



Osnovi elektronike SG EKM Školska godina 2014/15

Rešeni zadaci za domaći i zadaci za
vežbu

Prof. Dr Predrag Petković

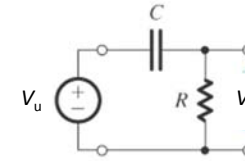
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

Domaći 2.1



Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.
Koju funkciju kolo obavlja u frekvencijskom domenu?
Odrediti graničnu frekvenciju.
Koliko iznosi asimptotski nagib amplitudske karakteristike po dekadi i po oktavi?



21. oktobar 2014.

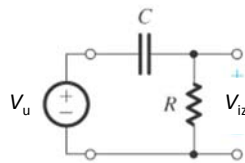
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

2

Rešenje 2.1

Pojačanje signala

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



$$V_i(j\omega) = \frac{R}{Z_C + R} V_u(j\omega) = \frac{R}{1/j\omega C + R} V_u(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} V_u(j\omega)$$

$$T(j\omega) = \frac{V_i(j\omega)}{V_u(j\omega)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{s/\omega_o}{1 + (s/\omega_o)} \Bigg|_{s=j\omega, \omega_o=1/\tau=1/RC} = \frac{1}{1 + (\omega_o/s)}$$

18. oktobar2011

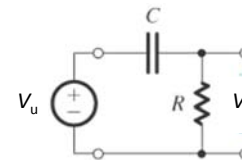
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

3

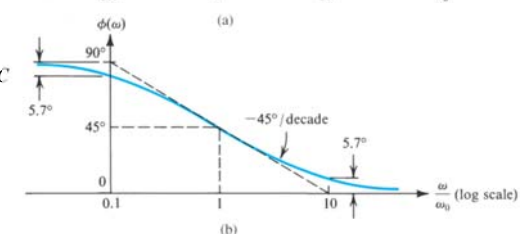
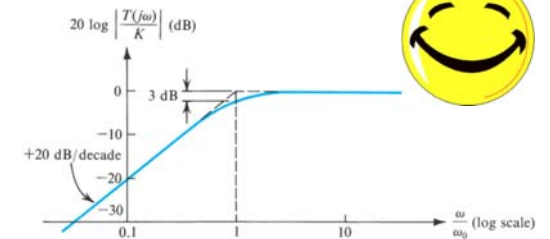
Rešenje 2.1

Pojačanje signala

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



$$T(j\omega) = \frac{s/\omega_o}{1 + (s/\omega_o)} \Bigg|_{s=j\omega, \omega_o=1/\tau=1/RC}$$



18. oktobar2011

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

4

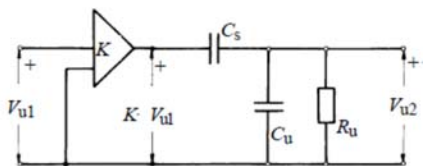
Pojačanje signala



Frekvencijske karakteristike

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.

Domaći 2.2



$$(3.1.35) \quad A_u = \frac{V_{u2}}{V_{u1}} = K \frac{j\omega R_u C_s}{1 + j\omega(R_u C_u + R_u C_s)}$$

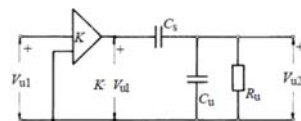
$$= K \frac{C_s}{C_u + C_s} \frac{j\tau\omega}{1 + j\tau\omega} = A_0 \frac{j\tau\omega}{1 + j\tau\omega}$$

gde je ω kružna frekvencija, $\tau = R_u(C_u + C_s)$, a $A_0 = K \cdot C_s / (C_s + C_u)$.

Rešenje 2.2

Pojačanje signala

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



$$A_u = \frac{V_{u2}}{V_{u1}} = K \frac{j\omega R_u C_s}{1 + j\omega(R_u C_u + R_u C_s)}$$

$$= K \frac{C_s}{C_u + C_s} \frac{j\tau\omega}{1 + j\tau\omega} = A_0 \frac{j\tau\omega}{1 + j\tau\omega}$$

gde je ω kružna frekvencija, $\tau = R_u(C_u + C_s)$, a $A_0 = K \cdot C_s / (C_s + C_u)$.



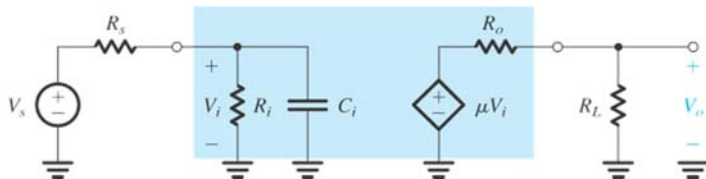
Pojačanje signala



Frekvencijske karakteristike

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju (ukupno naponsko pojačanje) kola sa slike.

Domaći 2.3



Ako je $R_s = 20k$, $R_i = 100k$, $C_i = 60pF$, $\mu = 144 V/V$, $R_o = 200\Omega$ i $R_L = 1k$

- Odrediti pojačanje pri $\omega = 0 \text{ rad/s}$ (jednosmerno) ($A = 100 V/V$)
- Grafičnu frekvenciju (3dB) ($\omega_0 = 10^6 \text{ rad/s}$, $f_0 = 159,2 \text{ kHz}$)
- Odrediti frekvenciju pri kojoj A padne na 0dB (10^8 rad/s)

Rešenje 2.3

Pojačanje signala

Odrediti prenosnu funkciju (ukupno naponsko pojačanje) kola sa slike.

Ako je $R_s = 20k$, $R_i = 100k$, $C_i = 60pF$, $\mu = 144 V/V$, $R_o = 200\Omega$ i $R_L = 1k$

- Odrediti pojačanje pri $\omega = 0 \text{ rad/s}$ (jednosmerno) ($A = 100 V/V$)
- Grafičnu frekvenciju (3dB) ($\omega_0 = 10^6 \text{ rad/s}$, $f_0 = 159,2 \text{ kHz}$)
- Odrediti frekvenciju pri kojoj A padne na 0dB (10^8 rad/s)



$$V_i(s) = \frac{Z_i}{Z_i + R_s} V_s(s) = \frac{R_i / (1 + sC_i R_i)}{R_i / (1 + sC_i R_i) + R_s} V_s(s) = \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{1}{1 + sC_i(R_i \parallel R_s)} V_s(s)$$

$$V_o(s) = \frac{R_L}{R_o + R_L} \mu V_i(s) = \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{\mu R_i}{R_i + R_s} \frac{1}{1 + sC_i(R_i \parallel R_s)} V_s(s)$$

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} = \mu \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{1}{1 + sC_i(R_i \parallel R_s)}$$

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} = A_0 \frac{1}{1 + sC_i(R_i \parallel R_s)} = A_0 \frac{1}{1 + s\tau}$$

$$\tau = C_i(R_i \parallel R_s) = 10^{-6} \text{ s}$$

$$A_0 = \mu \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{R_s}{R_i + R_s} = 144 \frac{1k}{1.2k} \frac{100k}{120k} = 100 V/V$$

$$|A(j\omega)| = A_0 \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

$$|A(j\omega_{3dB})| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\omega_{3dB} \cdot \tau)^2}} = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \Rightarrow \omega_{3dB} = \frac{1}{\tau}$$

$$\omega_{3dB} = \frac{1}{\tau} = 10^6 \text{ rad/s}$$

$$|A(j\omega_1)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\omega_1 \cdot \tau)^2}} = 1 \Rightarrow \omega_1^2 = \frac{A_0^2 - 1}{\tau^2}$$

$$\omega_1 \approx \frac{A_0}{\tau} = A_0 \cdot \omega_{3dB} = 100 \cdot 10^6 \text{ rad/s} = 10^8 \text{ rad/s}$$





Domaći 3.1

Zadatak:

Odrediti elemente ekvivalentnog Millerovog kola za pojačavač sa slike (upotrebljen je idealni pojačavač sa $A=-100$) i ukupno naponsko pojačanje ($A(s)=V_i(s)/V_g(s)$) u slučaju kada je Z :

a) $R=1M$

b) $C=1pF$

c) Šta će biti ako je $Z=1/sC$ i

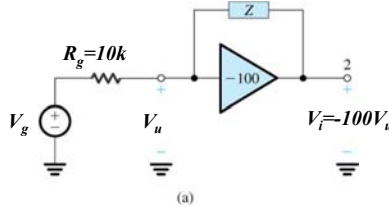
$A>1?$

$A=1?$

$1>A>0?$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A}$$

$$Z_2 = \frac{Z}{1-1/A} = \frac{A \cdot Z}{A-1}$$



28. oktobar 2014.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>



Rešenje 3.1

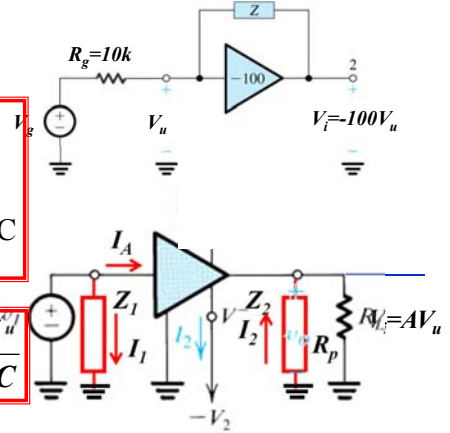
Odrediti elemente ekvivalentnog Millerovog kola za pojačavač sa slike i ukupno naponsko pojačanje ($A(s)=V_i(s)/V_g(s)$) u slučaju kada je Z :

b) $C=1pF$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} = \frac{1/(j\omega C)}{1-A} = \frac{1}{j\omega C(1-A)}$$

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega \cdot (101pF)}; \text{ kao } C_e = (1-A) \cdot C$$

$$Z_2 = \frac{A \cdot Z}{A-1} = \frac{-100 \cdot 1/(j\omega C)}{(-100)-1} \approx \frac{1^{Vu}}{j\omega C}$$



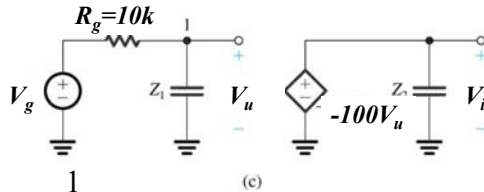
05. novembar 2013.

Operacioni pojačavači



Rešenje 3.1

b)



$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} = \frac{1/sC}{1+100} = \frac{1}{s(101C)}$$

$$Z_2 = \frac{Z}{1-1/A} = \frac{1/sC}{1-(-1/100)} = \frac{1}{s(1.01C)}$$

$$A = \frac{V_i}{V_g} = \frac{V_i}{V_u} \cdot \frac{V_u}{V_g} = -100 \cdot \frac{1/101sC}{1/101sC + R_g} = \frac{-100}{1+101sCR_g}$$

$$A = \frac{-100}{1+1.01 \times 10^{-6} s} \text{ V/V}$$

$$f_g = f_{3dB} = \frac{1}{2\pi \times 101sCR_g} = \frac{1}{2\pi \times 1.01 \times 10^{-6} s} = 157.6 \text{ kHz}$$

23. oktobar 2012.

Operacioni pojačavači



Rešenje 3.1

Odrediti elemente ekvivalentnog Millerovog kola za pojačavač sa slike i ukupno naponsko pojačanje ($A(s)=V_i(s)/V_g(s)$) u slučaju kada je Z :

c) Šta će biti ako je $Z=1/sC$ i $A>1?$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} = \frac{1/(sC)}{1-A} = \frac{1}{sC(1-A)}$$

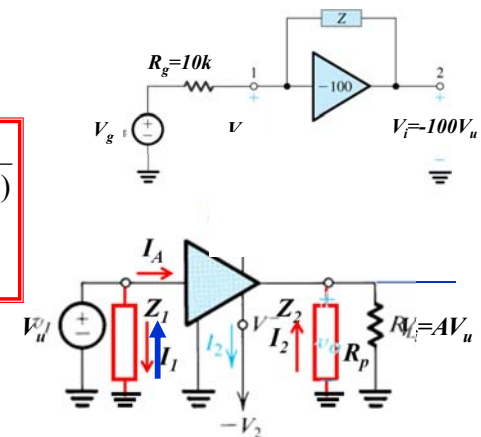
$$Z_1 = -\frac{1}{s \cdot (C(A-1))}$$

konvertor negativne impedanse.

Struja menja smer jer je $V_i > V_u$

05. novembar 2013.

Operacioni pojačavači





Rešenje 3.1

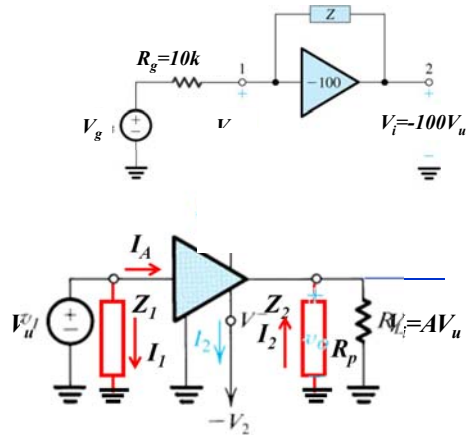
Odrediti elemente ekvivalentnog Millerovog kola za pojačavač sa slike i ukupno naponsko pojačanje ($A(s)=V_i(s)/V_g(s)$) u slučaju kada je Z :

c) Šta će biti ako je $Z=1/sC$ i $A=1$?

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} = \frac{1/(sC)}{1-A} = \infty$$

$$Z_2 = -\frac{A \cdot Z}{Z(1-A)} = \infty$$

$V_i=V_u$ kompenzovano V_u



Rešenje 3.1

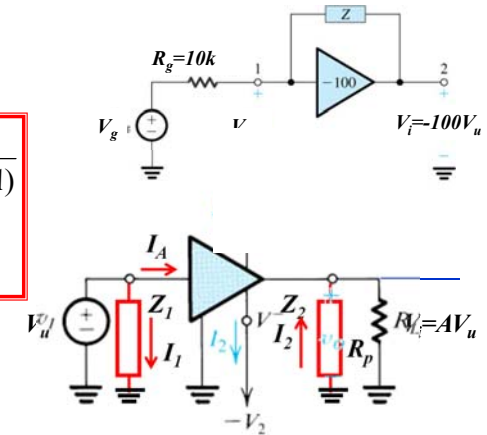
Odrediti elemente ekvivalentnog Millerovog kola za pojačavač sa slike i ukupno naponsko pojačanje ($A(s)=V_i(s)/V_g(s)$) u slučaju kada je Z :

c) Šta će biti ako je $Z=1/sC$ i $1>A>0$?

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} = \frac{1/(sC)}{1-A} = \frac{1}{sC(1-A)}$$

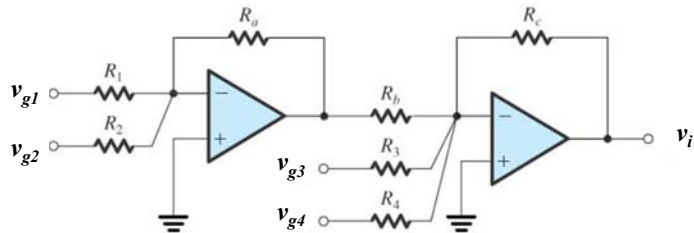
$$Z_2 = \frac{1}{s \cdot C_e}; \quad C_e < C$$

povećana impedansa. $Z_1 > Z$



Domaći 4.1

Odrediti napon na izlazu pojačavača sa slike

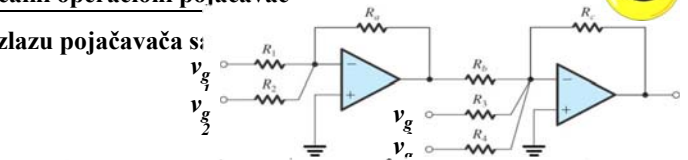


$$v_i = \frac{R_a R_c}{R_1 R_b} v_{g1} + \frac{R_a R_c}{R_2 R_b} v_{g2} - \frac{R_c}{R_3} v_{g3} - \frac{R_c}{R_4} v_{g4}$$

Rešenje 4.1 Idealni operacioni pojačavač



Odrediti napon na izlazu pojačavača s:



1/3

$$i_{rc} = \frac{v_o}{R_c} = -\left(\frac{v_a}{R_b} + \frac{v_3}{R_3} + \frac{v_4}{R_4}\right) \Rightarrow v_o = -\frac{R_c}{R_b} v_a - \frac{R_c}{R_3} v_3 - \frac{R_c}{R_4} v_4$$

$$i_{ra} \frac{v_a}{R_a} = -\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2}\right) \Rightarrow v_a = -\frac{R_a}{R_1} v_1 - \frac{R_a}{R_2} v_2$$

$$v_o = -\frac{R_c}{R_b} \left(-\frac{R_a}{R_1} v_1 - \frac{R_a}{R_2} v_2\right) - \frac{R_c}{R_3} v_3 - \frac{R_c}{R_4} v_4$$

$$v_i = \frac{R_a R_c}{R_1 R_b} v_{g1} + \frac{R_a R_c}{R_2 R_b} v_{g2} - \frac{R_c}{R_3} v_{g3} - \frac{R_c}{R_4} v_{g4}$$



Domaći 4.2

Zadatak: Za invertorski pojačavač pobuđen naponom $v_g=0.1V$ kod koga je $R_1=0.1k$ i $R_2=10k$ u kome se koriste OpAmp sa pojačanjem u OP od $A=60dB$, $80dB$ i $100dB$ i odrediti:

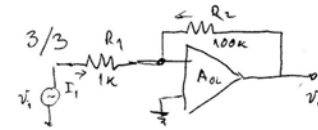
- Pojačanje u zatvorenoj petlji
- Procentualnu promenu pojačanja u zatvorenoj petlji u odnosu na slučaj sa idealnim OpAmpom
- Veličinu napona na ulazu OpAmpa

Rešenje **Milerova teorema?**

a)(90,83; 99,00; 99,90); b)(-9,17%; -1,00%; -0,10%); c)(-0,908mV; -0,99mV; -0,10mV)



Rešenje 4.2



$$i_1 = \frac{v_i - \frac{v_o}{A_{ol}}}{R_1} = - \frac{v_o - \frac{v_i}{A_{ol}}}{R_2} = i_2$$

$$v_i R_2 - \frac{R_2 v_o}{A_{ol}} = -v_o R_1 + \frac{R_1 v_o}{A_{ol}}$$

$$v_i R_2 = - \left(R_1 + \frac{R_1 + R_2}{A_{ol}} \right) v_o \Rightarrow v_o = \frac{A_{ol} v_i R_2}{A_{ol} R_1 + (R_1 + R_2)} v_i$$

$$A = \frac{v_o}{v_i} = - \frac{A_{ol} R_2}{A_{ol} R_1 + R_1 + R_2} = \frac{A_{ol} \cdot 100}{A_{ol} + 101}$$

A_{ol}		A_{oz}		$\frac{\Delta A}{A} 100\%$
[dB]	[V/V]	[dB]	[V/V]	
60	10^3	90,83	39,16	-9,17%
80	10^4	99,00	39,91	-0,99%
100	10^5	99,90	39,99	-0,10%

25. oktobar 20



Domaći 5.1

Za nMOS tranzistor kod koga je $V_t=1V$, $\mu_n C_{ox} = 120\mu A/V^2$, $W/L=10$ i $\lambda=0.02V^{-1}$ odrediti:

- opseg napona V_{GS} za koje tranzistor vodi
- napon V_{DS} u funkciji V_{GS} pri kome tranzistor ulazi u zasićenje,
- dinamičke parametre tranzistora g_m i r_o u radnoj tački definisanoj sa $I_D=75\mu A$, ako se zna da tranzistor radi u zasićenju.
- Nacrtati model za male signale i upisati vrednosti parametara.

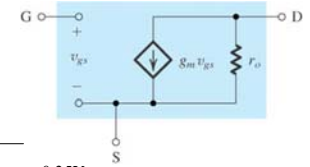
$V_{GS} > 1V$; $V_{DS} > V_{GS} + 1V$; $424\mu A/V$, $0.67M\Omega$



Rešenje 5.1

Za nMOS tranzistor kod koga je $V_t=1V$, $\mu_n C_{ox} = 120\mu A/V^2$, $W/L=10$ i $\lambda=0.02V^{-1}$ odrediti: a) opseg napona V_{GS} za koje tranzistor vodi; b) napon V_{DS} u funkciji V_{GS} pri kome tranzistor ulazi u zasićenje; c) dinamičke parametre tranzistora: g_m i r_o u radnoj tački definisanoj sa $I_D=75\mu A$, ako se zna da tranzistor radi u zasićenju; d) nacrtati model i upisati vrednosti parametara;

- $V_{GS} > V_t = 1V$;
- $V_{DS} > V_{GS} + V_T = V_{GS} + 1V$;
-



$$g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \Rightarrow V_{GS} - V_t = \sqrt{\frac{I_D}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}}} = \sqrt{\frac{75 \cdot 10^{-6}}{\frac{1}{2} \cdot 120 \cdot 10^{-6} \cdot 10}} = 0,35V$$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t} = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{0,35} = 424\mu A/V < g_{mBJT} = 40mA/V$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{1}{\lambda \cdot I_D} = \frac{1}{0,02 \cdot 75 \cdot 10^{-6}} = 666,66k\Omega \approx 0.67M\Omega$$

25. novembar 2014.



Domaći 5.2

BJT sa $\beta=100$, i $V_A=100V$ polarisan je u radnoj tački sa $I_C=1mA$ i $V_{CE}=5V$. Nacrtati hibridni π i T model i odrediti parametre:

- a) g_m
- b) r_π
- c) r_o
- d) α
- e) r_e u radnoj tački.
- f) Uporediti g_m sa odgovarajućim parametrom MOSFETa sa slajda 39.

40mA/V; 2.5k Ω ; 105k Ω ; 100/101; 25 Ω .
 18. novembar 2014. Modeli poluprovodničkih komponenta



Rešenje 5.2

BJT sa $\beta=100$, i $V_A=100V$ polarisan je u radnoj tački sa $I_C=1mA$ i $V_{CE}=5V$. Nacrtati hibridni π i T model i odrediti parametre:

a) g_m ; b) r_π ; c) r_o ; d) α ; f) r_e u radnoj tački. g) Uporediti g_m sa odgovarajućim parametrom MOSFETa sa slajda 39. (40mA/V; 2.5k Ω ; 105k Ω ; 100/101; 25 Ω .)

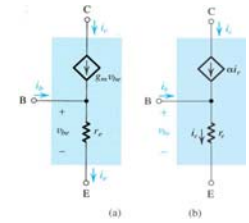
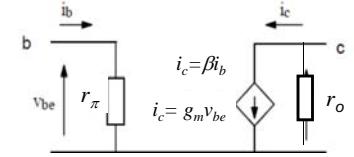
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1mA}{0.026V} = 38,4mA/V \approx 40mA/V$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_T}{I_C} = \frac{100 \cdot 0.026V}{1mA} = 2,6k\Omega \approx 2,5k\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A + |V_{CE}|}{I_C} = \frac{(100+5)V}{1mA} = 105k\Omega$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{100}{101} = 0,99 \approx 1$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m} = \frac{101}{100} \frac{1}{38,4mA/V} = 25,78k\Omega \approx 25k\Omega$$



25. novembar 2014.

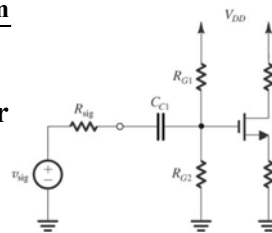
Modeli poluprovodničkih komponenta



Domaći 6.1:

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_{\text{t}}=1V$, $\mu_n C_{\text{ox}}'W/L=1mA/V^2$, $\lambda=0$.

Poznato je $V_{DD}=15V$.



- a) Odrediti vrednosti ostalih elemenata kola pod uslovom da je $I_D=0.5mA$ i da su padovi napona na R_D i R_S isti i iznose $V_{DD}/3$. ($R_D=R_S=10k$, $R_{G1}=8M$, $R_{G2}=7M$)
- b) Izračunati za koliko će se promeniti I_D ukoliko se tranzistor zameni drugim koga je $V_{\text{t}}=1.5V$. ($I_D=0.45mA$, $\Delta I_D=-0.05mA$, $\Delta I_D/I_D=-10\%$)
- c) Ponoviti postupak pod a i b) u slučaju da se zadrži ista vrednost za I_D i R_D a da je $R_S=0$. ($R_{G1}=13M$, $R_{G2}=2M$, $\Delta I_D=-0.375mA$, $\Delta I_D/I_D=-75\%$)
- d) Izračunati naponsko pojačanje ulaznu i izlaznu otpornost u slučaju a) i c). ($A_v=-10/11$, $R_{\text{uo}}=3.73M$, $R_{\text{ic}}=10k$, $A_c=10$, $R_{\text{uc}}=1.73M$, $R_{\text{ic}}=10k$)



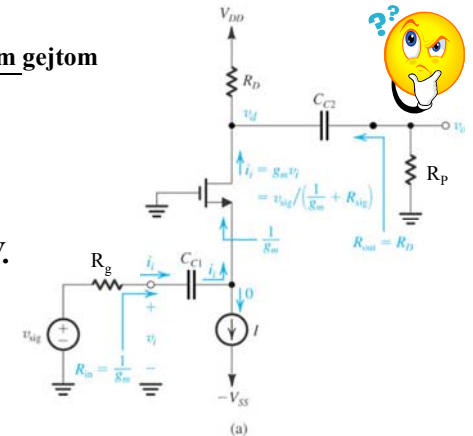
Domaći 6.2:

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_{\text{t}}=1.5V$,

$\mu_n C_{\text{ox}}'W/L=2A=1mA/V^2$, $V_A=75V$.

Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10V$,

$I_D=0.5mA$, $R_D=15k$.



- a) Odrediti vrednosti jednosmernih napona V_D i V_S . ($V_D=2.5V$, $V_S=-2.5V$)
- b) Odrediti A_v , R_{u} , R_i i A_v ukoliko je $R_P=15k$, $R_G=50\Omega$. ($A_v=15V/V$, $R_i=1k$, $R_o=15k$, $A_v=7.5V/V$)
- c) Odrediti ukupno naponsko pojačanje ukoliko je $R_g=1k$, $10k$, $100k$. ($3.75V/V$, $0.68V/V$, $0.07V/V$)

Pojačavač sa zajedni

Domaći 6.3:

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa

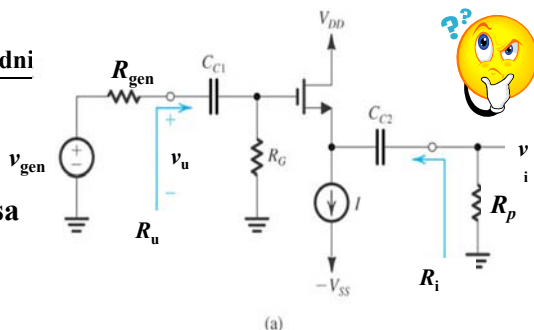
$$V_t = 1.5V, V_A = 75V,$$

$$\mu_n C_{ox} 'W/L = 2A = 1mA/V^2.$$

$$\text{Poznato je } V_{DD} = V_{SS} = 10V,$$

$$I_D = 0.5mA, R_G = 4.7M, R_p = 15k.$$

- Odrediti vrednosti jednosmernih napona V_G i V_S .
($V_G = 0V, V_S = -2.5V$)
- Odrediti A_v, R_u, R_i i A_v ukoliko je $R_g = 1M\Omega$.
($A_v = 0.993V/V, R_u = 4.7M, R_i = 0.993k, A_v = 0.768V/V$)



25. novembar 2014.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Domaći 7:

Izračunati napon na potrošaču od $R_p = 10\Omega$ ako je pobuđen iz generatora $V_g = 10mV$ i $R_g = 10k$ u slučaju da je povezan:

- Direktno;
- preko pojačavača sa zajedničkim kolektorom čiji su parametri: $R_E = 5k, R_B = 100k, h_{11E} = 1k, h_{12E} = 0, h_{21E} = 100, h_{22E} = 0$;
- preko pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri: $R_C = 5k, R_B = 100k, h_{11E} = 1k, h_{12E} = 0, h_{21E} = 100, h_{22E} = 0$;
- preko kaskadne veze pojačavača sa zajedničkim emitorom iz tačke c) (ulaz vezan za generator) i pojačavača sa zajedničkim kolektorom iz tačke b) (izlaz vezan za R_p).

Videti skice sa table na sledećem slajdu.

02. decembar 2014.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Domaći



02. decembar 2014.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Rešenje 7:

Izračunati napon na potrošaču od $R_p = 10\Omega$ ako je pobuđen iz generatora $V_g = 10mV$ i $R_g = 10k$ u slučaju da je povezan:

- Direktno;
- preko pojačavača sa zajedničkim kolektorom čiji su parametri: $R_E = 5k, R_B = 100k, h_{11E} = 1k, h_{12E} = 0, h_{21E} = 100, h_{22E} = 0$;
- preko pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri: $R_C = 5k, R_B = 100k, h_{11E} = 1k, h_{12E} = 0, h_{21E} = 100, h_{22E} = 0$;
- preko kaskadne veze pojačavača sa zajedničkim emitorom iz tačke c) (ulaz vezan za generator) i pojačavača sa zajedničkim kolektorom iz tačke b) (izlaz vezan za R_p).

$$a) \quad V_p = \frac{R_p}{R_g + R_p} V_g = \frac{10\Omega}{10010\Omega} \cdot 10mV = 10\mu V$$

09. decembar 2014.

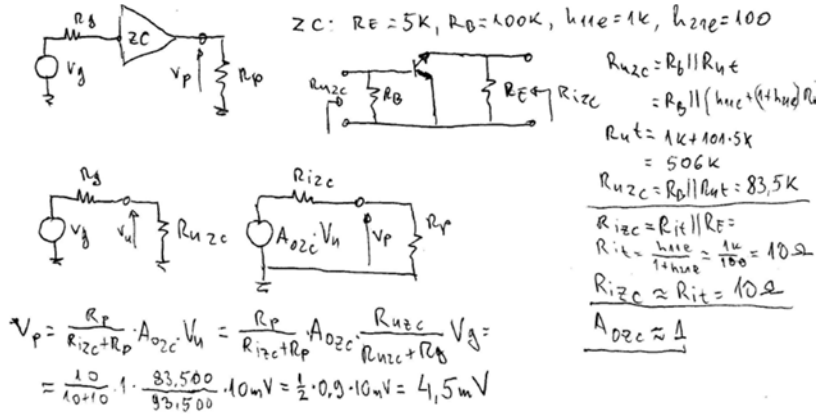
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Rešenje 7 (nastavak):

b) preko pojačavača sa zajedničkim kolektorom čiji su parametri: $R_E=5k, R_B=100k, h_{11E}=1k, h_{12E}=0, h_{21E}=100, h_{22E}=0;$



09. decembar 2014.

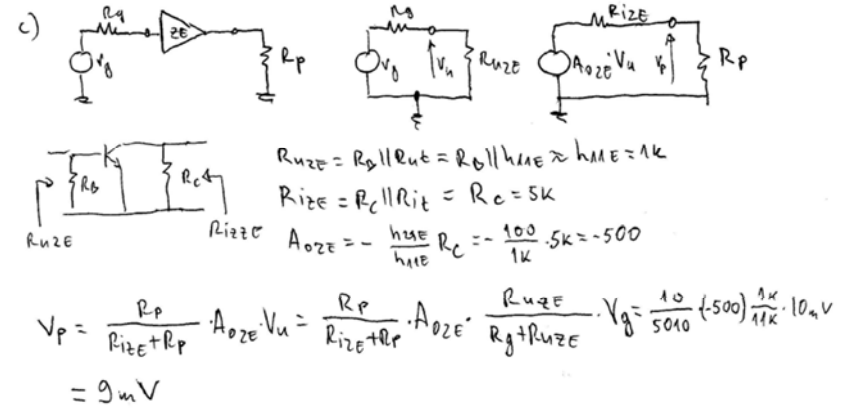
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Rešenje 7 (nastavak):

c) preko pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri: $R_C=5k, R_B=100k, h_{11E}=1k, h_{12E}=0, h_{21E}=100, h_{22E}=0;$



09. decembar 2014.

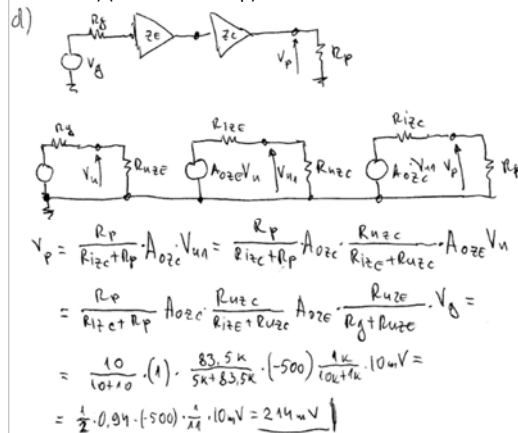
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Rešenje 7 (nastavak):

d) preko kaskadne veze pojačavača sa zajedničkim emitorom iz tačke c) (ulaz vezan za generator) i pojačavača sa zajedničkim kolektorom iz tačke b) (izlaz vezan za Rp).



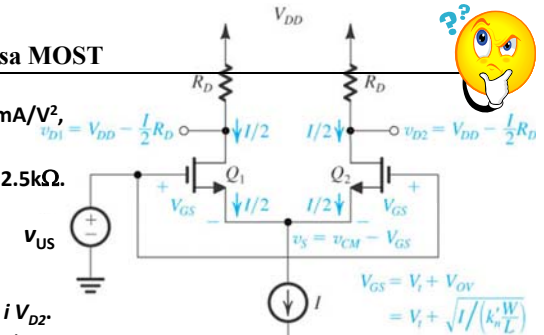
09. decembar 2014.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Domaći 8.1: Realizacija sa MOST

U kolu sa slike upotrebljeni su identični tranzistori sa $V_t=0.5V, \mu_n C_{ox} W/L=2A=4mA/V^2, \lambda=0.$

Poznato je $I=0.4mA, V_{DD}=V_{SS}=1.5V$ i $R_D=2.5k\Omega.$



- Za $V_{US}=0V$ odrediti $V_S, I_{D1}, I_{D2}, V_{D1}$ i $V_{D2}.$ ($V_S=-0.82V, I_{D1}=I_{D2}=0.2mA, V_{D1}=V_{D2}=1V$)
- Ponoviti postupak pod a) za $V_{US}=-0.2V.$ ($V_S=-1.02V, I_{D1}=I_{D2}=0.2mA, V_{D1}=V_{D2}=1V$)
- Ponoviti postupak pod a) za $V_{US}=0.9V.$ ($V_S=0.08V, I_{D1}=I_{D2}=0.2mA, V_{D1}=V_{D2}=1V$)
- Koliko iznosi najveći napon V_{US} pri kome je $I=0.4mA,$ a tranzistori rade u oblasti zasićenja? ($V_{USmax}=1.5V$)
- Odrediti A_v, A_c i $CMRR.$ ($g_m=1.25mA/V, A_d=-3.125V/V, A_c=0, CMRR \rightarrow \infty$)

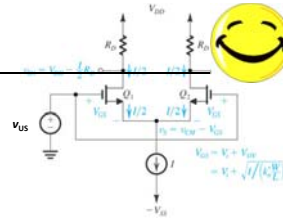
09. decembar 2014.

Višestepeni pojačavači

Domaći 8.1 Rešenje:

U kolu sa slike upotrebljeni su identični tranzistori sa $V_t=0.5V$, $\mu_n C_{ox} W/L=2A=4mA/V^2$, $\lambda=0$.

Poznato je $I=0.4mA$, $V_{DD}=V_{SS}=1.5V$ i $R_D=2.5k\Omega$.



a) $i_{D1} = i_{D2} = I/2 = 0,2mA$

$$i_{D1} = A(V_{GS1} - V_t)^2 \Rightarrow V_{GS1} = V_t + \sqrt{\frac{i_{D1}}{A}} = 0,5V + \sqrt{\frac{0,2}{2}}V = 0,82V = V_{GS2}$$

$$v_S = v_{US} - V_{GS1} = 0 - 0,82 = -0,82V$$

$$v_{D1} = V_{DD} - R_D i_{D1} = 1,5V - 2,5k \cdot 0,2mA = 1V = v_{D2}$$

b) kao pod a) $i_{D1} = i_{D2} = I/2 = 0,2mA$; $V_{GS1} = 0,82V = V_{GS2}$; $v_{D1} = 1V = v_{D2}$

$$v_S = v_{US} - V_{GS1} = -0,2V - 0,82V = -1,02V$$

c) kao pod a) $i_{D1} = i_{D2} = I/2 = 0,2mA$; $V_{GS1} = 0,82V = V_{GS2}$; $v_{D1} = 1V = v_{D2}$

$$v_S = v_{US} - V_{GS1} = 0,9V - 0,82V = +0,08V$$

16. decembar 2014.

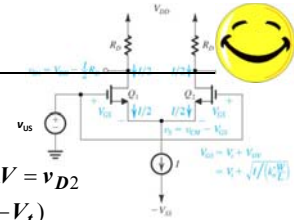
Višestepeni pojačavači

E7.1

Domaći 8.1 Rešenje:

U kolu sa slike upotrebljeni su identični tranzistori sa $V_t=0.5V$, $\mu_n C_{ox} W/L=2A=4mA/V^2$, $\lambda=0$.

Poznato je $I=0.4mA$, $V_{DD}=V_{SS}=1.5V$ i $R_D=2.5k\Omega$.



d) za $i_{D1} = i_{D2} = I/2 = 0,2mA$; $V_{GS1} = 0,82V = V_{GS2}$; $v_{D1} = 1V = v_{D2}$

$$V_{DS\min} = V_{GS1} - V_t = v_{D1} - v_{S\max} \Rightarrow v_{S\max} = v_{D1} - (V_{GS1} - V_t)$$

$$v_{S\max} = v_{US\max} - V_{GS1} \Rightarrow v_{US\max} = v_{S\max} + V_{GS1} = v_{D1} - (V_{GS1} - V_t) + V_{GS1} = v_{D1} + V_t$$

$$v_{US\max} = V_{DD} - R_D i_{D1} + V_t = 1,5V$$

e) $A_d = \left. \frac{g_m r_o R_D}{r_o + R_D} \right|_{r_o \rightarrow \infty} = -g_m R_D$

$$g_m = \frac{2i_{D1}}{V_{GS1} - V_t} = \frac{I}{V_{GS1} - V_t} = \frac{0,4mA}{0,32V} = 1,25mA/V$$

$$A_d = -g_m R_D = 1,25mA/V \cdot 2,5k\Omega = -3,125V/V$$

$$A_c = \left. \frac{g_m r_o R_D}{r_o + R_D + 2(g_m r_o + 1)R_S} \right|_{\substack{r_o \rightarrow \infty \\ R_S \rightarrow \infty}} = 0$$

$$CMRR = A_d / A_c \rightarrow \infty$$

16. decembar 2014.

Višestepeni pojačavači

E7.1

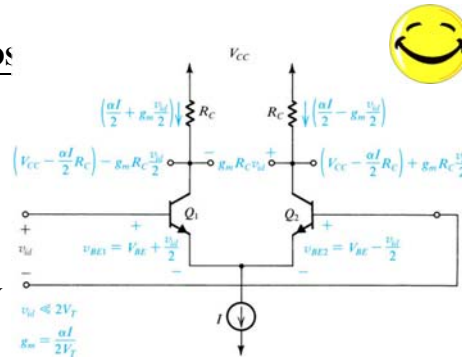
Za one koji žele
da nauče više

Realizacija sa MOS

Domaći 8.A:

U kolu sa slike upotrebljen je
tranzistor sa $\alpha=1$, $V_{BE}=0.7V$.

Poznato je $I=1mA$, $V_{CC}=15V$ i
 $R_C=10k\Omega$, $v_{BE1}=5+0.005\sin(\omega t)V$
 $v_{BE2}=5-0.005\sin(\omega t)V$.



Odrediti

a) i_{C1} , i_{C2} ($i_{C1}=0.5+0.1\sin(\omega t)$ mA, $i_{C2}=0.5-0.1\sin(\omega t)$ mA)

b) v_{C1} , v_{C2} ($v_{C1}=10-1\sin(\omega t)$ V, $v_{C2}=10+1\sin(\omega t)$ V)

c) A_d . ($A_d=200V/V$)

09. decembar 2014.

Višestepeni pojačavači

Domaći 8.A Rešenje:

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $\alpha=1$, $V_{BE}=0.7V$.

Poznato je $I=1mA$, $V_{CC}=15V$ i $R_C=10k\Omega$, $v_{BE1}=5+0.005\sin(\omega t)V$

$v_{BE2}=5-0.005\sin(\omega t)V$.

a) za $I_{C1} = I_{C2} = I_C = \alpha \cdot I / 2 = 0,5mA$;

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m = I_C / V_T = 0,5mA / 0,025V = 20mA/V$$

$$v_{ud} = v_{BE1} - v_{BE2} = 0,01\sin(\omega t)V$$

$$i_{c1} = g_m (v_{ud} / 2) = 0,1\sin(\omega t)mA; \quad i_{c2} = -g_m (v_{ud} / 2) = -0,1\sin(\omega t)mA$$

$$i_{C1} = 0,5 + 0,1\sin(\omega t) \text{ mA}; \quad i_{C2} = 0,5 - 0,1\sin(\omega t) \text{ mA}$$

b) $V_{C1} = V_{C2} = V_C = V_{CC} - R_C I_C = 15V - 10k\Omega \cdot 0,5mA = 10V$

$$v_{c1} = -R_C i_{c1} = -1\sin(\omega t) \text{ V}$$

$$v_{c2} = -R_C i_{c2} = +1\sin(\omega t) \text{ V}$$

$$v_{C1} = V_C + v_{c1} = 10 - 1 \cdot \sin(\omega t) \text{ V}; \quad v_{C2} = V_C + v_{c2} = 10 + 1 \cdot \sin(\omega t) \text{ V}$$

c) $A_d = \left(\frac{v_{C1} - v_{C2}}{v_{du}} \right) = -\frac{2}{0.01} = 200 \text{ V/V}$

16. decembar 2014.

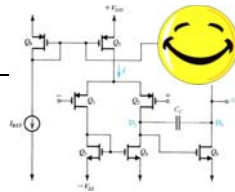
Višestepeni pojačavači

Za one koji žele
da nauče više

E7.1

Domaći 8.3 Rešenje:

•U kolu sa slike upotrebljeni su tranzistori sa $\mu_n C_{ox}=160\mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{tn}=0.7\text{V}$, $\mu_p C_{ox}=40\mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{tp}=-0.8\text{V}$, $V_{An}=-V_{Ap}=-10\text{V}$.
Dimenzije tranzistora date su u tabeli. Poznato je $I_{REF}=90\mu\text{A}$, $V_{DD}=V_{SS}=2.5\text{V}$. Dopunite podatke u Tabeli i naći ukupno naponsko pojačanje.



$$A_1 = -g_{m1}(r_{o2} \parallel r_{o4}) = -0.3\text{mA}/\text{V} \cdot (222\text{k}\Omega \parallel 222\text{k}\Omega) = -33,33\text{V}/\text{V}$$

$$A_2 = -g_{m6}(r_{o6} \parallel r_{o7}) = -0.6\text{mA}/\text{V} \cdot (111\text{k}\Omega \parallel 111\text{k}\Omega) = -33,33\text{V}/\text{V}$$

$$A = A_1 \cdot A_2 = 1110,89\text{V}/\text{V}$$

$$a = 20 \log(A) = 60,91 \text{ dB}$$

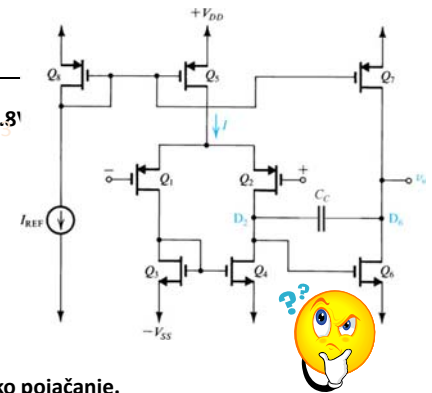
16. decembar 2014.

Višestepeni pojačavači

E7.1

Domaći 8.3: Realizacija sa MOST

•U kolu sa slike upotrebljeni su tranzistori sa $\mu_n C_{ox}=160\mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{tn}=0.7\text{V}$, $\mu_p C_{ox}=40\mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{tp}=-0.8\text{V}$, $V_{An}=-V_{Ap}=-10\text{V}$.
Dimenzije tranzistora date su u tabeli.
Poznato je $I_{REF}=90\mu\text{A}$, $V_{DD}=V_{SS}=2.5\text{V}$.



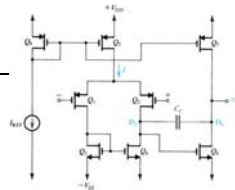
Dopunite podatke u Tabeli i naći ukupno naponsko pojačanje.

Sugestija: Najpre odrediti pojačanje svakog stepena posebno.

	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈
W/L	20/0.8	20/0.8	5/0.8	5/0.8	40/0.8	10/0.8	40/0.8	40/0.8
I _D (μA)								
V _{GS} (V)								
g _m (mA/V)								
r _o (k Ω)								

Domaći 8.3 Rešenje:

•U kolu sa slike upotrebljeni su tranzistori sa $\mu_n C_{ox}=160\mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{tn}=0.7\text{V}$, $\mu_p C_{ox}=40\mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{tp}=-0.8\text{V}$, $V_{An}=-V_{Ap}=-10\text{V}$.
Dimenzije tranzistora date su u tabeli. Poznato je $I_{REF}=90\mu\text{A}$, $V_{DD}=V_{SS}=2.5\text{V}$. Dopunite podatke u Tabeli i naći ukupno naponsko pojačanje.



$$(W/L)_5 = (W/L)_7 = (W/L)_8 \Rightarrow I_{D5} = I_{D7} = I_{D8} = I_{REF} = 90\mu\text{A}$$

$$(W/L)_1 = (W/L)_2 \Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = I_{REF} / 2 = 45\mu\text{A}$$

$$I_{D3} = I_{D1} = 45\mu\text{A}; \quad I_{D4} = I_{D2} = 45\mu\text{A}; \quad I_{D6} = I_{D7} = 90\mu\text{A}$$

$$I_D = A(V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} \mu C_{ox} (W/L)(V_{GS} - V_t)^2 \Rightarrow V_{GS} = V_t + \sqrt{\frac{I_D}{A}}$$

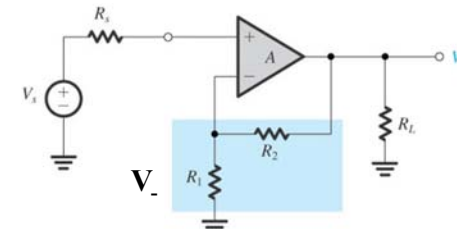
$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)}; \quad r_o = \frac{V_A}{I_D}, \text{ Zamenom vrednosti za svaki tranzistor}$$

(Q₁, Q₂, Q₅, Q₇ i Q₈ pMOS), (Q₃, Q₄, i Q₆ nMOS)



	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈
W/L	20/0.8	20/0.8	5/0.8	5/0.8	40/0.8	10/0.8	40/0.8	40/0.8
I _D (μA)	45	45	45	45	90	90	90	90
V _{GS} (V)	1.1	1.1	1.	1.	1.1	1	1.1	1.1
g _m (mA/V)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6
r _o (k Ω)	222	222	222	222	111	111	111	111

Domaći 9.1:



U kolu sa slike upotrebljen je idealizovani pojačavač sa $A=100\text{dB}$.

Odrediti:

- R_2/R_1 tako da se dobije $A_r=100!$
- B u dB?
- Napon na izlazu V_o i V_i ukoliko je $V_s=0.1\text{V}$.
- za koliko će se smanjiti A_r ukoliko pojačanje A opadne za 20%? (Idealizovani pojačavač ima beskonačnu ulaznu i nultu izlaznu otpornost)

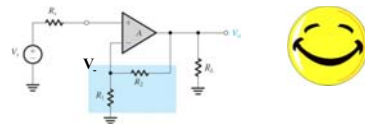


16. decembar 2014.

Pojačavači sa povratnom spregom

Domaći 9.1

Rešenje:



a) $A_r = \frac{A}{1-AB} = 50$ za $AB \gg 1 \Rightarrow -\frac{1}{B} = 50$

$B = \frac{V_-}{V_o} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$-\frac{1}{B} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 50 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 49$

b) $B = 20 \log(\frac{1}{50}) = 20 \log(0.02) = -33,8dB$

c) $V_o = \frac{A}{1-AB} V_s = 50 \cdot 0.1V = 5V$

$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_o = 5V / 50 = 0.1V$

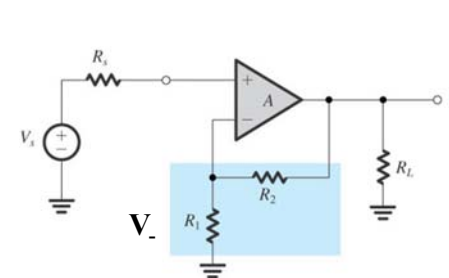
d) $A_r = \frac{A}{1-AB} = 50; A_r' = \frac{0.8A}{1-0.8AB}$

$\frac{A_r - A_r'}{A_r} \cdot 100 = \left(1 - \frac{0.8A}{1-0.8AB} \right) \cdot 100$

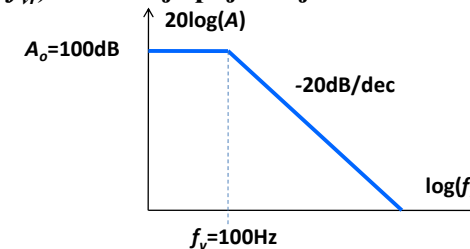
$\frac{A_r - A_r'}{A_r} \cdot 100 = 0,0122\%$

Pojačavači sa povratnom spregom

Domaći 9.2:



U kolu iz primera 8.1 odrediti pojačanje pojačavača sa povratnom spregom pri niskim frekvencijama (A_{or}) i gornju graničnu frekvenciju (f_{vr}) ukoliko je pojačanje A definisano sa

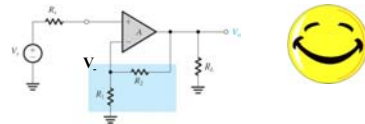


16. decembar 2014.

Pojačavači sa povratnom spregom

Domaći 9.2

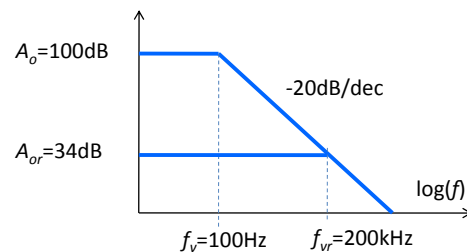
Rešenje:



$A_{ro} = \frac{A_o}{1-A_o B} = 50;$

$a_{ro} = 20 \log(A_{ro}) = 33.98dB$

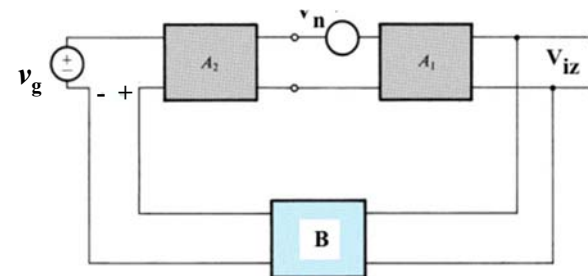
$f_{vr} = f_v \cdot (1 - A_o B) = 100Hz \cdot (2001) = 200,1kHz$



Pojačavači sa povratnom spregom

Domaći 9.3:

Izlazni stepen pojačavača sa naponskim pojačanjem $A_1 = 1V/V$ pobuđuje se signalom $v_g = 1V$, a u njemu se generiše se šum intenziteta $v_n = 1V$.
 Odrediti za koliko će se poboljšati odnos signal-šum na izlazu, ukoliko se koristi pretpojačavač sa $A_2 = 100V/V$, a na oba stepena primeni NPS sa ukupnim faktorom povratne sprege $B=1$ kao na slici.

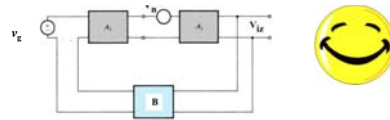


16. decembar 2014.

Pojačavači sa povratnom spregom

Domaći 9.3

Rešenje:



Bez prepojačavača:

$$v_{iz} = v_{is} + v_{in} = A_1(v_g + v_n) = 1 \cdot 1V + 1 \cdot 1V;$$

$$SNR = 20 \log(v_{is} / v_{in}) = 0dB$$

Sa prepojačavačem:

$$(v_g - Bv_{iz})A_2 + v_n)A_1 = v_{iz};$$

$$(1 + BA_1A_2)v_{iz} = A_1A_2v_g + A_1v_n$$

$$v_{iz} = \frac{A_1A_2v_g}{(1 + BA_1A_2)} + \frac{A_1v_n}{(1 + BA_1A_2)} = v_{is} + v_{in} \Rightarrow v_{is} = \frac{A_1A_2v_g}{(1 + BA_1A_2)}; \quad v_{in} = \frac{A_1v_n}{(1 + BA_1A_2)}$$

$$v_{is} = \frac{A_1A_2v_g}{(1 + BA_1A_2)} = \frac{100}{101}1V = 0,99V;$$

$$v_{in} = \frac{A_1v_n}{(1 + BA_1A_2)} = \frac{1}{101}1V = 0,0099V.$$

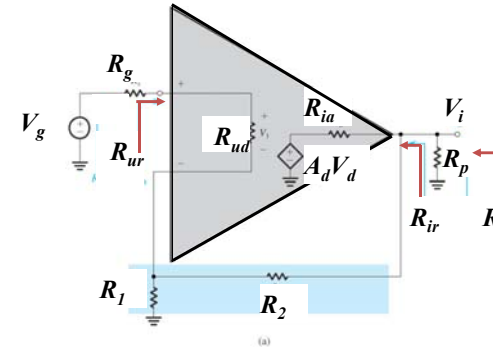
$$SNR = 20 \log(v_{is} / v_{in}) = 20 \log(100) = 40dB$$

Pojačavači sa povratnom spregom

Domaći 9.4:

Za one koji žele da nauče više

Operacioni pojačavač sa slike ima diferencijalno pojačanje $A_d=80dB$, konačnu ulaznu otpornost $R_{ud}=100k\Omega$ i izlaznu otpornost $R_{ia}=1k\Omega$. Odrediti $A_r=V_i/V_g$, R_{ur} i R_{ir} . Poznato je $R_g=10k\Omega$, $R_f=1k\Omega$, $R_2=1M\Omega$ $R_p=2k\Omega$.



16. decembar 2014.

Povratna sprega

Rešenje 9.4:

Za one koji žele da nauče više



Operacioni pojačavač sa slike ima diferencijalno pojačanje $A_d=80dB$, konačnu ulaznu otpornost $R_{ud}=100k\Omega$ i izlaznu otpornost $R_{ia}=1k\Omega$. Odrediti $A_r=V_i/V_g$, R_{ur} i R_{ir} . Poznato je $R_g=10k\Omega$, $R_f=1k\Omega$, $R_2=1M\Omega$ $R_p=2k\Omega$.

$$R_{11} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \approx 1k, \quad R_{22} = R_1 + R_2 \approx 1M$$

$$A_o = \frac{V_i}{V_g} = \frac{V_i}{V_d} \frac{V_d}{V_g} = \frac{A_d (R_p \parallel R_{22})}{(R_{ia} + R_p) \parallel R_{22}} \frac{R_{ud}}{R_g + R_{11} + R_{ud}}$$

$$A_o \approx \frac{A_d R_p}{(R_{ia} + R_p)} \frac{R_{ud}}{R_{11} + R_{ud}} = \frac{10^4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{(3 \cdot 10^3) \cdot 1.1 \cdot 10^6} = 6000$$

$$B = -\frac{V_r}{V_o} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \approx -10^{-3}$$

$$1 - A_o B = 1 - 6000(-10^{-3}) = 7$$

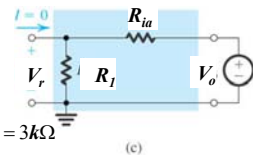
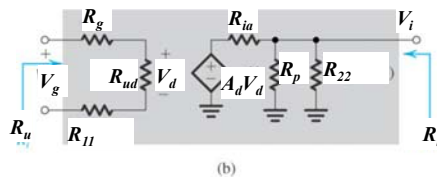
$$A_r = \frac{A_o}{1 - A_o B} = \frac{6000}{7} = 857$$

$$R_i = R_{ia} + (R_p \parallel R_{22}) \approx R_{ia} + R_p = 3k\Omega$$

$$R_{ir}' = \frac{R_i}{1 - A_o B} = \frac{3000}{7} = 428\Omega$$

$$R_{ir}' = \frac{R_p R_{ir}}{R_p + R_{ir}} \Rightarrow R_{ir}$$

Povratna sprega



Rešenje 9.4:

Za one koji žele da nauče više



Operacioni pojačavač sa slike ima diferencijalno pojačanje $A_d=80dB$, konačnu ulaznu otpornost $R_{ud}=100k\Omega$ i izlaznu otpornost $R_{ia}=1k\Omega$. Odrediti $A_r=V_i/V_g$, R_{ur} i R_{ir} . Poznato je $R_g=10k\Omega$, $R_f=1k\Omega$, $R_2=1M\Omega$ $R_p=2k\Omega$.

$$R_{11} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \approx 1k, \quad R_{22} = R_1 + R_2 \approx 1M$$

$$R_u = R_g + R_{ud} + R_{11} = 10k + 100k + 1k = 111k\Omega$$

$$R_{ur}' = R_u(1 - A_o B) = 777k\Omega$$

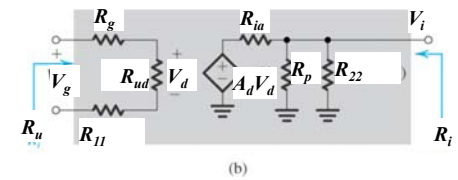
$$R_{ur} = R_{ur}' - R_g = 776k\Omega$$

$$R_i = R_{ia} \parallel (R_p \parallel R_{22}) \approx R_{ia} \parallel R_p = 0,66k\Omega$$

$$R_{ir}' = \frac{R_i}{1 - A_o B} = \frac{666}{7} = 95\Omega$$

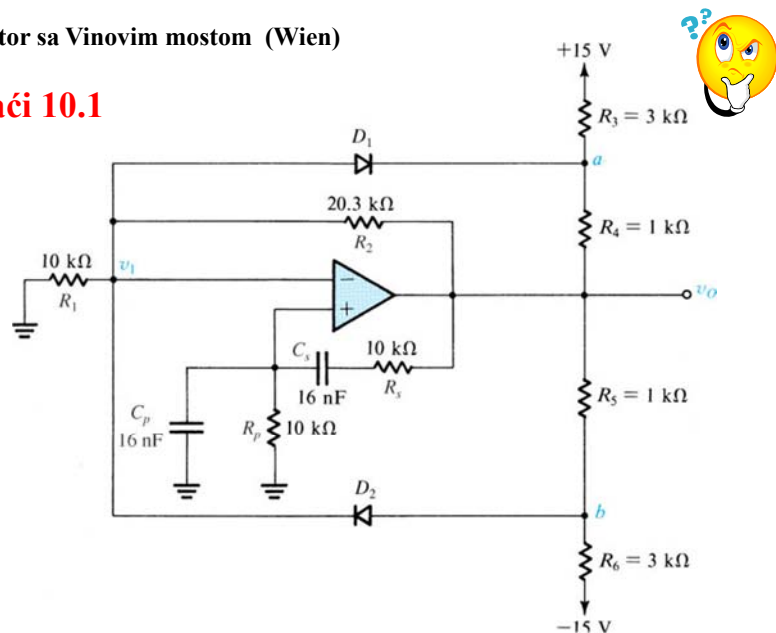
$$R_{ir}' = \frac{R_p R_{ir}}{R_p + R_{ir}} \Rightarrow R_{ir} = \frac{R_p R_{ir}'}{R_p - R_{ir}'} = \frac{2000 \cdot 95}{2000 - 95} = \frac{190000}{1905} \approx 100\Omega$$

Povratna sprega



Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Domaći 10.1

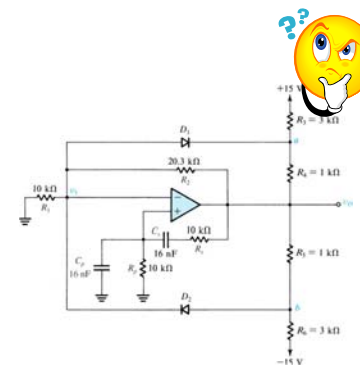


16. decembar 2014.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Domaći 10.1



- a) Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera

$$[s_{1,2} = (10^5/16)(0.015 \pm j)]$$

- b) Naći frekvenciju oscilovanja

$$[f_0 = 1\text{kHz}]$$

- c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D = 0.7V$

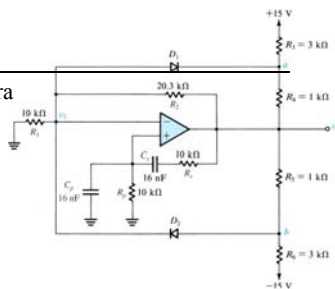
$$[21.36V_{pp}]$$

16. decembar 2014.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Rešenje 10.1:

- a) Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
b) Naći frekvenciju oscilovanja
c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D = 0.7V$.



$$A(s)B(s) = 1; \quad A(s) = 1 + \frac{R_2}{R_1}; \quad B(s) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s};$$

$$B(s) = \frac{\frac{R_p / sC_p}{R_p + 1/sC_p}}{\frac{R_p / sC_p}{R_p + 1/sC_p} + R_s + 1/sC_s} = \frac{\frac{R_p}{1 + R_p sC_p}}{\frac{R_p}{1 + R_p sC_p} + R_s + 1/sC_s}$$

$$B(s) = \frac{sC_s R_p}{sC_s R_p + (1 + sC_s R_s)(1 + sC_p R_p)} \Big|_{\substack{R_p = R_s = R \\ C_p = C_s = R}} = \frac{sCR}{1 + 3sCR + s^2 C^2 R^2} = \frac{1}{3 + sCR + 1/(sCR)}$$

$$A(s)B(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{3 + sCR + 1/(sCR)} = 1$$

$$3 + sCR + 1/(sCR) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right), \text{ zamenom brojnih vrednosti dobija se}$$

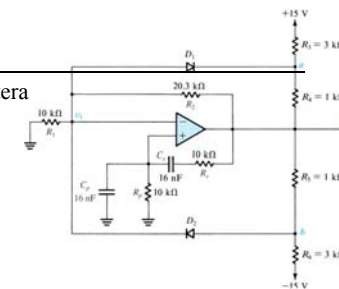
$$3 + s \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 + 1/(s \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4) = 3,03; \quad s^2 \cdot 256 \cdot 10^{-10} - 0,03s \cdot 16 \cdot 10^{-5} + 1 = 0$$

23. decembar 2014.

Povratna sprega

Rešenje 10.1:

- a) Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
b) Naći frekvenciju oscilovanja
c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D = 0.7V$.



$$s_{1,2} = \frac{0,03s \cdot 16 \cdot 10^{-5} \pm \sqrt{9 \cdot 10^{-4} \cdot 256 \cdot 10^{-10} - 4 \cdot 256 \cdot 10^{-10}}}{2 \cdot 256 \cdot 10^{-10}}$$

$$s_{1,2} = \frac{0,03 \cdot 16 \cdot 10^{-5} \pm 16 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{9 \cdot 10^{-4} - 4}}{2 \cdot 256 \cdot 10^{-10}} \approx \frac{0,03 \pm \sqrt{-4}}{32 \cdot 10^{-5}}$$

$$s_{1,2} \approx \frac{0,03 \pm \sqrt{-4}}{32 \cdot 10^{-5}} = \frac{10^{-5}}{16} (0,015 \pm j)$$

$$A(j\omega)B(j\omega) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{3 + j\omega CR + 1/(j\omega CR)} = \frac{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}{3 + j(\omega CR - 1/(\omega CR))}$$

$$\text{Im}\{A(j\omega)B(j\omega)\} = \frac{-j(\omega CR - 1/(\omega CR)) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}{3^2 + (\omega CR - 1/(\omega CR))^2} = 0, \Rightarrow \omega CR - 1/(\omega CR) = 0;$$

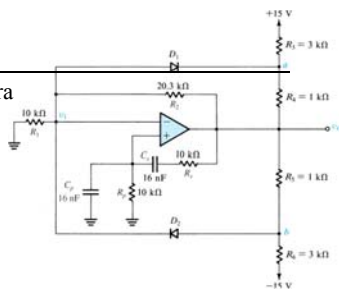
$$\omega CR = 1/(\omega CR) \Rightarrow \omega = \frac{1}{CR} = \frac{10^{-5}}{16} \text{ rad/s} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 1\text{kHz}$$

23. decembar 2014.

Povratna sprega

Rešenje 10.1:

- Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
- Naći frekvenciju oscilovanja
- Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D=0.7V$.



c) D2 provede za maksimalni napon u tač t "b"

$$V_b = V_I + V_D$$

$$V_I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{o\max} \approx \frac{1}{3} V_{o\max}$$

s druge strane, napon u tač t "b", ako se zanemari struja kroz diodu, približno je jednak :

$$V_b = \frac{R_5}{R_5 + R_6} V_{SS} + \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_{o\max}$$

$$\frac{R_5}{R_5 + R_6} V_{SS} + \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_{o\max} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{o\max} + V_D \Rightarrow \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{o\max} = +V_D - \frac{R_5}{R_5 + R_6} V_{SS}$$

$$\left(\frac{3}{4} - \frac{10}{30,3} \right) V_{o\max} = +0.7 - \frac{1}{4}(-15) \Rightarrow V_{o\max} = 10,68V, \text{ zbog simetrije } D1, \text{ će provesti pri } V_{o\min} = -10,68V$$

tako da je :

$$V_{opp} = V_{o\max} - V_{o\min} = 2 \cdot 10,68V = 21,36V$$

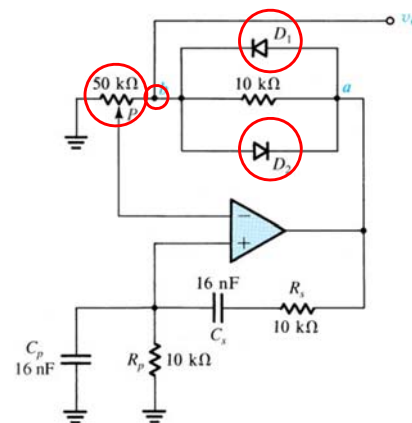
23. decembar 2014.

Povratna sprega

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



Domaći 10.2



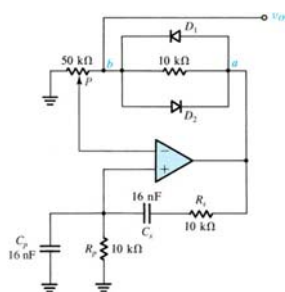
16. decembar 2014.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



Domaći 10.2



- Odrediti položaj potencijometra pri kome se uspostavljaju oscilacije

[20kΩ]

- Naći frekvenciju oscilovanja

[f_o=1kHz]

16. decembar 2014.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Rešenje 10.2:

- Odrediti položaj potencijometra pri kome se uspostavljaju oscilacije
- Naći frekvenciju oscilovanja

$$A(s)B(s) = 1; \quad A(s) = 1 + \frac{R_2}{R_1}; \quad B(s) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s}$$

$$B(s) = \frac{1}{3 + sCR + 1/sCR}$$

$$A(s)B(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{3 + sCR + 1/(sCR)} = 1$$

$$R_2 = 10k\Omega + R_X; \quad R_1 = 50k\Omega - R_X$$

$$3 + sCR + 1/(sCR) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right), \quad \text{za } j\omega_0 CR = -j/(\omega_0 CR)$$

$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 3 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{10k\Omega + R_X}{50k\Omega - R_X} = 2 \Rightarrow 10k\Omega + R_X = 2 \cdot (50k\Omega - R_X)$$

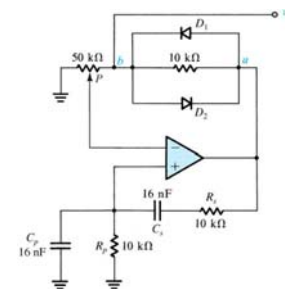
$$3R_X = 100k - 10k = 90k\Omega \Rightarrow R_X = 30k\Omega$$

$$\text{Potencijometar : } R_X = 30k\Omega \text{ i } 50k\Omega - R_X = 20k\Omega$$

$$\omega_0 CR = 1/(\omega_0 CR) \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{CR} = \frac{10^{-5}}{16} \text{ rad/s} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 1\text{kHz}$$

23. decembar 2014.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija





Domaći 11.1:

Bipolarni tranzistor karakteriše snaga disipacije od $P_{d0max} = 2W$, pri $T_{O0} = 25^\circ C$ i maksimalna temperatura spoja $T_{Smax} = 150^\circ C$.

Odrediti termičku otpornost tranzistora i maksimalnu snagu koju tranzistor može da disipira pri temperaturi okoline $T_o = 50^\circ C$.

[]



Bipolarni tranzistor karakteriše snaga disipacije od $P_{d0max} = 2W$, pri $T_{O0} = 25^\circ C$ i maksimalna temperatura spoja $T_{Smax} = 150^\circ C$.

Odrediti termičku otpornost tranzistora i maksimalnu snagu koju tranzistor može da disipira pri temperaturi okoline $T_o = 50^\circ C$.

$$T_{Smax} - T_o = R_{th} \cdot P_{dmax} \Rightarrow R_{th} = \frac{T_{Smax} - T_o}{P_{dmax}} = \frac{150^\circ - 25^\circ}{2W} = 62,5^\circ C/W$$

$$P_{dmax}(T_o = 50^\circ C) = \frac{T_{Smax} - T_o}{R_{th}} = \frac{150^\circ C - 50^\circ C}{62,5^\circ C/W} = 1,6W$$



Domaći 11.A: Za one koji žele da nauče više

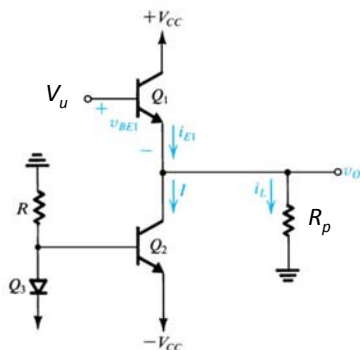
U kolu sa slike poznato je $V_{CC} = 15V$, tranzistore karakteriše $V_{CEsat} = 0,2V$, $V_{BE} = 0,7V$ i $\beta \gg 1$. Odrediti:

a) dinamički opseg izlaznog signala;

b) vrednost otpornika R koja obezbeđuje dovoljnu struju I , da bi se na otporniku R_p dobio maksimalni dinamički opseg signala;

c) minimalnu i maksimalnu vrednost emitorske struje.

[0,97k, ±14,8V, 0-29,6mA]



Domaći 11.B: Za one koji žele da nauče više

U kolu sa slike poznato je $V_{CC} = 10V$, $I = 100mA$ i $R_p = 100\Omega$, usvojiti $V_{CEsat} = 0V$ i $\alpha = 1$. Odrediti:

a) disipaciju snage na svakom od tranzistora kada je $V_u = 0V$.

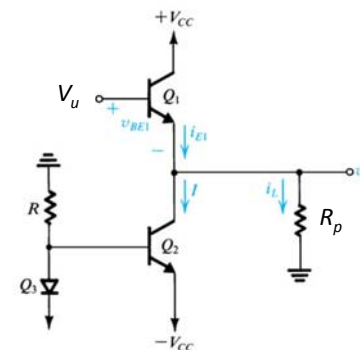
Ukoliko je pojačavač pobuđen prostoperiodičnim signalom najveće moguće amplitude odrediti:

b) disipaciju snage na svakom od tranzistora,

c) snagu na potrošaču i

d) stepen iskorišćenja,

[1W, 1W, 0.5W, 1W, 0.5W, 25%]

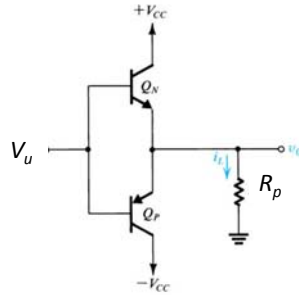


Domaći 11.2: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B, odrediti

- vrednost V_{CC} , tako da bude za 5V veći od maksimalnog napona na potrošaču od 8Ω , kada se na njemu ostvaruje korisna snaga od 20W.
- maksimalnu struju svakog tranzistora,
- ukupnu snagu izvora napajanja,
- stepen korisnog dejstva i
- maksimalnu disipiranu snagu na svakom tranzistoru.



$$[V_{CC} > 22.9V, I_{pmax} = 2.25A, P_{CC} = 32.8W, \eta = 61\%, P_{dn} = P_{dp} = 6.7W]$$

18. decembar 2012.

Pojačavači velikih signala

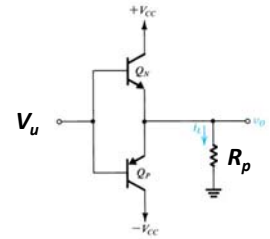
61

Rešenje 11.2: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B, odrediti

- vrednost V_{CC} , tako da bude za 5V veći od maksimalnog napona na potrošaču od 8Ω , kada se na njemu ostvaruje korisna snaga od 20W.
- maksimalnu struju svakog tranzistora,
- ukupnu snagu izvora napajanja,
- stepen korisnog dejstva i
- maksimalnu disipiranu snagu na svakom tranzistoru.



$$a) P_k = \frac{1}{2} \frac{V_{im}^2}{R_p} \Rightarrow V_{im} = \sqrt{2R_p P_k} = \sqrt{2 \cdot 8\Omega \cdot 20W} = 17,88V$$

$$V_{CC} > V_{im} + 5V = 22,88V \text{ usvajamo } V_{CC} = 23V.$$

$$b) I_{C1max} = I_{pmax} = \frac{V_{pmax}}{R_p} = \frac{17,88}{8} = 2,24A$$

$$c) P_{CC1} = I_{CC1} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi} I_{Cmax} \cdot V_{CC} = \frac{1}{3,14} \cdot 2,24 \cdot 23 = 16,4W$$

$$P_{CC} = 2P_{CC1} = 32,8W$$

18. decembar 2012.

Pojačavači velikih signala

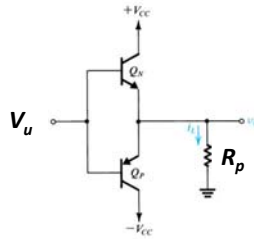
62

Rešenje 11.2: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B, odrediti

- vrednost V_{CC} , tako da bude za 5V veći od maksimalnog napona na potrošaču od 8Ω , kada se na njemu ostvaruje korisna snaga od 20W.
- maksimalnu struju svakog tranzistora,
- ukupnu snagu izvora napajanja,
- stepen korisnog dejstva i
- maksimalnu disipiranu snagu na svakom tranzistoru.



$$d) \eta = \frac{P_k}{P_{CC}} \cdot 100 = \frac{20}{32,8} \cdot 100 = 60,98\%$$

$$e) P_{d1} = I_{C1} \cdot V_{CEmax1} = \frac{1}{\pi} I_{Cmax} \cdot \frac{1}{\pi} V_{CEmax} = \frac{1}{\pi^2} I_{Cmax} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{V_{CC}^2}{R_p} = 6.7W$$

18. decembar 2012.

Pojačavači velikih signala

63

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

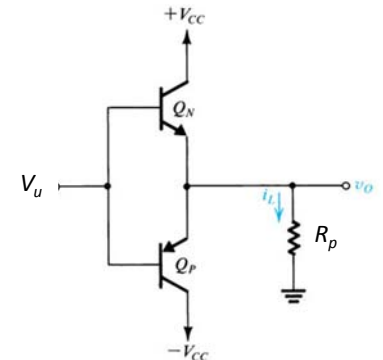


Domaći 11.3:

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B poznato je: $V_{CC} = 6V$, $R_p = 4\Omega$ i $\beta_N = \beta_P = 50$. Izmerena je maksimalna vrednost izlaznog napona $V_{pmax} = 4.5V$. Odrediti:

- Snagu na potrošaču
- Snagu svakog izvora
- Stepen iskorišćenja
- Maksimalnu ulaznu struju
- Snagu disipacije svakog tranzistora.

$$[P_k = 2.53W, P_{CC+} = P_{CC-} = 2.15W, \eta = 59\%, I_{um} = 22.1mA, P_{dn} = P_{dp} = 0.91W]$$



23. decembar 2014.

Pojačavači velikih signala

64

Rešenje 11.3: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B poznato je: $V_{CC} = 6V$, $R_p = 4\Omega$ i $\beta_N = \beta_P = 50$.

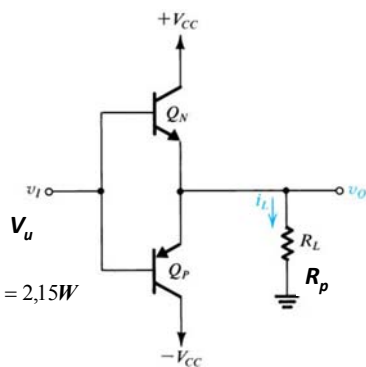
Izmerena je maksimalna vrednost izlaznog napona $V_{pmax} = 4.5V$. Odrediti:

- Snagu na potrošaču
- Snagu svakog izvora
- Stepen iskorišćenja
- Maksimalnu ulaznu struju
- Snagu disipacije svakog tranzistora.

$$a) P_k = \frac{1}{2} \frac{V_{pmax}^2}{R_p} = \frac{1}{2} \frac{4.5^2}{4} = 2,53W$$

$$b) P_{CC1} = I_{CC1} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{pmax}}{R_p} \cdot V_{CC} = \frac{1}{3.14} \cdot \frac{4.5}{4} \cdot 6 = 2,15W$$

$$c) \eta = \frac{P_k}{2P_{CC1}} \cdot 100 = \frac{1}{2} \frac{2,53}{2,15} \cdot 100 = 58,8\%$$



Rešenje 11.3: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B poznato je: $V_{CC} = 6V$, $R_p = 4\Omega$ i $\beta_N = \beta_P = 50$.

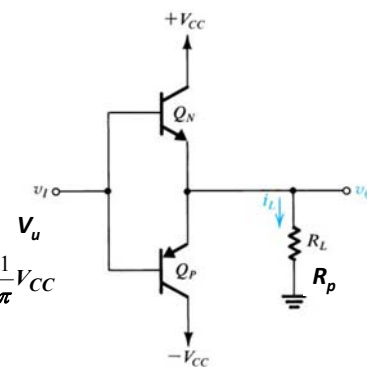
Izmerena je maksimalna vrednost izlaznog napona $V_{pmax} = 4.5V$. Odrediti:

- Snagu na potrošaču
- Snagu svakog izvora
- Stepen iskorišćenja
- Maksimalnu ulaznu struju
- Snagu disipacije svakog tranzistora.

$$d) I_{u\max} = \frac{I_{C\max}}{\beta} = \frac{1}{\beta+1} \frac{V_{pmax}}{R_p} = \frac{1}{51} \frac{4.5}{4} = 22,1mA$$

$$e) P_{d1} = I_{C1} \cdot V_{CE1} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{CE\max}}{R_p} \cdot \frac{1}{\pi} V_{CE\max} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{CC}}{R_p} \cdot \frac{1}{\pi} V_{CC}$$

$$P_{d1} = \frac{1}{3.14^2} \cdot \frac{6}{4} \cdot 6 = 0,91W$$



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



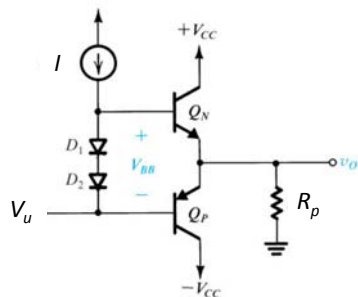
Domaći 11.4:

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi AB poznato je: $V_{CC} = 15V$, $R_p = 100\Omega$;

tranzistori su upareni sa $I_s = 0.1pA$ i $\beta = 50$, dok za diode važi da je

$I_{sd} = 21I_s$. Odrediti:

- Struju I tako da kroz diode u najnepovoljnijem slučaju protiče struja od 1mA;
- Lenju struju (I_{Cmin});
- Disipaciju svakog tranzistora i
- jednosmerni napon V_{BB} u odsustvu ulaznog signala.



$$[I = 4mA, I_c = 9mA, P_d = 270mW, V_{BB} = 1.32V]$$

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Rešenje 11.4:

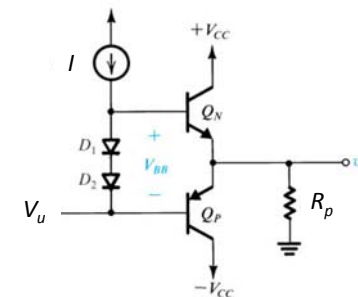
Za pojačavač sa slike koji radi u klasi AB poznato je: $V_{CC} = 15V$, $R_p = 100\Omega$; tranzistori su upareni sa $I_s = 0.1pA$ i $\beta = 50$, dok za diode važi da je $I_{sd} = 21I_s$. Odrediti:

- Struju I tako da kroz diode u najnepovoljnijem slučaju protiče struja od 1mA;
- Lenju struju (I_{Cmin});
- Disipaciju svakog tranzistora i
- jednosmerni napon V_{BB} u odsustvu ulaznog signala.

[$I = 4mA$, $I_c = 9mA$, $P_d = 270mW$, $V_{BB} = 1.32V$]

$$a) I = I_{d\min} + I_{B\max} = I_{d\min} + \frac{I_{C\max}}{\beta} = I_{d\min} + \frac{I_{P\max}}{\beta} = I_{d\min} + \frac{V_{CC}}{\beta R_p}$$

$$I = 1mA + \frac{15}{50 \cdot 100} = 1mA + 3mA = 4mA$$



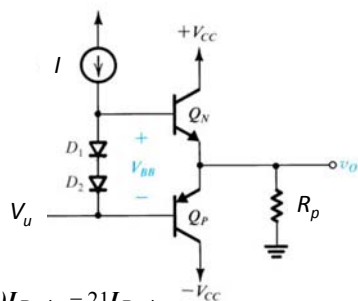
Rešenje 11.4:

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi AB poznato je: $V_{CC} = 15V$, $R_p = 100\Omega$; tranzistori su upareni sa $I_s = 0.1\mu A$ i $\beta = 50$, dok za diode važi da je $I_{sd} = 21I_s$. Odrediti:

- Struju I tako da kroz diode u najnepovoljnijem slučaju protiče struja od 1mA;
 - Lenju struju (I_{Cmin});
 - Disipaciju svakog tranzistora i
 - jednosmerni napon V_{BB} u odsustvu ulaznog signala.
- [$I = 4mA$, $I_C = 9mA$, $P_d = 270mW$, $V_{BB} = 1.32V$]



b) $I = I_d + I_{Bmin}$

za $V_u = 0$, $V_d = V_{BE}$, a odatle sledi da je $I_d = (I_{ds}/I_s)I_{Bmin} = 21I_{Bmin}$

$$I = I_{dmax} + I_{Bmin} = 22I_{Bmin} \Rightarrow I_{Bmin} = I / 22 = 4 / 22 = 0,18mA$$

$$I_{Cmin} = \beta I_{Bmin} = 50 \cdot 0,18 = 9mA$$

c) $P_{do} \approx 2(I_{Cmin}V_{CC}) = 2 \cdot 9mA \cdot 15V = 270mW$

d) $I_{dmax} = I_{ds}(e^{V_d/V_T} - 1) \Rightarrow (V_d/V_T) = \ln(I_{dmax}/I_{ds}) + 1$

$$V_{BB} = 2V_d = 2V_T(\ln(21 \cdot 0,18mA / 0.1\mu A) + 1) = 2 \cdot 0.026(24.4 + 1) = 1,32V$$

3. Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter

Domaći 12.1:



Potrošač $R = 100\Omega$ priključen je preko usmerača sa Grecovim spojem na naizmenični napon frekvencije 50Hz i amplitude 12V. Ako je pad napona na diodama $V_d = 0.8V$ odrediti:

- vrednost C kapacitivnog filtra priključenog paralelno potrošaču koja će obezbediti odstupanje napona $\Delta V < 1V$;
- vrednost jednosmernog napona na potrošaču;
- vrednost jednosmerne struje kroz potrošač;

Rešenje 12.1:

4. Filtriranje usmerenog napona



Potrošač $R = 100\Omega$ priključen je preko usmerača sa Grecovim spojem na naizmenični napon frekvencije 50Hz i amplitude 12V. Ako je pad napona na diodama $V_d = 0.8V$ odrediti:

- vrednost C kapacitivnog filtra priključenog paralelno potrošaču koja će obezbediti odstupanje napona $\Delta V < 1V$;
- vrednost jednosmernog napona na potrošaču;
- vrednost jednosmerne struje kroz potrošač;

a) $\Delta V_o = \frac{V_m - 2V_d}{2 \cdot f \cdot R \cdot C} \Rightarrow C = \frac{V_m - 2V_d}{2 \cdot f \cdot R \cdot \Delta V_o} = \frac{12 - 1,6}{2 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 1} = 1,04\mu F$

b) $V_o = \frac{V_m'}{\left(1 + \frac{\pi}{\omega RC}\right)} = \frac{(V_m - 2V_d)}{\left(1 + \frac{1}{2fRC}\right)} = \frac{10,4}{\left(1 + \frac{1}{2 \cdot 50Hz \cdot 100\Omega \cdot 1,04\mu F}\right)}$

$$V_o = (V_m - 2V_d) \cdot \frac{\Delta V_o}{2} = 12 - 1,6 - 1 = 9,4V$$

c) $I_o = \frac{V_o}{R} = 94mA$

3. Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter

Domaći 12.2:



Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

- ugao provođenja diode i iskazati ga u % u odnosu na periodu ulaznog signala (50Hz);
- srednju struju kroz diodu;
- maksimalnu struju kroz diodu;
- maksimalni inverzni napon na diodi;
- predložiti tip diode koji se može primeniti za ovu namenu

Za one koji žele da nauče više

Rešenje 12.2:

4. Filtriranje usmerenog napona



Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

- ugao provođenja diode i iskazati ga u % u odnosu na periodu ulaznog signala (50Hz);
- srednju struju kroz diodu;
- maksimalnu struju kroz diodu;
- maksimalni inverzni napon na diodi;
- predložiti tip diode koji se može primeniti za ovu namenu

$$a) \omega \Delta t \approx \sqrt{2\Delta V/V_m'} \Rightarrow \Delta t = \frac{\sqrt{2\Delta V/V_m'}}{\omega} = \frac{\sqrt{2\Delta V/V_m'}}{2\pi} T$$

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{\sqrt{2\Delta V(V_m - 2V_d)}}{2\pi} \cdot 100 = \frac{\sqrt{2 \cdot 1/10,4}}{2 \cdot 3,14} \cdot 100 = 5,9\%$$

$$b) I_D \approx I_o \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V_m'}{2\Delta V}}\right) = I_o \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V_m - 2V_d}{2\Delta V}}\right) = 94mA \cdot 7,16 = 673,4mA$$

$$c) I_{Dmax} \approx I_o \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{V_m'}{2\Delta V}}\right) = I_o \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{V_m - 2V_d}{2\Delta V}}\right) = 94mA \cdot 15,33 = 1,53A$$

30. decembar 2014.

Izvori jednosmernog napajanja

Rešenje 12.2:

4. Filtriranje usmerenog napona



Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

- ugao provođenja diode i iskazati ga u % u odnosu na periodu ulaznog signala (50Hz);
- srednju struju kroz diodu;
- maksimalnu struju kroz diodu;
- maksimalni inverzni napon na diodi;
- predložiti tip diode koji se može primeniti za ovu namenu

$$d) -V_{dmax} = \frac{V_m - 2V_d - (-V_m)}{2} = \frac{2V_m - 2V_d}{2} = V_m - V_d = 11,2V > 12V$$

$$e) P_d = V_d I_D = 0,8V \cdot 673,4mA = 538,7mW$$

Videti: pod Silicon Rectifier Diodes na

<http://www.fagorelectronica.com/semi/pdf/producto/1n4000.pdf>

1N4001 zadovoljava jer je

Peak recurrent reverse voltage (V) $V_{RRM} = 30V > 12V$

Forward current at $T_{amb} = 75^\circ C$ $I_{F(AV)} = 1A > 0,673A$

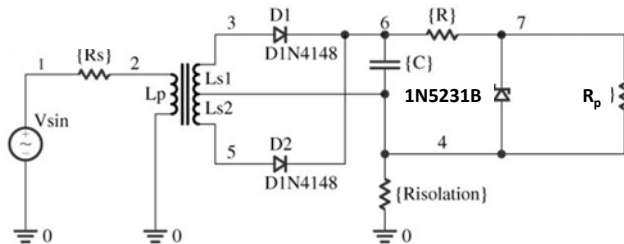
Recurrent peak forward current $I_{FRM} = 10A > 1,53A$

4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Domaći 13.1:

Odrediti R i C u stabilizatoru sa slike tako da jednosmerni napon na potrošaču R_p bude 5V, a $\Delta V_{Cmax} = 0.5V$. Upotrebiti zener diodu 1N5231B iz Tabele 1. Usvojiti da je efektivna vrednost napona na izlazu transformatora $2 \times 12V$ i da je na diodama 1N4148 pad napona $V_D = 0,7V$ kada vode.



30. decembar 2014.

Izvori jednosmernog napajanja

Rešenje 13.1:



Odrediti R i C u stabilizatoru sa slike tako da jednosmerni napon na potrošaču R_p

200Ω bude 5V, a $\Delta V_{Cmax} = 0.5V$. Upotrebiti zener diodu 1N5231B iz Tabele 1.

Usvojiti da je efektivna vrednost napona na izlazu transformatora $2 \times 12V$ i da je na diodama 1N4148 pad napona $V_D = 0,7V$ kada vode.

$$V_{Z0} = 5.1V @ I_{Z0} = 20mA$$

$$r_z = 17\Omega @ I_{Z0} = 20mA$$

$$\Delta V_Z = V_{Z0} - V_{os} = 5,1 - 5 = 0,1V$$

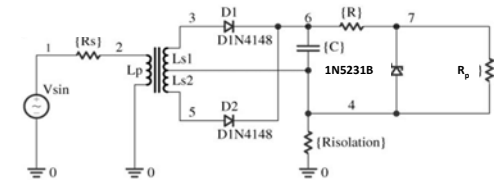
$$\Delta I_Z = \frac{\Delta V_Z}{r_z} = \frac{0,1V}{17\Omega} = 5,88 \approx 6mA$$

$$I_{Zmin} = I_{Z0} - \Delta I_Z = 20 - 6 = 14mA$$

$$I_{pmax} = \frac{V_{os}}{R_{pmin}} = \frac{5V}{200\Omega} = 25mA$$

$$R = \frac{V_{Cmin} - V_{os}}{I_{Zmin} + I_{pmax}} = \frac{(V_m - V_D) - \Delta V - V_{os}}{I_{Zmin} + I_{pmax}}$$

$$R = \frac{(\sqrt{2} \cdot 12 - 0,7) - 0,5 - 5}{14mA + 25mA} = \frac{10,77V}{39mA} = 276\Omega \approx 280\Omega$$



Dvostranusmeravarij:

$$\Delta V_{Cmax} = \frac{V_m - V_D}{2fCR}$$

$$C = \frac{V_m - V_D}{2f \cdot R \cdot \Delta V}$$

$$C = \frac{\sqrt{2} \cdot 12 - 0,7}{2 \cdot 50 \cdot 276 \cdot 0,5} = \frac{16,27}{1380} = 1,18mF \approx 1,2mF$$

13. januar 2015.

Izvori jednosmernog napajanja

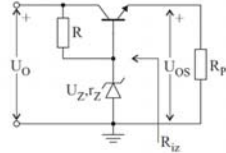
Domaći 13.2:

Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- Izlazni napon V_{OS}
- Faktor stabilizacije
- Izlaznu otpornost R_{iz}

Poznato je: $R = 200\Omega$; $R_p = 50\Omega$; $V_O = 10V$. Parametri diode su: $V_Z = 6,8V$; $r_Z = 10\Omega$.

Parametri tranzistora su: $V_{BE} = 0,7V$; $h_{11E} = 1k\Omega$; $h_{12E} = 0$; $h_{21E} = \beta = 100$; $h_{22E} = 0$.

**Rešenje 13.2:**

Videti: Zadatak 6.1 u „Računske vežbe II deo“ na

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>



13. januar 2015.

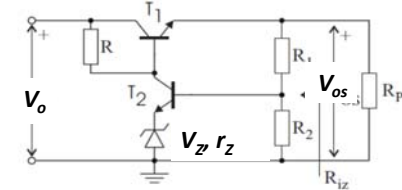
Izvori jednosmernog napajanja

Domaći 13.3:

Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- Izlazni napon V_{OS}
- Faktor stabilizacije
- Izlaznu otpornost R_{iz}

Poznato je: $R_1 = R_2 = 4k\Omega$; $R_p = 2\Omega$; $R = 10k\Omega$; $V_O = 40V$. Parametri diode su: $V_Z = 10V$; $r_Z = 0\Omega$. Parametri tranzistora su: $V_{BE} = 0,7V$; $h_{11E} = 1k\Omega$; $h_{12E} = 0$; $h_{21E} = \beta = 100$; $h_{22E} = 0$.

**Rešenje 13.3:**

Videti: Zadatak 6.2 u „Računske vežbe II deo“ na

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>



13. januar 2015.

Izvori jednosmernog napajanja