

# Analogna elektronika - laboratorijske vežbe

## 5. Specijalna analogna kola

### 5.1 Teorija

Obični i precizni ispravljači, instrumentacioni pojačavači, audio pojačavači, analogni množaci, modulatori i demodulatori i analogni komparatori su prikazani u prezentaciji 2.4. Proračuni su rađeni na računskim vežbama.

### 5.2 Opis

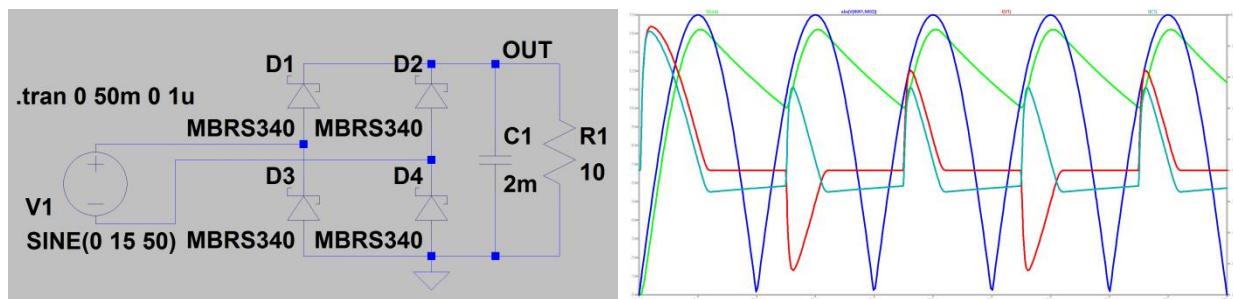
Na ovoj vežbi studenti se upoznaju sa specijalnim analognim kolima.

### 5.3 Simulacija

Pre merenja treba uraditi računarsku simulaciju da bi se upoznali sa ponašanjem kola.

#### 5.3.1 Običan ispravljač

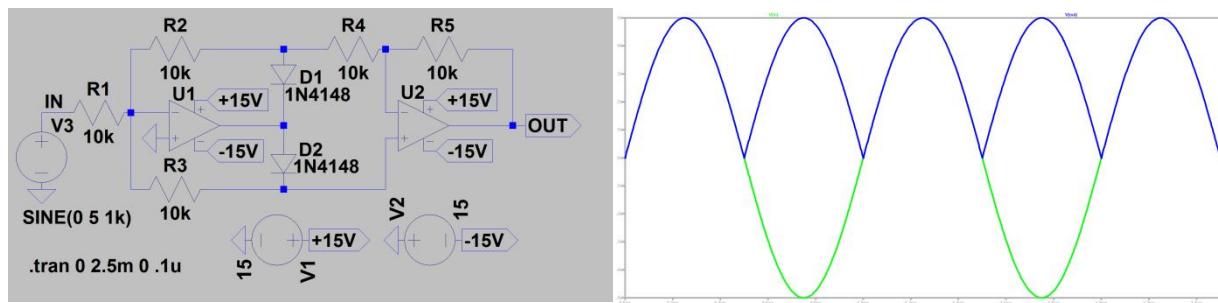
Sastaviti prikazani simulacioni model (običan ispravljač) u softveru LTspice! Izvršiti simulaciju, prikazati dijagram absolutne vrednosti ulaznog napona i dijagram izlaznog napona kao i struju izvora i struju kondenzatora! Očitati talasnost izlaznog napona mereno od vrha do vrha! Odrediti srednju vrednost i efektivnu vrednost izlaznog napona koristeći prečicu Ctrl+Left Click! Odrediti srednju vrednost i efektivnu vrednost ulazne struje i struje kondenzatora koristeći prečicu Ctrl+Left Click!



Modifikovati ulazni signal tako da sinusni signal ne kreće sa prolaskom kroz nulu već od vršne vrednosti! Izvršiti ponovo simulaciju! Kako se menja oblik ulazne struje i struje kondenzatora?

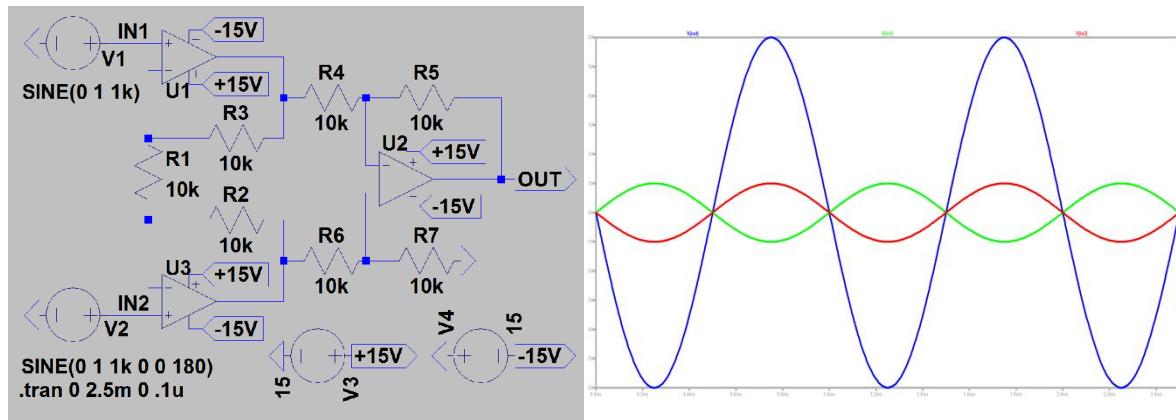
#### 5.3.2 Precizni ispravljač

Sastaviti prikazani simulacioni model (precizni ispravljač) u softveru LTspice! Za operacioni pojačavač koristiti model UniversalOpamp2! Izvršiti simulaciju, prikazati dijagrame ulaznog napona i izlaznog napona! Pogledati signale i u drugim tačkama kola! Da li se vidi izobličenje na nekim delovima dijagrama izlaznog napona? Prekontrolisati sporne detalje uvećanjem odgovarajućih delova dijagrama!



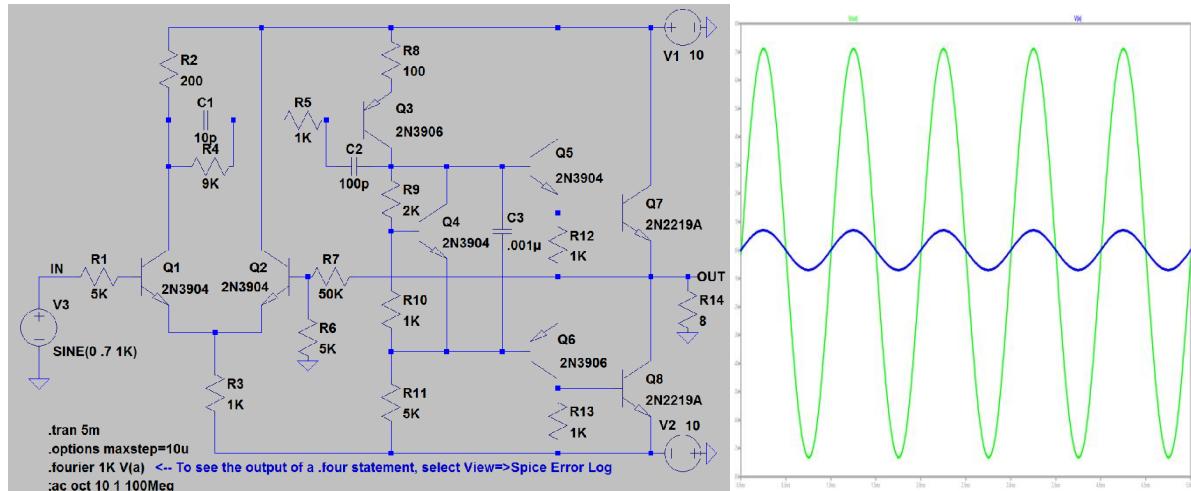
### 5.3.3 Instrumentacioni pojačavač

Sastaviti prikazani simulacioni model (instrumentacioni pojačavač) u softveru LTspice! Za operacioni pojačavač koristiti model UniversalOpamp2! Izvršiti simulaciju, prikazati dijagrame ulaznog napona i izlaznog napon! Pogledati signale i u drugim tačkama kola! Izvesti izraz za pojačanje ( $A=V_o/(V_{11}-V_{12})$ ) pretpostavljajući idealne operacione pojačavače! U kojoj meri se slaže amplituda izlaznog napona sa vrednošću koja se izračunava za slučaj idealnih operacionih pojačavača? Okrenuti polaritet generatora napona  $V_2$  i ponovo izvršiti simulaciju! Kolika je amplituda izlaznog signala u ovom slučaju? Kolika će biti amplituda izlaznog signala ako se otpornost otpornika  $R_5$  promeni za 1%?



### 5.3.4 Audio pojačavač snage

Sastaviti prikazani simulacioni model (audio pojačavač snage) u softveru LTspice! Izvršiti tranzijentnu analizu i prikazati dijagrame ulaznog i izlaznog napon! Pogledati signale i u drugim tačkama kola! Kolika je računska vrednost pojačanja računata na bazi komponenti u povratnoj sprezi ( $R_6, R_7$ )? U kojoj meri se slaže amplituda izlaznog signala sa računatom vrednošću pojačanja?

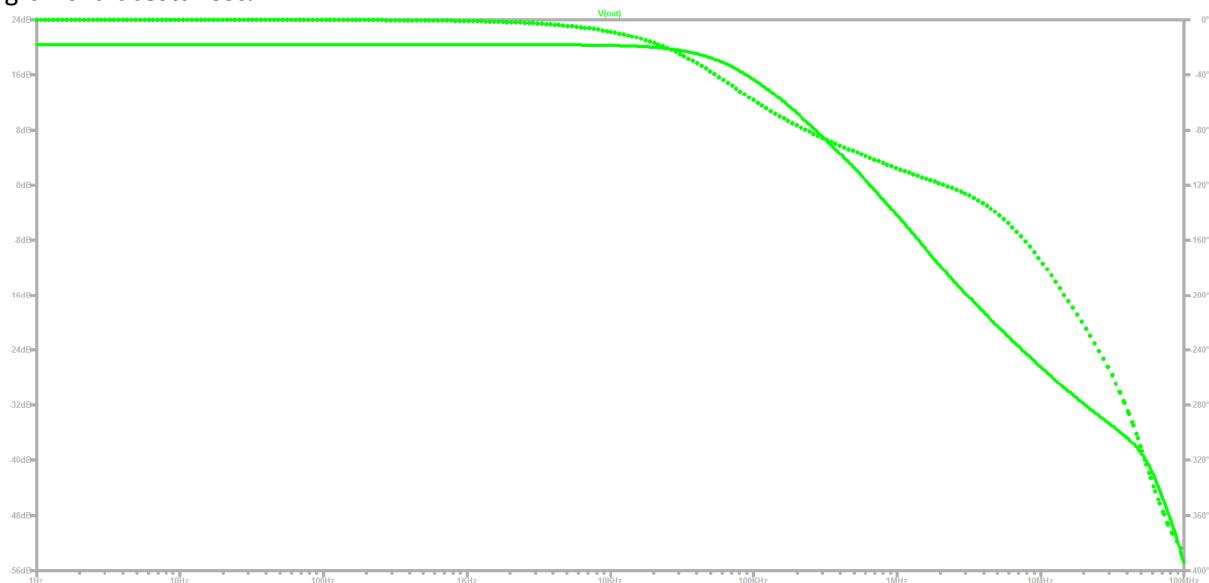


Prikazati tabelu sa komponentama Fourier-ovog reda (View=>Spice Error Log)! Koji viši harmonik ima najveću amplitudu?

Harmonic Number	Frequency [Hz]	Fourier Component	Normalized Component	Phase [degree]	Normalized Phase [deg]
1	$1.000e+03$	$7.224e+00$	$1.000e+00$	-0.91°	0.00°
2	$2.000e+03$	$1.353e-02$	$1.873e-03$	-67.16°	-66.25°
3	$3.000e+03$	$1.181e-02$	$1.635e-03$	31.26°	32.16°
4	$4.000e+03$	$7.132e-03$	$9.872e-04$	141.80°	142.70°
5	$5.000e+03$	$5.094e-03$	$7.051e-04$	-124.88°	-123.97°
6	$6.000e+03$	$1.570e-03$	$2.173e-04$	-37.05°	-36.15°
7	$7.000e+03$	$4.586e-04$	$6.348e-05$	-68.33°	-67.42°
8	$8.000e+03$	$6.783e-04$	$9.388e-05$	22.49°	23.39°
9	$9.000e+03$	$9.597e-04$	$1.328e-04$	74.92°	75.83°

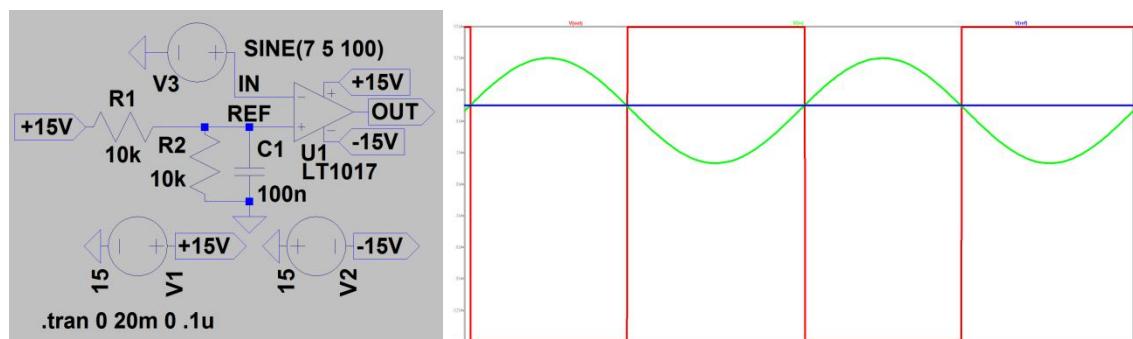
Total Harmonic Distortion: 0.278052%

Izvršiti AC analizu istog pojačavača! Prikazati dijagram amplitude i faze! Odrediti gornju graničnu učestanost!

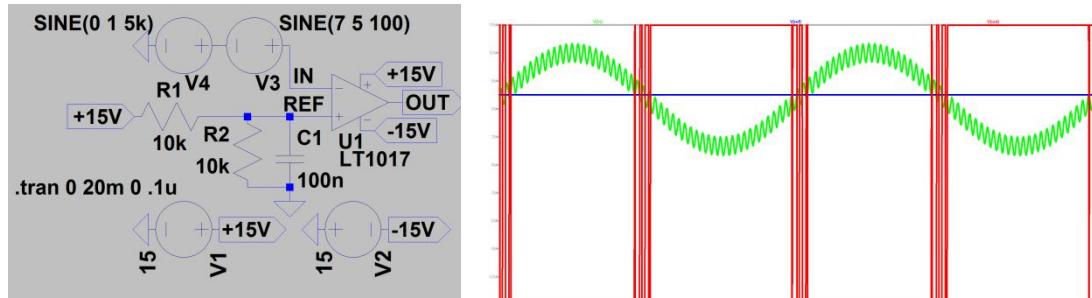


### 5.3.5 Analogni komparator

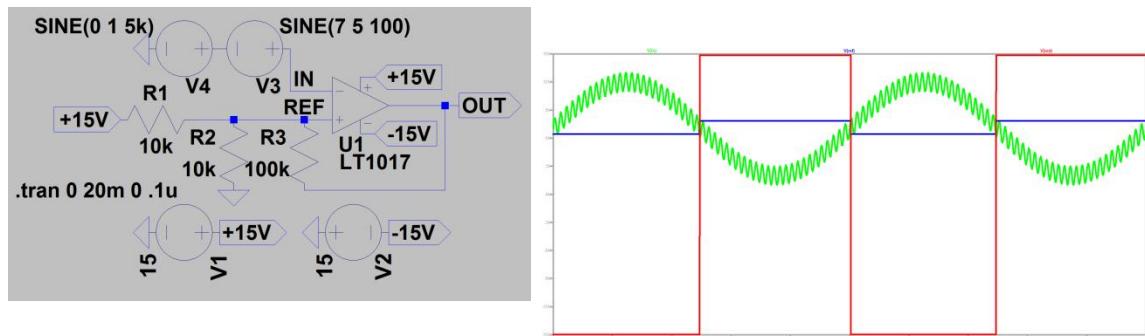
Sastaviti prikazani simulacioni model (analogni komparator) u softveru LTspice! Izvršiti simulaciju, prikazati dijagrame ulaznih napona ( $V_{IN}$ ,  $V_{REF}$ ) i izlaznog napona ( $V_{OUT}$ )! Pogledati dijagrame napona i u drugim tačkama kola!



Na postojeći ulazni signal dodati jedan signal više frekvencije (smetnja) prema prikazanom kolu! Šta se dešava na izlazu?

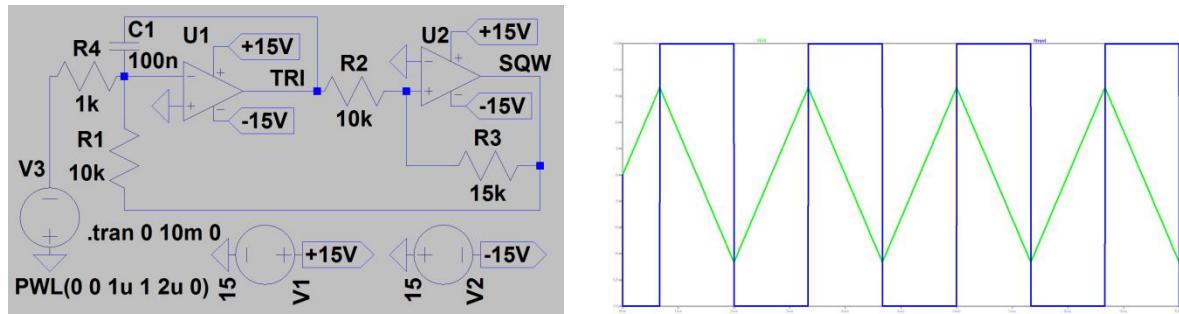


Uvođenjem histereze (pozitivne povratne sprege) sprečiti višestruke skokove izlaznog signala!



### 5.3.6 Generator pravougaonog i trougaonog signala

Sastaviti prikazani simulacioni model (generator pravougaonog i trougaonog napona) u softveru LTspice! Izvršiti simulaciju, prikazati izlazne signale operacionih pojačavača ( $V_{TRI}$ ,  $V_{SQW}$ )! Odrediti amplitudu i frekvenciju tih signala! Koja je uloga izvora  $V_3$ ? Šta se dešava ako se izostavi taj izvor? Da li je potreban taj izvor u realnom kolu?

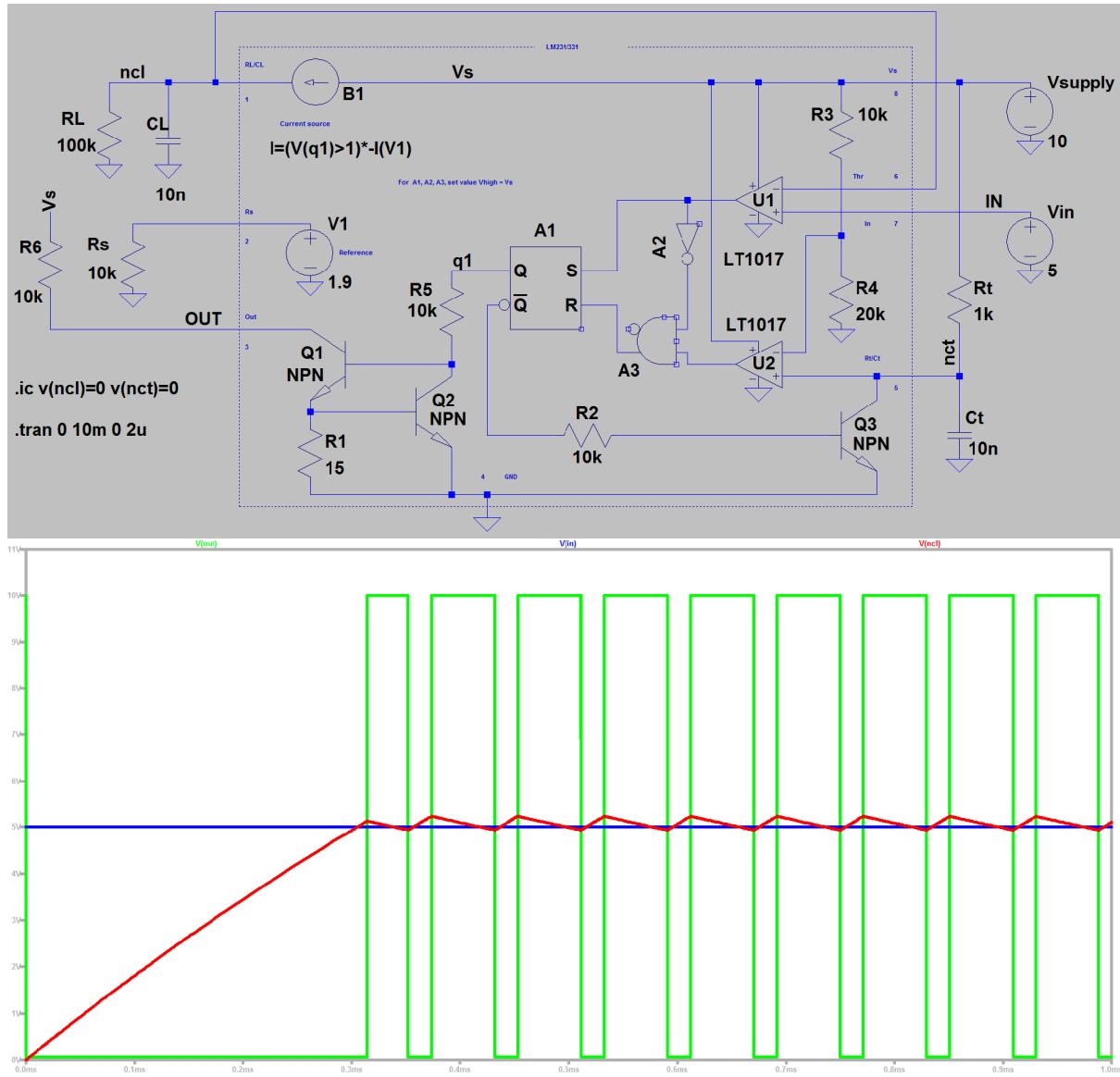


Kako se može menjati amplituda trougaonog signala? Promeniti odgovarajuću komponentu i ponovo izvršiti simulaciju!

Kako se može menjati frekvencija? Promeniti odgovarajuću komponentu i ponovo izvršiti simulaciju!

### 5.3.7 Naponom kontrolisani oscilator (VCO)

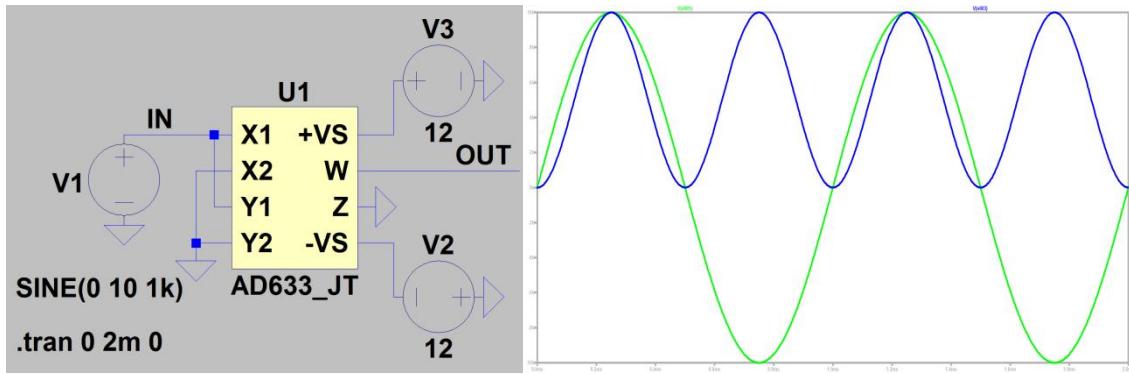
Sastaviti prikazani simulacioni model u softveru LTspice (ispredidanom linijom je zaokružen simulacioni model integrisanog VCO-a tipa LM331)! Izvršiti simulaciju, prikazati izlazni napon ( $V_{OUT}$ )! Odrediti amplitudu i frekvenciju izlaznog signala!



Smanjiti ulazni napon ( $V_{IN}$ ) na 1V! Ponovo izvršiti simulaciju i odrediti frekvenciju! U kojoj meri se promenio odnos frekvencija/napon u odnosu na prethodni slučaj?

### 5.3.8 Analogni množać

Sastaviti prikazani simulacioni model (analogni množać) u softveru LTspice! Izvršiti simulaciju, prikazati ulazni i izlazni napon ( $V_{IN}$ ,  $V_{OUT}$ )! Odrediti amplitudu i frekvenciju tih signala! Kojom funkcijom se može opisati izlazni signal? Povećavati i smanjiti amplitudu ulaznog signala u opsegu od 0 do 10V! Proveriti u kojoj meri se slaže amplituda izlaznog signala sa računskom vrednošću (koristiti kataloški opis integrisanog kola tipa AD633)! Dovesti na ulaz trougaoni napon amplitude 10V! Sa kakvom funkcijom se može opisati izlazni signal u ovom slučaju?



## 5.4 Oprema za merenja

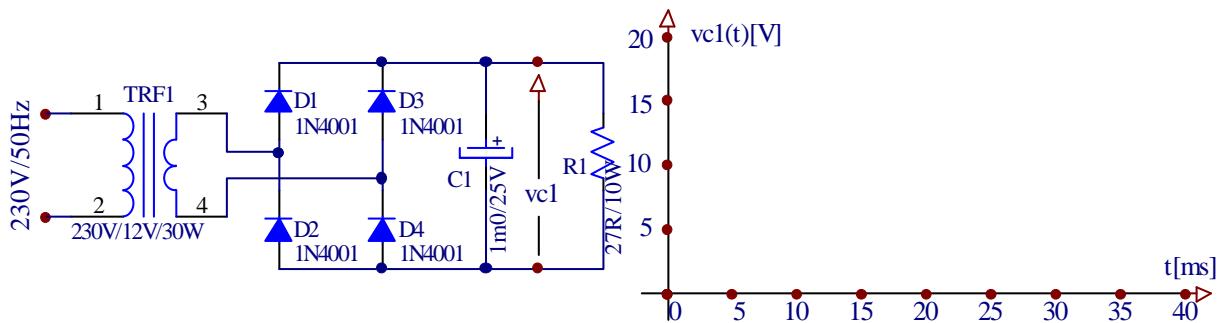
1. Eksperimentalna pločica
2. Dvokanalni digitalni osciloskop
3. Generator signala
4. Izvor napajanja
5. Diode, operacioni pojačavači, integrisani instrumentacioni pojačavači, integrisani naponom kontrolisani oscilatori, integrisani analogni množaci, integrisani analogni komparatori, razni otpornici i kondenzatori.

## 5.5 Merenja

Na ovom koraku studenti merenjima provere stečeno teoretsko znanje i rezultate dobijene simulacijom.

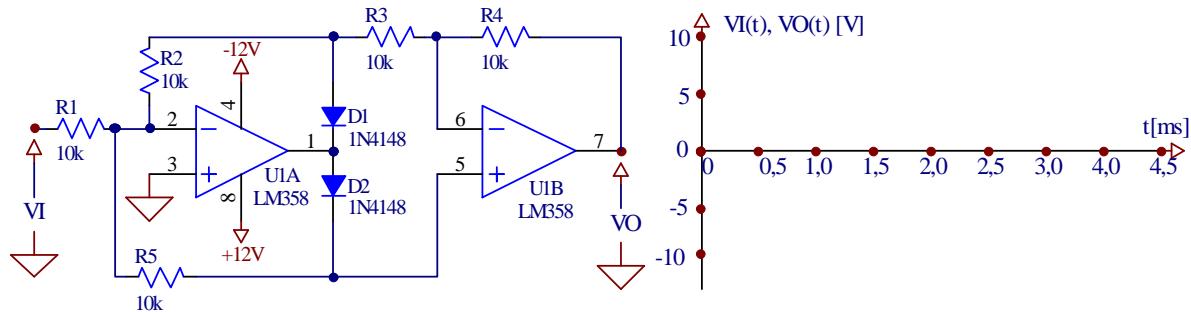
### 5.5.1 Običan ispravljač

Sastaviti zadato kolo na eksperimentalnoj pločici! Priklučiti primar transformatora na mrežu 230V/50Hz! Prikazati napon kondenzatora na osciloskopu! Precrtati dijagram napona kondenzatora u dati koordinatni sistem! Odrediti srednju vrednost, vršnu vrednost i talasnost (mereno od vrha do vrha) napona kondenzatora!



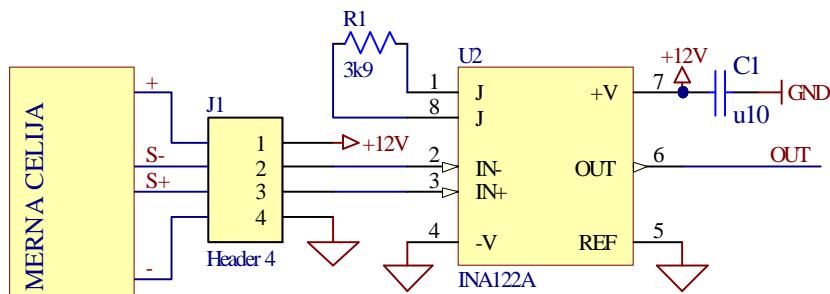
### 5.5.2 Precizni usmarač

Sastaviti zadato kolo na eksperimentalnoj pločici! Dovesti na ulaz sinusni napon amplitude 5V, frekvencije 1kHz! Prikazati ulazni i izlazni signal na osciloskopu! Precrtati te napone u priloženi koordinatni sistem! Pogledati izlazni signal prvog operacionog pojačavača! Šta se dešava kada se amplituda ulaznog signala digne iznad 10V? Do koje maksimalne frekvencije se može smatrati prihvatljivim ponašanje ovog kola?



### 5.5.3 Instrumentacioni pojačavač

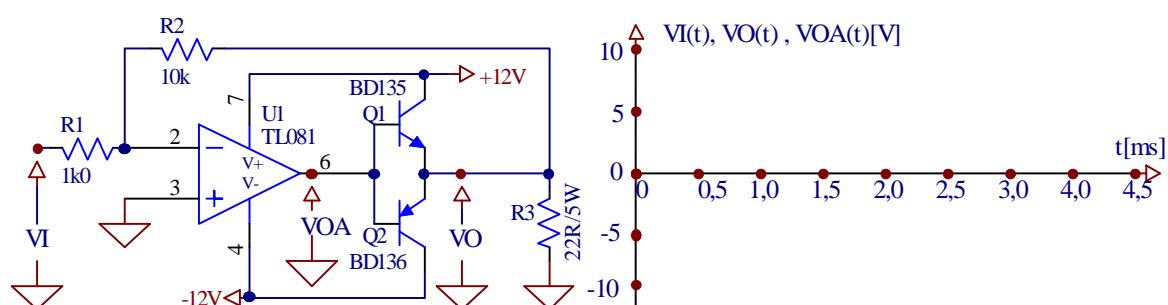
Sastaviti zadato kolo sa integrisanim operacionim pojačavačem tipa INA122A! Povezati na priključke pojačavača izvode mernog mosta! Zakačiti razne tegove na mernu ćeliju i na taj način namestiti razne ulazne i izlazne signale kod pojačavača! Izmeriti te vrednosti multimetrom i upisati u tabelu! Odrediti pojačanje u svakoj tački! Koja vrednost pojačanja se očekuje na bazi kataloških podataka? Koje maksimalno odstupanje postoji između pojedinih vrednosti pojačanja?



m [g]	100	200	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
VS [mV]										
VOUT [mV]										
A										

### 5.5.4 Audio pojačavač snage

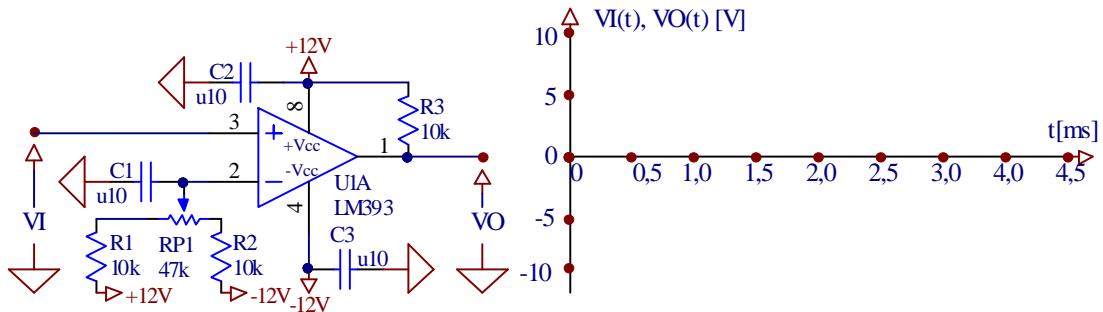
Sastaviti pojačavač snage prema slici! Povezati na ulaz sinusni napon amplitude 5V frekvencije 1kHz! Prikazati ulazni i izlazni signal na osciloskopu! Posmatrati signal na izlazu operacionog pojačavača! Precrtati dobijene signale u dati koordinatni sistem! Koji elementi određuju naponsko pojačanje? Kod koje amplitude ulaznog signala će pojačavač doći u zasićenje? Kolika je gornja granična učestanost pojačanja?



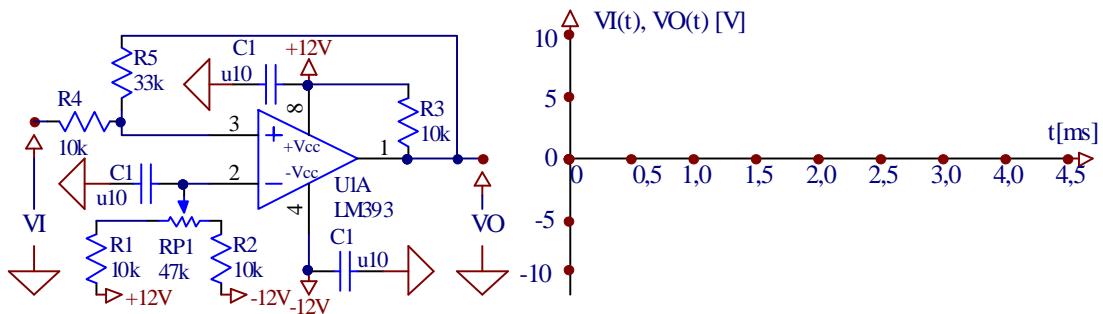
### 5.5.5 Analogni komparator

Sastaviti (prost) analogni komparator prema slici! Dovesti na ulaz sinusni napon amplitude 5V, frekvencije 1kHz! Prikazati ulazni i izlazni signal pomoću osciloskopa! Okretati potenciometar RP1

dok se na izlazu ne dobije signal sa faktorom ispune oko 50%! Precrtati dobijene dijagrame ulaznog i izlaznog signala na priloženi koordinatni sistem! Šta se dešava ako se amplituda ulaznog signala smanji na delić dosadanje vrednosti? Šta se dešava ako se frekvencija ulaznog signala digne na višestruku vrednost u odnosu na prvobitno podešavanje?

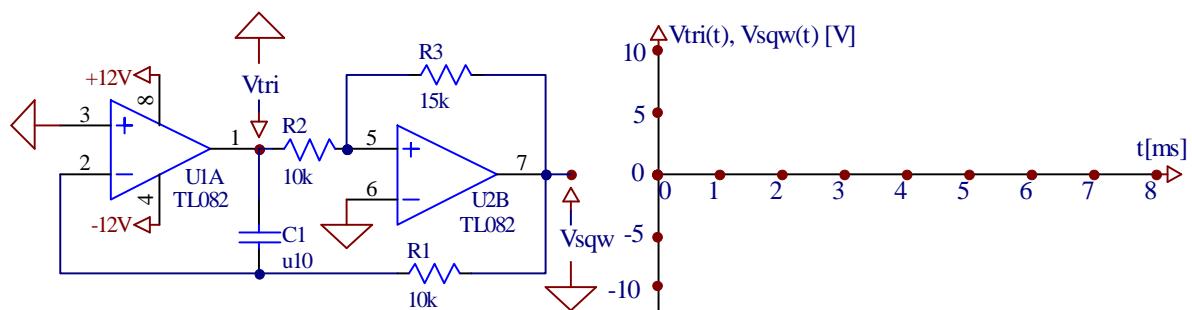


Sastaviti na eksperimentalnoj pločici komparator sa histerezisom prema donjoj slici! Dovesti na ulaz sinusni napon amplitude 5V i frekvencije 1kHz! Prikazati ulazni i izlazni signal na osciloskopu! Okrenuti potenciometar  $RP1$  da faktor ispune izlaznog signala bude oko 50%! Odrediti pri kom ulaznom naponu se menja izlaz komparatora! Precrtati dijagram ulaznog i izlaznog napon u priloženi koordinatni sistem? Pogledati signal na neinvertujućem ulazu integrisanog komparatora! Precrtati i taj dijagram!



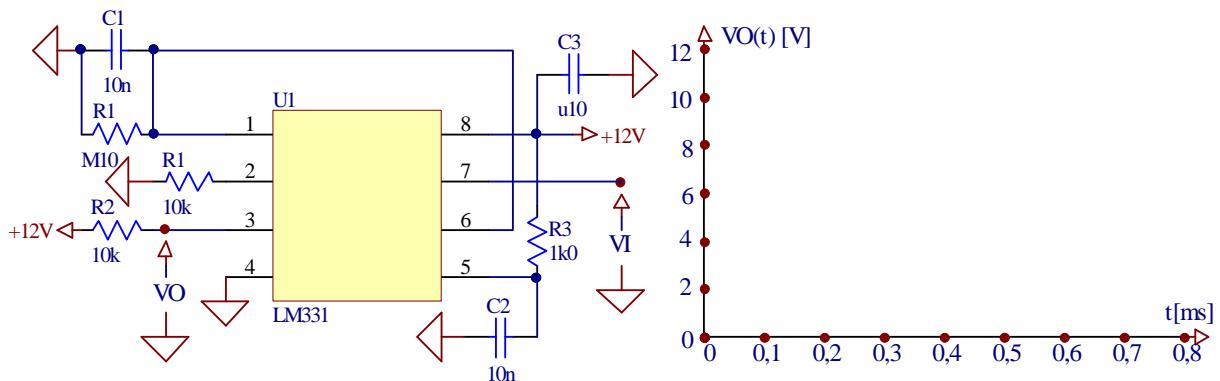
### 5.5.6 Generator pravougaonog i trougaonog signala

Sastaviti prema slici generator pravougaonog i trougaonog napona! Pogledati osciloskopom naponske signale  $Vtri$  i  $Vsqw$ ! Precrtati vremenske dijagrame tih signala u priloženi koordinatni sistem! Odrediti amplitudu i frekvenciju tih signala! Kojom izmenom se može frekvencija signala udvostručiti i prepoloviti? Zašto nije potreban startni napon u ovom kolu (kod simulacije kolo nije krenulo bez toga)?



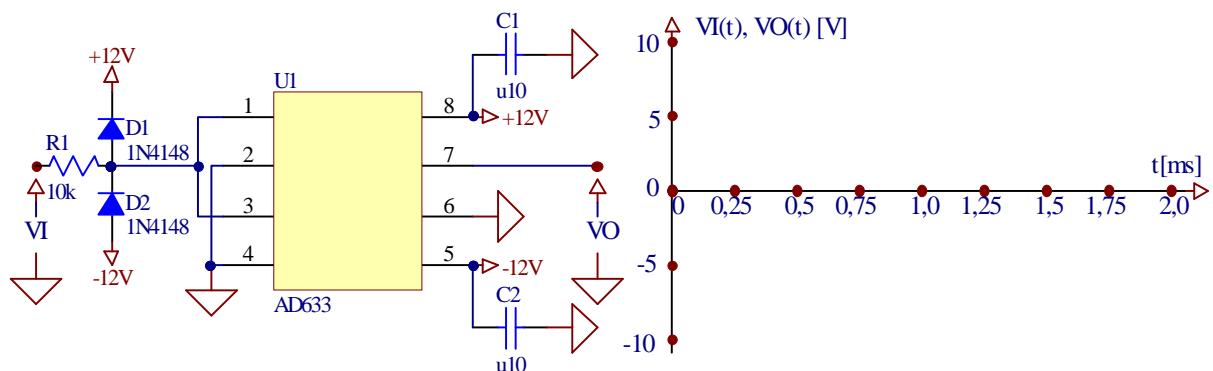
### 5.5.7 Naponom kontrolisani oscilator (VCO)

Sastaviti kolo naponom kontrolisanog oscilatora na eksperimentalnoj pločici sa integriranim naponom kontrolisanim oscilatorom tipa LM331, prema slici! Na ulaz dovesti jednosmerni napon  $V_i$  od 5V! Pogledati osciloskopom naponski signal  $V_o$ ! Precrtati vremenski dijagram tog signala u priloženi koordinatni sistem! Varirati ulazni signal između 0 i 5V! Šta se dešava na izlazu?



### 5.5.8 Analogni množič

Sastaviti analogni sklop za formiranje kvadrata ulaznog napona primenom integriranog analognog množiča tipa AD633, prema slici! Dovesti na ulaz sinusni signal amplitude 10V, frekvencije 1kHz! Prikazati na osciloskopu ulazni i izlazni signal ( $V_i$  i  $V_o$ )! Precrtati te vremenske dijagrame u priloženi koordinatni sistem! Menjati amplitudu ulaznog napona u opsegu od 0 do 10V! Šta se dešava na izlazu? Dovesti na ulaz trougaoni signal umesto sinusnog signala! Po kojoj matematičkoj funkciji se menja sada izlazni signal?



Student(i):

Ime:

Broj indeksa:

Potpis:

---



---



---