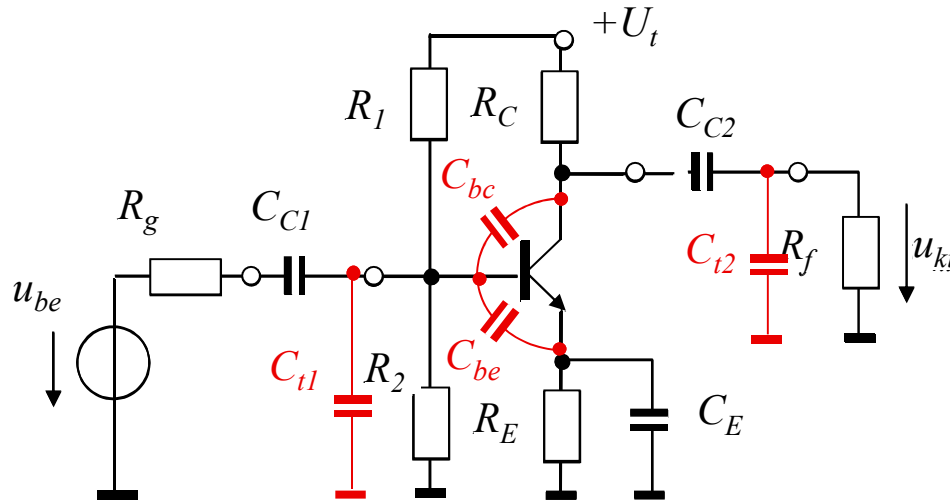


Alapkapcsolások frekvenciafüggése

Dr. Gaál József
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
gaal@hit.bme.hu

FE (közös emitteres) fokozat frekvencia függése



Beépített kondenzátorok:

- C_{C1}, C_{C2} : csatolók
- C_E : emitter hidegítő



Alsó határfrekvencia.

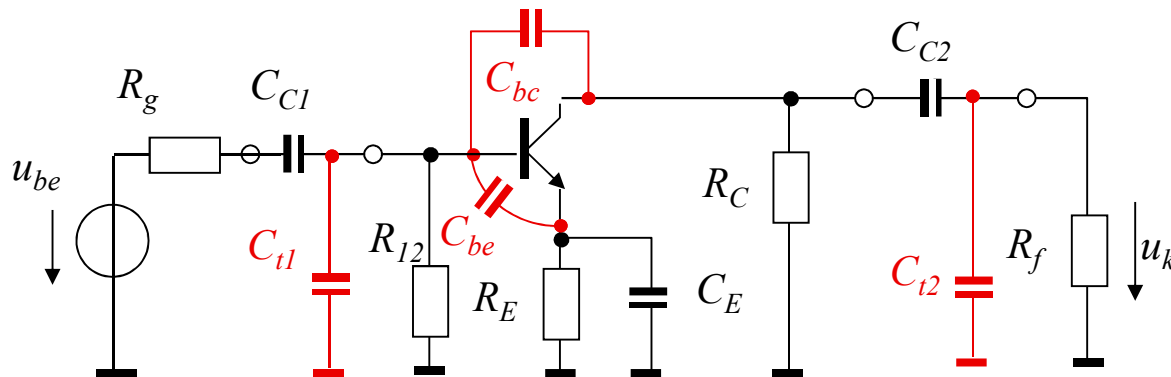
Parazita kapacitások:

- C_{t1}, C_{t2} : párhuzamos terhelő
- C_{be}, C_{bc} : tranzisztor



Felső határfrekvencia.

Váltóáramú helyettesítő kép:



$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$$

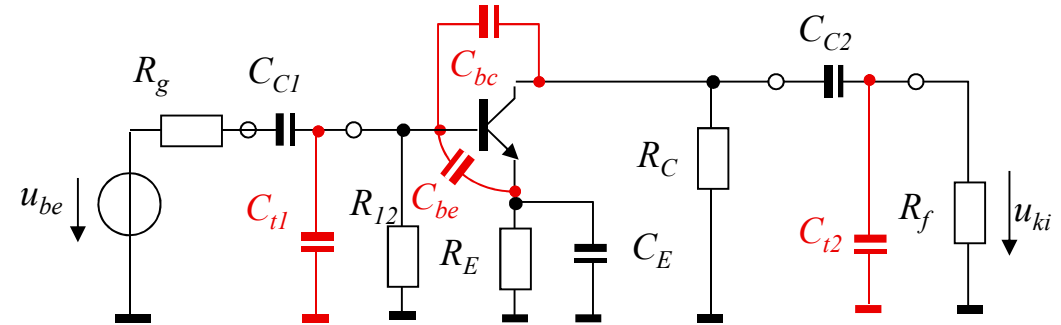
7 reaktáns elem:

→ 7-ed fokú transzfer függvény. ?

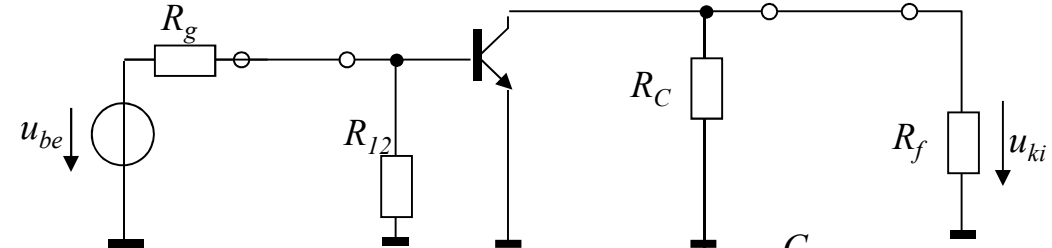
Különböző hatások szeparált számítása!

FE fokozat frekvencia függése

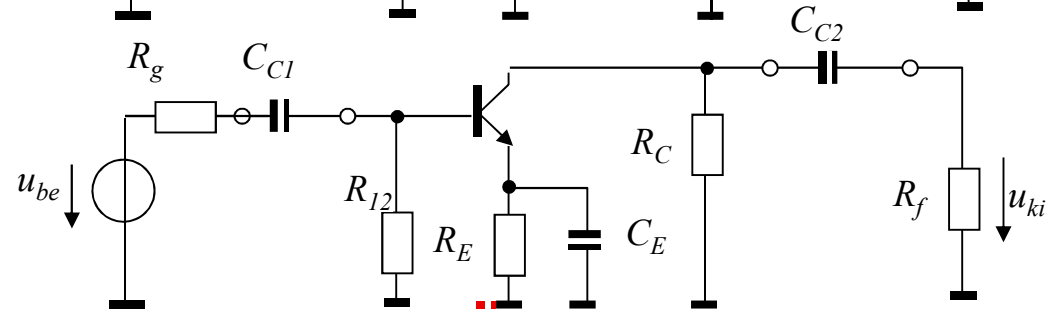
Teljes váltóáramú helyettesítő kép:



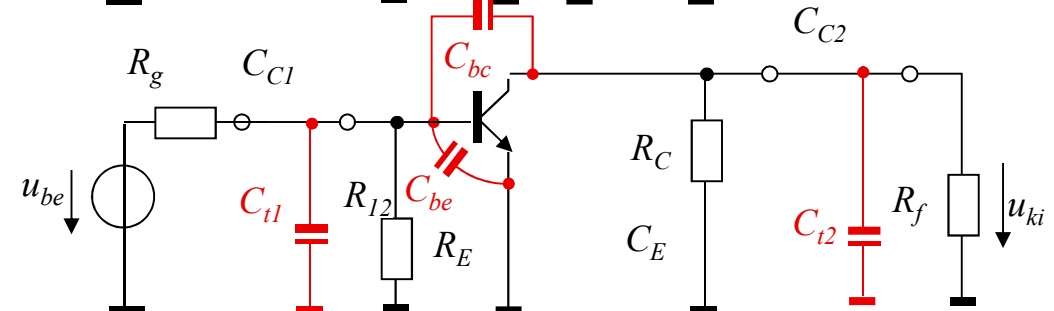
Üzemi frekvenciás helyettesítő kép (frekvencia független):



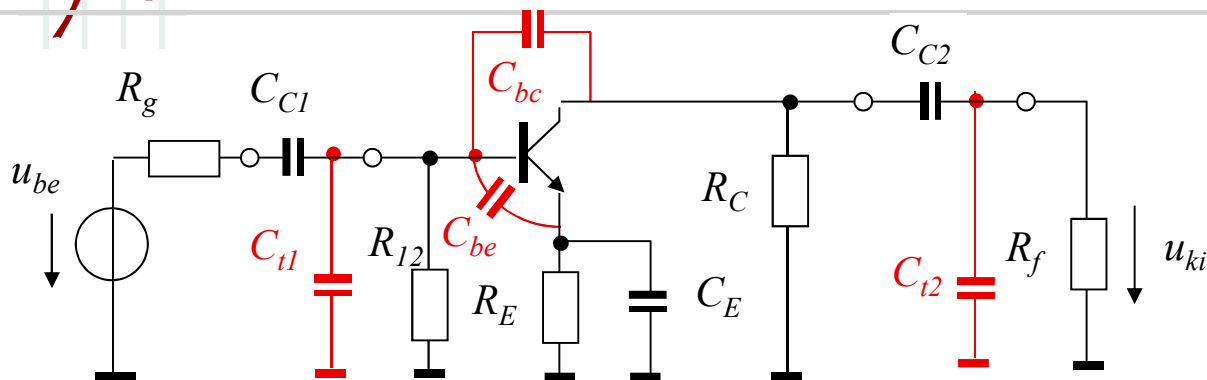
Kisfrekvenciás helyettesítő kép:



Nagyfrekvenciás helyettesítő kép:



FE fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (1)

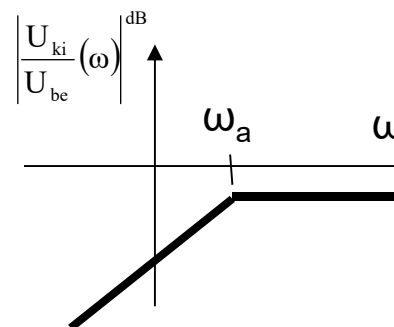
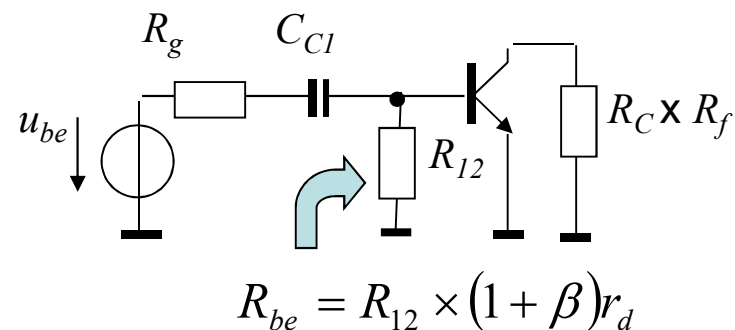


Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

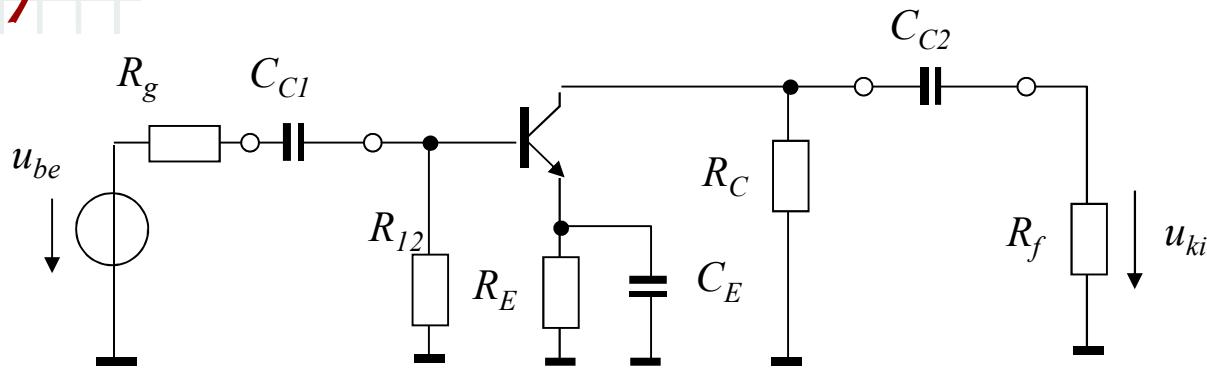
1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk

- C_{C1} , hatásának számítása : C_{C2} , C_E : rövidzár

$$\omega_{a1} = \frac{1}{C_{c1} (R_g + R_{12} \times (1 + \beta) r_d)}$$



FE fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (2)

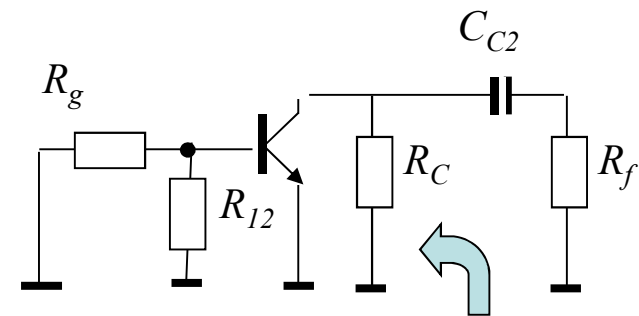


Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

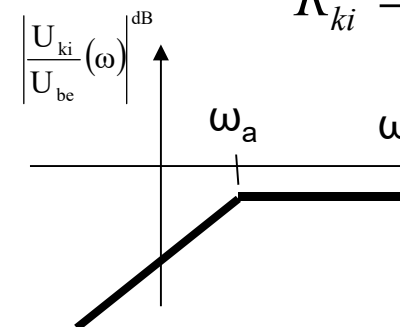
1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk

- C_{C2} , hatásának számítása : C_{C2} , C_E : rövidzár

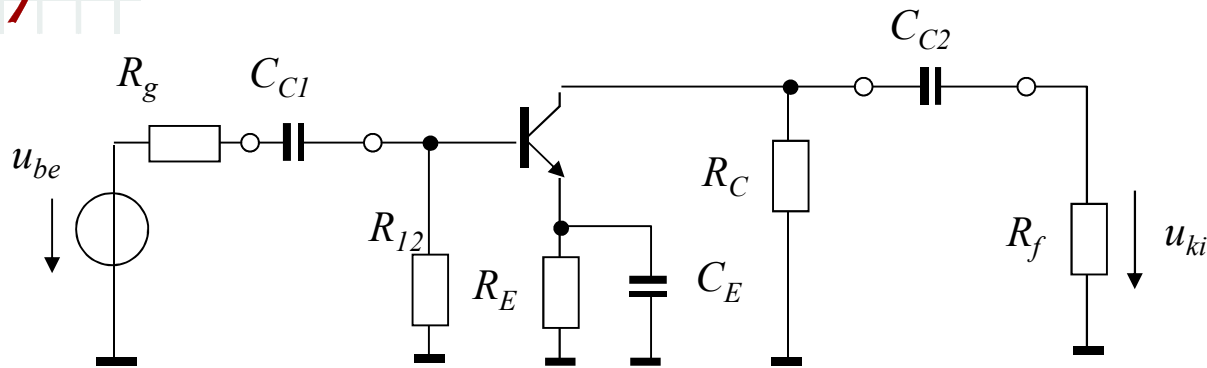
$$\omega_{a2} = \frac{1}{C_{c2} (R_C + R_f)}$$



$$R_{ki} = R_C$$



FE fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (3)

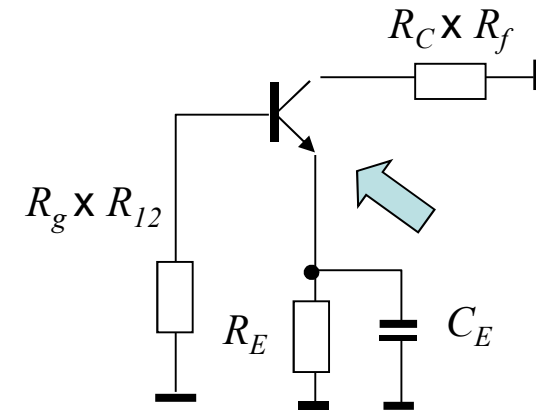


Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

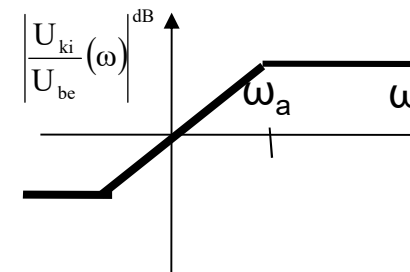
1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk

- C_E hatásának számítása : C_{C2}, C_{C1} : rövidzár

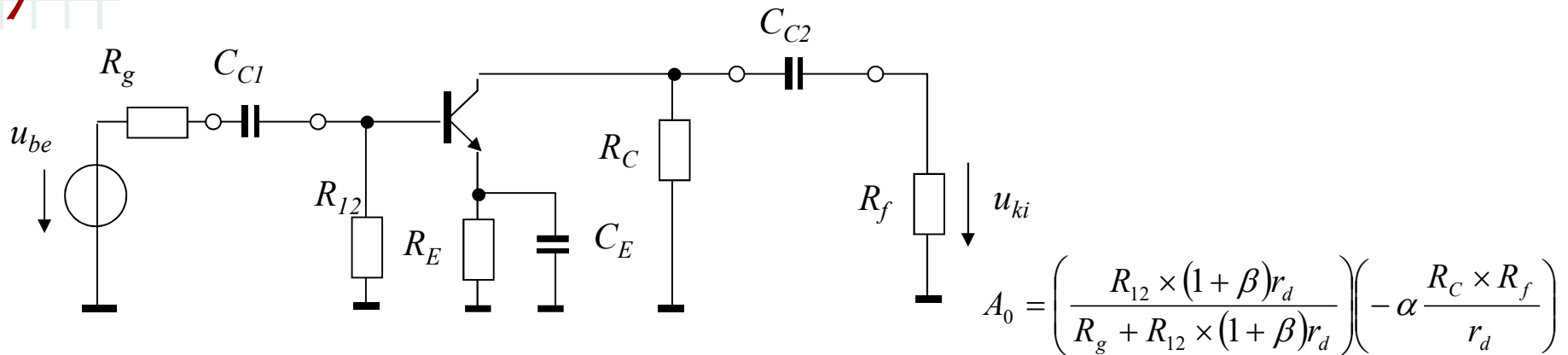
$$\omega_{a3} = \frac{1}{C_E (R_E \times R_{ki})}$$



$$R_{ki} = r_d + (1 - \alpha)(R_g \times R_{12})$$



FE fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (4)



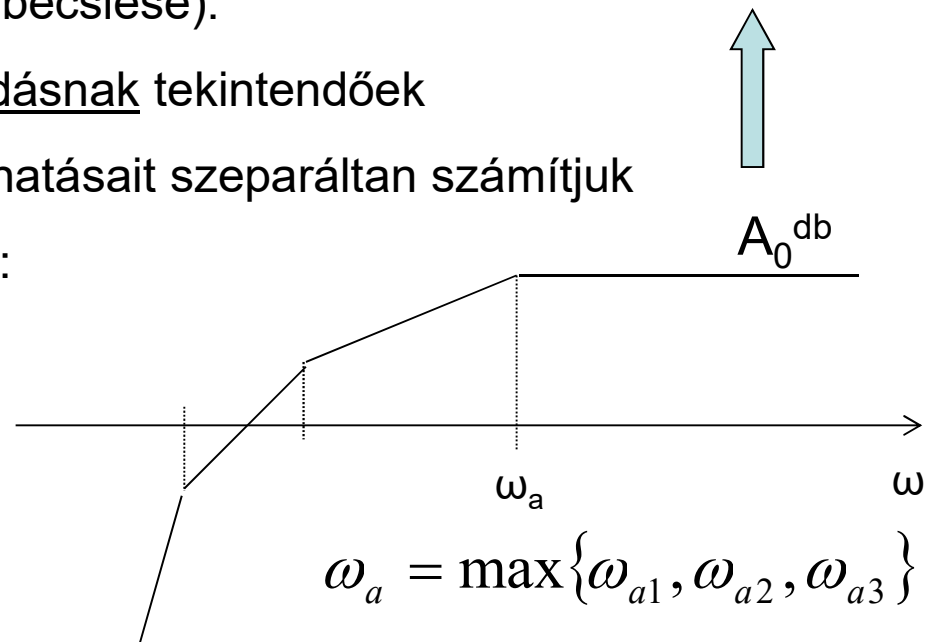
Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk
3. Az alsó határfrekvencia becslése:

$$\omega_{a1} = \frac{1}{C_{c1}(R_g + R_{12} \times (1 + \beta)r_d)}$$

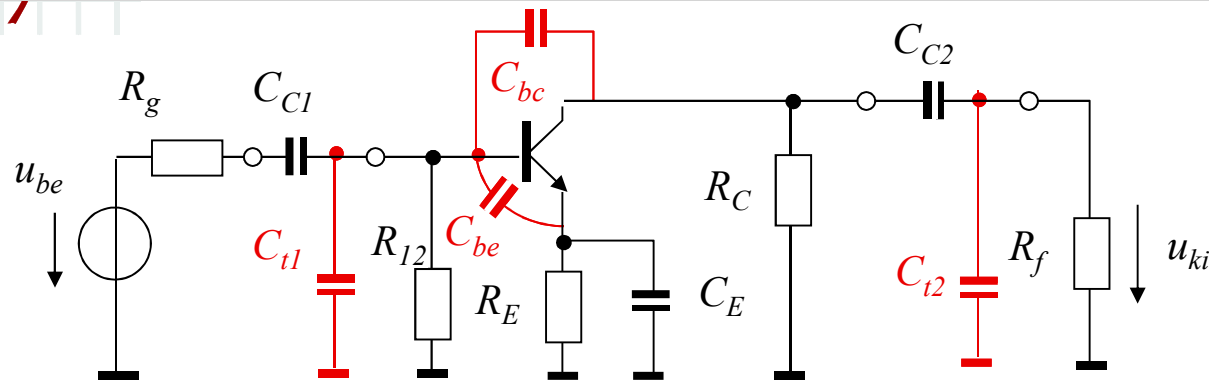
$$\omega_{a2} = \frac{1}{C_{c2}(R_C + R_f)}$$

$$\omega_{a3} = \frac{1}{C_E(R_E \times R_{ki})}$$



A becslés annál pontosabb, minél dominánsabb a maximum.

FE fokozat frekvencia függése: nagy frekvencián (1)

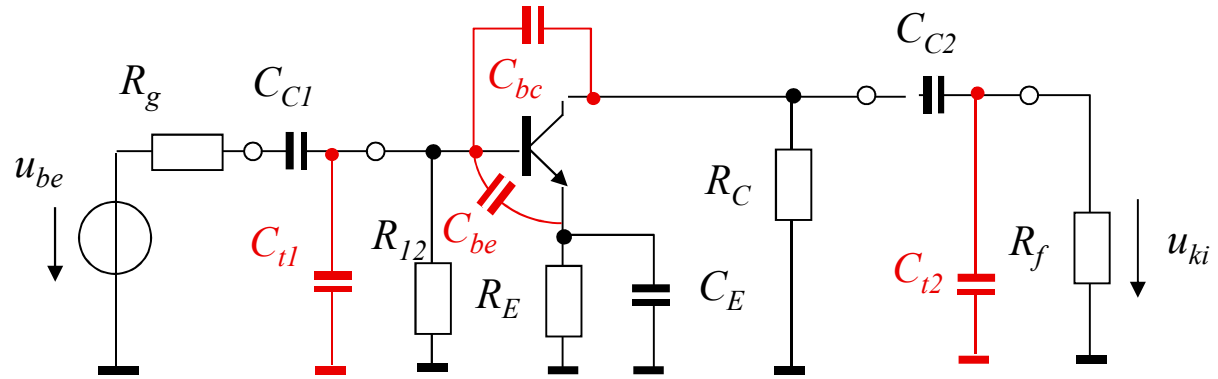


A felső határfrekvencia meghatározása (becslése):

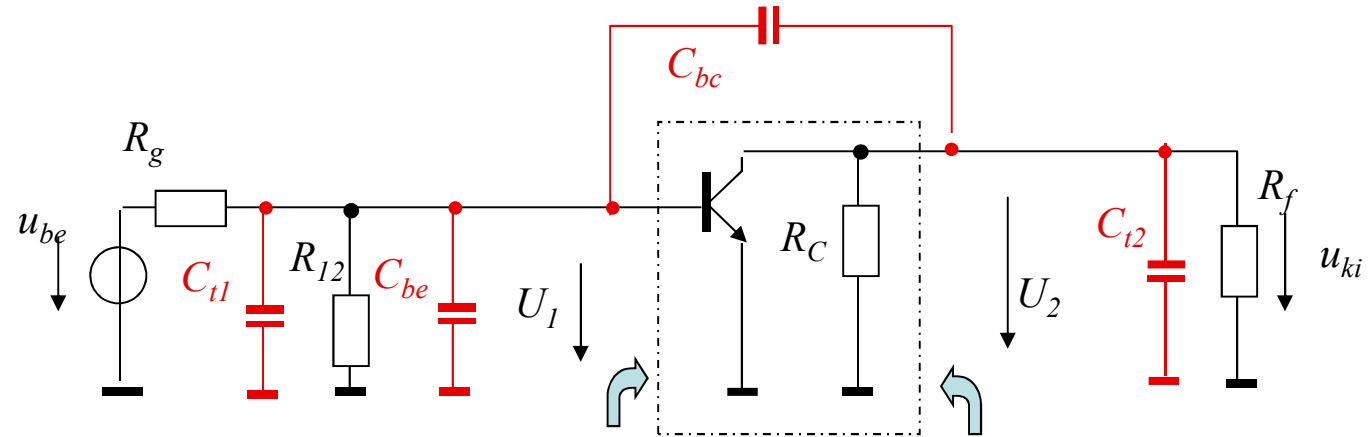
1. Csatóló és hidegítő kapacitások már rövidzárnak tekintendők
2. Áthidaló kapacitásokat bemeneti és kimeneti párhuzamos kapacitásokkal vesszük figyelembe (Miller hatás)
3. Párhuzamos eredő kapacitások és párhuzamos eredő ellenállásokból törésponti frekvenciákat számolunk
4. Ezek minimuma a felső határfrekvencia

FE fokozat frekvencia függése: nagy frekvencián (2)

Teljes váltóáramú helyettesítőkép:



Nagyfrekvenciás helyettesítőkép:

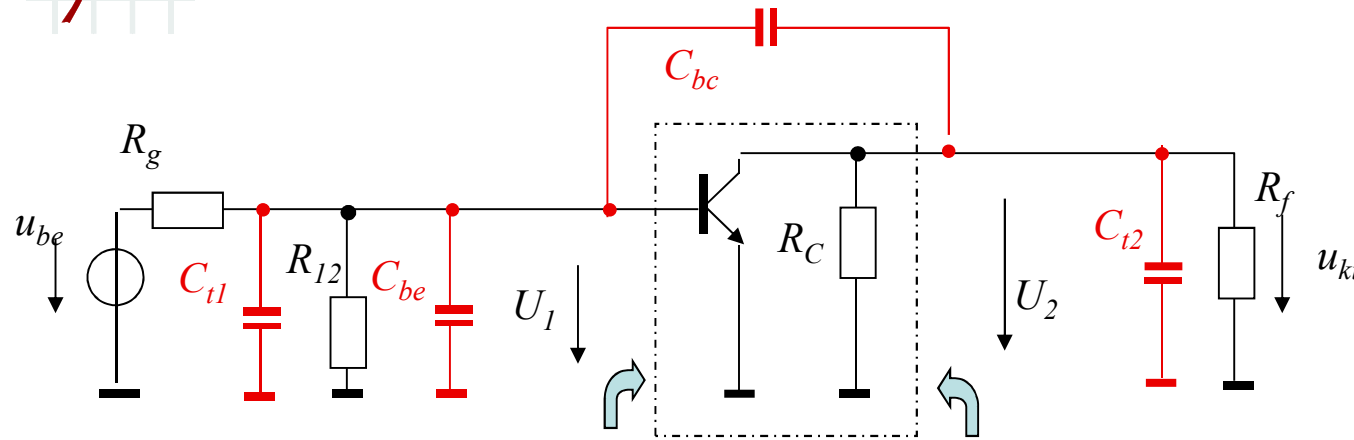


$$R_{be} = (1 + \beta)r_d$$

$$R_{ki} = R_C$$

$$K = \frac{U_2}{U_1} = -\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_r} = -\alpha \frac{R_C}{r_r} \frac{R_f}{R_C + R_f}$$

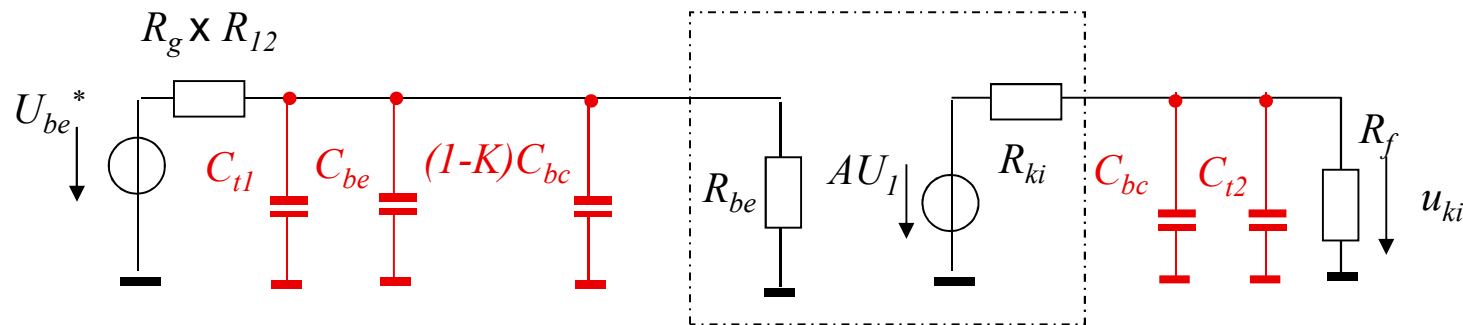
FE fokozat frekvencia függése: nagy frekvencián (3)



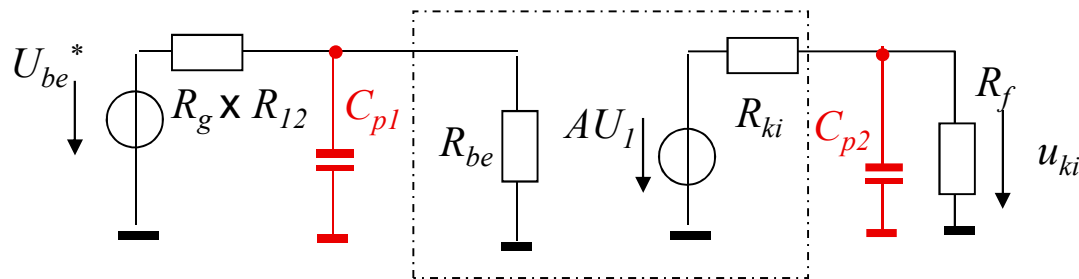
$$R_{be} = (1 + \beta)r_d$$

$$R_{ki} = R_C$$

$$K = \frac{U_2}{U_1} = -\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_r}$$



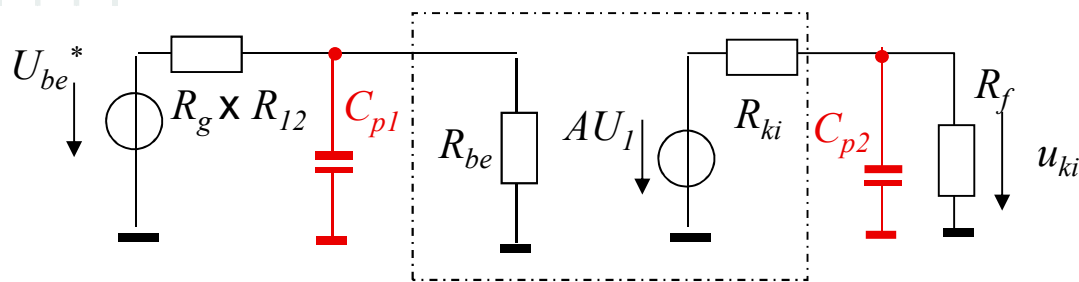
$$A = -\alpha \frac{R_C}{r_r}$$



$$C_{p1} = C_{t1} + C_{be} + (1 - K)C_{bc}$$

$$C_{p2} = C_{bc} + C_{t2bc}$$

FE fokozat frekvencia függése: nagy frekvencián (4)



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

$$R_{ki} = R_C$$

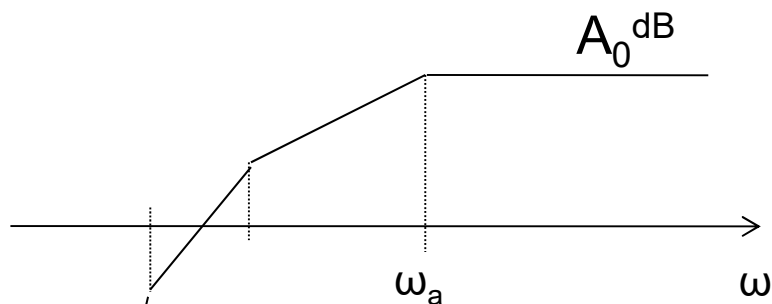
$$K = \frac{U_2}{U_1} = -\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_r}$$

$$C_{p1} = C_{t1} + C_{be} + (1 - K)C_{bc}$$

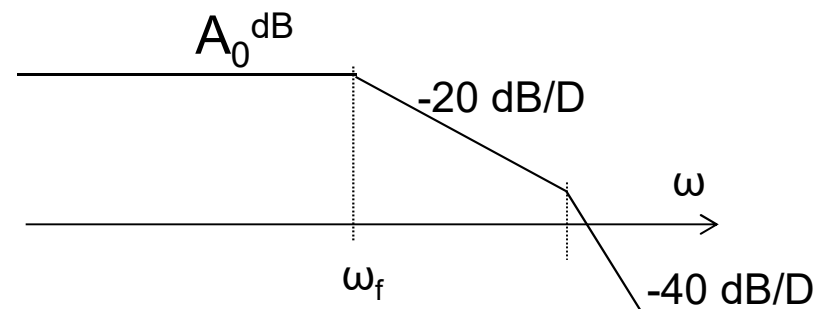
$$C_{p2} = C_{bc} + C_{t2bc}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{(C_{t1} + C_{be} + (1 - K)C_{bc})(R_g \times R_{12} \times (1 + \beta)r_d)}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{(C_{t2} + C_{bc})(R_C \times R_f)}$$



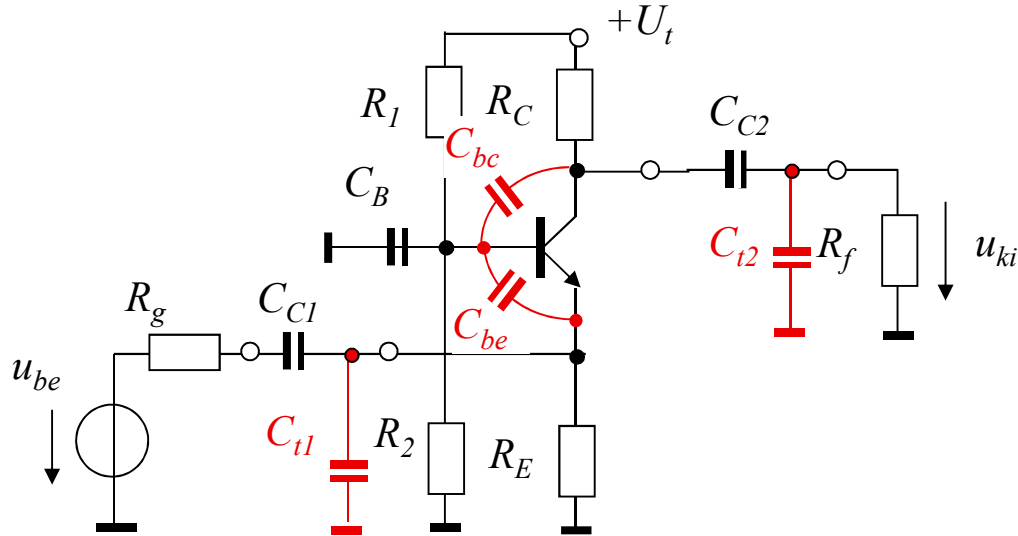
... és a kisfrekvenciás viselkedés:



A felső határ frekvencia:

$$\omega_f = \min\{\omega_{p1}, \omega_{p2}\}$$

FB (közös bázisú) fokozat frekvencia függése



Beépített kondenzátorok:



- C_{C1}, C_{C2} : csatolók
- C_B : bázis hidegítő



Alsó határfrekvencia.

Parazita kapacitások:

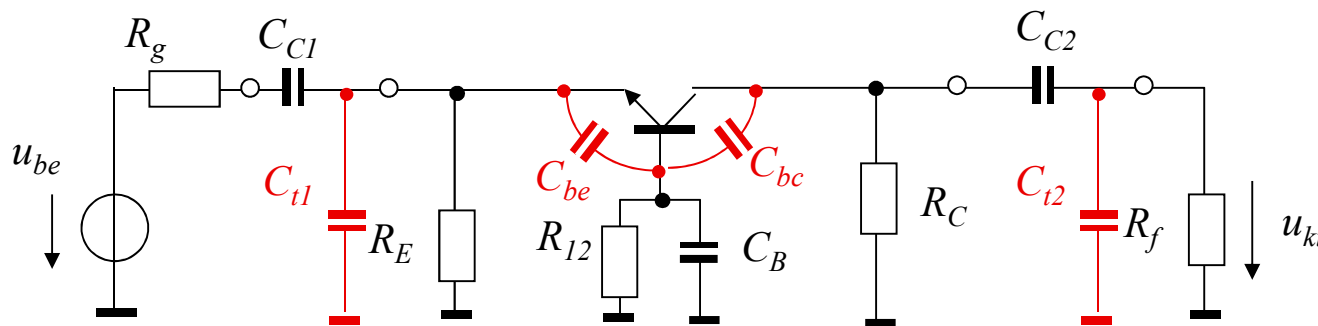


- C_{t1}, C_{t2} : párhuzamos terhelő
- C_{be}, C_{bc} : tranzisztor

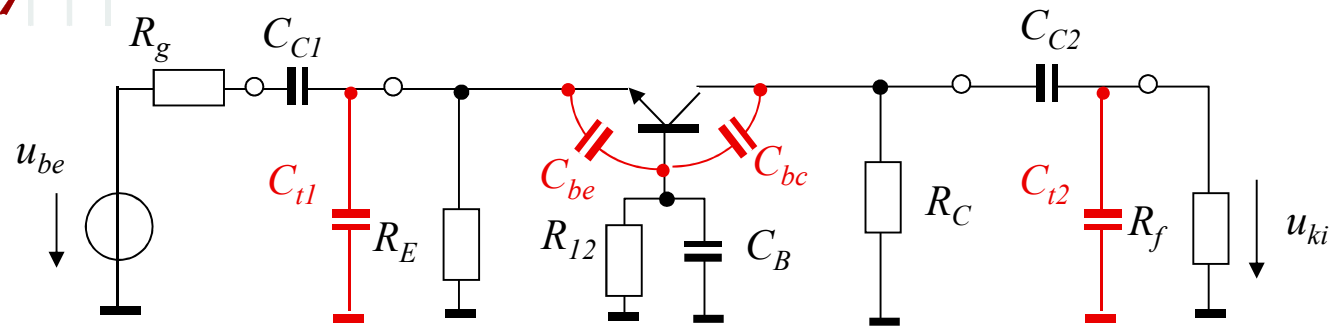


Felső határfrekvencia.

Váltóáramú helyettesítő kép:



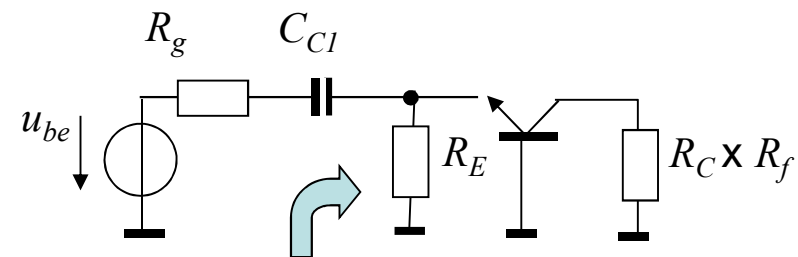
FB fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (1)



Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

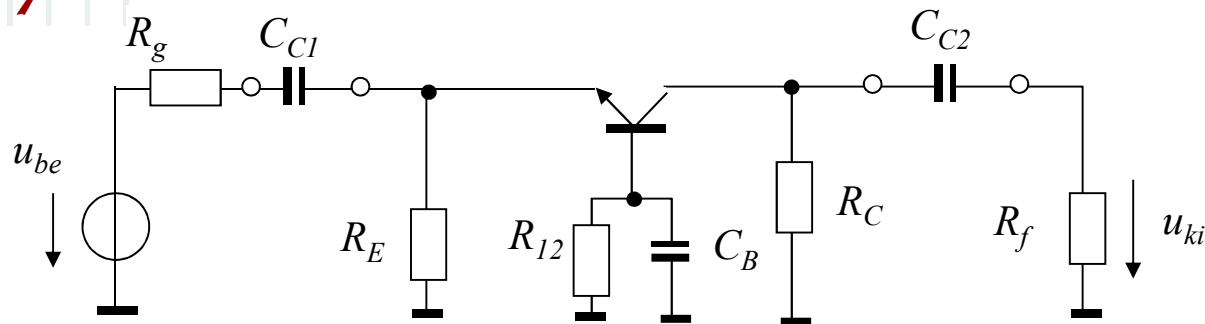
1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk
 - C_{C1} , hatásának számítása : C_{C2} , C_E : rövidzár

$$\omega_{a1} = \frac{1}{C_{c1} (R_g + R_E \times r_d)}$$



$$R_{be} = R_E \times r_d$$

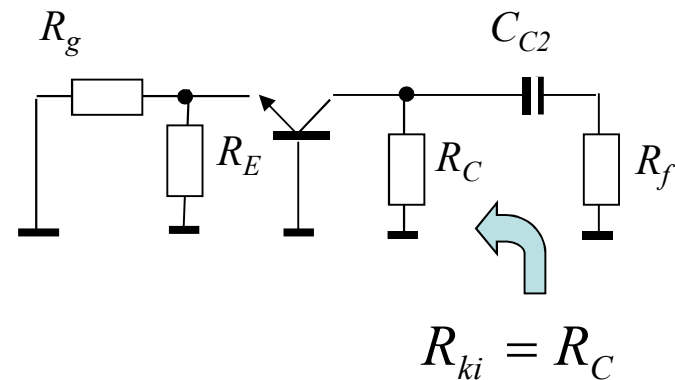
FB fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (2)



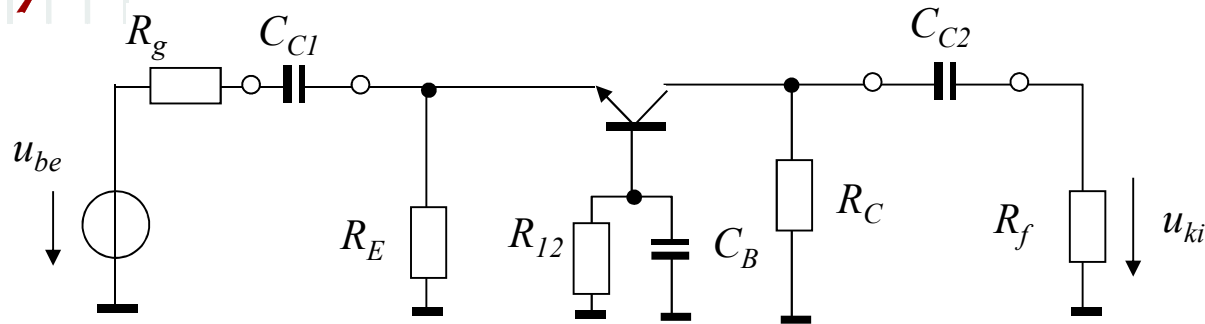
Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk
 - C_{C2} , hatásának számítása : C_{C1} , C_B : rövidzár

$$\omega_{a2} = \frac{1}{C_{c2} (R_C + R_f)}$$



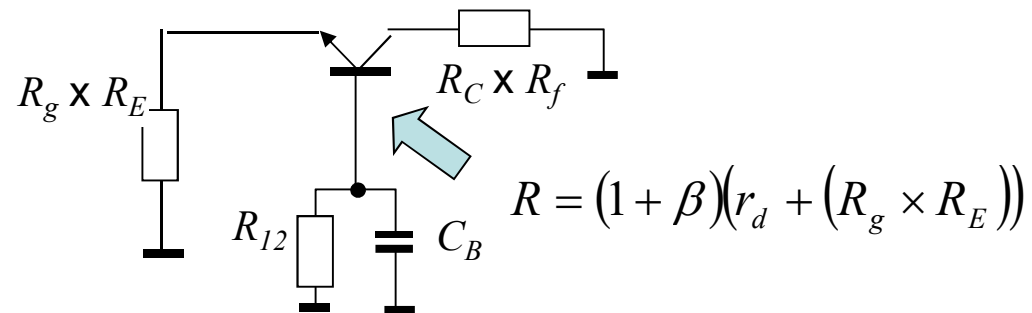
FB fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (3)



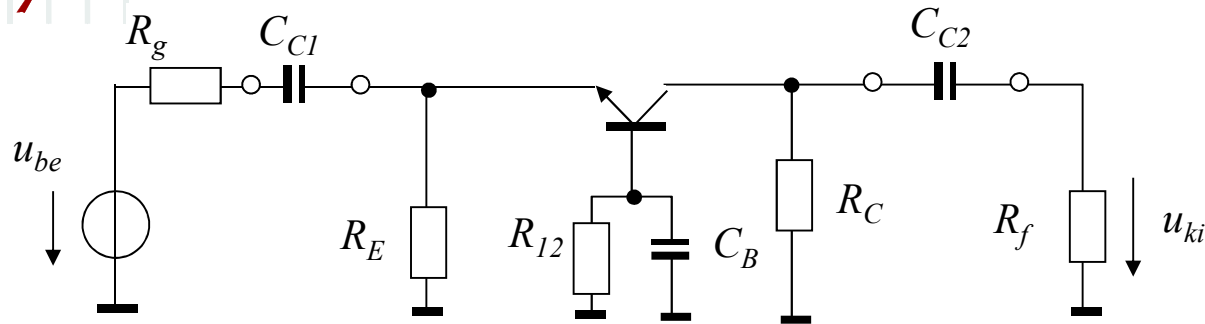
Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk
 - C_B , hatásának számítása : C_{C1}, C_{C2} : rövidzár

$$\omega_{a3} = \frac{1}{C_B (R_{12} \times R)}$$



FB fokozat frekvencia függése: kis frekvencián (4)



$$A_0 = \left(\frac{R_E \times r_d}{R_g + R_E \times r_d} \right) \left(\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_d} \right)$$

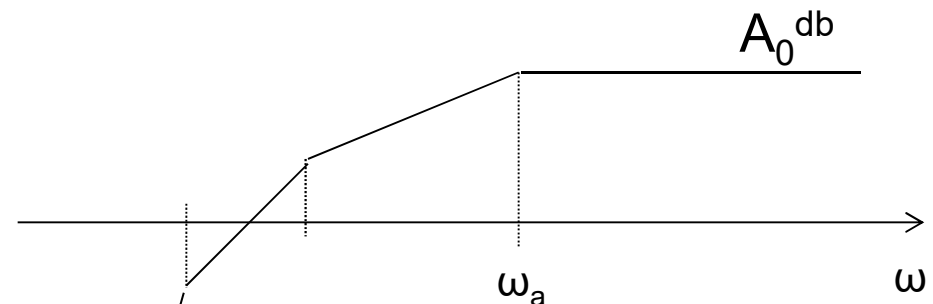
Az alsó határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló és hidegítő kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk
3. Az alsó határfrekvencia becslése:

$$\omega_{a1} = \frac{1}{C_{c1}(R_g + R_E \times r_d)} \quad \omega_{a2} = \frac{1}{C_{c2}(R_C + R_f)}$$

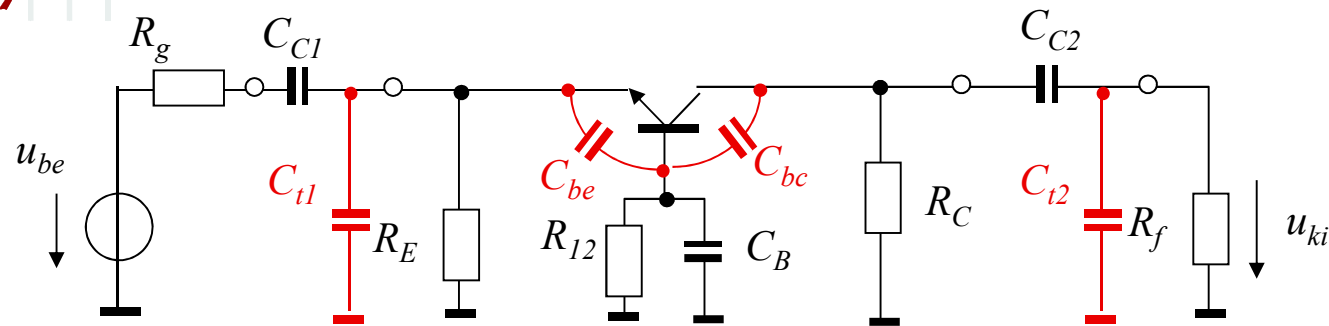
$$\omega_{a3} = \frac{1}{C_E(R_E \times ((1 + \beta)(r_d + R_g \times R_E)))}$$

$$\omega_a = \max\{\omega_{a1}, \omega_{a2}, \omega_{a3}\}$$



A becslés annál pontosabb, minél dominánsabb a maximum.

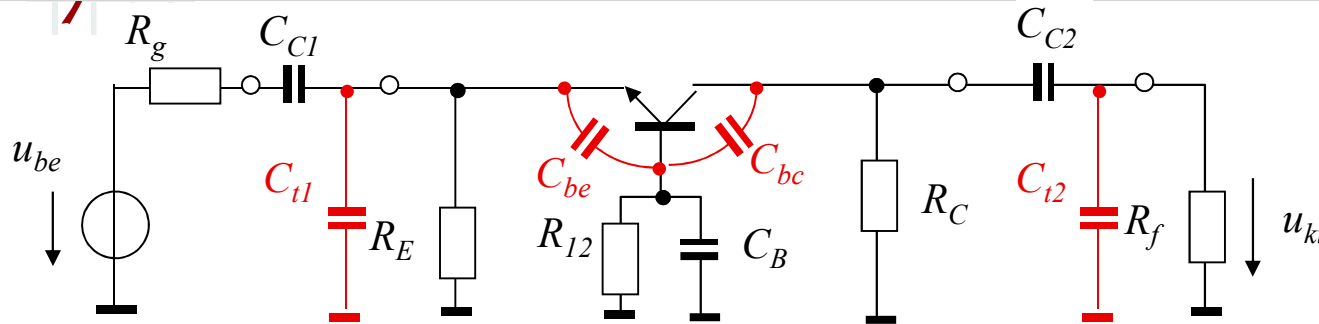
FB fokozat frekvencia függése: nagy frekvencián (1)



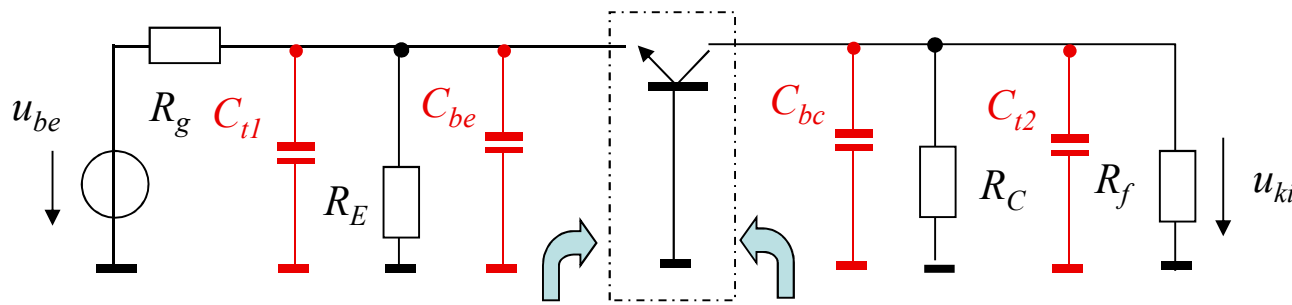
A felső határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Csatoló és hidegítő kapacitások már rövidzárnak tekintendők
2. **Nincs áthidaló kapacitás, nincs Miller hatás!**
3. Párhuzamos eredő kapacitások és párhuzamos eredő ellenállásokból törésponti frekvenciákat számolunk
4. Ezek minimuma a felső határfrekvencia

FB fokozat frekvencia függése: nagy frekvencián (2)



Teljes váltóáramú helyettesítőkép



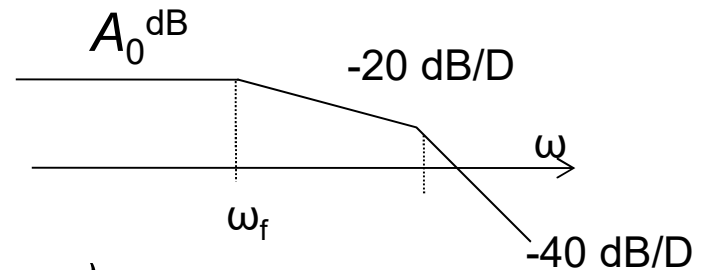
Nagyfrekvenciás helyettesítőkép

$R_{be} = r_d$ $R_{ki} = \infty$

$$A_0 = \frac{R_E \times r_d}{R_g + R_E \times r_d} \left(\alpha \frac{R_C \times R_f}{r_d} \right)$$

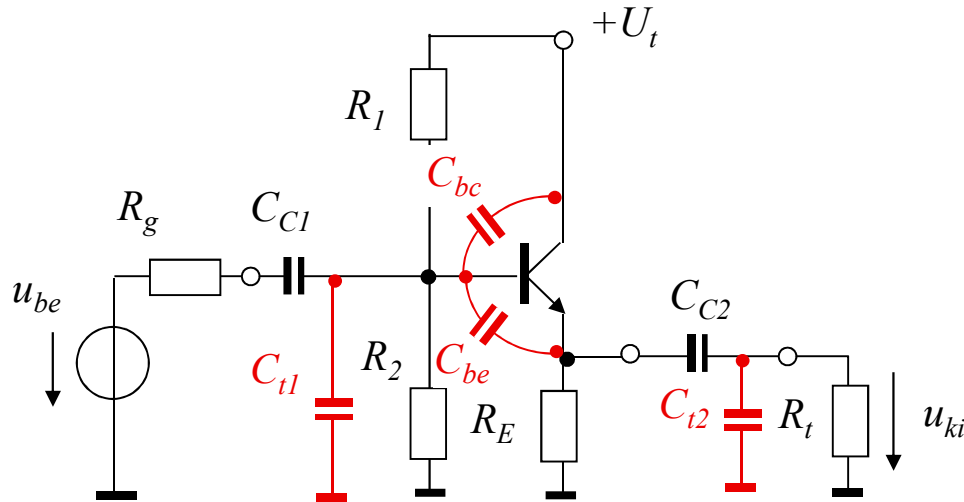
$$\omega_{p1} = \frac{1}{(R_g \times R_E \times r_d)(C_{t1} + C_{be})}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{(R_C \times R_f)(C_{t2} + C_{bc})}$$



A felső határ frekvencia: $\omega_f = \min\{\omega_{p1}, \omega_{p2}\}$

FC (emitterkövető) fokozat frekvencia függése



Beépített kondenzátorok:

- C_{C1}, C_{C2} : csatolók



Alsó határfrekvencia.

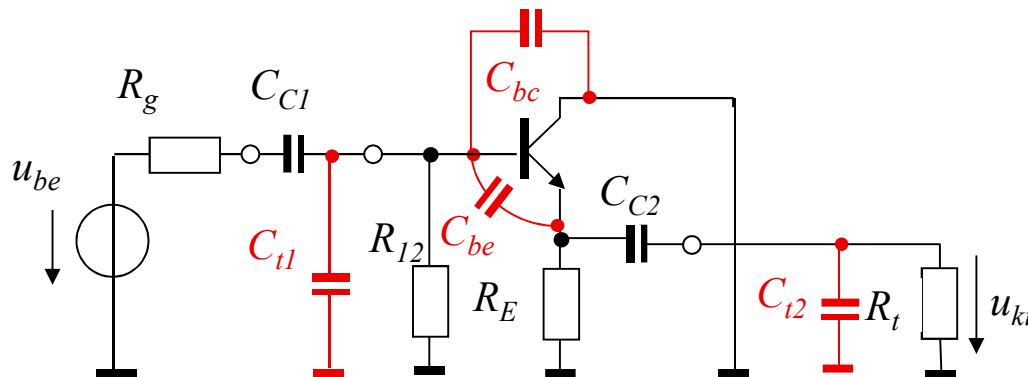
Parazita kapacitások:

- C_{t1}, C_{t2} : párhuzamos terhelő
- C_{be}, C_{bc} : tranzisztor



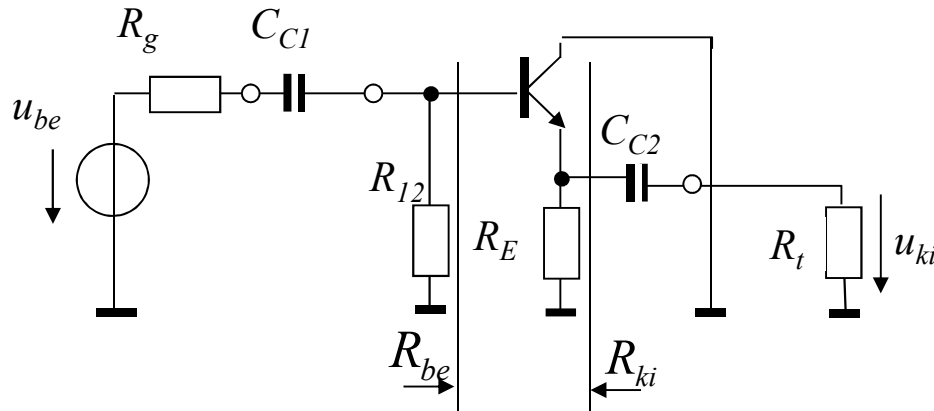
Felső határfrekvencia.

Teljes váltóáramú teljes helyettesítő kép:



Különböző hatások szeparált számítása!

FC fokozat kisfrekvenciás vizsgálata



Frekvencia független
(középfrekvenciás) jellemzők:

$$A_0 = \left(\frac{R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)}{R_g + R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)} \right) \left(\frac{R_E \times R_t}{r_d + R_E \times R_t} \right)$$

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

$$R_{ki} = R_E \times \left(r_d + \frac{R_g \times R_{12}}{1 + \beta} \right)$$

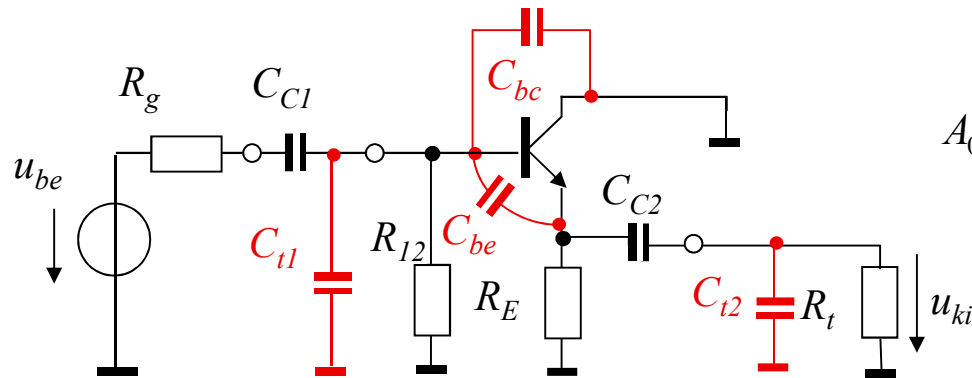
Az **alsó** határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Parazita kapacitások még szakadásnak tekintendők
2. Csatoló kapacitások hatásait szeparáltan számítjuk
 - C_{C1} , hatásának számítása : C_{C2} , rövidzár
 - C_{C2} , hatásának számítása : C_{C1} , rövidzár

$$\omega_{a1} = \frac{1}{C_{C1} (R_g + R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t))}$$

$$\omega_{a2} = \frac{1}{C_{C2} \left(R_E \times \left(r_d + \frac{R_g \times R_{12}}{1 + \beta} \right) + R_t \right)}$$

FC fokozat nagyfrekvenciás vizsgálata



Frekvencia független
(középfrekvenciás) jellemzők:

$$A_0 = \left(\frac{R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)}{R_g + R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)} \right) \left(\frac{R_E \times R_t}{r_d + R_E \times R_t} \right)$$

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

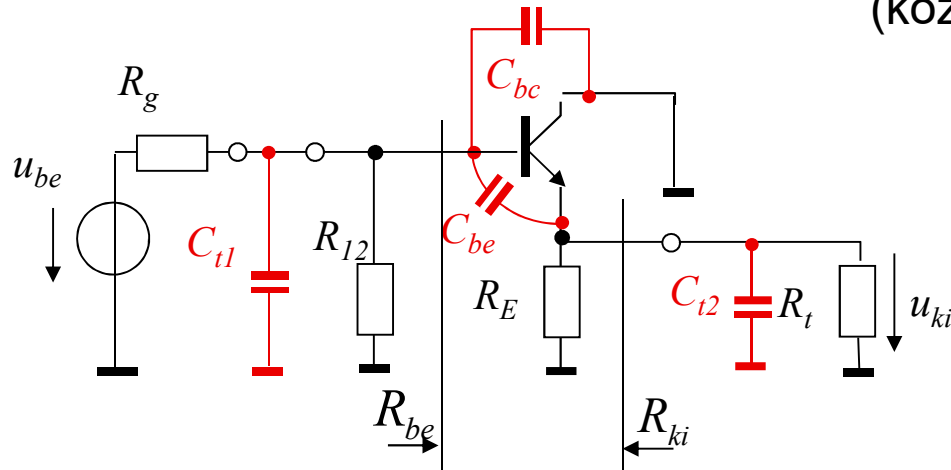
$$R_{ki} = R_E \times \left(r_d + \frac{R_g \times R_1 \times R_2}{1 + \beta} \right)$$

A **felső** határfrekvencia meghatározása (becslése):

1. Csatoló kapacitások rövidzárnak tekintendők
2. Parazita kapacitások nagyfrekvenciás hatásának számítása:
 - C_{t1} , C_{bc} hatásának (párhuzamos terhelő), C_{be} hatásának számítása (Miller) számítása
 - C_{t2} hatásának (párhuzamos terhelő) számítása

FC fokozat nagyfrekvenciás vizsgálata

Frekvencia független
(középfrekvenciás) jellemzők:



$$A_0 = \left(\frac{R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)}{R_g + R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t)} \right) \left(\frac{R_E \times R_t}{r_d + R_E \times R_t} \right) K$$

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

$$R_{ki} = R_E \times \left(r_d + \frac{R_g \times R_{12}}{1 + \beta} \right)$$

$$\omega_{f1} = \frac{1}{(C_{t1} + C_{bc} + (1 - K)C_{be})(R_g \times R_{12} \times (1 + \beta)(r_d + R_E \times R_t))}$$

$$\omega_{f2} = \frac{1}{(C_{be} + C_{t2}) \left(R_E \times \left(r_d + \frac{R_g \times R_{12}}{1 + \beta} \right) \times R_t \right)}$$

$$\omega_f = \min\{\omega_{f1}, \omega_{f2}\}$$