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 (21.01.2019.)	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!

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 (20.01.2018.)	**50%**	**20%**
	120%	**60%**



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

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

Sadržaj

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

Namena

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

Klasifikacija:

Oscilatori prostoperiodičnih osciacija linearni

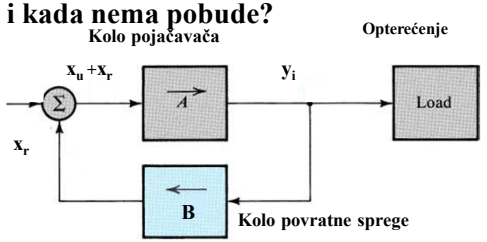
Oscilatori složenoperodičnih oscilacija

– generatori funkcija



Princip rada

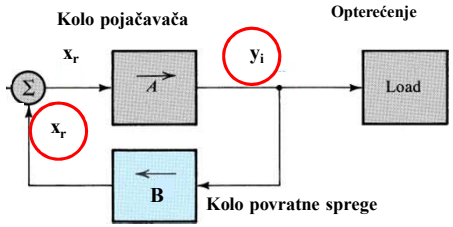
KAKO Oscilatori generišu signal na izlazu i kada nema pobude?



Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.

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

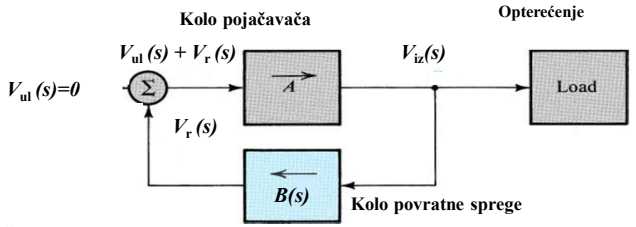
$x_u=0$



Opšta struktura oscilatora

$y_i=Ax_r$; $x_r = By_i$; ⇨ $y_i=ABy_i$; ⇨ $AB=1$

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

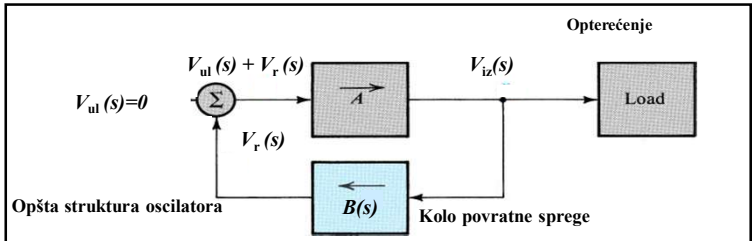


Opšta struktura oscilatora

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

$V_{iz}(s)=A(V_{ul}(s)+V_r(s))$; $V_r(s)=BV_{iz}(s)$; ⇨ $V_{iz}(s)=A(V_{ul}(s)+BV_{iz}(s))$

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



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

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

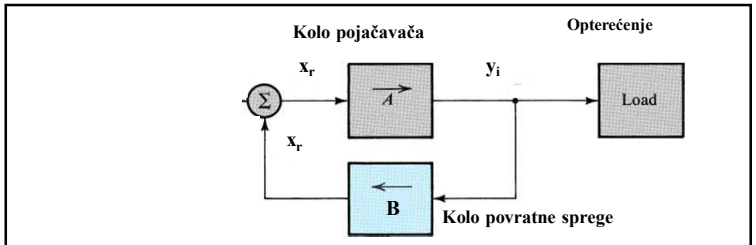
⇩

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

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

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

$$A=1/B$$



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

Sadrži dva uslova

$\mathrm{Im}\{A(s)B(s)\} = 0$

signali su u fazi

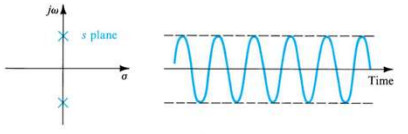
$\mathrm{Re}\{A(s)B(s)\} = 1$

Signal je „održiv“ : niti se pojačava, niti slabi (stabilnost)

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

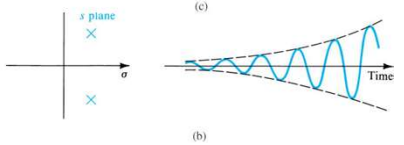
$\mathrm{Re}\{A(s)B(s)\} = 1$

Amplituda stabilna



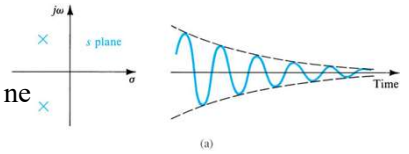
$\mathrm{Re}\{A(s)B(s)\} > 1$

Amplituda raste dok ne uđe u zasićenje



$\mathrm{Re}\{A(s)B(s)\} < 1$

Amplituda slabi, dok se ne priguše oscilacije



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

Im{ *A(s)B(s)*} = 0 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**

Oscilatori

Analiza u 2 koraka:

- Analiza u s-domenu - linearna

- Analiza kontrole amplitude - nelinearna

Prvi korak

Za matematičare:

analiza se svodi na određivanje korenova karakteristične jednačine

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

i/ili

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

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

($1 - B(s)A(s) \to 0$)

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

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

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).

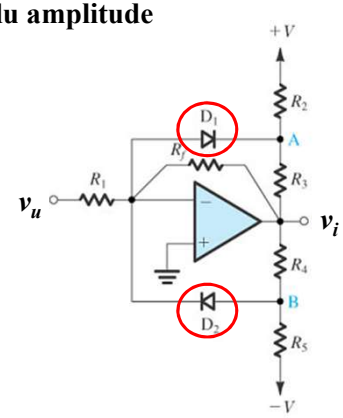
Rast amplitude dovodi radnu tačku u nelinearni deo karakteristika aktivnog elementa, (npr. zaravnjeni vrh signala).

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



Drugi korak

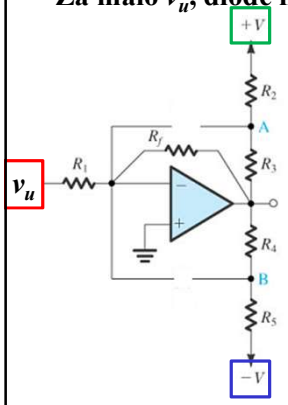
Kolo za kontrolu amplitude



Kolo za kontrolu amplitude

Za malo v_u, diode inverzno polarisane, V_i=?





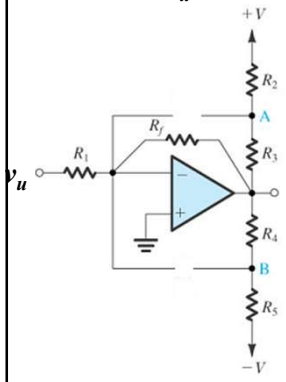
Metod superpozicije

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

$$V_i = -(R_f/R_1)v_u +$$
$$+ (R_4+R_5)/(R_2+R_3+R_4+R_5)V +$$
$$+ (R_2+R_3)/(R_2+R_3+R_4+R_5)(-V)$$

Kolo za kontrolu amplitude

Za malo v_u, diode inverzno polarisane, V_i=?



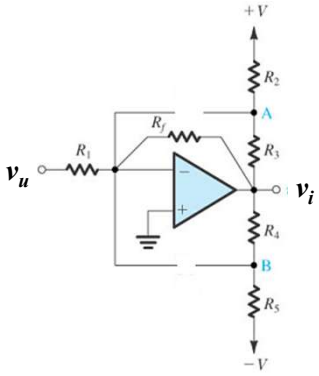
$$V_i = -(R_f/R_1)v_u +$$
$$+ (R_4+R_5)/(R_2+R_3+R_4+R_5)V +$$
$$+ (R_2+R_3)/(R_2+R_3+R_4+R_5)(-V)$$

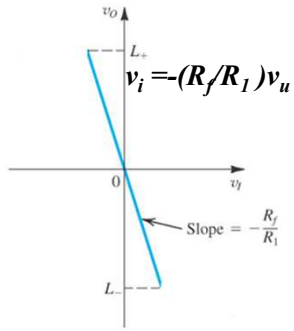
za $R_2=R_5$ i $R_3=R_4$

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

Kolo za kontrolu amplitude

Za malo v_u, diode inverzno polarisane

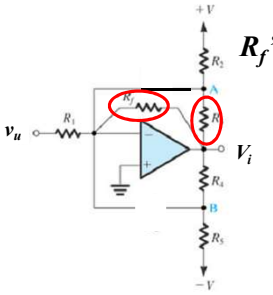


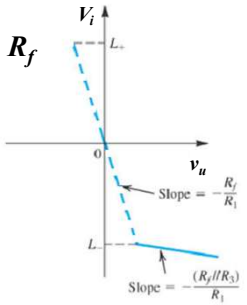


$$v_i = -(R_f/R_1)v_u$$

Kolo za kontrolu amplitude

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



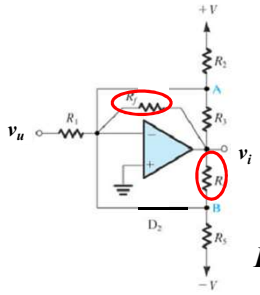


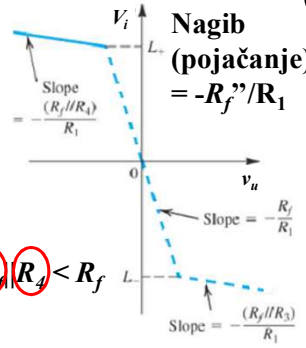
$$R_f' = R_f \| R_3 < R_f$$

Nagib (pojačanje) = $-R_f'/R_1$

Kolo za kontrolu amplitude

Za negativno v_u, v_i poraste, tako da D2 provede

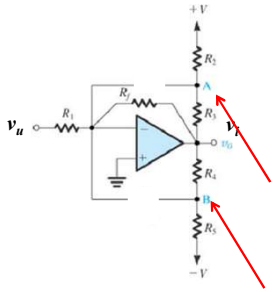




Nagib (pojačanje) = $-R_f''/R_1$

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

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:

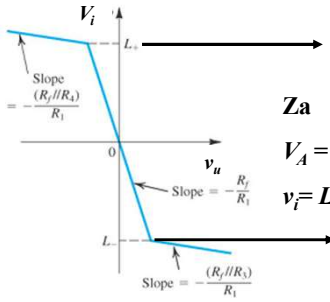
$$V_A = VR_3/(R_2+R_3) + v_iR_2/(R_2+R_3)$$

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

$$V_B = -VR_4/(R_4+R_5) + v_iR_5/(R_4+R_5)$$

Kolo za kontrolu amplitude

Za $V_B = -VR_4/(R_4+R_5) + v_iR_5/(R_4+R_5) = V_\gamma$, $v_i = L_+$



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

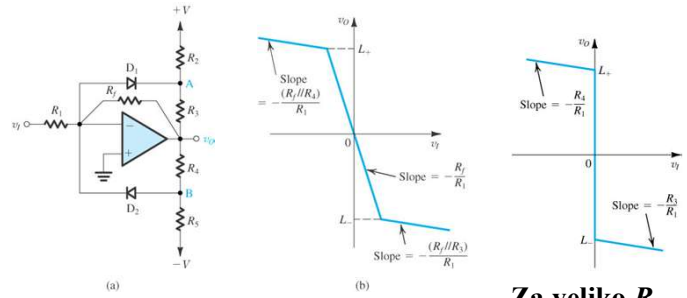
Za

$$V_A = VR_3/(R_2+R_3) + v_iR_2/(R_2+R_3) = -V_\gamma$$

$v_i = L_-$

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

Kolo za kontrolu amplitude



Za veliko R_f

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

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,**
- **Ocilatori sa oscilatornim kolima - LC oscilatori**
- **Ocilatori sa kristalom kvarca**

Oscilatori

U ovom kursu – linearni oscilatori



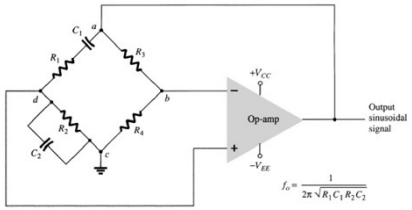
Tipovi:

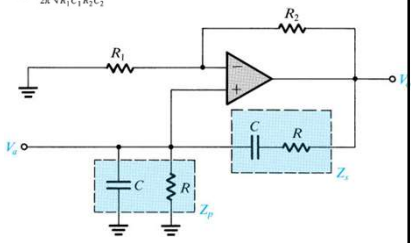
- **RC oscilatori**
  - **Vinov most**
  - **Fazni pomeraj**
- **Oscilatori sa oscilatornim kolima**
  - **Kolpicov**
  - **Hartlejev**
  - **sa induktivnom spregom**
  - **sa negativnom otpornošću...**
- **Oscilatori sa kristalom kvarca (Pirsov)**

RC oscilatori (10Hz – x100kHz)

- **Oscilator sa Vinovim mostom**
- **Oscilator faznog pomeraja**

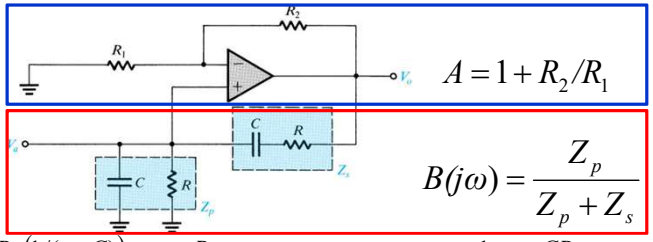
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)





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





$A = 1 + R_2/R_1$

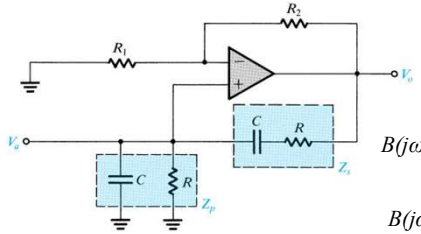
$$B(j\omega) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s}$$

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

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



Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



$$A = 1 + R_2/R_1$$

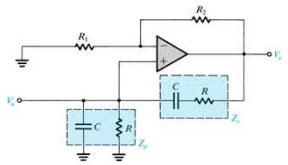
$$B(j\omega) = \frac{j\omega CR}{j\omega CR + (1 + j\omega CR)^2}$$

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

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

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

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



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

$AB(j\omega)=1$

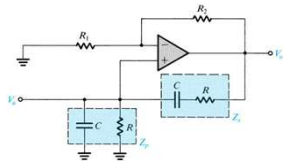
Im{$AB(j\omega)$}=0;



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

$$\omega_o = 1/(RC)$$

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:

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

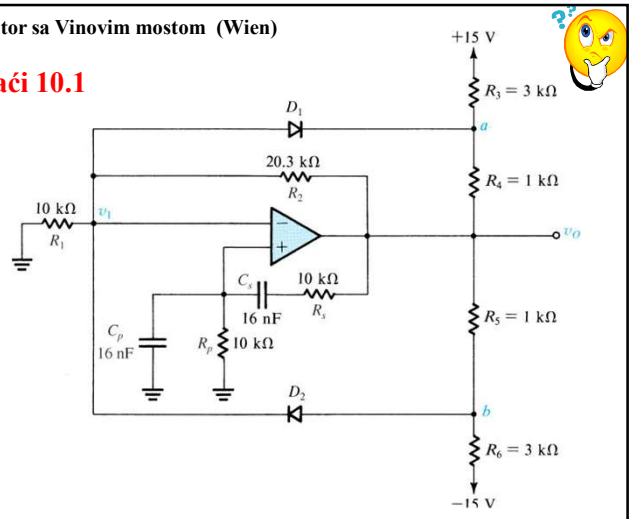
Za $\omega_o = 1/(RC)$

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

$$R_2/R_1 = 2$$

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

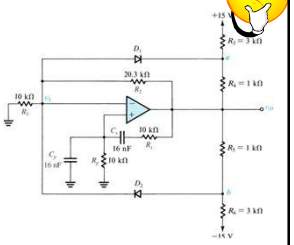
Domaći 10.1



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

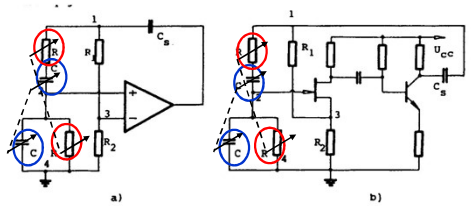
[f_o=1kHz]

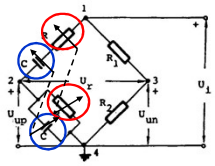
c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je V_D=0.7V

[21.36Vpp]

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Za one koji žele da nauče više





f se podešava u opsegu

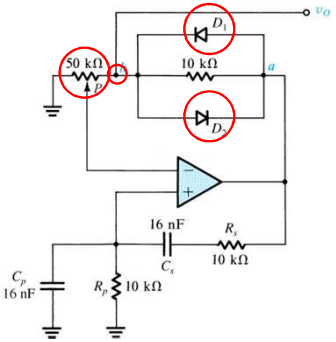
xHz-x MHz

R – grubo podešavanje

C – fino podešavanje

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

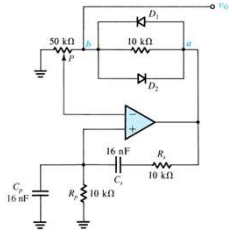




Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



Domaći 10.2



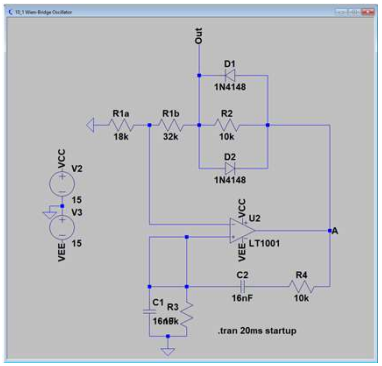
a) Odrediti položaj potenciometra pri kome se uspostavljaju oscilacije

[20kΩ]

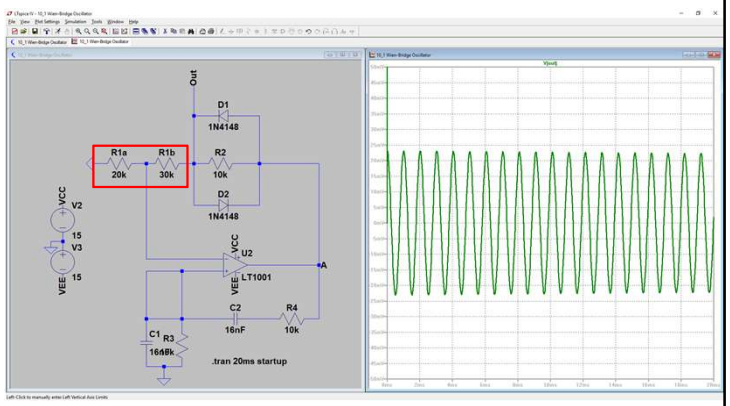
b) Naći frekvenciju oscilovanja

[f_o=1kHz]

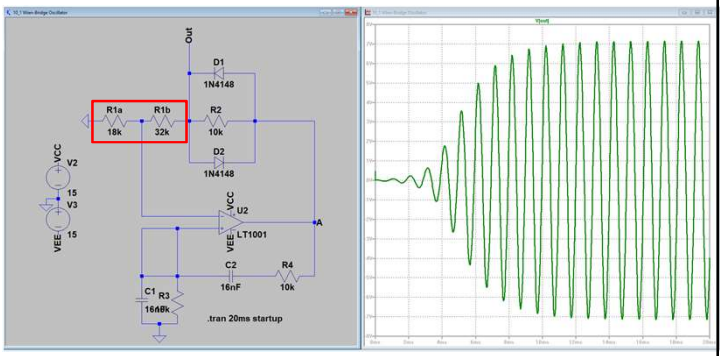
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



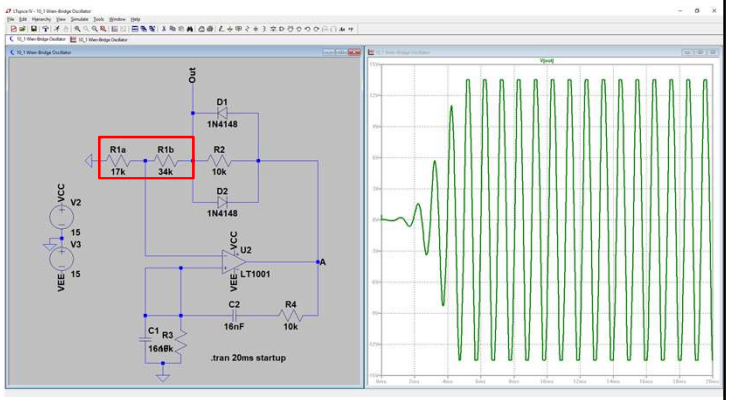
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



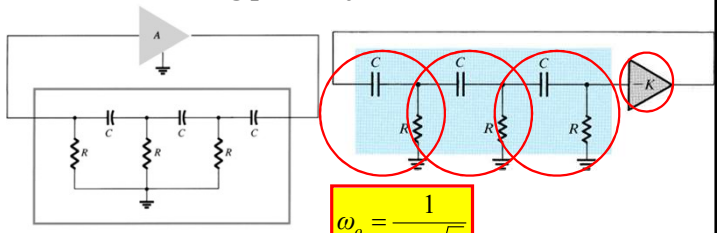
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



Oscilator faznog pomeraja



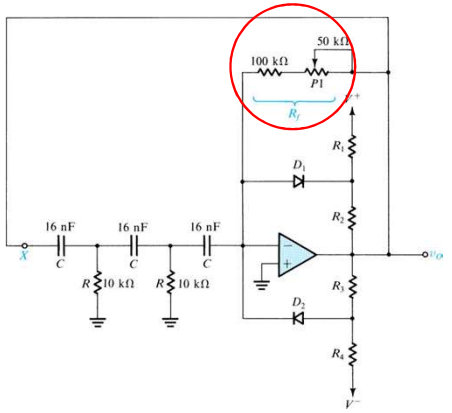
$$\omega_o = \frac{1}{RC\sqrt{6}}$$

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

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

Oscilator faznog pomeraja

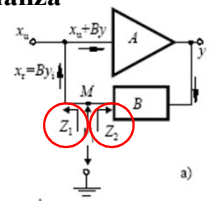
Praktična realizacija



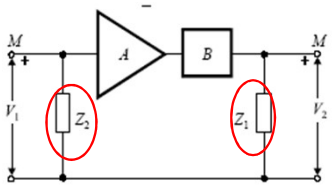
Oscilator faznog pomeraja

Za one koji žele da nauče više

Analiza



Prekine se kolo u nekoj tački M



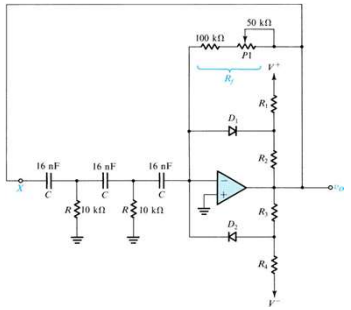
AB = V_2/V_1

Oscilator faznog pomeraja

Za one koji žele da nauče više

Primer 3.

(za vežbu kod kuće)

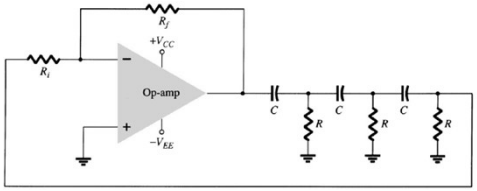


a) Odrediti kružno pojačanje kola bez limitera
[$AB=\omega^2C^2RR_f/[4+j(3\omega RC-1/(\omega RC))$]

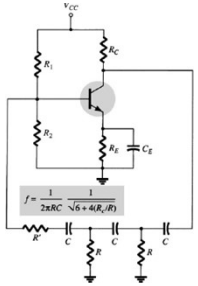
b) Odrediti frekvenciju oscilovanja i minimalnu vrednost R_f pri kojoj će se uspostaviti oscilacije
[f_o = 574.3Hz, R_{fmin}=120 kΩ]

Oscilator faznog pomeraja

Primer realizacije



sa diskretnim komponentama



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)

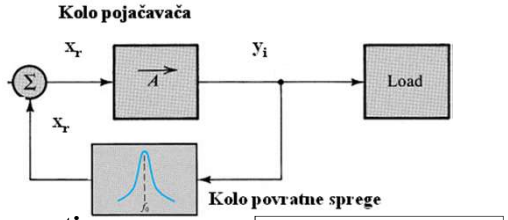
Gornja granična frekvencija ograničena vrednostima elemenata kola i graničnim frekvencijama aktivnih elemenata do 100kHz.

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

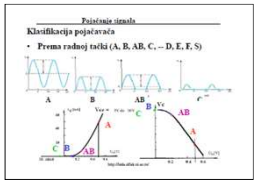
Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

(100kHz – 100MHz)

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

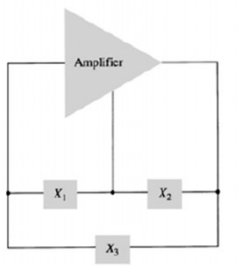


Aktivni elementi rade u *klasi C* zbog većeg stepena iskorišćenja i većeg broja harmonika



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

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



	X_1	X_2	X_3
Collpitc	C	C	L
Hartley	L	L	C

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

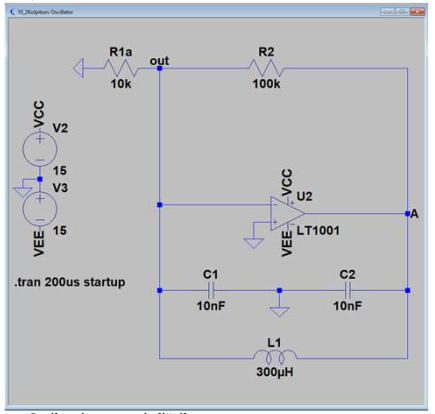
Odnos X_1 i X_2 određuje jačinu povratne sprege

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolpicov (Colpitts)

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

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

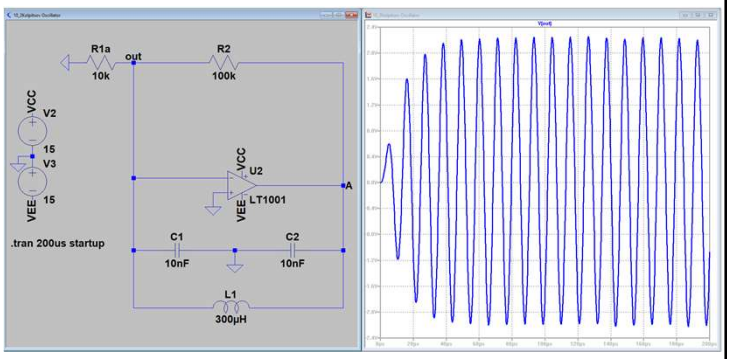


Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolpicov (Colpitts)

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

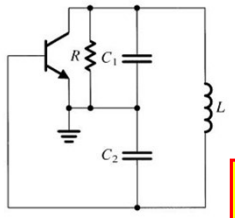
$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Za one koji žele da nauče više

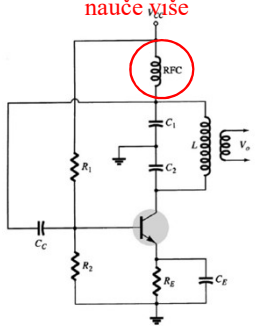
Kolpicov (Colpitts)



Kolo za AC signal

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

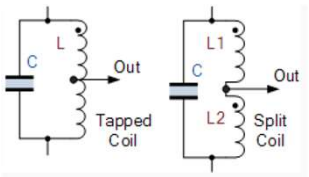
$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

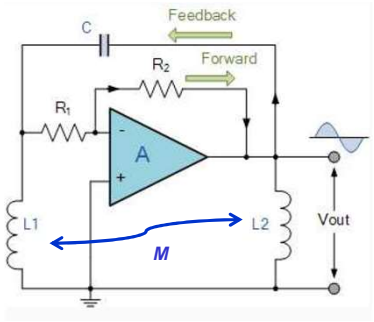


Kompletno kolo

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hartlijev (Hartley)



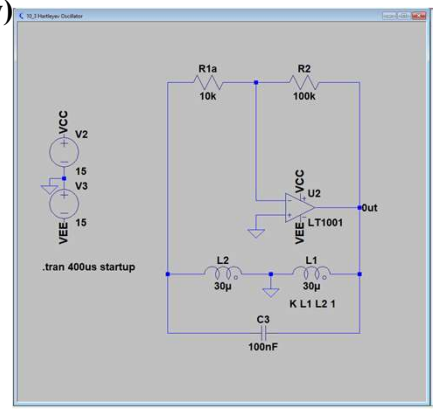


$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C}}$$

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

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hartlijev (Hartley)



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

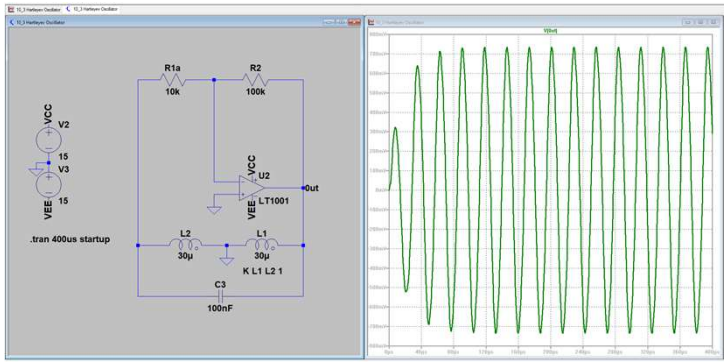
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hrtlijev (Hartley)

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

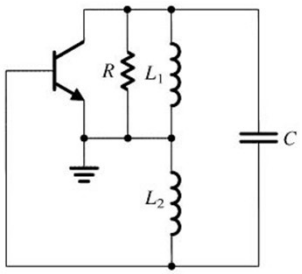
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$

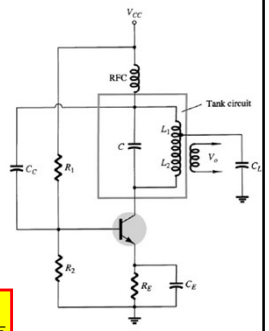


Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Za one koji žele da nauče više

Hartlijev (Hartley)



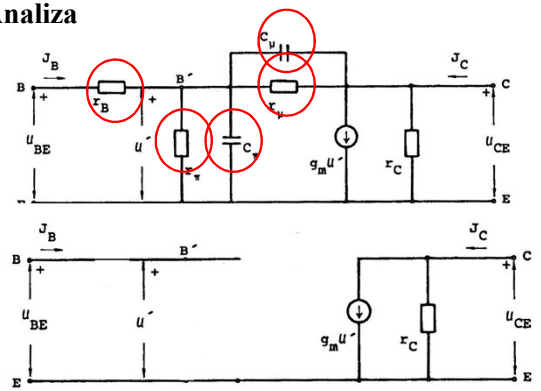


$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C}}$$

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

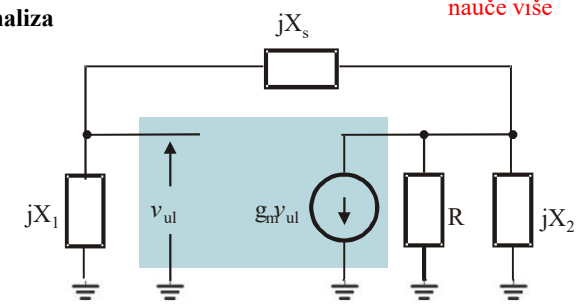
Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori) Za one koji žele da nauče više

Analiza



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

Analiza

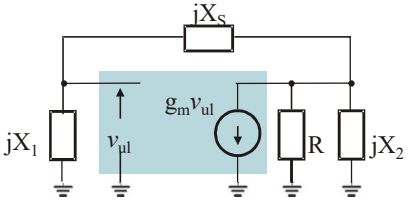


$$\Delta = \begin{vmatrix} -j/X_1 - j/X_s & j/X_s \\ j/X_s + g_m & -j/X_2 - j/X_s + 1/R \end{vmatrix} = 0$$

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

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 !!!

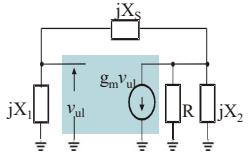
Moguće kombinacije, $X_1 = C_1, X_2 = C_2, X_s = L_s$ ili

$X_1 = L_1, X_2 = L_2, X_s = C_s$ ili druge

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

Analiza

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



$$\Delta = 0$$

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

Uslov oscilovanja

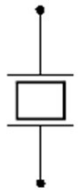
$X_s = -(X_1 + X_2)$ **frekvencija oscilovanja**

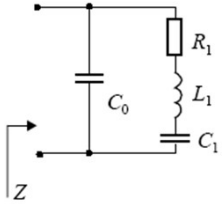
Oscilatori sa kristalom kvarca

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.

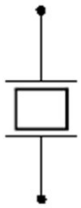
Pobuđen naizmeničnim signalom, kristal kvarca *ponaša* se kao el. impedansa:

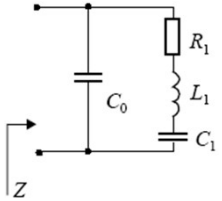




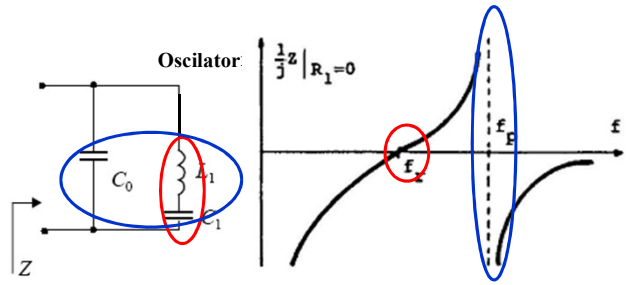


Oscilatori sa kristalom kvarca





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.



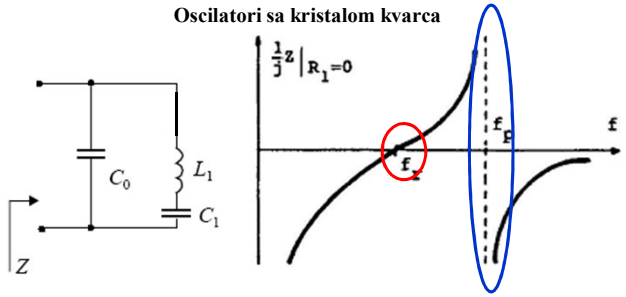
Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:

- **rednu (grana L_1C_1)** $\omega_r = 1/\sqrt{L_1C_1}$

  i

- **paralelnu (zaptivno kolo)** $\omega_p = 1/\sqrt{L_1\frac{C_0C_1}{C_0+C_1}}$

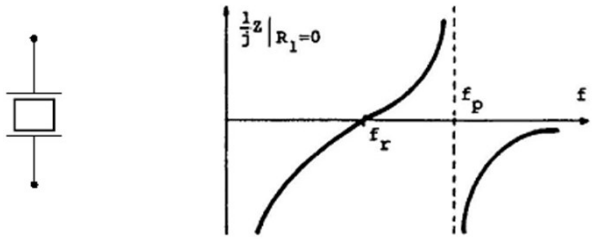
Oscilatori sa kristalom kvarca



f_r i f_P razlikuju se veoma malo kada je C_0>>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.

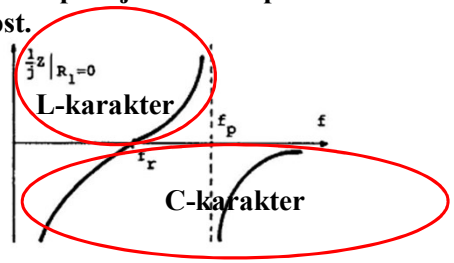
Oscilatori sa kristalom kvarca

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

Oscilatori sa kristalom kvarca

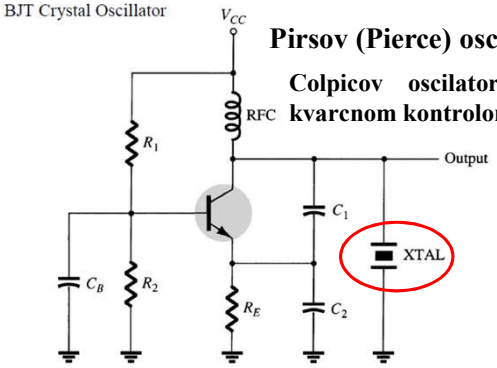
Kristal može da se priključi kao kapacitivnost ili kao induktivnost.



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

Oscilatori sa kristalom kvarca

Paralelno.

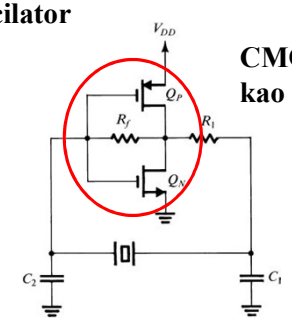


Pirsov (Pierce) oscilator.

Colpicov oscilator sa kvarcnom kontrolom.

Oscilatori sa kristalom kvarca

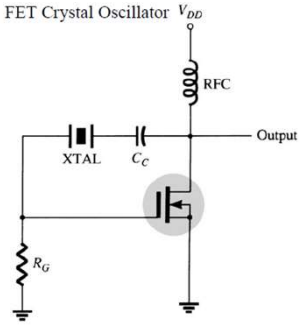
Pirsov oscilator



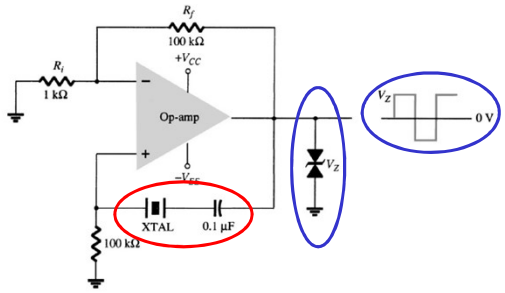
CMOS invertor kao pojačavač

Oscilatori sa kristalom kvarca

Redno

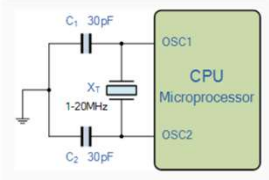


Oscilatori sa kristalom kvarca



Oscilatori sa kristalom kvarca

Primena u generatorima taktnog signala za mikroprocesore



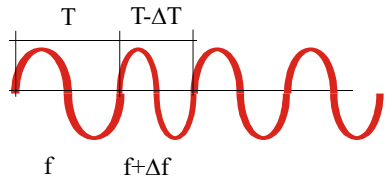
Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Frekvencija oscilovanja menja se u vremenu.

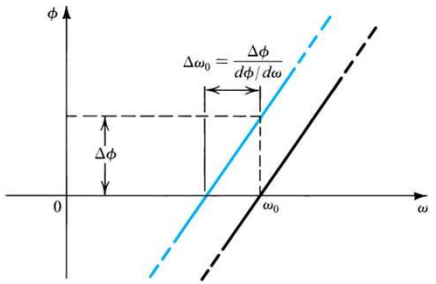
Stabilnost frekvencije određuje se kao količnik priraštaja frekvencije u datom vremenskom intervalu i nominalne vrednosti frekvencije.

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



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.

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

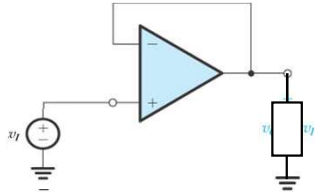
Parametri aktivnog elementa menjaju vrednosti zbog promene položaja radne tačke (promena napona napajanja i/ili temperature).

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

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Smanjenje nestabilnosti usled promene otpornosti potrošača u kolu postiže se vezivanjem potrošača preko

razdvojnog stepena (bafera) čija je ulazna otpornost velika.



R_p

(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

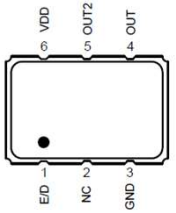
Stabilizacija frekvencije oscilovanja

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: ±20ppm, ±25ppm, ±50ppm, or ±100ppm
- Supply voltage: 1.8V, 2.5V, or 3.3V
- Phase jitter (1.875MHz to 20MHz): 100fs typical
- Phase jitter (12kHz to 20MHz): 300fs typical
- Package options: 5.0mm x 3.2mm x 1.2mm (JS6)
  7.0mm x 5.0mm x 1.3mm (JU6)
- Operating temperatures: -20°C to +70°C or -40°C to +85°C



6-pin CLCC

Zaključak

Analiza

Neophodna POZITIVNA povratna sprega
Barkhauzenov uslov
A(s)B(s)=1
- frekvencija oscilovanja Im{A(s)B(s)}=0
- uslov oscilovanja Re{A(s)B(s)}=1

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)**

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 haromijskih komponenti i nestabilnost frekvencije.

Velika stabilnost frekvencije zahteva stabilnu amplitudu oscilacija.

Zaključak

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

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (26.11.2018.)	50%	20%
Kolokvijum II (21.01.2019.)	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)



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.**

Ispitna pitanja

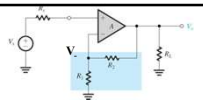
1. **Tipovi linearnih oscilatora.**
2. **Stabilizacija amplitude oscilacija kod oscilatora sa vinovim mostom.**
3. **Frekvencija i uslov oscilovanja oscilatora sa faznim pomerajem**
4. **Kolpicov (Colpitts) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).**
5. **Hartlijev (Hartley) oscilator (električna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

Sledeće nedelje:

Pojačavači velikih signala

Domaći 9.1

Rešenje:



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

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

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

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

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

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

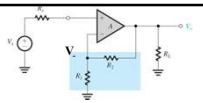
d) $A_r = \frac{A}{1-AB} = 50; \quad A_r' = \frac{0.8A}{1-0.8AB}$

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

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

Domaći 9.2

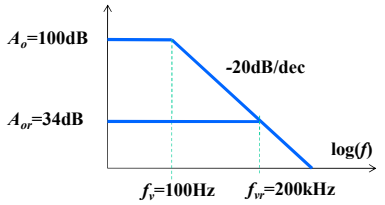
Rešenje:



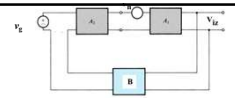
$A_{ro} = \frac{A_o}{1-A_oB} = 50;$

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

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



Domaći 9.3



Rešenje:

Bez pretpojačavača:

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

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

Sa pretpojačavačem:

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

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

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

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

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

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

Domaći 9.4 Rešenje:

Operacioni pojačavač sa slike ima diferencijalno pojačanje A_d=80dB, konačnu ulaznu otpornost R_{ud}=100kΩ i izlaznu otpornost R_{ia}=1kΩ . Odrediti A_r=V_i/V_g, R_{ur}, i R_{ir}. Poznato je R_g=10kΩ, R_1= 1kΩ , R_2=1MΩ R_p= 2kΩ.

$$R_{11} = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} \approx 1k,\quad R_{22} = R_1 + R_2 \approx 1M$$

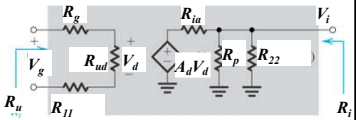
$$A_o = \frac{V_i}{V_g} = \frac{V_i}{V_d}\frac{V_d}{V_g} = \frac{A_d(R_p \| R_{22})}{(R_{ia} + R_p \| R_{22})}\frac{R_{ud}}{R_g + R_{11} + R_{ud}}$$

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

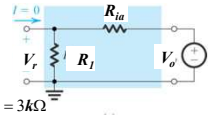
$$B = -\frac{V_r}{V_o} = -\frac{R_1}{R_1+R_2} \approx -10^{-3}$$

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

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



(b)



(c)

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

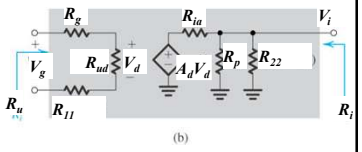
$$R_{ir}' = \frac{R_i}{1-A_oB} = \frac{3000}{7} = 428\Omega$$

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

Domaći 9.4 Rešenje:

Operacioni pojačavač sa slike ima diferencijalno pojačanje A_d=80dB, konačnu ulaznu otpornost R_{ud}=100kΩ i izlaznu otpornost R_{ia}=1kΩ . Odrediti A_r=V_i/V_g, R_{ur}, i R_{ir}. Poznato je R_g=10kΩ, R_1= 1kΩ , R_2=1MΩ R_p= 2kΩ.

$$R_{11} = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} \approx 1k,\quad R_{22} = R_1 + R_2 \approx 1M$$



(b)

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

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

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

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

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

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