

## Elektronika - zadaci za vježbu (cjelina 2)

### VJ1 - VJ8 (Prijenosne karakteristike MOSFET-a )

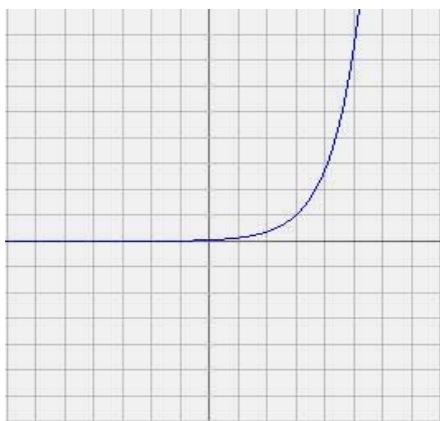
#### Uvod:

Prvih 8 zadataka za vježbu se odnosi na očitavanje parametara sa prijenosne karakteristike u području zasićenja. Zadaci su takva pljuga i nakon riješenih 4-5 možete već u glavi iz crteža skužiti koje će biti rješenje. Što se teorije tiče pogledajte skriptu od str. 174. do str. 183.

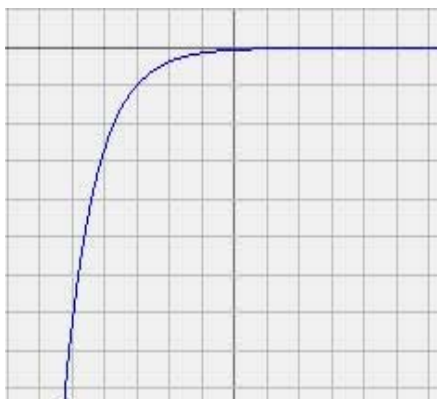
#### Things to know:

Kako odrediti **tip tranzistora** i da li je **obogaćen** ili **osiromašen**. Neću previše ulaziti u teoriju (ne da mi se) pa ovako:

**nmos** ima pozitivno područje rada (1. i 2. kvadrant):



...dok **pmos** funkcioniра samo u negativnom dijelu grafa:



Da li je tranzistor **obogaćen ili osiromašen** isto skužite iz grafa. Osiromašeni mogu raditi sa negativnim naponom  $U_{GS}$ . Kako ja to gledam: ako krivulja siječe y-os (počinje rasti već u negativnom području) onda znate da je osiromašeni tip tranzistora. Evo primjera za osiromašeni nmos:



**Napon praga  $U_{GS0}$**  će vam biti potreban kod ovih zadataka (a i u nastavku) i njega očitate na x-osi u onom trenutku kad krivulja počinje rasti (nmos) ili padati (pmos). Ako bi na slici iznad podjela bila 1V/kvadratu tada bi napon praga  $U_{GS0}$  iznosio cca. -3V.

### Formule:

Pošto tranzistori u ovim zadacima cijelo vrijeme rade u području zasićenja vam treba samo jedna jedina formula i to je za struju  $I_D$ :

$$I_D = \frac{1}{2} \times K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 [mA]$$

...korisno je još izraziti strujni koeficijent K radi lakšeg računanja:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2} [A/V^2]$$

Postoji još jedna važna stvar, a to je da Mirko Fodor voli ćevape što u prvih par zadataka nije bitno =)



**Zadaci:****VJ1:**

Znači sve očitavamo iz grafa. Prvo vidimo da je područje rada u prvom kvadrantu (pozitiva) znači radi se o **nmos-u**. Druga stvar je da krivulja ne siječe y-os pa odma znamo da je **obogaćeni tip**. Eto već pola zadatka gotovo. Sada na računanje. Krivulja počinje rasti kod broja 1 na x-osi znači napon praga  $U_{GS0} = 1V$ .

Na grafu su zadani još neki podaci za točku A:

$$I_D = 0,25mA \text{ i } U_{GS} = 3V$$

...imamo sve što nam treba. Te podatke sad uvrstite u formulu za K:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2} [A/V^2]$$

...i ispada za  $K = 1,25 * 10^{-4} A/V^2$

U točki B je napon  $U_{GS} = 4V$ . Sad imamo  $U_{GS}$ , K i  $U_{GS0}$ . Sve skupa strpamo u formulu za struju:

$$I_D = \frac{1}{2} \times K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 [mA]$$

...i dobivamo  $I_{DB} = 5,625 * 10^{-4}$  što je **0,5625mA**

Gotof zadatak i kaj je najbolje, svih 8 se rješava na istu foru =)

**VJ2:**

Skoro identično sranje kao ovaj prvi...

-obogaćeni nmos,  $U_{GS0} = 1V$

U točki A je struja 1mA i napon 4V pa to sve bacimo u formulu za K i ispada:

$$K = 2,22 * 10^{-4} A/V^2$$

U točki B imamo napon 3V, uvrstimo u formulu za struju i ispada:

$$I_{DB} = 0,44mA$$

**VJ3:**

Ovdje sad imamo malu promjenu. I dalje je to nmos, ali ovaj puta krivulja siječe y-os pa je tip tranzistora osiromašeni. Očitamo  $U_{GS0} = -1V$  (pazite na predznak). Za struju 0,15mA vidimo da je napon 0V i to uvrštavamo u formulu za K. Ispada  $K = 3 * 10^{-4} A/V^2$

Ponovno očitamo podatke u točki B (napon je 0,5V) i slijedi računanje struje:  $I_{DB} = 0,3375mA$

## VJ4:

Apsolutno isti qr... kao zadnji zadatak.

Koeficijent struje ispada  $K = 10^{-3} \text{ A/V}^2$  i rezultat za struju:

$$I_{DB} = 0,125\text{mA}$$

## VJ5:

Ajd konačno mala promjena (ovo je fakat dosadno pisati). Krivulja je sad u negativnom području (negativne struje i naponi) pa se radi o pmos-u i to osiromašenom jer krivulja siječe y-os. Jee, fakat su nas skoro sje\*ali =) Očitamo  $U_{GS0} = +0,5\text{V}$ . Kad je napon 0V imamo struju -0,1mA i računamo K. Mala napomena: kod pmos-a K mora ispast negativan.

Dakle:  $K = -8 * 10^{-4} \text{ A/V}^2$  i konačno struja  $I_{DB} = -0,1\text{mA}$

## VJ6:

Skoro identičan primjer kao zadatak iznad samo što vam sad olakšava formulu za struju u točki B jer je napon tada 0V...

$$K = -2,22 * 10^{-4} \text{ A/V}^2$$

$$I_{DB} = -0,11\text{mA}$$

## VJ7:

I dalje smo u negativnom podr. rada pa imamo pmos, ali ovaj puta obogaćeni jer krivulja ne siječe y-os. Btw, kad bi na usmenom rekli da je razlika između osiromašenog i obogaćenog tipa ta što krivulja kod jednog siječe y-os, a kod drugog ne brijem da bi vas rušili (žena zmaj bi ziher) bez obzira da li je to točno. Eto, čovjek si uvijek voli pojednostavniti stvari. Dalje na zadatak.  $U_{GS0} = -0,5\text{V}$ . Slijedi iz formula:

$$K = -1,2 * 10^{-3} \text{ A/V}^2$$

$$I_{DB} = -1,35\text{mA}$$

## VJ8:

Opet kao u prethodnom primjeru imamo obogaćeni pmos sa naponom praga  $U_{GS0} = -0,75\text{V}$  i rješenje je:

$$K = -3,95 * 10^{-4} \text{ A/V}^2$$

$$I_{DB} = -0,11\text{mA}$$

Eto gotova prva cjelina. Nadam se da vam je pomoglo. Čim napravim ostale stavim na forum. HF =)

## Elektronika - zadaci za vježbu (cjelina 2)

### VJ9 – VJ14 (Izlazne karakteristike MOSFET-a )

#### Uvod:

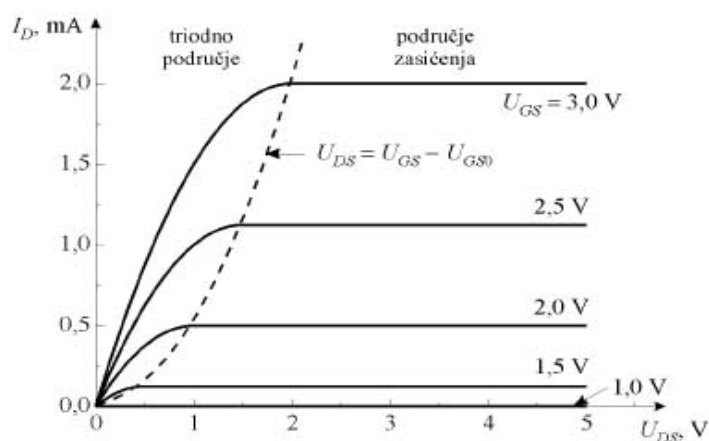
U drugoj cjelini imate 6 zadataka iz prijenosnih karakteristika. Isto su lagani jer sve podatke imate na grafu i sve skupa vam trebaju 4 jednačbe. Bilo bi pametno pročitati 1. tutorial da znate o čemu se radi kad jednom izračunate neku cifru za napon praga  $U_{GS0}$  jer će vam ovdje trebati. Pogledajte u skripti razliku između **triodnog** područja i područja **zasićenja**.

#### Things to know:

Pitaju vas ponovno da li se radi o n/pmos tranzistorima, obogaćenim ili osiromašenim. Dakle nmos tranzistori rade u pozitivnom "režimu" i prepoznate ih po tome što nigdje nema minusa na grafu => i obrnuto za pmos. Da li su osiromašeni ili obogaćeni ćete ovdje tek znati nakon što izračunate  $U_{GS0}$ . Najlakše vam je za zapamtiti da osiromašeni mogu raditi u području izvan "opsega" (nisam znao kak da drukčije nazovem). Npr. ako imate **pmos** tranzistor za kojeg znate da radi sa negativnim naponima/strujama i  $U_{GS0}$  ispada **pozitivan** onda je tranzistor **osiromašenog** tipa. Suprotno vrijedi za **nmos** koji je **osiromašeni** ako vam  $U_{GS0}$  ispada **negativan**.

#### Područje rada:

Kod prijenosnih karakteristika imamo različite slučajeve za triodno područje i područje zasićenja. To se najbolje preko grafa vidi:



U **triodnom području** napon raste do granice koja je određena formulom  $U_{DS} = U_{GS} - U_{GS0}$ . Nakon toga su naponi konstantni (one paralelne crte) i to se zove **podr. zasićenja**. Često vam radne točke budu bile zadane u triodnom području pa morate koristiti drugu formulu koju ću ovdje navest. Dakle područje rada je jedna važna stvar...

### Formule:

Trebaju nam formule za struje u oba područja rada. Samo to =) Iz formula se onda izvode sve ostale gluposti tipa strujni koeficijent K ili  $U_{GS0}$ . Ukupno se koriste samo 4 formule:

Dakle prvo struja u triodnom području:

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right] [mA]$$

Struja u području zasićenja:

$$I_D = \frac{1}{2} K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 [mA]$$

...iz gornje formule izvodimo strujni koeficijent K:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2} [mA/V^2]$$

...sada ono najvažnije. Vidjet ćete na slikama da su vam uvijek zadane točke A i B koje imaju isti napon  $U_{DS}$ , ali različite struje  $I_D$ . 50% posla u svakom zadatku je napisati jednadžbu struje za svaku točku i onda kombinacijom tih jednadžbi dobiti traženo... što je u našem slučaju  $U_{GS0}$ . Sve podatke očitavate iz grafa. Tu formulu ću vam sad izvest pa onda u zadacima samo uvrštavate podatke, ali probajte sami radi vježbe. Nakon 2 zadatka ćete ju znati napamet. Dakle:

...pišemo jednadžbe za struje u točkama A i B:

$$I_{DA} = \frac{1}{2} K \times (U_{GSA} - U_{GS0})^2$$

$$I_{DB} = \frac{1}{2} K \times (U_{GSB} - U_{GS0})^2$$

-----

...te 2 jednadžbe sad podijelimo i ispada:

$$\frac{I_{DA}}{I_{DB}} = \left( \frac{U_{GSA} - U_{GS0}}{U_{GSB} - U_{GS0}} \right)^2$$

...nakon sređivanja i zajebavanja sa predznacima izrazimo  $U_{GS0}$ :

$$U_{GS0} = \frac{U_{GSB} \times \sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - U_{GSA}}{\sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - 1}$$

...i to su sve formule koje nam trebaju (označene crveno). Sad na uvrštavanje podataka iliti zadatke =)

### Zadaci:

#### VJ9:

Kod svakog zadatka prvo pogledajte graf i napišite si sve podatke:

$$\begin{array}{ll} U_{GSA} = 2V & I_{DA} = 1mA \\ U_{GSB} = 1,5V & I_{DB} = 0,25mA \\ U_{GSC} = 2,5V & U_{DSC} = 0,5V \end{array}$$

Da bi znali o kavom je tranzistoru uopće riječ nam prvo treba  $U_{GS0}$ . Koristimo ovu **zadnju formulu** i nakon uvrštavanja zadanih podataka ispada  $U_{GS0} = 1V$ . Podaci na grafu su svi pozitivni i napon praga je također ispao pozitivan pa se radi o **obogaćenom nmos** tranzistoru.

Sljedeća stvar je strujni koeficijent  $K$ . Pošto sad imamo  $U_{GS0}$  možemo birati kod koje točke želimo računati  $K$  jer je tak svejedno. Točke su uvijek zadane u području zasićenja kao i svi potrebni podaci. Iz formule:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2} [mA/V^2]$$

...slijedi  $K = 2mA/V^2$

Sad idemo računati konačnu struju  $I_{DC}$ . Prva stvar na koju treba paziti je radno područje. U ovom zadatku je to očito triodno područje pa koristimo onu veću formulu u kojoj ima i  $U_{DS}$

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$$

Uvrstimo sve podatke i ispada  $I_{DC} = 1,25mA$

## VJ10.

Podaci:

$$\begin{array}{ll} U_{GSA} = 1V & I_{DA} = 0,75mA \\ U_{GSB} = 0V & I_{DB} = 0,25mA \\ U_{GSC} = 2V & U_{DSC} = 1V \end{array}$$

Računamo  $U_{GS0}$ :

$$U_{GS0} = \frac{U_{GSB} \times \sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - U_{GSA}}{\sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - 1}$$

...ispada  $U_{GS0} = -1,37V$ . Uočite negativni predznak. Graf i zadane vrijednosti su sve pozitivna, a napon praga je negativan. Iz toga vidimo da se radi o **osiromašenom nmos** tranzistoru.

Računamo  $K$  po istoj formuli kao u prethodnom zadatku i ispada:

$$K = 0,27mA/V^2$$

Po grafu opet vidimo da smo u triodnom području pa ide velika/mutava formula i konačno je struja u točki C:

$$I_{DC} = 0,78mA$$

## VJ11.

Podaci:

$$\begin{array}{ll} U_{GSA} = 1V & I_{DA} = 0,5mA \\ U_{GSB} = 0V & I_{DB} = 0,1mA \\ U_{GSC} = 2V & U_{DSC} = \text{nije potreban jer je točka C u podr. zasićenja} \end{array}$$

$$U_{GS0} = -0,81V \text{ pa iz toga vidimo da se radi o } \textbf{osiromašenom nmos-u}$$

$$K = 0,31mA/V^2$$

U zasićenju koristimo jednostavniju formulu:

$$I_D = \frac{1}{2}K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2$$

$$\text{...i ispada } I_{DC} = 1,22mA$$



## VJ12:

Podaci:

$$\begin{array}{ll}
 U_{GSA} = -1V & I_{DA} = -0,1mA \\
 U_{GSB} = -1,5V & I_{DB} = -0,25mA \\
 U_{GSC} = -2V & U_{DSC} = -1V
 \end{array}$$

...evo konačno mala promjena. Vrijednosti su sve negativne. To znači da se radi o **pmos** tranzistoru. Da li je obogaćen ili osiromašen ćemo saznati nakon što izračunamo  $U_{GS0}$ . Jedna mala napomena. Možda primjećujete da se sad točka B nalazi iznad točke A. Probao sam preokrenuti onu veliku jednadžbu + samo uvrstiti podatke u prvu i ispada isti rezultat t.d. nije važno. Samo uvrštavate =) Slijedi formula:

$$U_{GS0} = \frac{U_{GSB} \times \sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - U_{GSA}}{\sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - 1}$$

...i ispada:  $U_{GS0} = -0,6V$ . Kako je i napon praga u negativnom području zaključujemo da se radi o **obogaćenom pmos** tranzistoru. Računamo strujni koeficijent i dobivamo:  $K = -1,25mA/V^2$  što je ispravno jer K mora biti negativan kod pmos-a.

Točka C se opet nalazi u triodnom području (velika formula), uvrstimo i ispada:  $I_{DC} = -1,125mA$  što je malo manji rezultat, ali točan jer nastaje pogreška kod zaokruživanja.

## VJ13:

Podaci:

$$\begin{array}{ll}
 U_{GSA} = 0V & I_{DA} = -0,25mA \\
 U_{GSB} = -1V & I_{DB} = -1mA \\
 U_{GSC} = -2V & U_{DSC} = -1V
 \end{array}$$

$U_{GS0} = 1V$  ...podaci su negativni (**pmos**), a napon praga ispada pozitivan pa se radi o **osiromašenom** tranzistoru.  
 $K = -0,5mA/V^2$

Opet triodno područje i u točki C imamo struju:  
 $I_{DC} = -1,25mA$

VJ14:

Podaci:

$$\begin{array}{ll} U_{GSA} = 0V & I_{DA} = -0,15mA \\ U_{GSB} = -0,5V & I_{DB} = -0,6mA \\ U_{GSC} = -1V & U_{DSC} = \text{nije potreban jer je točka C u podr. zasićenja} \end{array}$$

Računamo napon praga:

$U_{GS0} = 0,5V$  i zaključujemo da se radi o **osiromašenom** (pozitivan  $U_{GS0}$ ) **pmos** (negativni podaci) tranzistoru.

$$K = -1,2mA/V^2$$

Sada se točka C nalazi u području zasićenja pa koristimo formulu bez  $U_{DSC}$ :

$$I_D = \frac{1}{2}K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2$$

...i konačno ispada struja:

$$I_{DC} = -1,35mA$$

...eto gotova i druga cjelina. Isto sve pljuga, nadam se da će MI biti takav. Sad dolaze dinamički parametri i tu ima 15 zadataka (!!!) pa ćete se morati malo strpiti dok to sve napišem i stavim u bojice =)  
...ako nađete nekakvu grešku javite pa ću ispraviti... nobody's perfect

## Elektronika - zadaci za vježbu (cjelina 2)

### VJ15 – VJ20 (dinamički parametri MOSFET-a, prijenosne karakteristike)

#### Uvod:

Sljedećih nekoliko zadataka se odnosi na računanje dinamičkih parametara. Cijelu tu skupinu sam podijelio na 2 dijela radi lakšeg snalaženja. Jedan su prijenosne karakteristike, a drugi izlazne. Mala je razlika jedino u očitavanju podataka sa grafa i prepoznavanju područja rada. Dakle, ovo je prvi dio...

#### Things to know:

Postoji 6 važnih stvari koje se u ovoj skupini zadataka računaju. To su **napon praga**  $U_{GS0}$ , **struja**  $I_D$ , **strmina**  $g_m$ , **dinamička izlazna vodljivost**  $g_d$ , **dinamički izlazni otpor**  $r_d$  i **faktor naponskog pojačanja**  $\mu$ . Jako je važno razlikovati područja rada tranzistora jer se neke jednadžbe bitno mijenjaju. Sve ću to ovdje izvesti, ali prvo na najvažnije:

#### Tip tranzistora i $U_{GS0}$ :

Kao i u zadnjim cjelinama vas pitaju da li je tranzistor p- ili nmos, obogaćeni ili osiromašeni. Kod prijenosnih karakteristika je to najmanji problem jer odma vidite iz grafa. Ako ste pročitali zadnjih par tutoriala bi vam to već trebalo biti u malom prstu, ali ću još jednom napisati. **Nmos** tranzistori rade sa pozitivnim naponima i strujama tj, krivulja je u 1. i 2. kvadrantu. Kod **pmos-a** je obrnuta situacija – rade u negativnom režimu (krivulja se nalazi u 3. i 4. kvadrantu). Napon praga  $U_{GS0}$  očitavate na x-osi i to u onom trenutku kada krivulja počinje rasti (nmos) ili padati (pmos). Za negativni  $U_{GS0}$  kod nmos-a znamo da je tranzistor **osiromašenog** tipa kao i za pozitivni  $U_{GS0}$  kod pmos-a. U suprotnom su tranzistori **obogaćenog** tipa.

#### Formule:

Napomenuo sam prije da se formule za ista sranja bitno razlikuju za triodno područje i podr. zasićenja. Zato ću i ovo podijeliti na 2 dijela. Svaki zadatak počinjete prvo sa određivanjem područja, tek nakon toga idete računati traženo.

### Zasićenje

Kad je neka radna točka u zasićenju mora razlika napona  $U_{GS} - U_{GS0}$  biti negativnija/manja (**nmos**) ili pozitivnija/veća (**pmos**) od zadanog napona  $U_{DS}$ .

#### Struja:

Koristimo sličnu formulu kao do sada samo što moramo dodati ovisnost o faktoru modulacije duljine kanala  $\lambda$ .

$$I_D = \frac{1}{2} K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS}) \text{ [mA]}$$

...možemo izraziti i strujni koeficijent:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})} \text{ [mA/V}^2\text{]}$$

#### Strmina $g_m$ :

Strmina je određena kao parcijalna derivacija struje po naponu  $U_{GS}$ . Procedura je jednostavna: raspišete formulu, parcijalno derivirate i kao konačni rezultat ispada:

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 = \sqrt{2K \times I_D} \text{ [A/V]}$$

#### Dinamička izlazna vodljivost $g_d$ :

$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} = \lambda \times I_D \text{ [A/V]}$$

#### Dinamički izlazni otpor $r_d$ :

$$r_d = \frac{1}{g_d} \text{ [\Omega]}$$

#### Naponsko pojačanje:

$$\mu = g_m \times r_d \text{ ...nema mjerne jedinice (koeficijent)}$$

**Triodno područje**

Za razliku od zasićenja mora razlika napona  $U_{GS} - U_{GS0}$  biti pozitivnija/veća (nmos) ili negativnija/manja (pmos) od zadanog napona  $U_{DS}$ .

**Struja:**

Formula za struju u triodnom području je identična formuli koju smo koristili u prošloj cjelini:

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right] [mA]$$

...izrazimo strujni koeficijent:

$$K = \frac{I_D}{(U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2} [mA/V^2]$$

Pošto sad imamo drukčiju formulu za struju se parcijalne derivacije mijenjaju...

**Strmina  $g_m$ :**

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = K \times U_{DS} [A/V]$$

**Dinamička izlazna vodljivost  $g_d$ :**

$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} = K \times (U_{GS} - U_{GS0} - U_{DS}) [A/V]$$

Formule za izlazni dinamički otpor i naponsko pojačanje su **identične** kao za područje zasićenja.

...to je sve što se tiče formula i teorije, sad idemo na zadatke =)

**Zadaci:**

Ovako. Opet se svi zadaci rješavaju na istu foru. Prvo iz crteža odredite koji je tip tranzistora i napon praga  $U_{GS0}$ . Nakon toga imate neku točku u kojoj su zadani svi podaci (najčešće A). Oduzmete napon praga  $U_{GS0}$  od zadanog napona u točki i pogledate u kojem području radi tranzistor (triodno ili zasićenje). Ovisno o području odaberete jednu od formula za strujni koeficijent  $K$  i njega izračunate. Sad dolazi tražena točka B na red. Opet prvo odredite područje rada, a zatim izračunate struju i sve ostale parametre. Većina se svodi na uvrštavanje u ove gotove formule. Ajmo redom...

**Napomena:**

Ja sam pri rješavanju dosta zaokruživao rezultate pa se u konačnim vrijednostima može javiti pogreška do 5% u odnosu na napisana rješenja u zadacima. Probajte sami rješavati pa budete vidjeli kako će vam ispadati. Uglavnom je sve točno =)

**VJ15.**

Podaci:

$$\lambda = 10^{-2} \text{ V}^{-1}$$

$$U_{DS} = 2,5 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 3 \text{ V} \quad I_{DA} = 0,15 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = 1 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = 4 \text{ V}$$

-----

Iz grafa vidimo da se radi o obogaćenom nmos-u

**Točka A:**

Prvo određujemo područje rada...

$$U_{GSA} - U_{GS0} = 2 \text{ V} < U_{DS} \Rightarrow \text{zasićenje}$$

Koristimo sljedeću formulu za  $K$ :

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})}$$

...i ispada  $K = 73,17 \text{ } \mu\text{A/V}^2$

**Točka B:**

$U_{GSB} - U_{GS0} = 3 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow$  triodno područje

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$$

$$I_{DB} = 0,32 \text{ mA}$$

$$g_m = K \times U_{DS}$$

$$g_m = 0,183 \text{ mA/V}$$

$$g_d = K \times (U_{GS} - U_{GS0} - U_{DS})$$

$$g_d = 36,6 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = \frac{1}{g_d}$$

$$r_d = 27,3 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = g_m \times r_d$$

$$\mu = 5$$

...eto kakva pljuga od zadatka, a svi su na istu foru =)

**VJ16.**

Podaci:

$$\lambda = 5 \times 10^{-3} \text{ V}^{-1}$$

$$U_{DS} = 8 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 2 \text{ V} \quad I_{DA} = 0,1 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = 1 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = 4 \text{ V}$$

-----  
Opet obogaćeni nmos

**Točka A:**

$U_{GSA} - U_{GS0} = 1 \text{ V} < U_{DS} \Rightarrow$  zasićenje

$$K = 0,192 \text{ mA/V}^2$$

**Točka B:**

$U_{GSB} - U_{GS0} = 3 \text{ V} < U_{DS} \Rightarrow$  **zasićenje**

...koristimo druge formule:

$$I_D = \frac{1}{2} K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})$$

$$I_{DB} = 0,9 \text{ mA}$$

$$g_m = \sqrt{2K \times I_D}$$

$$g_m = 0,6 \text{ mA/V}$$

$$g_d = \lambda \times I_D$$

$$g_d = 4,5 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 223 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 134$$

VJ17.

Podaci:

$$\lambda = 5 \times 10^{-3} \text{ V}^{-1}$$

$$U_{DS} = 1 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 0 \text{ V} \quad I_{DA} = 0,1 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = -0,5 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = 1 \text{ V}$$

-----  
Osiromašeni nmos

**Točka A:**

$U_{GSA} - U_{GS0} = 0,5 \text{ V} < U_{DS} \Rightarrow$  **zasićenje**

$$K = 0,8 \text{ mA/V}^2$$

**Točka B:**

$U_{GSB} - U_{GS0} = 1,5 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow$  **triodno podr.**

$$I_{DB} = 0,8 \text{ mA}$$

$$g_m = 0,8 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 0,4 \text{ mA/V}$$

$$r_d = 2,5 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 2$$



## VJ18.

Podaci:

$$\lambda = -5 \cdot 10^{-3} \text{ V}^{-1}$$

$$U_{DS} = -4 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 0 \text{ V} \quad I_{DA} = -0,2 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = 1 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = -2 \text{ V}$$

-----  
Osiromašeni pmos

Točka A:

$$U_{GSA} - U_{GS0} = -1 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow \text{zasićenje}$$

$$K = -0,4 \text{ mA/V}^2$$

Točka B:

$$U_{GSB} - U_{GS0} = -3 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow \text{zasićenje}$$

$$I_{DB} = -1,84 \text{ mA}$$

$$g_m = 1,21 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 9,2 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 109 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 132$$

## VJ19.

Podaci:

$$\lambda = -5 \cdot 10^{-3} \text{ V}^{-1}$$

$$U_{DS} = -4 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = -1,5 \text{ V} \quad I_{DA} = -0,25 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = -0,5 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = -2 \text{ V}$$

-----  
Obogaćeni pmos

Točka A:

$$U_{GSA} - U_{GS0} = -1 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow \text{zasićenje}$$

$$K = -0,5 \text{ mA/V}^2$$

Točka B:

$$U_{GSB} - U_{GS0} = -1,5 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow \text{zasićenje}$$

$$I_{DB} = -0,573 \text{ mA}$$

$$g_m = 0,76 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 2,865 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 350 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 266$$

VJ20.

Podaci:

$$\lambda = -10^{-3} \text{ V}^{-1}$$

$$U_{DS} = -2,5 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = -3 \text{ V} \quad I_{DA} = -0,5 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = -1 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = -4 \text{ V}$$

-----  
Obogaćeni pmos

**Točka A:**

$$U_{GSA} - U_{GS0} = -2 \text{ V} > U_{DS} \Rightarrow \text{zasićenje}$$

$$K = -0,25 \text{ mA/V}^2$$

**Točka B:**

$$U_{GSB} - U_{GS0} = -3 \text{ V} < U_{DS} \Rightarrow \text{triодно podr.}$$

$$I_{DB} = -1,09 \text{ mA}$$

$$g_m = 0,63 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 0,125 \text{ mA/V}$$

$$r_d = 8 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 5$$

## Elektronika - zadaci za vježbu (cjelina 2)

### VJ21 – VJ28 (dinamički parametri MOSFET-a, izlazne karakteristike)

#### Uvod:

Ovo je nastavak 3. cjeline. Traže se isto dinamički parametri, ali ovaj puta na izlaznim karakteristikama. Opet 90% stvari možete očitati na grafu i vidite da li je točka u zasićenju ili u triodnom području.

#### Things to know:

Ponovno će vas tražiti strmine, vodljivosti, otpore i kaj ja znam kakva još sranja, ali ovaj puta morate sami računati  $\lambda$  (faktor modulacije duljine kanala). Jedan lagani izvod kakav je i bio za  $U_{GS0}$  samo formula na kraju ispadne puno jednostavnija. O tome kasnije u formulama. U zadacima 21-24 imate 2 točke zadane. Pomoću njih treba izračunati nešto (strujni koeficijent  $K$  i  $\lambda$ ) čime onda odredite parametre u 3. točki. U ostalim zadacima imate  $\lambda$  zadan + strminu  $g_m$  i onda iz toga trebate dobiti  $K$  pa dalje struju i parametre. Ajmo na formule i izvode:

#### Formule:

Opet su formule različite za zasićenje i triodno područje:

#### Zasićenje

Kad je neka radna točka u zasićenju mora razlika napona  $U_{GS} - U_{GS0}$  biti negativnija/manja (**nmos**) ili pozitivnija/veća (**pmos**) od zadanog napona  $U_{DS}$ . Ovdje vas boli kita jer vidite odma na grafu =)

#### Struja:

Ostaje i dalje ista formula:

$$I_D = \frac{1}{2} K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS}) \text{ [mA]}$$

...možemo izraziti i strujni koeficijent:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})} \text{ [mA/V}^2\text{]}$$

...ovaj puta moramo još dodati ovisnost koeficijenta o strmini  $K$  ( $g_m$ ) jer će nam to trebati u zadacima:

$$K = \frac{g_m}{(U_{GS} - U_{GS0}) \times \sqrt{1 + \lambda \times U_{DS}}} \text{ [mA/V}^2\text{]}$$

**Faktor modulacije duljine kanala  $\lambda$ :**

Počinjete od struja odvoda za svaku zadanu točku:

$$I_{DB} = \frac{1}{2} K \times (U_{GSB} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DSB})$$

$$I_{DA} = \frac{1}{2} K \times (U_{GSA} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DSA})$$

-----

...te 2 jednadžbe sad podijelite i pokrate vam se strujni koeficijenti i zagrade sa kvadratom (to zato jer u zadacima imate uvijek 2 točke zadane sa istim  $U_{GS}$  naponom):

$$\frac{I_{DB}}{I_{DA}} = \left( \frac{1 + \lambda \times U_{DSB}}{1 + \lambda \times U_{DSA}} \right)$$

...nakon sređivanja dobivate konačnu formulu za  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{I_{DA} - I_{DB}}{I_{DB} \times U_{DSA} - I_{DA} \times U_{DSB}} \text{ [V}^{-1}\text{]}$$

**Strmina  $g_m$ :**

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = K \times (U_{GS} - U_{GS0}) = \sqrt{2K \times I_D} \text{ [A/V]}$$

**Dinamička izlazna vodljivost  $g_d$ :**

$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} = \lambda \times I_D \text{ [A/V]}$$

**Dinamički izlazni otpor  $r_d$ :**

$$r_d = \frac{1}{g_d} [\Omega]$$

**Naponsko pojačanje:**

$$\mu = g_m \times r_d \text{ ...nema mjerne jedinice (koeficijent)}$$

...to je sve što nam treba za područje zasićenja.

### **Triodno područje**

Za razliku od zasićenja mora razlika napona  $U_{GS} - U_{GS0}$  biti pozitivnija/veća (**nmos**) ili negativnija/manja (**pmos**) od zadanog napona  $U_{DS}$ .

**Struja:**

Formula za struju u triodnom području je identična formuli koju smo koristili u prošloj cjelini:

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right] [mA]$$

...izrazimo strujni koeficijent:

$$K = \frac{I_D}{(U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2} [mA/V^2]$$

...opet nam treba ovisnost K ( $g_m$ ):

$$K = \frac{g_m}{U_{DS}} [mA/V^2]$$

**Strmina  $g_m$ :**

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = K \times U_{DS} [A/V]$$

**Dinamička izlazna vodljivost  $g_d$ :**

$$g_d = \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} = K \times (U_{GS} - U_{GS0} - U_{DS}) [A/V]$$

Formule za izlazni dinamički otpor i naponsko pojačanje su **identične** kao za područje zasićenja.

**Zadaci:****VJ21:**

Podaci:

$$U_{GS0} = -0,5 \text{ V}$$

$$U_{DSA} = 2 \text{ V}$$

$$I_{DA} = 1 \text{ mA}$$

$$U_{DSB} = 3 \text{ V}$$

$$I_{DB} = 1,01 \text{ mA}$$

$$U_{GSA} = U_{GSB} = 1 \text{ V}$$

$$U_{DSC} = 0,5 \text{ V}$$

$$U_{GSC} = 2 \text{ V}$$

-----  
 -svi podaci su pozitivni, a  $U_{GS0}$  je negativan pa se radi o osiromašenom nmos tranzistoru

Prvo računamo  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{I_{DA} - I_{DB}}{I_{DB} \times U_{DSA} - I_{DA} \times U_{DSB}}$$

$$\dots \text{ispada: } \lambda = 10,20 \text{ mV}^{-1}$$

Proizvoljno odaberemo podatke jedne točke (A ili B) jer su obje u zasićenju i računamo strujni koeficijent K:

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})}$$

$$\dots \text{ispada: } K = 0,87 \text{ mA/V}^2$$

**Točka C:**

Iz grafa vidimo da se točka nalazi u triodnom području pa koristimo sljedeću formulu:

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$$

...sve podatke imamo i ispada:

$$I_{DC} = 0,98 \text{ mA}$$

Formule za dinamičke parametre također odabiremo ovisno o području rada:

$$g_m = K \times U_{DS}$$

$$g_m = 0,44 \text{ mA/V}$$

$$g_d = K \times (U_{GS} - U_{GS0} - U_{DS})$$

$$g_d = 1,74 \text{ mA/V}$$

$$r_d = 574 \text{ } \Omega$$

$$\mu = 0,25$$

## VJ22:

Podaci:

$$U_{GS0}=0,5 \text{ V}$$

$$U_{DSA}=2 \text{ V} \quad I_{DA}=0,5 \text{ mA}$$

$$U_{DSB}=3 \text{ V} \quad I_{DB}=0,505 \text{ mA}$$

$$U_{GSA}=U_{GSB}=1,5 \text{ V}$$

$$U_{DSC}=3 \text{ V} \quad U_{GSC}=2 \text{ V}$$

-----  
Sve pozitivna pa je obogaćeni nmos.

$$\lambda = \frac{I_{DA} - I_{DB}}{I_{DB} \times U_{DSA} - I_{DA} \times U_{DSB}}$$

$$\dots \text{ispada: } \lambda = 10,20 \text{ mV}^{-1}$$

$$K = \frac{2I_D}{(U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})}$$

$$K = 0,98 \text{ mA/V}^2$$

Točka C:

Ovaj puta je točka u zasićenju pa koristimo druge formule:

$$I_D = \frac{1}{2} K \times (U_{GS} - U_{GS0})^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})$$

$$I_{DC} = 1,136 \text{ mA}$$

$$g_m = \sqrt{2K \times I_D}$$

$$g_m = 1,5 \text{ mA/V}$$

$$g_d = \lambda \times I_D$$

$$g_d = 11,6 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 86,3 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 130$$

...zbog zaokruživanja postoji mala pogreška do 5%

## VJ23:

Podaci:

$$\begin{aligned}
 U_{GS0} &= 1 \text{ V} \\
 U_{DSA} &= -4 \text{ V} & I_{DA} &= -0,498 \text{ mA} \\
 U_{DSB} &= -6 \text{ V} & I_{DB} &= -0,5 \text{ mA} \\
 U_{GSA} &= U_{GSB} = -1,5 \text{ V} \\
 U_{DSC} &= -1 \text{ V} & U_{GSC} &= -2 \text{ V}
 \end{aligned}$$


---

Sve negativno osim  $U_{GS0}$  pa je tip tranzistora **osiromašeni pmos**

$$\begin{aligned}
 \lambda &= -2,02 \text{ mV}^{-1} \\
 K &= -0,158 \text{ mA/V}^2
 \end{aligned}$$

Točka C:

Triodno područje:

$$I_D = K \times \left[ (U_{GS} - U_{GS0}) \times U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$$

$$\begin{aligned}
 I_{DC} &= -0,553 \text{ mA} \\
 g_m &= 0,16 \text{ mA/V} \\
 g_d &= 0,474 \text{ mA/V} \\
 r_d &= 2,1 \text{ k}\Omega \\
 \mu &= 0,34
 \end{aligned}$$

## VJ23:

Podaci:

$$\begin{aligned}
 U_{GS0} &= -0,5 \text{ V} \\
 U_{DSA} &= -1,5 \text{ V} & I_{DA} &= -0,498 \text{ mA} \\
 U_{DSB} &= -2,5 \text{ V} & I_{DB} &= -0,5 \text{ mA} \\
 U_{GSA} &= U_{GSB} = -1,5 \text{ V} \\
 U_{DSC} &= -3 \text{ V} & U_{GSC} &= -2 \text{ V}
 \end{aligned}$$


---

-obogaćeni pmos

$$\begin{aligned}
 \lambda &= -4,04 \text{ mV}^{-1} \\
 K &= -0,99 \text{ mA/V}^2
 \end{aligned}$$

Točka C:

-zasićenje:

$$\begin{aligned}
 I_{DC} &= -1,127 \text{ mA} \\
 g_m &= 1,5 \text{ mA/V} \\
 g_d &= 4,55 \text{ }\mu\text{A/V} \\
 r_d &= 220 \text{ k}\Omega \\
 \mu &= 330
 \end{aligned}$$



E, sad opet mala promjena. Više nemate 3 točke nego samo 2, ali su vam zadani  $\lambda$  i  $g_m$ . Jedino treba izračunati  $K$  po onim ovisnostima o  $g_m$  koje sam ranije napisao. Kad imate  $K$ , odredite područje rada druge točke i samo uvrštavate =) Here we go:

## VJ25:

Podaci:

$$U_{GS0} = -0,5 \text{ V}$$

$$U_{DSA} = -2 \text{ V} \quad U_{GSA} = -1,5 \text{ V}$$

$$U_{DSB} = -3 \text{ V} \quad U_{GSB} = -2 \text{ V}$$

$$\lambda = -5 \text{ mV}^{-1}$$

$$g_{mA} = 0,5 \text{ mA/V}$$

-----  
-sve negativno pa se radi o **obogaćenom pmos-u**

## Točka A:

-zasićenje pa koristimo sljedeću formulu:

$$K = \frac{g_m}{(U_{GS} - U_{GS0}) \times \sqrt{1 + \lambda \times U_{DS}}}$$

$$K = -0,4975 \text{ mA/V}^2$$

## Točka B:

-opet zasićenje

$$I_{DB} = -0,5684 \text{ mA}$$

$$g_m = 0,752 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 2,842 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 352 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 265$$

**VJ26:**

Podaci:

$$U_{GS0} = 1 \text{ V}$$

$$U_{DSA} = 4 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 3 \text{ V}$$

$$U_{DSB} = 6 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = 4 \text{ V}$$

$$\lambda = 2,5 \text{ mV}^{-1}$$

$$g_{mA} = 1 \text{ mA/V}$$

-----  
**-obogaćeni nmos****Točka A:**

-zasićenje:

$$K = 0,4975 \text{ mA/V}^2$$

**Točka B:**

-opet zasićenje

$$I_{DB} = 2,27 \text{ mA}$$

$$g_m = 1,5 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 5,675 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 176 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 264$$

**VJ27:**

Podaci:

$$U_{GS0} = 0,75 \text{ V}$$

$$U_{DSA} = 4 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 2 \text{ V}$$

$$U_{DSB} = 1 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = 3 \text{ V}$$

$$\lambda = 2,5 \text{ mV}^{-1}$$

$$g_{mA} = 1 \text{ mA/V}$$

-----  
**-obogaćeni nmos****Točka A:**

-zasićenje:

$$K = 0,796 \text{ mA/V}^2$$

**Točka B:**

-triodno područje

$$I_{DB} = 1,393 \text{ mA}$$

$$g_m = 0,796 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 0,995 \text{ mA/V}$$

$$r_d = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 0,8$$

## VJ28:

Podaci:

$$U_{GS0} = 0,75 \text{ V}$$

$$U_{DSA} = 1 \text{ V}$$

$$U_{GSA} = 3 \text{ V}$$

$$U_{DSB} = 4 \text{ V}$$

$$U_{GSB} = 2 \text{ V}$$

$$\lambda = 5 \text{ mV}^{-1}$$

$$g_{mA} = 0,5 \text{ mA/V}$$

-----  
-obogaćeni nmos

## Točka A:

Ovaj puta se radi o triodnom području pa moramo koristiti drugu ovisnost  $K(g_m)$ :

$$K = \frac{g_m}{U_{DS}}$$

$$K = 0,5 \text{ mA/V}^2$$

## Točka B:

-zasićenje

$$I_{DB} = 0,398 \text{ mA}$$

$$g_m = 0,63 \text{ mA/V}$$

$$g_d = 1,99 \text{ } \mu\text{A/V}$$

$$r_d = 503 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 317$$

...eto gotovi i dinamički parametri. Još mi je ostalo projektiranje MOSFET-a i zadaci sa sklopovima. Čim završim stavljam na net =)

Ako nađete bilo kakve greške javite pa ću na kraju izbaciti sve pdf-ove bez grešaka u jednom zip fajlu. Poz!



## Elektronika - zadaci za vježbu (cjelina 2)

### VJ29 i VJ30 (projektiranje MOSFET-a)

#### Uvod:

Ova cjelina je daleko najkraća i najlakša od svih. Imate samo 2 zadatka, jedan za svaki tip tranzistora i gotovo.

#### Things to know:

Trebat će vam one formule koje su predavači spominjali na početku predavanja o MOS tranzistorima. To su formule za kapacitet i za strujni koeficijent (imate u službenim formulama). Oba zadatka (sviđa mi se ovaj izraz "oba" što je manje od 5 i puno manje od 10 =) su zadana u zasićenju pa nemate problema sa formulama i još nema nikakve riječi o faktoru modulacije duljine kanala  $\lambda$ .

#### Formule:

Prva stvar koju morate računati je strujni koeficijent  $K$ . U oba zadatka ćete imati zadanu strminu  $g_m$  pa treba nekako  $K$  izraziti iz toga. Ako ste pogledali zadnju cjelinu, tamo sam upravo to izveo:

$$K = \frac{g_m}{(U_{GS} - U_{GS0}) \times \sqrt{1 + \lambda \times U_{DS}}} [mA/V^2]$$

...pošto nam ne treba  $\lambda$  jer nije nigdje zadan možemo maknuti cijeli ovaj korijen i konačna formula je:

$$K = \frac{g_m}{(U_{GS} - U_{GS0})} [mA/V^2]$$

Trebat će nam i omjer  $W/L$  koji isto možemo povezati sa  $K$ :

$$K = \frac{W}{L} \times \mu \times C_{ox}$$

$$\text{...gdje je } C_{ox} = \frac{\epsilon_0 \times \epsilon_{SiO_2}}{t_{ox}}$$

Podatke za dielektričnu konstantu imate na prvoj stranici službenih formula.

Konačna formula za W/L omjer izgleda ovako:

$$\frac{W}{L} = \frac{K \times t_{0x}}{\mu \times \varepsilon_0 \times \varepsilon_{SiO_2}}$$

Još vam fali jedna formula do potpune sreće. Kako u zadacima imate zadan kapacitet upravljačke elektrode morate to iskoristiti. Formula je:

$$C_G = C_{0x} \times W \times L \text{ [fF]}$$

napišete onu gornju jednadžbu za K i ovu ispod nje i sve skupa podijelite:

$$\begin{aligned} K &= \frac{W}{L} \times \mu \times C_{0x} \\ C_G &= C_{0x} \times W \times L \\ \hline \frac{K}{C_G} &= \mu \times \frac{1}{L^2} \end{aligned}$$

...iz toga sad izrazite L, a preostali W dobite iz omjera koji sam napisao gore:

$$L = \sqrt{\frac{\mu \times C_G}{K}} \text{ [}\mu\text{m]}$$

...i to su sve formule koje će vam trebati =)

**Zadaci:**

Procedura je sljedeća. Prvo iskoristite strminu i izračunate strujni koeficijent  $K$ . Nakon toga omjer  $W/L$ , onda onu formulu za  $L$ , to vratite u omjer i izračunate  $W$ . Easy as pie... a za tim pitama su svi nešto ljudi u zadnje vrijeme %-)

**Napomena:**

Možda ćete primijetiti da je nešto u centimetrima, nešto u mikrometrima & stuff pa pripazite na to. Pretvorite si sve u jedno sranje da vam bude lakše za računati.

**VJ29:**

Podaci:

-nmos u zasićenju

$$U_{GS0} = 0,75 \text{ V}$$

$$U_{GS} = 2 \text{ V}$$

$$g_m = 2 \text{ mA/V}$$

$$C_G < 25 \text{ fF}$$

$$t_{ox} = 25 \text{ nm}$$

$$\mu_n = 380 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

-----  
Znači prvo  $K$ :

$$K = \frac{g_m}{(U_{GS} - U_{GS0})}$$

...ispada  $K = 1,6 \text{ mA/V}^2$

...dalje redom:

$$\frac{W}{L} = \frac{K \times t_{ox}}{\mu \times \varepsilon_0 \times \varepsilon_{SiO_2}}$$

$$W/L = 30,5$$

$$L = \sqrt{\frac{\mu \times C_G}{K}}$$

$$L \leq 0,77 \text{ } \mu\text{m}$$

...i konačno još iz omjera  $W = 23,5 \text{ } \mu\text{m}$

VJ30:

Podaci:

-pmos u zasićenju

$$U_{GS0} = -0,75 \text{ V}$$

$$U_{GS} = -2 \text{ V}$$

$$g_m = 0,5 \text{ mA/V}$$

$$C_G < 25 \text{ fF}$$

$$t_{ox} = 25 \text{ nm}$$

$$\mu_n = 150 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

-----

Mala napomena. Ovaj puta vam K mora ispasti negativan jer se radi o pmos tranzistoru. To se baš i ne uklapa pod ostale formule pa samo uzmete apsolutnu vrijednost jer predznak kod traženih podataka nije važan =)

Koristite sve iste formule i ispada redom:

$$K = -0,4 \text{ mA/V}^2$$

$$W/L = 19,3$$

$$L \leq 0,97 \text{ }\mu\text{m}$$

$$W = 18,7 \text{ }\mu\text{m}$$

I to je sve od projektiranja MOS tranzistora. Ovako, još je ostala jedna cjelina i to su sklopovi sa MOSFET-ima. To nažalost neću napraviti jer moram jebenu matematiku raditi i mutave zadatke tipa na koliko te načina može prilikom predaje zadaća netko okinut šakom po pi... itd =( Jedan kolega je bio dobar pa će on umjesto mene riješiti zadatke iz sklopova. Nažalost ne u ovom obliku, ali će ih biti i dajte mu puno rep++ bodova. Ja ću sutra još srediti JFET zadatke pa i to postam kad završim. I dalje vrijedi ako nađete kakvu grešku javite na pm ili stavite u moj topic. Na kraju ću sve ispravljene cjeline staviti skupa u zipfajl (to je ono kaj se Hitler derao). Na želju nekih sam izbacio sliku Mirka Fodora da ne trošite tinte =)

Pozdrafi!



## Elektronika - zadaci za vježbu (cjelina 2)

### VJ1 – VJ6 (JFET)

#### Uvod:

Dakle, spojni FET. Zadnja cjelina. Kaj da velim? Ima svega 6 zadataka. Bežikli isti qr... kao ovo do sada samo sa malo drukčijim formulama. Opet trebate znati što očitati na kojem dijelu grafa i to uvrstiti u formule

#### Things to know:

Prvo i najvažnije gdje je što na grafu. Kod prijenosnih karakteristika možete odma naći 2 najvažnije stvari –  $I_{DSS}$  (točka u kojoj graf siječe y-os) i  $U_P$  (točka u kojoj graf siječe x-os). Za razliku od MOSFET tranzistora n-tip radi u negativnom području, a p-tip u pozitivnom. Po tome ćete prepoznati o kakvom tipu se radi – jednostavno pogledate da li su zadane vrijednosti pozitivne ili negativne

#### Formule:

Ne budem niš puno objašnjavao... ajmo od najvažnijeg – **struje**:

$$I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS}) \text{ [mA]}$$

...možemo izraziti i  $I_{DSS}$ :

$$I_{DSS} = \frac{I_D}{\left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})} \text{ [mA]}$$

#### Napomena:

Član sa  $\lambda$  će vam samo trebati u zadnjem (6.) zadatku i tamo ga morate izračunati... budem napisao kako. U ostalim zadacima ga zanemarite i jedino vam treba na kraju kad računate izlazni dinamički otpor

**Napon  $U_P$**  izražen preko struja i napona  $U_{DS}$  u 2 točke A i B:

$$U_P = \frac{U_{GSB} \times \sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - U_{GSA}}{\sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}}} - 1} \text{ [V]}$$

**Faktor modulacije duljine kanala** izražen preko struja i napona  $U_{DS}$  u 2 točke A i B:

$$\lambda = \frac{I_{DA} - I_{DB}}{I_{DB} \times U_{DSA} - I_{DA} \times U_{DSB}} [V^{-1}]$$

**Strmina:**

$$g_m = \frac{-2}{U_P} \times \sqrt{I_{DSS} \times I_D} [mA/V]$$

**Izlazni dinamički otpor:**

$$r_d = \frac{U_{DS} + \frac{1}{\lambda}}{I_D} [\Omega]$$

**Faktor naponskog pojačanja:**

$$\mu = g_m \times r_d$$

### **Zadaci:**

Objasnit ću ukratko kaj sve treba raditi. Dakle, u prva 2 zadatka očitajte  $I_{DSS}$  i  $U_P$  sa grafa, to uvrstite u formule i gotovo. U 3. isti qr.. samo što morate još izračunati  $I_{DSS}$ . U 4. i 5. imate prijenosne karakteristike i trebate sa svim zadanim podacima prvo izračunati  $U_P$  preko formule koju sam gore napisao. Nakon toga možete dobiti  $I_{DSS}$  i onda imate sve za računanje struje i dinamičkih parametara. Zadnji zadatak je najsjebaniji (ako se to uopće može tako nazvati jer su svi pljuga). Dakle, prvo izračunate  $\lambda$  preko struja i  $U_{DS}$  napona. U biti nije teško jer sam vam izveo sve formule, ali je to jedini zadatak na kojem mi je trebalo više od 3min => Ajmo dalje. Sad kad imate  $\lambda$  morate koristiti još onaj član sa  $U_{DS}$  naponom. Uvrstite sve u izraz za struju  $I_{DSS}$  i imate sve podatke. Izračunate struju, dinamičke parametre i gotovo...

### VJ1:

Podaci:

$$I_{DSS}=8\text{mA}$$

$$U_P=-5\text{V}$$

$$U_{GSA}=-2\text{V}$$

-----

-vidimo da je krivulja na negativnoj strani grafa pa se radi o **n-kanalnom** JFET-u (uočite da je suprotna fora nego kod MOSFET-a)

...imate sve podatke, samo uvrstite u formulu:

$$I_D = I_{DSS} \times \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

$$\text{...ispada } I_{DA} = 2,88 \text{ mA}$$

Strmina:

$$g_m = \frac{-2}{U_P} \times \sqrt{I_{DSS} \times I_D}$$

$$g_{mA} = 1,92 \text{ mV/A}$$

### VJ2:

Podaci:

$$I_{DSS}=-2\text{mA}$$

$$U_P=4\text{V}$$

$$U_{GSA}=2\text{V}$$

-----

-ovaj puta je pozitivna pa se radi o **p-kanalnom** JFET tranzistoru

...opet iste formule kao za zadatak iznad i ispada:

$$I_{DA} = -0,5 \text{ mA}$$

$$g_{mA} = 0,5 \text{ mV/A}$$

### VJ3:

Podaci:

$$U_{GSA} = -0,5V \quad I_{DA} = 2mA$$

$$U_P = -2V$$

$$U_{GSB} = -1V$$

-----  
-opet je graf u 2. kvadrantu pa se radi o **p-tipu**

Nemate  $I_{DSS}$ , ali imate sve podatke u točki A da ga možete izračunati:

$$I_{DSS} = \frac{I_D}{\left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2}$$

$$I_{DSS} = 3,56 \text{ mA}$$

Nastavljate dalje sa standard procedurom za točku B i ispada:

$$I_{DB} = 0,89 \text{ mA}$$

$$g_{mA} = 1,78 \text{ mV/A}$$

### VJ4:

Podaci:

$$U_{GSA} = -2V \quad I_{DA} = 2,5mA$$

$$U_{GSB} = -4V \quad I_{DB} = 0,625mA$$

$$U_{DSA} = U_{DSB} = 10V$$

$$U_{GSC} = 0V$$

$$U_{DSC} = 10V$$

$$\lambda = 2mV^{-1}$$

-----  
-po tome što su  $U_{GS}$  naponi zadani negativno znate da se radi o **n-kanalnom JFET-u**

...prvo vam treba ovo:

$$U_P = \frac{U_{GSB} \times \sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}} - U_{GSA}}}{\sqrt{\frac{I_{DA}}{I_{DB}} - 1}} \quad U_P = -6V$$

...zatim  $I_{DSS}$ :

$$I_{DSS} = \frac{I_D}{\left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2} \quad I_{DSS} = 3,56 \text{ mA}$$

...sad imate sve i izračunate podatke u točki C:

$$I_{DC} = 6,625 \text{ mA}$$

$$g_{mC} = 1,875 \text{ mV/A}$$

$$r_{dC} = 91 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = 170$$

### VJ5:

Podaci:

$$\begin{aligned}U_{GSA} &= -2V & I_{DA} &= 2,5\text{mA} \\U_{GSB} &= -4V & I_{DB} &= 0,625\text{mA} \\U_{DSA} &= U_{DSB} = 10V \\U_{GSC} &= 0V \\U_{DSC} &= 10V \\\lambda &= 2\text{mV}^{-1}\end{aligned}$$

-----  
-sad je pozitivna -> **p-kanalni** JFET

Procedura je identična kao kod prethodnog zadatka i dobivate ovakve rezultate:

$$\begin{aligned}U_P &= 3,5\text{ V} \\I_{DSS} &= -6,125\text{ mA} \\I_{DC} &= -3,125\text{ mA} \\g_{mC} &= 2,5\text{ mV/A} \\r_{dC} &= 162\text{ k}\Omega \\\mu &= 505 \text{ (ovdje je greška u skripti, treba ispasti 505)}\end{aligned}$$

### VJ6:

Podaci:

$$\begin{aligned}U_{GSA} &= U_{GSB} = -1,5V \\U_P &= -2,5V \\U_{GSC} &= -1V \\U_{DSA} &= 1,5V & I_{DA} &= 0,5\text{mA} \\U_{DSB} &= U_{DSC} = 2,5V & I_{DB} &= 0,502\text{mA}\end{aligned}$$

-----  
-n-kanalni JFET

...prvo računate  $\lambda$  po formuli:

$$\lambda = \frac{I_{DA} - I_{DB}}{I_{DB} \times U_{DSA} - I_{DA} \times U_{DSB}} \quad \lambda = 4,02\text{ mV}^{-1}$$

...pa onda  $I_{DSS}$ :

$$I_{DSS} = \frac{I_D}{\left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2 \times (1 + \lambda \times U_{DS})} \quad I_{DSS} = 3,1\text{ mA}$$

...imate sve podatke i računate traženo u točki C

$$\begin{aligned}I_{DC} &= 1,13\text{ mA} \\g_{mC} &= 1,5\text{ mV/A} \\r_{dC} &= 222\text{ k}\Omega \\\mu &= 335\end{aligned}$$

To je sve. Žao mi je da nisam više stigao napraviti, ali postoji još i 3. ciklus => ŽELIM SVIMA PUNO SREĆE NA MEĐUISPITIMA