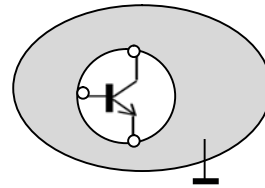


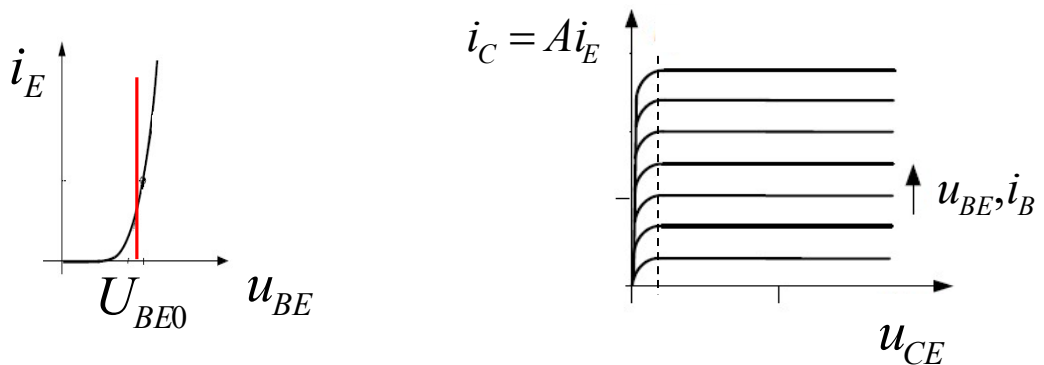
2.Előadás (2017.09.12.)

Munkapont és kivezérelhetőség

A tranzisztorokat (BJT) lineáris áramkörbe ágyazva "működtetjük" és a továbbiakban mindig követelmény, hogy a tranzisztor **normál aktív** tartományban működjön (B-E nyitva, B-C zárva).



A **tranzisztort normál aktív** működési feltételek mellett a bemeneti és kimeneti karakterisztikáival jellemezzük:



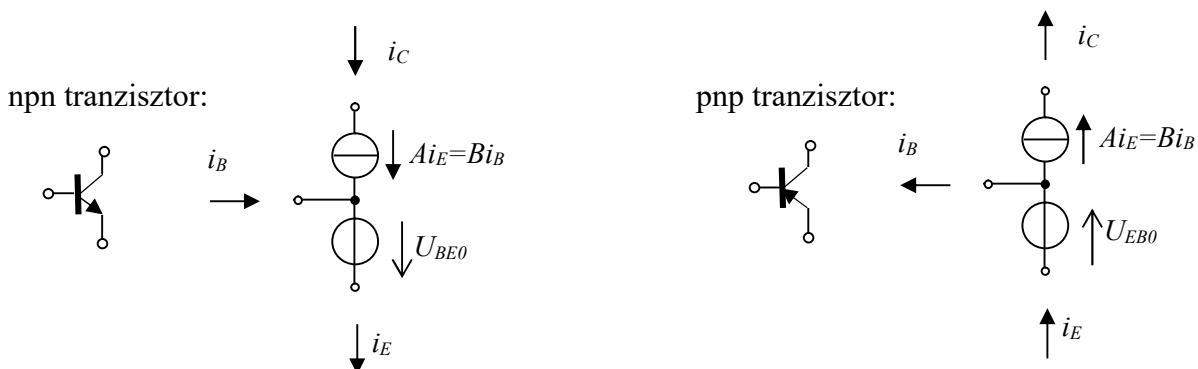
Kézi számítások esetén a (valójában exponenciális) bemeneti karakterisztika közelítésére a konstans U_{BE0} (npn tranzisztor esetén, pnp esetben U_{EB0}) nyitó feszültség paraméterű függőleges egyenest használjuk, azaz

$$u_{BE} = U_{BE0}, \text{ és természetesen } i_E \geq 0.$$

A kimeneti karakterisztika paramétere az U_m , úgynevezett maradék feszültség, ezen érték feletti u_{CE} feszültségek esetén a tranzisztor árama már nem függ az u_{CE} feszültségtől, azaz a tranzisztor kollektora (végtelen nagy ellenállású) áramforrásként működik. Az U_m maradék feszültség specifikálása (megadása) esetén a normál aktív tartomány-beli működés feltétele:

$$u_{CE} \geq U_m$$

Az egyszerűbb, kézi számításoknál használt, a normál aktív tartományban működő tranzisztor modellje, tehát egy független feszültség forrást (U_{BE0}) és egy áramvezérelt áram forrást tartalmaz:



A tranzisztort körülvevő **lineáris hálózat** tartalmazhat:

- ellenállást, kapacitást, induktivitást,
- vezérelt áram vagy feszültség forrásokat,
- független feszültség és áram forrásokat.

A független források lehetnek:

- konstans értékűek (**táp feszültség, táp áram**) vagy
- időben változó források, azaz **jelforrások**.

Munkapont definíciója:

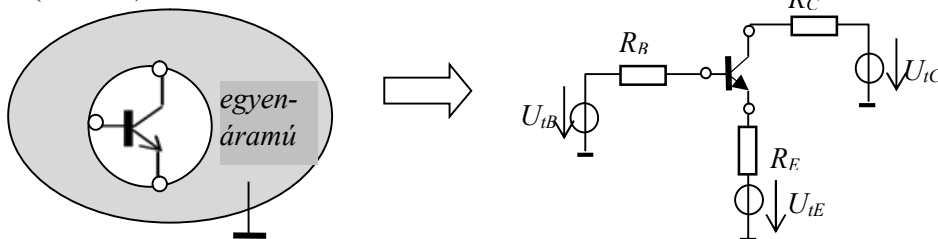
az áramkör (benne a tranzisztor) **gerjesztetlen** (jelforrások nullák) és **egyenáramú** villamos állapota (az egyen feszültségek és áramok).

Adott tranzisztor munkapontjának meghatározása:

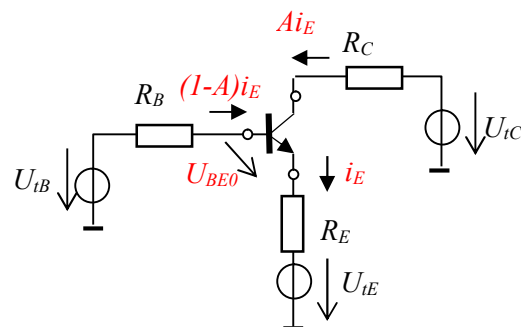
1. lépés: A tranzisztort körülvevő áramkör **gerjesztetlen** és **egyenáramú**, egyszerűsített **helyettesítő** képének meghatározása:

- független váltóáramú feszültség forrás → rövidzár
- független váltóáramú áram forrás → szakadás
- kondenzátor → szakadás
- induktivitás → rövidzár
- ami marad: ellenállások és egyenáramú források, (esetleg még vezérelt források is)

2. lépés: Az egyenáramú helyettesítő kép alapján a tranzisztor elektródái és a közös föld pont közötti **Thevenin helyettesítő** képek paramétereinek meghatározása: (R_B, U_{iB}) , (R_C, U_{iC}) , (R_E, U_{iE}) ,



3. lépés: A tranzisztor helyettesítő képe alapján az U_{BE0} feszültség mérőirány-helyes berajzolása és az áramok kifejezése a tranzisztor i_E emitter áramával



4. lépés: A **bázis-emitter átmenetet tartalmazó hurokra** a feszültség egyenlet felírása,

$$U_{iB} = R_B(1-A)i_E + u_{BE} + R_E i_E + U_{iE} \quad (1)$$

amiből az $u_{BE} = U_{BE0}$ helyettesítéssel kapjuk az egyetlen i_E ismeretlenre a megoldást,

a munkaponti emitter áramot:

$$i_E = I_{E0} = \frac{U_{iB} - U_{BE0} - U_{iE}}{R_B(1-A) + R_E},$$

majd ebből a többi áram munkaponti értékeit: $I_{C0} = AI_{E0}$, $I_{B0} = (1-A)I_{E0}$. A tranzisztor normál aktív tartományban való működésének feltétele: $I_{E0} > 0$.

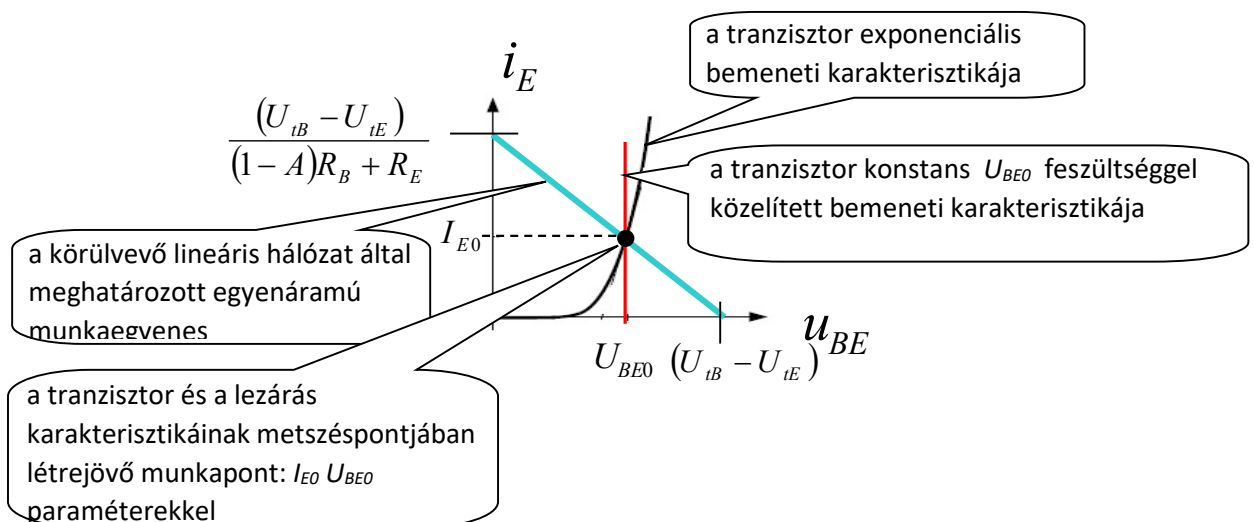
Megjegyzés: Az (1) szerinti bemeneti körre vonatkozó hurok egyenletet az alábbi alakban felírva

$$u_{BE} = u_{BE}(i_E) = (U_{iB} - U_{iE}) - (R_B(1-A) + R_E)i_E$$

kapjuk a tranzisztornak az öt körülvevő lineáris hálózattal megvalósított **lezárásának egyenáramú karakterisztikáját**, melyet az $i_E - u_{BE}$ síkon (a tranzisztor bemeneti karakterisztikájának síkján) ábrázolva egy (negatív meredekségű) egyenest jelent. Az egyenes meredekségét az $(R_B(1-A) + R_E)$ egyenáramú ekvivalens ellenállás határozza meg, minél nagyobb, annál laposabb az egyenes. Az egyenest a tengelymetszetei alapján könnyű felrajzolni:

Ha $i_E = 0$, akkor $u_{BE} = (U_{iB} - U_{iE})$

és ha $u_{BE} = 0$, akkor $i_E = \frac{(U_{iB} - U_{iE})}{(1-A)R_B + R_E}$.



A bemeneti munka egyenes, tehát az adott áramköri környezetben, a tranzisztor lehetséges villamos állapotainak mértani helye az az $i_E - u_{BE}$ síkon.

5. lépés: Az áramok ismeretében már felírhatjuk **kollektor-emitter körre** vonatkozó hurok egyenletet,

$$U_{iC} = R_C A i_E + u_{CE} + R_E i_C + U_{iE} \quad (2)$$

amiből az $i_E = I_{E0}$ ismert munkaponti áramot felhasználva, az egyetlen u_{CE} ismeretlenre azaz a kollektor-emitter munkaponti feszültségre kapjuk a megoldást:

$$u_{CE} = U_{CE0} = U_{iC} - U_{iE} - (AR_C + R_E)I_{E0} = U_{iC} - U_{iE} - \left(R_C + \frac{1}{A}R_E\right)I_{C0} .$$

$$\text{továbbá: } U_{CB0} = U_{CE0} - U_{BE0} .$$

A kapott munkaponti feszültségek alapján ellenőrizhetjük, hogy a tranzisztorra valóban igaz-e a normál aktív tartományra vonatkozó feltételezés: $U_{CB0} > U_{CE0}$
 vagy ha az U_m maradék feszültséget is megadták, akkor $U_{CE0} > U_m$
 továbbá, természetesen : $I_{C0} > 0$.

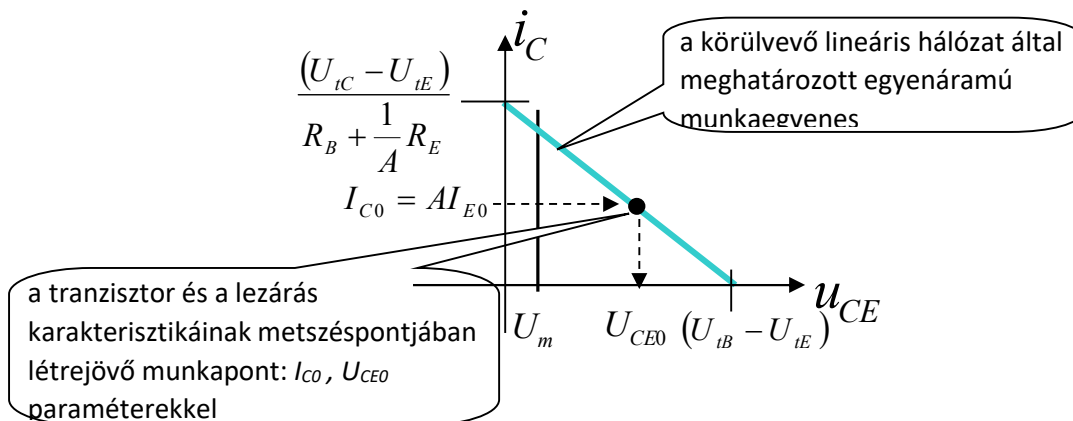
Megjegyzés: Az (2) szerinti kimeneti körre vonatkozó hurok egyenletet az alábbi alakban is felírhatjuk:

$$u_{CE} = u_{CE}(i_C) = (U_{iC} - U_{iE}) - \left(R_C + \frac{1}{A}R_E\right)i_C$$

Ez az egyenlet, mint elsőfokú függvény kapcsolat az i_E , u_{BE} változók között a tranzisztornak az őt körülvevő lineáris hálózat által meghatározott kimeneti **lezárási egyenáramú karakterisztikáját adja**, melyet az $i_C - u_{CE}$ síkon (a tranzisztor kimeneti karakterisztikájának síkján) ábrázolva egy (negatív meredekségű) egyenest jelent. Az egyenes meredekségét az $\left(R_C + \frac{1}{A}R_E\right)$ egyenáramú ekvivalens ellenállás határozza meg, minél nagyobb, annál laposabb az egyenes. Az egyenest a tengelymetszetei alapján könnyű felrajzolni:

$$\text{Ha } i_C = 0, \text{ akkor } u_{BE} = (U_{iC} - U_{iE})$$

$$\text{és ha } u_{CE} = 0, \text{ akkor } i_C = \frac{(U_{iC} - U_{iE})}{R_C + \frac{1}{A}R_E} .$$



A kimeneti munka egyenes, tehát az adott áramköri környezetben, a tranzisztor lehetséges villamos állapotainak mértani helye az az $i_C - u_{CE}$ síkon.

Kivezérés vizsgálat:

Adott áramkörben a munkaponttól való lehetséges eltérések mértékének meghatározása, feltéve, hogy a tranzisztor villamos állapota (a rajta folyó áramok, az elektródái közti feszültségek) a normál aktív tartományban marad.

Definíciók:

Nyitó (záró) irányú eltérés, változás: a munkaponthoz képest nő (csökken) a tranzisztor árama

- **Statikus** változás: áram- és feszültség viszonyok tetszőlegesen lassú változása, az áramkör **egyenáramú** viselkedése a meghatározó
- **Dinamikus** változás: tetszőlegesen nagy sebességű változás, az áramkör váltóáramú, **nagyfrekvenciás** viselkedése a meghatározó

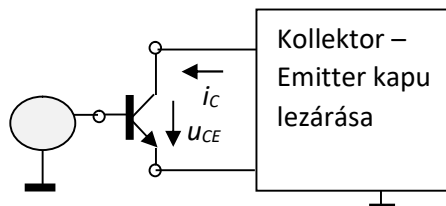
Kivezérelhetőség: a munkaponttól való **dinamikus eltérésnek maximuma**, feltéve, hogy a tranzisztor a normál-aktív tartományban marad.

- nyitó irányú, záró irányú, szimmetrikus
- a tranzisztor kivezérelhetősége: u_{CE}
- kimeneti kivezérelhetőség: u_{ki}

További egyszerűsítő feltételezés kivezérés vizsgálatnál:

Egykapus tranzisztor modell:

- csak egy tranzisztor van
- csak egy tranzisztor áram, $I_C = I_E, (I_B = 0)$

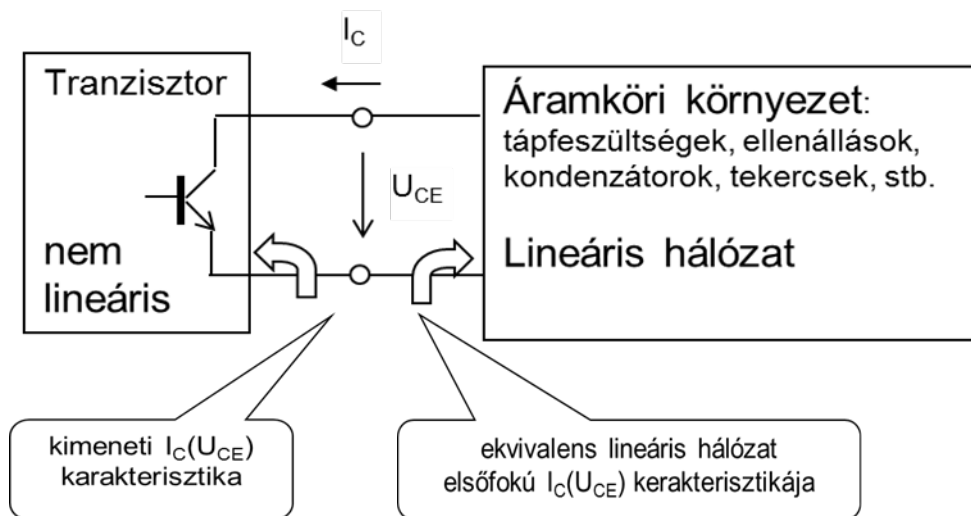


A kivezérelhetőséget a tranzisztor kimeneti C-E karakterisztikája és az azt lezáró lineáris hálózat határozza meg.

Tranzisztoros áramkör kapu modellje: nemlineáris kapu lezárva lineáris kapuval

Feltételek:

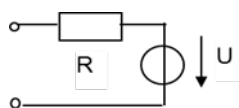
- csak egy tranzisztor
- csak egy tranzisztor áram, $I_C = I_E, (I_B = 0)$



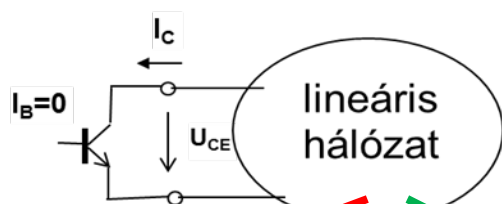
Lineáris hálózat helyettesítő képei:

- **Egyenáramú** helyettesítő kép → rezisztív hálózat:
 - kondenzátor → szakadás
 - tekercs → rövidzár
 - váltóáramú feszültség generátor → rövidzár
 - váltóáramú áram generátor → szakadás
- **Váltóáramú** helyettesítő kép → rezisztív hálózat :
 - kondenzátor → rövidzár
 - tekercs → szakadás
 - egyenáramú feszültség generátor → rövidzár
 - egyenáramú áram generátor → szakadás
- Thevenin helyettesítő kép → max. két paraméteres modell :

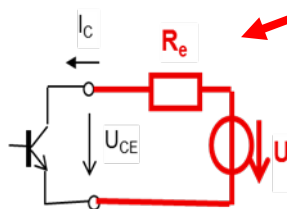
- aktív kapu (ha van független forrás): R, U



- passzív kapu (ha nincs független forrás): R



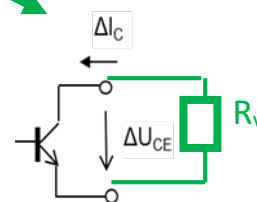
Egyenáramú helyettesítő kép



$$U_{CE} = U_e - R_e I_C$$

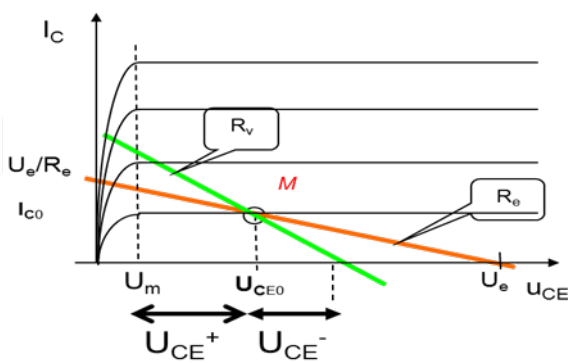
$$\rightarrow I_C = U_e / R_e - U_{CE} / R_e$$

Váltóáramú helyettesítő kép:



$$\Delta U_{CE} = -R_v \Delta I_C$$

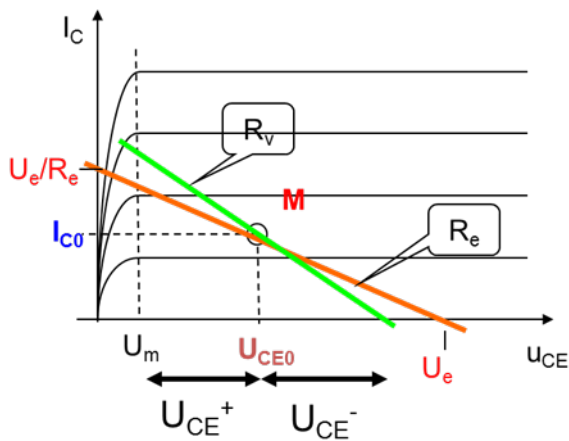
$$\rightarrow \Delta I_C = -\Delta U_{CE} / R_v$$



A tranzisztor kivezérelhetősége:

(a munkaponttól való **dinamikus** eltérésnek maximuma, feltéve, hogy a tranzisztor a normál-aktív tartományban marad.)

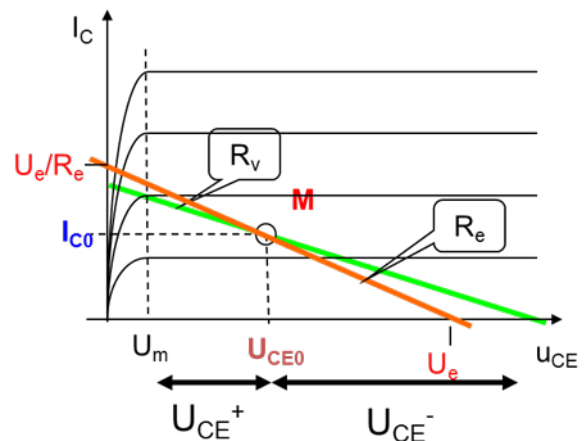
- nyitóirányban: U_{ce}^+
- záró irányban: U_{ce}^-
- szimmetrikus: $\min(U_{ce}^+, U_{ce}^-)$



Kapacitív csatolás:

$$R_v < R_e$$

A tranzistor áramának pillanatnyi értéke, (dinamikus gerjesztés esetén) nagy lehet.

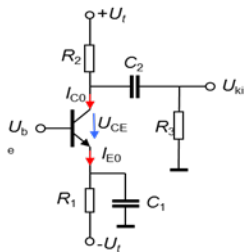


Induktív csatolás:

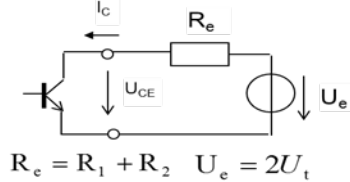
$$R_v > R_e$$

Az U_{CE} feszültség pillanatnyi értéke, (dinamikus gerjesztés esetén) nagy lehet.

Példa 1.

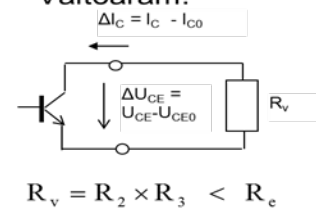


Egyenáram:

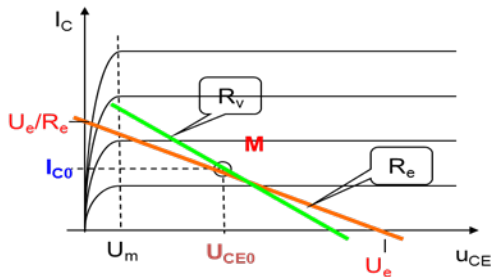


$$R_e = R_1 + R_2 \quad U_e = 2U_t$$

Váltóáram:



$$R_v = R_2 \times R_3 < R_e$$



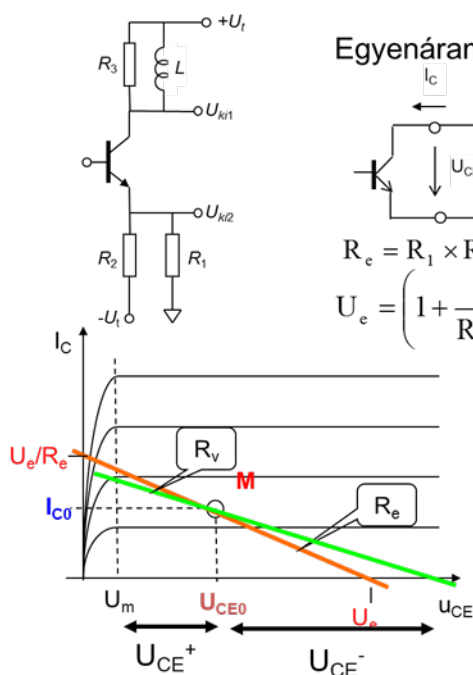
Nyitó irányú kivezérelhetőség:

$$U_{CE}^+ = U_{CE0} - U_m = U_e - R_e I_{E0} - U_m$$

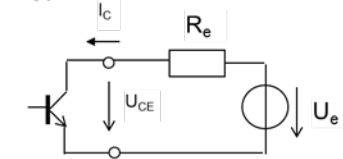
Záró irányú kivezérelhetőség:

$$U_{CE}^- = R_v I_{E0}$$

Példa 2.



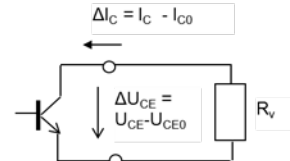
Egyenáram:



$$R_e = R_1 \times R_2$$

$$U_e = \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) U_t$$

Váltóáram:



$$R_v = R_3 + R_1 \times R_2 > R_e$$

Nyitó irányú kivezérelhetőség:

$$U_{CE}^+ = U_{CE0} - U_m = U_e - R_e I_{E0} - U_m$$

Záró irányú kivezérelhetőség:

$$U_{CE}^- = R_v I_{E0}$$

Kimeneti kivezérelhetőség :

nyitóirányban: $U_{ki}^+ = K U_{CE}^+$

záró irányban: $U_{ce}^- = K U_{CE}^-$

ahol K a kimeneti leosztás:

a váltóáramú helyettesítő
képben:

$$K = \left| \frac{U_{ki}}{U_{CE}} \right|$$

A példában:

$$K_1 = \left| \frac{U_{ki1}}{U_{CE}} \right| = \frac{R_3}{R_3 + R_1 \times R_2} \quad K_2 = \left| \frac{U_{ki2}}{U_{CE}} \right| = \frac{R_1 \times R_2}{R_3 + R_1 \times R_2}$$