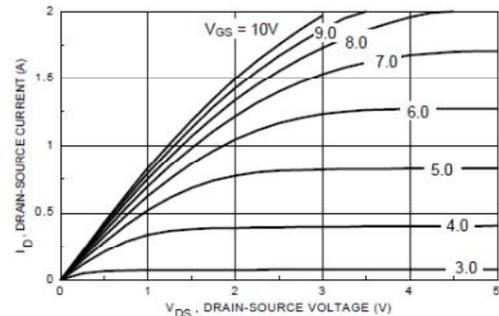


1. Modelovanje MOSFET-a za režim velikih signala

1.1. Matematički model MOSFET-a u režimu zasićenja dat je formulom $I_D = K \cdot (U_{GS} - U_t)^2$.
 Odrediti vrednosti parametara K i U_t za MOSFET tipa *BS170* čije izlazne karakteristike su date na slici!



Rešenje:

Treba uzeti dve tačke na horizontalnom delu dve izlazne karakteristike (u režimu zasićenja je to tipično):

1. tačka: $U_{GS1}=3[V]$, $I_{D1}=70[mA]$;
2. tačka: $U_{GS2}=6[V]$, $I_{D2}=1,27[A]$.

Zamenom tih vrednosti u matematički model MOSFET-a, dolazimo do sledećih jednačina:

$$I_{D1} = K(U_{GS1} - U_t)^2 \Rightarrow 0,07 = K(3 - U_t)^2$$

$$I_{D2} = K(U_{GS2} - U_t)^2 \Rightarrow 1,27 = K(6 - U_t)^2$$

Ako podelimo drugu jednačinu sa prvom, sledi:

$$\frac{1,27}{0,07} = \frac{(6-U_t)^2}{(3-U_t)^2} \Rightarrow 6 - U_t = \sqrt{\frac{1,27}{0,07}} \cdot (3 - U_t) \Rightarrow U_t \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1,27}{0,07}}\right) = 6 - 3 \cdot \sqrt{\frac{1,27}{0,07}}$$

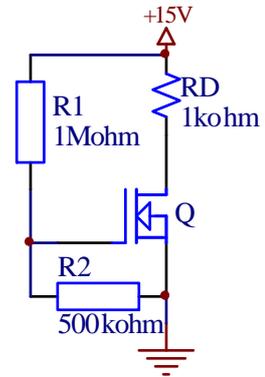
$$U_t = \frac{6 - 3 \cdot \sqrt{\frac{1,27}{0,07}}}{1 - \sqrt{\frac{1,27}{0,07}}} = \frac{-6,778}{-3,259} = 2,0798[V]$$

Zamenom dobijene vrednosti za U_t u jednu od polaznih jednačina, dolazi se do vrednosti za K :

$$K = \frac{1,27}{(6 - U_t)^2} \Rightarrow K = \frac{1,27}{(6 - 2,0798)^2} = 0,0826 \left[\frac{A}{V^2}\right] = 82,6 \left[\frac{mA}{V^2}\right].$$

2. Određivanje radne tačke MOSFET-a na bazi modela za velike signale

2.1. U šemi prikazanoj na slici odrediti vrednosti U_{DS} i I_D koje definišu radnu tačku, pretpostavljajući da MOSFET radi u režimu zasićenja, odnosno važi formula za struju: $I_D = K \cdot (U_{GS} - U_t)^2$! Dato je: $K=1[mA/V^2]$, $U_t=2[V]$.



Rešenje:

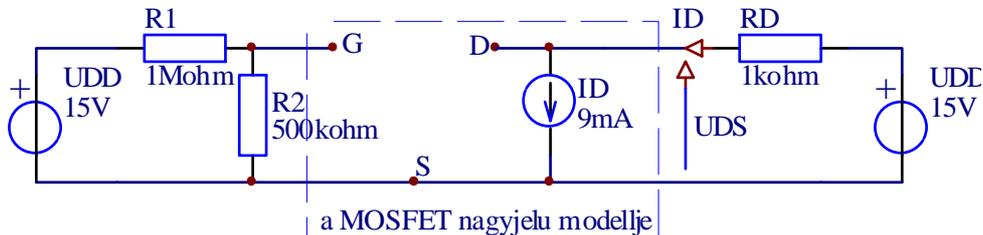
Napon U_{GS} je određen naponskim razdelnikom $R1$, $R2$:

$$U_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 12 = \frac{500 \cdot 10^3}{700 \cdot 10^3 + 500 \cdot 10^3} \cdot 15 = 5[V].$$

Poznavajući napon U_{GS} može se odrediti struja I_D :

$$I_D = K(U_{GS} - U_t)^2 = 10^{-3}(5 - 2)^2 = 9 \cdot 10^{-3} = 9[mA].$$

Na bazi ekvivalentne šeme za režim velikih signala, za izlazno kolo se može napisati sledeća jednačina polazeći od drugog Kirchhoff-ovog zakona:



$$U_{DD} - R_D \cdot I_D - U_{DS} = 0.$$

Odavde sledi:

$$U_{DS} = U_{DD} - R_D \cdot I_D = 15 - 10^3 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 6[V].$$

Pošto za dobijenu vrednost U_{DS} važi $U_{DS} > U_{GS} - U_t$, bila je ispravna pretpostavka da MOSFET radi u režimu zasićenja.

3. Linearni model MOSFET-a za režim malih signala u datoj radnoj tački

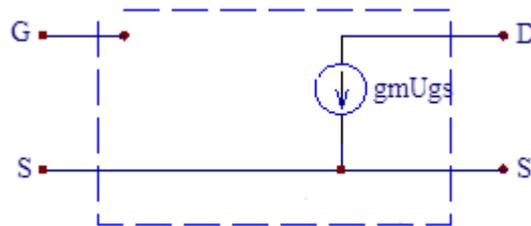
3.1. Odrediti model MOSFET-a za režim malih signala u radnoj tački dobijenoj u zadatku 2.1!

Rešenje:

Jedini parametar modela koji treba izračunati je g_m :

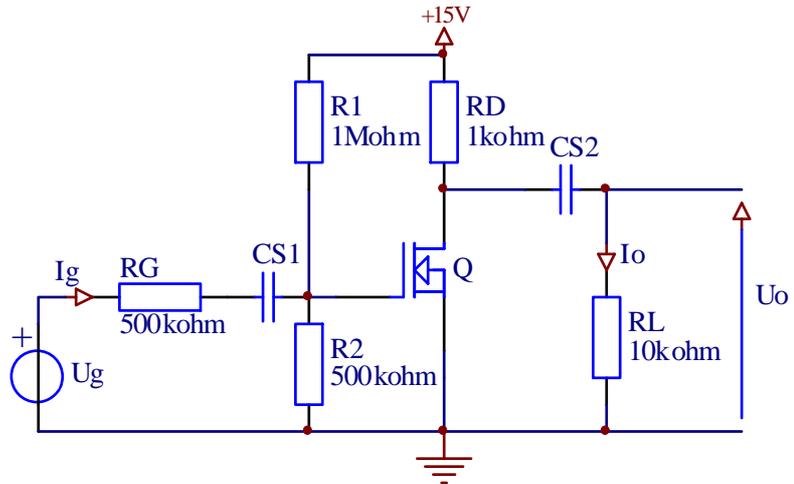
$$g_m = 2K(U_{GS} - U_t) = 2 \cdot 10^{-3} \cdot (5 - 2) = 6 \cdot 10^{-3} = 6[mS].$$

Ekvivalentna šema za režim malih signala je:



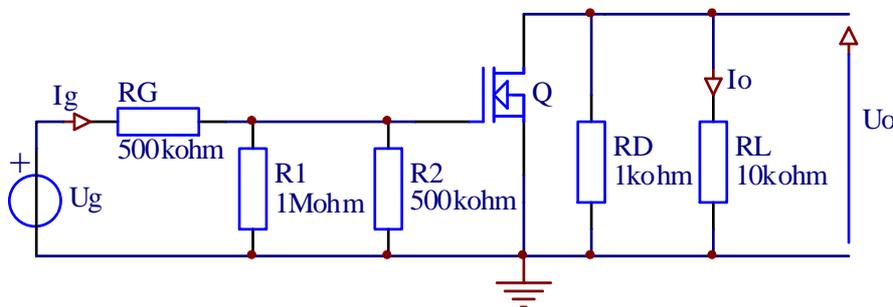
4. Proračun parametara pojačavača sa MOSFET-om

4.1. Na osnovu modela za režim malih signala dobijenog u zadatku 3.1 odrediti naponsko pojačanje i strujno pojačanje ($A_u = u_o/u_g$, $A_i = i_o/i_g$) pojačavačke šeme sa MOSFET-om prikazane na slici!

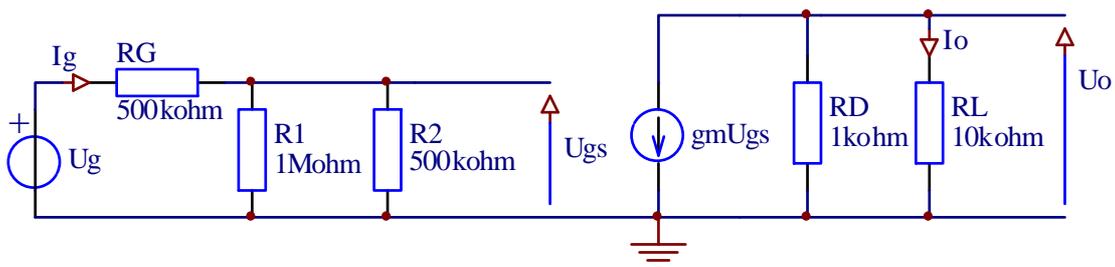


Rešenje:

Prvo se izvor napajanja i sprežni kondenzatori zamene kratkim spojem:



U drugom koraku MOSFET se zameni ekvivalentnom šemom za režim malih signala:



Izlazni napon se dobija kao proizvod struje kontrolisanog izvora u modelu i otpornosti izlaznog kola:

$$u_o = -g_m \cdot u_{gs} \cdot (R_D || R_L) \Rightarrow \frac{u_o}{u_{gs}} = -g_m \cdot (R_D || R_L).$$

Napon u_{gs} se izračunava na bazi naponskog razdelnika u ulaznom kolu:

$$u_{gs} = \frac{R_1 || R_2}{R_1 || R_2 + R_G} \cdot u_g \Rightarrow \frac{u_{gs}}{u_g} = \frac{R_1 || R_2}{R_1 || R_2 + R_G}.$$

Na osnovu prethodnih proračuna važi:

$$A_u = \frac{u_o}{u_g} = \frac{u_o}{u_{gs}} \cdot \frac{u_{gs}}{u_g} = -g_m \cdot (R_D || R_L) \cdot \frac{R_1 || R_2}{(R_1 || R_2) + R_G}.$$

Uvrštavanjem zadatih vrednosti:

$$A_u = -6 \cdot 10^{-3} \cdot (10^3 || 10 \cdot 10^3) \cdot \frac{10^6 || 500 \cdot 10^3}{(10^6 || 500 \cdot 10^3) + 500 \cdot 10^3}$$

$$A_u = -6 \cdot 10^{-3} \cdot 909 \cdot \frac{333 \cdot 10^3}{333 \cdot 10^3 + 500 \cdot 10^3} = -6 \cdot 10^{-3} \cdot 909 \cdot 0,4 = -2,18.$$

Proračun strujnog pojačanje se može povezati sa naponskim pojačanjem:

$$A_i = \frac{i_o}{i_g} = \frac{\frac{u_o}{R_L}}{\frac{u_g}{R_i}} = \frac{u_o}{u_g} \cdot \frac{R_i}{R_L}.$$

R_i je rezultatna otpornost koju vidi ulazni izvor signala:

$$R_i = R_G + (R_1 || R_2) = 500 \cdot 10^3 + (10^6 || 500 \cdot 10^3) = 833 [k\Omega].$$

Prema tome, vrednost strujnog pojačanje je:

$$A_i = -2,18 \cdot \frac{833 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = -181,7.$$