

Sl. Z.3.14.2

Kada se iz uslova zadatka zameni $R=R_L$ dobija se da je naponsko pojačanje:

$$(Z.3.14.4) \quad A = \frac{V_1}{V_u} = \frac{1-2 \cdot S \cdot R}{3} = \frac{1-2 \cdot \mu}{3}$$



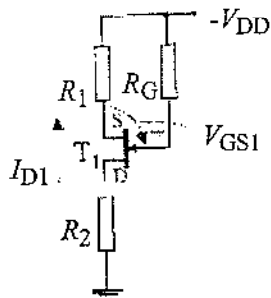
Rešenje zadatka 3.15

a) Najpre ćemo odrediti strminu tranzistora u radnoj tački. Ona će kao parametar JFET-a biti korišćena u linearnom modelu tranzistora. Jednosmerni uslovi rada za prvi JFET mogu se odrediti analizom kola sa Sl. Z.3.15.2. Slično analizi datoj u zadatku 2.10 može se pisati da je:

$$(Z.3.15.1) \quad I_{D1} = -V_{GS1} / R_1,$$

a poznato je da važi:

$$(Z.3.15.2a) \quad I_{D1} = I_{DSS} (1 - V_{GS1} / V_p)^2.$$



Sl. Z.3.15.2

Zamenom (Z.3.15.2) u (Z.3.15.1), i primenom postupka iz zadatka 2.13 dobija se:

$$(Z.3.15.2b) \quad 1 - \frac{V_{GS1}}{V_p} = 1 + \frac{R_1 I_{DSS}}{V_p} \cdot (1 - V_{GS1} / V_p)^2,$$

odnosno, uvođenjem smene $\alpha = 1 - V_{GS1} / V_p$ sledi:

$$(Z.3.15.3) \quad \alpha = 1 + \frac{R_1 I_{DSS}}{V_p} \cdot \alpha^2.$$

Smenom brojnih vrednosti za R_1 , I_{DSS} i V_p (Z.3.15.3) postaje:

$$(Z.3.15.4) \quad 2 \cdot \alpha^2 + \alpha - 1 = 0,$$

čijim se rešavanjem dobija $\alpha_1 = -1$, $\alpha_2 = 0.5$. Kako je u pitanju N-kanalni JFET, jasno je da je fizički opravdano da se izabere $0 < \alpha < 1$: $\alpha = 0.5$.

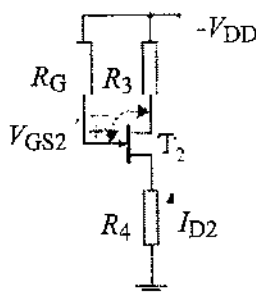
Strmina JFET-a je direktno srazmerna α i izračunava se na osnovu (1.4.31a):

$$(Z.3.15.5) \quad S_1 = -\frac{2 \cdot I_{DSS}}{V_p} \left(1 - \frac{V_{GS1}}{V_p} \right) = -\frac{2 \cdot I_{DSS}}{V_p} \cdot \alpha = 3.33 \text{ mS}.$$

Ekvivalentna šema za jednosmerni režim drugog stepena data je na Sl. Z.3.15.3. Sada je

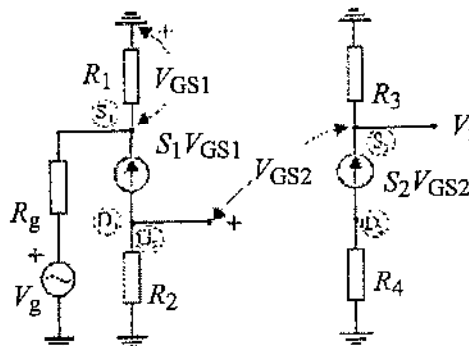
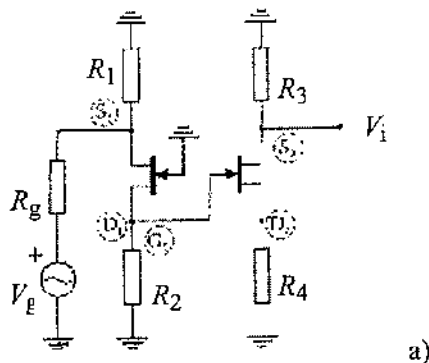
$$(Z.3.15.6) \quad I_{D2} = -V_{GS2} / R_3,$$

a dalji postupak je ekvivalentan onom pri izračunavanju S_1 . Stoga dajemo samo rezultat: $\alpha = 0.25$ i $S_2 = 1.66 \text{ mS}$.



Sl. Z.3.15.3

b) Kolo za naizmenični režim dato je na Sl. Z.3.15.4.a. Prvi stepen je pojačavač sa zajedničkim gejtom, a drugi sa zajedničkim sorsom. Kada se zamene modeli tranzistora nastaje ekvivalentno kolo prikazano na Sl. Z.3.15.4.b.



Sl. Z.3.15.4

Postavićemo sistem jednačina:

$$(Z.3.15.7) S_1: \quad -\frac{V_{GS1}}{R_1} - \frac{V_{GS1}}{R_g} - S_1 V_{GS1} = \frac{V_g}{R_g},$$

$$(Z.3.15.8) \quad G_2: \quad V_{G2}/R_2 + S_1 V_{GS1} = 0,$$

$$(Z.3.15.9) \quad S_2: \quad V_{S2}/R_2 - S_2 V_{GS2} = 0,$$

gde je $V_{GS1} = -V_{S1}$, pa se iz (Z.3.15.7) dobija:

$$(Z.3.15.10) \quad V_{GS1} = -R_1 / (R_g + R_1 + S_1 R_g R_1) \cdot V_g.$$

Smenom (Z.3.15.10) u (Z.3.15.8) dobija se izraz za V_{G2} u funkciji V_g :

$$(Z.3.15.11) \quad V_{G2} = \frac{S_1 R_1 R_2}{(R_g + R_1 + S_1 R_1 R_g)} \cdot V_g.$$

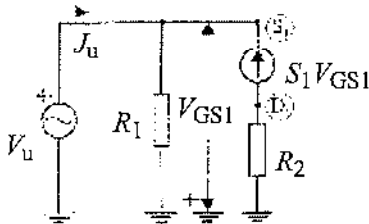
Najzad, kako je $V_{GS2} = V_{G2} - V_i$, iz (Z.3.15.9) dobija se:

$$(Z.3.15.12) \quad V_i = S_2 R_3 V_{G2} / (1 + S_2 R_3),$$

a zamenom (Z.3.15.11) u (Z.3.15.12) dobija se naponsko pojačanje:

$$(Z.3.15.13) \quad A = \frac{V_i}{V_g} = \frac{S_1 S_2 R_1 R_2 R_3 / (1 + S_2 R_3)}{(R_g + R_1 + S_1 R_1 R_g)} = 2.856.$$

c) Ulazna otpornost celokupnog kola svodi se na ulaznu otpornost prvog stepena, jer je ulazna otpornost drugog stepena beskonačna. Šema koju ćemo koristiti za nalaženje ulazne otpornosti data je na Sl. Z.3.15.5.



Sl. Z.3.15.5

Sa slike se vidi da je $V_{GS1} = -V_u$, a iz strujne jednačine za čvor sorsa prvog tranzistora sledi:

$$(Z.3.15.14) \quad J_u = -S_1 \cdot V_{GS1} - V_{GS1} / R_1,$$

odnosno:

$$(Z.3.15.15) \quad J_u = S_1 \cdot V_u + V_u / R_1.$$

Sada se može naći R_u kao količnik V_u i J_u :

$$(Z.3.15.16) \quad R_u = \frac{V_u}{J_u} = \frac{R_1}{1 + S_1 \cdot R_1} = 0.2 \text{ k}\Omega.$$

d) Izlaznu otpornost pojačavača određujemo analizom kola kod koga je idealni naponski generator na ulazu kratkospojen, a izlaz je pobuđen strujnim generatorom J_i , kao što to pokazuje šema na Sl. Z.3.15.6.

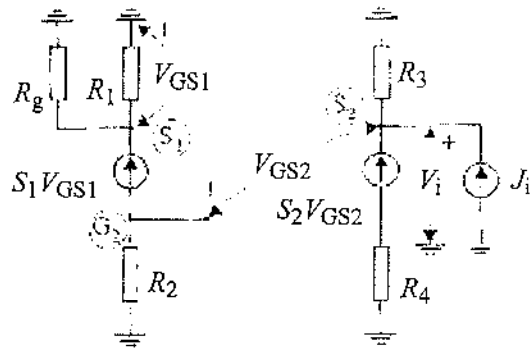
Očigledno je:

$$(Z.3.15.17) \quad V_{GS1} = -(R_1 \parallel R_g) \cdot S_1 V_{GS1},$$

odakle sledi da je $V_{GS1} = 0$, što znači da kroz otpornik R_2 ne protiče nikakva struja, odnosno $V_{G2} = 0$.

Dakle, ostaje:

$$(Z.3.15.18) \quad V_{GS2} = -V_i.$$



Sl. Z.3.15.6

Kako je

$$(Z.3.15.19) \quad J_i = -S_2 V_{GS2} + V_i / R_3,$$

za izlaznu otpornost se dobija:

$$(Z.3.15.20) \quad R_{iz} = V_i / J_i = \frac{R_3}{1 + S_2 R_3} = 514.3 \Omega.$$



Rešenje zadatka 3.16 Ekvivalentno kolo pojačavača u kome je celokupno opterećenje sa strane drejna zamenjeno kompleksnom impedansom Z , prikazano je na Sl. Z.3.16.2. Izraz za naponsko pojačanje može se dobiti razdvajanjem izraza za pojačanje stepena sa zajedničkim gejtom i naponskog razdelnika u okviru same impedanse Z :

$$(Z.3.16.1) \quad A = \frac{V_i}{V_g} = \frac{V_i}{V_1} \cdot \frac{V_1}{V_g},$$

pri čemu su sve veličine kompleksne. Analizom naponskog razdelnika koji čine C_S i R_p dobija se:

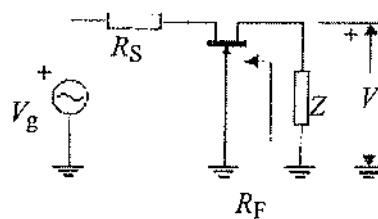
$$(Z.3.16.2) \quad \frac{V_i}{V_1} = \frac{R_p}{R_p + 1/(s \cdot C_S)} = \frac{s \cdot C_S R_p}{1 + s \cdot C_S R_p}$$

Izraz za pojačanje pojačavača sa zajedničkim gejtom A_1 , pri čemu je kao potrošač priključena impedansa Z , dat je sa:

$$(Z.3.16.3) \quad A = \frac{V_1}{V_g} = \frac{(1 + \mu) \cdot Z}{Z + R_i + (1 + \mu) \cdot R_S},$$

a sama završna impedansa je jednaka:

$$(Z.3.16.4) \quad Z = \frac{R_D [1/(s C_S) + R_p]}{R_D + R_p + 1/(s C_S)} = \frac{R_D (1 + s C_S R_p)}{1 + s C_S (R_p + R_D)}$$



Sl. Z.3.16.2

Zamenom izraza za impedansu Z u (Z.3.16.3) dobija se da je:

$$(Z.3.16.5) \quad A_1 = \frac{(\mu+1) \frac{R_D(1+sC_S R_p)}{1+sC_S(R_p+R_D)}}{\frac{R_D(1+sC_S R_p)}{1+sC_S(R_p+R_D)} + R_i + (1+\mu)R_S}$$

Na Sl. Z.3.16.1 sa R_F je označena izlazna otpornost pojačavača sa zajedničkim gejtom, tj.:

$$(Z.3.16.6) \quad R_F = R_i + (1+\mu)R_S = 39 \text{ k}\Omega.$$

Ako se izraz (Z.3.16.5) sredi po s , i zameni R_F iz (Z.3.16.6), tada on postaje:

$$(P.3.16.7) \quad A_1 = \frac{(\mu+1)R_D(1+sC_S R_p)/(R_D+R_F)}{1+sC_S[R_p + \frac{R_D R_F}{R_D+R_F}]}$$

odnosno:

$$(Z.3.16.8) \quad A_1 = \frac{(1+\mu)R_D}{R_D+R_F} \cdot \frac{1+sC_S R_p}{1+sC_S(R_p+R_A)}$$

gde je R_A izlazna otpornost posmatrana sa strane impedanse Z :

$$(Z.3.16.9) \quad R_A = R_F \parallel R_D = 13.22 \text{ k}\Omega.$$

Ukupno pojačanje se nalazi zamenom izraza (Z.3.16.2) i (Z.3.16.8) u izraz (Z.3.16.1):

$$(Z.3.16.10) \quad A = \frac{(1+\mu)R_D}{R_D+R_F} \frac{sC_S R_p}{1+sC_S(R_p+R_A)} = \frac{(1+\mu)R_D R_p}{(R_p+R_A)(R_D+R_F)} \frac{sC_S R_p}{1+sC_S(R_p+R_A)}$$

Izraz (Z.3.16.10) se može predstaviti u sledećem obliku:

$$(Z.3.16.11) \quad A = A_0 \cdot \frac{s\tau}{1+s\tau},$$

gde su:

$$(Z.3.16.12) \quad A_0 = \frac{(1+\mu)R_D R_p}{(R_p+R_A)(R_D+R_F)} = 9.28,$$

$$(Z.3.16.13) \quad \tau = C_S(R_p+R_A) = 11.3 \text{ ms}.$$

Moduo naponskog pojačanja jednak je:

$$(Z.3.16.14) \quad |A| = A_0 \cdot \frac{\omega/\omega_1}{\sqrt{1+(\omega/\omega_1)^2}},$$

a $\omega_1 = 1/\tau = 88.32 \text{ rad/s}$, dok se faza izračunava iz:

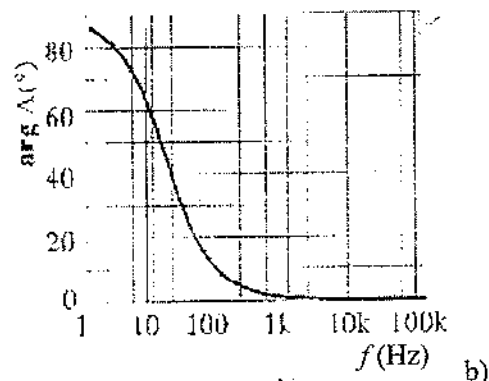
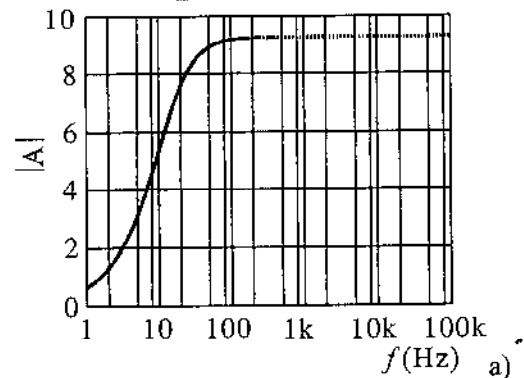
$$(Z.3.16.15) \quad \arg\{A\} = \pi/2 - \arctan(\omega \cdot \tau).$$

Na Sl. Z.3.16.3 grafički su prikazani moduo (a) i faza (b) naponskog pojačanja. Pojačanje ima nulu za $\omega=0$, pa raste sa nagibom 20dB/dekadi, sve do frekvencije na kojoj funkcija ima pol. Faza će od 90° menjati vrednost do nule na srednjim frekvencijama. Kolo se ponaša kao filter propusnik visokih frekvencija.

Ostaje još da se odredi granična frekvencija. Ona se definiše kao frekvencija na kojoj moduo pojačanja iznosi $1/\sqrt{2}$ svoje maksimalne vrednosti.

U ovom slučaju moduo pojačanja je dat sa (Z.3.16.14), a granična frekvencija je upravo jednaka ω_1 :

$$(Z.3.16.16) \quad f_n = f_1 = \omega_1/2\pi = 14.06 \text{ Hz}.$$



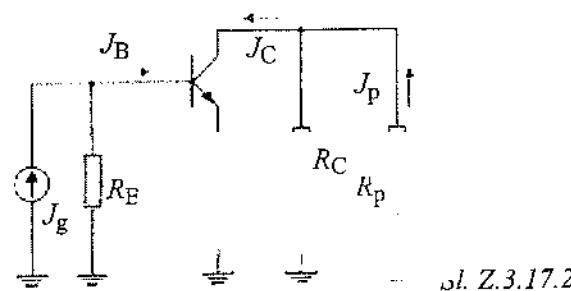
Sl. Z.3.16.3



Rešenje zadatka 3.17

a) Kolo za naizmenične signale, pri čemu $C_S \rightarrow \infty$, $C_E \rightarrow \infty$, dato je na Sl. Z.3.17.2. Na Sl. je sa R_B obeležena otpornost

$$(Z.3.17.1) \quad R_B = R_1 \parallel R_2 \parallel R_g = 1.82 \text{ k}\Omega.$$



Kako su $h_{12E}=0$ i $h_{22E}=0 \text{ S}$, izraz za pojačanje na srednjim frekvencijama je:

$$(Z.3.17.2) \quad A_{s0} = J_p / J_g = \frac{R_C}{R_C + R_p} \cdot h_{21E} \frac{R_B}{R_B + h_{11E}} = 27.41,$$

$$\text{odnosno: } A_{s0}[\text{dB}] = 20 \cdot \log(A_{i0}) = 28.76 \text{ dB}.$$

b) Za konačnu vrednost C_E , u emitorskom kolu deluje impedansa Z_E , pa ekvivalentno kolo za naiz-

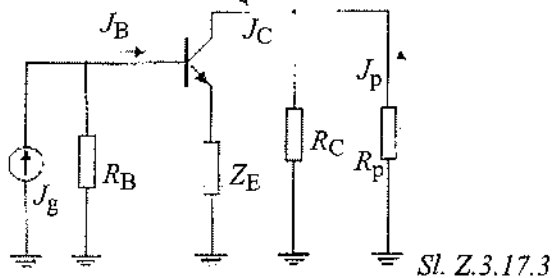
menični signal ima izgled kao na Sl. Z.3.17.3, gde je (Z.3.17.3) $Z_E = R_E / (1 + sC_E R_E)$.

Strujno pojačanje ovog kola se izračunava na poznati način (videti zadatak Z.3.2):

$$(Z.3.17.4) \quad A_s(s) = \frac{J_p}{J_g} = \frac{R_C}{R_C + R_p} \cdot h_{21E} \times \frac{R_B}{R_B + h_{11E} + (1 + h_{21E})Z_E}$$

Ako se A_{s0} uvede u ovaj izraz dobija se:

$$(Z.3.17.5) \quad A_s(s) = \frac{A_{s0}}{1 + \frac{R_E}{1 + sC_E R_E} \cdot \frac{1 + h_{21E}}{R_B + h_{11E}}}$$



Sl. Z.3.17.3

Posle uvođenja

$$(Z.3.17.6) \quad k = R_E \cdot \frac{1 + h_{21E}}{R_B + h_{11E}} = 30.42,$$

za strujno pojačanje može napisati:

$$(Z.3.17.7) \quad A_s(s) = \frac{A_{s0}}{k} \cdot \frac{1 + sC_E R_E}{1 + sC_E R_E / k} = A'_{s0} \cdot \frac{1 + s/\omega_1}{1 + s/\omega_2},$$

gde su:

$$(Z.3.17.8) \quad A'_{s0} = A_{s0} / k = 0.872 \Rightarrow A'_{s0} [\text{dB}] = -1.19 \text{ dB}$$

$$(Z.3.17.9) \quad \omega_1 = 1 / (R_E C_E) = 10 \text{ rad/s}$$

$$(Z.3.17.10) \quad \omega_2 = k / (C_E R_E) = 314.2 \text{ rad/s}.$$

Dakle, pojačanje ima jedan pol i jednu nulu. Nula je na $\omega = \omega_1$. S obzirom da je $\omega_1 < \omega_2$ kriva pojačanja počinje da raste od A'_{s0} do A_{s0} , dok je pol na frekvenciji $\omega = \omega_2$, pri kojoj će pojačanje početi da teži A_{s0} . Amplitudska (a) i fazna karakteristika (b) prikazane su na Sl. Z.3.17.6, sa oznakom b).

c) U slučaju kada je $C_E \rightarrow \infty$, važi šema prikazana na Sl. Z.3.17.4, gde je $Z_p = R_p + 1 / (sC_s)$, ukupno pojačanje je:

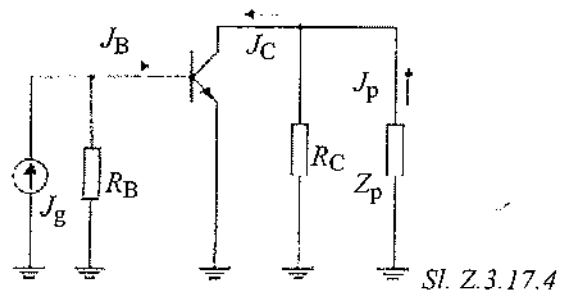
$$(Z.3.17.11) \quad A_s(s) = \frac{R_C}{R_C + R_p + \frac{1}{sC_s}} h_{21E} \frac{R_B}{R_B + h_{11E}}$$

Kada se u izrazu za A_s izvuče A_{s0} ispred frekvencijski zavisnog dela, dobija se izraz:

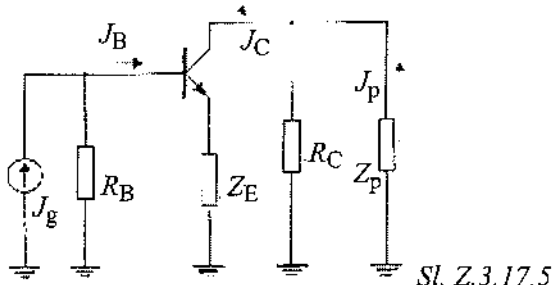
$$(Z.3.17.12) \quad A_s = A_{s0} \cdot \frac{sC_s R_C}{1 + sC_s(R_C + R_p)} = A_{s0} \frac{s/\omega_1}{1 + s/\omega_3},$$

gde je A_{s0} dato sa (Z.3.17.2), a:

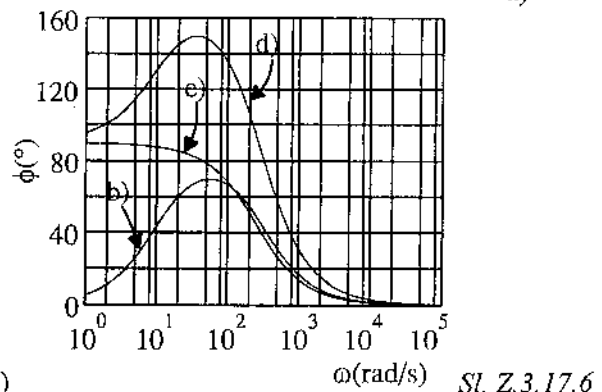
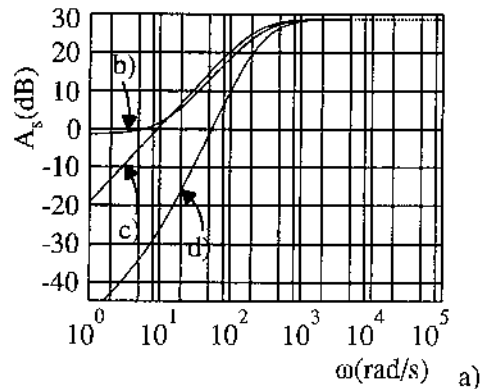
$$(Z.3.17.13) \quad \omega_3 = 1 / [C_s(R_C + R_p)] = 250 \text{ rad/s}.$$



Sl. Z.3.17.4



Sl. Z.3.17.5



b)

Sl. Z.3.17.6

Frekvencijska karakteristika će u ovom slučaju biti slična onoj iz zadatka Z.3.16, i prikazana je na Sl. Z.3.17.6 sa oznakom c).

d) Najzad, kada i C_E i C_s imaju konačne vrednosti potrebno je uzeti obe impedanse u obzir. Ekvi-

valentno kolo je dato na Sl. Z.3.17.5.

Izraz za pojačanje sada glasi:

$$(Z.3.17.14) \quad A_s(s) = \frac{R_C}{R_C + Z_p} h_{21E} \times \frac{R_B}{R_B + h_{11} + (1 + h_{21E})Z_E}$$

Konačan izraz za $A(s)$ je:

$$(Z.3.17.15) \quad A_s(s) = A'_{s0} \frac{(s/\omega_3)(1+s/\omega_1)}{(1+s/\omega_3)(1+s/\omega_2)}$$

gde su A'_{s0} , ω_1 , ω_2 i ω_3 zadržali svoje vrednosti, koje se izračunavaju iz izraza (Z.3.17.8)-(Z.3.17.10) i (Z.3.17.13), respektivno, kao:

$$A'_{s0} = 0.872 \Rightarrow A'_{s0} [\text{dB}] = -1.19 \text{ dB},$$

$$\omega_1 = 10 \text{ rad/s}, \quad \omega_2 = 314.2 \text{ rad/s}, \quad \omega_3 = 250 \text{ rad/s}.$$

Sada bi karakteristika strujnog pojačanja bila ekvivalentna proizvodu istih pod b) i c), što će reći

- do oko ω_1 raste sa 20dB/dec,

- do ω_2 sa 40dB/dec,

- do ω_3 opet samo sa 20dB/dec,

a onda postaje ravna i poprima svoju vrednost A_{s0} . Dobijeni rezultat prikazan je na Sl. Z.3.17.6 sa oznakom d).

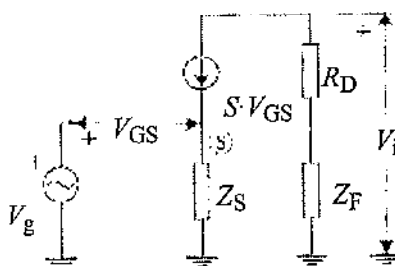


Rešenje zadatka 3.18 Zamenom MOSFET-a linearnim modelom za niske frekvencije u kolo za naizmenični signal dobijena je ekvivalentna šema sa Sl. Z.3.18.2. Impedanse Z_S i Z_F predstavljaju paralelnu vezu otpornosti i kapacitivnosti:

$$(Z.3.18.1) \quad Z_S = \frac{R_S}{1 + sC_S R_S} \quad \text{i} \quad Z_F = \frac{R_F}{1 + sC_F R_F}$$

Na srednjim frekvencijama je $Z_S \rightarrow 0$ i $Z_F \rightarrow 0$, pa je $V_{GS} = V_g$, a $V_i = -SR_D V_{GS}$, odakle je:

$$(Z.3.18.2) \quad A_0 = -SR_D = -20.$$



Sl. Z.3.18.2

Na niskim frekvencijama potrebno je uzeti i ove impedanse u obzir. Na osnovu strujne jednačine za čvor sorsa:

$$(Z.3.18.3) \quad V_S / Z_S - S V_{GS} = 0$$

i znajući da je $V_{GS} = V_g - V_S$ sledi:

$$(Z.3.18.4) \quad V_{GS} = V_g / (1 + S \cdot Z_S).$$

Sada je, usled pada napona koji stvara struja $S V_{GS}$ na rednoj vezi R_D i impedanse Z_F , izlazni napon:

$$(Z.3.18.5) \quad V_i = -(R_D + Z_F) S V_{GS} = -\frac{S(R_D + Z_F)}{1 + S Z_S} \cdot V_g,$$

odakle se pojačanje dobija kao:

$$(Z.3.18.6) \quad A_n = -SR_D \frac{1 + \frac{Z_F}{R_D}}{1 + S Z_S} = A_{n0} \frac{1 + \frac{Z_F}{R_D}}{1 + S Z_S}$$

Uslov zadatka je da pojačanje bude nezavisno od frekvencije, što će reći da pojačanje mora da bude jednako onom na srednjim frekvencijama, odnosno razlomak u (Z.3.18.6) mora da bude jednak jedinici. Odavde sledi da je:

$$(Z.3.18.7) \quad 1 + Z_F / R_D = 1 + S \cdot Z_S,$$

odnosno, ako se zamene izrazi za impedanse:

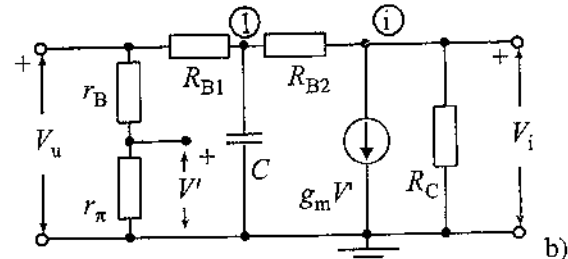
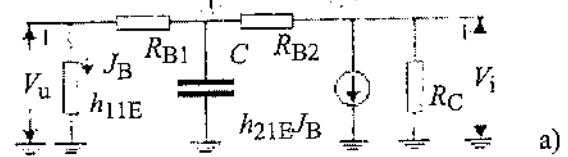
$$(Z.3.18.8) \quad \frac{R_F}{1 + sC_F R_F} = \frac{SR_D R_S}{1 + sC_S R_S}$$

Iz (Z.3.18.8) se mogu lako naći izrazi za nepoznatu otpornost i kapacitivnost:

$$R_F = SR_D R_S = 4 \text{ k}\Omega \quad \text{i} \quad C_F = C_S / (SR_D) = 10 \mu\text{F}.$$



Rešenje zadatka 3.19 Kada ne bi bilo kondenzatora C , naizmenični signal bi se preko otpornika R_{B1} i R_{B2} vraćao na ulaz, tj. postojao bi povratni put prenosa signala. Ovaj prenos je nepoželjan i uticao bi na smanjenje pojačanja pojačavača. Zato je u kolo ugrađen kondenzator C , koji otklanja povratnu spregu između ulaza i izlaza. Njime je formiran nisko-propusni filter čija je gornja granična frekvencija ispod propusnog opsega pojačavača.



Sl. Z.3.19.2

Smenom modela tranzistora u kolo za naizmenični signal nastaju ekvivalentna kola sa Sl. Z.3.19.2.

Za kolo sa Sl. Z.3.19.2a važi sledeći sistem:

$$(Z.3.19.1a) \quad \left(\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + sC \right) \cdot V_1 - \frac{V_i}{R_{B2}} = \frac{V_u}{R_{B1}}$$

$$(Z.3.19.2a) \quad -\frac{V_1}{R_{B2}} + \left(\frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{R_C} \right) \cdot V_1 =$$

$$= -h_{21E} J_B = -\frac{h_{21E}}{h_{11E}} V_u$$

jer je:

$$(Z.3.19.3a) \quad J_B = V_u / h_{11E}.$$

Za kolo sa Sl. Z.3.19.2b važi novi sistem jednačina:

$$(Z.3.19.1b) \quad \left(\frac{1}{R_{B1}} + \frac{1}{R_{B2}} + sC \right) \cdot V_1 - \frac{V_1}{R_{B2}} = \frac{V_u}{R_{B1}}$$

$$(Z.3.19.2b) \quad -\frac{V_1}{R_{B2}} + \left(\frac{1}{R_{B2}} + \frac{1}{R_C} \right) \cdot V_1 + g_m V' = 0,$$

gde je:

$$(Z.3.19.3b) \quad V' = r_\pi V_u / (r_\pi + r_B).$$

Iz jednačine (Z.3.19.2a) može se izraziti V_1 :

$$(Z.3.19.4) \quad V_1 = (1 + R_{B2}/R_C) V_1 + V_u R_{B2} h_{21E} / h_{11E}$$

i zameniti u jednačinu (Z.3.19.1). Dobija se:

$$(P.3.19.5a) \quad \frac{V_1}{V_u} = \frac{(1 - h_{21E} Z_0 / h_{11E}) R_{B2} R_C}{Z_0 (R_C + R_{B2}) - R_{B1} R_C}$$

gde je $Z_0 = R_{B1} + R_{B2} + sCR_{B1}R_{B2}$.

Slično dobijamo

$$(P.3.19.5b) \quad \frac{V_1}{V_u} = \frac{[1 - g_m r_\pi Z_0 / (r_\pi + r_B)] R_{B2} R_C}{Z_0 (R_C + R_{B2}) - R_{B1} R_C}.$$

Ako frekventno nezavisni deo izvučemo ispred, za konačni izraz dobija se:

$$(Z.3.19.6) \quad A = A_0 \cdot \frac{1 + s \cdot \tau_1}{1 + s \cdot \tau_2} = A_0 \cdot \frac{1 + s/\omega_1}{1 + s/\omega_2},$$

gde je:

$$(Z.3.19.7a) \quad A_0 = \frac{\left[1 - \frac{h_{21E}}{h_{11E}} (R_{B1} + R_{B2}) \right] R_C}{R_C + R_{B1} + R_{B2}} =$$

$$= -14.64,$$

ili

$$(Z.3.19.7b) \quad A_0 = \frac{\left[1 - \frac{g_m r_\pi}{r_\pi + r_B} (R_{B1} + R_{B2}) \right] R_C}{R_C + R_{B1} + R_{B2}} =$$

$$= -14.64,$$

$$(Z.3.19.8a) \quad \tau_1 = \frac{CR_{B1}R_{B2}h_{21E}}{h_{21E}(R_{B1} + R_{B2}) - h_{11E}} =$$

$$= 32.4 \text{ ms}$$

ili

$$(Z.3.19.8b) \quad \tau_1 = \frac{CR_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2} - (r_\pi + r_B) / g_m r_\pi} =$$

$$= 32.4 \text{ ms}$$

odnosno:

$$(Z.3.19.8c) \quad \omega_1 = 1/\tau_1 = 30.9 \text{ rad/s},$$

i

$$(Z.3.19.9a) \quad \tau_2 = \frac{CR_{B1}(R_C + R_{B2})}{R_C + R_{B1} + R_{B2}} = 33.2 \text{ ms},$$

odnosno:

$$(Z.3.19.9b) \quad \omega_2 = 1/\tau_2 = 30.1 \text{ rad/s}.$$



Rešenje zadatka 3.20

a) Rešenje ćemo potražiti u obliku koji je pogodan za grafičko predstavljanje, i to na sledeći način:

$$(Z.3.20.1) \quad A_1(f) = \frac{A_0}{(1 + f_n / jf)(1 + jf / f_v)} =$$

$$= A_0 \cdot \frac{jf / f_n}{(1 + f / jf_n)(1 + jf / f_v)}.$$

Ako iskažemo $|A_1(f)|$ u decibelima, dobija se niz sabiraka:

$$(Z.3.20.2) \quad |A_1(f)|_{[dB]} = 20 \cdot \log A_0 + 20 \cdot \log \left(\frac{f}{f_n} \right) +$$

$$+ 20 \cdot \log \left[1 + \left(\frac{f}{f_n} \right)^2 \right] +$$

$$+ 20 \cdot \log \left[1 + \left(\frac{f}{f_v} \right)^2 \right]$$

koje ćemo označiti sa $S_1 - S_4$, respektivno.

- Prvi član je konstantan u funkciji frekvencije, a logaritamska vrednost mu je:

$$A_0 [dB] = 20 \cdot \log A_0 = 40 \text{ dB}.$$

- Drugi član raste sa porastom frekvencije sa nagibom 6 dB/oct ili 20 dB/dek, a kroz vrednost 0 dB prolazi upravo za $f=f_n$.

- Treći član, za male frekvencije u odnosu na f_n je zanemariv, jer je tada $f_n \gg f$, za $f=f_n$ ima vrednost -3 dB, a na frekvencijama $f \gg f_n$ opada sa 20 dB po dekadi (6 po oktavi).

Za poslednji član važi slično objašnjenje kao i za prethodni.

Asimptotska aproksimacija za sve sabirke data je na Sl. Z.3.20.1. Prostim sabiranjem S_1, S_2, S_3 i S_4 dobija se aproksimacija karakteristike koja je na Sl. Z.3.20.3 data punom linijom (a), a stvarna karakteristika isprekidanom.

Kada je o faznoj karakteristici reč, ona se dobija na sledeći način. Slično kao kod pojačanja, produkti iz (Z.3.20.1) kada se potraži fazna karakteristika, poprimaju formu sabiraka:

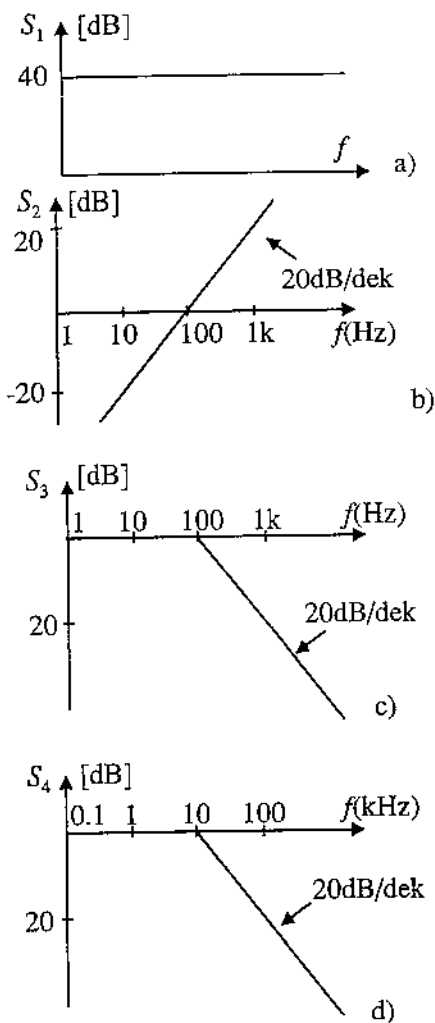
$$(Z.3.20.3) \quad \arg \{A_1(f)\} = F_1 + F_2 - F_3 - F_4 =$$

$$= \arg \{A_0\} + \arg \{jf / f_n\} -$$

$$- \arg \{j / f_n\} - \arg \{jf / f_v\}$$

- Prvi član je argument realnog, i to negativnog broja, znači $F_1 = \pi$.

- Drugi član je argument imaginarnog, a pozitivnog broja, tj. $F_2 = \pi/2$.
- Treći i četvrti član se izračunavaju iz:
 $F_3 = \arctan(f/f_n)$, $F_4 = \arctan(f/f'_v)$,



Sl. Z.3.20.1

Na Sl. Z.3.20.2 prikazan je izgled F_1 , F_2 , F_3 i F_4 . Sumiranjem se dobija ukupna fazna karakteristika koja je data na Sl. Z.3.20.4a.

b) S obzirom da je $f_v \gg f_n$, grafičko prikazivanje funkcije $A_2(f)$ obavićemo posebno za niske i visoke frekvencije. Tako, ako se zanemari uzajamni uticaj polova važi:

$$(Z.3.20.4) \quad A_{2d}(f) = \frac{\frac{A_0}{1 - jf_n/f}}{1 - \frac{A_0 \cdot B_0}{1 - jf_n/f}} = \frac{A_{20}}{1 - jf'_n/f} = A_{20} \frac{jf/f'_n}{1 + jf/f'_n}$$

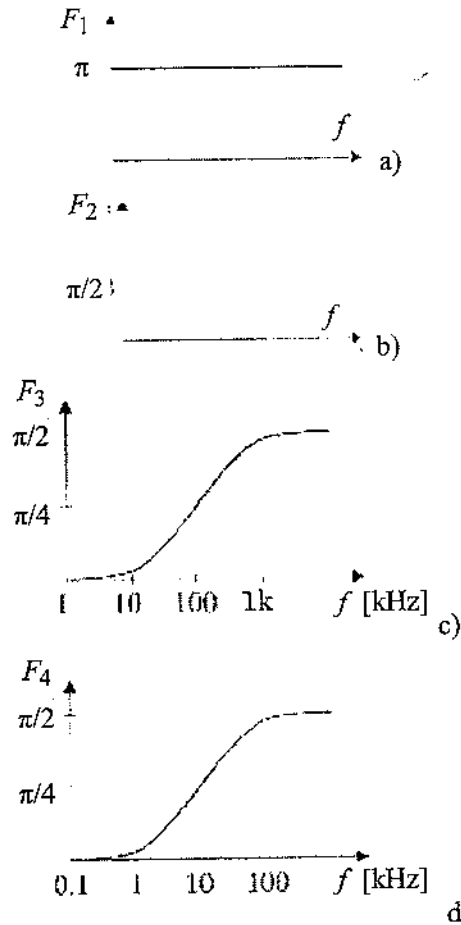
$$(Z.3.20.5) \quad A_{2g}(f) = \frac{\frac{A_0}{1 - jf/f_v}}{1 - \frac{A_0 \cdot B_0}{1 - jf/f_v}} = \frac{A_{20}}{1 + jf/f'_v}$$

pri čemu je:

$$A_{20} = \frac{A_0}{1 - A_0 B_0} = 9.09 \quad (\Rightarrow 19.17 \text{ dB}),$$

$$f'_n = \frac{f_n}{1 - A_0 B_0} = 9.09 \text{ Hz}$$

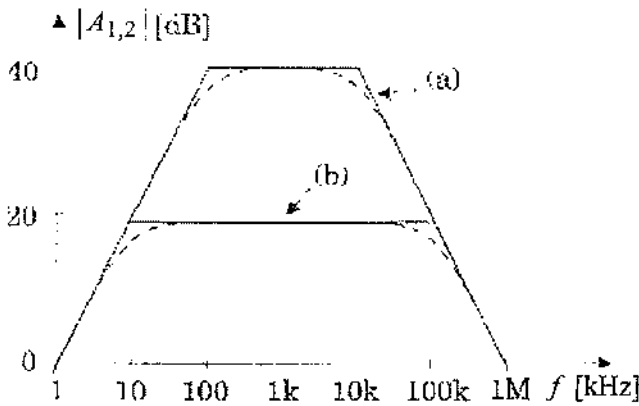
$$f'_v = f_v(1 - A_0 B_0) = 110 \text{ kHz}$$



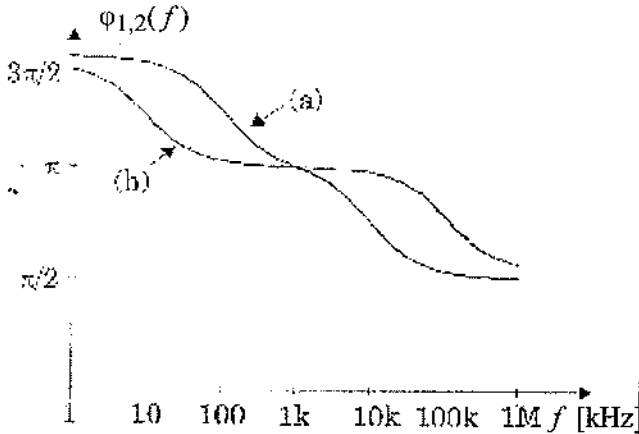
Sl. Z.3.20.2

Do sličnog rešenja se moglo doći razvojem celog izraza koji se dobija kada se (Z.3.20.1) zameni u izraz dat u uslovu zadatka pod b). Razlika između tog tačnog rešenja i gore primenjenog je utoliko veća ukoliko su polovi (tj. granične frekvencije) bliži. Aproksimacija amplitudske i fazna karakteristika date su na slikama Z.3.20.3(b) i Z.3.20.4(b), dok je stvarni oblik amplitudske dat isprekidanom linijom.

Za slučaj kola čije je pojačanje dato sa $A_1(f)$ propusni opseg je bio jednak približno 10 kHz, dok u slučaju kada je pojačanje dato sa $A_2(f)$ on iznosi približno 110 kHz. Dakle povećao se 11 puta.



Sl. Z.3.20.3



Sl. Z.3.20.4

$$(Z.3.21.1) E: (1 + h_{21E})J_{B1} + (1 + h_{21E})J_{B2} = 0 \Rightarrow J_{B1} = -J_{B2}$$

$$(Z.3.21.2) B_2: J_{B2} + V_{B2}/Z = 0 \Rightarrow V_{B2} = -J_{B2}Z = Z \cdot J_{B1}$$

$$(Z.3.21.3) C_2: V_1/R_C + h_{21E}J_{B2} = 0 \Rightarrow V_1 = -R_C h_{21E} J_{B2} = R_C h_{21E} J_{B1}$$

pri čemu je:

$$(Z.3.21.4) J_{B2} = (V_{B2} - V_E) / h_{11E}$$

$$(Z.3.21.5) J_{B1} = (V_u - V_E) / h_{11E}$$

Ako zamenimo izraz (Z.3.21.2) u (Z.3.21.4) dobija se:

$$(Z.3.21.6) V_E = -(h_{11E} + Z)J_{B2} = (h_{11E} + Z)J_{B1}$$

čijom smenom u (Z.3.21.5) dobijamo struju J_{B1} :

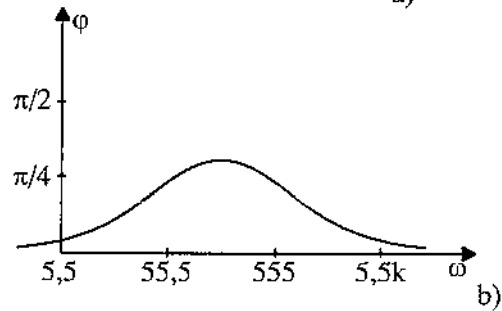
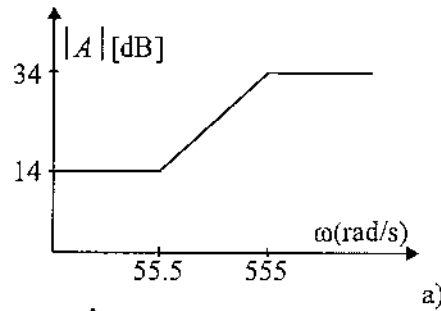
$$(Z.3.21.7) J_{B1} = V_u / (2 \cdot h_{11E} + Z)$$

Ukoliko ovako izračunatu struju baze J_{B1} zamenimo u (Z.3.21.3) dobija se:

$$(Z.3.21.8) V_1 = V_u R_C h_{21E} / (2h_{11E} + Z)$$

odakle je naponsko pojačanje:

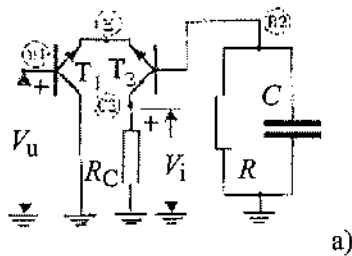
$$(Z.3.21.9) A = V_1 / V_u = R_C h_{21E} / (2h_{11E} + Z)$$



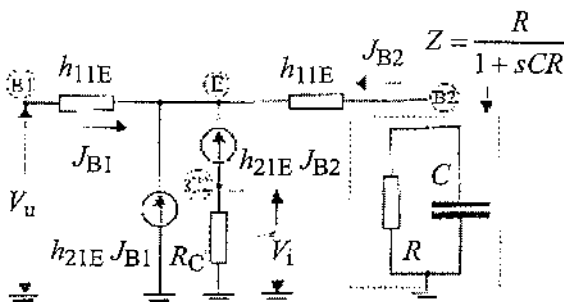
Sl. Z.3.21.3

Rešenje zadatka 3.21 Kolo za naizmeničnu struju je prikazano na Sl. Z.3.21.2a. Smenom modela tranzistora nastaje ekvivalentno kolo prikazano na Sl. Z.3.21.2b.

Za ovo kolo može da se napiše sistem jednačina metodom potencijala čvorova, iz koga je moguće odrediti naponsko pojačanje, na sledeći način:



a)



Sl. Z.3.21.2

b)

Zamenom impedanse $Z = R / (1 + sCR)$ u prethodni izraz dobija se:

$$(Z.3.21.10) A = A_0 \frac{1 + j\omega / \omega_z}{1 + j\omega / \omega_p}$$

gde su:

$$A_0 = \frac{R_C h_{21E}}{2h_{11E} + R}, \quad \omega_z = \frac{1}{RC} \quad \text{i} \quad \omega_p = \frac{1}{C(R || 2h_{11E})}$$

Kako je očigledno $\omega_p > \omega_z$, to se uslov zadatka može napisati u obliku:

$$(Z.3.21.11) \omega_p = 10 \cdot \omega_z,$$

pa se rešavanjem date jednačine po R dobija:

$$(Z.3.21.12) R = 18 \cdot h_{11E} = 18 \text{ k}\Omega,$$

a zamenom brojnih vrednosti u (Z.3.21.8) dobija se: $A_0 = 5$, $\omega_z = 55.5 \text{ rad/s}$, $\omega_p = 555 \text{ rad/s}$.

Aproksimacija amplitudske (a) i fazna karakteristika (b) date su na Sl. Z.3.21.3.



Rešenje zadatka 3.22 Kolo za naizmeničnu struju prikazano je na Sl. Z.3.22.2a. Ekvivalentna šema kola kada se zamene modeli tranzistora data je na Sl. Z.3.22.2b.

Postavićemo jednačine za tri nepoznata napona čvorova, pri čemu je uzeto u obzir da je $V_{GS} = V_G - V_S$ i $J_B = -V_S / h_{11E}$.

$$(Z.3.22.1) \quad V_G \left(\frac{1}{R_G} + \frac{1}{Z_g} + sC_{GD} + sC_{GS} \right) - V_S \cdot (sC_S) = V_g \frac{1}{Z_g}$$

$$(Z.3.22.2) \quad -V_G(S + sC_{GS}) + V_S \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_S} + \frac{1}{h_{11E}} + \frac{h_{21E}}{h_{11E}} + S + sC_{GS} \right) = 0$$

$$(Z.3.22.3) \quad \frac{V_i}{R_C} + h_{21E} J_B = 0 \Rightarrow V_i = \frac{h_{21E}}{h_{11E}} R_C V_S$$

Na niskim i srednjim frekvencijama može se smatrati da je $sC_{GD} \rightarrow 0$ i $sC_{GS} \rightarrow 0$, a na srednjim i visokim frekvencijama: $sC_S \rightarrow \infty$. Rešavanjem gornjeg sistema jednačina, na srednjim frekvencijama dobija se:

$$(Z.3.22.4) \quad A_0 = \frac{h_{21E}}{h_{11E}} \cdot R_C \cdot \frac{R_G}{R_G + R_g} \cdot \frac{S \cdot R_{ekv}}{1 + S \cdot R_{ekv}} = 18.936,$$

gde je sa R_{ekv} označeno:

$$R_{ekv} = R_i \parallel R_S \parallel R_{u2} = R_i \parallel R_S \parallel \left[\frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \right] \approx 9.9 \Omega$$

Za niske frekvencije, pošto se uzme u obzir kondenzator C_S , važi da je pojačanje:

$$(Z.3.22.5) \quad A_n(s) = A_0 \frac{sC_S(R_g + R_G)}{1 + sC_S(R_g + R_G)} = A_0 \cdot \frac{s/\omega_1}{1 + s/\omega_1},$$

i ono ima pol na frekvenciji ω_1 :

$$(Z.3.22.6) \quad \omega_1 = 1/[sC_S(R_g + R_G)] \approx 1 \text{ rad/s}.$$

Najzad, uzimajući u obzir i uticaj kondenzatora C_{GD} i C_{GS} , dobija se izraz za pojačanje na visokim frekvencijama:

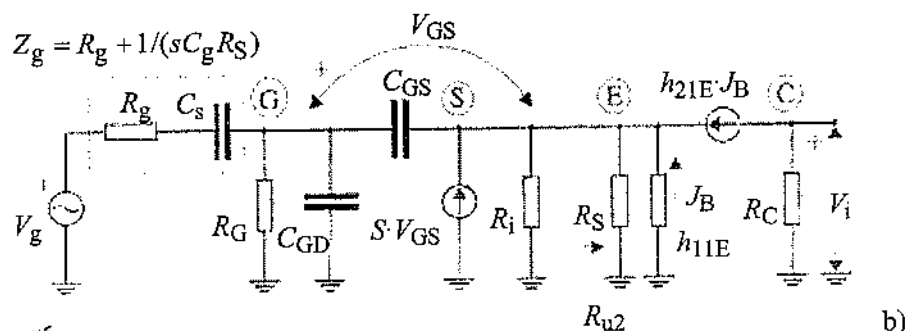
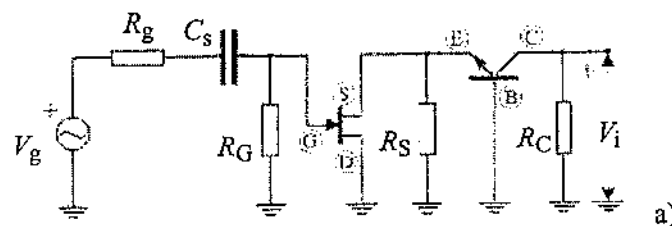
$$(Z.3.22.7) \quad A_v(s) = A_0 \cdot \frac{1 + s/\omega_2}{1 + a_1 s + a_2 s^2},$$

gde su: $\omega_2 = S / C_{GS} = 1.16 \cdot 10^9 \text{ rad/s}$

$$a_1 = C_{GD} \frac{R_G R_g}{R_G + R_g} + \frac{C_{GS}}{1 + S R_{ekv}} \left(R_{ekv} + \frac{R_G R_g}{R_G + R_g} \right) i$$

$$a_2 = C_{GS} C_{GD} R_G R_g R_{ekv} / [(1 + S R_{ekv})(R_g + R_G)].$$

Izjednačavanjem imenioca u izrazu (Z.3.22.7) sa nulom dobija se kvadratna jednačina čijim rešavanjem dobijamo nule polinoma koje predstavljaju polove prenosne funkcije. Rešenja kvadratne jednačine tražimo iz:



Sl. Z.3.22.2

$$(Z.3.22.8) \quad \omega_{3,4} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4 \cdot a_2}}{2 \cdot a_2}$$

Tako, sada izraz za pojačanje na visokim frekvencijama može da se napiše u obliku:

$$(Z.3.22.9) \quad A_v(s) = A_0 \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)},$$

pri čemu su frekvencije polova:

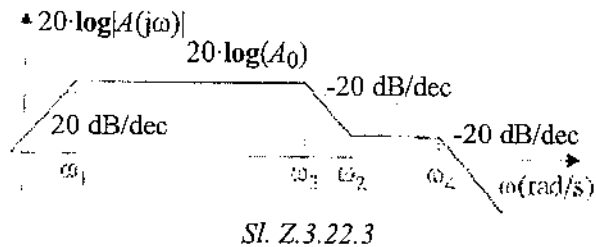
$$\omega_3 = 0.281 \cdot 10^9 \text{ rad/s} \text{ i } \omega_4 = 68.1 \cdot 10^9 \text{ rad/s}.$$

Aproksimacija amplitudske karakteristike data je na Sl. Z.3.22.3.

Pri izračunavanju donje granične frekvencije izjednačimo moduo izraza (Z.3.22.5) sa $\sqrt{2}/2$:

$$(Z.3.22.10) \quad |A_n(j\omega)/A_0| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_n/\omega_1)^2}} = \sqrt{2}/2$$

$$\Rightarrow \omega_n = 1 \text{ rad/s}.$$



Za slučaj gornje granične frekvencije zanemarimo uticaj nule funkcije kola $\omega_1 \ll \omega_2, \omega_3$, kao i jednog od polova $\omega_4 \gg \omega_2, \omega_3$. Ukoliko zanemarimo i uticaj nule na frekvenciji ω_2 , za gornju graničnu frekvenciju bi dobili upravo ω_3 . Ako, pak, uzmemo u obzir ω_2 , jer je svega 4.13 puta veće od ω_3 , dobijamo:

$$(Z.3.22.11) \quad A_v = A_0 \frac{1 + s/\omega_2}{1 + s/\omega_3},$$

pa je na graničnoj frekvenciji:

$$(Z.3.22.12) \quad \frac{1 + \omega_v^2/\omega_2^2}{1 + \omega_v^2/\omega_3^2} = \frac{1}{2},$$

$$\text{odakle je: } \omega_v = \frac{1}{\sqrt{1/\omega_3^2 - 2/\omega_2^2}} \approx 0.3 \cdot 10^9 \text{ rad/s}.$$



Rešenje zadatka 3.23

a) Pozivajući se na iskustvo iz zadatka 2.13 može se reći da je prvi korak pri određivanju strmine tranzistora nalaženje mirne radne tačke. Ako pretpostavimo da tranzistori T_1 i T_2 rade u oblasti zasićenja, u kojoj struja drejna, a time i strmina zavise samo od napona V_{GS} , za izračunavanje strmine dovoljan je jedan od ova dva podatka: I_D ili V_{GS} , s obzirom da su povezani relacijom:

$$(Z.3.23.1) \quad I_D = A \cdot (V_{DS} - V_T)^2 = A \cdot \alpha^2,$$

gde je $\alpha = V_{GS} - V_T$. Da bi odredili radne tačke tranzistora T_1 i T_2 analiziramo ponašanje dela kola sa MOS tranzistorima u prisustvu jednosmernih signala. Sa Sl. Z.3.23.1 lako se uočava da važe sledeće relacije:

$$(Z.3.23.2) \quad \begin{aligned} V_{S1} = V_{S2}, \quad V_{S3} = V_{S4} = -V_{SS}, \\ V_{G3} = V_{G4} = V_{D4}, \end{aligned}$$

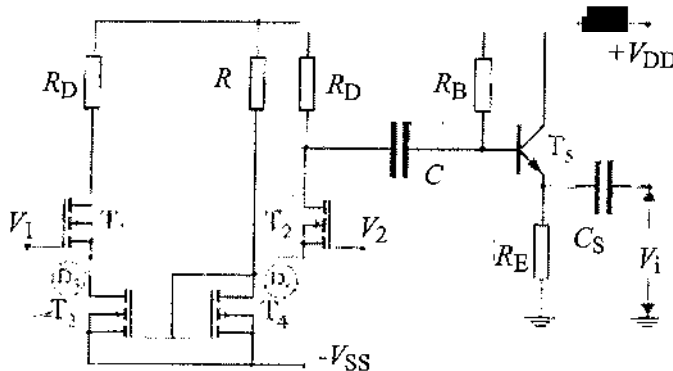
a u uslovima jednosmerne polarizacije je $V_{G1} = V_{G2} = 0$. Na osnovu toga sledi da je $V_{GS1} = V_{GS2}$, $V_{GS3} = V_{GS4}$, a imajući u vidu (Z.3.23.1) očigledno je tada

$$(Z.3.23.3) \quad I_{D1} = I_{D2} \text{ i } I_{D3} = I_{D4}.$$

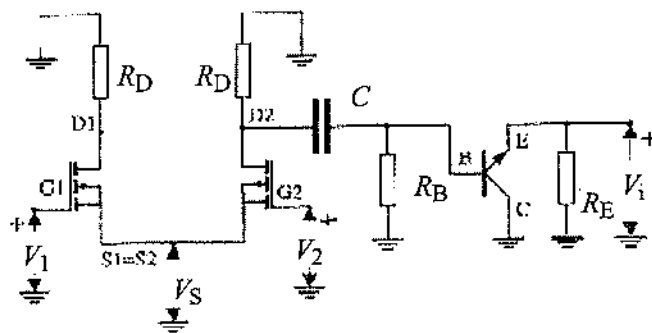
Jasno je da se zbog toga redukuje ukupan broj nepoznatih, pa je dovoljno kolo opisati sa dve jednačine i to za čvorove D_3 i D_4 :

$$(Z.3.23.4) \quad \begin{aligned} D_3: \quad I_{D3} - I_{D1} - I_{D2} &= 0 \\ &\Rightarrow I_{D3} = 2I_{D1} \end{aligned}$$

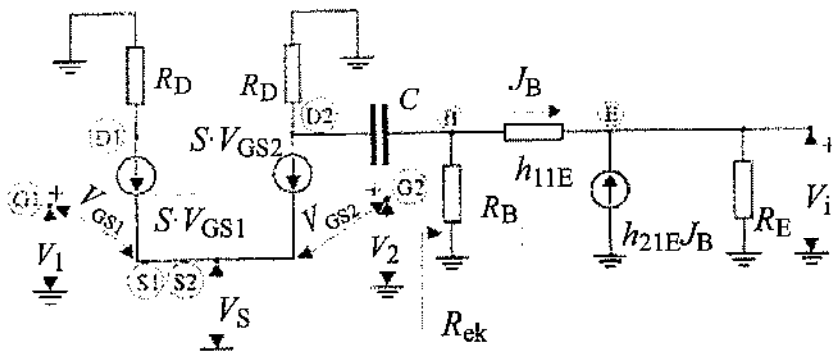
$$(Z.3.23.5) \quad \begin{aligned} D_4: \quad (V_{DD} - V_{D4})/R + I_{D4} &= 0 \\ &\Rightarrow I_{D4} = (V_{DD} - V_{D4})/R \end{aligned}$$



Sl. Z.3.23.1



a)



b) Sl. Z.3.23.2

Kako je $V_{GS4} = V_{D4} + V_{SS}$, izraz (Z.3.23.5), posle smene V_{D4} postaje:

$$(Z.3.23.6) \quad I_{D4} = I_{D3} = (V_{DD} + V_{SS} - V_{GS4}) / R.$$

Izjednačavanjem (Z.3.23.6) sa (Z.3.23.1) za $V_{GS} = V_{GS4}$ dobiju se, slično kao u zadacima (2.13), 2.19, 2.20), koeficijenti jednačine

$$(Z.3.23.7) \quad AR\alpha^2 + \alpha - (V_{DD} + V_{SS} - V_T) = 0$$

čije je fizički opravdano rešenje $\alpha = V_{GS4} - V_T = 2V$, odakle sledi da je $I_{D3} = I_{D4} = 2 \text{ mA}$. Iz (2.23.4) nije teško izračunati da je $I_{D1} = I_{D2} = 1 \text{ mA}$.

Najzad, strmine tranzistora T_1 i T_2 su:

$$(Z.3.23.8) \quad S = S_1 = S_2 = 2A(V_{GS1} - V_T) = 2 \cdot \sqrt{I_{D1} \cdot A} = 2 \text{ mA/V}$$

c) Kolo za naizmeničnu struju prikazano je na Sl. Z.3.23.2a, a zamenom MOSFET-a i bipolarnog tranzistora odgovarajućim linearnim modelima za niske frekvencije, dobija se ekvivalentna šema prikazana na Sl. Z.3.23.2b. Tranzistori T_3 i T_4 imaju ulogu idealnog izvora konstantne struje i ne utiču na naizmenične signale, te su izostavljeni iz razmatranja.

Kolo sa Sl. 2.23.2.b opisuje sistem jednačina napisan za čvorove ($S_1=S_2$), (D_2), (B), (E):

$$(Z.3.23.9) \quad S_1: \begin{aligned} -S V_{GS1} - S V_{GS2} &= 0 \\ \Rightarrow V_{GS1} &= -V_{GS2} = V_{GS} \end{aligned}$$

$$(Z.3.23.10) \quad D_2: \begin{aligned} S V_{GS2} + V_{D2}/R_D + \\ + sC(V_{D2} - V_B) &= 0 \end{aligned}$$

$$(2.23.11) \quad B: V_B/R_B + J_B + (V_B - V_{D2}) \cdot sC = 0$$

$$(2.23.12) \quad E: -(h_{21E} + 1)J_B + V_i/R_E = 0$$

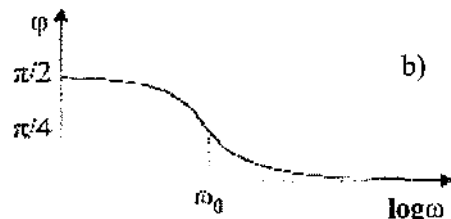
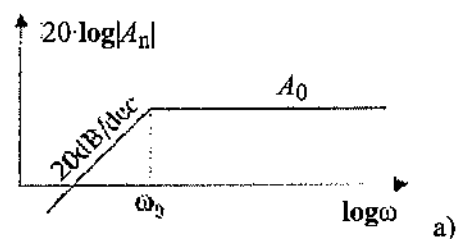
pri čemu je:

$$(2.23.13) \quad J_B = (V_B - V_i)/h_{11E},$$

dok za V_1 i V_2 važi:

$$(Z.3.23.14) \quad V_{GS1} = V_1 - V_S \text{ i } V_{GS2} = V_2 - V_S,$$

odakle je $V_1 - V_2 = V_{GS1} - V_{GS2}$, odnosno iz (Z.3.23.9) sledi: $V_1 - V_2 = 2V_{GS}$. Na taj način izraz za naponsko pojačanje $A(s) = V_i/[V_1(s) - V_2(s)]$ svodi se na $A(s) = V_i(s)/[2V_{GS}(s)]$, što znači da je za rešavanje zadatka potrebno iz četiri jednačine (Z.3.23.10) do (Z.3.23.13) izraziti V_i preko napona V_{GS} .



Sl. Z.3.23.3

Zamenom (Z.3.23.13) u (Z.3.23.12) eliminiše se struja baze, tako da je:

$$(Z.3.23.15) \quad V_B = \frac{h_{11E} + (1 + h_{21E})R_E}{(1 + h_{21E})R_E} \cdot V_i.$$

Zamenom (Z.3.23.10) u (Z.3.23.11) eliminiše se

napon V_{D2} , a potom se zamenom dobijene jednačine u (Z.3.23.15) eliminiše i V_B , pa se dobija:

$$(Z.3.23.16) \quad V_i = \frac{S \cdot R_D R_B R_E (1 + h_{21E}) V_{GS}}{(R_B + R_{u5}) \left[1 + sC \left(R_D + \frac{R_B R_{u5}}{R_B + R_{u5}} \right) \right]}$$

gde je: $R_{u5} = h_{11E} + (1 + h_{21E}) R_E$.

Odavde se, posle uvođenja oznake R_{ek5} (kao na Sl. Z.3.23.2) i sredjivanja izraza, dobija

$$(Z.3.23.17) \quad A(s) = \frac{V_i(s)}{2 \cdot V_{GS}} = A_0 \frac{s/\omega_0}{1 + s/\omega_0},$$

gde su:

$$(Z.3.23.18) \quad A_0 = \frac{(1 + h_{21E}) R_E R_B}{R_B + h_{11E} + (1 + h_{21E}) R_E} \times \frac{S R_D}{2(R_D + R_{ek})} = 5.456,$$

odnosno $A_0 [\text{dB}] = 14.738 \text{ dB}$ i

$$(Z.3.23.19) \quad \omega_0 = 1/[C \cdot (R_D + R_{ek})] = 13596.4 \text{ rad/s.}$$

i $R_{ek} = R_B \parallel R_{u5}$

c,d) Asimptotska aproksimacija amplitudske karakteristike, kao i fazna karakteristika prikazane su na Sl. Z.3.23.3.

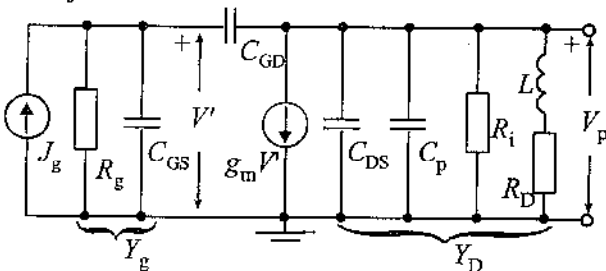
e) Granična frekvencija je ona na kojoj je

$$(Z.3.23.20) \quad \left| \frac{A}{A_0} \right| = \frac{\omega_g / \omega_0}{\sqrt{1 + (\omega_g / \omega_0)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

pa se računom dobija $\omega_g = \omega_0 = 13596.4 \text{ rad/s.}$

Rešenje zadatka 3.24

Smenom modela tranzistora nastaje ekvivalentno kolo sa Sl. Z.3.24.2. Ono je opisano sledećim sistemom jednačina:



Sl. Z.3.24.2

$$(Z.3.24.2) \quad \begin{aligned} (Y_g + sC_{GD})V' - sC_{GD}V_p &= J_g \\ (-sC_{GD} + S)V' + (sC_{GD} + Y_p)V_p &= 0 \end{aligned}$$

gde je

$$(Z.3.24.3a) \quad Y_D = s(C_{DS} + C_p) + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_D + sL}$$

i

$$(Z.3.24.3b) \quad Y_g = sC_{GS} + 1/R_g.$$

a) Rešavanjem ovog sistema, dobija se

$$(Z.3.24.4) \quad Z_T = -S \frac{1 - sC_{GD}/S}{Y_D Y_g + sC_{GD}(Y_D + Y_g + S)},$$

što se, posle sredjivanja, svodi na oblik dat sa (Z.3.24.1), pri čemu je

$$(Z.3.24.5a) \quad a_1 = \tau_1 + \tau_g + (R_g + R'_p)C_{GD}$$

$$(Z.3.24.5b) \quad a_2 = \tau_1 \tau_g + \tau_2^2 + [(\tau_D + \tau_g) R'_p + \tau_1 R_g] C_{GD}$$

$$(Z.3.24.5c) \quad a_3 = \tau_g \tau_2^2 + [\tau_D \tau_g R'_p + \tau_2^2 R_g] C_{GD}$$

$$(Z.3.24.5d) \quad b_1 = \tau_D - C_{GD}/S$$

$$(Z.3.24.5e) \quad b_2 = -\tau_D C_{GD}/S$$

$$(Z.3.24.5f) \quad Z_T(0) = -(S R'_p) R_g$$

$$(Z.3.24.5g) \quad \tau_1 = (L + C'_p R_i R_D) / (R_i + R_D)$$

$$(Z.3.24.5h) \quad \tau_2^2 = L C'_p R_i / (R_i + R_D)$$

$$(Z.3.24.5i) \quad \tau_D = L / R_D$$

$$(Z.3.24.5j) \quad \tau_g = C_{GS} R_g$$

$$(Z.3.24.5k) \quad C'_p = C_{DS} + C_p$$

$$(Z.3.24.5l) \quad R'_p = R_i \parallel R_D.$$

b) Rešavanjem jednačine

$$(Z.3.24.6) \quad |a_1| = |b_1|$$

dobija se

$$(Z.3.24.6) \quad L = R_D \left(1 + \frac{R_D}{R_i} \right) \left[C_{GD} \left(\frac{1}{S} + R_g + R'_p \right) + C_{GS} R_g + C'_p R'_p \right],$$

ili $L = 22.88 \mu\text{H}$.

Čitaocu se ostavlja zanimljiv nastavak ove priče.

Naime ako je R_D mala otpornost (recimo $R_D = 0 \Omega$) kolo sa Sl. Z.3.24.1 postaje selektivni pojačavač. Ostavlja se čitaocu da upotrebom (Z.3.24.4) odredi frekvenciju maksimalne transimpedanse i vrednost njenog modula na toj frekvenciji.

S druge strane, smatra se lakim problemom da se iz transimpedanse ekstrahuje naponsko pojačanje.

Najzad, primenom razmatranja koja su slična onima koja su data u ovom zadatku moguće je odrediti i ulaznu impedansu kola.

Napomena: Čitalac će lako uočiti da R_g u ovoj situaciji predstavlja paralelnu vezu svih otpornosti u kolu gejta. Slično, R_i može da se posmatra kao paralelna veza unutrašnje otpornosti tranzistora i otpornosti potrošača koja je ovde izostavljena. Najzad, C_p može da se posmatra i kao ulazna kapacitivnost narednog stepena. Sve to govori o opštosti rezultata koji su prikazani u ovom primeru. \checkmark