

Osnove elektronike

III semestar

OSNOVNE POJAČAVAČKE SPREGE

Osnovne pojačavačke sprege sa bipolarnim tranzistorom

U zavisnosti koja od tri elektrode je zajednička za ulazno i izlazno kolo, postoje tri osnovne pojačavačke šeme sa bipolarnim tranzistorom:

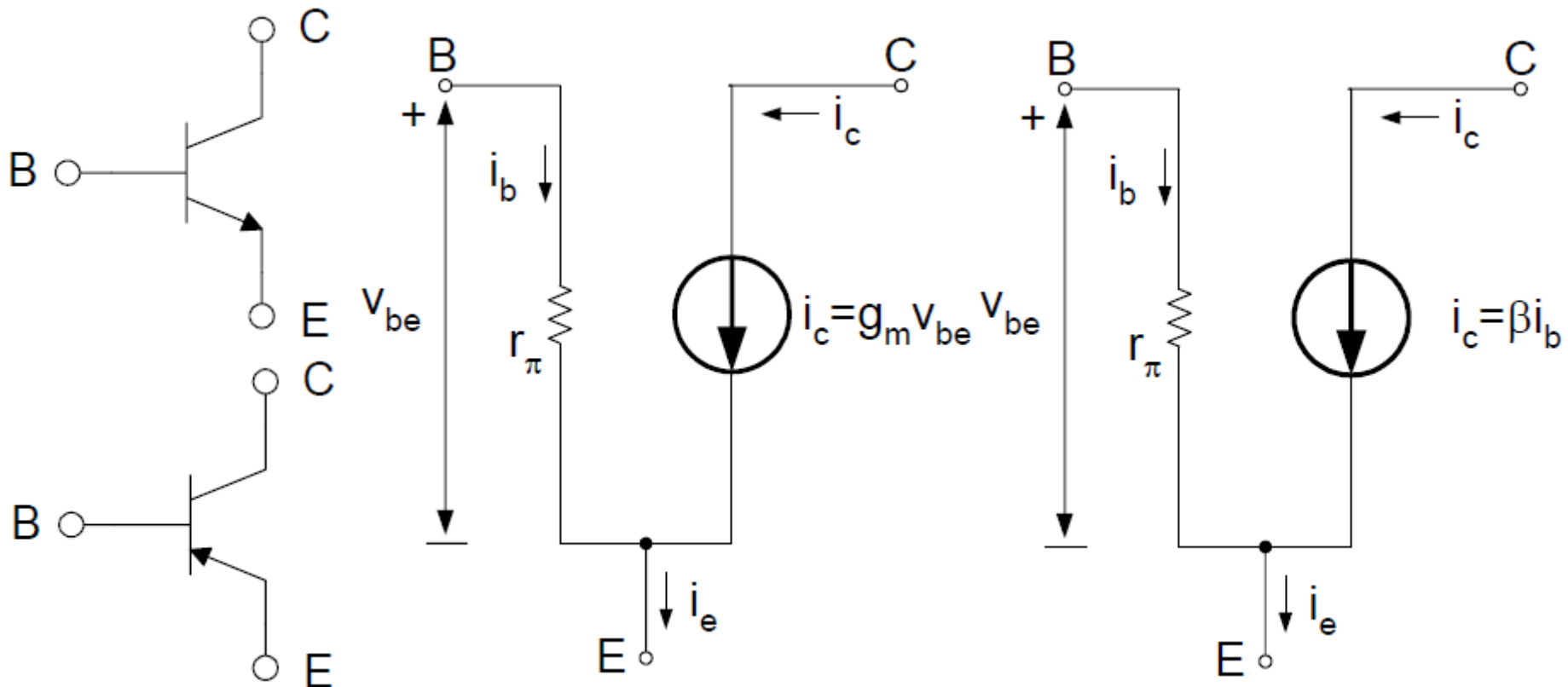
- ❖ pojačavač sa zajedničkim emiterom (ZE)
- ❖ pojačavač sa zajedničkim kolektorom (ZC)
- ❖ pojačavač sa zajedničkom bazom (ZB).

Dodatno, pojačavač sa zajedničkim emiterom se može realizovati sa kondenzatorom paralelno sa otpornikom u emiteru ili bez tog kondenzatora, čime se ukupno dobijaju četiri različite šeme za koje se izračunavaju:

- ❖ naponsko pojačanje
- ❖ ulazna otpornost
- ❖ izlazna otpornost.

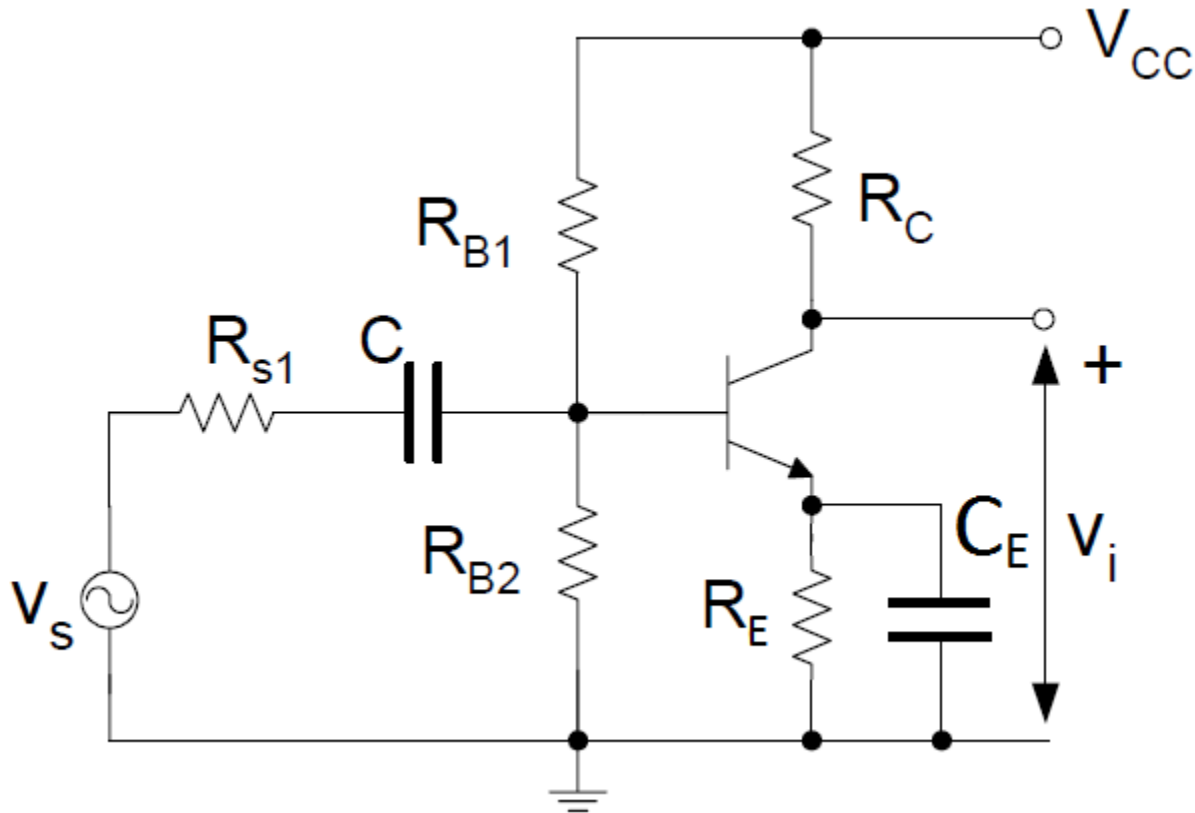
Uprošćeni modeli bipolarnog tranzistora za male signale

Obe uprošćene šeme za male signale (bez izlazne otpornosti) se ravnopravno primenjuju u pojačavačima, bez obzira da li se koristi NPN ili PNP tranzistor u pojačavaču.



ZE – Kompletna šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.
Emitor je zajednička elektroda (preko kondenzatora C_E).
Ulaz je na bazi.
Izlaz je na kolektoru.

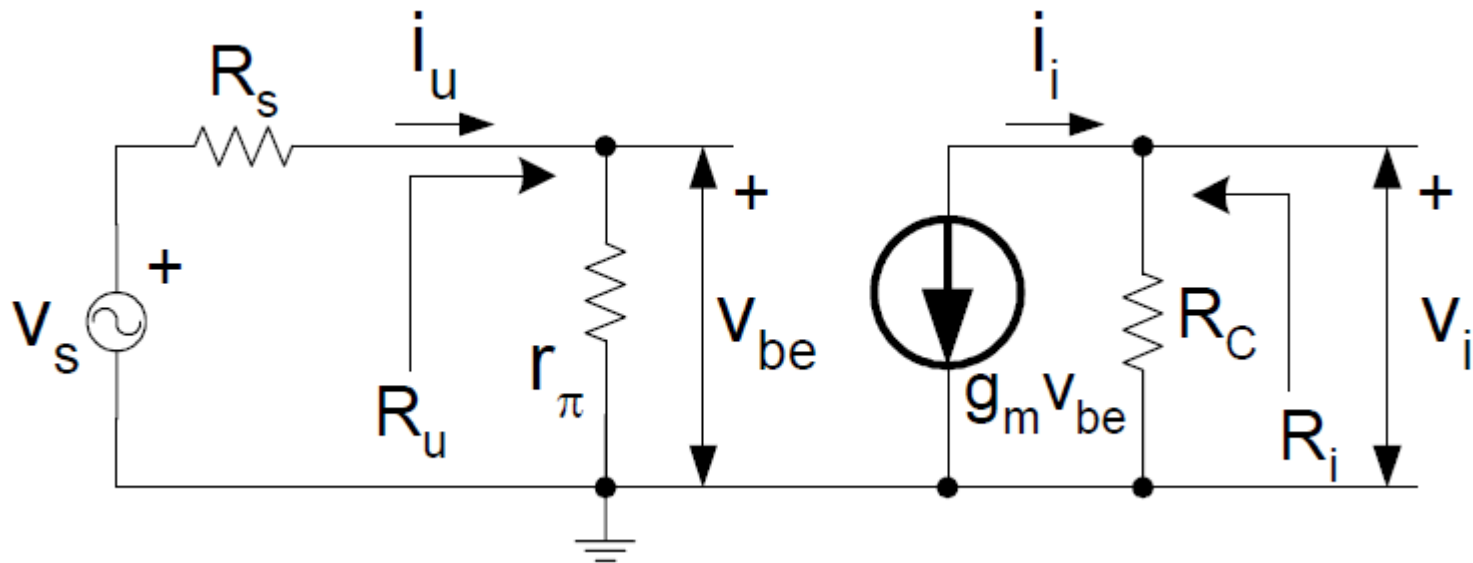


ZE – Šema za male signale

Kondenzatori C i C_E se smatraju kratkim spojevima na učestanosti pobudnog generatora.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.



ZE – Parametri pojačavača

A_v je naponsko pojačanje.

A_i je strujno pojačanje.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.

v_s je napon generatora.

v_{be} je napon na bazi.

v_i je napon na izlazu.

i_u je ulazna struja.

i_i je izlazna struja.

$$A_v = \frac{v_i}{v_s} = \frac{-g_m v_{be} R_C}{v_s} = -g_m R_C \frac{r_\pi}{R_s + r_\pi} = -\beta \frac{R_C}{R_s + r_\pi}$$

$$A_v \approx -\beta R_C / R_s$$

$$R_s \gg r_\pi$$

$$A_v \approx -g_m R_C$$

$$R_s \ll r_\pi$$

$$A_i = \frac{i_i}{i_u} = \frac{-g_m \frac{r_\pi}{R_s + r_\pi} v_u}{\frac{v_u}{R_s + r_\pi}} = -g_m r_\pi = -\beta$$

$$R_u = r_\pi$$

$$R_i = R_C$$

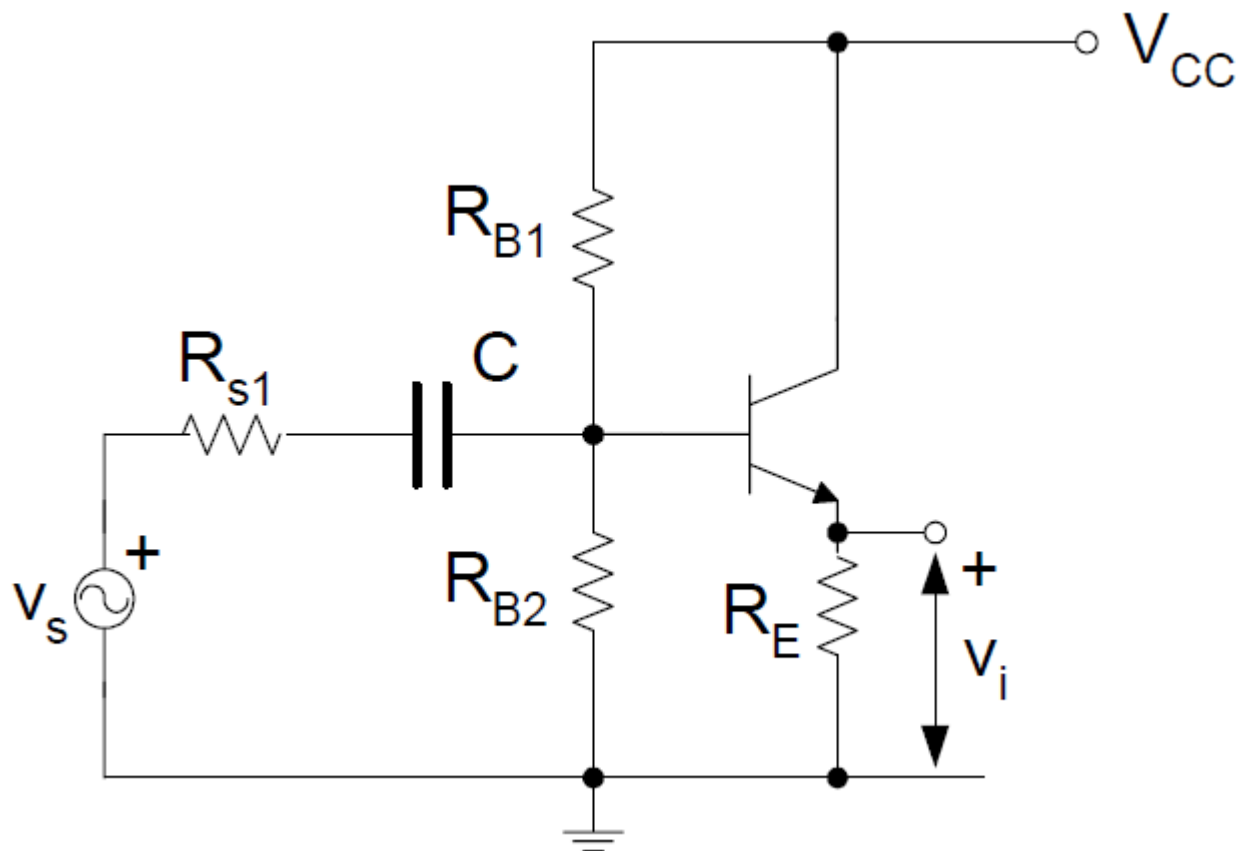
ZC – Kompletna šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.

Kolektor je zajednička elektroda (preko izvora za napajanje).

Ulaz je na bazi.

Izlaz je na emitoru.

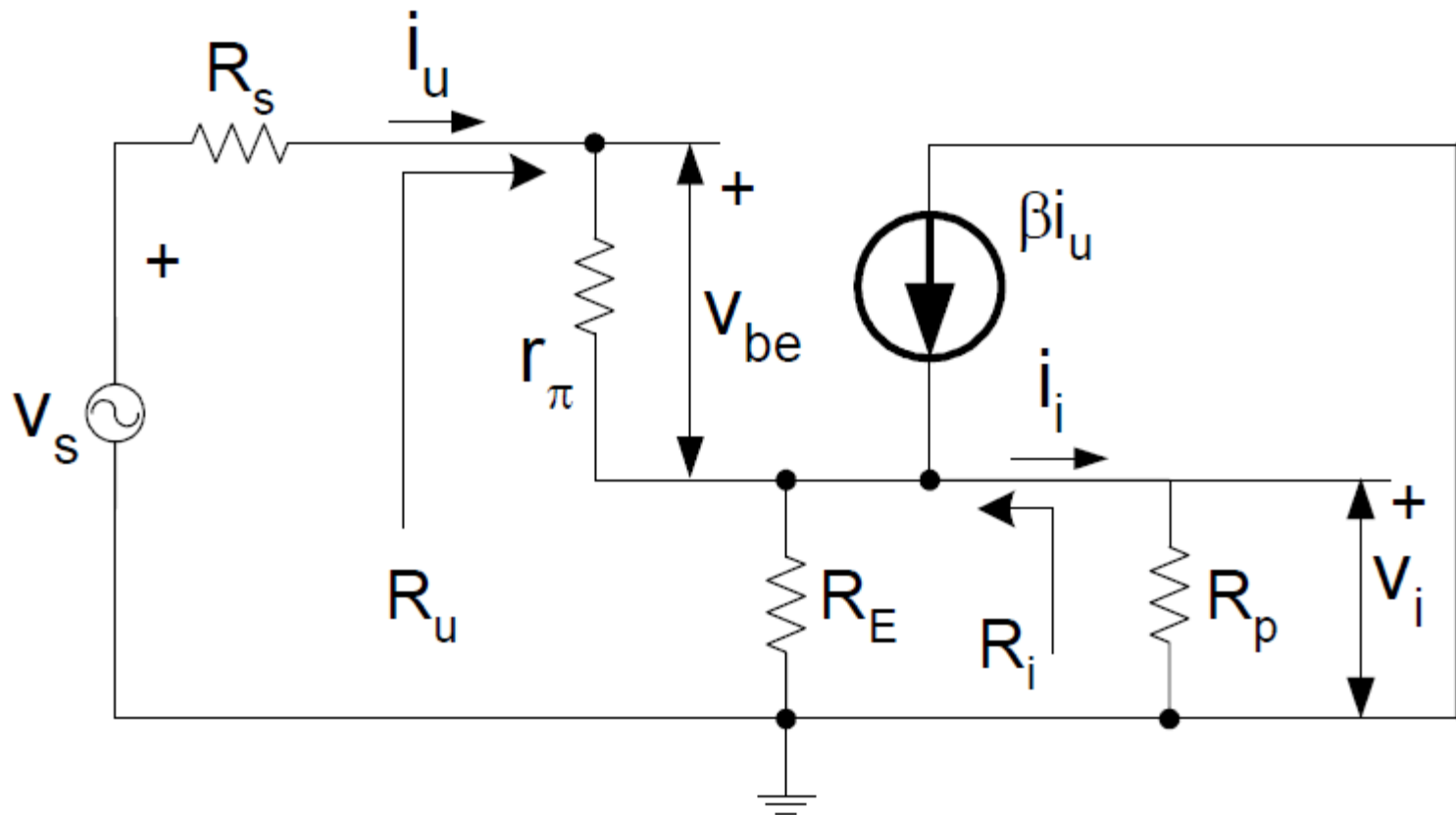


ZC – Šema za male signale

Kondenzator C se smatra kratkim spojem na učestanosti pobudnog generatora.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.



ZC – Parametri pojačavača

A_v je naponsko pojačanje.

A_i je strujno pojačanje.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.

v_s je napon generatora.

v_b je napon na bazi.

v_i je napon na izlazu.

i_u je ulazna struja.

i_i je izlazna struja.

$$A_v = \frac{v_i}{v_s} = \frac{v_b}{v_s} \frac{v_i}{v_b} = \frac{r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_p)}{R_s + r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_p)} \frac{(\beta + 1)(R_E \parallel R_p)}{r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_p)} = \frac{(\beta + 1)(R_E \parallel R_p)}{R_s + r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_p)}$$

$$A_v \approx 1 \quad R_s + r_\pi \ll (\beta + 1)(R_E \parallel R_p)$$

$$A_i = \frac{i_i}{i_u} = \frac{(\beta + 1)R_E}{R_E + R_p} \approx \beta + 1 \quad R_p \ll R_E$$

$$R_u = r_\pi + (\beta + 1)(R_E \parallel R_p)$$

$$R_i = R_E \parallel \left(\frac{r_\pi + R_s}{\beta + 1} \right) = R_E \parallel \left(r_e + \frac{R_s}{\beta + 1} \right) \approx r_e + \frac{R_s}{\beta + 1}$$

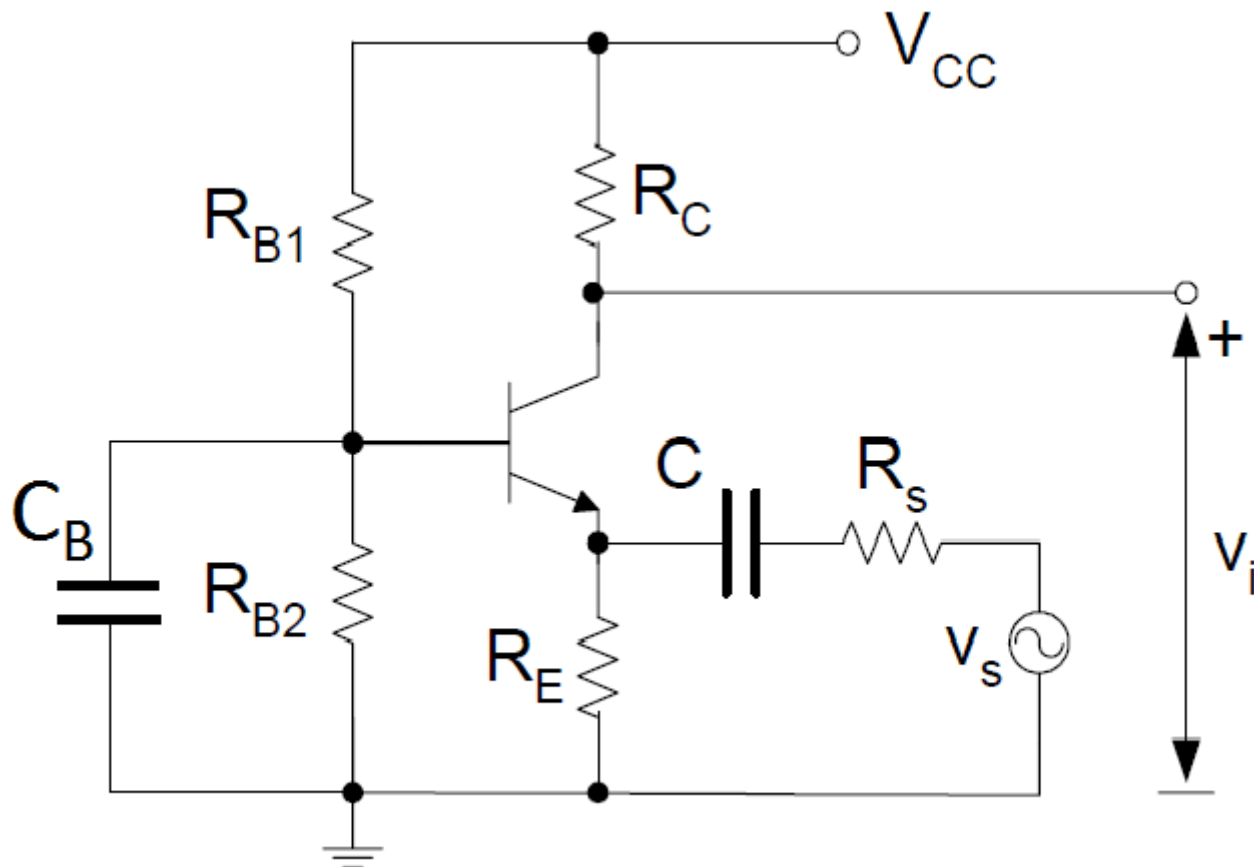
ZB – Kompletna šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.

Baza je zajednička elektroda (preko kondenzatora C_B).

Ulaz je na emitoru.

Izlaz je na kolektoru.

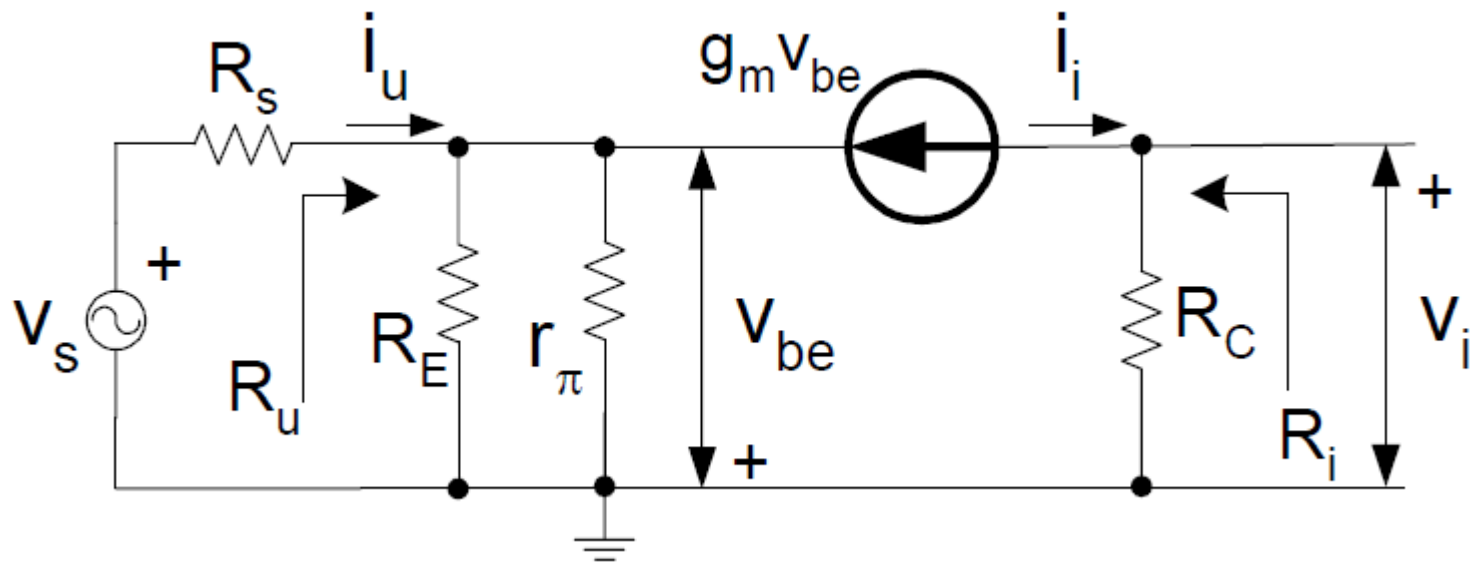


ZB – Šema za male signale

Kondenzatori C i C_B se smatraju kratkim spojevima na učestanosti pobudnog generatora.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.



ZB – Parametri pojačavača

A_v je naponsko pojačanje.

A_i je strujno pojačanje.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.

v_s je napon generatora.

v_i je napon na izlazu.

i_u je ulazna struja.

i_i je izlazna struja.

$$A_v = \frac{v_i}{v_s} = \frac{g_m r_\pi R_C}{r_\pi + (g_m r_\pi + 1)R_s}$$

$$A_v \approx \frac{R_C}{R_s}$$

$$A_v \approx g_m R_C$$

$$A_i = \frac{i_i}{i_u} = \frac{\beta}{\beta + 1} = \alpha \approx 1$$

$$R_u = \frac{R_E \parallel r_\pi}{\beta + 1} \approx r_e$$

$$R_i = R_C$$

$$r_\pi \ll (g_m r_\pi + 1)R_s$$

$$r_\pi \gg (g_m r_\pi + 1)R_s$$

Pregled osnovnih pojačavačkih sprega sa bipolarnim tranzistorom

ZE sa C_E

$$A_v \approx -g_m R_C$$

$$R_u = r_\pi$$

$$R_i = R_C$$

ZE bez C_E

$$A_v = -\frac{R_C}{R_E}$$

$$R_u = r_\pi + (\beta + 1)R_E$$

$$R_i = R_C$$

ZC

$$A_v \approx 1$$

$$R_u = r_\pi + (\beta + 1)R_E$$

$$R_i = R_E \parallel \left(\frac{r_\pi + R_s}{\beta + 1} \right)$$

ZB

$$A_v \approx g_m R_C$$

$$R_u \approx \frac{1}{g_m}$$

$$R_i = R_C$$

Osnovne pojačavačke sprege sa MOS tranzistorom

U zavisnosti koja od tri elektrode je zajednička za ulazno i izlazno kolo, postoje tri osnovne pojačavačke šeme sa MOS tranzistorom:

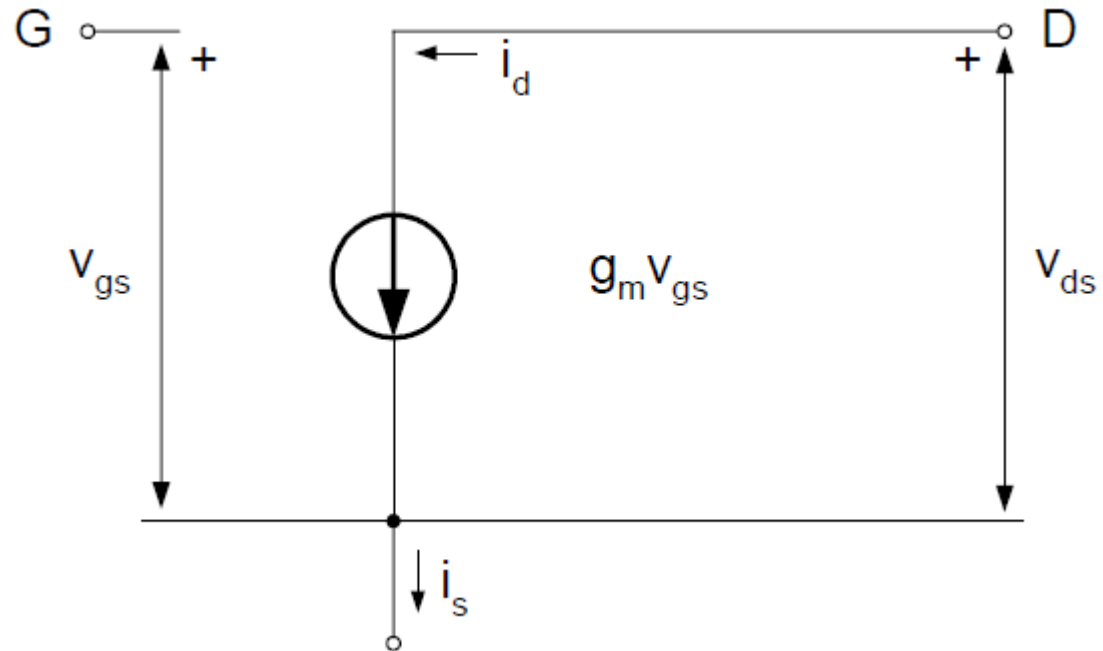
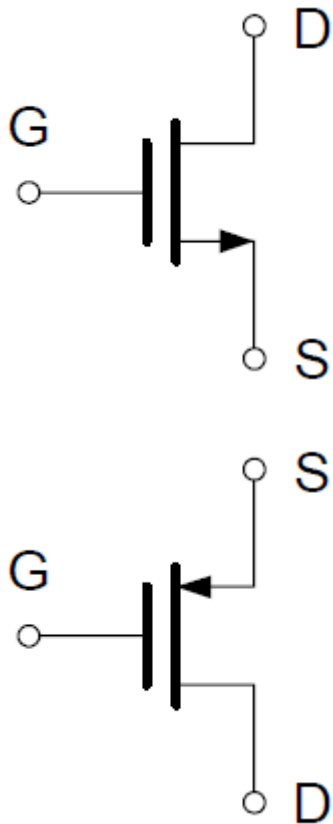
- ❖ pojačavač sa zajedničkim sorsom (ZS)
- ❖ pojačavač sa zajedničkim drejnom (ZD)
- ❖ pojačavač sa zajedničkim gejtom (ZG).

Dodatno, pojačavač sa zajedničkim sorsom se može realizovati sa kondenzatorom paralelno sa otpornikom u emiteru ili bez tog kondenzatora, čime se ukupno dobijaju četiri različite šeme za koje se izračunavaju:

- ❖ naponsko pojačanje
- ❖ ulazna otpornost
- ❖ izlazna otpornost.

Uprošćeni model MOS tranzistora za male signale

Ista uprošćena šema za male signale (bez izlazne otpornosti) se primenjuje u pojačavačima, bez obzira da li se koristi NMOS ili PMOS tranzistor u pojačavaču.



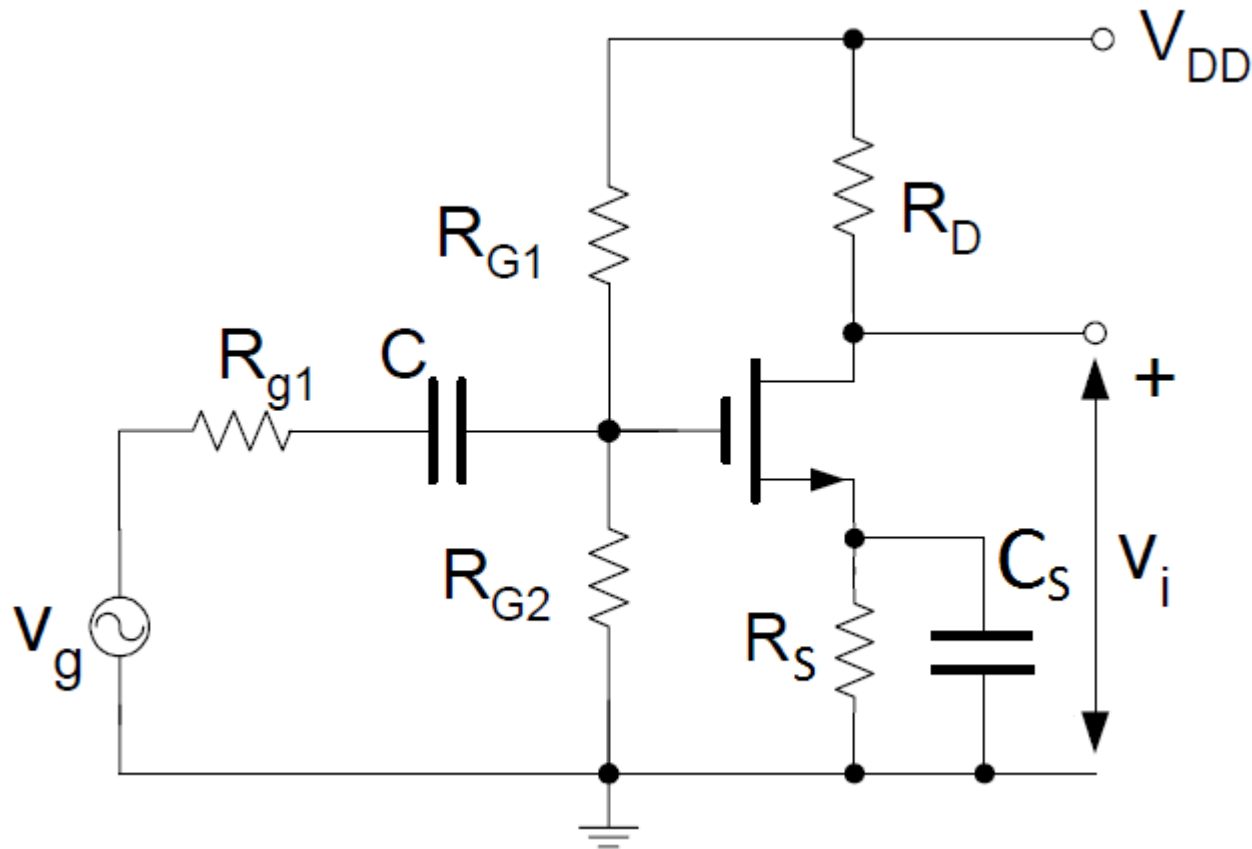
ZS – Kompletna šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.

Sors je zajednička elektroda (preko kondenzatora C_S).

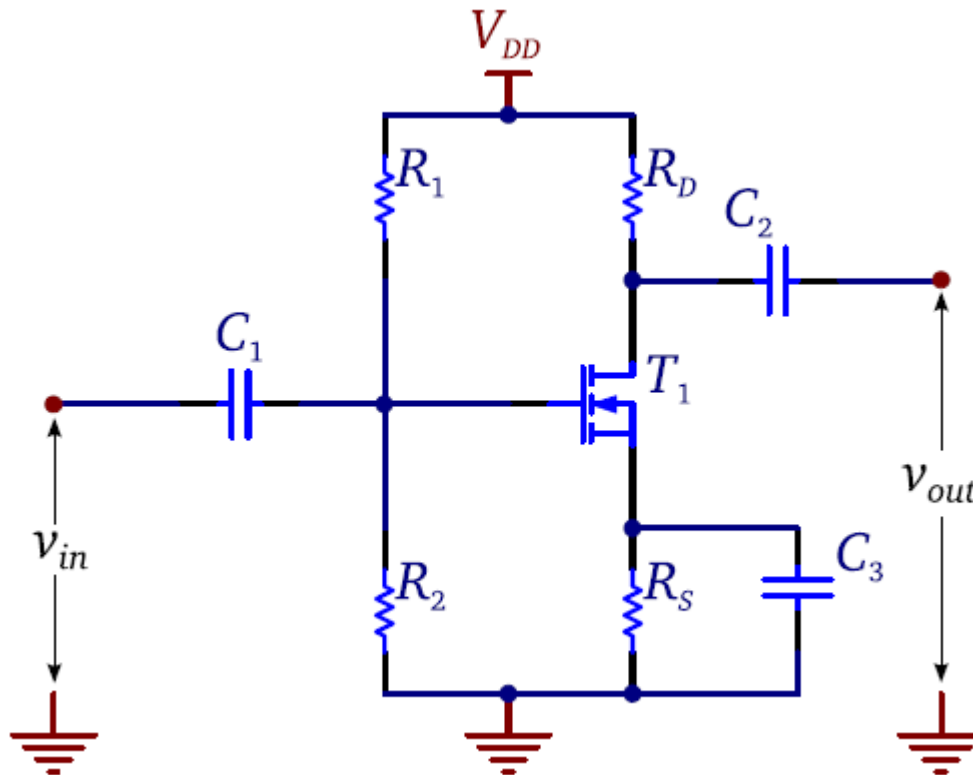
Ulaz je na gejtju.

Izlaz je na drejnu.



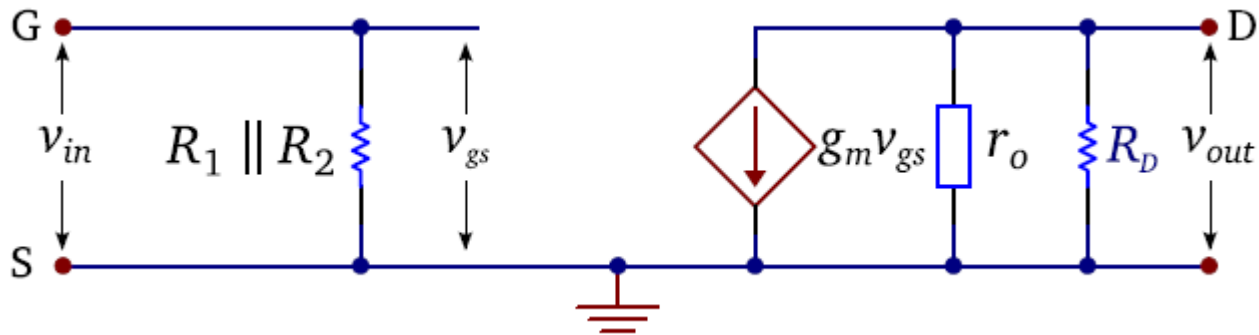
ZS – Uprošćena šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.
Sors je zajednička elektroda (preko kondenzatora C_3).
Ulaz je na gejtju (preko kondenzatora C_1).
Izlaz je na drejnu (preko kondenzatora C_2).



ZS – Šema za male signale

Kondenzatori C_1 , C_2 i C_3 se smatraju kratkim spojevima na učestanosti pobudnog generatora.



ZS – Parametri pojačavača

A_v je naponsko pojačanje.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.

v_g je napon generatora.

v_i je napon na izlazu.

Za uprošćenu šemu:

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{out} = r_o \parallel R_D \simeq R_D$$

$$r_o \gg R_D$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m R_D$$

Za kompletnu šemu:

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = \frac{-g_m v_{gs} R_D}{v_g} = -g_m R_D \frac{R_G}{R_{g1} + R_G} \approx -g_m R_D$$

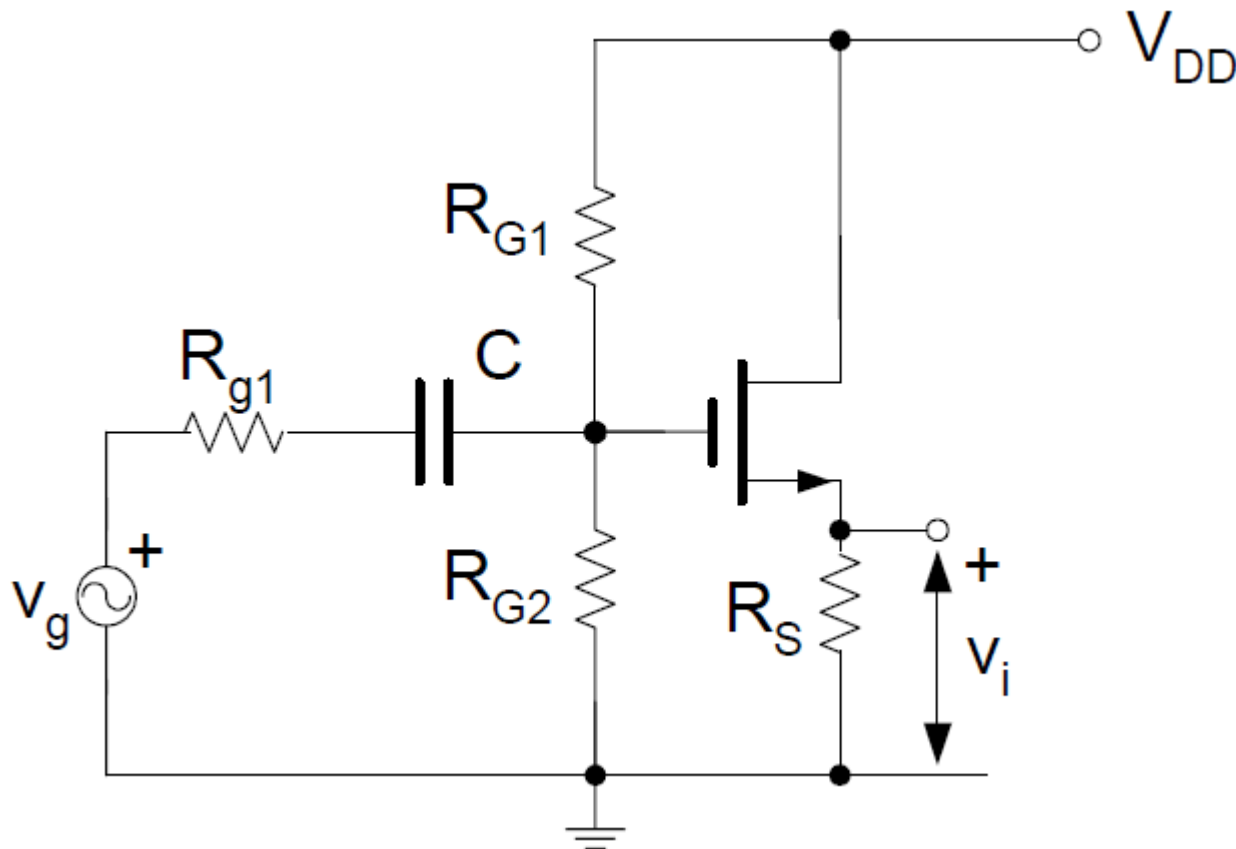
$$R_G = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_u = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_i = R_D$$

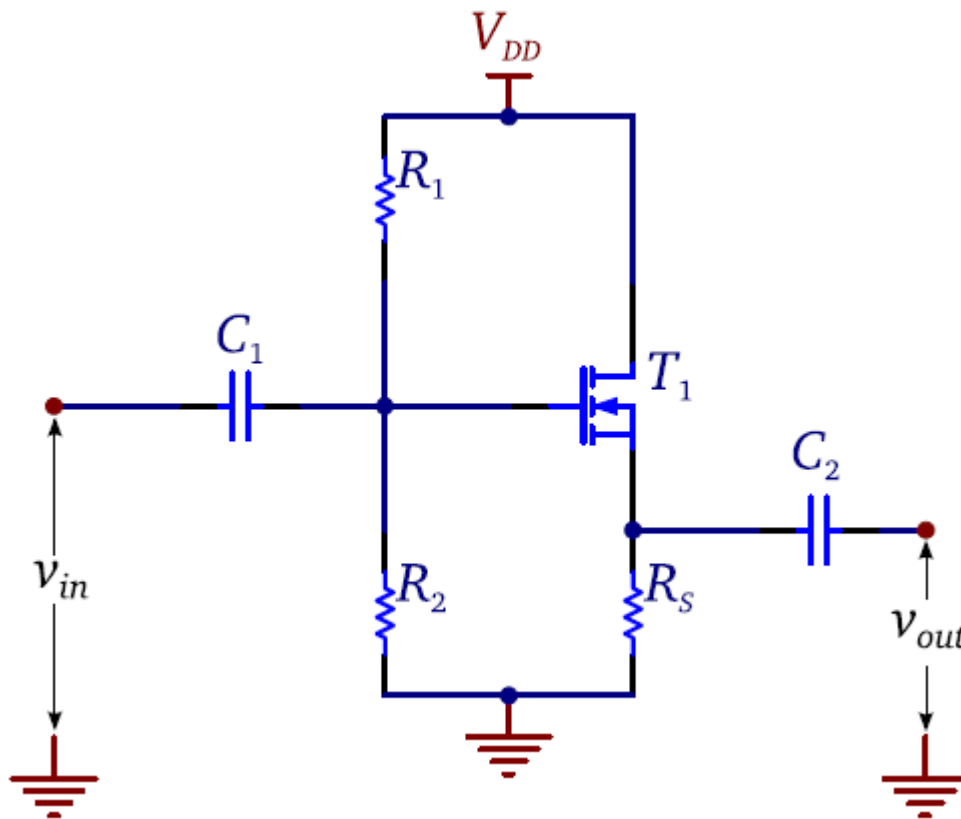
ZD – Kompletna šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.
Drejn je zajednička elektroda (preko izvora za napajanje).
Ulaz je na gejtju.
Izlaz je na sorsu.



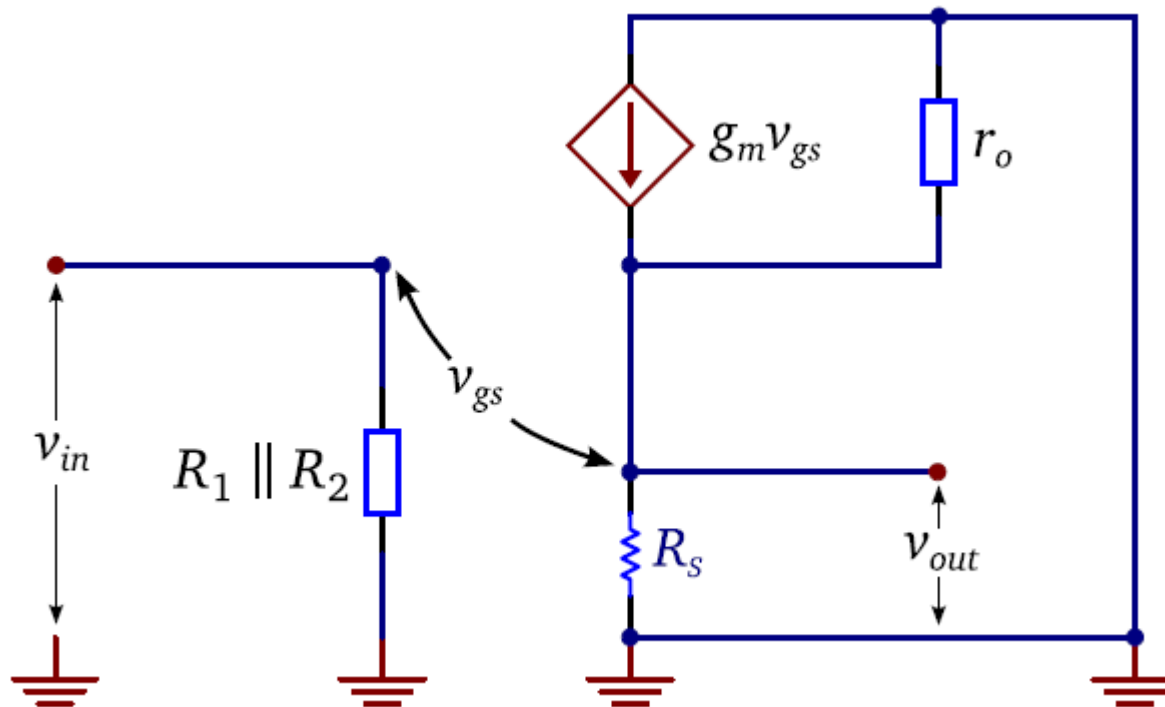
ZD – Uproščena šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.
Drejn je zajednička elektroda (preko izvora za napajanje).
Ulaz je na gejtju.
Izlaz je na sorsu.



ZD – Šema za male signale

Kondenzatori C_1 i C_2 se smatraju kratkim spojevima na učestanosti pobudnog generatora.



ZD – Parametri pojačavača

A_v je naponsko pojačanje.

R_u je ulazna otpornost.

R_i je izlazna otpornost.

v_g je napon generatora.

v_i je napon na izlazu v_{out} .

Za uprošćenu šemu:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m(R_S \parallel r_o)}{1 + g_m(R_S \parallel r_o)}$$

$$A_v = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}$$

$$v_{in} = v_{gs} + v_{out}$$

$$v_{out} = g_m v_{gs} (R_S \parallel r_o)$$

$$r_o \gg R_S$$

Za kompletnu šemu:

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = \frac{R_G}{R_{g1} + R_G} \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \approx 1$$

$$R_G = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_u = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_i = \frac{R_S}{1 + g_m R_S}$$

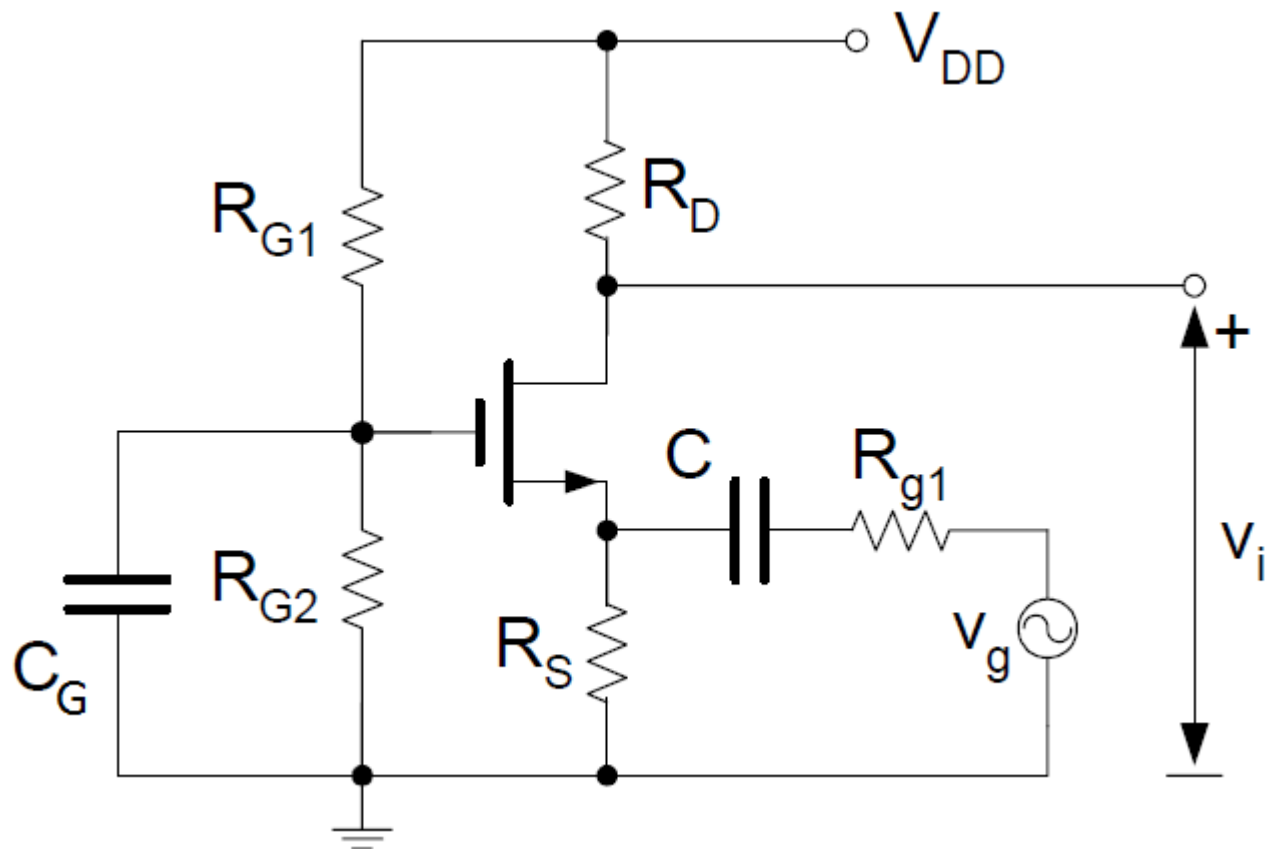
ZG – Kompletna šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.

Gejt je zajednička elektroda (preko kondenzatora C_G).

Ulaz je na sorsu.

Izlaz je na drejnu.



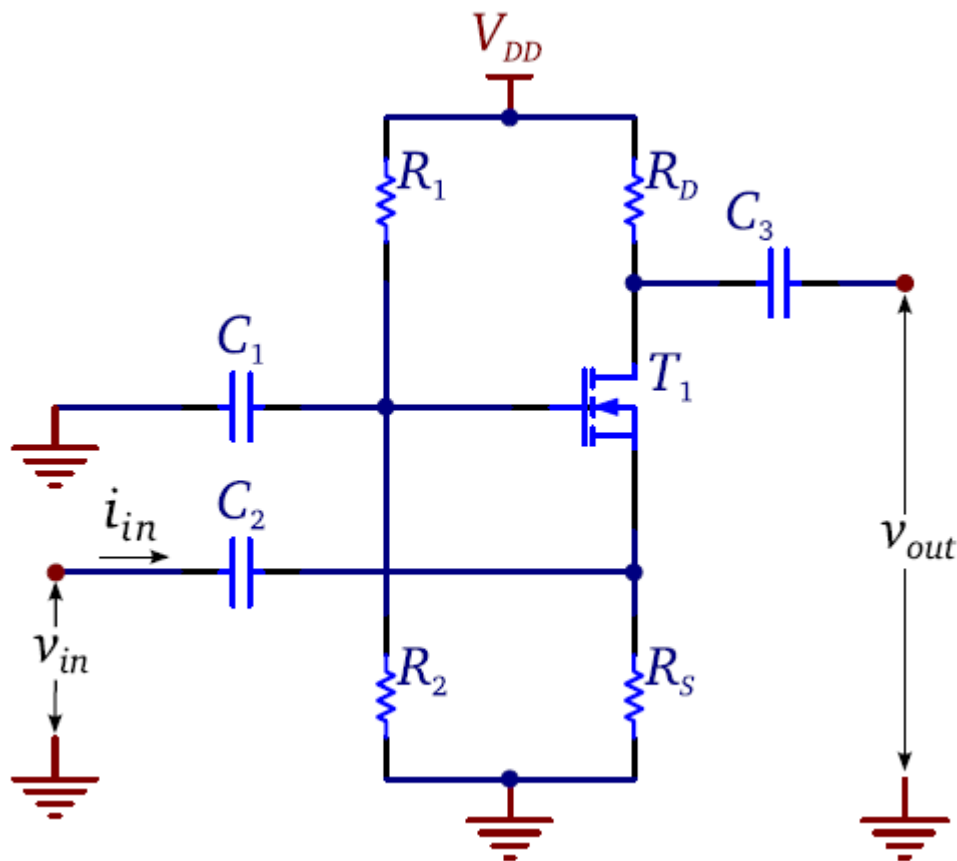
ZG – Uprošćena šema pojačavača

Polarizacija je često izvedena preko razdelnika napona.

Gejt je zajednička elektroda (preko kondenzatora C_1).

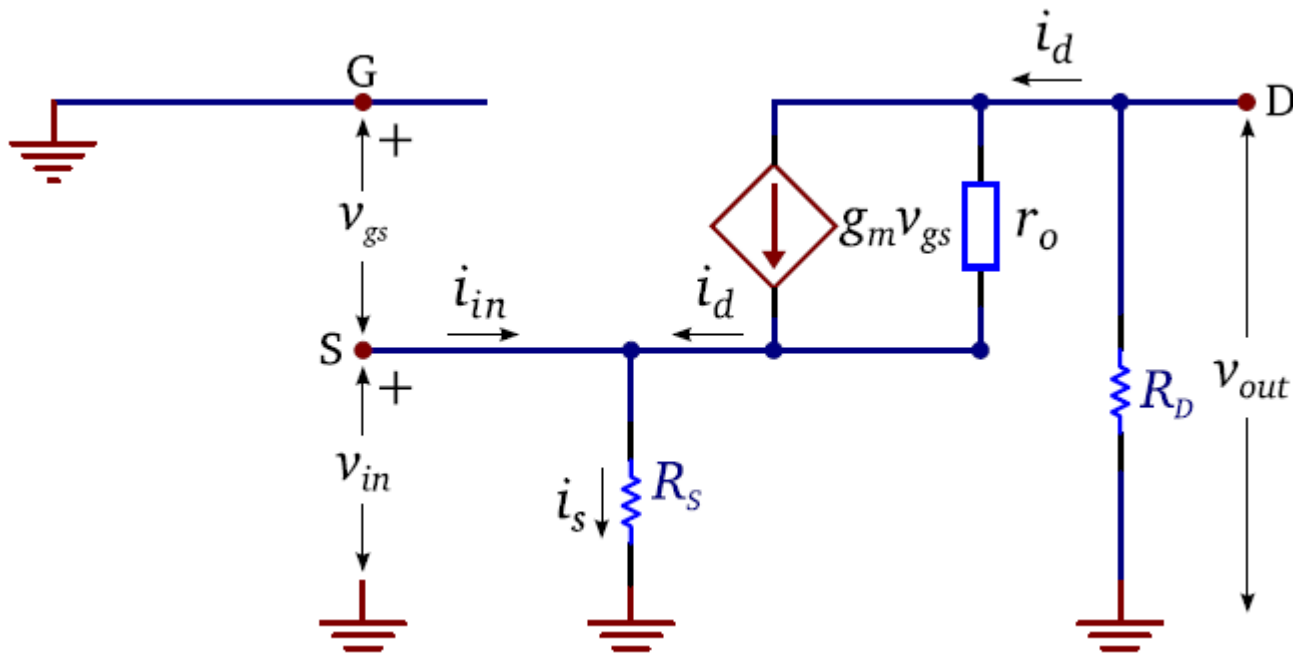
Ulaz je na sorsu.

Izlaz je na drejnu.



ZG – Šema za male signale

Kondenzatori C_1 , C_2 i C_3 se smatraju kratkim spojevima na učestanosti pobudnog generatora.



ZG – Parametri pojačavača

A_v je naponsko pojačanje.

R_u je ulazna otpornost (R_{in}).

R_i je izlazna otpornost.

Za uprošćenu šemu:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{i_d R_D}{v_{in}} = \frac{(1 + g_m r_o) R_D}{R_D + r_o}$$

$$A_v \approx g_m R_D$$

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{(R_D + r_o) R_S}{R_D + r_o + (1 + g_m r_o) R_S}$$

$$R_{in} \approx \frac{1}{g_m}$$

Za kompletnu šemu:

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_G}$$

$$R_i = R_D$$

v_s je napon generatora.

v_i je napon na izlazu.

$$v_{gs} = -v_{in} \quad i_s = i_d + i_{in} = \frac{v_{in}}{R_S}$$

$$v_{in} = -i_d R_D - r_o (i_d - g_m v_{gs})$$

$$i_d = -\frac{1 + g_m r_o}{R_D + r_o} v_{in}$$

$$g_m r_o \gg 1 \quad r_o \gg R_D \quad g_m R_S \gg 1$$

$$R_G = R_{g1} \parallel R_S$$

Pregled osnovnih pojačavačkih sprega sa MOS tranzistorom

ZS sa C_S

$$A_v \approx -g_m R_D$$

$$R_u = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_i = R_D$$

ZS bez C_S

$$A_v = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S}$$

$$R_u = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_i = R_D$$

ZD

$$A_v = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}$$

$$R_u = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_i = \frac{R_S}{1 + g_m R_S}$$

ZG

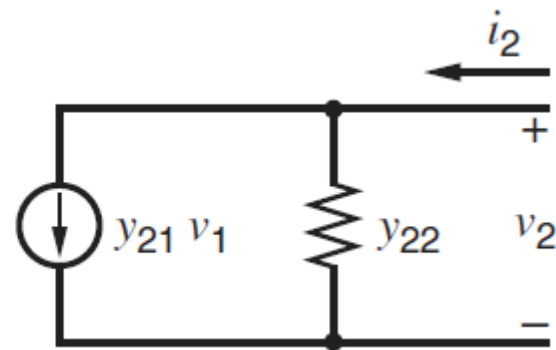
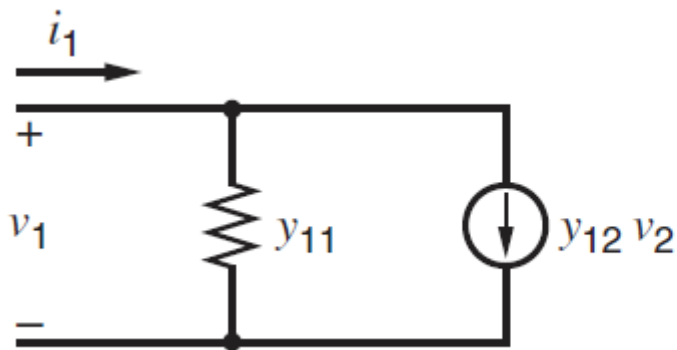
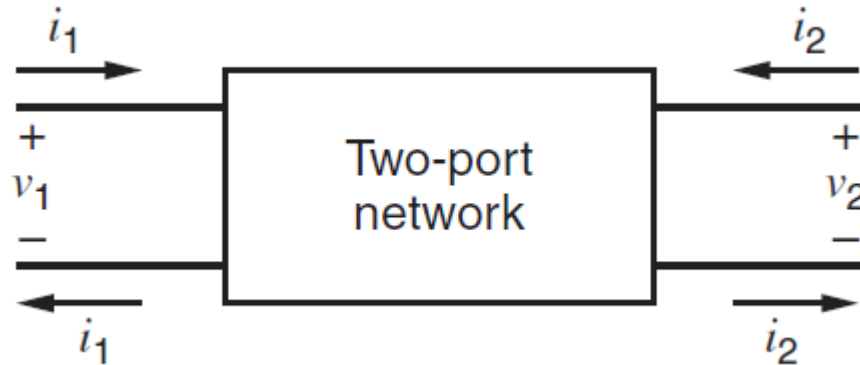
$$A_v \approx g_m R_D$$

$$R_u = \frac{R_S}{1 + g_m R_S}$$

$$R_i = R_D$$

Šeme ekvivalentnog četvoropola

Elektronska kola se mogu predstaviti ekvivalentnim četvoropolom (two-port network), koji se za linearnu mrežu bez nezavisnih izvora može predstaviti preko admitansi.



Jednačine ekvivalentnog četvoropola

Jednačine ekvivalentnog četvoropola za linearnu mrežu bez nezavisnih izvora su:

$$i_1 = y_{11}v_1 + y_{12}v_2$$

$$i_2 = y_{21}v_1 + y_{22}v_2$$

$$y_{11} = \left. \frac{i_1}{v_1} \right|_{v_2=0}$$

Ulazna admitansa za kratkospojen izlaz.

$$y_{12} = \left. \frac{i_1}{v_2} \right|_{v_1=0}$$

Ulazna transkonduktansa za kratkospojen ulaz.

$$y_{21} = \left. \frac{i_2}{v_1} \right|_{v_2=0}$$

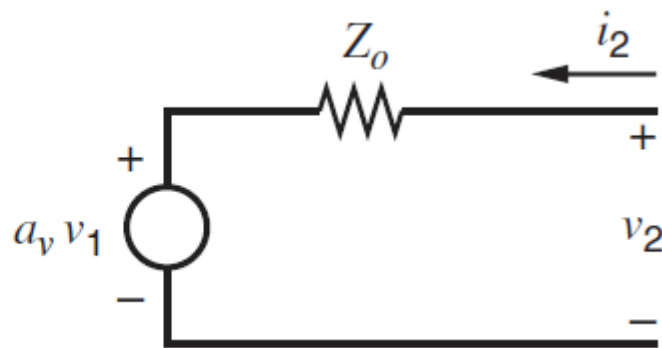
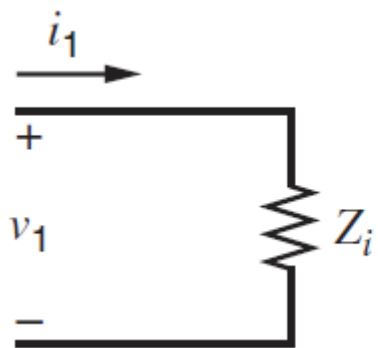
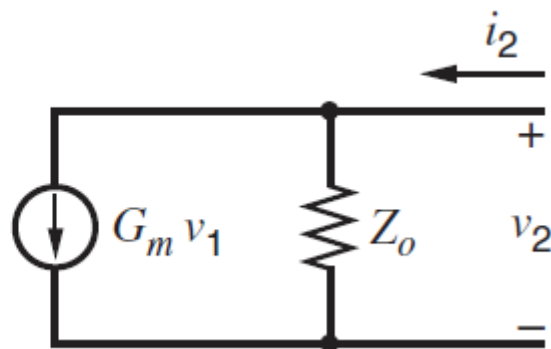
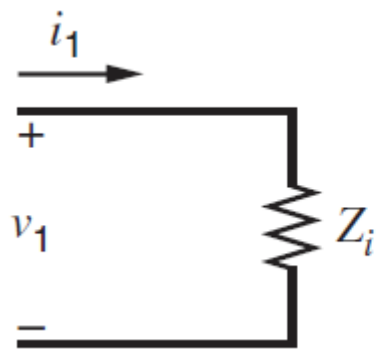
Izlazna transkonduktansa za kratkospojen izlaz.

$$y_{22} = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{v_1=0}$$

Izlazna admitansa za kratkospojen ulaz.

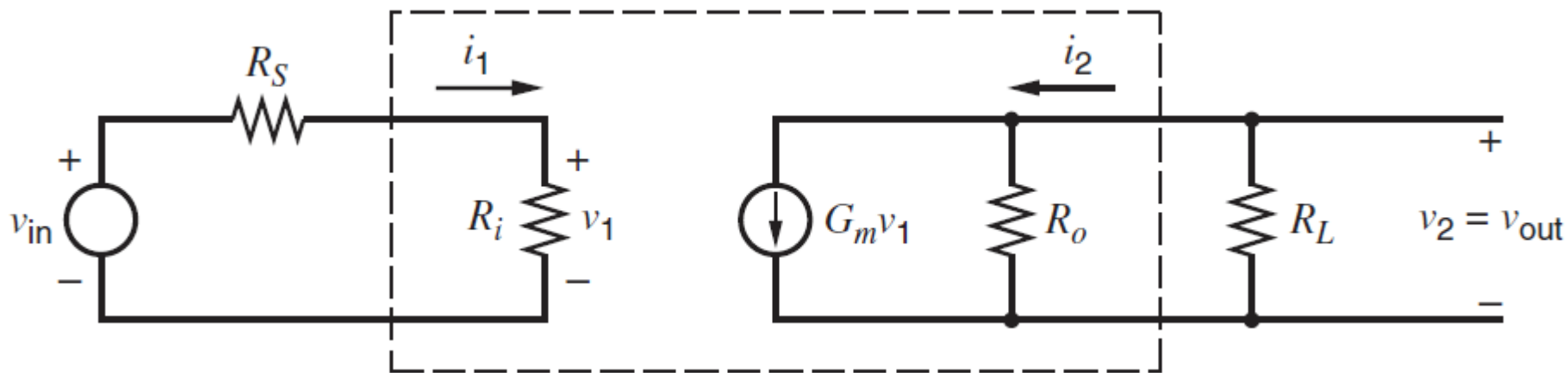
Pojačavački ekvivalentni četvoropoli

Unilateralni pojačavači se mogu predstaviti uprošćenim ekvivalentnim četvoropolom, koji se za linearnu mrežu bez nezavisnih izvora može predstaviti isključivo sa izlaznom transkonduktansom, preko Nortonovog ili Thevenenovog izlaznog generatora.



Pojačavački ekvivalentni četvoropol sa generatorom i potrošačem

Uprošćeni ekvivalentni četvoropol pojačavača se može povezati sa generatorom sa unutrašnjom otpornošću i potrošačem.



$$\left. \frac{v_{\text{out}}}{v_1} \right|_{R_L \rightarrow \infty} = \left. \frac{v_2}{v_1} \right|_{i_2=0} = -G_m R_o$$

$$\frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} = \frac{v_1}{v_{\text{in}}} \frac{v_{\text{out}}}{v_1} = -\frac{R_i}{R_i + R_S} G_m (R_o \parallel R_L)$$

Osnove elektronike

III semestar

OSNOVNE POJAČAVAČKE SPREGE