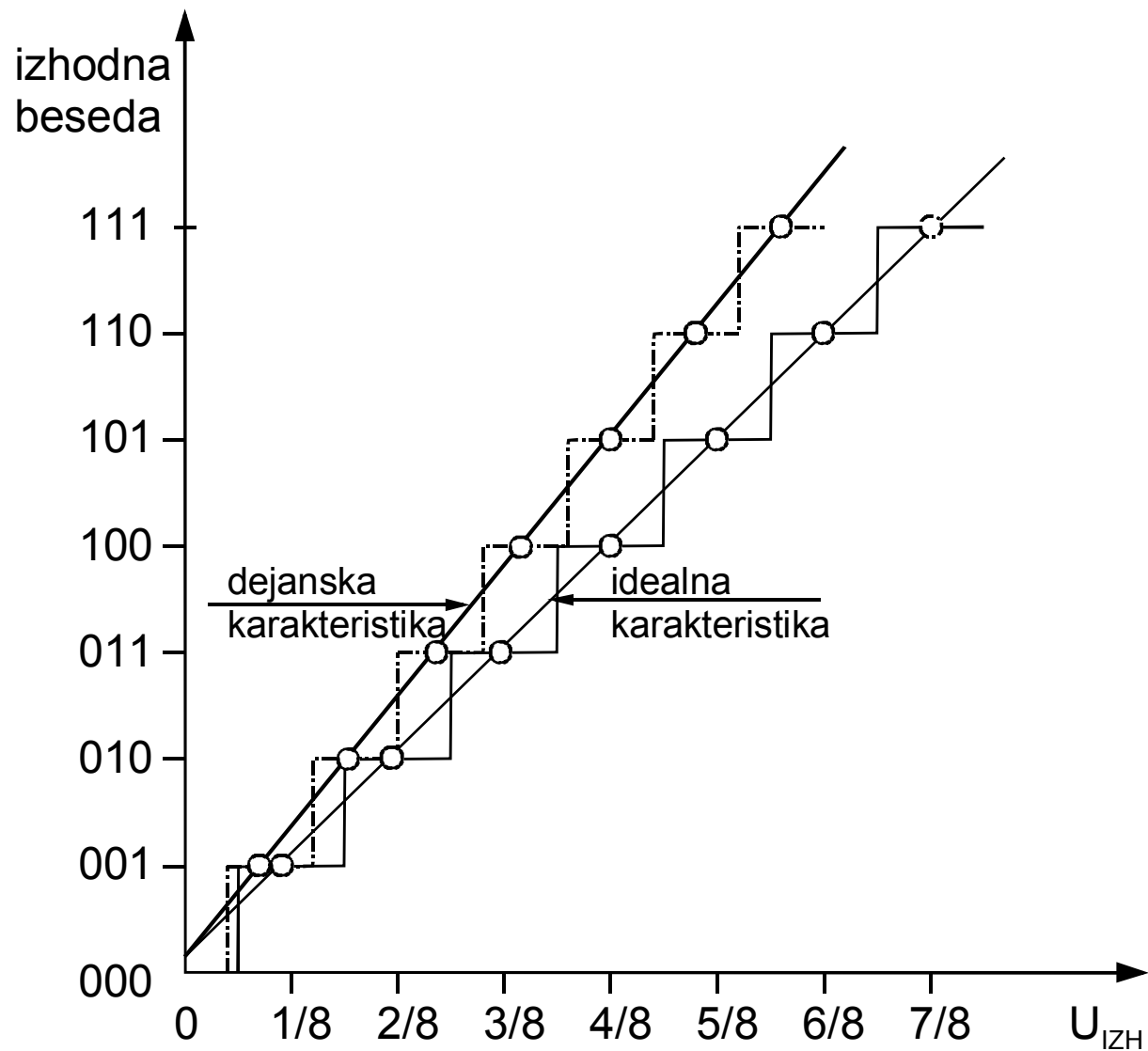
prehod skozi "0"; $0111\dots111 \rightarrow 1000\dots000$ $1/2$ LSB pod "0"

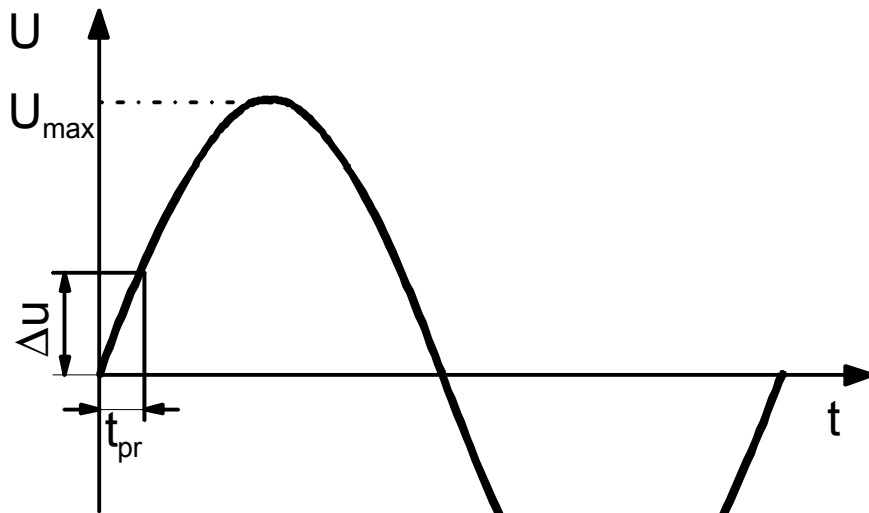
zadnji prehod $111\dots110 \rightarrow 111\dots111$ $1,5$ LSB pod referenčno napetostjo

11. 3. 5 Napaka zaradi napetostnega premika digitalno analognega pretvornika



11. 3. 6 Pogrešek ojačenja analogno digitalnega pretvornika:





$$u = U_{\max} \sin \omega t$$

$$u \cong t U_{\max} 2\pi f$$

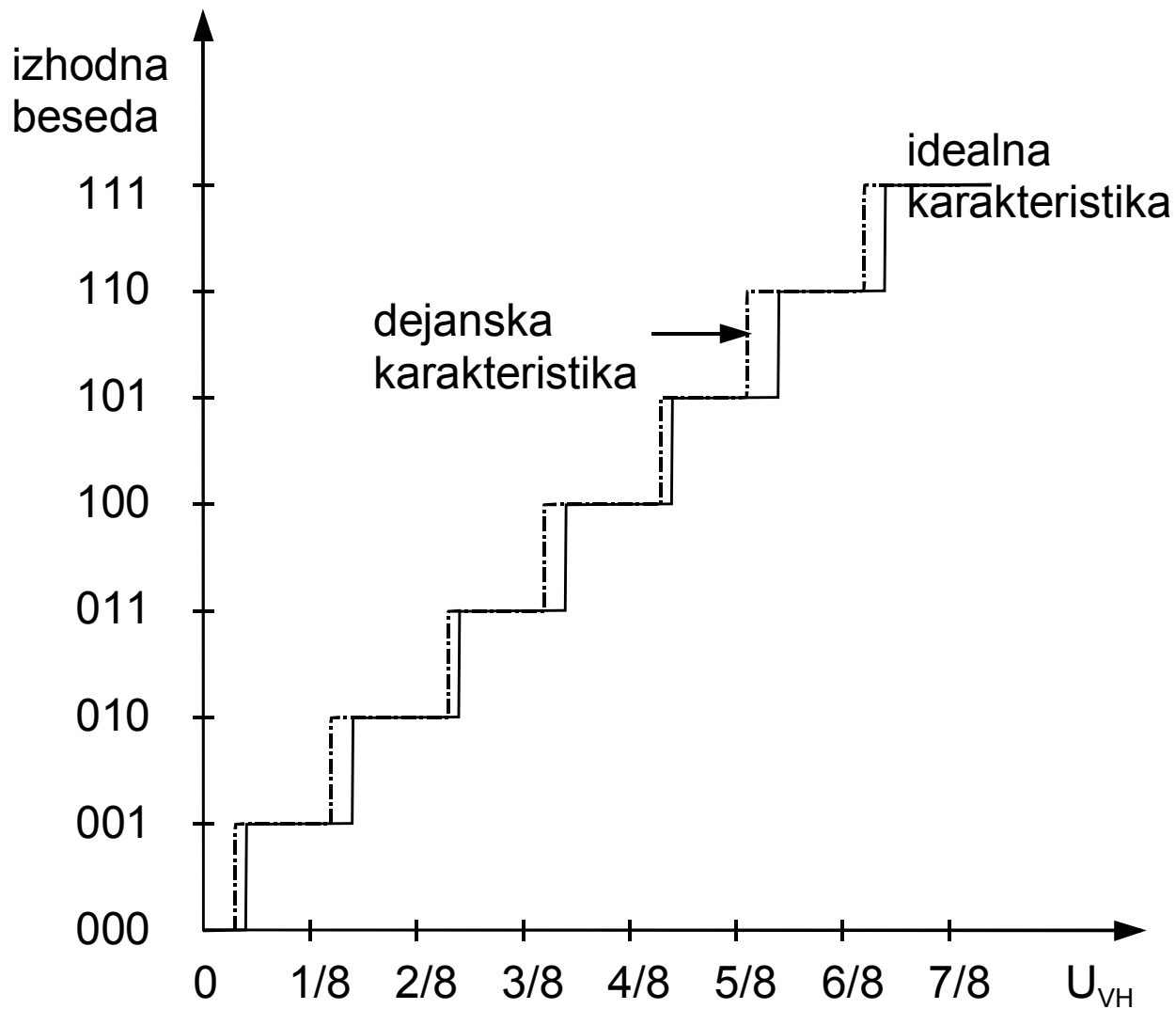
$$\Delta u = U_{\max} 2\pi f t_{\text{pret}}$$

To je hkrati maksimalen možni pogrešek pri pretvorbi sinusne napetosti, ki ga povzroča čas pretvorbe.

$$f_{\max} = \frac{\Delta u}{2U_{\max} t_{\text{pret}}}$$

Ta pogrešek bistveno zmanjšamo s pomočjo vzorčevalno zadržnega vezja (S/H).

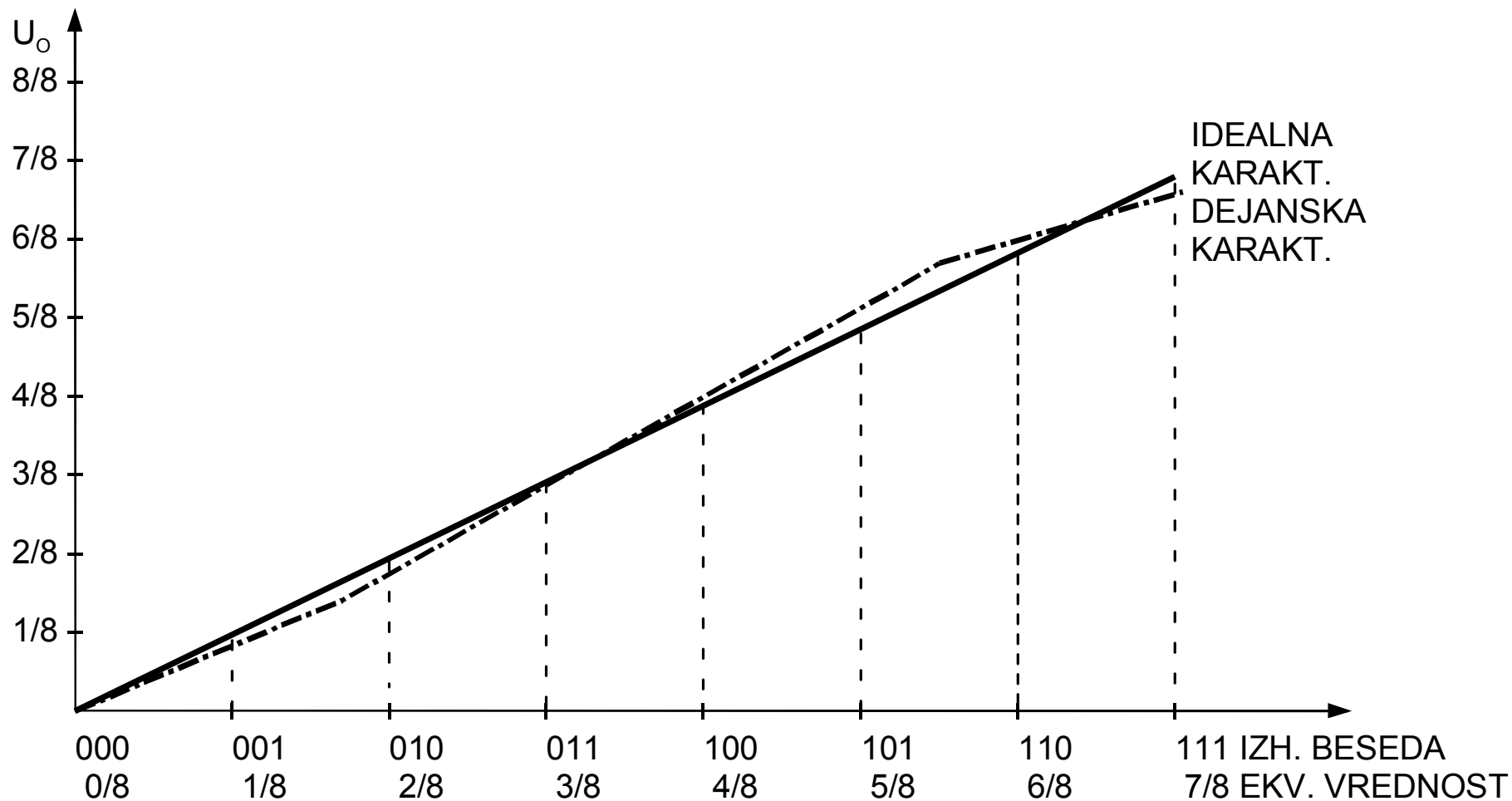
11. 3. 7 Nelinearnost analogno digitalnega pretvornika:



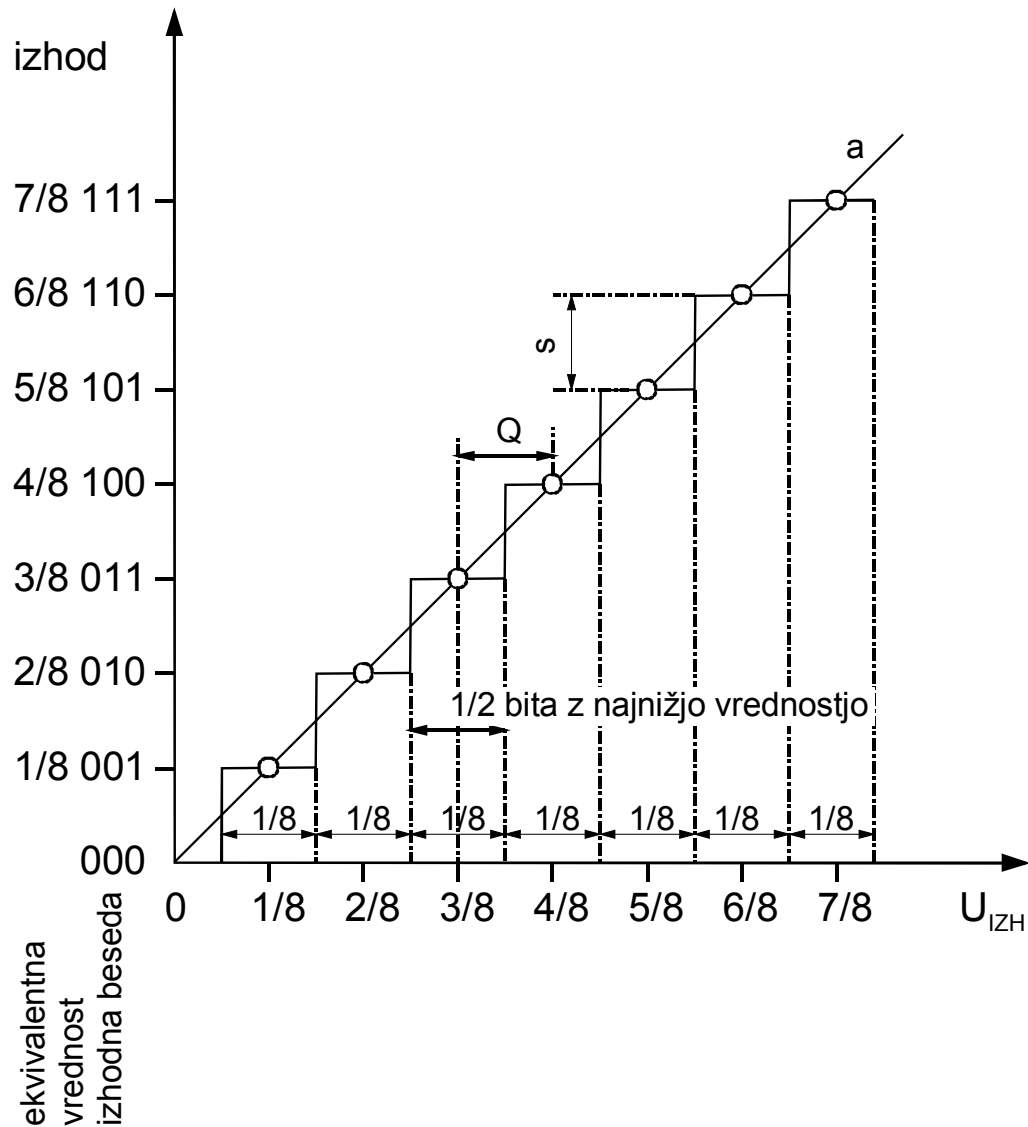
11. 3. 8 Nelinearnost digitalno analognih pretvornikov

Nelinearnost digitalno analognega pretvornika (relativna točnost ali nelinearnost končnega dosega) je definirana kot maksimalno odstopanje od premice, ki gre skozi točko nič in točko dosega (po opravljeni izravnavi).

Običajno ni večja od $\pm \frac{1}{2} \text{LSB}$.



Analogno digitalni pretvorniki imajo praviloma veliko število kvantizacijskih nivojev, zato je koristno razlikovati integralno in diferencialno nelinearnost. Le kadar so vsa središča kvantizacijskih nivojev na isti premici "a" je pretvorba linearna.



Integralna nelinearnost je definirana s standardno razliko med maksimalno in minimalno strmino spojnice središč kvantizacijskih nivojev:

$$N_{\text{int}} = \frac{k_{\text{max}} - k_{\text{min}}}{k_{\text{sr}}};$$

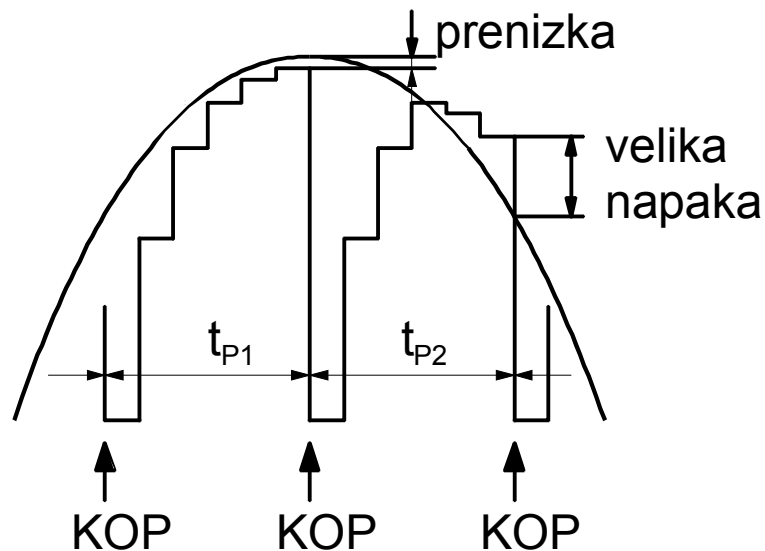
$$k = \frac{dU_{\text{izh}}}{dU_{\text{vh}}}$$

Značilna integralna nelinearnost deset bitnega analogno digitalnega pretvornika s postopno pretvorbo ni večja od $\pm 10^{-3}$.

Diferencialna nelinearnost je definirana z razliko višin kvantizacijskih nivojev:

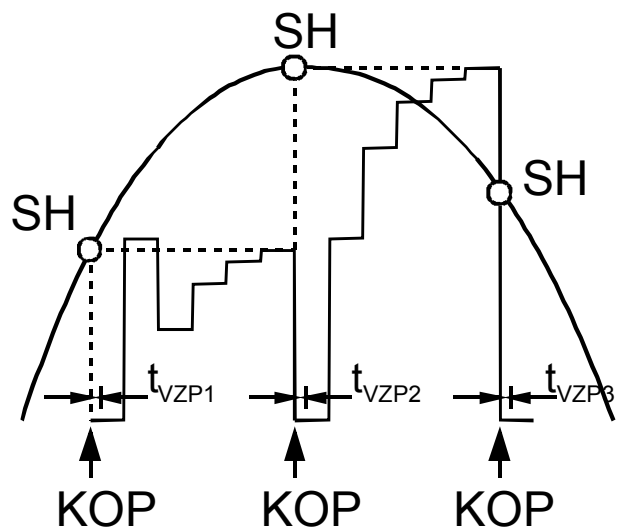
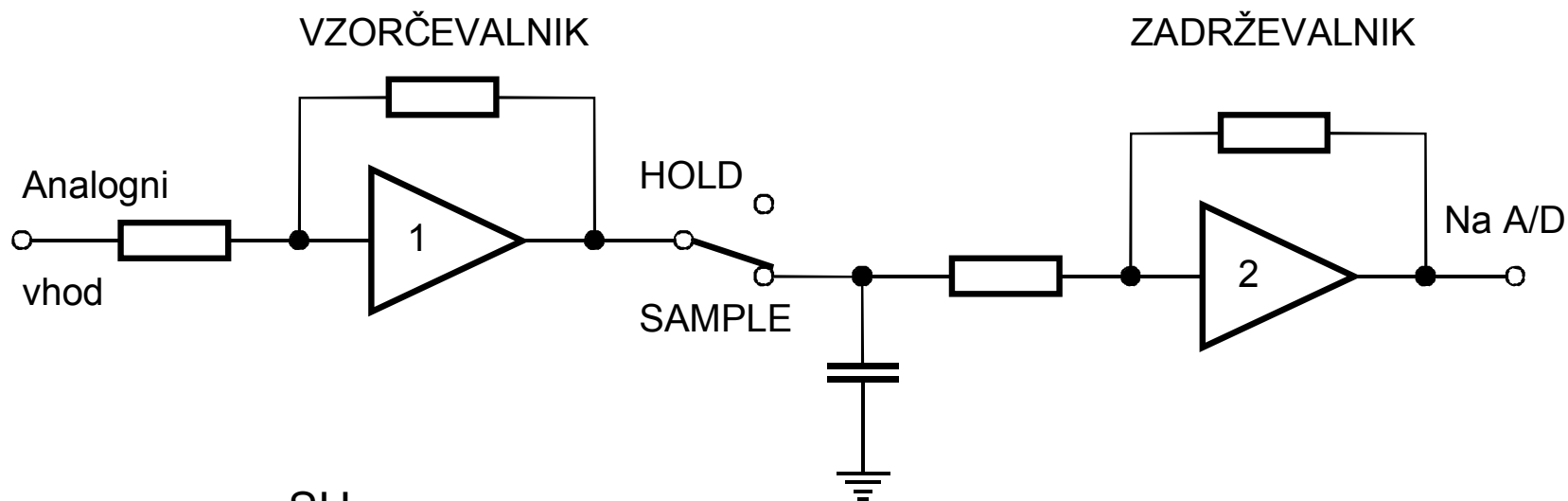
$$N_{\text{dif}} = \frac{S_{\text{max}} - S_{\text{min}}}{S_{\text{sr}}}$$

11. 3. 9 Negotovost analogno digitalne pretvorbe



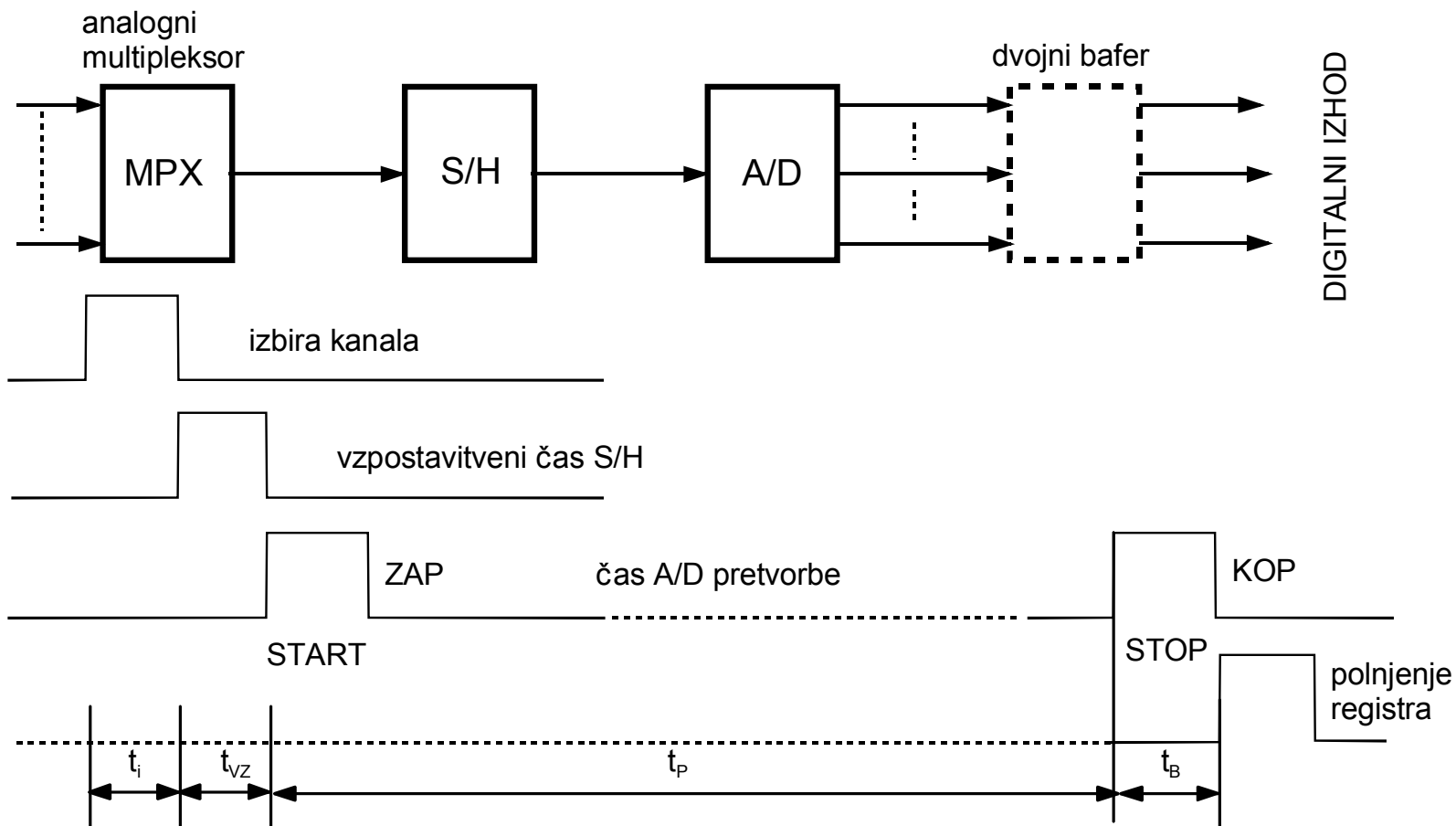
Za pravilno delovanje A/D pretvornika mora biti rešen problem negotovosti pretvorbe; oziroma nedoločljivosti trenutka, kateremu pripada pretvorjena vrednost. Ta negotovost je odvisna od principa A/D pretvornika. Pri števnem principu je to zadnji korak; pri sukcesivnem principu pa je to celoten čas pretvorbe.

Negotovost pretvorbe bistveno zmanjša zadrževalnik.



Negotovost se zmanjša v razmerju časov $t_S/t_{\text{pretv.}}$.

11. 3. 10 Hitrost pretvorbe analognih signalov



$$\text{hitrost pretvorbe} = \frac{1}{t_i + t_{vz} + t_p + t_B}$$

To hitrost dosežemo le, če analogno digitalni pretvornik sproži novo pretvorbo takoj, ko je dokončal prejšnjo.