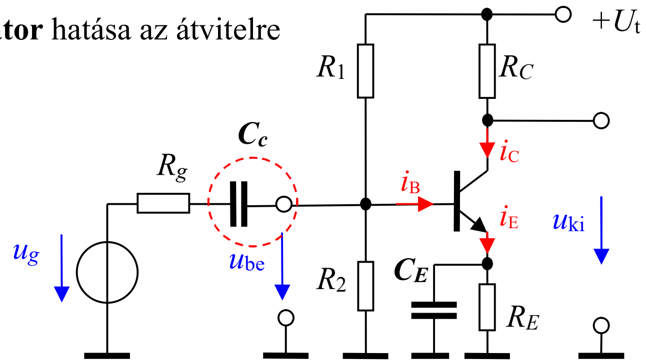
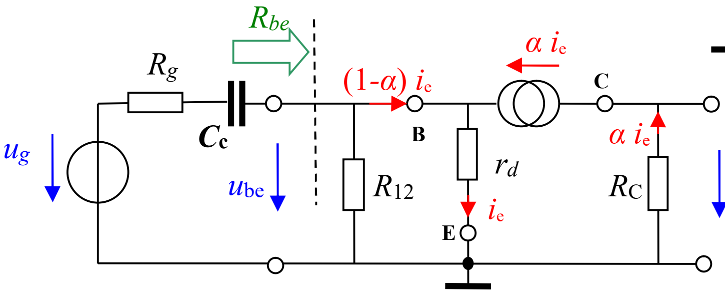
Tranzisztoros erősítő fokozatok átvitelének frekvenciafüggése

1.) Emlékeztető: **A csatoló kondenzátor** hatása az átvitelre



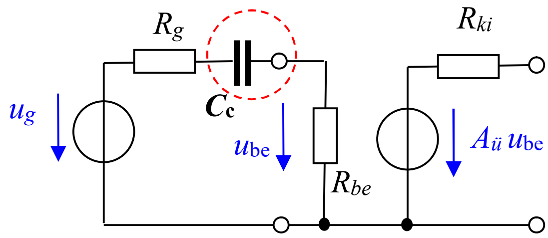
Egy tápfeszültséges földelt-emitteres fokozat:

C_c :véges $\quad C_E \to \infty$



A kisjelű helyettesítő kép:

A három paraméteres helyettesítő kép:



$$R_{be} = R_{12} \times (1+\beta) r_d \qquad (R_{12} = R_1 \times R_2)$$

$$A_ü = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{-\alpha i_e R_C}{i_e r_d} = -\alpha \frac{R_C}{r_d}$$

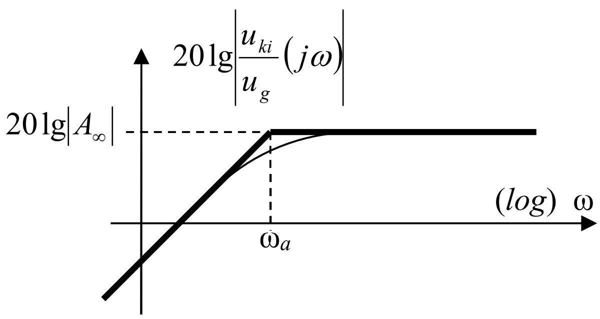
$$R_{ki} = R_C$$

A bemeneti leosztás frekvenciafüggő:

$$L_{be}(s) = \frac{u_{be}}{u_g} = \frac{R_{be}}{R_{be} + R_g + \dfrac{1}{sC_c}} = \frac{R_{be} s C_c}{1 + sC_c(R_{be}+R_g)} = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \frac{sC_c(R_{be}+R_g)}{1+sC_c(R_{be}+R_g)} = L_{be0} \frac{s/\omega_a}{1+s/\omega_a}$$

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = A_\infty \frac{s/\omega_a}{1+s/\omega_a}}$$

ahol: $\boxed{A_\infty = \dfrac{R_{be}}{R_g + R_{be}} A_ü}$ (amikor $C_c \to \infty$)



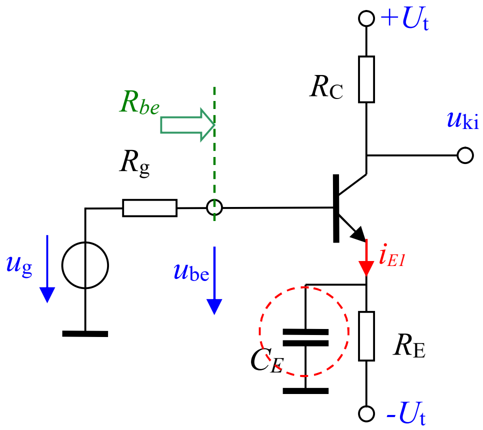
$$\boxed{\omega_a = \frac{1}{C_c(R_g + R_{be})}}$$

(Megjegyezhető:)

$$\frac{1}{\omega_a C_c} = R_g + R_{be}$$

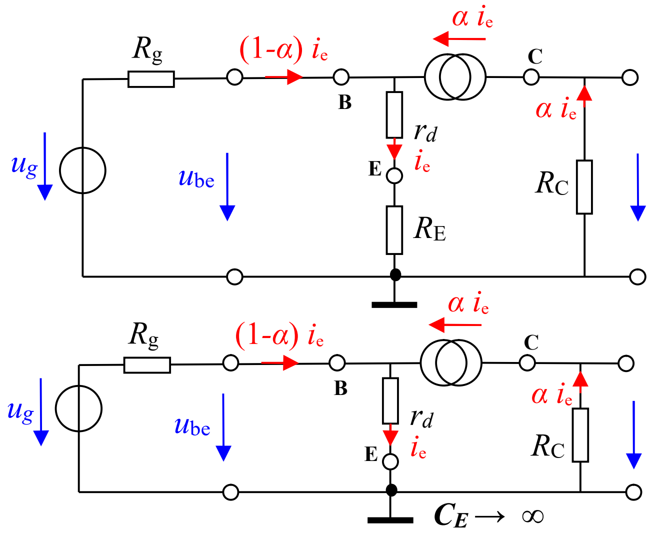
A kapacitás impedanciájának abszolút értéke a töréspont frekvencián megegyezik a rákapcsolódó ellenállások (soros) eredőjével.

2.) Emlékeztető: Az emitter-kondenzátor hatása az átvitelre

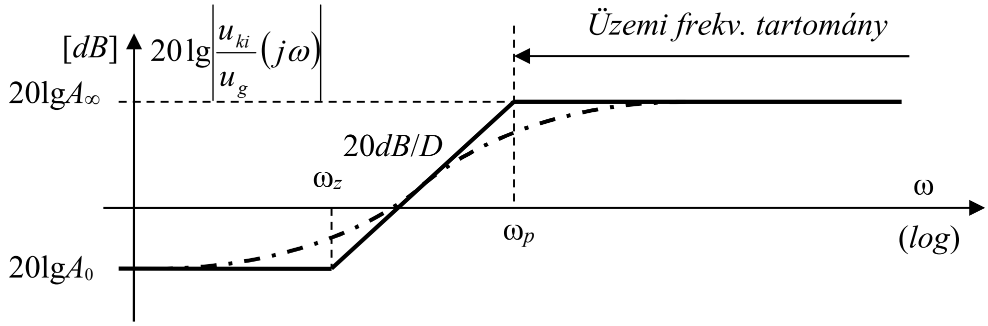


$\boxed{C_E = 0}$

$\boxed{C_E = \infty}$



$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = A_0 \frac{1+\dfrac{s}{\omega_z}}{1+\dfrac{s}{\omega_p}}}$$



Amikor $C_E = 0$ (C_E helyett szakadás)

$$\boxed{A_0 = \frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{-\alpha R_C}{r_d + R_E + (1-\alpha)R_g}}$$

Ez a szakadás úgy is előidézhető, hogy a frekvencia tart a zérushoz (és C_E véges).

Ekkor:
$$A_0 = \lim_{s\to 0}\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = \lim_{s\to 0} A_0 \frac{1+\dfrac{s}{\omega_z}}{1+\dfrac{s}{\omega_p}} = A_0$$

Amikor $C_E \to \infty$ (C_E helyett rövidzár)

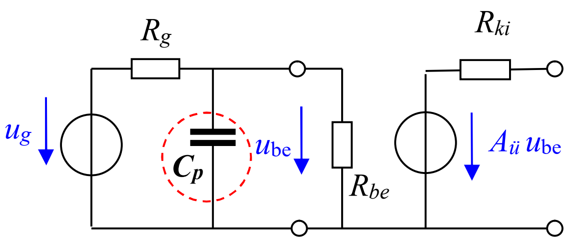
$$\boxed{A_\infty = \frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{-\alpha R_C}{r_d + (1-\alpha)R_g}}$$

Ez a rövidzár úgy is előidézhető, hogy a frekvencia tart a végtelenhez (és C_E véges).

Ekkor:
$$A_\infty = \lim_{s\to \infty}\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = \lim_{s\to \infty} A_0 \frac{1+\dfrac{s}{\omega_z}}{1+\dfrac{s}{\omega_p}} = A_0\frac{\omega_p}{\omega_z}$$

Amiből: $\boxed{\omega_p = \omega_z \dfrac{A_\infty}{A_0}}$ és ahol: $\boxed{\omega_z = \dfrac{1}{R_E C_E}}$

3. Emlékeztető: **Párhuzamos-ági kapacitás hatása az átvitelre**



Ha: $C_p \to 0$

$$A_0 = \frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} A_ü$$

Ha: C_p véges

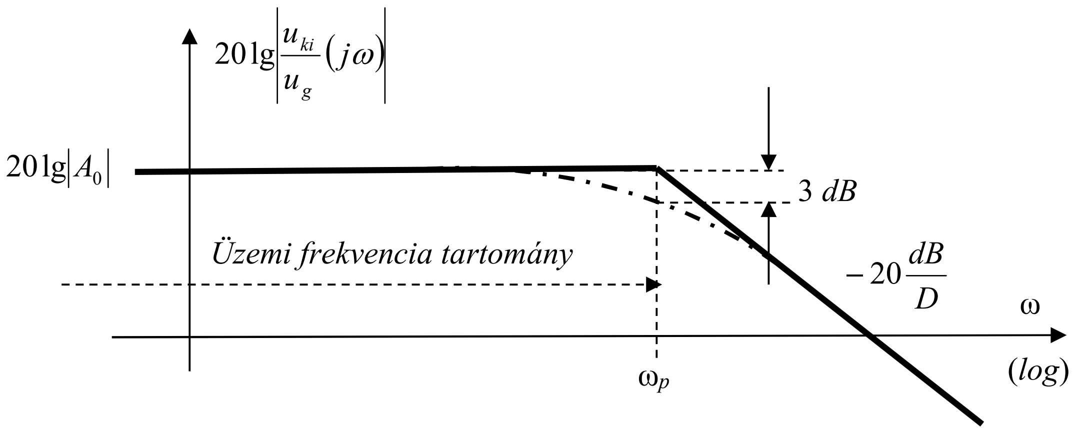
$$A(s) = \frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = \frac{R_{be} \times (1/sC_p)}{R_g + R_{be} \times (1/sC_p)} A_ü = \frac{R_{be}}{R_g(1 + sC_p R_{be}) + R_{be}} A_ü = \frac{R_{be} A_ü}{R_g + R_{be}} \frac{1}{1 + \dfrac{sC_p R_g R_{be}}{R_g + R_{be}}}$$

$$\boxed{A(s) = A_0 \frac{1}{1 + s/\omega_p}}$$

Ahol: $\omega_p = \dfrac{1}{C_p (R_g \times R_{be})}$

A törésponti frekvencián a kapacitás impedanciája megegyezik a rá kapcsolódó ellenállások eredőjével.

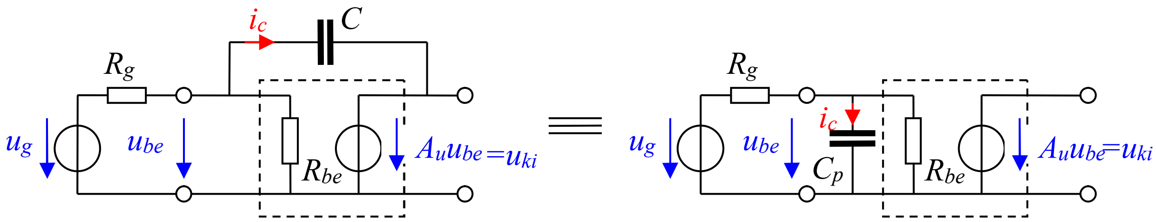
$$\boxed{\frac{1}{\omega_p C_p} = R_g \times R_{be}}$$



A párhuzamos kapacitás felülről korlátozza az üzemi frekvencia tartományt.

4. Emlékeztető **(Miller-kapacitás)**

Határozzuk meg az alábbi kapcsolásra az $\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = ?$ transzfer függvényt! $A_u < 0$!!!



A baloldali ábrán a kapacitás árama a csomóponti potenciálok módszerével:

$$i_c = [u_{be} - u_{ki}]sC = [u_{be} - A_u u_{be}]sC = s(1 - A_u)Cu_{be}$$

Amiből:

$$\frac{u_{be}}{i_c} = \frac{1}{s(1-A_u)C} = \frac{1}{sC_p} \qquad \text{ahol: } \boxed{C_p = (1-A_u)C}$$

A bemeneti impedancia és az átvitel szempontjából ekvivalens áramkört kapunk a sönt-ágban áthelyezett $C_p = (1 - A_u)C$ értékű kapacitással. (Lásd az ábrát.)

Az így kapott létra hálózat egyszerűbben számítható. (A feszültség generátor árama megváltozott, de az egyébként tetszőleges lehet.) Ezzel az áthelyezéssel a feladatot visszavezettük a párhuzamos kapacitás esetére (lásd az előzőeket).

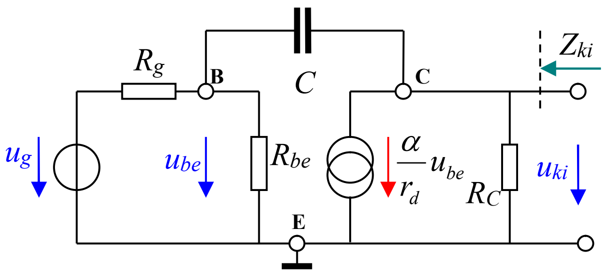
$$\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = A_0 \frac{1}{1 + s/\omega_f}$$

Ahol:

$$A_0 = A_u \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \qquad A_u < 0 \text{ !!!}$$

$$\omega_f = \frac{1}{(R_g \times R_{be})(1 - A_u)C} = \frac{1}{(R_g \times R_{be})(1 + |A_u|)C}$$

5.) Emlékeztető (A kollektor-bázis kapacitás hatása $C = C_{bc}$)



$$R_{be} = (1 + \beta)r_d$$

Földelt emitteres fokozatban a tranzisztor π helyettesítő képét egészítsük ki a $C = C_{bc}$ kollektor-bázis kapacitással!

Határozzuk meg az: $\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = ?$

transzfer függvényt!

A csomóponti potenciálok segítségével a bázisra és a kollektorra felírható csomóponti egyenletek:

$$\frac{u_g-u_{be}}{R_g}+(u_{ki}-u_{be})sC=\frac{u_{be}}{R_{be}} \qquad \alpha\frac{u_{be}}{r_d}+(u_{ki}-u_{be})sC+\frac{u_{ki}}{R_C}=0$$

Az egyenletek rendezését mellőzve:

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_g}}(s)=A_0\frac{1-s/\omega_z}{1+s/\omega_p}\cong \boxed{A_0\frac{1}{1+s/\omega_p}} \qquad \text{mivel: } |\omega_z|>>\omega_p$$

Ahol:

$$A_0=A_u\frac{R_{be}}{R_g+R_{be}}=-\alpha\frac{R_c}{r_d}\frac{(1+\beta)r_d}{R_g+(1+\beta)r_d},$$

$$A_u=-\alpha\frac{R_C}{r_d},\quad \text{és}\quad \omega_z=-\frac{A_u}{CR_c}=\frac{\alpha}{Cr_d}\approx\omega_p\alpha(1-A_u)\frac{R_g\times R_{be}}{r_d}$$

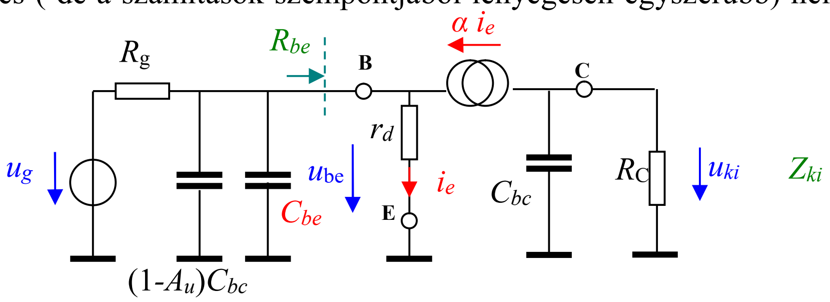
$$\boxed{\omega_p}=\frac{1}{C[(1-A_u)(R_g\times R_{be})+R_C]}\cong\frac{1}{C(1-A_u)(R_g\times R_{be})}=\boxed{\frac{1}{C_p(R_g\times R_{be})}}$$

Tehát a tranzisztor C_{bc} kollektor-bázis kapacitását jó közelítéssel Miller-kapacitásként kezelhetjük:

$$C_p=(1-A_u)C$$

akkor is, ha az ideális feszültség generátor helyett véges (R_C) belső ellenállású generátor van a modellben (Norton-ekvivalens).

A kapcsolás kimeneti impedanciájára közelítőleg az $Z_{ki}\cong R_C\times\frac{1}{sC_{bc}}$ adódik. Ennek alapján a közelítőleg érvényes (de a számítások szempontjából lényegesen egyszerűbb) helyettesítő kép adódik:



Megjegyzendő, hogy a kollektor-bázis kapacitás mellett egy másik, a C_{be} **bázis-emitter** (más néven a diffúziós) **kapacitás** is létezik méghozzá úgy, hogy: $C_{be}>C_{bc}$. A C_{be} értéke munkapont függő, de a $2\pi f_\alpha=\frac{1}{r_dC_{be}}$ határfrekvencia már nem. Ez az f_α frekvencia egy a tranzisztorra jellemző adat.

Földelt emitteres kapcsolásban a pólus kiszámításához szükséges kapacitás értéke tehát:

$$\boxed{C_{er}=C_{be}+(1-A_u)C_{bc}}$$