



ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET U BEOGRADU
KATEDRA ZA ELEKTRONIKU

OSNOVI ANALOGNE ELEKTRONIKE ZA IR
LABORATORIJSKE VEŽBE

VEŽBA BROJ 4

***STATIČKE KARAKTERISTIKE MOS TRANZISTORA I
STEPEN SA ZAJEDNIČKIM SORSOM***

Autor: Milan Ponjavić

	IME I PREZIME	BR. INDEKSA	GRUPA	OCENA
1.				
2.				

DATUM _____

VREME _____

DEŽURNI U LABORATORIJU _____

VEŽBA BR. 4 :

STATIČKE KARAKTERISTIKE MOS TRANZISTORA I STEPEN SA ZAJEDNIČKIM SORSOM

A. STATIČKE KARAKTERISTIKE MOS TRANZISTORA U SPOJU SA ZAJEDNIČKIM SORSOM

A1. TEORIJSKA OSNOVA:

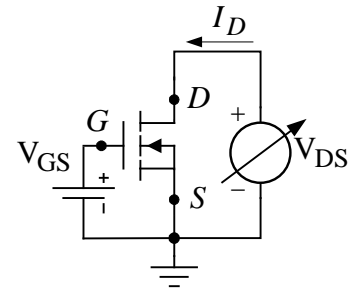
Na slici 4.1 je prikazan NMOS tranzistor u spoju sa zajedničkim sorsom, sa podesivim naponom V_{GS} . U zavisnosti od napona na gejtju i drejnu, struja drejna će imati vrednost:

$$I_D = \begin{cases} \approx 0, & V_{GS} < V_T \\ \frac{B}{2}(V_{GS} - V_T)^2(1 + \lambda V_{DS}) \approx \frac{B}{2}(V_{GS} - V_T)^2, & V_{GS} > V_T, V_{DS} \geq V_{GS} - V_T \\ \frac{B}{2}[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2], & V_{GS} > V_T, V_{DS} < V_{GS} - V_T \end{cases}$$

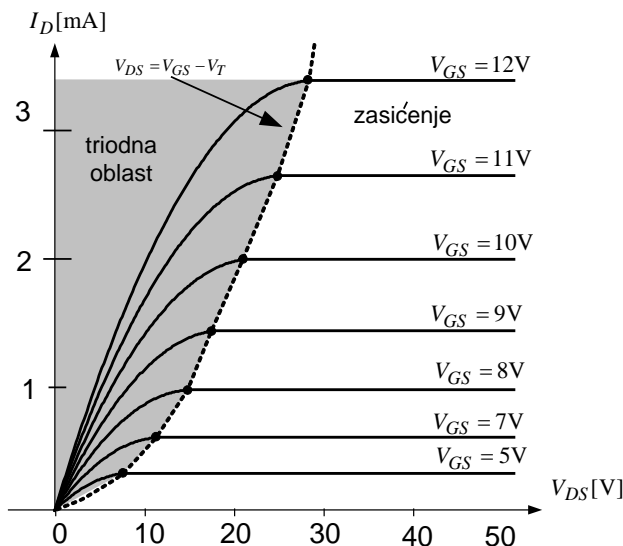
gde je $B = \mu_n C_{ox} W / L$.

Ukoliko se nacрта grafik funkcije $I_D = f(V_{GS})$ za konstantan napon V_{DS} dobija se prenosna statička karakteristika tranzistora $I_D(V_{GS})$, slika 4.2.

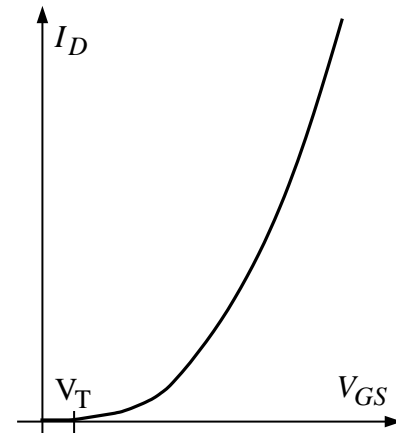
Ukoliko se nacрта familija funkcija $I_D = f(V_{DS})$ gde se kao parametar uzima napon V_{GS} , dobijaju se izlazne statičke karakteristike tranzistora u spoju sa zajedničkim sorsom $I_D(V_{DS})$ za konstantne napone V_{GS} . Na slici 4.3 je prikazan primer jedne takve karakteristike.



Slika 4.1 NMOS tranzistor sa ugrađenim kanalom u spoju sa zajedničkim sorsom.



Slika 4.3 Izlazna statička karakteristika $I_D(V_{DS})$ za konstantne napone V_{GS} .

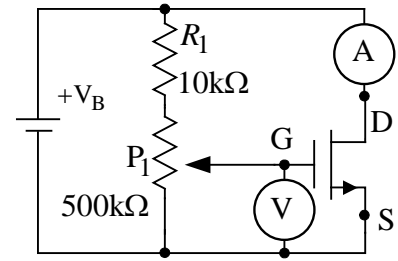


Slika 4.2 Prenosna statička karakteristika $I_D = f(V_{GS})$ za konstantan napon V_{DS} .

A2. OPIS VEŽBE

Na slici 4.4. je prikazana šema kola koja služi za merenje statičke karakteristike MOS tranzistora $I_D(V_{GS})$. Preko potenciometra P_1 od $500k\Omega$ doveden je izvor jednosmernog napona na gejt tranzistora. Podešavanjem i merenjem vrednosti napona na gejtu moguće je menjati struju drejana, dok se merenje struje drejna može obaviti ampermetrom i time utvrditi zavisnost $I_D(V_{GS})$.

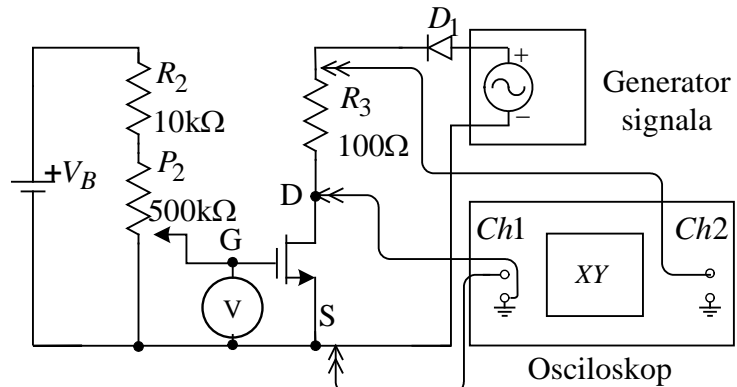
Na slici 4.5 Preko potenciometra P_2 od $500k\Omega$ doveden je izvor jednosmernog napona na gejt tranzistora. Vezivanjem AVO metra između gejta i sorsa moguće je merenje i precizno podešavanje vrednosti napona V_{GS} . Ukoliko se na drejn tranzistora sa signal generatora preko otpornika R_3 dovede promenljiv napon V_{DS} koji je oblika rampe, slika 4.5, moguće je automatski izmeriti familiju krivih $I_D(V_{DS})$ za konstantne napone V_{GS} .



Slika 4.4 Šema kola koja služi za merenje statičke karakteristike MOS tranzistora $I_D(V_{GS})$.

PRIBOR

- 1 maketa
- 1 univerzalni AVO-metar
- 1 osciloskop
- 1 generator signala
- 1 stabilisani izvor napajanja +4V

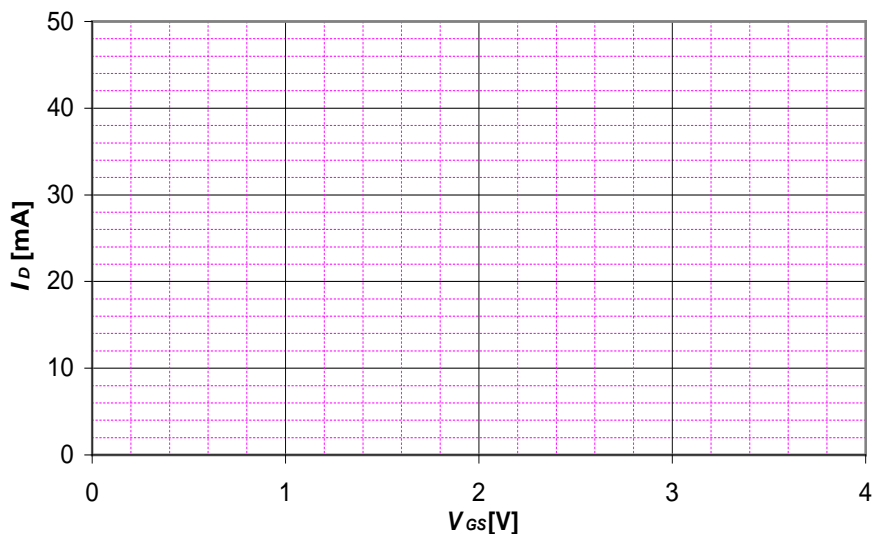


Slika 4.5 Šema kola za automatsko snimanje familije krivih $I_D(V_{DS})$ za konstantne napone V_{GS} .

A3. ZADATAK

A3.1. Merenje zavisnosti $I_D(V_{GS})$

1. Povezati sonde na AVO metru tako da se pomoću njega može da meri struja. Povezati sve instrumente prema slici 4.4. Ampermetar ukloniti iz kola tako da kroz drejn tranzistora nema struje. Povezati u kolo bateriju od 4V, priključak Kon1. Sondu i masu kanala 1 osciloskopa povezati u kontrolne tačke označene sa Kon2, odnosno na gejt i sors tranzistora Q_1 . Podesiti na osciloskopu opciju merenja srednje vrednosti napona kanala 1, tako da se na ekranu očitava vrednost napona V_{GS} .
2. Spustiti pomoću potenciometra napon na gejtu na 0V. Povezati ampermetar u kolo, merne tačke Kon3. Podizati napon na gejtu tranzistora počevši od 0V do trenutka kada struja drejna dostigne 50mA, a zatim, postepeno smanjujući struju drejna i ucrtavajući tačku po tačku direktno na dijagram snimiti karakteristiku $I_D(V_{GS})$. **Na kraju merenja spustiti napon na gejtu na 0V.**



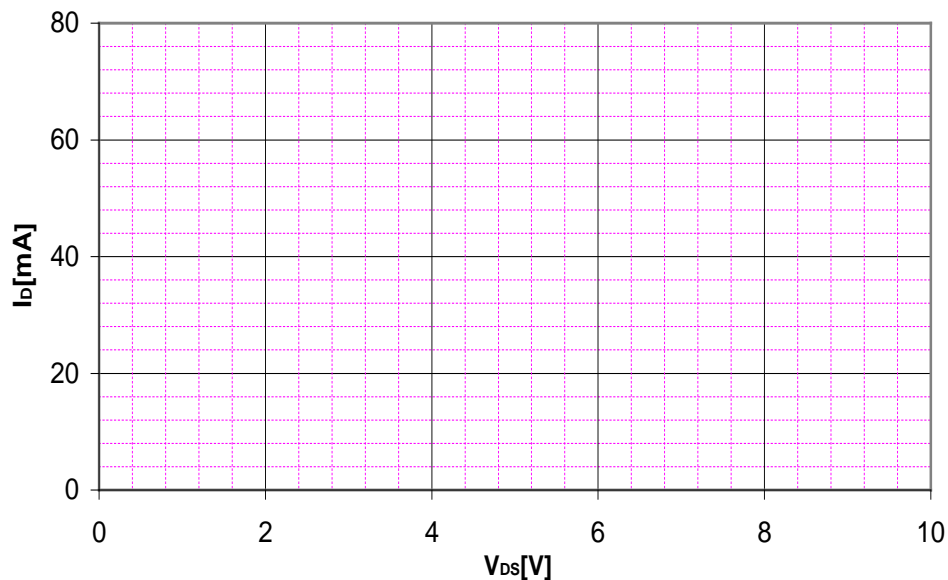
Slika 4.6 Statička izlazna karakteristika MOS tranzistora $I_D(V_{GS})$.

3. Na osnovu snimljene karakteristike za $I_D = 5\text{mA}$ odrediti parametar g_m

$$g_m = \text{_____} [\text{s}]$$

A3.2 Merenje zavisnosti $I_D(V_{DS})$ za različite napone na gejtu

1. Povezati sonde na AVO metru tako da se pomoću njega može da meri napon, Kon4. Generator signala povezati na Kon5 ali ne uključivati! Povezati sonde osciloskopa prema slici 4.5. Kanal 1 invertovati. Podesiti prikazivanje na XY format. Skalu na kanalu 1 (X) podesiti na 200mV/div a na kanalu 2 (Y) 1V/div. Podesiti da napon na gejtu bud 0V.
2. Podesiti da signal na izlazu generatora bude oblika rampe, 10Vpp (amplitude 5V), srednje vrednosti 5V (offset 5V) i učestanosti 50Hz. Za napone na gejtu od 2V, 2.15V, 2.3V, 2.45V i 2.6V snimiti zavisnost $I_D(V_{DS})$. **Prilikom merenja pomeriti karakteristiku u donji levi ugao ekrana. Na kraju merenja vratiti invertovani kanal u normalno stanje.**



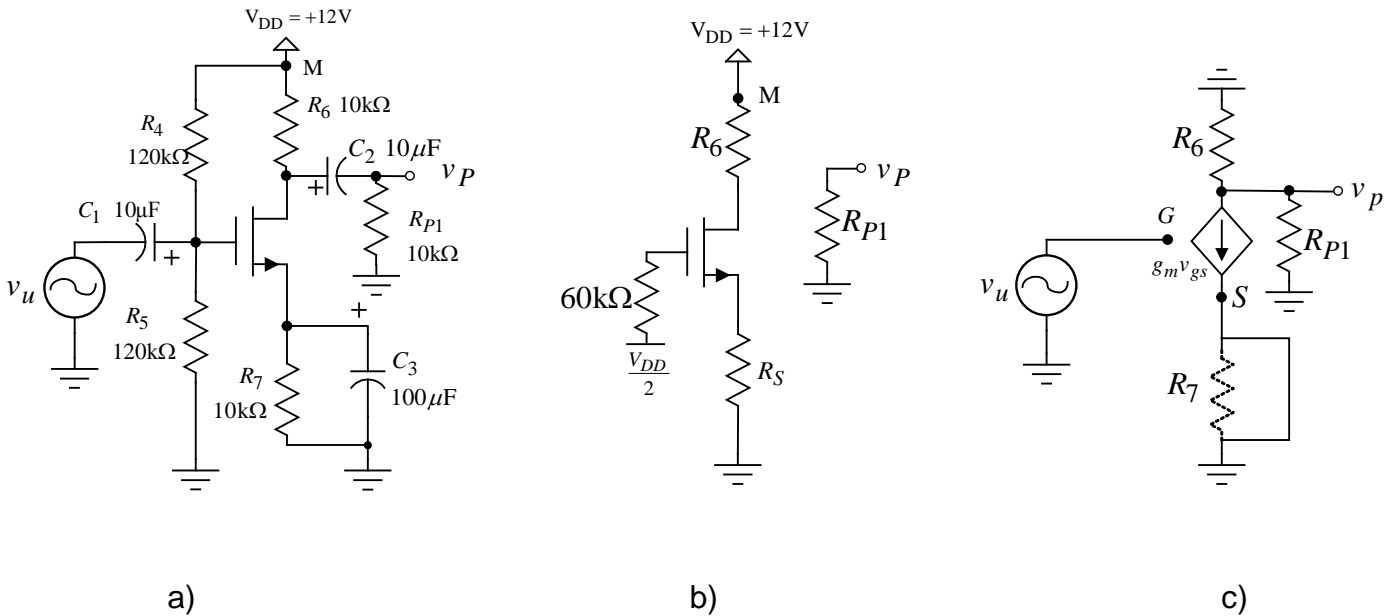
Slika 4.7 Familija krivih $I_D(V_{DS})$ za konstantne napone V_{GS} .

B. POJAČAVAČ SA MOS TRANZISTOROM U SPOJU SA ZAJEDNIČKIM SORSOM

B1. TEORIJSKA OSNOVA:

Polarizacija

Polarizacija stepena sa zajedničkim sorsom i jednom baterijom za napajanje izvodi se prema slici 4.8a. Na slici 4.8b prikazana je ekvivalentna jednosmerna šema pojačavača u mirnoj radnoj tački, dok je na slici 4.8c prikazan model pojačavača za male signale.



Slika 4.8 Polarizacija stepena sa zajedničkim sorsom.

Prema slici 4.8b važi:

$$R_S I_{DQ} + V_{GSQ} = V_{DD} / 2$$

Ako se pretpostavi da tranzistor radi u zasićenju važiće

$$-V_{DD} / 2 + R_S \frac{B}{2} (V_{GSQ} - V_T)^2 + V_{GSQ} = 0$$

odnosno

$$R_S \frac{B}{2} (V_{GSQ} - V_T)^2 + (V_{GSQ} - V_T) - (V_{DD} / 2 - V_T) = 0$$

rešavanjem kvadratne jednačine po $(V_{GSQ} - V_T)$ dobija se vrednost napona V_{GSQ} a preko njega i struja I_{DQ} . Ukoliko se dobije da je $V_{GSQ} > V_T$ proverom uslova to znači da tranzistor provodi. Potrebno je još proveriti da li radi u režimu zasićenja:

$$V_{DSQ} > V_{GSQ} - V_T \Leftrightarrow V_{DD} - R_D I_{DQ} - R_S I_{DQ} > V_{GSQ} - V_T \Leftrightarrow V_{DD} / 2 - R_D I_{DQ} > -V_T$$

pošto je

$$V_{GSQ} = V_{DD} / 2 - R_S I_{DQ} \text{ i } R_S = R_D \Rightarrow V_{GSQ} = V_{DD} / 2 - R_D I_{DQ}$$

to je potrebno da važi $V_{GSQ} > -V_T$ što je sigurno ispunjeno jer je $V_{GSQ} > V_T$

Na osnovu izračunate struje drejna određuje se parametar g_m pojačavača za mali signal $g_m = \sqrt{2BI_{DQ}}$

Pojačanje za mali signal i izlazna otpornost

Kako je prema slici 4.8c napon na izlazu $v_p = -g_m(R_P \parallel R_D)v_u$ to je pojačanje za mali signal

$$a_v = -g_m(R_D \parallel R_P).$$

Očigledno je da je izlazna otpornost koju vidi potrošač $R_i = R_D$

Ukoliko se ukloni kondenzator C_s , tada će sors tranzistora preko otpornika R_S biti priključen na masu a pojačanje će da se smanji:

$$a_v = \frac{-g_m(R_D \parallel R_P)}{1 + g_m R_S} < 1$$

B2. OPIS VEŽBE

Za izvođenje vežbe se koristi šema pojačavača prikazana na slici 4.8a. Kolo se napaja iz baterije za napajanje od 12V, koju treba priključiti na maketu, Kon6. Na ulaz pojačavača, Kon7, dovodi se prostoperiodični napon iz signal generatora. Merenje jednosmernih napona obavlja se uz pomoć osciloskopa sa isključenim pobudnim naponom i podešenim kanalima osciloskopa na DC signale, dok se merenje promenljivih napona obavlja se uz pomoć osciloskopa sa uključenim pobudnim naponom i podešenim kanalima na AC signale.

PRIBOR

- 1 izvor za napajanje 12V
- 1 osciloskop
- 1 signal generator
- 1 maketa

B3. ZADATAK

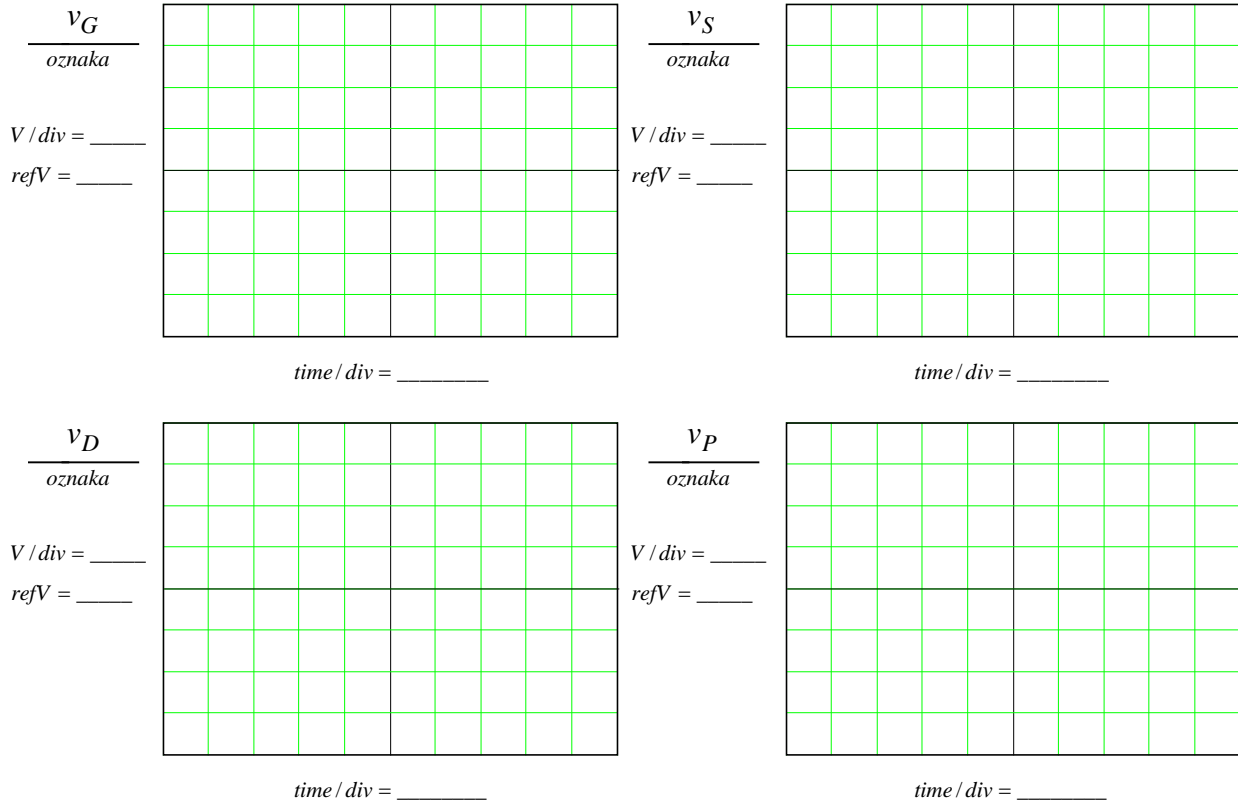
1. Spojiti instrumente prema šemi pojačavača sa slike 4.8a. Postaviti kratkospajaače SW1 i SW2. Proveriti da li je uklonjena inverzija sa kanala 1.
2. Izmeriti jednosmerne napona na gejtu, drejnu i sorsu:

$$V_G = \text{_____}[V], V_D = \text{_____}[V], V_S = \text{_____}[V].$$

3. Na osnovu izmerenih napona odrediti jednosmernu struju drejna u mirnoj radnoj tački:

$$I_{DQ} = \text{_____} [\text{A}].$$

4. Na ulaz pojačavača iz signal generatora dovesti prostoperiodični napon amplitude $V_m = 30 \text{ mV}$ i učestanosti $f = 1 \text{ kHz}$.
5. Nacrtati vremenske oblike napona na potrošaču, gejtju, drejnu i sorsu.



Slika 4.9 Eksperimentalno određeni vremenski dijagrami.

6. Sa slika odrediti amplitude napona na gejtju, sorsu, drejnu i potrošaču:

$$V_{gm} = \text{_____} [\text{V}], V_{sm} = \text{_____} [\text{V}], V_{dm} = \text{_____} [\text{V}], V_{pm} = \text{_____} [\text{V}].$$

7. Na osnovu podataka iz prethodne tačke odrediti naponsko pojačanje pojačavača:

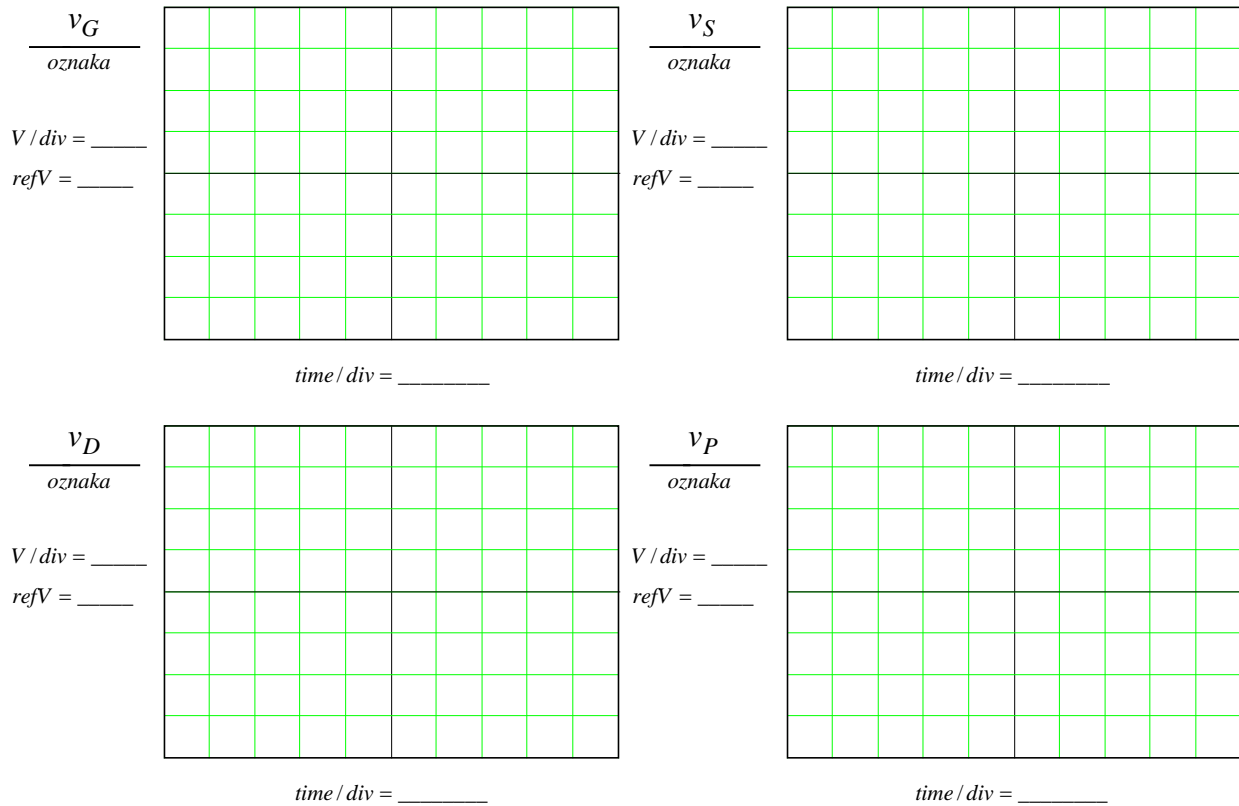
$$a_v = V_{pm} / V_{gm} = \text{_____}.$$

8. Povećavati amplitudu napona pobudnog generatora sve dok ne dođe do odsecanja napona na potrošaču i sa donje i sa donje strane. Promenu pratiti na osciloskopu koji meri napon na potrošaču. Odrediti maksimalnu i minimalnu vrednosti neizobličenog napona na potrošaču:

$$v_{P\max} = \text{_____} [\text{V}] \text{ i } v_{P\min} = \text{_____} [\text{V}].$$

9. Isključiti kondenzator C_3 iz kola vađenjem odgovarajućeg kratkospajča. Na ulaz pojačavača iz signal generatora dovesti prostoperiodični napon amplitude $V_m = 500 \text{ mV}$ i učestanosti $f = 1 \text{ kHz}$. Nacrtati vremenske oblike napona na gejtju, drejnu, sorsu i potrošaču.

Laboratorijske vežbe iz osnova analogne elektronike za IR



Slika 4.10 Eksperimentalno određeni vremenski dijagrami.

10. Sa slika odrediti amplitude napona na gejtju, sorsu, drejnu i potrošaču:

$$V_{gm} = \text{_____}[\text{V}], V_{sm} = \text{_____}[\text{V}], V_{dm} = \text{_____}[\text{V}], V_{pm} = \text{_____}[\text{V}].$$

11. Na osnovu podataka iz prethodne tačke odrediti naponsko pojačanje pojačavača:

$$a_v = V_{pm} / V_{gm} = \text{_____} .$$

12. Uporediti amplitude napona na gejtju, sorsu i potrošaču i objasniti ulogu kondenzatora C_s

13. Priključiti kondenzator nazad u kolo.

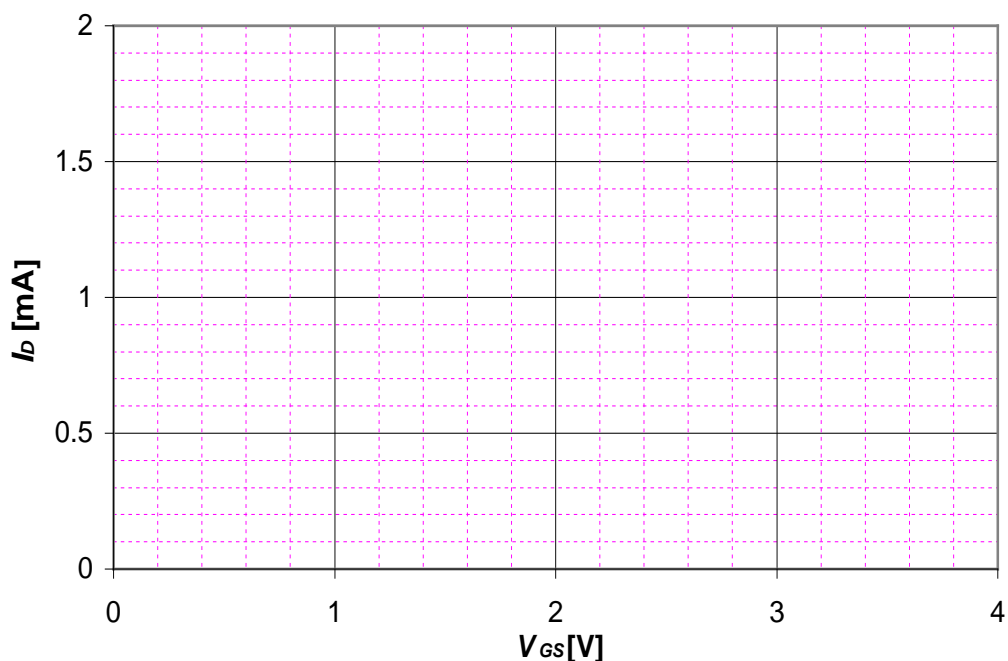
14. Isključiti potrošač vađenjem odgovarajućeg kratkospajaja, tako da $R_p \rightarrow \infty$. Povećavanjem amplitude pobudnog generatora postaviti amplitudu napona na drejnu na vrednost $V_{dm0} = 1\text{V}$. Bez promene amplitude napona pobude, priključiti nazad otpornost potrošača $R_{p1} = 10\text{k}\Omega$, a zatim izmeriti amplitudu napona na potrošaču V_{dm1} . Na osnovu ovog merenja odrediti izlaznu otpornost pojačavača:

$$R_i = \text{_____}[\text{k}\Omega]$$

15. Isključiti napajanje i instrumente. Vratiti kablove za na napajanje u priključak na laboratorijskom izvoru koji daje 4V.

C. PSPICE SIMULACIJA**C1. SIMULACIJA ZAVISNOSTI $I_D(V_{GS})$**

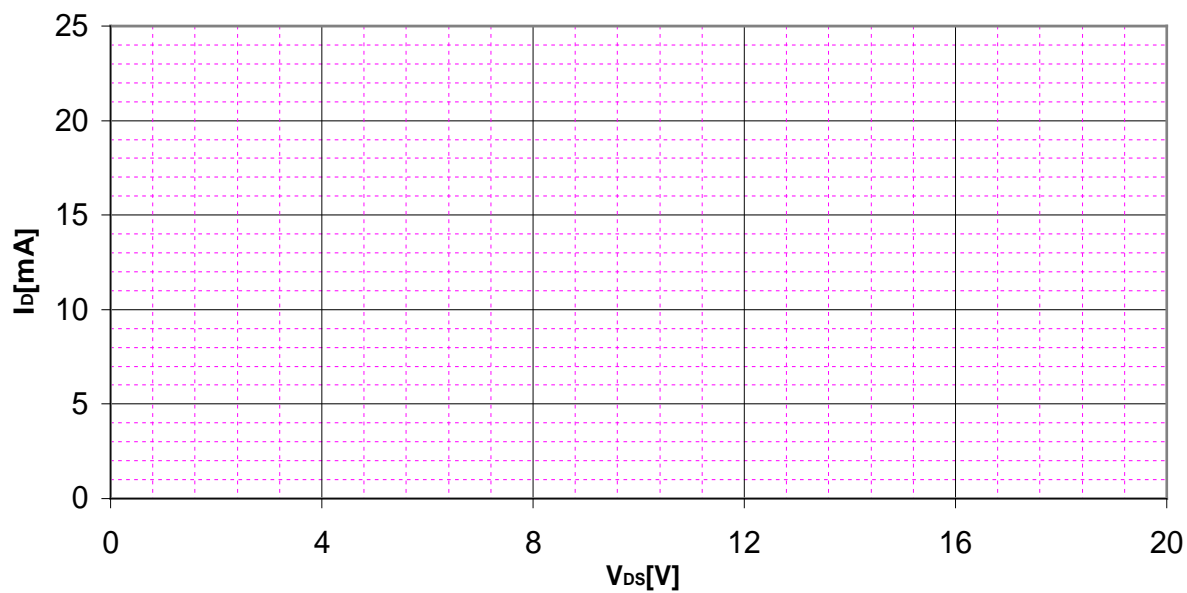
Nacrtati šemu sa slike 4.1. Koristiti tranzistor IRF034. Korišćenjem DC analize snimiti jednosmernu prenosnu karakteristiku $I_D(V_{GS})$ za vrednosti $0 < V_{GS} < 4V$ sa korakom od 10mV za 10 različitih temperatura ambijenta $0 < t < 100^\circ C$. Temperatura treba da menja sa korakom od $10^\circ C$. V_{DS} je konstantno i iznosi 12V.



Slika 4.11 Statička karakteristika MOS tranzistora $I_D(V_{GS})$ sa temperaturom kao parametrom

C2. SIMULACIJA ZAVISNOSTI $I_D(V_{DS})$ ZA RAZLIČITE NAPONE NA GEJTU

Prepraviti kolo iz prethodne tačke tako da je generator između drejna i sorsa promenljiv. Korišćenjem DC analize snimiti izlaznu karakteristiku $I_D(V_{DS})$ za vrednosti $0 < V_{DS} < 20V$ sa korakom od 100mV i parametrom $4V < V_{GS} < 6V$ gde sa korakom od 20mV.



Slika 4.12 Familija krivih $I_D(V_{DS})$ za konstantne napone V_{GS} .