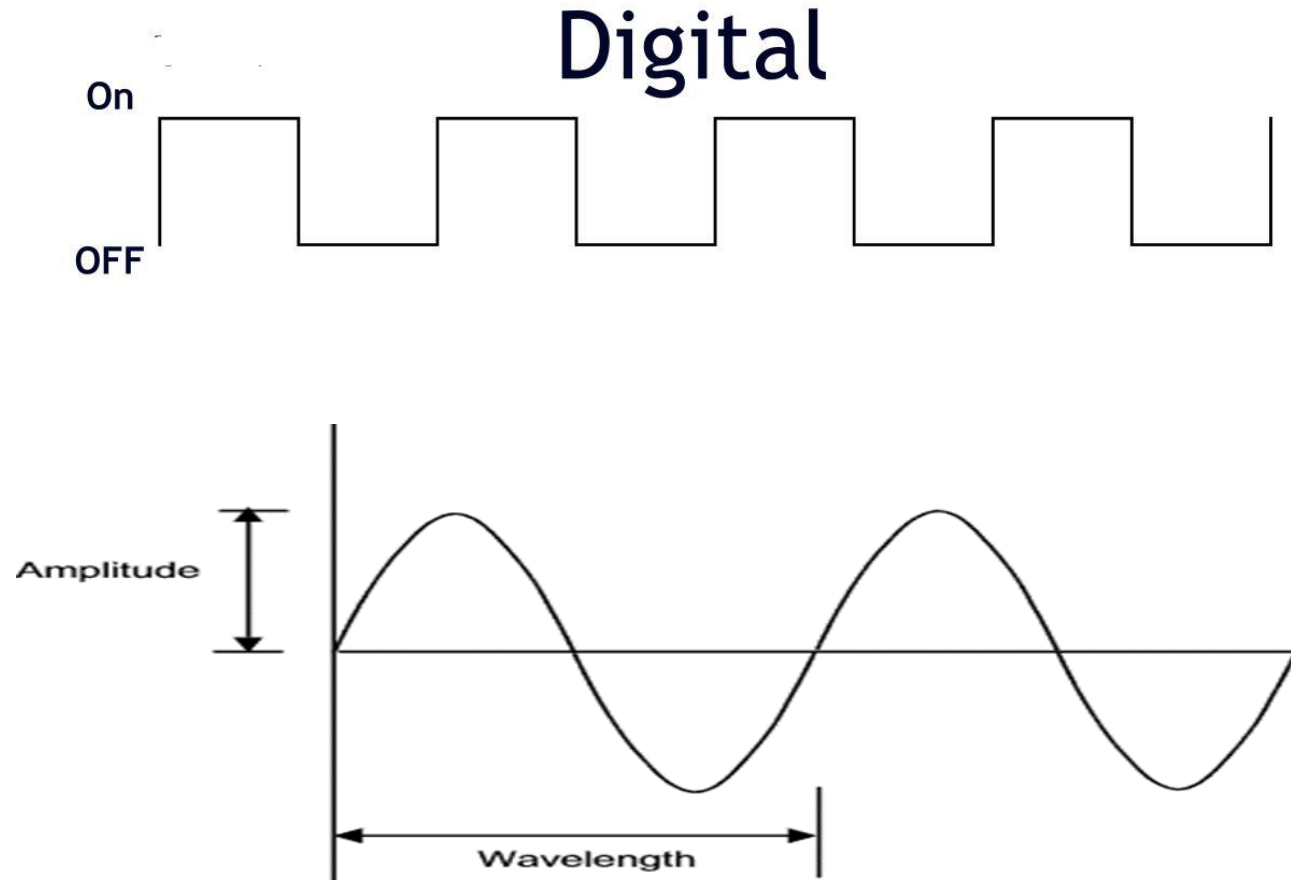


# **DIGITALNA LOGIKA**

**Analogno-digitalna  
i  
digitalno-analogna  
pretvorba**

# Izgled digitalnog i analognog signala



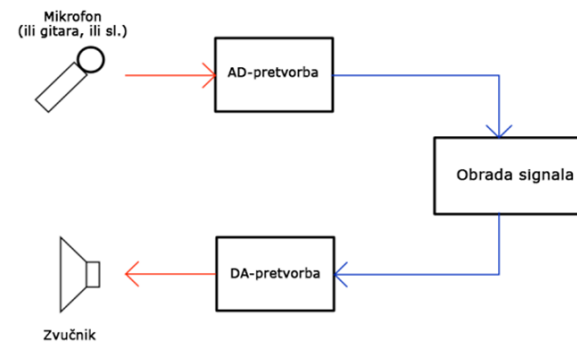
ANALOGNI signal – kontinuiran u vremenu

DIGITALNI signal – diskretan (ima vrijednost u točno određenim trenucima)

Analogni signal: sinusoidalni signal (zvuk, govor, svjetlo, itd.)

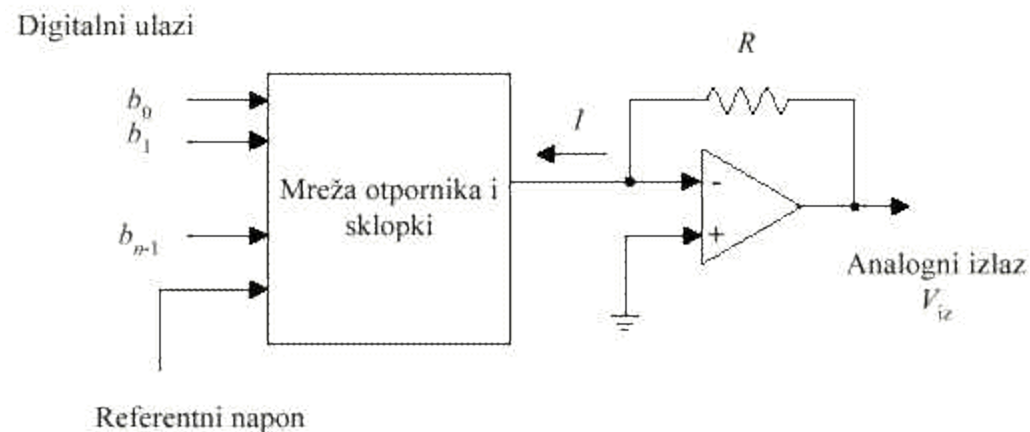
Digitalni signal: slijed diskretnih impulsa.

- potreba za pretvorbom analognog u digitalni, i obrnuto



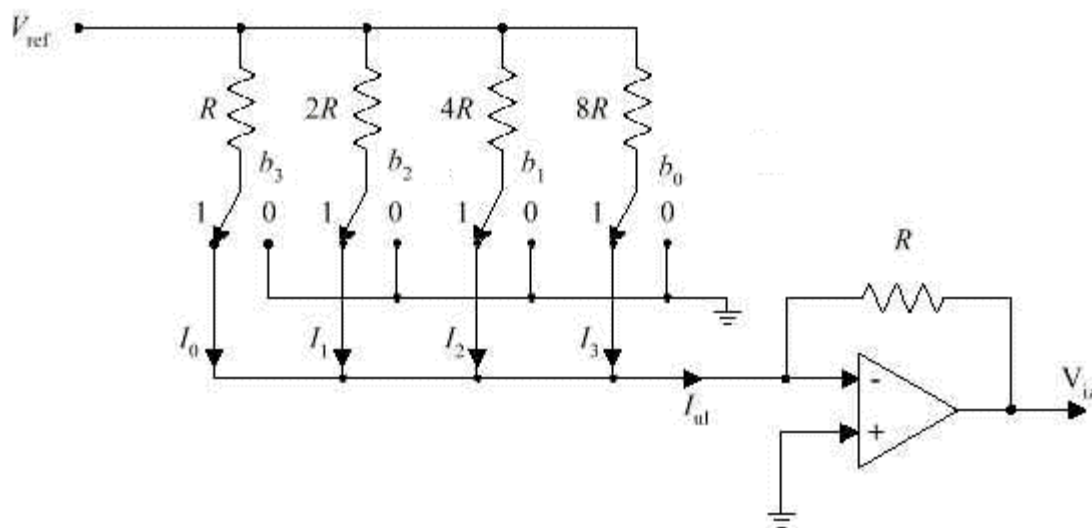
# DIGITALNO-ANALOGNA PRETVORBA

- Na ulaz digitalno analognog pretvarača dovodi se na ulaze  $n$  bitni paralelni digitalni kod, a na izlazu DA pretvarač daje odgovarajuću analognu vrijednost napona ili struje
- D/A pretvarač se izvodi korištenjem operacijskog pojačala kao zbrajala i težinske ili ljestvičaste mreže otpora.



# D/A pretvarač s otpornicima

Četverobitni D/A pretvarač s otpornicima sastavljen je od referentnog naponskog izvora, četiri elektronički upravljane sklopke, četiri precizna otpornika otpora iznosa  $2^n$ ,  $n=0..3$  i operacijskog pojačala. Radom pojedine sklopke upravlja odgovarajući bit ulaznog koda. Ako je bit u stanju logičke jedinice, sklopka se zatvara. Ako je bit u stanju logičke nule sklopka ostaje otvorena. Otpornik spojen na liniju bita najveće težine,  $b_3$ , ima vrijednost  $R$ . Svaki bit niže težinske vrijednosti je spojen na otpornik dvostruko većeg otpora, tj.  $b_2$  je spojen na otpornik otpora  $2R$ ,  $b_1$  na  $4R$ , a  $b_0$  na  $8R$ .



- **Operacijsko pojačalo se koristi na izlazu sklopa radi strujno naponske pretvorbe.**

Iznos analognog izlaznog napona n bitnog ulaznog binarnog koda slijedi iz izraza

$$U_{iz} = -U_{ref}(b_3 + b_2 \cdot 2^{-1} + b_1 \cdot 2^{-2} + b_0 \cdot 2^{-3})$$

pri čemu je

$V_{iz}$  = analogni izlazni napon

$V_{ref}$  = referentni analogni ulazni napon

$b_3$  = bit najveće težine ulaznog binarnog koda

$b_0$  = bit najmanje težine ulaznog binarnog koda

**Zadatak: Za četverobitni D/A pretvarač izračunati iznos analognog izlaznog napona za ulazne vrijednosti i referentni napon od 5V:**

**a)  $b_3b_2b_1b_0 = 1111$ ; b)  $b_3b_2b_1b_0 = 1100$ ; c)  $b_3b_2b_1b_0 = 0001$**

- a)  $U_{iz} = -5 * (1 + 1 * 1/2 + 1 * 1/4 + 1 * 1/8) = -5 * 1,875 = -9,375V$

- 

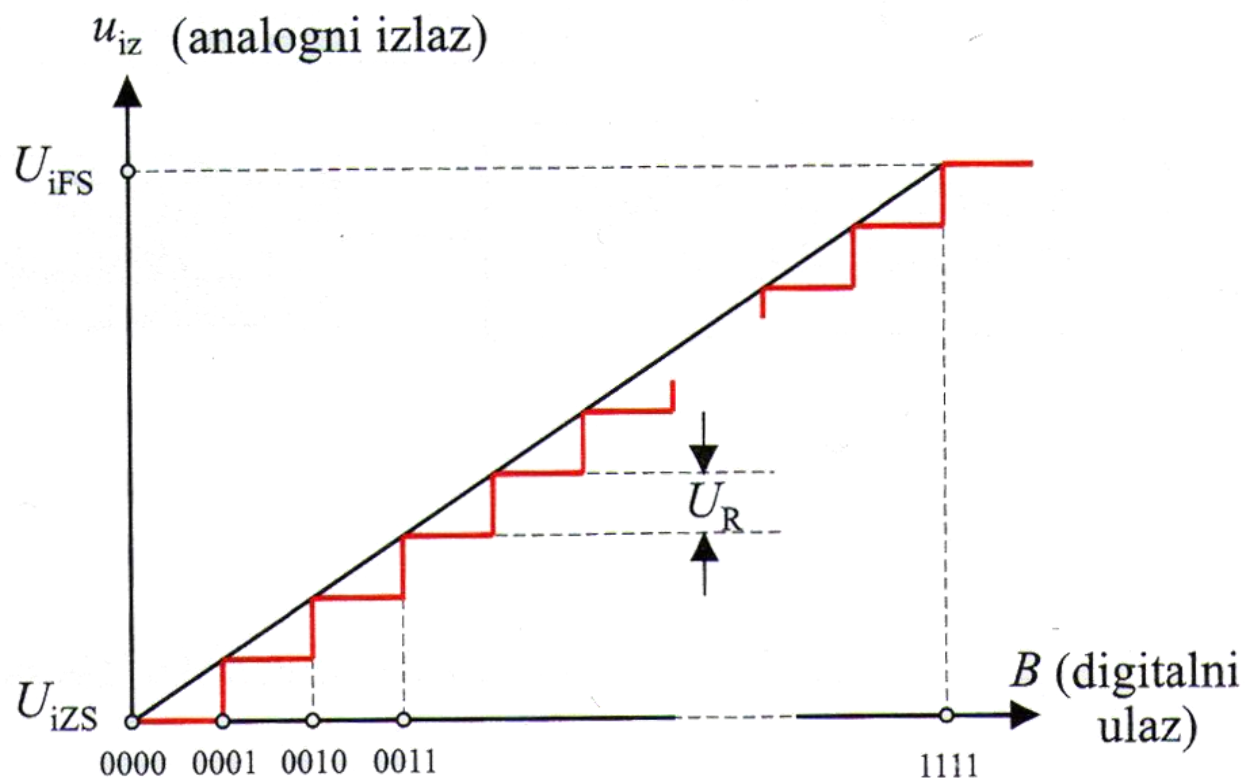
b)  $U_{iz} = -5 * (1 + 1 * 1/2 + 0 * 1/4 + 0 * 1/8) = -5 * 1,5 = -7,5V$

- c)  $U_{iz} = -5 * (0 + 0 * 1/2 + 0 * 1/4 + 1 * 1/8) = -5 * 0,125 = -0,625V$



# DIGITALNO-ANALOGNA PRETVORBA

- proces pretvorbe binarne veličine na ulazu u analognu veličinu na izlazu
- PRIJENOSNA KARAKTERISTIKA:



# Rezolucija i maksimalni izlazni napon

- **Rezolucija:** najmanja moguća promjena izlazne veličine izazvana promjenom binarne kombinacije od 1 bita na ulazu

rezolucija ovisi o broju bitova DA-pretvornika

- više-bitni pretvornik = manja rezolucija
- $U_{IFS}$  je max. napon koji je moguće dobiti na izlazu DA pretvornika (za ulaznu kombinaciju svih 1)

izlazni napon ovisi o iznosu ulaza

- $B$  – dekadski broj binarnog ulaza

$$U_r = \frac{U_{IFS}}{2^n - 1}$$

$$U_{izl} = \frac{U_{IFS} \cdot B}{2^n - 1}$$

**Izlazni napon n-bitnog pretvornika**

$$U_{izl} = U_{ref} \frac{B}{2^n}$$

**Primjer :** Koliko iznosi rezolucija, a koliko trenutni izlazni napon, 5-bitnog DA-pretvornika čija maksimalna razina napona iznosi 10 V, a na čijem ulazu se nalazi binarni broj 10110

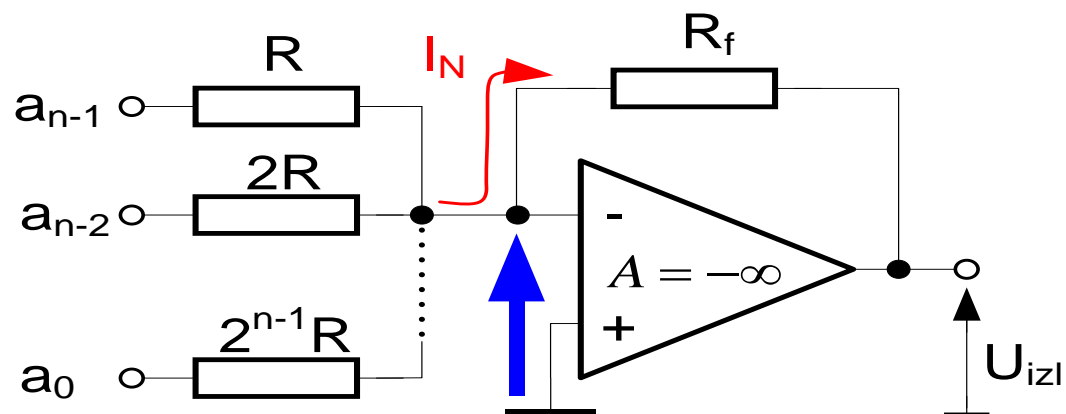
- - rezolucija

$$U_r = \frac{U_{iFS}}{2^n - 1} = \frac{10}{2^5 - 1} = 0,323 \text{ V}$$

- izlazni napon

$$U_{izl} = -\frac{U_{iFS} \cdot B}{2^n - 1} = -\frac{10 \cdot 22}{2^5 - 1} = -7,097 \text{ V}$$

# Težinski DA pretvornik



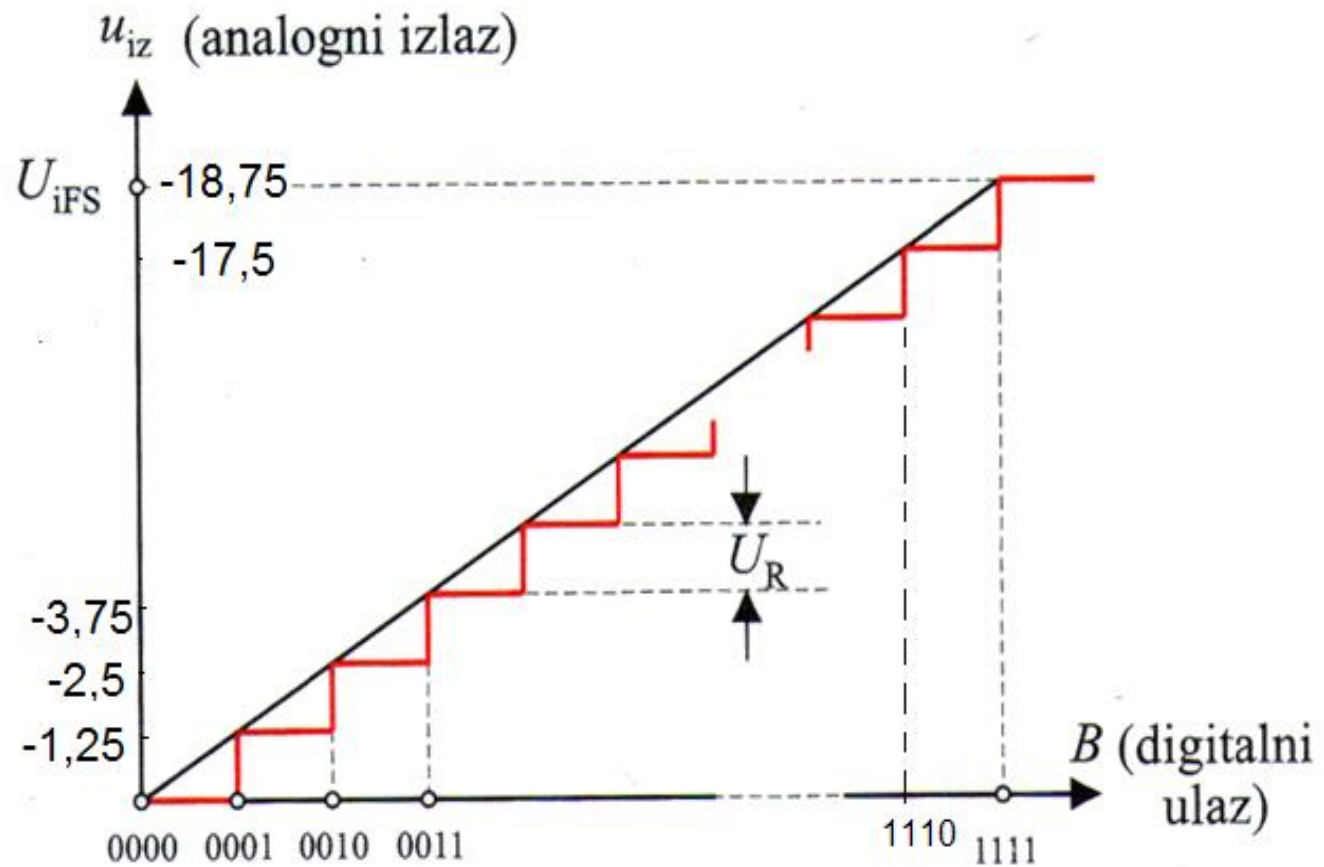
*DA pretvornik s težinskim otporima*

- *otpornička mreža s težinski raspoređenim otporima*

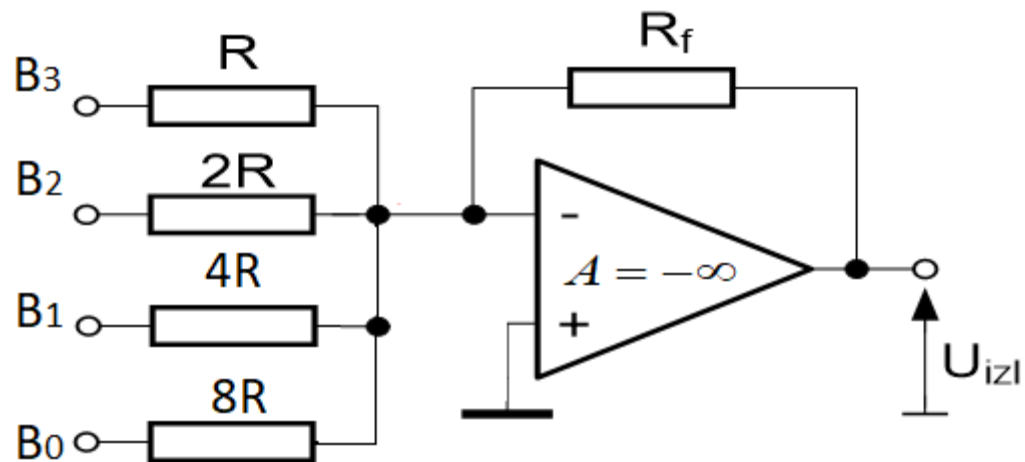
**Primjer : Izračunati iznose izlaznog napona za prve četiri i zadnje četiri binarne kombinacije za četverobitni težinski DA pretvornik koji ima  $U_{ref}=5V$ ;  $R_f=4k\Omega$ ;  $R=2k\Omega$ . Odrediti napon rezolucije, te nacrtati prijenosnu karakteristiku. Odredite vrijednosti ostalih otpornika**

- $U_{iz} = -U_{ref} \cdot (R_f/R) \cdot (B/2^{n-1})$
- $U_{iz_{(0000)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 0/2^3 = 0V$
- $U_{iz_{(0001)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 1/2^3 = -1,25V$
- $U_{iz_{(0010)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 2/2^3 = -2.5V$
- $U_{iz_{(0011)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 3/2^3 = -3.75V$
- $U_{iz_{(1111)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 15/2^3 = -18,75V = U_{ifs}$
- $U_{iz_{(1110)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 14/2^3 = -17,5V$
- $U_{iz_{(1101)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 13/2^3 = -16,25V$
- $U_{iz_{(1100)}} = -5 \cdot 4k\Omega / 2k\Omega \cdot 12/2^3 = -15V$

- $R(\text{MSB}) = 2\text{k}\Omega$
- $R(\text{LSB}) = 16\text{k}\Omega$
- $U_{\text{rez}} = 1,25\text{V}$



**Zadatak: Nacrtati shemu 4-bitnog DA pretvornika , te odrediti iznos izlaznog napona uz dovedenu binarnu kombinaciju na ulaze 1100 , ako je napon rezolucije 0,2V. Odrediti i vrijednosti otpornika ako je na bitu najveće težinske vrijednosti (MSB) iznos otpornika 1 kΩ.**



$$U_{iz} = -U_r \cdot B = -0,2 \cdot 12 = -2,4V$$

$$R_{B3} = 1 \text{ k}\Omega$$

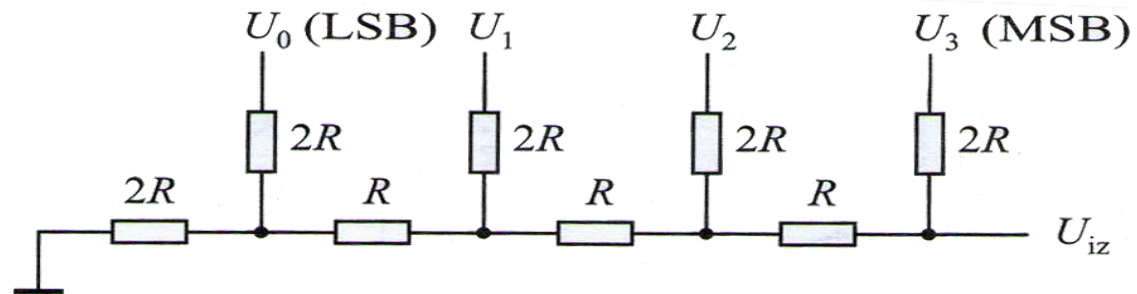
$$R_{B2} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B1} = 4 \text{ k}\Omega$$

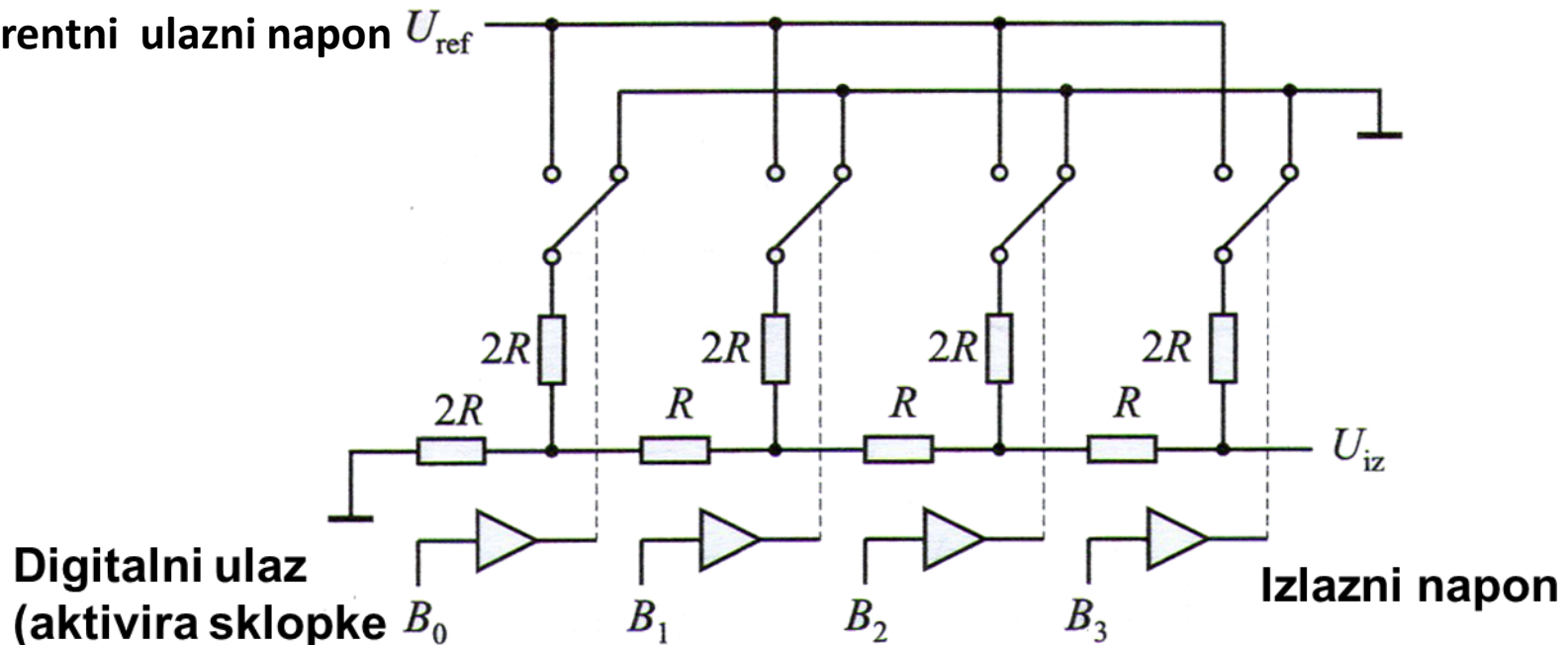
$$R_{B0} = 8 \text{ k}\Omega$$

$$U_{max} = -U_{rez} \cdot B = -0,2 \cdot 15 = -3 \text{ V}$$

# DA-pretvornik s ljestvičastom otpornom mrežom



Referentni ulazni napon  $U_{ref}$

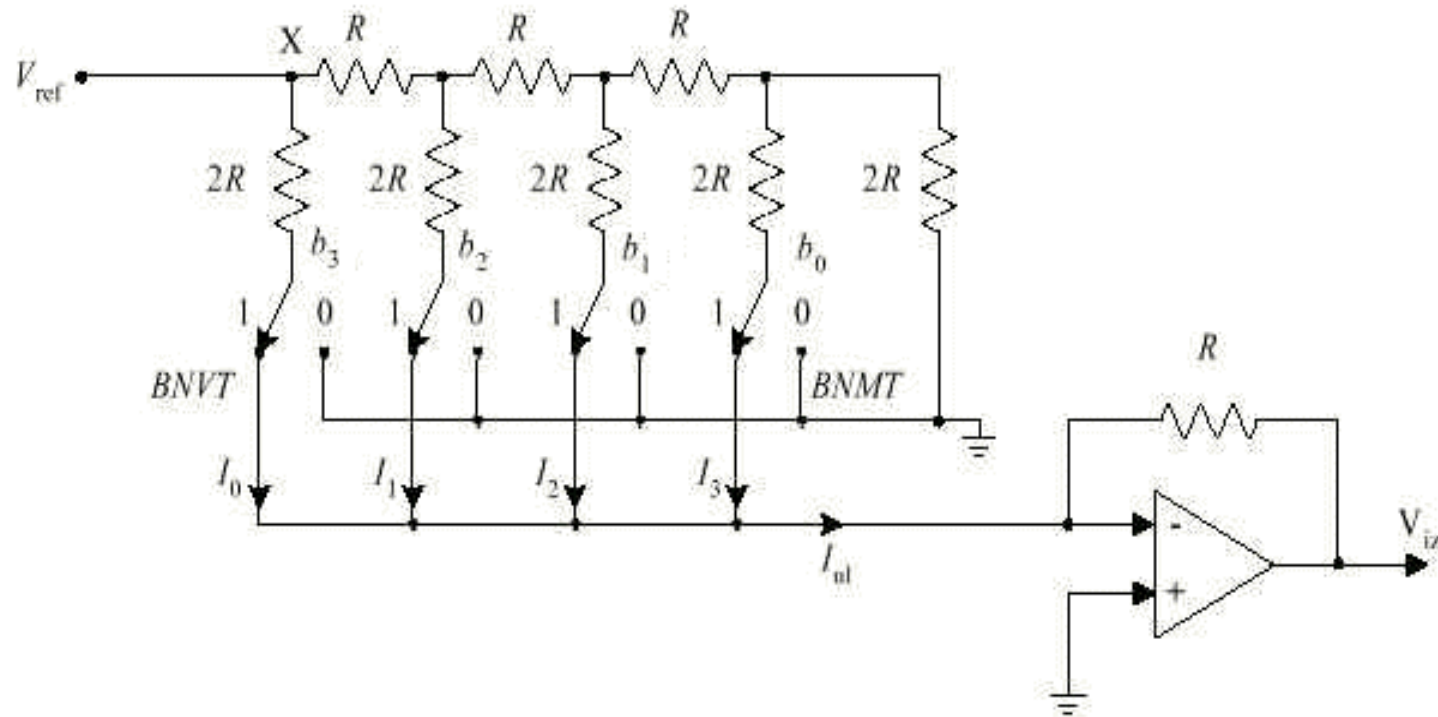




- Ako se radi o ljestvičastom DA pretvorniku sa OP, vrijednost napona na izlazu iznosi:

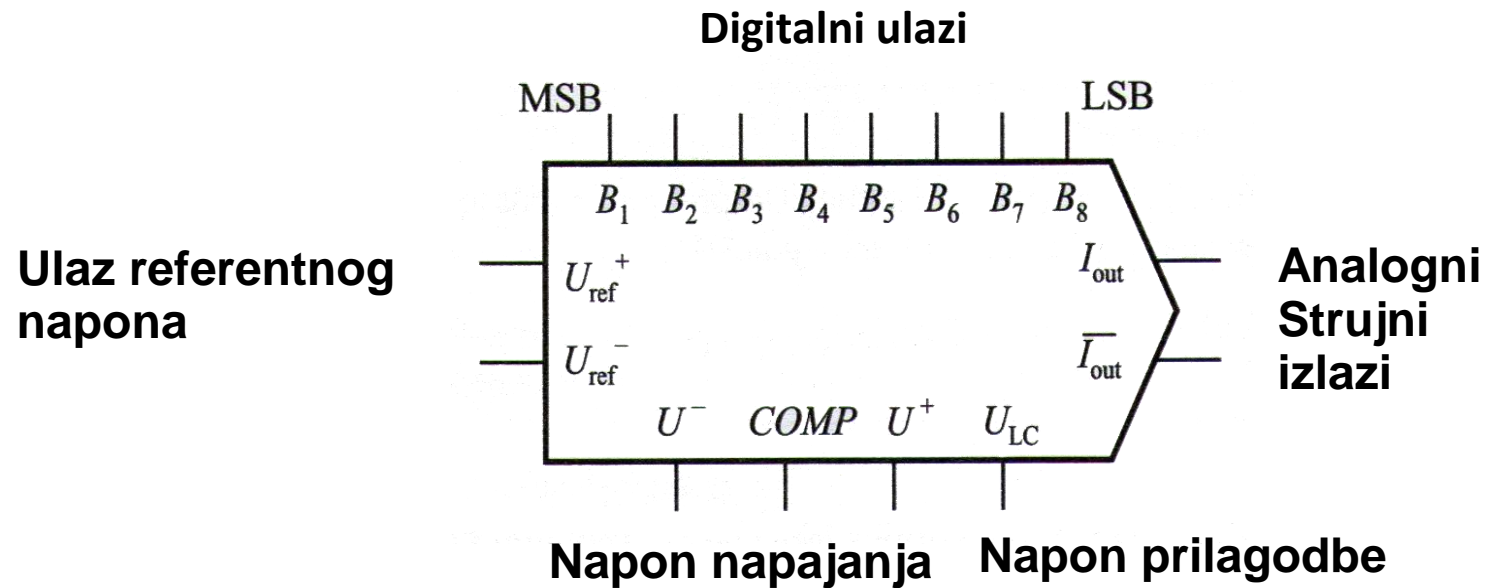
$$U_{iz} = -U_{ref} \cdot (R_f/R) \cdot (B/2^n)$$

# D/A pretvarač s ljestvicom otpora R-2R



- Svaka sklopka doprinosi svojom težinskom komponentom vrijednosti izlaznog napona, što dovodi do izlaznog napona koji je proporcionalan ulaznom binarnom kodu. Npr., u slučaju kada je samo  $b_3 = 1$ , serijski otpornik bita najveće težine,  $2R$ , je spojen u paralelu s nadomjesnim ulaznim otporom od čvora X ljestvičaste mreže do nule. Nadomjesni otpor, izračunat iz kombinacije paralelno i serijski povezanih otpornika počevši od bita najniže težine, iznosi  $2R$ . Dakle, ulazna struja,  $I_{ul}$ , je jednaka  $V_{ref}/2R$ , a izlazni napon,  $V_{iz}$ , je jednak  $-V_{ref}/2$ . Iz navedenog slijedi izraz za izlazni napon
- $$U_{iz} = -U_{ref}(b_3 \cdot 2^{-1} + b_2 \cdot 2^{-2} + b_1 \cdot 2^{-3} + b_0 \cdot 2^{-4})$$
- Budući se koriste samo dvije vrijednosti otpora  $R$  i  $2R$  izvedba D/A pretvarača s ljestvicom otpora  $R$ - $2R$  je jednostavna. Pretvarač je praktičan za izvedbu, brz i pouzdan u radu. Primjer osambitnog  $R$ - $2R$  D/A pretvarača predstavlja integrirani krug AD558.

# Integrirani DA-pretvornik



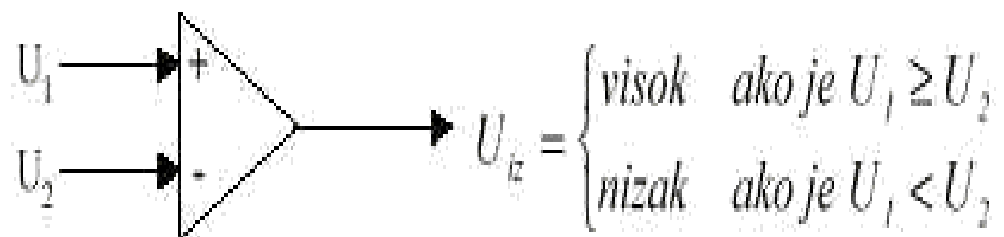
**Primjer :Ako je na ulazu 6-bitnog DA pretvornika binarni broj 101011, na izlazu je napon od -1,5V. Odrediti izlazni napon za stanje ulaza 110001.**

- $101011_{(2)} = 43_{(10)}$
- $U_{iz} = -B \cdot U_{rez}$
- $U_{rez} = -U_{iz} / B = -(-1.5V) / 43 = 0,035V$
- $110001_{(2)} = 49_{(10)}$
- $U_{iz} = -49 \cdot 0,035V = -1,715V$

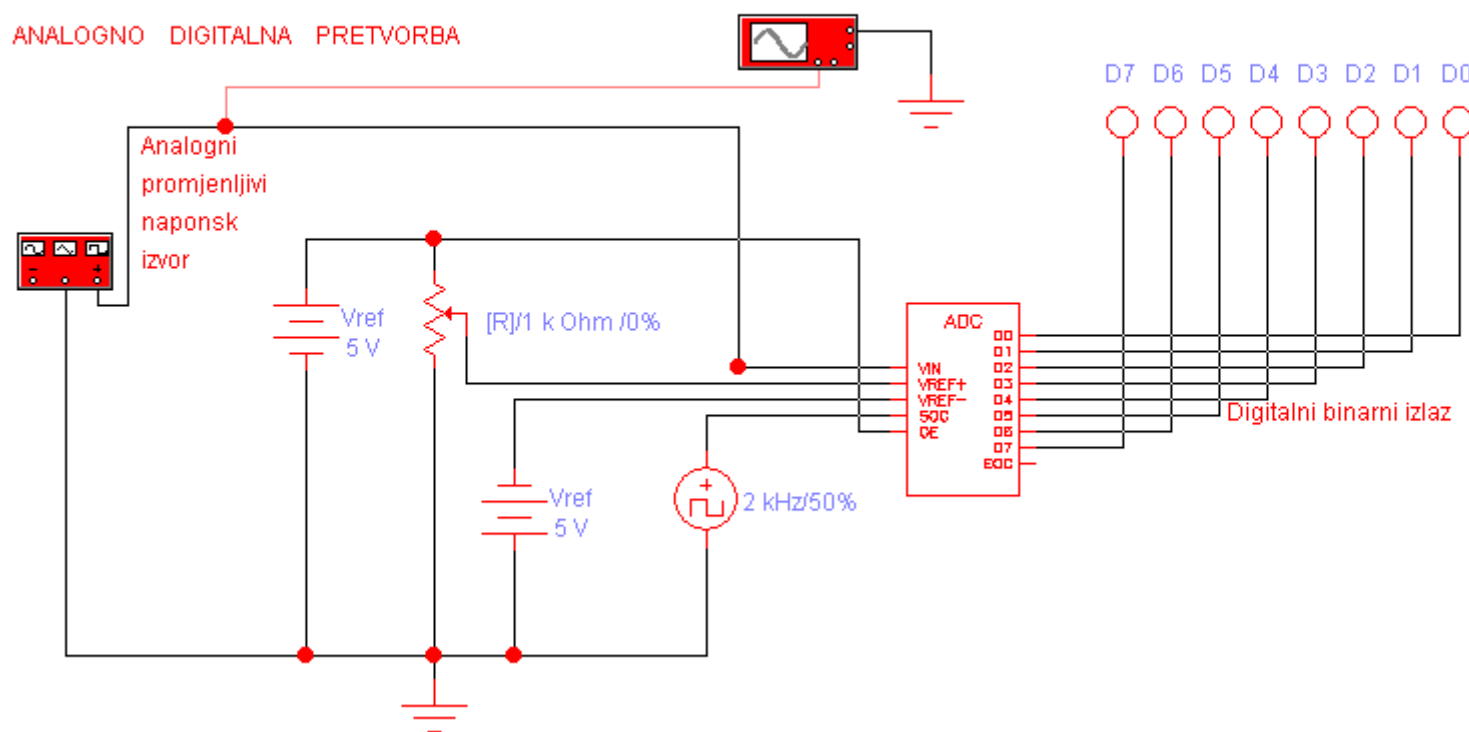
# A/D pretvornici

- **Analogno digitalni (A/D) pretvarač predstavlja sučelje između analognih i digitalnih sustava. A/D pretvarač pretvara analogni ulazni signal u digitalni izlazni signal.**
- **Temeljni sklop A/D pretvarača je analogni uspoređivač, komparator.**
- Ulazni signali u komparator su naponi  $U_1$  i  $U_2$  dok je izlaz digitalni napon  $U_0$ . Kada je na ulazu napon  $U_1 > U_2$  komparator na svom izlazu daje naponski signal visoke razine (logička jedinica), dok u slučaju kada je  $U_1 < U_2$  izlazni napon je niske razine (logička nula).

# AD pretvorba

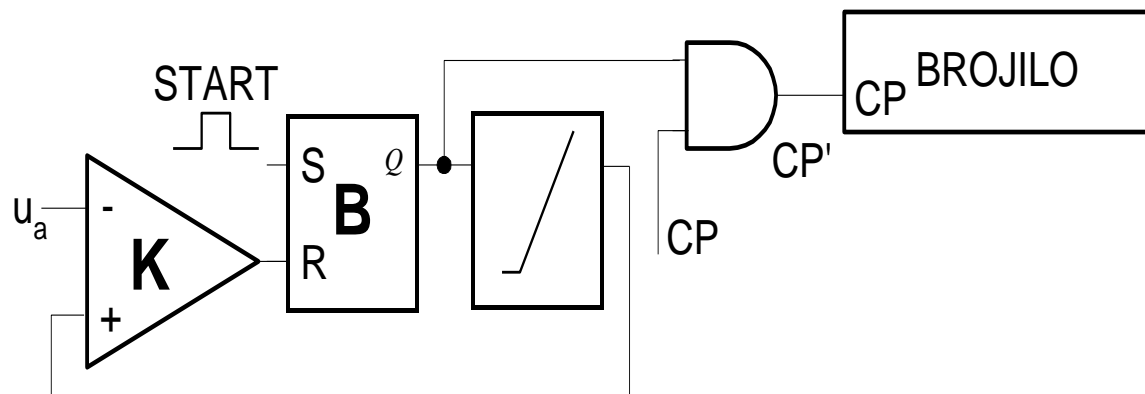


# AD pretvornik



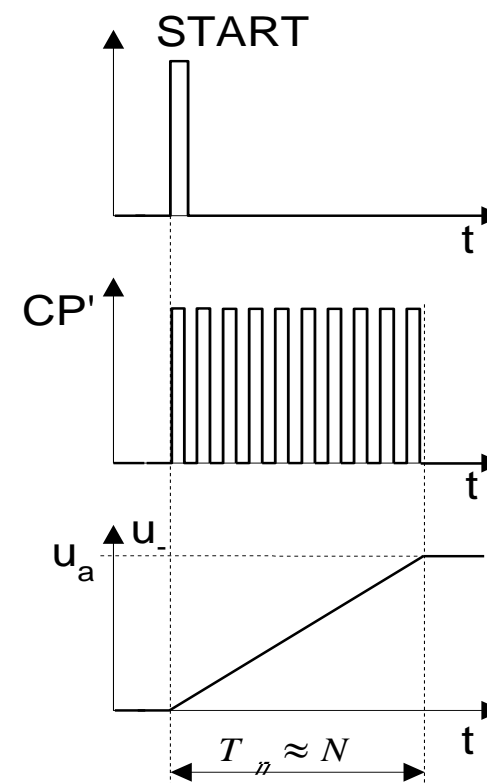


# Wilkinsonov pretvornik



- dok brojilo broji generira se pilasti napon
- komparator: usporedba pilastog napona S

$$U_{ul} = U_a$$



**Primjer : Frekvencija oscilatora iznosi 100MHz. Za 10-bitni pretvornik odrediti vrijeme pretvorbe  $t_c$ .**

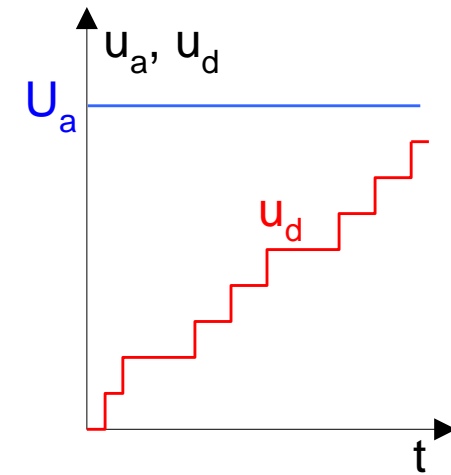
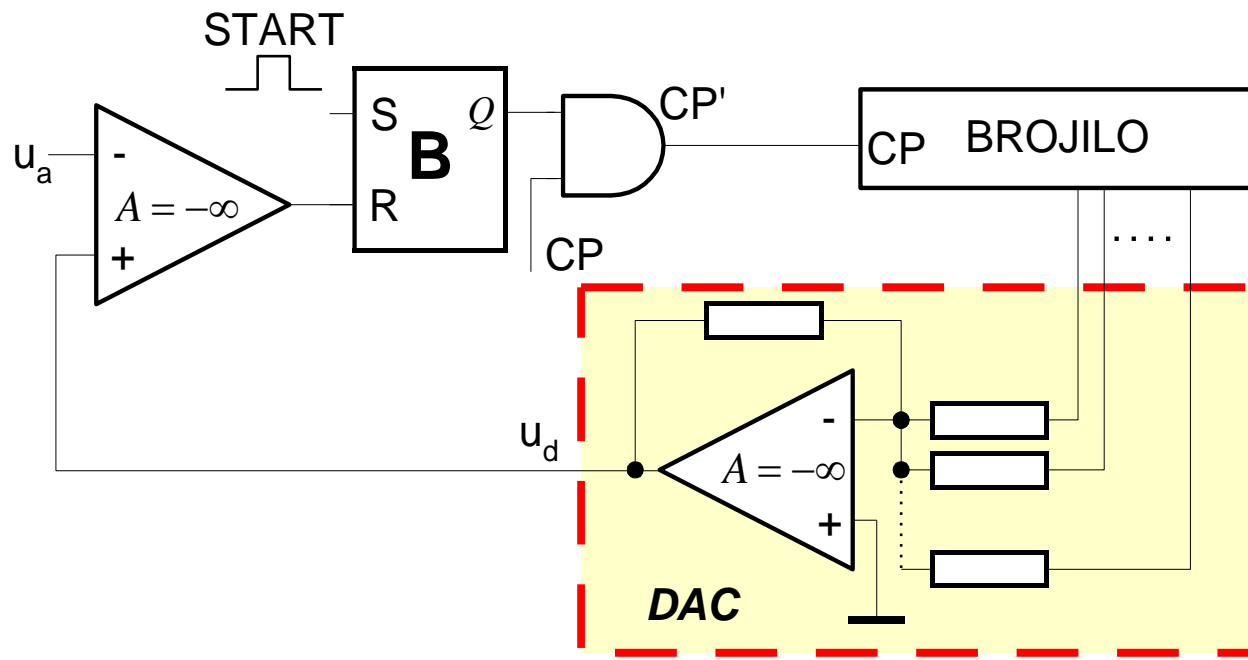
- $f=100\text{MHz}$
- $n=10$
- Broj koraka  $=2^n - 1 = 2^{10} - 1 = 1023$
- $t_c = 2^n - 1 / f$
- $t_c = 1023 / 100 \cdot 10^6$
- $t_c = 10,23\mu\text{s}$

**Primjer : Maksimalno vrijeme trajanja AD pretvorbe u 10-bitnom Wilkinsonovu pretvorniku je  $100\mu\text{s}$ . Odredite frekvenciju oscilatora.**

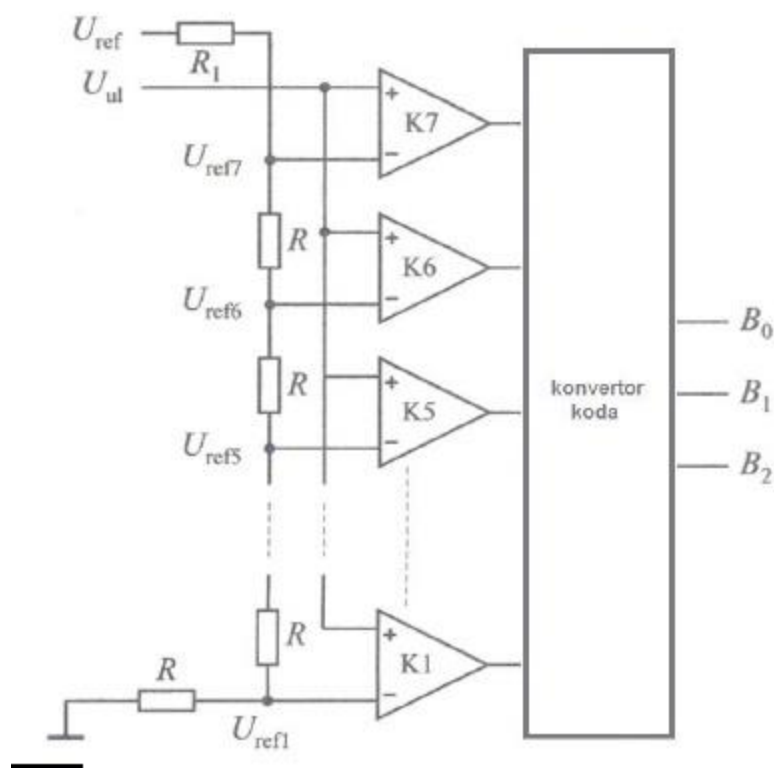
- $t_c = 100\mu\text{s}$
- $n = 10$
- $t_c = 2^n - 1/f$
- $f = 2^n - 1/t_c$
- $f = 1023/100\mu\text{s} = 10.23\text{MHz}$

# Brojeći AD pretvornik [counting ADC]:

- modifikacija Wilkinsonovog pretvornika

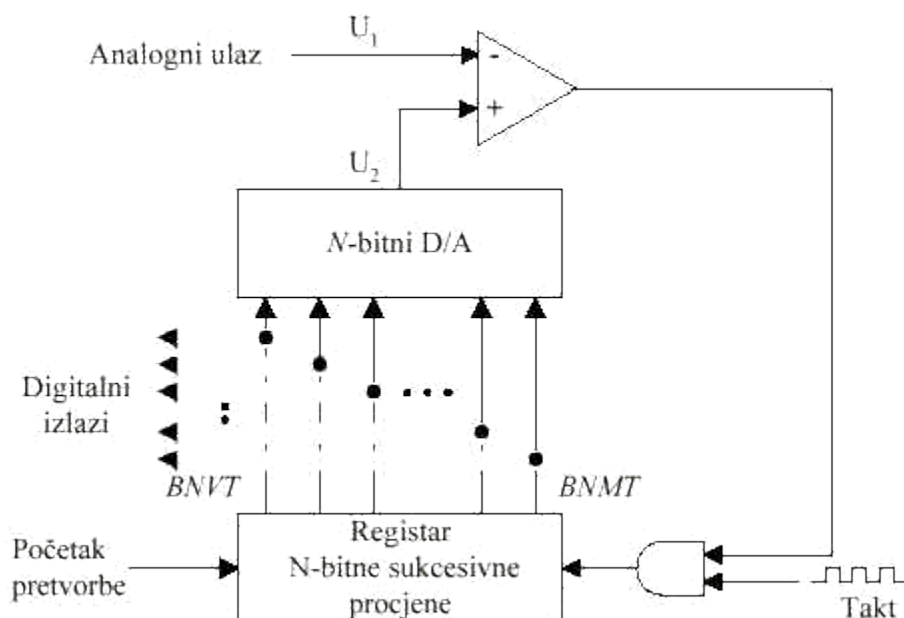


# Paralelni AD pretvornik



	K7	K6	K5	K4	K3	K2	K1	$B_2$	$B_1$	$B_0$
$U_{ul} < U_{ref1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$U_{ref1} < U_{ul} < U_{ref2}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
$U_{ref2} < U_{ul} < U_{ref3}$	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
$U_{ref3} < U_{ul} < U_{ref4}$	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
$U_{ref4} < U_{ul} < U_{ref5}$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
$U_{ref5} < U_{ul} < U_{ref6}$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
$U_{ref6} < U_{ul} < U_{ref7}$	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$U_{ref7} < U_{ul}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

# A/D pretvarač sa sukcesivnom aproksimacijom



Poslije pokretanja pretvorbe impulsom početka pretvorbe, RSA postavlja bit najveće težine u stanje logičke jedinice, a sve ostale bitove u stanje logičke nule. Ako uspoređivač utvrdi da je izlaz iz D/A pretvarača veći od signala kojeg treba pretvoriti, onda se bit najveće težine postavlja u stanje nule, te se sljedeći bit postavlja kao bit najveće težine, tj postavlja u stanje logičke jedinice. Međutim, ako je signal koji se pretvara veći od izlaza iz D/A pretvarača, bit najveće težine ostaje u stanju logičke jedinice.

Postupak se ponavlja za svaki bit sve dok se ne postigne binarni ekvivalent ulaznog analognog signala. Postupak zahtjeva samo  $n$  taktova.