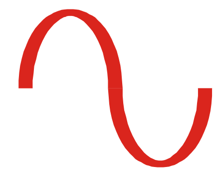
Oscilatori

Namena

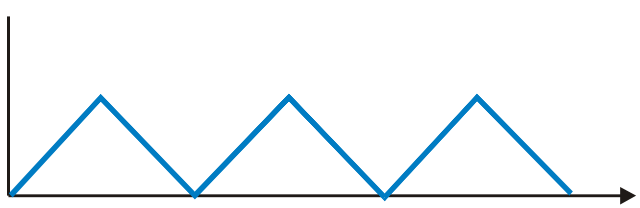
Oscilator je električno kolo koje generiše periodičan signal određene frekvencije pretvarajući jednosmernu električnu energiju u naizmeničnu.

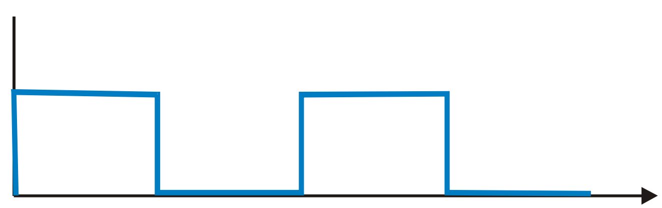
Klasifikacija:

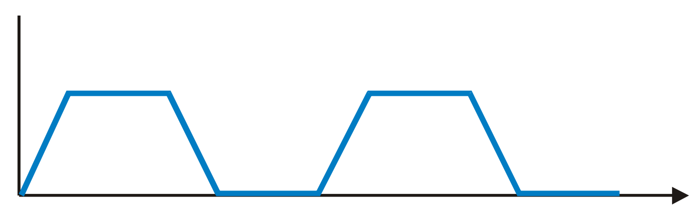
1) Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija - harmonijski ili linearni



2) Oscilatori složenoperodičnih oscilacija

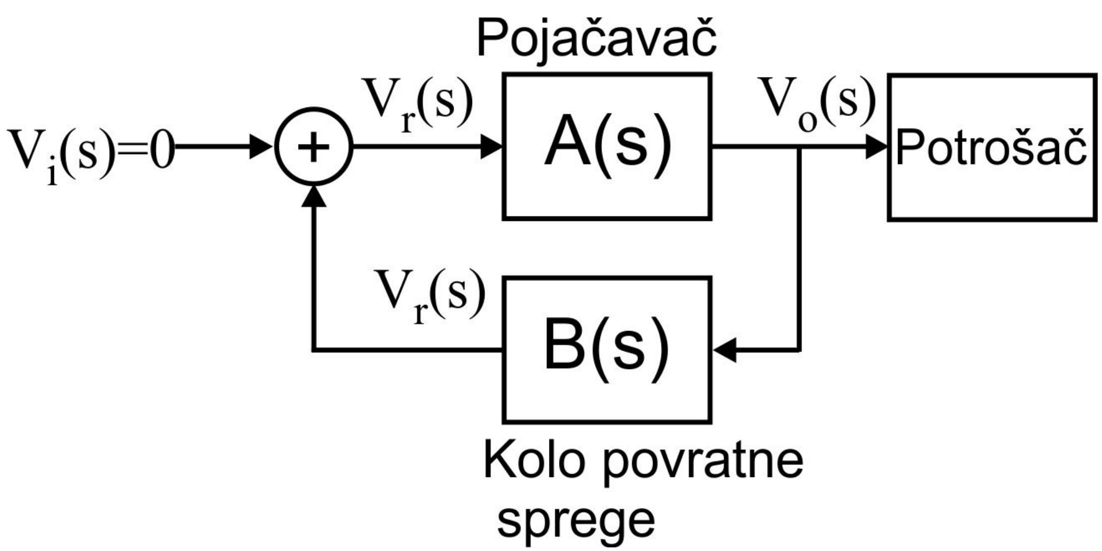






Princip rada

Oscilatori su kola sa pozitivnom povratnom spregom koja generišu signal na izlazu iako nema pobudnog signala. Sastoje se od pojačavača A i kola povratne sprege B. Prenosna funkcija kola povratne sprege je frekvencijski zavisno za razliku od kola sa negativnom povratnom spregom. Kolo povratne sprege u oscilatoru je frekvencijski selektivno pasivno kolo.

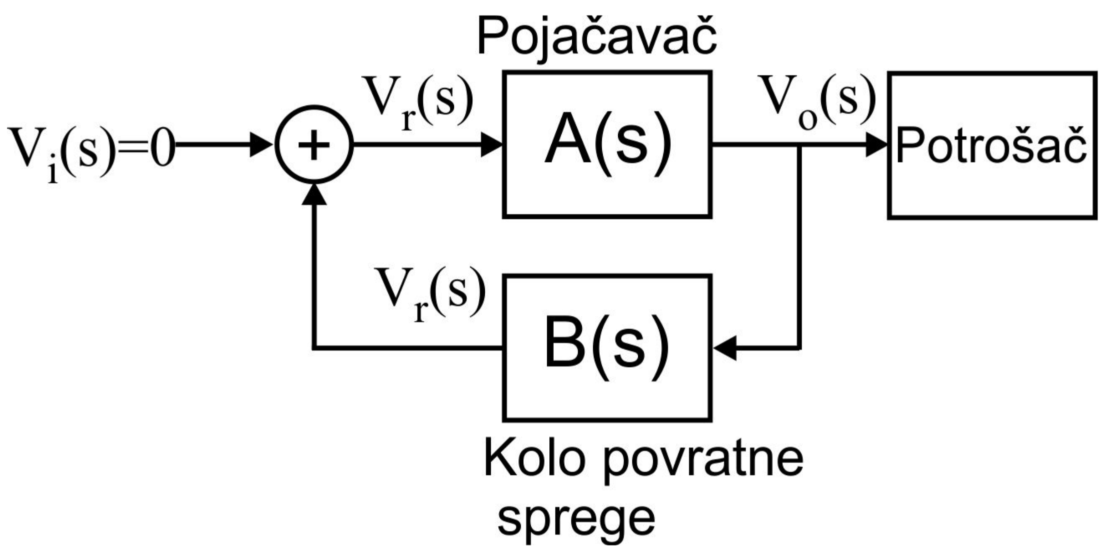


Princip rada

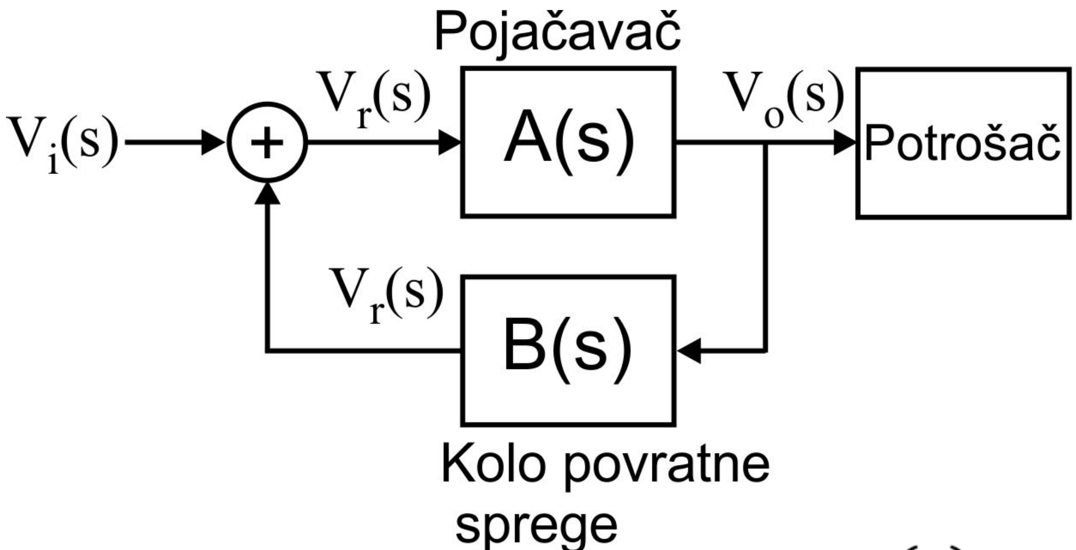
Da bi se uspostavile oscilacije potrebno je pored pojačanja signala i vraćanja signala sa izlaza na ulaz obezbediti:

- ograničenje amplitude signala
- frekvencijsku selekciju signala.

Najčešće pojačavač obezbeđuje ograničenje amplitude signala zahvaljujući svojoj nelinearnoj karakteristici. Isto tako kolo povratne sprege pored vraćanja signala sa izlaza na ulaz obezbeđuje frekvencijsku selekciju signala. Da bi obavilo ovu funkciju kolo povratne sprege mora da sadrži reaktivne elemente.



Princip rada

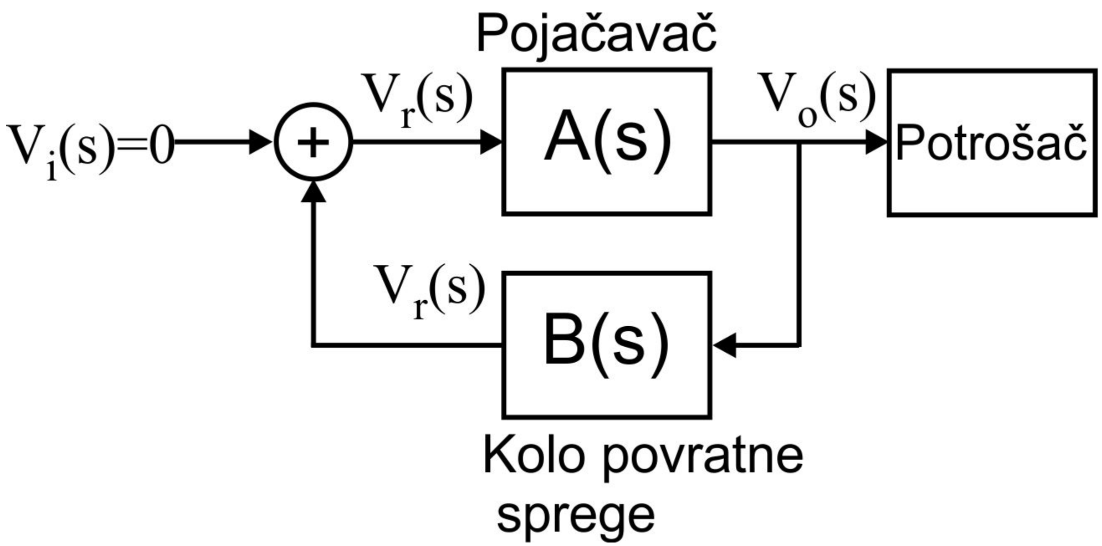


$$V_o(s) = A(s) \cdot [V_i(s) + V_r(s)]$$

$$V_r(s) = B(s) \cdot V_o(s)$$

Pojačanje kola sa povratnom spregom u frekvencijskom domenu.

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



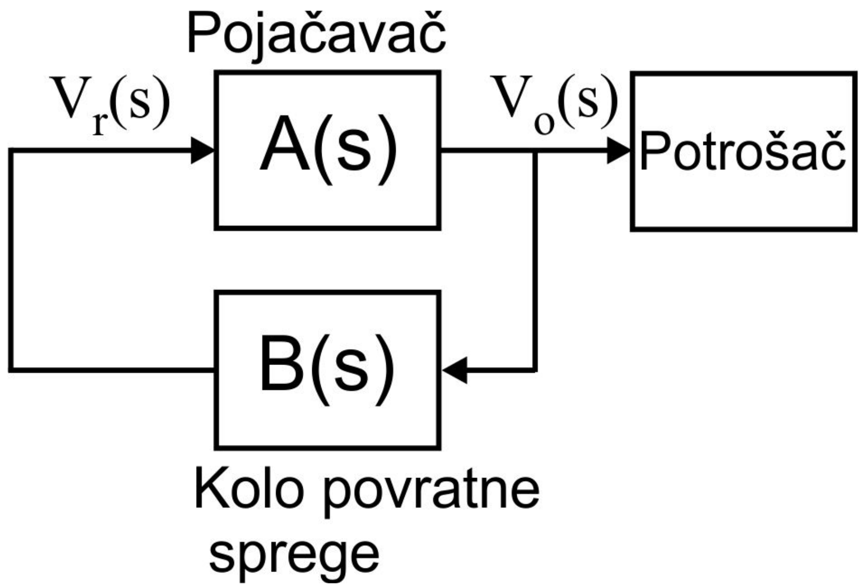
$$A_r(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{A(j\omega)}{1 - A(j\omega) \cdot B(j\omega)}$$

$$V_o(j\omega) = A_r(j\omega) \cdot V_i(j\omega)$$

$$\begin{matrix} \boldsymbol{V_o(s) \neq 0} \\ \boldsymbol{V_i(s) = 0} \end{matrix} \Rightarrow A_r(j\omega_o) \to \infty \Rightarrow 1 - A(j\omega_o) \cdot B\ (j\omega_o) = 0$$

Da bi se javile oscilacije na izlazu i bez pobudnog signala, v_i, neophodno je da imenilac prenosne funkcije na frekvenciji oscilacija, ω_o, bude jednak nuli.

$A\ (j\omega_o)\ B\ (j\omega_o) = 1$ Barkhauzenov kriterijum oscilovanja



$$T(j\omega_o) = A(j\omega_o) \cdot B(j\omega_o) = 1$$

Barkhauzenov kriterijum oscilovanja sadrži dva uslova od kojih se jedan odnosi na argument a drugi na moduo kružnog pojačanja T(jω) na frekvenciji oscilovanja ωo:

$$\boxed{\arg\{T(j\omega_o)\} = n \cdot 360} \qquad n = 1,2,\ldots \qquad \boxed{|T(j\omega_o)| = 1}$$

U najvećem broju slučajeva frekvencija oscilacija nalazi se u srednjefrekvencijskom opsegu pojačavača. To znači da je pojačnje pojačavača pozitivan ili negativan realan broj. Ukoliko je pojačanje A pozitivno potrebno je da kolo povratne sprege realizuje fazni pomeraj od 360°, a ukoliko je A negativno potrebno je da kolo povratne sprege ostvari fazni pomeraj od 180°.

$$\mathrm{T}(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) = \mathrm{A}(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) \cdot B(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) = 1$$

$$\mathrm{T}(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) = \mathrm{A_o} \cdot B(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) = 1$$

$$B_r(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) \cdot \mathrm{A_o} + \mathrm{j}\, B_i(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) \cdot A_o = 1$$

$$B_r(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) \cdot \mathrm{A_o} = 1 \quad \Rightarrow \quad A_o = \frac{1}{B_r(j\omega)}$$

$$B_i(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) \cdot A_o = 0 \quad \Rightarrow \quad B_i\,(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) = 0$$

Barkhauzenov kriterijum u pravouganoj formi sadrži sledeća dva uslova:

uslov za pojačanje

$$\boxed{A_o = \frac{1}{B_r(j\omega)}}$$

uslov za frekvenciju oscilovanja

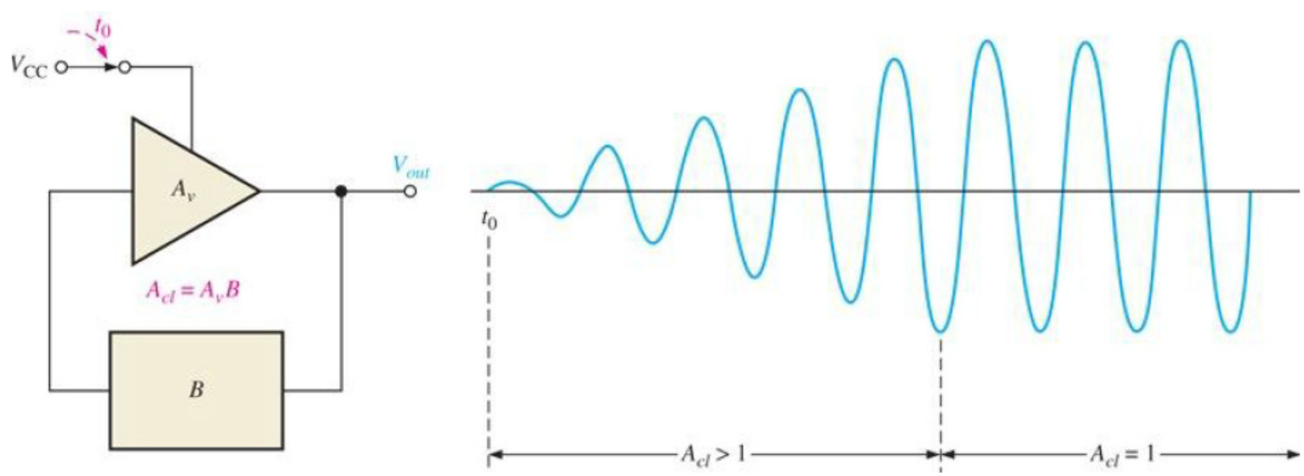
$$\boxed{B_i(\mathrm{j}\omega_\mathrm{o}) = 0}$$

Uspostavljanje oscilacija

Uspostavljanje oscilacija je složen nelinaran proces. Da bi se generisale oscilacije neophodan uslov je da kolo na početku bude nestabilno, a da bi bilo nestabilno potrebno je da polovi kružnog pojačanja (nule polinoma imenioca) budu u desnoj poluravni kompleksne učestanosti.

Prilikom projektovanja oscilatora uvek se elementi kola dimenzionišu na takav način da kružno pojačanje bude veće od 1. Ukoliko bi kružno pojačanje podesili da bude tačno 1, male promene parametara koji utiču na kružno pojačanje dovele bi do prestanka osiclacija.

Na početku se usled postojanja termičkog šuma ili prelaznog režima kada se uključi napajanja pojavljuje rastući sinusni signal. Dolazi do spontanog povećanja amplitude oscilacija što dovodi pojačavač u oblast rada koja nije linearna. Usled toga dolazi do umanjenja pojačanja i pomeranja polova ka imaginarnoj osi.



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

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

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

amplituda **frekvencija**

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

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

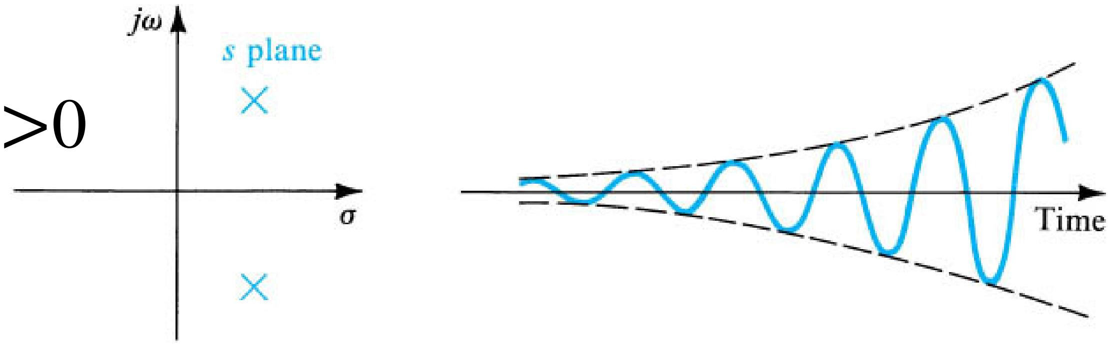
Polovi kružnog pojačanja A(s)B(s)

Signal koji generiše kolo u vremenskom domenu

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

Amplituda raste dok ne uđe u zasićenje

$\sigma > 0$

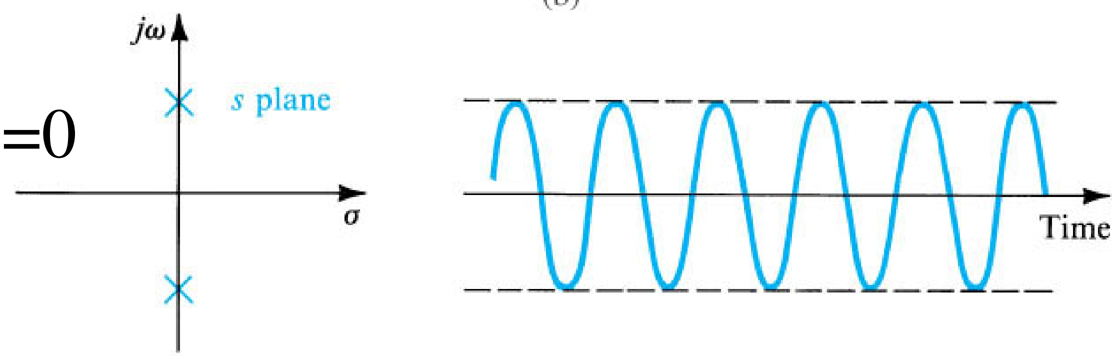


(b)

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

Amplituda stabilna

$\sigma = 0$



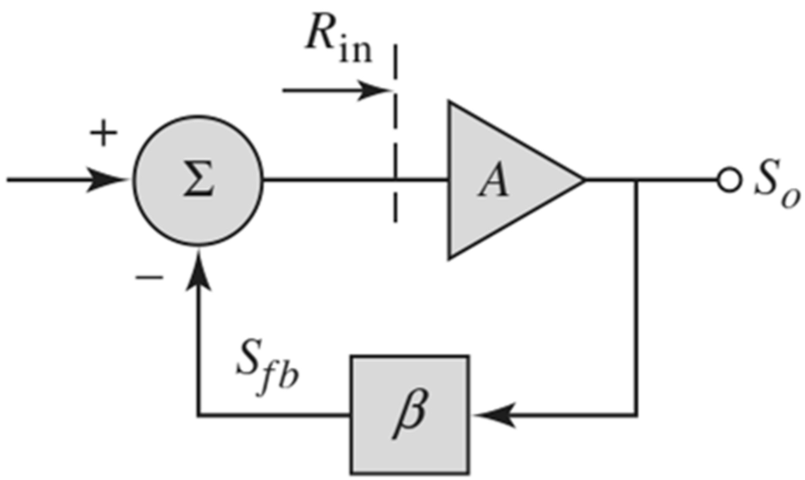
Pre nego što se uspostave oscilacije kolo je nestabilno jer se polovi kružnog pojačanja nalaze u desnoj poluravni kompleksne učestalosti (gornja slika). Amplituda oscilacija raste. Usled porasta amplitude pojačavač dolazi u nelinearnu oblast rada što ima za posledicu pomeranje polova ka imaginatnoj osi. Kada se to desi uspostavlja se konstantna vrednost amplitude oscilacija (donja slika).

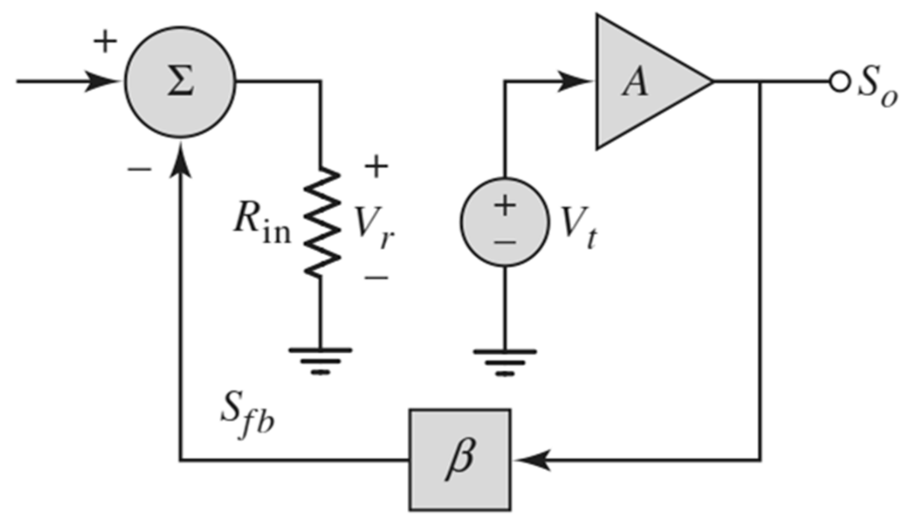
Analiza oscilatora

Postoje dva načina za analizu oscilatora.

1) Izjednačavnje izraza za kružno pojačanje sa 1

Najpre je potrebno izraziti kružno pojačanje preko parametara kola i frekvencije. Da bi se dobio izraz za kružno pojačanje raskida se kolo povratne sprege u određenoj tački i na mestu prekida se priključuje testni generator, *Vt*. Otpornost koja se vidi sa krajeva testnog generatora, Rin, doda na drugoj strani preseka u odnosu na testni generator. Kružno pojačanje predstavlja odnos vraćenog signala Vr i signala testnog generatora, Vt. $A \cdot B = \frac{v_r}{v_t}$





Iz uslova $A(j\omega_o) \cdot B(j\omega_o) = 1$ dobijaju se sledeće dve jednačine:

$Re\{A(j\omega_o) \cdot B(j\omega_o)\} = 1$ $Im\{A(j\omega_o) \cdot B(j\omega_o)\} = 0$

Analiza oscilatora

2) Izjednačavanje determinante matrice sistema jednačina sa nulom

Naponi i struje u kolu mogu se odrediti primenom Kramerovih pravila ukoliko se sistem jednačina koji opisuje kolo izrazi u matričnom obliku. Kada se formira sistem jednačina po metodu potencijala čvorova nepoznate su potencijali čvorova, $v_1, \ldots v_n$. Ono što je specifično za kolo oscilatora je da nema pobude, tako da slobodni vektor sadrži samo nule.

$$\begin{bmatrix} \mathrm{Y}_{11} & \cdots & \mathrm{Y}_{1\mathrm{n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathrm{Y}_{\mathrm{n}1} & \cdots & \mathrm{Y}_{\mathrm{nn}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{0}$$

$$v_i = \frac{\det(\mathbf{Y_i})}{\det(\mathbf{Y})} = \frac{0}{\det(\mathbf{Y})} \qquad \mathrm{i} = 1, \ldots, \mathrm{n}$$

Determinanta matarice **Yi** je jednaka nuli jer i-ta kolona ove matrice sadrži samo nule. Matrica **Yi** se dobija kada se i-ta kolona matrice **Y** zameni slobodnim vektorom.

Analiza oscilatora

$$v_i = \frac{\det(\mathbf{Y_i})}{\det(\mathbf{Y})} = \frac{0}{\det(\mathbf{Y})} \qquad i = 1, \dots, n$$

U kolu oscilatora postoje naizmenični naponi i struje na frekvenciji oscilacija ω_o iako nema spoljašnje pobude. Odavde sledi da je neophodan uslov da postoje naizmenične komponente struja i napona u kolu da determinanta matrice sistema jednačina koji opisuje kolo det(**Y**) na frekvenciji oscilacija bude jendnaka nuli.

$$v_i \neq \mathbf{0} \quad \Rightarrow \quad \det(\mathbf{Y}) = 0$$

Da bi nastupile oscilacije i realni i imaginarni deo determinante matrice sistema jednačina oscilatora moraju biti jednaki nuli na frekvenciji oscilacija ω_o

$$\boxed{\mathrm{Re}\{\det(\mathbf{Y})\} = 0} \qquad \boxed{\mathrm{Im}\{\det(\mathbf{Y})\} = 0}$$

Izjednačavanjem realnog dela determinante matrice sistema jednačina sa nulom dobija se uslov oscilovanja.

Izjednačavanjem imaginarnog dela determinante matrice sistema jednačina sa nulom dobija se frekvencija oscilovanja.

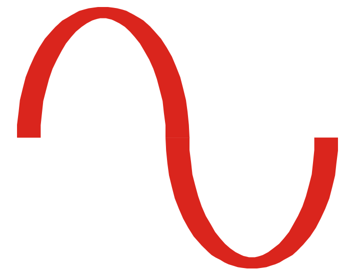
Tipovi linearnih oscilatora:

•RC oscilatori,

• Ocilatori sa oscilatornim kolima - LC oscilatori

• Ocilatori sa kristalom kvarca

U ovom kursu – linearni oscilatori



Tipovi:

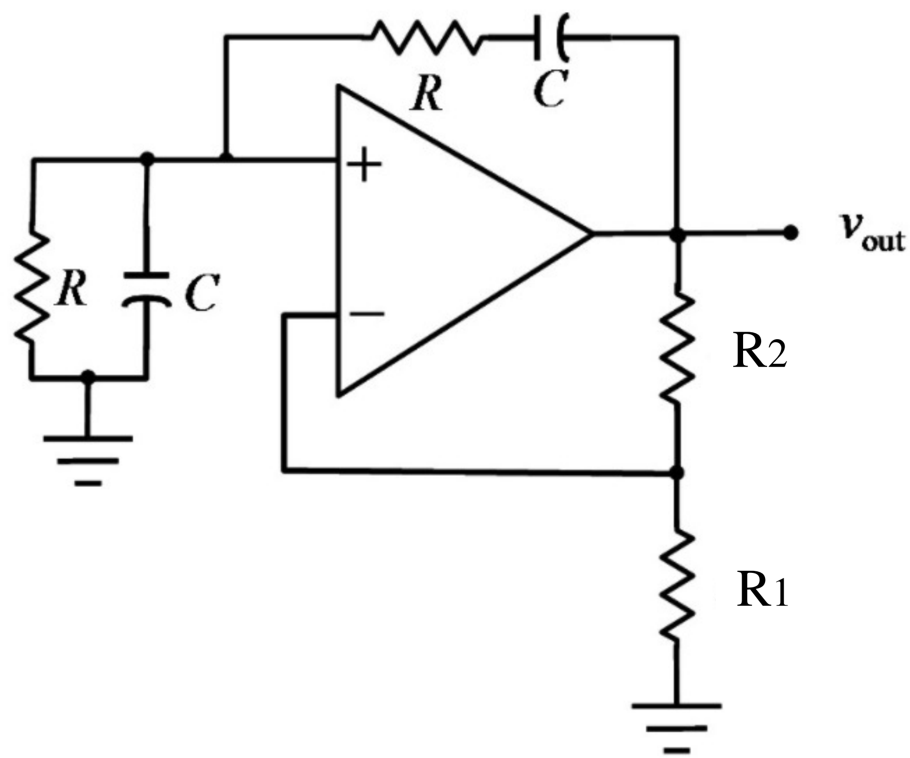
- RC oscilatori
  - Vinov most
  - Fazni pomeraj
- Oscilatori sa oscilatornim kolima
  - Kolpicov
  - Hartlejev
  - sa induktivnom spregom
  - sa negativnom otpornošću...
- Oscilatori sa kristalom kvarca (Pirsov)

RC oscilatori

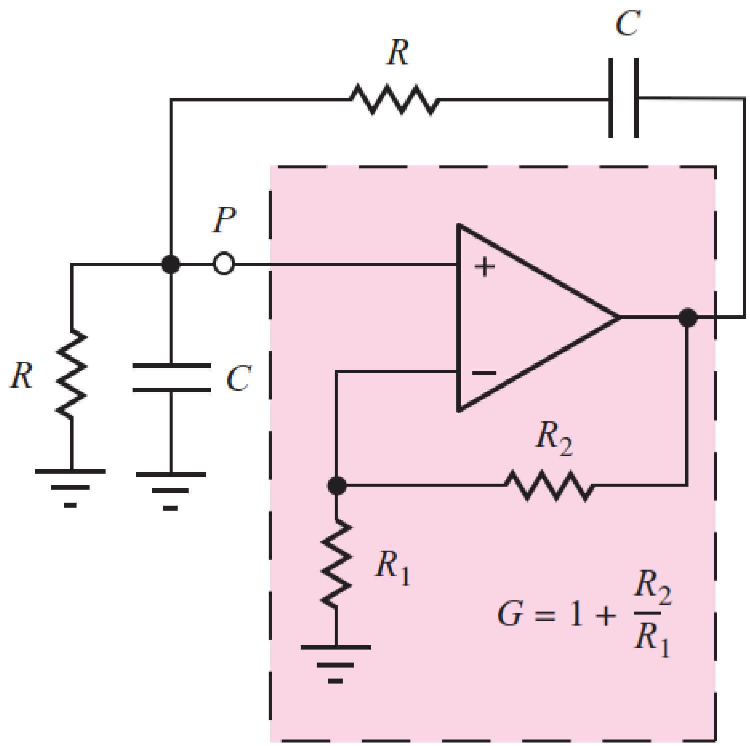
- Poznati tipovi RC oscilatora:
  - Oscilator sa Vinovim mostom
  - Oscilator faznog pomeraja
- Pojačavač RC oscilatora treba da unosi mala izobličenja, odnosno treba da radi u klasi A.
- RC oscilatori se obično prave tako da se frekvencija može podešavati promenom određenog elementa kola.
- Prave se 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.

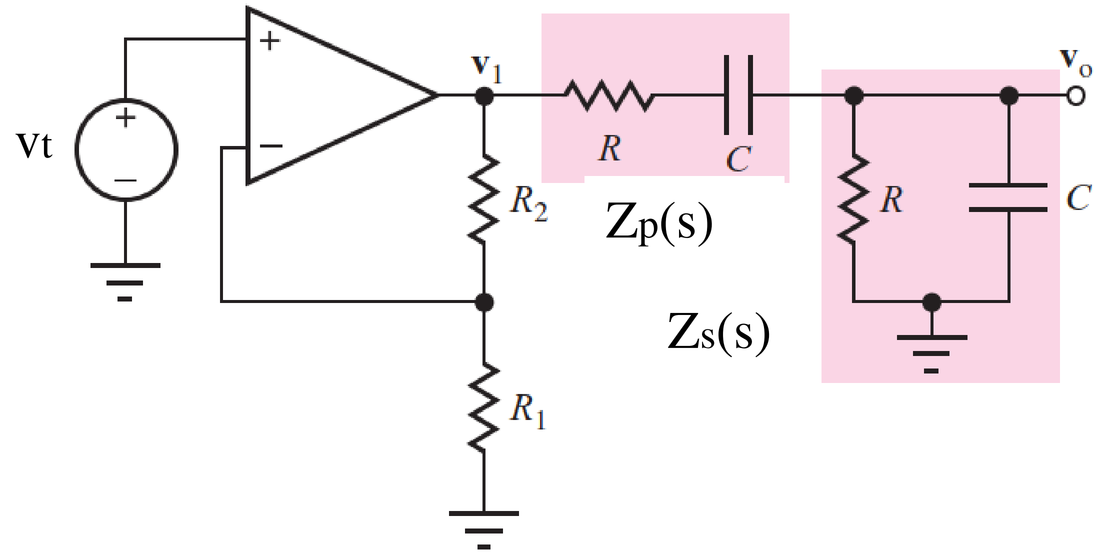
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Ulogu pojačavača obavlja neinvertujući pojačavač realizovan primenom operacionog pojačavača i otpornika R_1 i R_2. Frekvencijski selektivno kolo povratne sprege čine dva kondenzatora i dva otpornika. Pošto pojačavač ne unosi fazni pomeraj neophodan uslov da nastupe oscilacije je da i kolo povratne sprege ne unosi fazni pomeraj.



Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)





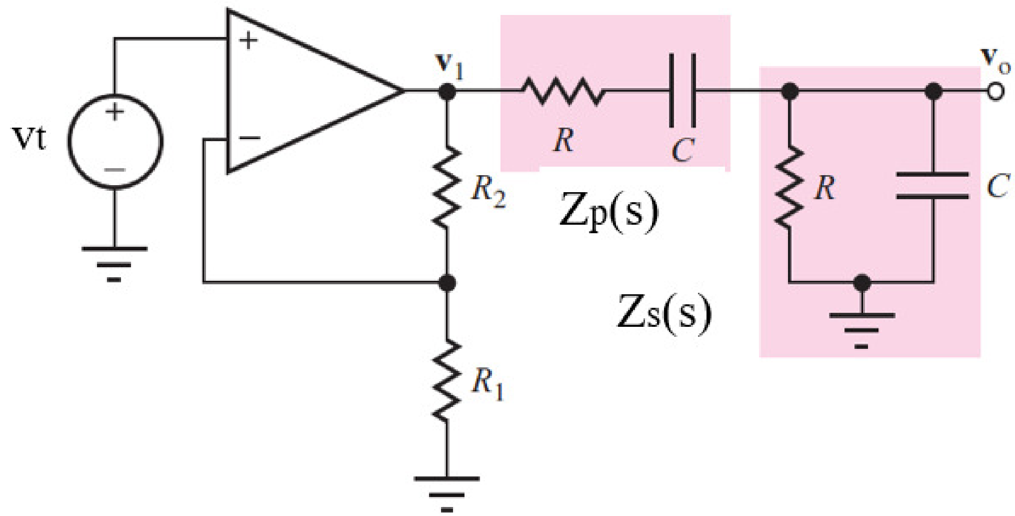
$$A = 1 + R_2/R_1$$

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

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

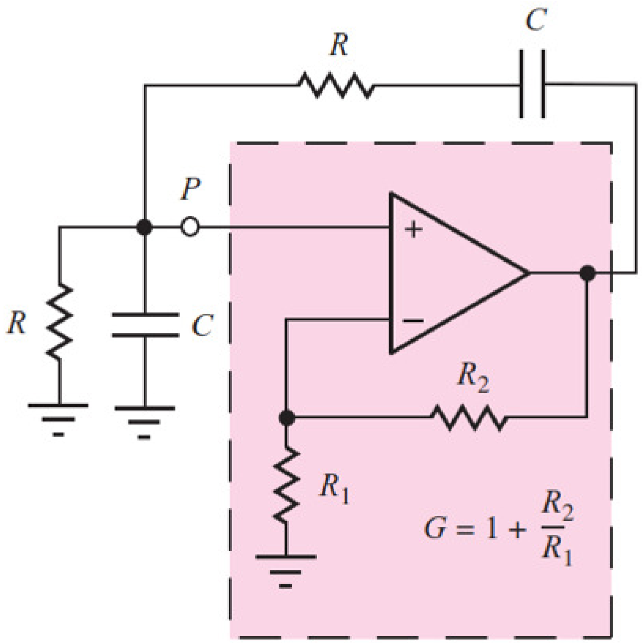
$$B(j\omega) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} = \frac{R/(1 + j\omega CR)}{R/(1 + j\omega CR) + (1 + j\omega CR)/(j\omega C)}$$

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



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

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



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

$$\mathrm{A} \cdot \mathrm{B}(\mathrm{j}\omega) = 1$$

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

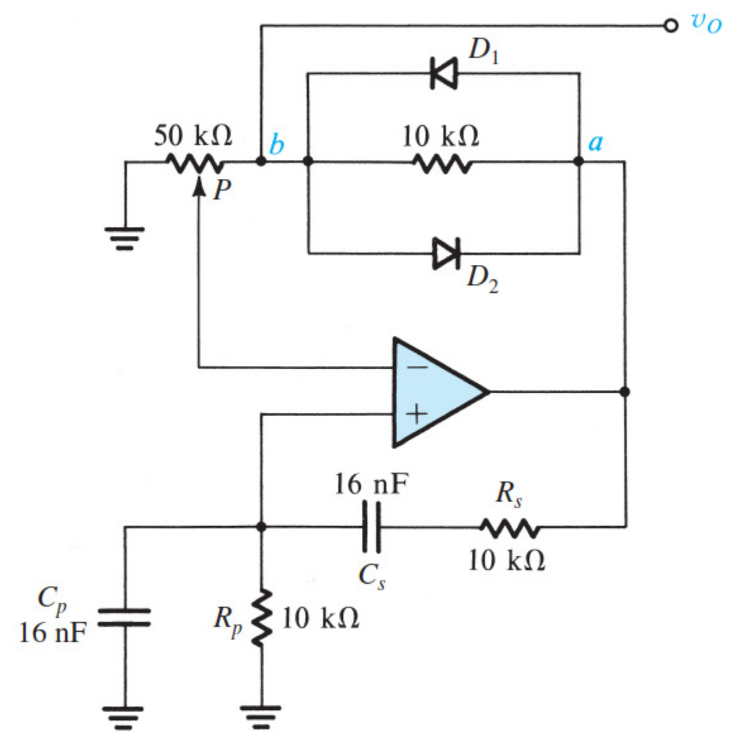
$$\omega_o CR - \frac{1}{\omega_o CR} = 0 \qquad \boxed{\omega_o = \frac{1}{C \cdot R}}$$

Frekvencija oscilovanja

$$1 + \frac{\mathrm{R}_2}{\mathrm{R}_1} = 3 \qquad \boxed{\frac{\mathrm{R}_2}{\mathrm{R}_1} = 2}$$

Uslov oscilovanja

Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)



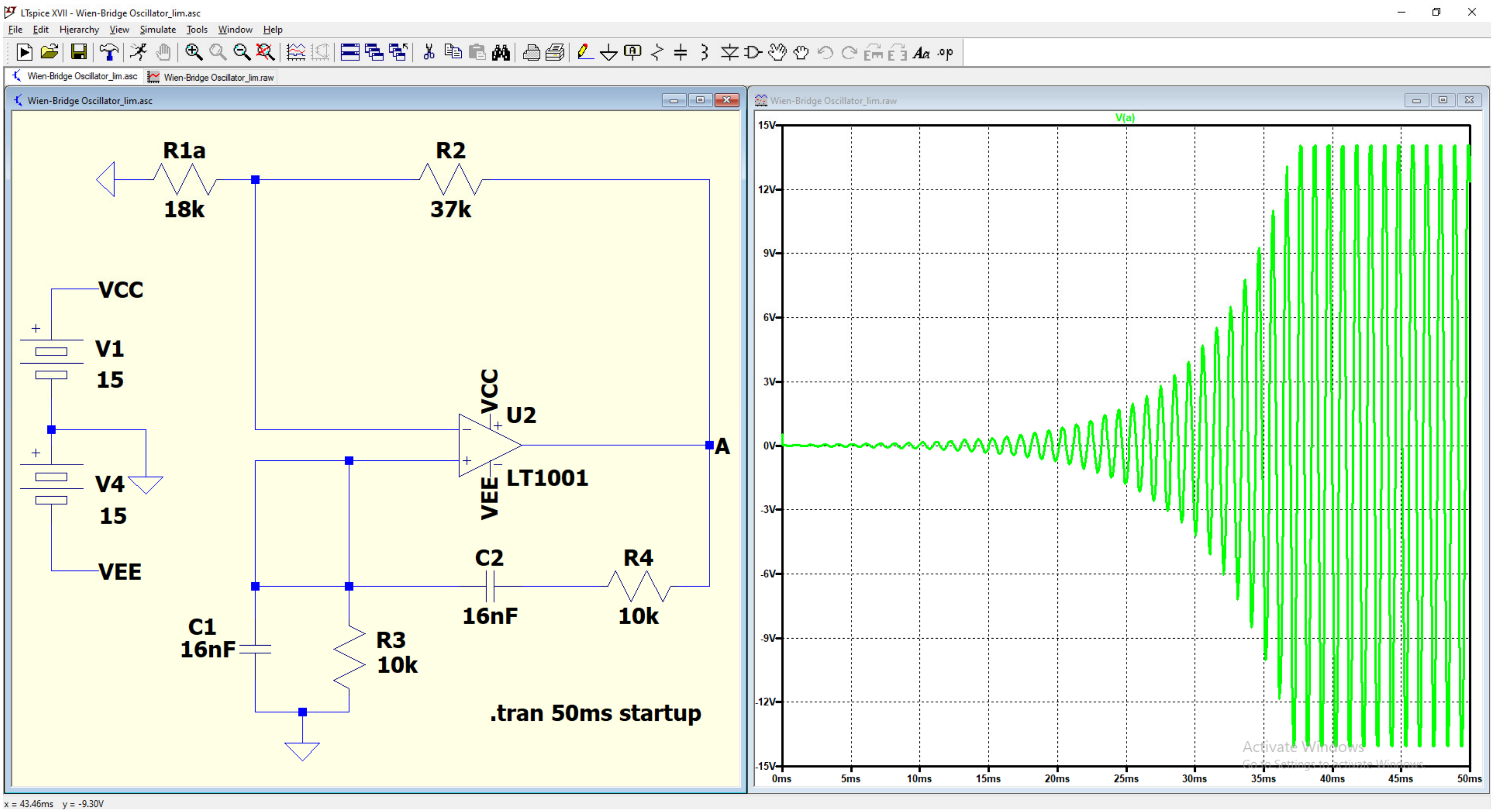
Da bi sprečili ulazak kola u zasićenje, odnosno da bi kolo nastavilo da radi u linearnom režimu rada dodaju se nelinearna kola za kontrolu amplitude. Ova kola se nazivaju limiteri jer ograničavaju vrednost amplitude signala na izlazu. Limiteri se najčešće sastoje od dioda.

Frekvencija oscilovanja se podešava istovremenim menjanjem kapacitivnosti oba kondenzatora.

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.

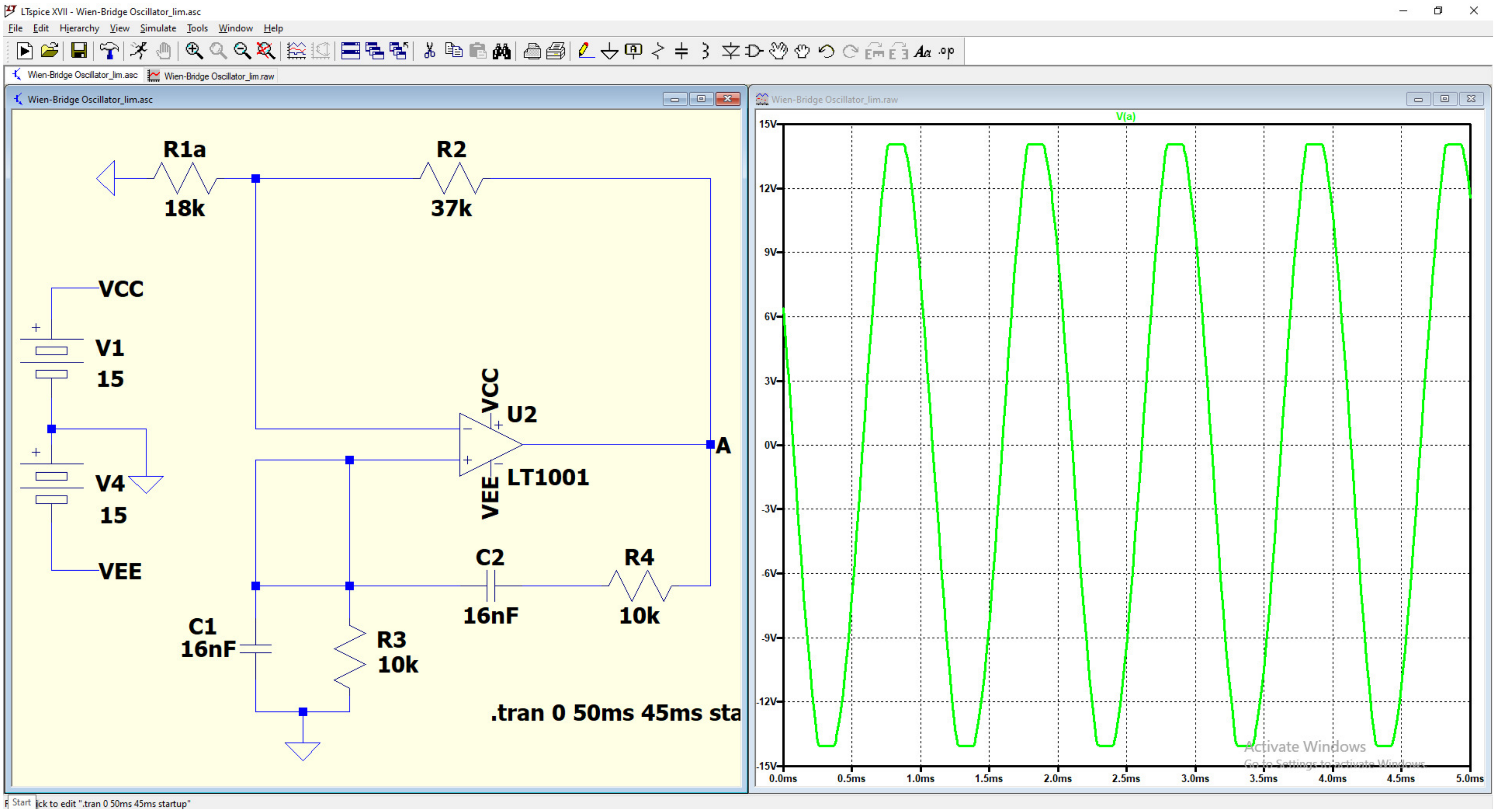
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Da bi nastupile oscilacije neophodno je da kružno pojačanje bude nešto veće od 1. Zato je ovde stavljena nešto veća vrednost za otpornik R2 u odnosu na onu koja se dobija proračunom oscilatora.



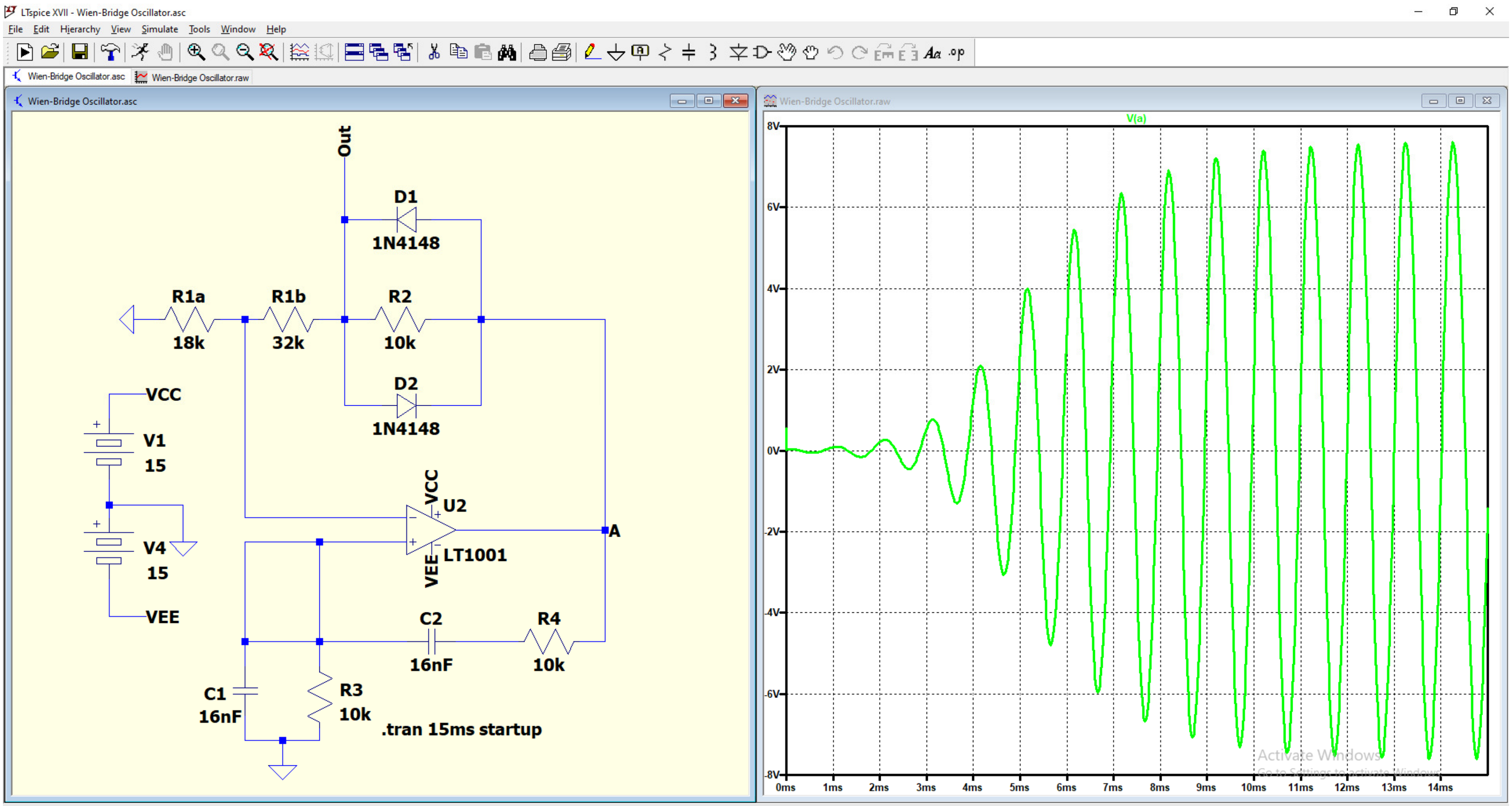
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Mogu se uočiti izobličenja u talsnom obliku izlaznog napona pri vršnim vrdnostima napona.



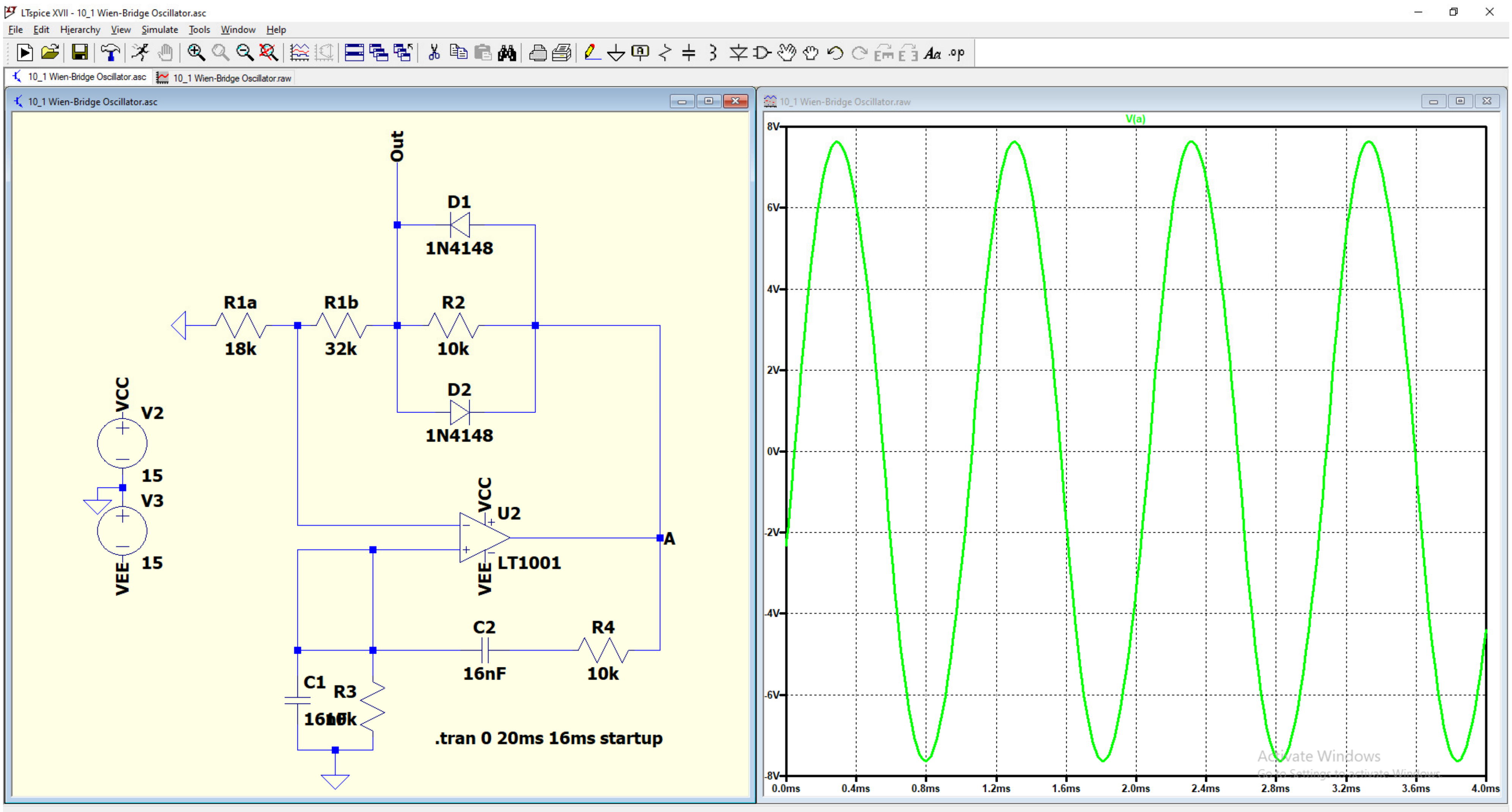
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Druga varijanta kola oscilatora sadrži limiter koji čine diode D1 i D2. Uloga ovih dioda je da ograniče amplitudu signala i na taj način smanje izobličenja signala.



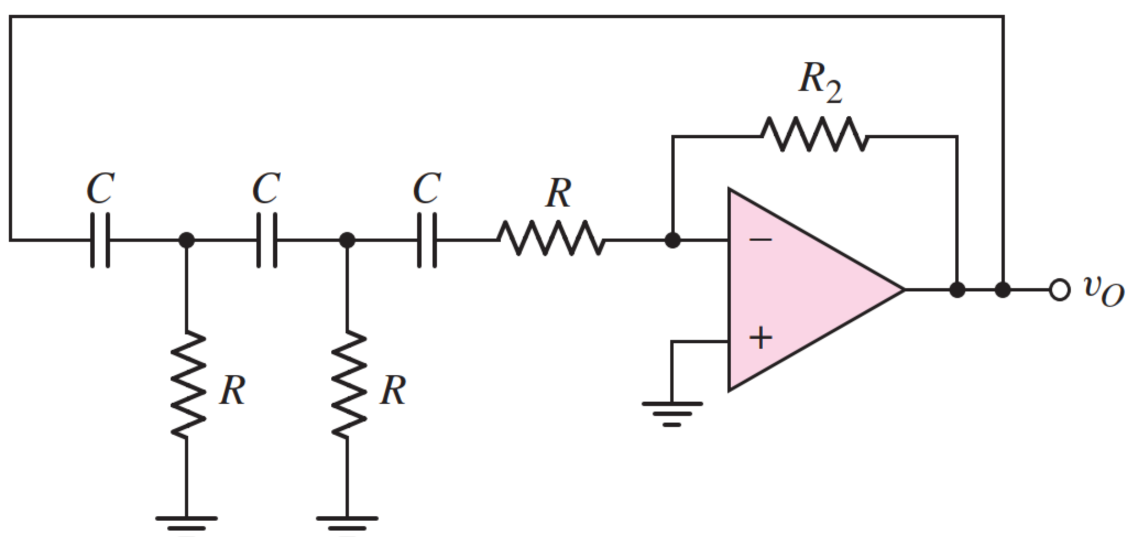
Oscilator sa Vinovim mostom (Wien)

Izobličenja signala su mnogo manja kada postoji limiter.

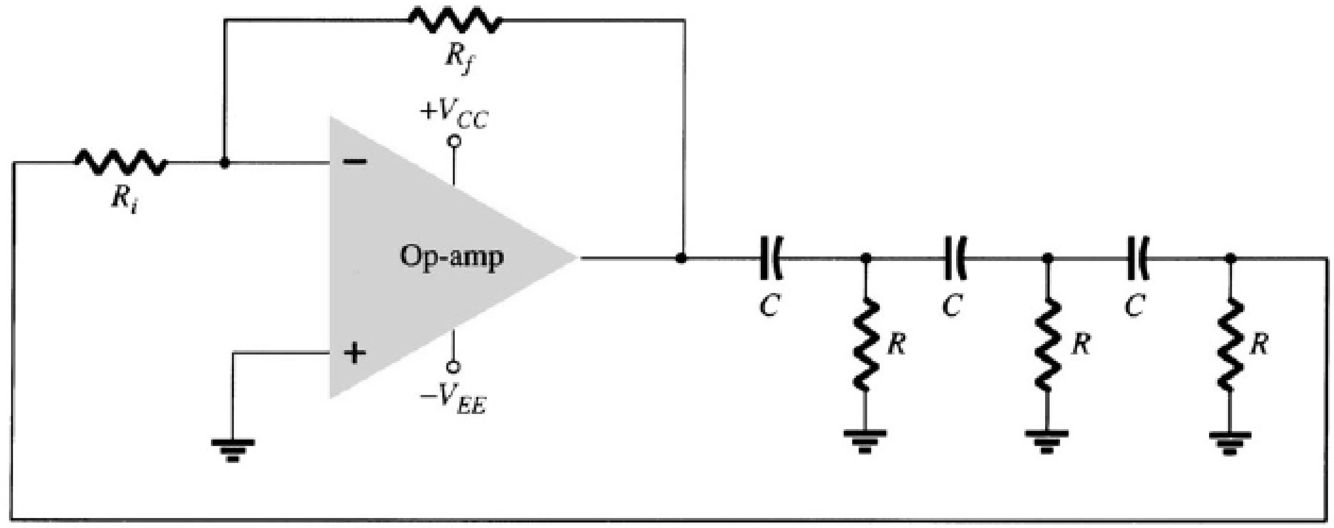


Oscilator faznog pomeraja

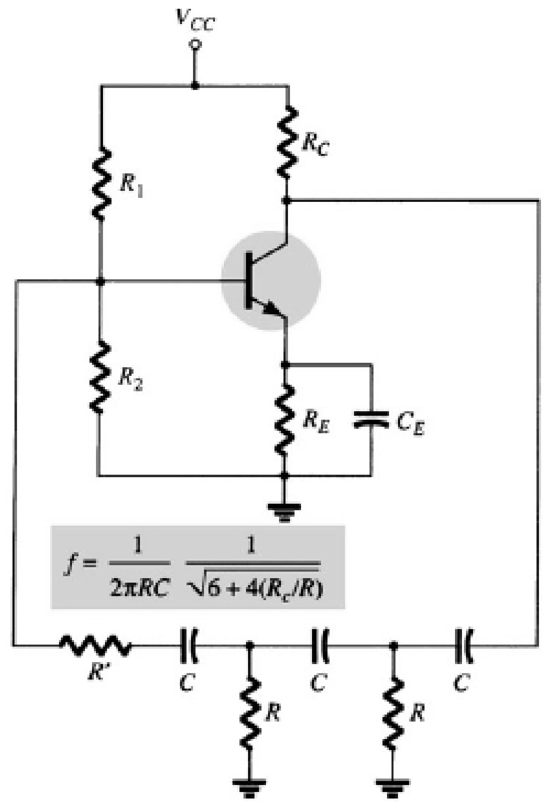
Kolo povratne sprege sastoji se od tri kaskadno povezana RC kola. S obzirom da pojačavač ima negativno pojačanje i unosi fazni pomeraj od 180^o neophodan uslov da dodje do oscilacija je da i kolo povratne sprege unese fazni pomeraj od 180^o.



Primer realizacije



sa diskretnim komponentama



Oscilator faznog pomeraja

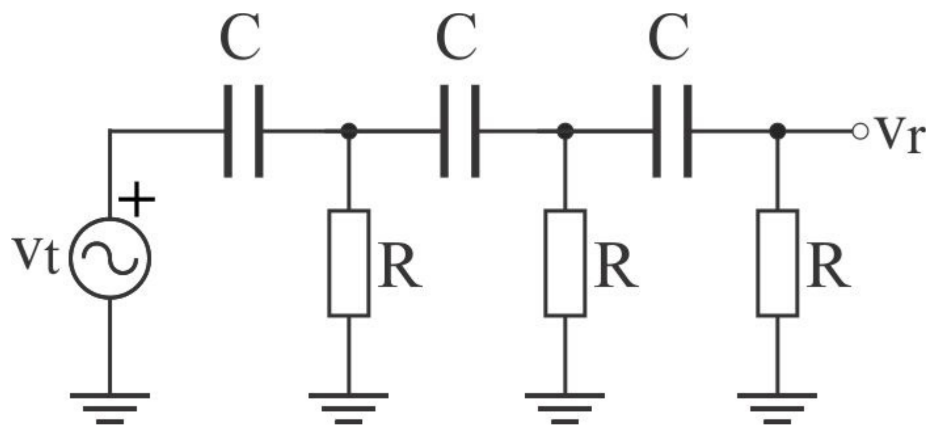
Zahtevaju komponente sa velikim pojačanjem (zbog velikog slabljenja u RC kolu). Pri tome aktivni element nebi trebao da unosi velika izobličenja.

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. Ovo se posebno odnosi na kapacitivnosti kondenzatora.

Oscilator faznog pomeraja

Kolo povratne sprege



$$B(s) = \frac{s^3 \cdot C^3 \cdot R^3}{1 + 5 \cdot s \cdot C \cdot R + 6 \cdot s^2 \cdot C^2 \cdot R^2 + s^3 \cdot C^3 \cdot R^3}$$

$$B(j\omega) = \frac{-j \cdot \omega^3 \cdot C^3 \cdot R^3}{1 + 5 \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot R - 6 \cdot \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2 - j \cdot \omega^3 \cdot C^3 \cdot R^3}$$

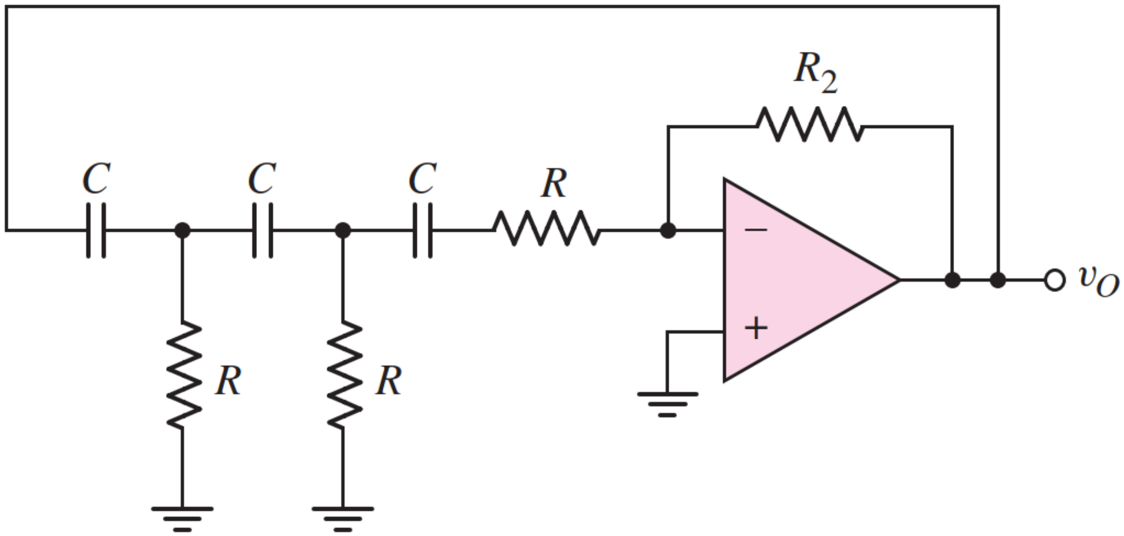
Iz uslova da je
Im{B}=0 dobija se

$$1 - 6 \cdot \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2 = 0 \Rightarrow \boxed{\omega_o = \frac{1}{R \cdot C \cdot \sqrt{6}}}$$

$$B(j\omega_o) = \frac{-j \cdot \omega_o^3 \cdot C^3 \cdot R^3}{5 \cdot j \cdot \omega_o \cdot C \cdot R - j \cdot \omega_o^3 \cdot C^3 \cdot R^3} = \frac{-\omega_o^2 \cdot C^2 \cdot R^2}{5 - \omega_o^2 \cdot C^2 \cdot R^2} = -\frac{1}{29}$$

$$\boxed{B(j\omega_o) = -\frac{1}{29}}$$

Oscilator faznog pomeraja



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

$$A = -29$$

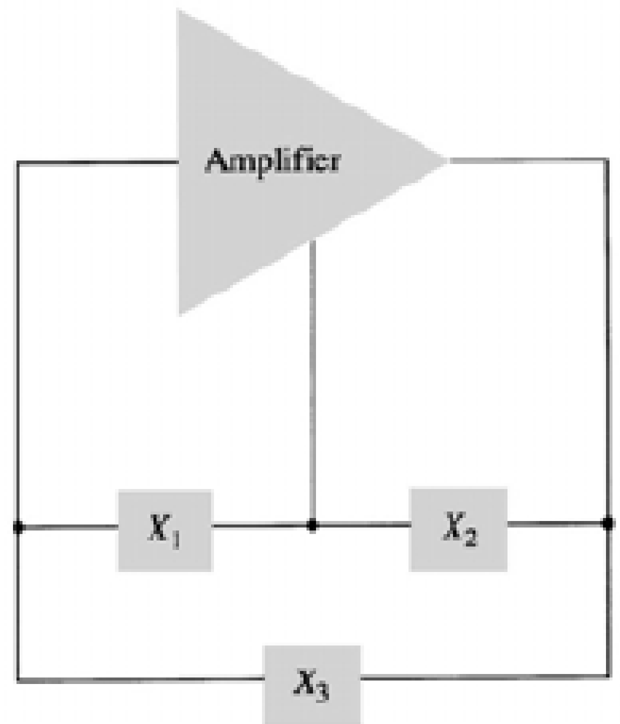
Navedeni izraz za pojačanje i frekvenciju oscilovanja su izvedeni za idealni naponski pojačavač, odnosno pojačavač koji ima beskonačno veliku ulaznu otoprnost i nultu izlaznu otpornost. To praktično znači da ovi izrazi mogu da se primene ukoliko se kao aktivni element ne koristi operacioni pojačavač.

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

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

- Poznati tipovi LC oscilatora:
  - Kolpicov oscilator
  - Hartlijev oscilator
  - Klapov oscilator
- 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)



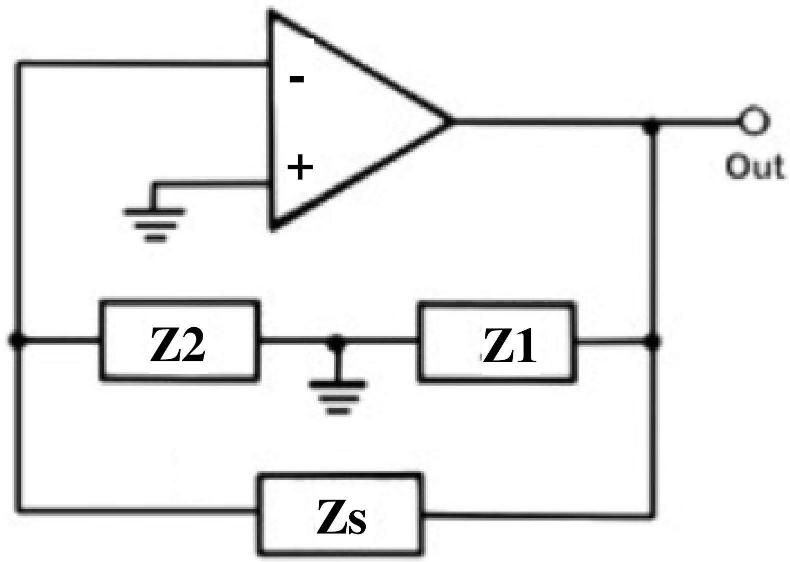
	X_1	X_2	X_3
Collpitc	C	C	L
Hartley	L	L	C

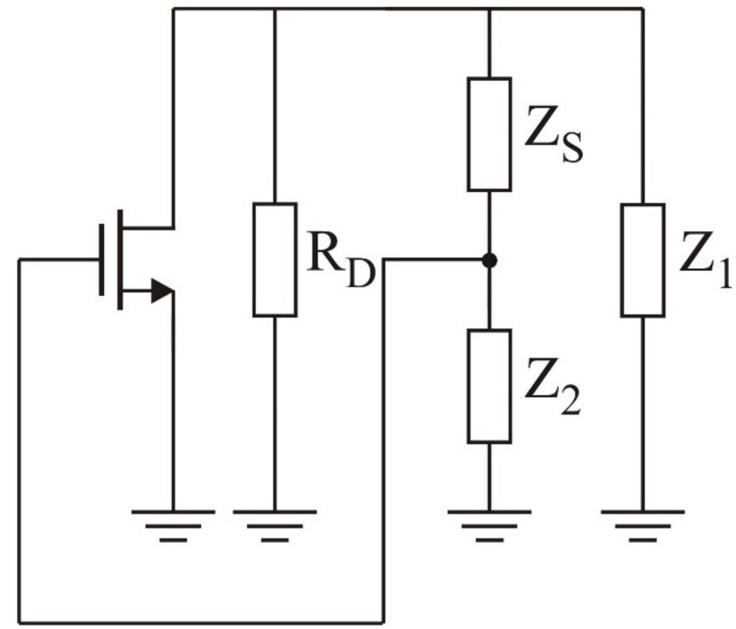
f oscilovanja definiše paralelno oscilatorno kolo.

Odnos X_1 i X_2 određuje jačinu povratne sprege.

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

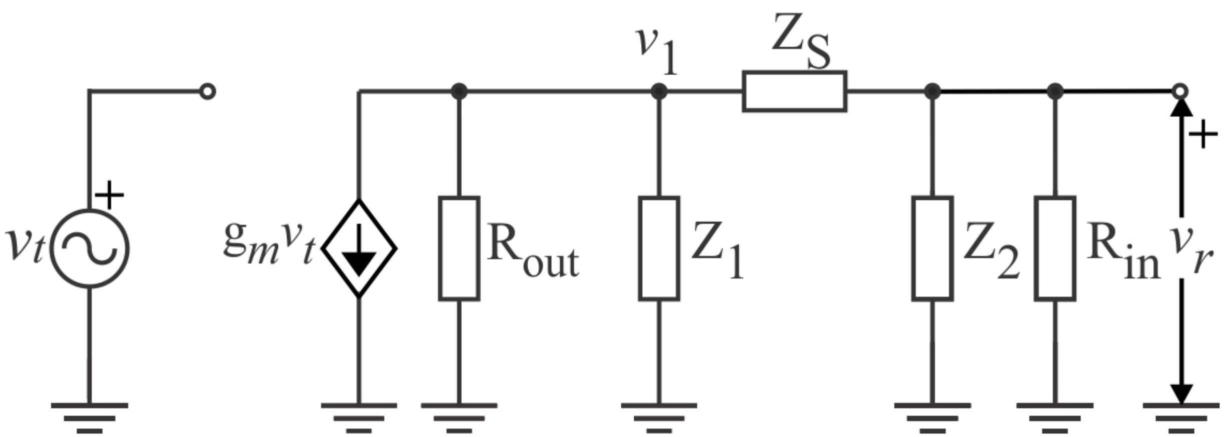
Oscilator sa oscilatornim kolima





Kod ovog tipa oscilatora aktivni element je povezan sa kolom povratne sprege koje sadrži tri reaktivna elementa: Z_1, paralelno sa izlaznim pristupom, Z_2 paralelno sa ulaznim pristupom i Z_s, čiji krajevi su između izlaza i ulaza pojačavača. Odnos reaktansi X_1 i X_2 određuje uslov oscilovanja. Kao aktivni element može se koristiti MOSFET, bipolarni tranzistor ili operacioni pojačavač.

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



Ulazna otpornost se zanemaruje jer je na frekvenciji oscilacija zadovoljeno:

$$R_{in} \gg Z_2$$

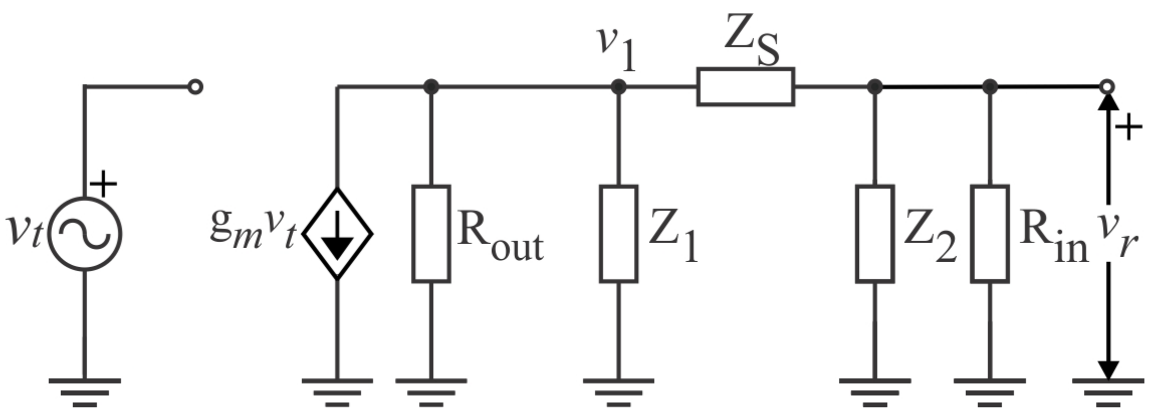
$$A \cdot B = \frac{v_r}{v_t} = \frac{v_1}{v_t} \cdot \frac{v_r}{v_1}$$

$$\frac{v_1}{v_t} = -g_m \cdot R_{out} \parallel Z_1 \parallel (Z_2 + Z_s) = \frac{-g_m \cdot R_{out} \cdot Z_1 \cdot (Z_2 + Z_s)}{Z_1 \cdot (Z_2 + Z_s) + R_{out} \cdot (Z_2 + Z_s) + R_{out} \cdot Z_1}$$

$$\frac{v_r}{v_1} = \frac{Z_2}{Z_s + Z_2}$$

$$A \cdot B = \frac{v_r}{v_t} = \frac{v_1}{v_t} \cdot \frac{v_r}{v_1} = \frac{-g_m \cdot R_{out} \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 \cdot (Z_2 + Z_s) + R_{out} \cdot (Z_2 + Z_s) + R_{out} \cdot Z_1}$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)



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

$$A \cdot B = \frac{v_r}{v_t} = \frac{v_1}{v_t} \cdot \frac{v_r}{v_1} = \frac{-g_m \cdot R_{out} \cdot Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 \cdot (Z_2 + Z_s) + R_{out} \cdot (Z_2 + Z_s) + R_{out} \cdot Z_1}$$

$$A \cdot B = \frac{v_r}{v_t} = \frac{v_1}{v_t} \cdot \frac{v_r}{v_1} = \frac{-g_m \cdot R_{out} \cdot X_1 \cdot X_2}{-X_1 \cdot (X_2 + X_s) + R_{out} \cdot j \cdot (X_2 + X_s) + R_{out} \cdot j \cdot X_1} = 1$$

$$-X_1 \cdot (X_2 + X_s) + R_{out} \cdot j \cdot (X_2 + X_s) + R_{out} \cdot j \cdot X_1 = -g_m \cdot R_{out} \cdot X_1 \cdot X_2$$

Jednačina dobijena od imaginarnih sabiraka

$$R_{out} \cdot j \cdot (X_2 + X_s) + R_{out} \cdot j \cdot X_1 = 0$$
$$\boxed{X_2 + X_1 + X_s = 0}$$

Jednačina dobijena od realnih sabiraka

$$-g_m \cdot R_{out} \cdot X_2 = X_2 + X_s$$
$$-g_m \cdot R_{out} = \frac{X_2 + X_s}{X_2} = -\frac{X_1}{X_2}$$
$$\boxed{g_m \cdot R_{out} = \frac{X_1}{X_2}}$$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

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

Impedanse Z_1 i Z_2 moraju da budu iste prirode (kapacitivnosti ili induktivnosti)

$$X_1 + X_2 + X_s = 0$$

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

Moguće kombinacije impedansi su:

1. Kolpicov oscilator:

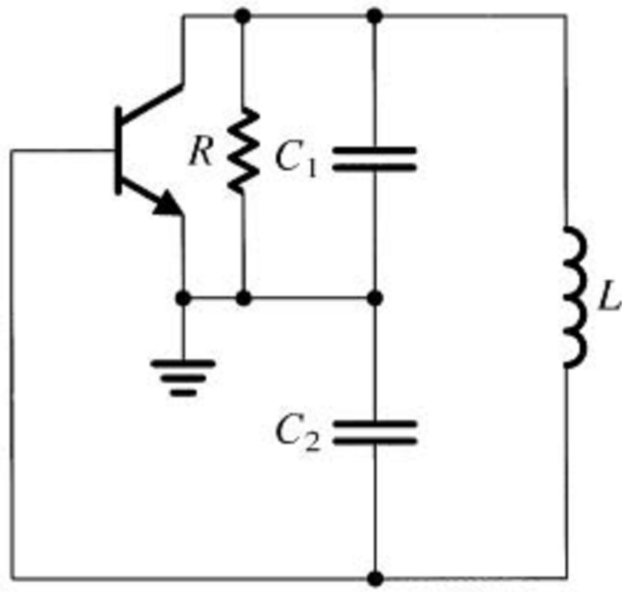
$$Z_1 = \frac{1}{j\omega \cdot C_1} \qquad Z_S = j\omega \cdot L_S \qquad Z_2 = \frac{1}{j\omega \cdot C_2}$$

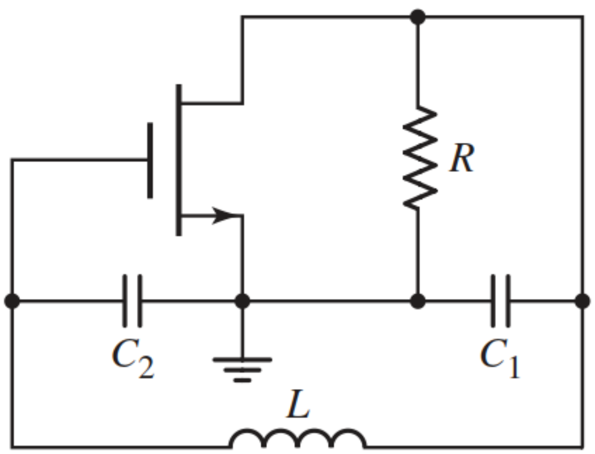
2. Hartlijev oscilator:

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

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Kolpicov (Colpitts)





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

$$\omega_o \cdot L = \frac{1}{\omega_o \cdot C_1} + \frac{1}{\omega_o \cdot C_2}$$

Redna veza kapacitivnosti C1 i C2

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

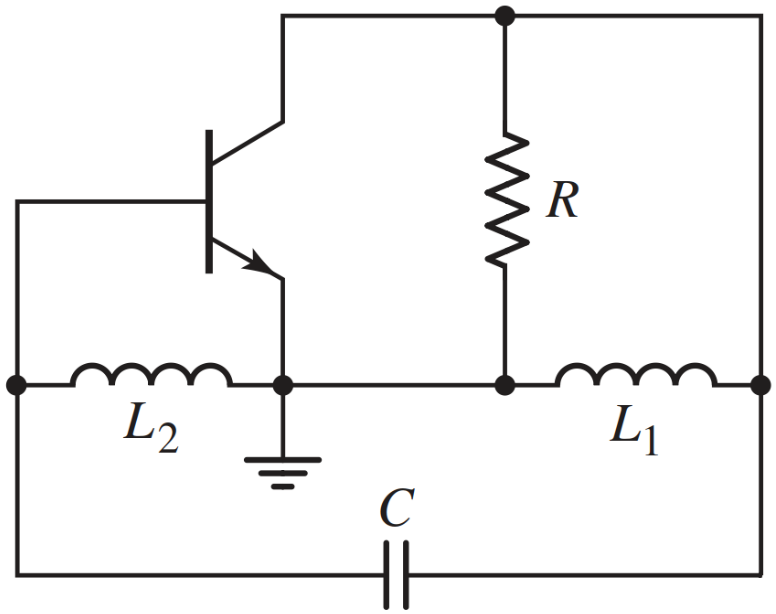
Frekvencija oscilovanja: $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_{eq}}}$

$$g_m \cdot R = \frac{X_1}{X_2}$$

Uslov oscilovanja: $g_m \cdot R = \frac{C_2}{C_1}$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Hartlijev (Hartley)



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

$$\frac{1}{\omega_o \cdot C} = \omega_o \cdot L_1 + \omega_o \cdot L_2$$

Redna veza induktivnosti L1 i L2

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

Frekvencija oscilovanja: $\omega_o = \dfrac{1}{\sqrt{L_{eq}C}}$

$$g_m \cdot R = \frac{X_1}{X_2}$$

Uslov oscilovanja: $g_m \cdot R = \dfrac{L_1}{L_2}$

Oscilatori sa oscilatornim kolima (LC- oscilatori)

Klapov oscilator

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

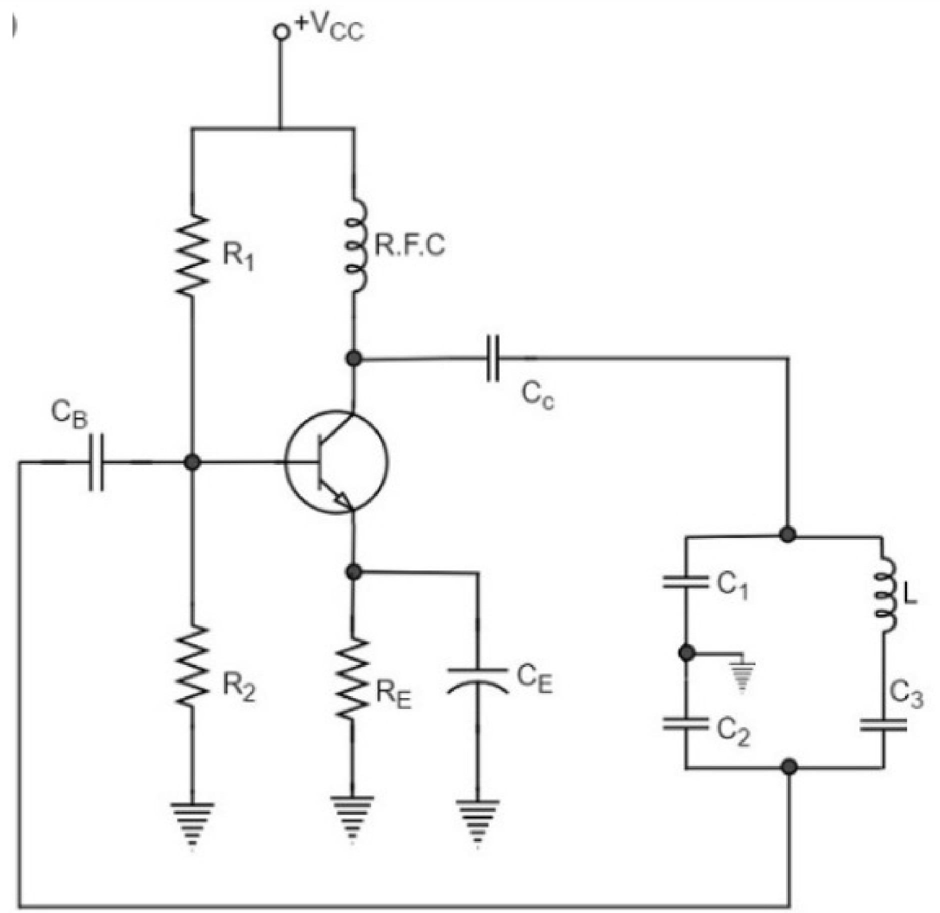
$$\omega_o \cdot L - \frac{1}{\omega_o \cdot C_3} = \frac{1}{\omega_o \cdot C_1} + \frac{1}{\omega_o \cdot C_2}$$

Redna veza kapacitivnosti C1 , C2, C3 je:

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

Frekvencija oscilovanja: $\boxed{\omega_o = \dfrac{1}{\sqrt{LC_{eq}}}}$

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

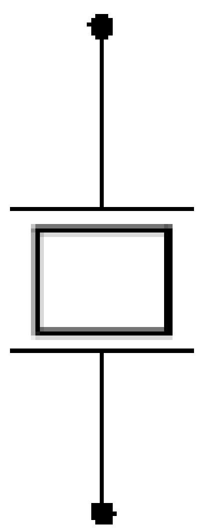


Dodatakom kondenzatora C_3 na red sa kalemom L poboljšava se stabilnost oscilacija jer se smanjuje uticaj parazitnih kapacitivnosti aktivnog elementa. Ove parazitne kapacitvnosti su praktično pridodate kapacitivnostima kondenzatora C_1 i C_2.

Oscilatori sa kristalom kvarca

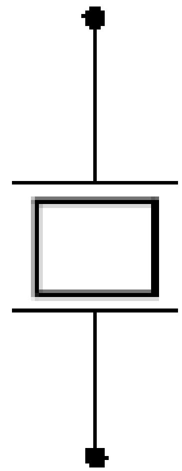
Kristal kvarca je prirodni materijal koji ispoljava piezoelektrične osobine. **Piezoelektrični efekat** je pojava da se na krajevima kristala stvara napon pri mehaničkom pritisku. Važi i obrnuto, ukoliko se kristal kvarca izloži naponu doći će do njegove mehaničke deformacije.

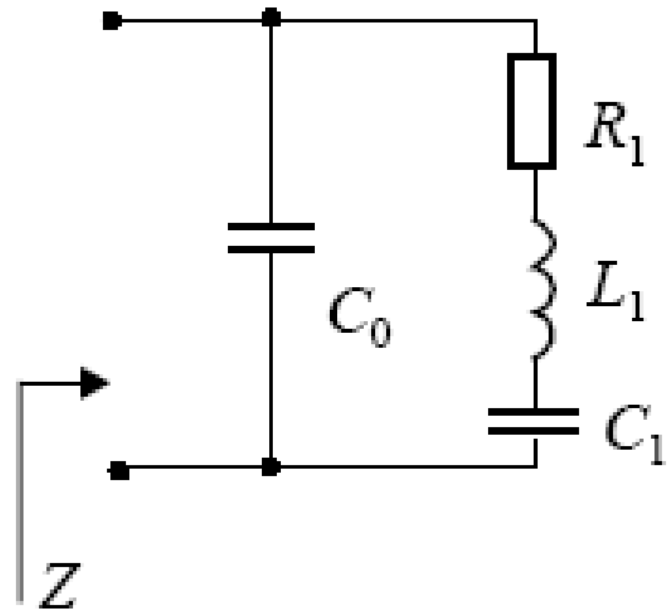
Kada se krista kvarca priključi na naizmenični napon javiće se mehničke oscilacije kvarca na istoj frekvenciji. Najintenzivnije oscilacije nastupiće na prirodnoj rezonantnoj frekvenciji kvarca. Ova frekvencija zavisi od dimenzija i načina na koji je kristal isečen. Rezonatna frekvencija se vrlo malo menja pod dejstvom temperature.



Oscilatori sa kristalom kvarca

Komponenta kvarca se izrađuje tako što se na dve suprotne stranice kristala nanese sloj metala. Na metalnim oblogama nalaze se izvodi preko kojih se dovodi signal.

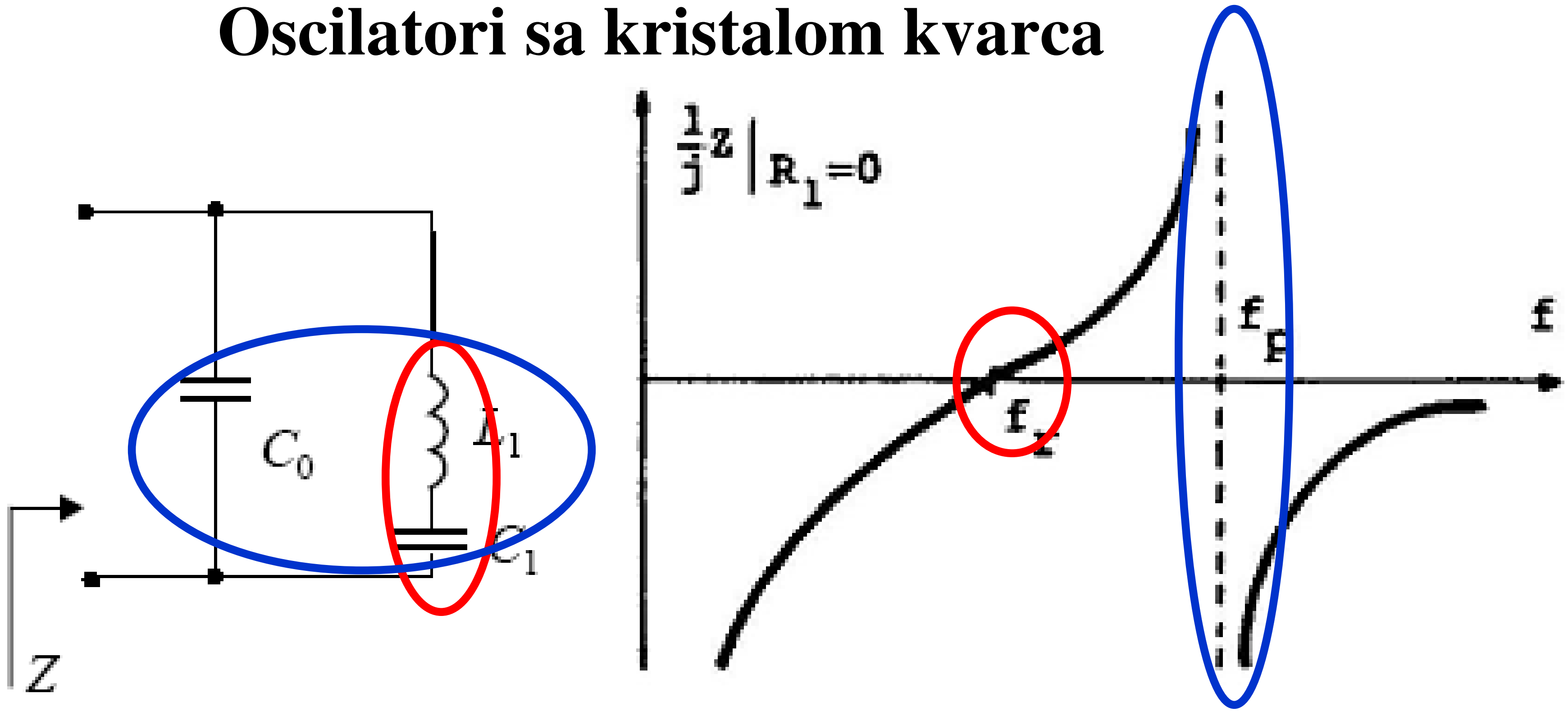




Sam krital kvaraca se ponaša kao redno oscilatorno kolo. Induktivnost u ekvivaletnoj šemi zavisi od mase kristala, kapacitivnost od elastičnosti, a otpornost od kvaliteta izrade. Kapacitvnost C_1 je reda femtofarada, a Co reda pikofarada.

Na električne osobine komponente utiču i metalne obologe, a njihov uticaj se modelira kao kapacitivnost, C_0, koja je u paraleli sa rednim oscilatornim kolom.

Oscilatori sa kristalom kvarca



Kristal kvarca ima dve rezonantne frekvencije:

- rednu (grana L_1C_1)

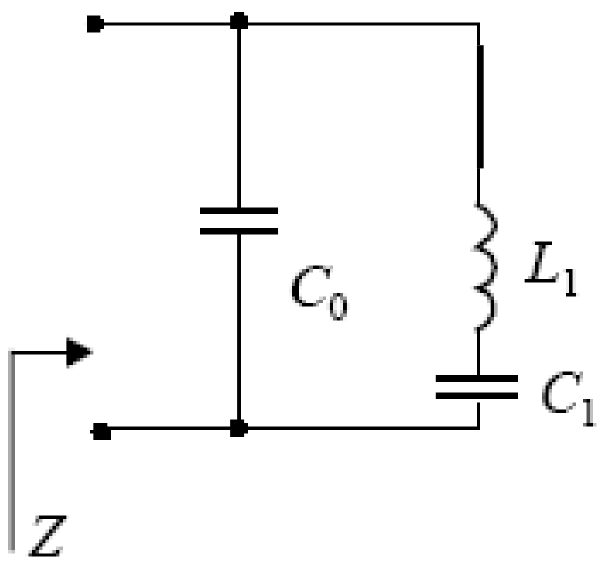
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

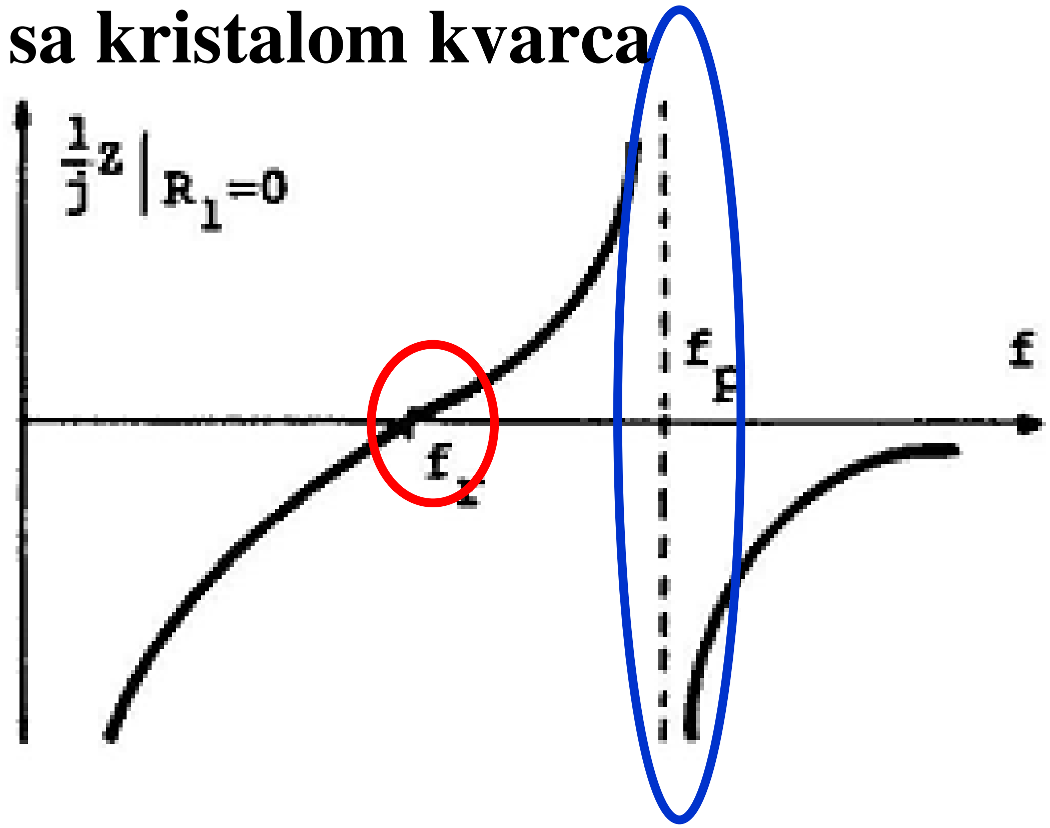
- paralelnu (zaptivno kolo)

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

Pri rednoj rezonansi impedansa kola teži nuli a pri paralelnoj teži beskonačnosti.

Oscilatori sa kristalom kvarca

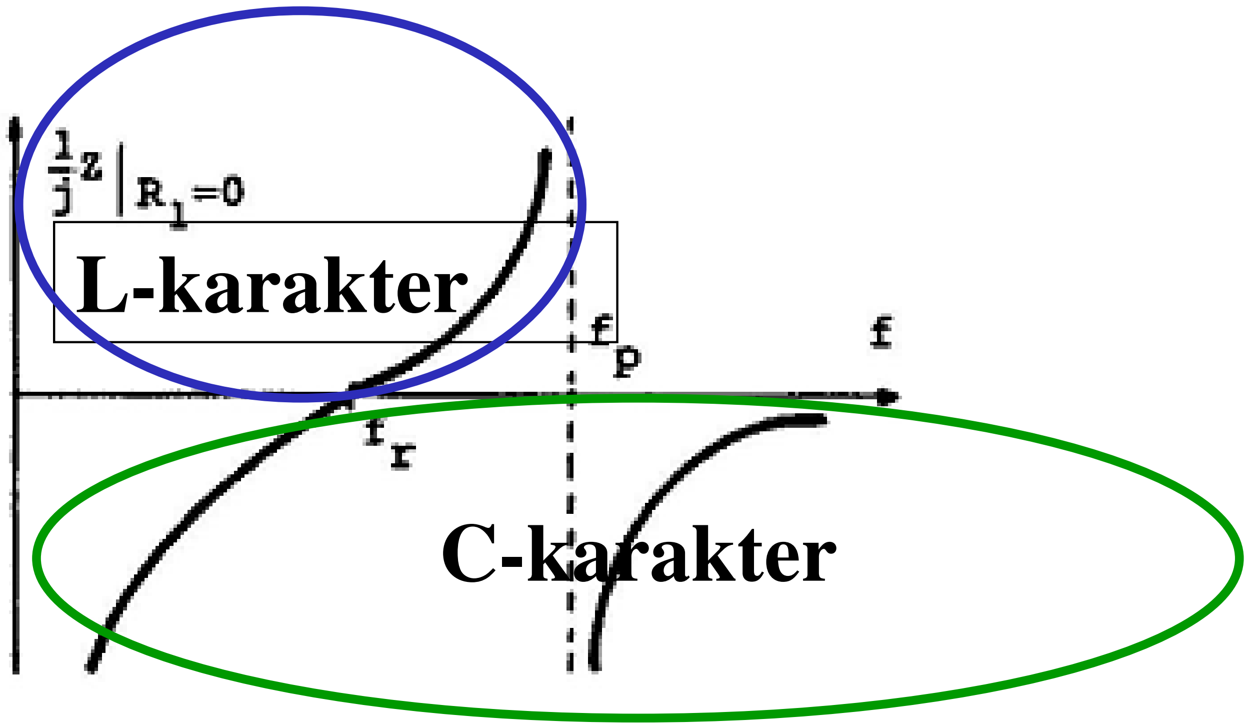




f_r i f_P se malo razlikuju jer je $C_0 >> C_1$.

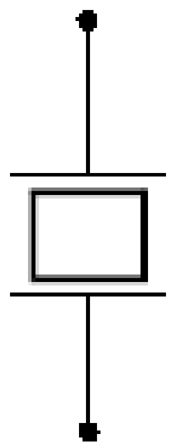
Ova komponenta se ponaša kao veoma selektivna impedansa jer je pri rednoj rezonansi reaktansa jednaka 0 a pri paralelnoj teži beskonačnosti.

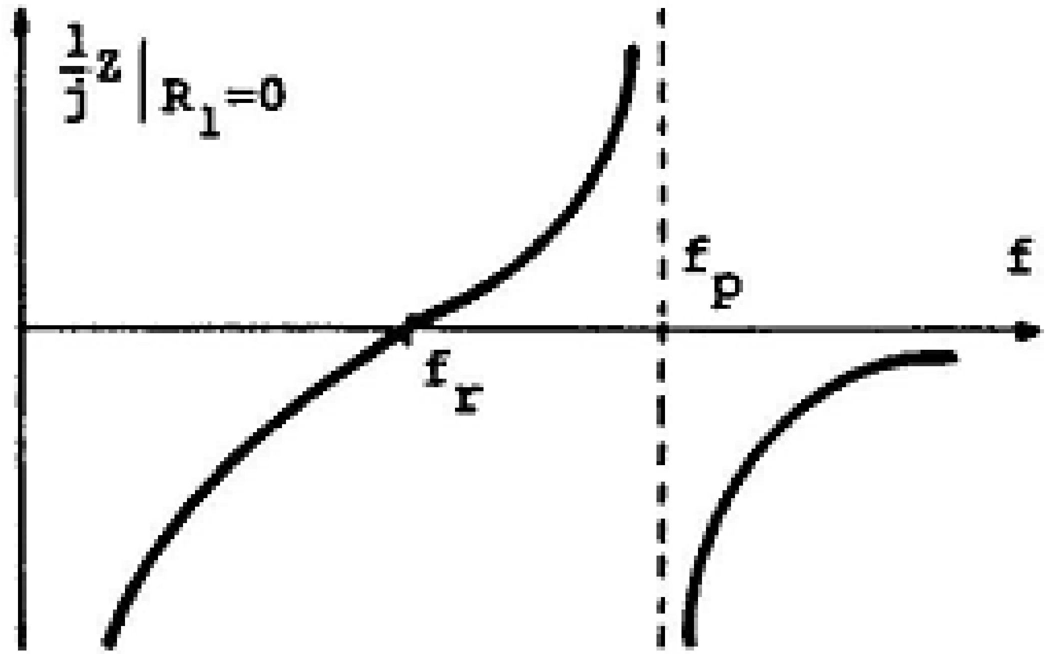
Oscilatori sa kristalom kvarca



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 (pozitivna vrednost reaktanse).

Oscilatori sa kristalom kvarca

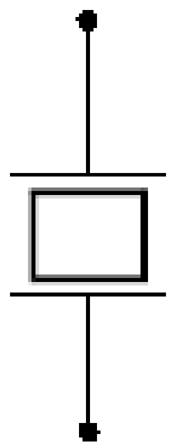


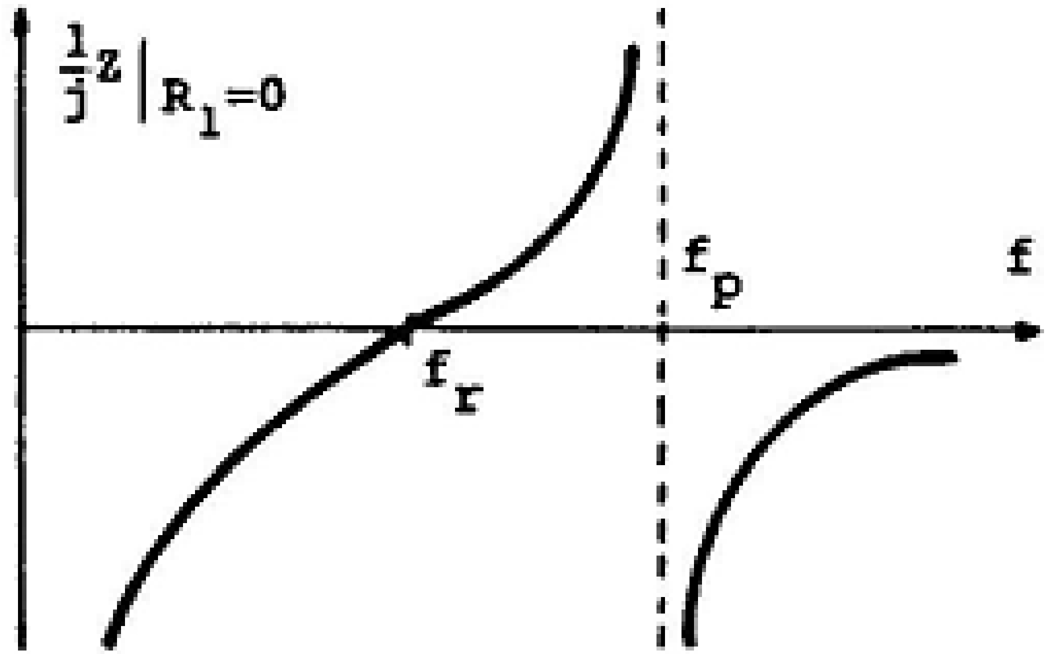


S obzirom da je razlika između rezonantnih frekvencija vrlo mala (od nekoliko Hz do nekoliko stotina Hz) frekvencijski opseg unutar koga se kristal kvaraca ponaša kao induktivnost je vrlo mali. Unutar tog frekvencijskog opsega induktivnost se menja u vrlo velikim granicama.

Kada se koristi u oscilatorima kristal kvaraca zamenjuje induktivnost. To praktično znači da se frekvencija oscilovanja nalazi između dve rezonantne frekvencije, f_r i f_p.

Oscilatori sa kristalom kvarca





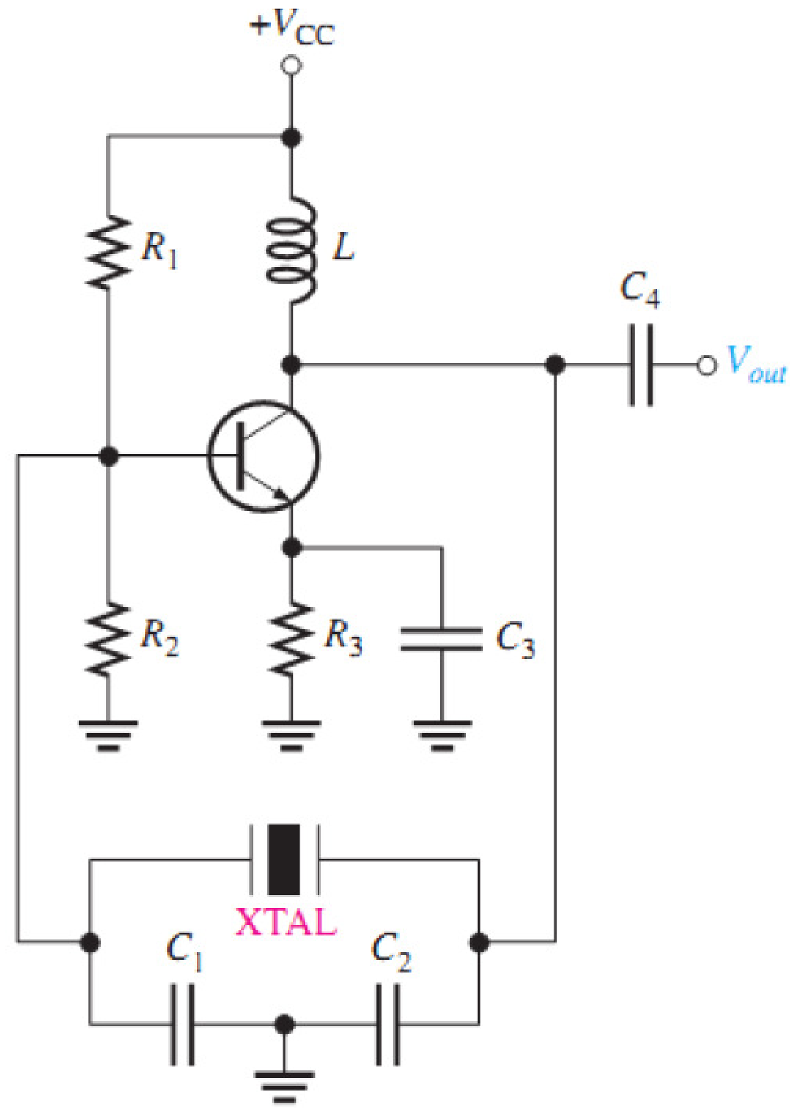
Kada se kristal kvaraca koristi u oscilatorima frekvencija oscilovanja se podešava tako da bude u području **gde je najveća promena induktivnosti sa frekvencijom**. Stabilnost oscilacija se postiže zahvaljujući činjenici da pri malim promenama frekvencije oscilovanja dolazi do velike promene induktivnosti.

To praktično znači da će ove velike promene induktivnosti da kompenzuju promene svih ostalih parametara koji utiču na frekvenciju oscilacija. Standardne vrednosti za frekvenciju oscilacija kvarca kreću se u opsegu od nekoliko destina kHz do nekoliko destina MHz.

Oscilatori sa kristalom kvarca

Pirsov (Pierce) oscilator.

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



Oscilatori

Elementarna pitanja

1. Sturkutra oscilatora i Barkhauzenov uslov oscilovanja.
2. Analiza oscilatora preko kružnog pojačanja.
3. Analiza oscilatora preko determinante matrice sistema jednačina.

Ostala ispitna pitanja

3. Uspostavljanje oscilacija (položaj polova AB i talasni obici napona pre i nakon uspostavljanja oscilacija)
4. Vinov oscilator (električna šema, frekvencija i uslov oscilovanja).
5. Oscilatora sa faznim pomerajem (električna šema, frekvencija i uslov oscilovanja)
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.