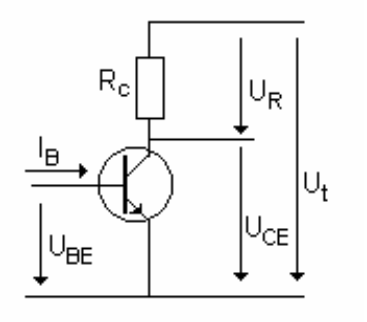
2. Közös emitteres erősítő fokozat

2.1. Munkapont a karakterisztikán

Kapcsoljunk a tranzisztor kollektor körével sorba egy ellenállást (R_C), és kapcsoljunk rájuk U_t pozitív tápfeszültséget.

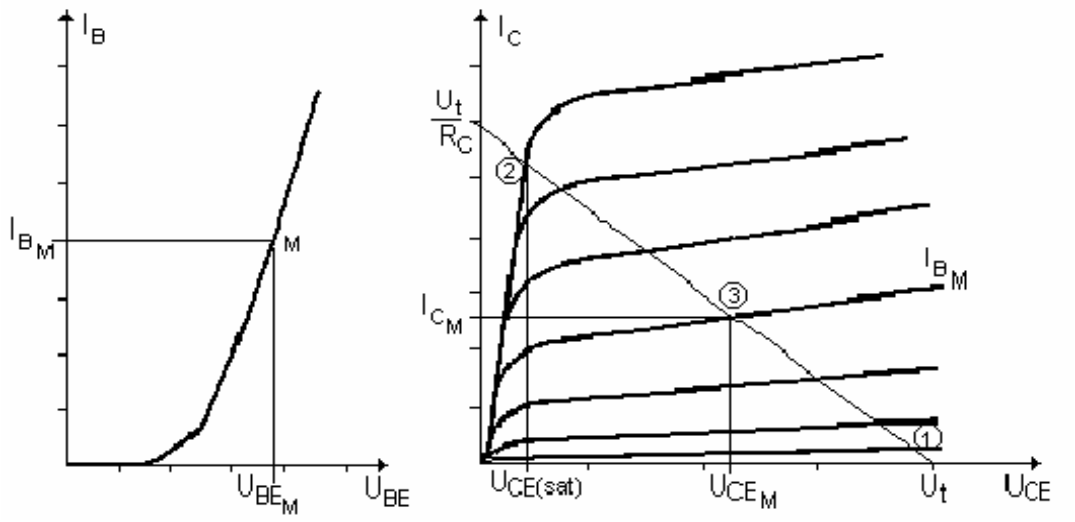


$$U_t = U_R + U_{CE}$$

$$I_C = \frac{U_t - U_{CE}}{R_C}$$

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

A tranzisztoron átfolyó kollektoráram az ellenálláson is feszültségesést hoz létre.
A kollektor áram a bázisárammal lineárisan változtatható.



a.) Ha az I_B áram értéke nulla, a tranzisztor le van zárva. Ekkor $U_{CE} \cong U_t$;

b.) A bázisáram növelésével a tranzisztor egyre jobban nyit. Teljes nyitáskor folyó maximális kollektoráramot az R_C ellenállás korlátozza.

c.) A fenti két szélső helyzet közötti állapotok egy egyenes mentén helyezkednek el, amelynek *munkaegyenes* a neve.

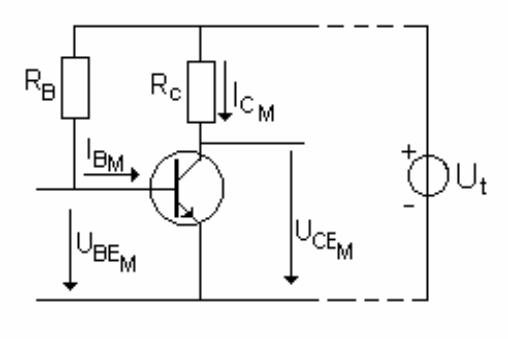
d.) Az elektronikában a munkaegyenes három jellemző pontját *munkapontnak* nevezzük:
1.-2. pontokat a digitális technikai kapcsolásokban használjuk;
3. pontot az analóg erősítés technikában használjuk.

2.2 Munkapont beállítás közös emitteres analóg erősítőnél

A tranzisztor a normál aktív tartományában működik lineáris erősítőként. Az ideális alaphelyzet - a 3. munkapont - a munkaegyenes közepén helyezkedik el. Ennek biztosítása a megfelelő bázisáram beállításával történik, a bázisba kötött ellenállás(ok) segítségével.

A beállítás menete:
- a 3. munkapont kijelölése a munkaegyenesen;
- a munkaponthoz tartozó I_{B_M} áram leolvasása;
- a bázisáramhoz tartozó U_{BE_M} leolvasása (a bementi karakterisztikán).

a.) A beállítás bázisárammal:

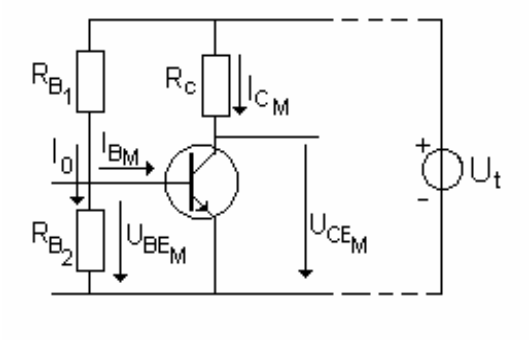


$$U_t = U_{CE_M} + R_C I_{C_M} \Rightarrow R_C = \frac{U_t - U_{CE_M}}{I_{C_M}}$$

$$U_t = R_B I_{BE_M} + U_{BE_M} \Rightarrow R_B = \frac{U_t - U_{BE_M}}{I_{B_M}}$$

b.) A beállítás bázis-emitter feszültséggel.

Stabilabb a munkapont beállítása feszültség osztóval:



$$U_t = U_{CE_M} + R_C I_{C_M} \Rightarrow R_C = \frac{U_t - U_{CE_M}}{I_{C_M}}$$

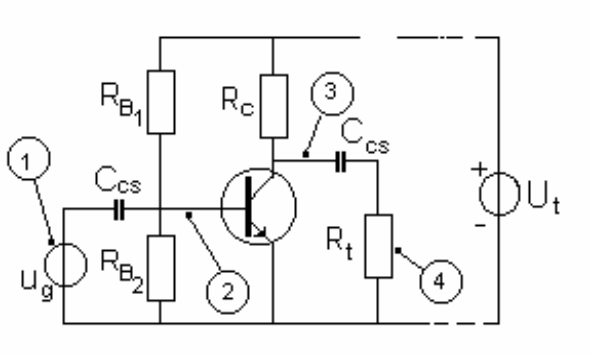
$$(R_{B1} + R_{B2}) = \frac{U_t}{I_0} \quad \text{és legyen} \quad I_0 = 10 I_{B_M}$$

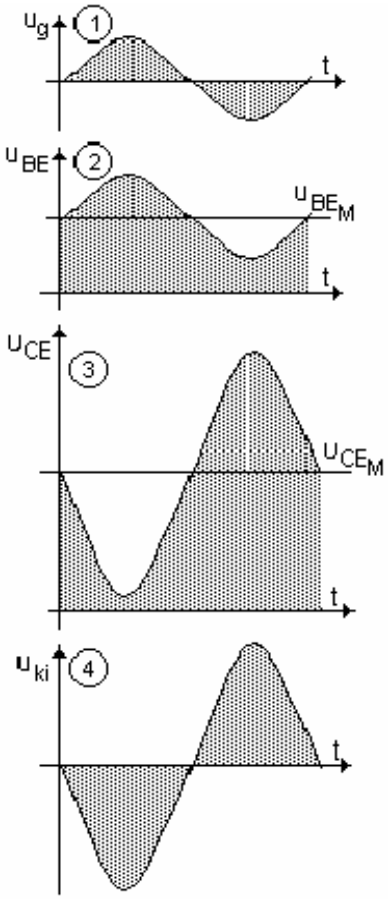
$$R_{B2} = \frac{U_{BE}}{I_0} \quad \text{és} \quad R_{B1} = (R_{B1} + R_{B2}) - R_{B2}$$

Figyelem! A PNP tranzisztor fordított polaritású tápfeszültséget igényel !

2.3. Jelerősítés

Kapcsoljunk a közös emitteres tranzisztoros erősítőre u_g jelfeszültséget, amely legyen példánkban szinuszos alakú. Vegyük észre, hogy így a rendszerben két feszültségforrás dolgozik: egy munkaponti egyenfeszültségeket biztosító U_t tápfeszültség, és az erősítendő u_g váltakozó jelfeszültség. A két jelforrás szétválasztását a C_{cs} *csatolókondenzátorok* biztosítják.





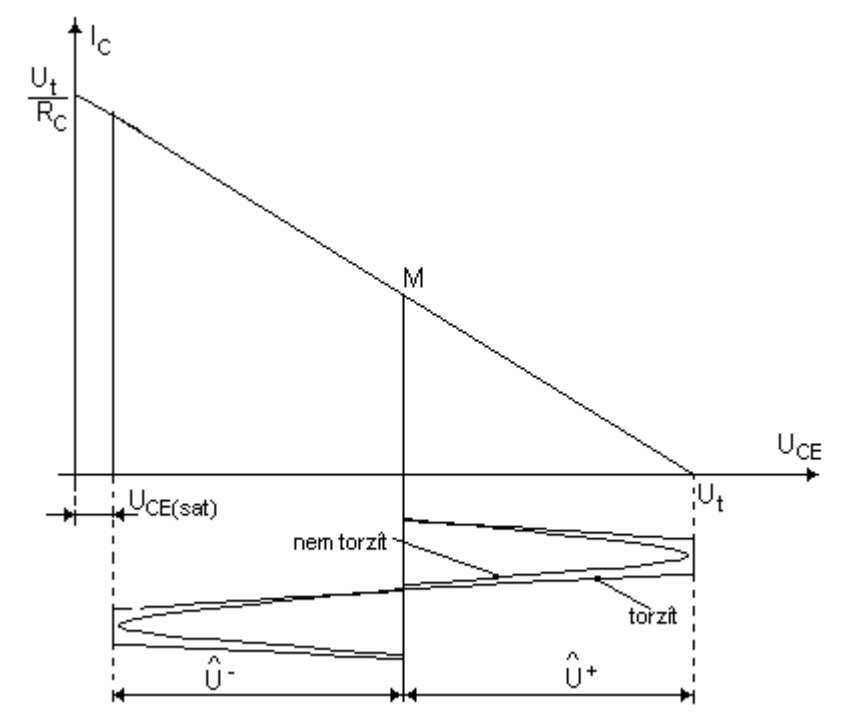
Látható, hogy a tengelyszimmetrikus jel a csatolókondenzátor után a munkaponti egyenfeszültségekre (és egyenáramokra) szuperponálódik. Így mindig pozitív, és így belefér a kivezérlési tartományba. A jelről az egyen tartalmat a kimeneti csatoló kondenzátor választja le.

2.4. Kivezérelhetőség és torzítás

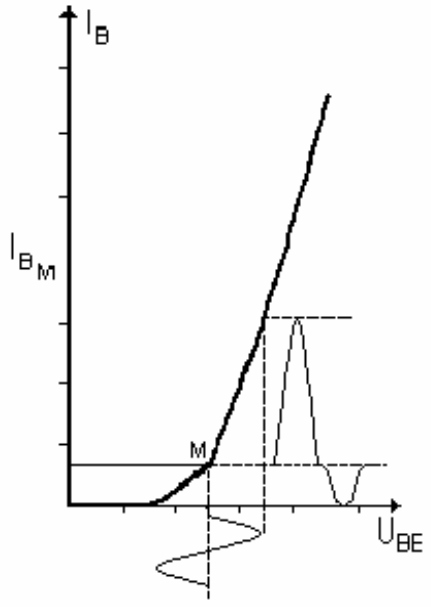
A tranzisztoros erősítő fontos paramétere a kivezérlési tartomány, amely egy torzítatlan szinuszos jel maximális amplitúdójával egyenlő. Az ennél nagyobb amplitúdójú szinuszos jel csúcsát már az erősítő levágja, tehát a jel alakja torzul.
A alábbi ábrán látható, hogy:

$$\hat{U}^{+} = U_t - U_{CE_M}$$
$$\hat{U}^{-} = U_{CE_M} - U_{CE(sat)}$$

Ebből a kivezérlési tartomány: $\hat{U}_{max} = \min(\hat{U}^{+}, \hat{U}^{-})$



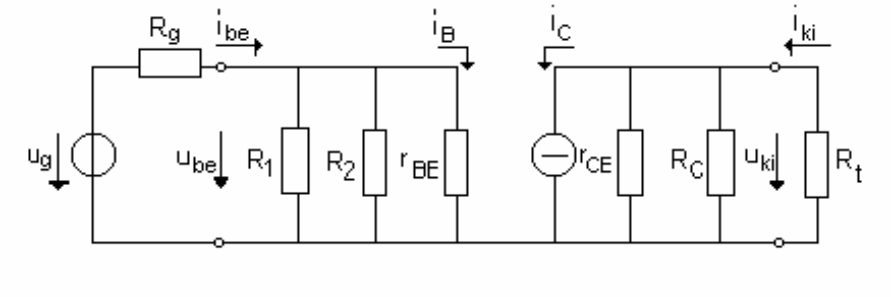
Könnyen belátható, hogy a kivezérlési tartomány akkor a legnagyobb, ha a munkapont a teljes tartomány közepén helyezkedik el: $\hat{U}^+ = \hat{U}^- = \frac{U_t - U_{CE(sat)}}{2}$



Torzítás azonban nemcsak a kimenten, hanem a bemeneten is felléphet, amennyiben a munkapont a bemeneti karakterisztika görbült szakaszára kerül.

2.5. Közös emitteres feszültségerősítő fokozat jellemzői

A jellemzők a kisjelű helyettesítő kép segítségével határozhatók meg. Ehhez - alkalmazva a szuperpozíció tételét - ki kell kapcsolni az egyenfeszültségű feszültségforrást.



a. Feszültségerősítés:

$$A_u = -\frac{u_{ki}}{u_{be}} \cong -\frac{i_C (r_{CE} x R_C x R_t)}{i_B r_{BE}} = -\beta \frac{r_{CE} x R_C x R_t}{r_{BE}}$$

b. Áramerősítés:

$$A_i = \frac{i_{ki}}{i_{be}} \approx \beta$$

c. Bemeneti ellenállás:

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} \cong R_1 x R_2 x r_{BE}$$

d. Kimenti ellenállás:

$$R_{ki} = \frac{u_{ki}(i_{ki} = 0)}{i_{ki}(R_t = 0)} = \frac{u_{ki}(\ddot{u}res)}{i_{ki}(r\ddot{o}vid)} \cong r_{CE} x R_C$$

e. Teljesítményerősítés:

$$A_p = \left| A_u A_i \right| = \frac{\frac{u_{ki}^2}{R_t}}{\frac{u_{be}^2}{R_{be}}} = \left(\frac{u_{ki}}{u_{be}} \right)^2 \frac{R_{be}}{R_t} = A_u^2 \frac{R_{be}}{R_t}$$

Az erősítés logaritmikus léptékben (definíció):

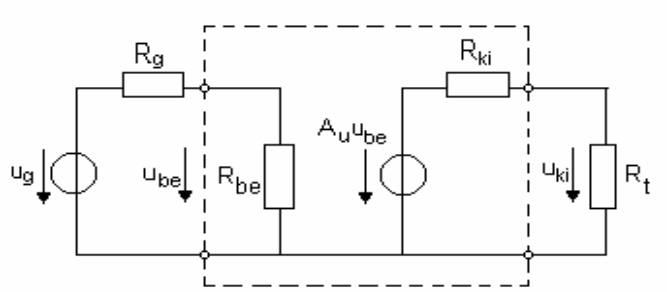
$$a_p = 10\log_{10} A_p \ \text{[dB]} \qquad a_p = 20\log_{10} A_u + 10\log_{10}\frac{R_{be}}{R_t} \ \text{[dB]}$$

Ebből a feszültségerősítés definíciója:

$$a_u = 20\log_{10} A_u \ \text{[dB]}$$

2.6. Erősítőláncok illesztése

a. Illesztés feszültség átadásra



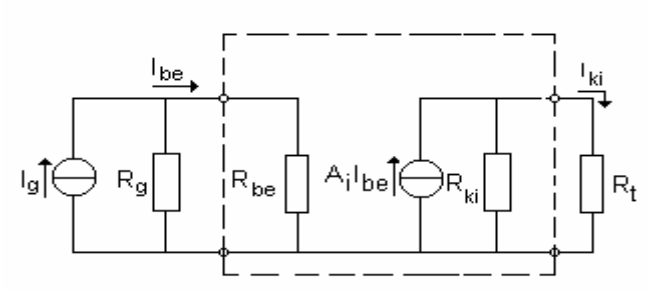
A jelforrás egy valóságos feszültséggenerátor. Az erősítő által felerősített jelfeszültség a terhelésre jut.

$$u_{ki} = A_u u_g \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t}$$

A helyes illesztés feltétele: $R_g << R_{be}$ és $R_{ki} << R_t$

b. Illesztés áram átadásra

A jelforrás egy valóságos áramgenerátor. Az erősítő által felerősített jeláram a terhelésre jut.



$$i_{ki} = A_i i_g \frac{R_g}{R_g + R_{be}} \frac{R_{ki}}{R_{ki} + R_t}$$

A helyes illesztés feltétele: $R_{be} << R_g$ és $R_t << R_{ki}$

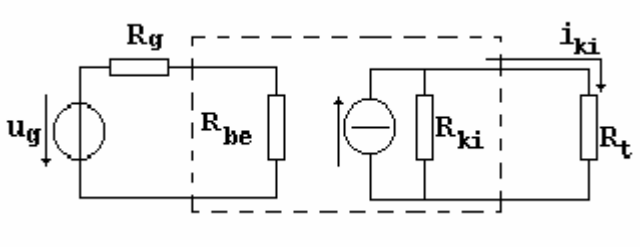
c. Illesztés teljesítmény átadásra

Levezetés nélkül is belátható, hogy az illesztés feltétele:

$R_g = R_{be}$ és $R_{ki} = R_t$ Ekkor az illesztés maximális hatásfoka: 50%-os.

d. Vegyes illesztés

Végerősítő fokozatok bemenete feszültség-illesztéssel fogadja a jelet, de a viszonylag alacsony impedanciájú hangszóró miatt a kimenet már áram-illesztésű.



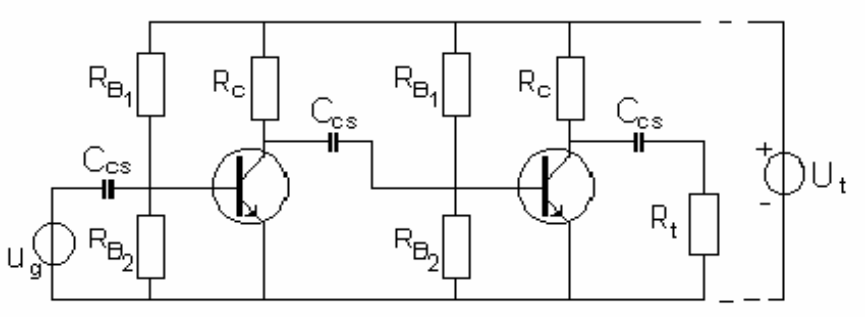
A helyes illesztés feltétele: $R_{be} >> R_g$ és $R_t << R_{ki}$

2.7. Lineáris erősítő fokozat frekvencia függése

2.7.1 Az erősítés alsó határfrekvenciája

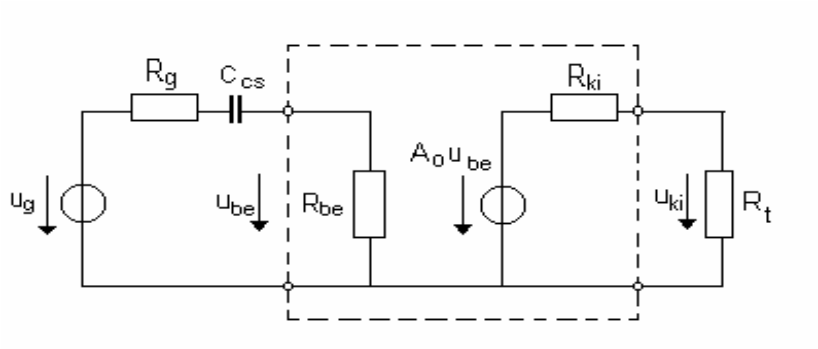
Két fokozat közvetlen összekötése problémákkal jár:
- Az első fokozat kimenete és második fokozat bemenete nem azonos feszültségszinten van: $U_{CE_{M1}} \neq U_{BE_{M2}}$.
- A hőmérsékletváltozás munkapont változással jár, amely jelként terjed át a következő fokozatra.
- Hasonló hatást fejt ki az U_t tápfeszültség ingadozás is.

Megoldás: az egyes fokozatok egyenáramú szétválasztása C_{cs} csatolókondenzátorokkal.



Az erősítő helyettesítő képe a csatolókondenzátor hatásának vizsgálatához:

Mint ismeretes a kondenzátor impedanciája frekvenciafüggő, így kiszűri a jel alacsonyfrekvenciás összetevőit is: $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$



$$u_{be} = u_g \frac{R_{be}}{R_g + R_{be} + \frac{1}{j\omega C_{cs}}} = u_g \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \frac{j\omega C_{cs}(R_g + R_{be})}{1 + j\omega C_{cs}(R_g + R_{be})}$$

$$u_{ki} = A_0 u_{be} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t}$$

Az alábbi kifejezés az erősítés alsó határfrekvenciája:

$$\omega_{Ha} = \frac{1}{C_{cs}(R_g + R_{be})}$$

Így az erősítés frekvencia függése az alábbiak szerint alakul:

$$A(\omega) = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_0 \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t} \frac{j\frac{\omega}{\omega_{Ha}}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{Ha}}} = A_u \frac{j\frac{\omega}{\omega_{Ha}}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{Ha}}}$$

Ahol A_u az erősítés frekvencia független részét jelöli.

Az erősítés frekvenciafüggésének ábrázolásánál külön ábrában szerepel az erősítés abszolút értéke decibelben, és külön ábrában a fázisfüggvény (Bode-diagram).

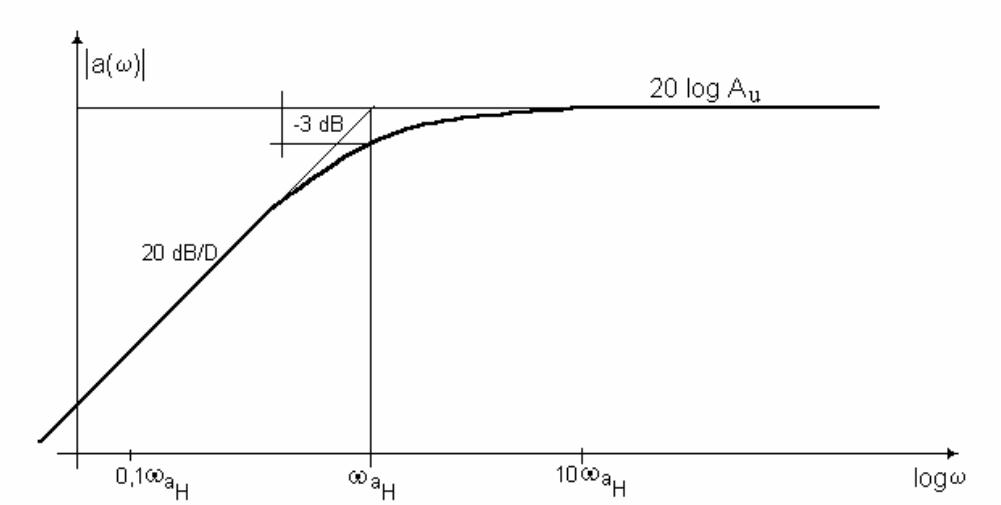
Az erősítés abszolút értéke a frekvencia függvényében:

$$|A(\omega)| = A_u \frac{\frac{\omega}{\omega_{aH}}}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_{aH}})^2}},$$

$$|a(\omega)| = 20\log_{10} A_u + 20\log_{10}\frac{\omega}{\omega_{aH}} - 20\log\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_{aH}}\right)^2}$$

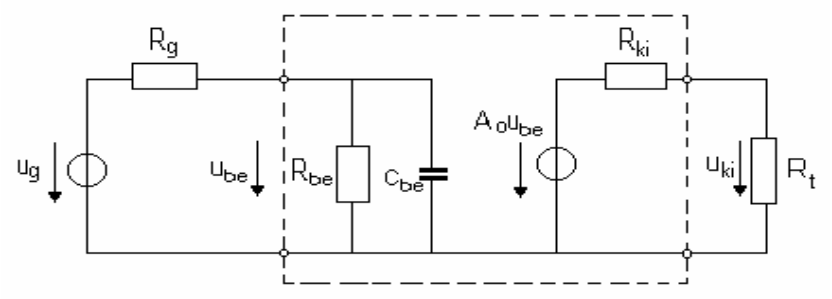
Az erősítés fázisa a frekvencia függvényében:

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - ar\,\mathrm{ctg}\frac{\omega}{\omega_{aH}}$$



2.7.2 Az erősítés felső határfrekvenciája

Az erősítőkben szereplő tranzisztorok belső rétegkapacitása (C_{CB} és C_{BE}) úgy viselkednek, mint a jel útjával párhuzamosan kötött kapacitások
A kisjelű helyettesítő képben C_{be} ezek eredőjét jelöli.



Thevenin tételt alkalmazva a bemenetre:

$$u'_g = u_g \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \quad \text{és} \quad R'_g = R_g x R_{be}$$

Fentiek felhasználásával:

$$u'_{be} = u'_g \frac{\frac{1}{j\omega C_{be}}}{R'_g + \frac{1}{j\omega C_{be}}} = u'_g \frac{1}{1 + j\omega C_{be} R'_g}$$

$$u_{ki} = A_0 u'_{be} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t}$$

Az alábbi kifejezés az erősítés felső határfrekvenciája:

$$\omega_{Hf} = \frac{1}{C_{be} R_g}$$

Így az erősítés frekvencia függése az alábbiak szerint alakul:

$$A(\omega) = \frac{u_{ki}}{u'_{be}} = A_0 \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t} \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{Hf}}} = A_u \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{Hf}}}$$

Ahol A az erősítés frekvencia független részét jelöli.

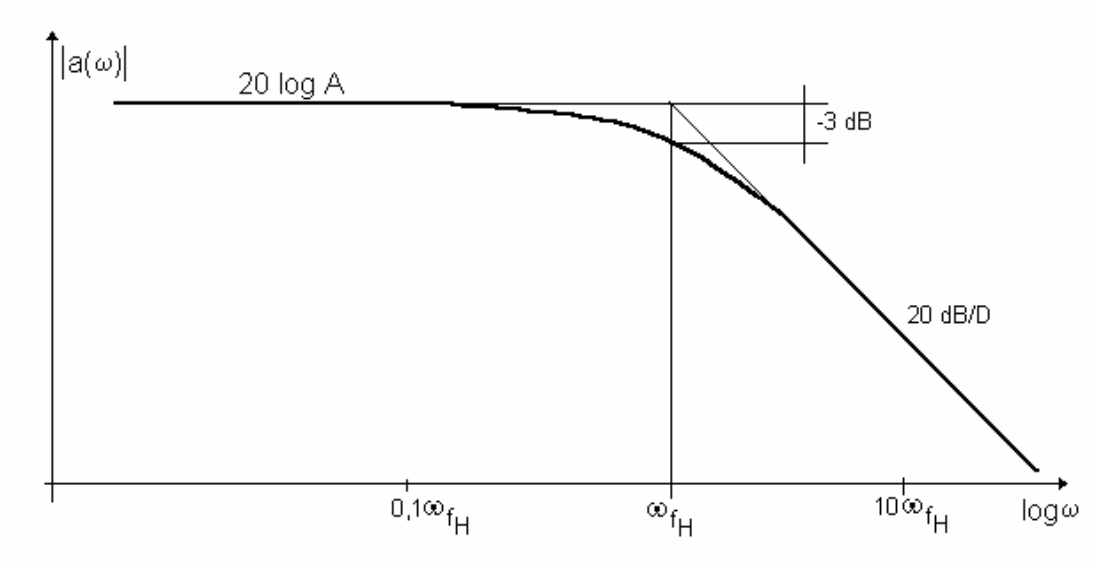
Az erősítés abszolút értéke a frekvencia függvényében:

$$|A(\omega)| = A_u \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_{Hf}})^2}}$$

$$|a(\omega)| = 20\log_{10} A_u - 20\log\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{Hf}}\right)^2}$$

Az erősítés fázisa a frekvencia függvényében:

$$\varphi(\omega) = -arctg\frac{\omega}{\omega_{Hf}}$$



2.7.3 A közösemitteres erősítő fokozat erősítésének frekvencia függése

Tehát egyfokozatú közösemitteres tranzisztoros erősítő erősítése a frekvencia függvényében:

$$|A(\omega)| = A_u \frac{\dfrac{\omega}{\omega_{Ha}}}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\omega}{\omega_{Ha}}\right)^2}} \frac{1}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\omega}{\omega_{Hf}}\right)^2}}$$

