


## Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Obranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kajanje)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
	<b>120%</b>	<b>60%</b>



**Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA**

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

12. decembar 2017. 1


## Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 3

## Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Obranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kajanje)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
	<b>120%</b>	<b>60%</b>



**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)**

12. 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


12. decembar 2017. Višestepeni pojačavači 4

Namena

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

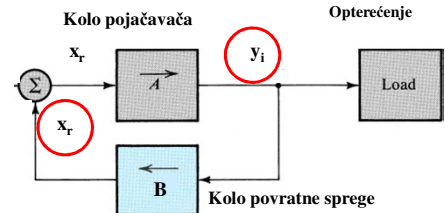
**Klasifikacija:**

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



12. decembar 2017.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      5

Opšta struktura oscilatora



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

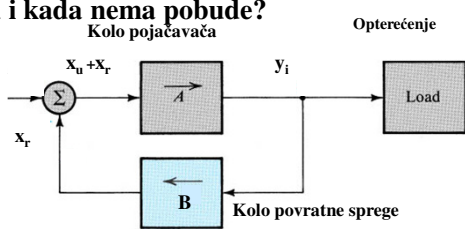
**Dakle, ako je  $AB=1$ , signal  $y_{iz}$  postoji i kada **nema** pobudnog signala !!!**

12. decembar 2017.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      7

Princip rada

**KAKO Oscilatori generišu signal na izlazu i kada nema pobude?**

Opštećenje



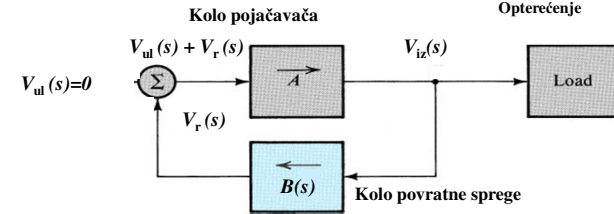
**Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.**

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

$x_u = 0$

12. decembar 2017.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      6

Opšta struktura oscilatora



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

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

$\Downarrow$

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

12. 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**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 9

Opterećenje

$A(s)B(s)=1$       **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)

12. 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.**

**$A=1/B$**

12. 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

12. 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**

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

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

↙
↘

**amplituda**                      **frekvencija**

12. 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**

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

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

~~1-B(s)A(s)~~ **0**

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

12. decembar 2017.                      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija                      15

**Oscilatori**

---

**Analiza u 2 koraka:**

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

12. decembar 2017.                      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija                      14

12. decembar 2017.                      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija                      16

Prvi korak

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

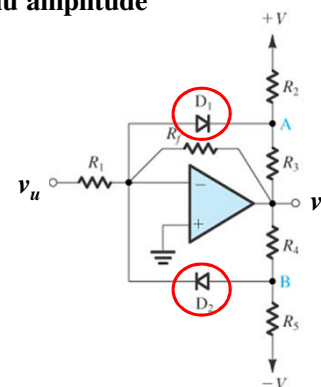
Drugi korak

Kako vratiti amplitudu na željenu vrednost?

Nelinearnim kolom za kontrolu amplitude

Drugi korak

Kolo za kontrolu amplitude



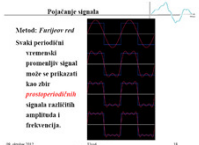
Drugi korak

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).

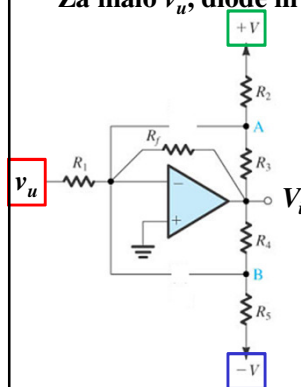


Kolo za kontrolu amplitude

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

Metod superpozicije

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



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

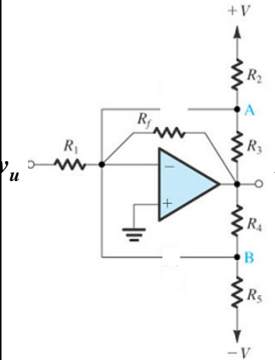
$$+ (R_4+R_5)/(R_2+R_3+R_4+R_5) V +$$

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

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

**Kolo za kontrolu amplitude**

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



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

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

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

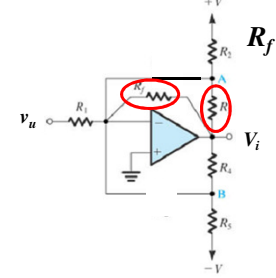
**za  $R_2=R_5$  i  $R_3=R_4$**

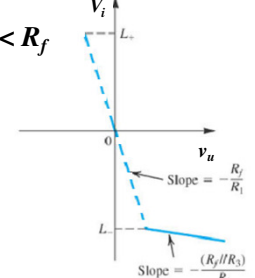
$$V_i = - (R_f/R_1) v_u$$

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 21

**Kolo za kontrolu amplitude**

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



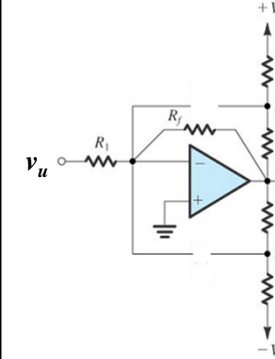
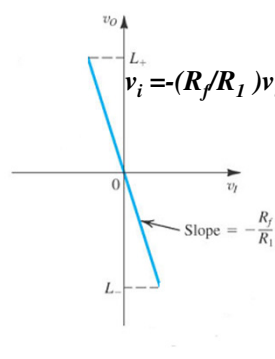
$$R_f' = R_f \parallel R_3 < R_f$$


**Nagib (pojačanje) =  $-R_f'/R_1$**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 23

**Kolo za kontrolu amplitude**

**Za malo  $v_u$ , diode inverzno polarisane**

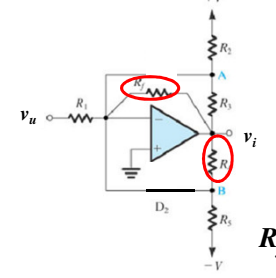
$$v_i = - (R_f/R_1) v_u$$

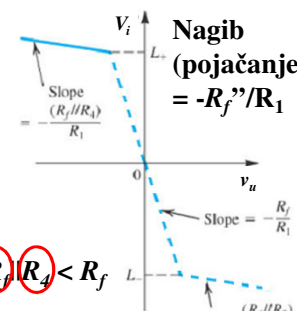
Slope =  $-\frac{R_f}{R_1}$

12. 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 (pojačanje) =  $-R_f''/R_1$**

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

Slope =  $-\frac{(R_f \parallel R_3)}{R_1}$

12. 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  $V_B > V_\gamma = 0.7V$**

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

12. 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.**

12. 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**

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

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

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

12. 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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 28

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

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)

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 29

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 31

**RC oscilatori (10Hz – x100kHz)**

- Oscilator sa Vinovim mostom
- Oscilator faznog pomeraja

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 30

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

$A = 1 + R_2/R_1$

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

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

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 32



### Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

$$A = 1 + R_2/R_1$$

$$B(j\omega) = \frac{j\omega CR}{j\omega CR + (1 + j\omega CR)^2}$$

$$B(j\omega) = \frac{j\omega CR}{1 - (j\omega CR)^2 + j3\omega CR}$$

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

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

12. 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  $\omega_0 = 1/(RC)$

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 35

### Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

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

$$AB(j\omega) = 1$$

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

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

**$\omega_0 = 1/(RC)$**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 34

### Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

**Domaći 10.1**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 36

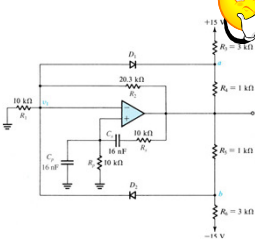
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

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

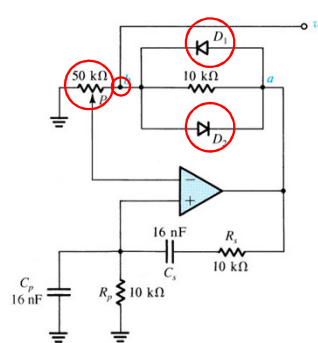
c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je  $V_D=0.7\text{V}$   
 $[21.36\text{Vpp}]$



12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 37

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

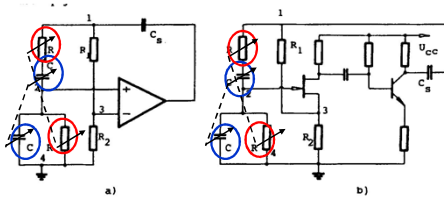
**Domaći 10.2**



12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 39

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

**Za one koji žele da nauče više**



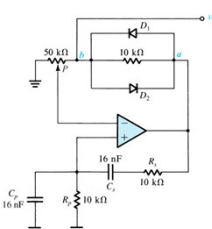
f se podešava u opsegu  
 xHz-x MHz

**R** – grubo podešavanje  
**C** – fino podešavanje

12. 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  
 $[f_0=1\text{kHz}]$

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 40

### Oscilator faznog pomeraja

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

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

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 41

### Oscilator faznog pomeraja

Za one koji žele da nauče više

#### Analiza

**Prekine se kolo u nekoj tački M**

$$AB = V_2/V_1$$

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 43

### Oscilator faznog pomeraja

#### Praktična realizacija

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 42

### Oscilator faznog pomeraja

Za one koji žele da nauče više

#### Primer 3.

(za vežbu kod kuće)

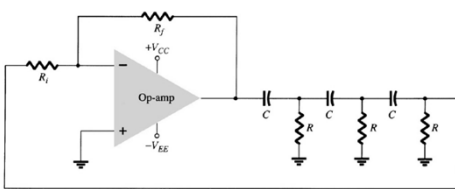
a) Odrediti kružno pojačanje kola bez limitera  
 $[AB = \omega^2 C^2 R R_f / [4 + j(3\omega RC - 1/(\omega RC))]]$

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

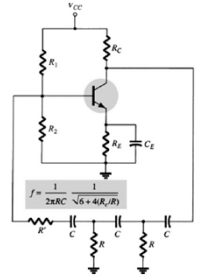
12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 44

**Oscilator faznog pomeraja**

**Primer realizacije**



**sa diskretnim komponentama**



$f = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + 4(R_1/R_2)B}}$

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 45

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 47

**Oscilator faznog pomeraja**

**Aktivni elementi rade u klasi A da bi se smanjila izobličenja**

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

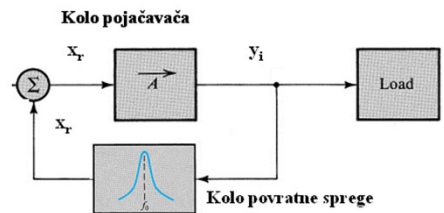
**Gornja granična frekvencija ograničena vrednostima elemenata kola i graničnim frekvencijama aktivnih elemenata do 100kHz.**

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

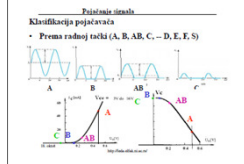
12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 46

**Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)**

**Kolo pojačavača**



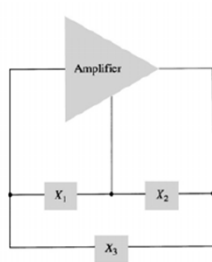
**Aktivni elementi rade u klasi C zbog većeg stepena iskorišćenja i većeg broja harmonika**



**f se kontroliše u opsegu x100kHz – x100MHz**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 48

**Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)**



	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Collpice	C	C	L
Hartley	L	L	C

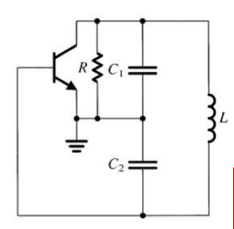
**f oscilovanja definiše paralelno oscilatorno kolo (energetski rezervoar)**

**Odnos X<sub>1</sub> i X<sub>2</sub> određuje jačinu povratne sprege**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 49

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

**Kolpicev (Colpitts)**

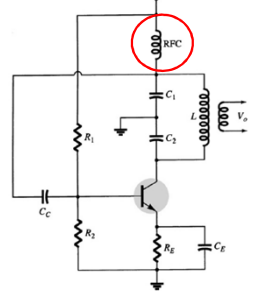


**Kolo za AC signal**

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

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

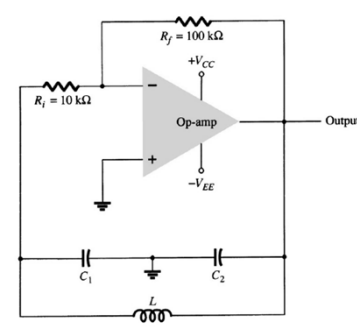
**Kompletno kolo**



12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 51

**Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)**

**Kolpicev (Colpitts)**



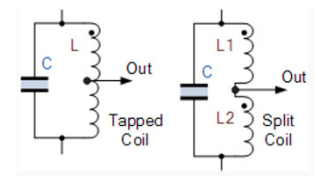
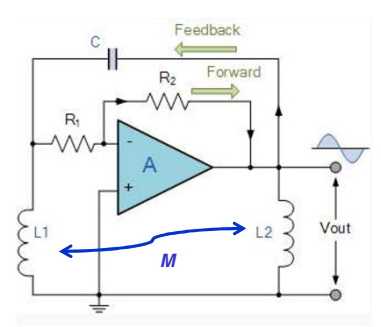
$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{eq}}}$$

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 50

**Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)**

**Hartlijev (Hartley)**

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

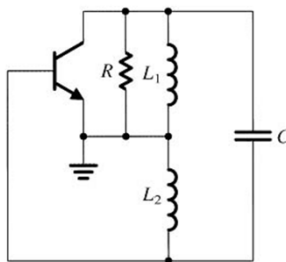
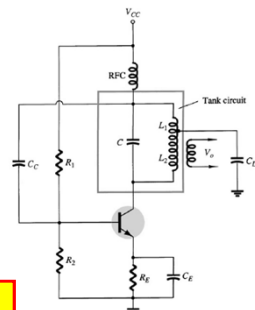
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 52

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

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

### Hartlijev (Hartley)

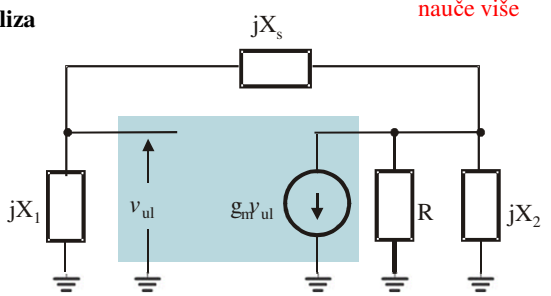
$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C}}$$

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 53

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

### Analiza



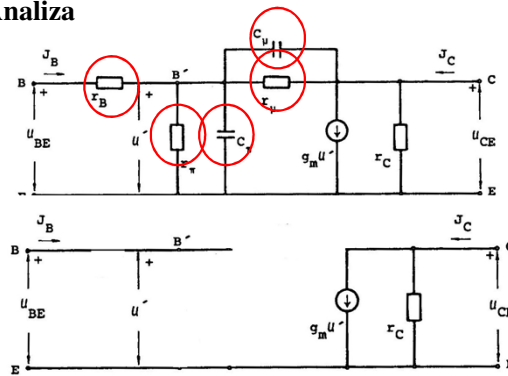
$$\Delta = \begin{vmatrix} -j/X_1 - j/X_s & j/X_s \\ j/X_s + g_m & -j/X_2 - j/X_s + 1/R \end{vmatrix} = 0$$

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 55

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

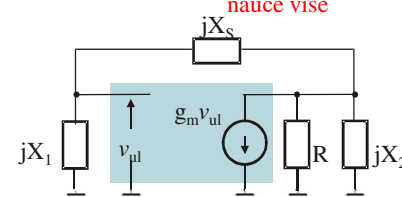
### Analiza



12. 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  $X_2$  !!!**

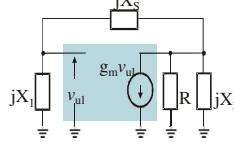
**Moguće kombinacije,  $X_1 = C_1, X_2 = C_2, X_s = L_s$  ili  $X_1 = L_1, X_2 = L_2, X_s = C_s$  ili druge**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 56

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

**Analiza**

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

$$\Delta = 0$$


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

$$g_m R = (X_2 / X_1)$$

**Uslov oscilovanja**

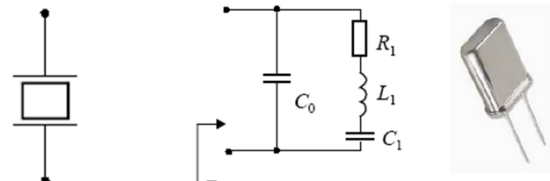

$$X_s = -(X_1 + X_2) \quad \text{frekvencija oscilovanja}$$

12. 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:**

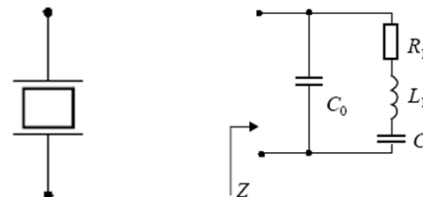



12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 59

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

12. 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.**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 60

**Oscilatori**

Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 61

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

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

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 63

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

$f_r$  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.

12. 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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 64



# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

**Kristal može da se priključi kao kapacitivnost ili kao induktivnost.**

**L-karakter**

**C-karakter**

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

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 65

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

**Pirsov oscilator**

**CMOS invertor kao pojačavač**

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 67

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

**Paralelno.**  
BJT Crystal Oscillator

**Pirsov (Pierce) oscilator.**

**Colpicov oscilator sa kvarcnom kontrolom.**

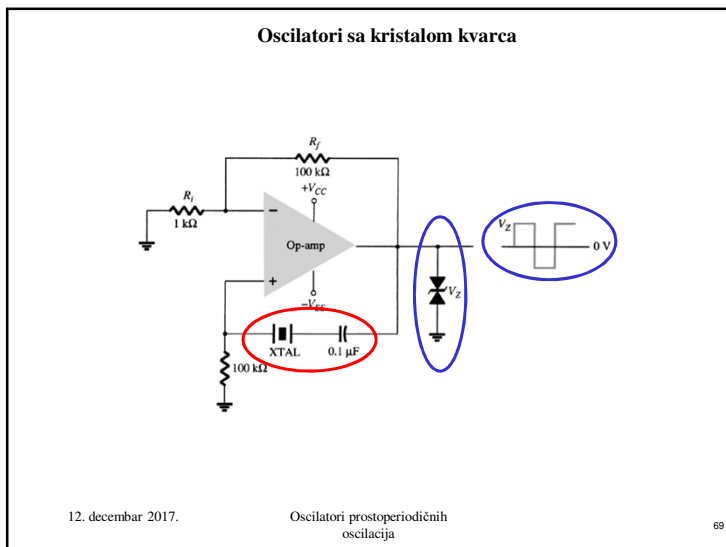
12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 66

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

**Redno**

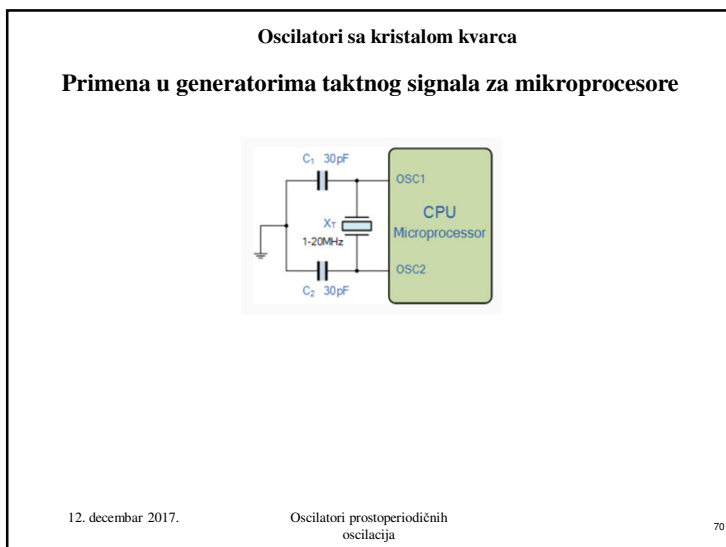
FET Crystal Oscillator

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 68



**Stabilizacija frekvencije oscilovanja**

12. decembar 2017.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      71



**Stabilizacija frekvencije oscilovanja**

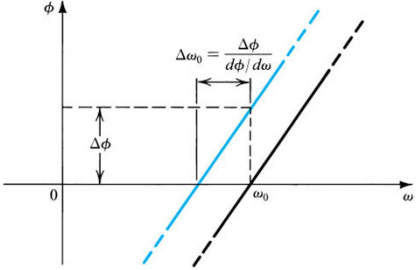
**Frekvencija oscilovanja menja se u vremenu.**  
**Stabilnost frekvencije određuje se kao količnik priraštaja frekvencije u datom vremenskom intervalu i nominalne vrednosti frekvencije.**

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

12. decembar 2017.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      72

**Stabilizacija frekvencije oscilovanja**

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

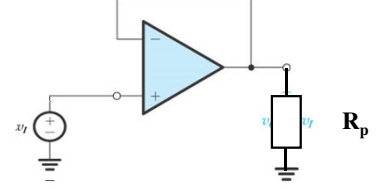


**Stabilnost frekvencije zavisi od stabilnosti faze signala u povratnoj petlji, a ona zavisi od aktivnih i pasivnih elemenata u kolu i od otpornosti potrošača.**

12. 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)

12. 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.**

12. 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.**

12. 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.

12. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

77

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

**Praktično:**

**Kako izgleda,**

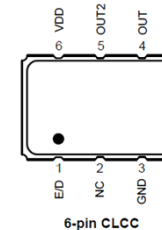
**gde kupiti, <https://www.idt.com/>**

**koliko košta <xUSD**

IDT XO LVDS Crystal Oscillator

**Features**

- Frequency range: 0.016 to 1500MHz
- Output type: LVDS
- Frequency stability:  $\pm 20$ ppm,  $\pm 25$ ppm,  $\pm 50$ ppm, or  $\pm 100$ 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:  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$  or  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$



12. 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

12. decembar 2017.

78

**Zaključak**

**Analiza**

**Neophodna POZITIVNA povratna sprega**

**Barkhausenov uslov**

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

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

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

12. decembar 2017.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

80

### Zaključak

**Tipovi:**

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

12. 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

12. 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.**

12. 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)**

12. 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.

12. decembar 2017. Pojačavači sa povratnom spregom 85

Sledeće nedelje:

Pojačavači **velikih** signala

12. decembar 2017. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 87

Ispitna pitanja

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

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

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

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

12. decembar 2017. Pojačavači sa povratnom spregom 88

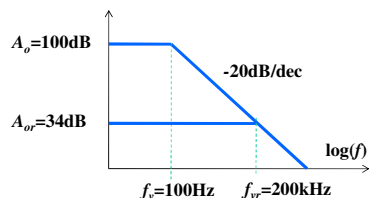
## Domaći 9.2

### Rešenje:

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

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

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



12. decembar 2017.

Pojačavači sa povratnom spregom

89

## Rešenje 9.4:

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  $A_r=V_i/V_g$ ,  $R_{ur}$ , i  $R_{ir}$ . Poznato je  $R_g=10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_f=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2=1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_p=2 \text{ k}\Omega$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

12. decembar 2017.

91

## Domaći 9.3

### Rešenje:

#### Bez pretpojačavača:

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

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

#### Sa pretpojačavačem:

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

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

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

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

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

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

12. decembar 2017.

Pojačavači sa povratnom spregom

90

## Rešenje 9.4:

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  $A_r=V_i/V_g$ ,  $R_{ur}$ , i  $R_{ir}$ . Poznato je  $R_g=10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_f=1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2=1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_p=2 \text{ k}\Omega$ .

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

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

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

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

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

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

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

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

12. decembar 2017.

92