

POLPREVODNIŠKA ELEKTRONIKA

Primeri izpitnih nalog

Lastnosti polprevodnikov

1. Izračunajte lego Fermijevega energijskega nivoja E_F glede na intrinzični Fermijev energijski nivo E_{Fi} v homogeno dopiranem n -tipu silicija pri sobni temperaturi, če sta koncentraciji dodanih primesi: akceptorskih $N_A = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ in donorskih $N_D = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.
2. Narišite sliko energijskih in potencialnih nivojev v homogeno dopiranem kosu silicija pri sobni temperaturi z dodatkom primesi: akceptorskih $N_A = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ in donorskih $N_D = 3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. ($E_{GSi}(T \approx 25^\circ\text{C}) = 1,12 \text{ eV}$).
3. Izračunajte lego Fermijevega energijskega nivoja E_F glede na intrinzični Fermijev energijski nivo E_{Fi} in narišite sliko energijskih ter potencialnih nivojev v homogenem vzorcu silicija pri temperaturi $T = 340 \text{ K}$. Ugotovite tudi, za kakšen tip dopiranega silicija gre. Koncentraciji dodanih donorskih in akceptorskih primesi v tem vzorcu silicija znašata: $N_A = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ in $N_D = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Upoštevajte, da je pri temperaturi $T = 340 \text{ K}$ intrinzična koncentracija n_i povečana na $2,5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$.
4. Silicij vsebuje akceptorske primesi koncentracije $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Izračunajte koncentracijo donorskih primesi N_D , ki jo moramo dodati, da bo silicij postal tipa n in bo pri sobni temperaturi Fermijeva energija E_F 0,20 eV pod robom prevodnega pasu. ($E_{GSi} = 1,12 \text{ eV}$)
5. Izračunajte specifično prevodnost silicija, v katerem Fermijeva energija E_F leži v termičnem ravnovesju pri sobni temperaturi 0,18 eV nad robom valenčnega pasu in imajo elektroni gibljivost $\mu_n = 930 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, vrzeli pa $\mu_p = 350 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$. ($E_{GSi} = 1,12 \text{ eV}$).
6. Izračunajte koncentracijo akceptorskih primesi v p -tipu silicija s specifično prevodnostjo 1 Scm^{-1} , če je koncentracija donorskih primesi $N_D = 6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, gibljivost vrzeli pa ocenjujemo na $\mu_p \approx 445 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$.
7. Izračunajte specifično prevodnost homogeno dopiranega silicijevega vzorca pri sobni temperaturi s koncentracijama donorskih in akceptorskih primesi: $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ in $N_A = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, za dva primera: a) brez osvetlitve, b) pri osvetlitvi, ki povzroči homogen presežek prostih parov elektron-vrzeli s koncentracijo $2 \times n_{n0}$. ($\mu_n = 1000 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $\mu_p = 300 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$)
8. Homogeno dopirana silicijeva palica n -tipa s površino $A = 10^{-2} \text{ cm}^2$ in dolžino $l = 1 \text{ cm}$ ima upornost $R = 500 \Omega$. Izračunajte koncentracijo dodanih donorskih primesi in narišite diagram energijskih nivojev s Fermijevim nivojem E_F znotraj energijske špranje. (gibljivost elektronov $\mu_n = 1250 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, gibljivost vrzeli $\mu_p = 440 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, energijska špranja silicija $E_G = 1,12 \text{ eV}$).
9. Izračunajte upornost R homogeno dopirane silicijeve palice n -tipa ($N_D = 6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) s površino $A = 10^{-2} \text{ cm}^2$ in dolžino $l = 1 \text{ cm}$. Izračunajte povprečno hitrost elektronov zaradi električnega polja, ki nastane vzdolž palice zaradi priključene zunanje napetosti med koncema palice $U = 2 \text{ V}$ (gibljivost elektronov $\mu_n = 1250 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, gibljivost vrzeli $\mu_p = 440 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$).

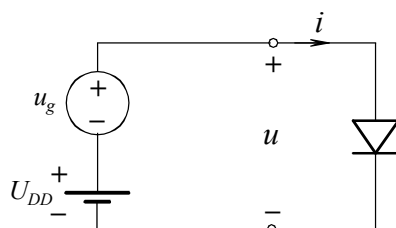
10. Izračunajte upornost silicijevega fotoupora dolžine $l = 1 \text{ cm}$ in preseka $A = 100 \mu\text{m}^2$ za primera: a) brez osvetlitve, b) pri osvetlitvi, ki povzroči presežek prostih nosilcev $\Delta n = \Delta p = 100 \times n_{n0}$. ($N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_n = 1300 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $\mu_p = 400 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$)
11. Za koliko se poveča prevodnost silicijevega vzorca s koncentracijo donorskih primesi $N_D = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, če se zaradi osvetlitve poveča koncentracija prostih nosilcev za: $\Delta n = \Delta p = n_{n0}$. Gibljivost prostih elektronov je trikrat večja od gibljivosti prostih vrzeli.
12. Narišite krajevni potek energijskih nivojev ($E_C(x)$, $E_V(x)$, $E_{Fi}(x)$, $E_F(x)$) v silicijevem vzorcu, če se koncentracija donorskih primesi v smeri x spreminja po zakonitosti: $N_D(x) = N_{D0} \exp(-x/L)$. Polprevodnik se nahaja v termičnem ravnovesju na sobni temperaturi. (Podatki: $N_{D0} = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $L = 4,343 \mu\text{m}$, dolžina vzorca $l = 20 \mu\text{m}$, $E_G = 1,12 \text{ eV}$).
13. V silicijevem vzorcu dolžine $l = 100 \mu\text{m}$ koncentracija donorskih primesi eksponentno narašča ($N_D(x) = N_{D0} \exp(x/L)$, $N_{D0} = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $L = 10 \mu\text{m}$). Izračunajte vgrajeno električno polje v sredini vzorca v termičnem ravnovesju.
14. Izračunajte potencialno razliko med dvema mestoma silicijevega vzorca, med katerima se ravnovesna koncentracija prostih nosilcev razlikuje za faktor 100.
15. Izračunajte vgrajeno električno polje v silicijevem vzorcu, v katerem se koncentracija akceptorskih primesi v smeri x spreminja po zakonitosti: $N_A(x) = N_{A0} \exp(-x/L)$. Skicirajte krajevni potek potencialnih nivojev ($V_C(x)$, $V_V(x)$, $V_{Fi}(x)$, $V_F(x)$). Polprevodnik se nahaja v termičnem ravnovesju na sobni temperaturi. (Podatki: $N_{A0} = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $L = 3,421 \mu\text{m}$, dolžina vzorca $l = 20 \mu\text{m}$, $E_G = 1,12 \text{ eV}$).
16. Koncentracija vrzeli v siliciju se spreminja po enačbi $p(x) = 2 \times 10^{15} \exp(-x/L_p) \text{ cm}^{-3}$ za $x \geq 0$. Pri $x = 0$ je vrednost difuzijskega toka vrzeli $J_{p \text{ dif}} = 6,4 \text{ A cm}^{-2}$. Izračunajte difuzijsko dolžino vrzeli L_p , če je difuzijska konstanta vrzeli $D_p = 10 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.
17. V silicijevem vzorcu tipa n se v termičnem ravnovesju energijska razlika $E_F - E_{Fi}$ linearno spreminja: pri $x = 0$ je $E_F - E_{Fi} = 0,4 \text{ eV}$ in pri $x = 10^{-3} \text{ cm}$ je $E_F - E_{Fi} = 0,15 \text{ eV}$. Zapišite izraz za koncentracijo elektronov $n(x)$ na danem območju in izračunajte difuzijsko tokovo gostoto elektronov pri $x = 5 \times 10^{-4} \text{ cm}$, če je difuzijska konstanta elektronov $D_n = 25 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.
18. Izračunajte električno polje na sredini silicijevega vzorca tipa n , v katerem se koncentracija primesi krajevno spreminja, in sicer $N_D(x) = N_{D0} \exp(-x/L)$. Dolžina vzorca $l = 30 \mu\text{m}$, koncentracija $N_{D0} = 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ in konstanta $L = 4,1 \mu\text{m}$. Kolikšni sta v termičnem ravnovesju na sredini vzorca konduktivna in difuzijska komponenta tokove gostote elektronov, če je njihova gibljivost na tem mestu $\mu_n = 1300 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$?

pn-dioda

1. Silicijev stopničasti pn -spoj je dopiran tako, da je v p -plasti $E_F - E_V = 0,18$ eV in v n -plasti $E_C - E_F = 0,21$ eV. Skicirajte energijski diagram pn -spoja, določite koncentracijo dodanih primesi v obeh plasteh in izračunajte difuzijsko napetost U_D . Spoj se nahaja v termičnem ravnovesju pri sobni temperaturi ($T = 24,8$ °C, $E_G = 1,12$ eV).
2. Za koliko in na kolikšni razdalji se ob idealnem stopničastem silicijevem pn -spoju v termičnem ravnovesju ukrivijo potencialni nivoji, če je koncentracija dodanih primesi v p -plasti $N_A = 10^{17}$ cm⁻³ in v n -plasti $N_D = 3 \times 10^{14}$ cm⁻³? Izračun dopolnite s skico krajevne odvisnosti potencialnih nivojev.
3. Izračunajte difuzijsko napetost U_D , širino osiromašenega območja D in električno poljsko jakost E_{max} idealnega stopničastega pn -spoja, ki ima v p -plasti $N_A = 5 \times 10^{17}$ cm⁻³ in v n -plasti $N_D = 2 \times 10^{14}$ cm⁻³. Izračun dopolnite s skico krajevnih odvisnosti potencialnih nivojev, prostorskega naboja in električnega polja znotraj strukture.
4. Silicijeva stopničasta pn -dioda ima v p -plasti dodanih 10^{18} cm⁻³ akceptorskih primesi. Določite koncentracijo dodanih donorskih primesi v n -plasti, da bo pri priključenju zunanji zaporni napetosti $U_R = 100$ V električna poljska jakost na metalurškem spoju znašala 3×10^5 Vcm⁻¹. Pri izračunu zanemarite difuzijsko napetost U_D ($|U_R| \gg U_D$).
5. Izračunajte, pri kateri zaporni priključenju zunanji napetosti U_R bo električno polje na metalurškem spoju stopničaste silicijeve pn -diode znašalo $|E_{maks.} = 2 \times 10^4$ Vcm⁻¹, če je n -plast diode dopirana z $N_D = 2 \times 10^{14}$ cm⁻³ in p -plast z $N_A = 5 \times 10^{17}$ cm⁻³. Skicirajte krajevni potek električnega polja pri priključenju zaporni napetosti in brez priključene napetosti.
6. Izračunajte, pri kateri priključenju zunanji napetosti bo osiromašeno območje silicijeve stopničaste pn -diode znašalo 5 μm. (Podatki: $N_A = 10^{18}$ cm⁻³, $N_D = 10^{14}$ cm⁻³). Kolikšno bo pri tej napetosti električno polje na metalurškem pn -spoju?
7. Stopničasta silicijeva pn -dioda z difuzijsko napetostjo $U_D = 0,7$ V ima v p -plasti 10^{16} cm⁻³ dodanih akceptorskih primesi. Kolikšna je koncentracija vrzeli v n -plasti na robu osiromašenega območja, če je na diodo priključena prevodna napetost $U = 0,5$ V? Razmere v diodi ponazorite s skico krajevnih odvisnosti potencialnih nivojev in koncentracij prostih nosilcev naboja.
8. Izračunajte tokovo gostoto vrzeli J_p na robu osiromašenega območja stopničastega pn -spoja, če je na diodo priključena prevodna napetost $U = 0,6$ V. Podatki: $N_A = 10^{17}$ cm⁻³, $N_D = 10^{14}$ cm⁻³, $L_p = 5$ μm, $D_p = 10$ cm²s⁻¹. Narišite (shematsko) krajevni potek tokove gostote vrzeli vzdolž pn -diode.
9. Idealna silicijeva dioda s stopničastim pn -spojem ima površino $A = 10^{-3}$ cm² in naslednje snovne parametre: $N_A = 5 \times 10^{16}$ cm⁻³, $N_D = 1 \times 10^{16}$ cm⁻³, $D_n = 25$ cm²/s, $D_p = 10$ cm²/s, $\tau_n = 5 \times 10^{-7}$ s, $\tau_p = 1 \times 10^{-7}$ s. Izračunajte difuzijska toka manjšinskih elektronov in vrzeli na robovih osiromašenega območja in celotni diodni tok, če je na diodo priključena prevodna napetost $U = 0,625$ V.

10. Silicijeva dioda s površino pn -spoja $A = 2500 \mu\text{m}^2$ ima v p -plasti 10^{18}cm^{-3} akceptorskih primesi in v n -plasti 10^{15}cm^{-3} donorskih primesi. Elektroni kot manjšinski nosilci naboja v p -plasti imajo difuzijsko dolžino $L_n = 10 \mu\text{m}$ in difuzijsko konstanto $D_n = 18 \text{cm}^2\text{s}^{-1}$, vrzeli kot manjšinski nosilci naboja v n -plasti pa imajo $L_p = 5 \mu\text{m}$ in $D_p = 10 \text{cm}^2\text{s}^{-1}$. Dioda je prevodno polarizirana in teče skozi tok $I = 4 \text{mA}$. Izračunajte tok nasičenja I_S diode in napetost U na diodi. Za dani način delovanja diode skicirajte krajevni porazdelitvi prostih nosilcev in tokovih gostot elektronov in vrzeli ter celotne tokove gostote skozi diodno strukturo.
11. Idealni stopničasti silicijev pn -spoj ima v p -plasti $N_A = 10^{17} \text{cm}^{-3}$ in v n -plasti $N_D = 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$. Izračunajte toka injiciranih manjšinskih nosilcev naboja na robovih osiromašenih plasti pri prevodni napetosti, ki je enaka polovici difuzijske napetosti. Izračun dopolnite s skico krajevne odvisnosti komponent toka skozi diodo ($\tau_p = 0,1 \mu\text{s}$ in $\tau_n = 0,01 \mu\text{s}$, $A = 10^{-4} \text{cm}^2$, $\mu_n = 801 \text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $\mu_p = 438 \text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $U_T = 25,66 \text{mV}$).
12. Idealna silicijeva dioda s stopničastim pn -spojem ima naslednje snovne parametre: $\tau_n = \tau_p = 0,1 \times 10^{-6} \text{s}$, $D_n = 25 \text{cm}^2/\text{s}$, $D_p = 10 \text{cm}^2/\text{s}$. Kolikšno mora biti razmerje koncentracij N_A/N_D , da bo tok elektronov predstavljal 95%-ni delež celotnega toka skozi osiromašeno območje diode.
13. Idealna silicijeva dioda s stopničastim pn -spojem ima $N_D = 10^{18} \text{cm}^{-3}$, $N_A = 10^{16} \text{cm}^{-3}$, $\mu_p = 150 \text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $\mu_n = 1250 \text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $\tau_p = \tau_n = 10^{-6} \text{s}$ in površino $A = 1,2 \times 10^{-5} \text{cm}^2$. Izračunajte tok nasičenja diode in tok v prevodni ter zaporni smeri pri $U = \pm 0,7 \text{V}$. ($T = 300 \text{K}$).
14. Serijska izgubna upornost pn -diode znaša 2Ω . Izračunajte, pri kolikšni zunanji priključeni napetosti bo tekel skozi diodo tok 100mA , če je tok nasičenja diode $I_S = 10^{-10} \text{A}$.
15. Izračunajte serijsko notranjo upornost R_S diode, pri kateri je pri prevodnem toku $I = 1 \text{mA}$ na zunanjih priključkih napetost $U = 0,7 \text{V}$, pri toku $I = 50 \text{mA}$ pa $U = 1 \text{V}$.
16. Izračunajte, pri katerem toku skozi stopničasto silicijevo pn -diodo s tokom nasičenja $I_S = 10^{-14} \text{A}$, diodnim faktorjem $n = 1$ in notranjo serijsko upornostjo $R_S = 10 \Omega$ bo napetostni padec na serijski upornosti znašal 10% priključene zunanje napetosti.
17. Če na silicijevo pn -diodo priključimo napetost $U = 1 \text{V}$, teče skozi tok $I = 250 \text{mA}$. Dioda ima stopničasti pn -spoj z $N_A = 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ v p -plasti in $N_D = 3 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ v n -plasti; ostali podatki pa so naslednji: $L_n = 14 \mu\text{m}$, $L_p = 35 \mu\text{m}$, $D_n = 20 \text{cm}^2/\text{s}$, $D_p = 12,5 \text{cm}^2/\text{s}$, serijska upornost od zunanjih priključkov do zaporne plasti pa znaša $1,2 \Omega$. Kolikšna je površina te diode? Narišite še sliko tokovih gostot skozi strukturo.
18. Silicijeva dioda s tokom nasičenja pri sobni temperaturi $I_S = 10^{-12} \text{A}$ ima dolžino nevtralnega dela n -plasti $l_n = 10^{-2} \text{cm}$ s specifično upornostjo $\rho_n = 0,1 \Omega\text{cm}$ in dolžino nevtralnega dela p -plasti $l_p = 5 \times 10^{-2} \text{cm}$ s specifično upornostjo $\rho_p = 0,02 \Omega\text{cm}$, površina diode je $A = 10^{-4} \text{cm}^2$. Izračunajte napetost na zunanjih sponkah diode, če skozi diodo teče tok $I = 1 \text{mA}$. Kolikšna bo napetost pri toku $I = 10 \text{mA}$?
19. Izračunajte diferencialno prevodnost g polprevodniške pn -diode za majhne signale nizkih frekvenc, če sta znana tok nasičenja diode $I_S = 1 \text{pA}$ in napetost na diodi $U = 615 \text{mV}$. Princip linearizacije prikažite s sliko $I(U)$ karakteristike.

20. Določite diferencialno prevodnost silicijeve diode s tokom nasičenja $I_S = 2 \times 10^{-14}$ A, če je na diodo preko upora $R = 10 \text{ k}\Omega$ priključena baterijska napetost $U_b = 5 \text{ V}$ in generator majhnega nF sinusnega signala. Skicirajte tokovno-napetostno karakteristiko diode, vrišite uporovno premico, označite delovno točko in vrišite premico diferencialne prevodnosti. (Pri reševanju si pomagajte z iterativnim postopkom, katerega zaključite po drugem koraku. Za prvi približek vzemite napetost na diodi $U_D = 0.7 \text{ V}$.)
21. Določite inkrementalno nadomestno vezje za narisano vezje z idealno silicijevo diodo s stopničastim pn -spojem z $N_A = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ v p -plasti in $N_D = 3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ v n -plasti. Tok nasičenja diode znaša 20 pA , preostali podatki pa so: $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$, $U_{DD} = -2 \text{ V}$ in $u_g = 1 \text{ mV} \cdot \cos(2\pi \cdot 1 \text{ MHz} \cdot t)$.



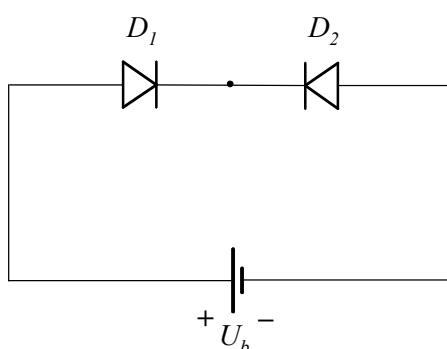
22. Izračunajte kapacitivnost silicijeve diode pri sobni temperaturi: a) če se dioda nahaja v termičnem ravnovesju in b) če je na diodo priključena zaporna napetost $U_R = 10 \text{ V}$. ($A = 0.1 \text{ mm}^2$, $N_A = 100 \times N_D$, $U_D = 709 \text{ mV}$)
23. Izračunajte, pri kateri zaporni napetosti U_R na stopničasti silicijevi pn -diodi bo spojna kapacitivnost diode C_T znašala 2 pF . Kolikšna je spojna kapacitivnost C_T pri $U_R = 0 \text{ V}$. Podatki: $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$.
24. Določite nadomestno vezje diode s stopničastim pn -spojem pri krmiljenju z majhnimi signali, če je v delovni točki na diodi napetost $U = 0,6 \text{ V}$, frekvenca majhnih signalov je $f = 5 \text{ kHz}$, ostali podatki diode pa so $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $L_p = 5 \text{ }\mu\text{m}$, $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$ in površina spoja $A = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$.
25. Silicijeva dioda s stopničastim pn -spojem s podatki: $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 7 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, površina $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$, vrzeli v n -plasti imajo difuzijsko konstanto $D_p = 12,5 \text{ cm}^2/\text{s}$ in življenjski čas $\tau_p = 2 \text{ }\mu\text{s}$. Določite nadomestni vezji diode za majhne harmonične signale s frekvenco $f = 5 \text{ kHz}$, in sicer za enosmerni napetosti $+0,7 \text{ V}$ in -10 V . ($L_p^2 = D_p \tau_p$)
26. Stopničasti pn -spoj z difuzijsko napetostjo $U_D = 0,752 \text{ V}$ in površino $A = 5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ ima v n -plasti 50-krat višjo koncentracijo donorskih primesi N_D kot v p -plasti akceptorskih N_A . Določite koncentraciji N_A in N_D ter spojno kapacitivnost C_T pri zaporni napetosti $U_R = 10 \text{ V}$.
27. Izračunajte zaporno napetost, ki jo moramo priključiti na silicijevo stopničasto pn -diodo, da bo njena spojna kapacitivnost znašala $C_T = 1 \text{ pF}$. Dioda ima dodanih 10^{18} cm^{-3} akceptorskih primesi v p -plasti in 10^{15} cm^{-3} donorskih primesi v n -plasti ter ima površino $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$.
28. Enostransko močno dopirana silicijeva stopničasta p^+n -dioda ima pri sobni temperaturi pri zaporni priključeni napetosti $U_R = 1,2 \text{ V}$ kapacitivnost $0,2 \text{ pF}$. Površina pn -spoja je 10^{-4} cm^2 , difuzijska napetost pa $U_D = 0,8 \text{ V}$. Izračunajte koncentracijo primesi v obeh diodnih plasteh.

29. Pri zaporni napetosti $U_R = 6 \text{ V}$ znaša spojna kapacitivnost diode $C_T = 8 \text{ pF}$. Kolikšna je spojna kapacitivnost diode v termičnem ravnovesju in kolikšna je koncentracija akceptorskih primesi v p -plastu nesimetričnega ($N_D \gg N_A$) stopničastega pn -spoja, če ima dioda površino $A = 2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ in difuzijsko napetost $U_D = 0,75 \text{ V}$?
30. V silicijevi diodi z idealnim stopničastim pn -spojem, v kateri je dopiranje p -plastu mnogo večje od dopiranja n -plastu, smo izmerili kapacitivnosti pri dveh zapornih napetostih, kot je to prikazano v spodnji tabeli. Izračunajte difuzijsko napetost pn -spoja in koncentraciji dopiranja obeh plasti N_A in N_D . Površina pn -spoja je 10^{-3} cm^2 .

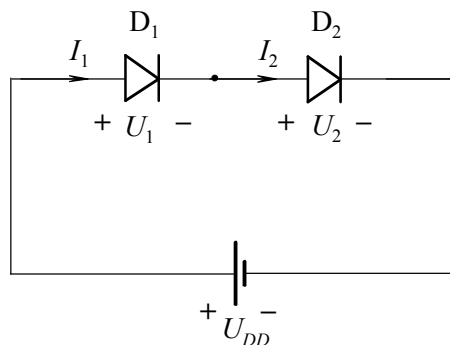
U_R	C_T
2 V	2,4 pF
10 V	1,2 pF

31. Določite nadomestno vezje diode s stopničastim pn -spojem pri krmiljenju z majhnimi signali, če je površina diode $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$ in sta dopiranj: $N_A = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 7 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, na diodo pa je priključena zaporna napetost $U = -2 \text{ V}$.
32. Določite visokofrekvenčno nadomestno vezje diode s stopničastim pn -spojem pri krmiljenju z majhnimi signali v zaporni smeri, če so za diodo znani podatki: $N_A = 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $A = 2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$, zunanja priključena zaporna napetost pa je $U_R = 25 \text{ V}$.
33. Pri sobni temperaturi ima prevodno polarizirana p^+n -dioda s tokom nasičenja $I_S = 2 \times 10^{-11} \text{ A}$ diferencialno upornost $r = 48 \Omega$. Izračunajte napetost na diodi. Kolikšno impedanco bo predstavljala dioda za majhne harmonične signale frekvence $f = 100 \text{ kHz}$, če je življenjski čas vrzeli v n -plastu $\tau_p = 10^{-7} \text{ s}$?
34. Silicijev stopničasti pn -spoj je dopiran z $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ v p -plastu in $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ v n -plastu ter ima površino spoja $A = 6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$. Vzporedno k spoju je priključena tuljava z induktivnostjo $L = 2,2 \text{ mH}$. Izračunajte resonančno frekvenco vezja, če je dioda zaporno polarizirana z napetostjo $U_R = 10 \text{ V}$? ($T = 24,8 \text{ }^\circ\text{C}$)
35. Določite nadomestno vezje diode s stopničastim pn -spojem pri krmiljenju z majhnimi signali, če je v delovni točki na diodi napetost $U = 0,6 \text{ V}$, frekvenca majhnih signalov je $f = 5 \text{ kHz}$, ostali podatki diode pa so: $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $L_p = 5 \mu\text{m}$, $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$ in površina spoja $A = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$.
36. Izračunajte, kolikšen življenjski čas τ_n morajo imeti elektroni v p -plastu nesimetrične ($N_D \gg N_A$) stopničaste pn -diode, da bo realni del admitance \underline{y} 100-krat večji od imaginarnega dela. Dioda je v okolici delovne točke $I = 1 \text{ mA}$ krmiljena z majhnimi signali frekvence $f = 10 \text{ kHz}$.
37. Silicijeva dioda s stopničastim p^+n -spojem ima površino $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$, difuzijsko napetost $U_D = 0,77 \text{ V}$ in dopiranje n -plastu z $N_D = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Izračunajte spojno kapacitivnost diode pri $U = 0 \text{ V}$ in pri zaporni napetosti $U_R = 10 \text{ V}$.
38. Izračunajte, pri kateri zaporni napetosti U_R na stopničasti silicijevi pn -diodi bo spojna kapacitivnost diode C_T znašala 5 pF . Kolikšna je spojna kapacitivnost C_T pri $U_R = 0 \text{ V}$. Podatki: $N_A = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$.

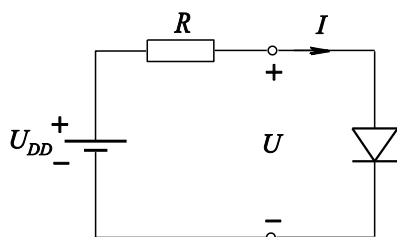
39. Na stopničasto p^+n ($N_A \gg N_D$) silicijevo diodo s tokom nasičenja $I_S = 1.43 \times 10^{-14}$ A je priključena prevodna napetost $U = 700$ mV. Življenjski čas vrzeli v n -plastu $\tau_p = 410$ ns, elektronov v p -plastu pa $\tau_n = 5$ ns. Izračunajte diferencialno prevodnost in prevladujočo kapacitivnost, ki ju čutijo majhni nf harmonični signali v okolici dane delovne točke.
40. Stopničasta p^+n silicijeva dioda je prevodno polarizirana in prevaja tok $I = 5$ mA. Življenjski čas vrzeli v n -plastu $\tau_p = 415$ ns, elektronov v p -plastu pa $\tau_n = 5$ ns. Izračunajte diferencialno prevodnost in prevladujočo kapacitivnost, ki ju čutijo majhni nf harmonični signali v okolici dane delovne točke. S pomočjo skice pojasnite razloge za kapacitivno obnašanje diode.
41. Diodi D_1 in D_2 sta antiserijsko povezani in priključeni na baterijsko napetost $U_b = 4,5$ V. Izračunajte napetosti na diodah, če je tok nasičenja diode D_1 šestkrat manjši od toka nasičenja diode D_2 . Pri izračunu si pomagajte s skico, na kateri vrišite karakteristiki obeh diod in označite njuni delovni točki.



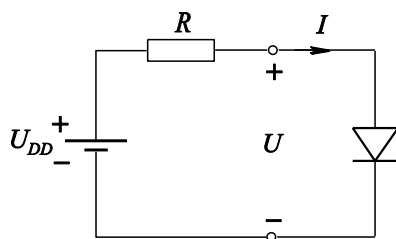
42. Izračunajte napetosti na diodah, ki se razlikujeta le v površinah pn -spojev: $A_1 = 10 \times A_2$. ($U_{DD} = 1.2$ V)



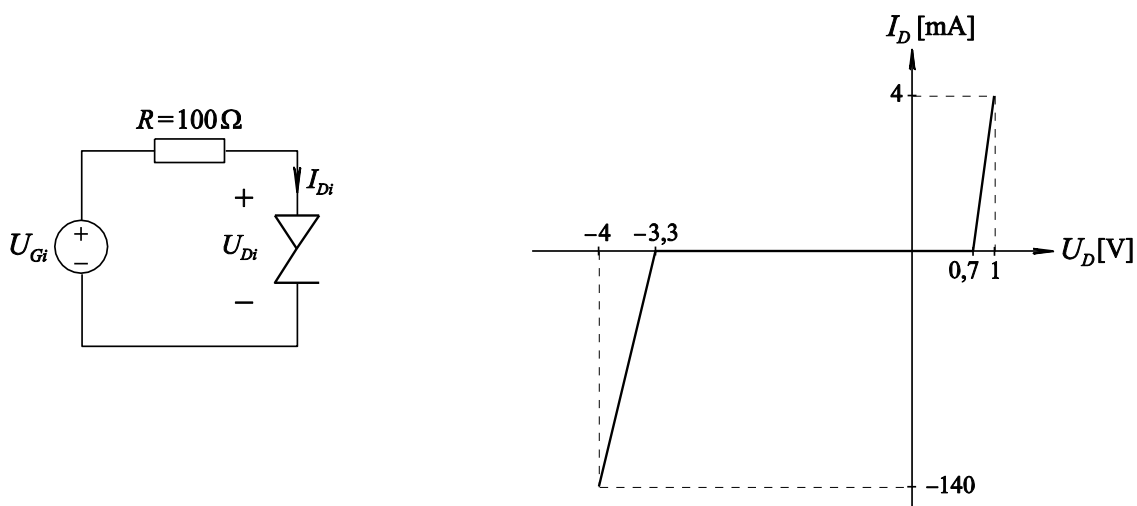
43. Izračunajte, pri kateri baterijski napetosti U_{DD} bo skozi diodo tekel tok 0,1 mA. Za koliko moramo povečati baterijsko napetost, da se bo tok skozi diodo povečal na 1 mA? Tok nasičenja diode je $I_S = 7 \times 10^{-15}$ A, serijska upornost med diodo in baterijo pa $R = 1$ k Ω .



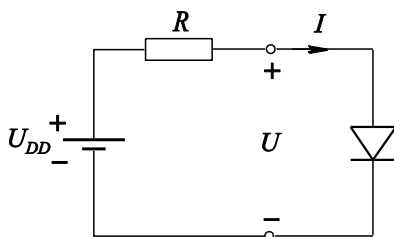
44. Izračunajte, za koliko moramo povečati baterijsko napetost U_{DD} , da se bo tok skozi diodo povečal z $1 \mu\text{A}$ na 5 mA . Tok nasičenja diode je $I_S = 10^{-15} \text{ A}$, serijska upornost med diodo in baterijo pa $R = 156 \Omega$.



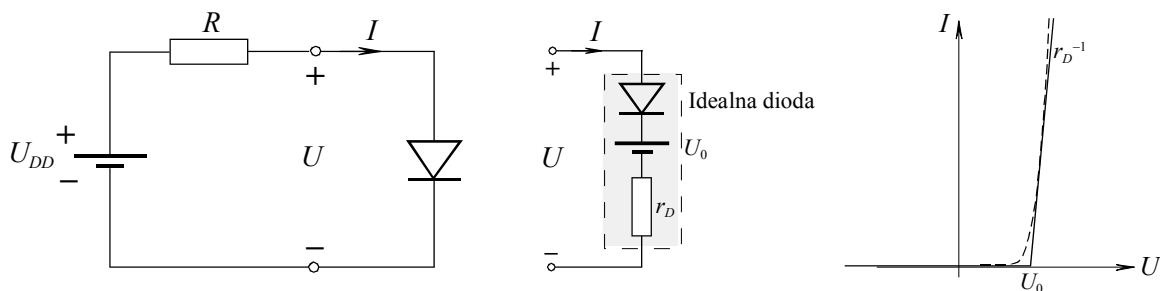
45. Izračunajte napetosti na diodi U_{Di} in toke skozi diodo I_{Di} pri priključenih napetostih: $U_{G1} = 1 \text{ V}$, $U_{G2} = -2 \text{ V}$ in $U_{G3} = -5 \text{ V}$. Diodna karakteristika je dana grafično.



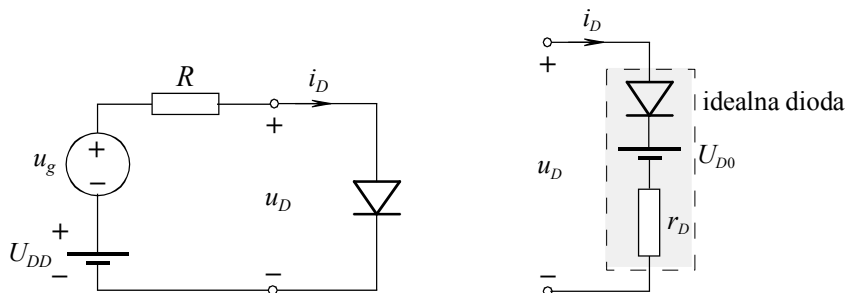
46. Izračunajte, za koliko se spremeni napetost U na diodi, če se vhodna napetost U_{DD} poveča s 5 V na 6 V . Karakteristika polprevodniške diode je dana z dvema aproksimiranimi linearnima segmentoma, in sicer: $I = 0$ za $U \leq U_0$ in $I = (U - U_0)/r_D$ za $U \geq U_0$. Napetost $U_0 = 0,7 \text{ V}$ in $r_D = 12 \Omega$, serijska upornost R pa znaša $1 \text{ k}\Omega$. Rešitev prikažite tudi grafično!



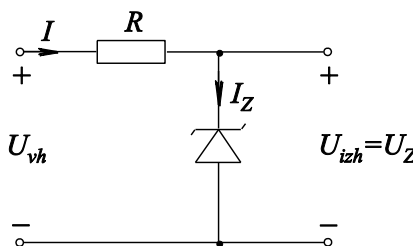
47. Določite vrednosti elementov nadomestnega vezja diode U_0 in r_D , če pri priključenih napetosti $U_{DD} = 5 \text{ V}$ teče skozi dano vezje tok $I = 1 \text{ mA}$. Upornost r_D določite kot tangento skozi delovno točko diode. (Podatek: $R = 4.3 \text{ k}\Omega$).



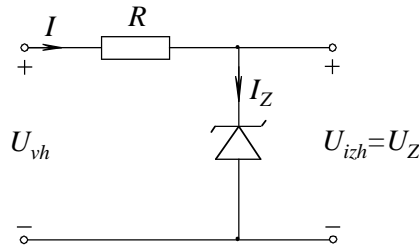
48. Določite medvršno vrednost izmenične sinusne napetosti u_{dpp} na diodi, če je generatorjeva medvršna napetost $u_{gpp} = 200 \text{ mV}$, ostali podatki pa so: $U_{DD} = 5 \text{ V}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$, $U_{D0} = 0,6 \text{ V}$, nadomestna upornost diode $r_D = 50 \Omega$. Rešitev ponazorite tudi grafično (narišite $i(u)$ diagram z aproksimirano karakteristiko diode in uporovno premico ter ustrezno označite vhodni in izhodni izmenični signal).



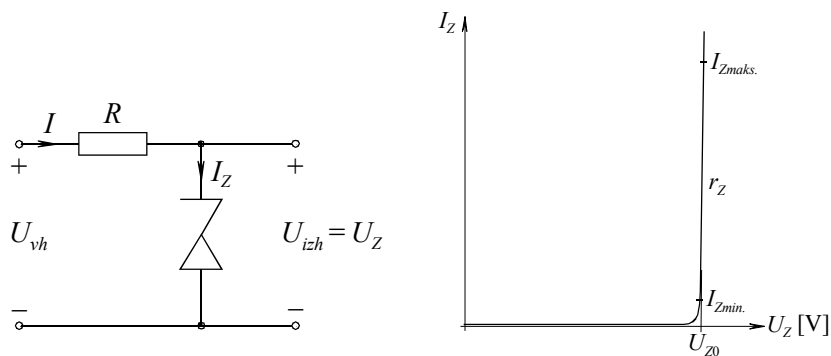
49. Izračunajte, v katerih mejah se lahko spreminja napetost na vohu preprostega napetostnega stabilizatorja, da napetost na izhodu ne bo manjša od $5,4 \text{ V}$ in ne večja od $5,6 \text{ V}$. Pri napetosti $U_{izh} = 5,6 \text{ V}$ teče skozi prebojno diodo tok $I = 50 \text{ mA}$ ($r_z = 10 \Omega$, $R = 250 \Omega$). Princip delovanja preprostega napetostnega stabilizatorja pojasnite s karakteristiko prebojne diode in uporovno premico.



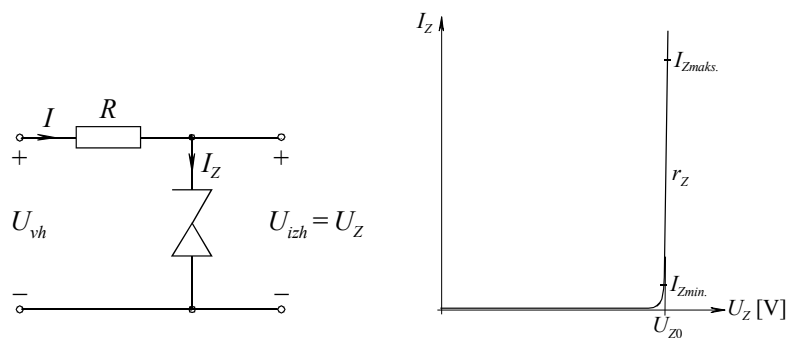
50. Za preprost napetostni stabilizator s prebojno diodo določite vrednost upora R in parametra r_z , če želimo stabilizirati izhodno napetost na približno $U_{izh} = 5 \text{ V}$, sprememba izhodne napetosti ΔU_{izh} pa naj bo manjša od $0,05 \text{ V}$, pri čemer se vhodna napetost U_{vh} spreminja med 10 V in 17 V . Upor R določite tako, da bo pri maksimalni vhodni napetosti $U_{vh \text{ max}} = 17 \text{ V}$ tok skozi prebojno diodo približno enak $I_{z \text{ max}} = 25 \text{ mA}$. Pri izračunu vrednosti upora R vpliv upornosti r_z zanemarite (r_z majhen). Princip delovanja napetostnega stabilizatorja prikažite s karakteristiko prebojne diode in uporovno premico.



51. Prebojno diodo z $U_{Z0} = 5,6 \text{ V}$ in $r_Z = 5 \Omega$ želimo uporabiti za stabilizacijo enosmerne napetosti. Določite območje dopustnega spreminjanja vhodne napetosti U_{vh} , če je največji dopustni tok obremenitve diode $I_{maks.} = 10 \text{ mA}$ in tok, pri katerem dioda še zadovoljivo deluje kot stabilizator, $I_{min.} = 1 \text{ mA}$. Določite obseg spreminjanja izhodne napetosti. Princip stabilizacije napetosti prikažite z vrisano uporovno premico v $I_Z(U_Z)$ diagramu. Vrednost predupora $R = 220 \Omega$.

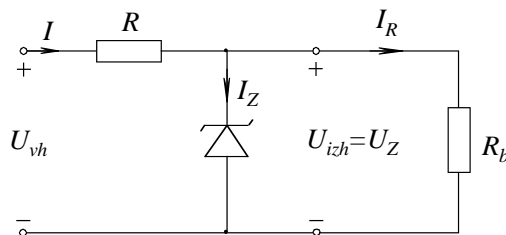


52. Preprost napetostni stabilizator sestavljata upor $R = 200 \Omega$ in prebojna dioda z nazivno napetostjo $U_{Z0} = 6 \text{ V}$, diodno upornostjo $r_Z = 10 \Omega$, maksimalnim dopustnim tokom $I_{Zmaks.} = 50 \text{ mA}$ in minimalnim dopustnim tokom $I_{Zmin.} = 5 \text{ mA}$. Izračunajte območje dopustnega spreminjanja vhodne napetosti glede na dani tokovni omejitvi. Izračunajte, v kakšnem obsegu se bo pri tem spreminjala izhodna napetost.



53. Prebojna dioda s parametrom $U_{Z0} = 5,6 \text{ V}$ je priključena na nestabiliziran napetostni vir prek upora $R = 200 \Omega$. Kolikšno nadomestno upornost r_Z mora imeti prebojna dioda, da bodo spremembe napetosti na diodi zaradi sprememb vhodne napetosti med 8 V in 10 V manjše od 50 mV ? Princip delovanja prebojne diode kot stabilizatorja napetosti pojasnite s skico (karakteristiko in uporovno premico).

54. Za dani napetostni stabilizator z bremenskim uporom R_b izračunajte spremembo izhodne napetosti ΔU_{izh} , če se vhodna napetost U_{vh} spreminja med 6 V in 9 V. ($U_{Z0} = 4,7$ V, $r_Z = 30 \Omega$, $R = 150 \Omega$, $R_b = 620 \Omega$).



55. Izračunajte, pri kateri temperaturi okolice bo temperatura pn -spoja dosegla maksimalno dopustno temperaturo $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$, če je termična upornost med spojem in ohišjem $R_{thjc} = 4^\circ\text{C/W}$ in je dioda pritrjena na hladilno telo s površino $A = 25 \text{ cm}^2$ in s specifično konstanto toplotne izmenjave $\sigma = 2,5 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}^2 \text{ }^\circ\text{C})$. Skozi diodo teče tok $I = 3$ A, njen tok nasičenja pa je $I_S = 1,6 \times 10^{-11}$ A.
56. Izračunajte minimalno površino hladilnega telesa diode, skozi katero teče enosmerni tok 10 A in je priključena na enosmerno napetost 0,9 V, da temperatura spoja T_j ne bo presegla $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$. Določite tudi temperaturo hladilnega telesa diode T_c . ($R_{thjc} = 6,67^\circ\text{C/W}$, $\sigma_{thca} = 3 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}^2 \text{ }^\circ\text{C})^{-1}$, $T_a = 60^\circ\text{C}$).
57. Dioda s tokom nasičenja $I_S = 100 \text{ nA}$ (pri $T_j = 150^\circ\text{C}$) in diodnim faktorjem $n = 1,2$ je priključena na enosmerno napetost 0,8 V. Izračunajte minimalno površino hladilnega telesa diode, da pri temperaturi okolice $T_a = 60^\circ\text{C}$ temperatura pn -spoja ne bo presegla $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$. Specifična toplotna prevodnost hladilnega telesa je $\sigma_{thca} = 5 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}^2 \text{ K})$. Toplotna upornost med spojem in ohišjem diode je $R_{thjc} = 2 \text{ K/W}$.

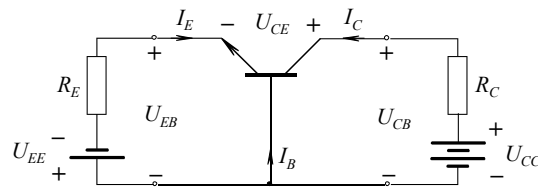
$$\left(U_T = \frac{k \cdot T [\text{K}]}{q} \right)$$

Teoretična vprašanja iz *pn*-diode

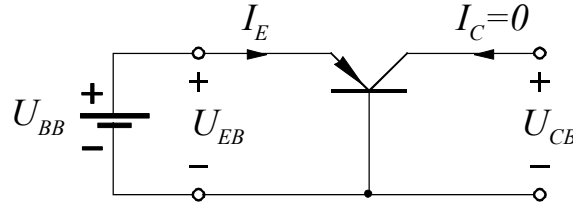
1. Opišite dogajanje na *pn*-spojju po miselni spojitvi *p*- in *n*-plasti ob predpostavki, da je spojitev idealna. Narišite krajevno porazdelitev prostorskega naboja, električnega polja in energijskih nivojev v *pn*-diodi v termičnem ravnovesju.
2. Krmiljenje diode z velikimi pravokotnimi signali: a) narišite časovni diagram in na njem označite značilne zakasnilne čase diode, b) s skico pojasnite dogajanje v diodi, za katero predpostavimo, da ima koncentracijo $N_A \gg N_D$.
3. Pojasnite princip linearizacije diodne karakteristike v okolici mirovne delovne točke pri krmiljenju z majhnimi signali.
4. Spojna in difuzijska kapacitivnost *pn*-spoja.

Bipolarni tranzistor

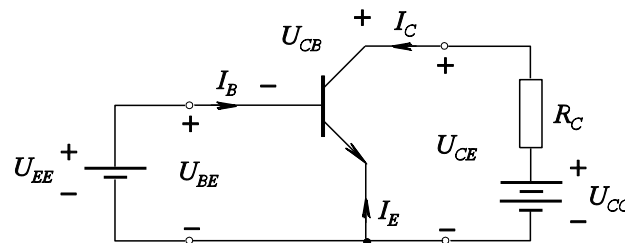
1. Bipolarni *npn* tranzistor ima površino $A = 10^{-3} \text{ cm}^2$, širino baze $W = 4 \mu\text{m}$ in dopiranje v bazi $N_{AB} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Izračunajte, pri kateri napetosti na emitorskem spoju bo tok injiciranih elektronov iz emitorja v bazo pri kratko sklenjenem kolektorskem spoju dosegel vrednost 5 mA. Predpostavite, da velja $W \ll L_{nB}$, difuzijska konstanta elektronov v bazi pa je $D_{nB} = 32 \text{ cm}^2/\text{s}$. Narišite še krajevni potek koncentracije elektronov v bazi pri danih delovnih pogojih.
2. Določite tokove (I_B, I_C, I_E) in napetosti (U_{CB}, U_{CE}) bipolarnega tranzistorja, če je napetost $U_{EB} = -0,7 \text{ V}$ (aktivno območje delovanja) in ojačenje $\alpha_F = 0,98$. ($U_{CC} = 10 \text{ V}$, $U_{EE} = 10 \text{ V}$, $R_C = 5 \text{ k}\Omega$, $R_E = 10 \text{ k}\Omega$).



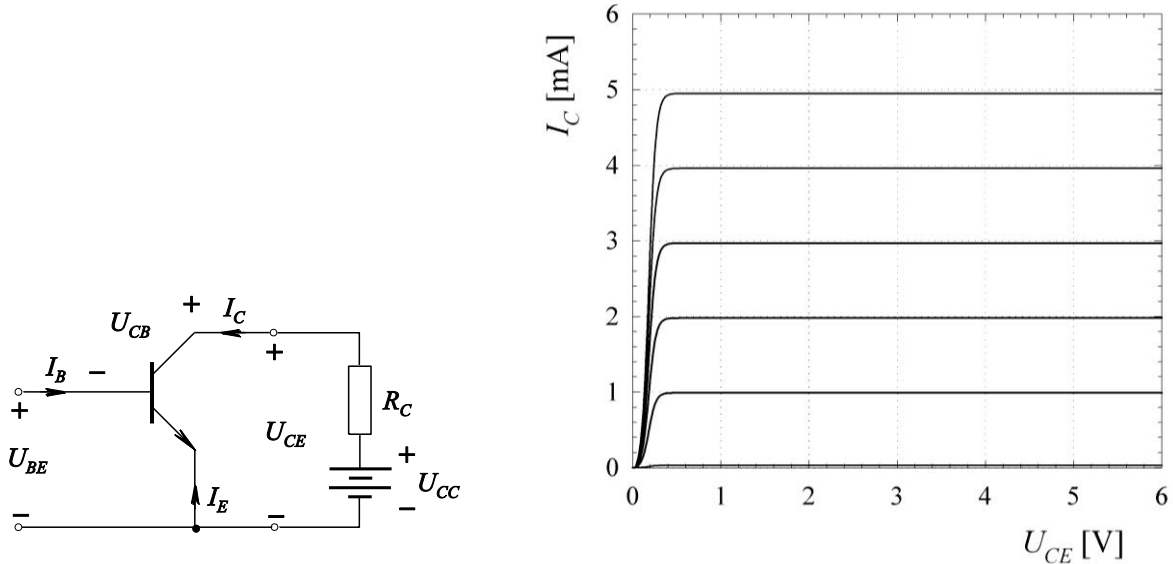
3. Izračunajte emitorski tok I_E bipolarnega *pnp* tranzistorja na sliki pri odprti kolektorski sponki ($I_C = 0$), če je napetost $U_{BB} = 0,6 \text{ V}$. Pri izračunu uporabite enačbe I. Ebers-Mollovega modela, pri katerem upoštevajte, da sta $U_{EB} \gg U_T$ in $U_{CB} \gg U_T$. ($I_{ES} = 10 \text{ pA}$, $I_{CS} = 100 \text{ pA}$, $\alpha_F = 0,99$, $\alpha_R = 0,8$)



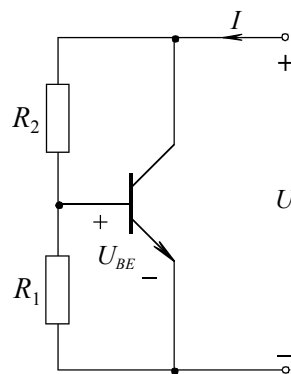
4. Izračunajte tokove in napetosti *npn* tranzistorja v orientaciji s skupnim emitorjem v aktivnem območju, da bo na bremenskem uporu $R_C = 2 \text{ k}\Omega$ padec napetosti 5 V. Napajalna napetost $U_{CC} = 12 \text{ V}$, tok nasičenja emitorskega spoja $I_{ES} = 10 \text{ pA}$ in $\beta_F = 100$.



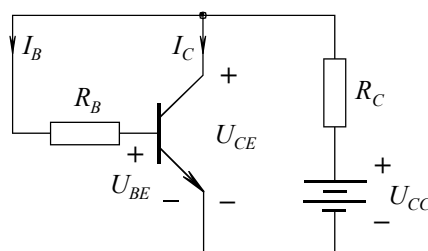
5. Izračunajte, pri katerem baznem toku bo na bremenskem uporu $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ napetost $U_{R_C} = 3 \text{ V}$. Izračunajte še napetosti na emitorskem in kolektorskem spoju U_{BE} in U_{BC} ter emitorski tok I_E . V diagram z izhodno karakteristiko vpišite vrednosti baznih tokov za posamezne krivulje, vršite uporovno premico in označite delovno točko. ($\alpha_F = 0.98$, $I_{ES} = 10^{-13} \text{ A}$, $U_{CC} = 5 \text{ V}$).



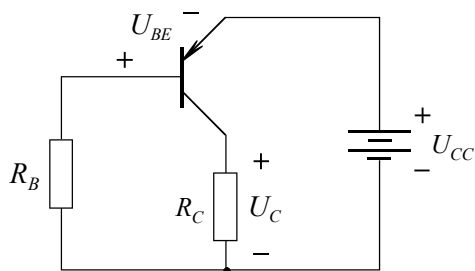
6. Izračunajte napetost U danega dvopolnega vezja, če je tok $I = 10 \text{ mA}$, napetost $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$, tokovno ojačenje tranzistorja $\beta_F = 100$, upornost $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ in upornost $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$.



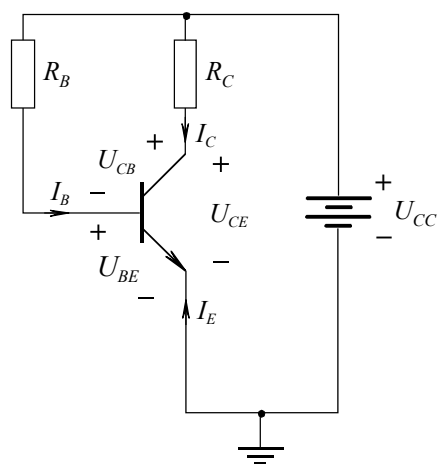
7. Določite tok I_C in napetost U_{CE} , če je napetost $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ (aktivno območje delovanja) in ojačenje $\beta = 200$. ($U_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_C = 3,3 \text{ k}\Omega$ in $R_B = 440 \text{ k}\Omega$).



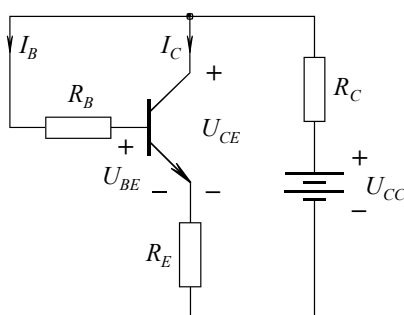
8. Izračunajte upornost R_C , da bo na njej pri napajanju $U_{CC} = 12\text{ V}$ padec napetosti $U_C = 5\text{ V}$. pnp -tranzistor ima ojačenje $\beta = 50$, napetost $U_{BE} \approx -0,7\text{ V}$ in upornost $R_B = 100\text{ k}\Omega$.



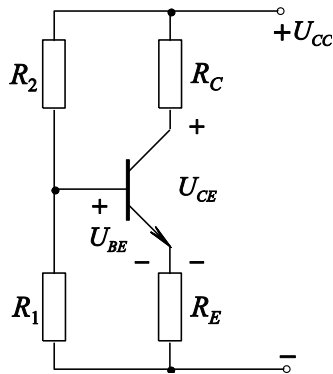
9. Izračunajte kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} bipolarnega tranzistorja, ki je prek uporov $R_B = 470\text{ k}\Omega$ in $R_C = 2,2\text{ k}\Omega$ priključen na baterijo $U_{CC} = 9\text{ V}$, kot to prikazuje slika. ($\beta_F = 80$, $U_{BE} \cong 0,7\text{ V}$)



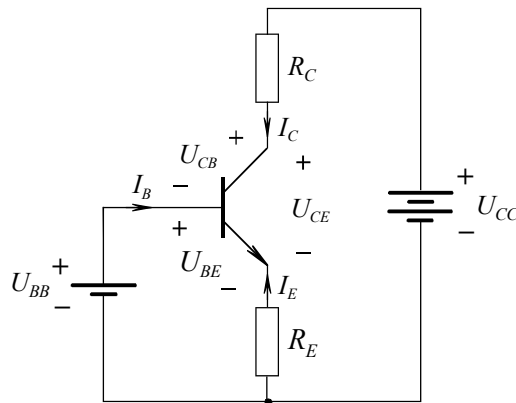
10. Določite tok I_C in napetost U_{CE} , če je napetost $U_{BE} = 0,7\text{ V}$ (aktivno območje delovanja) in ojačenje $\beta = 240$. ($U_{CC} = 9\text{ V}$, $R_C = 2,4\text{ k}\Omega$, $R_B = 190\text{ k}\Omega$ in $R_E = 600\ \Omega$).



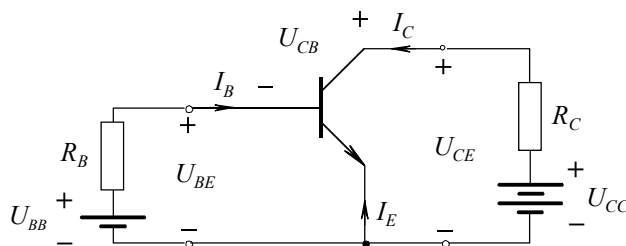
11. Izračunajte kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} tranzistorja v danem vezju. Podatki: $\beta_F = 200$, $U_{CC} = 24 \text{ V}$, $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$ in $R_2 = 68 \text{ k}\Omega$.



12. Izračunajte najvišjo napetost U_{BB} , pri kateri bo tranzistor še deloval v aktivnem območju. ($U_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_E = 3,3 \text{ k}\Omega$, $R_C = 4,7 \text{ k}\Omega$, $\alpha_F = 0,99$, $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$).

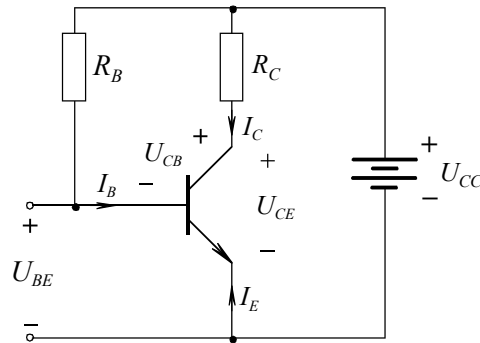


13. V narisanim vezju je predvidena uporaba tranzistorja, katerega ojačenje β se po specifikaciji lahko spreminja od vrednosti 50 do 150. Določite vrednost upora R_C tako, da bo tranzistor za vse predvidene vrednosti β deloval v aktivnem področju. V katerem območju se bo pri izračunani vrednosti R_C spreminjala napetost U_{CE} ? ($R_B = 100 \text{ k}\Omega$, $U_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$, $U_{BB} = 5 \text{ V}$, $U_{CC} = 10 \text{ V}$)

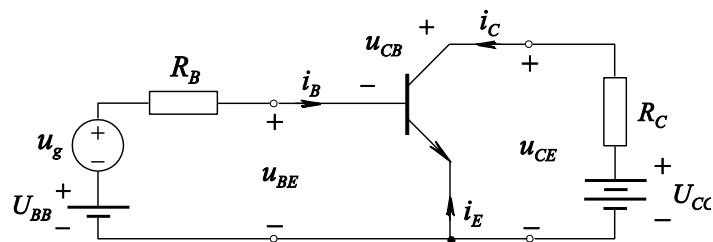


14. Bipolarni *npn* tranzistor z ojačenjima $\alpha_F = 0,99$ in $\alpha_R = 0,20$ deluje pri sobni temperaturi ($T = 24,8 \text{ }^\circ\text{C}$) v območju nasičenja. Izračunajte kolektorsko-emitorsko napetost U_{CE} , če sta toka $I_C = 1 \text{ mA}$ in $I_B = 50 \text{ }\mu\text{A}$ (upoštevajte: $U_{BE} \gg U_T$, $-U_{CB} \gg U_T$ in $\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$).

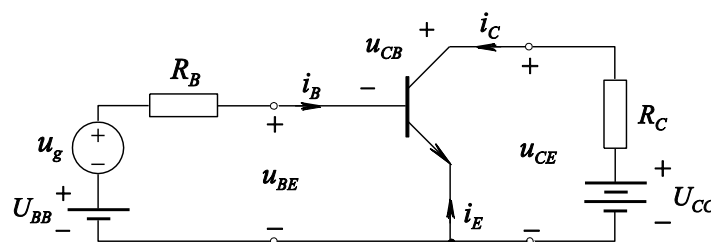
15. Izračunajte upornost R_B tako, da se bo delovna točka *npn* tranzistorja na sliki nahajala na meji med območjem nasičenja in aktivnim območjem. Privzemite, da je napetost $U_{BE} = 0,7$ V, ostali podatki pa so: $U_{CC} = 5$ V, $R_C = 1$ k Ω in $\beta = 100$.



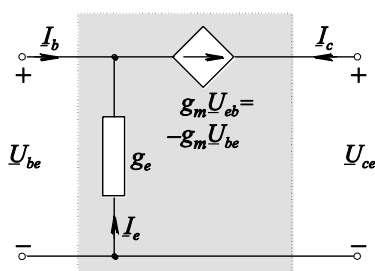
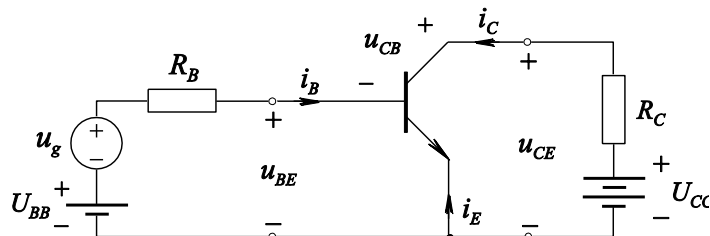
16. Določite napetostno ojačenje nelinearnega četveropolnega elementa, ki deluje kot ojačevalnik majhnih harmoničnih signalov. Znani so prevodnostni parametri elementa ($g_{11} = 2$ mS, $g_{12} \cong 0$ S, $g_{21} = 25$ mS in $g_{22} = 0.1$ mS) in na izhodu priključeno breme $R_b = 2.5$ k Ω .
17. Izračunajte prevodnostne četveropolne parametre \mathbf{g} *npn* tranzistorja v orientaciji s skupno bazo, ki deluje v aktivnem območju, je krmiljen z majhnimi nf signali in so znani podatki: $I_{ES} = 1$ pA, $\alpha_F = 0,99$, $\alpha_R = 0.5$, $-U_{EB} = 0,58$ V in $U_{CB} = 5$ V. Narišite nadomestno vezje in izračunajte napetostno ojačenje tranzistorja za majhne signale, če je na izhodu priključeno breme $R_b = 1$ k Ω .
18. Bipolarni *npn* tranzistor je povezan z zunanjimi elementi tako, kot prikazuje slika. Z viroma U_{BB} in U_{CC} je vzpostavljeno delovanje tranzistorja v aktivnem območju. Izračunajte napetostno ojačenje tranzistorja ($A_u = u_{ce}/u_{be}$) za majhne nizkofrekvenčne signale, če je kolektorski tok $I_C = 1,28$ mA, bremenska upornost pa $R_C = 10$ k Ω .



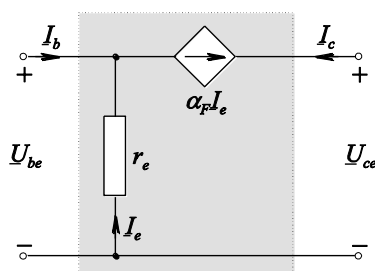
19. Bipolarni tranzistor s tokovnim ojačenjem $\beta_F = 100$ deluje v orientaciji s skupnim emitorjem kot ojačevalnik majhnih harmoničnih signalov. Baterija v kolektorski veji poganja skozi bremenski upor $R_C = 1$ k Ω tok $I_C = 2,6$ mA. Kolikšna je efektivna vrednost napetosti harmoničnega signala na bremenu, če je efektivna vrednost napetosti krmilnega vira $u_{g\text{rms}} = 2$ mV? Generator ima notranjo upornost $R_B = 50$ Ω . Kolikšno je močnostno ojačenje tranzistorja za majhne signale?



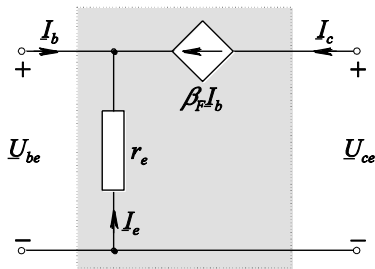
20. Izračunajte napetostno ojačenje $A_u = u_{ce}/u_g$ ojačevalne stopnje s tranzistorjem, ki ima $\beta_F = 150$, za napetost U_{BE} privzemite, da je 0,7 V, napajalni napetosti sta: $U_{BB} = 2$ V in $U_{CC} = 9$ V, upornosti: $R_B = 150$ k Ω in $R_C = 3$ k Ω , generatorjeva napetost pa je $u_g = 1 \sin \omega t$. Pri reševanju naloge si pomagajte z najprimernejšim inkrementalnim nadomestnim vezjem tranzistorja.



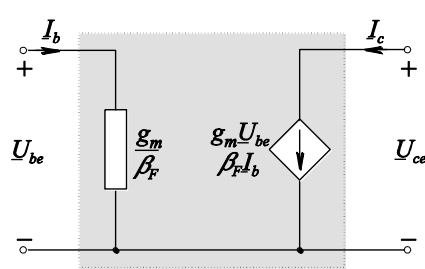
a)



b)

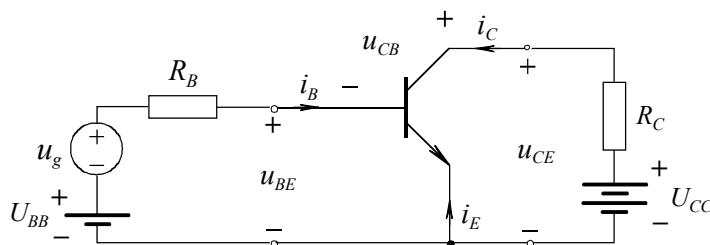


c)

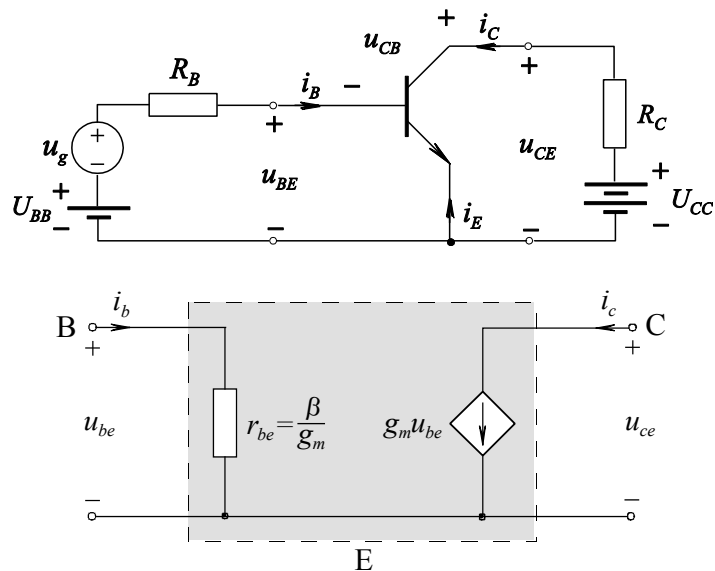


d)

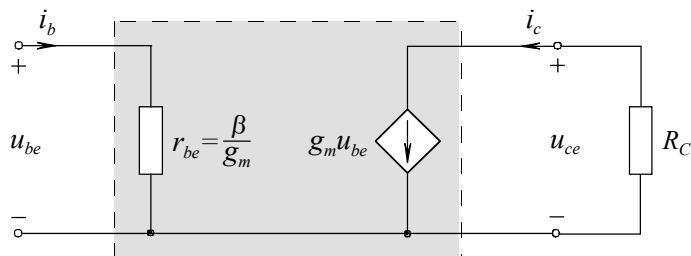
21. Izračunajte kolektorski tok I_C in napetost U_{CE} bipolarnega tranzistorja, če so vrednosti uporov $R_B = 120$ k Ω in $R_C = 4$ k Ω ter priključenih baterij $U_{CC} = 12$ V in $U_{BB} = 3$ V ($\beta_F = 120$, $U_{BE} \cong 0.7$ V). Določite še napetostno ojačenje u_{Rc}/u_g , če je napetost generatorja $u_g = 1 \sin \omega t$ (generator u_g predstavlja krmiljenje z majhnimi signali).



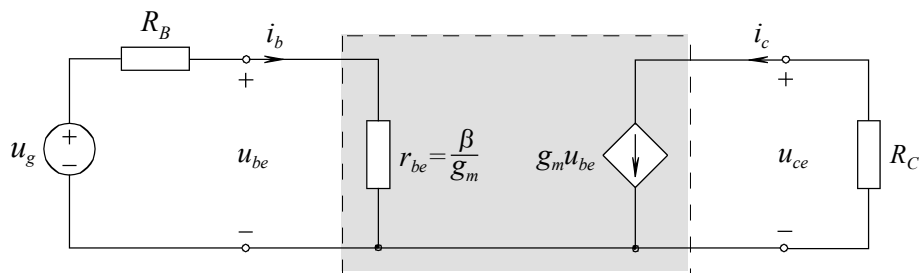
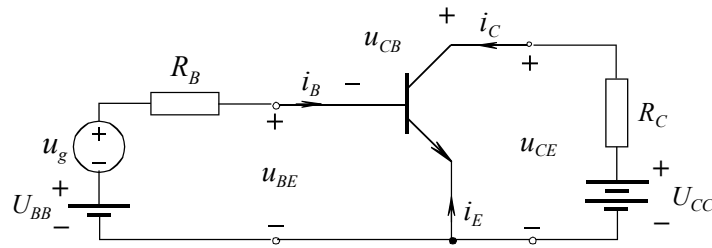
22. V danem vezju določite enosmerne tokove tranzistorja (I_C , I_B in I_E) tako, da bo napetostno ojačenje majhnih signalov nizkih frekvenc ($A_u = u_{ce}/u_{be}$) enako -200 . Pri izračunu si pomagajte z danim modelom tranzistorja za majhne signale v aktivnem območju delovanja. Določite tudi vrednost napajalne napetosti U_{CC} , da bo enosmerna napetost U_{CE} enaka $U_{CC}/2$ (ostali podatki: $\alpha_F = 0,99$, $U_T = 25,66$ mV, $R_C = 5$ k Ω).



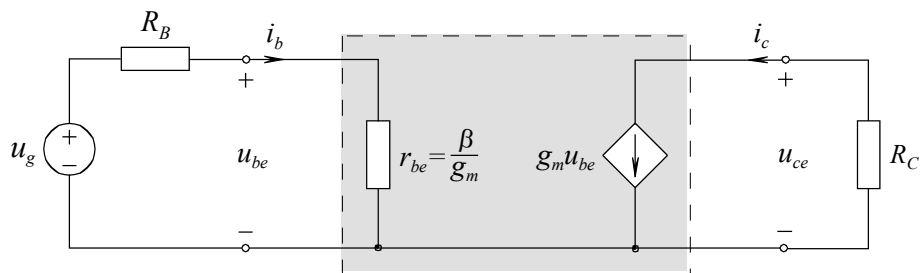
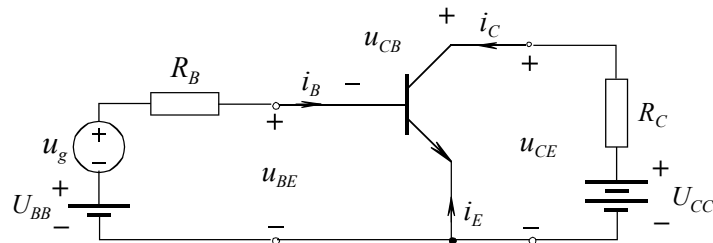
23. Določite potrebno velikost enosmerne baznega toka I_B , da bo napetostno ojačenje bipolarnega tranzistorja v orientaciji s skupnim emitorjem za majhne nizkofrekvenčne signale enako -180 . Tranzistor ima kratkostično tokovno ojačenje $\beta = 100$, na izhodu pa je priključeno breme z upornostjo $R_C = 2$ k Ω . Pri izračunu uporabite dano nadomestno vezje.



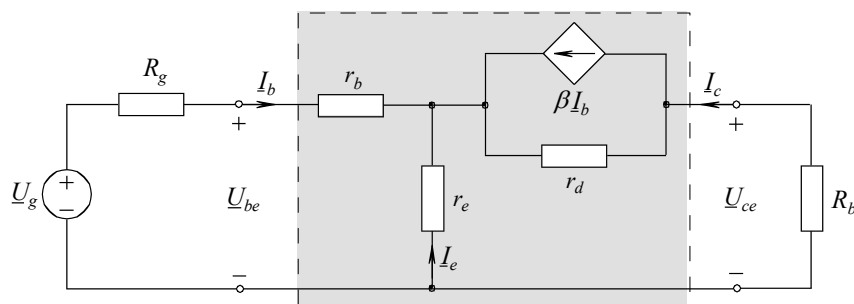
24. Izračunajte, pri kateri baterijski napetosti U_{BB} bo napetostno ojačenje u_{ce}/u_g (razmerje med izhodno napetostjo u_{ce} in napetostjo na generatorju u_g) danega tranzistorskega vezja za majhne nf signale enako -10 . (Podatki: $R_B=50\text{ k}\Omega$, $U_{CC}=10\text{ V}$, $R_C=5.1\text{ k}\Omega$, $\beta_F=100$ in $U_{BE}\approx 0.7\text{ V}$).



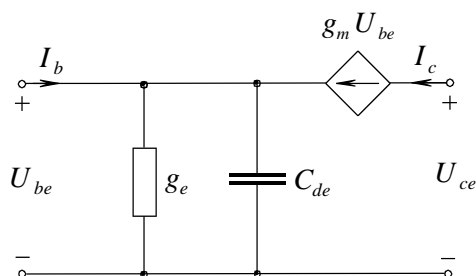
25. Izračunajte, pri kateri upornosti R_C bo napetostno ojačenje u_{ce}/u_g (razmerje med izhodno napetostjo u_{ce} in napetostjo na generatorju u_g) danega tranzistorskega vezja za majhne nizkofrekvenčne signale enako -10 . (Podatki: $U_{BB}=1,2\text{ V}$, $R_B=50\text{ k}\Omega$, $U_{CC}=10\text{ V}$, $\beta_F=100$ in $U_{BE}\approx 0.7\text{ V}$).



26. Izračunajte tokovno ojačenje tranzistorskega ojačevalnika majhnih nizkofrekvenčnih signalov, če tranzistor deluje v aktivnem območju v orientaciji s skupnim emitorjem in ima ojačenje $\beta = 100$, vrednosti elementov nadomestnega vezja pa so naslednji: $r_e = 25 \Omega$, $r_b = 100 \Omega$, $r_d = 5 \text{ k}\Omega$. ($R_b = 2,5 \text{ k}\Omega$).

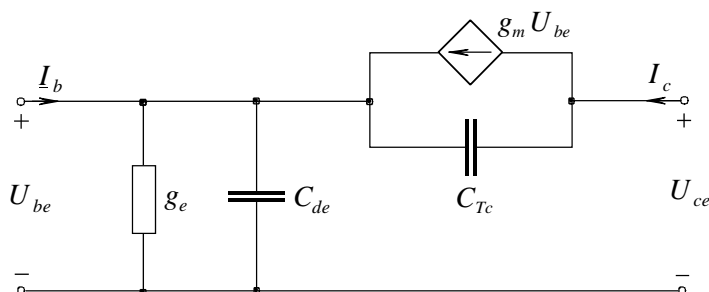


27. Izračunajte mejno frekvenco f_T bipolarnega tranzistorja, ki ima pri frekvenci $f = 200 \text{ MHz}$, parameter $|h_{21e}| = 10$. Izračunajte še mejni frekvenci f_α in f_β , če je α_0 tranzistorja 0,96. Odvisnost $|h_{21e}(f)|$ prikažite grafično in označite mejni frekvenci f_β in f_T .
28. S pomočjo danega nadomestnega modela za bipolarni tranzistor pri visokih frekvencah določite mejno frekvenco ω_T kratkostičnega tokovnega ojačenja \underline{A}_{iF} . ($g_e = 40 \text{ mS}$, $C_{de} = 264 \text{ pF}$, $\alpha_0 = 0.99$)

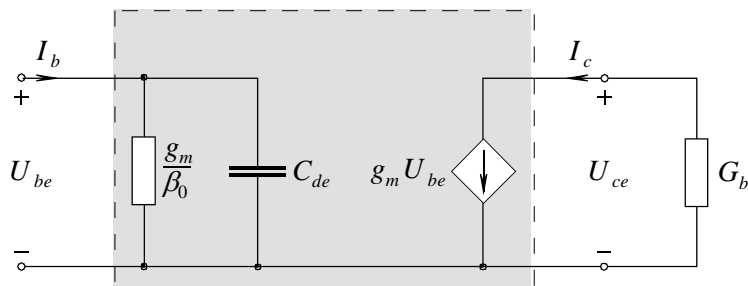


$$\underline{A}_{iF}(\omega) \Big|_{U_{ce}=0} = -\frac{y_{21}}{y_{11}}$$

29. Izračunajte kratkostično tokovno ojačenje $\underline{A}_{iF}(\omega, U_{ce} = 0) = -\beta_F(\omega)$ bipolarnega tranzistorja v orientaciji s skupnim emitorjem za majhne signale frekvence $\omega = 10^6 \text{ rads}^{-1}$, če je $\alpha_0 = 0.99$, $g_e = 20 \text{ mS}$, $C_{de} = 120 \text{ pF}$ in $C_{Tc} = 10 \text{ pF}$. Ali je frekvenca majhnih signalov manjša ali večja od mejne frekvence ω_β ? ($g_m = \alpha_0 g_e$)

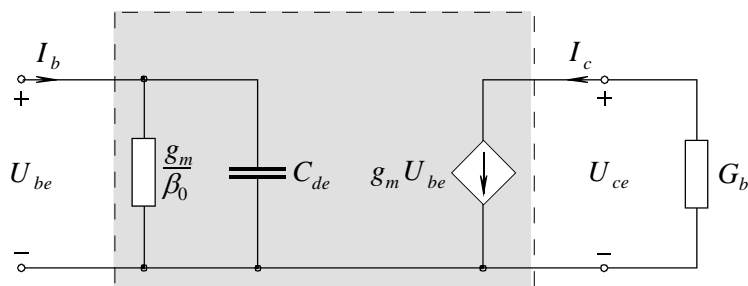


30. Izračunajte mejno frekvenco bipolarnega tranzistorja f_β , tj. frekvenco, pri kateri tokovno ojačenje $\beta(f)$ pade na vrednost $\beta_0/\sqrt{2}$, če sta $g_m/\beta_0 = 0,4 \text{ mS}$ in $C_{de} = 4 \text{ pF}$.



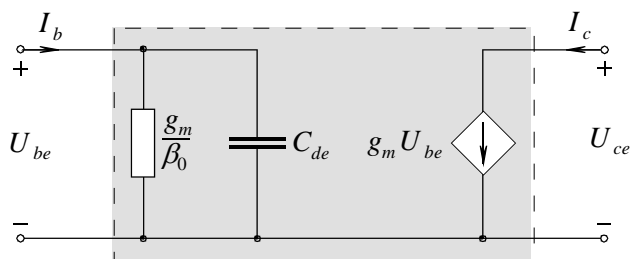
31. Bipolarni tranzistor z $\beta_0 = 150$ ima mejno frekvenco $f_\beta = 8 \text{ MHz}$. Izračunajte α_0, f_α in f_T . Narišite frekvenčni odvisnosti absolutnih vrednosti tokovnih ojačenj α in β .

32. Narišite frekvenčno odvisnost tokovnega ojačenja $|\beta(f)|$ bipolarnega tranzistorja z danim nadomestnim vezjem in izračunajte mejni frekvenci f_β in f_T , če so: $\beta_0 = 100$, $g_m/\beta_0 = 0,4 \text{ mS}$ in $C_{de} = 4 \text{ pF}$.



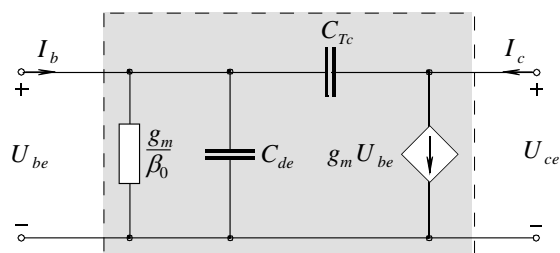
$$\beta(f) = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}$$

33. Izračunajte kapacitivnost C_{de} danega nadomestnega vezja bipolarnega tranzistorja z mejno frekvenco $f_\beta = 30 \text{ MHz}$ in narišite frekvenčno odvisnost tokovnega ojačenja $|\beta(f)|$, če sta: $\beta_0 = 100$ in $g_m/\beta_0 = 0,4 \text{ mS}$.

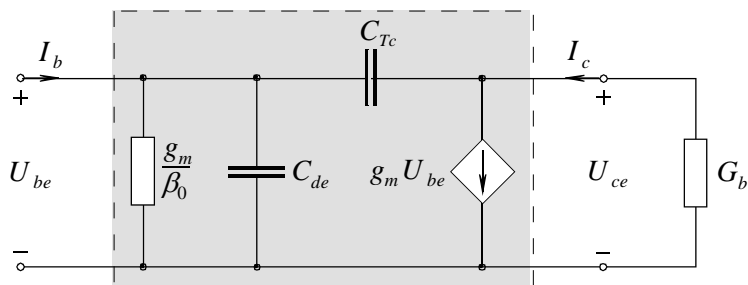


$$\beta(f) = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}$$

34. Določite kratkostično tokovno ojačenje $\underline{\beta}(j\omega)$ in njegovo absolutno vrednost $|\underline{\beta}(\omega)|$ bipolarnega tranzistorja z danim visokofrekvenčnim nadomestnim vezjem, če je frekvenca krmilnega signala $\omega = 10^8 \text{ rad s}^{-1}$. Ugotovite, ali je ta frekvenca pod ali nad mejno frekvenco ω_β . ($\beta_0 = 100$, $g_m = 50 \text{ mS}$, $C_{de} = 2 \text{ pF}$, $C_{Tc} = 0,1 \text{ pF}$).



35. S pomočjo danega nadomestnega vezja bipolarnega tranzistorja v aktivnem območju v orientaciji s skupnim emitorjem izračunajte admitančne četverpolne parametre y_{ij} in določite absolutno vrednost napetostnega ojačenja majhnih signalov frekvenca $\omega = 10^8 \text{ rad s}^{-1}$. Podatki: $\alpha_F(\omega=0) = \alpha_0 = 0,99$, enosmerni tok $I_C = 1 \text{ mA}$, $C_{de} = 100 \text{ pF}$, $C_{Tc} = 1 \text{ pF}$, $G_b = 1 \text{ mS}$.



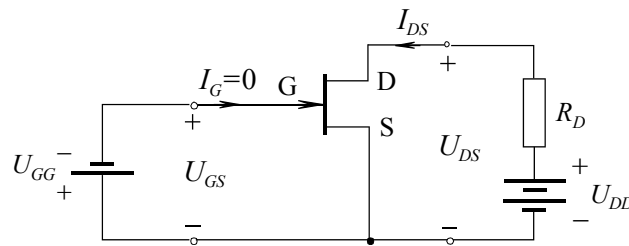
Teoretična vprašanja iz bipolarnega tranzistorja

- Shematično narišite prerez strukture *pnp* bipolarnega tranzistorja in prikažite komponente tokov v aktivnem območju delovanja. Narišite krajevni potek koncentracij manjšinskih nosilcev naboja v aktivnem območju delovanja in zapišite izraz za tokovo gostoto injiciranih vrzeli iz emitorja v bazo, če predpostavimo, da velja $W \ll L_{pB}$.
- Skicirajte frekvenčno odvisnost tokovnih ojačenj $|\underline{\alpha}|$ in $|\underline{\beta}|$ bipolarnega tranzistorja z $\beta_0 = 100$ in na skici označite vse tri značilne mejne frekvence.

Unipolarni tranzistor

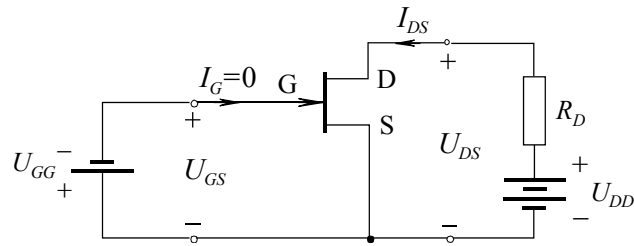
Spojni FET

1. Spojni FET z n -kanalom ima napetost zadrnitve kanala $U_P = -4$ V in največji tok nasičenja $I_{DSS} = 10$ mA. Poiščite najmanjšo napetost U_{DS} , pri kateri pride do zadrnitve kanala in izračunajte tok ponora pri $U_{GS} = -2$ V in $U_{DS} = 3$ V. Razmere v kanalu ob nastopu zadrnitve kanala ponazorite s skico.
2. Spojni FET z n -kanalom ima kanal z metalurško debelino $D = 5$ μm in specifično prevodnostjo $\sigma_n = 0,2$ Scm^{-1} . Izračunajte, pri kateri priključenih napetosti na vratih U_{GS} , se bo kanal pri napetosti $U_{DS} = 3$ V pri ponoru zadrnil. ($\mu_n = 1350$ $\text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $U_D = 0,7$ V).
3. Spojni FET z n -kanalom ima specifično prevodnost kanala $\sigma_n = 0,2$ S, metalurška debelina kanala je 5 μm . Pri kateri napetosti U_{DS} pride do zadrnitve kanala, če je napetost na krmilni elektrodi $U_{GS} = -1$ V ($\mu_n = 1300$ $\text{cm}^2(\text{Vs})^{-1}$, $U_D = 0,7$ V)? Narišite še simbol tranzistorja, prerez strukture in izhodne karakteristike.
4. Spojni FET z n -kanalom ima v kanalu z metalurško debelino 8 μm dodanih 5×10^{14} cm^{-3} donorskih primesi. Pri kateri napetosti U_{DS} pride do zadrnitve kanala, če je napetost na krmilni elektrodi $U_{GS} = -1$ V. Pri $U_{GS} = -1$ V teče v območju nasičenja skozi tranzistor tok $I_{DS} = 2$ mA. Izračunajte največji tok nasičenja I_{DSS} . Difuzijska napetost pn -spojev ob kanalu je $U_D = 0,7$ V.
5. Določite napetost U_{GG} , da bo izhodna napetost U_{DS} n -kanalnega spojnega FET-a, ki se nahaja v območju nasičenja (preščitpnjenja), enaka $U_{DD}/2$. ($U_{DD} = 12$ V, $R_D = 10$ $\text{k}\Omega$, $U_P = -3$ V, $I_{DSS} = 7$ mA)

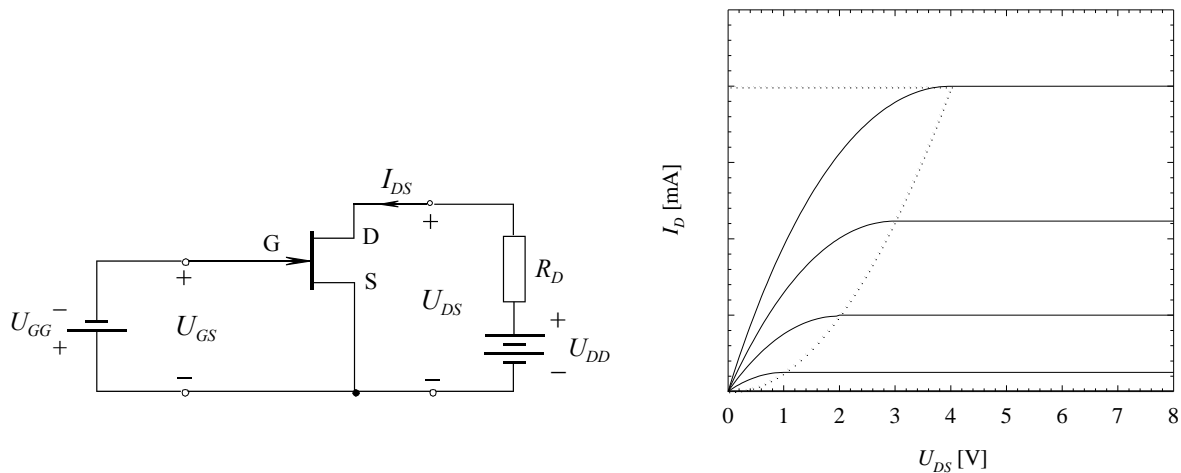


6. Izračunajte največji tok nasičenja I_{DSS} n -kanalnega JFET-a s koncentracijo donorskih primesi v n -plastih $N_D = 5 \times 10^{15}$ cm^{-3} in koncentracijo akceptorskih primesi v obdajajočih p -plastih $N_A = 10^{18}$ cm^{-3} ter metalurško debelino kanala $D = 2$ μm , če teče v nasičenju pri napetosti $U_{GS} = -1$ V tok $I_{DS} = 2$ mA.

7. Določite upornost bremenskega upora R_D , da bo enosmerna delovna točka danega n -kanalnega spojnega FET-a na meji med podnasičenjem in nasičenjem. Narišite prerez strukture spojnega FET-a in polje izhodnih karakteristik $I_D(U_{DS}, U_{GS})$, v katere vrišite uporovno premico in označite delovno točko ($I_{DSS} = 9 \text{ mA}$, $U_P = -3 \text{ V}$, $I_{DS} = 4 \text{ mA}$ in $U_{DD} = 10 \text{ V}$).

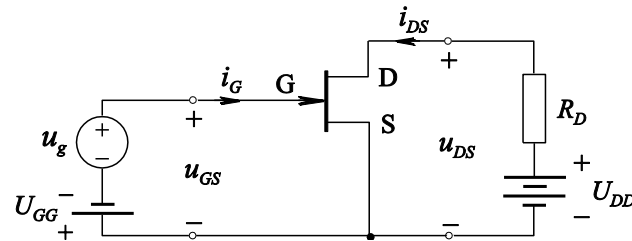


8. Kanal spojnega FET-a je dopiran z donorskimi primesmi $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, metalurška debelina kanala $D = 4,85 \text{ }\mu\text{m}$, difuzijska napetost U_D na pn -spojih ob kanalu je $0,7 \text{ V}$, največji tok nasičenja tranzistorja $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$. S pomočjo danih podatkov izračunajte in vpišite v graf s statičnimi karakteristikami manjkajoče tokove I_D , napetosti U_{GS} in napetosti U_{DSsat} . V graf vrišite še uporovno premico in označite delovno točko, če je izhodna napajalna napetost $U_{DD} = 8 \text{ V}$, napetost $U_{GG} = 2 \text{ V}$ in upornost bremena $R_D = 1,33 \text{ k}\Omega$.

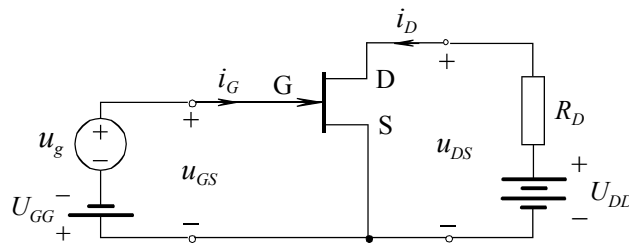


9. Določite največjo vrednost parametra g_{21S} n -kanalnega silicijevega spojnega FET-a s podatki: koncentracija primesi v kanalu $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, metalurška debelina kanala $D = 4,85 \text{ }\mu\text{m}$, difuzijska napetost na pn -spojju ob kanalu $U_D = 0,7 \text{ V}$ in tok $I_{DSS} = 5 \text{ mA}$.
10. Določite vrednost parametra g_{21S} n -kanalnega silicijevega spojnega FET-a, ki deluje v območju nasičenja. Koncentracija primesi v kanalu $N_D = 0,94 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, metalurška debelina kanala $D = 5 \text{ }\mu\text{m}$, difuzijska napetost na pn -spojju ob kanalu $U_D = 0,7 \text{ V}$, tok $I_{DSS} = 5 \text{ mA}$ in napetost $U_{GS} = -1 \text{ V}$. Narišite prerez strukture tranzistorja in označite robova kanala pri danih pogojih delovanja ter narišite izhodne karakteristike.

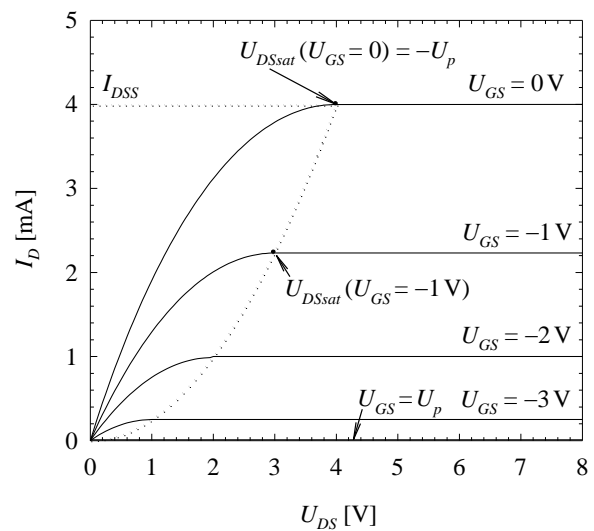
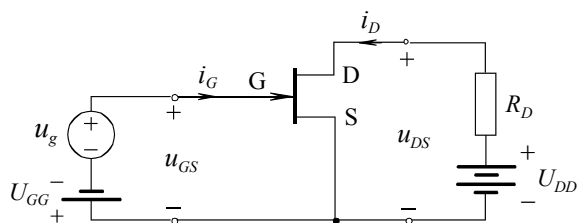
11. Spojni FET z n -kanalom v orientaciji s skupnim izvorom ima napetost zadrgrnitve $U_p = -4 \text{ V}$ in tok ponora $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$. Na vohdu je prikljuena baterijska napetost $U_{GG} = 1,2 \text{ V}$, na izhodu pa $U_{DD} = 15 \text{ V}$, in sicer preko upornosti $R_D = 3 \text{ k}\Omega$. Doloite prevodnostne parametre g_{ij} , narišite nadomestno vezje in izraunajte napetostno ojaenje za majhne nizkofrekvenene signale.



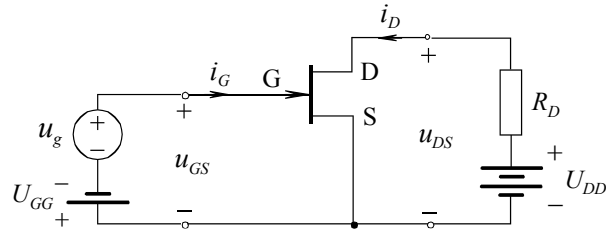
12. Izraunajte napetostno ojaenje za majhne nf signale ($A_u = u_{ds}/u_{gs}$) n -kanalnega silicijevega spojnega FET-a v orientaciji s skupnim izvorom. Tranzistor se nahaja v obmoaju nasičenja in ima napetost zadrgrnitve $U_p = -3 \text{ V}$ in tok ponora $I_{DSS} = 18 \text{ mA}$. ($U_{GG} = 1,5 \text{ V}$, $R_D = 3 \text{ k}\Omega$)



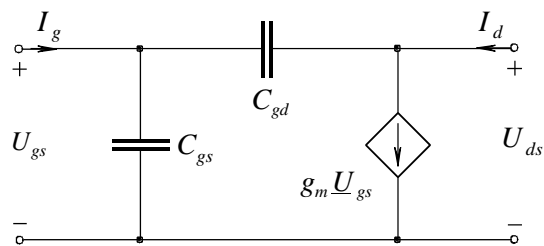
13. Spojni FET z n -kanalom v orientaciji s skupnim izvorom ima napetost zadrgrnitve $U_p = -4 \text{ V}$ in tok ponora $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$. Na vohdu je prikljuena baterijska napetost $U_{GG} = 1 \text{ V}$, na izhodu pa $U_{DD} = 8 \text{ V}$, in sicer prek upornosti $R_D = 2 \text{ k}\Omega$, kot prikazuje slika. Mirovna delovna točka se nahaja v obmoaju nasičenja. Doloite prevodnostne parametre g_{ijs} , narišite nadomestno vezje in izraunajte napetostno ojaenje za majhne nizkofrekvenene signale. V dano izhodno karakteristiko vrišite uporovno premico in oznaite delovno točko.



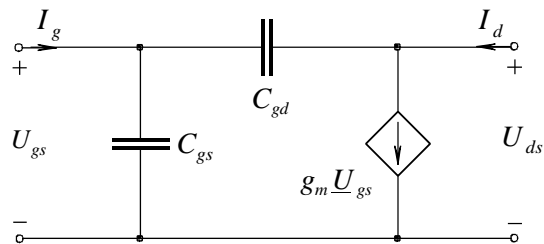
14. Izračunajte, pri kateri napetosti U_{GG} bo imel n -kanalni silicijev spojni FET v orientaciji s skupnim izvorom v nasičenju napetostno ojačenje za majhne nf signale $A_u = u_{ds}/u_{gs} = -5$. Tok ponora tranzistorja $I_{DSS} = 10$ mA, napetost zadrgrnitve $U_P = -4$ V. ($R_D = 5$ k Ω).



15. Izračunajte admitančne parametre spojnega FET-a, ki deluje v območju nasičenja, in ga pri krmiljenju z majhnimi visokofrekvenčnimi signali s frekvenco $\omega = 10^9$ rad/s lahko nadomestimo z danim nadomestnim vezjem. Napetost zadrgrnitve $U_P = -5$ V, tok ponora $I_{DSS} = 10$ mA, napetost $U_{GS} = -1.5$ V in $C_{gs} = 100$ fF ter $C_{gd} = 20$ fF.

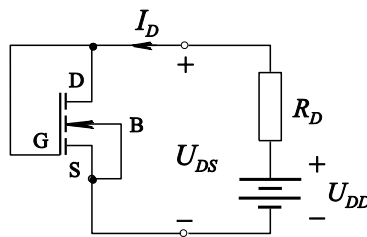


16. Izračunajte kratkostično tokovno ojačenje $\underline{A}_i(U_{ds} = 0)$ spojnega FET-a, ki deluje v območju nasičenja, in ga pri krmiljenju z majhnimi visokofrekvenčnimi signali s frekvenco $\omega = 10^9$ rad/s lahko nadomestimo z danim nadomestnim vezjem. Napetost zadrgrnitve $U_P = -4$ V, tok ponora $I_{DSS} = 8$ mA, napetost $U_{GS} = -1.2$ V in $C_{gs} = 110$ fF ter $C_{gd} = 30$ fF.

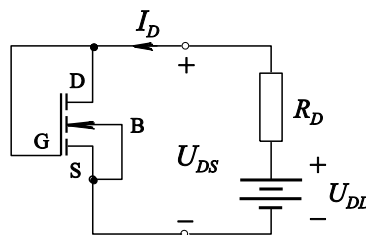


MOS tranzistor

1. MOS-tranzistor z induciranim n -kanalom ima pragovno napetost $U_T = 1\text{ V}$. V območju nasičenja teče pri napetosti $U_{GS} = 2\text{ V}$ vzdolž kanala ponorski tok $I_{DS} = 1\text{ mA}$. Izračunajte ponorski tok I_{DS} pri napetosti $U_{GS} = 4\text{ V}$.
2. MOS tranzistor z induciranim n -kanalom ima pragovno napetost $U_T = 2\text{ V}$ in pri $U_{GS} = U_{DS} = 3\text{ V}$ prevaja tok $I_D = 2\text{ mA}$. Kolikšen je tok I_D pri $U_{GS} = 4\text{ V}$ in $U_{DS} = 5\text{ V}$? Narišite še električni simbol, prerez strukture in izhodne karakteristike tega tranzistorja.
3. Določite vrednost upora R_D tako, da bo tok ponora imel vrednost $I_D = 0,4\text{ mA}$. Tranzistor ima pragovno napetost $U_T = 2\text{ V}$, $\mu_n C_0 = 20\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $W/L = 10$. ($U_{DD} = 10\text{ V}$)

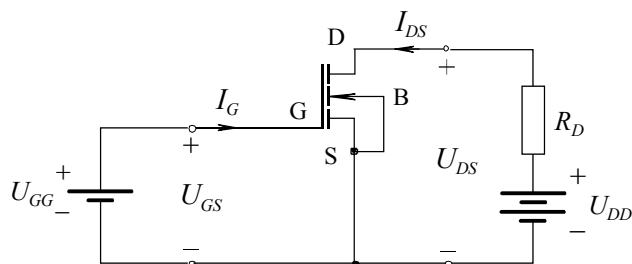


4. Izračunajte, pri katerem razmerju W/L bo ponorski tok MOS-tranzistorja znašal $I_D = 0,4\text{ mA}$, če je pragovna napetost tranzistorja $U_T = 2\text{ V}$, $\mu_n C_0 = 20\text{ }\mu\text{A/V}^2$, napetost $U_{DD} = 10\text{ V}$ in upornost $R_D = 15\text{ k}\Omega$.

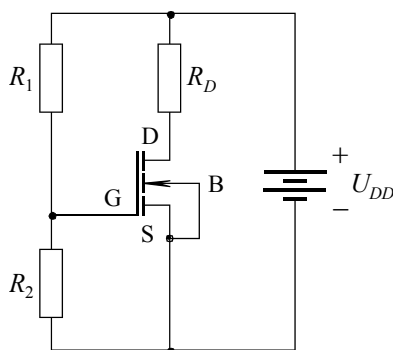


5. Izračunajte gibljivost elektronov μ_n v invertiranem kanalu MOS tranzistorja s parametri: $W = 15\text{ }\mu\text{m}$, $L = 2\text{ }\mu\text{m}$ in $C_0 = 6,9 \times 10^{-8}\text{ Fcm}^{-2}$, če teče v območju pod nasičenjem pri napetosti $U_{DS} = 0,10\text{ V}$ skozi tranzistor tok ponora $I_{D1} = 35\text{ }\mu\text{A}$ pri napetosti $U_{GS1} = 1,5\text{ V}$ in $I_{D2} = 75\text{ }\mu\text{A}$ pri napetosti $U_{GS2} = 2,5\text{ V}$.
6. Izračunajte upornost kanala med izvorom in ponorom ($r_{DS} = g_{22}^{-1}$) MOS tranzistorja z induciranim n -kanalom pri majhni napetosti U_{DS} ($U_{DS} \ll (U_{GS} - U_T)$), če so podatki tranzistorja naslednji: $\mu_n C_0 = 20\text{ }\mu\text{AV}^{-2}$, $U_T = 1\text{ V}$, $W/L = 10$, napetost U_{GS} pa je 5 V .
7. MOS tranzistor z induciranim n kanalom ima pragovno napetost $U_T = 1\text{ V}$ in konstanto $C_0 \mu_n = 0,25\text{ mA/V}^2$. Pri katerem razmerju W/L bo v področju nasičenja pri napetosti na krmilni elektrodi $U_{GS} = 5\text{ V}$ tekkel tok $I_{DS} = 6\text{ mA}$? Pri kateri napetosti U_{DS} preide tranzistor v območje nasičenja ($U_{DS} = U_{DSsat}$)? Narišite še električni simbol, prerez strukture in izhodne karakteristike tega tranzistorja.
8. MOS tranzistor z induciranim n -kanalom ima pragovno napetost $U_T = 2\text{ V}$ in pri $U_{GS} = U_{DS} = 3\text{ V}$ prevaja tok $I_D = 1\text{ mA}$. Kolikšen je tok I_D pri $U_{GS} = 4\text{ V}$ in $U_{DS} = 5\text{ V}$? Narišite še električni simbol, prerez strukture in izhodne karakteristike tega tranzistorja.

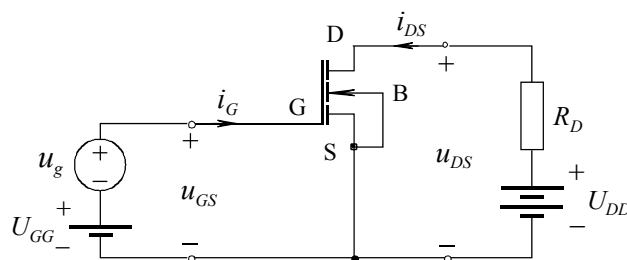
9. Izračunajte ponorski tok I_{DS} MOS-tranzistorja z induciranim n -kanalom s parametri: $\mu_n = 650 \text{ cm}^2 (\text{Vs})^{-1}$, debelina oksidne (SiO_2) plasti $x_{ox} = 20 \text{ nm}$, $W/L = 50$ in pragovno napetostjo $U_T = 0,4 \text{ V}$. Tranzistor deluje v območju nasičenja pri $U_{GS} = 2 \text{ V}$. Kako moramo spremeniti razmerje W/L , da bo pri $U_{GS} = 1 \text{ V}$ tok I_{DS} znašal $100 \mu\text{A}$?
10. Izračunajte potrebno vrednost upora R_D , da bo napetost na izhodu tranzistorja U_{DS} znašala 2 V . Pragovna napetost tranzistorja $U_T = 1 \text{ V}$, razmerje $W/L = 1$, $\mu_n C_0 = 0,1 \text{ mA/V}^2$, napajalni napetosti pa sta $U_{GG} = U_{DD} = 5 \text{ V}$. Približno narišite izhodno karakteristiko tranzistorja, vanjo vrišite uporabno premico in označite delovno točko.



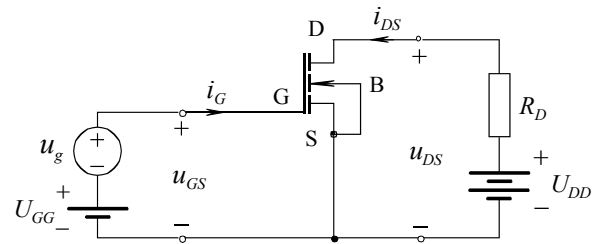
11. MOS tranzistor z induciranim n -kanalom ima pragovno napetost $U_T = 2 \text{ V}$, konstanto $C_0 \mu_n = 20 \times 10^{-6} \text{ mA/V}^2$ in razmerje $W/L = 1000$. Določite ponorski tok tranzistorja, če je napajalna napetost $U_{DD} = 24 \text{ V}$, vrednosti uporov v vezju pa so naslednje: $R_D = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 6,8 \text{ M}\Omega$ in $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$.



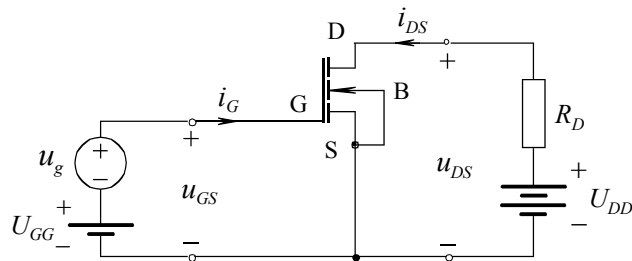
12. Določite območje delovanja in izračunajte nf prevodnostne parametre za majhne signale g_{ij} danega n -kanalnega MOS tranzistorja, če je enosmerni tok ponora v delovni točki 5 mA . Narišite nadomestno vezje za majhne izmenične signale in izračunajte napetostno ojačenje $A_u = u_{ds}/u_{gs}$, če je $R_D = 2 \text{ k}\Omega$. ($U_T = 2 \text{ V}$, $U_{DD} = 15 \text{ V}$, $\mu_n C_0 = 1 \text{ mA/V}^2$, $W/L = 10$)



13. Izračunajte napetostno ojačenje za majhne nf signale ($A_u = u_{ds}/u_{gs}$) n -kanalnega MOSFET-a v orientaciji s skupnim izvorom. Parametri tranzistorja so: $\mu_n = 650 \text{ cm}^2 (\text{Vs})^{-1}$, debelina oksidne (SiO_2) plasti $x_{ox} = 20 \text{ nm}$ in $W/L = 50$. Tranzistor deluje v območju nasičenja pri toku $I_{DS} = 16 \text{ mA}$, na izhodu je priključeno breme z $R_D = 10 \text{ k}\Omega$.

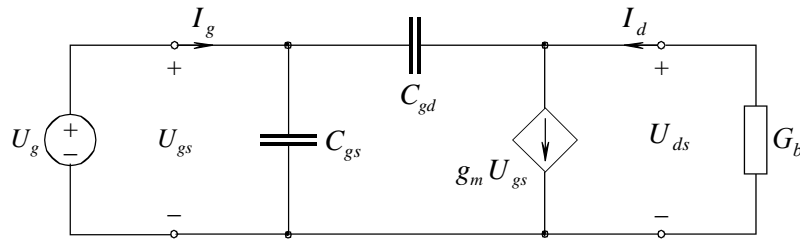


14. Izračunajte, pri kateri širini kanala W ima MOS tranzistor z induciranim n -kanalom v orientaciji s skupnim izvorom napetostno ojačenje $A_u = -10$. Pragovna napetost tranzistorja $U_T = 2 \text{ V}$, dolžina kanala $L = 10 \mu\text{m}$, konstanta $C_0\mu_n = 10^{-3} \text{ AV}^{-2}$, z zunanjimi viri je vzpostavljena delovna točka: $U_{GS} = 4 \text{ V}$ in $U_{DS} = 5 \text{ V}$, breme tranzistorja je ohmski upor z $R_D = 10 \text{ k}\Omega$.

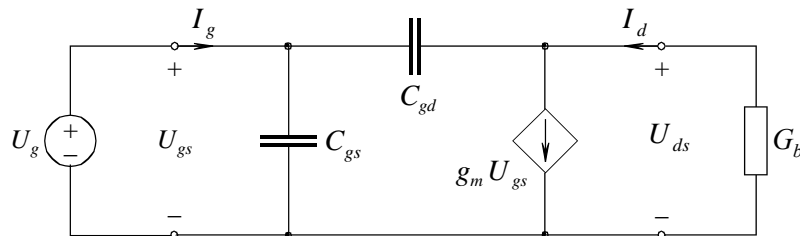


15. Izračunajte, pri katerem razmerju W/L ima MOS tranzistor z induciranim n -kanalom v orientaciji s skupnim izvorom napetostno ojačenje $A_u = -20$. Pragovna napetost tranzistorja $U_T = 2 \text{ V}$, konstanta $C_0\mu_n = 10^{-3} \text{ AV}^{-2}$, z zunanjimi viri pa je vzpostavljena delovna točka: $U_{GS} = 3 \text{ V}$ in $U_{DS} = 4 \text{ V}$. Breme tranzistorja je ohmski upor z $R_D = 25 \text{ k}\Omega$. Narišite še prerez strukture tranzistorja in izhodne karakteristike.
16. Izračunajte bremensko upornost R_D , pri kateri ima MOS tranzistor z induciranim n -kanalom v orientaciji s skupnim izvorom napetostno ojačenje majhnih signalov $A_u = -50$. Pragovna napetost tranzistorja $U_T = 1 \text{ V}$, konstanta $C_0\mu_n = 2 \times 10^{-3} \text{ AV}^{-2}$, razmerje $W/L = 0.625$, z zunanjimi viri pa je vzpostavljena delovna točka: $U_{GS} = 3 \text{ V}$ in $U_{DS} = 4 \text{ V}$.
17. Za MOS tranzistor z induciranim n -kanalom v orientaciji s skupnim izvorom določite območje delovanja in diferencialne prevodnostne parametre g_{ij} v delovni točki $U_{GS} = 3 \text{ V}$, $U_{DS} = 2 \text{ V}$. Narišite nadomestni model za majhne signale nizkih frekvenc in s pomočjo modela izračunajte napetostno ojačenje pri bremenu na izhodu $R_D = 10 \text{ k}\Omega$. Narišite simbol ter prerez strukture omenjenega tranzistorja ter skicirajte izhodne karakteristike pri nekaterih izbranih vrednostih parametra U_{GS} . ($\mu_n C_0 = 1 \text{ mA/V}^2$, $W/L = 2$, $U_T = 2 \text{ V}$)

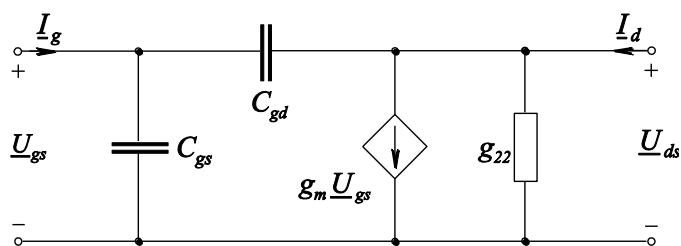
18. Izračunajte napetostno ojačenje n -kanalnega MOS tranzistorja, ki je krmiljen z majhnimi visokofrekvenčnimi signali s frekvenco $f = 1$ GHz in deluje v območju nasičenja pri toku $I_{DS} = 2$ mA. Znani sta kapacitivnosti $C_{gs} = 50$ fF in $C_{gd} = 10$ fF, ostali parazitni učinki pa so zanemarljivi. (Ostali podatki: $\mu_n C_0 = 1$ mA V⁻², $W/L = 1$, $G_b = 0,1$ mS)



19. Izračunajte napetostno ojačenje n -kanalnega MOS tranzistorja, ki je krmiljen z majhnimi νf signali s frekvenco $f = 1$ GHz, izhod pa ima zaključen z bremenom $G_b = 0,1$ mS. Pragovna napetost tranzistorja $U_T = 2$ V, konstanta $\mu_n C_0 = 1$ mA V⁻², razmerje $W/L = 1$, z zunanjimi viri je vzpostavljena delovna točka: $U_{GS} = 3$ V in $U_{DS} = 4$ V. Znani sta kapacitivnosti $C_{gs} = 50$ fF in $C_{gd} = 10$ fF, ostali parazitni učinki so zanemarljivi.



20. Določite mejno frekvenco f_T n -kanalnega MOS tranzistorja, ki ima z zunanjimi viri vzpostavljeno delovno točko: $U_{GS} = 4$ V, $U_{DS} = 5$ V. Znani sta kapacitivnosti $C_{gs} = 50$ fF in $C_{gd} = 3$ fF, ostali parazitni učinki pa so zanemarljivi. ($C_0 \mu_n = 100$ μ A V⁻², $W/L = 4$, pragovna napetost $U_T = 2$ V)



Teoretična vprašanja iz unipolarnega tranzistorja

1. Narišite prerez strukture spojnega FET tranzistorja s p -kanalom in označite meji kanala v območju nasičenja tranzistorja. Narišite še izhodne karakteristike in pojasnite, zakaj delovanje tranzistorja pri nizkih izhodnih napetostih imenujemo uporovno ali linearno območje.
2. Narišite simbol in prerez zgradbe MOS tranzistorja z vgrajenim n -kanalom ter pripadajoče izhodne karakteristike. S pomočjo enačbe za ponorski tok I_{DS} izrazite parameter $g_{21} = g_m$ in narišite nadomestno vezje tranzistorja kot ojačevalnika majhnih signalov v območju nasičenja.

Teoretična vprašanja iz močnostnih elementov

1. Narišite prerez strukture štirislojne $pnpn$ diode, narišite njeno tokovno-napetostno karakteristiko in pojasnite razloge za preklon z visoke na nizko napetost.