


Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kakanje)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
	-----	-----
	120%	60%



Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

Savet: Učite, konstantno po malo, MNOGO JE LAKŠE da POLOŽITE preko KOLOKVIJUMA!

14. decembar 2017. 1

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija


14. decembar 2017. 3

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kakanje)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
	-----	-----
	120%	60%



Ko nije izašao na I kolokvijum, a ide na lab i predavanja od 120, ima 70% (još nije kasno); ako ne ide na predavanja ima 60% (nije kasno); ali, ako na drugom kolokvijumu ima < 80% imaće <50% (e, tada je kasno)

14. decembar 2017. 2

Sadržaj


1. Namena
2. Princip rada, uslov oscilovanja
3. Tipovi linearnih oscilatora
4. RC oscilatori
5. LC oscilatori
6. Oscilatori sa kristalom kvarca

14. decembar 2017. 4

Višestepeni pojačavači

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija


Namena



Generisanje signala sa kontrolisanim dinamičkim parametrima (amplituda, oblik, frekvencija)

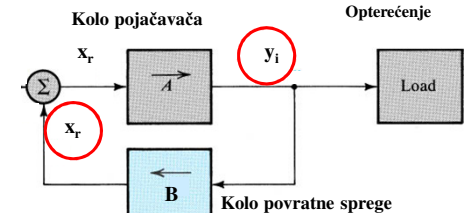
Klasifikacija:

- Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija **linearni**
- Oscilatori složenoperiodičnih oscilacija – generatori funkcija



14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 5

Kolo pojačavača Opterećenje




Opšta struktura oscilatora

$y_i = Ax_r$; $x_r = By_i$; $\Leftrightarrow y_i = AB y_i$; $\Leftrightarrow AB = 1$

Dakle, ako je $AB=1$, signal y_{iz} postoji i kada **nema pobudnog signala !!!**

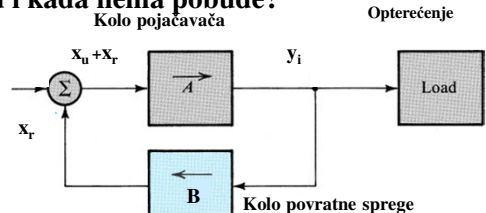
14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 7

Princip rada



KAKO Oscilatori generišu signal na izlazu i kada nema pobude?

Kolo pojačavača Opterećenje



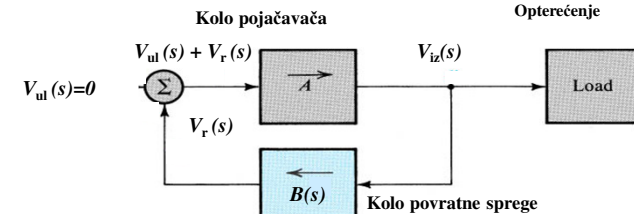
Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.

$A = y_i / (x_u + x_r)$; $B = x_r / y_i$; $A_r = y_i / x_u$;

$x_u = 0$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 6

Kolo pojačavača Opterećenje



Opšta struktura oscilatora

U frekvencijskom domenu $s = j\omega = j2\pi f$

$V_{iz}(s) = A(V_{ul}(s) + V_r(s))$; $V_r(s) = B V_{iz}(s)$; $\Leftrightarrow V_{iz}(s) = A(V_{ul}(s) + B V_{iz}(s))$

\Downarrow

$A_r(s) = \frac{V_{iz}(s)}{V_{ul}(s)} = \frac{A(s)}{1 - B(s)A(s)}$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 8

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Opterećenje

Opšta struktura oscilatora

$$A_r(s) = \frac{V_{iz}(s)}{V_{ul}(s)} = \frac{A(s)}{1 - B(s)A(s)}$$

Za $A(s)B(s)=1 \Rightarrow A_r(s) = \frac{V_{iz}(s)}{V_{ul}(s)} \rightarrow \infty \Leftrightarrow \frac{V_{iz}(s)}{0}$

↓

Može se dobiti signal na izlazu i ako je $V_{ul}(s)=0$!!!

$A(s)B(s)=1$ Barkhauzenov kriterijum oscilovanja

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 9

Opterećenje

Kolo pojačavača

$A(s)B(s)=1$ Barkhauzenov kriterijum oscilovanja

Sadrži dva uslova

$\text{Im}\{A(s)B(s)\} = 0$
signali su u fazi

$\text{Re}\{A(s)B(s)\} = 1$
Signal je „održiv“ : niti se pojačava, niti slabi (stabilnost)

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 11

Opterećenje

Opšta struktura oscilatora

Kružno pojačanje $A(s)B(s)=1$, znači da A kompenzuje slabljenje u kolu povratne sprege B .

$A=1/B$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 10

$A(s)B(s)=1$ Barkhauzenov kriterijum oscilovanja

$\text{Re}\{A(s)B(s)\} = 1$
Amplituda stabilna

$\text{Re}\{A(s)B(s)\} > 1$
Amplituda raste dok ne uđe u zasićenje

$\text{Re}\{A(s)B(s)\} < 1$
Amplituda slabi, dok se ne priguše oscilacije

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 12

$A(s)B(s)=1$ **Barkhausenov kriterijum oscilovanja**

$\text{Im}\{A(s)B(s)\} = 0$ $\text{Re}\{A(s)B(s)\} = 1$

Konjugovano kompleksni polovi

$$s_{1,2} = \sigma \pm j\omega t$$

$$e^{\sigma \pm j\omega t} = e^{\sigma} \cdot e^{\pm j\omega t}$$

amplituda frekvencija

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 13

Prvi korak

Za matematičare:

analiza se svodi na određivanje korenova karakteristične jednačine $1-A(s)B(s)=0$

i/ili

$$A_r(s) = \frac{y_i}{x_u} = \frac{A(s)}{1-B(s)A(s)} (=) \frac{V_{iz}(s)}{V_{ul}(s)}$$

$$V_{iz}(s) = A_r(s)V_{ul}(s) = \frac{A(s)}{1-B(s)A(s)} \cdot V_{ul}(s) \Rightarrow V_{iz}(s) \rightarrow \infty$$

$$V_{iz}(s) = \frac{\Delta_{iz}(s)}{\Delta(s)} \Rightarrow \Delta(s) = 0 \Rightarrow V_{iz}(s) \rightarrow \infty$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 15

Oscilatori

Analiza u 2 koraka:

- Analiza u s-domenu - linearna
- Analiza kontrole amplitude - nelinearna

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 14

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 16

Prvi korak

Da bi se oscilacije uspostavile treba $AB > 1$;
 $AB = 1 + \delta$

Drugi korak

Kako vratiti amplitudu na željenu vrednost?

Nelinearnim kolom za kontrolu amplitude

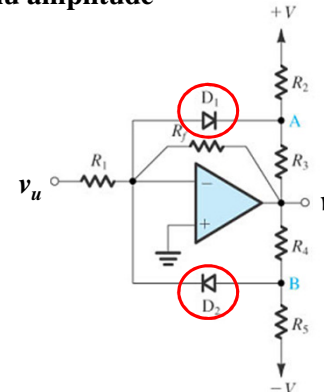
14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

17

Drugi korak

Kolo za kontrolu amplitude



14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

19

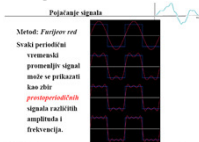
Drugi korak

Amplituda oscilacija oscilatora nije određena uslovom oscilovanja, već zavisi od granica koje definišu radnu oblast aktivnog elementa.

(šta je to za BJT, a šta za MOSFET).

Rast amplitude dovodi radnu tačku u nelinearni deo karakteristika aktivnog elementa, (npr. zaravnjeni vrh signala).

Time se unose harmonijske komponente (signal sadrži komponente na različitim frekvencijama).



14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

18

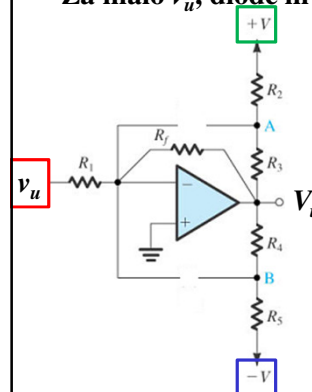
Kolo za kontrolu amplitude

Za malo v_u , diode inverzno polarisane, $V_i = ?$



Metod superpozicije

Sukcesivno se posmatra uticaj svakog generatora pojedinačno kada su ostali isključeni (=0).



$$V_i = - (R_f/R_1) v_u +$$

$$+ (R_4 + R_5)/(R_2 + R_3 + R_4 + R_5) V +$$

$$+ (R_2 + R_3)/(R_2 + R_3 + R_4 + R_5) (-V)$$

14. decembar 2017.

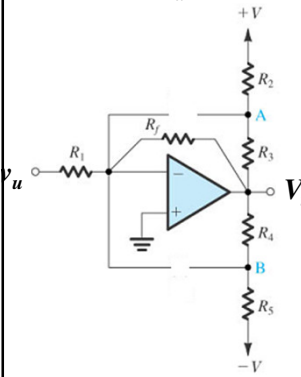
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

20

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Kolo za kontrolu amplitude

Za malo v_u , diode inverzno polarisane, $V_i = ?$



$$V_i = - (R_f/R_1) v_u +$$

$$+ (R_4+R_5)/(R_2+R_3+R_4+R_5)V +$$

$$+ (R_2+R_3)/(R_2+R_3+R_4+R_5)(-V)$$

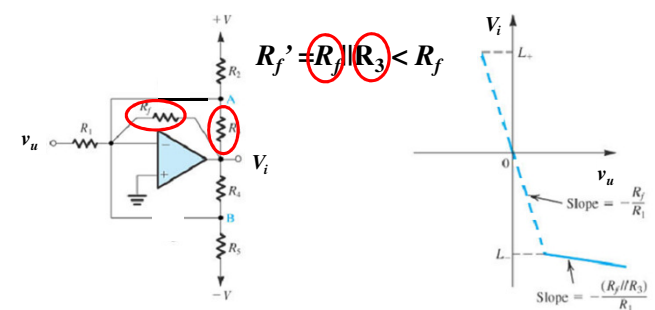
za $R_2=R_5$ i $R_3=R_4$

$$V_i = - (R_f/R_1) v_u$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 21

Kolo za kontrolu amplitude

Kada v_u poraste, V_i se smanji, tako da D1 provede 🤔



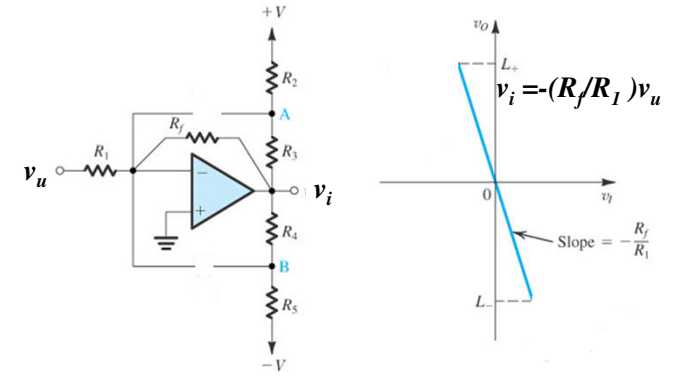
$$R_f' = R_f \parallel R_3 < R_f$$

Nagib (pojaćanje) = $-R_f'/R_1$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 23

Kolo za kontrolu amplitude

Za malo v_u , diode inverzno polarisane



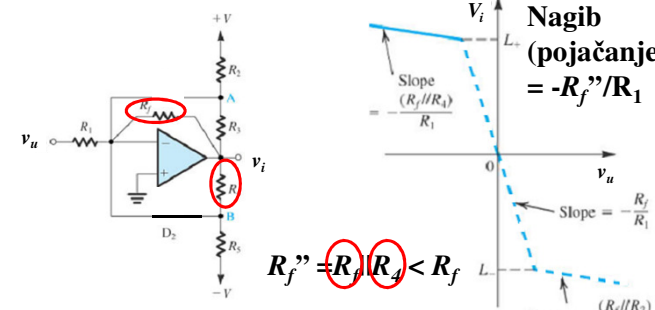
$$v_i = - (R_f/R_1) v_u$$

Slope = $-\frac{R_f}{R_1}$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 22

Kolo za kontrolu amplitude

Za negativno v_u , v_i poraste, tako da D2 provede 🤔



$$R_f'' = R_f \parallel R_4 < R_f$$

Nagib (pojaćanje) = $-R_f''/R_1$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 24

Kolo za kontrolu amplitude

D1 provede, kada $V_A < V_\gamma = 0.7V$

Koliki je napon na diodama kada provedu? 😊

Jedan kraj diode je na virtuelnoj masi $V=0V$, a drugi:

$$V_A = VR_3 / (R_2 + R_3) + v_i R_2 / (R_2 + R_3)$$

D2 provede, kada $V_B > V_\gamma = 0.7V$

$$V_B = -VR_4 / (R_4 + R_5) + v_i R_5 / (R_4 + R_5)$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 25

Kolo za kontrolu amplitude

Za veliko R_f

Postoje i druga rešenja za kontrolu amplitude koja će biti pomenuta tokom kursa.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 27

Kolo za kontrolu amplitude

Za $V_B = -VR_4 / (R_4 + R_5) + v_i R_5 / (R_4 + R_5) = V_\gamma$ $v_i = L_+$

Za

$$L_+(s) = V \frac{R_4}{R_5} + V_\gamma \left(1 + \frac{R_4}{R_5} \right)$$

$$V_A = VR_3 / (R_2 + R_3) + v_i R_2 / (R_2 + R_3) = -V_\gamma$$

$v_i = L_-$

$$L_-(s) = -V \frac{R_3}{R_2} - V_\gamma \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 26

Oscilatori

U ovom kursu – linearni oscilatori


Iako u nazivu LINEARNI, oni moraju da sadrže i nelinearne elemente da bi zadržali kontrolu veličine amplitude

- RC oscilatori,
- Oscilatori sa oscilatornim kolima - LC oscilatori
- Oscilatori sa kristalom kvarca

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 28

Oscilatori

U ovom kursu – linearni oscilatori

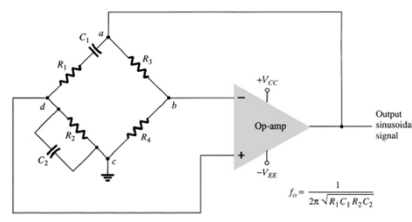


Tipovi:

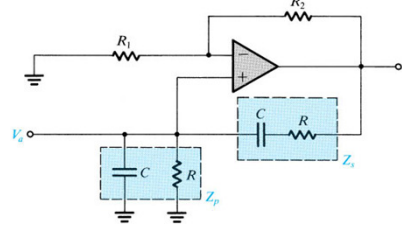
- RC oscilatori
 - Vinov most
 - Fazni pomeraj
- Oscilatori sa oscilatornim kolima
 - Kolpicov
 - Hartlejev
 - sa induktivnom spregom
 - sa negativnom otpornošću...
- Oscilatori sa kristalom kvarca (Pirsov)

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 29

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$



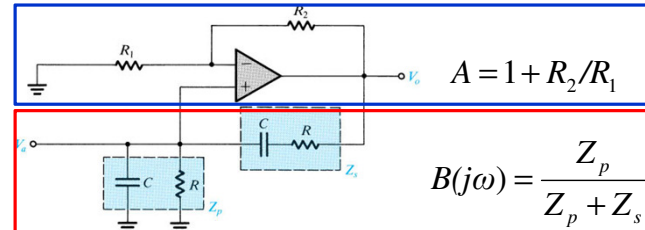
14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 31

RC oscilatori (10Hz – x100kHz)

- Oscilator sa Vinovim mostom
- Oscilator faznog pomeraja

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 30

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien) $AB(j\omega) =$




$A = 1 + R_2/R_1$

$B(j\omega) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s}$

$$Z_p = \frac{R \cdot (1/(j\omega C))}{R + 1/(j\omega C)} = \frac{R}{1 + j\omega CR}; \quad Z_s = R + 1/(j\omega C) = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C}$$

$$B(j\omega) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} = \frac{R/(1 + j\omega CR)}{R/(1 + j\omega CR) + (1 + j\omega CR)/(j\omega C)} =$$



14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 32

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

$A = 1 + R_2/R_1$
 $B(j\omega) = \frac{j\omega CR}{j\omega CR + (1 + j\omega CR)^2}$
 $B(j\omega) = \frac{j\omega CR}{1 - (j\omega CR)^2 + j3\omega CR}$
 $B(j\omega) = \frac{1}{3 + j\left(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}\right)}$

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

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 33

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

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

Uslov oscilovanja:

$AB(j\omega) = \frac{1 + R_2/R_1}{3 + j\left(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}\right)}$
 Za $\omega_0 = 1/(RC)$

$\text{Re}\{AB(j\omega_0)\} = 1$ za $(1 + R_2/R_1) = 3 \Rightarrow R_2/R_1 = 2$

$R_2/R_1 = 2$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 35

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

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

$\text{Im}\{AB(j\omega)\} = 0;$

za $\omega_0 RC = 1 / (\omega_0 RC)$; odakle sledi da je frekvencija oscilovanja =


$\omega_0 = 1 / (RC)$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 34

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Domaći 10.1

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 36

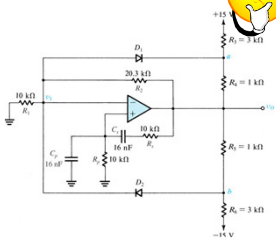
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien) 

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

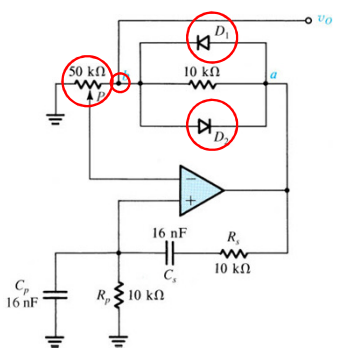
c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D=0.7\text{V}$
 $[21.36\text{Vpp}]$



14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 37

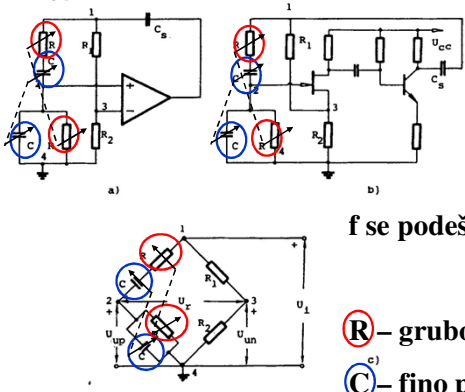
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien) 

Domaći 10.2



14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 39


Oscilator sa Vinovim mostom (Wien) **Za one koji žele da nauče više**



f se podešava u opsegu
 xHz-x MHz

R – grubo podešavanje
C – fino podešavanje

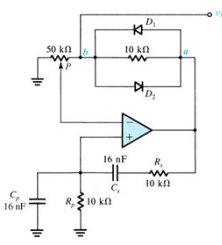
14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 38

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien) 

Domaći 10.2

a) Odrediti položaj potencijometra pri kome se uspostavljaju oscilacije
 $[20\text{k}\Omega]$

b) Naći frekvenciju oscilovanja
 $[f_0=1\text{kHz}]$



14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 40

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilator faznog pomeraja

$\omega_o = \frac{1}{RC\sqrt{6}}$

$B(j\omega) = \frac{1}{1-5x^2 + jx(6-x^2)}$; $x = \frac{1}{\omega RC}$

$B(j\omega_o) = \{x(\omega_o) = \sqrt{6}\} = \frac{1}{1-5 \cdot 6 + j\sqrt{6}(6-6)} = -\frac{1}{29} \rightarrow A = -29$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 41

Oscilator faznog pomeraja

Za one koji žele da nauče više

Analiza

$AB = V_2/V_1$

Prekine se kolo u nekoj tački M

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 43

Oscilator faznog pomeraja

Praktična realizacija

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 42

Oscilator faznog pomeraja

Za one koji žele da nauče više

Primer 3.

(za vežbu kod kuće)

a) Odrediti kružno pojačanje kola bez limitera
 $[AB = \omega^2 C^2 R R_f / [4 + j(3\omega RC - 1/(\omega RC))]]$

b) Odrediti frekvenciju oscilovanja i minimalnu vrednost R_f pri kojoj će se uspostaviti oscilacije
 $[f_o = 574.3\text{Hz}, R_{fmin} = 120\text{k}\Omega]$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 44

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilator faznog pomeraisa

Primer realizacije

sa diskretnim komponentama

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 45

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)
(100kHz – 100MHz)

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 47

Oscilator faznog pomeraisa

Aktivni elementi rade u klasi A da bi se smanjila izobličenja

Zahtevaju komponente sa velikim pojačanjem (zbog velikog slabljenja u RC kolu)

Gornja granična frekvencija ograničena vrednostima elemenata kola i graničnim frekvencijama aktivnih elemenata do 100kHz.

Donja granična frekvencija ograničena fizičkom veličinom pasivnih elemenata C !!!

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 46

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolo pojačavača

Kolo povratne sprege

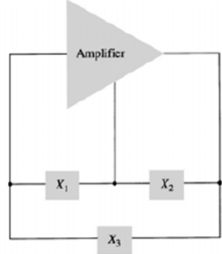
Aktivni elementi rade u klasi C zbog većeg stepena iskorišćenja i većeg broja harmonika

f se kontroliše u opsegu x100kHz – x100MHz

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 48

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



	X ₁	X ₂	X ₃
Collpittc	C	C	L
Hartley	L	L	C

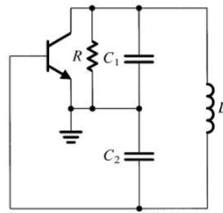
f oscilovanja definiše paralelno oscilatorno kolo (energetski rezervoar)

Odnos X₁ i X₂ određuje jačinu povratne sprege

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 49

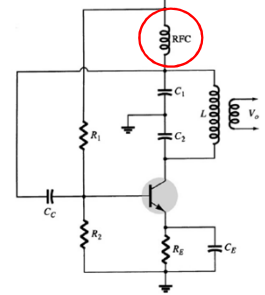
Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) Za one koji žele da nauče više

Kolpikov (Colpitts)



Kolo za AC signal

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{eq}}}$$

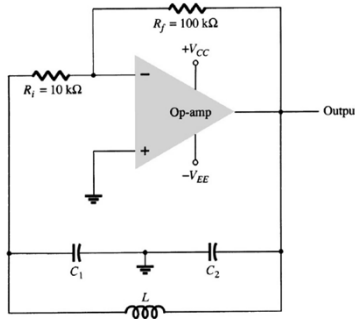
$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$


Kompletno kolo

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 51

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolpikov (Colpitts)



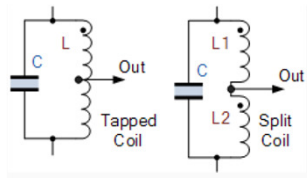
$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{eq}}}$$

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 50

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

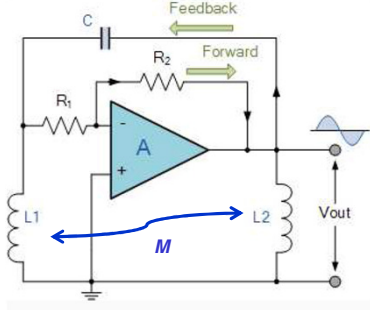
Hartlijev (Hartley)



Tapped Coil

Split Coil

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq} C}}$$

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$


Feedback

Forward

V_{out}

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 52

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) **Za one koji žele da nauče više**

Hartlijev (Hartley)

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C}}$$

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2L_{12}$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 53

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) **Za one koji žele da nauče više**

Analiza

$$\Delta = \begin{vmatrix} -j/X_1 - j/X_s & j/X_s \\ j/X_s + g_m & -j/X_2 - j/X_s + 1/R \end{vmatrix} = 0$$

$$\text{Re}\{\Delta\} = 0 \Rightarrow X_s + X_1 + X_2 = 0 \Rightarrow X_s = -(X_1 + X_2)$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 55

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) **Za one koji žele da nauče više**

Analiza

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 54

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) **Za one koji žele da nauče više**

Analiza

$X_s = -(X_1 + X_2)$

X_s reaktansa suprotnog karaktera od X_1 i X_2 !!!

Moguće kombinacije, $X_1 = C_1, X_2 = C_2, X_s = L_s$ ili
 $X_1 = L_1, X_2 = L_2, X_s = C_s$ ili druge

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 56

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) *Za one koji žele da nauče više*

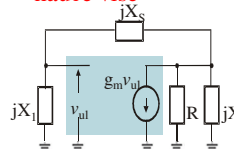
Analiza

$$\Delta = \begin{vmatrix} -j/X_1 - j/X_s & j/X_s \\ j/X_s + g_m & -j/X_2 - j/X_s + 1/R \end{vmatrix}$$

$$\Delta = 0$$

$$\text{Im}\{\Delta\} = 0 \Rightarrow \begin{cases} g_m R = -(1 + X_s / X_1) \\ g_m R = (X_2 / X_1) \end{cases}$$

Uslov oscilovanja

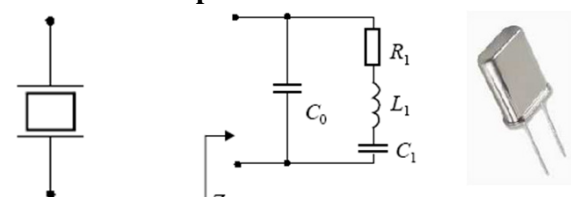

$$X_s = -(X_1 + X_2) \quad \text{frekvencija oscilovanja}$$


14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 57

Oscilatori sa kristalom kvarca

U elektronskim kolima kristal kvarca ima ulogu dvopola. Na dve suprotne stranice kristala nanese se sloj metala na koji se, preko provodnika, dovede signal.

Pobuđen naizmeničnim signalom, kristal kvarca ponaša se kao el. impedansa:

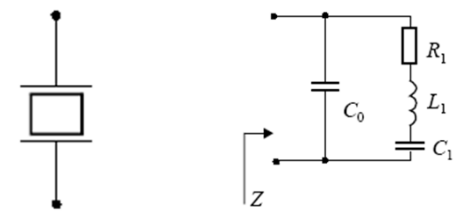



14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 59

Oscilatori sa kristalom kvarca

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 58

Oscilatori sa kristalom kvarca



Otpornost R_1 je vrlo mala, tako da se može smatrati da se kristal kvarca ponaša kao čisto reaktivni dvopol, odnosno kao idealno oscilatorno kolo.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 60

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilator

$\frac{1}{3}Z |_{R_1=0}$

f

f_r

f_p

C_0

L_1

C_1

Z

Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:

- rednu (grana L_1C_1) $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_1C_1}}$
- paralelnu (zaptivno kolo) $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_1 \frac{C_0C_1}{C_0+C_1}}}$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 61

Oscilatori sa kristalom kvarca

$\frac{1}{3}Z |_{R_1=0}$

f

f_r

f_p

Oscilatori sa kristalom kvarca prave se za generisanje fiksne frekvencije oscilovanja.

Mogu se napraviti sa promenljivom frekvencijom ali je stabilnost frekvencije oscilovanja manja.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 63

Oscilatori sa kristalom kvarca

$\frac{1}{3}Z |_{R_1=0}$

f

f_r

f_p

C_0

L_1

C_1

Z

f_r i f_p razlikuju se veoma malo kada je $C_0 \gg C_1$.

Ponaša se kao veoma selektivna impedansa jer je pri rednoj rezonansi reaktansa jednaka 0 a pri paralelnoj teži beskonačnosti.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 62

Oscilatori sa kristalom kvarca

Brojne vrednosti elementa modela za tri kristala kvarca.

Parametri modela	R1	L1	C1	Co
rezonantna frekvencija	[Ω]	[mH]	[pF]	[pF]
2MHz	82	520	22	4.27
10MHz	25	11.5	12.2	5.4
50MHz	20	5.56	1.82	4

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 64

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilatori sa kristalom kvarca

Kristal može da se priključi kao kapacitivnost ili kao induktivnost.

Tada se ostvaruje tzv. *kvarcna kontrola frekvencije oscilovanja*, a frekvencija oscilovanja nije jednaka ni jednoj od rezonantnih frekvencija kristala.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 65

Oscilatori sa kristalom kvarca

Pirsov oscilator

CMOS inverter kao pojačavač

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 67

Oscilatori sa kristalom kvarca

Paralelno. BJT Crystal Oscillator

Pirsov (Pierce) oscilator.

Colpico oscilator sa kvarcnom kontrolom.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 66

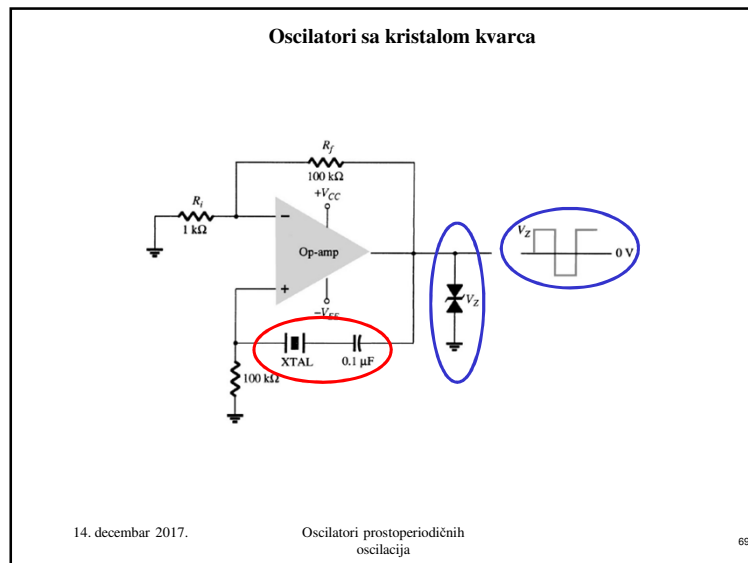
Oscilatori sa kristalom kvarca

Redno

FET Crystal Oscillator

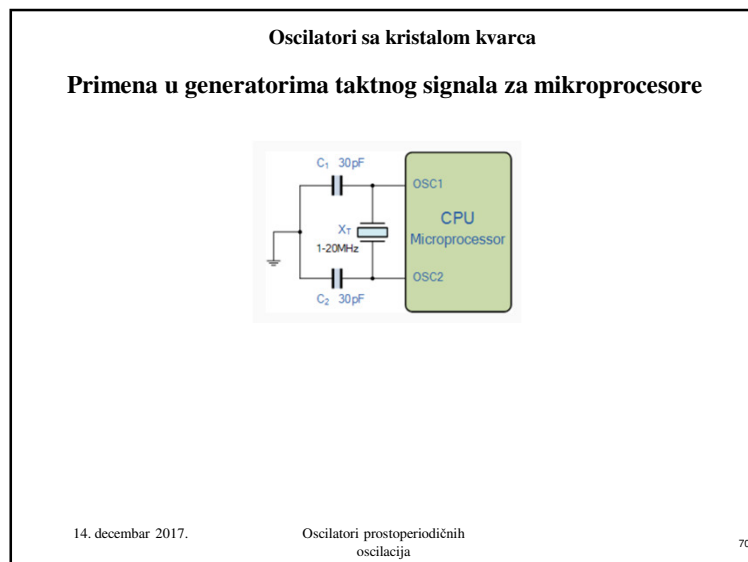
14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 68

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija



Stabilizacija frekvencije oscilovanja

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 71



Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Frekvencija oscilovanja menja se u vremenu.
Stabilnost frekvencije određuje se kao količnik priraštaja frekvencije u datom vremenskom intervalu i nominalne vrednosti frekvencije.

$$S_f = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \omega}{\omega}$$

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 72

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

$$S_f = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \omega}{\omega}$$

Stabilnost frekvencije zavisi od stabilnosti faze signala u povratnoj petlji, a ona zavisi od aktivnih i pasivnih elemenata u kolu i od otpornosti potrošača.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 73

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Smanjenje nestabilnosti usled promene otpornosti potrošača u kolu postiže se vezivanjem potrošača preko razdvojnog stepena (bafera) čija je ulazna otpornost velika.

(a)

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 75

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Parametri aktivnog elementa menjaju vrednosti zbog promene položaja radne tačke (promena napona napajanja i/ili temperature).

Starenje utiče na promenu vrednosti, kako aktivnih tako i pasivnih elemenata kola.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 74

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Posebna pažnja se poklanja

- stabilizaciji napona izvora za napajanje,
- temperaturskoj stabilizaciji radne tačke,
- izboru tolerancija pasivnih elemenata i njihovog kvaliteta i sl.

Dalje povećanje stabilnosti postiže se

- modifikacijama kola oscilatora ili
- primenom kristala kvarca.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 76

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Ugrađivanjem kristala kvarca u kolo oscilatora postiže se velika stabilnost, reda 10^{-6} .

Kristal kvarca karakteriše veoma tačna mehanička prirodna frekvencija oscilovanja.

Zato, pobuda promenljivim naponom, izaziva mehaničke oscilacije tačno definisane frekvencije.

Frekvencija oscilovanja zavisi od dimenzija i načina obrade kristala.

Najpovoljnije da oscilator osciluje na rezonantnoj frekvenciji kristala. Dobija se velika stabilnost frekvencije oscilovanja uz smanjena izobličenja signala.

14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

77

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Praktično:

Kako izgleda,

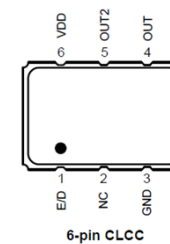
gde kupiti, <https://www.idt.com/>

koliko košta <xUSD

IDT XO LVDS Crystal Oscillator

Features

- Frequency range: 0.016 to 1500MHz
- Output type: LVDS
- Frequency stability: ± 20 ppm, ± 25 ppm, ± 50 ppm, or ± 100 ppm
- Supply voltage: 1.8V, 2.5V, or 3.3V
- Phase jitter (1.875MHz to 20MHz): 100fs typical
- Phase jitter (12kHz to 20MHz): 300fs typical
- Package options: 5.0mm x 3.2mm x 1.2mm (JS6)
7.0mm x 5.0mm x 1.3mm (JU6)
- Operating temperatures: -20°C to $+70^{\circ}\text{C}$ or -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$



14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

79

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Stabilnost frekvencije oscilatora sa kristalom kvarca

Tip	$\Delta f/f_0$	Temperaturski opseg (K)	Potrošnja (mW)
Osnovni oscilator	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$	0 do 50	50
	$\pm 15 \cdot 10^{-6}$	-40 do 90	
	$\pm 25 \cdot 10^{-6}$	-55 do 105	
Oscilator sa temperaturskom kompenzacijom	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$	0 do 50	100
	do $\pm 1 \cdot 10^{-6}$	-40 do 90	
	$\pm 3 \cdot 10^{-7}$	-40 do 90	
	do $\pm 5 \cdot 10^{-6}$	-55 do 105	
Oscilator u termostatu	$\pm 2 \cdot 10^{-9}$	0 do 50	1 do 10
	do $\pm 1 \cdot 10^{-7}$	-40 do 70	
	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$	-40 do 70	
Osc. u dvostrukom termostatu	$\pm 5 \cdot 10^{-10}$	0 do 50	5 do 15

14. decembar 2017.

78

Zaključak

Analiza

Neophodna POZITIVNA povratna sprega Barkhauzenov uslov

$$A(s)B(s)=1$$

- frekvencija oscilovanja $\text{Im}\{A(s)B(s)\}=0$

- uslov oscilovanja $\text{Re}\{A(s)B(s)\}=1$

14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

80

Zaključak

Tipovi:

- RC oscilatori
 - Vinov most
 - Fazni pomeraj
- Oscilatori sa oscilatornim kolima
 - Kolpicov
 - Hartlejev
 - sa induktivnom spregom
 - sa negativnom otpornošću
- Oscilatori sa kristalom kvarca (Pirsov)

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 81

Zaključak

Tip	f opseg	Mogućnost regulacije f
RC	10Hz-1MHz	Lako
LC	100kHz-100MHz	Lako
Kvarc	10kHz-1GHz	Teško

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 83

Zaključak

Stabilizacija amplitude oscilovanja

Amplituda oscilacija oscilatora nije određena uslovom oscilovanja, već zavisi od veličine aktivne oblasti rada aktivnog elementa.

Velika amplituda dovodi radnu tačku u nelinearni deo karakteristika aktivnog elementa, čime se unosi sadržaj harmonijskih komponenti i nestabilnost frekvencije.


Velika stabilnost frekvencije zahteva stabilnu amplitudu oscilacija.

14. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 82

Osnovi elektronike


Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (26.11.2016.)	50%	20%
Kolokvijum II (21.01.2017.)	50%	20%
	120%	60%



Ko nije izašao na I kolokvijum ima 70% (još nije kasno) i ako ne ide na predavanja ima 60% (još nije kasno) ako na drugom kolokvijumu ima < 80% imaće 50% (skoro da je kasno)

14. decembar 2017. Uvod 84
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>



Šta smo naučili?


- **Objasniti fizičko značenje uslova oscilovanja i dati matematičku interpretaciju (napisati odgovarajuće izraze).**
- Skicirati el. šemu oscilatora sa vinovim (Wien) mostom i operacionim pojačavačem i dati izraze za uslov i frekvenciju oscilovanja.
- Skicirati el. šemu oscilatora sa faznim pomerajem.

14. decembar 2017.
Pojačavači sa povratnom spregom
85

Sledeće nedelje:

Pojačavači velikih signala

14. decembar 2017.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
87



Ispitna pitanja

1. Tipovi linearnih oscilatora.
2. Stabilizacija amplitude oscilacija kod oscilatora sa vinovim mostom.
3. Frekvencija i uslov oscilovanja oscilatora sa faznim pomerajem
4. Kolpico (Colpitts) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).
5. Hartlijev (Hartley) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).
6. Osnovni načini povezivanja kristala kvarca sa kolom pojačavača.

14. decembar 2017.
Pojačavači sa povratnom spregom
86

Domaći 9.1

Rešenje:

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

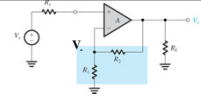

$$B = \frac{V_-}{V_o} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

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

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

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

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

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

14. decembar 2017.
Pojačavači sa povratnom spregom
88

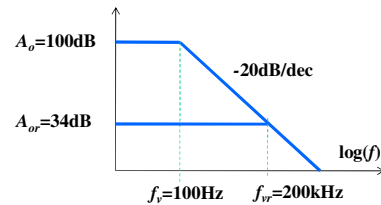
Domaći 9.2

Rešenje:

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

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

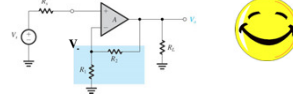
$$f_{vr} = f_v \cdot (1 - A_o B) = 100 \text{ Hz} \cdot (2001) = 200,1 \text{ kHz}$$



14. decembar 2017.

Pojačavači sa povratnom spregom

89



Domaći 9.4 Rešenje:

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

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

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

$$A_o \approx \frac{A_d R_p}{(R_{ia} + R_p) R_{11} + R_{ud}} = \frac{10^4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{(3 \cdot 10^3) \cdot 1 \cdot 10^6} = 6000$$

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

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

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

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

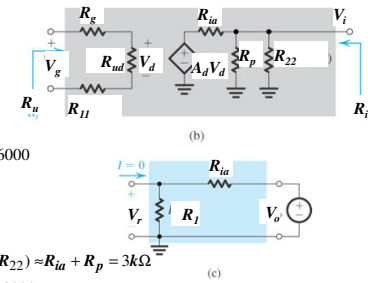
$$R_{ir}' = \frac{R_i}{1 - A_o B} = \frac{3000}{7} = 428 \Omega$$

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

14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

91



Domaći 9.3

Rešenje:

Bez pretpojačavača:

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

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

Sa pretpojačavačem:

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

$$(1 + B A_1 A_2) v_{iz} = A_1 A_2 v_g + A_1 v_n$$

$$v_{iz} = \frac{A_1 A_2 v_g}{(1 + B A_1 A_2)} + \frac{A_1 v_n}{(1 + B A_1 A_2)} = v_{is} + v_{in} \Rightarrow v_{is} = \frac{A_1 A_2 v_g}{(1 + B A_1 A_2)}; \quad v_{in} = \frac{A_1 v_n}{(1 + B A_1 A_2)}$$

$$v_{is} = \frac{A_1 A_2 v_g}{(1 + B A_1 A_2)} = \frac{100}{101} 1 \text{ V} = 0,99 \text{ V};$$

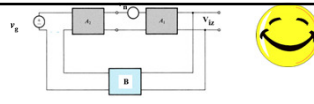
$$v_{in} = \frac{A_1 v_n}{(1 + B A_1 A_2)} = \frac{1}{101} 1 \text{ V} = 0,0099 \text{ V}.$$

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

14. decembar 2017.

Pojačavači sa povratnom spregom

90



Domaći 9.4 Rešenje:

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

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

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

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

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

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

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

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

14. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

92

