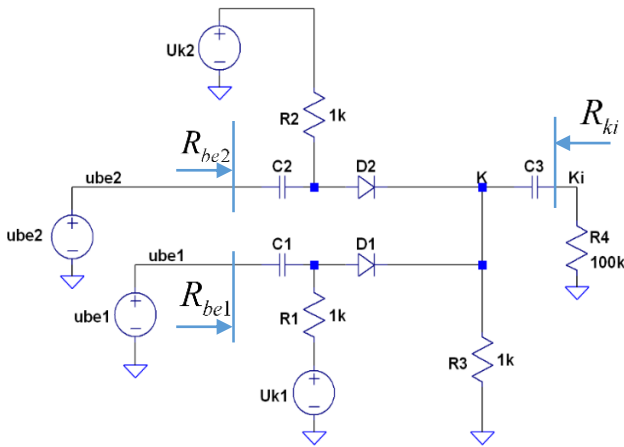


I.) Feladat. Számítsa ki az ábrán látható szilíciumdiódás jelútkapcsoló kisjelű paramétereit.

Adatok: A diódák nyitófeszültsége  $U_{D0} = 0,6V$ , záró irányú kapacitásuk elhanyagolható. A csatoló kondenzátorok végtelenek,  $C_1 = C_2 = C_3 = \infty$ .  $U_{k1}$ ,  $U_{k2}$  kapcsoló egyenfeszültség generátorok,  $u_{be1}$ ,  $u_{be2}$  kicsi amplitúdójú váltakozó feszültség generátorok.



a.)  $U_{k1} = -10V$ ,  $U_{k2} = 10V$ ,  $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} = ?$ ,  $\frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = ?$  dB-ben 5p

b.)  $U_{k1} = 10V$ ,  $U_{k2} = -10V$ ,  $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} = ?$ ,  $\frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = ?$  dB-ben 5p

c.)  $U_{k1} = -10V$ ,  $U_{k2} = 10V$ ,  $R_{be1} = ?$ ,  $R_{be2} = ?$  5p

d.)  $U_{k1} = 10V$ ,  $U_{k2} = -10V$ ,  $R_{ki} = ?$  5p

**Megoldás**

a.) Az  $U_{k1} = -10V$ ,  $U_{k2} = 10V$  feltételek azt jelentik, hogy a D1 dióda záró irányban, míg a D2 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda  $r_d$  ellenállást valósít meg.

Tehát  $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} = 0$ ,  $\left| \frac{u_{Ki}}{u_{be1}} \right|_{dB} = -\infty dB$  2p

$$I_{D02} = \frac{U_{k2} - U_{D0}}{R_2 + R_3} = \frac{10 - 0,6}{1 + 1} = 4,7 mA$$

$$r_{d2} = \frac{U_T}{I_{D02}} = \frac{26}{4,7} = 5,5 \Omega \quad \frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = \frac{R_4 \times R_3}{R_4 \times R_3 + r_d} \approx \frac{R_3}{R_3 + r_d} = \frac{1000}{1000 + 5,5} = 0,9945$$

$\left| \frac{u_{Ki}}{u_{be2}} \right|_{dB} = 20 \log 0,9945 = -0,05 dB$  3p

b.) Az  $U_{k1} = 10V$ ,  $U_{k2} = -10V$  feltételek azt jelentik, hogy a D2 dióda záró irányban, míg a D1 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda  $r_d$  ellenállást valósít meg.

Tehát  $\frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = 0$ ,  $\left| \frac{u_{Ki}}{u_{be2}} \right|_{dB} = -\infty dB$  2p

A szimmetrikus felépítés miatt:  $\left| \frac{u_{Ki}}{u_{be1}} \right|_{dB} = -0,05 dB$  3p

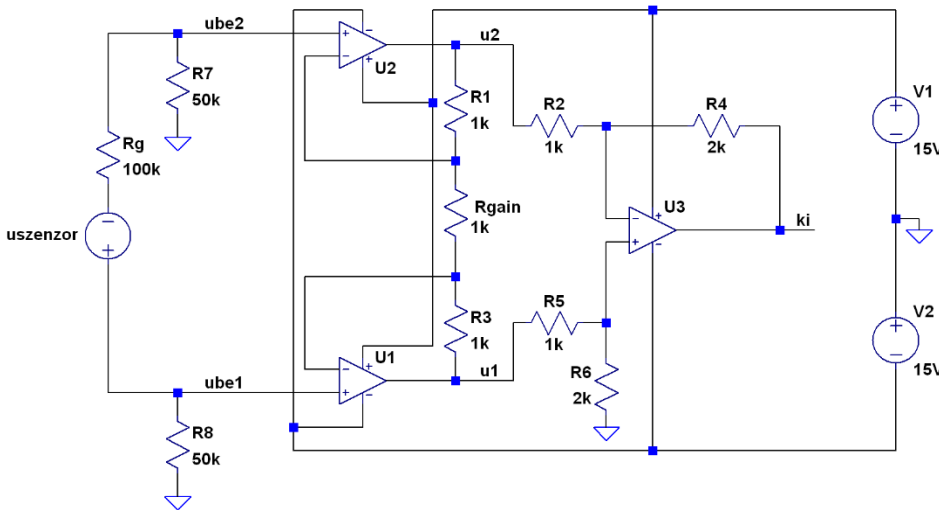
c.) Az  $U_{k1} = -10V$ ,  $U_{k2} = 10V$  feltételek azt jelentik, hogy a D1 dióda záró irányban, míg a D2 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda  $r_d$  ellenállást valósít meg.

$$R_{be1} = 1k\Omega, R_{be2} = R_2 \times (r_d + R_3 \times R_4) \approx R_2 \times R_3 = 500 \Omega$$
 5p

d.) Az  $U_{k1} = 10V$ ,  $U_{k2} = -10V$  feltételek azt jelentik, hogy a D2 dióda záró irányban, míg a D1 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda  $r_d$  ellenállást valósít meg.

$$R_{ki} = R_3 \times r_d \approx r_d = 5,5 \Omega$$
 5p

- 2.) *Feladat.* Az ábrán látható ideális műveleti erősítőkből felépített műszererősítő (instrumentational amplifier) kapcsolás egy kifestűtségű, nagy belső ellenállású szenzor kimenő feszültségét fogadja.  $R_g$  a szenzor belső ellenállása az  $R_7$ ,  $R_8$  munkapont beállító ellenállások. A kicsi szenzorjel hosszú vezetékeire közös módusban szuperponálódik rá a zavaró jel, ami sokkal nagyobb amplitúdójú, mint a hasznos jel.



- a.) Miért előnyös a műszererősítő alkalmazása általában? 5p  
 b.) Mekkora a kivezérés nélküli kimenőfeszültség, ha az erősítő offset feszültsége  $100\mu\text{V}$  és az erősítő egyéb paraméterei ideálisak? 5p  
 c.) Rajzolja fel az  $u_{ki}(t)$  időfüggvényt  $100\text{mV}$ -os amplitúdójú,  $1\text{kHz}$  frekvenciájú szinuszos szenzorjel, illetve  $1\text{V}$  amplitúdójú  $50\text{Hz}$  frekvenciájú zavaró jel esetére. 5p  
 d.) Növelje meg az erősítő differenciális erősítését a kétszeresére valamely elemének megváltoztatásával. 5p

### Megoldás

- a.) Differenciális (Differential) bemenetű, aszimmetrikus (Single Ended) kimenetű áramkör nagy bemenő ellenállással, jó KME-vel, egy ellenállás -  $R_{gain}$  - segítségével beállítható differenciális erősítéssel  
 b.) Az offset feszültség a differenciális erősítéssel kerül a kimenetre (képletgyűjteményből, teljesülnek az

ellenállás szimmetriák): 
$$\frac{u_{ki}}{u_D} = \frac{R_4}{R_2} \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_{gain}} \right)$$

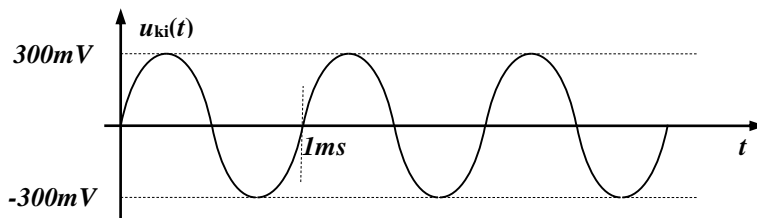
$$u_{ki} = u_{off} \frac{R_4}{R_2} \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_{gain}} \right) = 0,1 \frac{2}{1} \left( 1 + 2 \frac{1}{1} \right) = 0,1 \cdot 6 = 0,6\text{mV}$$
 A kimeneti feszültség kivezérés nélkül a  $+0,6\text{mV}$ -os tartományon van.

- c.) Mivel a kimenő feszültség csak a bemenetekre adott feszültség különbségétől függ:  $\frac{u_{ki}}{u_K} = 0$ , tehát az

$50\text{Hz}$ -es zavarójel nem jelenik meg a kimeneten. (A valóságos erősítők esetén a közös módusú erősítés a differenciális módusúnál  $100\text{-}130\text{dB}$ -el kisebb.)

$$\frac{u_{ki}}{u_D} = \frac{R_4}{R_2} \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_{gain}} \right) = 6 \quad \frac{u_D}{u_{szenzor}} = \frac{R_7 + R_8}{R_7 + R_8 + R_g} = \frac{50 + 50}{50 + 50 + 100} = 0,5$$

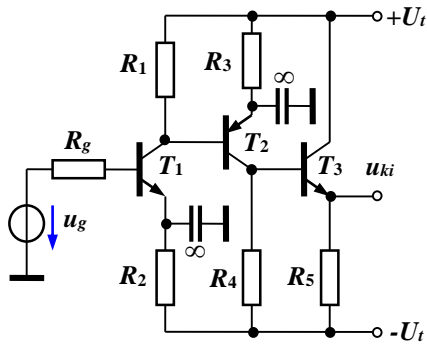
A hasznos jel amplitúdója  $3 \cdot 100\text{mV} = 300\text{mV}$



- d.) Az erősítés az  $R_{gain}$  ellenállás változtatásával - ezzel az egy ellenállás változtatásával - állítható be:

$$\frac{u_{ki}}{u_D} = \frac{R_4}{R_2} \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_{gain}} \right) = \frac{2}{1} \left( 1 + 2 \frac{1}{R_{gain}} \right) = 12 \quad 12 = 2 + \frac{4}{R_{gain}} \quad R_{gain} = \frac{4}{10} = 0,4\text{k}\Omega$$

3.) Feladat. Határozza meg az áramkör paramétereit!



$R_1=2.6\text{ k}\Omega, R_2=11.4\text{ k}\Omega, R_3=2\text{ k}\Omega, R_4=12.6\text{ k}\Omega, R_5=6\text{ k}\Omega,$   
 $R_g=1\text{ k}\Omega, U_t=12\text{ V}$   
 $B_1=B_2=B_3=\infty, \beta_1=\beta_2=\beta_3=\infty, U_{BE0}=U_{EB0}=0.6\text{ V}$

- a.)  $I_{E01}=? , I_{E02}=? , I_{E03}=?$  (munkaponti áramok) 5p  
 b.) Kisjelű helyettesítő kép? 5p  
 c.)  $\frac{u_{ki}}{u_g}=?$  5p  
 d.)  $R_{ki}=?$  (kimeneti ellenállás?) 5p

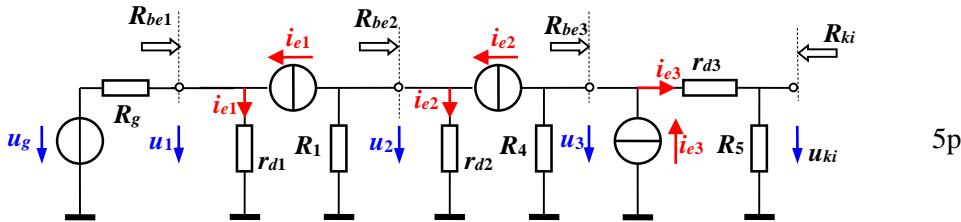
Megoldás:

a.)  $I_{E01}=? , I_{E02}=? , I_{E03}=? \quad I_{C01}=I_{E01}, I_{C02}=I_{E02}, I_{C03}=I_{E03}$

$$I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_2} = \frac{12 - 0.6}{11.4} = 1\text{ mA} \quad I_{E02} = \frac{I_{E01}R_1 - U_{EB0}}{R_3} = \frac{2.6 - 0.6}{2} = 1\text{ mA}$$

$$I_{E03} = \frac{I_{E02}R_4 - U_{BE0}}{R_5} = \frac{12.6 - 0.6}{6} = 2\text{ mA} \quad 5p$$

b.) Kisjelű helyettesítő kép:



c.)  $A_1=? , A_2=? , A_3=? \quad R_{be1} = R_{be2} = R_{be3} = \infty, r_{d1} = r_{d2} = \frac{26\text{ mV}}{1\text{ mA}} = 26\Omega, r_{d3} = \frac{26\text{ mV}}{2\text{ mA}} = 13\Omega$

$$A_1 = \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_1}{r_{d1}} = -\frac{2600}{26} = -100 \quad A_2 = \frac{u_3}{u_2} = -\frac{R_4}{r_{d2}} = -\frac{11400}{26} = -438.5$$

$$A_3 = \frac{u_{ki}}{u_3} = \frac{R_5}{r_{d3} + R_5} = \frac{6000}{13 + 6000} \cong 1 \quad 5p$$

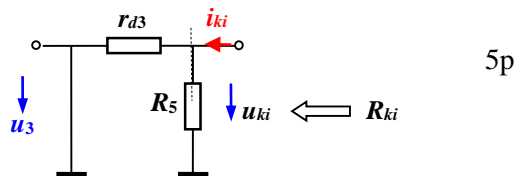
$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{ki}}{u_1} = A_1 A_2 A_3 = 43\,850$$

d.)  $R_{ki}=?$

$$R_{ki} = \left. \frac{u_{ki}}{i_{ki}} \right|_{u_g=0} \quad u_g = 0 \rightarrow u_1 = 0 \rightarrow u_2 = 0 \rightarrow u_3 = 0$$

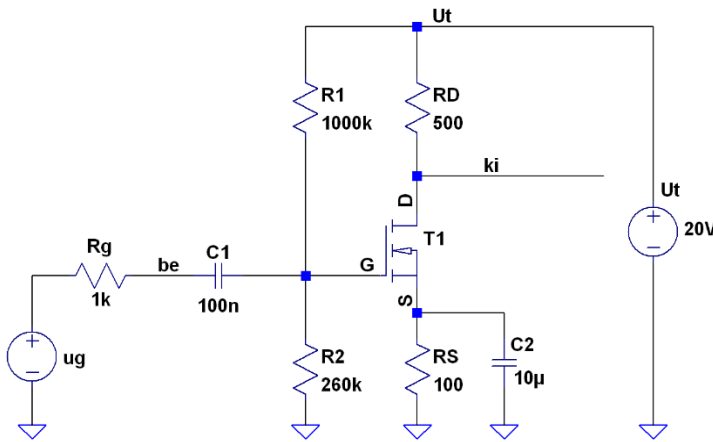
$$R_{ki} = r_{d3} \times R_5 \cong 13\Omega$$

$$R_5 \gg r_{d3}$$



4.) *Feladat.* Határozzuk meg az alábbi erősítőfokozat kisjelű paramétereit.

$T_1$ : N csatornás növekményes MOSFET,  $I_{D00} = 182\text{mA}$ ,  $U_p = 1,6\text{V}$ ,  $u_g$  kis amplitúdójú váltakozó feszültség generátor. A rajz szerint megépített erősítő bemérésekor kivezérlés nélkül az S ponton  $U_{S0} = 2\text{V}$ -ot mértünk.



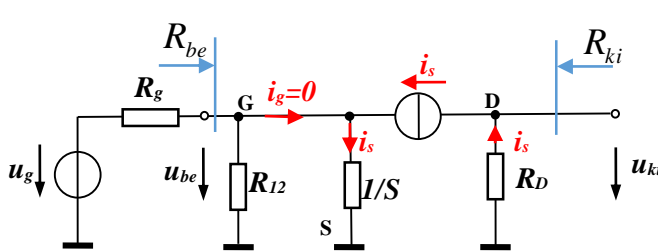
$$R_g = 1\text{k}\Omega, R_s = 100\Omega, R_D = 500\Omega, R_1 = 1\text{M}\Omega, \\ R_2 = 260\text{k}\Omega, C_1 = 100\text{nF}, C_2 = 10\mu\text{F}, U_t = 20\text{V}, \\ C_{gs} = 50\text{pF}, C_{gd} = 10\text{pF}.$$

- a.) *Sávközépi* kisjelű lineáris helyettesítőkép 5p  
 b.)  $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$  *sávközépi* erősítés dB-ben 5p  
 c.)  $\frac{u_{ki}}{u_g}(s)$  -3dB-es *alsó* határfrekvenciája Hz-ben 5p  
 d.)  $\frac{u_{ki}}{u_g}(s)$  -3dB-es *felső* határfrekvenciája Hz-ben 5p

Megoldás:  $I_{S0} = I_{D0} = \frac{U_{S0}}{R_s} = \frac{2}{0,1} = 20\text{mA}$ ,

$$S = \frac{2}{|U_p|} \sqrt{I_{D0} I_{D00}} = \frac{2}{1,6} \sqrt{20 \cdot 182} = 75,4\text{mS}, \frac{1}{S} = 13,3\Omega$$

a.) A lineáris kisjelű helyettesítőkép sávközépre (kapacitások extrém impedanciák:  $C_1, C_2$  váltóáramú rövidzár, a parazita kapacitások szakadások):



5p

b.)  $R_{be} = R_1 \times R_2 = 1\text{M}\Omega \times 260\text{k}\Omega = 206,3\text{k}\Omega$ . Mivel  $R_{be} \gg R_g$ , ezért a bemeneten a leosztás elhanyagolható:

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{S}} = -\frac{500}{13,3} = -37,6 \quad \frac{u_{ki}}{u_g}|_{\text{dB}} = 20\lg \left| \frac{u_{ki}}{u_g} \right| = 31,5\text{dB} \quad 5\text{p}$$

c.) Alsó határfrekvenciát a  $C_1$  csatoló kondenzátor, illetve a  $C_2$  Source kondenzátor hoz létre. A nagyobbik lesz az eredő alsó határfrekvencia.

$$\omega_{a1} = \frac{1}{(R_g + R_{be})C_1} = \frac{1}{(1 + 206,3) \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 48,2\text{rad/s} \quad f_{a1} = \frac{\omega_{a1}}{2\pi} = \frac{48,2\text{rad/s}}{2\pi} = 7,7\text{Hz},$$

$$\omega_{a2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{S} \times R_s\right)C_2} = \frac{1}{(13,3 \times 100) \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 8,52\text{krad/s}, \quad f_a = f_{a2} = \frac{8,52\text{krad/s}}{2\pi} = 1356\text{Hz} \quad 5\text{p}$$

d.) A felső határfrekvenciákat a parazita kapacitások hozzák létre, ezek közül a kisebb lesz a felső

határfrekvencia:  $\omega_{p1} = \frac{1}{(R_g \times R_{be})C_{p1}}, \omega_{p2} = \frac{1}{R_{ki}C_{p2}}, C_{p1} = C_{gs} + (1-A)C_{gd} = 50 + (1+37,6)10 = 436\text{pF},$

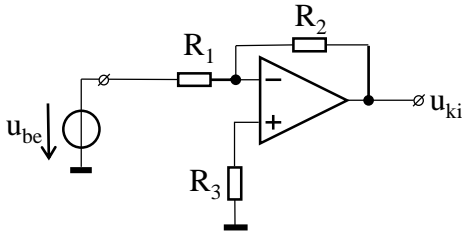
$$C_{p2} = C_{gd} = 10\text{pF}, \quad \omega_{p1} = \frac{1}{(R_g \times R_{be})C_{p1}} \approx \frac{1}{R_g C_{p1}} = \frac{1}{10^3 \cdot 436 \cdot 10^{-12}} = 2,29\text{Mrad/s},$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{R_{ki}C_{p2}} = \frac{1}{R_D C_{p2}} = \frac{1}{500 \cdot 10 \cdot 10^{-12}} = 200\text{Mrad/s}, \quad f_f = \frac{\omega_{p1}}{2\pi} = \frac{2,29\text{Mrad/s}}{2\pi} = 365\text{kHz} \quad 5\text{p}$$

5.) Feladat. Az ábrán látható műveleti erősítő nyílthurkú erősítése jól közelíthető az egypólusú erősítés modellel, erősítés-sávszélesség szorzata (GBW) 6MHz, Slew Rate-je 1V/μs, BIAS árama 1uA, offset feszültsége 1mV, egyéb paramétereit ideálisak.

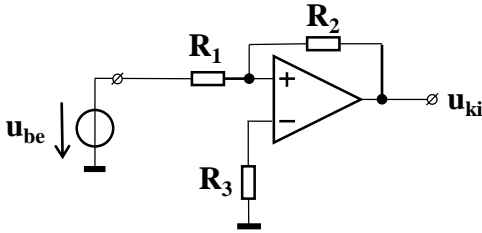
$$U_m = -15V, U_M = 15V, R_1 = 1k\Omega, R_2 = 5k\Omega, R_3 = 833\Omega.$$

áramkör az a.), b.), c.) kérdésekhez



- a.) Mekkora a kimeneti feszültség kivezérlés nélkül? 5p  
 b.) Rajzolja fel az  $\left| \frac{u_{ki}}{u_{be}} \right| (f)$  Bode diagramját. Jelölje be a határfrekvenciát és a sávközépi erősítést. 5p  
 c.) Mekkora a maximális kimeneti feszültség 100kHz-es szinuszos kimenőjel esetén? 5p

áramkör a d.) kérdéshez



- d.) Az ábra szerint megváltoztattuk az áramkört, amelynek bemenetére 1kHz-es, 4V amplitúdójú szinuszos feszültséget kapcsolunk. Ábrázolja a kimeneti feszültség időfüggvényét. 5p

Megoldás:

a.) A BIAS áramok hatása eliminálható, ha a két bemenetet lezáró

egyenáramú eredő ellenállások megegyeznek:  $R_3 = R_1 \times R_2 = 833\Omega$ .  $U_{kiH} = U_{off} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1 \left( 1 + \frac{5}{1} \right) = 6mV$  5p

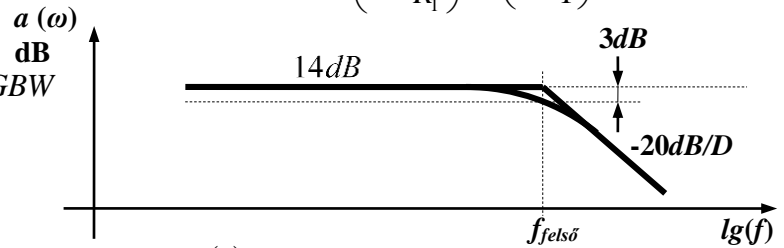
$$b.) \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1 + 5} = \frac{1}{6}$$

$$\omega_p = \beta A_0 \omega_0 = \beta GBW$$

$$f_p = f_f = \beta A_0 f_0 = \beta GBW = \frac{1}{6} 6MHz = 1MHz$$

A sávközépi erősítés  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1} = -5$ , dB-ben:  $a_{közepesdB} = 20 \lg(5) = 14dB$ , 1MHz-nél a felső törésponti

frekvencia.



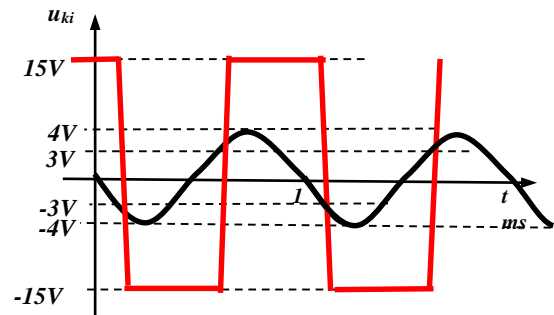
$$c.) u_{ki} = \hat{U} \sin \omega t \quad \frac{du_{ki}}{dt} = \hat{U} \omega \cos \omega t \quad SR = \hat{U} \omega \quad \hat{U} = \frac{SR}{\omega} = \frac{1 \cdot 10^6 \frac{V}{s}}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^3} = 1,59V$$

$$d.) \text{Az } U_m \rightarrow U_M \text{ váltás feltétele: } \Delta u = u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_m \frac{R_1}{R_1 + R_2} > 0,$$

$$u_{be} > -U_m \frac{R_1}{R_2}, \quad u_{be} > 15 \frac{1}{5} \quad u_{be} > 3V$$

$$\text{Az } U_M \rightarrow U_m \text{ váltás feltétele: } \Delta u = u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_M \frac{R_1}{R_1 + R_2} < 0,$$

$$u_{be} < -U_M \frac{R_1}{R_2} \quad u_{be} < -15 \frac{1}{5} \quad u_{be} < -3V$$



A kimeneti négyszögjel felfutási meredekségét a slew rate

határozza meg: 1V/μs. Ez azt jelenti, hogy a 30 V-os jelváltozás 30 μs ideig tart. (Ez az ábrán alig látszik, de nagyobb frekvenciájú esetben akár háromszög jel is eredményezhet a kimeneten.)