Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija

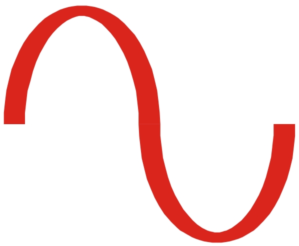
Sadržaj

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

Namena

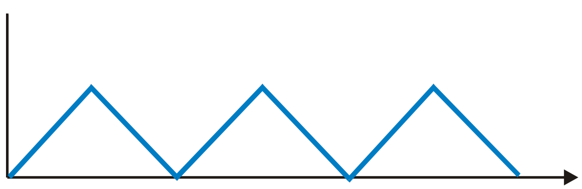
Oscilator je električno kolo koje generiše signal određene frekvencije pretvarajući jednosmernu električnu energiju u naizmeničnu.

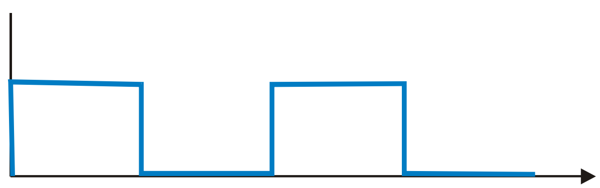
Klasifikacija:

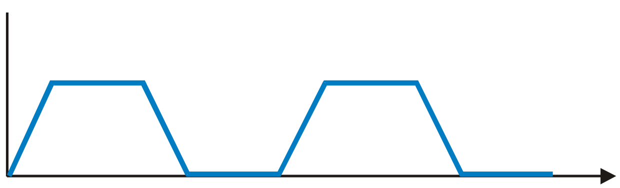


1) Oscilatori prostoperiodičnih osciacija - linearni

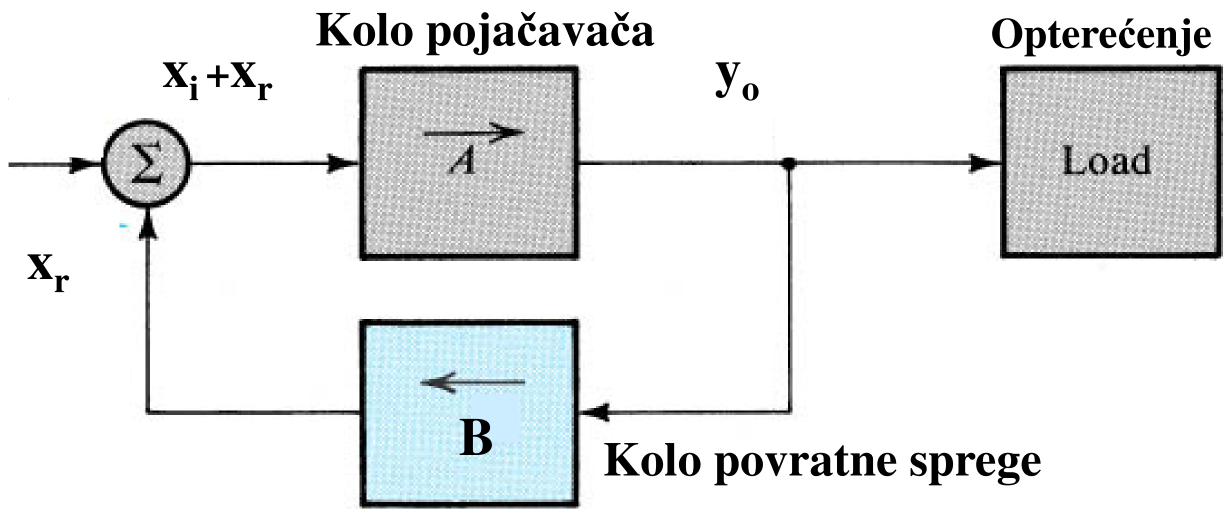
2) Oscilatori složenoperodičnih oscilacija







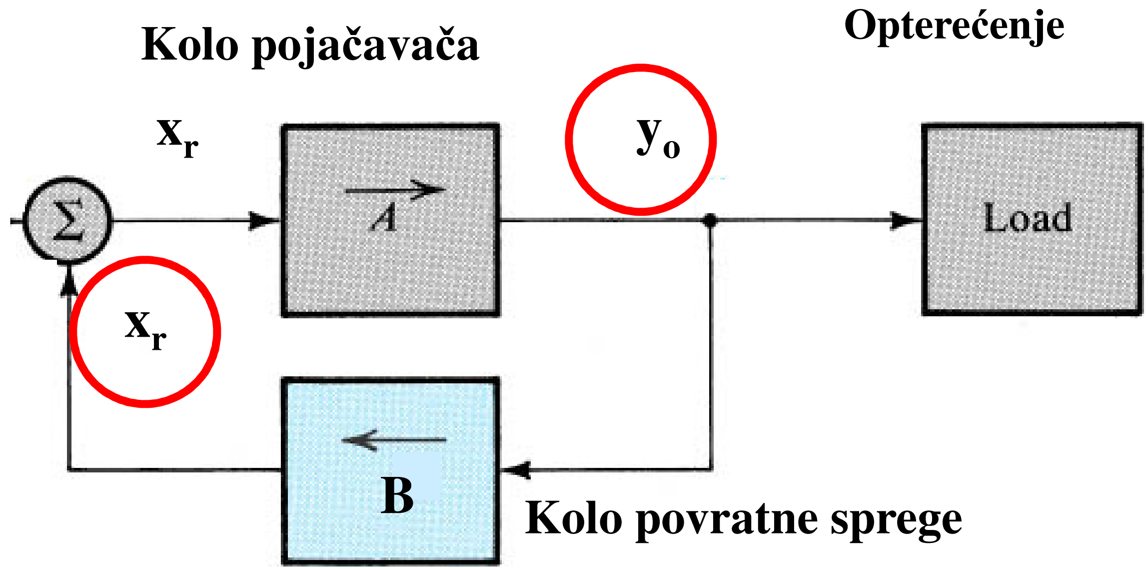
KAKO Oscilatori generišu signal na izlazu i kada nema pobude?



Opšta struktura pojačavača sa povratnom spregom.

$$A = y_o/(x_i + x_r); \qquad B = x_r / y_o; \qquad A_r = y_o/x_i;$$

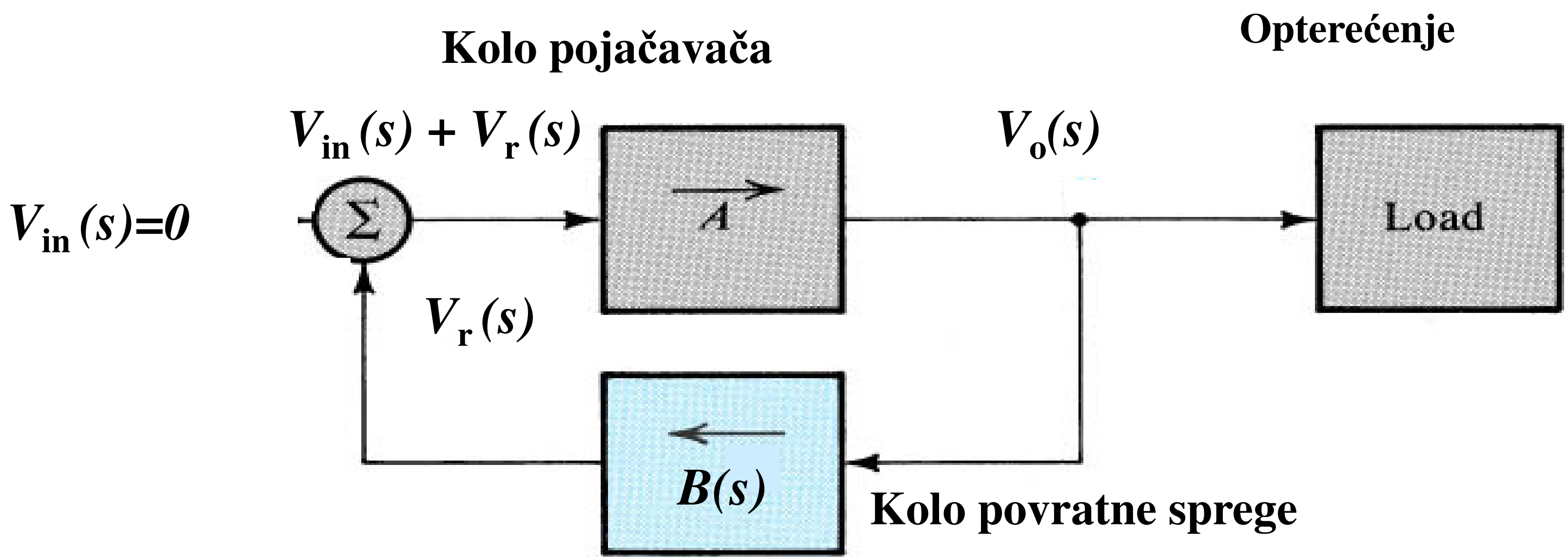
Nema pobudnog signala jer kolo pobuđuje samo sebe $x_i = 0$



Opšta struktura oscilatora

$y_o = Ax_r$ $x_r = By_o$ $\Rightarrow$ $y_o = A \cdot B \cdot y_o$ $\Rightarrow$ $A \cdot B = 1$

Dakle, ako je AB=1, signal y_o postoji i kada nema pobudnog signala !!!



Opšta struktura oscilatora

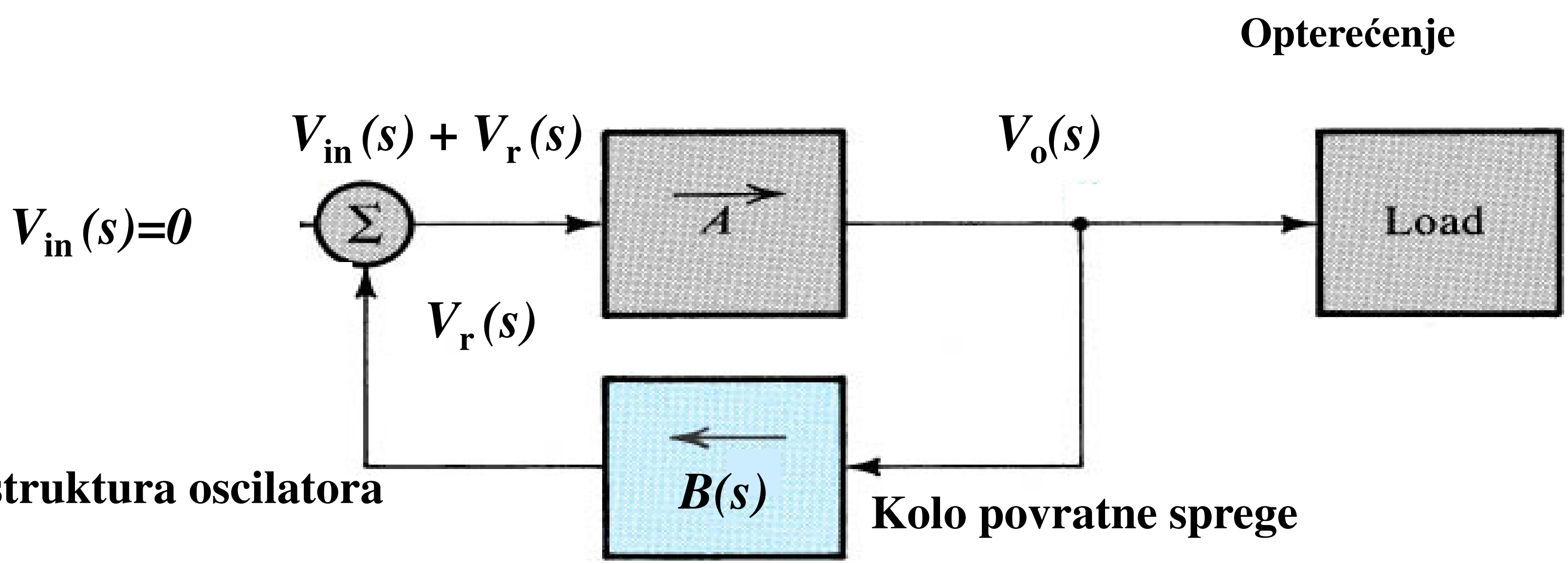
U frekvencijskom domenu $s=j\omega=j2\pi f$

$$V_o(s)=A(V_{in}(s)+V_r(s)); \quad V_r(s)=BV_o(s); \quad \Rightarrow \quad V_o(s)=A(V_{in}(s)+BV_o(s))$$

$$\Downarrow$$

Pojačanje kola sa povratnom spregom u frekvencijskom domenu.

$$A_r(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}=\frac{A(s)}{1-A(s)\cdot B(s)}$$



Opšta struktura oscilatora

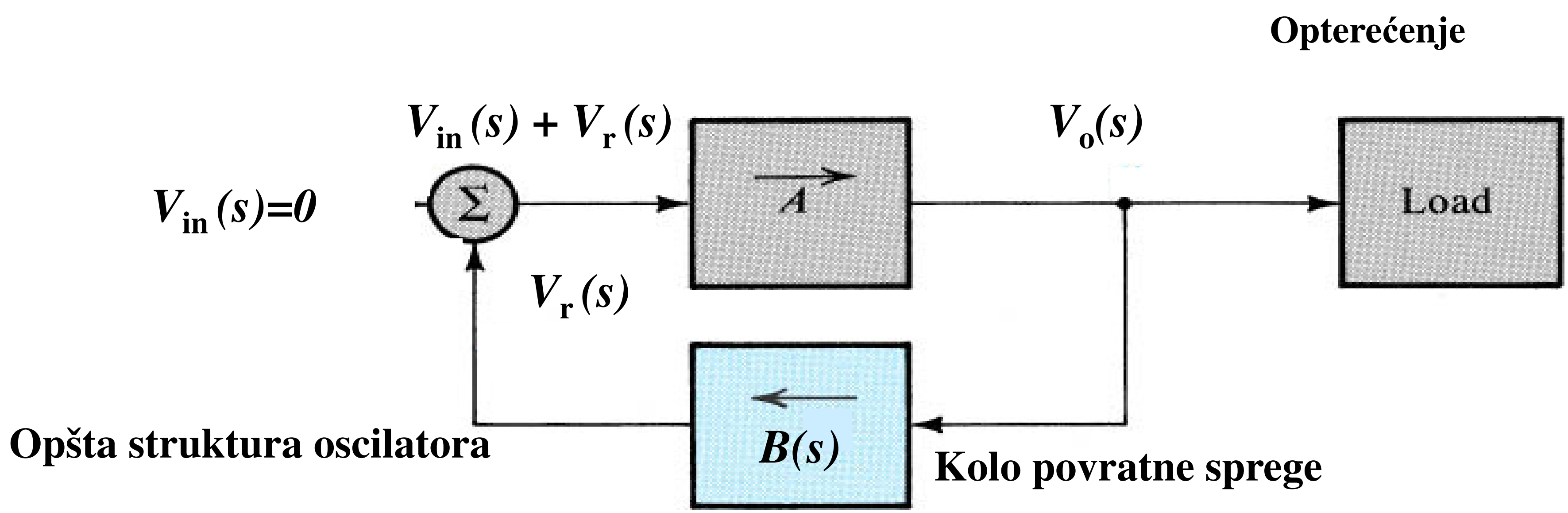
$$A_r(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}=\frac{A(s)}{1-A(s)\cdot B(s)}$$

Za $A(s)B(s)=1$ $\Rightarrow$ $A_r(s)=\dfrac{V_o(s)}{V_i(s)}\to\infty \quad\Rightarrow\quad \dfrac{V_o(s)}{0}$

$\Downarrow$

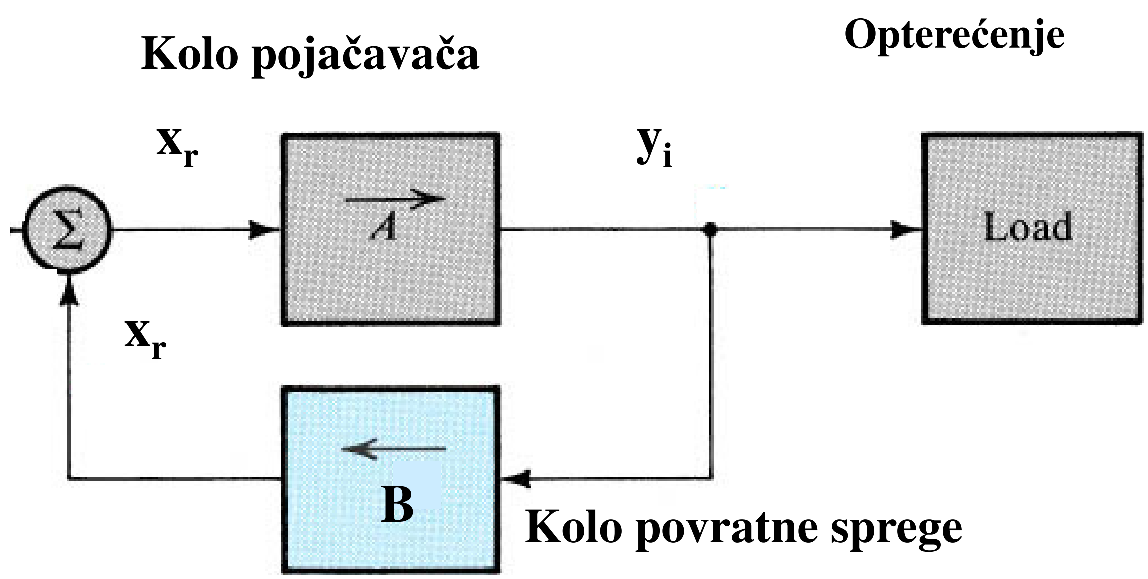
Može se dobiti signal na izlazu i ako je $V_o(s)=0$!!!

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

Im{ $A(s)B(s)$} = 0	**Re{ $A(s)B(s)$} = 1**
signali su u fazi	**Signal je „održiv“ : niti se pojačava, niti slabi (stabilnost)**

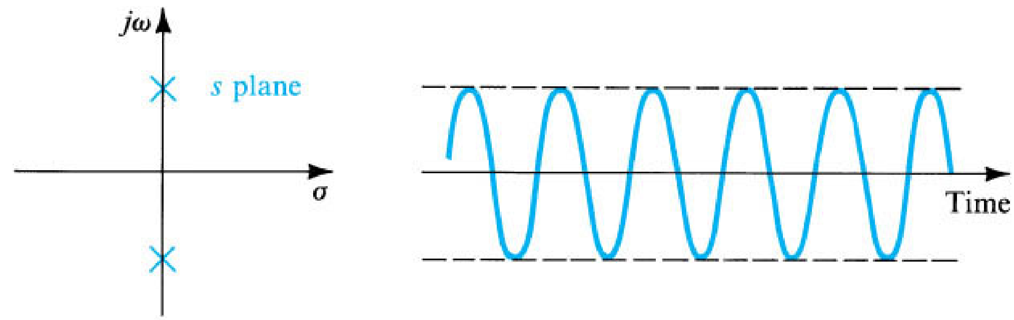
$A(s)B(s)$=1 Barkhauzenov kriterijum oscilovanja

Polovi kružnog pojačanja A(s)B(s)

Signal koji generiše kolo u vremenskom domenu

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

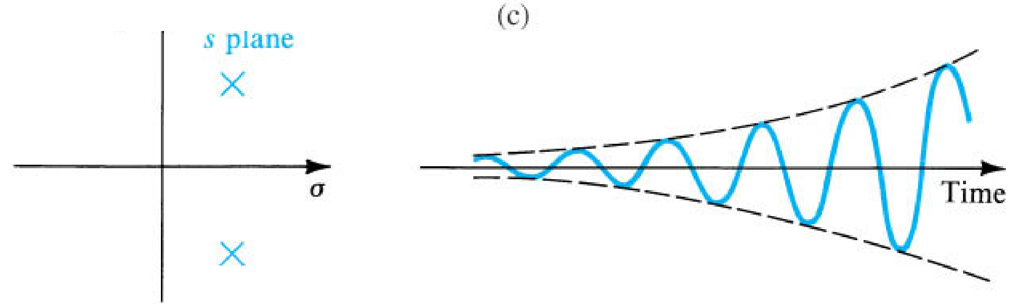
Amplituda stabilna



(c)

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

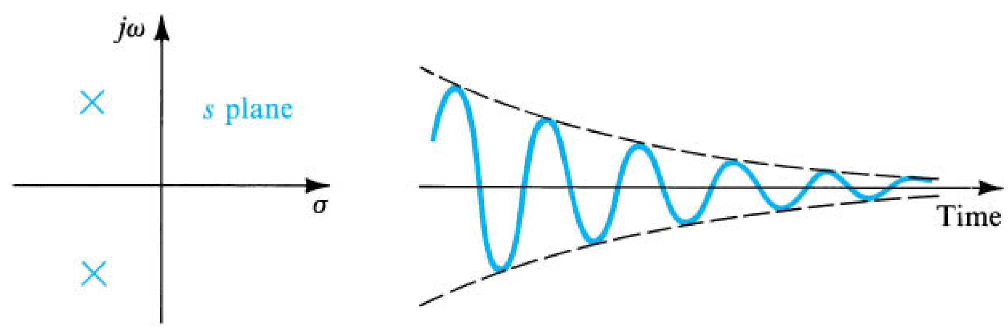
Amplituda raste dok ne uđe u zasićenje



(b)

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

Amplituda slabi, dok se ne priguše oscilacije



(a)

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

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

Kružno pojačanje u frekvencijskom domenu je racionalna funkcija. Nule polinoma imenioca nazivaju se polovi. Kod linearnih kola polovi mogu biti realni ili konjugovano kompleksni. Inverznom Laplasovom transformacijom može se odrediti vremenska zavisnost signala u slučaju impulsne pobude. Kada su polovi konjugovano kompleksni dobija se:

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

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

amplituda **frekvencija**

Analiza oscilatora sprovodi se u dva koraka:

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

Analiza oscilatora

Postoje dva načina za analizu oscilatora.

1) Kružno pojačanje se izrazi preko parametara kola. Nakon toga se dobijeni izraz izjednači sa 1 i dobiju uslov oscilovanja i frekvencija oscilovanja.

$$\mathbf{A}(s)\mathbf{B}(s)=\mathbf{1}$$

<u>Analiza oscilatora</u>

Postoje dva načina za analizu oscilatora.

2) Matrica determinante sistema jednačina koji opisuje kolo, Δ(s), izjednači se sa nulom.

$$\mathbf{1\text{-}A(\mathit{s})B(\mathit{s})=0}$$

i/ili

$$\mathbf{A_r(s)} = \frac{\mathbf{y}_o}{\mathbf{x}_{in}} = \frac{\mathbf{A(s)}}{\mathbf{1-B(s)A(s)}} (=) \frac{V_o\mathbf{(s)}}{V_{in}\mathbf{(s)}}$$

$$V_o\mathbf{(s)} = \mathbf{A_r(s)}V_{in}\mathbf{(s)} = \frac{\mathbf{A(s)}}{\underbrace{\mathbf{1-B(s)A(s)}}_{\mathbf{0}}} \cdot V_{in}\mathbf{(s)} \Rightarrow V_o\mathbf{(s)} \to \infty$$

$$V_o\mathbf{(s)} = \frac{\Delta_o\mathbf{(s)}}{\Delta\mathbf{(s)}} \Rightarrow \boxed{\Delta\mathbf{(s)} = 0} \Rightarrow V_o\mathbf{(s)} \to \infty$$

Projektovanje oscilatora

Da bi se oscilacije uspostavile treba $AB > 1$;

$$AB=1+\delta$$

Prilikom projektovanja oscilatora uvek se elementi kola dimenzionišu na takav način da kružno pojačanje bude veće od 1. Zbog tolerancija komponenata i ambijentanih uslova teško podesiti da vrednost kružnog pojačanja da bude tačno 1. Pored toga ukoliko bi kružno pojačanje podesili da bude tačno 1, male promene parametara koji utiču na kružno pojačanje dovele bi do prestanka osiclacija.

Sa druge strane kada je kružno pojačanje veće od 1 dolazi do spontanog povećanja amplitude oscilacija što dovodi pojačavač u oblast rada koja nije linearna. Posledica toga je da će oscilacije biti izobličene odnosno oscilator će pored signala proračunate frekvencije generisati i njegove više harmonike.

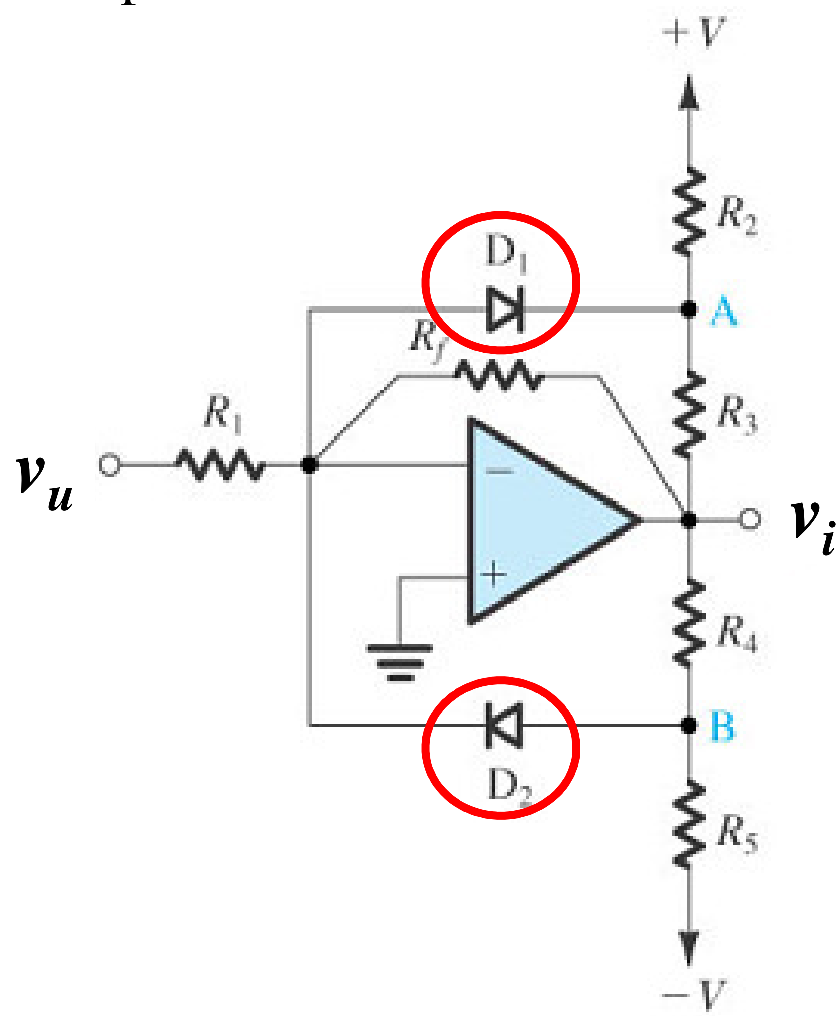
Projektovanje oscilatora

Drugi korak

Da bi sprečili ulazak kola u zasićenje, odnosno da bi kolo nastavilo da radi u linearnom režimu rada dodaju se nelinearna kola za kontrolu amplitude. Ova kola se nazivaju limiteri jer ograničavaju vrednost amplitude signala na izlazu. Limiteri se najčešće sastoje od dioda.

Drugi korak

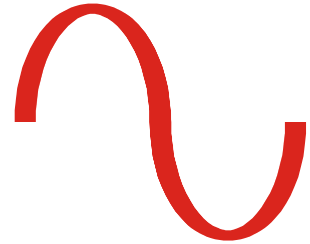
Primer kola za kontrolu amplitude



Tipovi linearnih oscilatora:

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

U ovom kursu – linearni oscilatori



Tipovi:

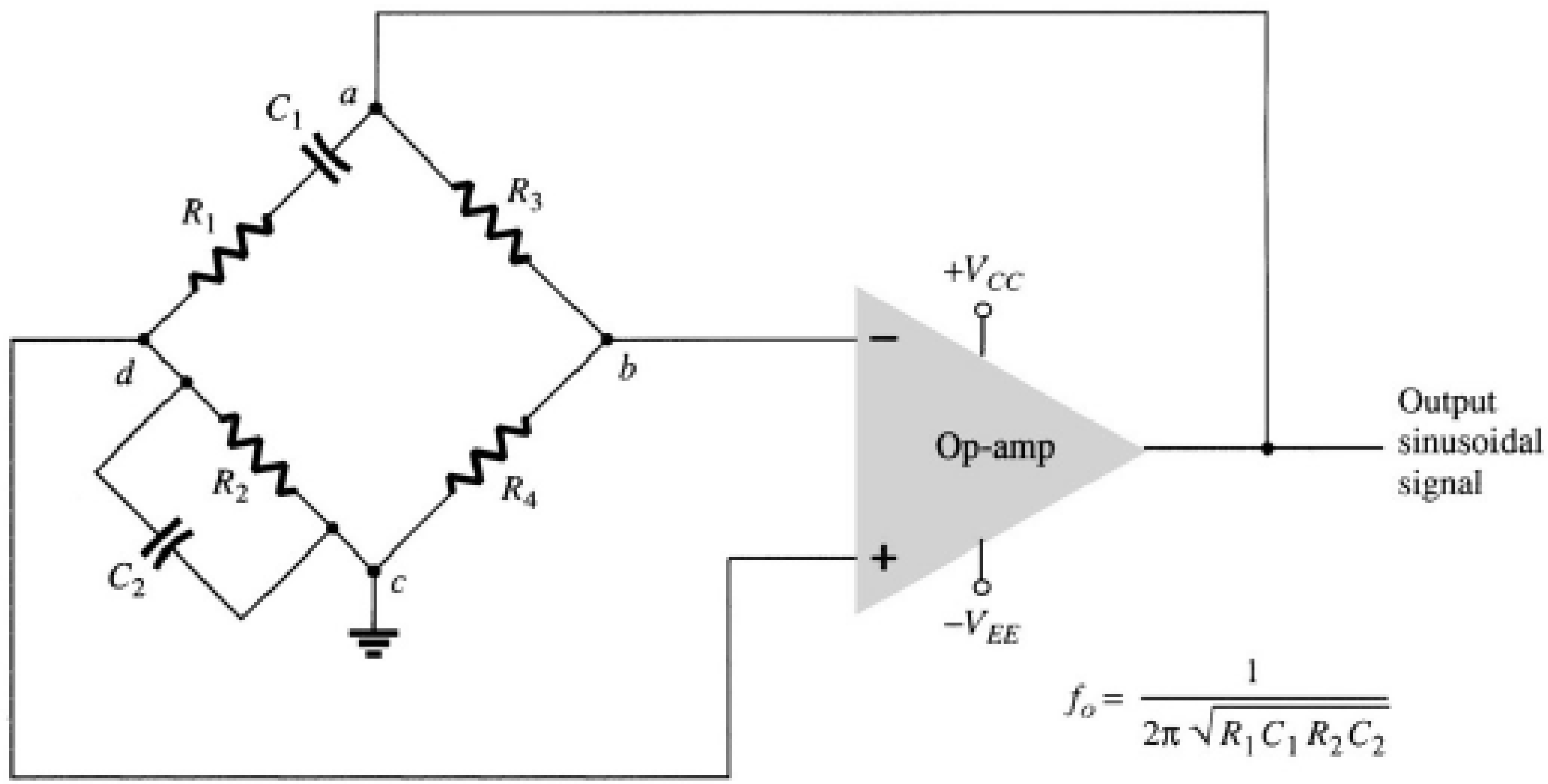
- RC oscilatori
    - Vinov most
    - Fazni pomeraj
- Oscilatori sa oscilatornim kolima
    - Kolpicov
    - Hartlejev
    - sa induktivnom spregom
    - sa negativnom otpornošću...
- Oscilatori sa kristalom kvarca (Pirsov)

RC oscilatori

- Poznati tipovi RC oscilatora:
  - Oscilator sa Vinovim mostom
  - Oscilator faznog pomeraja

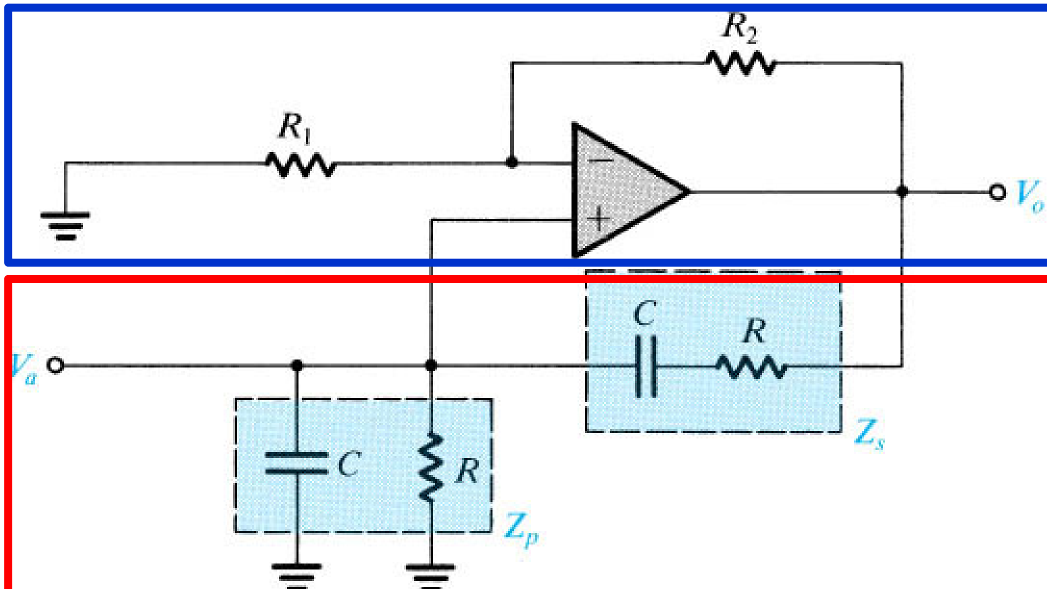
- Pojačavač RC oscilatora treba da unosi mala izobličenja, odnosno treba da radi u klasi A.
- RC oscilatori se obično prave tako da se frekvencija može podešavati promenom elemenata od kojih frekvencija zavisi.
- Prave se za niže frekvencije oscilovanja u odnosu na LC filtre. Tipične vrednosti frekvencija oscilovanja su u opsegu (10Hz – x100kHz).
- Jeftiniji su u odnosu na LC filtre i jednostavniji za implementaciju jer su prigušnice komplikovanije za izradu.

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



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

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



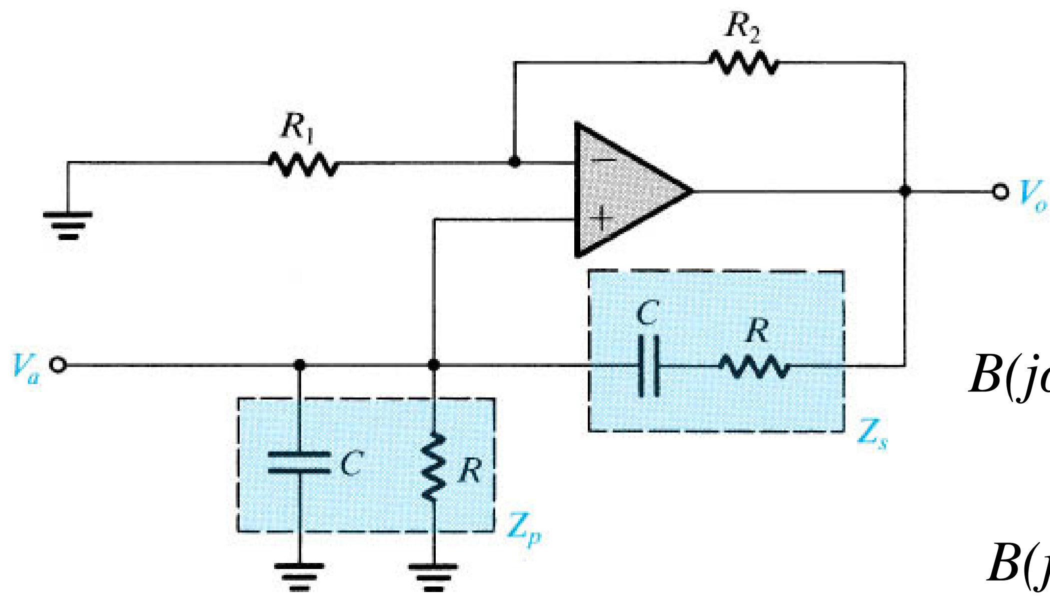
$$A = 1 + R_2/R_1$$

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

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

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

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



$$A = 1 + R_2/R_1$$

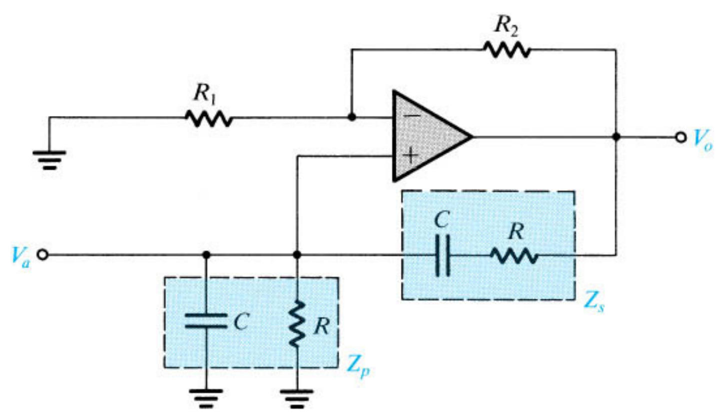
$$B(j\omega) = \frac{j\omega CR}{j\omega CR + (1 + j\omega CR)^2}$$

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

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

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

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



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

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

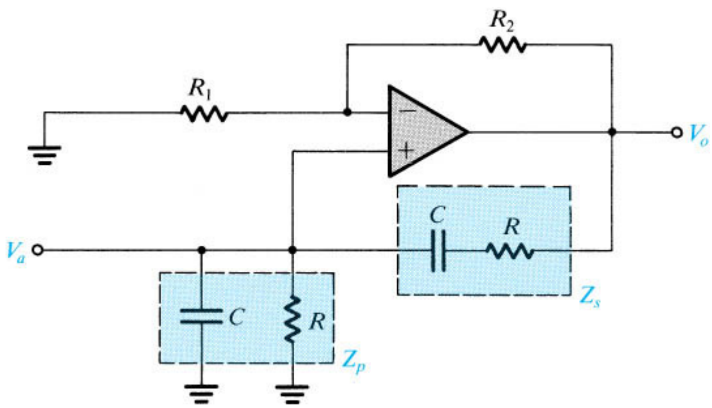
Im$\{AB(j\omega)\} = 0;$

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

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

$$\boxed{\omega_o = 1/(RC)}$$

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



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

$$\boldsymbol{AB(j\omega) = 1}$$

Uslov oscilovanja:

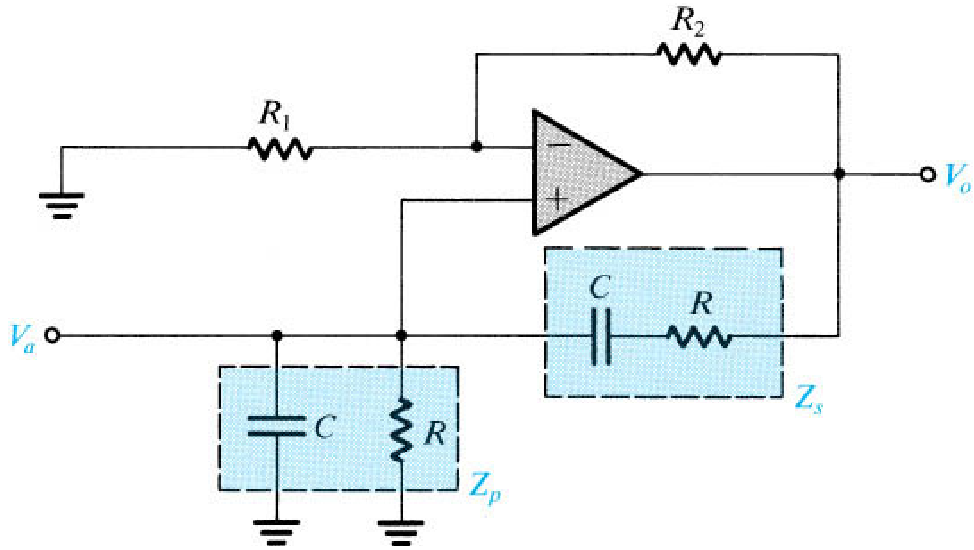
$$AB(j\omega) = \frac{1 + R_2/R_1}{3 + j\cancel{(\omega_o CR - \dfrac{1}{\omega_o CR})}}$$

Za $\omega_o = 1/(RC)$

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

$$\boxed{\boldsymbol{R_2/R_1 = 2}}$$

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



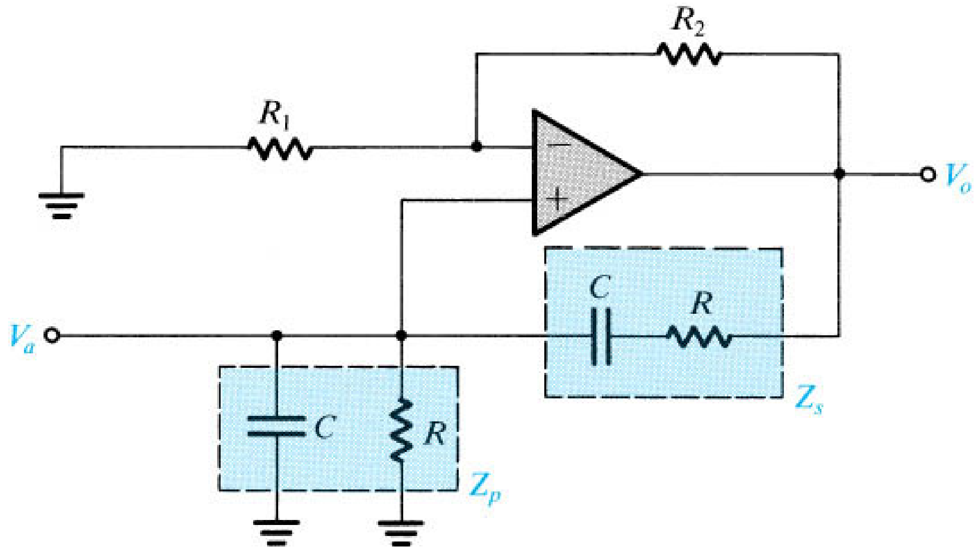
$\omega_o = 1/(RC)$

$R_2/R_1 = 2$

Frekvencija oscilovanja se podešava istovremenim menjanjem kapacitivnosti oba kondenzatora. Odnos maksimalne i minimalne frekvencije oscilovanja jednak je odnosu maksimalne i minimalne vrednosti kapacitivnosti:

$$\frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{C_{max}}{C_{min}}$$

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

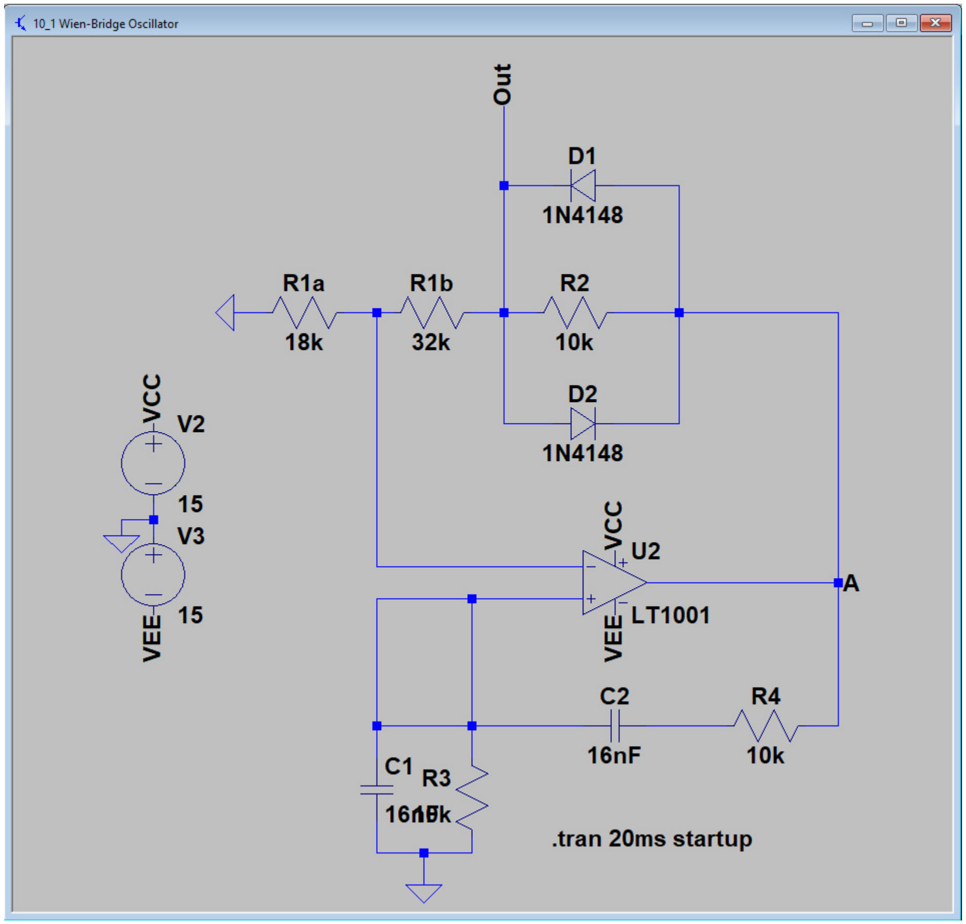


$R_2/R_1 = 2$

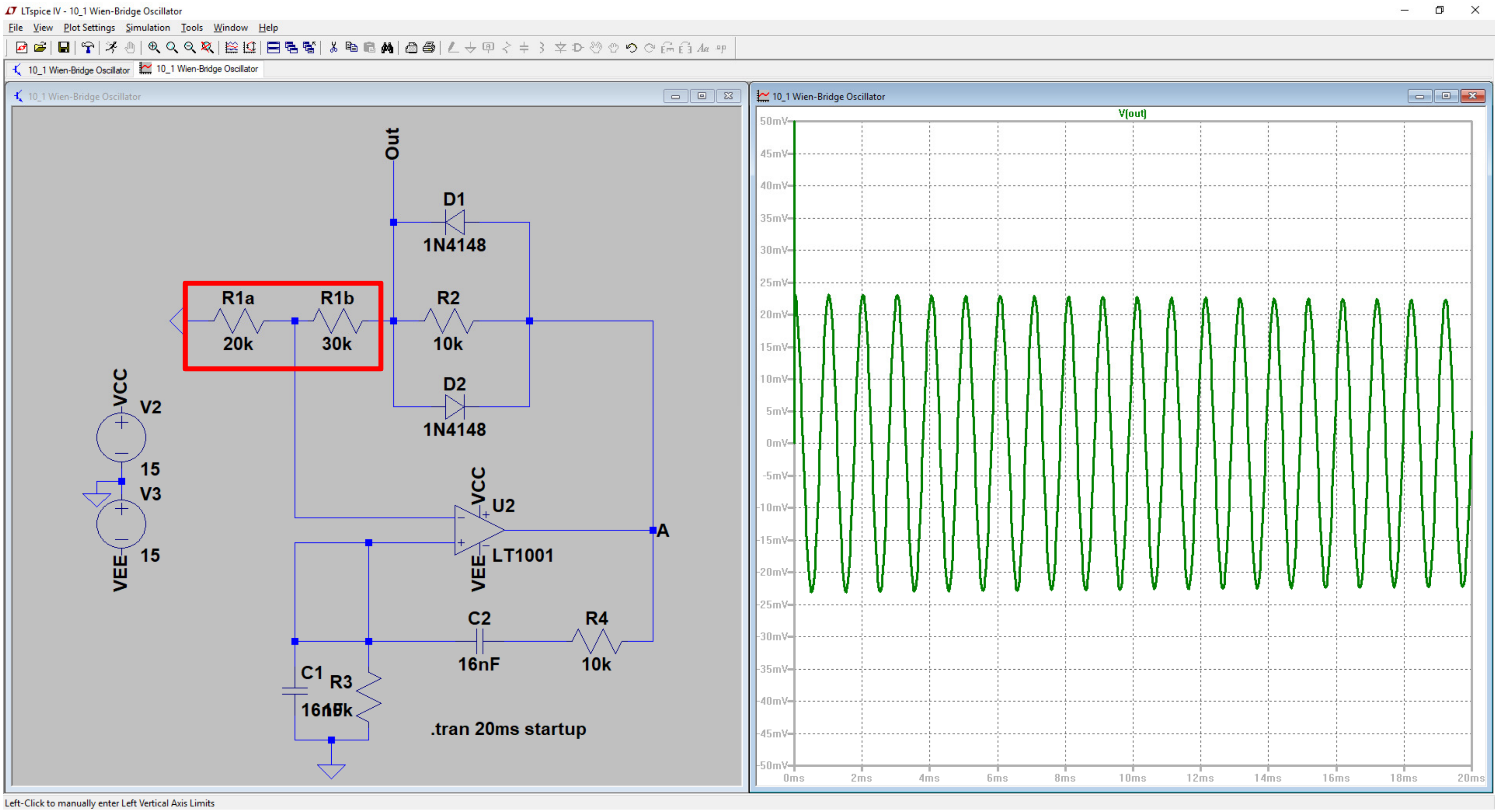
Svaka promena vrednosti pojačanja dovodi do izobličenja. Zbog toga se često pribegava stabilizaciji pojačanja tako što se na mestu otpornika R_2 vezuje termistor (negativan temperaturski koeficijent) a na mestu R_1 otpornost sa pozitivnim temperaturskim koeficijentom. Na taj način se smanjuje priraštaj pojačanja prilikom porasta temperature.

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

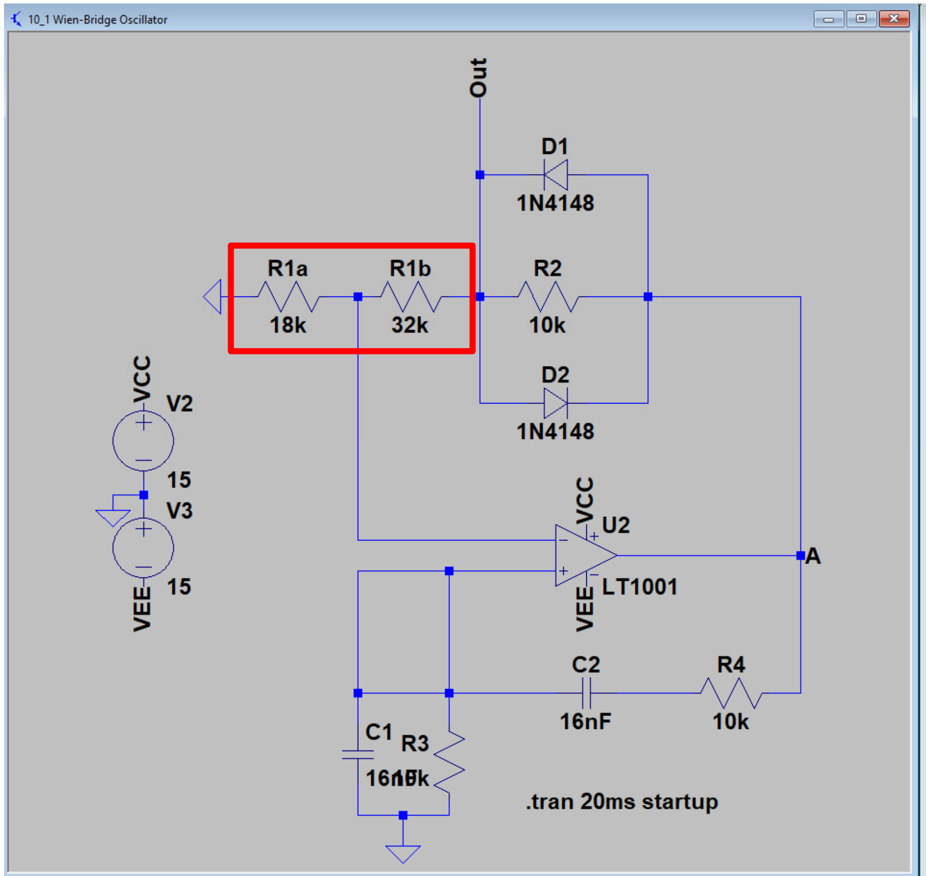
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

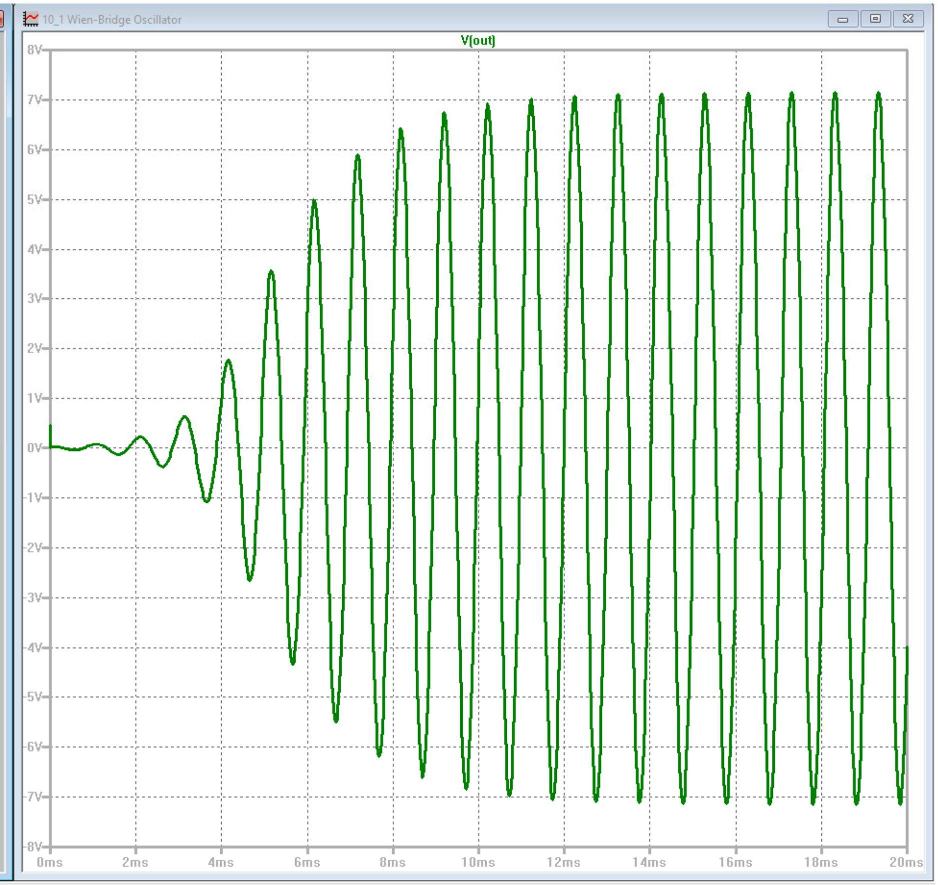


Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

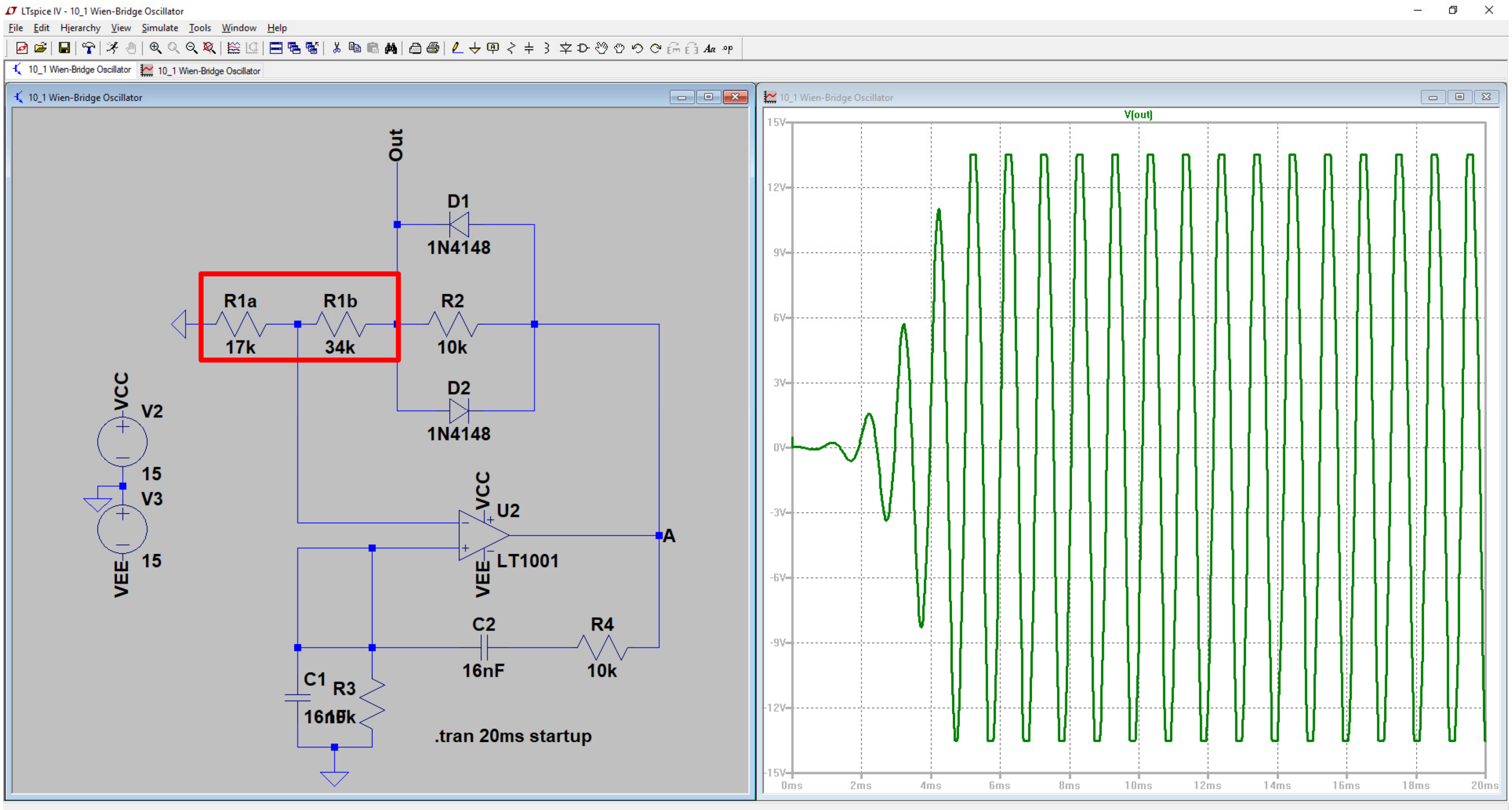


Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

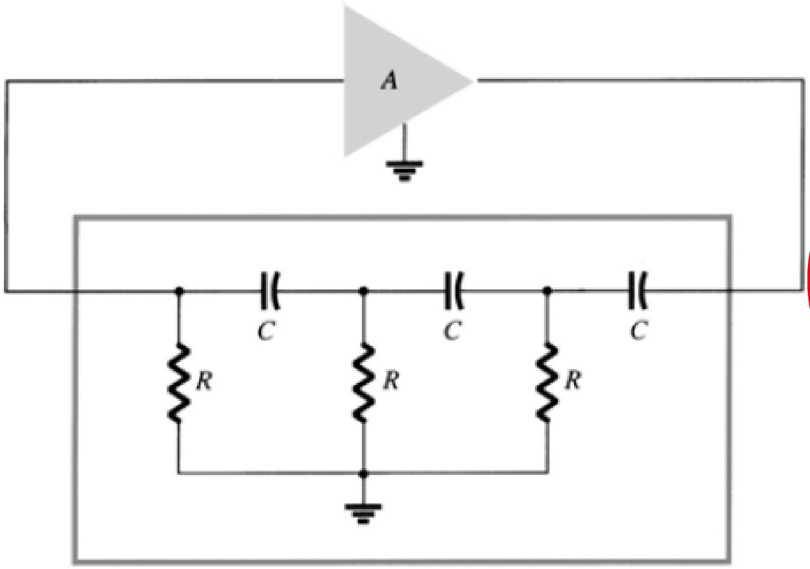


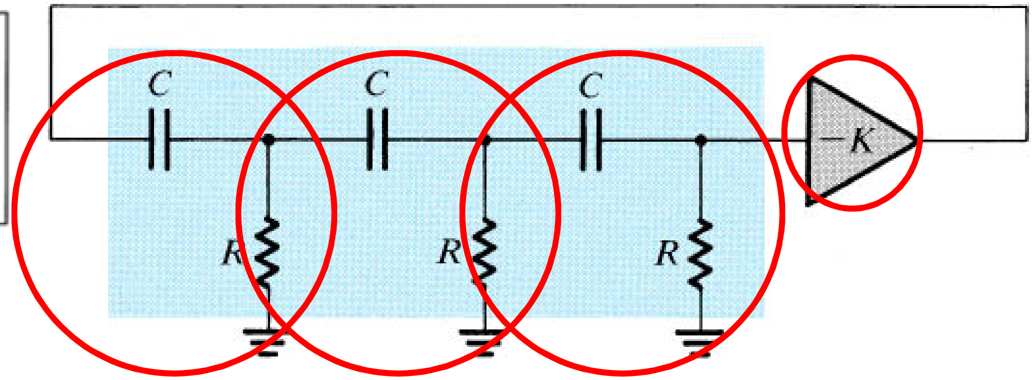


Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



Oscilator faznog pomeraja



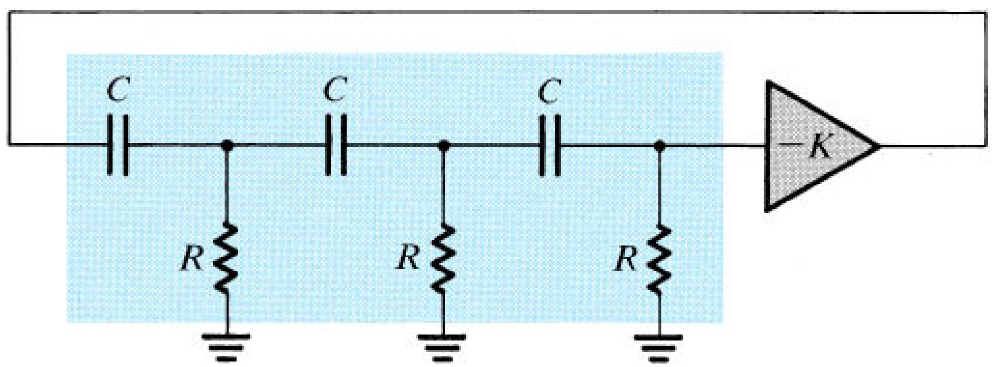


$$\boxed{\omega_o = \frac{1}{RC\sqrt{6}}}$$

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

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

Oscilator faznog pomeraja



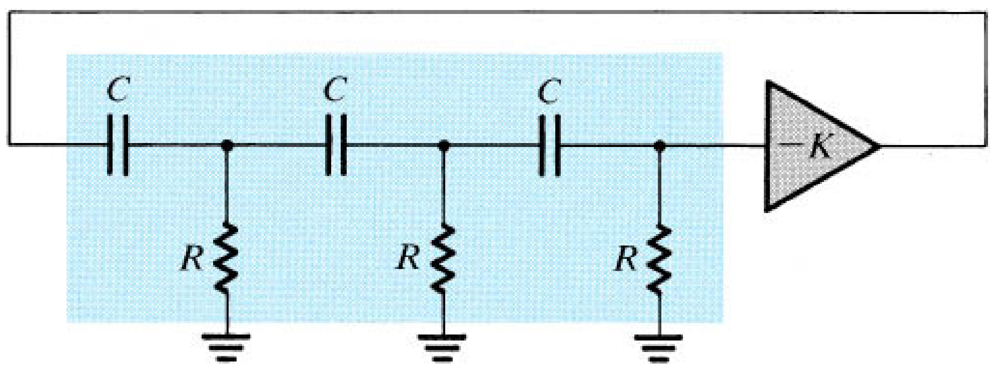
$$\omega_o = \frac{1}{RC\sqrt{6}}$$

$$A = -29$$

Frekvencija oscilovanja se podešava istovremenim menjanjem kapacitivnosti oba kondenzatora. Odnos maksimalne i minimalne frekvencije oscilovanja jednak je odnosu maksimalne i minimalne vrednosti kapacitivnosti:

$$\frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{C_{max}}{C_{min}}$$

Oscilator faznog pomeraja



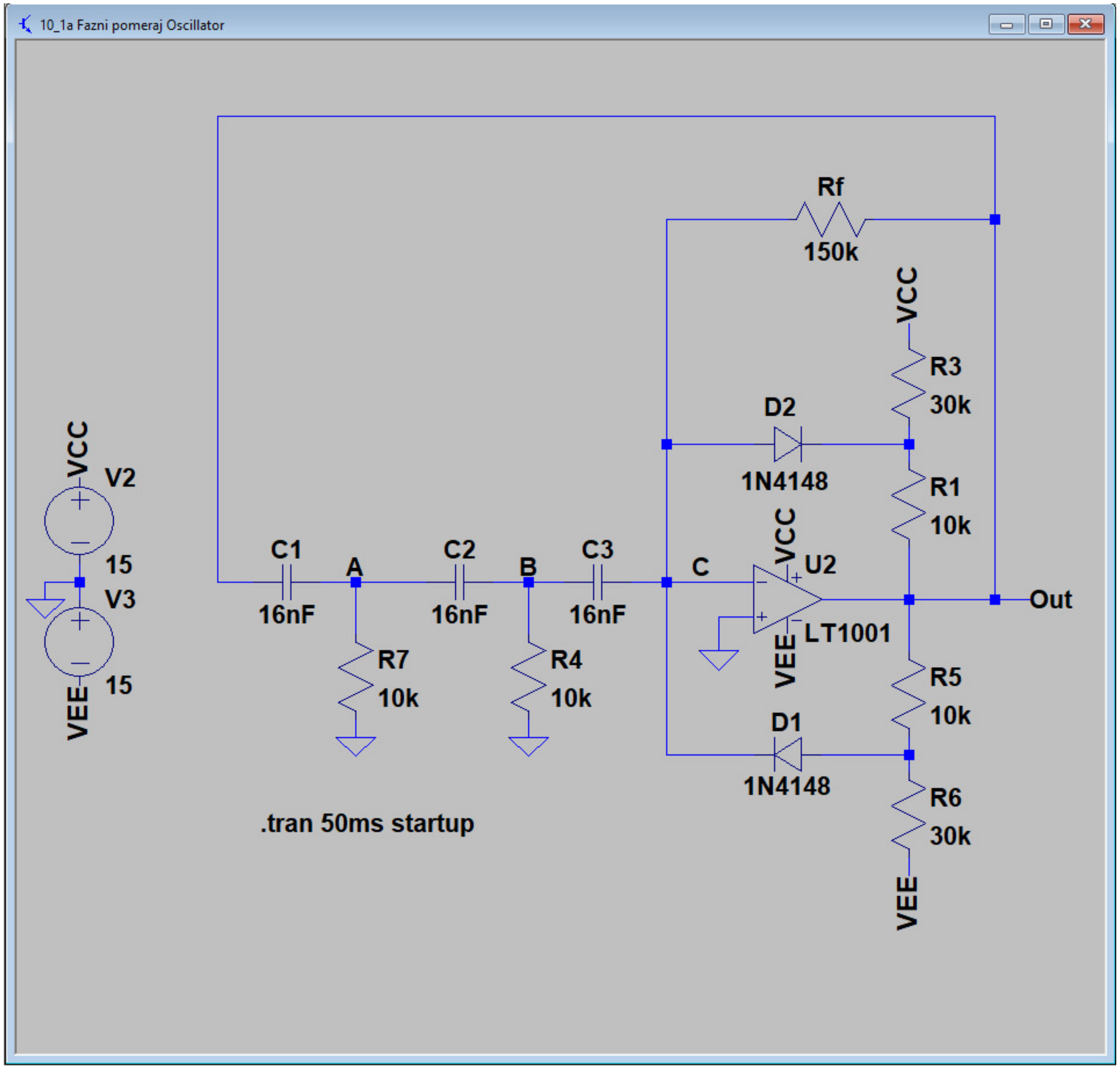
$$\omega_o = \frac{1}{RC\sqrt{6}}$$

$$A = -29$$

Navedeni izraz za pojačanje i frekvenciju oscilovanja su izvedeni za idealni naponski pojačavač, odnosno pojačvač koji ima beskonačno veliku ulaznu otoprnost i nultu izlaznu otpornost. To praktično znači da ovi izrazi mogu da se primene ukoliko se kao aktivni element ne koristi operacioni pojačavač.

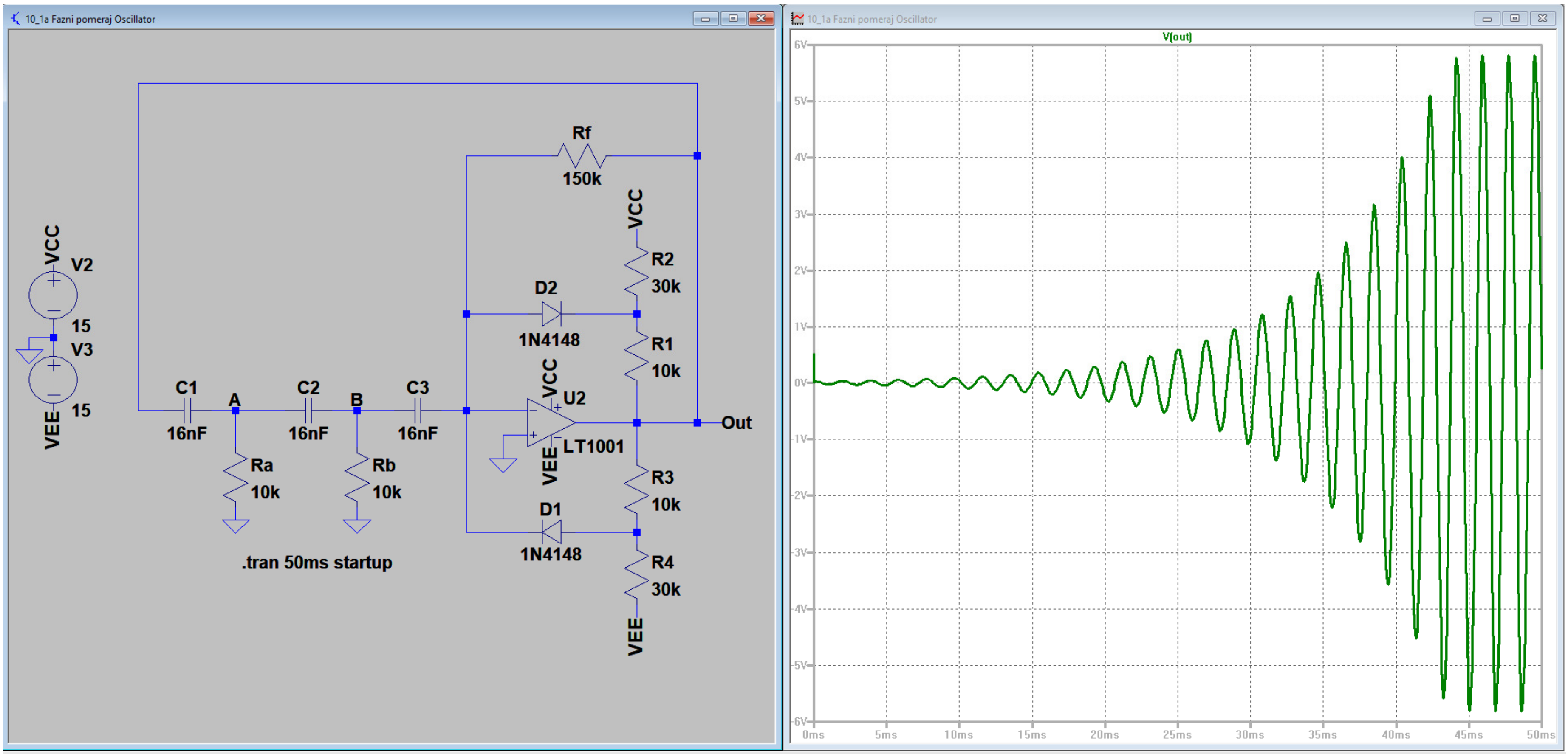
Oscilator faznog pomeraja

Praktična realizacija



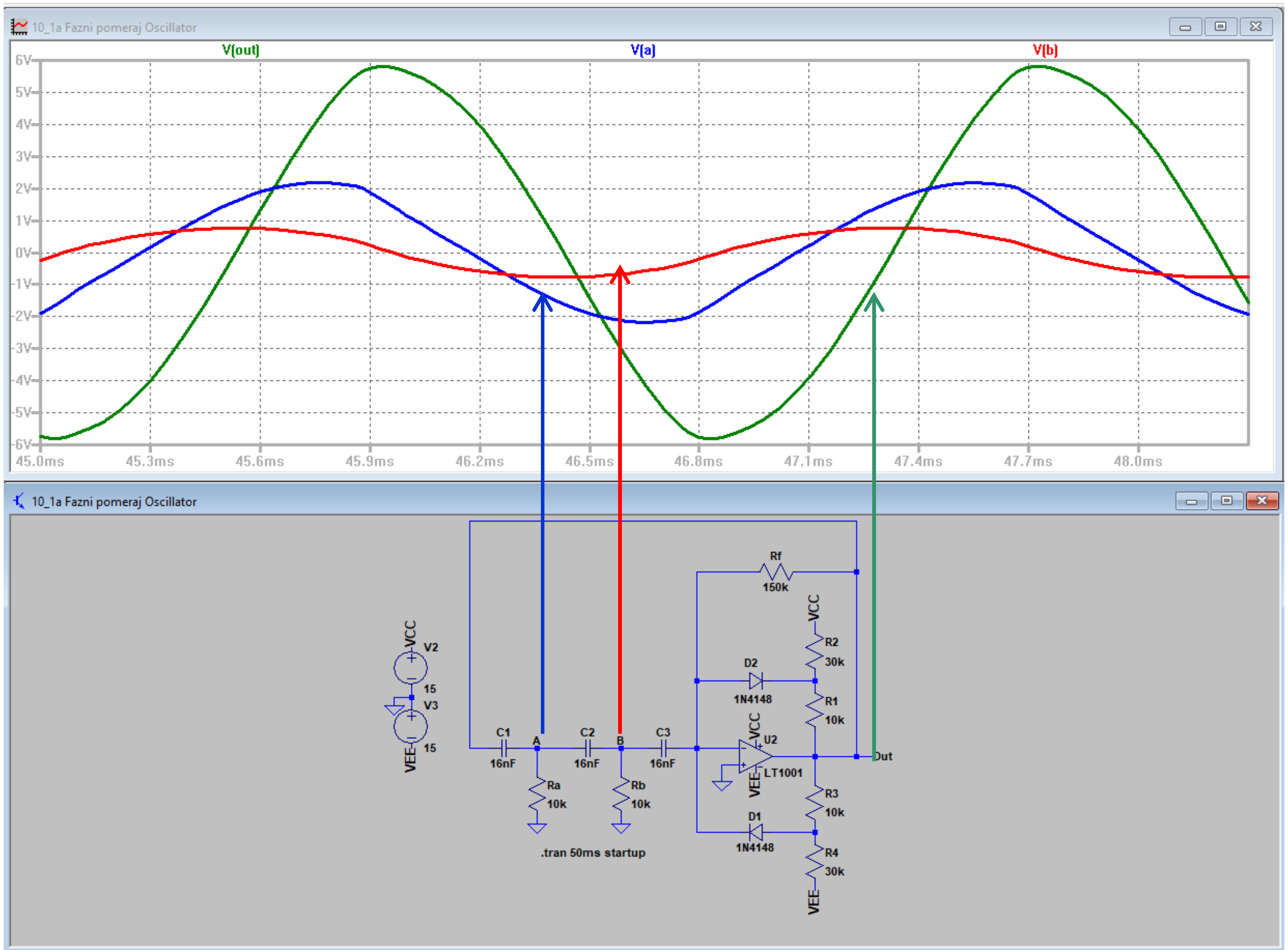
Oscilator faznog pomeraja

Praktična realizacija

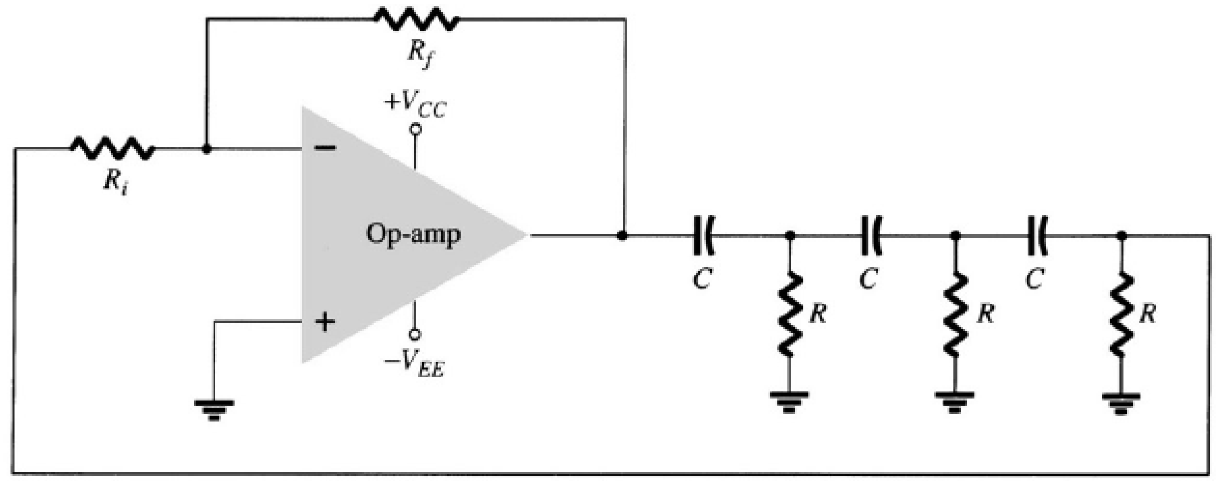


Oscilator faznog pomeraja

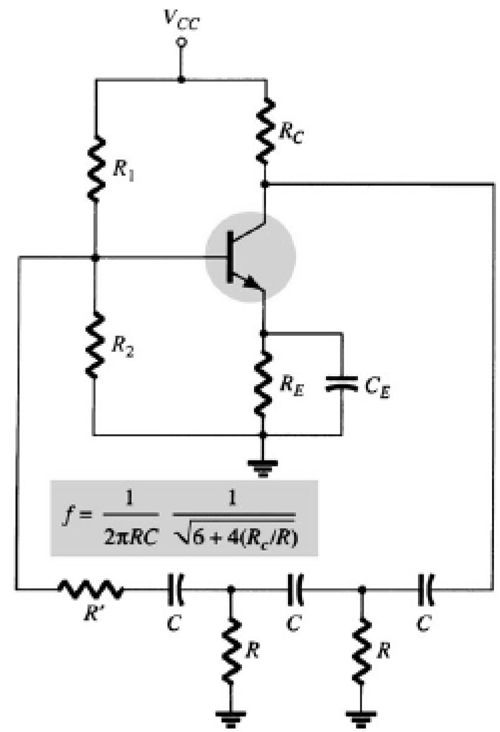
Praktična realizacija



Primer realizacije



sa diskretnim komponentama



Oscilator faznog pomeraja

Zahtevaju komponente sa velikim pojačanjem (zbog velikog slabljenja u RC kolu). Pri tome aktivni element nebi trebao da unosi velika izobličenja.

Gornja granična frekvencija ograničena vrednostima elemenata kola i graničnim frekvencijama aktivnih elemenata do 100kHz. Na frekvencijama reda megaherca dolaze do izražaja parazitne kapacitivnosti u tranzistorima.

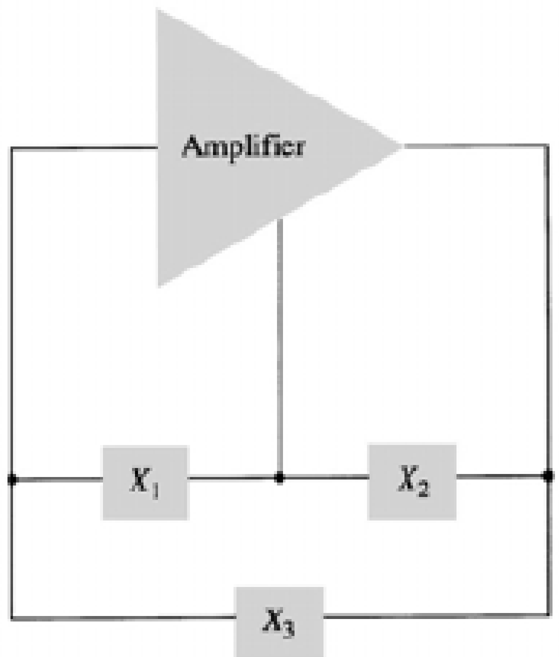
Donja granična frekvencija ograničena fizičkom veličinom pasivnih elemenata C !!!

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

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

- Poznati tipovi LC oscilatora:
  - Kolpicov oscilator
  - Hartlijev oscilator
  - Klapov oscilator
  - Oscilator sa induktivnom spregom
- Pojačavači u oscilatorima sa oscilatornim kolima mogu da unose veća nelinearna izobličenja. To praktično znači da aktivni elementi rade u klasi C zbog većeg stepena iskorišćenja.
- Ovi oscilatori generišu signal većih frekvencija u odnosu na RC oscilatore. Frekvencije oscilacija kreću se u opsegu od nekoliko stotina kHz do nekolik stotina MHz.
- Prilikom analize LC oscilatora treba uzeti u obzir i parazitne kapacitivnosti tranzistora zbog visoke vrednosti frekvencija oscilacija.

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



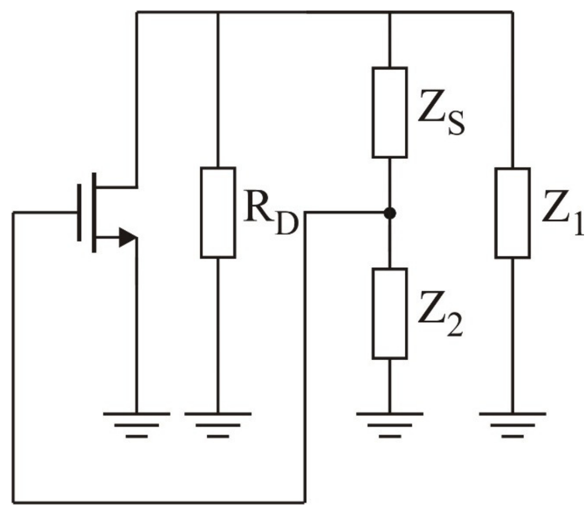
	X_1	X_2	X_3
Collpitc	C	C	L
Hartley	L	L	C

f oscilovanja definiše paralelno oscilatorno kolo.

Odnos X_1 i X_2 određuje jačinu povratne sprege.

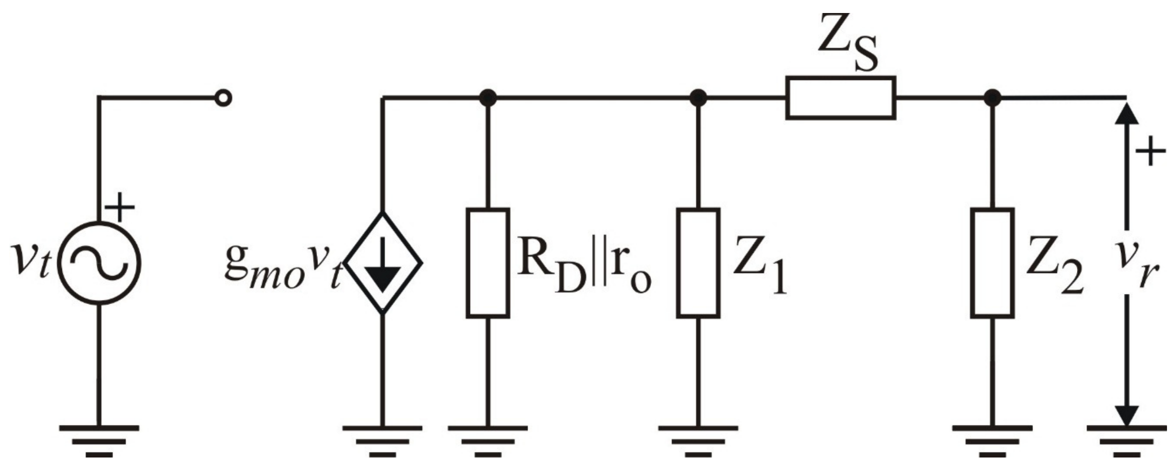
Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Oscilator sa oscilatornim kolima



Kod ovog tipa oscilatora aktivni element je povezan sa kolom povratne sprege u tri različita čvora. Kolo povratne sprege sastoji se od tri reaktivna elementa. Kao aktivni element može se koristiti MOSFET, bipolarni tranzistor ili operacioni pojačavač.

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

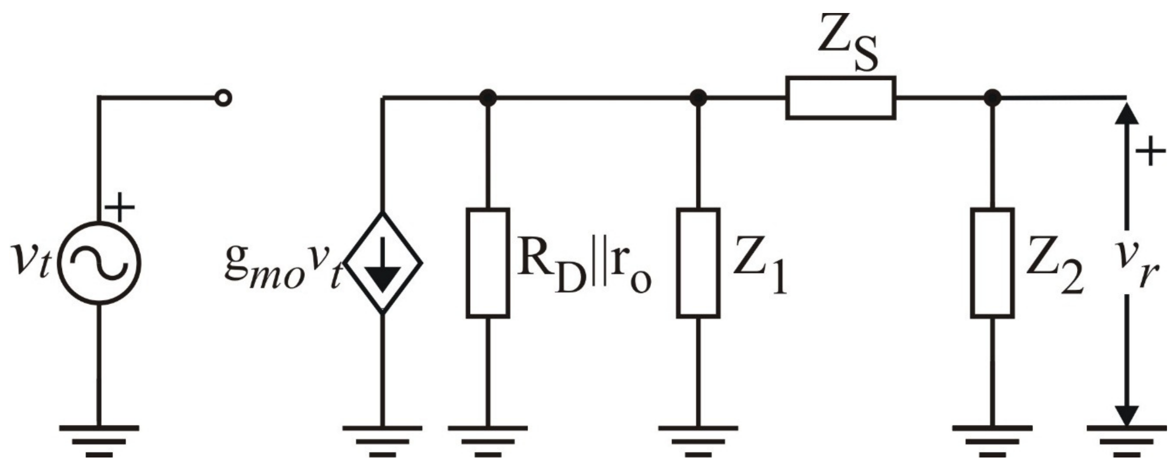


$$A \cdot \beta = \frac{v_r}{v_t} = \frac{v_d}{v_t} \cdot \frac{v_r}{v_d}$$

$$\frac{v_d}{v_t} = -g_m \cdot R_D||Z_1||(Z_2 + Z_S) \qquad \frac{v_r}{v_d} = \frac{Z_2}{Z_S + Z_2}$$

$$A \cdot \beta = \frac{-g_m \cdot R_D \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 \cdot Z_S + Z_1 \cdot Z_2 + R_D \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_S)}$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

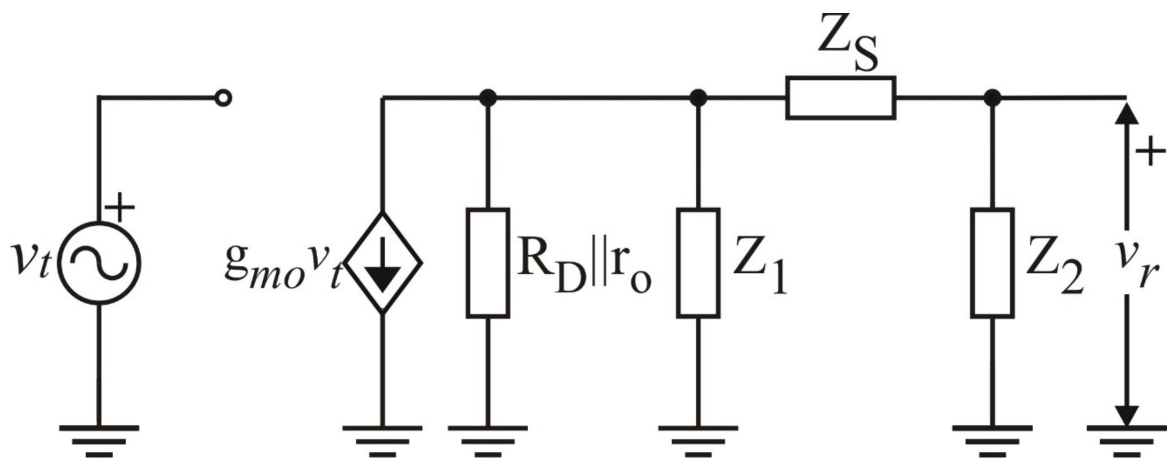


$$A \cdot \beta = \frac{-g_m \cdot R_D \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 \cdot Z_S + Z_1 \cdot Z_2 + R_D \cdot (Z_1 + Z_2 + Z")}$$

$$Z_1 = j \cdot X_1 \qquad Z_S = j \cdot X_S \qquad Z_2 = j \cdot X_2$$

$$A \cdot \beta = \frac{g_m \cdot R_D \cdot X_1 \cdot X_2}{-X_1 \cdot (X_S + X_2) + R_D \cdot j \cdot (X_1 + X_S + X_2)}$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



$$A \cdot \beta = \frac{g_m \cdot R_D \cdot X_1 \cdot X_2}{-X_1 \cdot (X_S + X_2) + R_D \cdot j \cdot (X_1 + X_S + X_2)}$$

$$A \cdot \beta = 1$$

$$X_1 + X_2 + X_S = 0$$

$$A = g_m \cdot R_D = \frac{X_1}{X_2}$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

$$A = -\frac{X_1}{X_2}$$

Impedanse Z_1 i Z_3 moraju da budu iste prirode (kapacitivnosti ili induktivnosti)

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

Impedansa Z_2 mora da budu različite prirode u odnosu na Z_1 i Z_3.

Moguće kombinacije impedansi su:

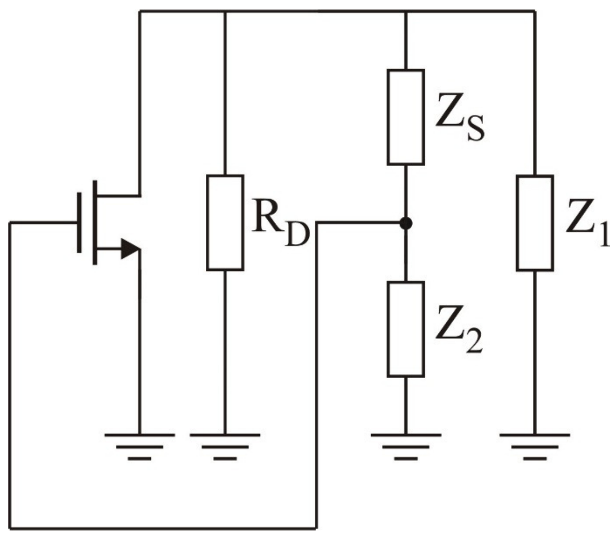
1. Kolpicov oscilator:

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega \cdot C_1} \qquad Z_S = j\omega \cdot L_S \qquad Z_2 = \frac{1}{j\omega \cdot C_2}$$

2. Hartlijev oscilator:

$$Z_1 = j\omega \cdot L_1 \qquad Z_S = \frac{1}{j\omega \cdot C_S} \qquad Z_2 = j\omega \cdot L_2$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



$$-A = g_m \cdot R_D = \frac{X_1}{X_2}$$

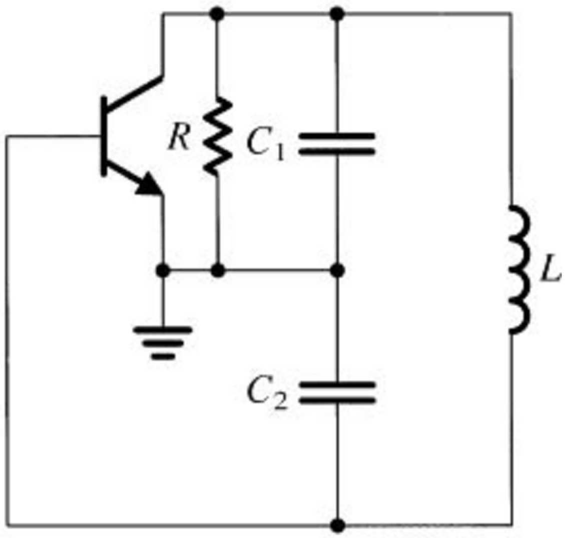
Uslov oscilovanja

$$X_s = -(X_1 + X_2)$$

frekvencija oscilovanja

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolpicov (Colpitts)



Kolo za AC signal

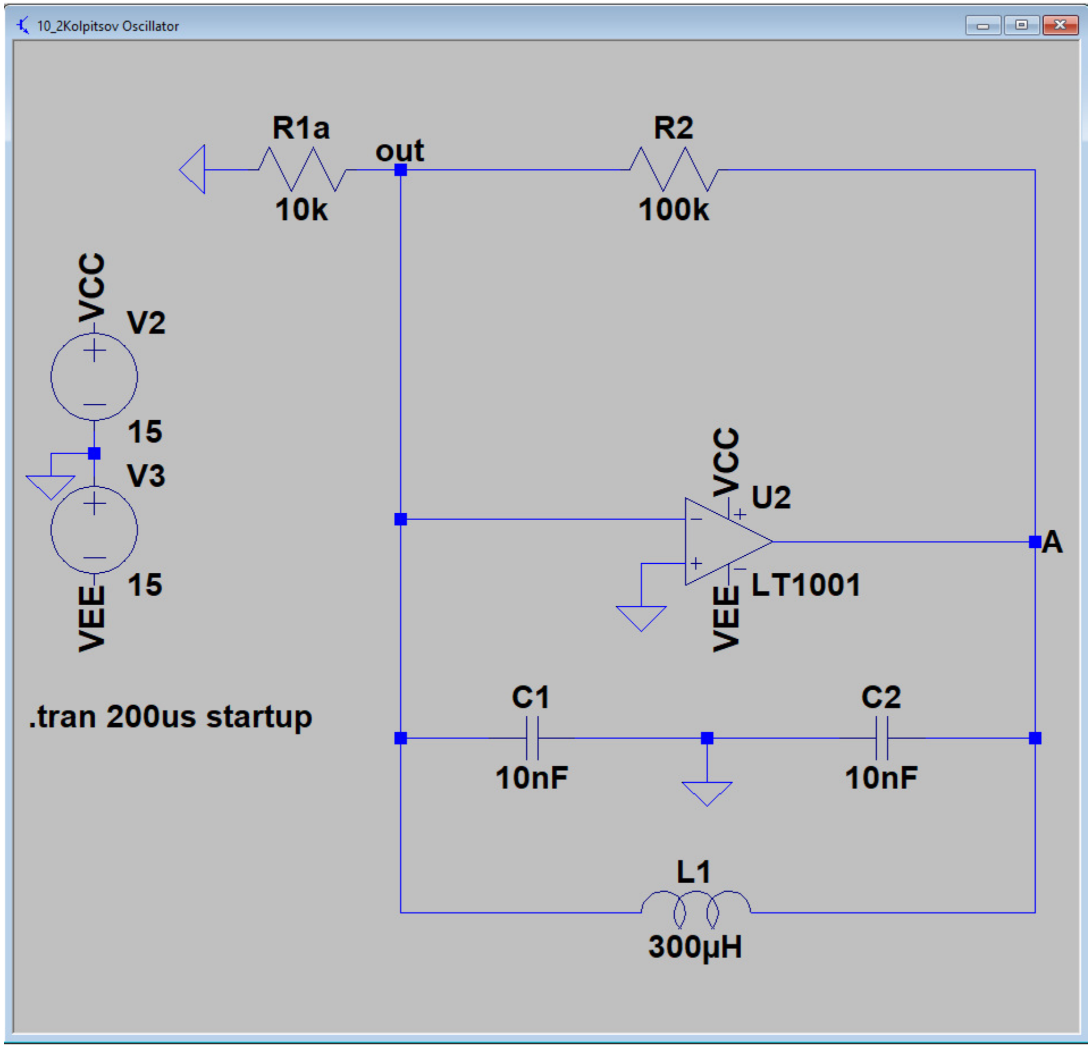
$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{eq}}}$$

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

Kolpicov (Colpitts)

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

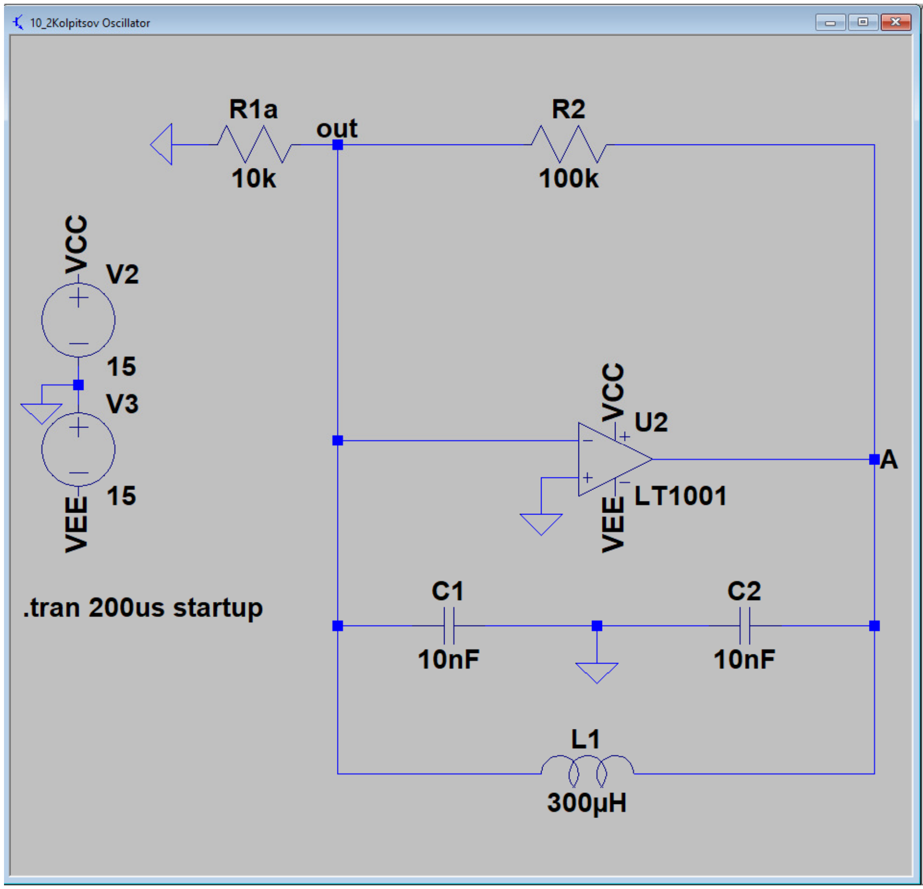
$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

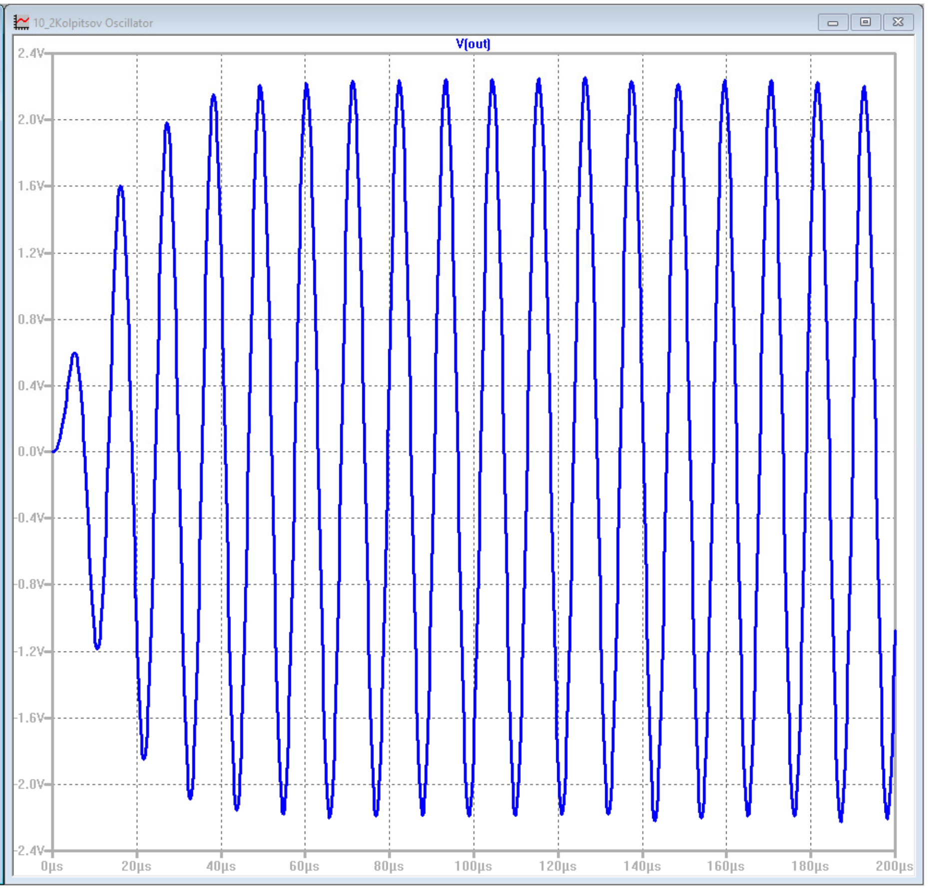


Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolpicov (Colpitts)

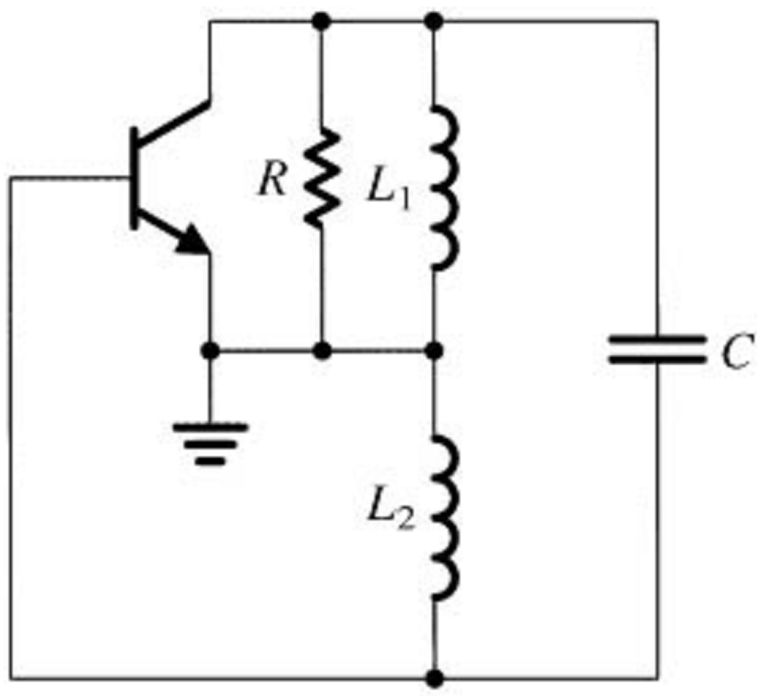
$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{eq}}} \qquad C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$





Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hartlijev (Hartley)

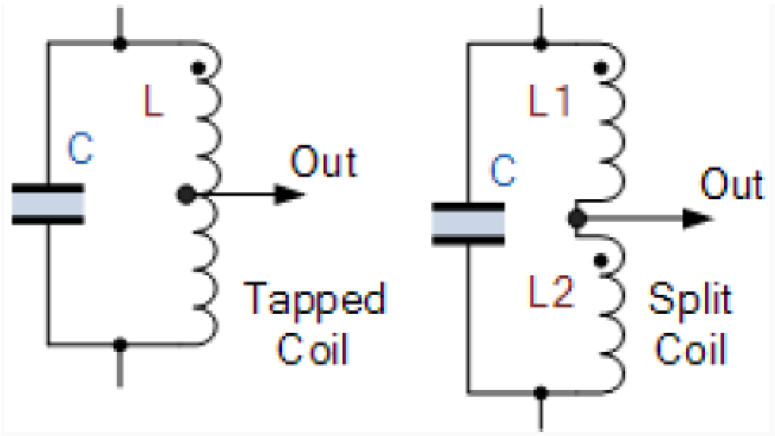


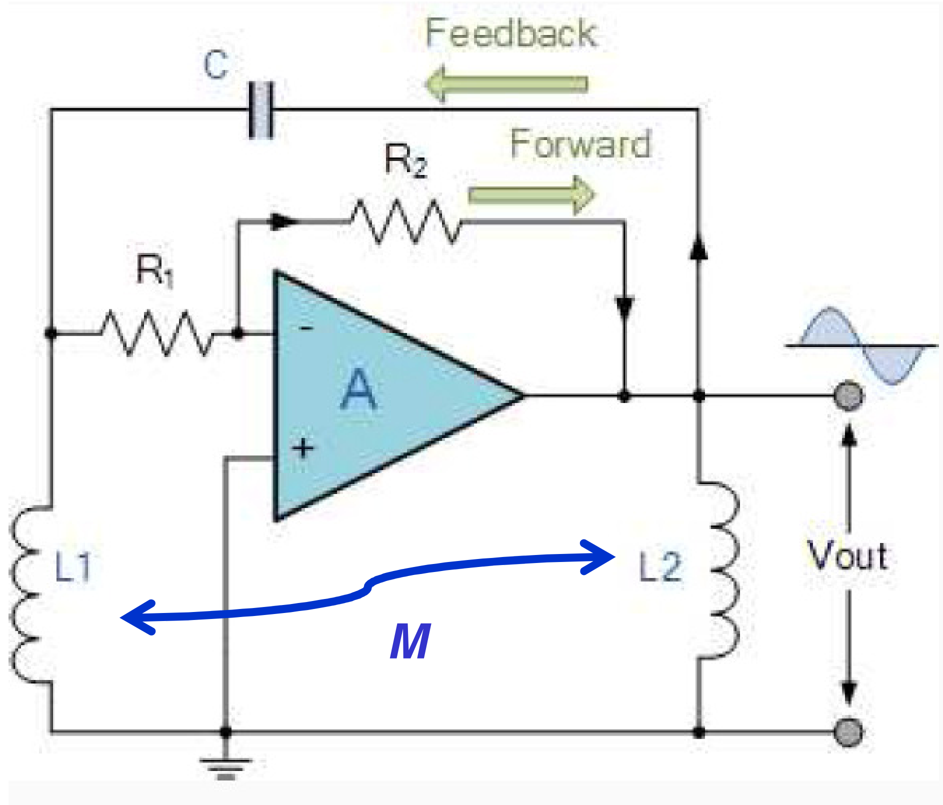
$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C}}$$

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

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hartlijev (Hartley)





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

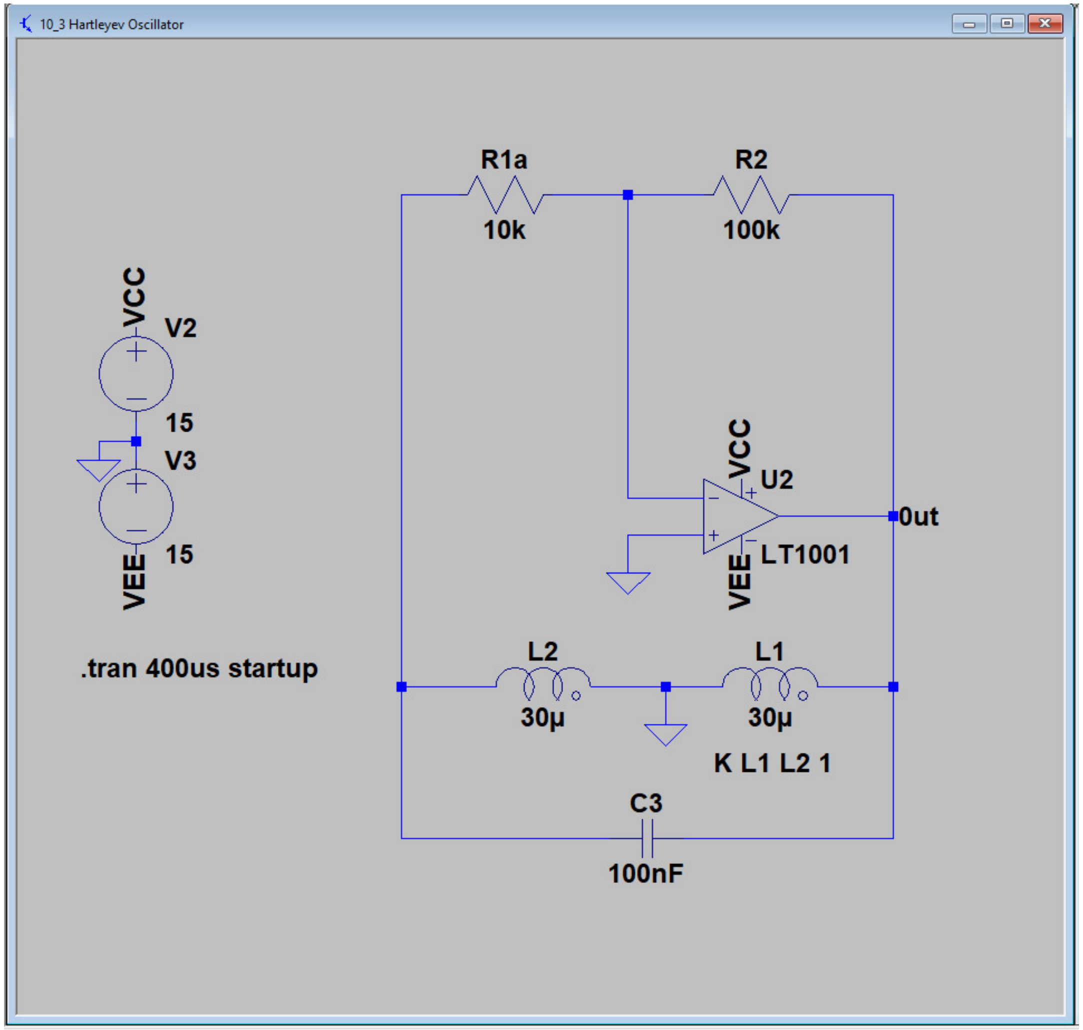
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hartlijev (Hartley)

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

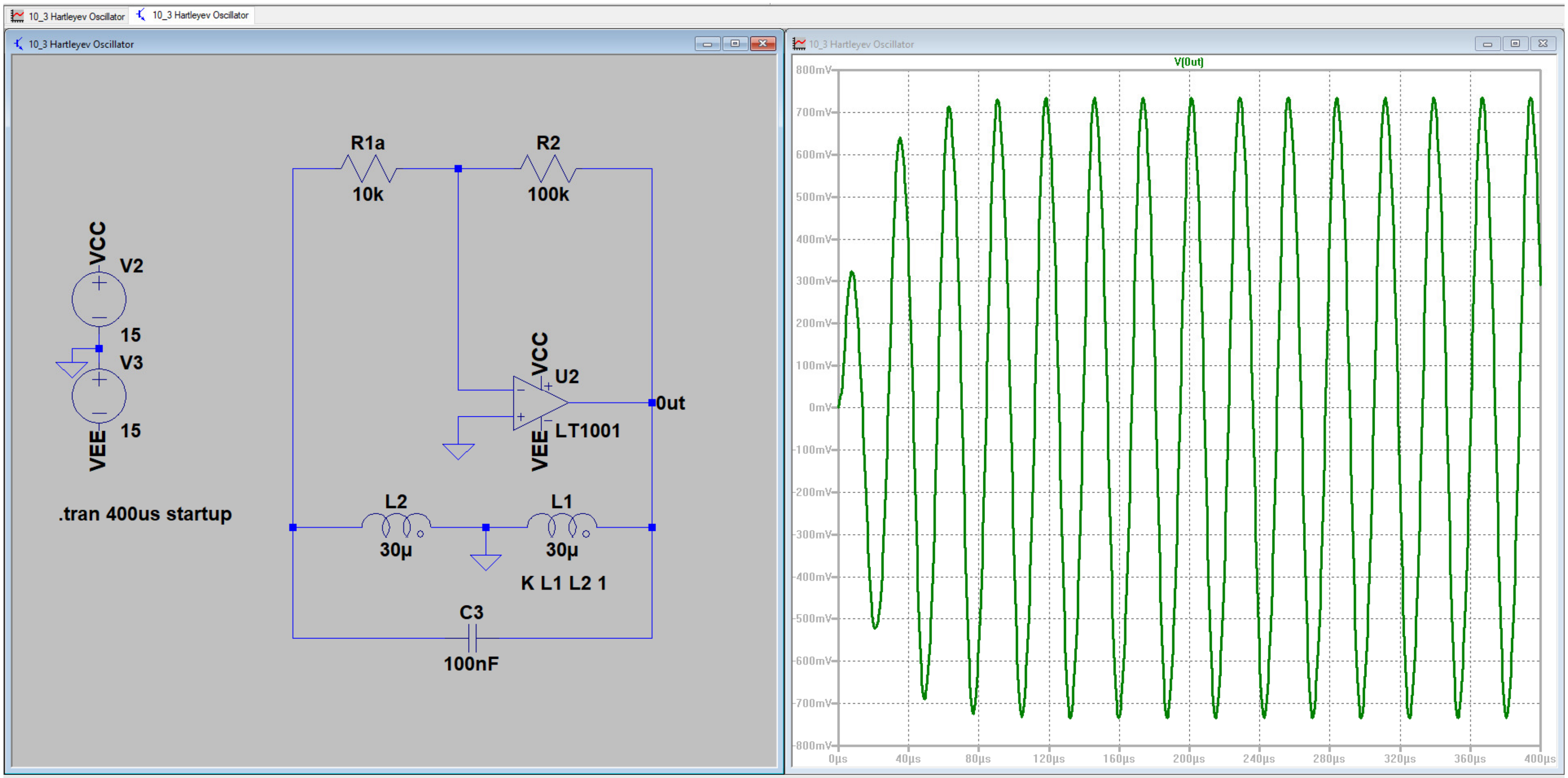
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$



Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hrtlijev (Hartley)

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C}} \qquad L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$



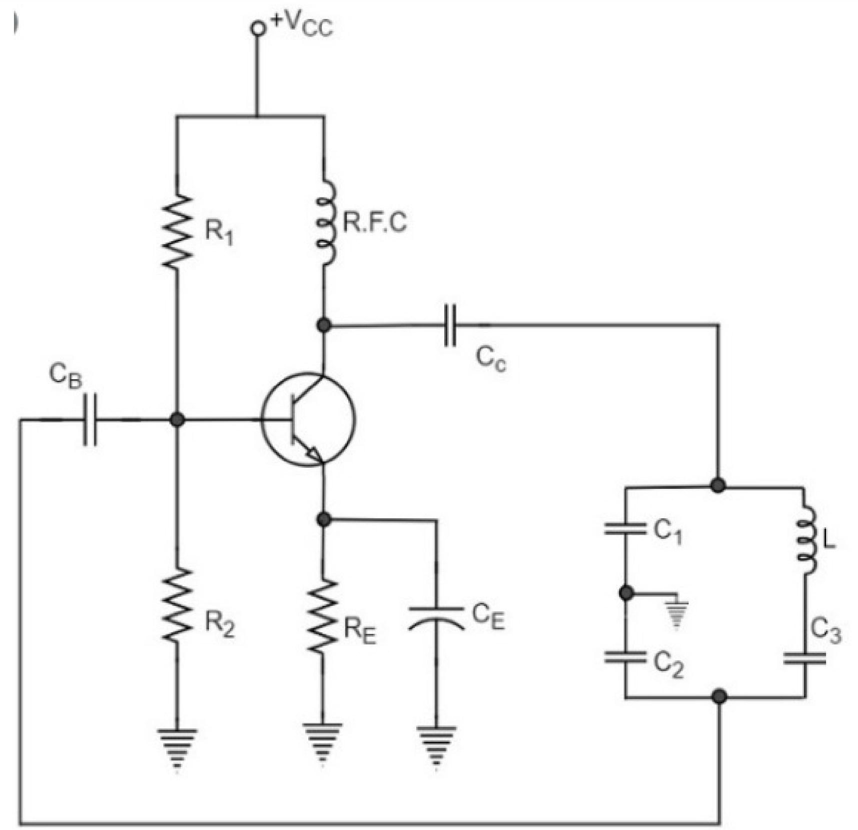
Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Klapov oscilator

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

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

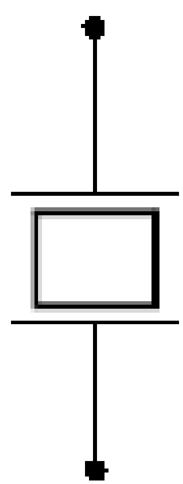
$$C_3 \ll C_1, C_2 \quad \Rightarrow C_{eq} \approx C_3$$



Dodatakom kondenzatora C_3 na red sa kalemom L poboljšava se stabilnost oscilacija jer se smanjuje uticaj parazitnih kapacitivnosti aktivnog elementa. Ove parazitne kapacitvnosti su praktično pridodate kapacitivnostima kondenzatora C_1 i C_2.

Oscilatori sa kristalom kvarca

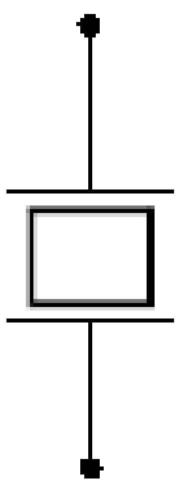
Kristal kvarca se koristi u elektronskim kolima jer ima piezoelektrične osobine. Ukoliko se površine kristal kvarca naelektrišu dolazi do deformacije kristala. Kada se kristal kvarca priključi na naizmenični napon dolazi do mehaničkih oscilacija kvarca. Pri određenoj frekvenciji signala dolazi do rezonancije mehaničkih oscilacija. Pri ovoj frekvenciji je najveća struja koja protiče kroz kvarc.

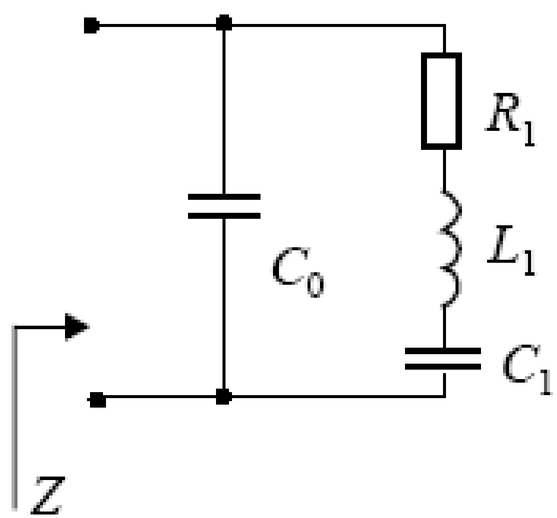


Oscilatori sa kristalom kvarca

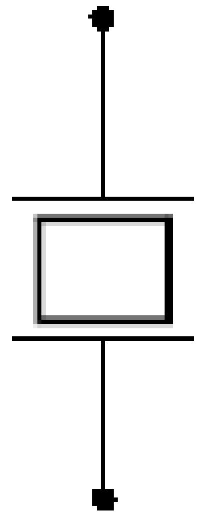
U elektronskim kolima **kristal kvarca** ima ulogu dvopola. Na dve suprotne stranice kristala nanese se sloj metala na koji se, preko provodnika, dovede signal.

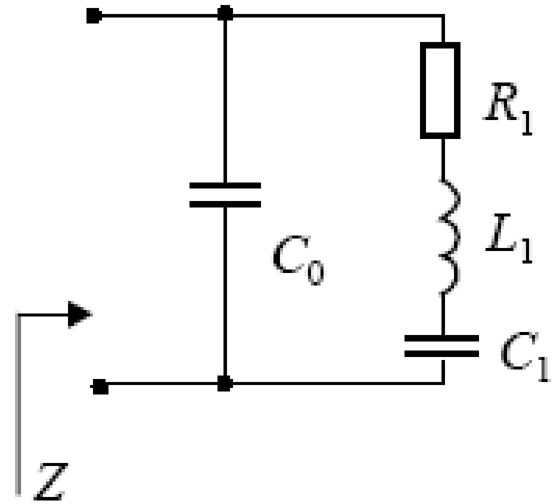
Pobuđen naizmeničnim signalom, kristal kvarca *ponaša* se kao el. impedansa:





Oscilatori sa kristalom kvarca

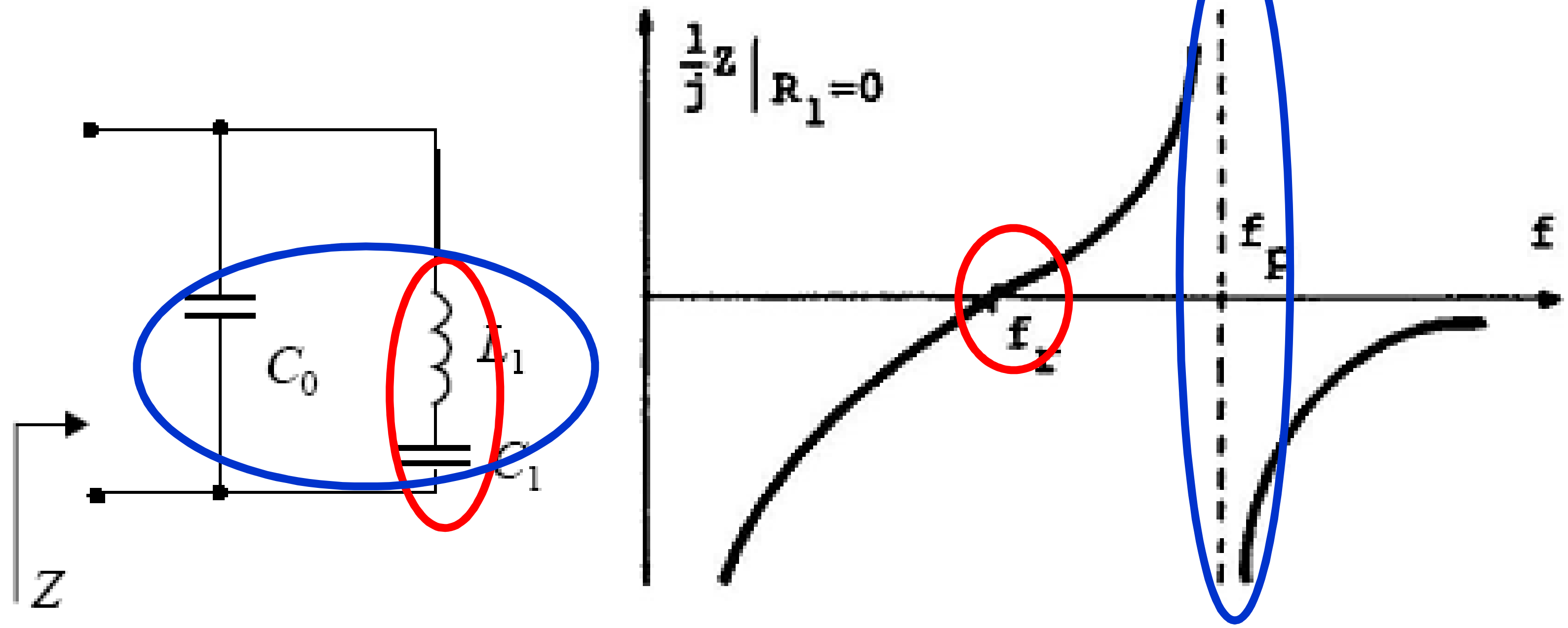




Sam krital kvaraca se ponaša kao redno oscilatorno kolo. Induktivnost u ekvivaletnoj šemi zavisi od mase kristala, kapacitivnost od elastičnosti, a otpost od kvaliteta izrade.

S obzirom da kristal zajedno sa metalnim oblogama (elektrodama) predstavlja kapacitivnost u ekvivalentnoj šemi mora da postoji i kapacitvnost paralelna rednom oscilatormom kolu, C_0.

Oscilatori sa kristalom kvarca



Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:

- rednu (grana L_1C_1)

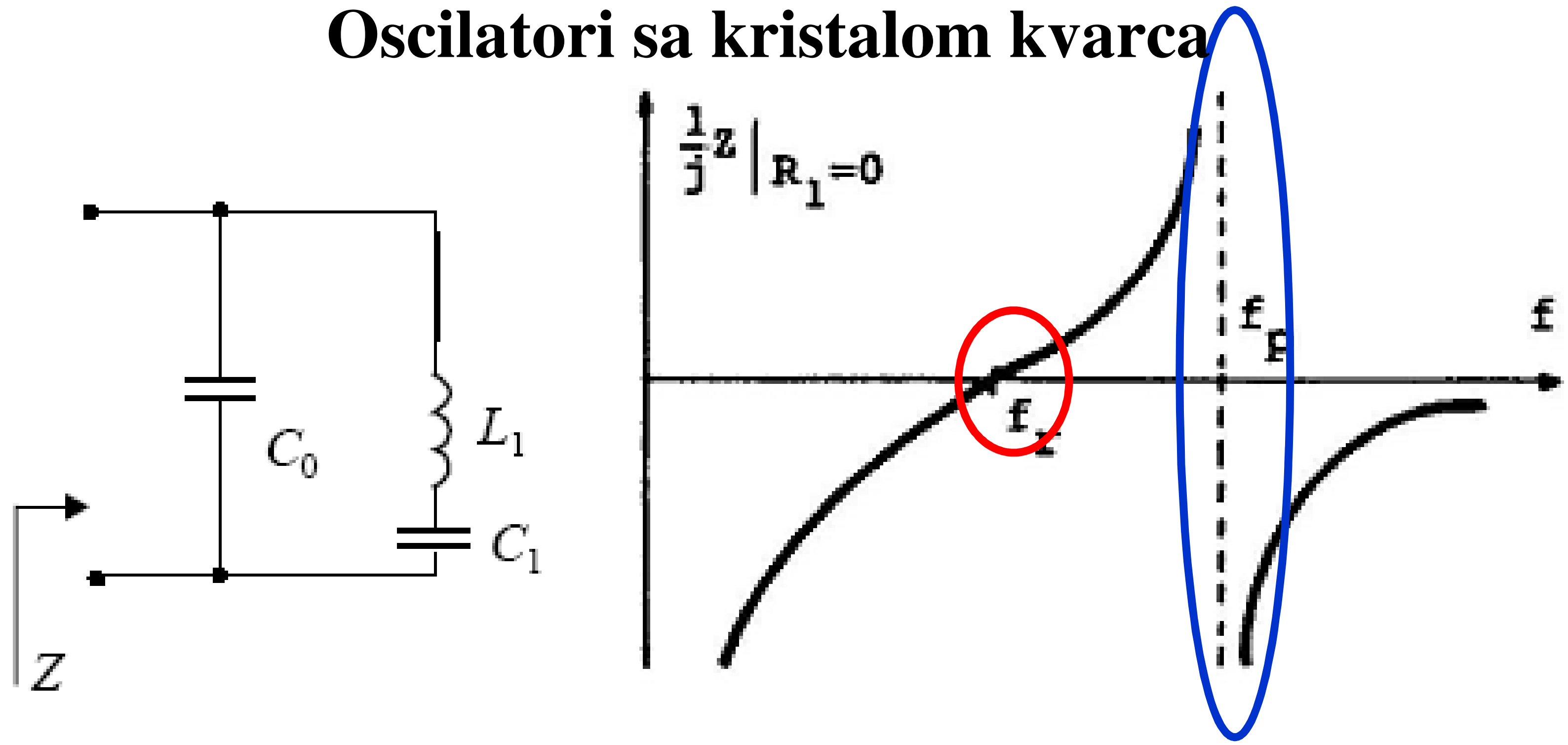
  i

- paralelnu (zaptivno kolo)

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot \frac{C_o \cdot C_1}{C_o + C_1}}}$$

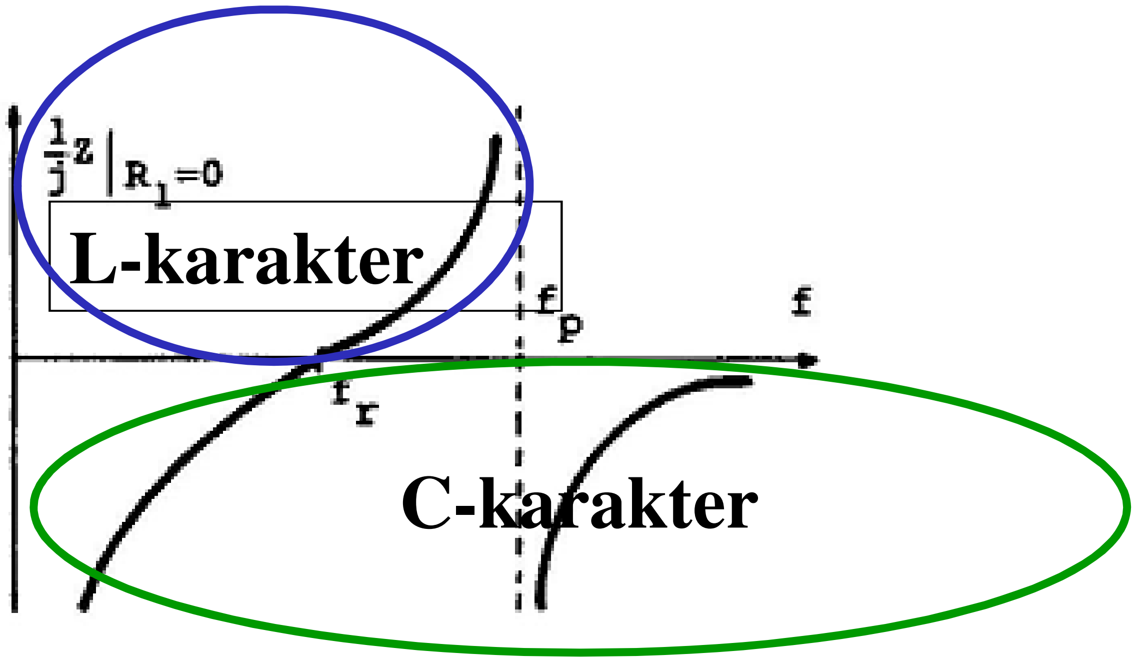
Oscilatori sa kristalom kvarca



f_r i f_P razlikuju se veoma jer je $C_0 >> C_1$.

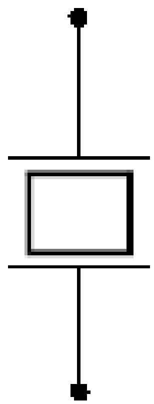
Ponaša se kao veoma selektivna impedansa jer je pri rednoj rezonansi reaktansa jednaka 0 a pri paralelnoj teži beskonačnosti.

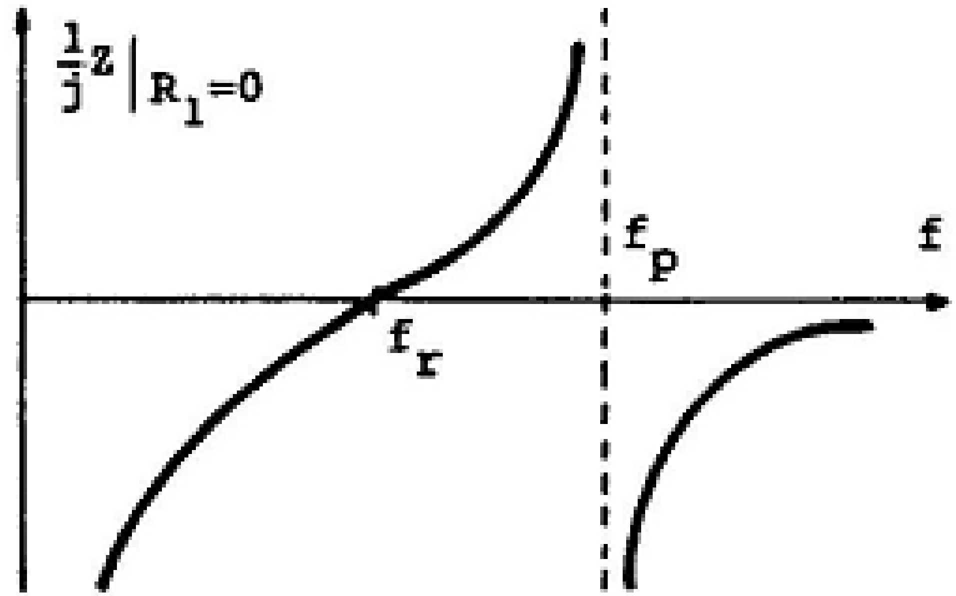
Oscilatori sa kristalom kvarca



Na frekvencijama nižim od redne rezonantne frekvencije i višim od paralelene rezonantne frekvencije kristal kvarca se ponaša kao kapacitivnost (negativna vrednost reaktanse). Između frekvencije redne i paralelen rezonanse ponaša se kao induktivnost.

Oscilatori sa kristalom kvarca

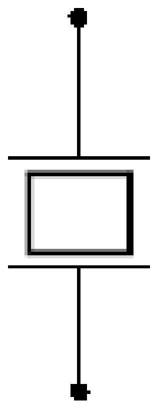


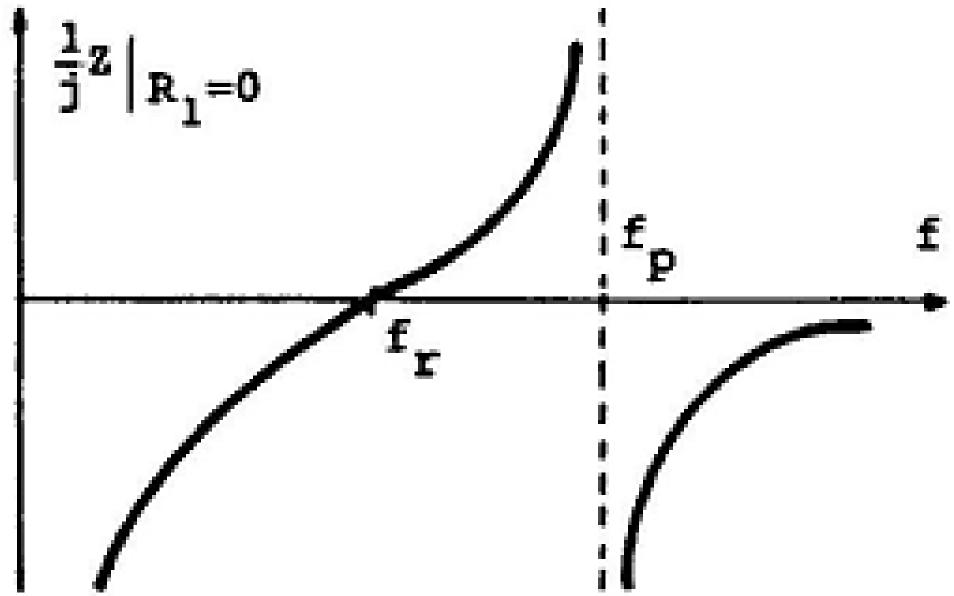


S obzirom da je razlika između rezonantnih frekvencija vrlo mala (od nekoliko Hz do nekoliko stotina Hz) frekvencijski opseg unutar koga se kristal kvaraca ponaša kao induktivnost je vrlo mali. Untar tog frekvencijskog opsega induktivnost se menja u vrlo velikim granicama.

Kada se koristi u oscilatorima kristal kvaraca zamenjuje induktivnost. To praktično znači da se frekvencija oscilovanja nalazi između dve granične frekvencije.

Oscilatori sa kristalom kvarca





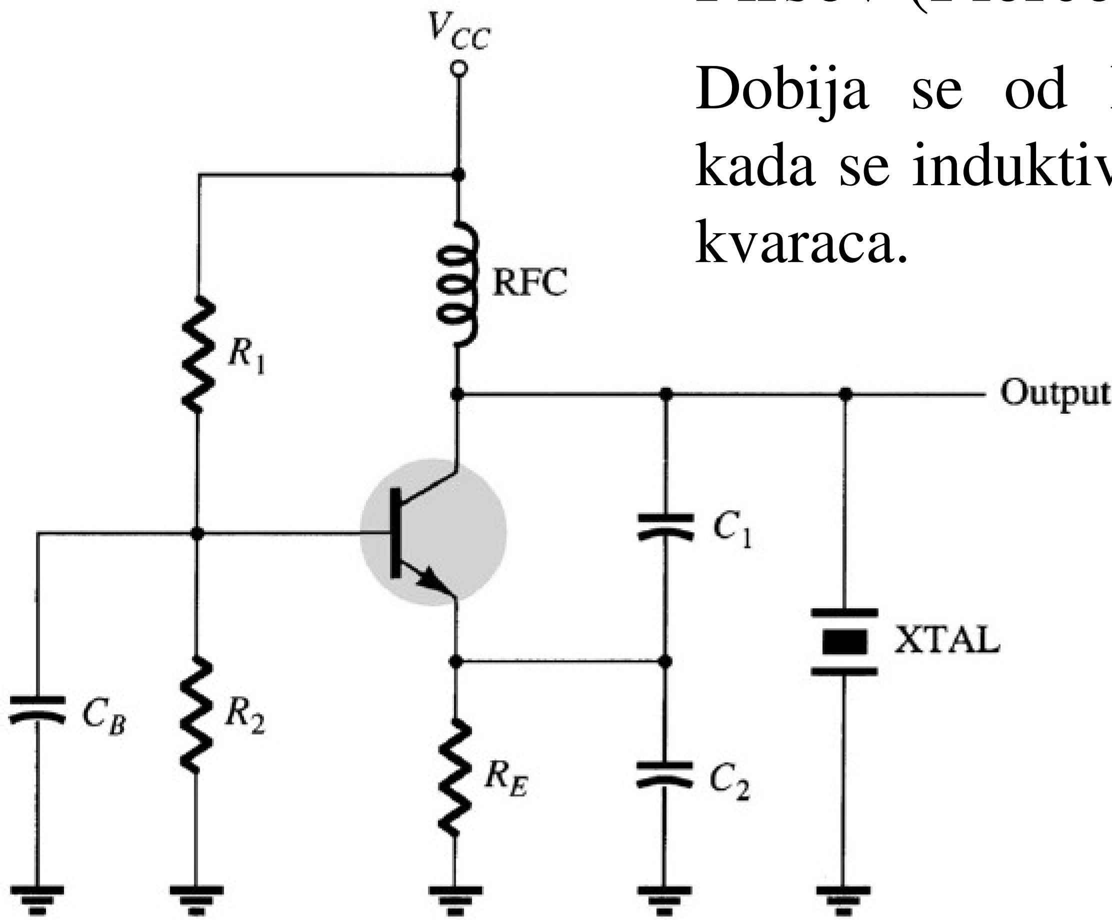
Kada se kristal kvaraca koristi u oscilatorima frekvencija oscilovanja se podešava tako da bude u području **gde je najveća promena induktanse sa frekvencijom**. Stabilnost oscilacija se postiže zahvaljujući činjenici da pri malim promenama frekvencije oscilovanja dolazi do velike promene induktivnosti.

To praktično znači da će ove velike promene induktivnosti da kompenzuju promene svih ostalih parametara koji utiču na frekvenciju oscilacija.

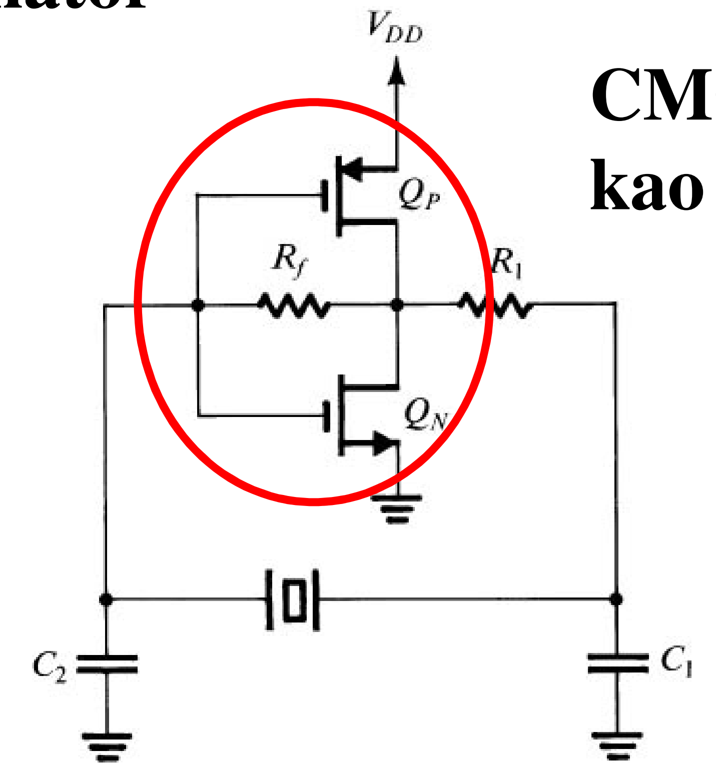
Oscilatori sa kristalom kvarca

Pirsov (Pierce) oscilator.

Dobija se od Kolpicovog oscilatora kada se induktivnost zameni kristalom kvaraca.



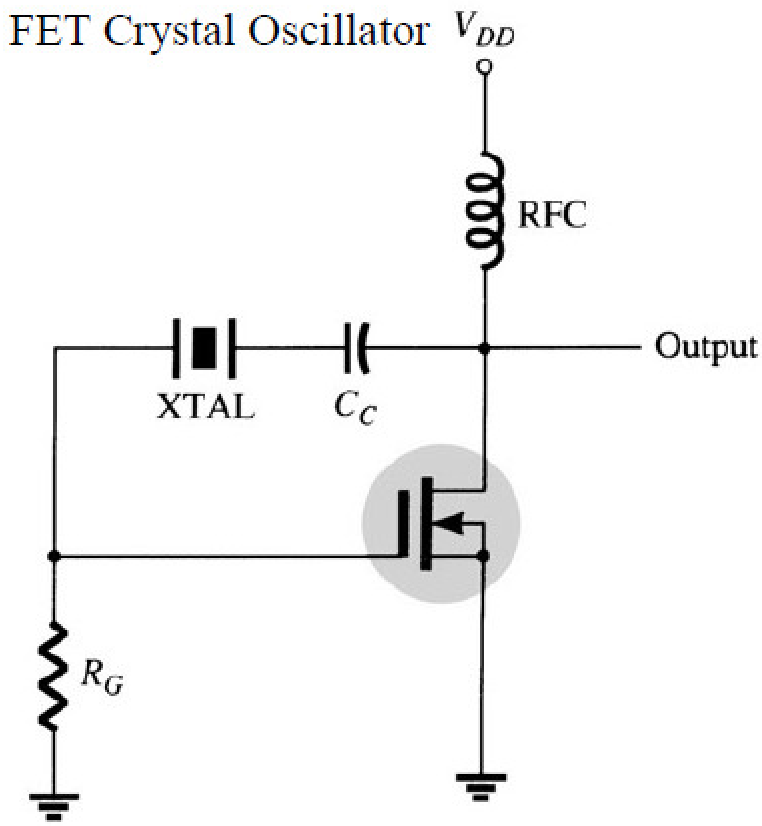
Pirsov oscilator



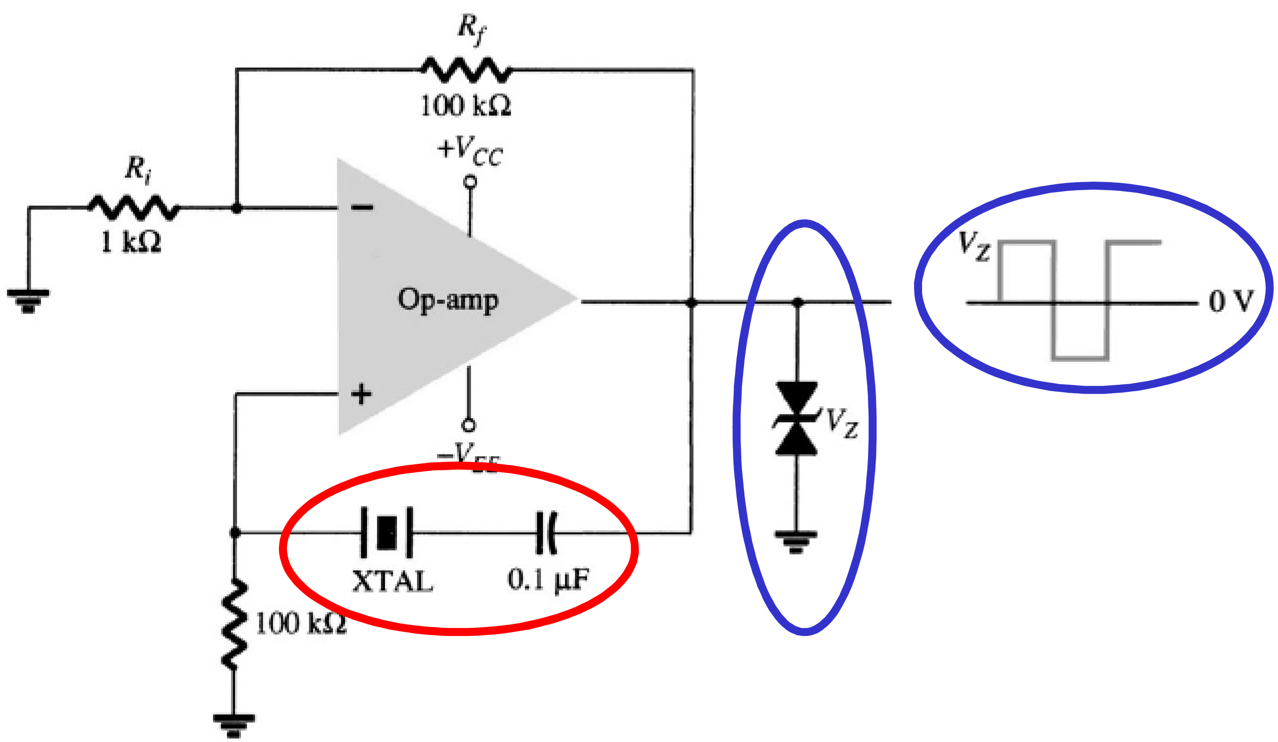
CMOS invertor kao pojačavač

Oscilatori sa kristalom kvarca

Redno



Oscilatori sa kristalom kvarca



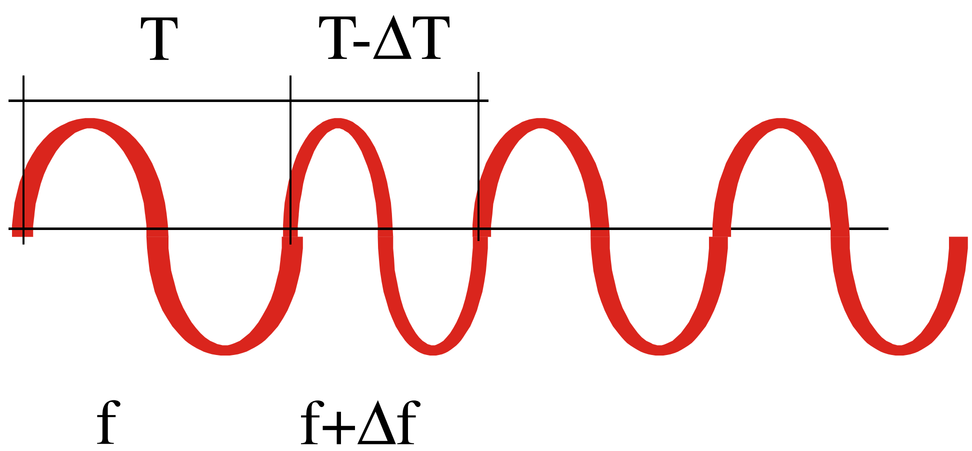
Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

Frekvencija oscilovanja menja se u vremenu.

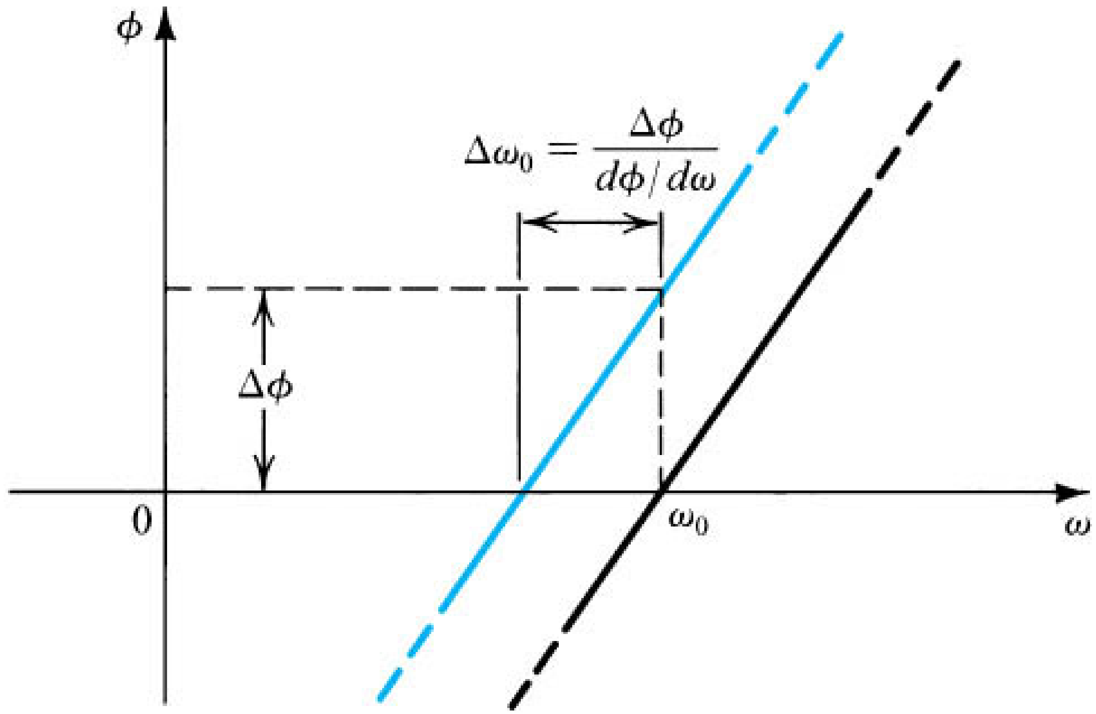
Stabilnost frekvencije određuje se kao količnik priraštaja frekvencije u datom vremenskom intervalu i nominalne vrednosti frekvencije.

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



Stabilizacija frekvencije oscilovanja

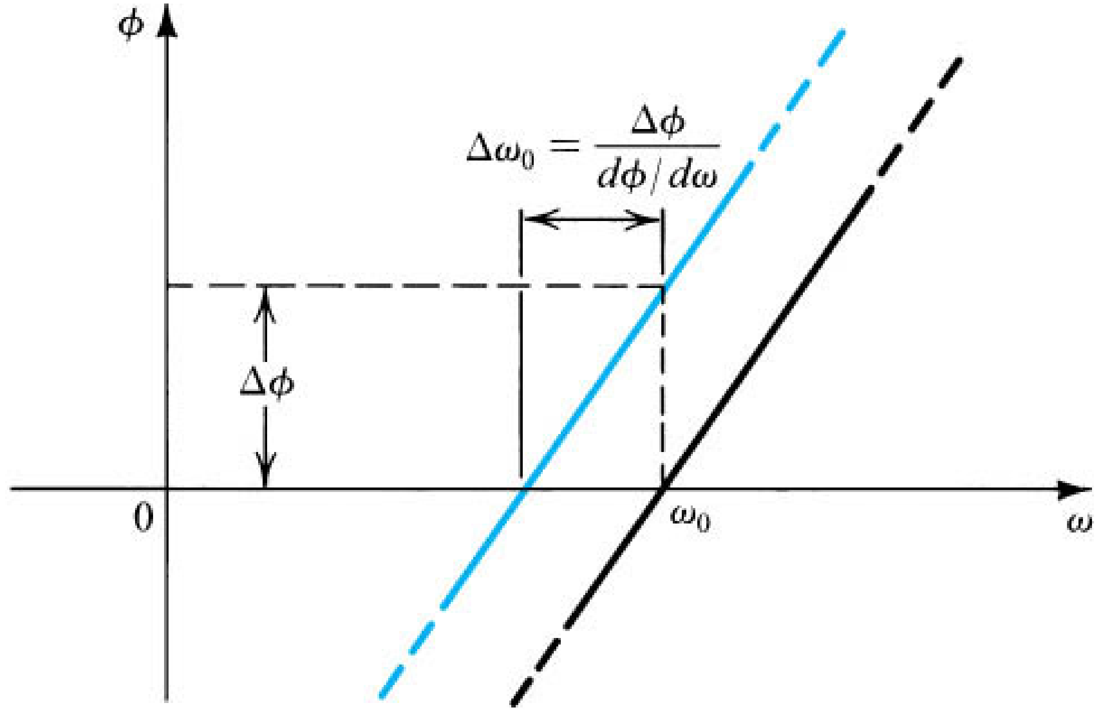
$$S_{\mathbf{f}} = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta\omega}{\omega}$$



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

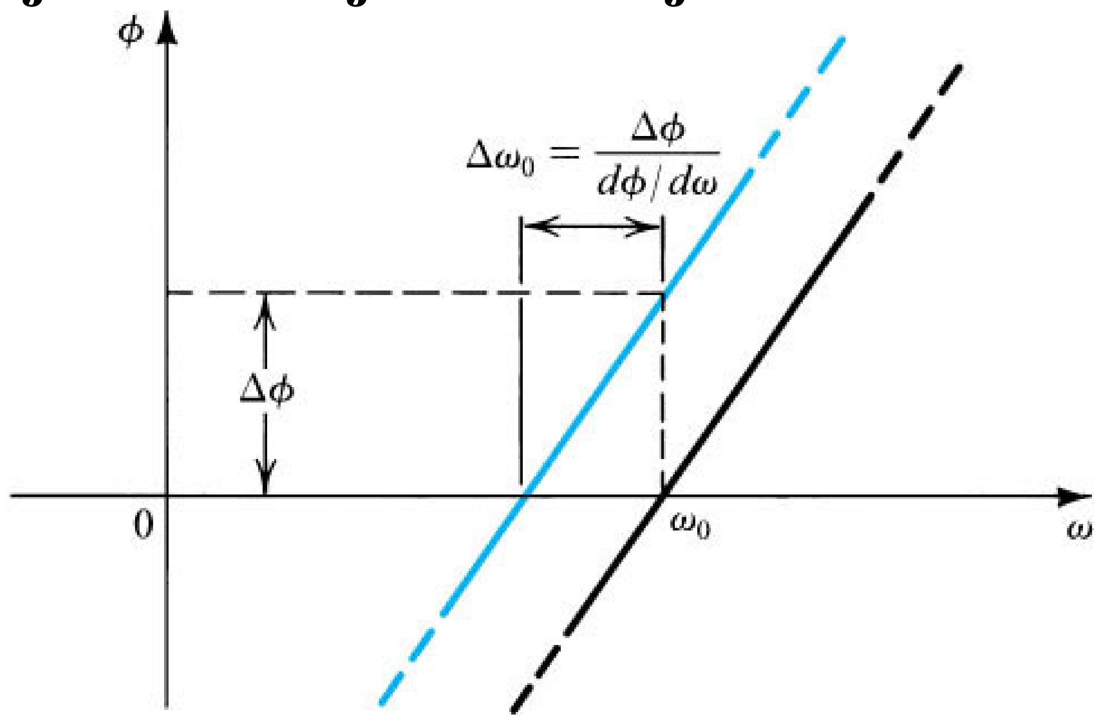
$$S_f = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta\omega}{\omega}$$



Usled promene parametara kola dolazi do promene faze kružnog pojačanja. Da bi se uspostavile oscilacije neophodno je da dodje do promene frekvencije oscilovanja na vrednost pri kojoj je faza kružnog pojačanja ponovo nula. Ukoliko je izvod faze po frekvenciji veći nastupiće manje odstupanje frekvencije oscilovanja. **Što je veća vrednost izvoda faze po frekvenciji stabilnost frekvencije oscilovanja je veća**.

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

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



Kolo oscilatora će generisati stabilnu frekvenciju oscilovanja ukoliko poseduje *elemente koji unose veliki fazni pomeraj kružnog pojačanja pri promeni frekvencije*. Ovi elementi obezbediće da uticaj ostalih elemenata kola na frekvenciju oscilovanja bude zanemariv.

Stabilizacija frekvencije oscilovanja

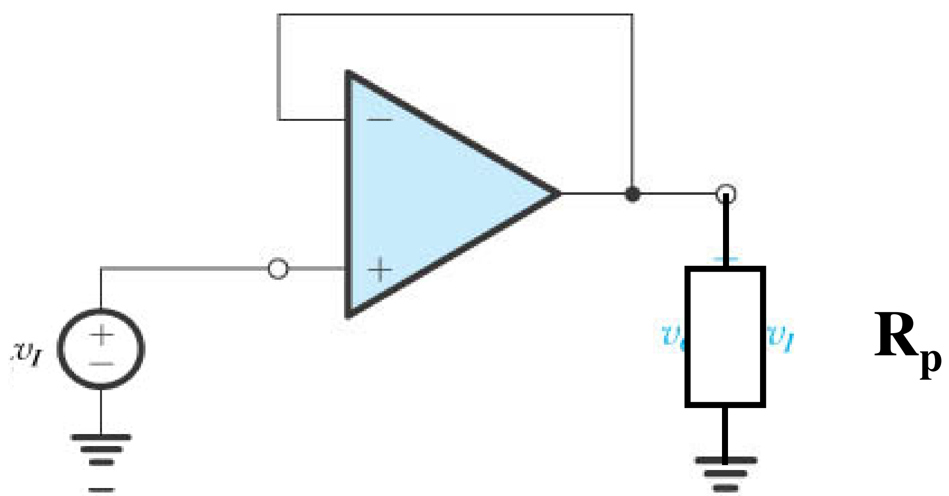
Parametri aktivnog elementa menjaju vrednosti zbog promene položaja radne tačke (promena napona napajanja i/ili temperature). Starenje utiče na promenu vrednosti, kako aktivnih tako i pasivnih elemenata kola. Pojedini parametri aktivnog elementa utiču direktno na frekvneciju oscilovanja.

Broj parametara aktivnih elementa je veliki i teško je pratiti njihove vrednosti, a pogotovu je komplikovano osigurati da budu konstantne. Nije realno obezbediti da varijacije svih parametri koji utiču na frekvenciju oscilacija budu male. Umesto toga potrebno je ustanoviti koji parametri kola dominantno utiču na frekvenciju osiclovanja i obezbediti stabilnost njihovih vrednosti.

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 pojačavača,
- izboru tolerancija pasivnih elemenata i njihovog kvaliteta i sl.

Dalje povećanje stabilnosti postiže se

- modifikacijama kola oscilatora ili
- primenom kristala kvarca.

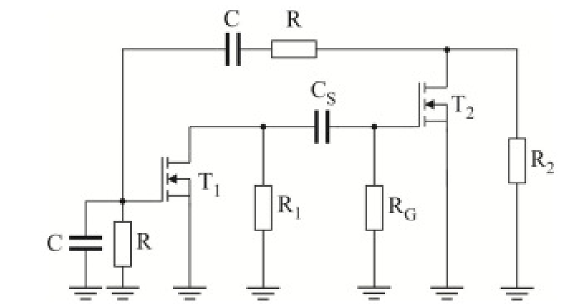
Stabilizacija frekvencije oscilovanja

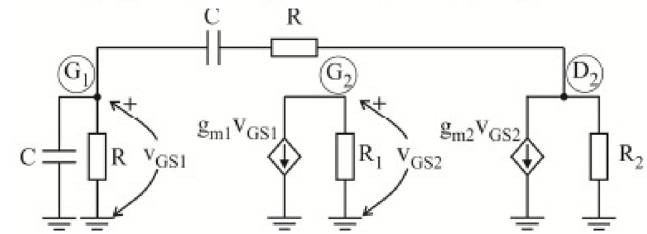
Kod standardnih oscillatora stabilnost frekvencije je reda 10^{-2}. Ugrađivanjem kristala kvarca u kolo oscilatora postiže se velika stabilnost, reda 10^{-6}.

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.

Postupak analize oscilatora

I NAČIN





Sistem jednačina formulisan po metodu potencijala čvorova izražen u matričnom obliku:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R}+j\omega C+\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} & 0 & -\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} \\ g_{m1} & \frac{1}{R_1} & 0 \\ -\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} & g_{m2} & \frac{1}{R_2}+\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_{G1} \\ v_{G2} \\ v_{D2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{1}{R}+j\omega C+\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} & 0 & -\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} \\ g_{m1} & \frac{1}{R_1} & 0 \\ -\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} & g_{m2} & \frac{1}{R_2}+\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{R}+j\omega C & 0 & -\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} \\ g_{m1} & \frac{1}{R_1} & 0 \\ \frac{1}{R_2} & g_{m2} & \frac{1}{R_2}+\frac{j\omega C}{1+j\omega CR} \end{vmatrix} = 0 + j0$$

$$\Delta = \frac{1}{RR_1R_2} + \frac{j\omega C}{RR_1(1+j\omega CR)} + \frac{j\omega C}{R_1R_2} - \frac{\omega^2C^2}{R_1(1+j\omega CR)} + \frac{j\omega C}{R_1R_2(1+j\omega CR)} - \frac{j\omega C g_{m1}g_{m2}}{1+j\omega CR} = 0 \Big/ RR_1R_2(1+j\omega CR)$$

$$-\omega^2C^2R^2 + 2j\omega CR + 1 - \omega^2C^2R_2R + j\omega CR_2 + j\omega CR - j\omega CR_1R_2Rg_{m1}g_{m2} = 0$$

Imaginarni deo — Realni deo

$$3j\omega CR + j\omega CR_2 - j\omega CR_1R_2Rg_{m1}g_{m2} = j0$$

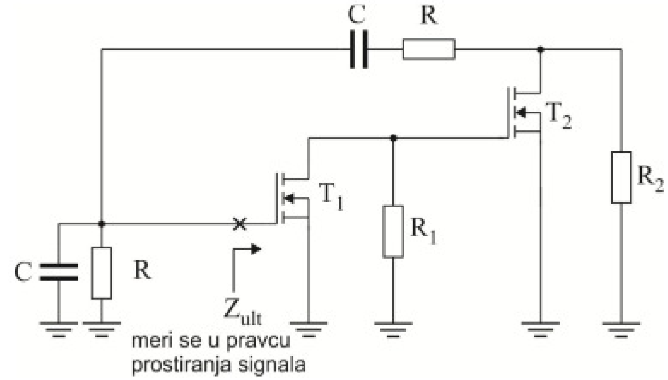
$$g_{m1}g_{m2} = \frac{3}{R_1R_2} + \frac{1}{RR_1} = 16\cdot 10^{-6}\,S^2$$

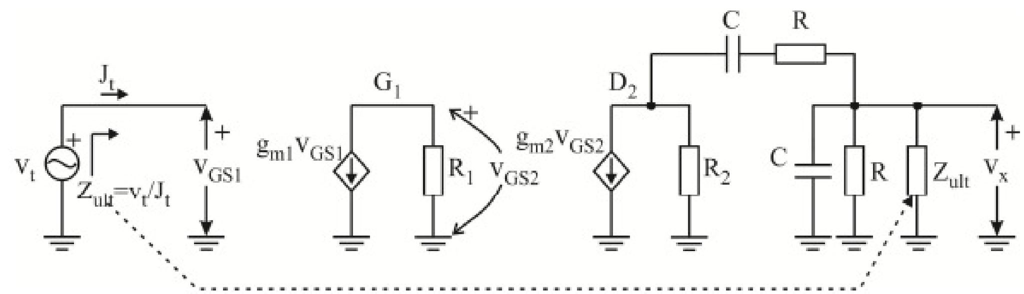
$$-\omega^2C^2R^2 - \omega^2C^2R_2R + 1 = 0$$

$$\omega_0 = \frac{1}{CR\sqrt{1+\frac{R_2}{R}}} = 500\ rad/S$$

Postupak analize oscilatora

II NAČIN





$$J_{ult}=0 \Rightarrow Z_{ult} \to \infty$$

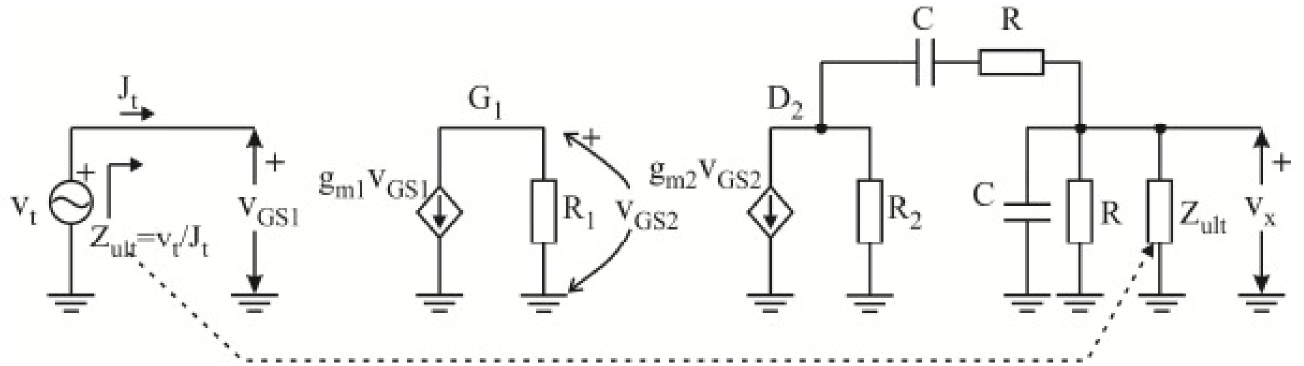
$$v_{G1}\frac{1}{R_1}+g_{m1}\cdot v_{GS1}=0$$

$$v_{D2}\cdot\frac{1}{R_2}+g_{m2}\cdot v_{GS2}+\left(v_{D2}-v_x\right)\frac{1}{\frac{1}{sC}+R}=0$$

$$v_{D2}\cdot\frac{1}{R}+v_{D2}\cdot sC+v_{D2}\cdot\frac{1}{Z_{ult}}+\left(v_x-v_{D2}\right)\frac{1}{\frac{1}{sC}+R}=0$$

$$AB=\frac{v_x}{v_t}=\frac{sC\cdot R\cdot R_1\cdot R_2\cdot g_{m1}\cdot g_{m2}}{1+s\left(3CR+CR_2\right)+s^2\left(C^2R^2+C^2RR_2\right)}$$

Barkhauzenov uslov: $AB = 1 + j0$



$$\frac{sC \cdot R \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot g_{m1} \cdot g_{m2}}{1 + s(3CR + CR_2) + s^2(C^2R^2 + C^2RR_2)} = 1 \Big/ \cdot \left[1 + s(3CR + CR_2) + s^2(C^2R^2 + C^2RR_2)\right]$$

$$sC \cdot R \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot g_{m1} \cdot g_{m2} = 1 + s(3CR + CR_2) + s^2(C^2R^2 + C^2RR_2)$$

$$1 + s(3CR + CR_2 - g_{m1}g_{m2}CRR_1R_2) + s^2(C^2R^2 + C^2RR_2) = 0$$

$$1 + j\omega(3CR + CR_2 - g_{m1}g_{m2}CRR_1R_2) - \omega^2(C^2R^2 + C^2RR_2) = 0$$

Realni deo

$$1 - \omega^2(C^2R^2 + C^2RR_2) = 0$$

$$\Downarrow$$

$$\omega_0 = \frac{1}{CR\sqrt{1 + \frac{R_2}{R}}}$$

Imaginarni deo

$$3CR + CR_2 - g_{m1}g_{m2}CRR_1R_2 = 0$$

$$\Downarrow$$

$$g_{m1}g_{m2} = \frac{3}{R_1R_2} + \frac{1}{RR_1}$$

Oscilatori

Elementarna pitanja

1. Barkhauzenov uslov oscilovanja.
2. Odlike RC i LC oscilatora. Najpozantiji tipovi linearnih oscilatora.
3. Projektovanje oscilatora, kako se bira vrednost kružnog pojačanja u praksi i na koji način se dobijaju oscilacije bez izobličenja.

Ostala ispitna pitanja

4. Frekvencija i uslov oscilovanja Vinovog oscilatora.
5. Frekvencija i uslov oscilovanja oscilatora sa faznim pomerajem.
6. Oscilatori sa oscilatornim kolima u opštem slučaju (električna šema, uslov oscilovanja i frekvencija oscilovanja preko reaktansi).
7. Kolpicov (Colpitts) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).
8. Hartlijev (Hartley) oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).
9. Klapov oscilator (električna šema i frekvencija oscilovanja).
10. Električni model kristala kvarca, redna i paralelna rezonansa.