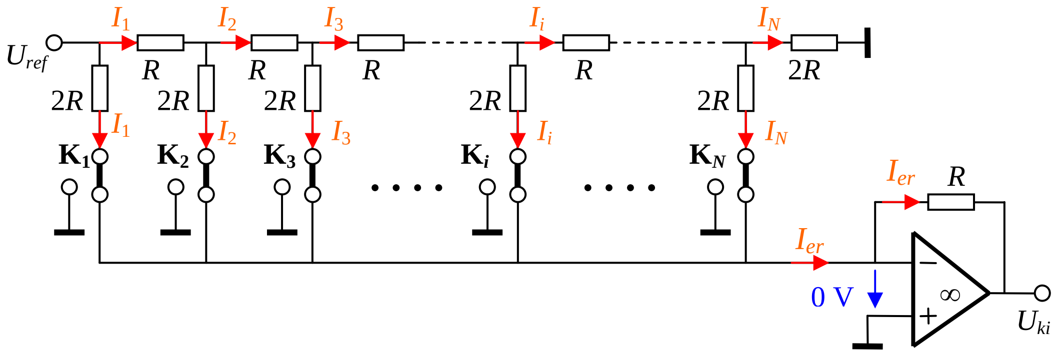
1. Ismertesse az R-2R létrával megvalósított D/A konverter tulajdonságait (kapcsolási rajz, az n-dik ágon folyó áram értéke, a virtuális földpontba folyó eredő áram értéke, a kimeneti feszültség értéke)!

Megoldás:

a.) Az ábrán egy N bites, unipoláris digitál-analóg átalakító kapcsolási vázlata látható.



5p

b.) A műveleti erősítő invertáló bemenete föld potenciálon van (virtuális föld), mert a műveleti erősítő ideális. Ennek következménye, hogy az ellenállás hálózaton folyó **áramok értéke a kapcsolók állásától független.**

Az R-2R struktúra miatt: $I_1 = 2I_2 = 4I_3 = ... = 2^{i-1}I_i = ... = 2^{N-1}I_N$

A legalacsonyabb (LSB) helyérték felöli sorrendben:

$$I_N = 2^0 I_N, \quad I_{N-1} = 2I_N = 2^1 I_N, \quad I_i = I_{N-(N-i)} = 2^{N-i} I_N, \quad I_1 = 2^{N-1} I_N$$ 5p.

c) Az eredő áram:

$$I_{er} = (K_1 I_1 + K_2 I_2 + K_3 I_3 + ... + K_i I_i + ... + K_N I_N)$$

Ahol: $K_i = \begin{cases} 0 & ha \quad Direkt\ föld\ állásban \\ 1 & ha \quad Virtuál.\ föld\ állásban \end{cases}$ van az i-ik kapcsoló 5p

d) A kimeneti feszültség: $U_{ki} = -R\,I_{er}$

$$U_{ki} = -RI_N (K_1 2^{N-1} + K_2 2^{N-2} + K_3 2^{N-3} + ... + 2^{N-i} K_i + ... + 2^0 K_N) = -U_{ref} \frac{D}{2^N}$$ 5p

Ahol: $$D = (K_1 2^{N-1} + K_2 2^{N-2} + K_3 2^{N-3} + ... + 2^{N-i} K_i + ... + 2^0 K_N) = \sum_{i=1}^{N} 2^{N-i} K_i$$

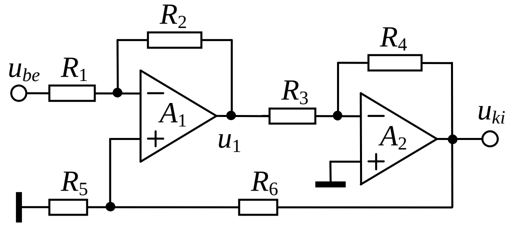
a digitális bemeneti kód, egy előjel nélküli, 2-es számrendszerbeli egész szám

$$0 \le D \le (2^N - 1)$$

Mivel : $I_1 = \frac{U_{ref}}{2R} = 2^{N-1} I_N$ ezért: $U_{ki} = -\frac{U_{ref}}{2^N} \sum_{i=1}^{N} 2^{N-i} K_i = -U_{ref} \frac{D}{2^N}$

$$U_{ki\,MSB} = -\frac{U_{ref}}{2^N} 2^{N-1} K_1 = -\frac{U_{ref}}{2} \qquad U_{ki\,LSB} = -\frac{U_{ref}}{2^N} 2^0 K_N = -\frac{U_{ref}}{2^N}$$

2. Számolja ki az alábbi műveleti erősítős kapcsolás paramétereit!



$R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_6 = R = 10\ \text{k}\Omega$

a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 = R$, A_1 és A_2 ideális

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 \to \infty$, A_1 és A_2 ideális

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)$ = ? ha $R_4 \to \infty$, A_1 ideális, A_2 erősítése $A_2(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, ω_0 = 10 rad/s, $A_0 = 10^6$

d.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)$ = ? ha $R_4 = R$, A_2 ideális, A_1 erősítése $A_1(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, ω_0 = 10 rad/s, $A_0 = 10^6$

Megoldás:

a) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 = R$, A_1 és A_2 ideális

Szuperpozíciót használva: $u_1 = u_{be}\left(-\frac{R_2}{R_1}\right) + u_{ki}\frac{R_5}{R_5+R_6}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = -u_{be} + u_{ki}$

$u_{ki} = u_1\left(-\frac{R_4}{R_3}\right) = -u_1 = -(-u_{be} + u_{ki})$ Amiből: $\boxed{A_{ida} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{1}{2}}$ **5 p.**

b) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 \to \infty$, A_1 és A_2 ideális

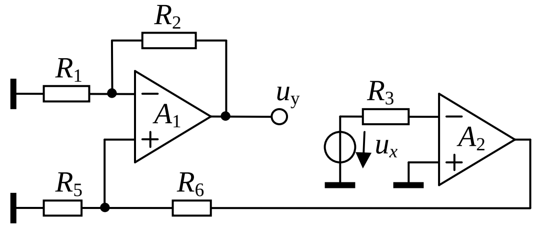
Mivel: az R_3-on folyó $i_3 = 0$, $\to$ $u_1 = 0$

Az A_1 bemenetein lévő feszültségek egyformák (mert különbségük zérus).

$u_{be}\frac{R_2}{R_1+R_2} = u_{ki}\frac{R_5}{R_5+R_6}$ Amiből: $\boxed{A_{idb} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1}$ **5 p.**

c) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)$ = ? ha $R_4 \to \infty$, $\boldsymbol{A_1}$ ideális, $\boldsymbol{A_2}$ erősítése $A_2(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, ω_0 = 10 rad/s, $A_0 = 10^6$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = A_{idb}\frac{A(s)\beta}{1+A(s)\beta}$$



Ahol a hurokerősítés:

$$A(s)\beta = -\frac{u_y}{u_x} = A_2(s)\frac{R_5}{R_5+R_6}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = A_2(s)$$

Amiből: $$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = \frac{A_2(s)}{1+A_2(s)} = \frac{A_0}{1+s/\omega_0 + A_0} = \frac{A_0}{1+A_0}\frac{1}{1+s/\omega_p} \cong \frac{1}{1+s/\omega_p}$$ **5 p.**

Ahol: $A_{id} = 1$ $\omega_p = (1+A_0)\omega_0 = 10^7\ rad/\sec$

d) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}$ = ? ha $R_4 = R$, $\boldsymbol{A_2}$ ideális, $\boldsymbol{A_1}$ erősítése $A_1(s) = \frac{A_0}{1+s/\omega_0}$, $\omega_0 = 10$ rad/s, $A_0 = 10^6$

Az A_1 pozitív és negatív bemenetei közötti feszültség szuperpozícióval:

$$u_{ki}\frac{R_5}{R_5+R_6} - u_{be}\frac{R_2}{R_1+R_2} - u_1\frac{R_1}{R_1+R_2} = \frac{1}{2}\left[u_{ki} - u_{be} - u_1\right]$$

Valamint: $u_1 = A_1(s)\frac{1}{2}\left[u_{ki} - u_{be} - u_1\right]$ és $u_{ki} = -\frac{R_4}{R_3}u_1 = -u_1$

Amiből: $-u_{ki} = A_1(s)\frac{1}{2}\left[2u_{ki} - u_{be}\right] \rightarrow \frac{1}{2}A_1(s)u_{be} = (1+A_1(s))u_{ki}$

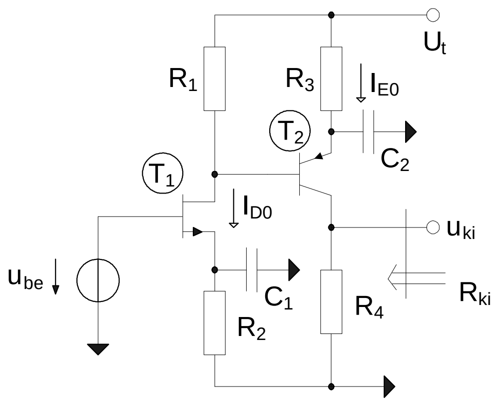
Ezzel:

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s)} = \frac{A_1(s)}{2(1+A_1(s))} = \frac{1}{2}\frac{\frac{A_0}{1+s/\omega_0}}{1+\frac{A_0}{1+s/\omega_0}} = A_{ida}\frac{A_0}{1+A_0}\frac{1}{1+s/\omega_p} \cong \boxed{A_{ida}\frac{1}{1+s/\omega_p}}$$

5 p.

Ahol: $\boxed{A_{ida} = \frac{1}{2}}$ és $\boxed{\omega_p = (1+A_0)\omega_0 = 10^7\ rad/\sec}$

3. Számítsa ki az alábbi kapcsolás munkaponti adatait és kisjelű paramétereit!



$U_t=12$ V, R_1=3,6 kΩ, R_2=2 kΩ, R_3=1 kΩ, R_4=2 kΩ,

T_1: n-csatornás kiürítéses MOSET, I_{DSS}=4 mA, U_P= - 4 V,

$$i_d = I_{DSS}\left(\frac{u_{GS}-U_P}{U_P}\right)^2$$

T_2: p-n-p tranzisztor, $\beta_2=B_2\to\infty$, U_{EB0}=0,6 V,

a.) I_{E0}=?, I_{D0}=?,

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}=?$, r_d=26/3 Ω, S=1 mS, $C_1=C_2\to\infty$

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}=?$, r_d=26/3 Ω, S=1 mS, $C_1\to\infty$, C_2=0,

d.) R_{ki}=?

Megoldás:

a.) I_{E0}=?, I_{D0}=?,

$$u_{be}=0 \qquad 0=u_{GS}+i_D R_2 = u_{GS}+2i_{iD} \qquad \text{és} \qquad i_D = I_{DSS}\left(\frac{u_{GS}-U_P}{U_P}\right)^2=\frac{1}{4}(u_{GS}+4)^2$$

$$4i_D=(4-2i_D)^2 \qquad \text{vagy} \qquad -2u_{GS}=(u_{GS}+4)^2$$

$$i_D^2-5i_D+4=0 \qquad \text{vagy} \qquad u_{GS}^2+10u_{GS}+16=0$$

$$i_D=I_{D0}=\frac{5-\sqrt{25-16}}{2}\boxed{=1\ mA} \qquad u_{GS}=U_{GS0}=\frac{-10+\sqrt{100-64}}{2}=-2\ V$$

5 p.

$$I_{D0}R_1=I_{E0}R_3+U_{EB0} \qquad \rightarrow \qquad I_{E0}=\frac{I_{D0}R_1-U_{EB0}}{R_3}=\frac{3.6-0.6}{1}\boxed{=3\ mA}$$

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}=?$, r_d=26/3 Ω, S=1 mS, $C_1=C_2\to\infty$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}=\left(-\frac{R_1}{1/S}\right)\left(-\frac{R_4}{r_d}\right)=SR_1\frac{R_4}{r_d}=3.6\frac{2000}{26/3}=3.6\frac{6000}{26}\boxed{=831}$$

5 p.

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}=?$, r_d=26/3 Ω, S=1 mS, $C_1\to\infty$, C_2=0,

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}=\left(-\frac{R_1}{1/S}\right)\left(-\frac{R_4}{R_3+r_d}\right)=SR_1\frac{R_4}{r_d}=3.6\frac{2000}{1000+26/3}=3.6\frac{6000}{3026}\boxed{=7.14}$$

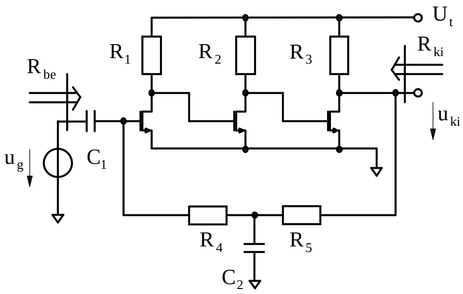
5 p.

d.) R_{ki}=?

$$R_{ki}=R_4\boxed{=2\ \ k\Omega}$$

5 p.

4. Határozza meg az alábbi kapcsolás kisjelű és frekvenciafüggő paramétereit!



T_1, T_2, T_3: n-csatornás MOS FET, $S_1 = S_2 = S_3 = S = 2\text{mS}$,
$U_t = 5$ V, $R_1 = 2$ kΩ, $R_2 = 2$ kΩ, $R_3 = 2$ kΩ,
$R_4 = 100$ kΩ, $R_5 = 100$ kΩ

a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$, **b.)** $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, ha $C_1 = 1\ \mu\text{F}, C_2 \to \infty$,

c.) R_{be} =?, ha $C_1 \to \infty, C_2 = 0$, **d.)** R_{ki} = ?, ha $C_1 \to \infty, C_2 = 0$.

Megoldás:

a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

$C_1 \to \infty$ miatt nincs bemeneti leosztás és $C_1 \to \infty$ $C_2 \to \infty$ miatt nincs váltó áramú visszacsatolás.

$$A_0 = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_ü L_{ki} = \left(-\frac{R_1}{1/S_1}\right)\left(-\frac{R_2}{1/S_2}\right)\left(-\frac{R_3}{1/S_3}\right)\frac{R_5}{R_3 + R_5} \cong A_ü = (-SR_1)^3 = -(2 * 2)^3 \boxed{= -64}$$

Mivel: $L_{ki} = \frac{R_5}{R_3 + R_5} = \frac{100}{102} \cong 1$

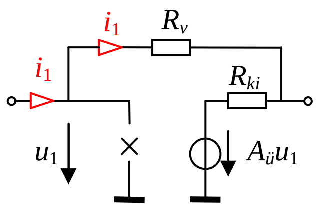
b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, ha $C_1 = 1\ \mu\text{F}, C_2 \to \infty$ $C_2 \to \infty$ miatt nincs váltó áramú visszacsatolás. $R_{be} = R_4$

$$L_{be} = \frac{R_{be}}{1/sC_1 + R_{be}} = \frac{sR_{be}C_1}{1 + sR_{be}C_1} = \frac{s/\omega_a}{1 + s/\omega_a} \qquad \omega_a = \frac{1}{R_{be}C_1} = \frac{1}{10^5 * 10^{-6}} = 10\ \ rad/\text{sec}$$

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = L_{be}A_0 = A_0\frac{s/\omega_a}{1 + s/\omega_a}}$$

c.) R_{be} =?, ha $C_1 \to \infty, C_2 = 0$

$$R_{be} = \frac{u_1}{i_1} = \frac{u_1}{\frac{u_1 - A_ü u_1}{R_v + R_{ki}}} = \frac{R_v + R_{ki}}{1 - A_ü} = \frac{202}{65} \boxed{= 3.16\ \ k\Omega}$$

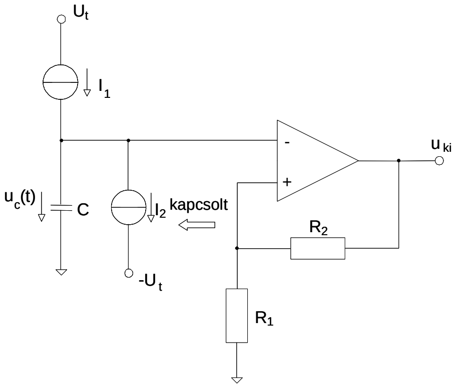


Mivel: $R_{ki} = 2$ kΩ $R_v = R_4 + R_5 = 200$ kΩ

d.) R_{ki} = ?, ha $C_1 \to \infty, C_2 = 0$ $C_1 \to \infty$ miatt nincs váltó áramú visszacsatolás.

$$R_{ki} = R_3 \times (R_4 + R_5) \cong R_3 \boxed{= 2\ k\Omega}$$

5. Határozza meg az alábbi komparátoros áramkör paramétereit!



$R_1 = 10k\Omega, \quad R_2 = 20k\Omega, \quad U_{kiM} = -U_{kim} = 12$ V, C=100 nF

I_2 bekapcsol, ha $U_{ki} = U_{kim}$

I_2 kikapcsol, ha $U_{ki} = U_{kiM}$

a.) Milyen áramkör látható az ábrán?

b.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=2 mA,

c.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=4 mA,

d.) T_b periódusidő=?, I_1=1 mA, I_2=2 mA,

Megoldás:

a.) Milyen áramkör látható az ábrán? **Astabil multivibrátor** 5p

b.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=2 mA $\qquad I_C = I_1 - I_2$

A C kapacitás U_c feszültségének megváltozása Δt idő alatt: $\Delta U_C = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_C \Delta t}{C} = \frac{(I_1 - I_2)\Delta t}{C}$

A feszültségváltozás meredeksége:

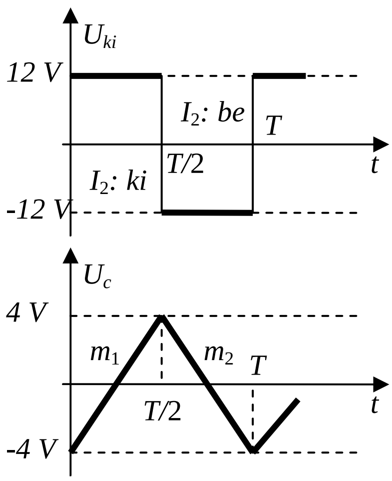
$$m = \frac{\Delta U_C}{\Delta t} = \frac{1}{C}(I_1 - I_2) = \begin{cases} m_1 = \frac{I_1}{C} & ha \quad U_{ki} = U_{kiM} \\ m2 = \frac{I_1 - I_2}{C} & ha \quad U_{ki} = U_{kim} \end{cases}$$

$m_1 = \frac{I_1}{C} = \frac{10^{-3}}{100 * 10^{-9}} = 10 \frac{V}{m\sec}$ pozitív $\qquad m_2 = \frac{I_1 - I_2}{C} = \frac{-10^{-3}}{100 * 10^{-9}} = -10 \frac{V}{m\sec}$ negatív

A komparátor billenési szintjei: $U_C(I_2 : bekap) = U_{kiM} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \frac{10}{30} = +4\ V$

$$U_C(I_2 : kikap) = U_{kim} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -12 \frac{10}{30} = -4\ V$$

Ha U_C eléri ezeket a feszültség szinteket, a komparátor átvált.

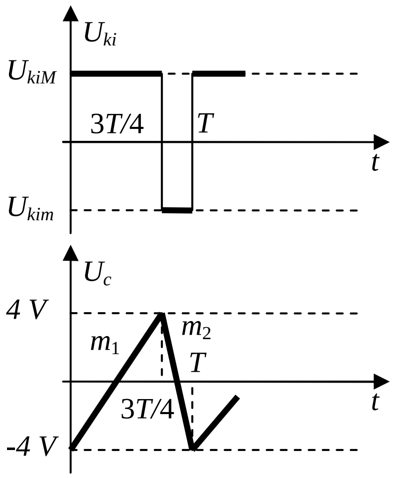


5p

c.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=4 mA,

$$m_1 = \frac{I_1}{C} = \frac{10^{-3}}{100*10^{-9}} = 10\frac{V}{m\sec} \qquad m_2 = \frac{I_1 - I_2}{C} = \frac{-3*10^{-3}}{100*10^{-9}} = -30\frac{V}{m\sec}$$

Mivel m_2 háromszor olyan meredek mint m_1, ezért a hozzá rendelt idó harmad akkora mint az m_1-hez rendelt időtartam.



5p

d.) T_b periódusidő=? (A **b.)** esethez tartözó idő)

Az m_1 meredekségű szakaszt hasznáva:

$$m_1 = \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{4-(-4)}{T_b/2} = \frac{16\ V}{T_b} = 10\frac{V}{m\sec} \quad \rightarrow \quad \boxed{T_b = \frac{16\ V}{10\ V/m\sec} = 1.6\ m\sec}$$

5p