

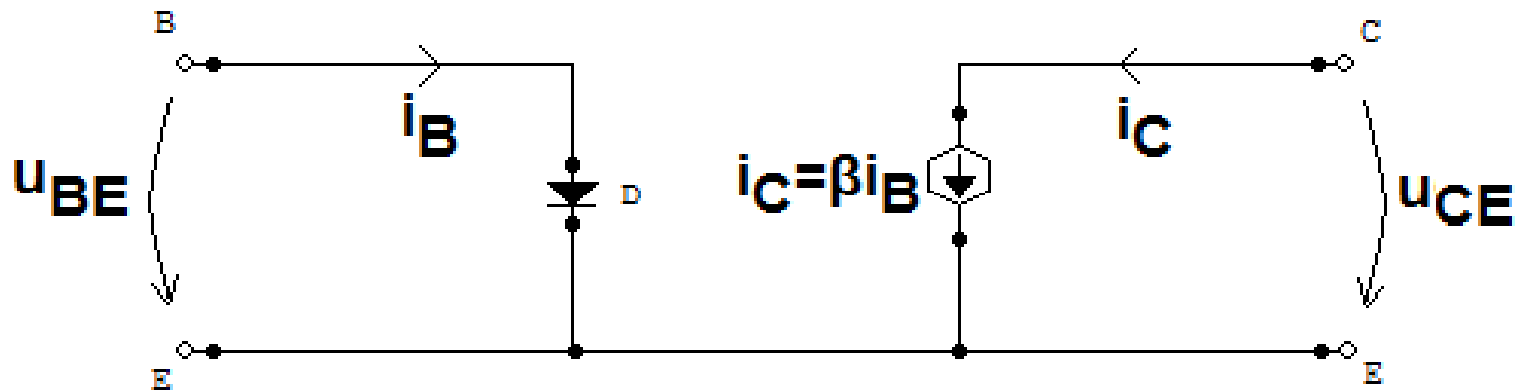


# BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK ALKALMAZÁSAI

Erősítők

# BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK NAGY JELŰ MODELLJE

- A bipoláris tranzisztorokat *árammal vezérelt áramgenerátorként* modellezhetjük erősítési (aktív) üzemmódban
- Az áramgenerátor nyeresége az áramerősítési tényező ( $\beta = i_C / i_B$ )



# BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK NAGYJELŰ MODELLJE

- A B-E átmenet egy dióda (D)
- A munkapont környékén a tranzisztor kimeneti jelleggörbéje lineáris. Az áramerősítési tényező  $\beta = i_C / i_B$

$$i_C = \beta \cdot i_B = \beta \cdot I_0 \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right] = I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right]$$

$$U_T = \frac{kT}{q}$$



## EARLY FÉLE HATÁS

- Az Early féle hatás alapján az  $u_{CE}$  feszültség változásával módosul a bázis mérete (szélessége) és ezzel együtt a tranzisztor vezetőképessége is.
- Figyelembe véve az Early féle hatást, egy korrekciós tényezőt kell bevezessünk és a tranzisztor kollektor árama a következőképpen alakul:

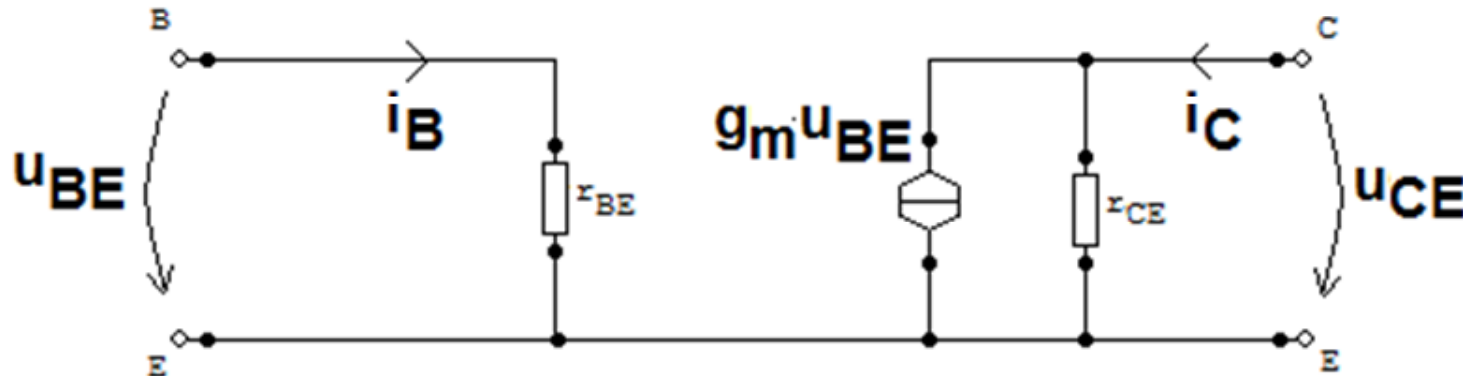
$$i_C = \beta \cdot i_B = I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right] \cdot \left(1 + \frac{u_{CE}}{U_{EA}}\right)$$

- $U_{EA}$  az Early féle feszültség

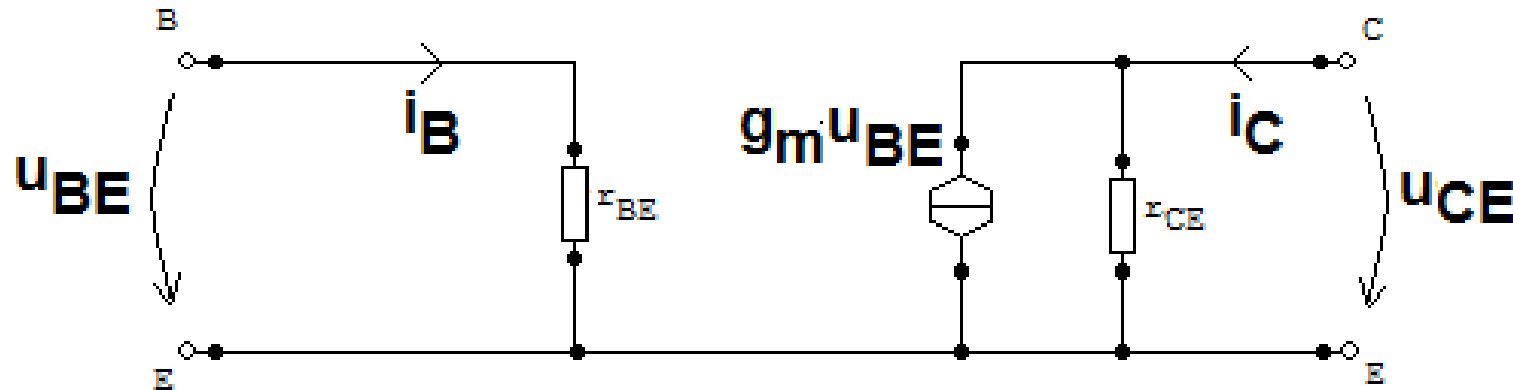


# BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK KISJELŰ MODELLJE

- A bipoláris tranzisztorokat *feszültséggel vezérelt áramgenerátorként* is modellezhetjük, kis jelváltozásokat véve figyelembe a munkapont környékén
- A kisjelű modell egy lineáris modell



# BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK KISJELŰ MODELLJE



- $u_{BE}$  – bázis-emitter feszültség
- $i_B$  – bázisáram
- $r_{BE}$  – bázis-emitter ellenállás (bemeneti ellenállás)
- $r_{CE}$  – kollektor-emitter ellenállás (kimeneti ellenállás)
- $i_C$  – kollektor áram
- $g_m$  [S] – meredekség (transzkonduktancia)
- $u_{CE}$  – kollektor-emitter feszültség



# A KISJELŰ MODELL PARAMÉTEREI

$$g_m$$

$$g_m = \frac{\delta i_C}{\delta u_{BE}} = \frac{\delta I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right] \cdot \left(1 + \frac{u_{CE}}{U_{EA}}\right)}{\delta u_{BE}} = I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right] \cdot \left(1 + \frac{u_{CE}}{U_{EA}}\right) \cdot \frac{1}{U_T} = \frac{I_C}{U_T}$$

- $U_T = 25 \text{ mV}$  szobahőmérsékleten ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$g_m = 40 \cdot I_C$$



# A KISJELŰ MODELL PARAMÉTEREI

$r_{BE}$

$$r_{BE} = \frac{\delta u_{BE}}{\delta i_B} = \frac{1}{\frac{\delta i_B}{\delta u_{BE}}} = \frac{1}{\frac{I_0 \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right]}{\delta U_{BE}}} = \frac{1}{\frac{I_0}{U_T} \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right]} = \frac{U_T}{I_0 \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right]} = \frac{U_T}{i_B} = \frac{U_T}{\frac{i_C}{\beta}} = \frac{\beta \cdot U_T}{i_C}$$

$$r_{BE} = \frac{\beta}{g_m}$$





# A KISJELŰ MODELL PARAMÉTEREI

$$r_{CE}$$

$$r_{CE} = \frac{\delta u_{CE}}{\delta i_C} = \frac{1}{\frac{\delta i_C}{\delta u_{CE}}} = \frac{1}{\frac{\delta I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right] \cdot \left(1 + \frac{u_{CE}}{U_{EA}}\right)}{\delta U_{CE}}} = \frac{1}{\frac{I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right]}{U_{EA}}} = \frac{U_{EA}}{I_S \cdot \exp\left[\frac{u_{BE}}{U_T}\right]} = \frac{U_{EA}}{I_C}$$

$$r_{CE} = \frac{U_{EA}}{I_C}$$

- $U_{EA} = 80..200 \text{ V}$



## SZÁMÍTÁSI PÉLDA

- legyen egy bipoláris tranzisztor kollektor árama  $I_C=1$  mA,  $U_{EA}=100V$ ,  $\beta=100$ . Határozzuk meg a kisjelű modell paramétereit.

$$g_m = 40 \cdot i_C = 40 \cdot 1 \text{ mA} = 40 \text{ mS}$$

$$r_{BE} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{40} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

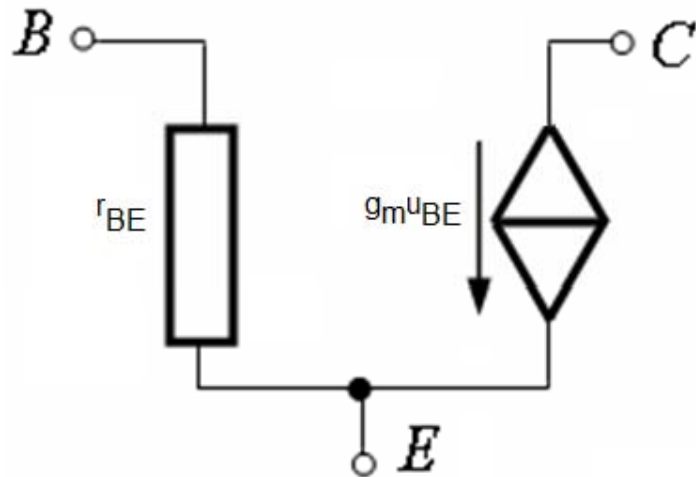
$$r_{CE} = \frac{U_{EA}}{i_C} = \frac{100V}{1 \text{ mA}} = 100 \text{ k}\Omega$$



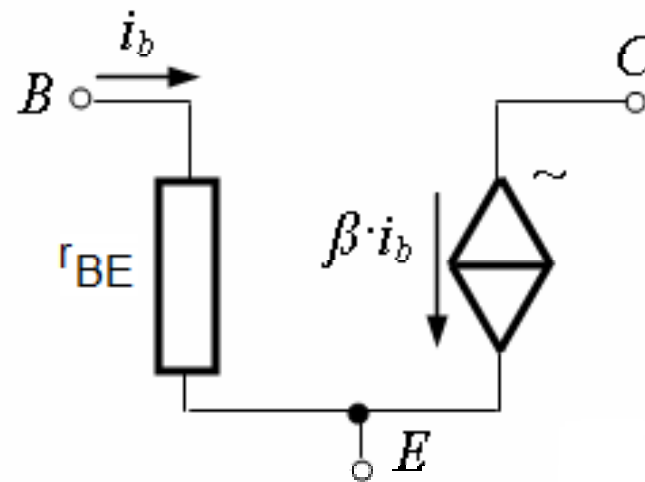
# EGYSZERŰSÍTETT MODELLEK

- elhagyjuk az  $r_{CE}$  ellenállást
- => egyszerűsített  $\pi$  hibrid modell

feszültséggel vezérelt  
áramgenerátorral



árammal vezérelt  
áramgenerátorral

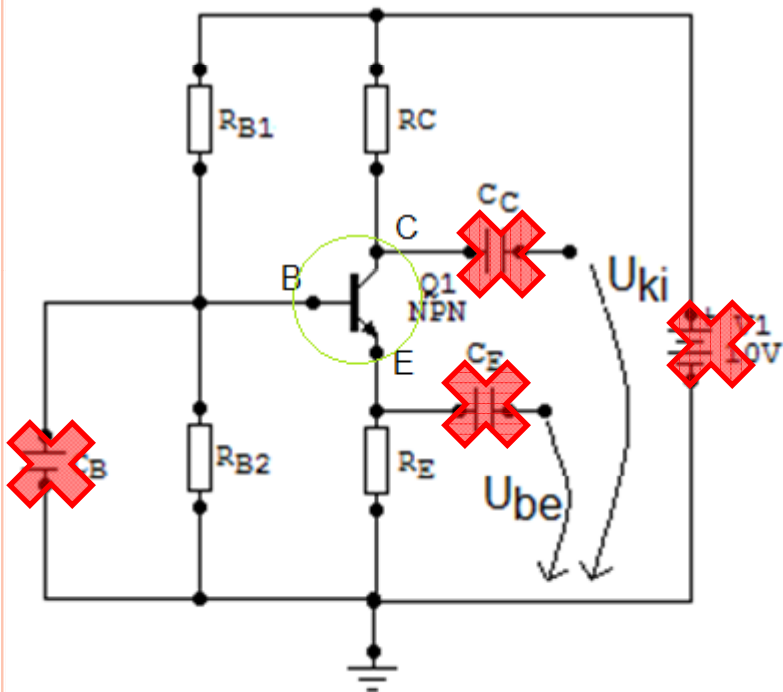


# EGYTRANZISZTOROS ERŐSÍTŐ KAPCSOLÁSOK

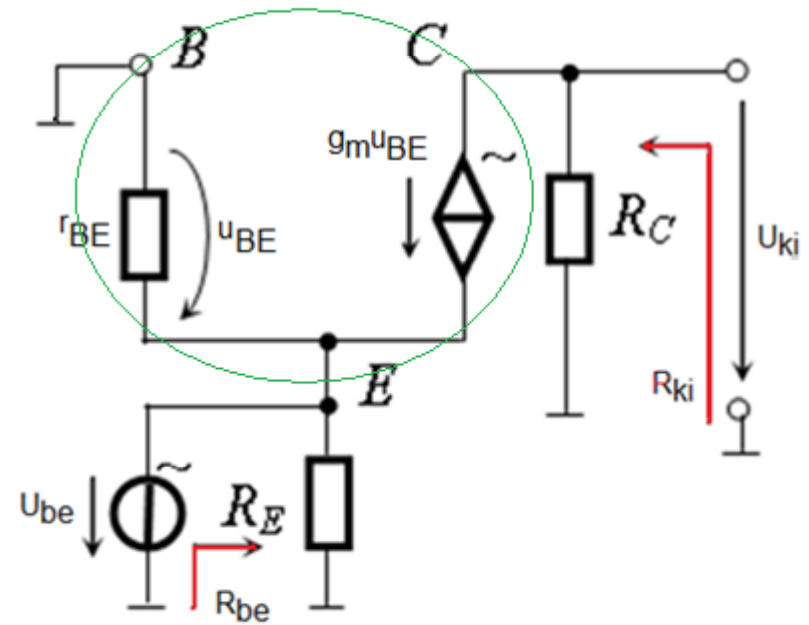
- közös (földelt) bázisú kapcsolás
- közös kollektorú (emitterkövető) kapcsolás
- közös (földelt) emitterű kapcsolás
  
- Megoldás:
  - a tranzisztort kicseréljük a kisjelű modellel
  - a kondenzátorokat rövidzárlatoknak tekintjük
  - paszvizáljuk az áramkört (az egyenfeszültségű tápokat rövidzárlatoknak tekintjük)
  - => kisjelű helyettesítő kapcsolás



# KÖZÖS (FÖLDELT) BÁZISÚ KAPCSOLÁS

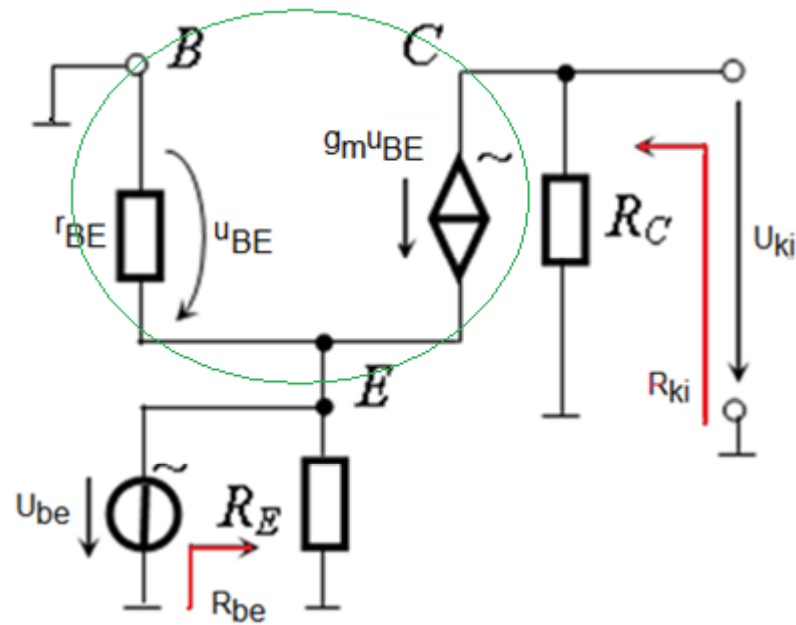


$\Leftrightarrow$



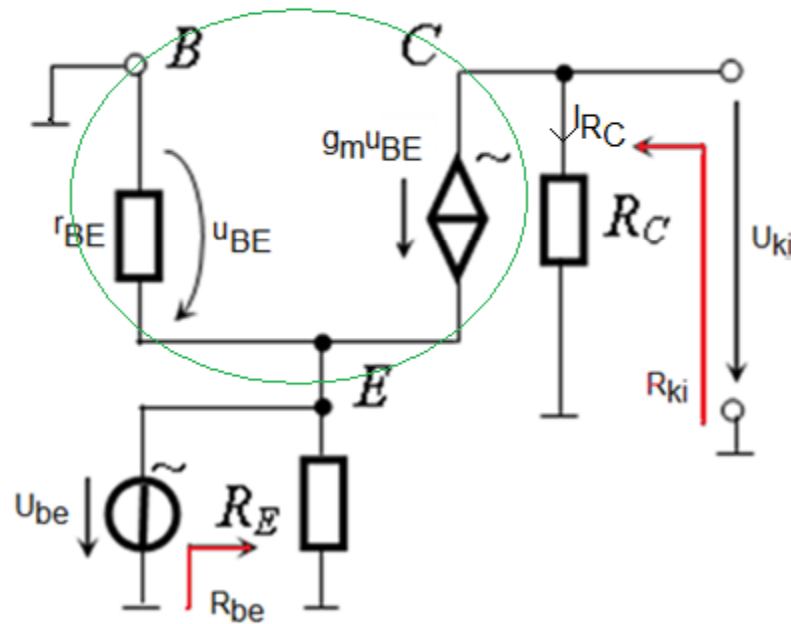
# FESZÜLTÉSÉGERŐSÍTÉS

- $A = U_{ki} / U_{be} = -g_m u_{BE} R_C / -u_{BE} = g_m R_C$



# KIMENETI ELLENÁLLÁS

○  $R_{ki} = U_{ki} / I_{ki} = R_C I_{RC} / I_{RC} = -g_m u_{BE} R_C / -g_m u_{BE} = R_C$



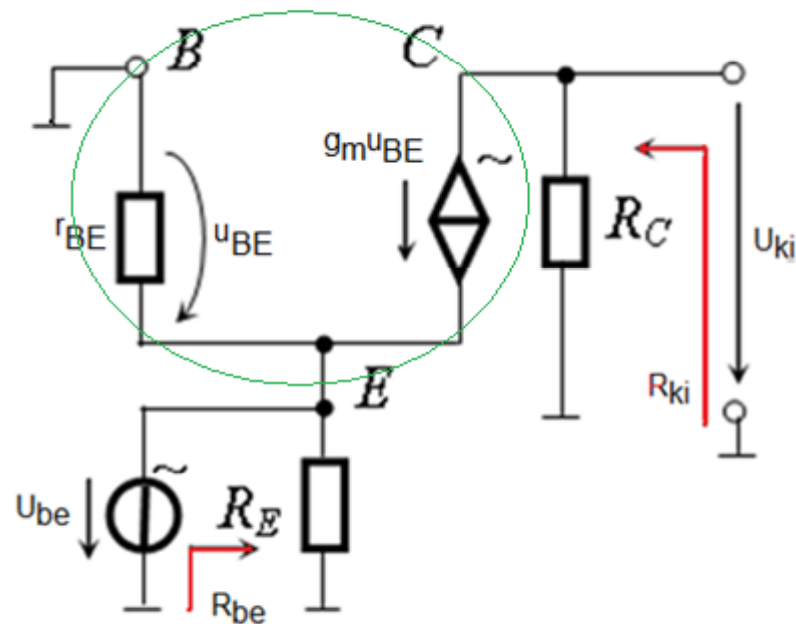
# BEMENETI ELLENÁLLÁS

$$R_{be} = R_E \parallel r_{BE} \parallel \frac{u_{BE}}{g_m u_{BE}}$$

$$R_{be} = R_E \parallel \beta / g_m \parallel 1/g_m$$

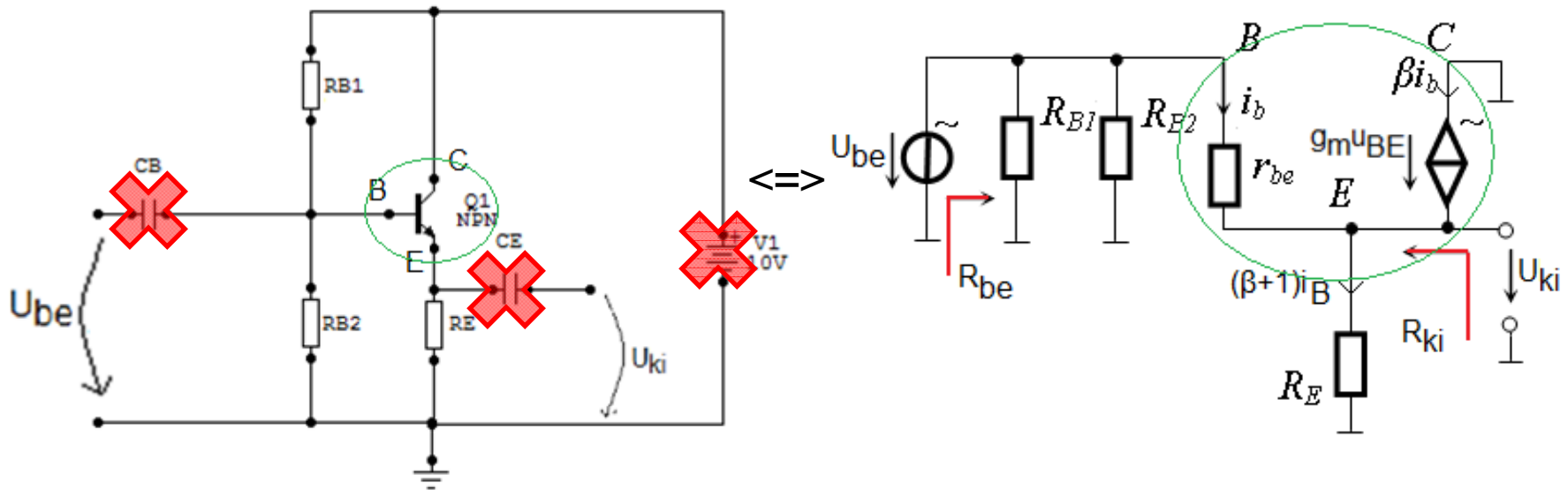
$$\beta / g_m \parallel 1/g_m = \beta / (\beta + 1) g_m \approx 1/g_m$$

$$R_{be} = R_E \parallel 1/g_m \approx 1/g_m$$





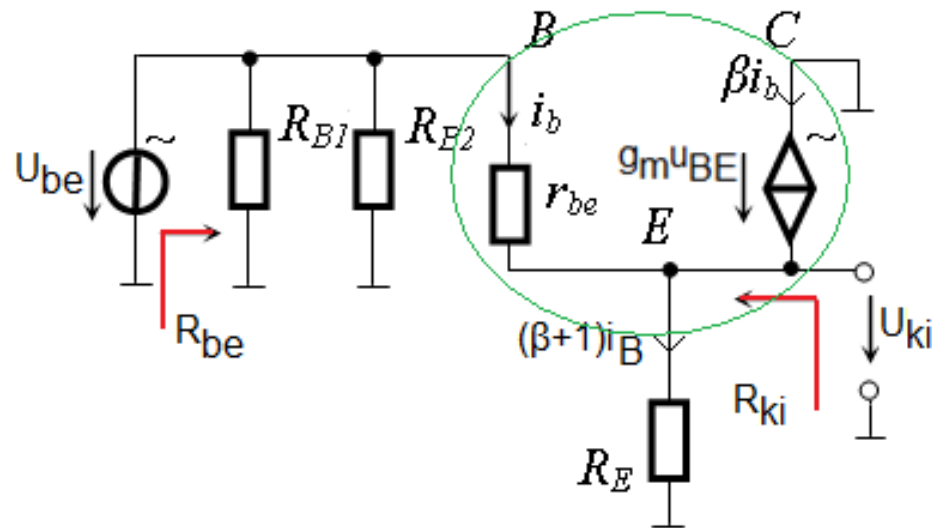
# KÖZÖS KOLLEKTORÚ (EMMITERKÖVETŐ) KAPCSOLÁS



# BEMENETI ELLENÁLLÁS

$$R_{be} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel R_B$$

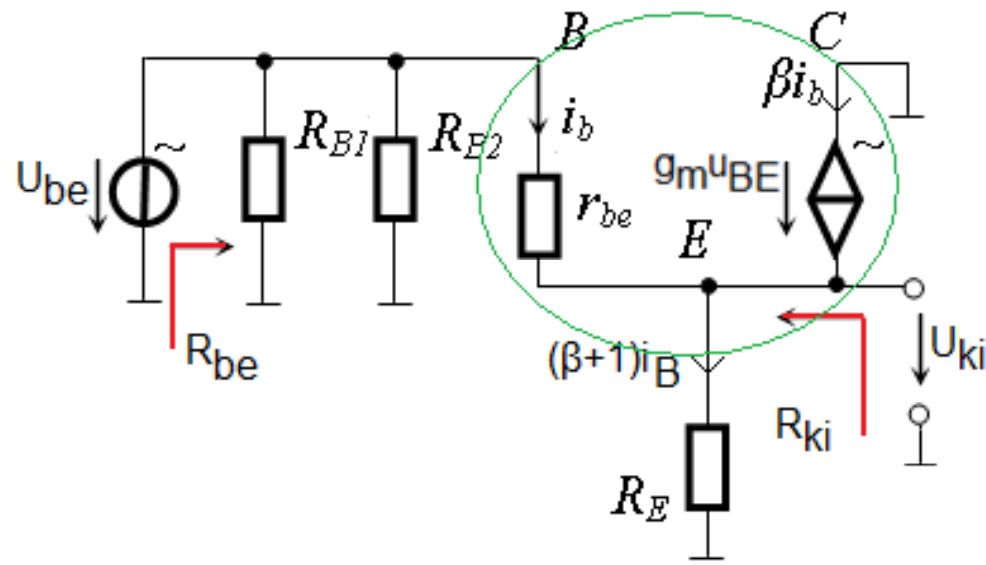
$$R_B = \frac{u_B}{i_B} = \frac{u_{BE} + u_{R_E}}{i_B} = \frac{i_B \cdot r_{BE} + i_B \cdot (\beta + 1)R_E}{i_B} = r_{BE} + (\beta + 1)R_E$$



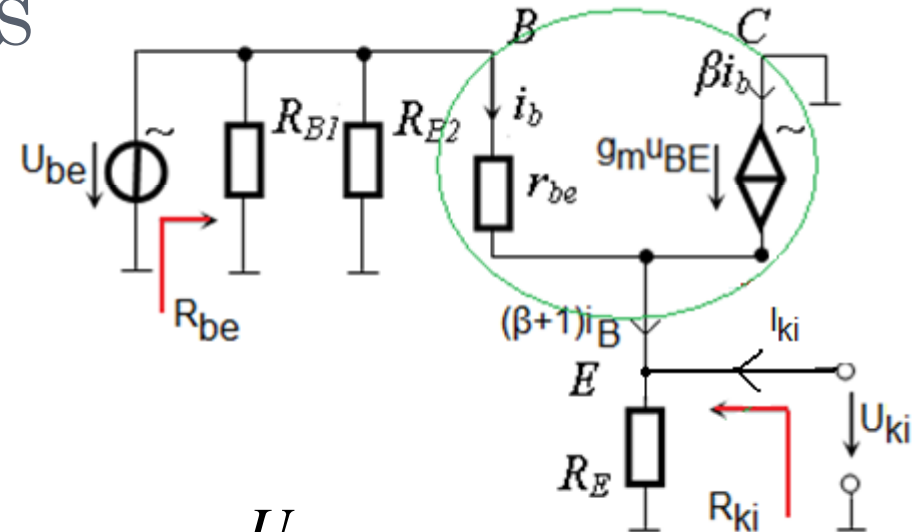
# FESZÜLTÉSÉGERŐSÍTÉS

$$A = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{U_{ki}}{u_{BE} + U_{ki}} = \frac{(\beta + 1)i_B R_E}{i_B r_{BE} + (\beta + 1)i_B R_E} = \frac{(\beta + 1)R_E}{r_{BE} + (\beta + 1)R_E}$$

$$A = \frac{(\beta + 1)R_E g_m}{r_{BE} g_m + (\beta + 1)R_E g_m} = \frac{(\beta + 1)R_E g_m}{\beta + (\beta + 1)R_E g_m} = \frac{R_E g_m}{\frac{\beta}{\beta + 1} + R_E g_m} \approx \frac{R_E g_m}{1 + R_E g_m} \approx 1$$



# KIMENETI ELLENÁLLÁS



$$I_{ki} = \frac{U_{ki}}{R_E} - (\beta + 1)i_B$$

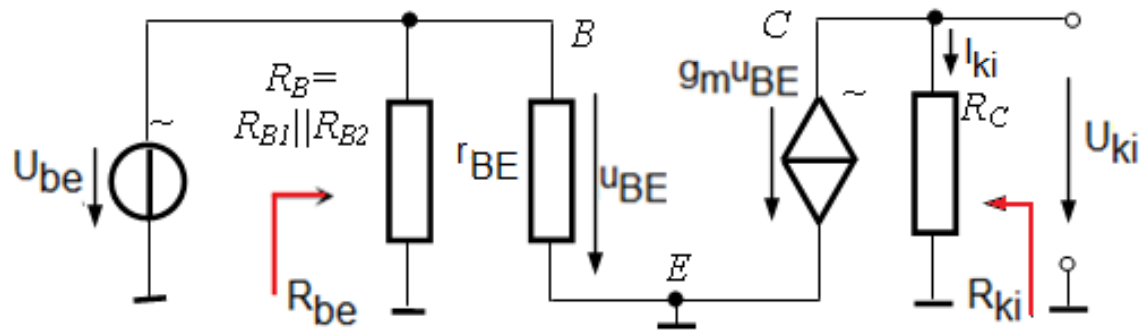
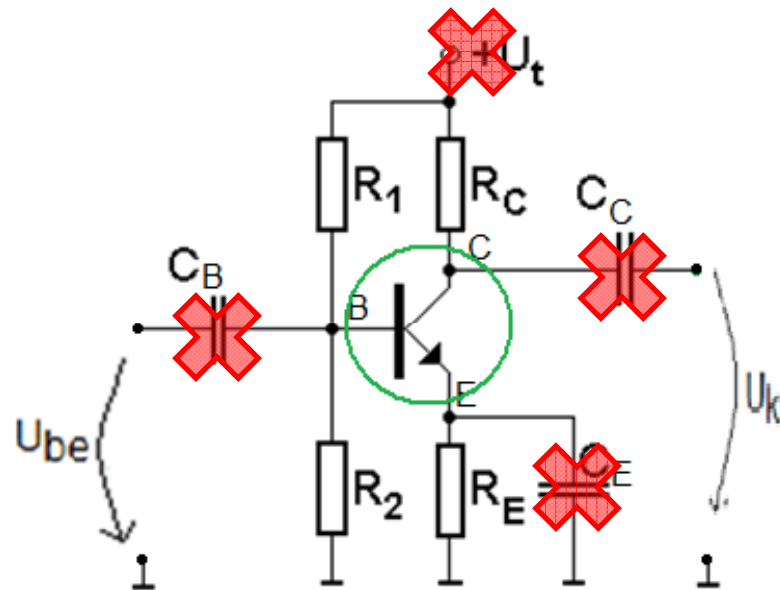
$$I_{ki} = \frac{U_{ki}}{R_E} - (\beta + 1) \frac{-U_{ki}}{r_{BE} + R_B} = \frac{U_{ki}}{R_E} + (\beta + 1) \frac{U_{ki}}{r_{BE} + R_B}$$

$$\frac{I_{ki}}{U_{ki}} = \frac{1}{R_{ki}} = \frac{1}{R_E} + (\beta + 1) \frac{1}{r_{BE} + R_B} = \frac{1}{R_E} + \frac{1}{\frac{r_{BE}}{(\beta + 1)} + \frac{R_B}{(\beta + 1)}}$$

$$R_{ki} = R_E \parallel \left( \frac{1}{g_m} + \frac{R_B}{(\beta + 1)} \right) \approx R_E \parallel \frac{1}{g_m}$$



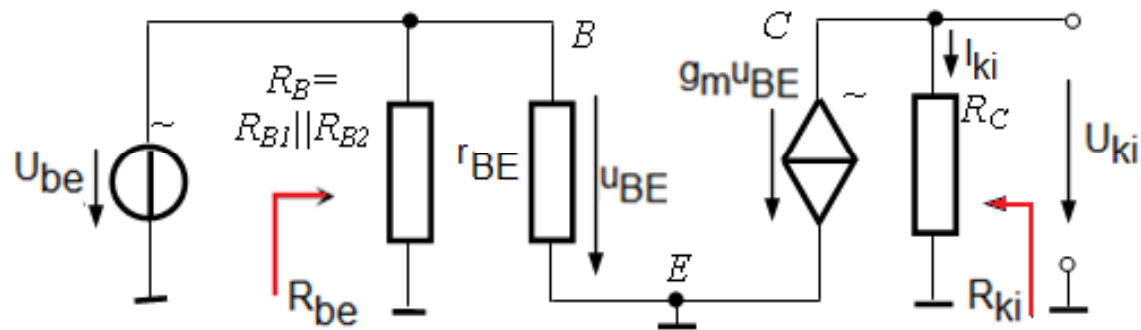
# KÖZÖS (FÖLDELT) EMMITTERŰ KAPCSOLÁS



# BEMENETI ELLENÁLLÁS

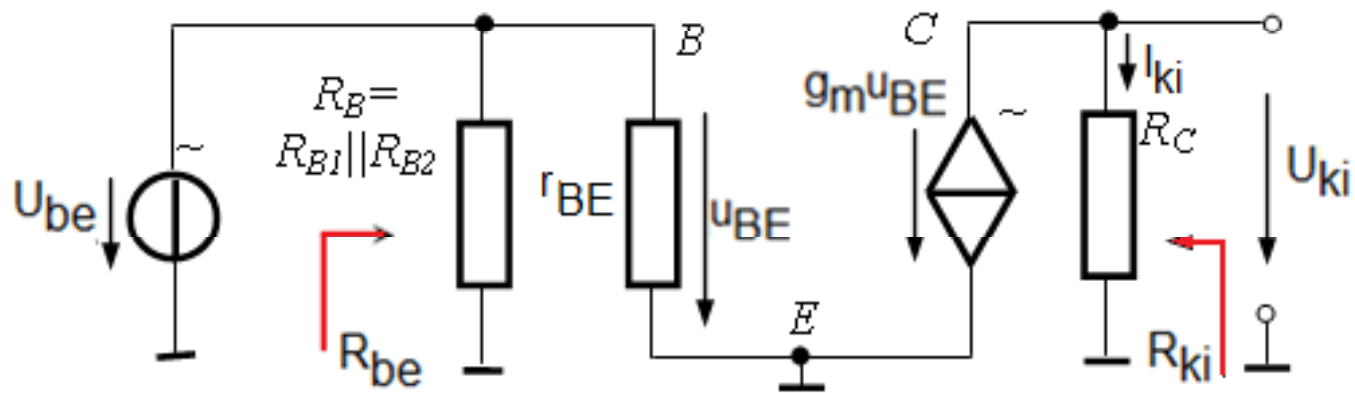
$$R_{be} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_{BE}$$

$$R_{be} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel \beta / g_m$$



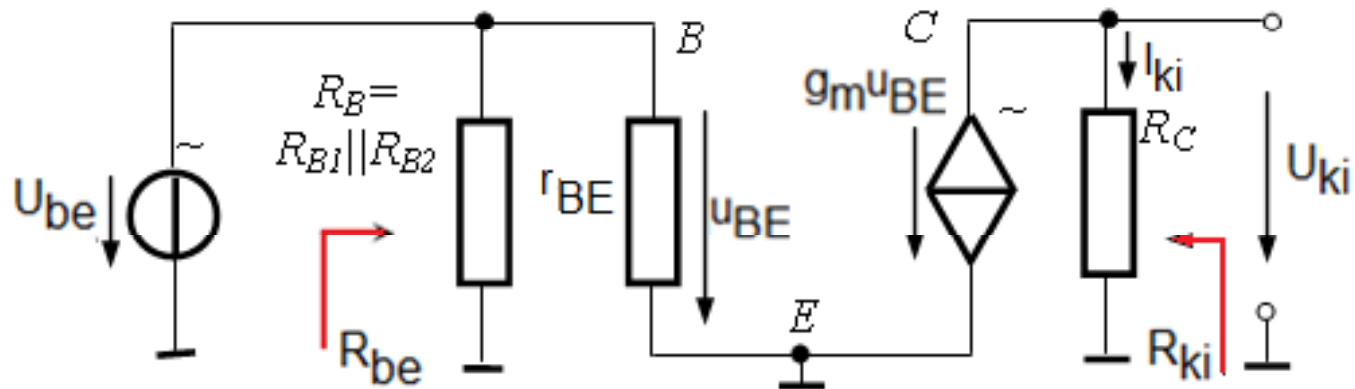
# KIMENETI ELLENÁLLÁS

$$R_{ki} = R_C$$



# FESZÜLTÉSÉGERŐSÍTÉS

$$A = U_{ki} / U_{be} = -g_m u_{BE} R_C / u_{BE} = -g_m R_C$$





# KÉPLETEK

	$A$	$R_{be}$	$R_{ki}$
<b>KE</b>	$-g_m R_C$	$R_{B1}    R_{B2}    \beta / g_m$	$R_C$
<b>KC</b>	$\frac{R_E g_m}{1 + R_E g_m} \approx 1$	$R_{B1}    R_{B2}    r_{BE} + (\beta + 1)R_E$	$R_E    \frac{1}{g_m}$
<b>KB</b>	$g_m R_C$	$R_E    1/g_m \approx 1/g_m$	$R_C$

