


### Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kajanje)	50%	20%
Kolokvijum II (13.01.2020.)	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!**

11. decembar 2019. 1

### Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kajanje)	50%	20%
Kolokvijum II (13.01.2020.)	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)**

11. decembar 2019. 2

## Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 3

### Sadržaj

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

11. decembar 2019. Višestepeni pojačavači 4

Namena

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

**Klasifikacija:**

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 5

Princip rada

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

Kolo pojačavača

Opštećenje

Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.

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

$$x_u = 0$$

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 6

Kolo pojačavača

Opštećenje

Opšta struktura oscilatora

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 7

Kolo pojačavača

Opštećenje

Opšta struktura oscilatora

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

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 8

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Opterećenje

Opšta struktura oscilatora

Kolo povratne sprege

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

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**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 9

Opterećenje

Opšta struktura oscilatora

Kolo povratne sprege

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

**$A=1/B$**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 10

Kolo pojačavača      Opterećenje

Kolo povratne sprege

**$A(s)B(s)=1$       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)

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 11

**$A(s)B(s)=1$       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

11. decembar 2019. 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

11. decembar 2019.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      13

Oscilatori

---

**Analiza u 2 koraka:**

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

11. decembar 2019.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      14

**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

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

11. decembar 2019.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      15

**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**

11. decembar 2019.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      16

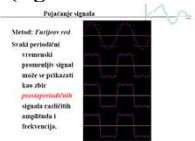
## Drugi korak

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).

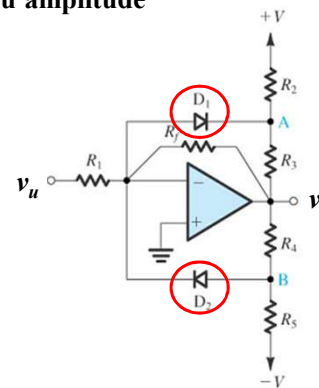


11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

## Drugi korak

### Kolo za kontrolu amplitude



11. decembar 2019.

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).

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

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

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

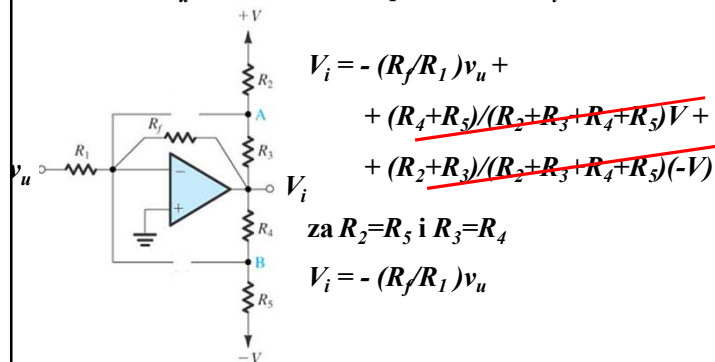
11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

19

### 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  $R_3 = R_4$

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

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

20

**Kolo za kontrolu amplitude**

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

$v_i = -(R_f/R_1)v_u$

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 21

**Kolo za kontrolu amplitude**

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

$R_f' = R_f || R_3 < R_f$

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

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

**Nagib (pojačanje) =  $-R_f'/R_1$**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 22

**Kolo za kontrolu amplitude**

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

**Nagib (pojačanje) =  $-R_f''/R_1$**

$R_f'' = R_f || R_4 < R_f$

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 23

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 24

**Kolo za kontrolu amplitude**

**Za**  $V_B = -VR_4/(R_4 + R_3) + v_i R_5/(R_4 + R_3) = V_\gamma$ ,  $v_i = L_+$

**Za**

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

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

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

11. decembar 2019. 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.**

11. decembar 2019. 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

**Tipovi linearnih oscilatora:**

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 27

**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)

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 28

**RC oscilatori (10Hz – x100kHz)**

- Oscilator sa Vinovim mostom
- Oscilator faznog pomeraja

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
29

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
30

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

$$A = 1 + R_2/R_1$$

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

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

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

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
31

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

$$A = 1 + R_2/R_1$$

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

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

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

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

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
32



# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

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

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

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

$$j(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}) = 0$$

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 33

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

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

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

**Uslov oscilovanja:**

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

Za  $\omega_0 = 1/(RC)$

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 34

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

**Domaći 10.1**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 35

**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  $V_D = 0.7V$

$$[21.36V_{pp}]$$

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 36

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

**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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 37

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 38

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

**Domaći 10.2**

**a) Odrediti položaj potencimetra pri kome se uspostavljaju oscilacije**  
**[20kΩ]**

**b) Naći frekvenciju oscilovanja**  
**[f<sub>0</sub>=1kHz]**

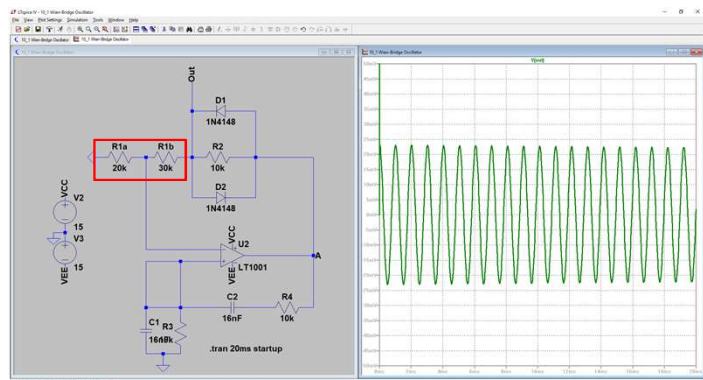
11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 39

**Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 40

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

## Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

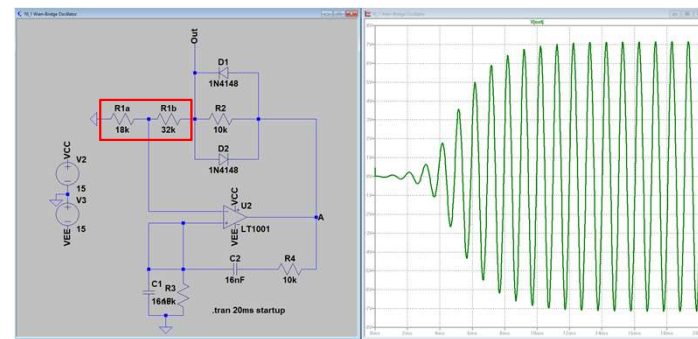


11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

41

## Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

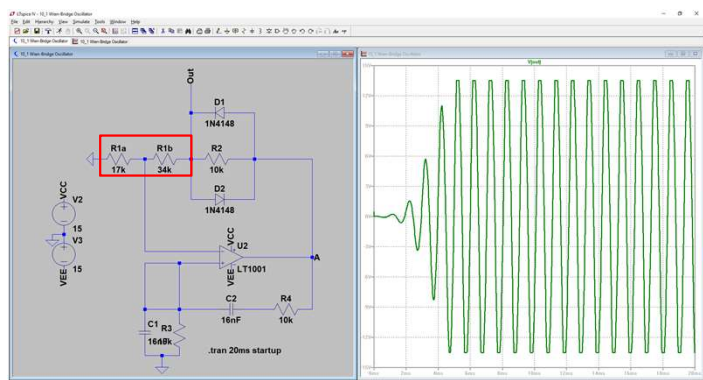


11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

42

## Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

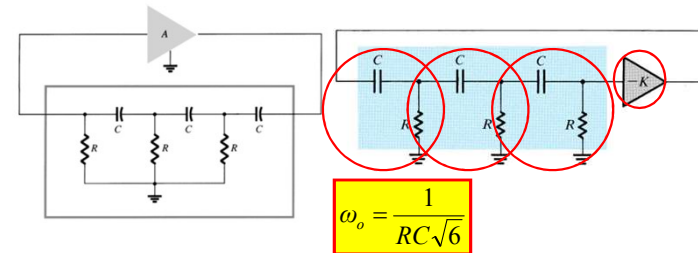


11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

43

## Oscilator faznog pomeraja



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

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

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

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

44

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

**Oscilator faznog pomeraja**  
**Praktična realizacija**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 45

**Oscilator faznog pomeraja**  
**Praktična realizacija**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 46

**Oscilator faznog pomeraja**  
**Praktična realizacija**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 47

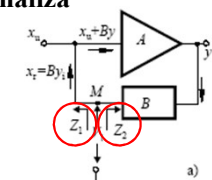
**Oscilator faznog pomeraja**  
**Praktična realizacija**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 48

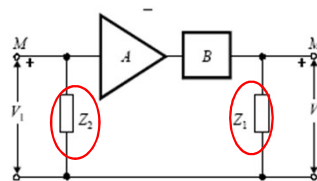
**Oscilator faznog pomeraja**

Za one koji žele da nauče više

**Analiza**



**Prekine se kolo u nekoj tački M**

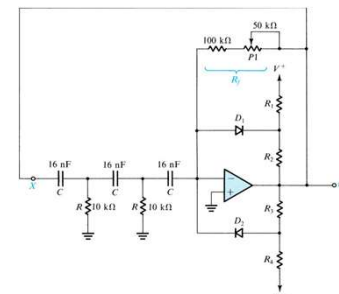


$AB = V_2/V_1$

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 49

**Oscilator faznog pomeraja**  
Za one koji žele da nauče više

**Primer 3.**  
(za vežbu kod kuće)



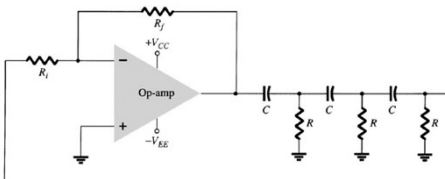
a) Odrediti kružno pojačanje kola bez limitera  
 $[AB = \omega^2 C^2 R R_f / (4 + j(3\omega RC - 1/(\omega RC)))]$

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

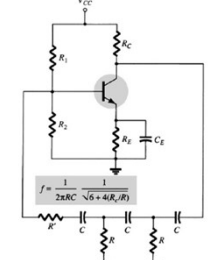
11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 50

**Oscilator faznog pomeraja**

**Primer realizacije**



sa diskretnim komponentama



$f = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + 4R_f/R}}$

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 51

**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 !!!**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 52

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

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
53

### 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**

Klasifikacija pojačavača

- Prema radnoj tački (A, B, AB, C, – D, E, F, S)

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

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
54

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

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Collpite	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**

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
55

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

#### Kolpikov (Colpitts)

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

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

11. decembar 2019.
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija
56

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

## Kolpico (Colpitts)

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 57

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

## Kolpico (Colpitts)

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 58

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

## Hartlijev (Hartley)

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 59

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

## Hartlijev (Hartley)

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 60

# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

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

**Hrtljev (Hartley)**

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 61

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

**Hartljev (Hartley)**

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 62

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

**Analiza**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 63

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

**Analiza**

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

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 64



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

**Analiza**

$X_s \neq -(X_1 + X_2)$

$X_s$  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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 65

**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**

$X_s = -(X_1 + X_2)$  **frekvencija oscilovanja**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 66

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 67

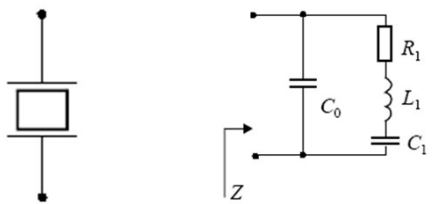
**Oscilatori sa kristalom kvarca**

**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:**

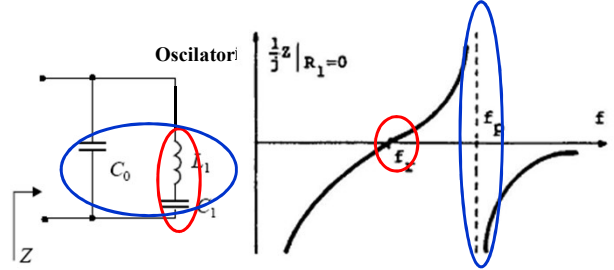
11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 68

**Oscilatori sa kristalom kvarca**



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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 69

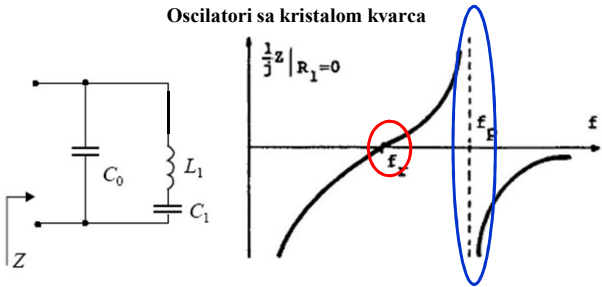


**Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:**

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 70

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

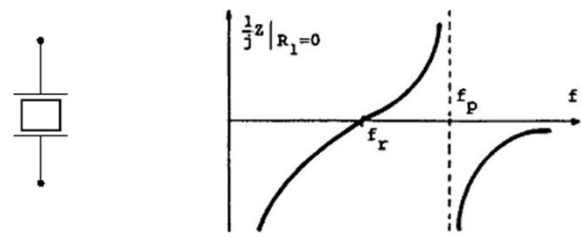


$f_r$  i  $f_p$  razlikuju se veoma malo kada je  $C_0 \gg C_1$ .

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 71

**Oscilatori sa kristalom kvarca**



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

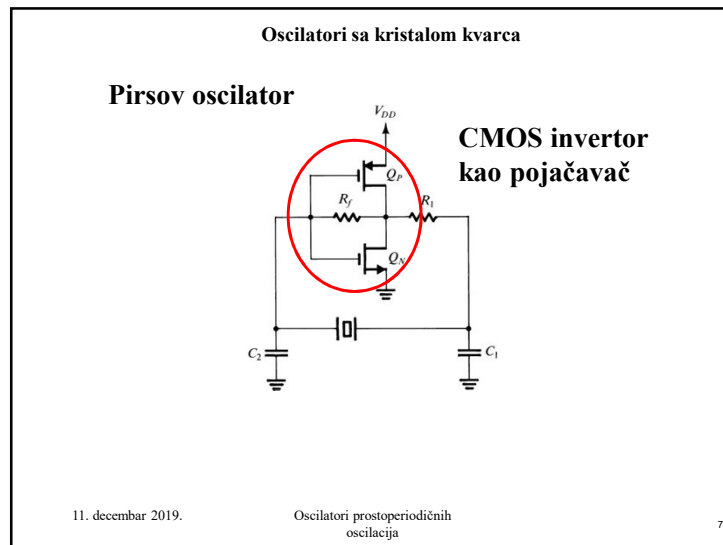
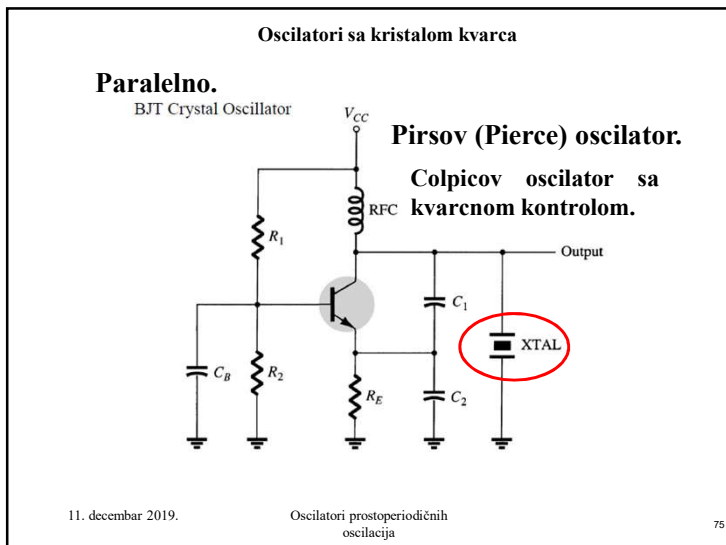
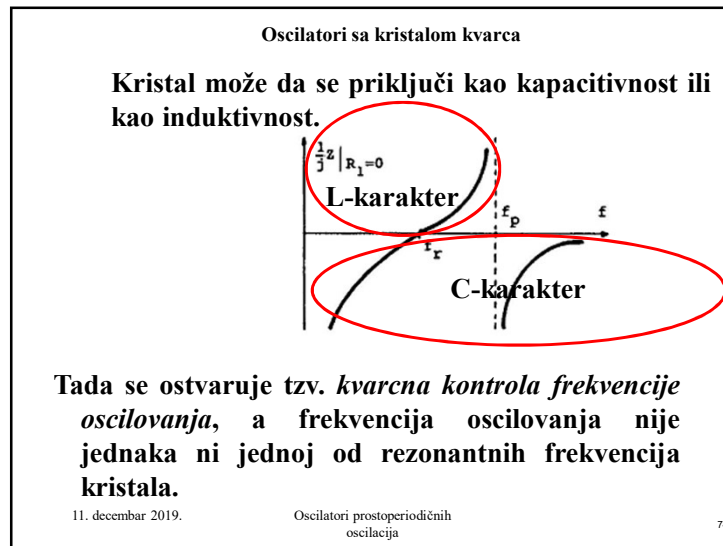
Mogu se napraviti sa promenljivom frekvencijom ali je stabilnost frekvencije oscilovanja manja.

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 72

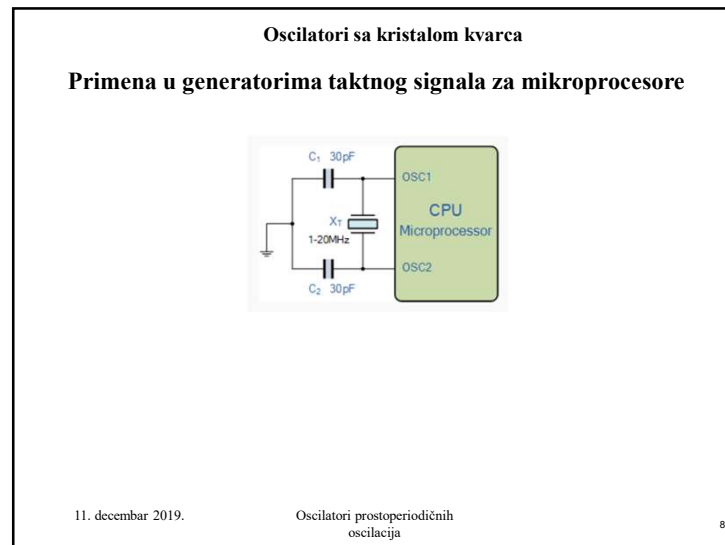
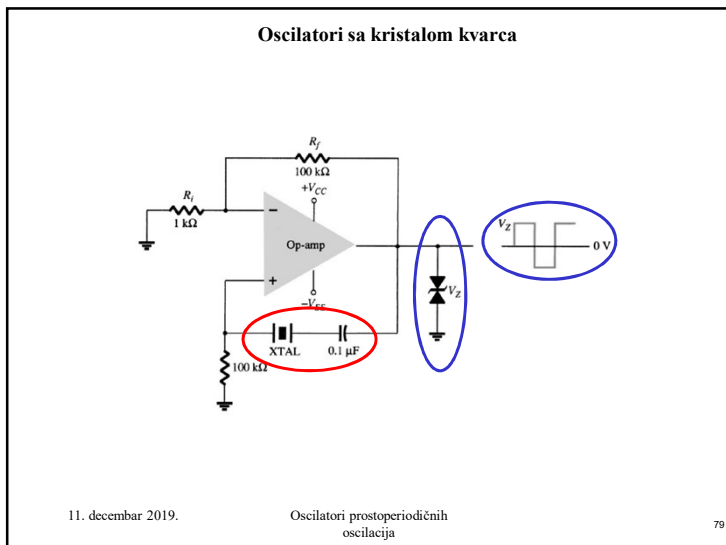
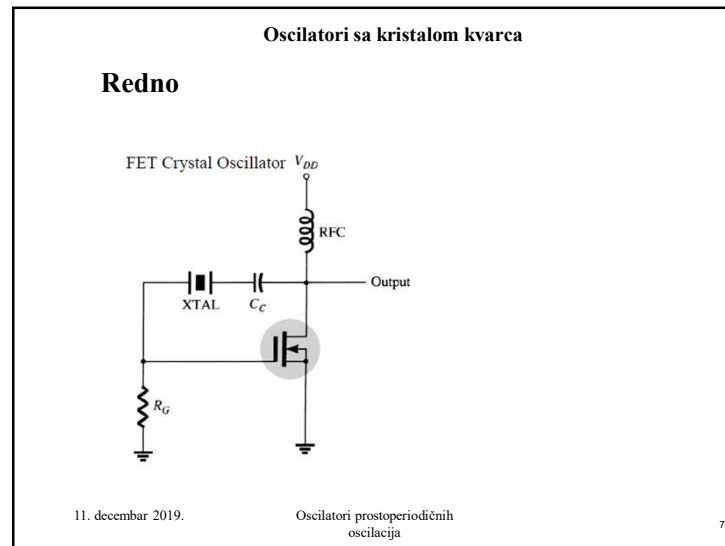
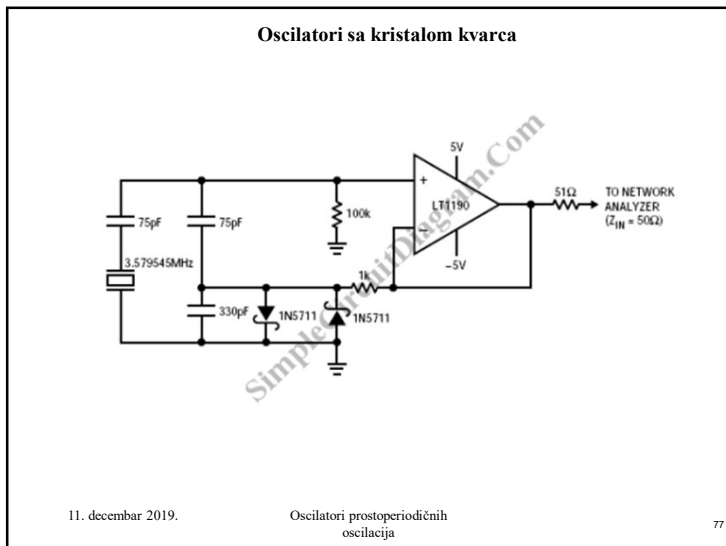
**Oscilatori sa kristalom kvarca**  
Brojne vrednosti elementa modela za tri kristala kvarca.

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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 73



# Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija



### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

11. decembar 2019.

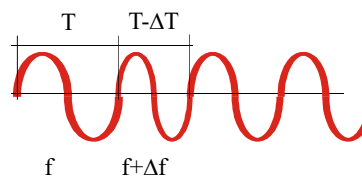
Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

81

### 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.

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

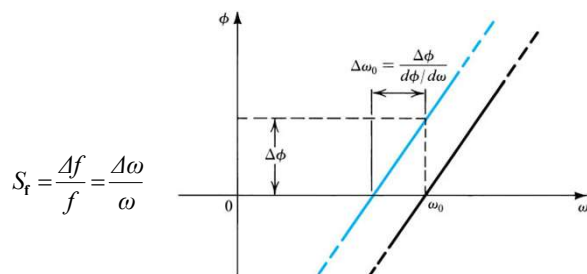


11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

82

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja



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

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

83

### 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.

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

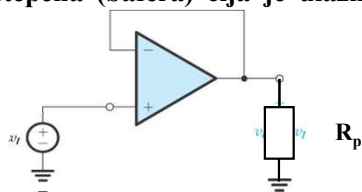
84

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)

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.

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.

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	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$ do $\pm 1 \cdot 10^{-6}$	0 do 50	100
	$\pm 3 \cdot 10^{-7}$ do $\pm 5 \cdot 10^{-6}$	-40 do 90	
	$\pm 1 \cdot 10^{-6}$ do $\pm 1 \cdot 10^{-5}$	-55 do 105	
Oscilator u termostatu	$\pm 2 \cdot 10^{-9}$ do $\pm 1 \cdot 10^{-7}$	0 do 50	1 do 10
	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$ do $\pm 3 \cdot 10^{-7}$	-40 do 70	
Osc. u dvostrukom termostatu	$\pm 5 \cdot 10^{-10}$	0 do 50	5 do 15

## Stabilizacija frekvencije oscilovanja

### Praktično:

Kako izgleda,

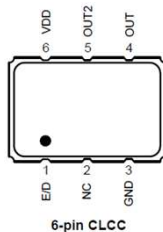
gde kupiti, <https://www.idt.com/>

koliko košta <xUSD

IDT XO LVDS Crystal Oscillator

#### Features

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



11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

89

## Zaključak

### Analiza

Neophodna POZITIVNA povratna sprega

Barkhausenov uslov

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

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

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

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

90

## 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)

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

91

## 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.

11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

92

**Zaključak**


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

11. decembar 2019. Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija 93


**Osnovi elektronike**

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (02.12.2019.)	50%	20%
Kolokvijum II (13.01.2020.)	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)**


11. decembar 2019. Uvod 94  
<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.

11. decembar 2019. Pojačavači sa povratnom spregom 95



**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.

11. decembar 2019. Pojačavači sa povratnom spregom 96



**Sledećeg časa:**

**Pojačavači velikih signala**

11. decembar 2019.      Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija      97

**Domaći 9.1**

**Rešenje:**

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

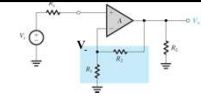
$$B = \frac{V_-}{V_o} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

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

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

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

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



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

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

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

11. decembar 2019.      Pojačavači sa povratnom spregom      98

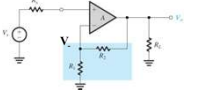
**Domaći 9.2**

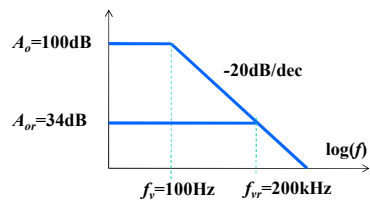
**Rešenje:**

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

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

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





11. decembar 2019.      Pojačavači sa povratnom spregom      99

**Domaći 9.3**

**Rešenje:**

**Bez prepojačavača:**

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

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

**Sa prepojačavačem:**

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

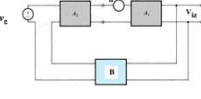
$$(1 + BA_1A_2)v_{iz} = A_1A_2v_g + A_1v_n$$

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

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

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

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



11. decembar 2019.      Pojačavači sa povratnom spregom      100

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

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

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

$$A_o \approx \frac{A_d R_p}{(R_{ia} + R_p) R_{11} + R_{ud}} = \frac{10^4 \cdot 2 \cdot 10^3}{(3 \cdot 10^3) \cdot 1.1 \cdot 10^5} = 6000$$

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

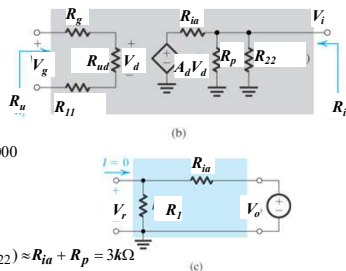
$$1 - A_o B = 1 - 6000(-10^{-3}) = 7$$

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

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

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

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



11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

101

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

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

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

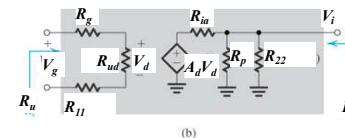
$$R_{ur}' = R_{ur} (1 - A_o B) = 777\text{k}\Omega$$

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

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

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

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



11. decembar 2019.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

102