

## 2.3 POLARIZACIJA POJAČAVAČA SA MOSFET-OM

Pojačavači sa MOSFET-om se retko ostvaruju kao diskretna kola iz razloga što MOSFET ne nudi veliko pojačanje, a istovremeno rukovanje s njim nije jednostavno. Drugim rečima, kao diskretna komponenta MOSFET je skup. U nekim primenama, međutim, kada se insistira da pojačavač ima izuzetno veliku ulaznu otpornost MOSFET je veoma poželjna komponenta. Stoga će ovde biti prikazana rešenja polarizacije osnovnog pojačavača sa zajedničkim sorsom sa diskretnim kolima. O MOS integrisanim pojačavačima kao uostalom i o bipolarnim integrisanim pojačavačima biće reči kasnije.

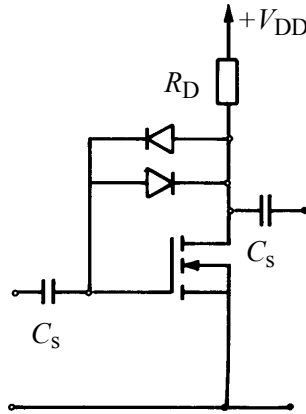
Polarizacija N-kanalnog MOSFET-a sa ugrađenim kanalom ostvaruje se na isti način kao i kod JFET-a, pošto normalno napon gejta može da bude na negativnom potencijalu u odnosu na sors. Pri tome, naravno, vrednost napona na gejtu u mirnoj radnoj tački treba da bude po apsolutnoj vrednosti srazmerno manji od napona praga tranzistora.

Kod N-kanalnog MOSFET-a sa indukovanim kanalom, međutim, gejst mora biti na pozitivnijem potencijalu od osnove da bi se kanal indukovao. Stoga ovde ne može da se upotrebi automatski prednapon sa Sl. 2.2.1a gde se prednapon stvara samo na  $R_S$ . Rešenje za dobijanje automatskog prednapona je isto kao na Sl. 2.2.6 ali se vrednosti elemenata biraju tako da u (2.2.4) pozitivni član bude veći (po apsolutnoj vrednosti) odnosno  $V_{GS} > V_T$ . Razume se da bi sa stanovišta polarizacije najpovoljnije bilo da je  $R_S = 0$  ali, s obzirom na ulogu ove otpornosti kod temperaturske stabilizacije, takav pojačavač bi bio temperaturski nestabilisan.

Jedan od zahteva koji se postavljaju pred idealnim pojačavačem napona (o čemu će kasnije biti reči) jeste da se postigne beskonačno velika ulazna otpornost. Na sreću, specifična otpornost izolacionog materijala ( $\text{SiO}_2$ ) je veća od  $10^{16} \Omega\text{cm}$  na  $T = 300^\circ\text{C}$  pa nije retko da sama komponenta ima ulaznu otpornost reda  $10^{14} \Omega$ . Realizacija pojačavača sa tako velikom ulaznom otpornošću, međutim, nije tako jednostavan posao. Prvi problem odnosi se na komponentu koja služi za zaštitu gejta od elektrostatickog proboja. Ova komponenta uvek sadrži p-n spoj koji je paralelno vezan priključcima gejta i sorsa tako da njegova cureća struja daleko nadmašuje vrednost struje između gejta i sorsa. Stoga, ako želimo veliku otpornost na ulazu, zaštita komponente mora biti uklonjena. Pri tome treba da se obraća posebna pažnja rukovanju sa MOSFET-om i proračunu kola za polarizaciju.

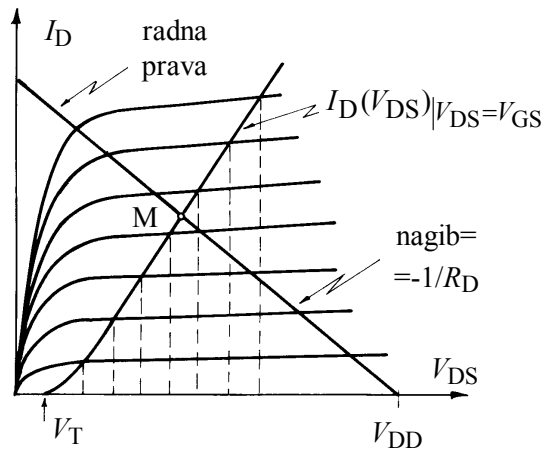
Na Sl. 2.3.1 prikazan je osnovni pojačavač sa MOSFET-om sa ugrađenim kanalom kod koga je ulazna otpornost relativno velika. Otpornost  $R_3$  ima vrednost reda megaoma. Ovako velika otpornost je moguća s obzirom da je struja gejta vrlo mala. Sa stanovišta polarizacije gejta, s obzirom da se na  $R_3$  ne formira pad napona, i za ovo kolo važi (2.2.4). Pri tome  $V_{GS}$  može da bude i negativan napon pošto je kanal ugrađen. Ukoliko se koristi tranzistor sa indukovanim kanalom, biće neophodno da  $V_{GS}$  bude pozitivno i veće od napona praga tranzistora. Kada se ima u vidu naizmenični režim, ulazna otpornost je određena rednom vezom otpornika  $R_3$  sa paralelnom vezom  $R_1$  i  $R_2$ . To znači da je moguće da se ostvari ulazna otpornost reda nekoliko megaoma.

Pri polarizaciji osnovnog pojačavača koji sadrži MOSFET sa indukovanim kanalom, s obzirom da je komponenta zakočena (ne teče struja drejna) kada je  $V_{GS} = 0$ , potrebna je uvek dodatna polarizacija kako bi se radna tačka dovela u aktivnu oblast. Jedan od metoda za polarizaciju koji istovremeno omogućava dobijanje vrlo velike ulazne otpornosti je upotreba diodnog kola.



Sl. 2.3.2 Osnovni pojačavač sa diodnim kolom za polarizaciju

Ovo kolo je prikazano na Sl. 2.3.2 i lako se realizuje i u diskretnoj i u integrisanoj tehnici. Paralelno vezane diode ponašaju se kao element velike unutrašnje otpornosti. Pošto ne teče struja dioda, u jednosmernim uslovima, mora da važi  $V_{DS}=V_{GS}$ . Stoga je radna tačka određena presekom radne prave sa geometrijskim mestom tačaka u polju izlaznih karakteristika za koje je  $V_{GS}=V_{DS}$  kao što je prikazano na Sl. 2.3.3. Očigledno da će komponenta raditi u oblasti zasićenja (naponski). Položaj radne tačke se može promeniti promenom vrednosti  $R_D$ .



Sl. 2.3.3 Grafička analiza kola sa slike 2.3.2

Položaj radne tačke može da se odredi i analitičkim putem. Ako se stavi  $I_D = A \cdot (V_{GS} - V_T)^2$ ,  $V_{DS} = V_{GS}$  i  $V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$  za napon na drejnu dobijamo

$$(2.3.1a) \quad V_{DS \ 1/2} = \frac{1 - 2A \cdot R_D V_T \pm \sqrt{2Z - 1}}{2A \cdot R_D},$$

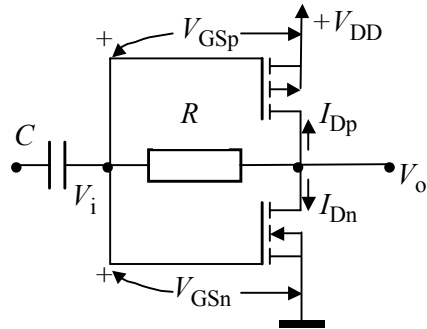
a za struju drejna

$$(2.3.1b) \quad I_{D \ 1/2} = \frac{Z \pm \sqrt{2Z - 1}}{2A \cdot R_D^2},$$

gde je  $Z = 1 + 2A \cdot R_D (V_{DD} - V_T)$ .

Pri ovome treba voditi računa da se izabere ona vrednost napona ili struje (znak u (2.3.1)) drejna koja pripada aktivnoj oblasti rada tranzistora. Za tu svrhu najpogodnije je izračunati obe vrednosti

napona  $V_{DS}$  odnosno  $V_{GS}$  i uporedit je sa naponom praga pa izabrati onu koja odgovara normalnoj polarizaciji tranzistora, a tek onda računati struju.



Sl. 2.3.4 Pojačavač sa komplementarnim parom MOS tranzistora

Pri upotrebi ovog kola treba imati na umu da ovakvi pojačavački stepeni moraju biti jednosmerno razdvojeni. Pored toga, za pojačavač sa velikim pojačanjem i pri relativno velikom ulaznom signalu (desetak milivolti) pad napona na diodama može postati dovoljan da jedna od njih (u odgovarajućoj poluperiodi signala) provede tako da kolo za polarizaciju izgubi svoje osnovno svojstvo.

Od posebnog je interesa pojačavač sa tzv. komplementarnim parom sa zajedničkim sorsom. Na Sl. 2.3.4 je prikazan osnovni pojačavač pri čemu su upotrebljene komponente sa indukovanim kanalom suprotnog tipa čije su karakteristike uparene (simetrične). Za kolo sa Sl. 2.3.4 važi  $V_{ul}=V_{iz}$  (za jednosmerne komponente) s obzirom da kroz  $R$  ne teče jednosmerna struja. Struje drejna oba tranzistora su jednake, a suprotnog znaka. Još važi

$$(2.3.2) \quad V_{GSn} = V_{ul}$$

i

$$(2.3.3) \quad V_{GSp} = V_{DD} - V_{ul}.$$

Da bi se dobile jednake struje potrebno je za  $|V_{GSN}| = |V_{GSP}|$  odakle dobijamo

$$(2.3.4) \quad V_{GS} = V_{DD} / 2 = V_{iz}.$$

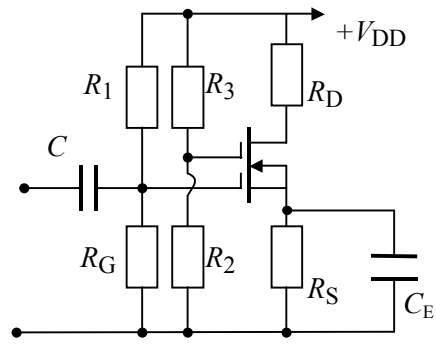
Ovo znači da će se radna tačka ovog pojačavača odrediti automatski tako da napon između drejna i sorsa bude jednak polovini napona baterije (ako su karakteristike uparene).

Vrednost otpornosti  $R$  treba da bude što je moguće veća kako ne bi, za naizmjeničnu komponentu dolazilo do prenosa signala u inverznom smeru.

Kod MOSFET-a sa dva gejtja polarizacija se ostvaruje kao na Sl. 2.3.5. Upotrebljen je tranzistor sa ugrađenim kanalom što znači da potencijali gejtova mogu biti i niži od potencijala sorsa. U ovom kolu međutim, preko odgovarajućih razdelnika napona gejtovi su dovedeni na pozitivnan potencijal.

Tako, napon na drugom gejtu je

$$(2.3.5) \quad V_{G2S} = \frac{R_2 V_{DD}}{R_3 + R_2} - I_D R_S.$$



Sl. 2.3.5 Polarizacija MOSFET-a sa dva gejtta