

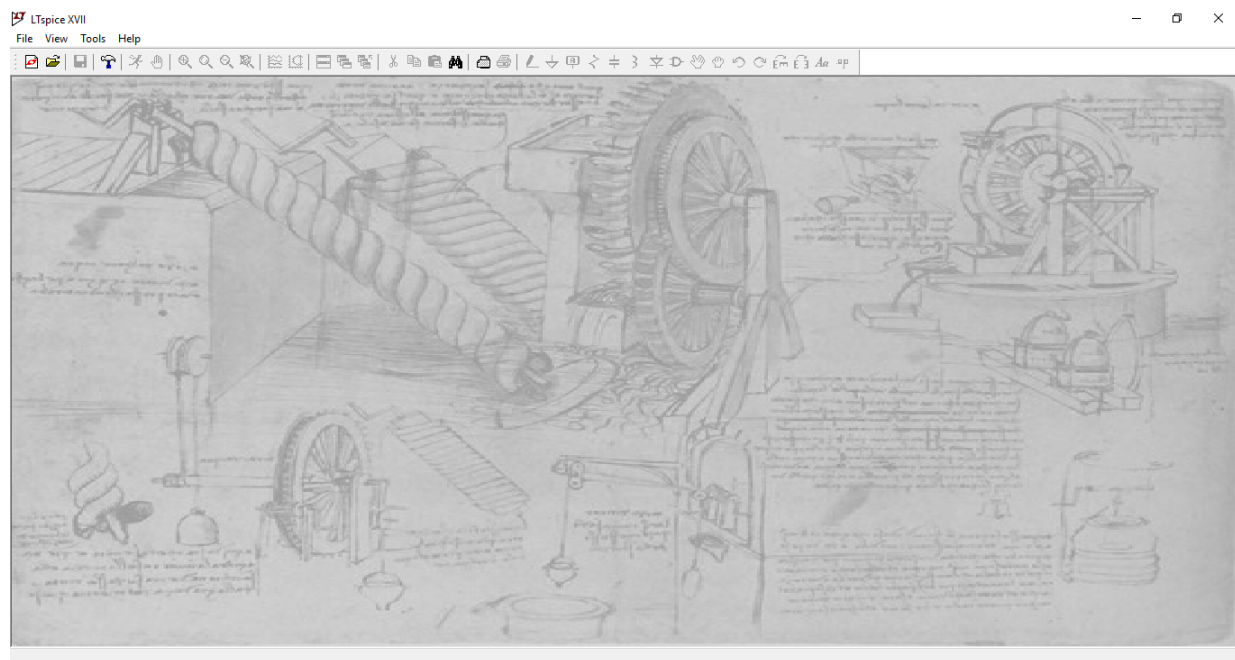
Cilj vežbi: Cilj vežbe je upoznavanje sa simulacionim alatom LTspice. Obnavljanje osnovnih fizičkih zakona, kao i načina funkcionisanja osnovnih elektronskih komponenti. Na kraju su izvršene simulacije pojedinih elektronskih kola za zaštitu.

1 LTspice uvod

Pre nego što se počne sa izradom elektronskih kola neophodno je odraditi simulacije istih. Simulacija omogućava spregu između realnog sveta i teorijskih saznanja. U tu svrhu je razvijen i programski simulacioni alat LTspice, od strane kompanije *Linear Technology*. Link za preuzimanje programa dat je na kraju ovog dokumenta u dodatnim napomenama. Ovaj alat će biti predmet istraživanja na prvom ciklusu vežbi predmeta Metode merenja i merno-akvizicioni sistemi u biomedicini.

1.1 LTspice - opis okruženja

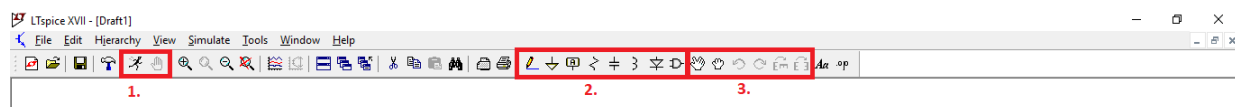
Nakon pokrenja LTspice programa dobija se prikaz kao na slici 1.



Slika 1: Izgled korisničkog ekrana

Na vrhu se nalazi paleta elemenata. Na slici 1 se može videti da nije dozvoljen pristup većini komponenata na paleti. Da bi se one učinile dostupnim neophodno je napraviti novi projekat klikom na prvu ikonicu u paleti *New schematic* ili klikom na *File*→*New schematic*, kao i prečicom sa tastature *Ctrl+N*.

Nakon kreiranja dokumenta postaje dostupna celokupna paleta. Komponente palete prikazane su na slici 2.

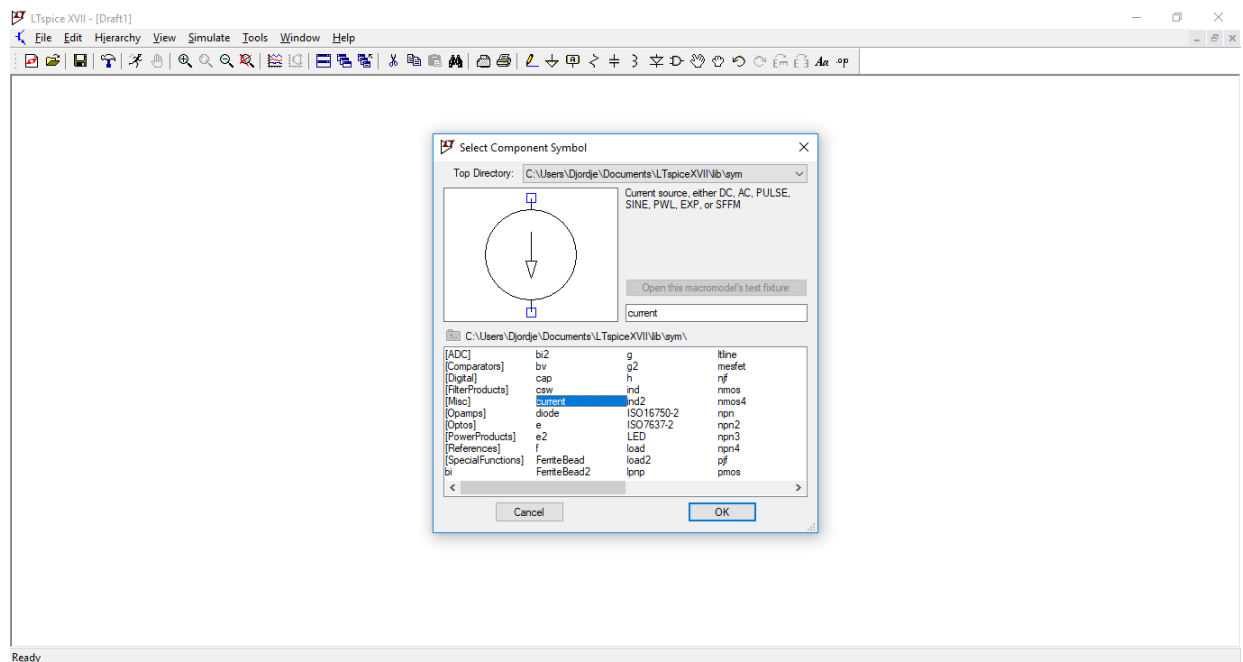


Slika 2: Paleta alata

Na slici 2. naznačene su sledeće celine:

1. Opcije za pokretanje i konfigurisanje simulacija.
2. Alati za rad i dodavanje elemenata na šemu. Prvi element *Wire* se koristi za povezivanje komponenata. Drugi element *Ground* predstavlja uzemljenje tj. potencijal u odnosu na koji se određuju preostali potencijali u kolu. Treći element je *Label Net* koji omogućava da korisnik generiše svoju labelu. Naredne četiri opcije dodaju otpornik, kondenzator, kalem, dioda respektivno. Poslednja opcija *Component* omogućuje korisniku da dodaje komponente čiji se modeli sadrže u LTspice-u.
3. Alat za prilagođavanje elemenata na šemi. Prvi element *Move* koristi se za premeštanje komponenata sa jednog mesta na drugo ali pri tom raskida veze ako je ta komponenta povezana u kolo. Suprotno ovom elementu sledi element *Drag* koji ima ulogu da pomera element ali pri tom ne vrši prekidanje veza električnog kola. Treći i četvrti element predstavljaju rotaciju opcije *Undo* i *Redo*. Peti element služi za rotaciju komponente dok poslednji element predstavlja tranziciju u ogledalu određene komponente.

Iz palete za dodavanje elemenata na šemu, klikom na opciju *Component* dobija se lista elemenata koja je prikazana na slici 3.

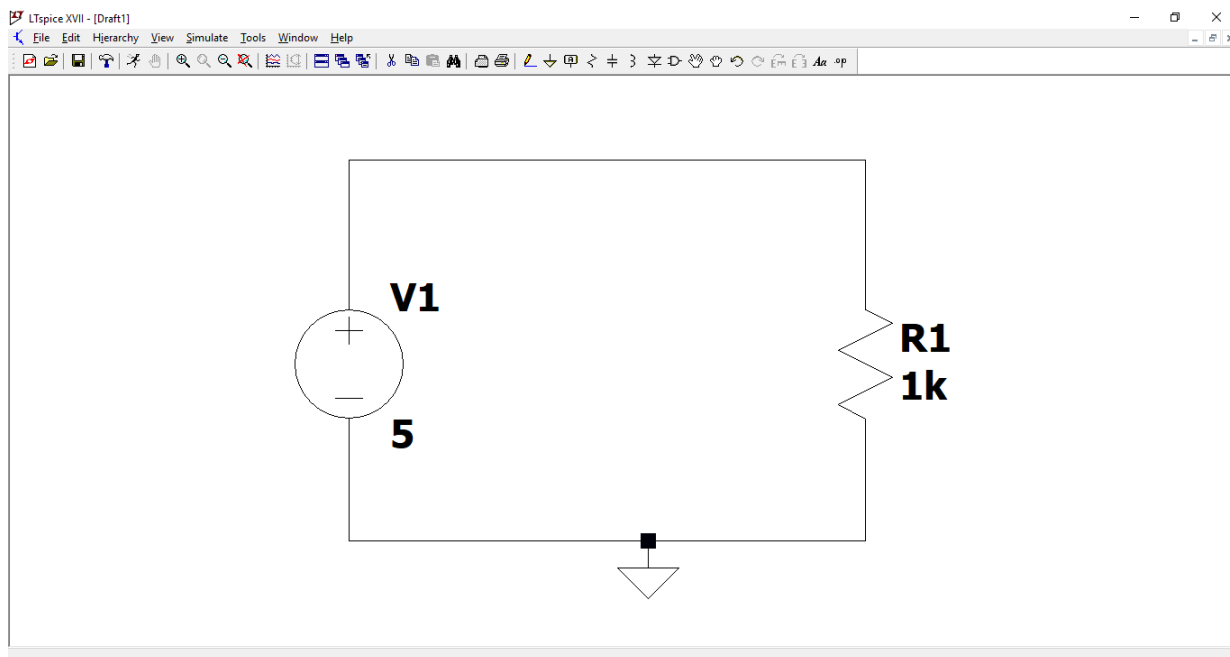


Slika 3: Element *Component*

Svi elementi koji su prikazani u uglastim zagradama, predstavljaju foldere koji sadrže veći izbor određenih komponenti, dok se izvan foldera nalaze komponente kao što su naponski izvori, strujni izvori, tranzistori, itd.

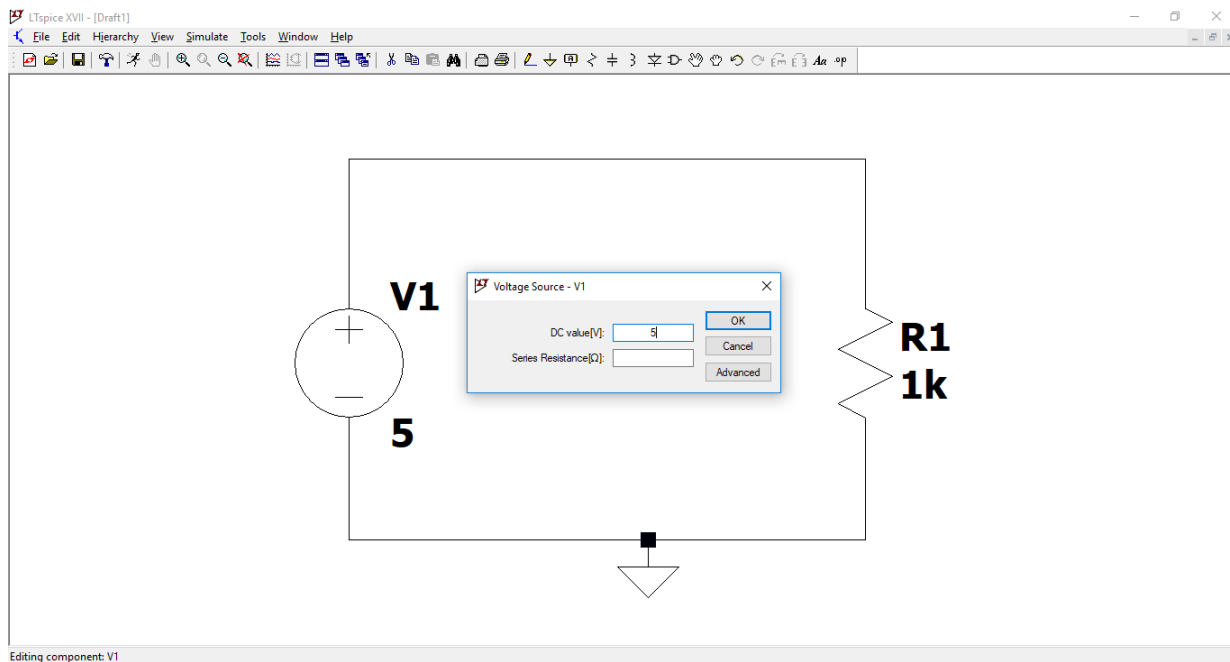
1.2 *Operating point* (.op) analiza

Operating point analiza je korisna kada se žele posmatrati naponi i struje u kolu u jednom vremenskom trenutku. Ovaj vid analize proračunava sve napone u čvorištima, kao i struje kroz komponente. Nacrtati šemu kao na slici 4.



Slika 4: Šema električnog kola

Kako bi se uspešno izvršila simulacija, kao što se može videti na slici 4., neophodno je podesiti vrednost komponenti. Da bi se podesila vrednost neophodno je pritisnuti desnim tasterom miša na simbol komponente. Na slici 5. prikazan je prozor za konfigurisanje napona generatora. Potrebno je postaviti vrednost napona 5 V.



Slika 5: Podešavanje napona generatora

Kako bi se model generatora približio stvarnom moguće je dodati i unutrašnju otpornost, ako se ovo polje

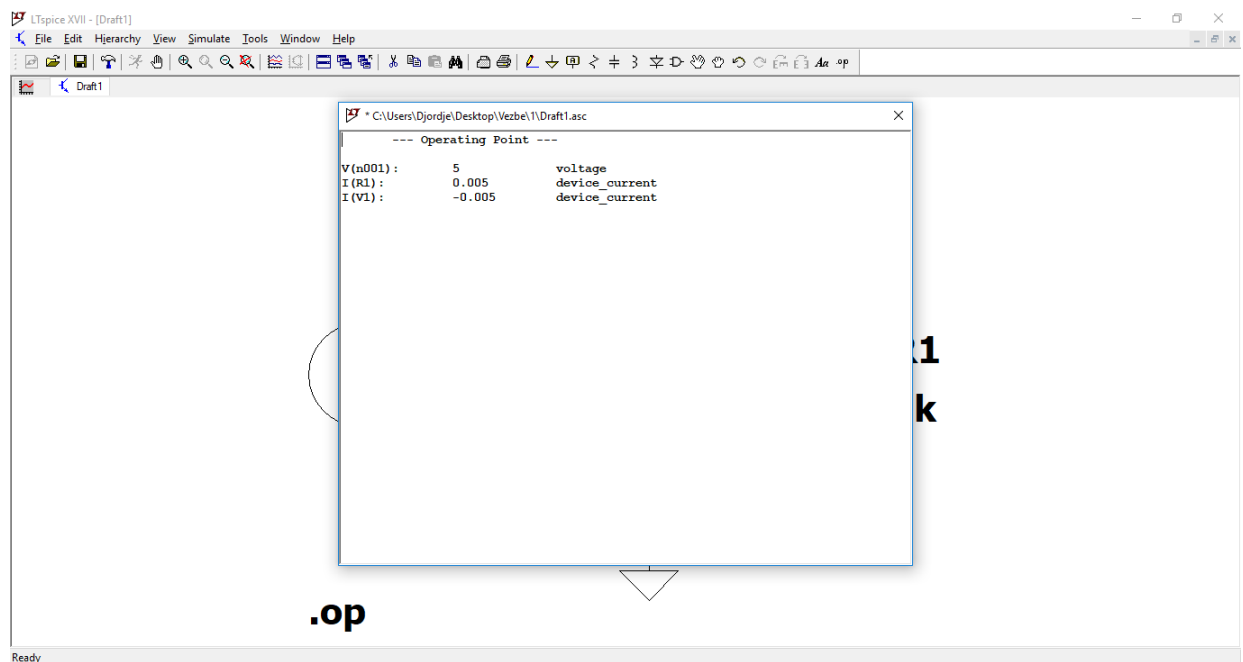
ostavi prazno podrazumevana vrednost je 0. Ponoviti postupak za podešavanje vrednosti otpornosti. Vrednost otpornika postaviti na 1 k Ω . Takođe, potrebno je zanemariti toleranciju i snagu otpornika. Neophodno je i postaviti jednu tačku za referentni potencijal tj. na masu.

Prefiksi i njihova značenja dati su u tabeli 1.

vrednost	prefiks
10^{12}	T ili t
10^9	G ili g
10^6	MEG ili meg
10^3	K ili k
10^{-3}	m ili M
10^{-6}	u ili U
10^{-9}	n ili N
10^{-12}	p ili P
10^{-15}	f ili F

Tabela 1: Tabela prefiksa

Potrebno je obratiti pažnju da se prefiks mega piše meg, zato što program ne razlikuje velika i mala slova. Pored fizičke jedinice nije neophodno pisati i jedinicu. Nakon podešavanja vrednosti svih komponenti klikom na ikonicu za pokretanje simulacije ili Simulate→Run, čime se pojavljuje novi prozor za definisanje i podešavanje parametara simulacije. Neophodno je odabrati simulaciju *DC op pnt*. Ova simulacija ne zahteva nikakva podešavanja pa je potrebno samo potvrditi izvršavanje te simulacije klikom na taster *OK*, nakon čega će se izvršiti simulacija. Rezultat simulacije dat je na slici 6.

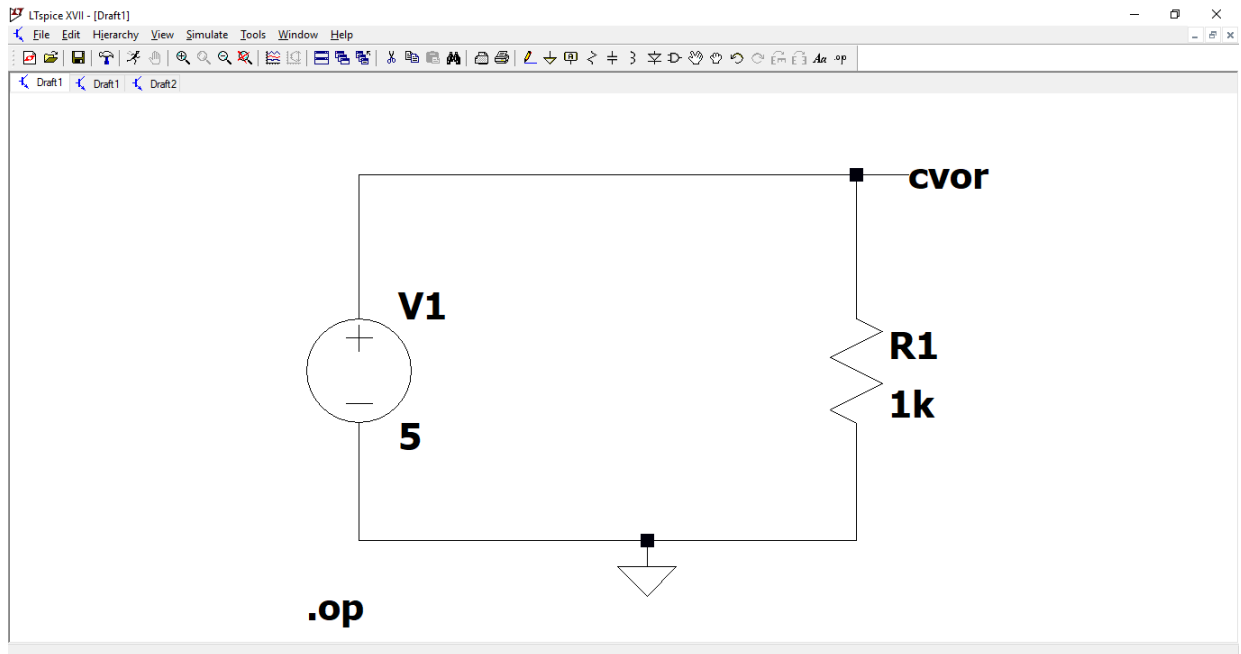


Slika 6: Rezultat simulacije

Rezultati simulacije prikazuju napone u svim čvorovima kao i struje kroz sve komponente u kolu. Pri naponu od 5 V i otpornosti od 1 k Ω struja iznosi 5 mA, što sledi iz omovog zakona.

1. Dodati otporniku redno otpornik od $1\text{ k}\Omega$ i proveriti da li se dobijaju očekivane vrednosti struja i napona na naponskom razdelniku.
2. Ponoviti simulaciju i za strujni razdelnik.

Kako bi rezultati simulacije bili uočljiviji moguće je postaviti labele. Za primer sa slike 4, dodati labelu klikom na Label Net element. Neophodno je dati ime labeli i postaviti ga na određeno mesto u kolu. Na slici 7 prikazan je primer sa dodatom labelom cvor.

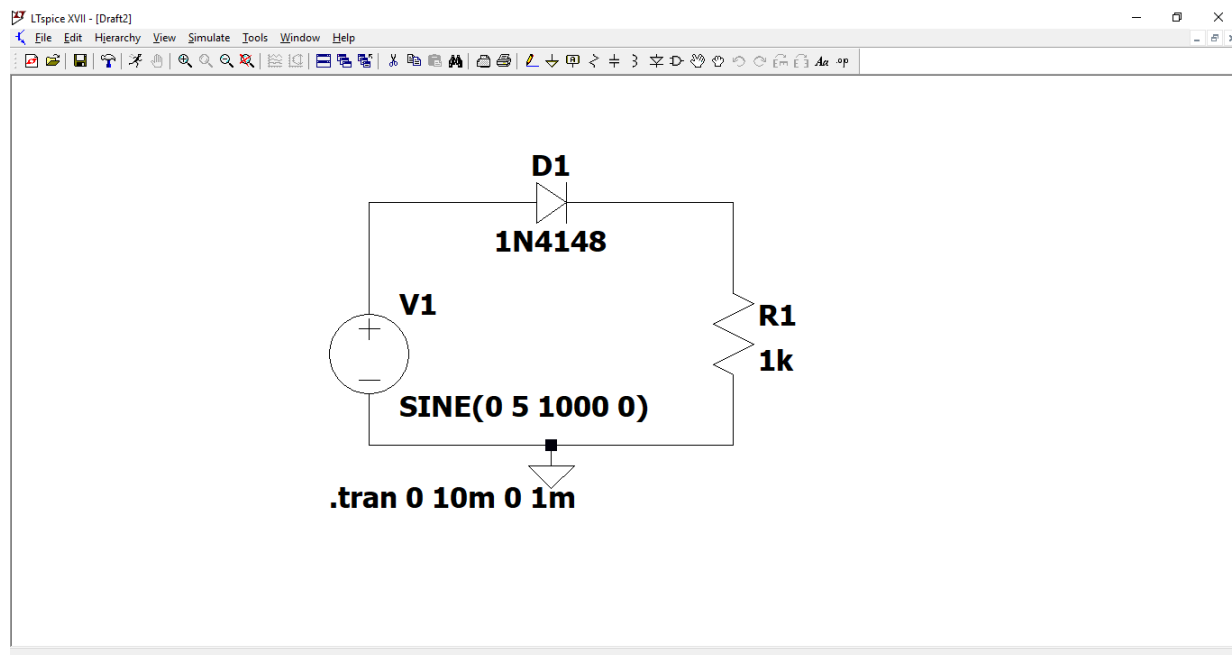


Slika 7: Dodavanje labele

Uočiti da se sada umesto napona u n001 prikazuje napon u čvoru cvor, čime je preglednost šeme znatno povećana. Ako postoje dva čvora sa istom labelom podrazumeva se da je to isto. Na taj način nije neophodno ostvarivati vezu žicom.

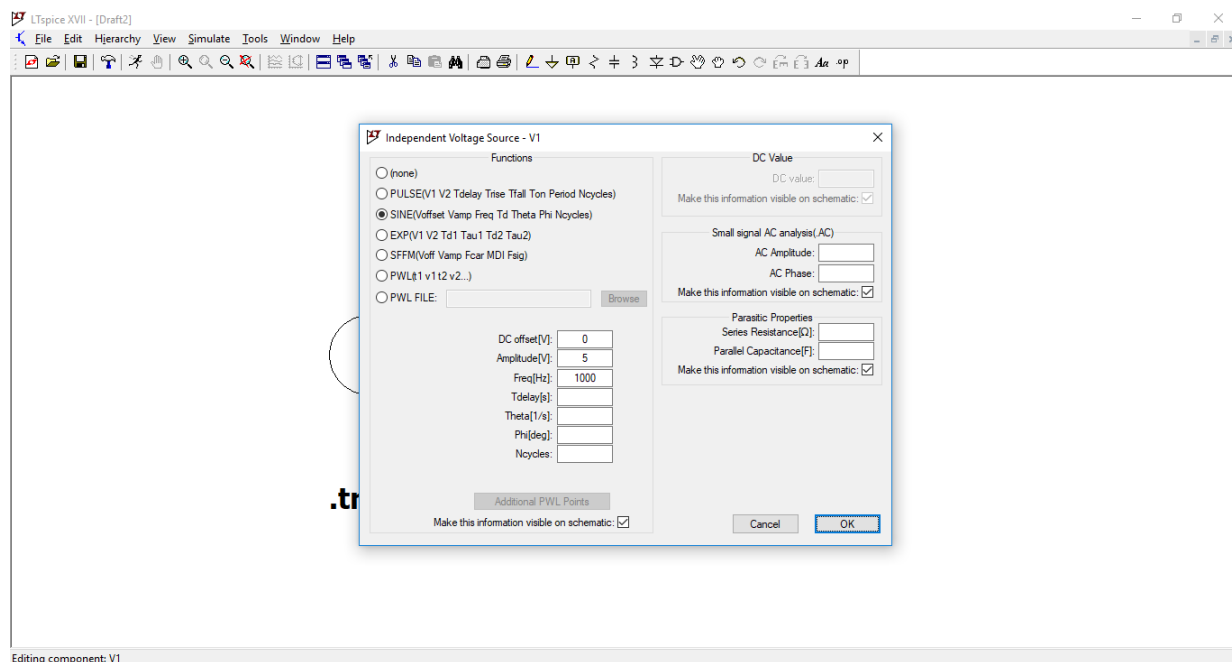
1.3 Tranzijentna analiza

Problem rada sa .op analizom je što se prikazuju rezultati samo u jednom trenutku, pa se zato mogu testirati samo DC parametri u kolu. Ako želimo odrediti parametre u toku vremena najpogodnija je tranzijentna analiza. Za početak neophodno je precrtati šemu sa slike 8.



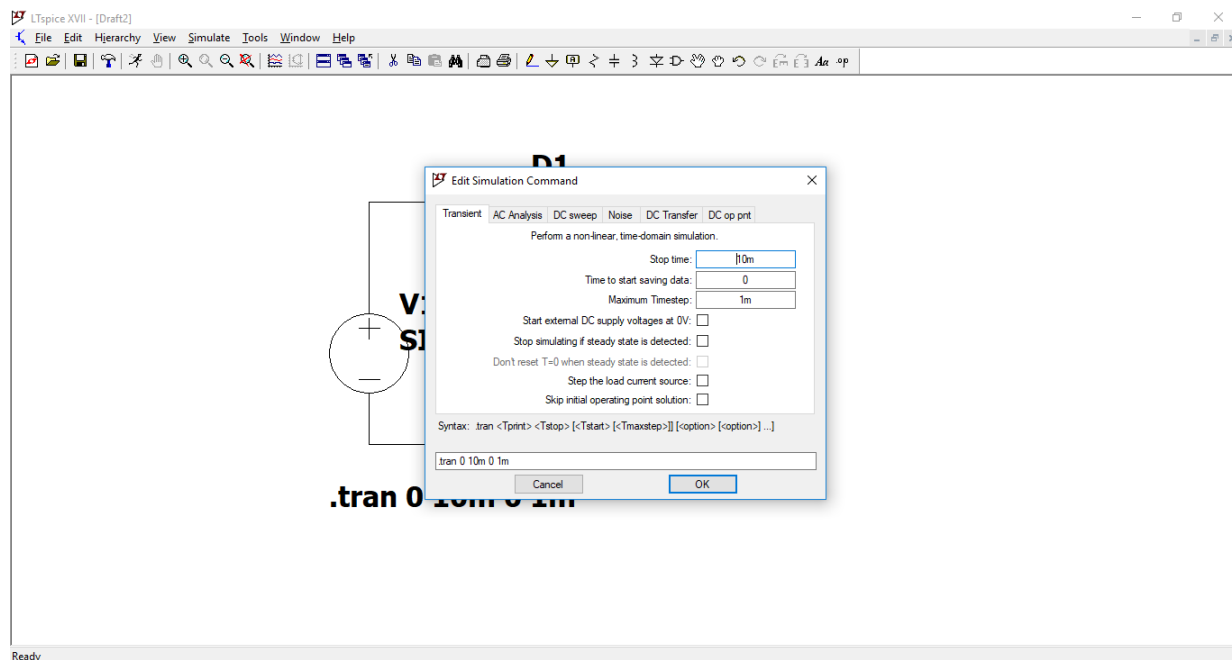
Slika 8: Šema jednostranog ispravljača

Na šemu postaviti diodu, otpornik i izvor napona. Postaviti vrednost otpornika na 1 kΩ. Desnim klikom na simbol generatora, kako bi se podesio da bude izvor promenljivog napona neophodno je kliknuti na taster advanced. Dobija se novi prozor za podešavanje parametara rada generatora. Izvršiti podešavanja kao na slici 9, postaviti amplitudu na 5 V, a frekvenciju na 1000 Hz. Nepopunjena polja imajuće podrazumevanu vrednost 0 izuzev Ncycles koji će imati broj perioda identičan dužini trajanja simulacije.



Slika 9: Podešavanje naponskog izvora

Nakon povezivanja kola pritiskom na taster Run, dobijaje se prozor za podešavanje simulacije. Ostaviti karticu na tranzijentnoj analizi a rezultate popuniti prema rezultatima na slici 10.



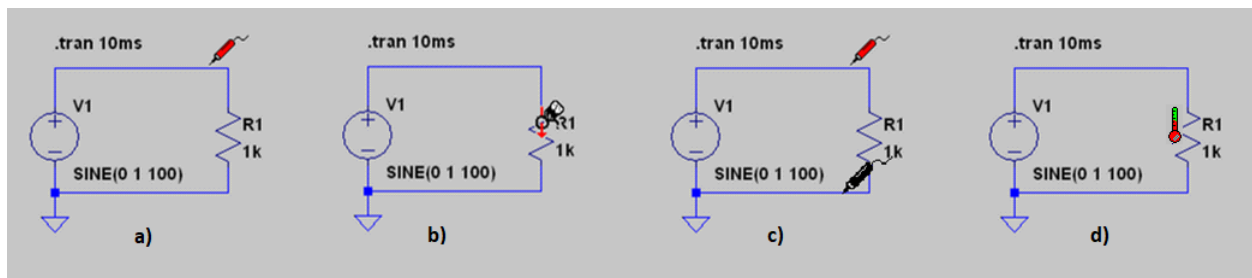
Slika 10: Podešavanje tranzijentne analize

Stop time predstavlja vreme nakon kog će se zaustaviti simulacija.

Time to start saving data predstavlja vreme koje se treba sačekati od početka izvršavanja simulacije da bi se počelo sa snimanjem signala. Ova opcija može biti korisna kada je potrebno sačekati da se dese neki prelazni procesi, dok kolo ne počne sa normalnim radom.

Maximum Timestep predstavlja maksimalno vreme između dva koraka pri izvršavanju simulacije. Praktično ovaj parametar predstavlja brzinu odabiranja signala, što je manji to će se viši harmonici uzimati u obzir.

Podesiti parametre da *Stop time* iznosi 10 ms, parametar *Time to start saving data* 0 s i *Maximum Timestep* na 1 ms, a zatim pokrenuti simulaciju. Kada se pokrene simulacija potrebno je odabrati prikaz određene fizičke veličine. Mogućnosti su prikazane na slici 11.



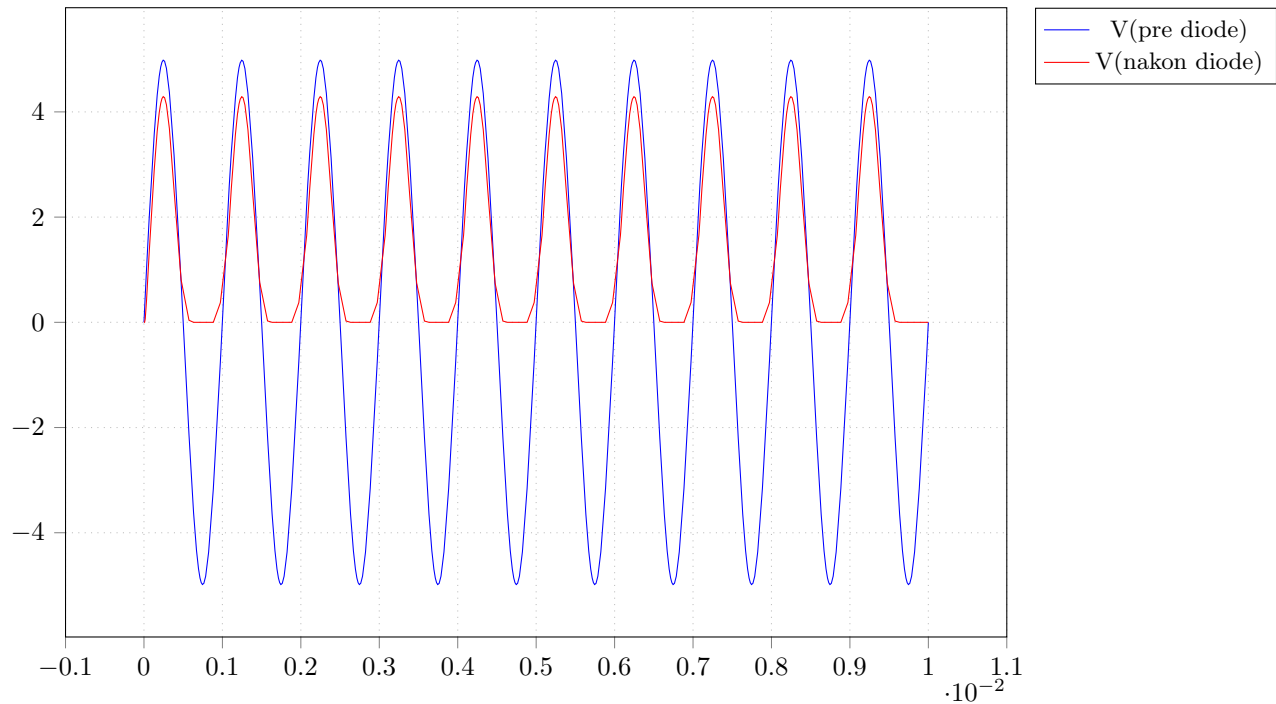
Slika 11: Prikaz određene fizičke veličine

Na slici 11 uočavaju se četiri različite ikonice:

- (a) Kada se kursom miša priđe žici, dobija se prikaz sonde osciloskopa, na ovaj način prikazuje se napon u određenom čvoru.

- (b) Kada se kursorom miša priđe elementu, dobija se prikaz amper-klešta, na ovaj način se prikazuje struja kroz određenu komponentu.
- (c) Kada se kursorom miša priđevodu i on prikaže sondu osciloskopa kliknuti na vod, a zatim drugi kraj prevući do druge tačke na vod nakon čega će se u toj drugoj tački pojaviti crna sonda. Ovako se dobija diferencijalni napon, tj. napon tačke sa crvenom sondom u odnosu na crnu sondu.
- (d) Kada se držeći taster *Alt* na tastaturi priđe komponenti, pojavljuje se ikonica termometra. Klikom na komponentu prikazuje se snaga na elementu u toku vremena.

Nakon pokretanja simulacije prikazati napon pre i posle diode. Rezultat je prikazan na slici 12.



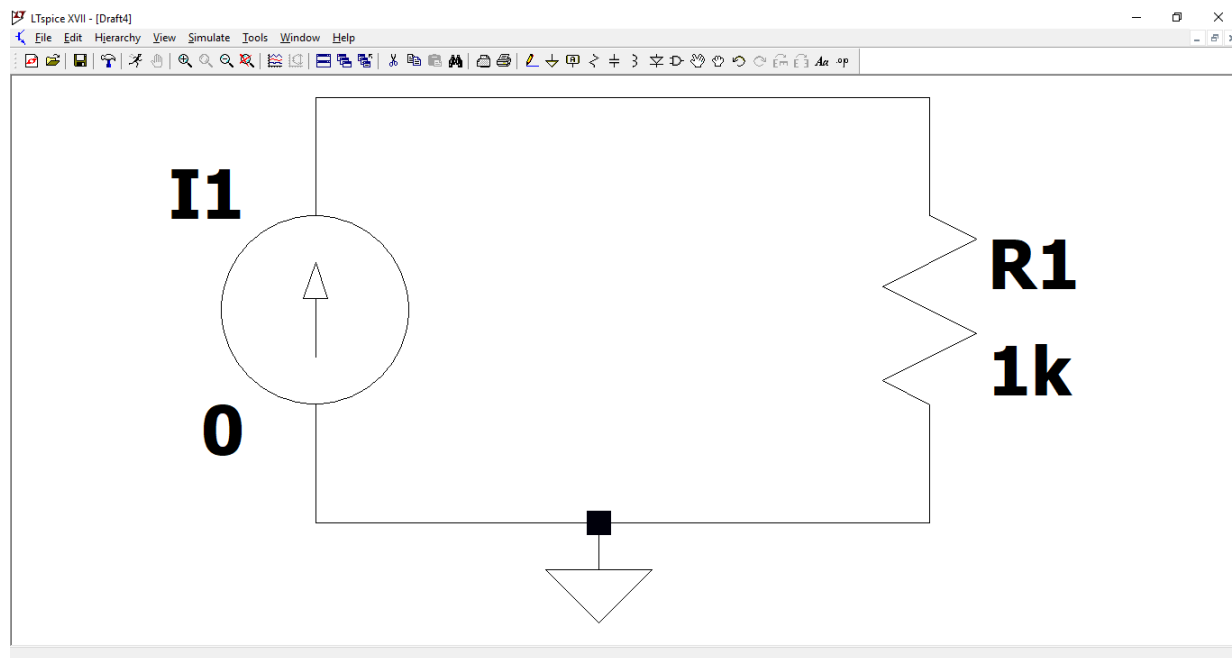
Slika 12: Grafik napona na jednostranom ispravljaču

Rezultat simulacije pokazuje da se nakon diode dobija napon polutalasno ispravljen sa padom napona na diodi 0,7 V. Uočiti i da praćenje ulaznog signala nije u potpunosti identično pri isključenju i uključenju diode. Kako bi se odabrala komercijalno dostupna dioda, potrebno je kliknuti na diodu desnim klikom, a zatim odabrati diodu 1N4148. Ponoviti simulaciju i očitati da je sada signal u potpunosti ispraćen, na ovaj način se može naslutiti da je dioda 1N4148 “brza” dioda što je čini idealnom za zaštitna kola.

1. Zameniti diodu 1N4148 odabirom šotki diode 1N5817, prokomentarisati dobijene rezultate. Koje se prednosti uočavaju kod šotki diode.
2. Proveriti koliko iznosi struja kada je dioda inverzno polarisana. U ovim slučajevima je očekivano da inverzna struja bude 0, da li je to dobijeno u simulaciji? Prokomentarisati rezultate za obe vrste dioda.
3. Zašto se izbegavaju šotki diode u zaštitnim kolima biomedicinskih uređaja?
4. Dodati paralelno otporniku kondenzator 10 μF . Povećavati i smanjivati kondenzator. Prokomentarisati dobijene rezultate

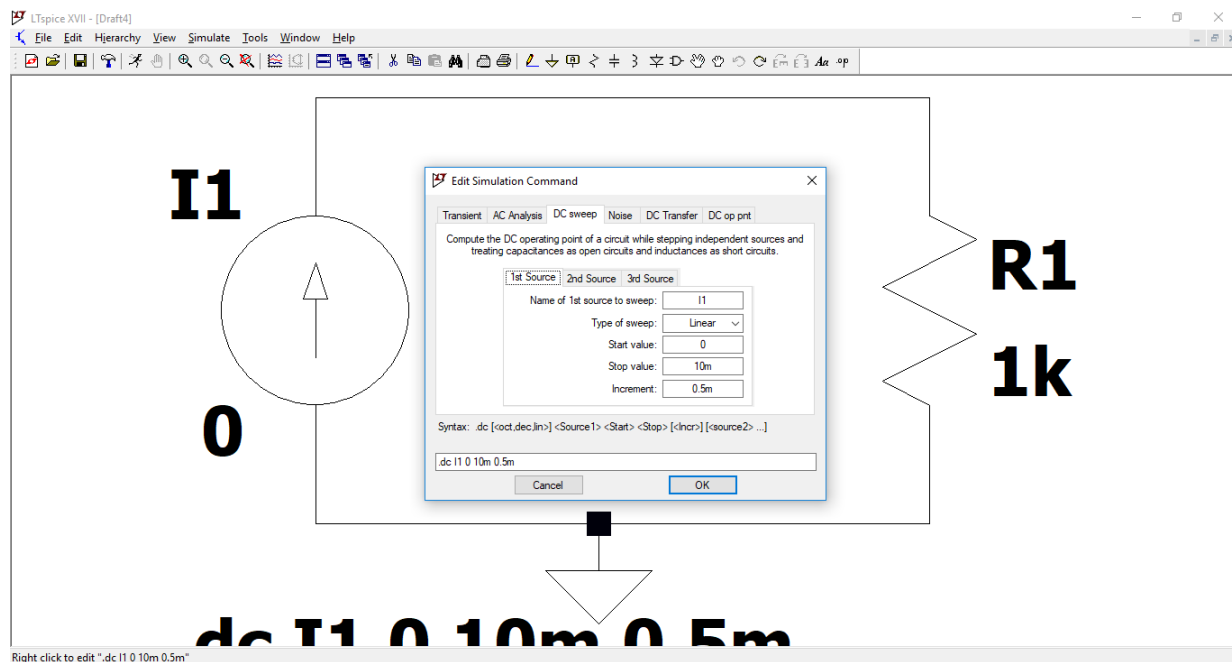
1.4 *DC sweep* analiza

DC sweep analiza je pogodna za određivanje prenosnih karakteristika kola, tj. moguće je posmatrati napone u zavisnosti od generisanog napona/struje u kolu. Povezati šemu prema slici 13.



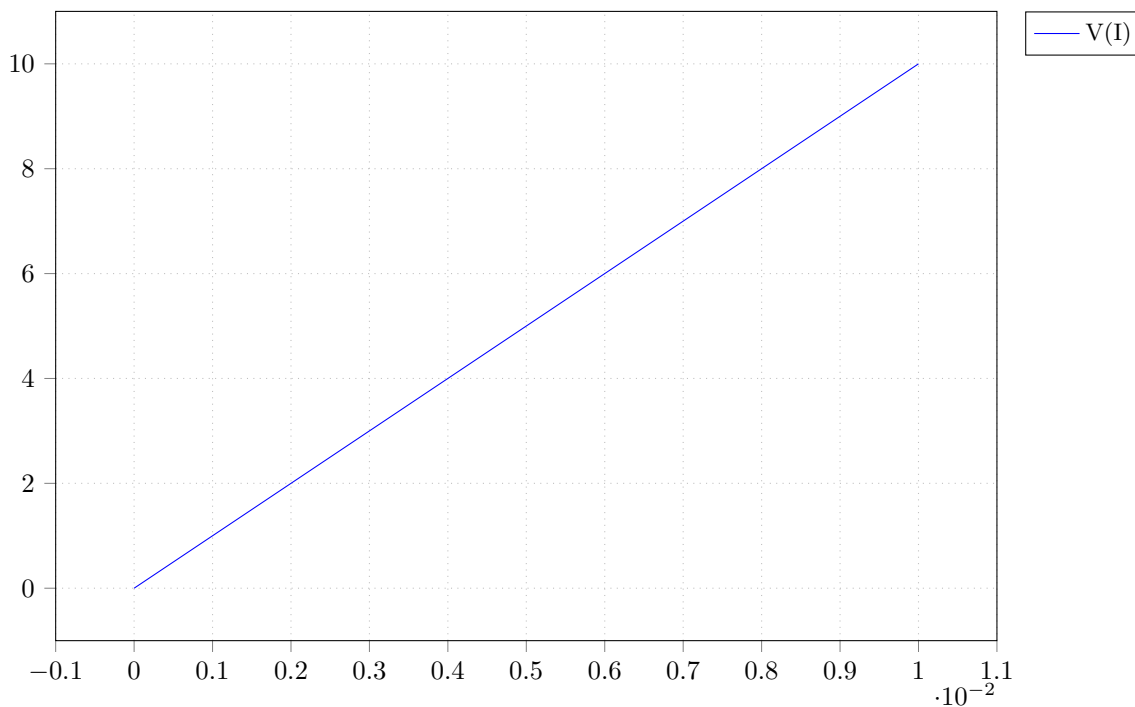
Slika 13: Šema kola

Zatim podesiti parametre simulacije kao što je prikazano na slici 14. Odabrati *DC sweep* analizu, a zatim u kartici *1st Source* uneti parametre da se želi menjati izvor I_1 , tip simulacije je linearni, tj. želimo da se izvor menja linearnim koracima. Početna vrednost je 0 A, krajnja vrednost je 10 mA, a korak simulacije je 0.5 mA.



Slika 14: Šema kola

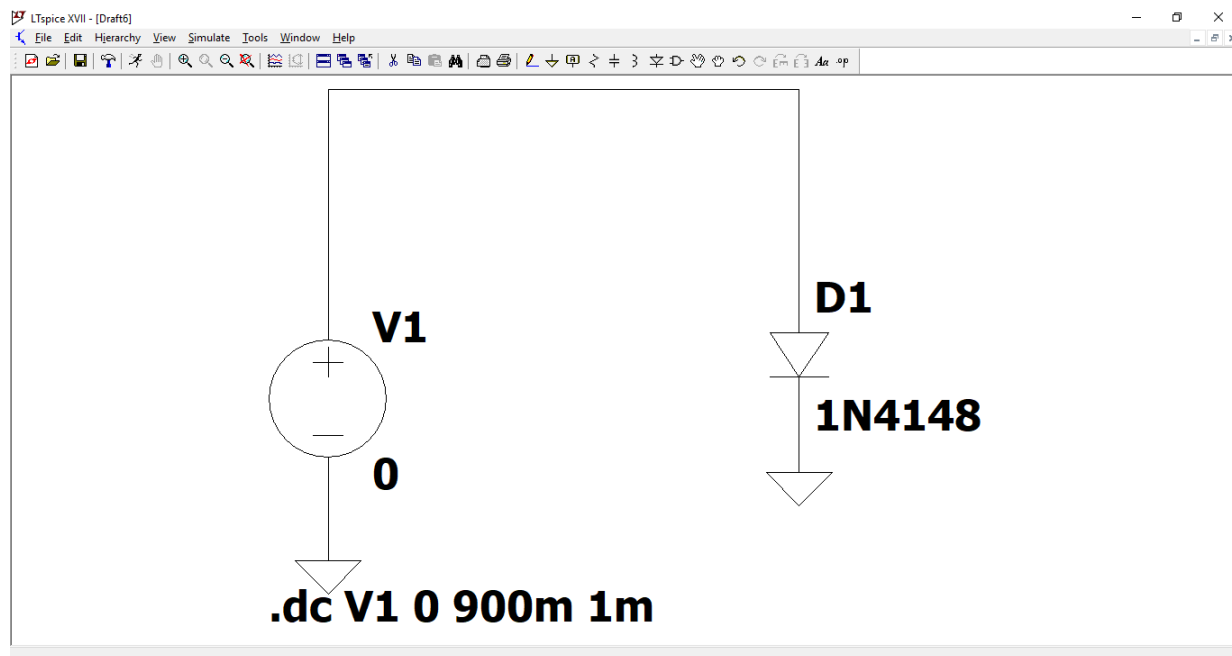
Nakon pokretanja simulacije, prikazati napon na otporniku, a dobijeni grafik prikazan je na slici 15.



Slika 15: Grafik U(I)

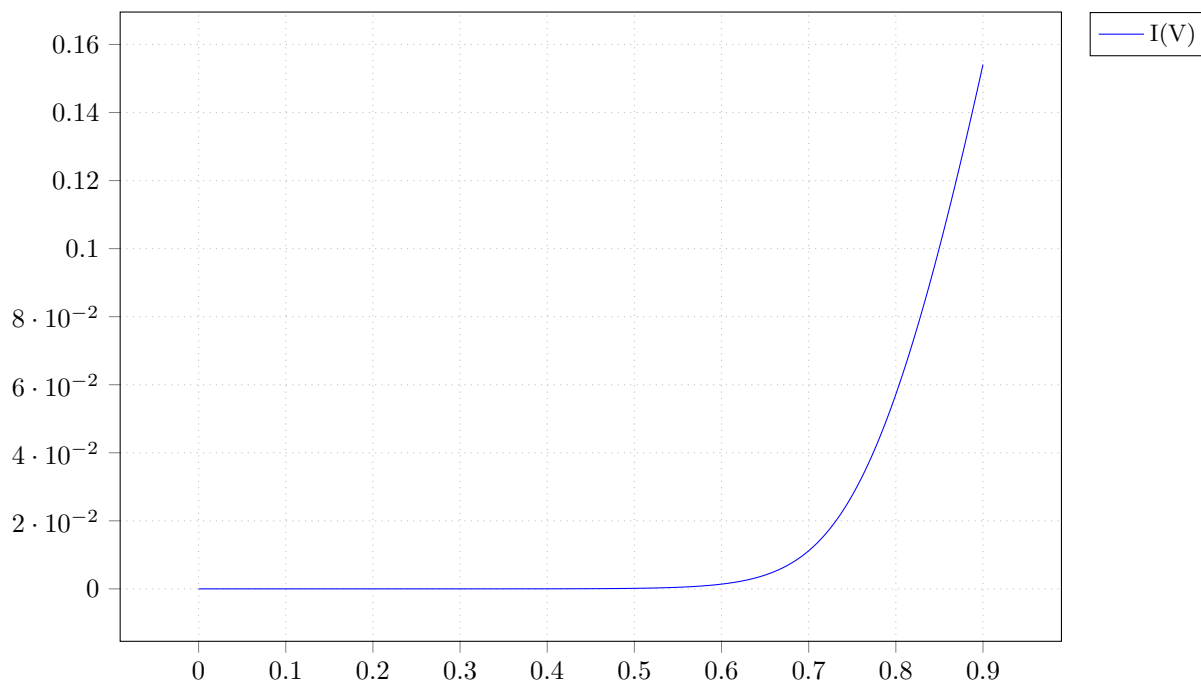
Prikazani grafik ima linearnu zavisnost. Pošto je prikazana zavisnost napona u funkciji struje, a prema Omovom zakonu, koeficijent pravca ove krive predstavlja otpornost kola. Menjati otpornost u kolu i primetiti, da li se nešto promenilo.

Nacrtati šemu sa slike 16 odabrati diodu 1N4148,a zatim podesiti parametre simulacije linearna promena po V_1 , od 0 V do 900 mV sa korakom 1 mV.



Slika 16: Snimanje karakteristike diode

Nakon pokretanja simulacije prikazati struju kroz diodu. Očekivani grafik prikazan je na slici 17.

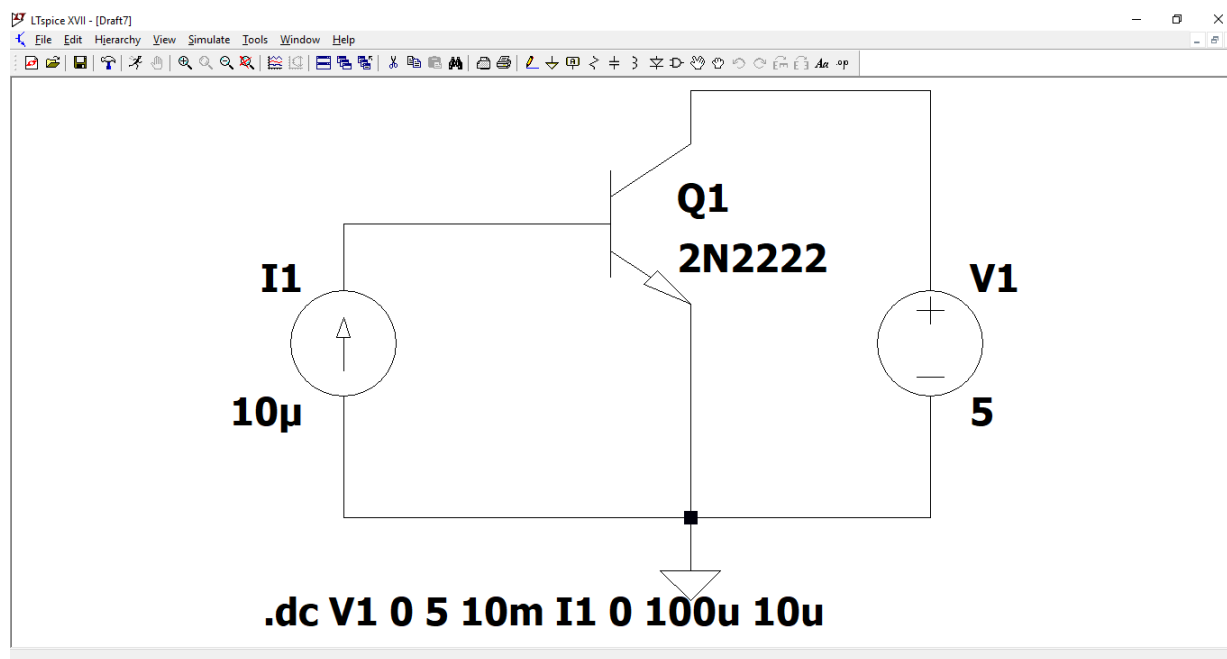


Slika 17: Grafik zavisnosti I(V)

Dobijeni grafik predstavlja zavisnost struje od napona i može se uočiti da dioda počinje da vodi pri naponu od oko 0,6 V.

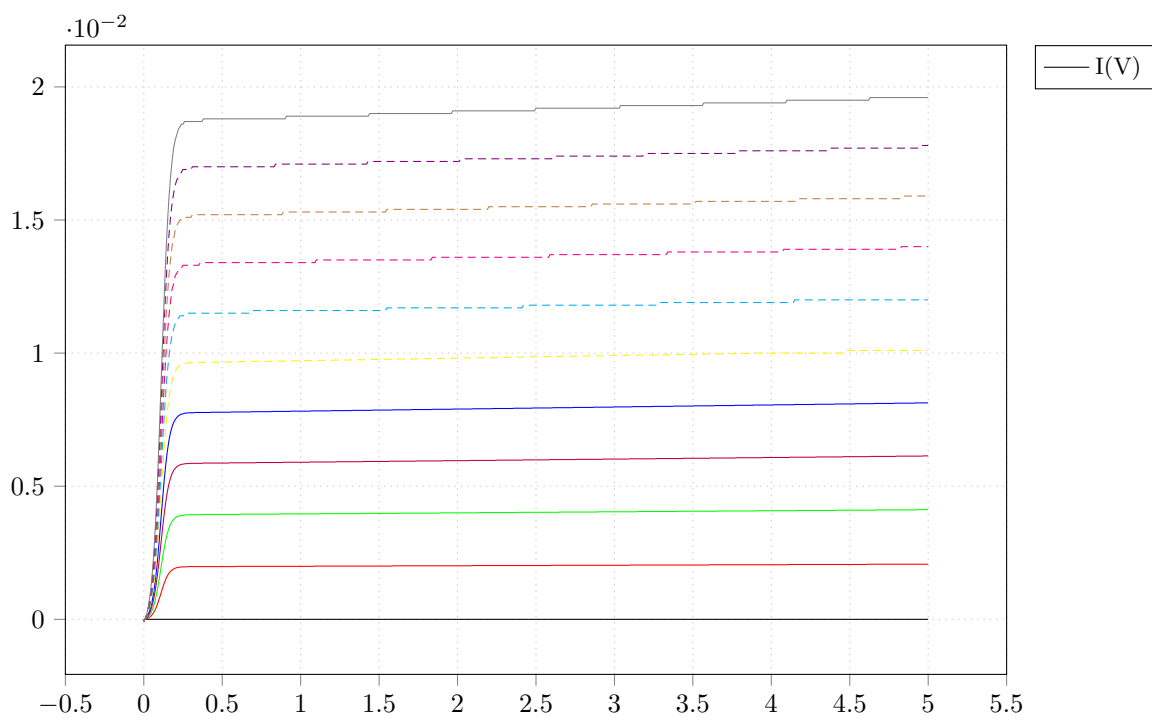
1. Zameniti diodu 1N4148 odabirom šotki diode 1N5817, podesiti početnu tačku simulacije 0 V, krajnu 300 mV, prikazati grafik. Da li su dobijeni očekivani rezultati?
2. Zameniti šotki diodu 1N5817 odabirom zener diode 1N750, podesiti početnu tačku simulacije -4,9 V, krajnu 900 mV, prikazati grafik. Da li su dobijeni očekivani rezultati?

Nacrtati šemu sa slike 18. Odabrati NPN tranzistor, i odabrati 2N2222.



Slika 18: Snimanje karakteristike diode

Podesiti simulaciju tako da prvi izvor bude V_1 sa linearnim porastom od 0 do 5 V sa korakom 10 mV, a zatim u kartici *2nd Source* podesiti da izvor bude I_1 sa linearnom raspodelom od 0 A do 100 μ A i korakom 10 μ A. Nakon pokretanja simulacije prikazati struju kolektora, a to se postiže posatvljanjem kursora miša na kolektor tranzistora i kada se pojave amper-klešta kliknuti tasterom miša. Dobijeni grafik na slici 19 predstavlja familiju krivih gde se može videti zavisnost struje kolektora u zavisnosti napona između kolektora i emitera. Na ovaj način se veoma lako može odrediti statička radna prava, a zatim i statička radna tačka tranzistora. Način funkcionisanja ovakve simulacije se sastoji od toga da se bazna struja generatora I_1 postavi na prvu vrednost, a zatim se snime svi signali prilikom promene generatora V_1 . Nakon toga se generator I_1 postavlja na novu vrednost i proces se ponavlja sve dok se ne dođe do poslednje vrednosti generatora I_1 , u ovom slučaju 100 μ A.



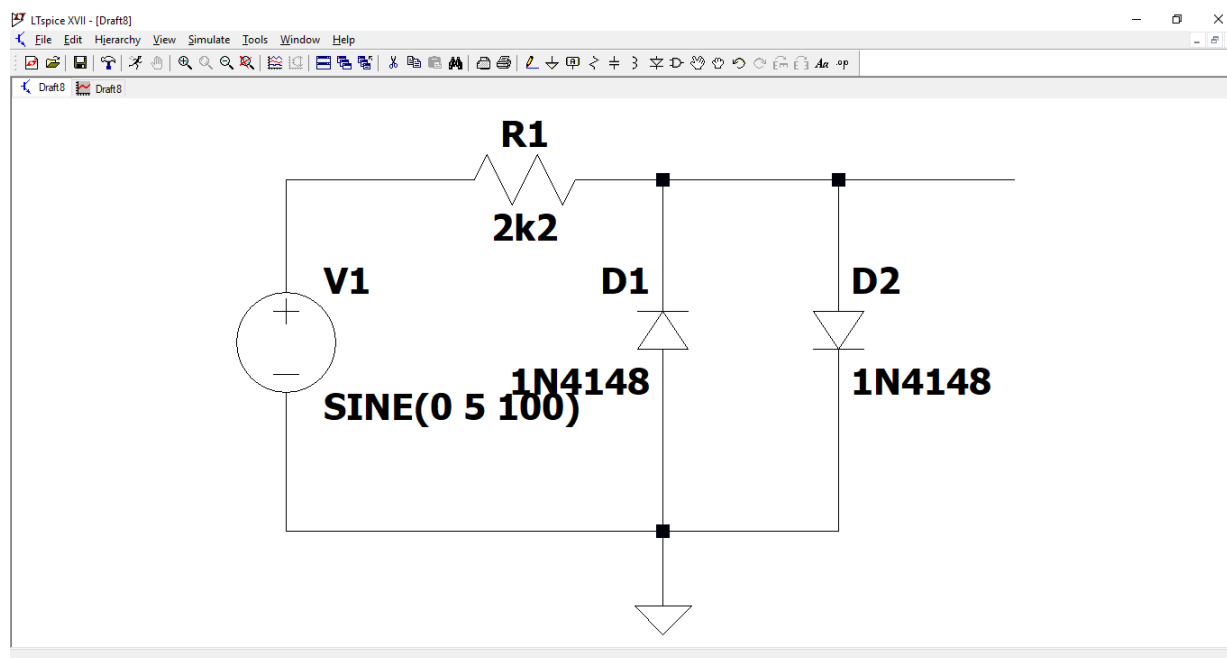
Slika 19: Zavisnost $I_c(V_{ce})$

2 Zaštitna kola

Biomedicinski uređaji zbog uslova rada i korišćenja u bolnicama zahtevaju visok stepen bezbednosti kako pacijenta tako i samog uređaja. Najveći problemi koji se javljaju su usled elektrostatičkog pražnjenja (*ESD*) kao i pojave prenapona usled lošeg rukovanja uređajem. Zaštita pacijenta najbolje se postiže galvanskom izolacijom, odn. optokaplerima u digitalnom delu uređaja. Pošto je ovaj deo vežbi posvećen analognim elektronskim kolima u nastavku će biti prikazana rešenja u analognoj tehnici. Kako bi se izvršila zaštita elektronskih sklopova neophodno je ograničiti napon koji može ući u kolo za kondicioniranje signala.

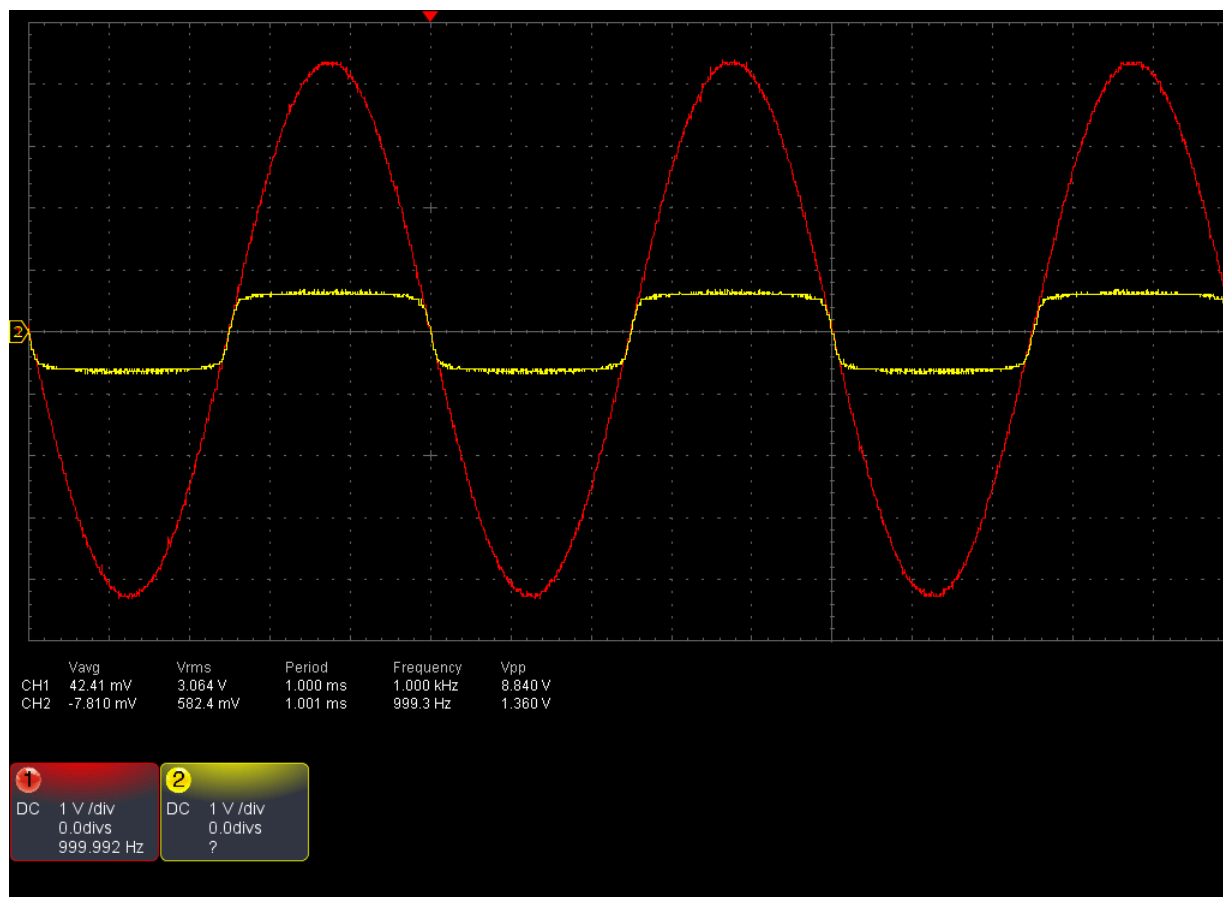
2.1 Antiparalelne zaštitne diode

Povezati kolo za zaštitu kao na slici 20.



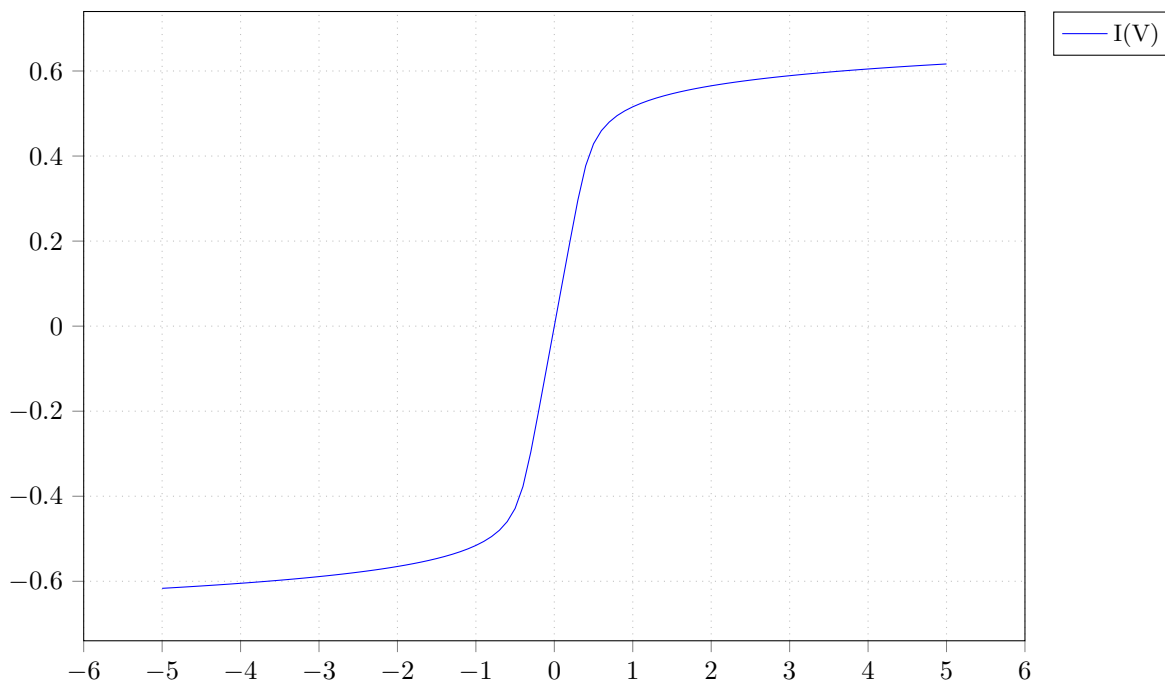
Slika 20: Zaštita antiparalelnim diodama

Podesiti izvor na sinusni talasni oblik amplitude 5 V i frekvenciju 100 Hz, postaviti otpornik od 2,2 k Ω , a zatim postaviti diode i odabrati 1N4148. Uloga otpornika je da kada dođe do naglog skoka napona, da ograniči struju kako se ne bi spalile diode. Odraditi tranzijentnu analizu, i prokomentarisati dobijene rezultate. Snimak sa osciloskopa prikazan je na slici 21. Uporediti da li se rezultati simulacije preklapaju sa dobijenom slikom u realnosti.



Slika 21: Snimak rada zaštitnog kola sa antiparalelnim diodama osciloskopom

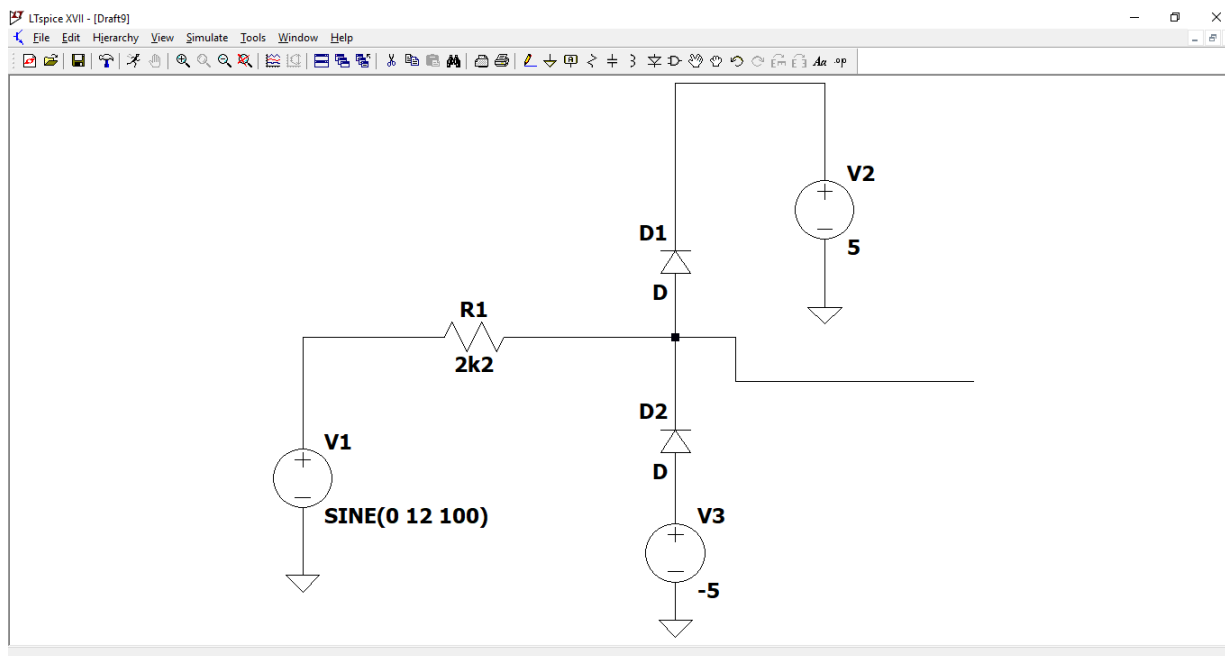
Još jedan način koristan za prikaz simulacije može biti *DC sweep* analiza gde se signal sa ulaza menja od -5 V do +5V. Dobijena prenosna karakteristika prikazana je grafikom na slici 22, sa koje se može videti da je u opsegu od -0,6 V do 0,6 karakteristika linearna, a zatim odlazi u zasićenje.



Slika 22: Grafik zavisnosti $V_{out}(V_{in})$ antiparalelne diode

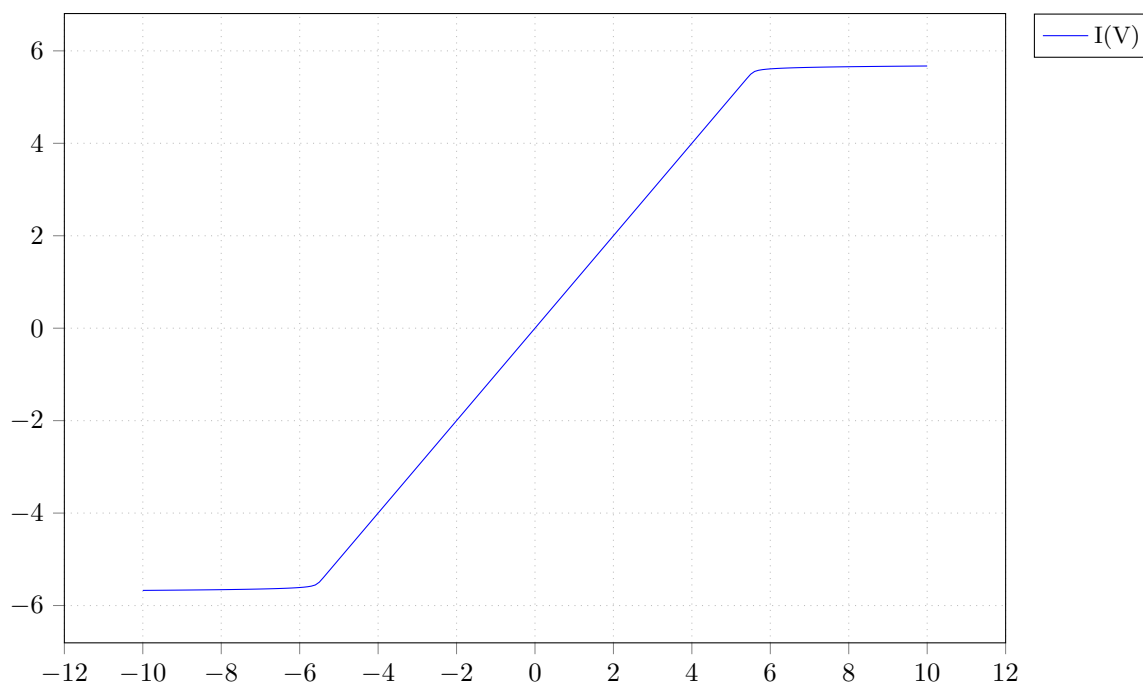
2.2 Zaštita pomoću dvostranog diodnog limitera

Kako bi se snimili signali većih amplituda od 0,6 V neophodno je koristiti drugi vid zaštite. Kada se pojavi prenapon viši od određenog napona i to za 0,6 V, dioda počinje da provodi i na taj način ograničava napon. Na slici 23 prikazana je zaštita pomoću dvostranog limitera napona.



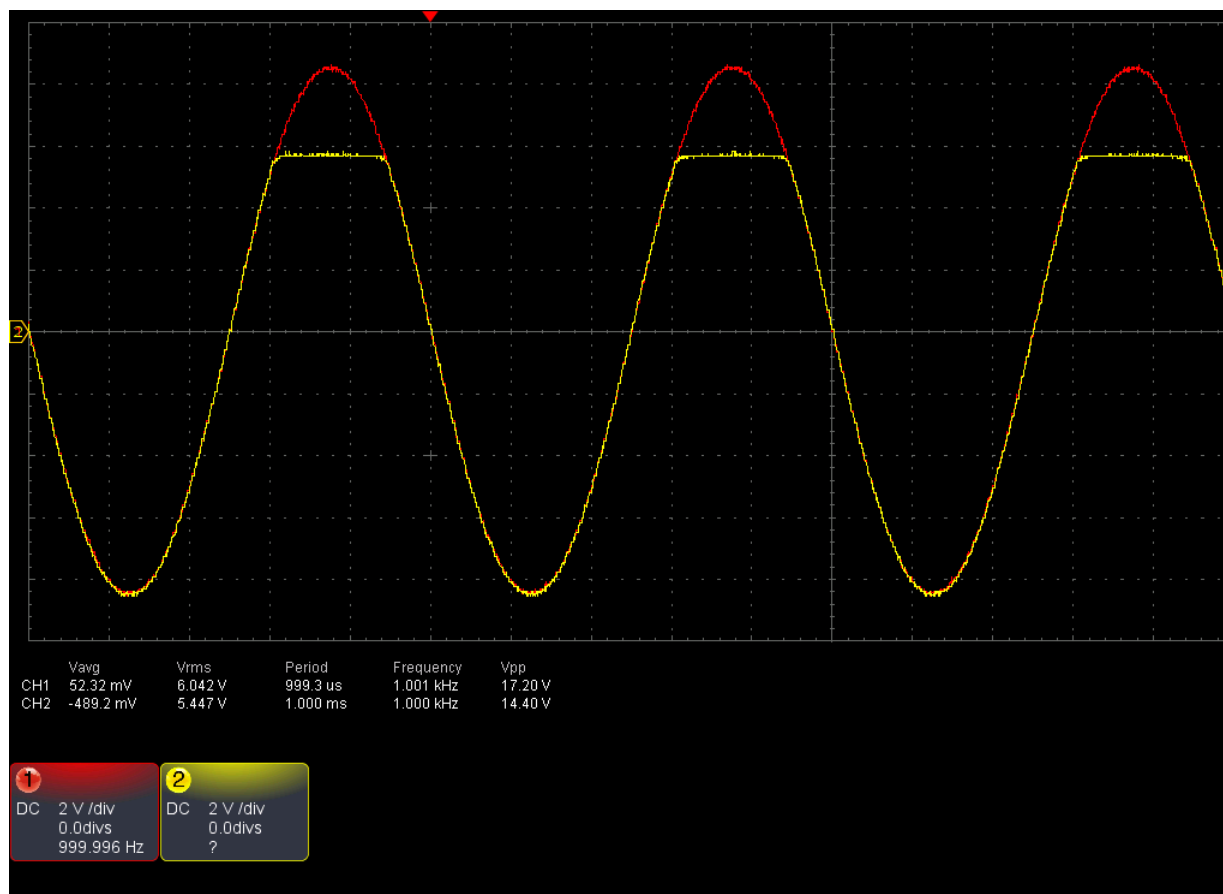
Slika 23: Dvostrani diodni limiter

Povezati kolo prema šemi na slici i odraditi tranzijentnu analizu. Da li su dobijeni očekivani rezultati? Ovaj limiter će ograničiti napon na napon 5 V + pad napona na diodi prilikom provođenja $\approx 5,6$ V, odnosno do $\approx -5,6$ V. Ovo je potvrđeno prenosnom karakteristikom kola prikazanom na grafiku sa slike 24.



Slika 24: Grafik zavisnosti $V_{out}(V_{in})$ diodni limiter

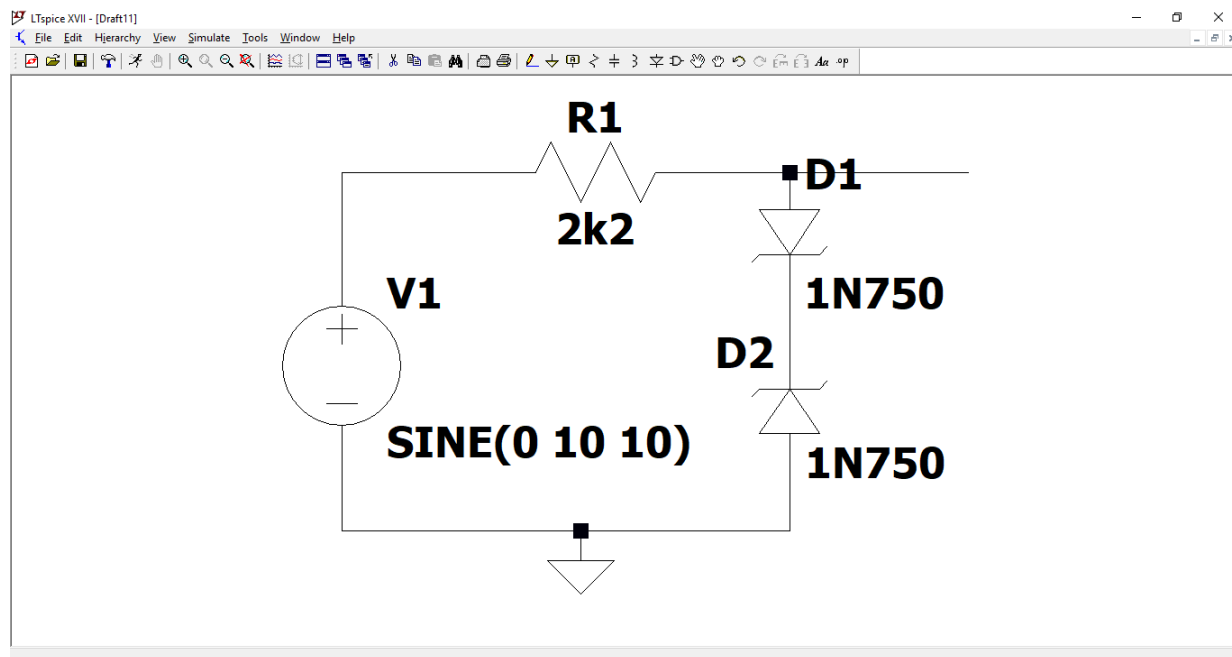
Na slici 25 prikazan je signal rada sa osciloskopa. U ovoj realizaciji problem je što je za ograničenje signala potrebno dodati još dva izvora, pa se iz tih razloga izvršilo ograničavanje samo po pozitivnim naponima preko 5,6 V.



Slika 25: Jednostrani diodni limiter prikazan na osciloskopu

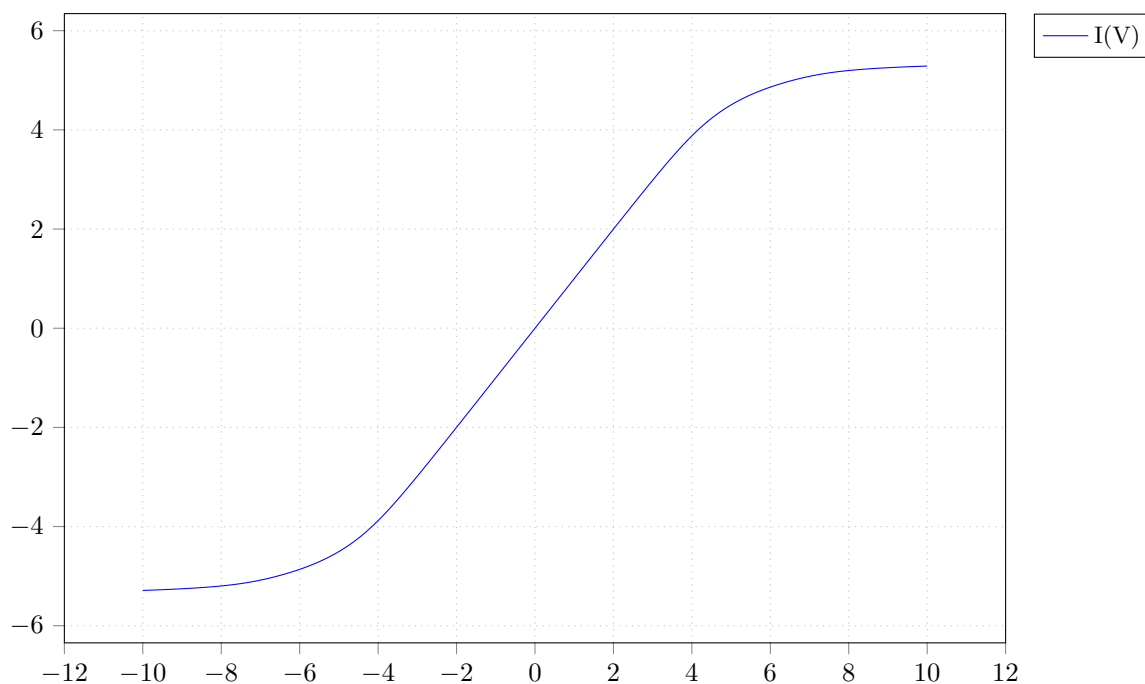
2.3 Dvostrani limiter sa cener diodama

Kako bi se izbeglo dodavanje izvora, jedan način zaštite se može realizovati “anti-rednim” vezivanjem cener dioda. Kada napon postane dovoljno velik jedna cener dioda će ograničiti napon usled cenerovog proboja, jer je inverzno polarisana dok će druga dioda biti direktno polarisana pa će na njoj biti napon oko 0,6 V. Na slici 26 prikazan je dvostrani limiter sa cener diodom. Prilikom odabira dioda, neophodno je odabrati 1N750 sa cenerovim probojem na 4,7 V.



Slika 26: Jednostrani diodni limiter prikazan na osciloskopu

Nakon povezivanja kola izvršiti tranzijentnu analizu. Da li su dobijeni očekivani rezultati? Kako bi se potvrdili dobijeni rezultati odrađena je i *DC sweep* analiza, rezultati prenosne karakteristike prikazani su grafikom na slici 27.

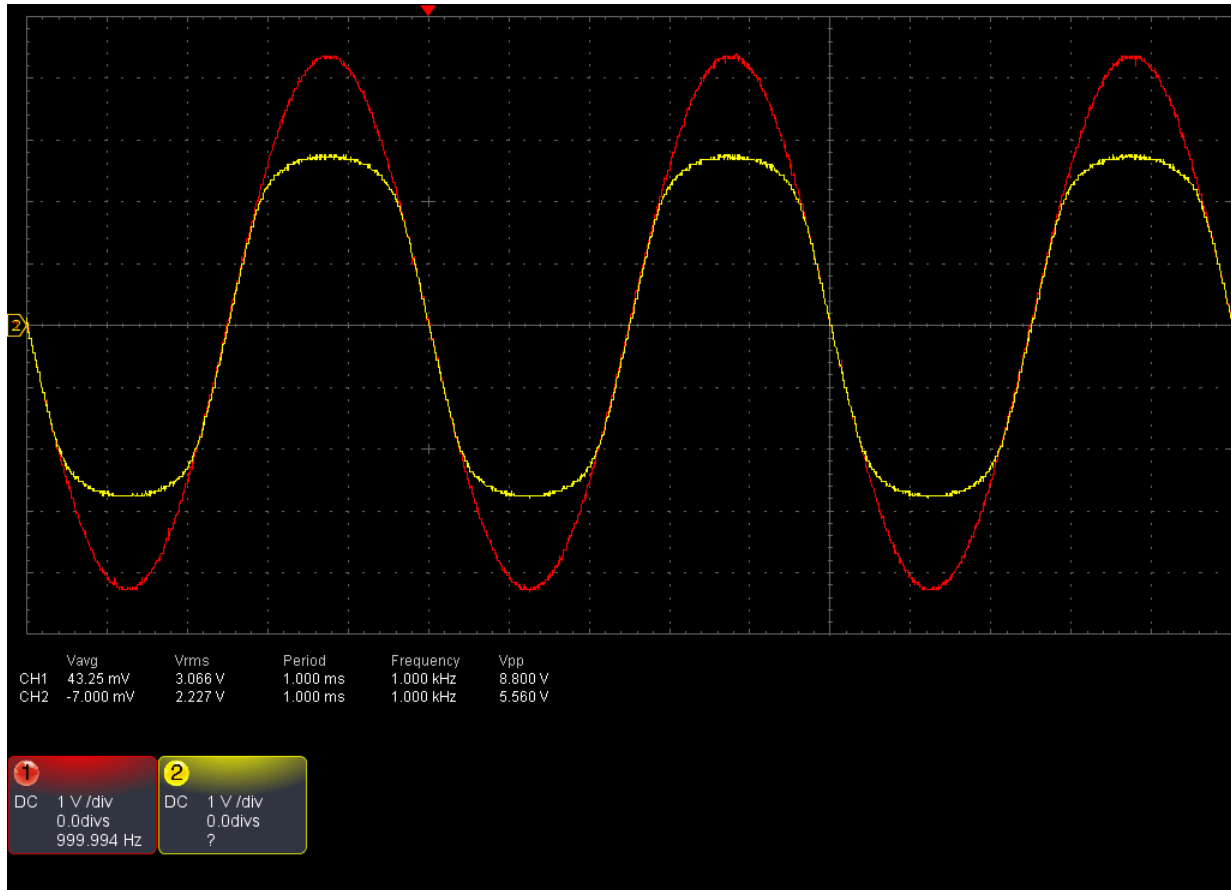


Slika 27: Grafik zavisnosti $V_{out}(V_{in})$ diodni limiter sa cener diodama

Kao što se može videti sa grafika signal je ograničen na $\approx \pm 5,3$ V. Uporediti prenosnu karakteristiku sa

prenosnom karakteristikom diodnog limitera. Koji limiter ima bolju karakteristiku?

Na slici 28 prikazano je limitersko kolo, sa dve cener diode i probojnim naponom od 3,6 V.



Slika 28: Jednostrani diodni limiter prikazan na osciloskopu

Umesto dve zener diode moguće je dodati i TVS diodu, koja odrađuje identičnu stvar u kolu. Odraditi simulaciju u LTspice-u sa TVS diodom postavljenom na mesto dve zener diode.

Dodatne napomene:

- LTspice aplikacija: <http://ltspice.analog.com/software/LTspiceXVII.exe>.
 - LTspice dokumentacija: <https://www.analog.com/media/en/simulation-models/spice-models/LTspiceGettingStartedGuide.pdf?modelType=spice-models>.
-