

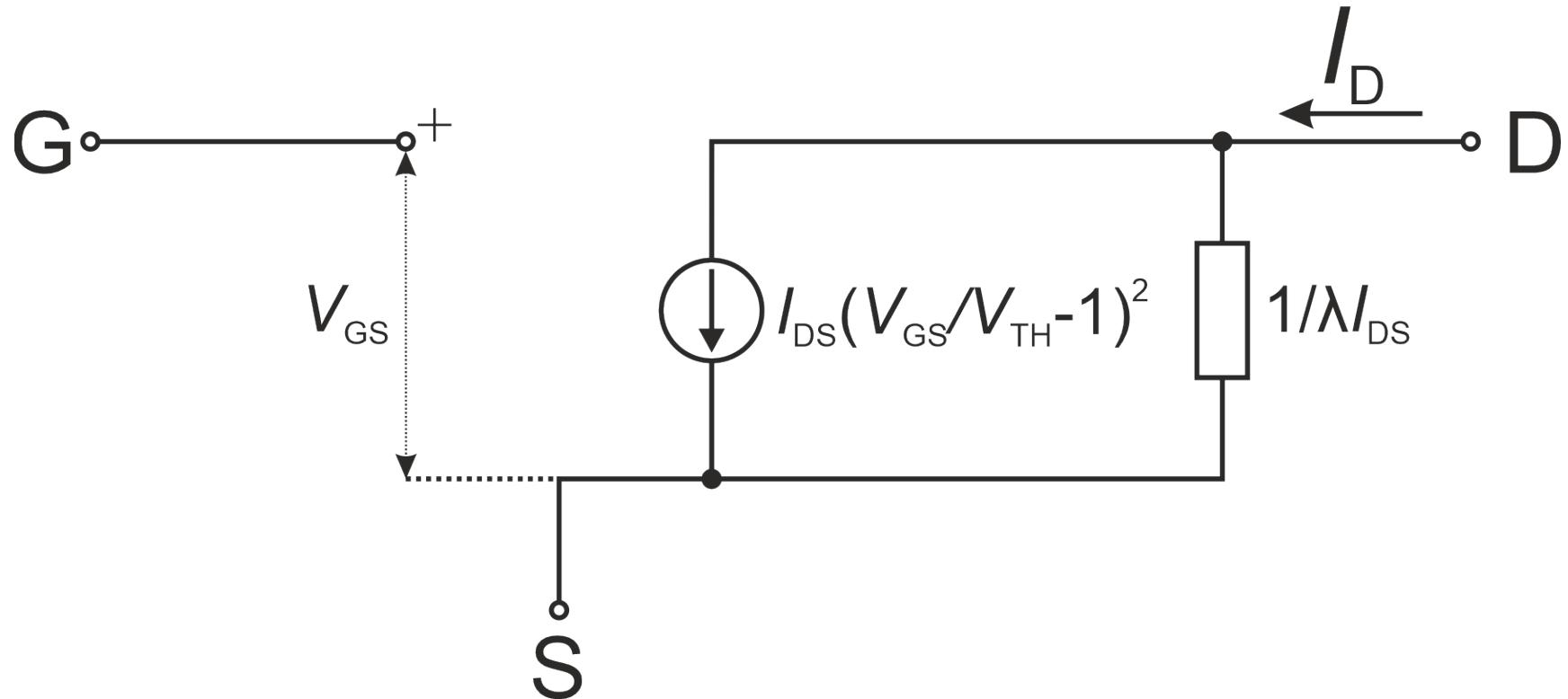


Pojačavači sa MOS tranzistorima

Marko Dimitrijević

Model za velike signale (polarizacija)

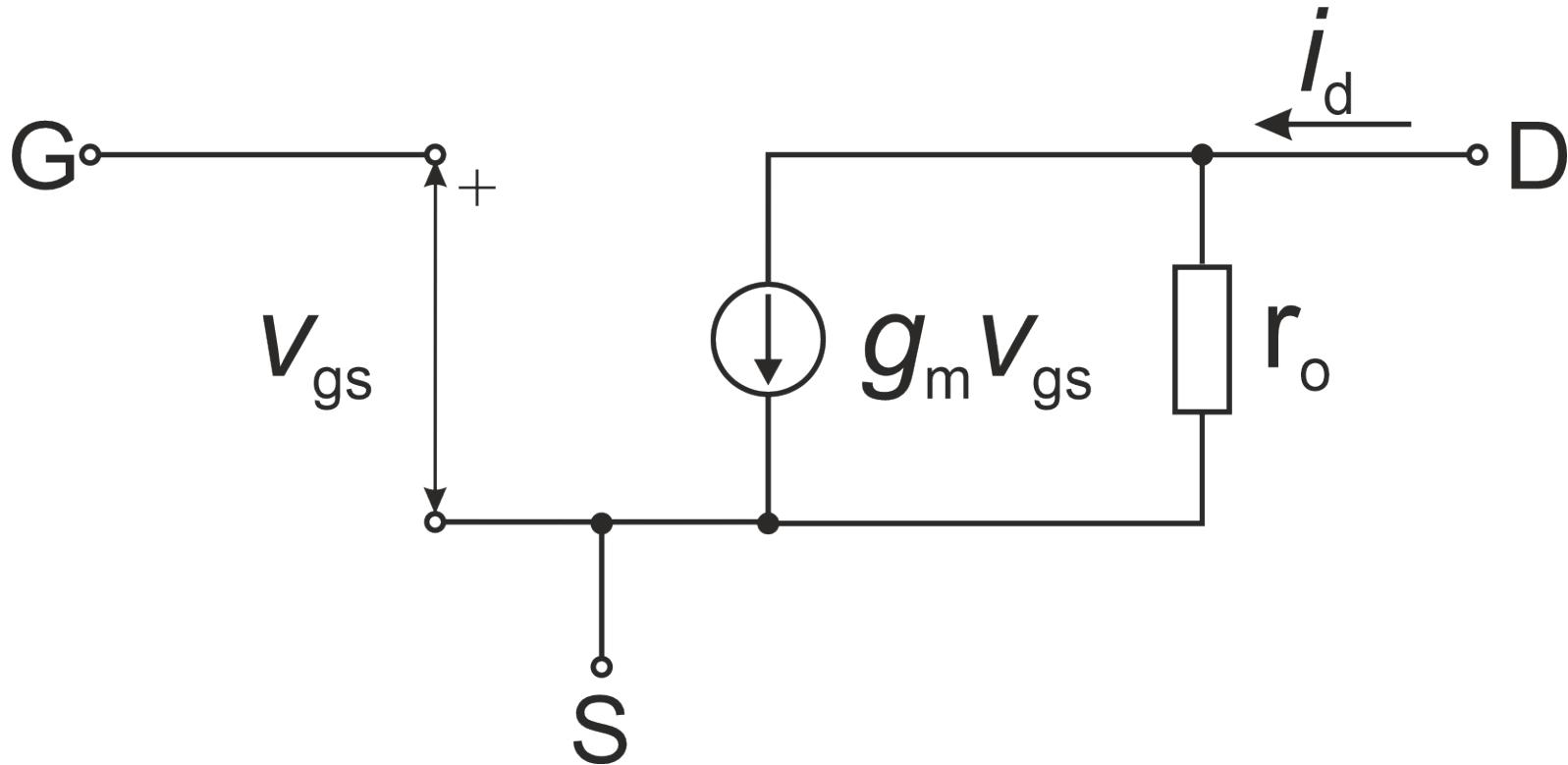
Parametri: I_{DS} , λ , V_{TH}



Model za male signale (naizmenični režim)

Parametri: g_m , r_o

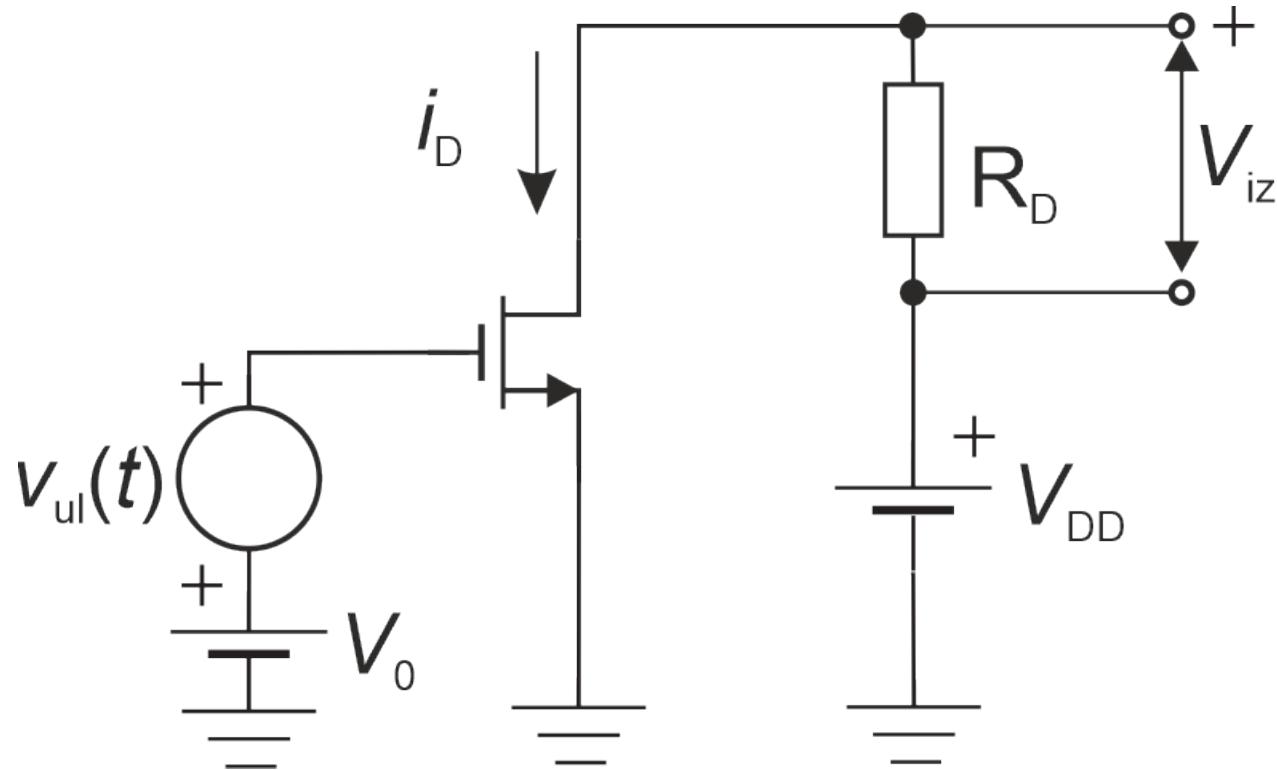
$$g_m = \frac{2I_{DS}}{V_{TH}} \cdot \left(\frac{V_{GS}}{V_{TH}} - 1 \right), \quad r_o = \frac{1}{\lambda I_D}$$



Pojačavač – analiza i sinteza

- Izbor topologije
- Obezbeđenje odgovarajuće polarizacija svih tranzistora u kolu
- Analiza ponašanja realizovanog kola za jednosmerni režim
- Analiza ponašanja realizovanog kola za male signale (pojačanje, amplitudska karakteristika, ulazna i izlazna impedansa)

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



Konvencija označavanja napona i struja tranzistora

- Vremenski promenljivi naponi i struje se označavaju **malim slovom i velikim slovima u indeksima**:

$$i_D, v_{GS}, v_{DS}$$

- Jednosmerne vrednosti napona i struja se označavaju **velikim slovom i velikim slovima u indeksima**:

$$I_D, V_{GS}, V_{DS}$$

- Vremenski promenljive vrednosti napona i struja bez jednosmerne vrednosti (njihova srednja vrednost jednaka je nuli) se označavaju **malim slovom i malim slovima u indeksima**:

$$i_d, v_{gs}, v_{ds}$$

Konvencija označavanja napona i struja tranzistora

- Zavisnost vremenski promenljivih napona i struja od vremena se podrazumeva, tako da nije eksplisitno istaknuta:

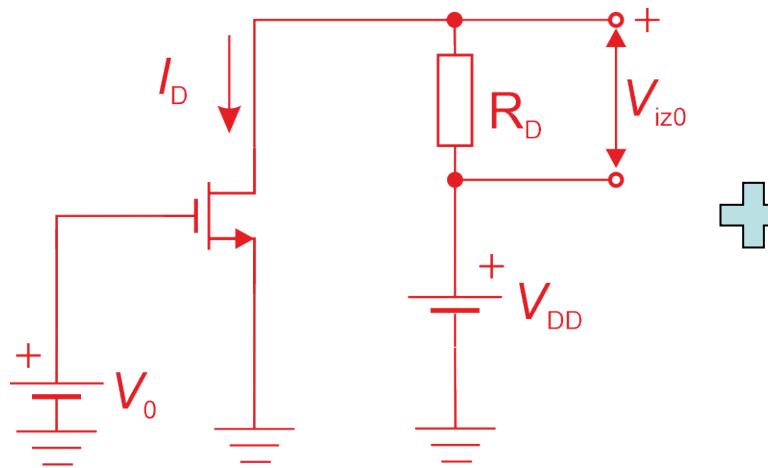
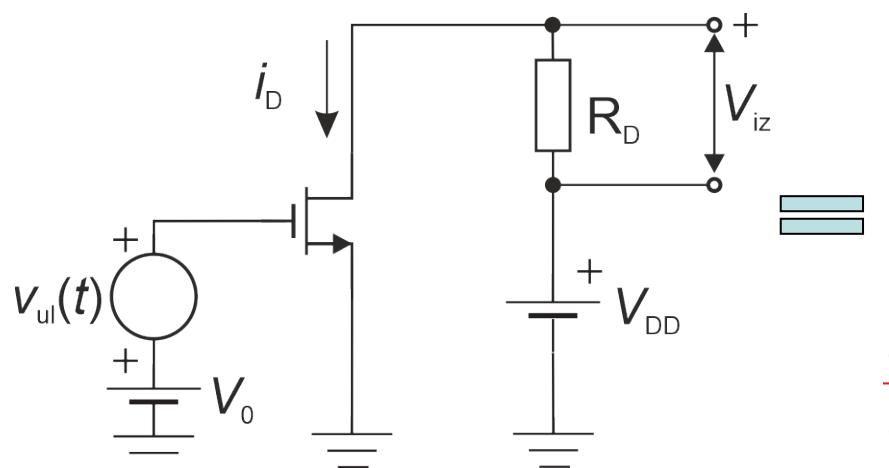
$$i_D = i_D(t), v_{GS} = v_{GS}(t), v_{DS} = v_{DS}(t),$$

$$i_d = i_d(t), v_{gs} = v_{gs}(t), v_{ds} = v_{ds}(t).$$

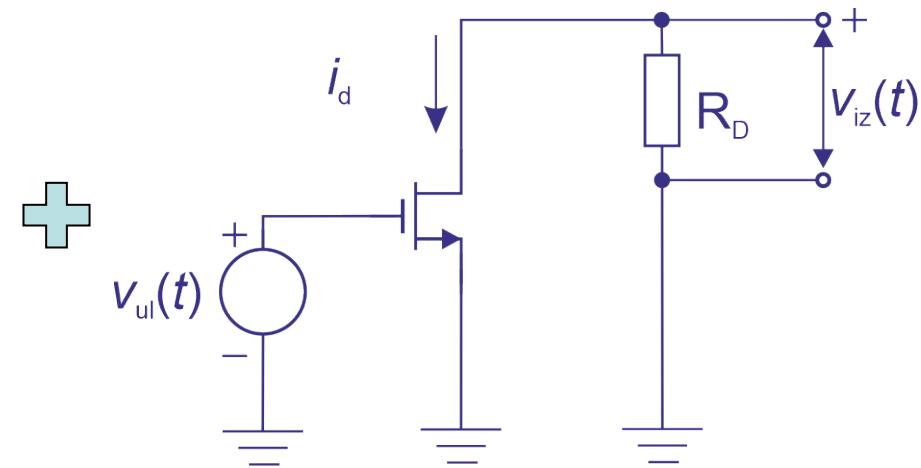
- Prema konvenciji, važe jednačine:

$$i_D = i_d + I_D, v_{GS} = v_{gs} + V_{GS}, v_{DS} = v_{ds} + V_{DS}.$$

Superpozicija – kola za velike i male signale



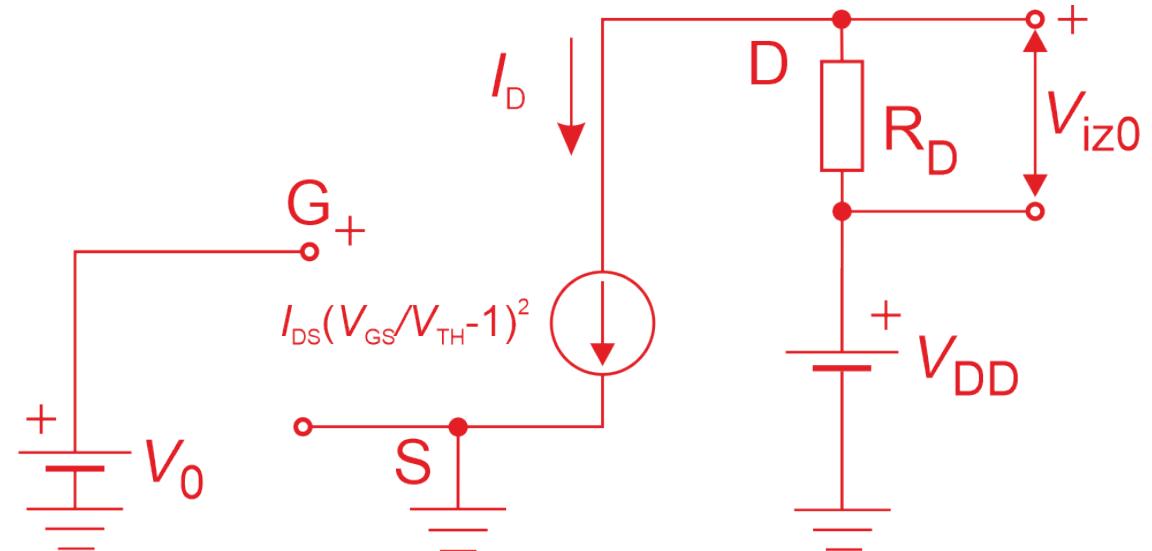
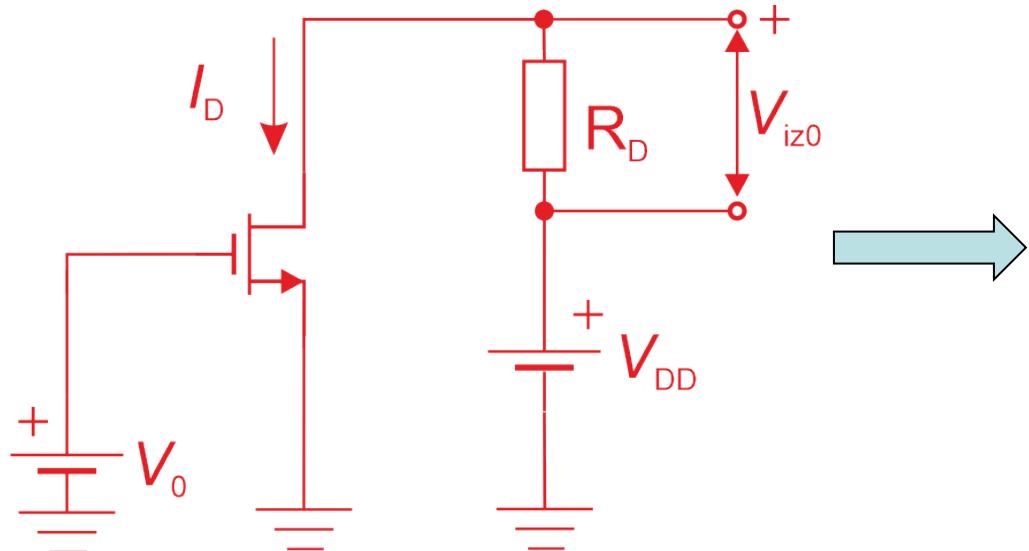
Veliki signali
(polarizacija)



Signali malih
amplituda

Jednosmerni režim (signali velikih amplituda)

- Pronalazi se I_D , izračunava g_m , r_o .



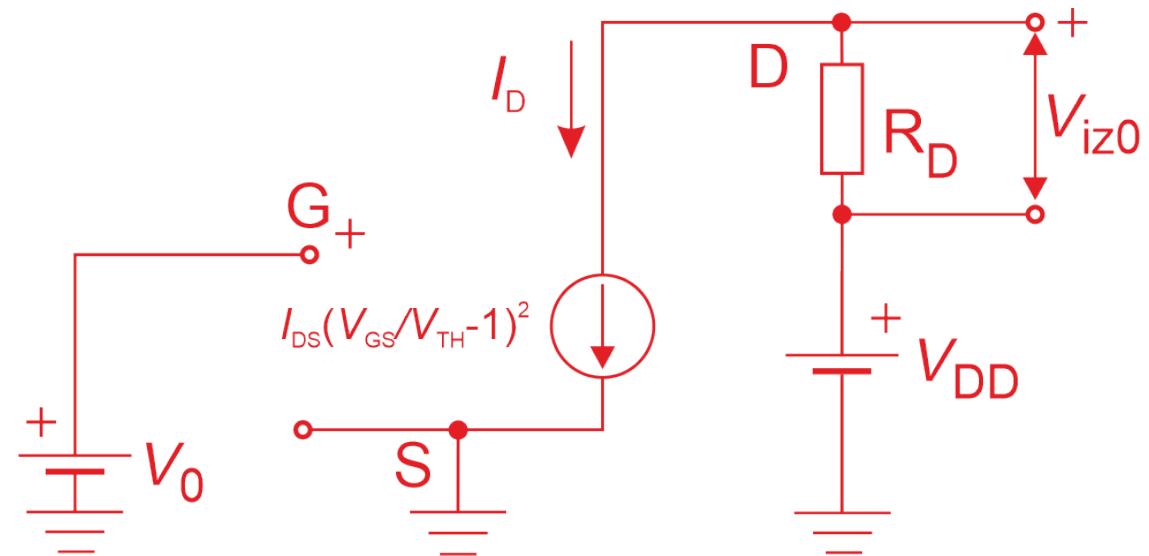
Jednosmerni režim (signali velikih amplituda)

- $V_{TH}, I_{DS}, \lambda = 0$

$$I_D = I_{DS} \cdot \left(\frac{V_0}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

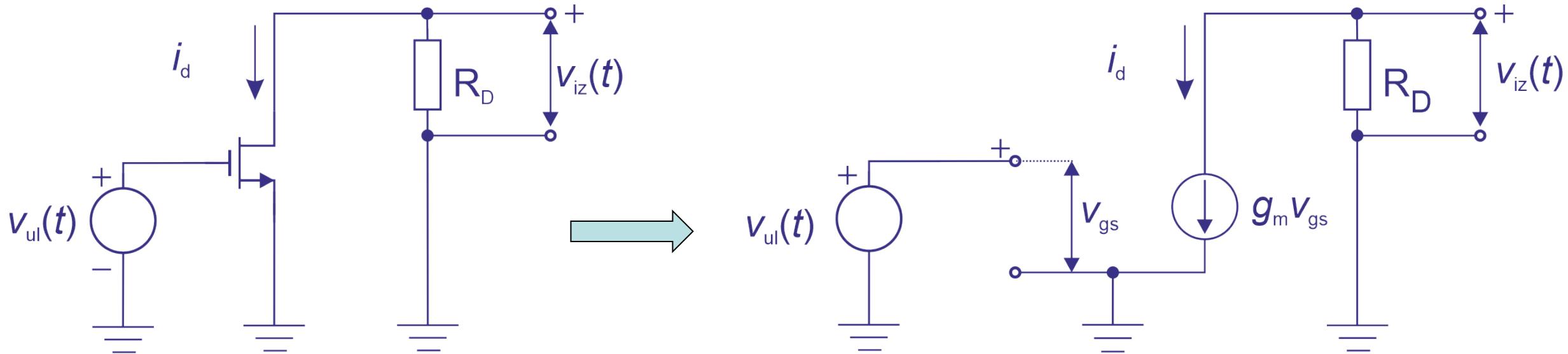
- Parametri za analizu kola pri pobudi signalima malih amplituda:

$$g_m = \frac{2I_{DS}}{V_{GS} - V_{TH}}, \quad r_o = \frac{1}{\lambda I_D}$$



Naizmenični režim (signali malih amplituda)

- $g_m, r_o = \infty$



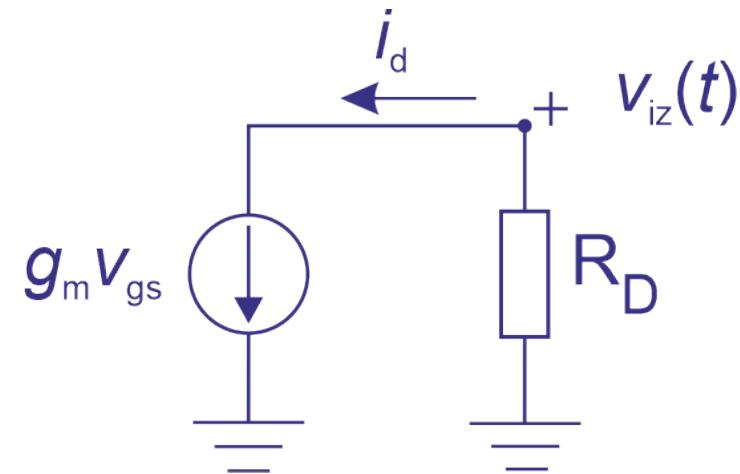
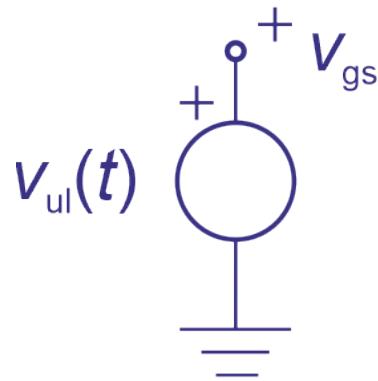
Naizmenični režim (signali malih amplituda)

$$v_{gs} = v_{ul}$$

$$v_{iz} = -i_d \cdot R_D$$

$$v_{iz} = -g_m \cdot R_D \cdot v_{gs}$$

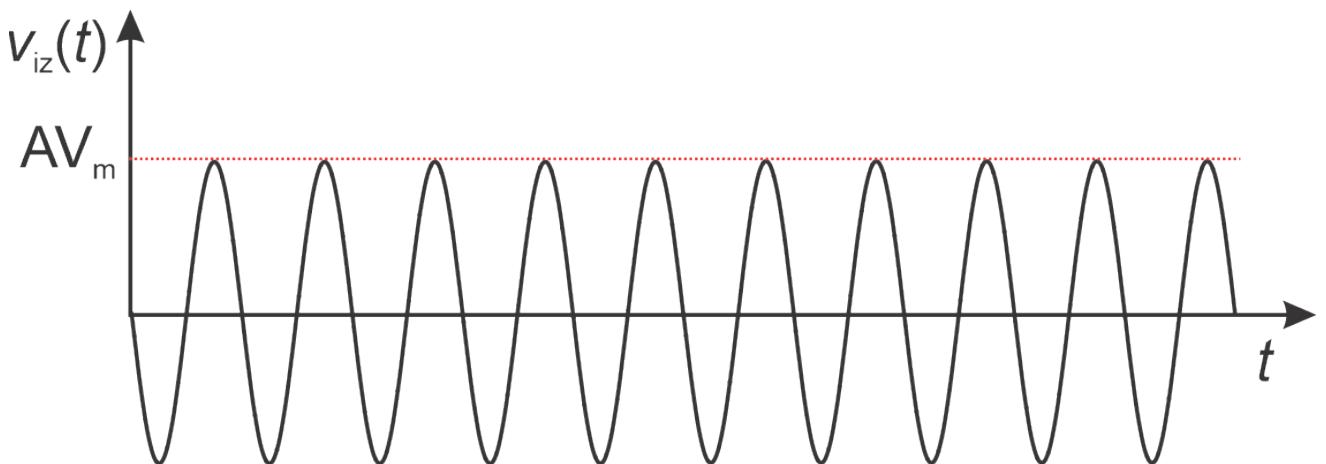
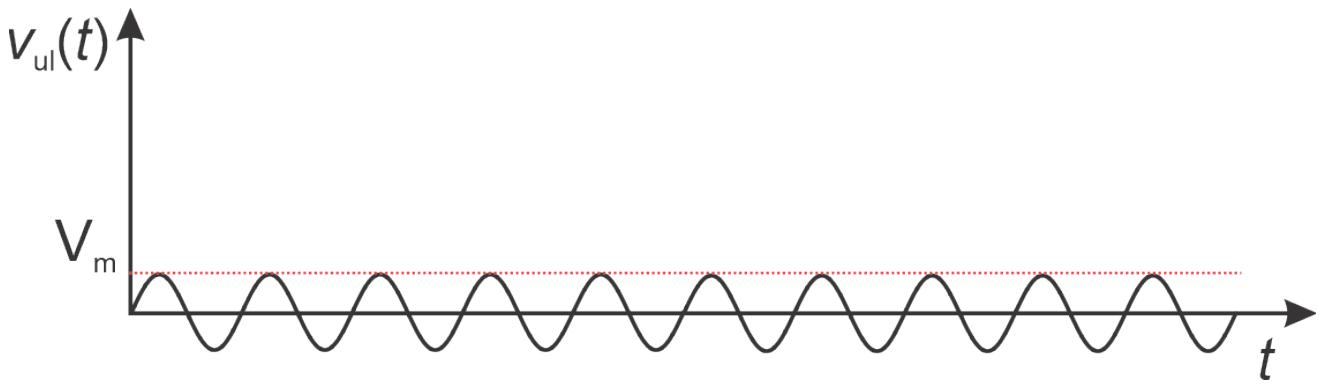
$$v_{iz} = -g_m \cdot R_D \cdot v_{ul}$$



Pojačanje pojačavača

$$A = \frac{v_{iz}}{v_{ul}}$$

$$A = -g_m \cdot R_D$$

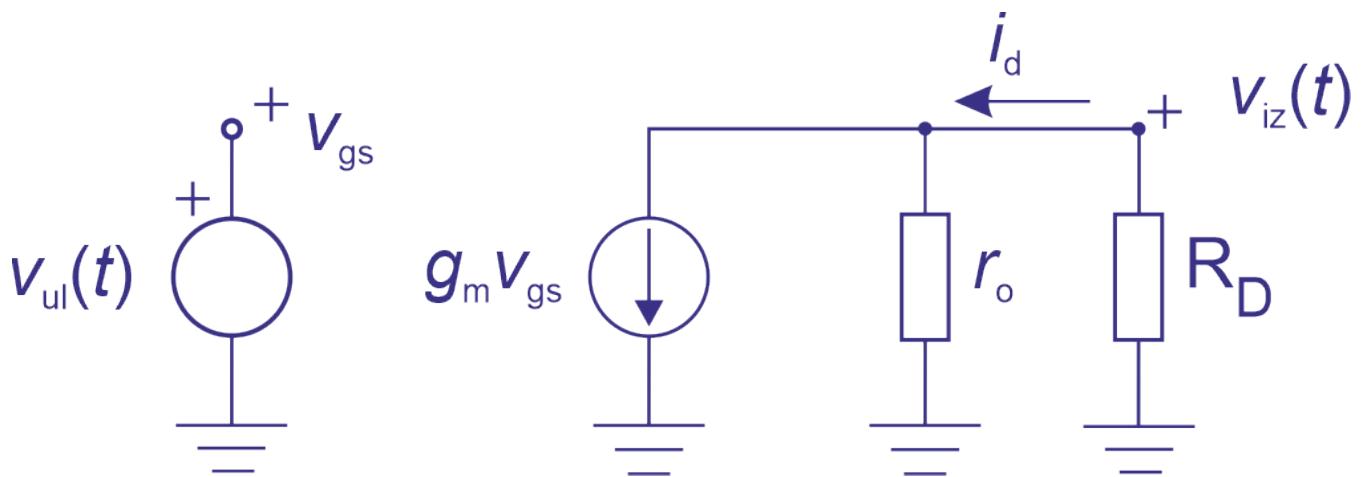


Uticaj modulacije dužine kanala na pojačanje

$$v_{gs} = v_{ul}$$

$$v_{iz} = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o) \cdot v_{gs}$$

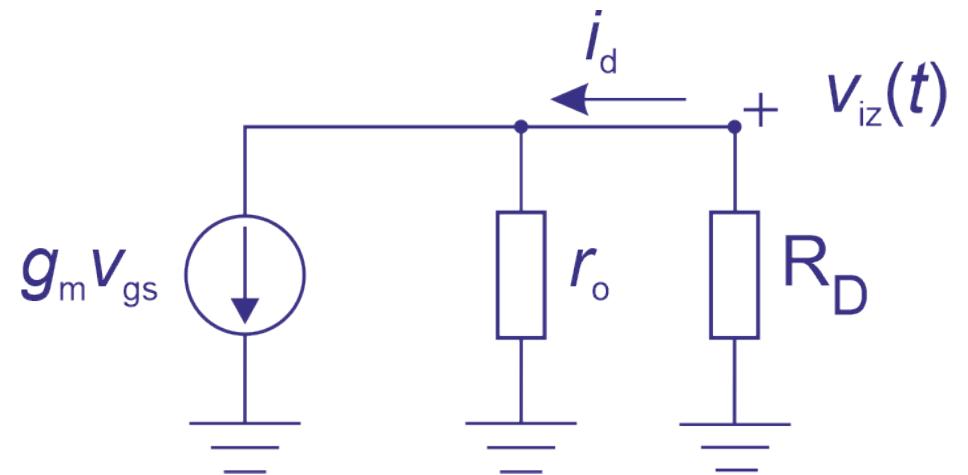
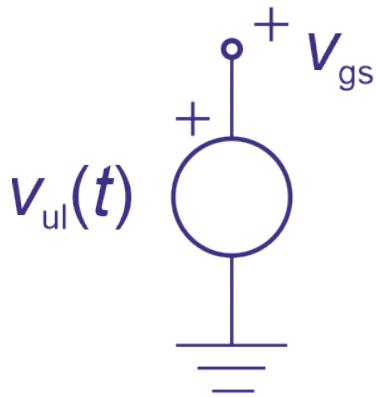
$$v_{iz} = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o) \cdot v_{ul}$$



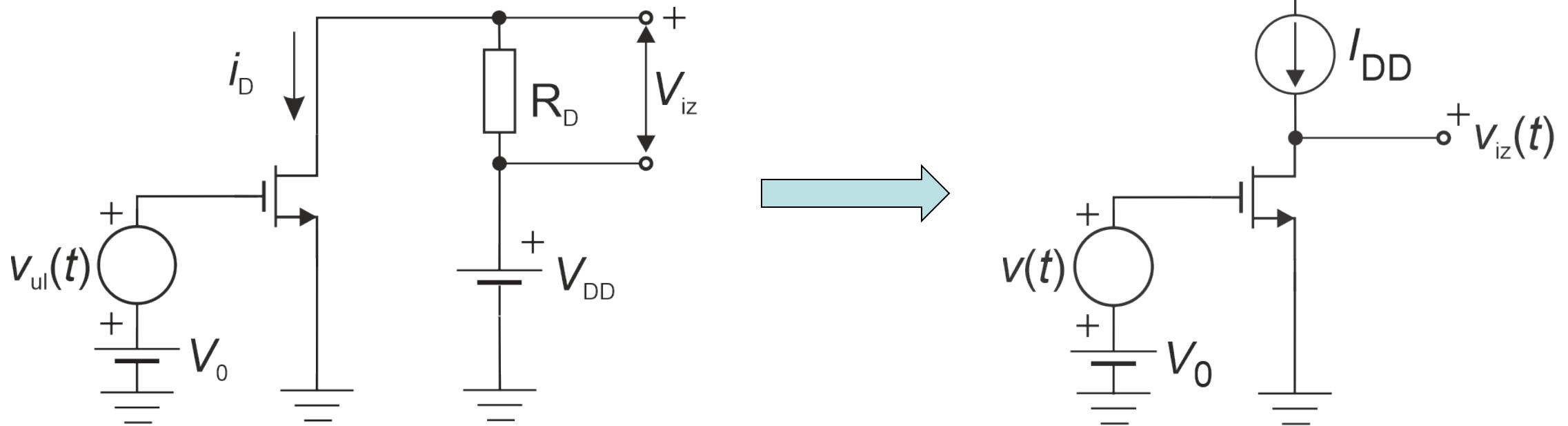
Uticaj modulacije dužine kanala na pojačanje

$$A = \frac{v_{iz}}{v_{ul}}$$

$$A = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o)$$



Maksimalno pojačanje pojačavača



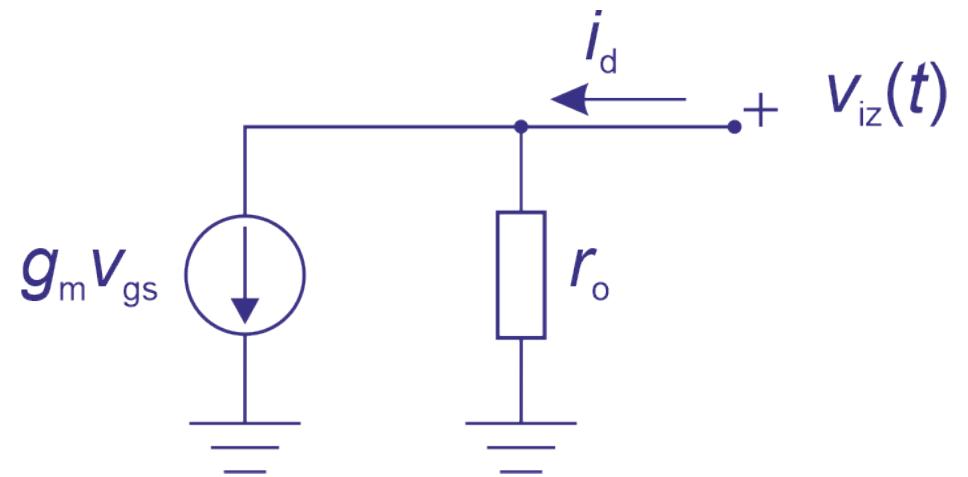
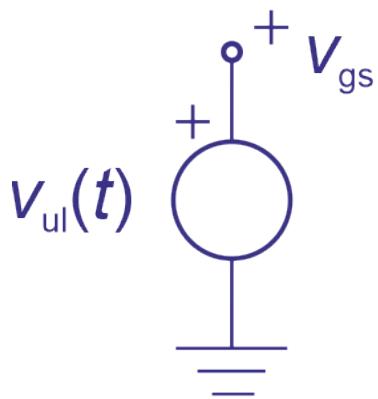
Maksimalno pojačanje pojačavača

$$v_{gs} = v_{ul}$$

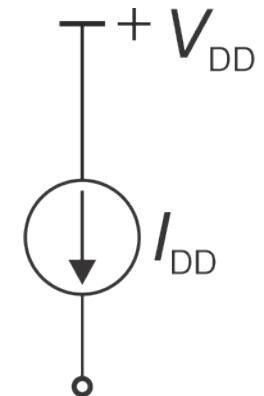
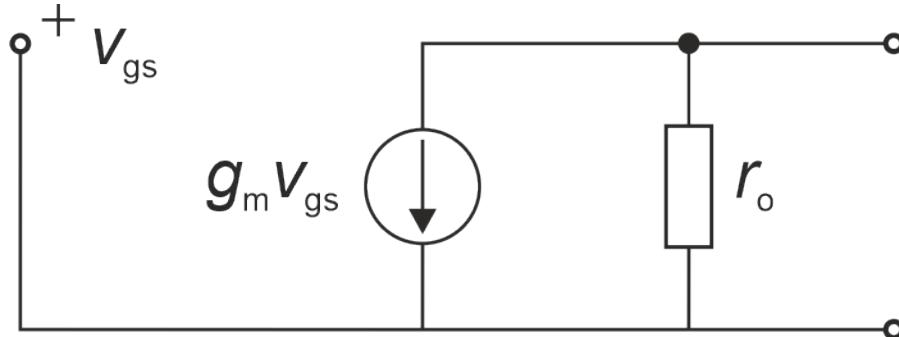
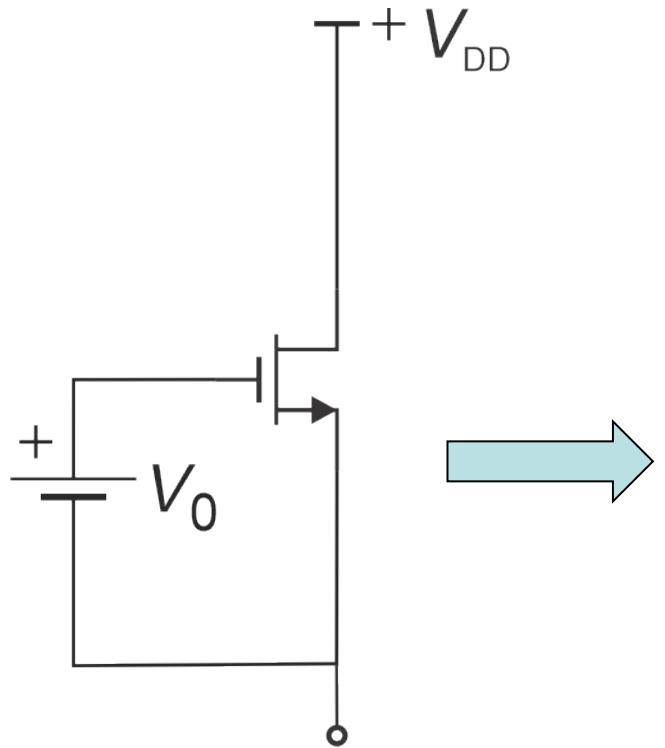
$$v_{iz} = -g_m \cdot r_o \cdot v_{gs}$$

$$v_{iz} = -g_m \cdot r_o \cdot v_{ul}$$

$$A = -g_m \cdot r_o$$



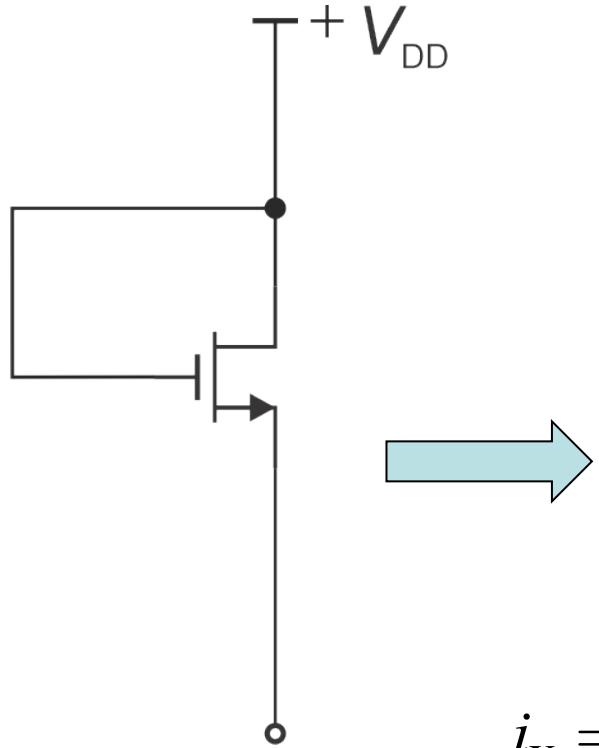
Izvori konstantne struje



$$R_{DD} = r_o$$

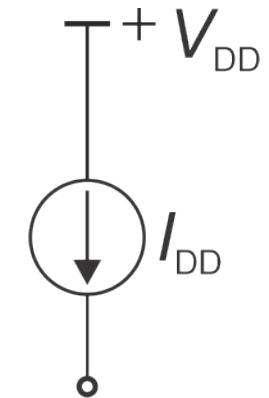
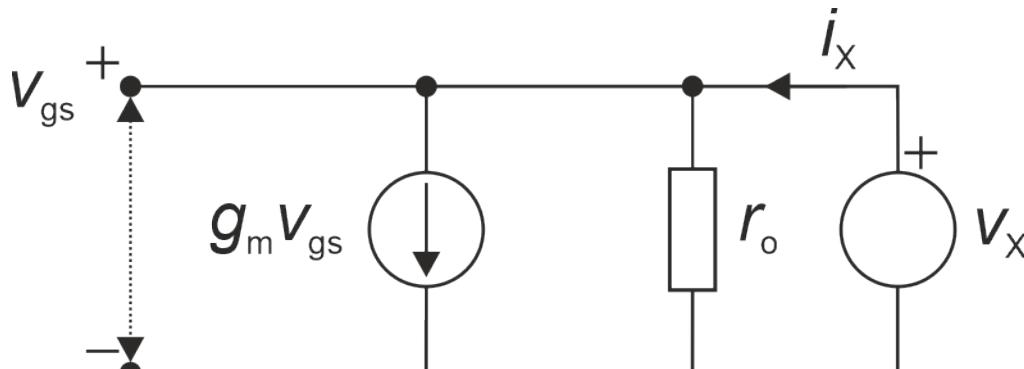
$$I_{DD} = I_{DS} \left(\frac{V_0}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

Izvori konstantne struje



$$i_x = g_m v_{GS} + v_x / r_o$$

$$i_x = g_m v_x + v_x / r_o$$

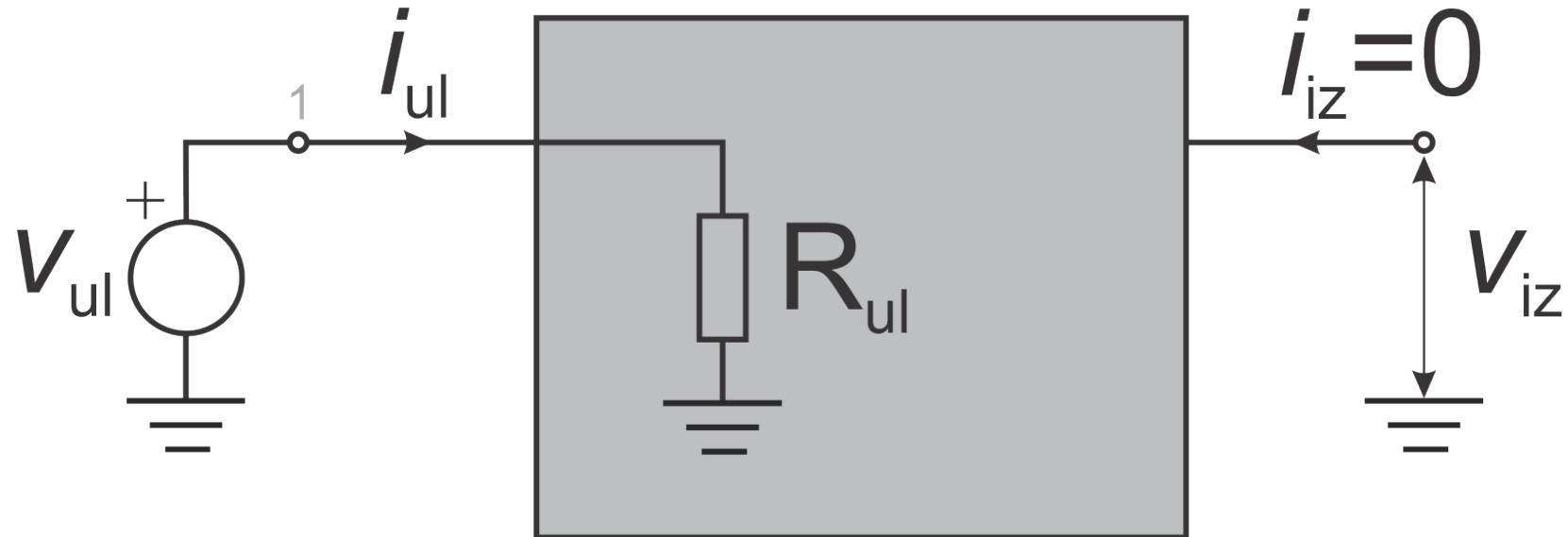


$$R_{DD} = r_o \parallel 1/g_m$$

$$\frac{v_x}{i_x} = \frac{1}{g_m + 1/r_o}$$

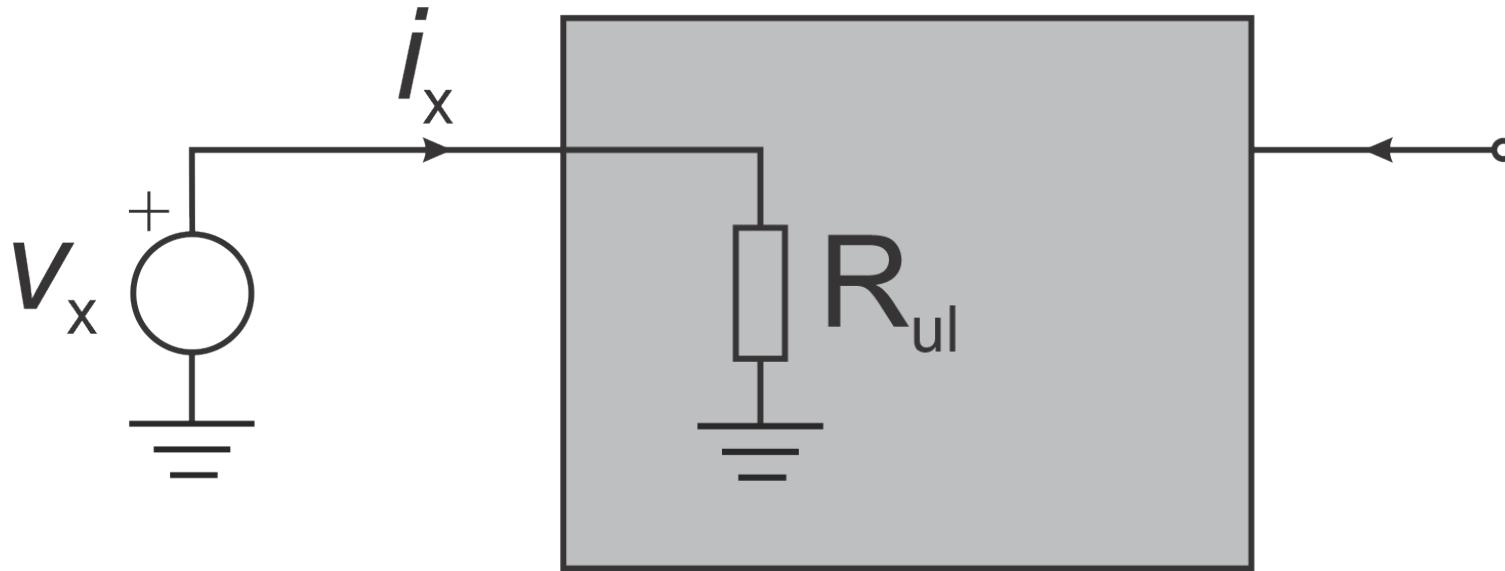
$$I_{DD} = I_{DS} \left(\frac{V_{DS}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

Ulagna impedansa – R_{ul}



- **Ulagna impedansa** je impedansa pojačavača između ulaznog čvora (čvor 1 na slici) i mase, kada je izlaz pojačavača rasterećen, tj. Izlazna struja jednaka nuli ($i_{iz} = 0$).

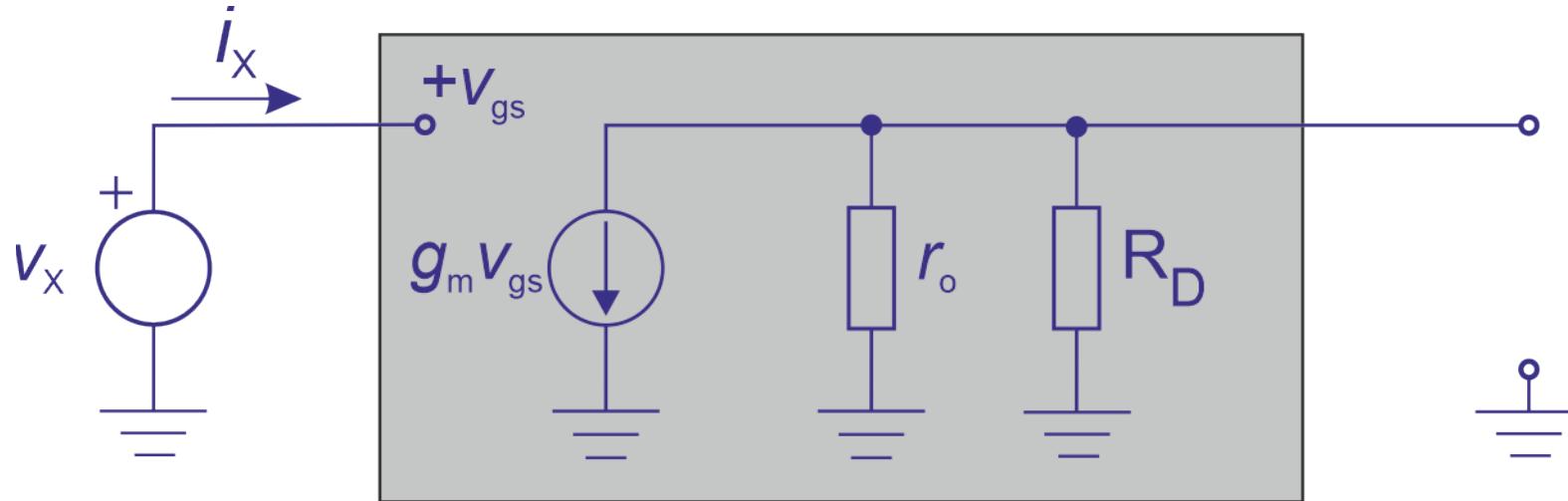
Ulagna impedansa – R_{ul}



- Kratkospojiti sve nezavisne naponske generatore u kolu,
- odvezati sve nezavisne strujne generatore u kolu,
- postaviti izvor malog signala na ulaz kola v_x ,
- izračunati struju koju proizvodi izvor i_x .

$$R_{ul} = \frac{v_x}{i_x}$$

Ulagna impedansa – R_{ul}



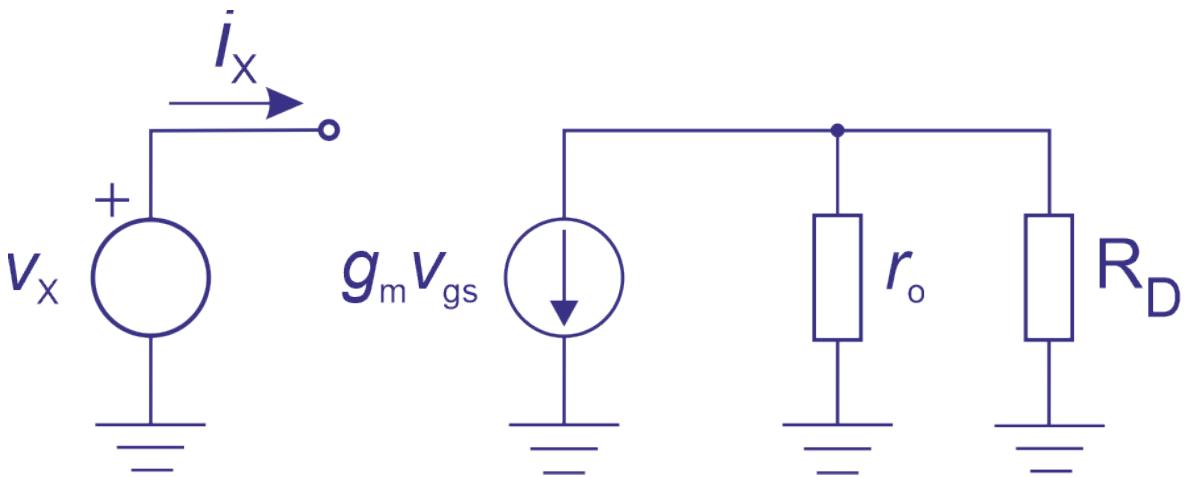
- U kolu pojačavača nema nezavisnih naponskih i strujnih generatora.
- Za određivanje ulazne impedanse potrebno je odrediti samo struju jedne konture, i_x .

Ulagna impedansa – R_{ul}

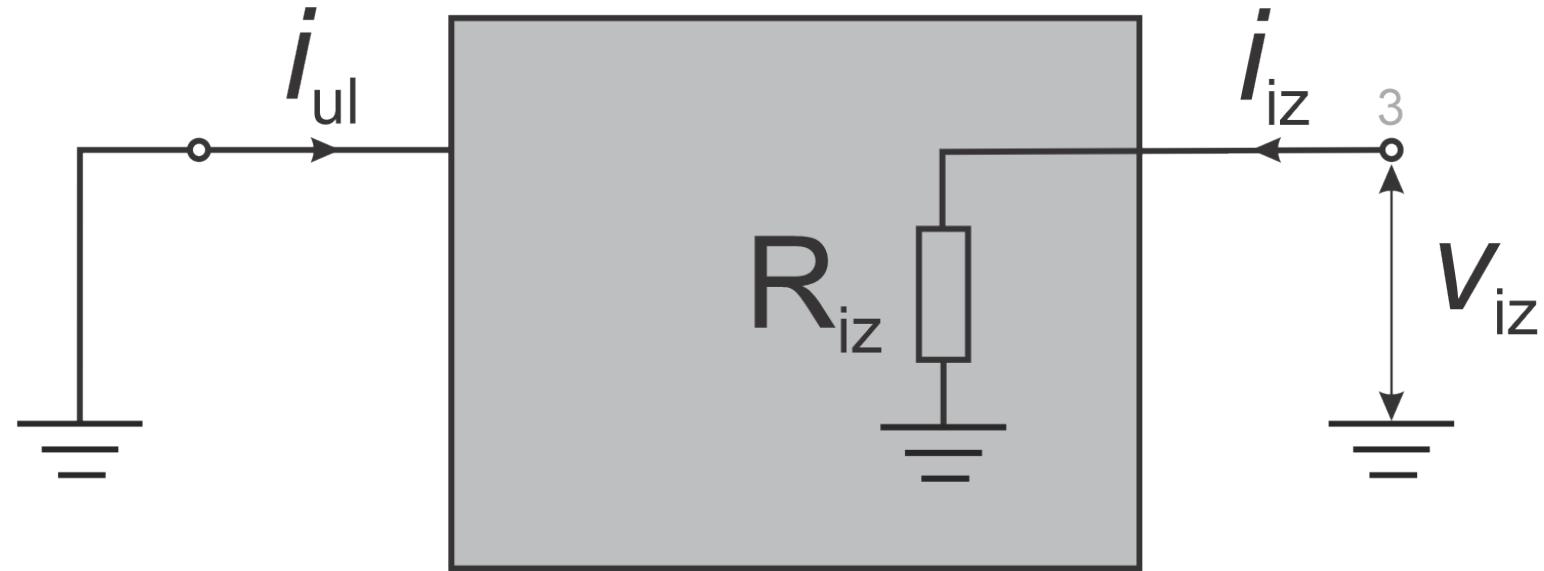
- Struja gejta je jednaka nuli, ulazna impedansa je beskonačna.

$$i_x = 0$$

$$R_{ul} = \infty$$

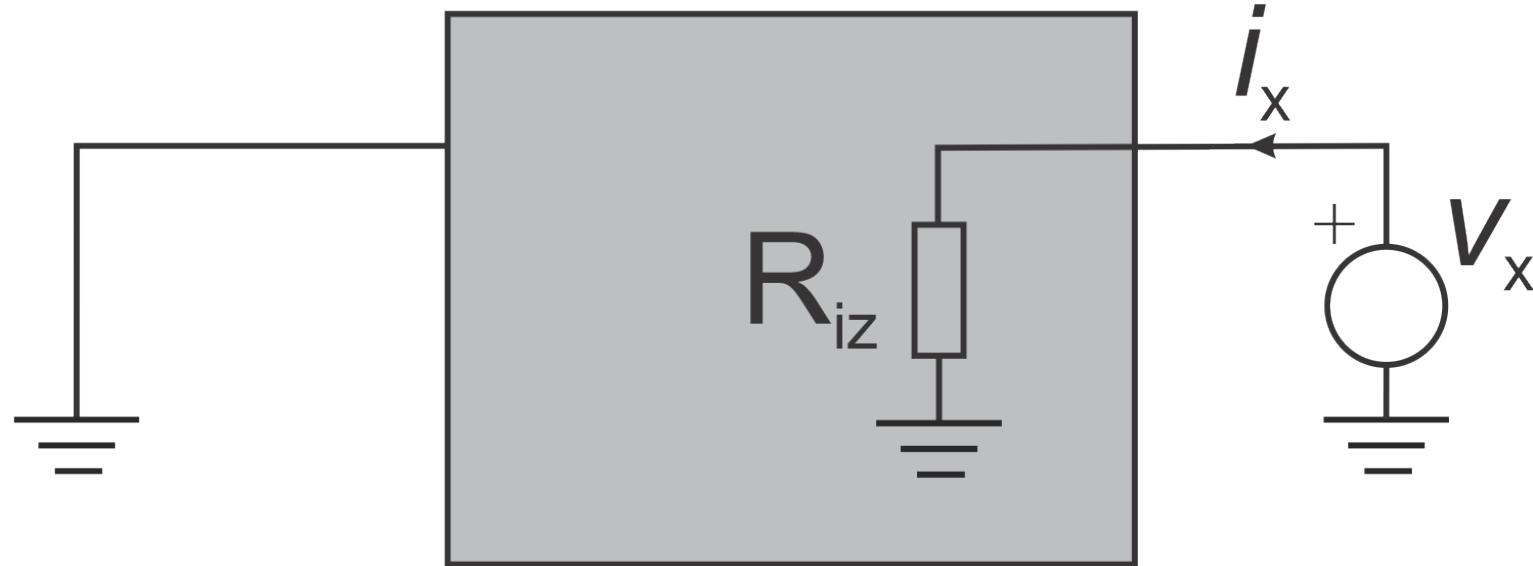


Izlazna impedansa – R_{iz}



- **Izlazna impedansa** je impedansa pojačavača između izlaznog čvora (čvor 3 na slici) i mase, kada je ulaz pojačavača kratkospojen, tj. ulazni napon jednak nuli ($v_{ul} = 0$).

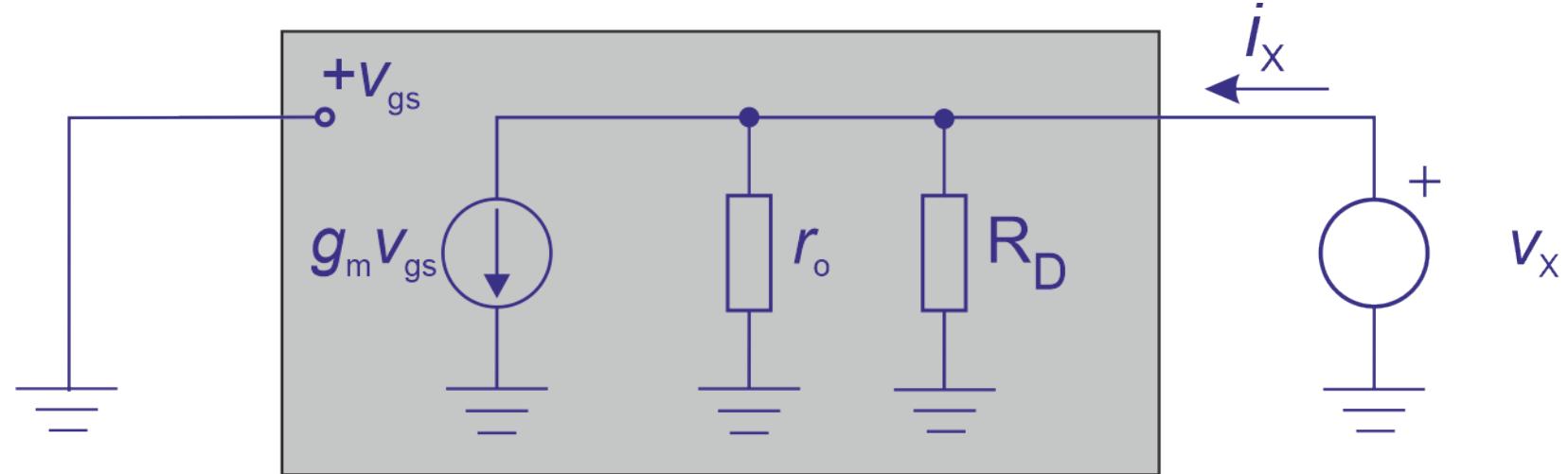
Izlazna impedansa – R_{iz}



- Kratkospojiti sve nezavisne naponske generatore,
- odvezati sve nezavisne strujne generatore,
- postaviti izvor malog signala na ulaz kola v_x ,
- izračunati struju koju proizvodi izvor i_x .

$$R_{iz} = \frac{v_x}{i_x}$$

Izlazna impedansa – R_{iz}



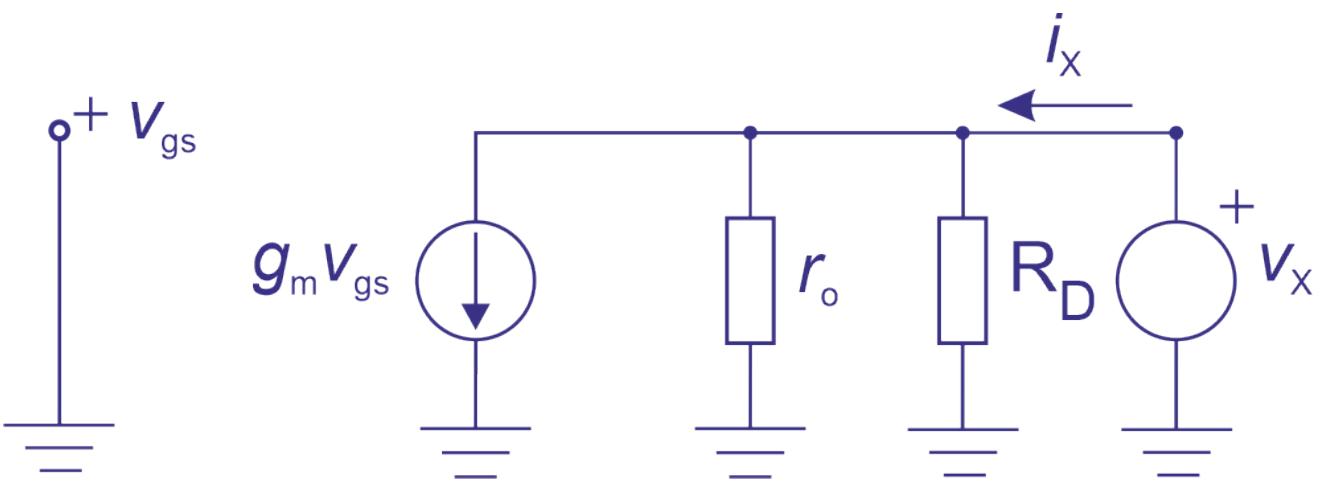
- U kolu pojačavača nema nezavisnih naponskih i strujnih generatora.
- Napon na ulazu je jednak nuli, tako da je struja strujnog generatora kontrolisanog naponom jednaka nuli.

Izlazna impedansa – R_{iz}

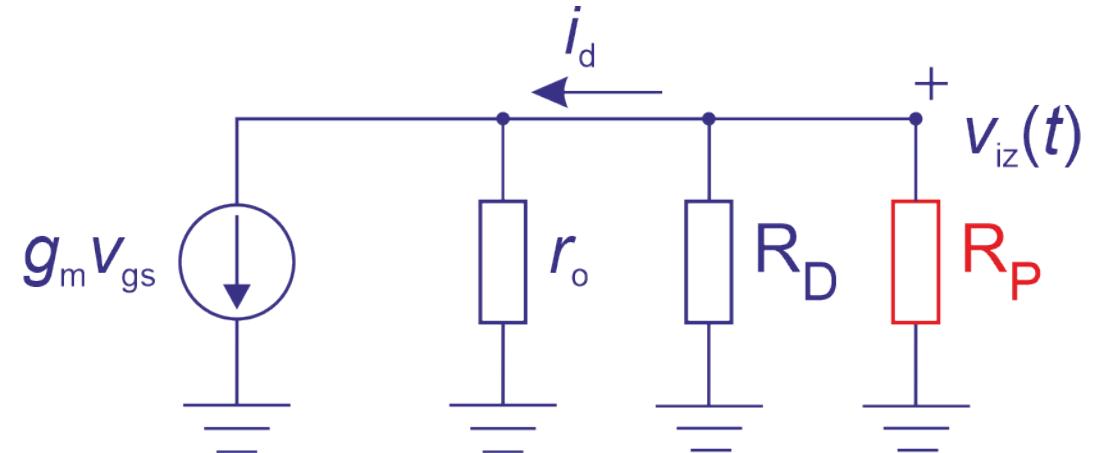
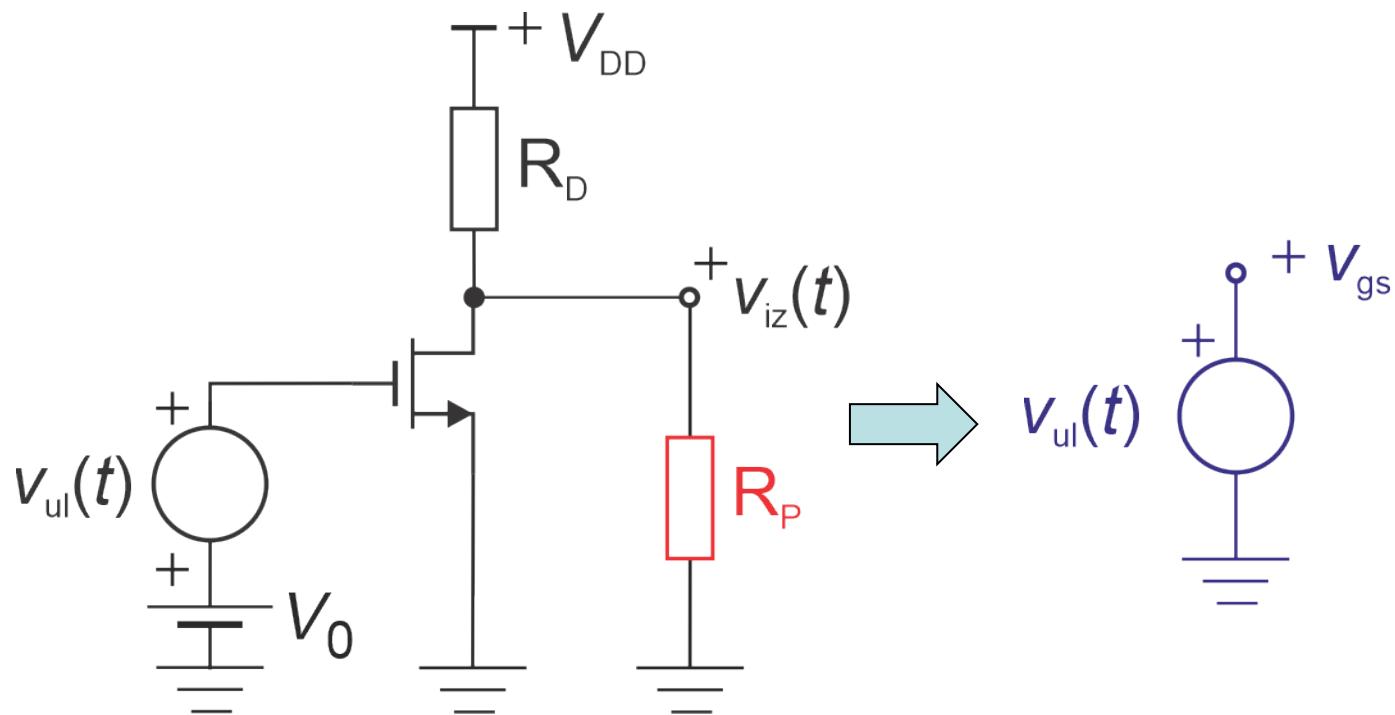
$$v_{gs} = 0$$

$$v_x = i_x \cdot (r_o \parallel R_D)$$

$$R_{iz} = r_o \parallel R_D$$



Uticaj otpornosti potrošača R_P na pojačanje



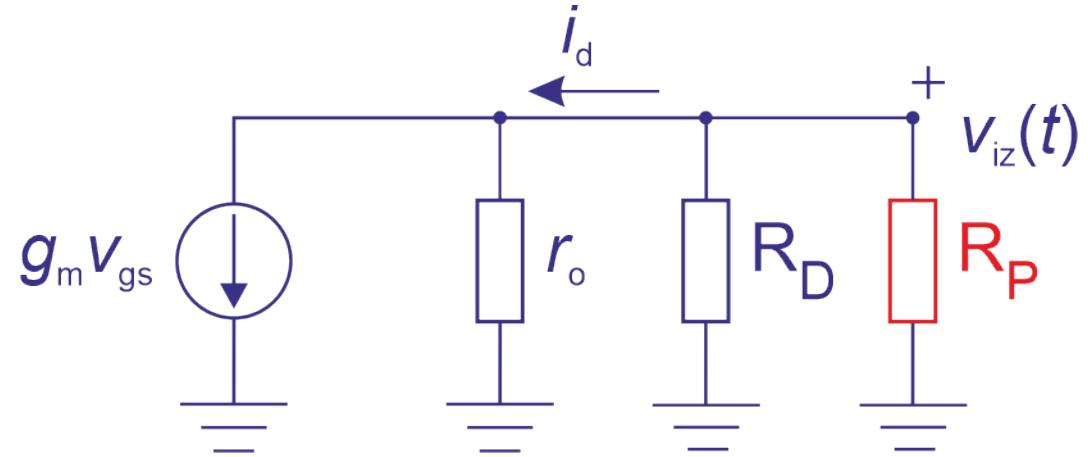
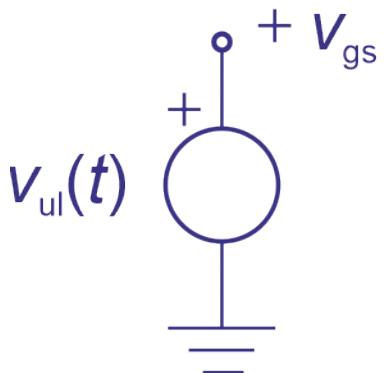
Uticaj otpornosti potrošača R_P na pojačanje

$$v_{gs} = v_{ul}$$

$$v_{iz} = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o \parallel R_P) \cdot v_{gs}$$

$$v_{iz} = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o \parallel R_P) \cdot v_{ul}$$

$$A = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o \parallel R_P)$$



Uticaj otpornosti potrošača R_P na pojačanje

$$v_T = -g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_D \parallel r_o)$$

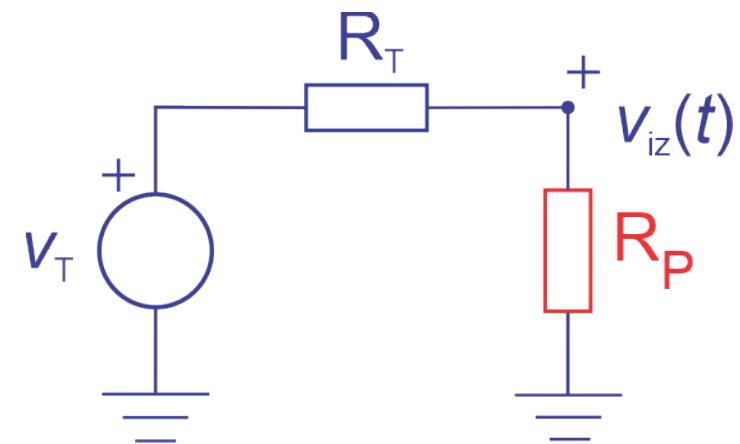
$$R_T = R_D \parallel r_o$$

$$v_{iz} = \frac{R_P}{R_T + R_P} \cdot v_T$$

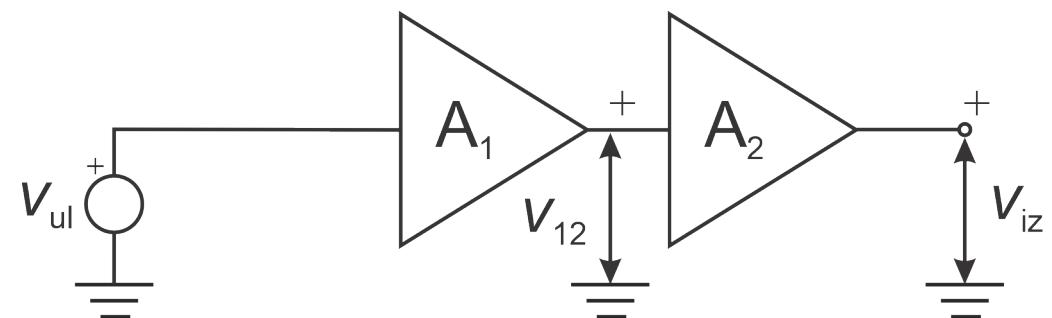
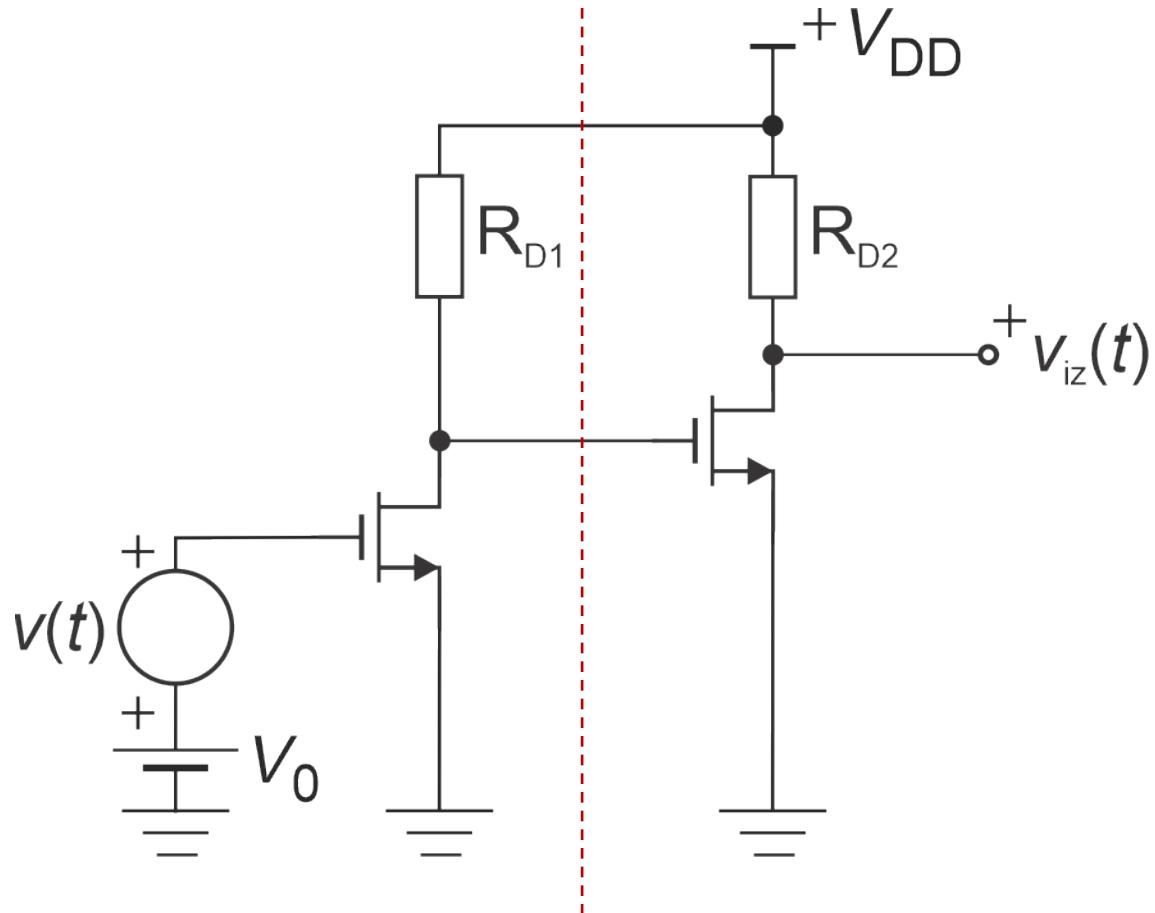
$$v_{iz} = -g_m \cdot v_{gs} \cdot \frac{R_P R_D r_o}{R_D r_o + R_D R_P + r_o R_P}$$

$$v_{iz} = -g_m \cdot (R_D \parallel r_o \parallel R_P) \cdot v_{ul}$$

- Pojačavač možemo da predstavimo ekvivalentnim Tevenenovim generatorom čiji napon je jednak izlaznom naponu pojačavača (bez potrošača R_P), a unutrašnja otpornost izlaznoj otpornosti pojačavača.

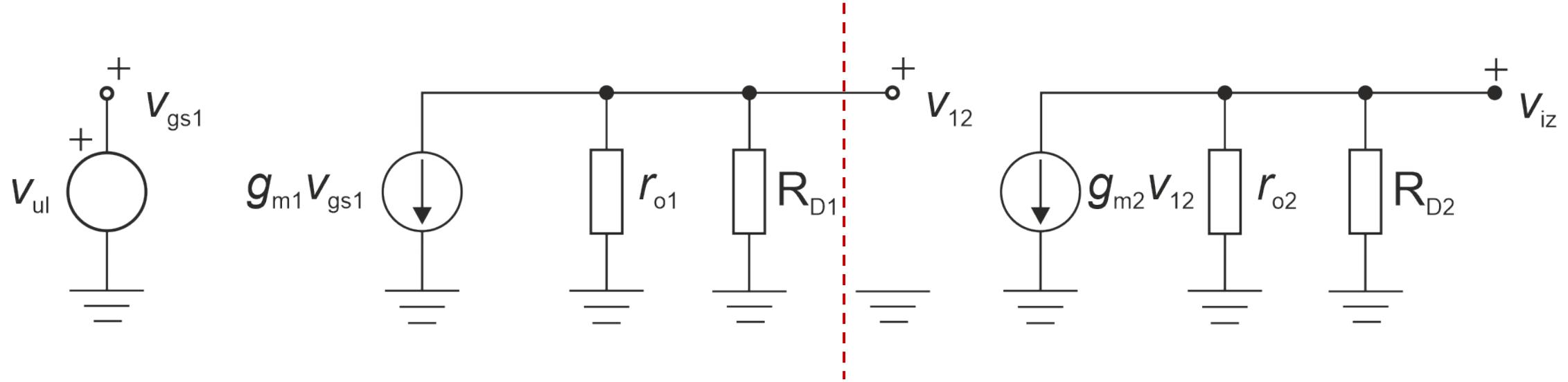


Kaskadna veza pojačavača



$$A = A_1 A_2 ?$$

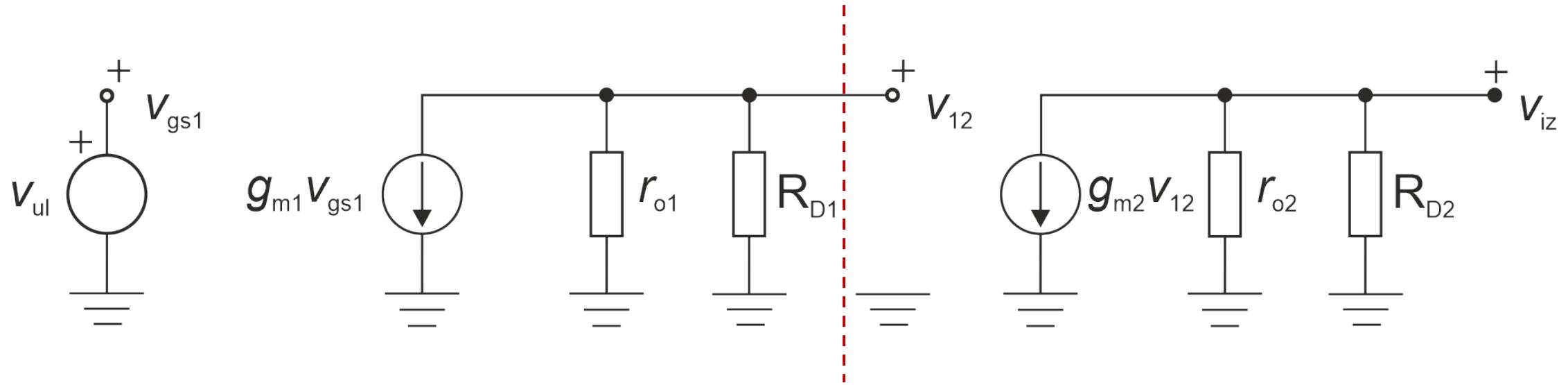
Kaskadna veza pojačavača



$$v_{12} = -g_{m1} \cdot (r_{o1} \parallel R_{D1}) \cdot v_{ul}$$

$$v_{iz} = -g_{m2} \cdot (r_{o2} \parallel R_{D2}) \cdot v_{12}$$

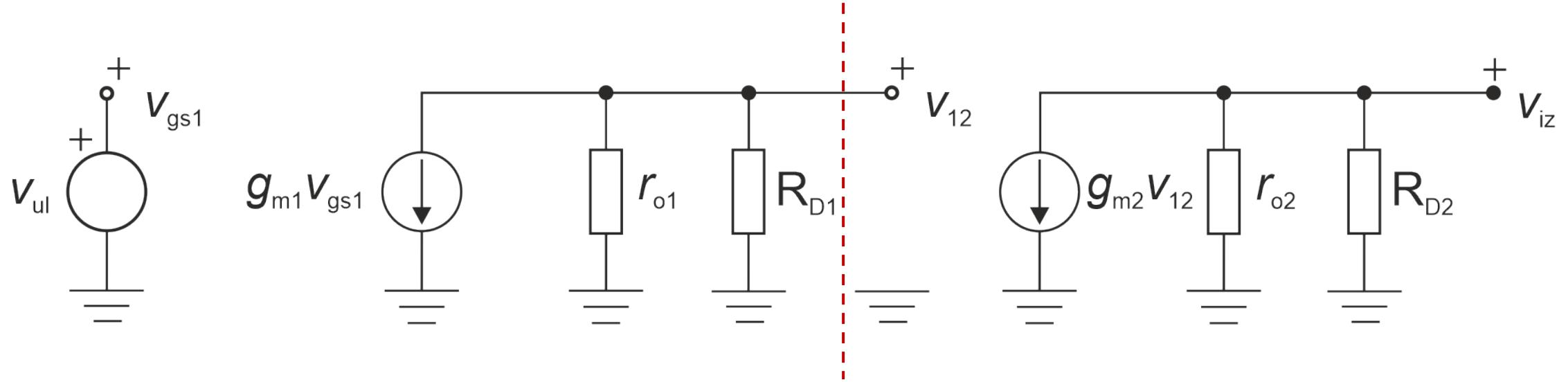
Kaskadna veza pojačavača



$$A_1 = -g_{m1} \cdot (r_{o1} \parallel R_{D1})$$

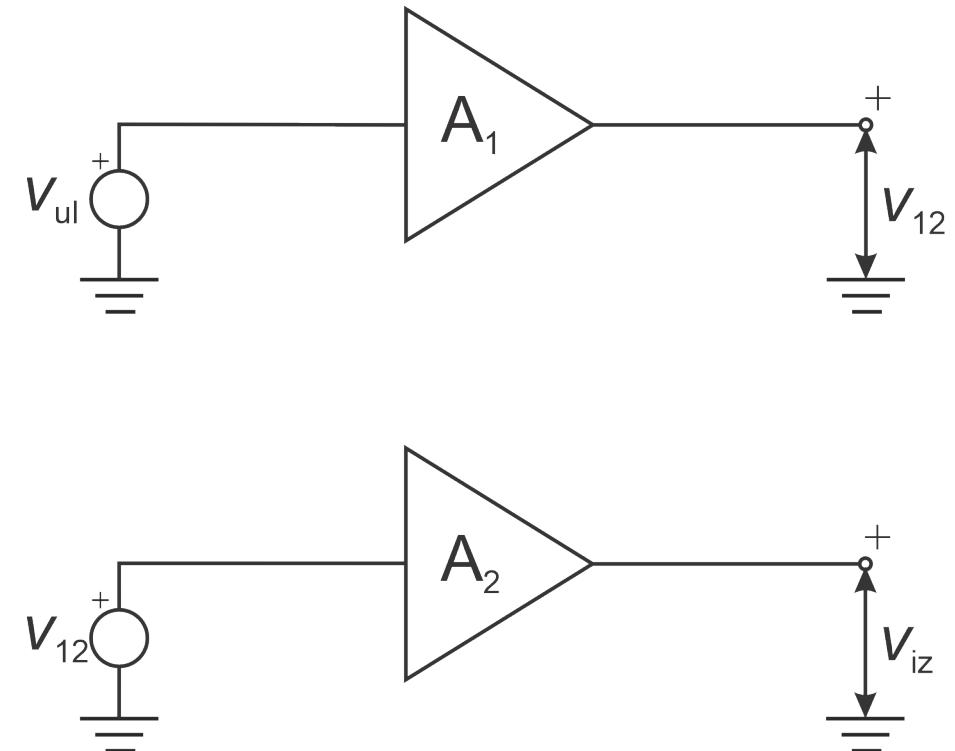
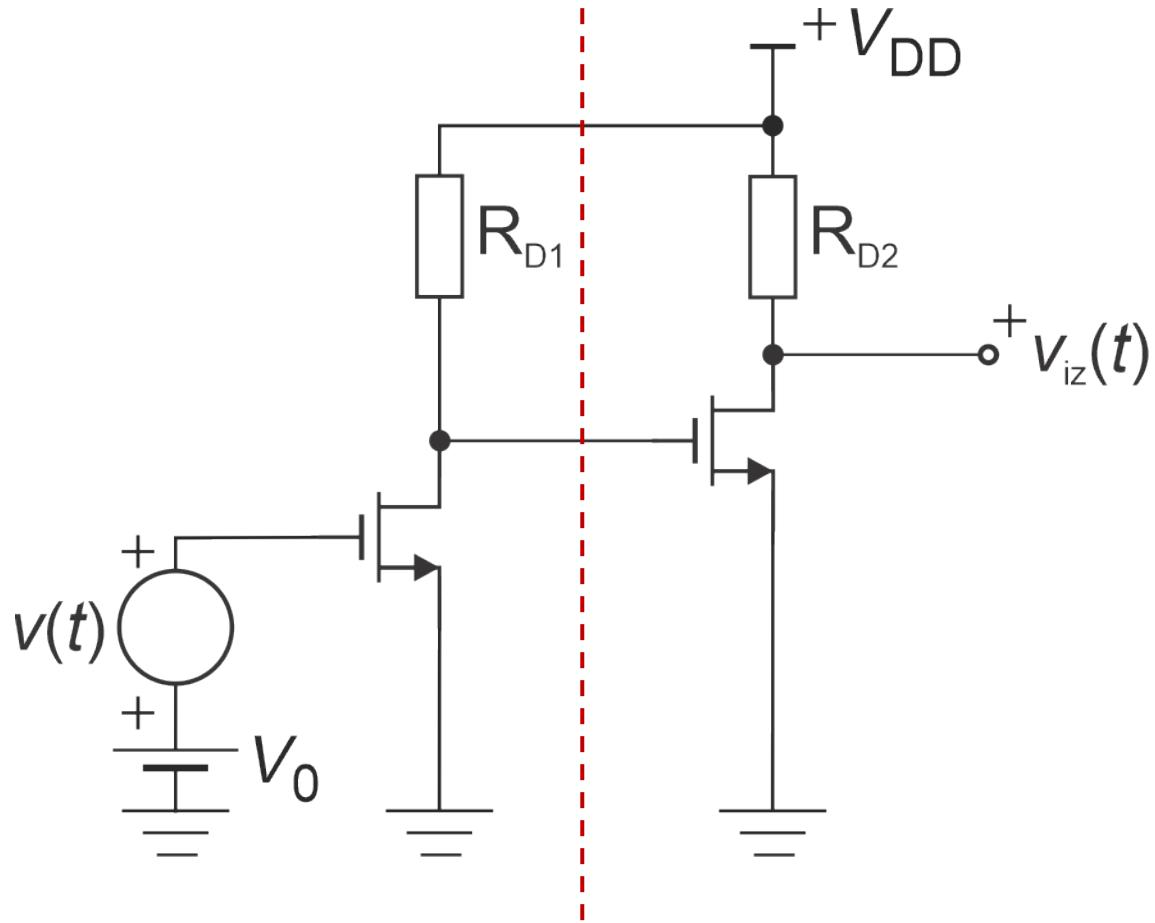
$$A_2 = -g_{m2} \cdot (r_{o2} \parallel R_{D2})$$

Kaskadna veza pojačavača



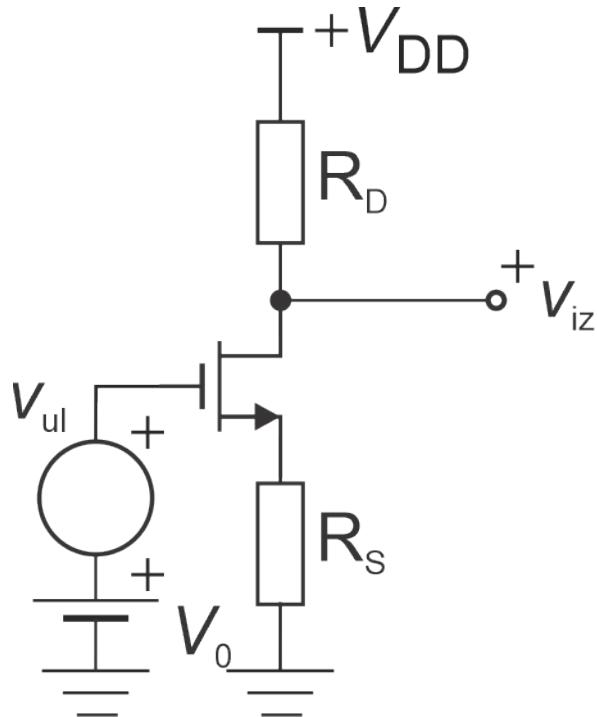
$$A = A_1 A_2 = g_{m1} \cdot g_{m2} \cdot (r_{o1} \parallel R_{D1}) \cdot (r_{o2} \parallel R_{D2})$$

Kaskadna veza pojačavača



Pojačavač sa degenerisanim sorsom

- Otpornik u grani sorsa, polarizacija



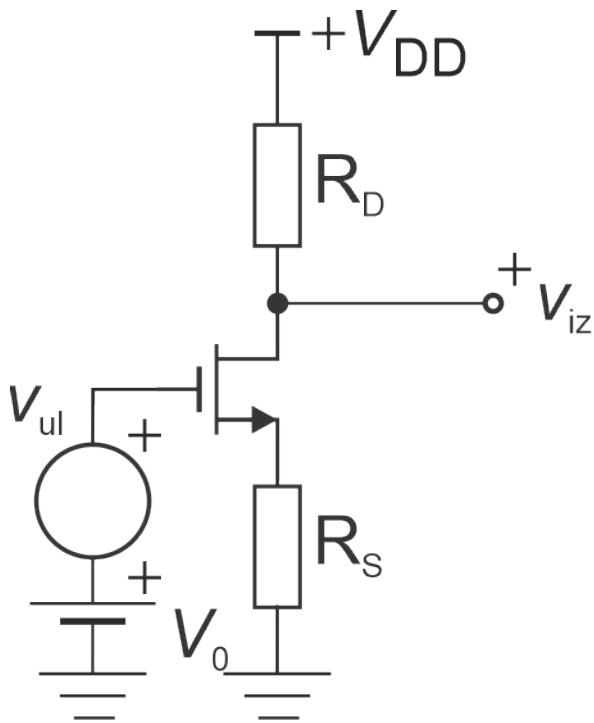
$$V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

$$V_{GS} = V_0 - I_D R_S$$

$$I_D = I_{DS} \left(\frac{V_{GS}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$I_D = \frac{I_{DS}}{V_{TH}^2} (V_0 - I_D R_S - V_{TH})^2$$

Pojačavač sa degenerisanim sorsom



$$I_D^2 R_S^2 - \left(2(V_0 - V_{TH}) R_S + \frac{V_{TH}^2}{I_{DS}} \right) I_D + (V_0 - V_{TH})^2 = 0$$

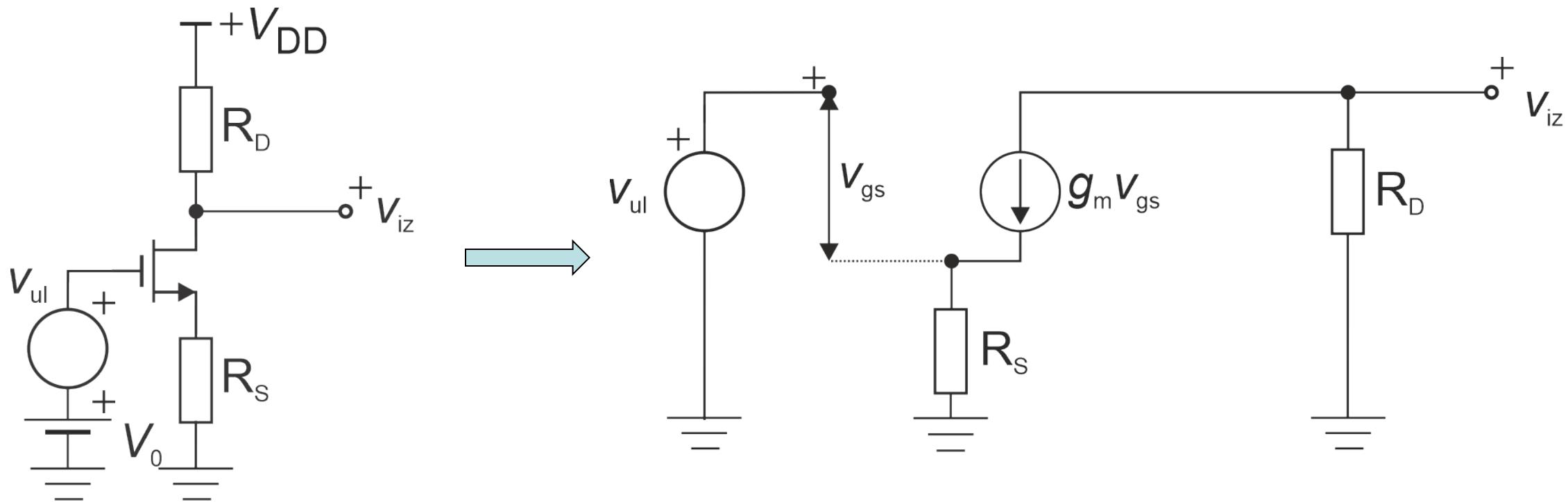
$$I_{D1/2} = \dots$$

- Ukoliko rešenja nisu realna, MOS tranzistor nije u režimu zasićenja. Tranzistor je u zasićenju ako je:

$$V_0 > V_{TH} + \frac{V_{TH}^2}{4R_S I_{DS}}$$

Pojačavač sa degenerisanim sorsom

- Model za male signale ($r_o = \infty$)

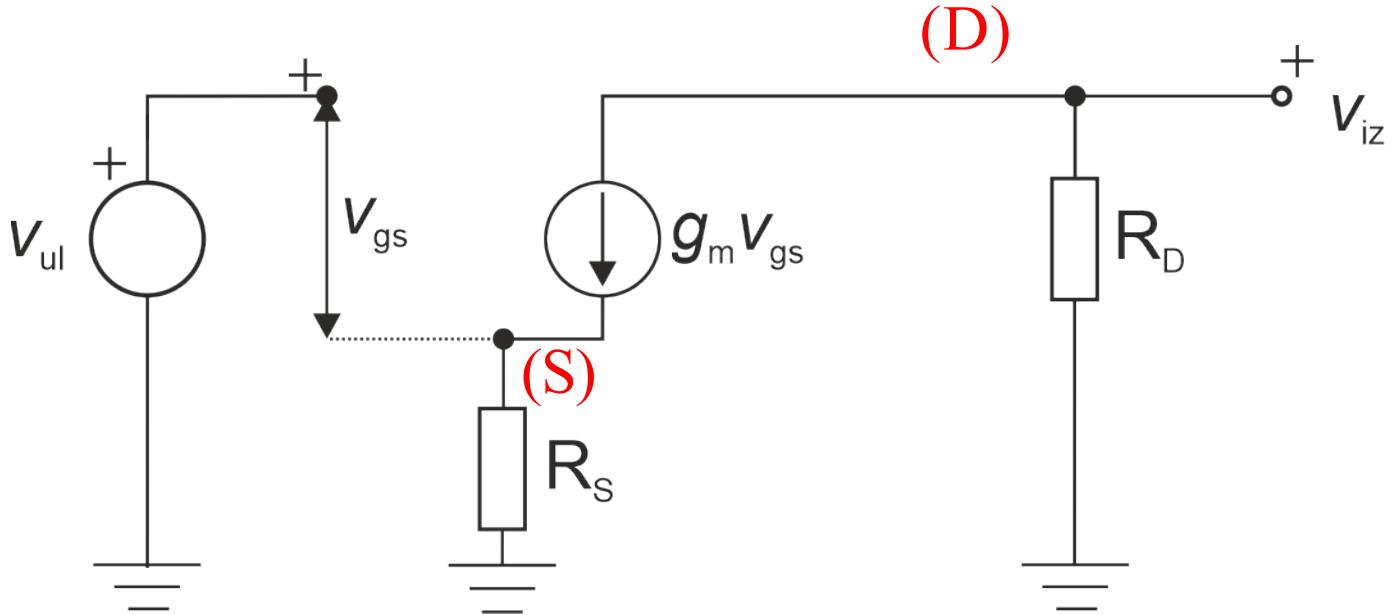


Pojačavač sa degenerisanim sorsom – pojačanje A

$$\frac{v_{iz}}{R_D} + g_m \cdot v_{gs} = 0 \quad (\text{D})$$

$$v_{iz} = -g_m R_D v_{gs}$$

$$v_{ul} = v_{gs} + g_m v_{gs} R_S \quad (\text{S})$$

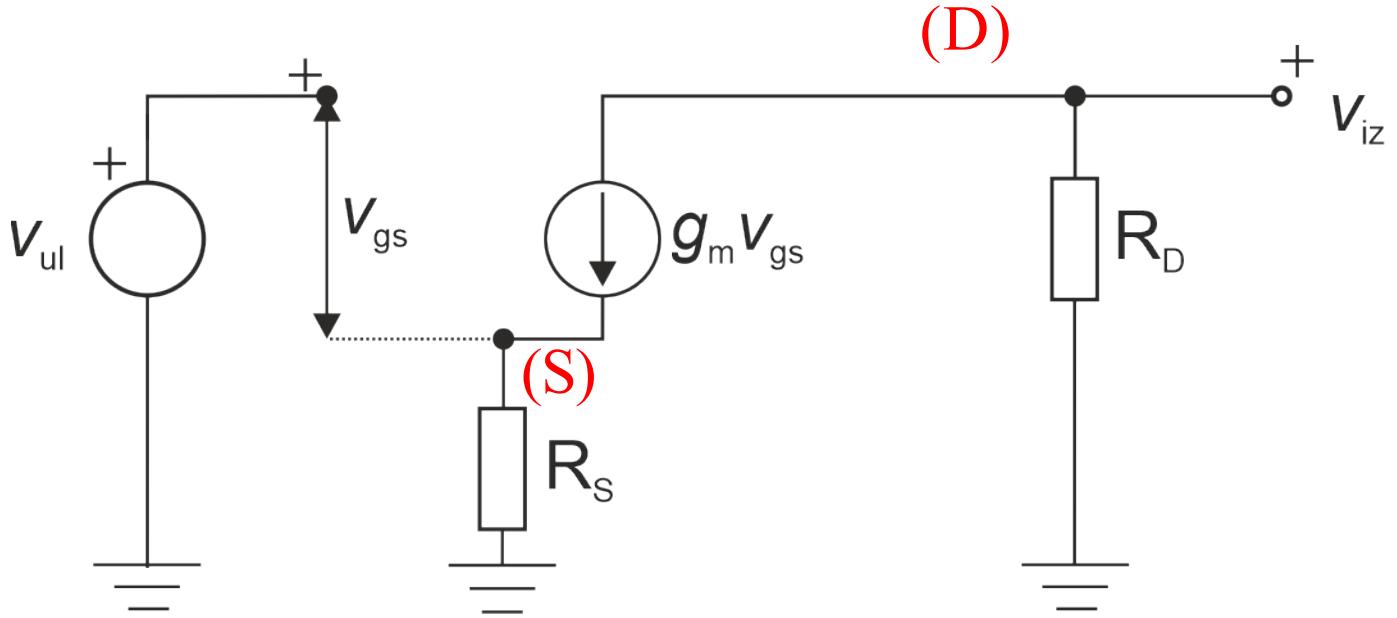


Pojačavač sa degenerisanim sorsom – pojačanje A

$$v_{gs} = \frac{v_{ul}}{1 + g_m R_s}$$

$$v_{iz} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_s} v_{ul}$$

$$A = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_s}$$

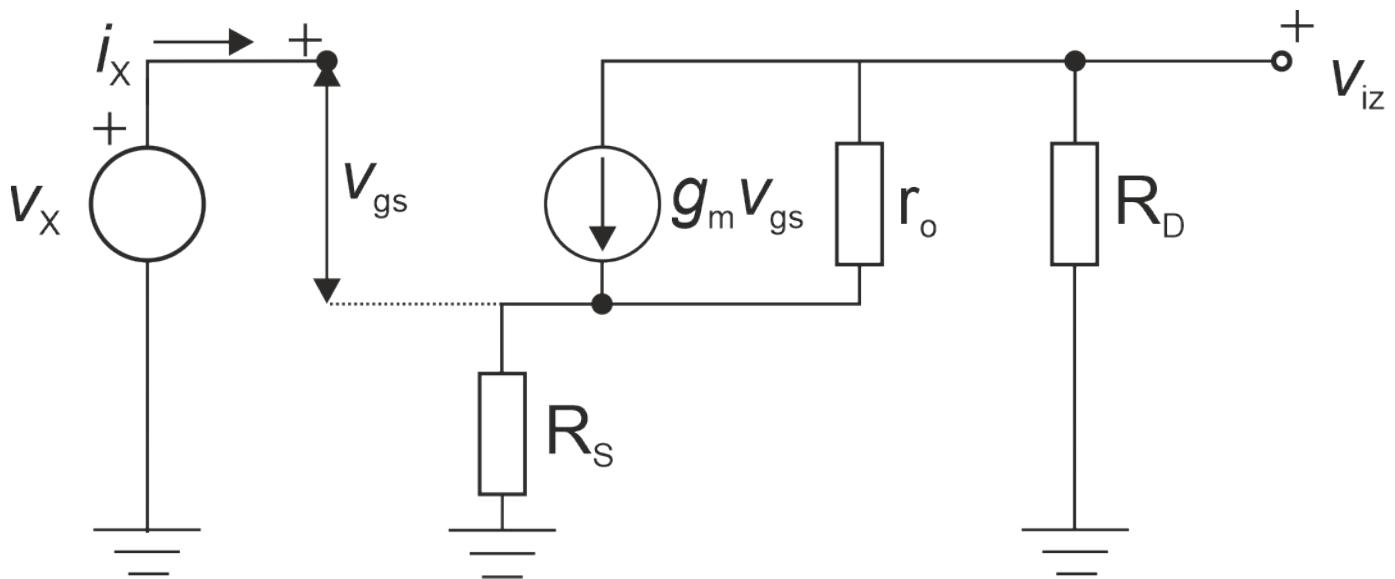


Pojačavač sa degenerisanim sorsom – ulazna impedansa

- Struja gejta je jednaka nuli, ulazna impedansa je beskonačna.

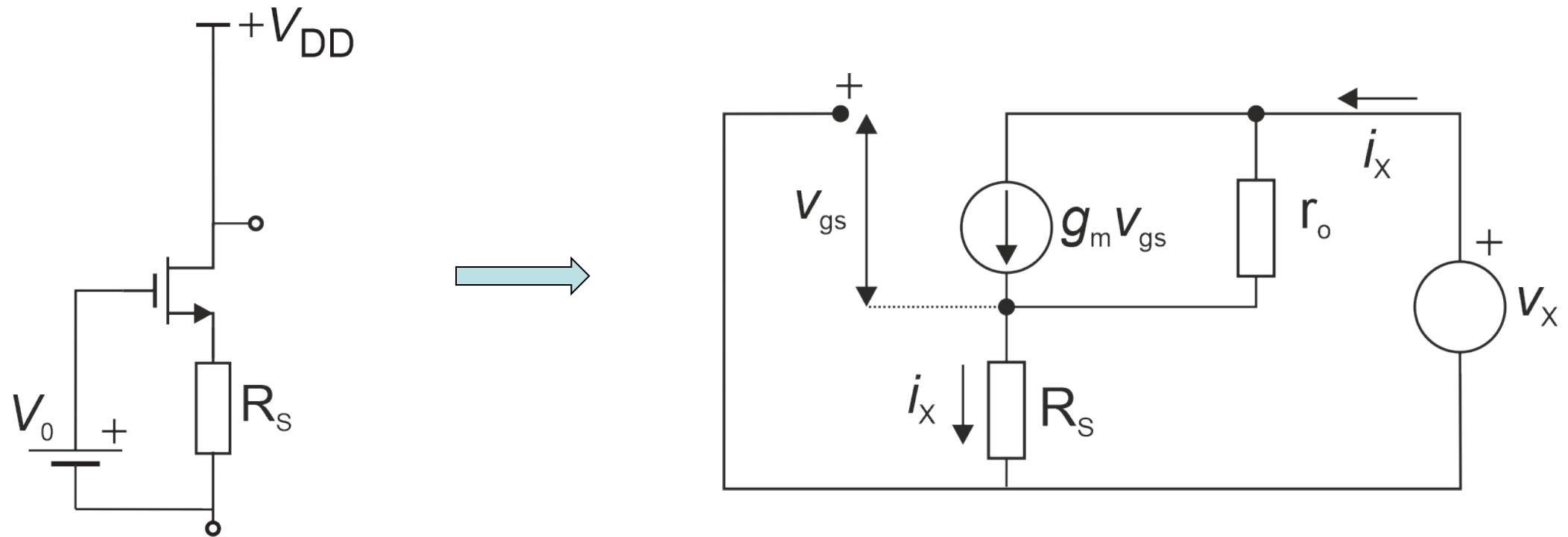
$$i_x = 0$$

$$R_{ul} = \infty$$



Strujni izvor sa degenerisanim sorsom – impedansa

- Model za male signale (r_o)



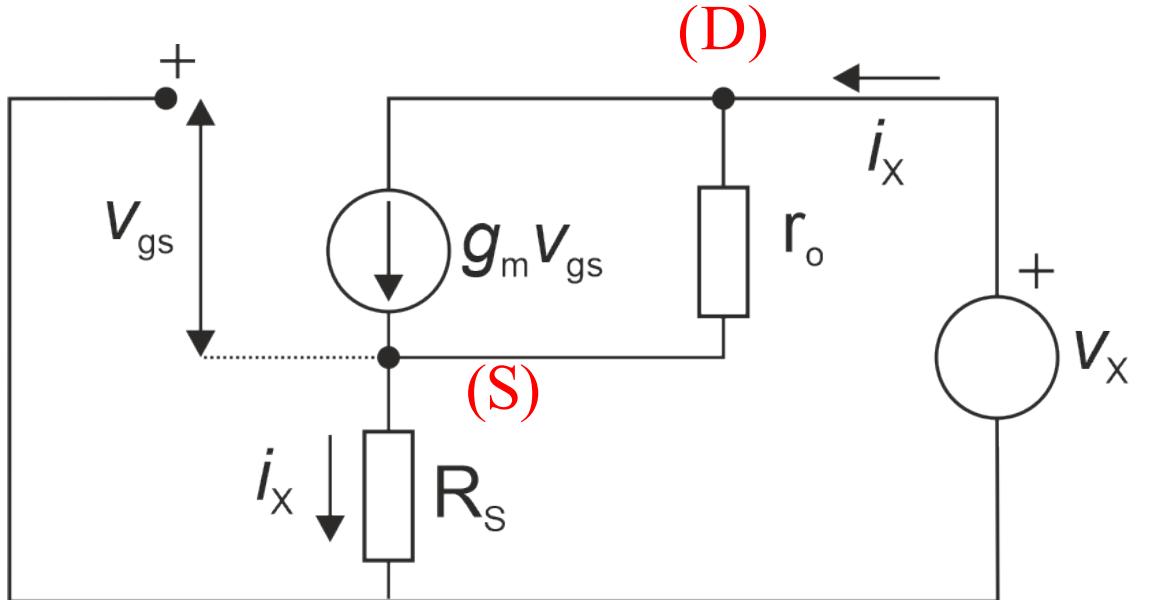
Strujni izvor sa degenerisanim sorsom – impedansa

$$v_{gs} = -i_X R_S \quad (\text{S})$$

$$v_X = (i_X - g_m v_{gs}) r_o + i_X R_S$$

$$v_X = (i_X + i_X g_m R_S) r_o + i_X R_S$$

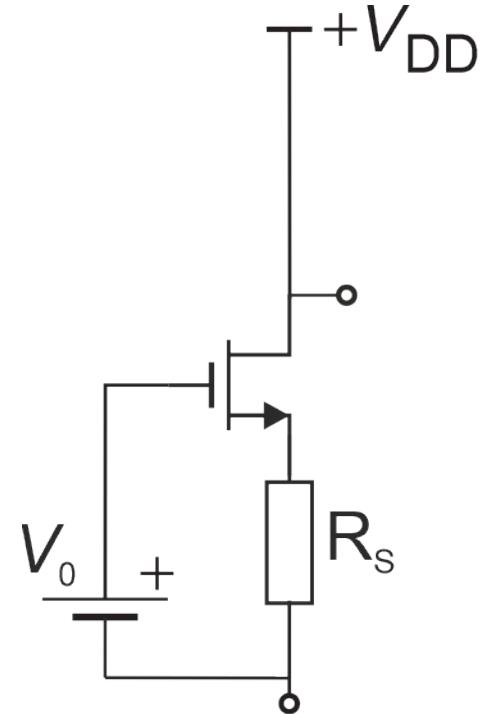
$$\frac{v_X}{i_X} = (1 + g_m R_S) r_o + R_S$$



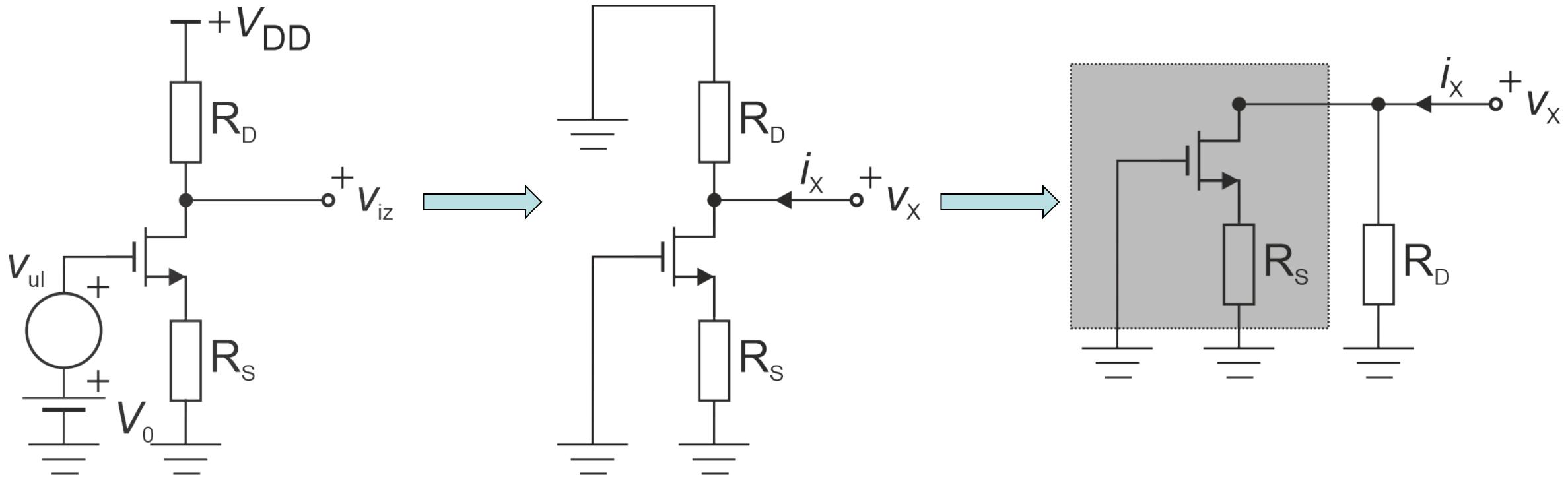
Strujni izvor sa degenerisanim sorsom – impedansa

$$R_{DD} = (1 + g_m R_s) r_o + R_s$$

$$R_{DD} = (1 + g_m r_o) R_s + r_o$$



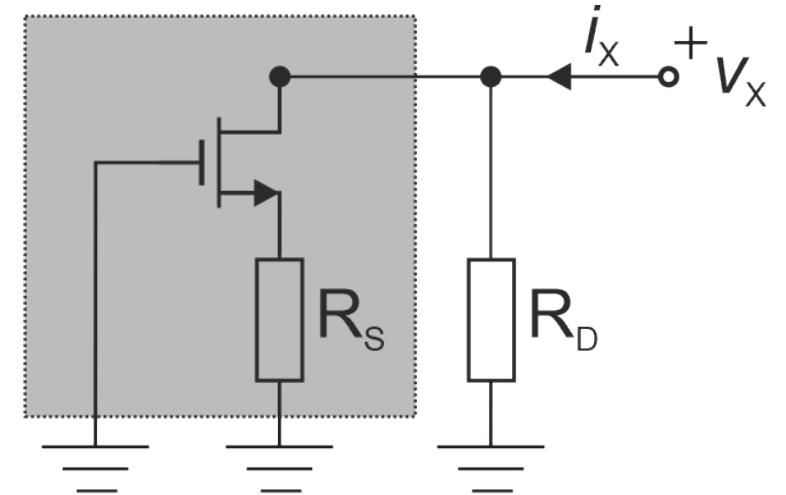
Pojačavač sa degenerisanim sorsom – izlazna impedansa



Pojačavač sa degenerisanim sorsom – izlazna impedansa

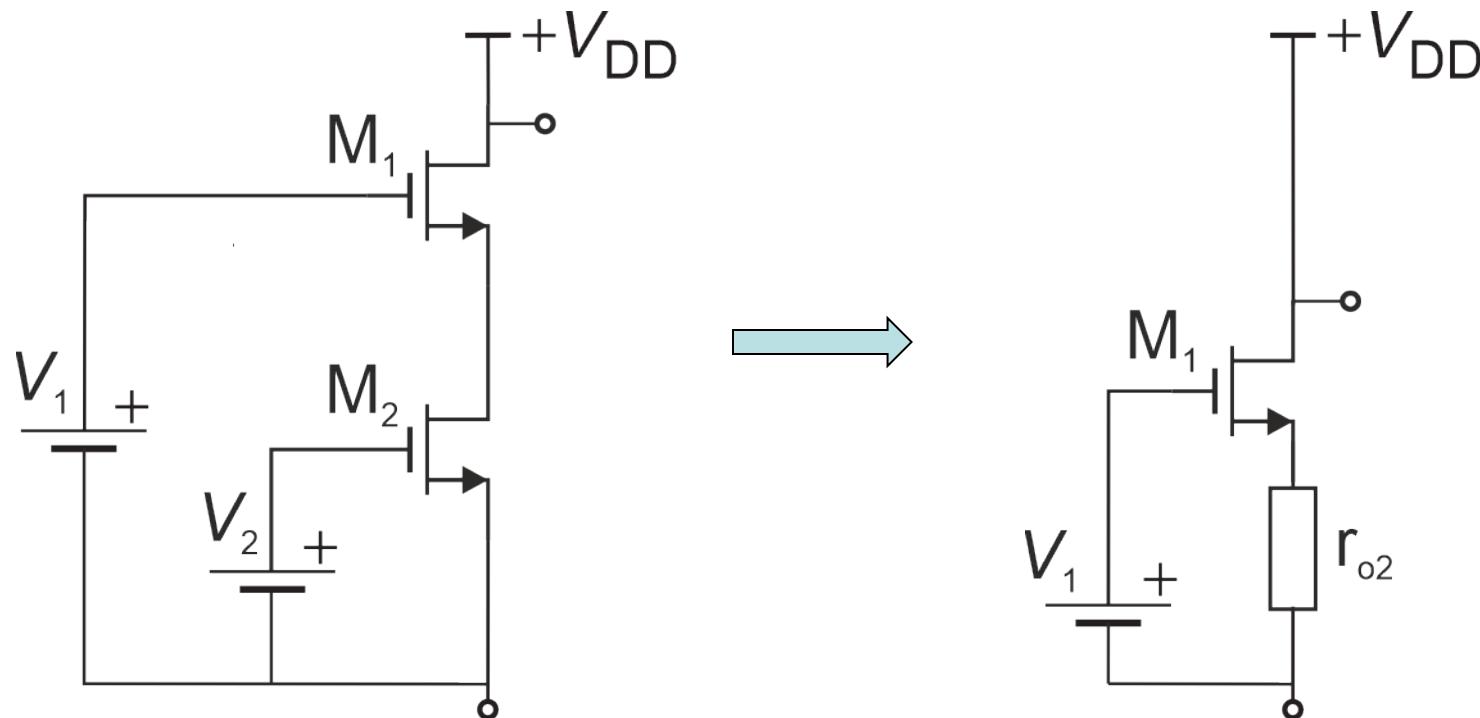
$$R_{iz} = R_D \parallel R_{DD}$$

$$R_{iz} = R_D \parallel ((1 + g_m r_o) R_S + r_o)$$



Kaskodna veza

- Otpornik R_s je zamenjen izvorom konstantne struje

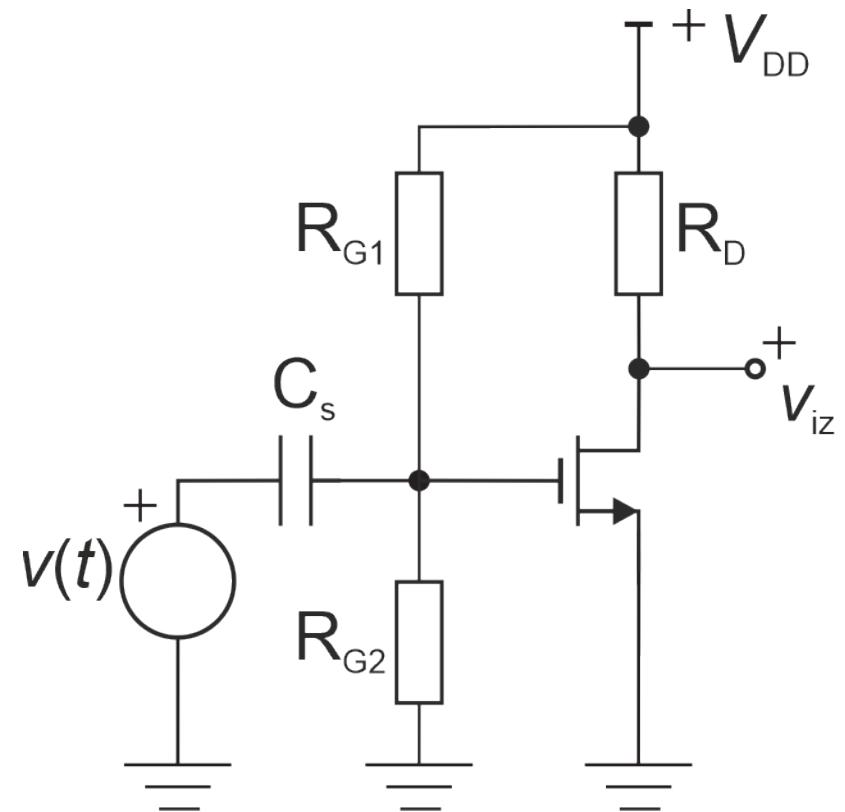
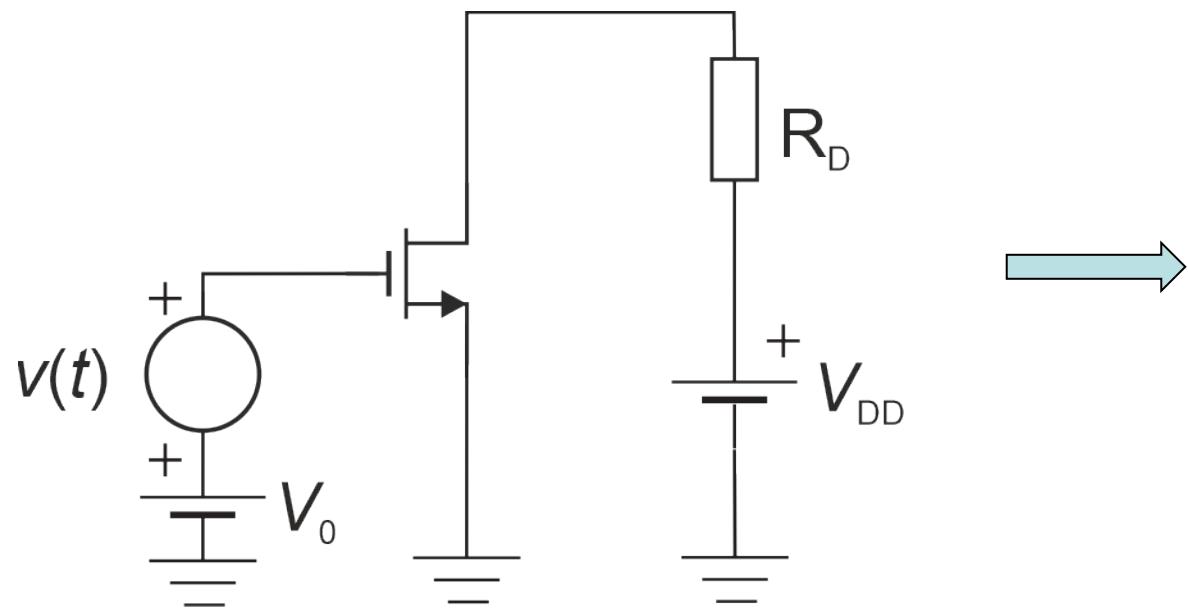


$$R_{DD} = (1 + g_{m1}r_{o2})r_{o1} + r_{o2}$$

$$R_{DD} = (1 + g_{m1}r_{o1})r_{o2} + r_{o1}$$

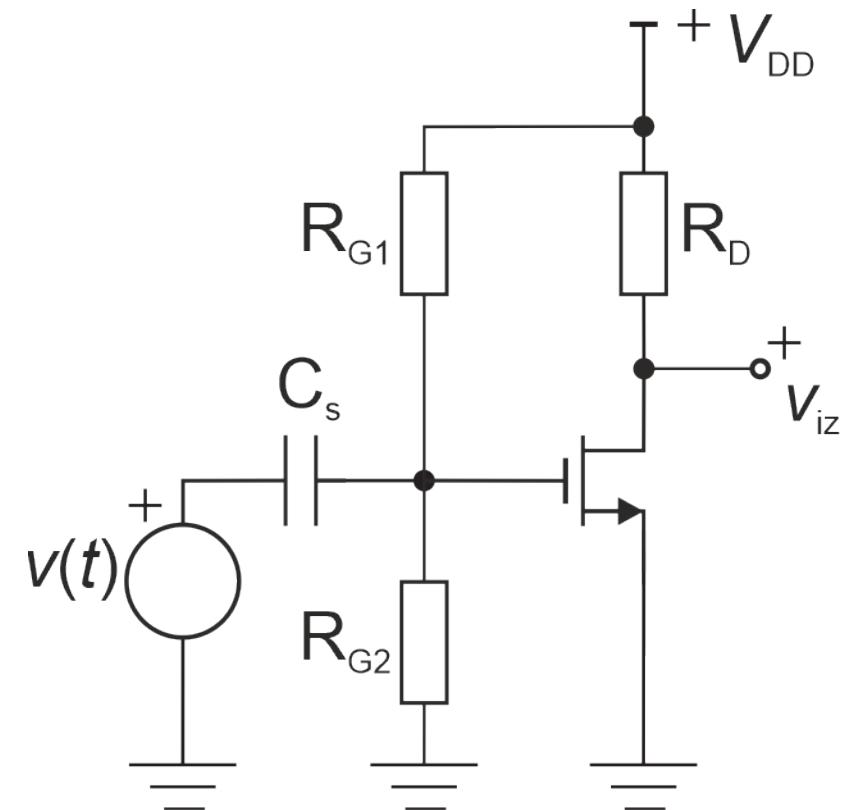
Kola za polarizaciju

$$V_{GS} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD}$$



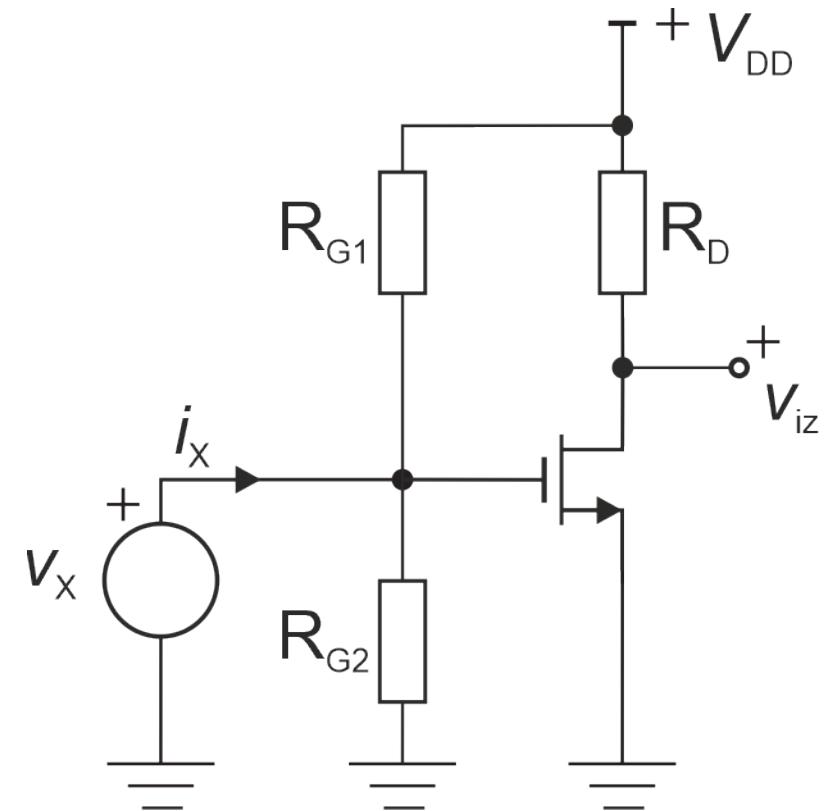
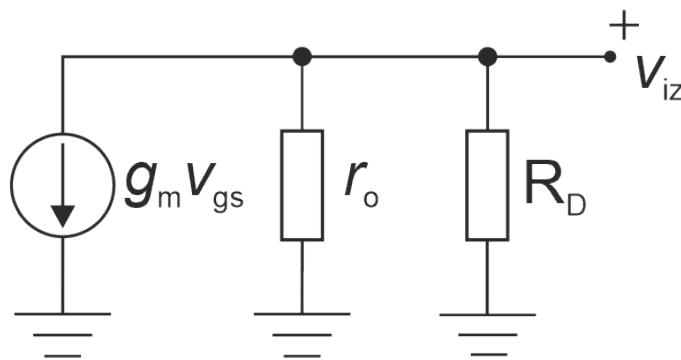
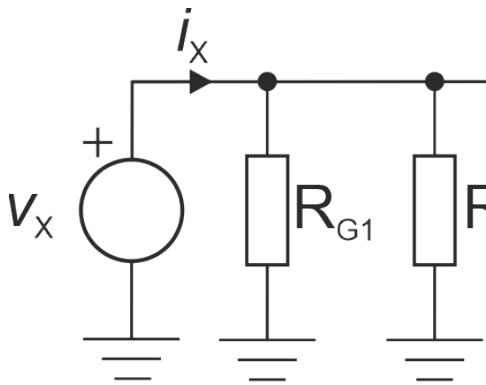
Kola za polarizaciju

- Ukoliko je otpornost izvora signala mala, otpornik R_{G2} je kratkospojen, da bi se postigao odgovarajući jednosmerni napon na gejtu, postavlja se otpornik C_s , koji predstavlja prekid u jednosmernom režimu.
- Kapacitivnost C_s je velika, tako da predstavlja kratak spoj za naizmeničan signal.



Kola za polarizaciju – ulazna impedansa

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



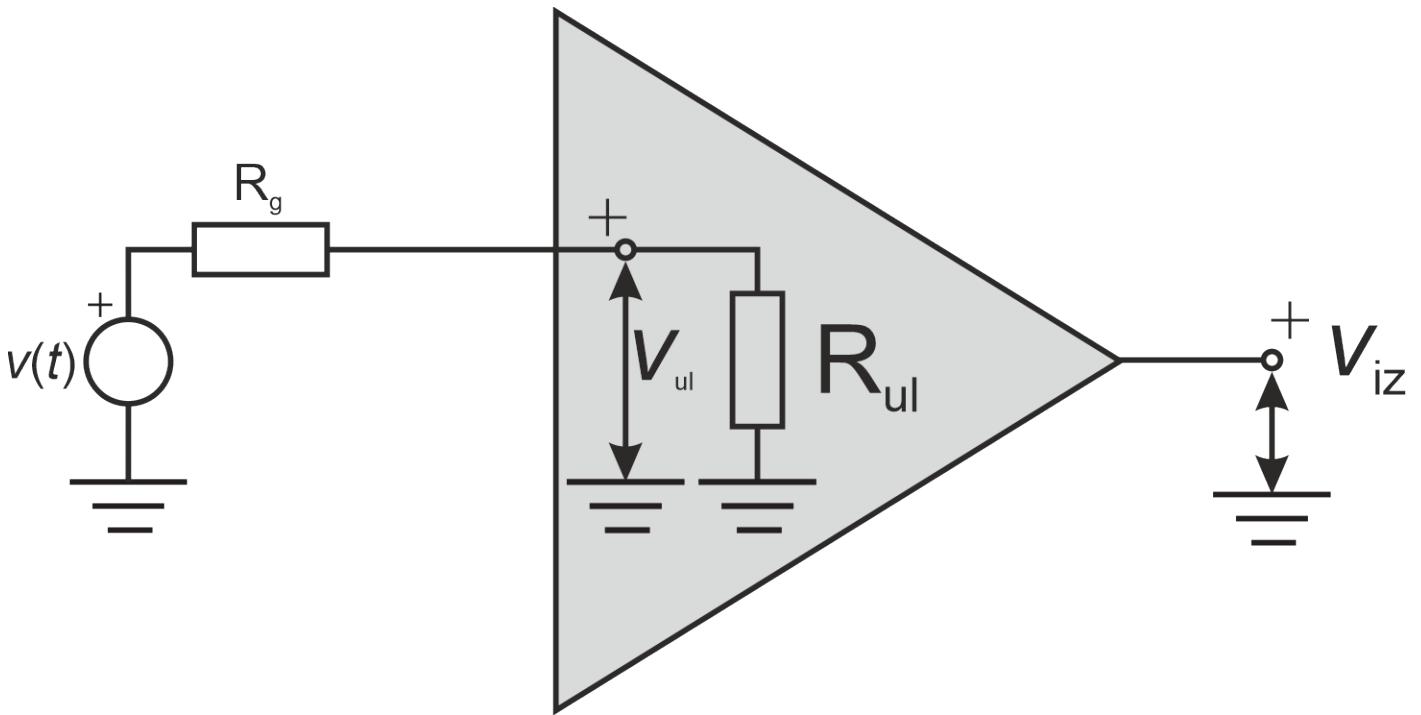
Kola za polarizaciju - pojačanje

$$A = \frac{v_{iz}}{v} = \frac{v_{iz}}{v_{ul}} \frac{v_{ul}}{v}$$

$$v_{ul} = \frac{R_{ul}}{R_g + R_{ul}} v$$

$$\frac{v_{iz}}{v_{ul}} = -g_m R_D$$

$$A = -\frac{R_{G1} \| R_{G2}}{R_g + R_{G1} \| R_{G2}} g_m R_D$$



Kola za polarizaciju - pojačanje

- Manje pojačanje zbog unutrašnje otpornosti izvora signala:

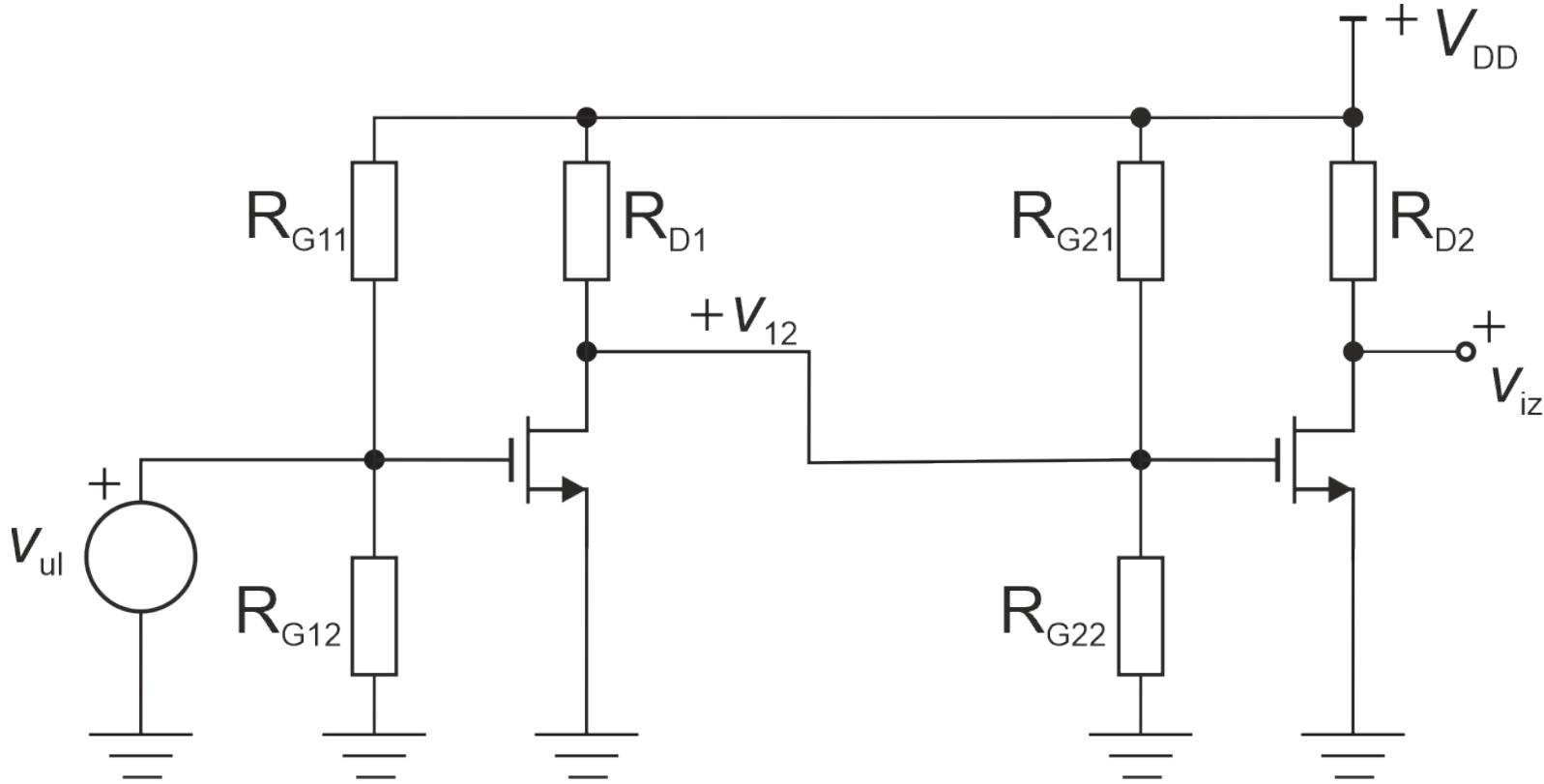
$$A = -\frac{R_{G1} \parallel R_{G2}}{R_g + R_{G1} \parallel R_{G2}} g_m R_D$$

- Prilikom izbora otpornika, potrebno je:

$$R_{G1} \parallel R_{G2} \gg R_g$$

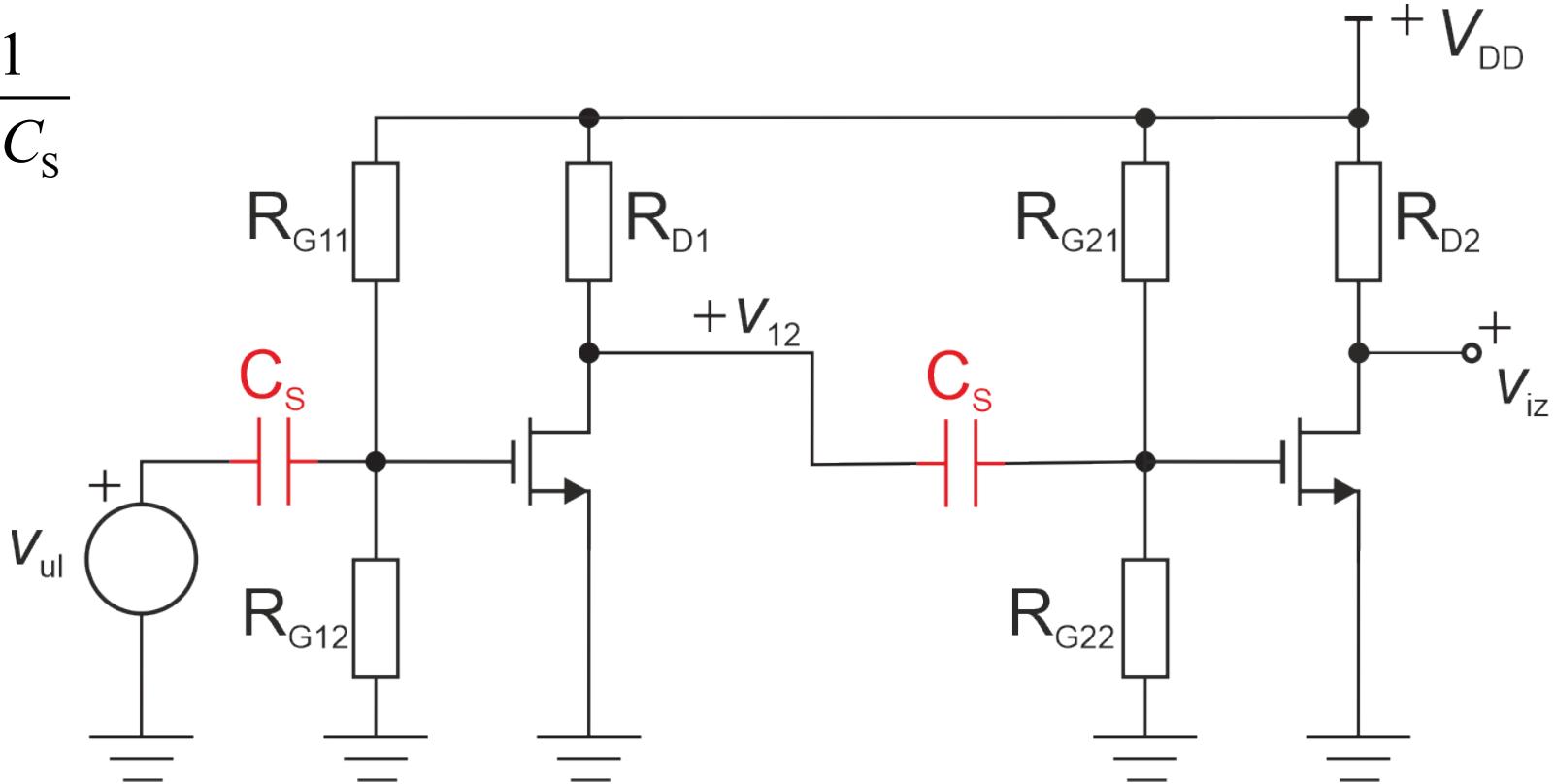
$$R_{G1} \parallel R_{G2} \gg 1/\omega C_s$$

Kola za polarizaciju



Kola za polarizaciju

$$R_{\text{ul}1}, R_{\text{ul}2} \gg \frac{1}{\omega C_s}$$

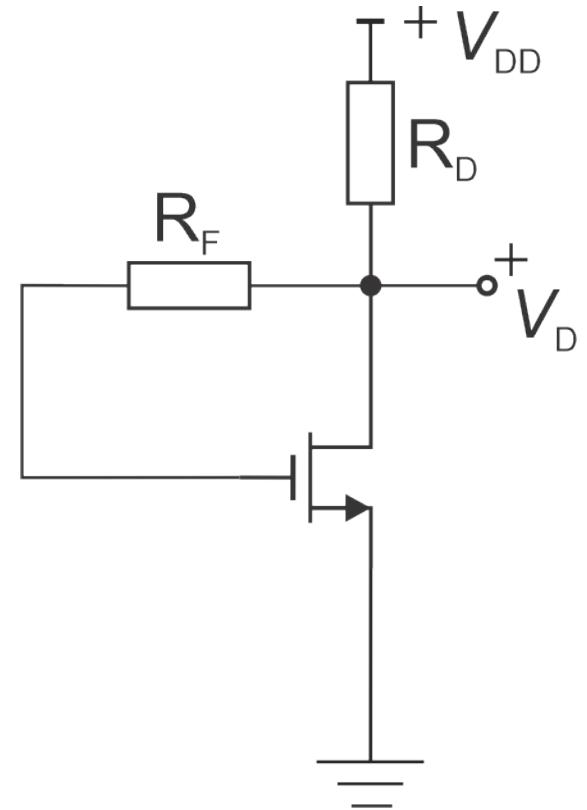


Kola za polarizaciju

- *Self-bias* kolo
- Mala osetljivost na promene V_{CC}
- Tranzistor je uvek u aktivnom režimu:

$$V_G = V_D = V_{DD} - I_{DS}R_D$$

$$V_{DS} = V_{GS} > V_{GS} - V_{TH}$$



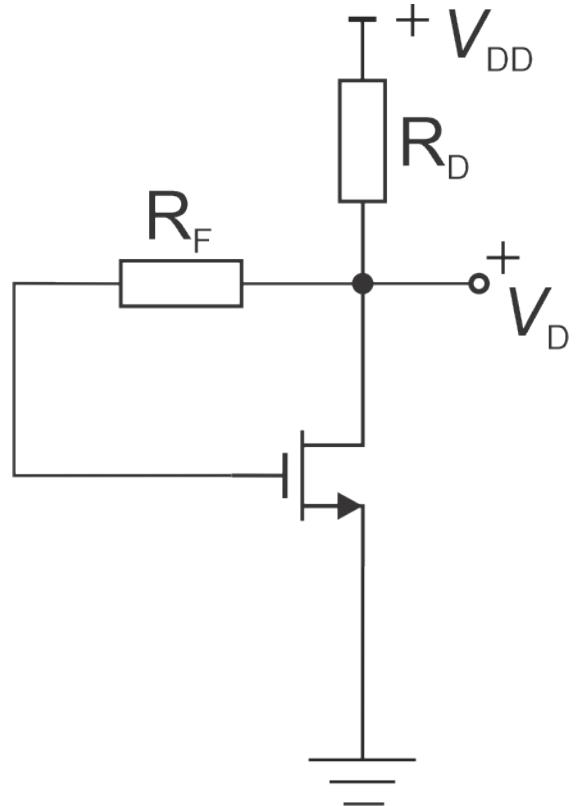
Kola za polarizaciju

$$I_D = I_{DS} \left(\frac{V_{GS}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$I_D = I_{DS} \left(\frac{V_{DD} - R_D I_D}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$I_D = \frac{I_{DS}}{V_{TH}^2} (V_{DD} - V_{TH} - R_D I_D)^2$$

$$I_D = \frac{I_{DS}}{V_{TH}^2} (V_{DD} - V_{TH})^2 - \frac{2I_{DS}R_D I_D}{V_{TH}^2} (V_{DD} - V_{TH}) + \frac{I_{DS}R_D^2 I_D^2}{V_{TH}^2}$$

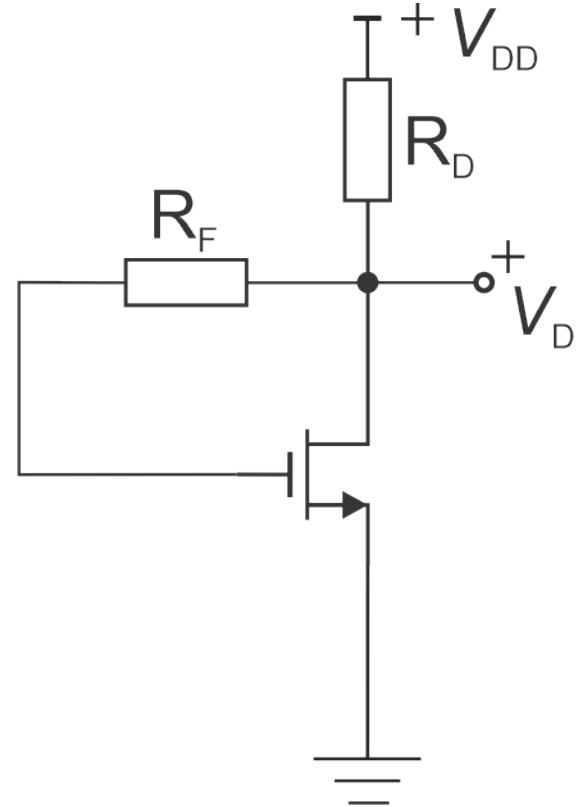


Kola za polarizaciju

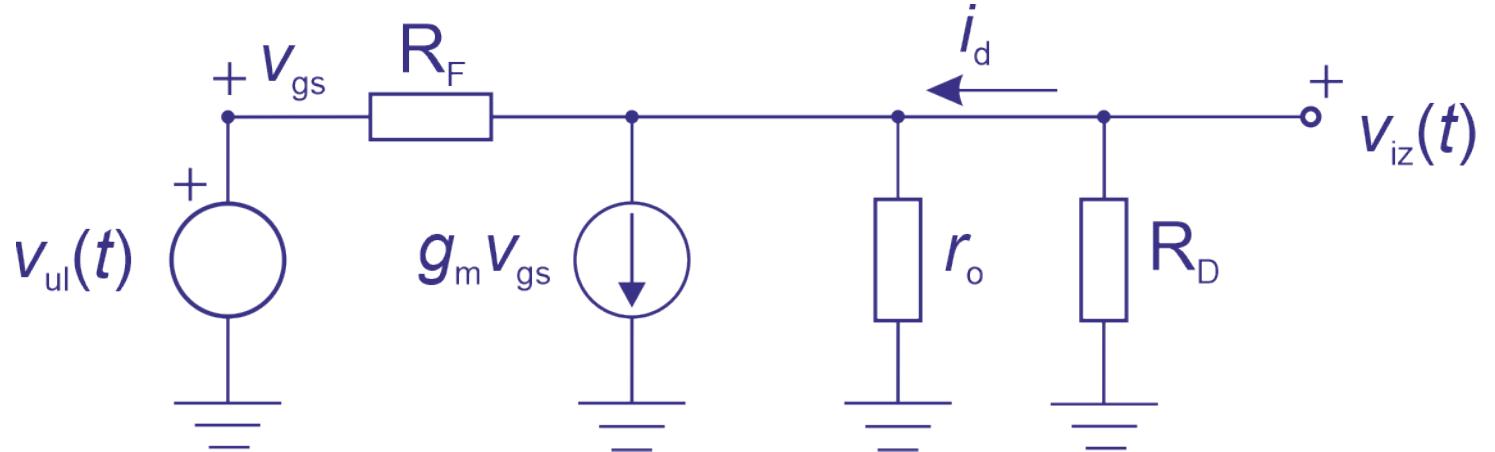
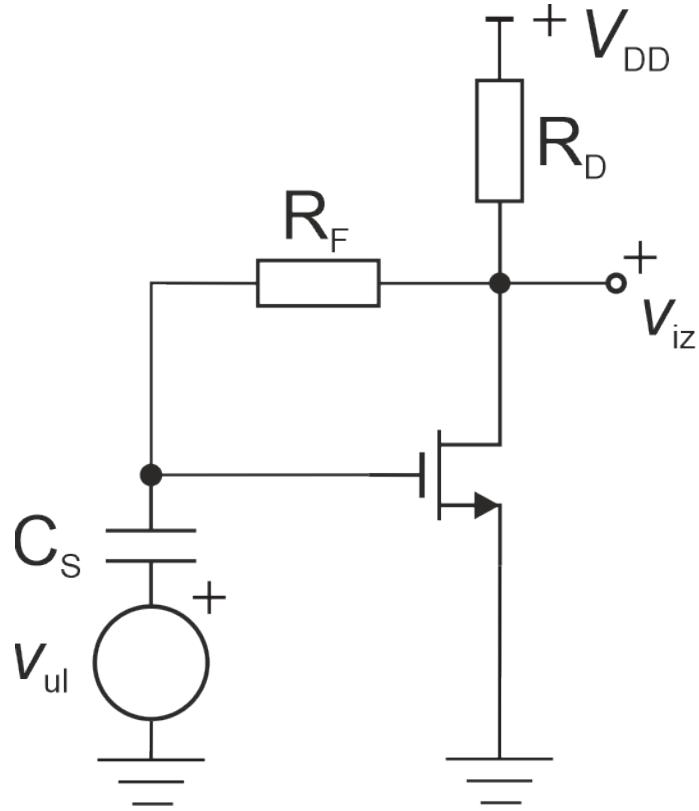
$$\frac{I_{DS}R_D^2}{V_{TH}^2}I_D^2 - \left(\frac{2I_{DS}R_D}{V_{TH}^2}(V_{DD} - V_{TH}) - 1 \right) I_D + \frac{I_{DS}}{V_{TH}^2}(V_{DD} - V_{TH})^2 = 0$$

$$I_D^2 - \left(\frac{2(V_{DD} - V_{TH})}{R_D} - \frac{V_{TH}^2}{I_{DS}R_D^2} \right) I_D + \frac{1}{R_D^2}(V_{DD} - V_{TH})^2 = 0$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{TH}}{R_D} - \frac{V_{TH}^2}{2I_{DS}R_D^2} \left(1 \mp \sqrt{1 - 4I_{DS}R_D \frac{V_{DD} - V_{TH}}{V_{TH}^2}} \right)$$



Kola za polarizaciju

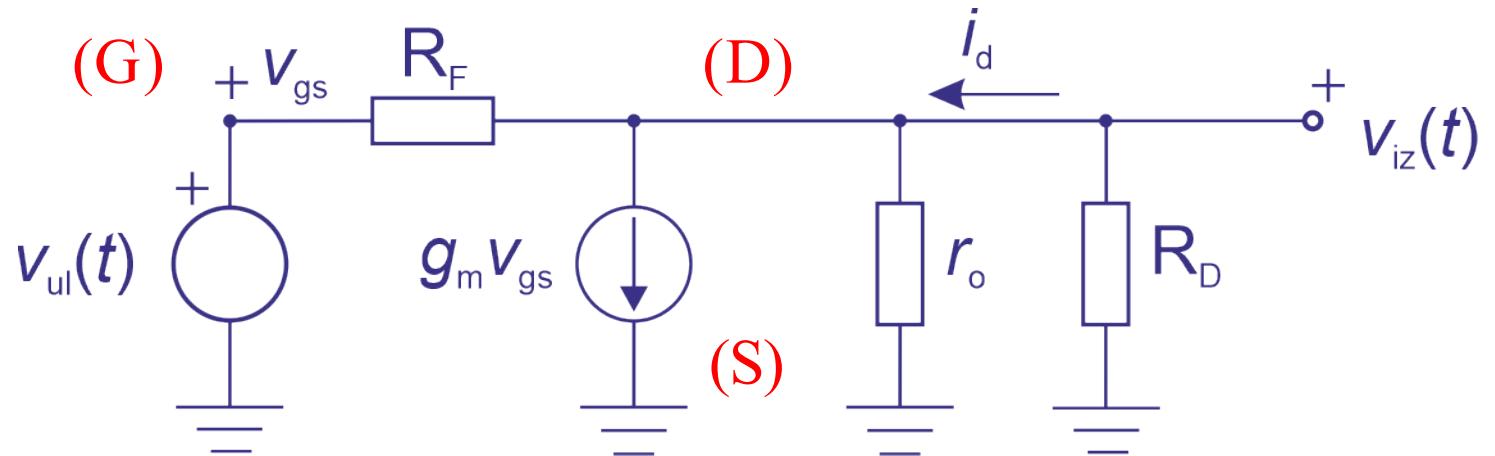


Kola za polarizaciju

$$\frac{v_{iz} - v_{gs}}{R_F} + \frac{v_{iz}}{r_o} + \frac{v_{iz}}{R_D} + g_m v_{gs} = 0 \quad (\text{D})$$

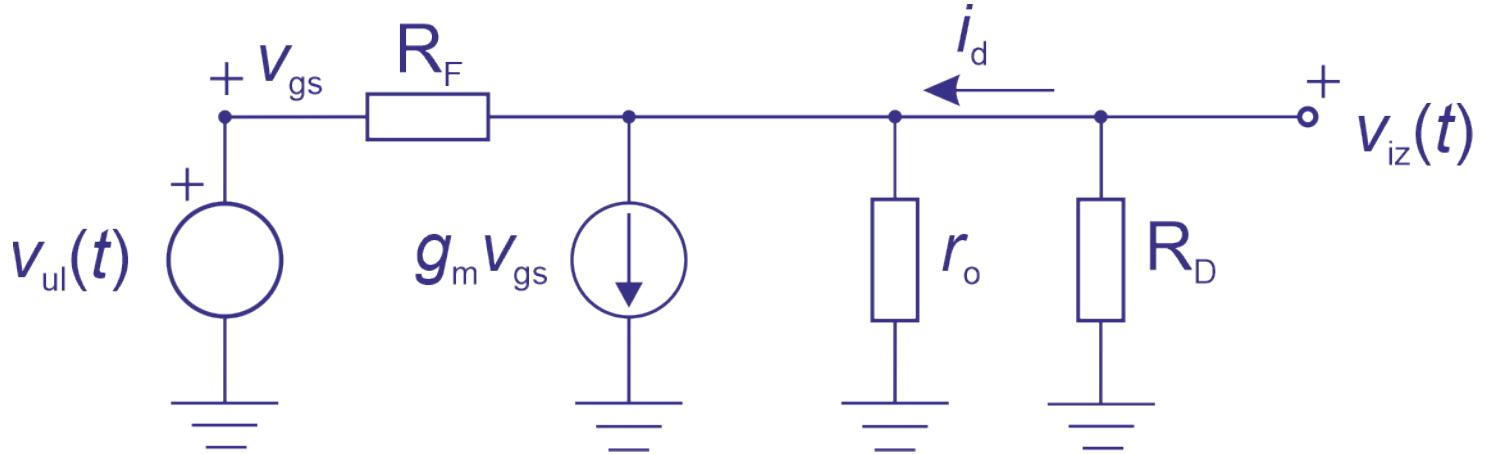
$$v_{gs} = v_{ul} \quad (\text{G})$$

$$v_{iz} \left(\frac{1}{R_F} + \frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_D} \right) = v_{gs} \left(\frac{1}{R_F} - g_m \right)$$

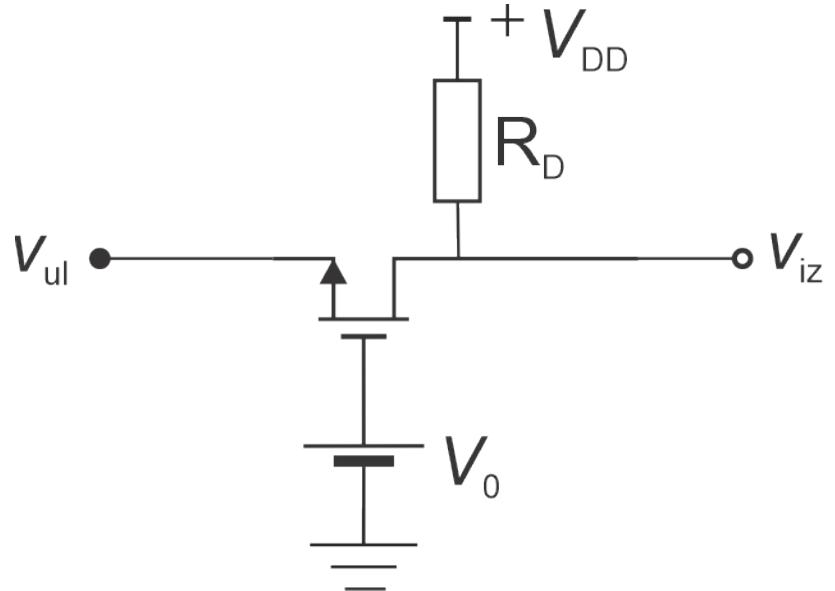


Kola za polarizaciju

$$A = \frac{v_{iz}}{v_{guls}} = -g_m (R_F \parallel r_o \parallel R_D) \left(1 - \frac{1}{g_m R_F} \right)$$



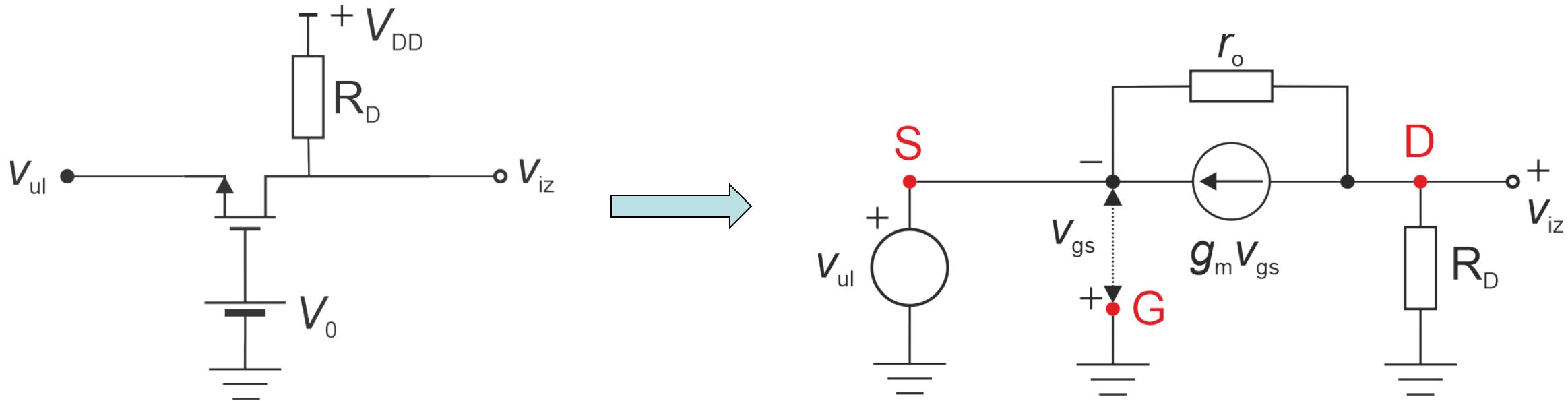
Pojačavač sa zajedničkim gejtom



- Pojačavač sa zajedničkim gejtom je konfiguracija pojačavača sa MOS tranzistorom. Gejt tranzistora je zajednički priključak ulaza i izlaza kola. **Ulagni priključak je sors, izlazni priključak drejn.**
- Značajni parametri su **pojačanje, ulazna i izlazna impedansa**.

Pojačavač sa zajedničkim gejtom

- Kolo za male signale



Pojačavač sa zajedničkim gejtom – pojačanje

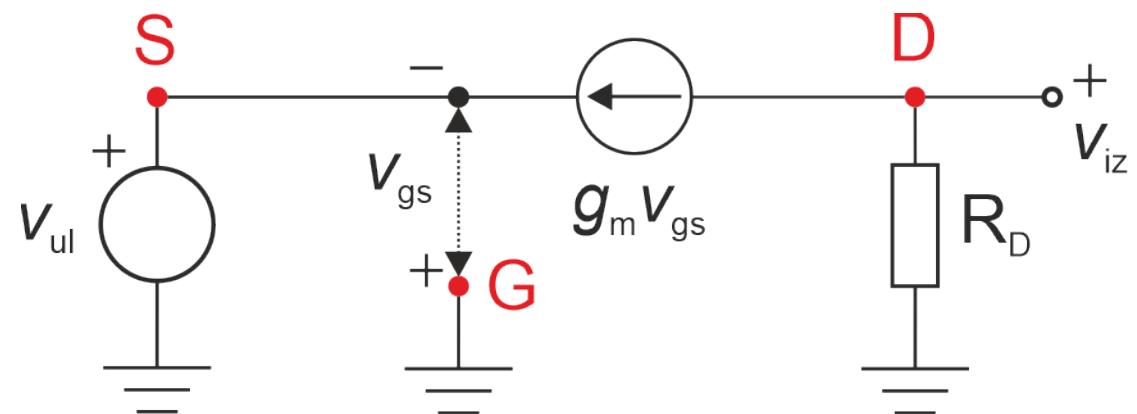
- Kolo za male signale, zanemarićemo modulaciju dužine ($r_o=\infty$).

$$v_{gs} = -v_{ul}$$

$$v_{iz} = -g_m v_{gs} R_D$$

$$v_{iz} = g_m R_D v_{ul}$$

$$A = g_m R_D$$



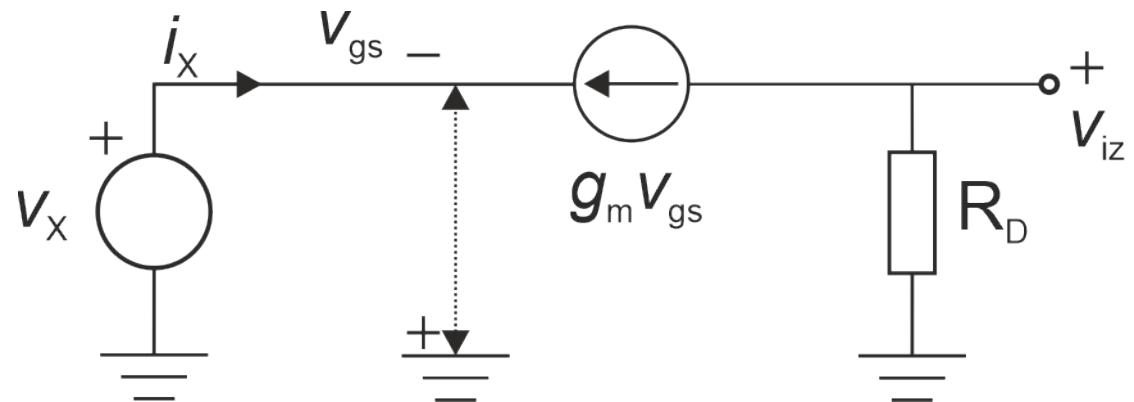
Pojačavač sa zajedničkim gejtom – ul. impedansa R_{ul}

- Kolo za male signale, zanemarićemo modulaciju dužine ($r_o=\infty$).

$$v_x = -v_{gs}$$

$$i_x = -g_m v_{gs}$$

$$R_{ul} = \frac{v_x}{i_x} = \frac{1}{g_m}$$



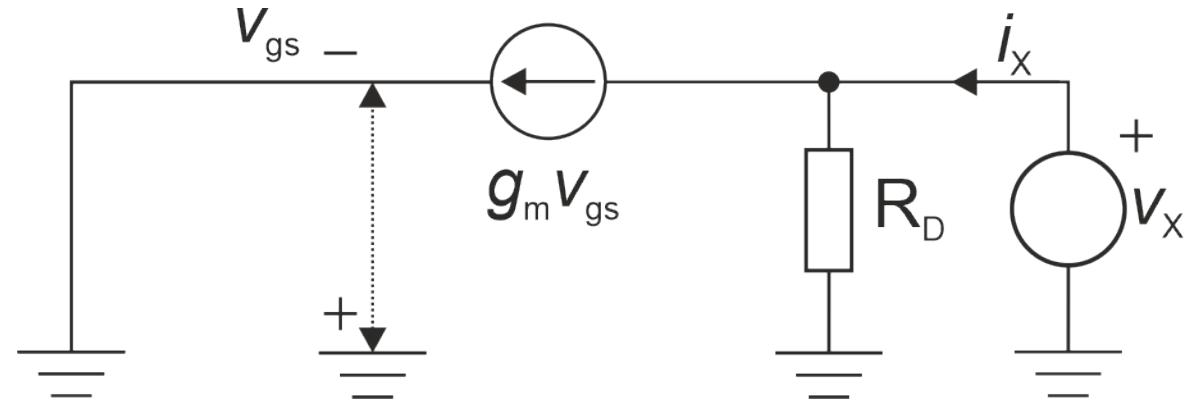
Pojačavač sa zajedničkim gejtom – iz. impedansa R_{iz}

- Kolo za male signale, zanemarićemo modulaciju dužine ($r_o=\infty$).

$$v_{gs} = 0$$

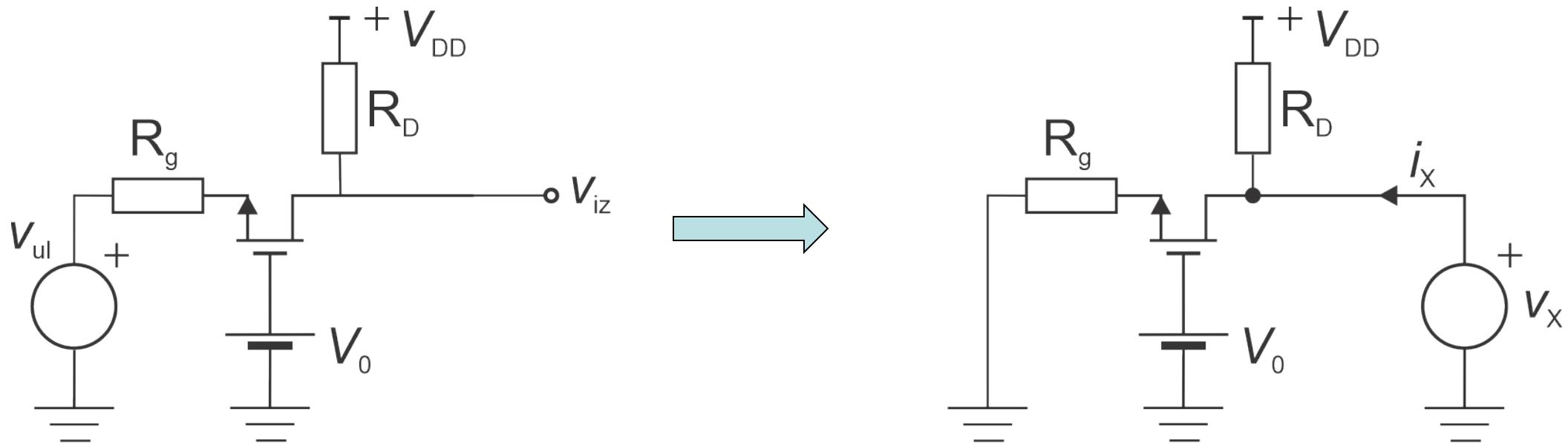
$$i_x = \frac{v_x}{R_D} + g_m v_{gs}$$

$$R_{iz} = R_D$$



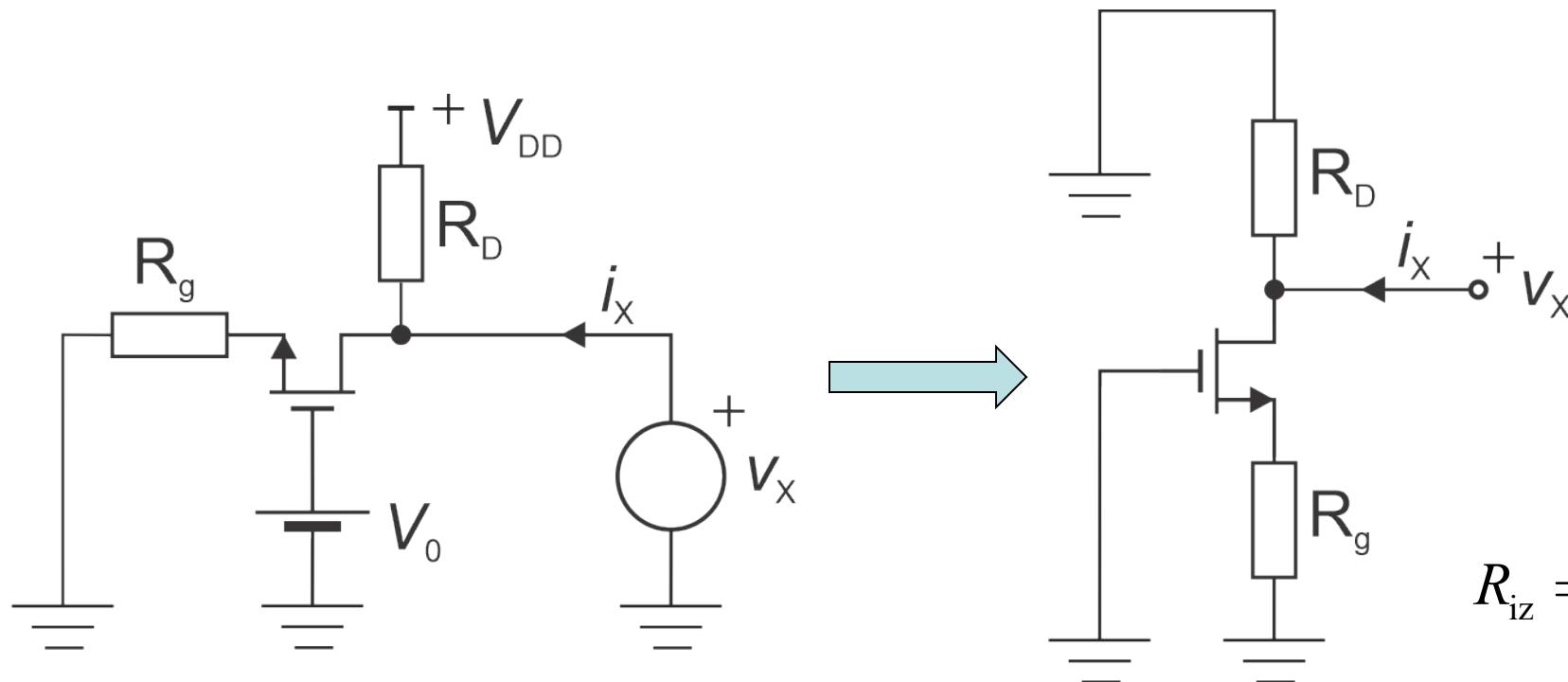
Pojačavač sa zajedničkim gejtom – iz. impedansa R_{iz}

- Uticaj otpornosti izvora signala R_g , na iz. impedansu:



Pojačavač sa zajedničkim gejtom – iz. impedansa R_{iz}

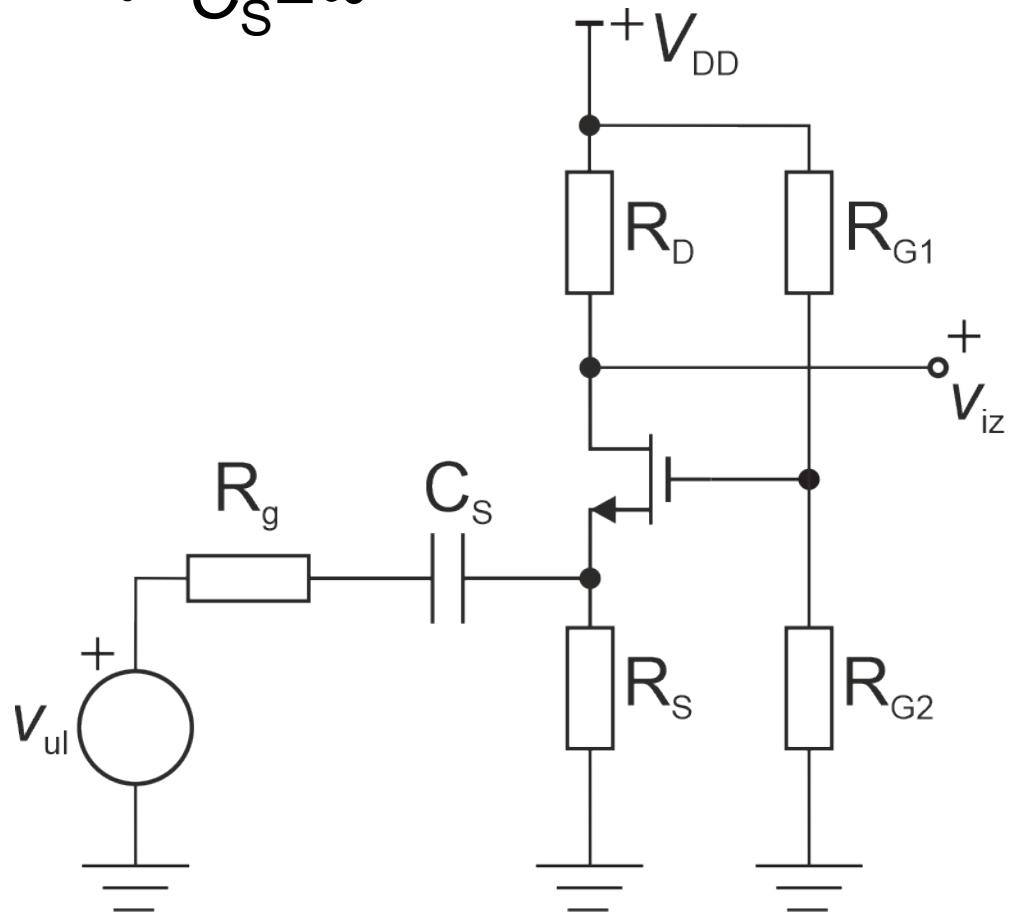
- Kolo je ekvivalentno pojačavaču sa degenerisanim sorsom:



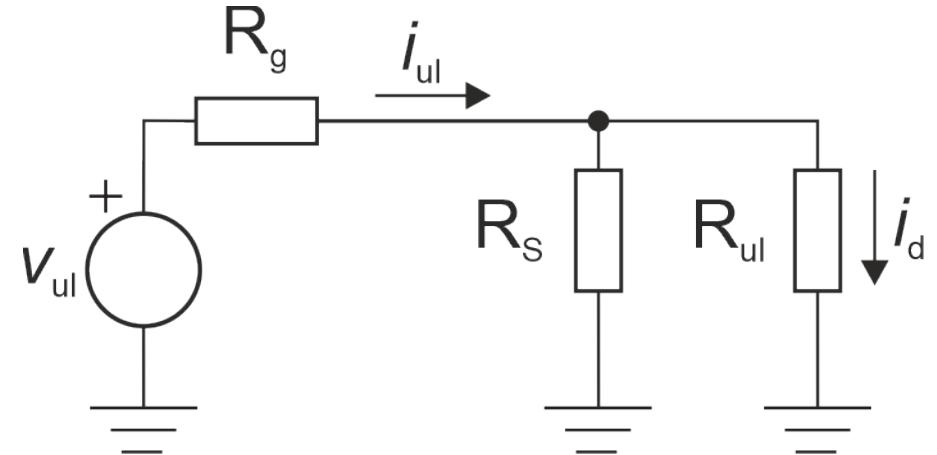
$$R_{iz} = R_D \parallel ((1 + g_m r_o) R_g + r_o)$$

Pojačavač sa zajedničkim gejtom – polarizacija

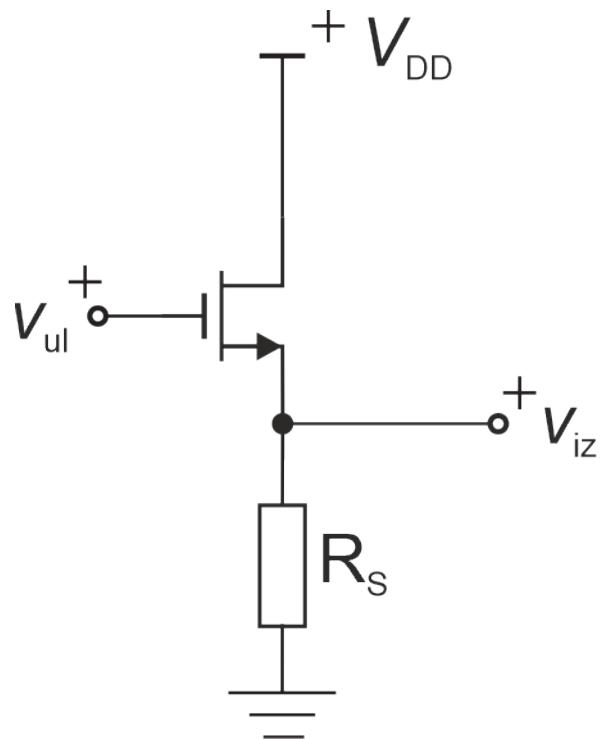
- $C_S = \infty$



$$i_d = \frac{R_s}{R_s + R_{ul}} i_{ul}$$
$$R_s \gg R_{ul}, \quad R_s \gg 1/g_m$$



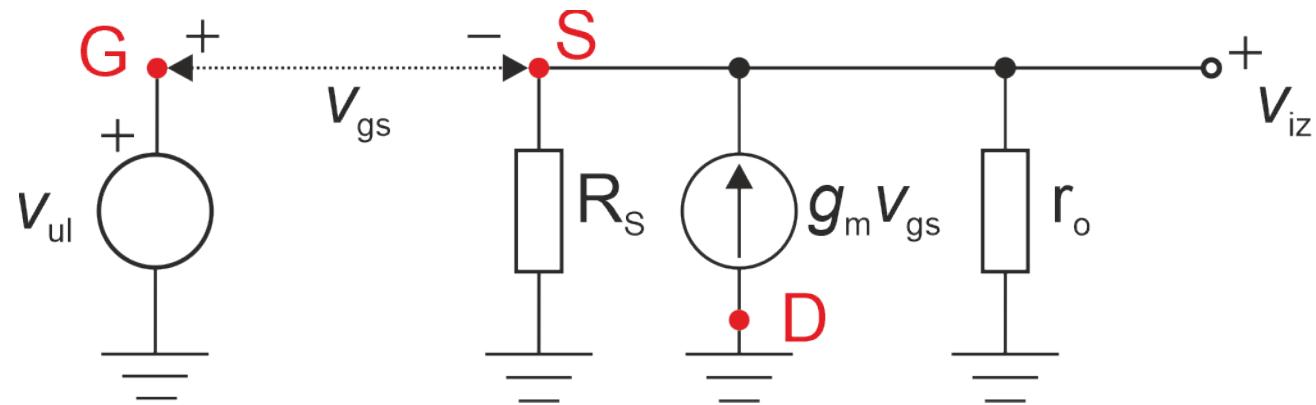
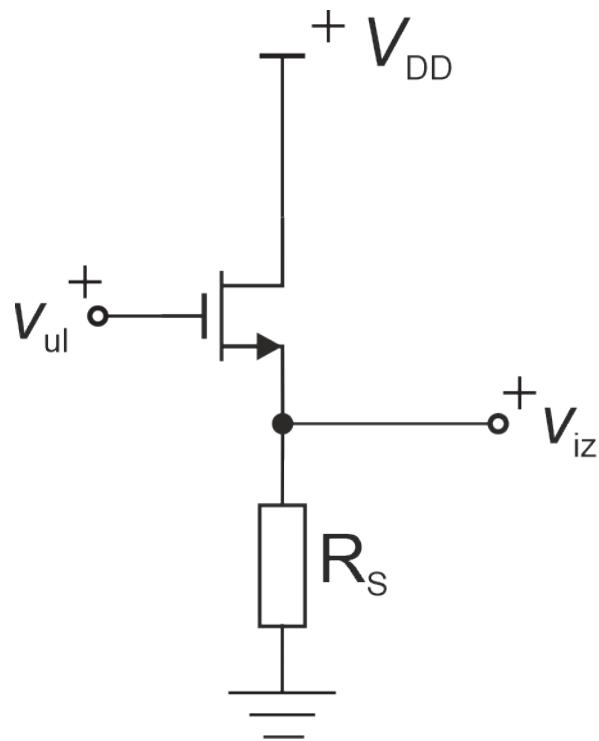
Pojačavač sa zajedničkim drejnom



- Pojačavač sa zajedničkim drejnom je konfiguracija pojačavača sa MOS tranzistorom. Drejn tranzistora je zajednički priključak ulaza i izlaza kola. **Ulagni priključak je gejt, izlazni priključak sors.**
- Značajni parametri su **pojačanje, ulazna i izlazna impedansa**.

Pojačavač sa zajedničkim drejnom

- Kolo za male signale



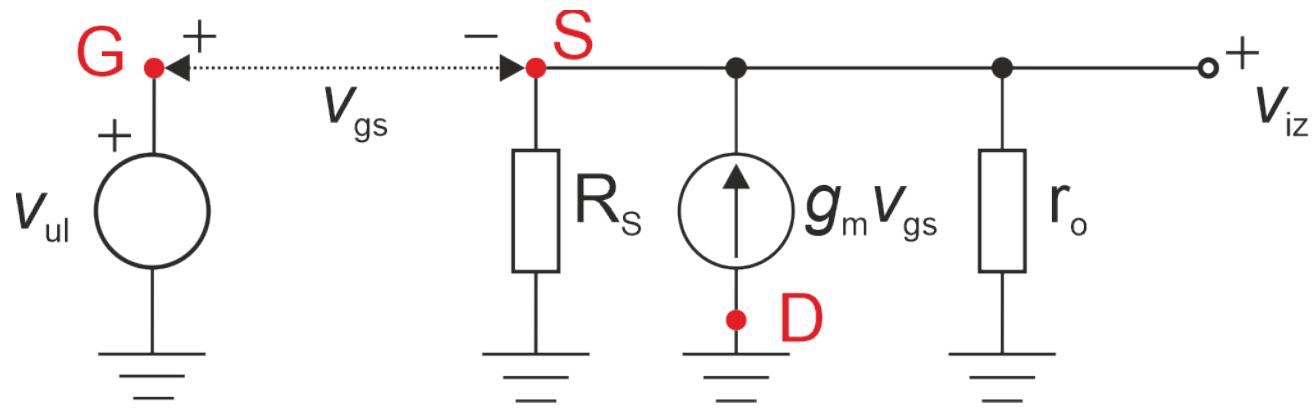
Pojačavač sa zajedničkim drejnom – pojačanje

$$v_{gs} = v_{ul} - v_{iz}$$

$$\frac{v_{iz}}{R_s} + \frac{v_{iz}}{r_o} = g_m v_{gs}$$

$$\frac{v_{iz}}{R_s} + \frac{v_{iz}}{r_o} = g_m v_{ul} - g_m v_{iz}$$

$$v_{iz} \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_o} + g_m \right) = g_m v_{ul}$$



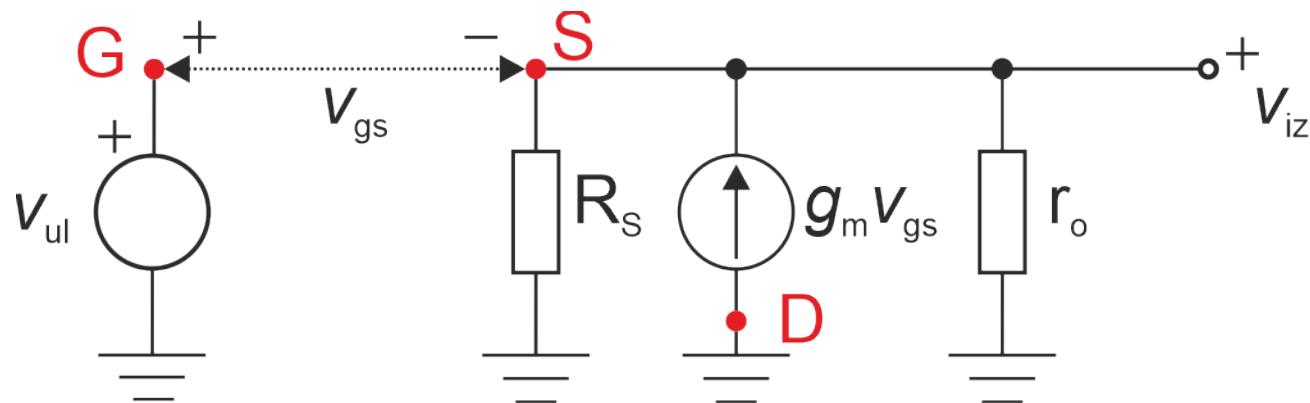
Pojačavač sa zajedničkim drejnom – pojačanje

$$\frac{v_{iz}}{v_{ul}} = \frac{g_m}{\frac{1}{R_S} + \frac{1}{r_o} + g_m} = g_m (R_S \parallel r_o \parallel 1/g_m)$$

$$A = \frac{g_m (R_S \parallel r_o)}{1 + g_m (R_S \parallel r_o)}$$

za $r_o \approx \infty$,

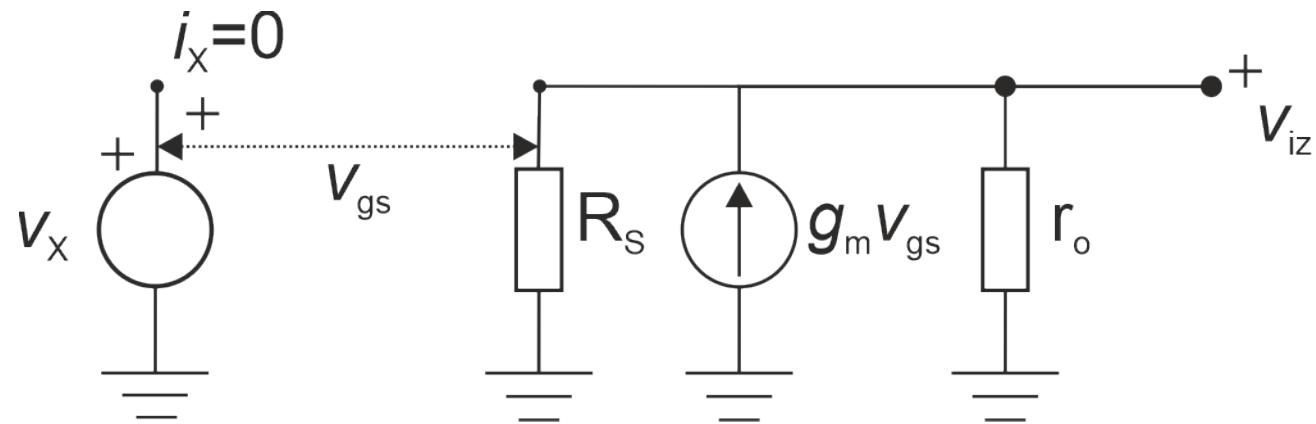
$$A \approx \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{R_S}{1/g_m + R_S} < 1$$



Pojačavač sa zajedničkim drejnom – ulazna imp.

$$i_x = 0$$

$$R_{ul} = \infty$$



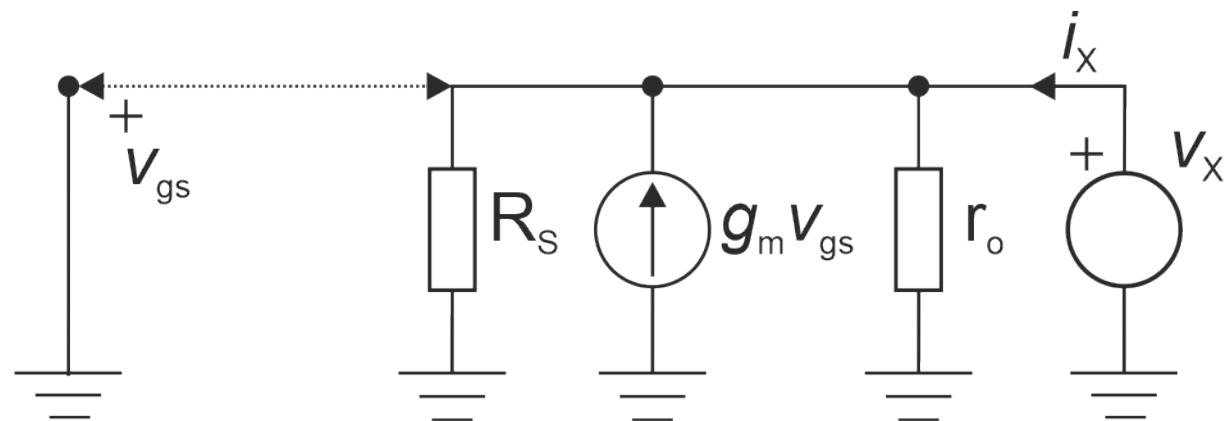
Pojačavač sa zajedničkim drejnom – izlazna imp.

$$v_{gs} = -v_x$$

$$i_x = \frac{v_x}{R_s} + \frac{v_x}{r_o} - g_m v_{gs}$$

$$i_x = \left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_o} + g_m \right) v_x$$

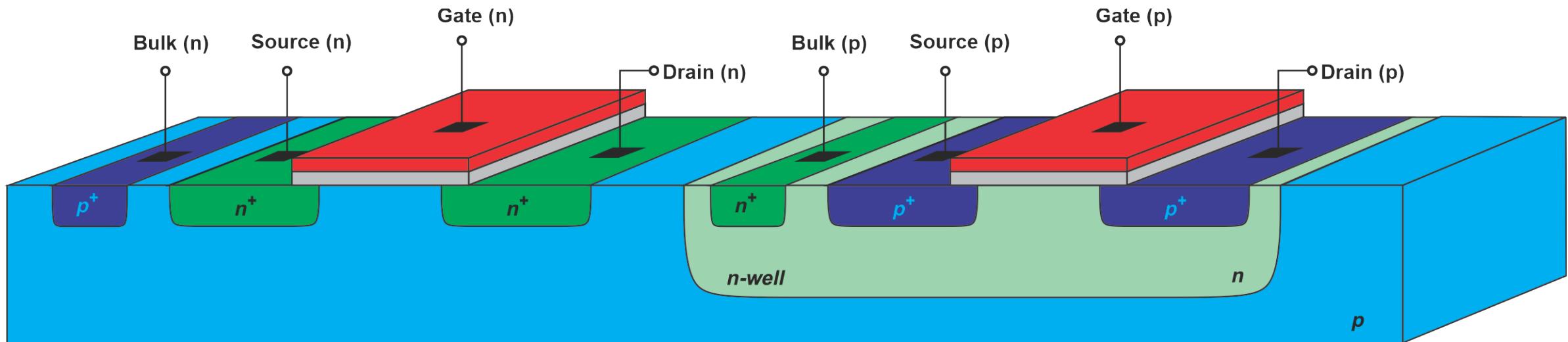
$$R_{iz} = \frac{v_x}{i_x} = R_s \parallel r_o \parallel 1/g_m$$



Poređenje topologija pojačavača sa MOSFET

Topologija	Naponsko pojačanje A	Fazni pomeraj	Ulazna impedansa R_{ul}	Izlazna impedansa R_{iz}
Zajednički sors	$-g_m \cdot (R_D \parallel r_o)$	π	∞	$r_o \parallel R_D$
Degenerisani sors	$-\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S}$	π	∞	$(1 + g_m r_o) R_S + r_o$
Zajednički sors sa naponskim razdelnikom	$-g_m \cdot (R_D \parallel r_o)$	π	$R_{G1} \parallel R_{G2}$	$r_o \parallel R_D$
Zajednički gejt	$g_m \cdot R_D$	0	$1/g_m$	R_D
Zajednički drejn	$\approx \frac{R_S \parallel r_o}{1/g_m + R_S \parallel r_o}$	0	∞	$R_S \parallel r_o \parallel 1/g_m$

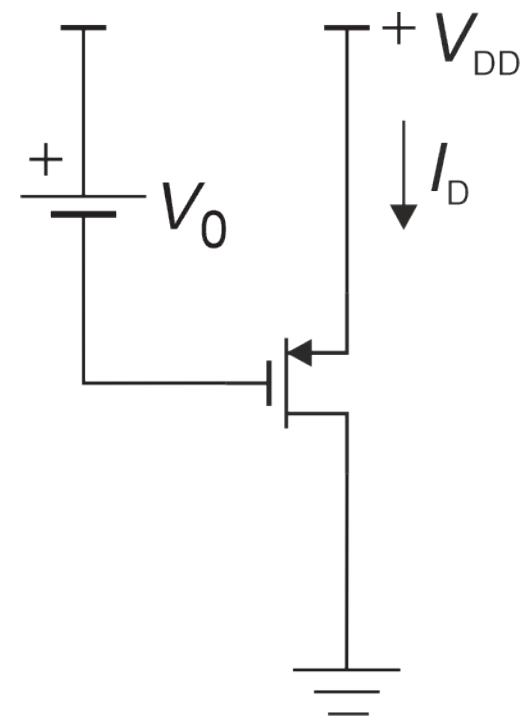
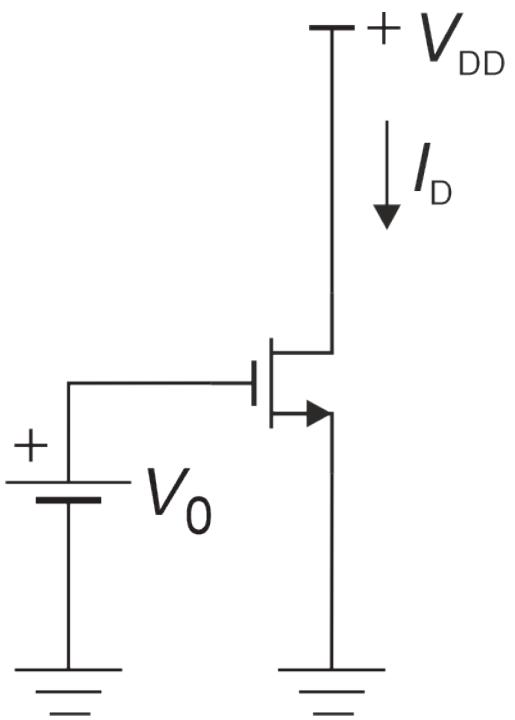
Complementary Metal Oxide Semiconductor – CMOS



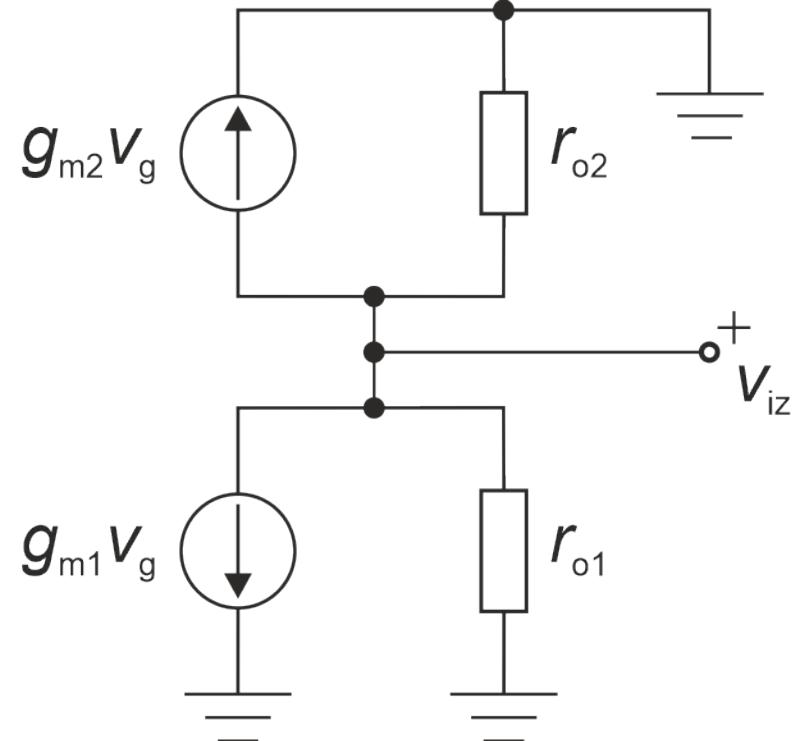
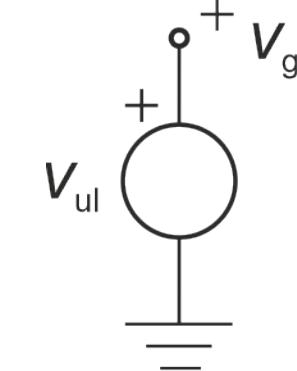
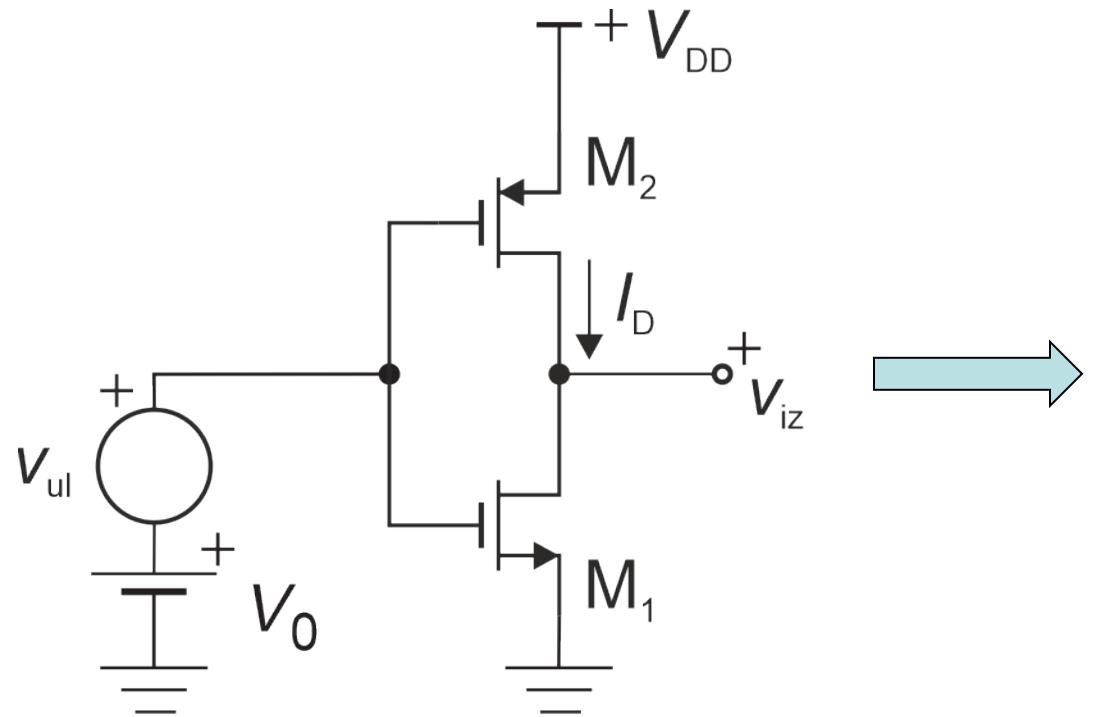
CMOS – polarizacija

- Polarizacija tranzistora, režim zasićenja:
 1. N-MOS: $V_{GS} > V_{TH}$, $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$, V_{TH} je pozitivan, drejn je na višem potencijalu od sorsa ($V_D > V_S$)
 2. P-MOS: $V_{GS} < V_{TH}$, $V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$, V_{TH} je negativan, drejn je na nižem potencijalu od sorsa ($V_D < V_S$)

CMOS – polarizacija



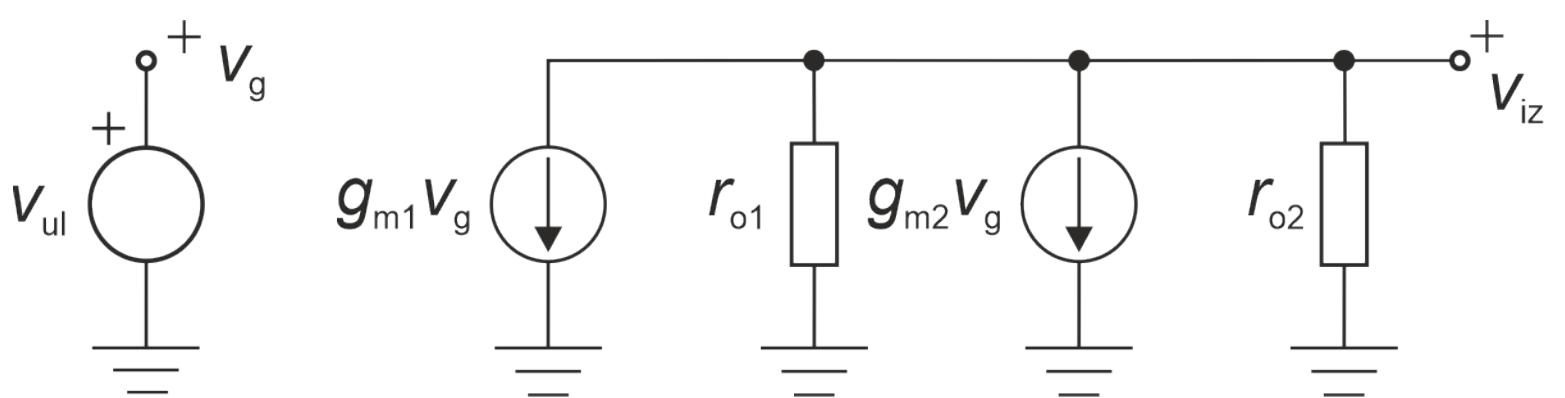
CMOS pojačavač



CMOS pojačavač

$$g_m = g_{m1} + g_{m2}$$

$$r_o = r_{o1} \parallel r_{o2}$$



CMOS pojačavač

$$A = -g_m r_o$$

$$A = -(g_{m1} + g_{m2})(r_{o1} \parallel r_{o2})$$

$$R_{ul} = \infty$$

$$R_{iz} = r_{o1} \parallel r_{o2}$$

