

# Ponavljalne vaje za 2. kolokvij

Andrej Studen

26. maj 2008

## Unipolarni tranzistorji

1. Naredi tokovni izvor z n-MOSFET. Recimo za  $I_D(\text{ON}; @10 \text{ V})=500 \text{ mA}$ ,  $U_T=2 \text{ V}$ . Kakšna mora biti napetost na vratih(G)  $U_G$  za tok 2 mA skozi MOSFET? Recimo, da imamo napajalno napetost  $U_+=12 \text{ V}$ . Za  $U_G$  izdelaj delilnik napetosti med  $U_+$  in zemljo. Kakšen par uporov potrebuješ?
2. Naredi degenerirani tokovni izvor z n-kanalnim JFETom. Namesto upora proti zemlji uporabi MOSFET. Veži vrata (G kontakt) JFETA na zemljo. Kakšna mora biti napetost na vratih MOSFETA, da bo tekel tok  $I=2 \text{ mA}$ . Denimo  $I_D(\text{ON}, @U_{REF})=500 \text{ mA}$ ,  $U_T(\text{MOSFET})=2 \text{ V}$ ,  $U_T(\text{JFET})=-2\text{V}$ ,  $I_{DSS}(\text{JFET})=1 \text{ mA}$ . Nekaj enačb, ki pridejo prav:

$$\text{upor FET: } R = \frac{U_{GS} - U_T}{2I_{D,sat}}; \quad (1)$$

$$\text{nasiceni tok MOSFET: } I_{D,sat} = \frac{I_D(\text{ON}, @U_{REF})}{(U_{REF} - U_T)^2} (U_{GS} - U_T)^2 \quad (2)$$

$$\text{nasiceni tok JFET: } I_{D,sat} = \frac{I_{DSS}}{U_T^2} (U_{GS} - U_T)^2 \quad (3)$$

$I_{D,sat}$  je tok med izvorom (S) in ponorom (D), ki teče, ko je  $U_{DS} \ll U_T$ .

3. Naredimo tokovni izvor z JFETom, kontakt G vežemo na zemljo. Med napajalno napetostjo  $U_+$  in kontakt D vežemo upor R. Za dovolj majhne upore je tok skozi upor neodvisen od vrednosti upora. Ko večamo upor, bo napetost  $U_{DS}$  padla pod  $U_T$  in FET ne bo več v nasičenju. Namesto enačbe (3) velja

$$I_D = I_{D,sat} \left( 2 \frac{U_{DS}}{U_{GS} - U_T} - \left( \frac{U_{DS}}{U_{GS} - U_T} \right)^2 \right) \quad (4)$$

Kako se spreminja tok skozi JFET (enak toku skozi upor), ko upor preseže vrednost  $R_{MAX}=(U_++U_T)/I_{DSS}$ ? Skiciraj potek toka  $I_D$  v odvisnosti od upora R vsaj do  $R=2R_{MAX}$ . Primerjaj skico s tisto, ki jo dobiš pri tokovnem izvoru z bipolarnim npn tranzistorjem.

4. Naredi ojačevalec z ojačanjem  $A=-2$  z n-JFET tranzistorjem. Upor  $R_1$  je poljuben. Računaj z majhnimi popravki. Izberi  $R_S$  in  $R_D$  tako da bo delovna točka izhoda pri  $U_+/2$ . Določi napako pri računanju z majhnimi popravki! Napako oceni z velikostjo popravka  $(\Delta I_D/I_D)^2$ . Parametri  $I_{DSS}=1$  mA,  $U_T=-2$  V,  $U_+=12$  V. Kakšna bo napaka, če ojačanje povečamo na  $A=-4$ ? Kondenzator ignoriraj!
5. Sestavi sledilec s p-JFET tranzistorjem. Izberi  $R_S$ , da bo delovna točka pri  $U_+/2$ . Kakšna je napaka na izhodu? Napako določi kot  $Err=|\Delta U_S/\Delta U_G-1|$ . Parametri  $I_{DSS}=1$  mA,  $U_T=+2$  V,  $U_+=12$  V.
6. Obravnavaj detektor maksimalne višine.
  - Kakšen je zamik pri sledenju, ko je vhod nekaj časa manjši od trenutnega maksimuma  $U_{max}$ , potem pa ga zopet preseže? Izhod  $IC_1$  je namreč v negativnem nasičenju, ko je dioda zaprta. Če je negativna napajalna napetost  $-V_0$ , mora v trenutku poskočiti na  $U_{max}$ . No, to se ne zgodi v trenutku, pač pa ojačevalec sledi z maksimalno sledilno strmino  $S$ . Potreben čas bo torej:

$$T = \frac{(U_{max} - (-U_0))}{S} \quad (5)$$

Oceni za  $U_{max}=5$  V,  $U_0=15$  V in  $S=1$  V/ $\mu$ s.

- Če  $IC_1$  lahko pošilja kvečjemu tok 10 mA in imamo 1  $\mu$ F velik kondenzator  $C$ , kakšna bo največja strmina, ki ji bo še lahko sledil izhod?
- Skozi diodo, zaprt FET in vhod  $IC_2$  teče skupni tok 1 pA. S kakšno strmino bo padala napetost na kondenzatorju medtem ko bi le-ta moral držati konstantno napetost?
- MOSFET ima  $U_T=2$  V. Kolikšno napetost moramo pripeljati za trenutek na kontakt  $G$ , da bomo resetirali izhod? Kako dolgo mora biti MOSFET odprt, da bo napetost padla z 10 V na 0.1 V? Denimo, da ima tranzistor v prevodnem stanju upornost  $R=50$   $\Omega$ .

## Digitalna elektronika

7. Izračunaj v 5-bitnem dvojiškem komplementu:
  - $5+7$
  - $-5+11$
  - $4*(-3)$
  - $5*2$
8. Zapiši v desetiškem zapisu:
  - $11011_2$

- $1ff_{16}$
  - $71_8$
9. Zapiši v binarnem ( $_2$ ), oktalnem ( $_8$ ) in heksadecimalnem ( $_{16}$ ) zapisu:
    - $22_{10}$
    - $63_{10}$
    - $65_{10}$
  10. S Karnaughjevimi diagrami sestavi vezje, ki pove, če je binarno zapisano število med 0 in 15 praštevilo. Recimo, da 1 je praštevilo, 0 pa ne.
  11. Naredi multiplekser s 4 vhodi (2 adresna vhoda) z običajnimi (IN, ALI, ...) vrati. Pomagaj si s Karnaughjevimi diagrami.
  12. Naredi demultiplekser za 4 vhode. Demultiplekser poveže izhod izbran z 2-bitno adresno z vhodom. Ostali izhodi so prekinjeni.
  13. Karnaughjev diagram za vse prečke v 7-bitnem LED številčnem prikazovalniku.
  14. Nariši realizacijo IN vrat s tremi vhodi v CMOS tehniki.
  15. Nariši realizacijo ALI vrat s tremi vhodi v CMOS tehniki.
  16. Sestavi štoparico s samo enim gumbom - zaporedni pritiski na gumb pomenijo start, stop, reset, start, stop, itd.. Dodaj 4-bitni števec pulzov.
  17. Določi natančnost (najmanjšo spremembo vhodne napetosti, ki še spremeni vrednost bitov na izhodu) 12-bitnega analogno-digitalnega pretvornika (ADC) z vhodnim razponom 0-2 V!
  18. V vezju na sliki uporabljamo digitalno-analogni pretvornik (DAC) kot regulator toka skozi upornik R. Kakšen mora biti upor, da bomo lahko spreminjali tok z natančnostjo  $500 \mu A$ ? Vhodna napetost  $U_+$  je 5 V, DAC ima 10 bitov.
  19. Nariši shemo digitalno-analognega pretvornika, ki dvomestno digitalno število v BCD zapisu pretvori v analogno napetost med 0 in 9.9 V. Vzemi, da za vsako od para števk (A, B) v BCD zapisu uporabimo 4-bite ( $A_3$  je najpomembnejši,  $A_0$  najmanj pomemben), ki zavzamejo vrednosti med 0 V (logična vrednost 0) in 1 V (logična 1). Uporabi en operacijski ojačevalec za seštevanje in enega za spremembo predznaka. Napajanje je  $\pm 15$  V.
  20. Oglej si R-2R digitalno-analogni pretvornik. Določi tokove, ki tečejo skozi vsakega od 8 upornikov. Kako natančno se morajo ujemati upori? Vzemi, da je lahko napaka na izhodu kvečjemu  $\frac{1}{2}$  velikosti najmanj pomembnega bita.
  21. Izberi  $U_{REF}$  za dvo-naklonski analogno-digitalni pretvornik, da bo natančnost pri 10-bitnem števcu enaka 0.5 mV.

22. Za merjenje časovne razlike dostikrat sestavimo dvo-stopenjsko vezje. Prva stopnja pretvarja čas  $v$  (analogno) napetost (TAC), druga stopnja pa je analogno-digitalni pretvornik (ADC). TAC je sestavljen iz konstantnega tokovnega izvora/ponora in integratorja, kot kaže slika. Denimo, da imamo 10-bitni ADC, ki jemlje signale med 0 in 2 V, merimo pa signale, ki so dolgi kvečjemu 20 ns. Kakšno tok naj daje tokovni izvor, da bo ločljivost najboljša? Kakšna je ta ločljivost? Kondenzator C ima vrednost 1 pF. Bi znal sestaviti tak tokovni izvor in npn tranzistorja; denimo da je na voljo napajalna napetost  $U_+ = 15$  V?