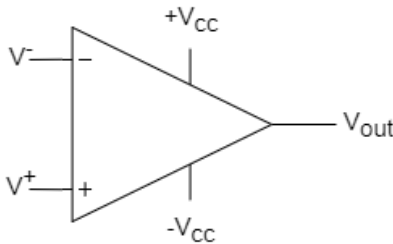


VEŽBA 2

Operacioni pojačavač i osnovna analogna električna kola sa operacionim pojačavačem

Operacioni pojačavač je aktivna poluprovodnička komponenta, koja pojačava razliku potencijala na svojim ulaznim priključcima. Na Slici 1 je dat šematski prikaz operacionog pojačavača. Sa slike se vidi da ova komponenta ima dva ulaza – invertujući (V^-) i neinvertujući (V^+) i jedan izlaz (V_{out}). Razlika signala na neinvertujućem i invertujućem ulazu se naziva diferencijalni signal, tako da se može reći da operacioni pojačavač ima diferencijalni ulaz. S obzirom na to da je ova komponenta aktivna, za njeno funkcionisanje je neophodno napajanje, koje je na slici označeno kao $-V_{cc}$ i $+V_{cc}$.



Slika 1 – Šematski prikaz operacionog pojačavača.

Veza ulaza i izlaza operacionog pojačavača je data jednačinom:

$$V_{out} = A_o(V^+ - V^-)$$

pri čemu je sa A_o označeno pojačanje operacionog pojačavača (pojačanje u otvorenoj sprezi).

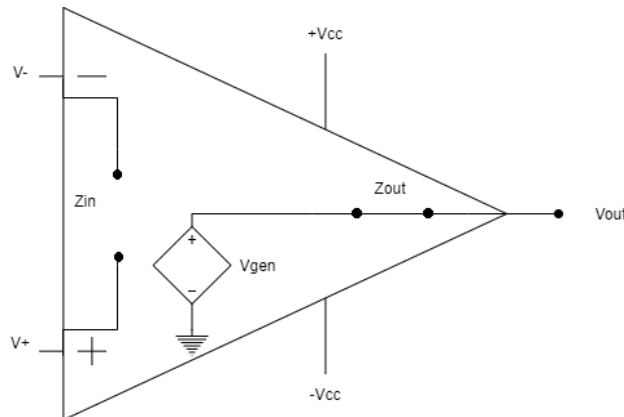
Treba napomenuti da je izlaz pojačavača V_{out} uvek ograničen naponima napajanja, što znači da može da ima vrednost između V_{cc}^- i V_{cc}^+ .

Karakteristike idealnog operacionog pojačavača

Idealni operacioni pojačavač u praksi ne postoji i predstavlja samo aproksimaciju realnog pojačavača, pri čemu su neka njegova fizička ograničenja zanemarena, u cilju jednostavnije analize električnih kola.

Karakteristike idealnog operacionog pojačavača su:

1. A_o – beskonačno veliko pojačanje diferencijalnog signala
2. Z_{in} – beskonačno velika ulazna impedansa → ne teče struja u ulazne priključke operacionog pojačavača
3. Z_{out} – nulta izlazna impedansa → izlaz se ponaša kao idealan naponski izvor
4. Karakteristike pojačavača ne zavise od frekvencije ulaznog signala



Slika 2 - Model idealnog operacionog pojačavača.

Karakteristike realnog operacionog pojačavača

Karakteristike realnog operacionog pojačavača su:

1. A_o – veliko pojačanje diferencijalnog signala (ali ne beskonačno)
2. Z_{in} – ulazna impedansa nije beskonačno velika, pa kao posledica toga postoji struja u ulazne priključke operacionog pojačavača
3. Z_{out} – izlazna impedansa nije nula – izlaz se ne ponaša kao idealan naponski izvor
4. Karakteristike zavise od frekvencije ulaznog signala – u prvom redu ovo se odnosi na pojačanje koje je sada zavisno od frekvencije signala na ulazu. U pogledu frekvencijske karakteristike, operacioni pojačavač se modeluje kao sistem prvog reda:

$$G(j\omega) = \frac{V_{out}(j\omega)}{(V^+(j\omega) - V^-(j\omega))} = \frac{A_o}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}$$

Prema tome, do neke granične frekvencije ω_g koja definiše propusni opseg pojačavača, pojačanje (vrednost amplitudske karakteristike) je konstantno i iznosi A_o , dok posle toga kreće da opada. U specifikaciji operacionog pojačavača, pored pojačanja A_o , daje se i vrednost parametra GBP (*gain-bandwidth product*) koji predstavlja proizvod pojačanja A_o i granične frekvencije propusnog opsega $f_g = \frac{\omega_g}{2\pi}$:

$$GBP = A_o f_g,$$

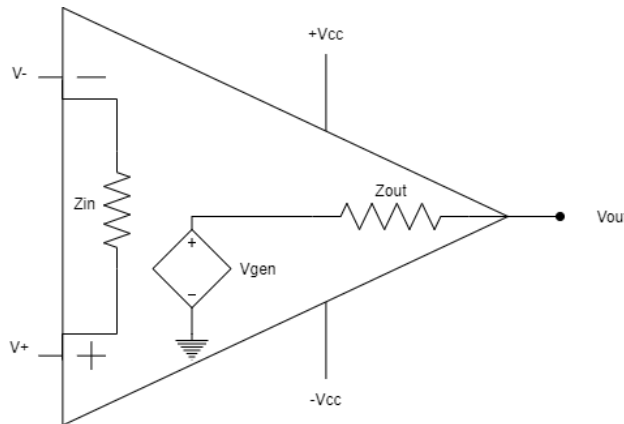
na osnovu čega dolazimo do granične frekvencije propusnog opsega u otvorenoj sprezi. U primerima koji slede ćemo smatrati da se na ulaz kola dovode signali iz propusnog frekvencijskog opsega u kom je pojačanje konstantno i jednako A_o , pa ćemo smatrati da je izlazni napon jednak:

$$V_{out} = A_o(V^+ - V^-).$$

Na Slici 3 je prikazan model realnog operacionog pojačavača. U datom modelu je uzeto u obzir da, usled toga što ulazna impedansa nije beskonačno velika, struja u ulazne priključke nije nula. V_{gen} se ponaša kao zavisani naponski izvor i generiše na svom izlazu napon koji zavisi od nekog drugog (u ovom slučaju ulaznog diferencijalnog napona) i pri tome važi:

$$V_{gen} = A_o(V^+ - V^-)$$

Takođe, usled postojanja Z_{out} , izlazni napon V_{out} se razlikuje od V_{gen} za pad napona na Z_{out} .



Slika 3 – Model realnog operacionog pojačavača.

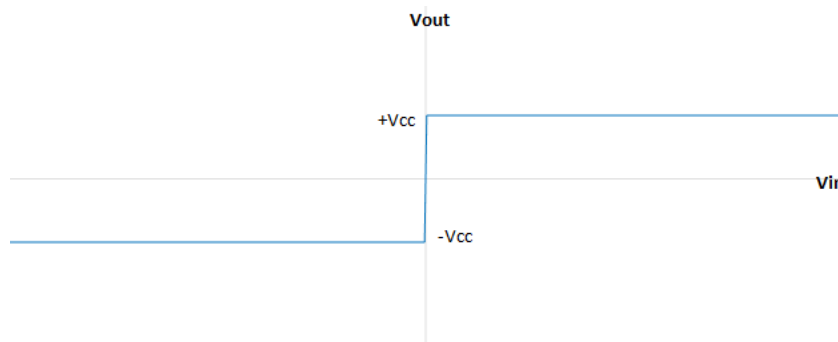
Prenosna karakteristika idealnog operacionog pojačavača

Prenosna karakteristika predstavlja grafik zavisnosti izlaznog napona od ulaznog. Kao što je već rečeno, idealni operacioni pojačavač prestavlja samo aproksimaciju realnog pojačavača, a njegova prenosna karakteristika je prikazana na Slici 4. Sa slike se vidi da idealni operacioni pojačavač za nulti diferencijalni ulaz na izlazu daje 0 V, dok za bilo koju razliku potencijala na ulaznim priključcima ulazi u zasićenje i na svom izlazu generiše ili pozitivan ili negativan napon napajanja. Tačnije, veza između ulaza i izlaza idealnog operacionog pojačavača nije linearna i ovaj sklop se, ustvari, ne ponaša kao pojačavač, nego kao komparator i važi:

$$V_{in} > 0 \rightarrow V_{out} = V_{cc}^+$$

$$V_{in} < 0 \rightarrow V_{out} = V_{cc}^-$$

pri čemu je $V_{in} = V^+ - V^-$



Slika 4 - *Prenosna karakteristika idealnog operacionog pojačavača.*

Prenosna karakteristika realnog operacionog pojačavača

U praksi, pojačanje operacionog pojačavača u otvorenoj sprezi nikada nije beskonačno veliko, tako da se prenosna karakteristika realnog operacionog pojačavača razlikuje od idealnog. Kao što je prikazano na slici 5, za određene vrednosti ulaznog napona postoji linearna veza ulaza i izlaza tj. važi $V_{out} = A_o V_{in}$, dok u preostalim slučajevima pojačavač ulazi u zasićenje.

Granični slučajevi za režim zasićenja su:

$$V_{in1} = \frac{V_{cc}^-}{A_o}, V_{in2} = \frac{V_{cc}^+}{A_o}$$

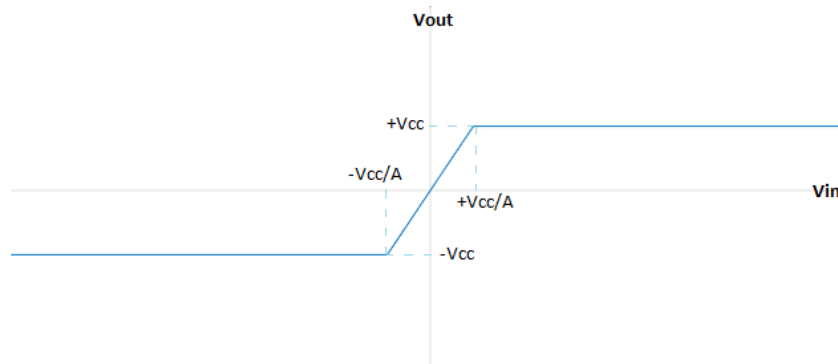
Tačnije:

$$\frac{V_{cc}^-}{A_o} \leq V_{in} \leq \frac{V_{cc}^+}{A_o} \rightarrow V_{out} = A_o V_{in}$$

$$V_{in} > \frac{V_{cc}^+}{A_o} \rightarrow V_{out} = V_{cc}^+$$

$$V_{in} < \frac{V_{cc}^-}{A_o} \rightarrow V_{out} = V_{cc}^-$$

Nagib tj. koeficijent pravca prenosne karakteristike u linearnom režimu rada predstavlja pojačanje A_o .



Slika 5 - *Prenosna karakteristika realnog operacionog pojačavača.*

Zadatak 1. U LTSpice-u demonstrirati rad operacionog pojačavača u otvorenoj sprezi u linearnom režimu i frekvencijskom opsegu za koji se pojačanje smatra konstantnim.

- a) prikazati odziv kola na sinusoidu u trajanju od 10 perioda signala na izlazu

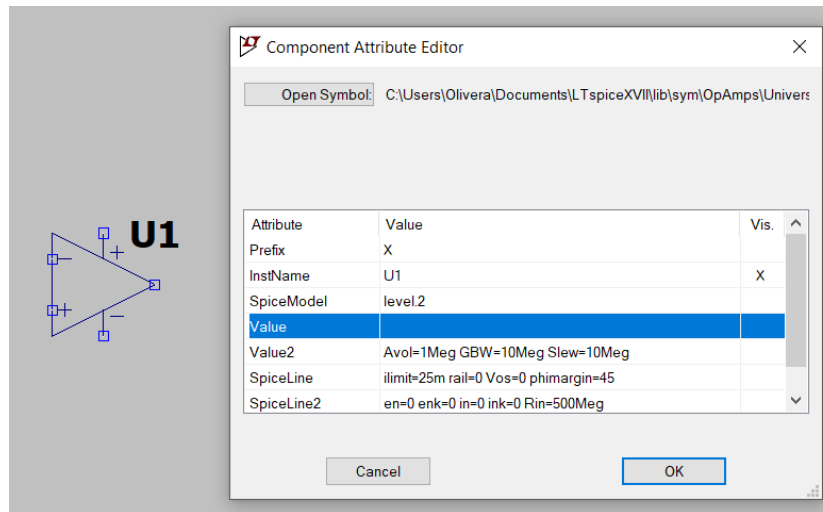
- b) prikazati prenosnu karakteristiku kola tako da se njom obuhvate i linearni i režim zasićenja

Upotrebiti model Univerzalnog operacionog pojačavača.

Rešenje

a)

Model Univerzalnog pojačavača dozvoljava uvid u kao i promenu vrednosti nekih od parametara koji su po pravilu dati u specifikaciji operacionog pojačavača. Ovaj model, kao i vrednosti nekih njegovih parametara prikazan je na Slici 6.



Slika 6 – Model Univerzalnog operacionog pojačavača

Kao što možemo da vidimo, parametri koji se odnose na frekvencijsku karakteristiku pojačavača – pojačanje u propusnom opsegu, i GBP parametar, iznose, redom:

$$A_o = 1 \frac{MV}{V},$$

$$GBP = 10MHz.$$

Na osnovu ovih parametara možemo da dođemo da granične frekvencije opsega kojeg odlikuje konstantna vrednost pojačanja (propusni opseg):

$$f_g = \frac{GBP}{A_o} = 10Hz.$$

Da bismo u proračunu odziva na sinusoidu kojom je opisan ulazni signal v_{dif} , mogli da primenimo izraz:

$$v_{out} = A_o(v^+ - v^-) = A_o v_{dif} = A_o V_{dif} \sin(2\pi f_{dif} t),$$

ona mora biti na frekvenciji koja pripada propusnom opsegu:

$$f_{dif} \ll f_g.$$

Isto tako, da bi ulazni signal u potpunosti bio propušten na izlaz i pojačan pojačanjem A_0 , signal mora biti u granicama:

$$\frac{V_{cc}^-}{A_0} \leq v_{dif} \leq \frac{V_{cc}^+}{A_0},$$

odnosno:

$$-10\mu V \leq v_{dif} \leq +10\mu V.$$

Pošto se signal menja po prostoperiodičnom zakonu, i u okviru jedne periode dostiže ekstremne vrednosti $+V_{dif}$ i $-V_{dif}$, sve vrednosti će biti pojačane odgovarajućim pojačanjem samo ukoliko bude važno:

$$V_{dif} \leq V_{cc}^+,$$

uz pretpostavku da su naponi V_{cc}^- i V_{cc}^+ isti po apsolutnoj vrednosti.

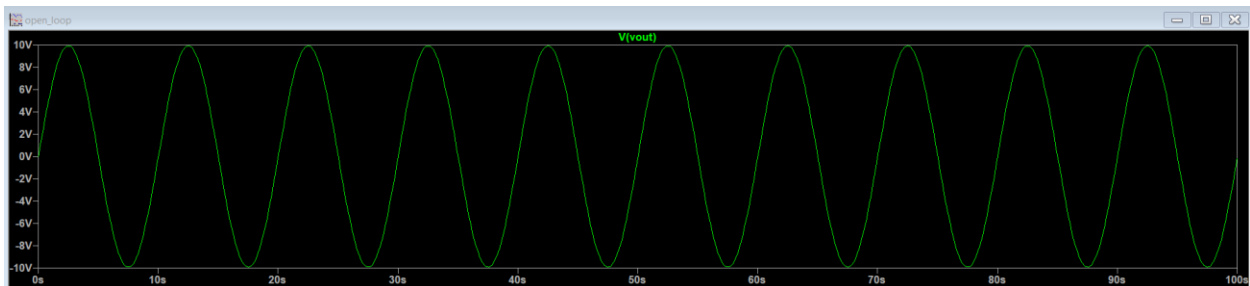
Rezultati simulacije u vremenskom domenu prikazani su na Slici 7 – u konkretnom primeru, ulazni napon je jednak:

$$v_{dif} = 10\mu V \sin(0.2\pi t),$$

pa je u skladu sa tim i vreme trajanja simulacije postavljeno na 100s.

Izlazni signal je jednak:

$$v_{out} = 10V \sin(0.2\pi t).$$

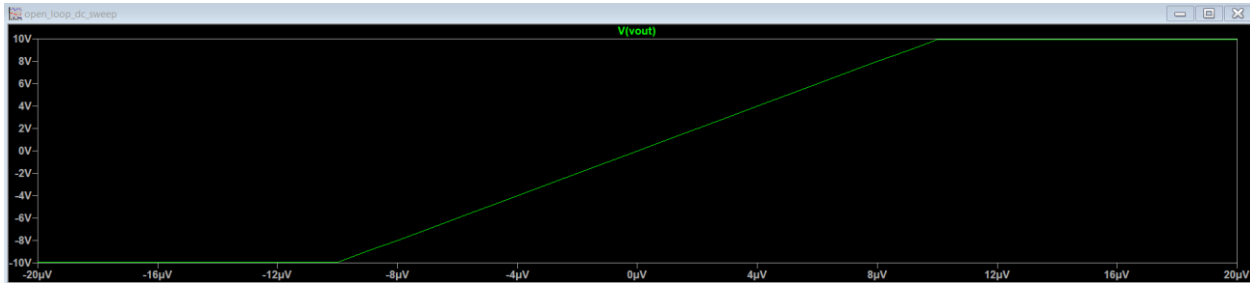


Slika 7 – Odziv kola na sinusoidu $v_{dif} = 10\mu V \sin(0.2\pi t)$

b)

Prenosna karakteristika kao funkcija zavisnosti izlaznog od ulaznog napona dobija odabirom režima simulacije *DC sweep*. Kako bi karakteristika prikazala i linearni i režim zasićenja, opseg

ulaznog napona za koji prikazujemo karakteristiku biramo tako da obuhvata i vrednosti manje od $-10\mu V$ i veće od $+10\mu V$ (Slika 8).



Slika 8 – Prenosna karakteristika realnog operacionog pojačavača u otvorenoj sprezi.

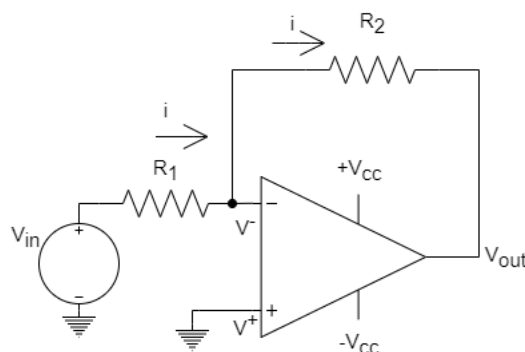
Osnovna analogna električna kola sa operacionim pojačavačem

Već je rečeno da je izlaz pojačavača uvek ograničen njegovim naponom napajanja, što znači da u najboljem slučaju može da ima vrednost između V_{cc}^- i V_{cc}^+ . Usled toga što operacioni pojačavač u otvorenoj petlji ima izuzetno veliko pojačanje, njegov izlaz bi praktično, za bilo koju razliku potencijala na ulaznim priključcima, bio u zasićenju. Iz tog razloga se u praksi uvode konfiguracije operacionog pojačavača sa povratnom spregom.

Zatvaranje povratne sprege podrazumeva povezivanje izlaza na invertujući ulaz pojačavača putem neke otpornosti. Uvođenjem povratne sprege postiže se da kolo što više radi u linearnom režimu, tj. da postoji linearna veza između ulaza i izlaza. Najčešće korišćene konfiguracije operacionog pojačavača sa zatvorenom povratnom spregom su invertujući i neinvertujući pojačavač. Ukoliko nije drugačije rečeno, u zadacima koji slede ćemo podrazumevati da je konfiguracija bazirana na idealnom operacionom pojačavaču.

Zadatak 2. Na slici 9 je prikazano kolo *invertujućeg* pojačavača.

- a) Diskutovati režime rada invertujućeg pojačavača u zavisnosti od odnosa otpornosti R_1 i R_2 .



Slika 9 – Invertujući pojačavač.

Rešenje

U konfiguraciji invertujućeg pojačavača ulazni signal V_{in} se dovodi na invertujući ulaz operacionog preko otpornika R_1 , dok se neinvertujući ulaz vezuje na masu. Ukoliko se pretpostavi da je operacioni pojačavač idealan, tj. da je pojačanje u otvorenoj petlji beskonačno, važi da su invertujući i neinvertujući ulaz na istom potencijalu. S obzirom na to da je neinvertujući ulaz fizički vezan na masu, važi:

$$V^- = V^+ = 0$$

i kaže se da je invertujući ulaz na virtuelnoj masi (nije fizički povezan na masu nego se potencijal sa neinvertujućeg ulaza preslikao na njega).

Ukoliko je ulazna impedansa operacionog beskonačno velika i ne postoji struja koja ulazi u njega, može se uočiti da kroz R_1 i R_2 teče ista struja, odnosno:

$$i = \frac{V_{in} - V^-}{R_1} = \frac{V^- - V_{out}}{R_2}$$

Zamenom $V^- = 0$ dobija se:

$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{-V_{out}}{R_2}$$
$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

Na osnovu izvedene jednačine se vidi da između ulaznog i izlaznog signala postoji linearna veza, tj. izlazni signal V_{out} predstavlja invertovan ulazni napon pojačan faktorom R_2/R_1 .

U zavisnosti od odnosa otpornosti otpornika R_1 i R_2 , postoje 3 režima rada sklopa invertujućeg pojačavača:

1. Ukoliko $R_2 > R_1$, faktor pojačanja je veći od 1, pa se sklop ponaša kao pojačavač.
2. Ukoliko $R_2 = R_1$, faktor pojačanja je jednak jedinici, na izlaz se prosleđuje invertovani ulazni napon, pa se sklop ponaša kao invertor.
3. Ukoliko $R_2 < R_1$, faktor pojačanja je manji od 1, pa se sklop ponaša kao oslabljivač.

b) *Nacrtati prenosnu karakteristiku ovog kola ako je dato:*

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$
$$R_2 = 50 \text{ k}\Omega$$
$$\pm V_{cc} = \pm 10 \text{ V}$$

Rešenje

U ovom konkretnom slučaju pojačanje iznosi :

$$A = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{50 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = -5$$

i ono predstavlja nagib prenosne karakteristike u linearnom režimu.

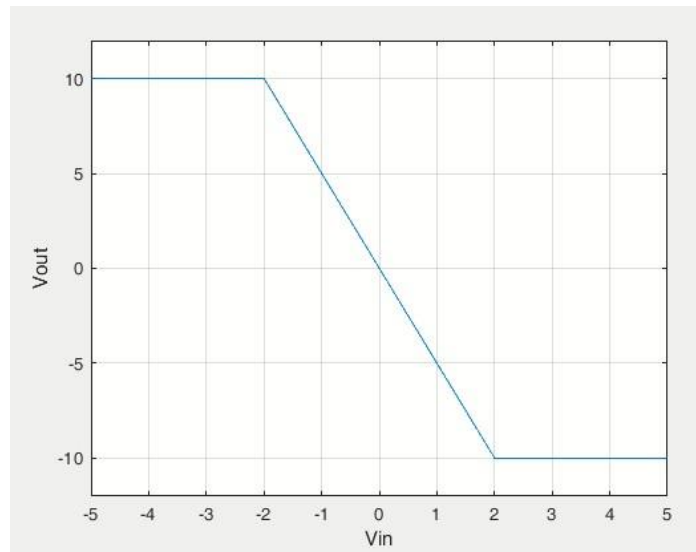
Svakako, linearni režim važi samo za određene vrednosti ulaznog napona. Nakon toga, pojačavač ulazi u zasićenje i ima vrednost pozitivnog ili negativnog napona napajanja.

Granične vrednosti ulaznog napona iznose:

$$V_{gr1} = \frac{V_{cc}^+}{A} = \frac{10 \text{ V}}{-5} = -2 \text{ V},$$

$$V_{gr2} = \frac{V_{cc}^-}{A} = \frac{-10 \text{ V}}{-5} = 2 \text{ V}.$$

Prenosna karakteristika invertujućeg pojačavača je prikazana na Slici 10. Može se zaključiti da će ovo kolo raditi u linearnom režimu za ceo opseg ulaznog napona od -2 V do 2 V. Očigledno, u odnosu na operacioni pojačavač sa otvorenom spregom, ovaj sistem ima manje pojačanje, ali je na račun toga proširena zona linearnog režima.



Slika 10 – Prenosna karakteristika invertujućeg pojačavača.

c) Skicirati dve periode signala koji se dobije na izlazu ako se na ulaz dovede signal:

$$V_{in} = 3V \sin(4\pi t)$$

Rešenje

Kružna učestanost datog ulaznog signala iznosi 4π , a s obzirom na to da važi $\omega = 2\pi f$, frekvencija ulaznog signala je $4\pi/2\pi = 2 \text{ Hz}$. Perioda signala predstavlja recipročnu vrednost frekvencije i u ovom slučaju iznosi:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \text{ Hz}} = 0.5 \text{ s}$$

što znači da jedna perioda ulaznog signala traje pola sekunde.

Napon na izlazu se računa preko sledećeg izraza:

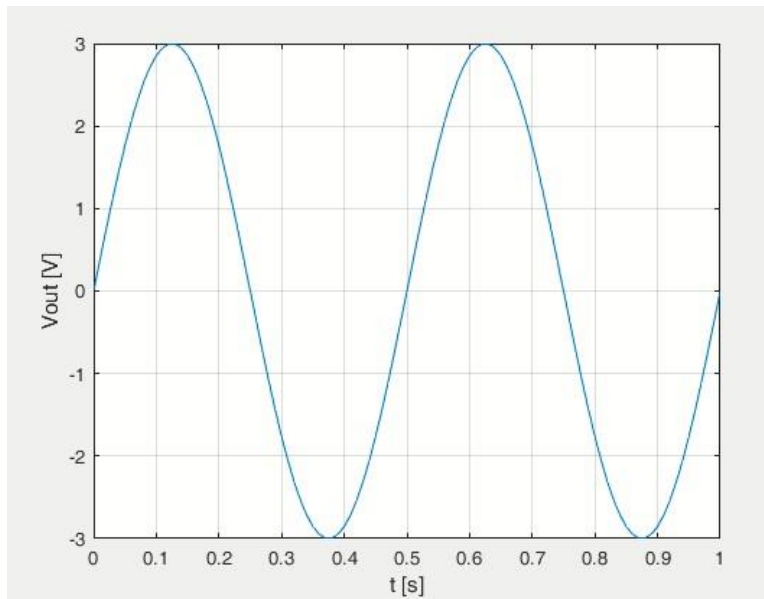
$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

Prema tome, može se očekivati da će se na izlazu javiti napon:

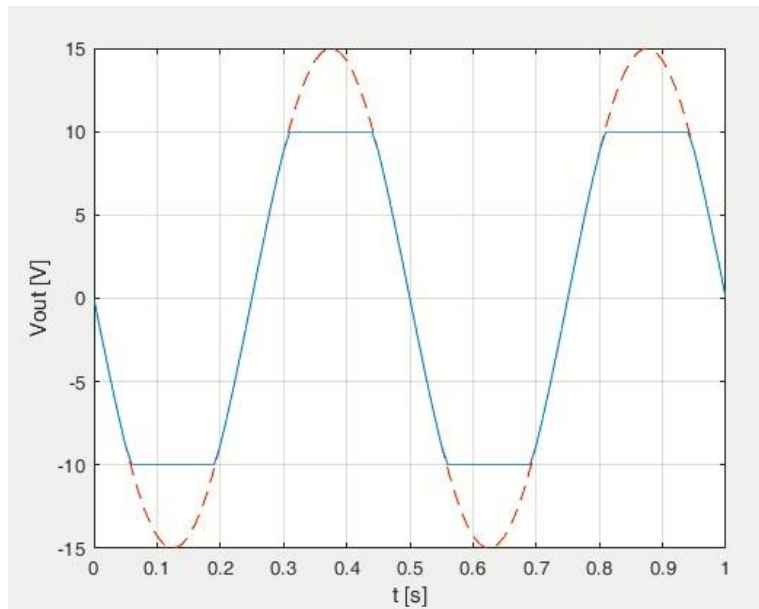
$$V_{out} = -15V \sin(4\pi t).$$

Međutim, pošto je napon napajanja pojačavača $\pm 10V$, vrednosti veće od $10V$ i manje od $-10V$ se ne mogu pojaviti na izlazu.

Drugim rečima, u zadatku pod *a)* je pokazano da za ulazni signal amplitude od -2 V do 2 V dolazi do inverzije i pojačanja 5 puta, prilikom prolaska kroz kolo invertujućeg pojačavača. S obzirom na to da je amplituda datog sinusa 3 V može se očekivati da jedan deo ulaznog signala neće proći na izlaz tj. neće biti pojačan, a to je upravo deo signala koji ima amplitudu preko 2 V i ispod -2 V . Za te vrednosti ulaza, izlaz će biti u zasićenju i imaće vrednost napona napajanja, kao što je i prikazano na slici 12.



Slika 11 – Ulazni signal.



Slika 12 – Signal na izlazu invertujućeg pojačavača (plavo).

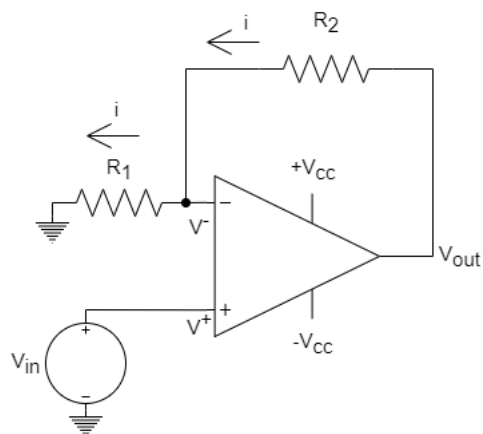
Zadatak 3. Na slici 13 je prikazano kolo **neinvertujućeg** pojačavača.

a) Skicirati prenosnu karakteristiku sistema sa slike ako:

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 50 \text{ k}\Omega$$

$$\pm V_{cc} = \pm 10 \text{ V}$$



Slika 13 – Neinvertujući pojačavač.

Rešenje

U konfiguraciji neinvertujućeg pojačavača ulazni signal V_{in} se dovodi na neinvertujući ulaz operacionog, dok se invertujući ulaz, preko otpornika R_1 vezuje na masu. Ukoliko je pojačanje u otvorenoj petlji beskonačno važi:

$$V^- = V^+ = V_{in}$$

Ponovo, uvođenjem aproksimacije da je ulazna impedansa operacionog beskonačno velika i da u njegove ulazne priključke ne teče struja, može se uočiti da kroz R_1 i R_2 teče ista struja, odnosno:

$$i = \frac{V^- - 0}{R_1} = \frac{V_{out} - V^-}{R_2}$$

Zamenom $V^- = V_{in}$ dobija se:

$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_2}$$
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$$

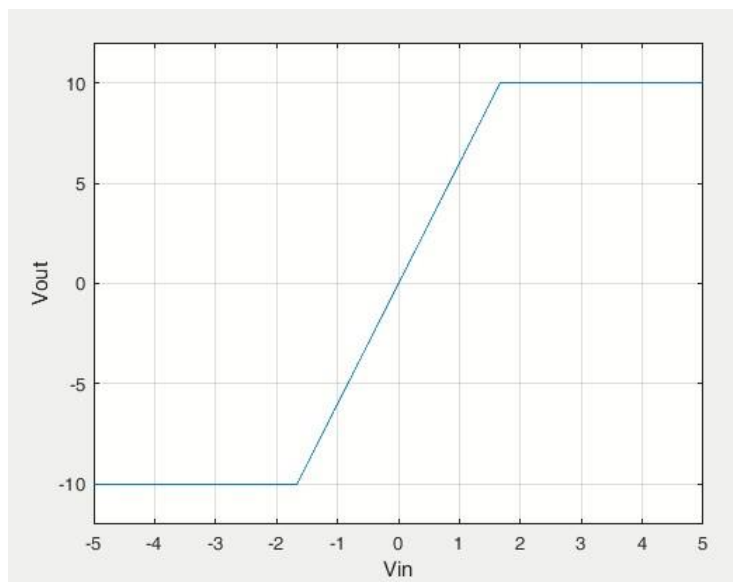
Faktor pojačanja za vrednosti otpornika date u zadatku iznosi:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 6$$

i predstavlja nagib prenosne karakteristike u linarnom režimu rada, koji važi za ulazni napon do graničnih vrednosti:

$$V_{gr1} = \frac{V_{cc}^+}{A} = \frac{10 \text{ V}}{6} = 1.67 \text{ V}$$
$$V_{gr2} = \frac{V_{cc}^-}{A} = \frac{-10 \text{ V}}{6} = -1.67 \text{ V}$$

Za ulazni napon amplitude iznad 1.67 V i ispod -1.67 V izlaz će imati vrednost pozitivnog, tj. negativnog napona napajanja, respektivno. Prenosna karakteristika ovog sistema je prikazana na Slici 14.



Slika 14 – Prenosna karakteristika neinvertujućeg pojačavača.

b) Skicirati dve periode signala na izlazu ako je na ulazu signal:

$$V_{in} = 3V \sin(100\pi t - \pi/2)$$

Rešenje

Trajanje periode ulaznog (i izlaznog) signala se računa kao:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{\omega}{2\pi}} = \frac{1}{\frac{100\pi}{2\pi}} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0.02 \text{ s}$$

Pošto pojačanje pojačavača iznosi 6, na izlazu možemo očekivati signal:

$$V_{out} = 18V \sin(100\pi t - \pi/2).$$

Međutim, kada u obzir uzmemo činjenicu da je napon na izlazu ograničen naponima napajanja, imamo da je amplituda izlaznog signala:

$$\text{Za } V_{gr2} \leq V_{in} \leq V_{gr1} \rightarrow V_{out} = 6V_{in}$$

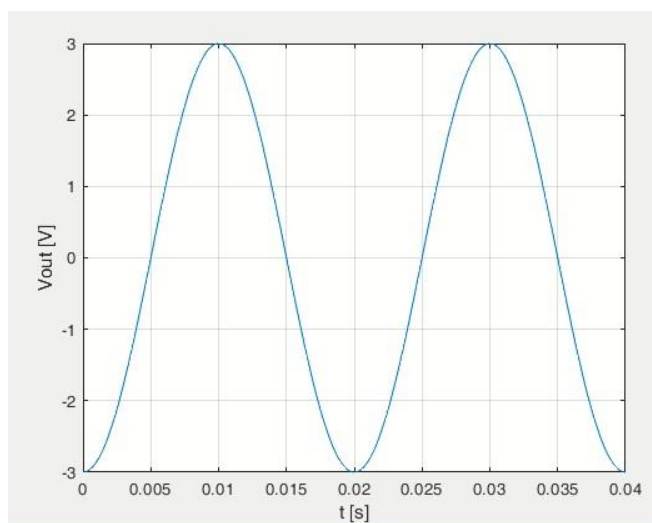
$$\text{Za } V_{in} > V_{gr1} \rightarrow V_{out} = V_{cc}^{+}$$

$$\text{Za } V_{in} < V_{gr2} \rightarrow V_{out} = V_{cc}^{-}$$

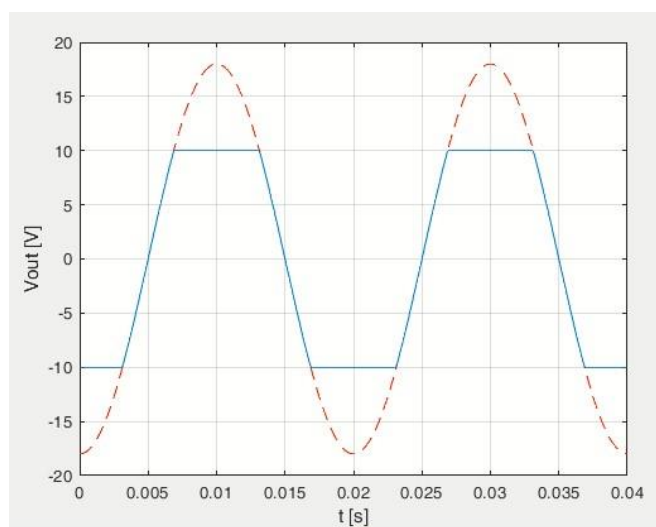
Signali na ulazu i izlazu iz pojačavača prikazani su na slikama 15 i 16, redom.

Pošto signal $V_{in} = 3V \sin(100\pi t - \pi/2)$ ima početnu fazu $-\pi/2$, u trenutku $t = 0$, imaće vrednost:

$$V_{in} = 3V \sin(-\pi/2) = -3V.$$



Slika 15 – Ulazni signal.



Slika 16 – Signal na izlazu neinvertujućeg pojačavača (plavo).

Operacioni u zatvorenoj sprezi, simulacije u LTSpice-u

Zadatak 1 – Invertujući pojačavač

U LTSpice-u sastaviti kolo invertujućeg pojačavača upotrebom otpornika $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ i $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ tako da kolo vrši pojačavanje signala sa ulaza. Naponi napajanja su $\pm V_{cc} = \pm 10 \text{ V}$. U simulaciji prikazati 2 periode signala na izlazu ako se na ulazu javlja signal

- $V_{in} = 1\text{V}\sin(4\pi t)$.
- $V_{in} = 3\text{V}\sin(4\pi t)$.

Kolo sastaviti upotrebom operacionog pojačavača OP27.

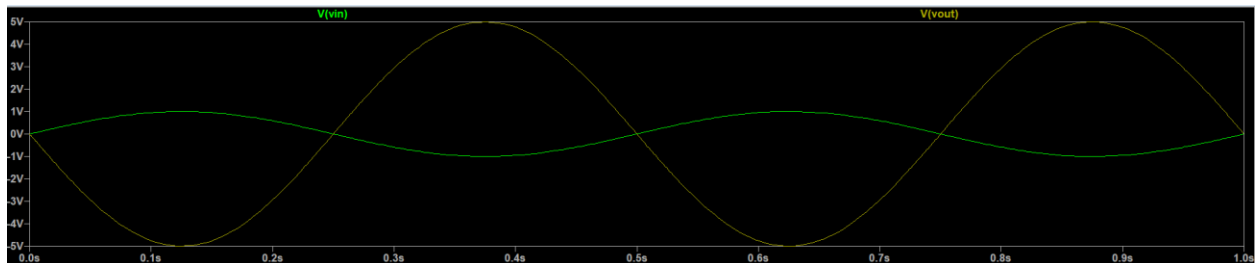
Rešenje:

Da bi se sastavilo kolo operacionog pojačavača, potrebni su operacioni pojačavač, otpornici, i naponski generatori kojima bi se obezbedilo napajanje pojačavaču. Pošto se traži da kolo radi u pojačavačkom režimu, otpornik veće otpornosti biće postavljen u povratnu spregu.

U meniju sa komponentama (Component -> [OpAmps]) mogu se naći različiti modeli operacionih pojačavača. Ovaj spisak uključuje modele koji verno oslikavaju rad komercijalno dostupnih operacionih pojačavača, ali i komponente koje dozvoljavaju definisanje vrednosti parametara operacionog pojačavača od strane korisnika (kao što je npr. Univerzalni operacioni pojačavač, UniversalOpAmp2).

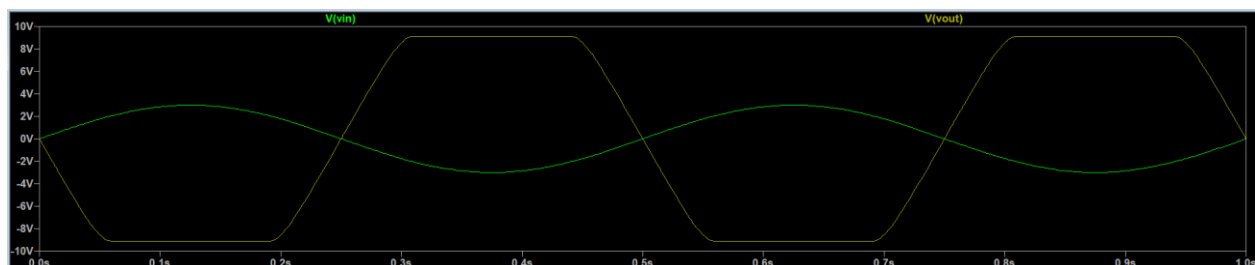
Upotrebom operacionog pojačavača OP27, dobijaju se sledeći rezultati:

-za slučaj pod a) – pošto je na ulazu signal amplitude 1 V, na izlazu se generiše signal amplitude 5 V koji je zbog upotrebe invertujućeg pojačavača invertovan u odnosu na ulazni signal:



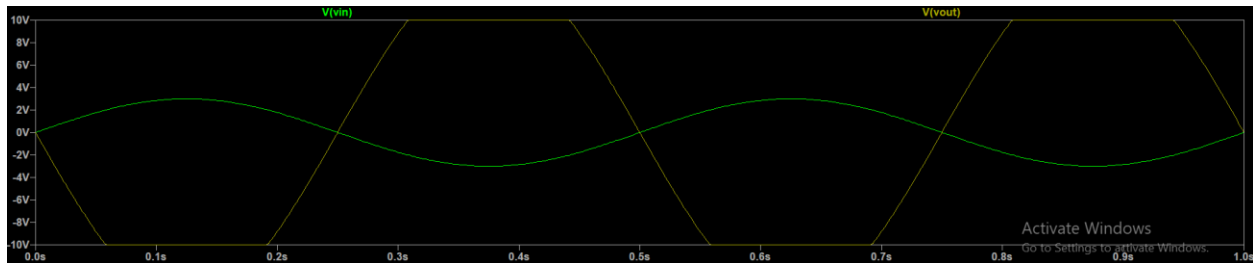
Slika 17 – Signal na ulazu (zeleno) i izlazu (žuto) invertujućeg pojačavača realizovanog upotrebom operacionog pojačavača OP27 – manifestacija linearnog režima.

-za slučaj pod b, pošto je ulazni signal amplitude 3V, očekuje se da će u momentima kada signal ima vrednosti veće od 2V i manje od -2V doći do manifestacije režima zasićenja, i da će signal na izlazu imati vrednosti -10V i +10V, respektivno. Međutim, kao što se može primetiti na osnovu rezultata simulacije, u praksi, izlazni napon je ograničen naponima koji su po apsolutnoj vrednosti nešto niži od napona napajanja. Do toga dolazi zbog padova napona na tranzistorima koji se nalaze na izlazu pojačavača, kada su tranzistori u zasićenju.



Slika 18 – Signal na ulazu (zeleno) i izlazu (žuto) invertujućeg pojačavača realizovanog upotrebom operacionog pojačavača OP27 – manifestacija linearnog i režima zasićenja.

Ukoliko bi se u realizaciji pojačavača upotrebio univerzalni operacioni pojačavač čiji je parametar *rail* postavljen na nulu, na izlazu bi se dobio upravo signal u opsegu od V_{cc-} do V_{cc+} , što je i prikazano na Slici 19.



Slika 19 – Signal na ulazu (zeleno) i izlazu (žuto) invertujućeg pojačavača realizovanog upotrebom univerzalnog operacionog pojačavača – manifestacija linearnog i režima zasićenja.

Zadatak 2 – Neinvertujući pojačavač

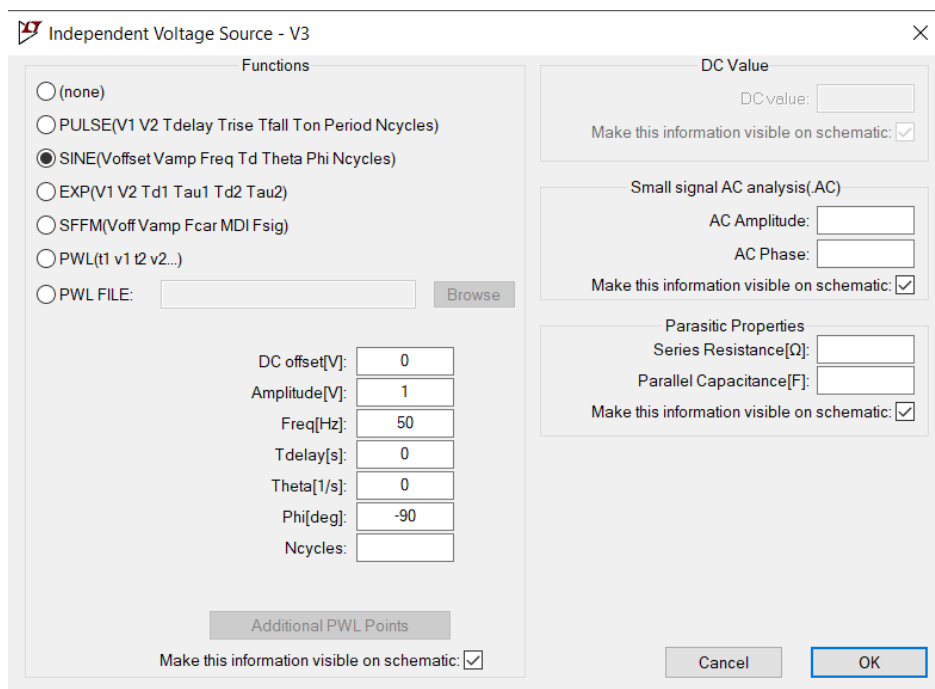
U LTSpice-u sastaviti kolo neinvertujućeg pojačavača upotrebom otpornika $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ i $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ tako da je otpornik veće otpornosti u povratnoj sprezi. Naponi napajanja su $\pm V_{cc} = \pm 10 \text{ V}$. U simulaciji prikazati 2 periode signala na izlazu ako se na ulazu javlja signal

- a) $V_{in} = 1V\sin(100\pi t - \pi/2)$.
- b) $V_{in} = 3V\sin(100\pi t - \pi/2)$.

Kolo sastaviti upotrebom operacionog pojačavača OP27.

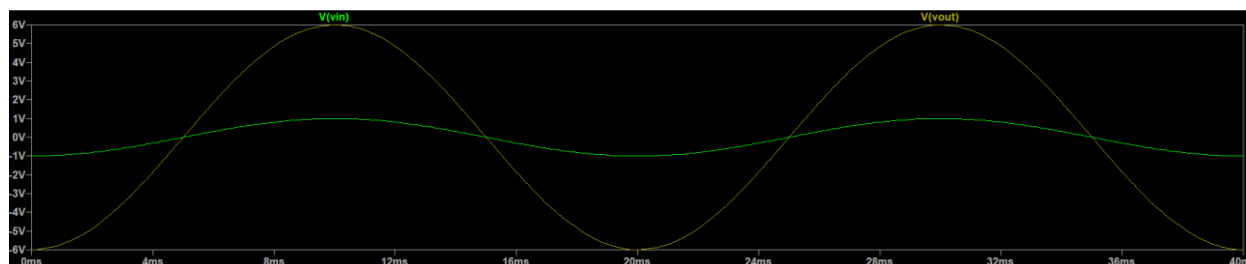
Rešenje:

Kolo se sastavlja na isti način kao i u prethodnom zadatku. Početna faza signala na ulazu zadaje se izražena u stepenima, kao što je prikazano na slici 20. Pošto frekvencija signala iznosi 50 Hz, ukupno vreme trajanja simulacije treba podesiti na 40 ms.

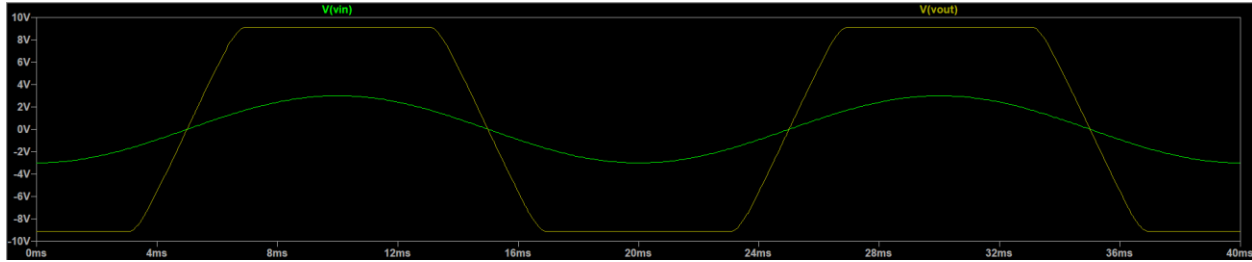


Slika 20 – Podešavanje parametara signala na ulazu u pojačavač.

Rezultati simulacije za slučajeve pod a) i b) dati su na slikama 21 i 22, redom. Pošto se radi o neinvertujućem pojačavaču, signali na ulazu i izlazu pojačavača su međusobno istih početnih faza. Kada je na ulazu u kolo signal amplitude 1 V, na izlazu se, s obzirom na vrednost pojačanja, dobija signal amplitude 6 V. Kada je na ulazu signal amplitude 3 V, na izlazu, pored linearnog režima, dolazi i do manifestacije režima zasićenja.



Slika 21 – Signal na ulazu (zeleno) i izlazu (žuto) neinvertujućeg pojačavača realizovanog upotrebom operacionog pojačavača OP27 – manifestacija linearnog režima.



Slika 22 – Signal na ulazu (zeleno) i izlazu (žuto) neinvertujućeg pojačavača realizovanog upotrebom operacionog pojačavača OP27 – manifestacija linearnog i režima zasićenja.

Zadaci za vežbu

Zadatak za vežbu 1: Za sistem sa slike skicirati prenosnu karakteristiku.

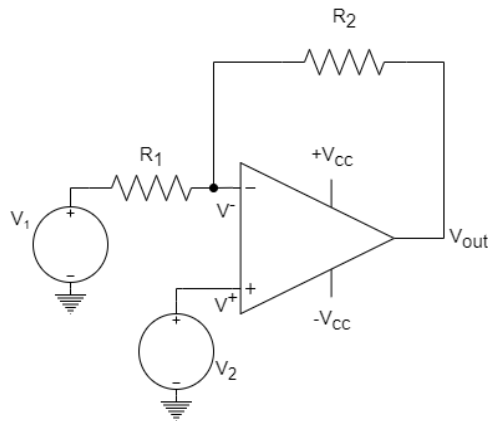
$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\pm V_{cc} = \pm 5 \text{ V}$$

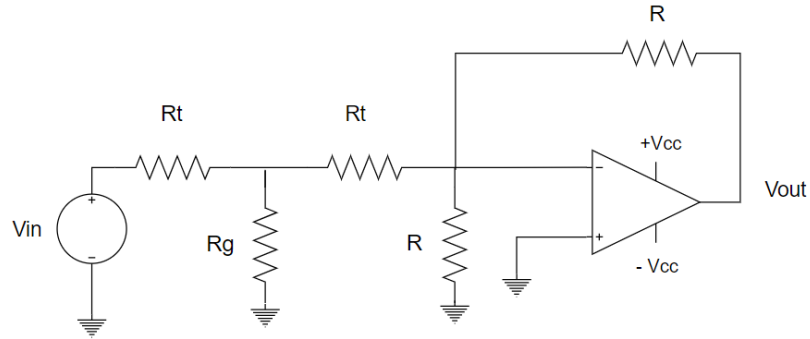
$$V_1 = V_{in}$$

$$V_2 = 2 \text{ V}$$



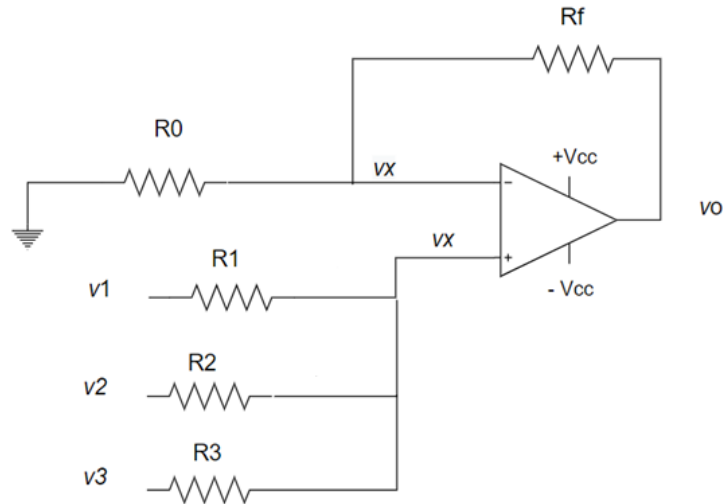
Slika 23 – Pojačavač sa dva ulaza

Zadatak za vežbu 2: Rešiti kolo sa slike.



Slika 24 – Kolo invertujućeg pojačavača sa T mrežom otpornika na ulazu.

Zadatak za vežbu 3: Rešiti kolo sa slike. Neka $R_1 = R_2 = R_3 = R$.



Slika 25 - Sabirač realizovan upotrebom neinvertujućeg pojačavača

Zadatak za vežbu 4: Skicirati sabirač baziran na invertujućem pojačavaču koji generiše srednju vrednost ulaznih signala v_1 , v_2 i v_3 i izvesti izraz za izlazni napon.