

## Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija (nastavak)

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

1

## Oscilatori sa kristalom kvarca

13. decembar 2011.

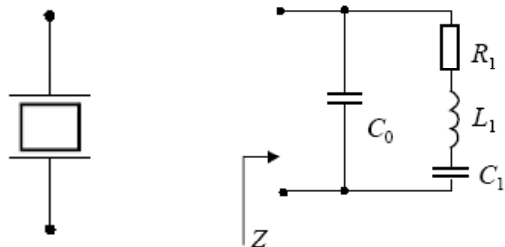
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

2

### 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:

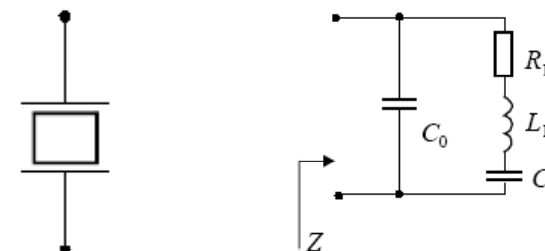


13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

3

### Oscilatori sa kristalom kvarca

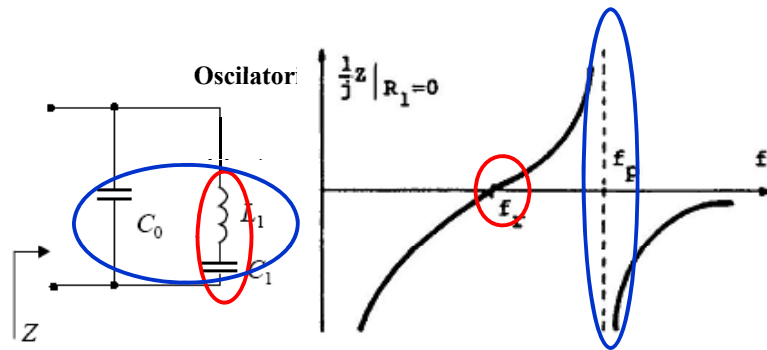


Otpornost  $R_1$  je vrlo mala, tako da se može smatrati da se kristal kvarca ponaša kao čisto reaktivni dvopol, odnosno kao idealno oscilatorno kolo.

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

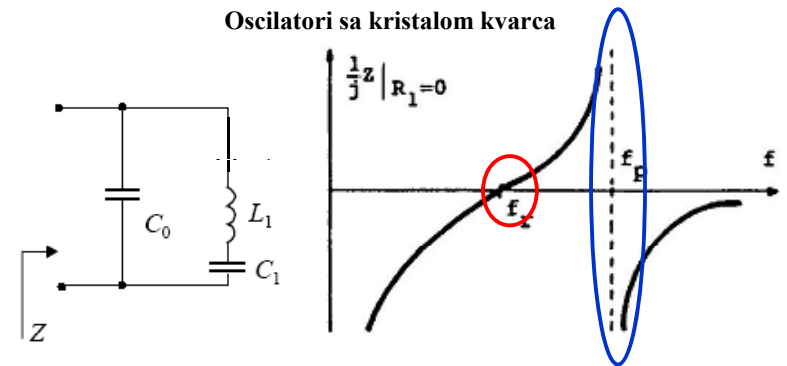
4



**Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:**

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

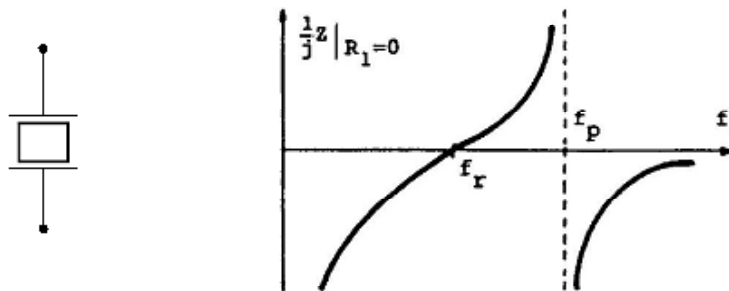
**Oscilatori sa kristalom kvarca**



$f_r$  i  $f_p$  razlikuju se veoma malo zato što 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**.

**Oscilatori sa kristalom kvarca**



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

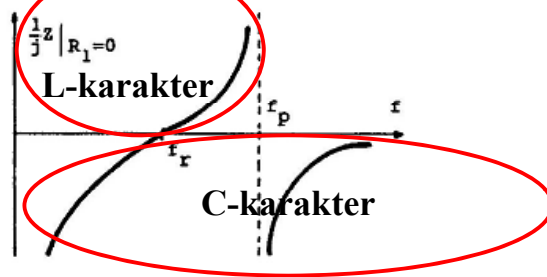
**Mogu se napraviti sa promenljivom frekvencijom ali je stabilnost frekvencije oscilovanja manja.**

**Oscilatori sa kristalom kvarca**

**Brojne vrednosti elementa modela za tri kristala kvarca.**

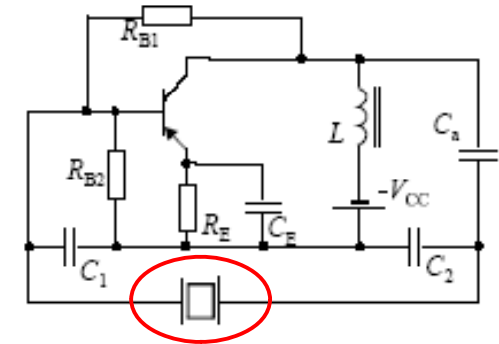
Parametri modela	R1	L1	C1	Co
rezonantna frekvencija	[Ω]	[mH]	[pF]	[pF]
2MHz	82	520	22	4.27
10MHz	25	11.5	12.2	5.4
50MHz	20	5.56	1.82	4

Kristal može da se priključi kao kapacitivnost ili kao induktivnost.



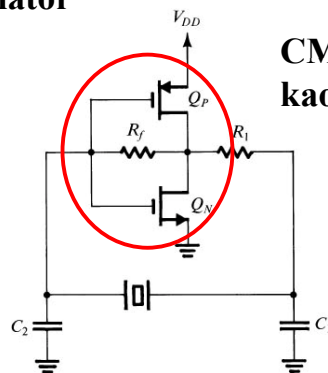
Tada se ostvaruje tzv. *kvarcna kontrola frekvencije oscilovanja*, a frekvencija oscilovanja nije jednaka ni jednoj od rezonantnih frekvencija kristala.

Kolo Colpicovog oscilatora sa kvarcnom kontrolom.



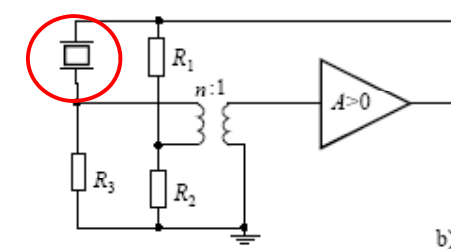
Pirsov (Pierce)oscilator.

Pirsov oscilator



CMOS inverter kao pojačavač

Najpovoljnije da oscilator osciluje na rezonantnoj frekvenciji kristala.



Dobija se velika stabilnost frekvencije oscilovanja uz smanjena izobličenja signala.

## Stabilizacija frekvencije oscilovanja

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

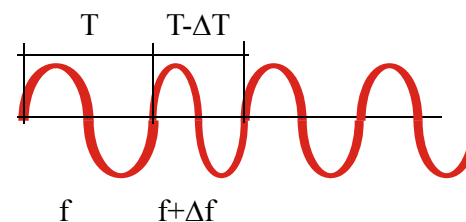
13

## 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.

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



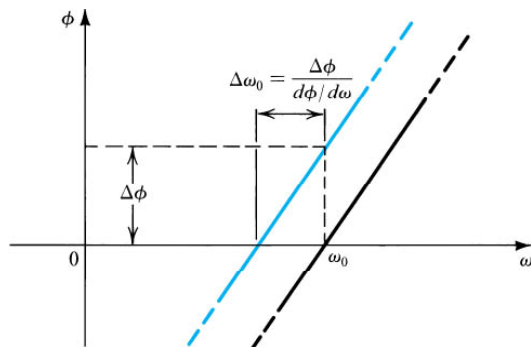
13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

14

## 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.

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

15

## 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.

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

16

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Razlikuju se **nestabilnost** merena na

- **kratkom** ili na
- **dugom intervalu.**

Nestabilnost:

- **nestabilnosti električnih signala** (šumova) i
- **nestabilnosti ambijenta.**

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

**Kratkotrajna nestabilnost električnih signala** posledica je naglih (impulsnih) i kratkotrajnih promena napona napajanja.

**Kratkotrajnaa nestabilnost ambijenta** podrazumeva mehaničke šokove koji u poluprovodničkim i piezoelektričnim komponentama izazivaju dramatične promene električnih osobina.

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

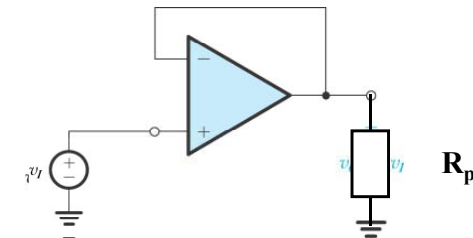
**Uzroci nestabilnosti na dugom intervalu** mogu biti

- **neelektrični** (dominantni)
  - **temperaturska nestabilnost ambijenta i**
  - **starenje komponenata.**
- **električni**
  - **nestabilnost otpornih elemenata,**
  - **nestabilnost napajanja, amplitude i sl.**

**Posebnu** grupu nestabilnosti predstavljaju **uslovi rada** oscilatora.

### 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)

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.

Jedan od načina smanjenja nestabilnosti koja je posledica promena parametra aktivnih elemenata i parazitnih elemenata reaktansi u oscilatorima sa oscilatornim kolima, jeste

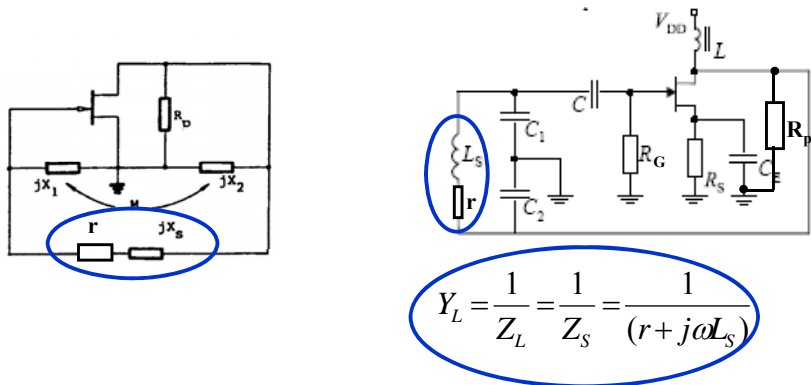
umetanje reaktansi na red sa priključcima aktivnog elementa ili

na red sa otpornikom potrošača.

Karakter i veličina reaktansi bira se tako da omogući potiranje onih sabiraka u izrazu za frekvenciju oscilovanja koji sadrže parametre aktivnog elementa i parazitne elemente oscilatornih kola.

Primer:

Kolpicov oscilator sa FETom u kome je uzeta u obzir parazitna otpornost 'r' kalema 'L<sub>s</sub>'



Primer:

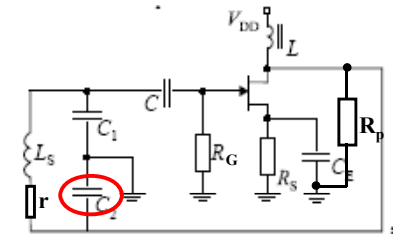
Izraz za frekvenciju oscilovanja glasi

$$\omega' = \sqrt{\frac{1}{L_s C} + \frac{r}{L_s C^2 R}}$$

gde je C ekvivalentna kapacitivnost redne veze C<sub>1</sub> i C<sub>2</sub>

$$C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2);$$

$$a R = R_i \parallel R_p$$

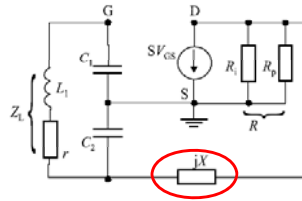


### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Primer:

Da bi se izbegao uticaj  $r$  na  $\omega$ , treba neutralisati  $C_2$  koji figuriše u izrazu. Zato se dodaje  $jX$ .

$$Y(j\omega) = \begin{bmatrix} j\omega C_1 + Y_L & 0 & -Y_L \\ S & \frac{1}{R} - \frac{j}{X} & \frac{j}{X} \\ -Y_L & \frac{j}{X} & \frac{-j}{X} + j\omega C_2 + Y_L \end{bmatrix}$$



$$\frac{1}{X} = \omega C_2 \Rightarrow X = \frac{1}{\omega C_2} = \omega L \Rightarrow L = \frac{1}{\omega^2 C_2}$$

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

25

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

za frekvenciju oscilovanja dobija se

$$\omega_0^2 = \frac{C_1 + C_2}{L_S C_1 C_2}$$

a za uslov oscilovanja

$$S \geq \omega_0^2 C_1 C_2 r + \frac{C_1}{C_2 R}$$

Na ovaj način je obezbeđeno da frekvencija oscilovanja ne zavisi od potrošača i od parametara aktivnog elementa.

\*Ne može se u potpunosti neutralisati uticaj gubitaka jer je izostavljeno razmatranje uticaja parazitnih kapacitivnosti aktivnog elementa.

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

26

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Kako i koliko promena parametara kola utiče na promenu frekvencije oscilovanja?

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

27

### Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Kako i koliko promena parametara kola utiče na promenu frekvencije oscilovanja?

Približni izraz za frekvenciju Colpitz-ovog oscilatora glasi:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_S C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

28

Ukoliko se kapacitivnost promeni za  $\Delta C$  promena frekvencije oscilovanja je

$$\Delta\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L(C+\Delta C)}} - \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \left( \frac{1}{\sqrt{1+\frac{\Delta C}{C}}} - 1 \right)$$

Relativna promena frekvencije je

$$\frac{\Delta\omega_0}{\omega_0} = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{\Delta C}{C}}} - 1 \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C} - 1 = -\frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C}$$

**Dodatak**

Istim postupkom dolazi se i do relativnog priraštaja frekvencije koji je posledica promene induktivnosti

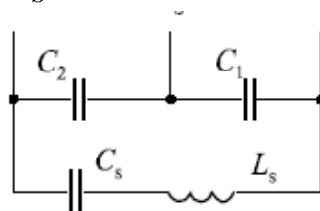
$$\frac{\Delta\omega_0}{\omega_0} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L}$$

Iako je izraz identičan, promena kapacitivnosti značajnije utiče na promenu frekvencije oscilovanja Kolpicovog oscilatora u apsolutnom iznosu od promene induktivnosti.

Ovo je posledica kako promene kapacitivnosti  $C_1$  i  $C_2$  tako i promene parazitnih kapacitivnosti aktivnog elementa.

**Dodatak**

Razmotrimo reaktivni deo Klapp-ovog oscilatora koji nastaje iz Colpitz-ovog oscilatora kada se na red sa  $L_s$  veže kondenzator  $C_s$ .



frekvencija oscilovanja je

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C_e}}$$

**Dodatak**

gde je

$$C_e = \frac{C_s C}{C_s + C} = \frac{C_s \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}{C_s + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}$$

Za velike vrednosti  $C_1$  i  $C_2$ , odnosno  $C \gg C_s$  dobija se  $C_e \approx C_s$ , pri tome vrednost  $L$  nije degradirana.

Promene  $C_1$  i  $C_2$ , izazvaće relativno male promene  $\Delta C_e$ :

$$\Delta C_e = \frac{C_s(C+\Delta C)}{C_s+(C+\Delta C)} - \frac{C_s C}{C_s+C} = \frac{C_s C}{C_s+C} \left( \frac{1+\frac{\Delta C}{C}}{1+\frac{\Delta C}{C_s+C}} - 1 \right)$$



**Dodatak**

## Stabilizacija frekvencije oscilovanja

S obzirom da je  $C_S \ll C$ , relativni priraštaj  $C_e$  manji je od relativnog priraštaja  $C$  i to za odnos  $C_S/C$ :

$$\frac{\Delta C_e}{C_e} = \frac{\frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta C}{C_S + C}}{1 + \frac{\Delta C}{C_S + C}} \approx \frac{\Delta C}{C} - \frac{\Delta C}{C_S + C} = \frac{C_S \Delta C}{C(C_S + C)} \approx \frac{C_S}{C} \cdot \frac{\Delta C}{C^2}$$

Dakle, nestabilnost Klapovog oscilatora usled promene kapacitivnosti, manja je od nestabilnosti Kolpicovog oscilatora.

**Dodatak**

## Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Uslov oscilovanja Klapovog oscilatora jeste da grana koja sadrži  $L_S$  i  $C_S$  ima induktivni karakter.

Klappov oscilator može da se razmatra kao Kolpicov kod koga je ekvivalentna induktivnost definisana sa:

$$L'_S = \frac{1}{\omega_0} \left( \omega_0 L_S - \frac{1}{\omega_0 C_S} \right) = L_S \left( 1 - \frac{1}{\omega_0^2 L_S C_S} \right)$$

Uvođenjem  $C_S$  smanjena je ekvivalentna induktivnost!

Kao posledica toga dobija se manja vrednost za potrebnu strminu aktivnog elementa - što je povoljno.

## Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Da bi se postigla veća stabilnost,  $C_1$  i  $C_2$  treba da budu što veći, a to zahteva aktivni element sa većom strminom (da bi se zadovoljio uslov oscilovanja) što nije moguće uvek postići.

$$\left( S \geq \omega_0^2 C_1 C_2 r + \frac{C_1}{C_2 R} \right)$$

Dalje povećanje stabilnosti postiže se stavljanjem oscilatora u komoru sa konstantnom temperaturom ili upotrebom kristala kvarca, a nekad upotrebom oba rešenja.

## 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.

## Zaključak

### Analiza

Neophodna POZITIVNA povratna sprega  
Barkhausenov uslov

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

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

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

## 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 temperaturnom 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

13. decembar 2011.

37

## 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)

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

39

## 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.

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

40

## Zaključak

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



### Šta smo naučili?

- **Objasniti fizičko značenje uslova oscilovanja i dati matematičku interpretaciju (napisati odgovarajuće izraze).**
- **Pirsov oscilator.**

## Ispitna pitanja



1. **Kolpikov (Colpitts) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).**
2. **Hartlijev (Hartley) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).**
3. **Princip rada oscilatora sa negativnom otpornošću.**
4. **Ekvivalentna šema kristala kvarca.**
5. **Stabilizacija frekvencije oscilacija umetanjem redne impedanse – primer Kolpitzov oscilator.**
6. **Poređenje oscilatora prema frekvencijskom opsegu i mogućnosti menjanja frekvencije**

## Sledećeg časa:

Pojačavači **velikih** signala

## Rešenje 9.1:

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  $R_g=10\text{k}\Omega$ ,  $R_I=1\text{k}\Omega$ ,  $R_2=1\text{M}\Omega$ ,  $R_p=2\text{k}\Omega$ .



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

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

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

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

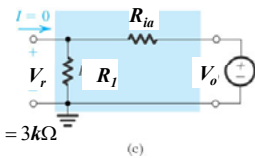
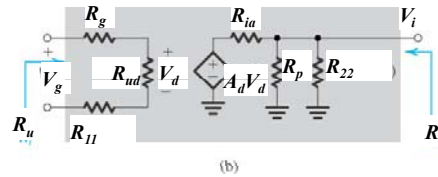
$$1 - A_o B = 1 - 6000(-10^{-3}) = 7$$

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

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

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

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



13. decembar 2011.

Povratna sprega

45

## Rešenje 9.1:

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  $R_g=10\text{k}\Omega$ ,  $R_I=1\text{k}\Omega$ ,  $R_2=1\text{M}\Omega$ ,  $R_p=2\text{k}\Omega$ .



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

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

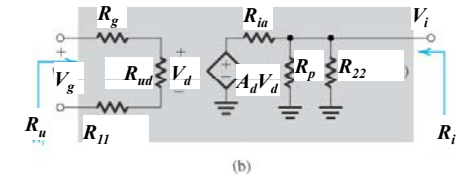
$$R_{ur}' = R_u (1 - A_o B) = 777\text{k}\Omega$$

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

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

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

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



13. decembar 2011.

Povratna sprega

46

## Rešenje 9.2:

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

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

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

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

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

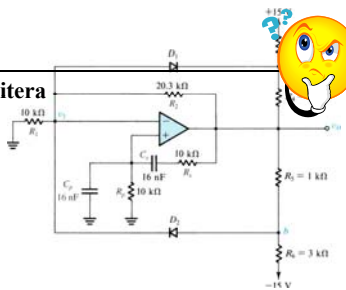
$$3 + sCR + 1/(sCR) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right), \quad \text{zamenom brojnih vrednosti dobija se}$$

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

13. decembar 2011.

Povratna sprega

47



## Rešenje 9.2:

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

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

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

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

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

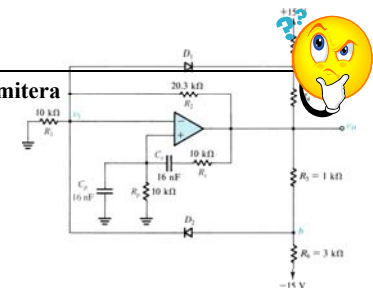
$$\text{Im}\{A(j\omega)B(j\omega)\} = \frac{-j(\omega CR - 1/(\omega CR))(1 + \frac{R_2}{R_1})}{3^2 + (\omega CR - 1/(\omega CR))^2} = 0, \Rightarrow \omega CR - 1/(\omega CR) = 0;$$

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

13. decembar 2011.

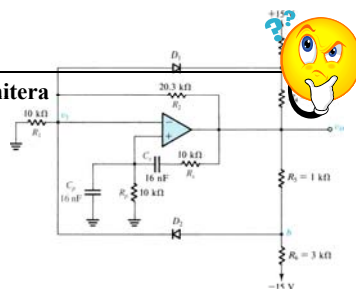
Povratna sprega

48



## Rešenje 9.2:

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



D2 provede za maksimalni napon u tač t "b"

$$V_b = V_I + V_D$$

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

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

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

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

$$\left( \frac{3}{4} - \frac{10}{30,3} \right) V_{o \max} = +0,7 - \frac{1}{4} (-15) \Rightarrow V_{o \max} = 10,68V, \text{ zbog simetrije } D1, \text{ će provesti pri } V_{o \min} = -10,68V$$

tako da je :

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

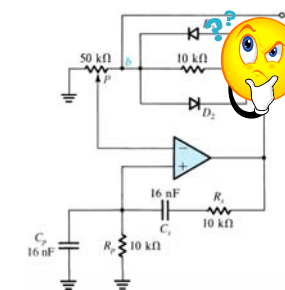
13. decembar 2011.

Povratna sprega

49

## Rešenje 9.3:

- a) Odrediti položaj potenciometra pri kome se uspostavljaju oscilacije  
 b) Naći frekvenciju oscilovanja



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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

50

## Dodatak

### Stabilizacija amplitude oscilovanja

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

51

## Dodatak

### 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.

O tome je bilo reči ranije (Oscilator sa vinovim mostom).

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

52

**Dodatak**

## Stabilizacija amplitude oscilovanja

## Stabilizacija amplitude oscilacija:

- automatska regulacija pojačanja (ARP);  
ili
- upotreba nelinearnih elemenata u kolu

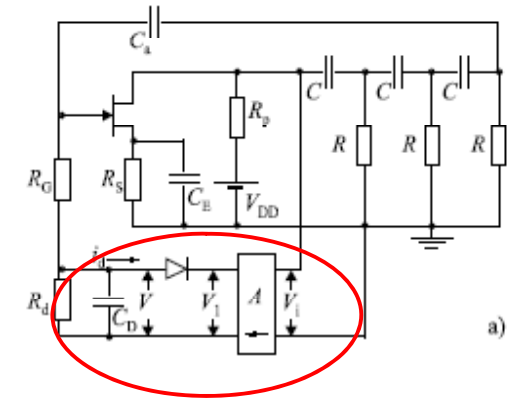
13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

53

**Dodatak**

## Stabilizacija amplitude oscilovanja

Stabilizacija amplitude oscilovanja primenom  
automatske regulacije pojačanja (ARP)

13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

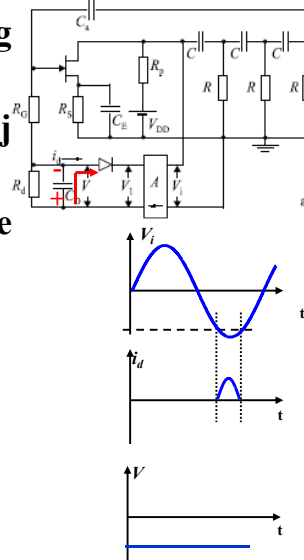
54

**Dodatak**

## Stabilizacija amplitude oscilovanja

Princip rada automatskog  
prednapona:

- Za  $V_1 > V_\gamma$  diode, pri negativnoj poluperiodi, teče struja  $i_d$ ,
- $C_D$  se puni do određene negativne vrednosti,
- na  $R_d$  je negativni napon.
- RT aktivnog elementa postavi se na željenu vrednost ( $V_{GS} < 0$ ),
- Za ostalo vreme, dioda je zakočena, a C se sporo prazni preko velikog  $R_d$  i  $R_o$ .



13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

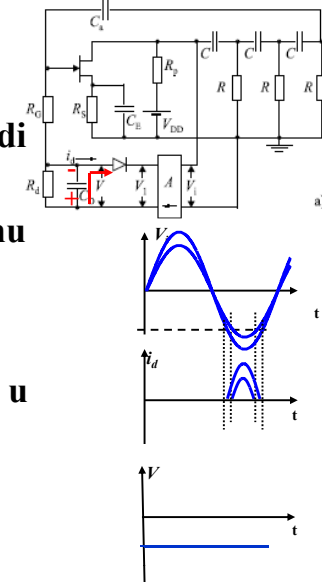
55

**Dodatak**

## Stabilizacija amplitude oscilovanja

## Ako amplituda oscilacija raste:

- poraste i amplituda  $V_1$ ;
- pri negativnoj poluperiodi poraste ugao protoka struje  $i_d$ ,
- $C_D$  se dopuni na veću negativnu vrednost,
- na  $R_d$  je negativniji napon,
- RT aktivnog elementa pomera se u oblast manje strmine,
- smanjuje se pojačanje,
- smanjuje se amplituda oscilacija.



13. decembar 2011.

Oscilatori prostoperiodičnih  
oscilacija

56

**Dodatak**

Treba voditi računa o upotrebljenoj vrednosti kondenzatora u RC kolu:

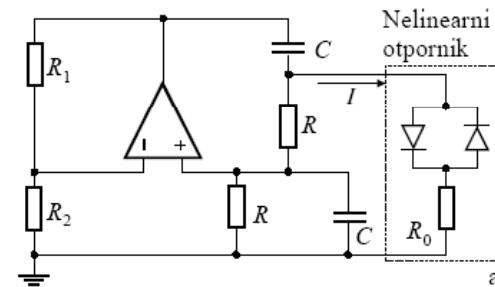
- male vrednosti neće doprineti stabilizaciji
- velike vrednosti mogu izazvati prestanak oscilacija.

Ako je vremenska konstanta pražnjenja  $R_S C_E$  mnogo veća od periode signala, kondenzator se neće prazniti za vreme dok aktivna komponenta ne vodi; u toku narednog intervala, kada komponenta vodi, dopuniće se na negativnu vrednost, što ima za posledicu sve dublje zakočenje tranzistora i pored toga što amplituda oscilacija ne raste već opada.

**Dodatak**

Stabilizacija amplitude oscilovanja primenom nelinearnih elemenata

– primer oscilator sa Vinovim mostom



Treba obezbediti ograničenje velikih signala.

**Dodatak**

Stabilizacija amplitude oscilovanja primenom nelinearnih elemenata.

