

13. gyakorlat

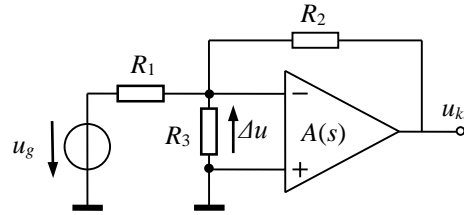
1.) Feladat. A valóságos műveleti erősítővel felépített invertáló alkapcsolás adatai a következők:

$R_1=2\text{ k}\Omega, R_2=10\text{ k}\Omega,$

A ME -nek kétpólusú nyílthurkú erősítése van: $A_0=10^6, \omega_1=5\text{ rad/sec}, \omega_2=10^6\text{ rad/sec}.$

a.) $R_3=?$, ha max.lap átvitelt akarunk beállítani

$\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = ?$ transzfer függvény



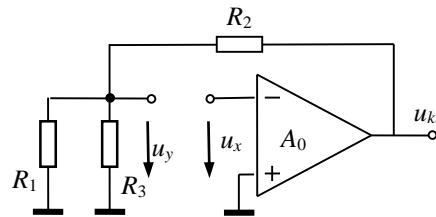
b.) Mekkora az ω_0 felső határ frekvencia?

Megoldás:

a.) A transzfer függvény az előadáson elhangzottak alapján:

$$u_{ki} = \left(-u_g \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 \times R_3} - u_{ki} \frac{R_1 \times R_3}{R_2 + R_1 \times R_3} \right) A = (-\alpha u_g - \beta u_{ki}) A \quad \alpha = -\frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 \times R_3} \quad \beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_2 + R_1 \times R_3}$$

(A visszacsatolási tényező meghatározása a hurok felvágásával:



$$A_0 \beta = -\frac{u_y}{u_x} = -[-A_0] \frac{R_1 \times R_3}{R_1 \times R_3 + R_2}$$

$$\beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 \times R_3 + R_2}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = \frac{\alpha}{\beta} \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} \frac{1}{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_p} + \frac{s^2}{\omega_p^2}} = -\frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 \times R_3} \frac{R_2 + R_1 \times R_3}{R_1 \times R_3} \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} \frac{1}{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_p} + \frac{s^2}{\omega_p^2}} \quad A_{vid} = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$A_{vid} = \frac{\alpha}{\beta} = -\frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \frac{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = -\frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{\frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \frac{R_2 R_1 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} =$$

$$= -\frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \frac{R_2 R_1 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_1 R_3} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10}{2} = -5 =$$

$$\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = A_{vid} \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} \frac{1}{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}$$

$R_3=?$ Ha max. lap átvitelt akarunk beállítani!

Max lap. átvitel ζ -ja: $\zeta = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ahol: $\zeta \cong \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1 A_0 \beta}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

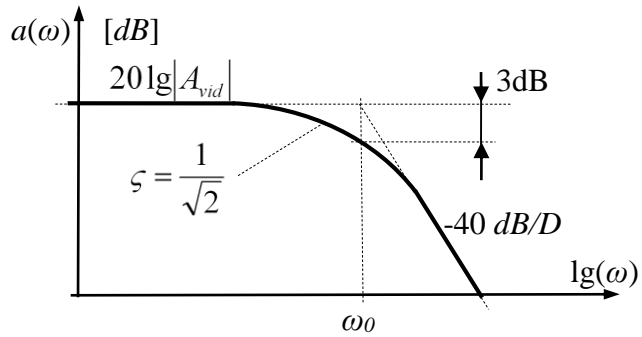
$$\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1 A_0 \beta}} = \sqrt{2} \quad \beta = \frac{\omega_2}{2\omega_1 A_0} = \frac{10^6}{2 * 5 * 10^6} = 0.1 \quad \text{A hibateg: } \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} = \frac{10^5}{1 + 10^5} \cong 1$$

$$\beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_2 + R_1 \times R_3} \quad \beta = \frac{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}}{\frac{R_2 R_1 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{R_1 R_3}{R_2 R_1 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

$$0.1 = \frac{2R_3}{10 * 2 + 10R_3 + 2R_3} \quad 2 + 1.2R_3 = 2R_3 \quad R_3 = \frac{2}{0.8} = 2.5\text{ k}\Omega$$

b.) Mekkora az ω_0 felső határ frekvencia?

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2 (1 + A_0 \beta)} \cong \sqrt{\omega_1 \omega_2 A_0 \beta} = \sqrt{10^6 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0.1} = 0.707 \cdot 10^6 \text{ rad / sec} = 112.6 \text{ kHz}$$



13. gyakorlat

2.) Feladat. Az ADTL082 műveleti erősítő nyílt hurkú erősítése jól közelíthető az egypólusú modellel. A ME-vel nem invertáló 14dB-es erősítőt építünk. A ME adatlapról leolvasott paraméterei:

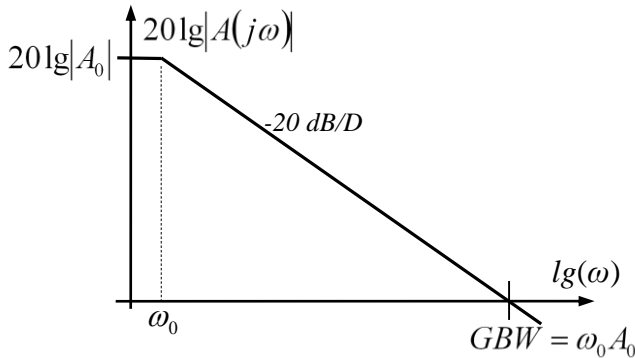
$$SR = 20 \frac{V}{\mu s} \quad GBW = 5 MHz$$

- a.) Mekkora a visszacsatolt erősítő -3dB-es sávszélessége?
 b.) Mekkora az 500kHz-es szinuszos, maximális amplitúdójú kimeneti jelhez tartozó bemeneti jel amplitúdója?

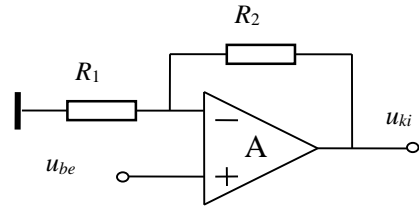
Megoldás:

a.)

nyílt hurkú erősítés



Nem invertáló



$$A_{vid} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{A_{vid}}$$

$$A_v(s) = A_{vid} \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} \frac{1}{1 + s/\omega_p} \cong A_{vid} \frac{1}{1 + s/\omega_p} \quad A_{vid} = \frac{1}{\beta}$$

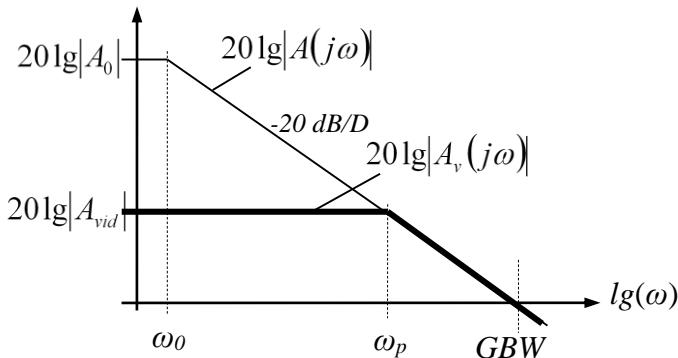
A visszacsatolt műveleti erősítő pólusfrekvenciája (-3dB-es frekvencia):

$$\omega_p = (1 + A_0 \beta) \omega_0 \approx \omega_0 A_0 \beta = GBW * \beta$$

A 14dB-es erősítő 5 szörös erősítést jelent.

$$f_p = GBW * \beta = GBW \frac{1}{A_{vid}} = 5 * 10^6 * \frac{1}{5} = 1 MHz \quad \text{Az 5 szörös erősítő -3dB-es sávszélessége 1MHz.}$$

Nem invertáló erősítő zárt hurkú erősítése és viszonya a nyílt hurkú erősítéshez



b.) $u_{ki} = \hat{U} \sin \omega t \quad \frac{du_{ki}}{dt} = \hat{U} \omega \cos \omega t \quad SR = \hat{U} \omega \quad \hat{U} = \frac{SR}{\omega} = \frac{20 * 10^6 \frac{V}{s}}{2 * \pi * 500 * 10^3} = 6.3V$

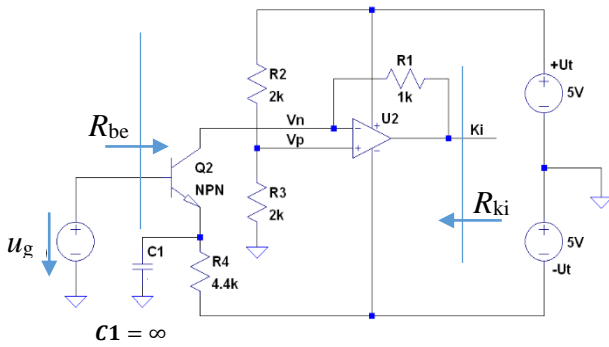
Egy oktávra a felső határfrekvenciától, (ahol -3dB az amplitúdómenet értéke), kb. -1 dB-es az amplitúdómenet értéke. A bemenő jel amplitúdója:

$$-1 = 20 \log A \quad A = 10^{-\frac{1}{20}} = 0.89 \quad \hat{U}_{be} = \frac{\hat{U}}{|A_v(j\omega)|} = \frac{6.3V}{0.89 * 5} = 1.42V$$

$$U_{beff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} = \frac{1.42V}{\sqrt{2}} = 1V$$

13. gyakorlat

3.) Feladat. Ideálisnak tekinthető műveleti erősítővel építettük meg ezt a kapcsolást. Számítsa ki a következő paramétereket ($C1 = \infty$, Q2: NPN, $\beta = B = 99$, $U_{BE0} = 0.6V$):



- A tranzisztor munkaponti árama: $I_{E0}=?$
- A műveleti erősítő munkaponti kimenő feszültsége $U_{Ki0}=?$
- Bemenő ellenállás: $R_{be}=?$, Kimenő ellenállás: $R_{ki}=?$
- Írja fel az $\frac{u_{Ki}}{u_g}$ erősítést.

Megoldás

a.)

$$U_t = U_{BE0} + I_{E0}RE$$

$$A = \frac{U_t}{B} = \frac{U_{BE0} + I_{E0}RE}{1 + 99} = 0.99 = \alpha$$

$$I_{E0} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_4} = \frac{5 - 0.6}{4.4} = 1mA \quad r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = \frac{26mV}{1mA} = 26\Omega$$

b.) Mivel a műveleti erősítő bemenetén áram nem folyik: $V_p = \frac{U_t}{2} = 2.5V$

$$U_{Ki0} = V_n + I_{E0}R1 = V_p + \alpha I_{E0}R1 = 2.5 + 0.99 * 1 * 1 = 3.49V$$

c.) Mivel a műveleti erősítő ideális, kimeneti ellenállása 0: $R_{ki} = 0$

d.) A tranzisztor kisjelű árama u_g hatására, mivel C1 végtelen:

$$i_e = \frac{u_g}{r_d}$$

Ennek az áramnak α szorosa folyik át az R1 ellenálláson, létrehozva a kimenő feszültséget:

$$u_{Ki} = R1\alpha i_e = R1\alpha \frac{u_g}{r_d}$$

Innen az erősítés:

$$\frac{u_{Ki}}{u_g} = \alpha \frac{R1}{r_d} = 0.99 \frac{1000}{26} = 38$$

(A kapcsolás tranzisztoros része egy feszültség > áram konverter, vagy másképpen egy vezérelt áramgenerátor, a műveleti erősítő része pedig egy áram > feszültség konverter, vagy másképpen egy transzimpedanciás erősítő. Ilyen transzimpedanciás erősítőt használnak fotodióda fényintenzitásfüggő záró irányú áramának feszültséggé alakítására fénykábel vevő interfészében.)

13. gyakorlat

4.) Feladat. Hasonlítsuk össze ugyanazzal az egy pólusú nyílt hurkú erősítéssel rendelkező ME-vel felépített invertáló és nem invertáló 20dB-es, illetve 0dB-es erősítő $-3dB$ -es sávszélességét.

$$A_0 = 10^5 \quad \omega_0 = 5 \frac{kr}{s} \quad GBW = \omega_0 A_0 = 5 \times 10^5 \frac{kr}{s}$$

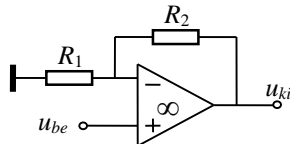
Megoldás:

A kétféle invertáló és nem invertáló erősítő lehetséges elemértékei és visszacsatolási tényezőik:

| erősítés | paraméterek | Nem invertáló | Invertáló |
|----------|-------------|---------------|-----------|
| 20dB | R1 | 1k | 1k |
| | R2 | 9k | 10k |
| | β | 1/10 | 1/11 |
| 0dB | R1 | ∞ | 1k |
| | R2 | 1k | 1k |
| | β | 1 | 1/2 |

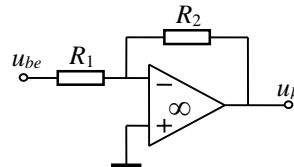
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Nem invertáló



$$A_{id} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Invertáló



$$A_{id} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

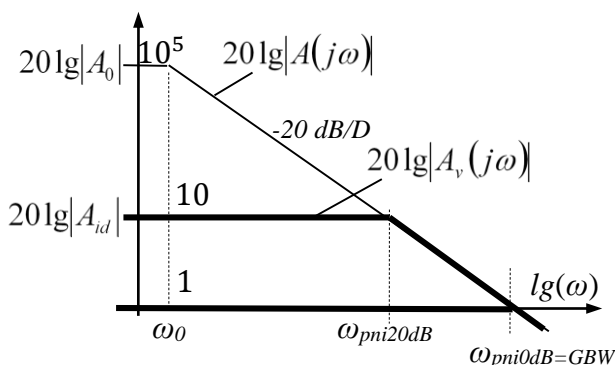
$$A_v(s) = A_{id} \frac{A_0 \beta}{1 + A_0 \beta} \frac{1}{1 + s/\omega_p} \cong A_{id} \frac{1}{1 + s/\omega_p}$$

$$\omega_p = \omega_0 (1 + A_0 \beta) \cong \omega_0 A_0 \beta$$

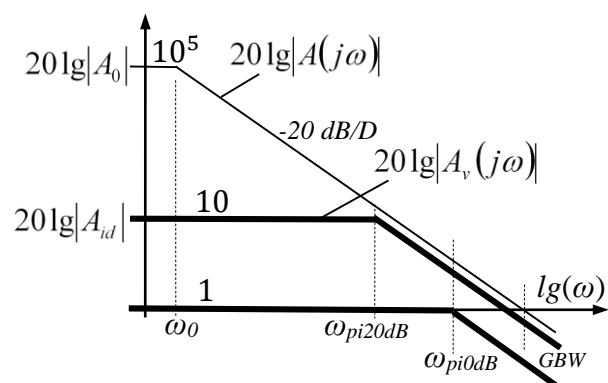
| $\omega_{-3dB} = \omega_0 A_0 \beta = GBW \beta$ | | |
|--|--|---|
| Erősítés | Nem invertáló -3dB-es fr. | Invertáló -3dB-es fr. |
| 20dB | $5 \times 10^5 \times 0.1 = 50 \frac{kr}{s}$ | $5 \times 10^5 \times \frac{1}{11} = 45,5 \frac{kr}{s}$ |
| 0dB | $5 \times 10^5 \times 1 = 500 \frac{kr}{s}$ | $5 \times 10^5 \times \frac{1}{2} = 250 \frac{kr}{s}$ |

Látható, hogy a sávszélesség számításához az A_0 illetve az ω_0 értékre nem volt szükség, csupán a szorzatukra, a Gain - Bandwith szorzatra (GBW), ami katalógus adat. Vegyük észre, hogy az invertáló erősítővel megépített 0dB-es erősítő sávszélessége fele a nem invertáló követő sávszélességéhez képest.

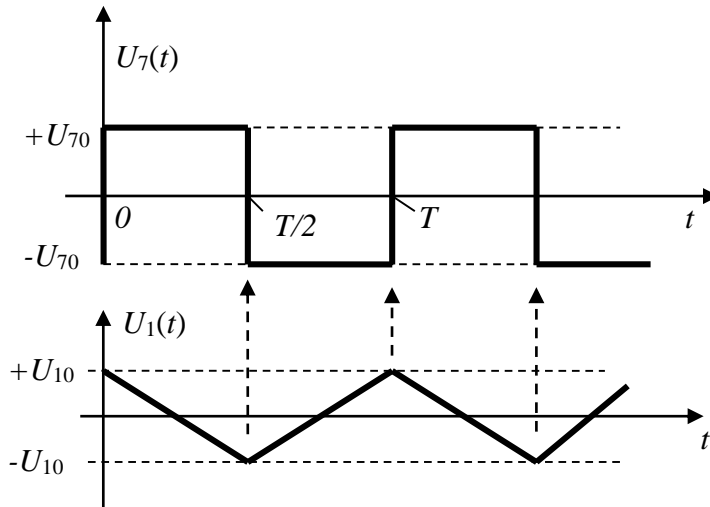
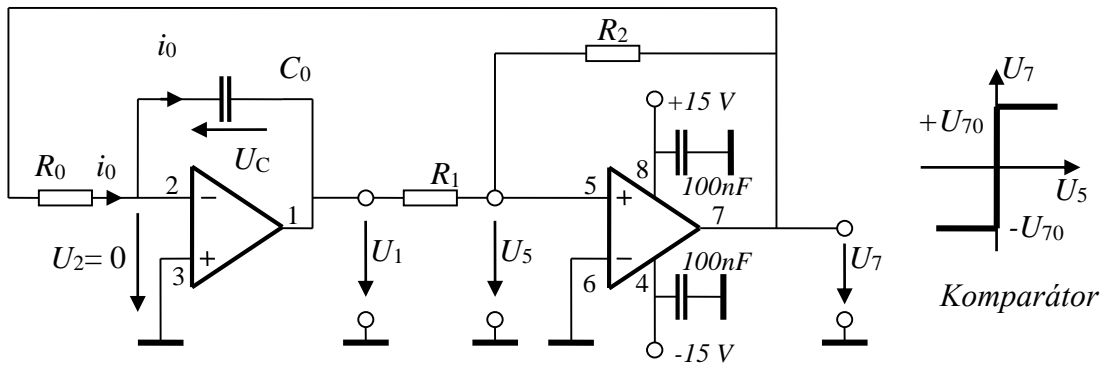
Nem invertáló erősítő nyílt- és zárt hurkú erősítése



Invertáló erősítő nyílt- és zárt hurkú erősítése



5. Feladat. Függvénygenerátor



Az áramkör egy hiszterézises, nem invertáló komparátor és egy invertáló integrátor hurokba kapcsolása. A komparátor kimenete szakaszonként konstans pozitív vagy negatív érték, mely egyúttal az integrátor bemenete. Erre az integrátor kimenete lineárisan változik (lefele vagy felfele). A lineárisan változó integrátor kimenet előbb-utóbb mindenképpen átbillenti a komparátort. Tehát a komparátor kimenetén periodikus négyszög jelet kapunk, az integrátor kimenetén pedig háromszög jelet.

Részletes elemzés:

1. Tételezzük fel, hogy a $0 \leq t < \frac{T}{2}$ idő tartományban: $U_5(t) > 0$
2. Ekkor a komparátor kimenete: $U_7(t) = +U_{70}$ (pozitív visszacsatolás)
3. Az integrátor bemeneti árama: $i_0(t) = +\frac{U_{70}}{R_0}$ (konstans)
4. A C_0 kapacitás feszültsége: (A töltés és a kapacitás hányadosa)

$$U_c(t) = U_1(t) = -\frac{1}{C_0} \int_0^t i_0(\tau) d\tau + U_{10}$$

(A töltés a befolyó áram idő szerinti integrálja negatív, mert az áram mérőiránya ellentétes, U_{10} az 1-es pont potenciálja a $t = 0$ -ban.)

5. Az integrátor kimeneti feszültsége:

$$U_1(t) = U_{10} - \frac{U_{70}}{R_0 C_0} t$$

6. Az integrátor kimeneti feszültsége a $t = T/2$ időpontban:

$$U_1(T/2) = -U_{10} \qquad U_1\left(\frac{T}{2}\right) = -U_{10} = U_{10} - \frac{U_{70}T}{2R_0C_0}$$

7. Az 5. láb feszültsége monoton csökken:

$$U_5(t) = U_7(t) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_1(t) \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

8. Az 5. láb feszültsége a $t = T/2$ időpontban (amikor a komparátor átvált):

$$U_5\left(\frac{T}{2}\right) = +U_{70} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - U_{10} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0$$

9. Amiből: $\frac{U_{10}}{U_{70}} = \frac{R_1}{R_2} < 1$

10. A periódus idő a 6.-ból: $T = 4R_0C_0 \frac{R_1}{R_2}$

11. A $T/2 < t < T$ időben ellenkező előjellel a dolgok ismétlődnek.