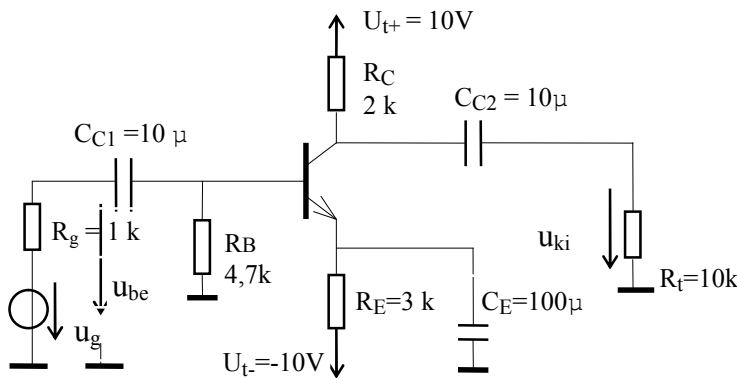


Szám példa a földelt emitteres erősítőre:

Adott kapcsolás:



Tranzisztoradatok:

r_{BB} : elhanyagolható

$B \approx \beta = 100$

$g_{22} = 10 \mu S$

A munkapont (lásd korábban a munkapont-beállításnál):

$I_B \approx 0$

$I_C \approx I_E = \underline{3,1 \text{ mA}}$

$U_{CE} = \underline{4,5V}$

Számított tranzisztor-paraméterek:

ezzel:

és

$$r_E = U_T / I_E = 26 / 3,1 = 8,4 \text{ ohm,}$$

$$h_{11} = r_{BB} + (1 + \beta)r_E \approx (1 + 100)8,4 = 847 \text{ ohm}$$

$$g_{21} = h_{21} / h_{11} = \beta / h_{11} = 100 / 0,847 = 118 \text{ mS}$$

A feszültségerősítés:

$$A_u = -g_{21} R_p = -118(2 \times 10 \times 100) = \underline{-193,4} \quad (g_{22} = 0 \text{ esetén: } -196,6)$$

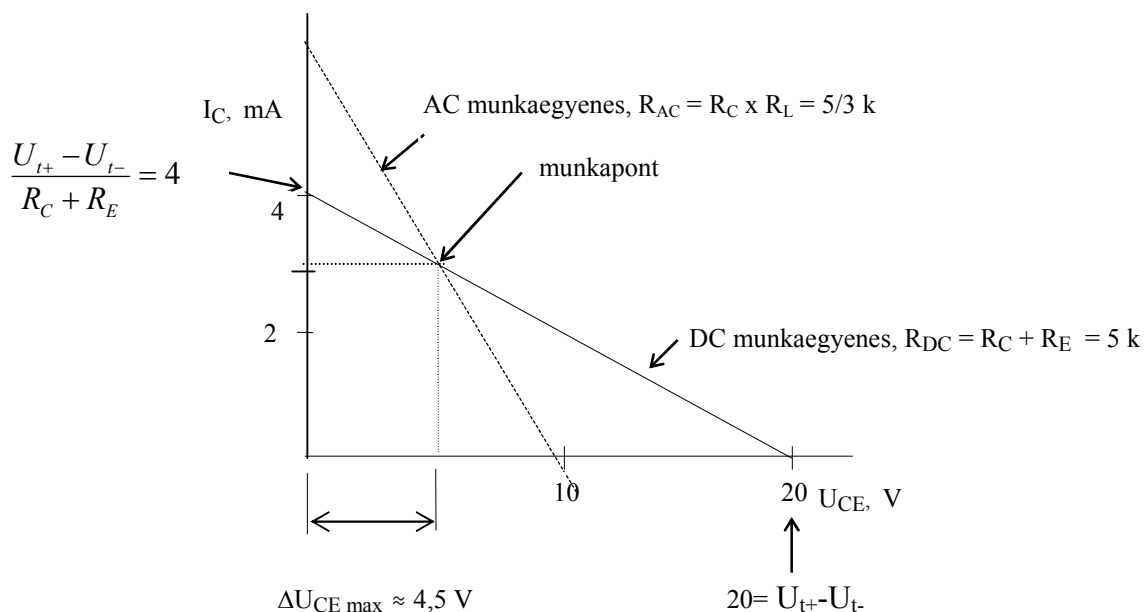
A bemeneti ellenállás:

$$R_{be} = R_B \times \left(\frac{1}{g_{11}} \right) = R_B \times (h_{11}) = 4,7 \times 0,847 = \underline{0,72 \text{ k}}$$

A kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} \approx R_C \times \left(\frac{1}{g_{22}} \right) = 2 \times 100 \text{ k} = \underline{1,96 \text{ k}} \quad (g_{22} = 0 \text{ esetén: } 2 \text{ k})$$

A maximális kimeneti amplitúdó (kivezérelhetőség):



A munkapont nagyobb mértékben mozoghat jobbra (kb. 3,1 mA / 5/3 k = 5,17 V), de a kivezérelhetőséget mindig a közelebbi határ korlátozza, mivel szimmetrikus vezérlőfeszültséget tételezünk fel. Tehát:

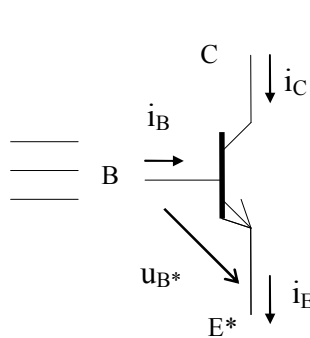
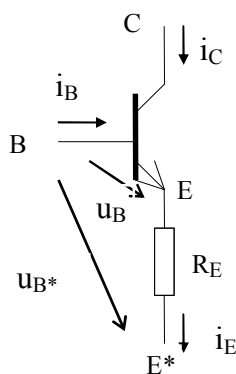
$$U_{ki p \text{ max}} = \Delta U_{CE \text{ max}} \approx 4,5 \text{ V}$$

(p = 'peak' = csúcsérték)

Földelt emitteres fokozat emitter-köri visszacsatolással. Mi történik, ha az előző kapcsolásban a C_E kondenzátort eltávolítjuk? (Más szóval, ha $C_E = 0$.)

Ha a bázis-emitter feszültség változik, és emiatt az emitter-áram is, az R_E -n feszültség lép fel, amely a B-E feszültséget csökkenti, tehát az emitter-áram is kisebb lesz (ez a jelenség, amit emitter-köri visszacsatolásnak /"degenerációnak"/ nevezünk, nem léphetett fel a C_E kapacitás jelenlétében, mivel az ott AC rövidzárként az emitteráram-változást a föld felé elvezette).

Az eredeti tranzisztor plusz emitter-ellenállás helyett be lehet vezetni egy egyenértékű (redukált) tranzisztort, amelynek paraméterei eltérnek az eredeti tranzisztorétól. Az ábra illusztrálja, hogyan lehet a redukált tranzisztor g_{21}^* és g_{11}^* paramétereit kiszámítani.



$$i_C = g_{21} u_B$$

$$u_B^* = u_B + i_C R_E = u_B (1 + g_{21} R_E)$$

A redukált tranzisztorra:

$$i_C = g_{21}^* u_B^*,$$

ebből:

$$g_{21}^* = \frac{i_C}{u_B^*} = \frac{g_{21}}{1 + g_{21} R_E}$$

Hasonlóan:

$$g_{11}^* = \frac{i_B}{u_B^*} = \frac{g_{11}}{1 + g_{21} R_E}$$

(ehhez még: $g_{22}^* = \frac{g_{22}}{1 + g_{21} R_E}$ ha $R_B = 0$, ahol R_B az eredő ellenállás a bázis és a föld [az E^* pont] között; itt $g_{22}^* = g_{22} = 0$).

A szám példa folytatása (az előző oldali ábra, csak most $C_E = 0$).

A „régí“ formulák használhatók, csak g_{21} és g_{11} helyett g_{21}^* -rt és g_{11}^* -ot kell írni.

$$g_{21}^* = g_{21} / (1 + g_{21} R_E) = 118 / (1 + 118 \cdot 3) = 0,33 \text{ mS}$$

$$1/g_{11}^* = (1/g_{11}) (1 + g_{21} R_E) = 0,847 (1 + 118 \cdot 3) = 300 \text{ k}$$

A feszültségerősítés:

$$A_u^* = -g_{21} R_p / (1 + g_{21} R_E) = -197 / (1 + 118 \cdot 3) = -0,555$$

(általában 1-nél nagyobb abszolút értékű feszültségerősítésre van szükség: ez úgy érhető el, ha az emitterkörü ellenállást kettéosztjuk és a C_E kondenzátor csak az egyik részt hidalja át, vagyis a teljes R_E részt vesz a munkaponti áram stabilizálásában, az erősítést viszont csak a kondenzátorral át nem hidalta rész határozza meg /egyúttal stabilizálja is/).

Megjegyzendő, hogy ha $g_{21} R_E \gg 1$, a feszültségerősítés független a tranzisztor paramétereitől:

$$A_u \approx -R_p / R_E$$

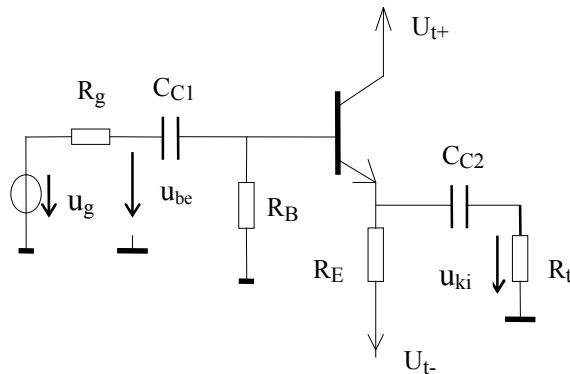
A bemeneti ellenállás:

$$R_{be}^* = R_B \times \left(\frac{1}{g_{11}^*} \right) = 4,7 \times 300 \approx \underline{4,7 \text{ k}\Omega} \quad (\text{Elérhető legnagyobb értékét } R_B \text{ korlátozza.})$$

A kimeneti ellenállás:

$$R_{ki}^* \approx R_C = \underline{2 \text{ k}\Omega} \quad (\text{Nincs változás, feltéve, hogy } g_{22} = 0.)$$

Földelt kollektoros erősítő (FK)



A csatolókapacitásokra, szokásosan:

$$\frac{1}{\omega C_{C1}}, \quad \frac{1}{\omega C_{C2}} \approx 0.$$

Várható, hogy a kimeneti feszültség közelítőleg egyenlő a bemenetivel, minthogy a csaknem állandó U_{BE} feszültség megváltozása jelenti az eltérésüket.

A tranzisztor és emitter-köre helyettesíthető redukált tranzisztorral (ahogy az emitter-köri visszacsatolással rendelkező földelt emitteres fokozatnál láttuk). A redukált tranzisztor paraméterei (ha $g_{22} = 0$):

$$g_{21}^* = \frac{g_{21}}{1 + g_{21}(R_E \times R_t)} \quad \text{és} \quad g_{11}^* = \frac{g_{11}}{1 + g_{21}(R_E \times R_t)}.$$

Mivel $u_i = u_{B^*}$ és $i_E \approx i_C = g_{21}^* u_{B^*}$, a kimeneti feszültség:

$$u_{ki} = i_E(R_E \times R_t) = g_{21}^* u_i(R_E \times R_t) = u_i(R_E \times R_t) \frac{g_{21}}{1 + g_{21}(R_E \times R_t)},$$

ahonnan a feszültségerősítés:

$$A_u = \frac{g_{21}(R_E \times R_t)}{1 + g_{21}(R_E \times R_t)}.$$

A szokásos nagyságrendekkel: $A_u \approx 1$ (de mindig egy kicsit kisebb).

Ennek az a jelentése, hogy a bemeneti feszültséget a fokozat "átmásolja" a kimenetére. Ezért ezt a fokozatot gyakran *emitter-követőnek* is nevezik.

A bemeneti ellenállás:

$$R_{be} = R_B \times \left(\frac{1}{g_{11}^*} \right) = R_B \times \left[\left(\frac{1}{g_{11}} \right) (1 + g_{21}(R_E \times R_t)) \right]$$

(R_B korlátozza.)

A kimeneti ellenállás (a definíció szerint számolva az $R_g = 0$ feltétellel):

$$R_{ki} = -\frac{u_{ki\ddot{u}}}{i_{ki r}} = \frac{-u_{be} \frac{g_{21} R_E}{1 + g_{21} R_E}}{-u_{be} g_{21}} = \frac{R_E}{1 + g_{21} R_E} = \left(\frac{1}{g_{21}} \right) \times R_E \approx \frac{1}{g_{21}} \approx r_E$$

(Tipikusan nagyon kis érték. Például 1 mA-es munkaponti áram esetén: $R_{ki} \approx 26$ ohm.)

A fenti tulajdonságok miatt a földelt kollektoros fokozatot *puffer erősítőnek* is használjuk (ideális puffer /illesztő, vagy elválasztó/ erősítő esetében: $A_u = 1$, $R_{be} = \infty$ és $R_{ki} = 0$).

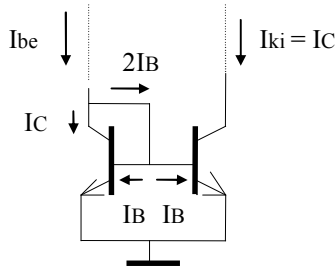
**A 7. héten: kevés új anyag + 1. ZH
Mintafeladatok a folytatásban**

ELEKTRONIKA 2 (Fizikus szak)

1. ZÁRTHELYI

2011/12 – II.

A feladatok és a megoldások:



1.) Vezesse le az ábrán (balra) látható áramtükör relatív hibáját az ideális egységnyi áramátviteli tényezőhöz képest, feltéve, hogy a tranzisztorok egyformák (áramerősítési tényezőjük: B).

Megoldás:

$$I_{ki} = I_{be} - 2I_B = I_{be} \left(1 - \frac{2I_B}{I_C + 2I_B} \right) = I_{be} \left(1 - \frac{2}{B + 2} \right)$$

Az egységnyi áramátviteli tényezőtől való eltérés (relatív hiba):

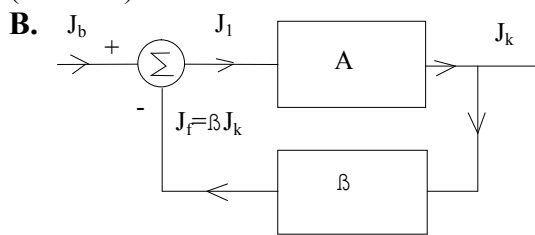
$$h = -\frac{2}{2 + B}, \text{ vagyis tipikusan } -2 \%$$

2.) Adjon választ a visszacsatolt erősítőkre vonatkozó következő kérdésekre. **A.** Mi a hatása a soros feszültség-visszacsatolásnak a feszültségerősítésre, az áramerősítésre, a bemeneti és a kimeneti ellenállásra (válaszoljon összefüggések matematikai megadásával, vagy minőségileg helyes megállapításokkal, pl. nem változik, nő, csökken stb.)? (7 pont) **B.** Mit nevezünk nyíltthurkú erősítésnek, zárthurkú erősítésnek és hurokerősítésnek. (Rajzoljon tömbvázlatot a visszacsatolásról, és azzal szemléltesse válaszát). (7) **C.** Rajzolja fel egy olyan hurokerősítés Nyquist diagramját, amelynek 45°-os fázistartaléka van. (6)

Megoldás:

A. $A_u^* = \frac{Au}{1 + H}$ (csökken); $A_i^* = A_i$ (változatlan); $R_{be}^* = (1 + H)R_{be}$ (nő); $R_{ki}^* = \frac{R_{ki}}{1 + a_{be}H_u}$

(csökken).



Nyílt hurkú erősítés:

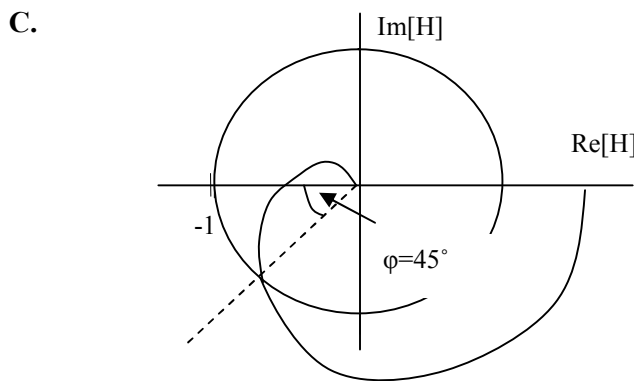
$$A = J_k / J_1$$

Zárt hurkú erősítés:

$$A^* = J_k / J_b$$

Hurokerősítés:

$$H = A\beta$$



3.) Határozza meg az adott kapcsolásban (jobbra) a tranzisztor munkaponti adatait (I_C , U_{CE}), ha a bázisáram elhanyagolható.

Megoldás:

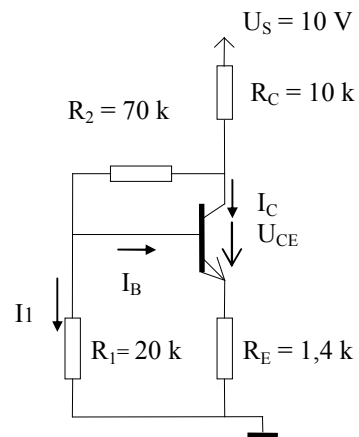
- $U_C = U_S - (I_C + I_1)R_C = I_1(R_1 + R_2)$
- $I_C = I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{U_B - 0,6}{R_E} = \frac{I_1 R_1 - 0,6}{R_E}$

A számadatokkal: az 1. egyenletből:

a 2. egyenletbe helyettesítve:

$$I_1 = (U_S - R_C I_C) / (R_1 + R_2 + R_C) = \dots = 0,1 - 0,11 I_C,$$

$$I_C = ([0,1 - 0,11 I_C] 20 - 0,6) / 1,4.$$

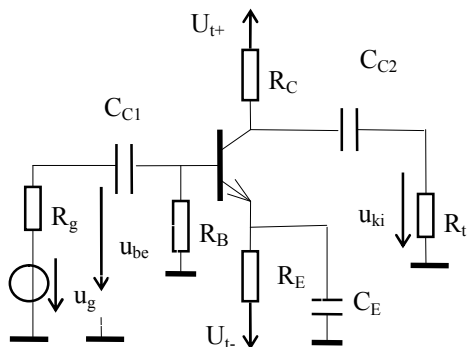


Ebből kiszámítható az I_C áram: $I_C \approx \dots = 0,412 \text{ mA}$

Az eredményt I_1 egyenletébe helyettesítve: $I_1 = 0,1 - 0,1 \cdot 0,412 = 0,059 \text{ mA}$.

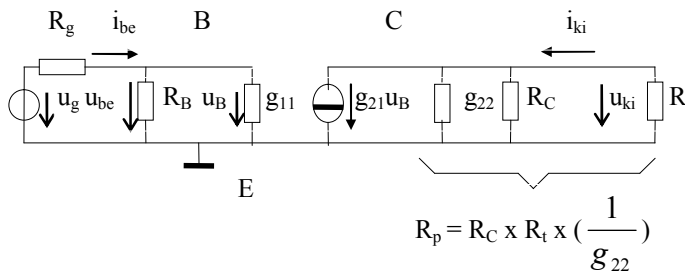
A kollektor-emitter feszültség: $U_{CE} = 10 - 10(0,412 + 0,059) - 0,412 \cdot 1,4 = 4,74 \text{ V}$

4.) Adott egy földelt emitteres erősítőfokozat kapcsolása (lent). Rajzolja fel az AC (váltakozófeszültségű) helyettesítő képét és ennek alapján írja fel a feszültségerősítés, a bemeneti és a kimeneti ellenállás kiszámítására szolgáló összefüggéseket.



Megoldás:

A váltakozófeszültségű helyettesítő kép:



A feszültségerősítés: $A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -g_{21}u_B R_p / u_B = -g_{21}R_p$;

a bemeneti ellenállás: $R_{be} = u_{be}/i_{be} = R_B \times \left(\frac{1}{g_{11}}\right)$; a kimeneti ellenállás: $R_{ki} = R_C \times \left(\frac{1}{g_{22}}\right)$.

5.) Adott egy visszacsatolt erősítő hurokerősítésének amplitúdó-menete három törésponttal: $\omega_3 \gg \omega_2 \gg \omega_1$. Használja e feladtlapon megadott ábrát a b), c), d) és f) kérdés megválaszolásához.

a.) Írja fel a hurokerősítés analitikus kifejezését. (3 pont)

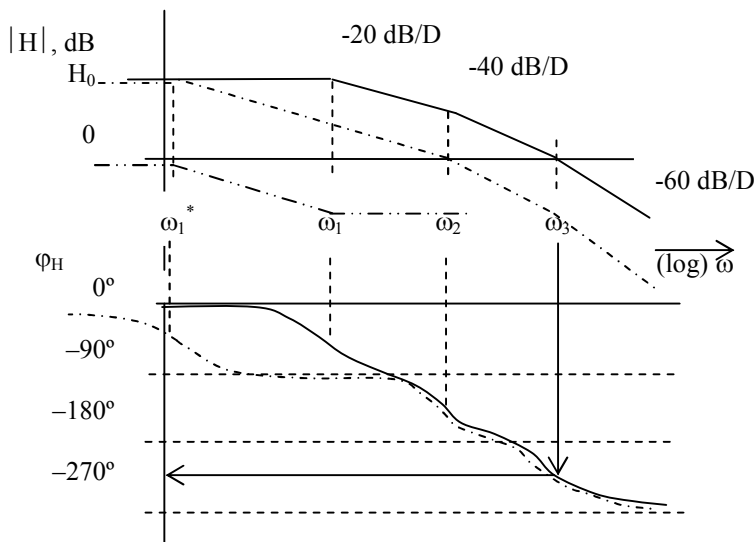
b.) Rajzolja meg minőségileg helyesen a fázismenetet, és mutassa meg, hogy az erősítő instabil. (3)

c.) Hajtson végre frekvencia-kompenzációt 45°-os fázistartalékra az ω_1 töréspont pólussemlegesítéses balra tolásával: írja fel a kompenzáló tag átvitelének analitikus kifejezését, rajzolja fel Bode-diagramját és határozza meg törésponti frekvenciák helyét. (5)

d.) Rajzolja fel a kompenzált hurokerősítés eredő Bode-diagramját (amplitúdó- és fázismenetét). (3)

e.) Hogyan valósítható meg a kompenzáló áramkör (csak a kapcsolási rajz)? (3)

f.) Hol van a kompenzált visszacsatolt erősítő felső határfrekvenciája? (3)



Megoldás:

a.) $H = H_0 \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{\omega_1}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_2}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right)}$; b.) Az amplitúdó-menet 0 dB-es pontjánál (ω_3 -nál) a

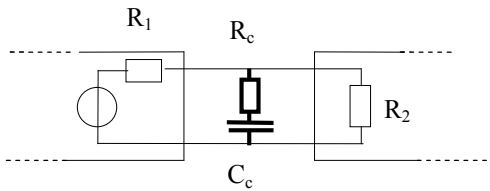
fázistolás -180° alatt van („negatív fázistartalék”), ezért instabil az erősítő.

c.) A balra toll ω_1 töréspontot ω_1^* jelöli: $\omega_1^* = \omega_2/H_0$. A kompenzáló tag átvitele: $\frac{1 + \frac{s}{\omega_1}}{1 + \frac{s}{\omega_1^*}}$ (az ábrán

..... vonal jelöli). A töréspontok helye: ω_1^* és ω_1 .

d.) A kompenzált hurokerősítés amplitúdó- és fázismenetét az ábrán vonal jelöli.

e.)



f.) A visszacsatolt erősítő felső határfrekvenciája ott van, ahol a kompenzált hurokerősítés amplitúdó-menete metszi a 0 dB tengelyt, vagyis: $\omega_{hf} = \omega_2$.