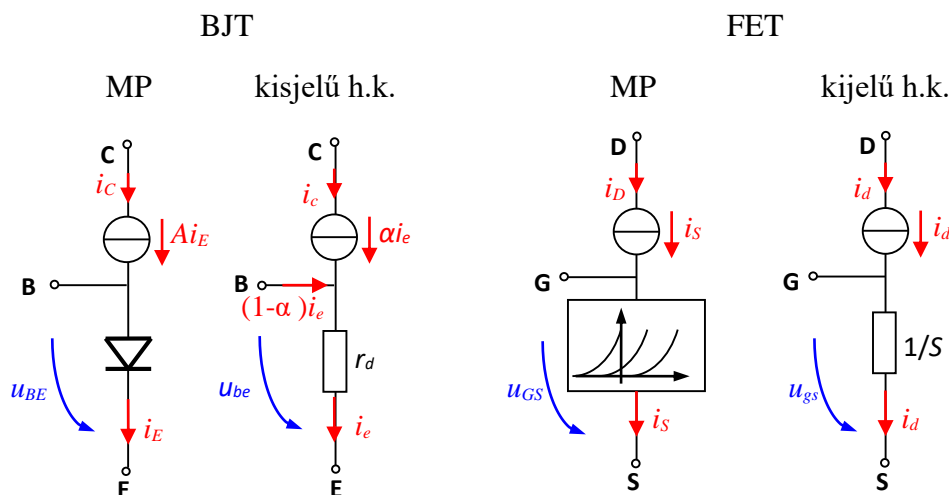
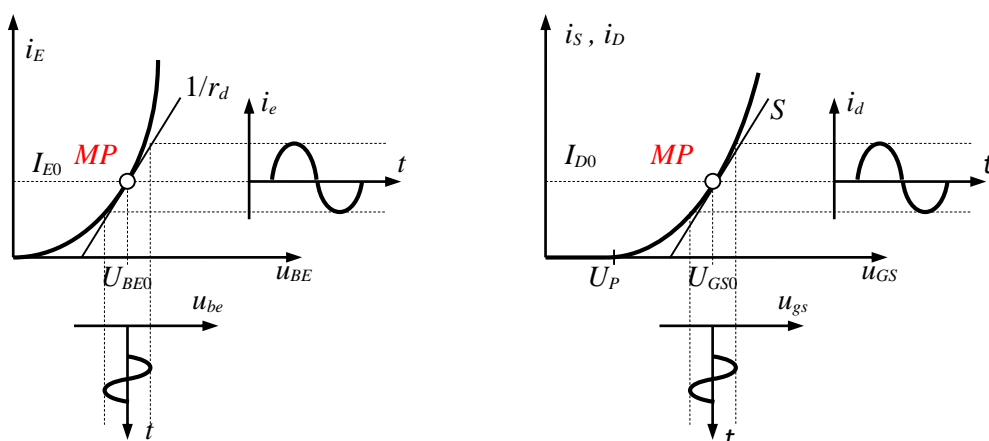


Kisjelű analízis, alapkapcsolások

- A munkapont környezetében vizsgálódunk
- Taylor-sor lineáris tagjával közelítünk: kisjelű helyettesítő kép
- Bipoláris réteg tranzisztor (BJT), MOSFET, JFET hasonlóan kezelhető



A kisjelű lineáris helyettesítő kép r_d , S paramétere csak az adott munkapontra érvényes!



Az érintők meredeksége a MP-ban:

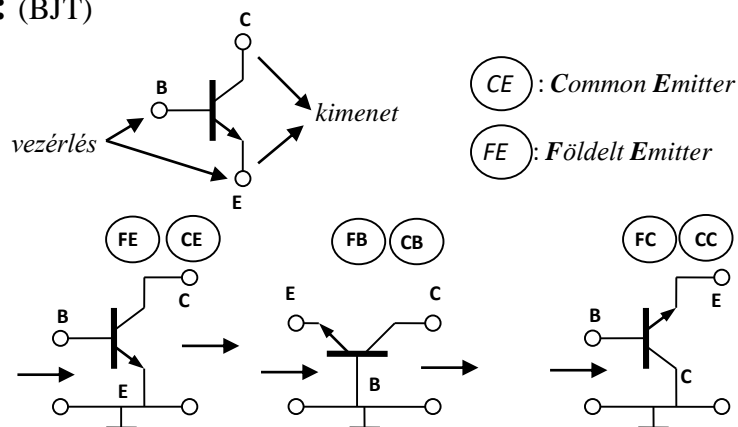
$$\frac{1}{r_d} = \left. \frac{di_E}{du_{BE}} \right|_{MP} = \frac{I_{E0}}{U_T} \quad r_d = \frac{26mV}{I_{E0}}$$

$$S = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{MP} = \frac{2I_{D0}}{U_{S0} - U_P} = \frac{2}{U_P} \sqrt{I_{D0}I_{D00}}$$

Ahol $i_E = I_{S0} e^{\frac{u_{BE}}{U_T}}$ $U_T = 26 mV$

és $i_D = I_{D00} \left(\frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2$

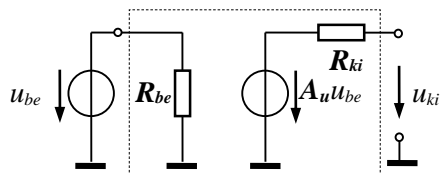
Alapkapcsolások: (BJT)



A tranzisztorokkal olyan áramköri blokkokat építünk, amelyeknek bemenetük és kimenetük van, a bemeneteket meghajtjuk a forrásokat szimbolizáló generátorokkal (feszültség, v. áram generátor, véges, vagy extrém belső impedancia). A kimenetüket alapesetben terheletlenül vizsgáljuk – szakadással való lezárás, de vizsgálhatók bármely terhelés, akár rövidzár esete is, ha az áramkör ezt lehetővé teszi – nem lépjük túl a maximális kimenő áram értékét. Az áramköri blokkjainkat ezzel az általános háromparaméteres helyettesítőképpel jellemezzük

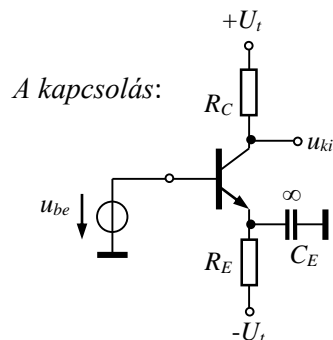
A_u , R_{be} , R_{ki} :

A tranzisztoros fokozatok
háromparaméteres
helyettesítő képe

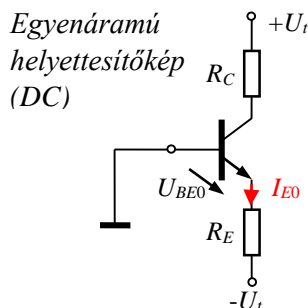


Földelt Emitteres (FE), Common Emitter (CE) alapkácsolás

Legegyszerűbb realizációja (számos változata ismert):



Egyenáramú (DC) analízis:



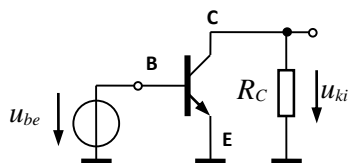
$$I_{E0} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_E}$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = \frac{26mV}{I_{E0}} : \text{munkapont függő!}$$

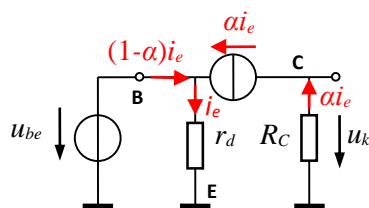
Váltóáramú (AC) analízis

- A tápfeszültségeken **nincs váltó feszültség**: → **váltóáramú föld** (a tápok eltűnnek)
- Kapacitások rövidzárok (induktivitások szakadások)

Váltóáramú (AC) helyettesítőkép



Lineáris, kisjelű helyettesítőkép



$A_u = ?$, $R_{be} = ?$, $R_{ki} = ?$

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

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

Nagy feszültség erősítés, invertáló - fázisfordító

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{i_e r_d}{(1 - \alpha) i_e} = \frac{r_d}{1 - \alpha} = (1 + \beta) r_d$$

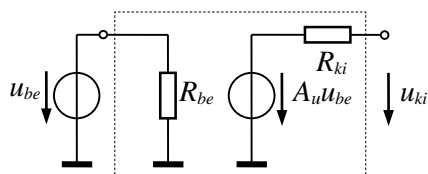
$$R_{be} = (1 + \beta) r_d$$

Közepes bemenő ellenállás

A kimenő ellenállás meghatározása:

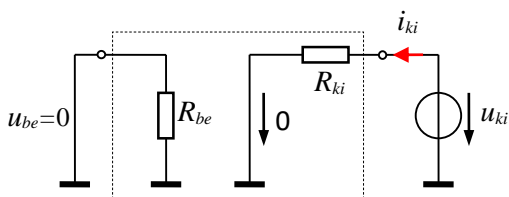
A fokozat háromparaméteres

helyettesítő képe

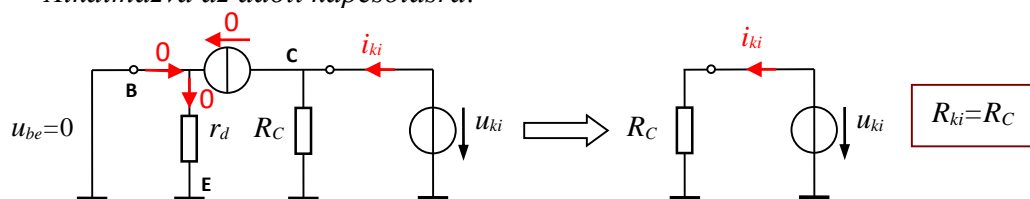


Az R_{ki} mérési eljárása:

$$R_{ki} = \left. \frac{u_{ki}}{i_{ki}} \right|_{u_{be}=0}$$

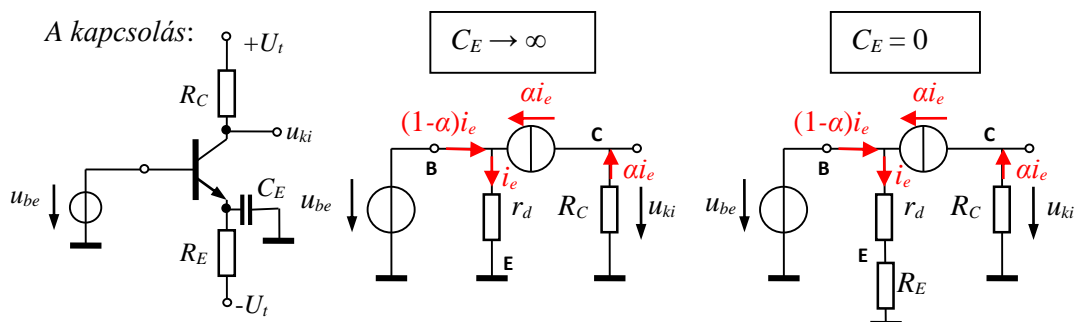


Alkalmazva az adott kapcsolásra:



$R_{ki} = R_C$ közepes, vagy nagy.

Há $C_E = 0$, a kapcsolásból kivesszük az emitter kondenzátort:



A MP azonos: r_d nem változik. Ami változik: $r_d \Rightarrow r_d + R_E$

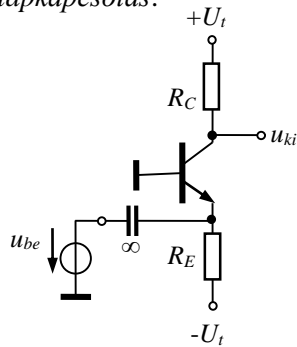
$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\alpha \frac{R_C}{r_d + R_E} \quad : \text{jelentősen lecsökken, akár egynél kisebb is lehet}$$

$$R_{be} = (1 + \beta)(r_d + R_E) \quad : \text{megnövekszik}$$

$$R_{ki} = R_C \quad : \text{azonos marad}$$

Földelt Bázisú kapcsolás (FB) Common Base (CB) alapkapsolás:

A FB alapkapsolás:

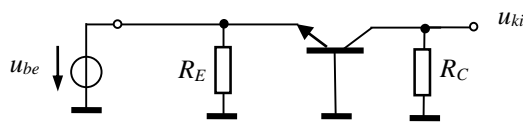


Egyenáramú DC analízis

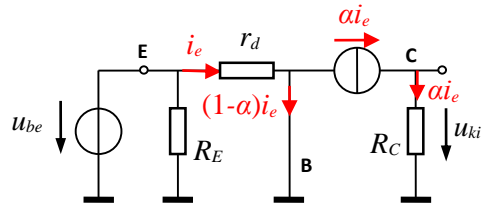
A MP az FE alapkapsoláséval azonos: r_d nem változik.

Váltóáramú AC analízis

A FB AC helyettesítőkép:



A lineáris kisjelű hely. kép:

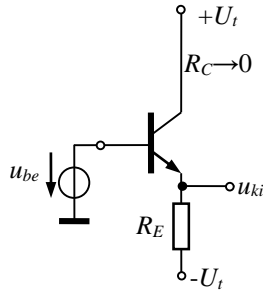


$$u_{be} = r_d i_e \quad u_{ki} = R_C \alpha i_e$$

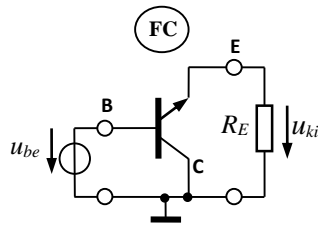
$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \alpha \frac{R_C}{r_d} \quad : \text{ nagy, FE – hez hasonló, de nem invertáló}$$

$$R_{be} = r_d \times R_E \quad : \text{ nagyon kicsi !}$$

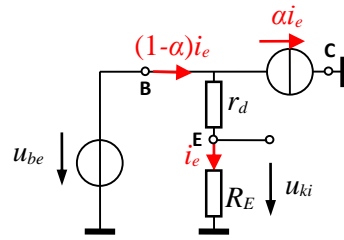
$$R_{ki} = R_C \quad : \text{ azonos FE-vel}$$

Földelt kollektorú kapcsolás (FC) :*A kapcsolás:*

$$u_{ki} = u_{be} \frac{R_E}{R_E + r_d}$$

A váltóáramú helyettesítőkép

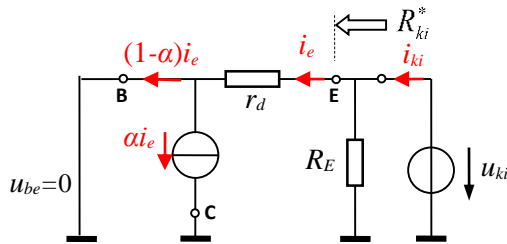
$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_E}{R_E + r_d} \approx 1$$

A lineáris kisjelű helyettesítőkép:

:közel egy

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{i_e(r_d + R_E)}{(1-\alpha)i_e} = \frac{1}{1-\alpha}(r_d + R_E) = (1+\beta)(r_d + R_E) : \text{nagy, az előző fokozatot}$$

kevésbé terheli

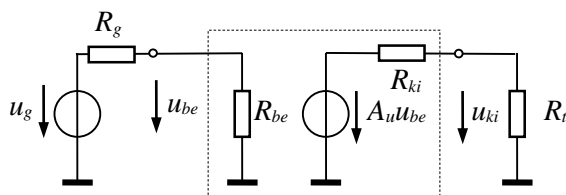
Az R_{ki} meghatározásához:

$$R_{ki}^* = \frac{u_{ki}}{i_e} = \frac{i_e r_d}{i_e} = r_d$$

$$R_{ki} = R_E \times R_{ki}^*$$

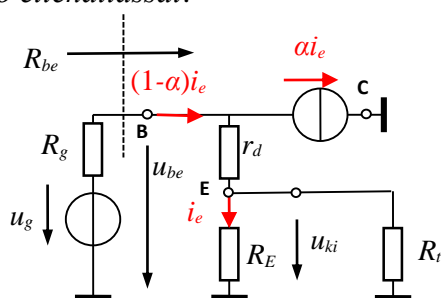
$$R_{ki} = R_E \times r_d$$

Ha a generátor ellenállás nem nulla, illetve a kimenetet nem szakadással zárjuk le az ábra szerint,



akkor az előzőekben kiszámított bemenő, illetve kimenő ellenállások megváltoznak. Ezt úgy mondjuk, hogy a földelt kollektorú alkapcsolás nem visszahatásmentes.

A lineáris kisjelű helyettesítőkép generátor és terhelő ellenállással:



Az üresjárási feszültség erősítést (A_u), a terhelő ellenállás nélkül számítjuk ki:

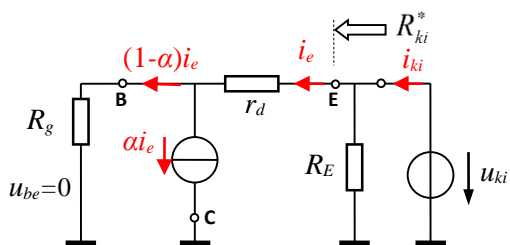
$$u_{ki} = u_{be} \frac{R_E}{R_E + r_d} \quad \boxed{A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_E}{R_E + r} \approx 1}$$

A bemenő ellenállás véges terhelés esetére:

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{i_e (r_d + R_E \times R_t)}{(1-\alpha)i_e} = \frac{1}{1-\alpha} (r_d + R_E \times R_t) = (1+\beta)(r_d + R_E \times R_t)$$

$$\boxed{R_{be} = (1+\beta)(r_d + R_E \times R_t)} : \text{ nagy értékű}$$

Az R_{ki} meghatározásához:



$$R_{ki}^* = \frac{u_{ki}}{i_{ki}} = \frac{i_e r_d + (1-\alpha)i_e R_g}{i_e} = r_d + (1-\alpha)R_g$$

$$R_{ki} = R_E \times R_{ki}^*$$

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

Minél nagyobb a beta, annál kisebb lesz a generátor ellenállás hatása a kimenő impedanciára.

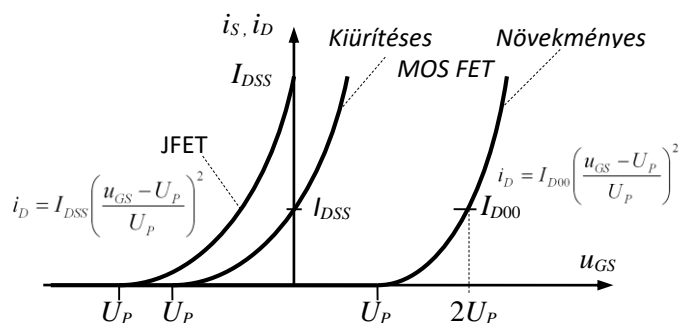
Az FC fokozat tehát nem visszahatás mentes, mert: R_{be} függ R_t -től és R_{ki} függ R_g -től

Összefoglalva:

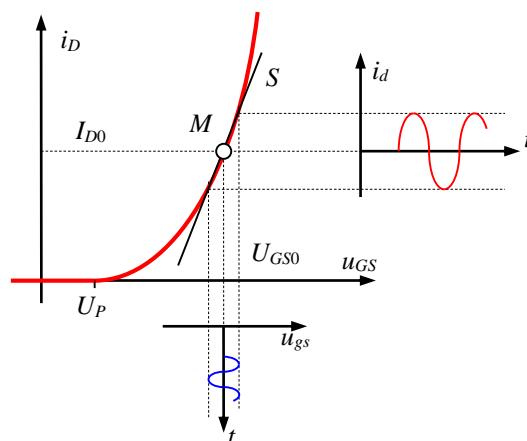
	FE / CE	FB / CB	FC / CC
$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big _{R_t=0}$	$-\alpha \frac{R_C}{r_d}$	$\alpha \frac{R_C}{r_d}$	$\frac{R_E}{R_E + r_d} \approx 1$
$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}}$	$(1 + \beta)r_d$	$r_d \times R_E \approx r_d$	$(1 + \beta)[r_d + R_E \times R_t]$
$R_{ki} = \frac{u_{ki}}{i_{ki}} \Big _{u_g=0}$	R_C	R_C	$R_{ki} = R_E \times (r_d + (1 - \alpha)R_g)$

Kisjelű analízis, alapkapcsolások JFET, MOS FET alkalmazásával

Az elzáródás feletti, szaturációs ($u_{DS} \geq u_{GS} - U_P$) tartományban működő FET-ek bemeneti karakterisztikái:



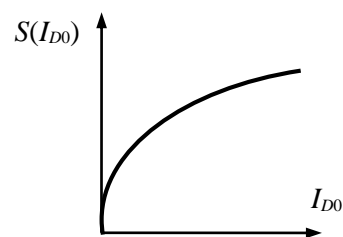
A karakterisztika munkapontbeli meredeksége:



$$S = \left. \frac{di_D}{du_{GS}} \right|_{u_{GS0}} = \frac{2I_{D00}}{|U_P|} \left(\frac{u_{GS0} - U_P}{U_P} \right) \bigg|_{u_{GS0}} = 2 \frac{I_{D0}}{(u_{GS0} - U_P)}$$

$$S(I_{D0}) = \frac{2I_{D00}}{|U_P|} \left(\frac{u_{GS0} - U_P}{U_P} \right) = \frac{2I_{D00}}{|U_P|} \sqrt{\frac{I_{D0}}{I_{D00}}} = \frac{2\sqrt{I_{D00}}}{|U_P|} \sqrt{I_{D0}}$$

$$[S] = S = \frac{1}{\Omega} \quad (\text{Siemens})$$

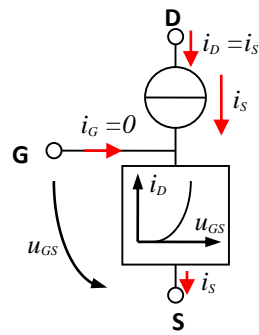


Amerikai katalógusokban a Siemens helyett gyakran használják az Ohm visszafelé leírt verzióját: *mho*, néha többes számban is: *mhos*. Pld: $1\mu S = 1\mu mhos = \frac{1}{10^6 \Omega}$

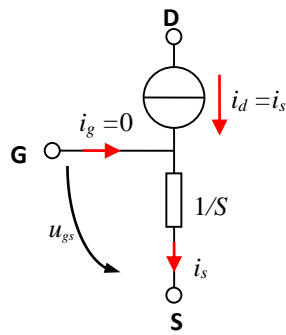
Az *S* helyett USA katalógusokban gyakran látjuk a vele egyenértékű: $S \rightarrow y_{21} \rightarrow y_{fs}$ paramétereket

Helyettesítő képek:

Nagyjelű helyettesítő kép

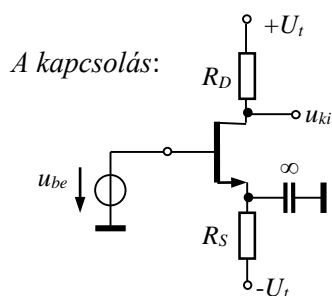


Kisjelű helyettesítő kép

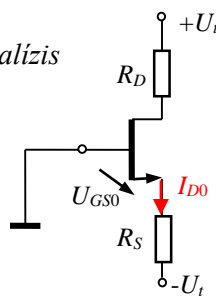


Alapkapcsolások (JFET alkalmazásával, kettős tápfeszültség esetére)

Földelt Source-u kapcsolás FS, CS



DC analízis



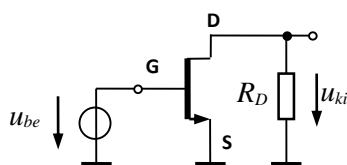
Megoldani:

$$0 = U_{GS0} + R_S I_{D0}$$

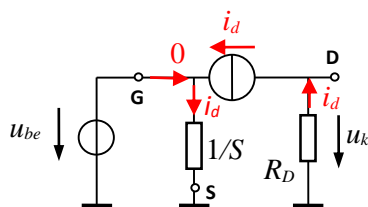
$$I_{D0} = I_{D00} \left(\frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2$$

$$S = \frac{2I_{D0}}{(U_{GS0} - U_P)}$$

Váltoáramú helyettesítőkép



Lineáris, kisjelű helyettesítőkép

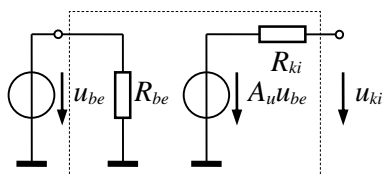


$$u_{ki} = -i_d R_D = -\frac{u_{be}}{1/S} R_D$$

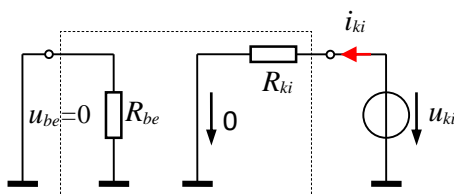
$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -SR_D$$

$$R_{be} = \infty$$

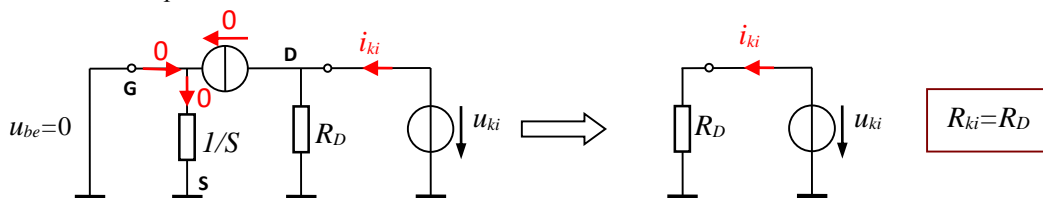
A fokozat három paraméteres helyettesítőképe



Az R_{ki} mérési eljárása: $R_{ki} = \frac{u_{ki}}{i_{ki}} \Big|_{u_{be}=0}$



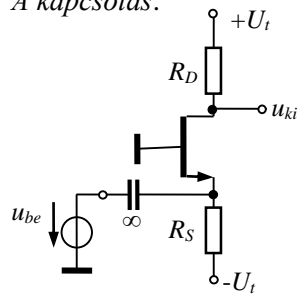
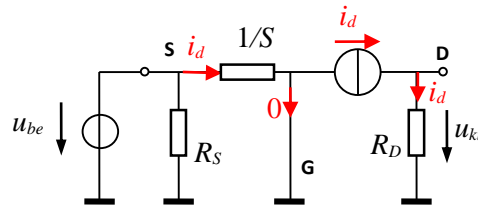
Az adott kapcsolásra alkalmazva:



Ha $C_s = 0$ $u_{ki} = -i_d R_D = -\frac{u_{be}}{R_S + 1/S} R_D$

$$A_u = -\frac{SR_D}{1 + SR_S}$$

$$R_{ki} = R_D \quad R_{be} = \infty$$

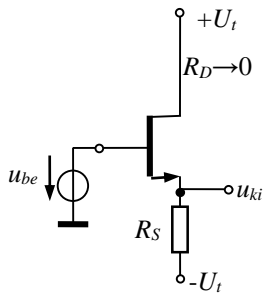
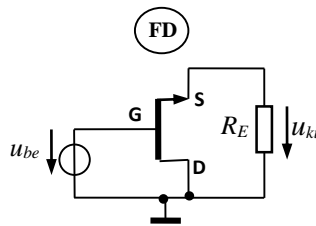
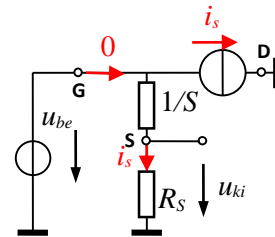
Földelt Gate-ű kapcsolás (FG, CG):*A kapcsolás:**A kisjelű hely. kép:*

$$u_{ki} = i_d R_D = \frac{u_{be}}{1/S} R_D$$

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = S R_D$$

$$R_{be} = R_S \times (1/S) = \frac{R_S}{1 + S R_S}$$

$$R_{ki} = R_D$$

Földelt Drain-ű kapcsolás (FD , CD) :*A kapcsolás:**Váltóáramú helyettesítőkép**A kisjelű lineáris hely. kép:*

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_S}{R_S + (1/S)} = \frac{S R_S}{1 + S R_S} < 1$$

$$R_{ki} = R_S \times (1/S) = \frac{R_S}{1 + S R_S}$$

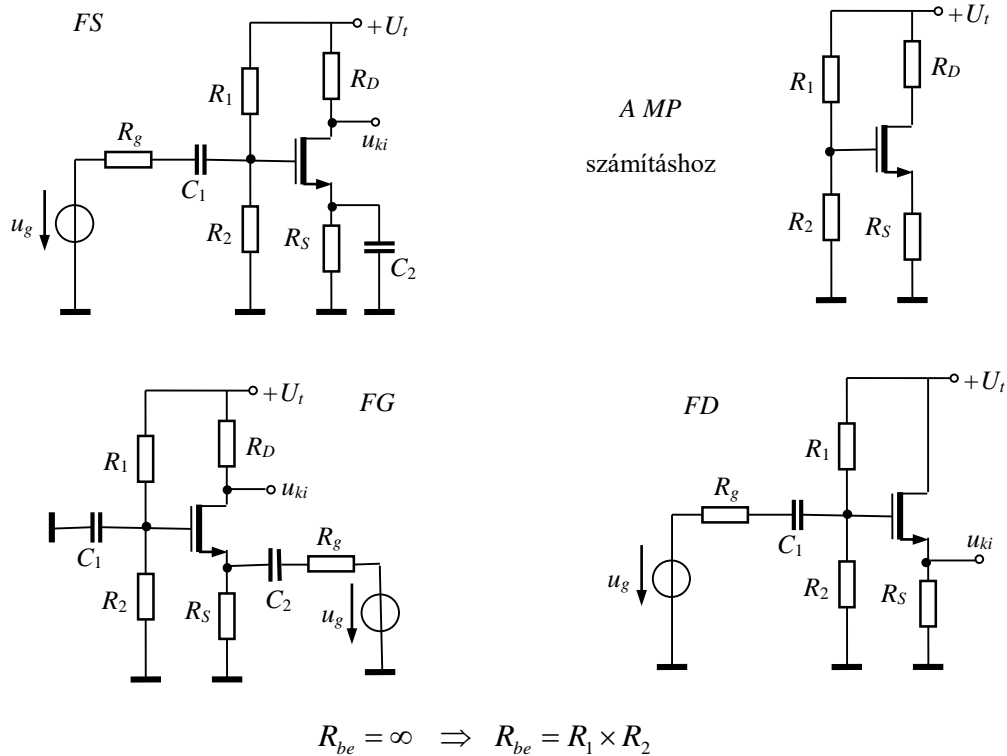
$$R_{be} = \infty$$

FET esetén nem függ a bemenő impedancia a terheléstől, és nem függ a kimenő impedancia a generátor ellenállástól. Viszont mivel az $1/S$ általában nagyobb, mint a bipoláris tranzisztor dinamikus ellenállása, a kimenő ellenállás bipolárisához hasonlítva nagyobb.

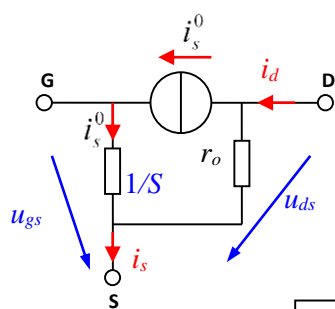
Összefoglalva:

	FS / CS	FG / CG	FD / CD
$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} \Big _{R_i=0}$	$-S R_D$	$S R_D$	$\frac{S R_S}{1 + S R_S} < 1$
$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}}$	∞	$R_S \times (1/S)$	∞
$R_{ki} = \frac{u_{ki}}{i_{ki}} \Big _{u_s=0}$	R_D	R_D	$R_S \times (1/S)$

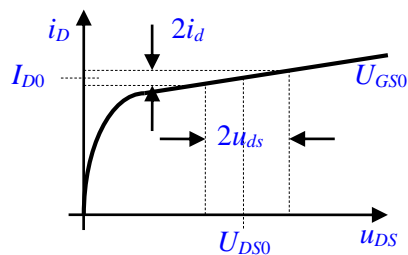
Egy tápfeszültségű MOSFET kapcsolások:

FET-kétparaméteres helyettesítő képe: (S , r_o)

A helyettesítőkép figyelembe veszi a szaturációs tartomány nem vízszintes menetét. Ez azt jelenti, hogy a Drain áram a Drain Source feszültségtől is függ.



Kimeneti karakterisztika:



$$r_o = \frac{i_d}{u_{ds}}$$

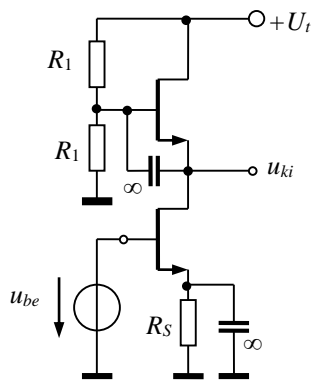
$$i_d = i_s^0 + \frac{u_{ds}}{r_o} = S u_{gs} + \frac{1}{r_o} u_{ds}$$

Szokásos egyéb jelölések:

$$r_o = \frac{1}{|y_{os}|}$$

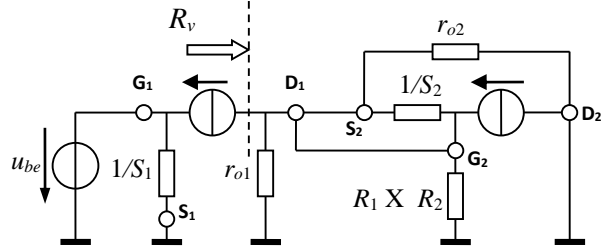
$$|y_{os}| = |y_{22}| = g_{os} = g_{22}$$

Nagy erősítés elérése JFET alkalmazásával: R_D helyett \rightarrow egy másik JFET



Kis egyenáramú ellenállás (kis tápfesz. elég)

Nagy váltóáramú ellenállás (R_v)



$$R_v = r_{o1} \times r_{o2} \times R_1 \times R_2 \quad A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -S_1 R_v$$