

UNIVERZITET U BEOGRADU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Aleksa Tanasković, 0408/2018

Projektovanje filtra nepropusnika učestanosti  
korišćenjem univerzalnog aktivnog filtra  
diplomski rad

mentor:  
prof. dr Milan Bjelica

Beograd, septembar 2022.

## Sažetak

U ovom radu je opisano šta su to univerzalni aktivni filtri, njihove prednosti i mane u odnosu na pasivne kao i način realizacije za potrebe dobijanja filtra nepropusnika učestanosti na 50Hz. Priložen je postupak teorijskog i softverskog određivanja parametara potrebnih za realizaciju traženog filtra, analiza osobina filtra na realnoj opremi u realnim uslovima kao i poređenje dobijenih rezultata sa teorijskim. Filtar je realizovan kao filter drugog i četvrtog reda, izvršeno je poređenje i izveden zaključak koliki je odnos cena-performanse za data dva sistema. Korišćeni filter je UAF42(*Universal Active Filter*) proizvođača Texas Instruments.

**Ključne reči:** Filter42, LTspice, Notch filter, UAF42, Univerzalni filter

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Metodologija</b>	<b>4</b>
2.1	Karakteristike filtara . . . . .	4
2.2	Opis univerzalnog aktivnog filtra UAF42 . . . . .	5
2.3	Proračun parametara filtra drugog reda . . . . .	7
2.4	Proračun parametara filtra četvrtog reda . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Rezultati</b>	<b>11</b>
3.1	Projektovanje i realizacija . . . . .	11
3.2	Poređenje projekat-realizacija . . . . .	13
3.3	Poređenje idealno-projektovano . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Zaključak</b>	<b>18</b>
	<b>Literatura</b>	<b>19</b>

# Spisak slika

2.1	<i>Blok shema univerzalnog aktivnog filtra UAF42. . . . .</i>	5
2.2	<i>Shema numeracije i konfiguracije pinova univerzalnog aktivnog filtra UAF42. . . . .</i>	6
2.3	<i>Blok shema univerzalnog aktivnog filtra UAF42 realizovanog kao nepropusnik učestanosti. . . . .</i>	7
2.4	<i>Parametri filtra drugog reda dobijeni softverskim alatom FILTER42. . . . .</i>	9
2.5	<i>Amplitudska karakteristika filtra drugog reda dobijena softverskim alatom FILTER42. . . . .</i>	9
2.6	<i>Parametri filtra četvrtog reda dobijeni softverskim alatom FILTER42. . . . .</i>	10
2.7	<i>Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom FILTER42. . . . .</i>	10
3.1	<i>Blok shema univerzalnog aktivnog filtra drugog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz. . . . .</i>	11
3.2	<i>Amplitudska karakteristika filtra drugog reda dobijena softverskim alatom Python. . . . .</i>	12
3.3	<i>Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom Python. . . . .</i>	13
3.4	<i>Poređenje amplitudskih karakteristika za filter drugog reda - realizovano i FILTER42. . . . .</i>	14
3.5	<i>Poređenje amplitudskih karakteristika za filter četvrtog reda - realizovano i FILTER42. . . . .</i>	15
3.6	<i>Blok shema filtra drugog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz dobijena pomoću softverskog alata LTspice. .</i>	16
3.7	<i>Amplitudska karakteristika filtra drugog reda dobijena softverskim alatom LTspice. . . . .</i>	16
3.8	<i>Blok shema filtra četvrtog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz dobijena pomoću softverskog alata LTspice. .</i>	17
3.9	<i>Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom LTspice. . . . .</i>	17

# Glava 1

## Uvod

Filtar je uređaj koji uklanja neželjene komponente signala što znači da se određene frekvencije mogu ukloniti i koristiti druge u cilju potiskivanja interferirajućeg signala i umanjavanja šuma. Zbog toga, filtri igraju važnu ulogu u komunikaciji. S napretkom industrije, mnogi proizvođači traže nove ideje za proizvodnju filtara koji bi istovremeno mogli biti i filtar propusnik opsega učestanosti, niskopropusni i visokopropusni filtar. Osim spomenutih, moguće je realizovati i filtar nepropusnik učestanosti kao i filtar svepropusnik kombinovanjem prethodno spomenuta tri filtra. Ovakav tip filtra koji može biti realizovan kao bilo koji od gore navedenih se naziva univerzalni filtar. Motiv za proučavanje date teme je dat u sledećem pasusu.

Naime, kroz svaku mrežnu utičnicu u Evropi protiče naizmenična struja koja ima uvek istu učestanost oscilacija od 50Hz. Takozvana nominalna frekvencija naizmenične struje na našem kontinentu, a i u većem delu sveta iznosi 50Hz. Taj broj označava da struja uslovno govoreći menja smer pedeset puta u sekundi, kao i da se rotori svih generatora u elektrani okreću brzinom od pedeset puta u sekundi. Pitanje koje se nameće je zašto baš pedeset puta? Danas nema nikakvih posebnih tehničkih razloga da bude izabrana baš ta frekvencija, osim očigledne nužde da svi koriste isti standard. Stoga se nameće pitanje, kako ukloniti signal mrežne frekvencije u situacijama u kojima nam on nije potreban? Kao jedan od glavnih problema bih izdvojio uticaj mrežne frekvencije na medicinske instrumente prilikom vršenja merenja, gde bi rezultati merenja znatno varirali ukoliko mrežna frekvencija ne bi bila potisnuta. Odgovor na pomenuto pitanje kao i rešenje problema i način realizacije je priložen u ovom radu.

# Glava 2

## Metodologija

### 2.1 Karakteristike filtara

Primena filtara danas igra veoma bitnu ulogu u različitim sferama elektrotehnike. Oni se koriste u dve svrhe - za separaciju signala kao i za njegovu restauraciju. Separacija signala je potrebna kada signal podleže uticaju interferirajućeg signala, šuma ili drugog nepoželjnog signala. Zamislimo uređaj za merenje aktivnosti srca bebe u utrobi majke. Mereni signali bi bili oštećeni zbog disanja i kucanja srca majke. Zbog toga bi filter bio od koristi pomoću kog bi se omogućilo izdvajanje datog signala kao i njegova individualna analiza.

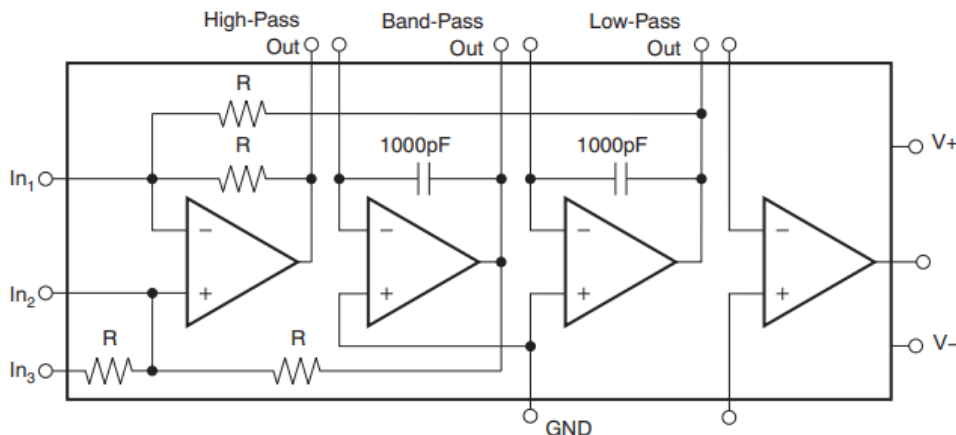
Restauracija signala se koristi kada je signal narušen na neki način kao što može biti slučaj kada se audio signal snima sa opremom lošeg kvaliteta ili takođe za poboljšanje kvaliteta loše snimljene slike. Rešenje datih problema se može dobiti korišćenjem analognog ili digitalnog filtra. Postavlja se pitanje koji je bolji? Analogni filtri su jeftini, brzi i imaju veliki dinamički opseg kako za amplitudu tako i za frekvenciju. Digitalni filtri su znatno superior-niji po nivou performansi koji mogu postići. To nas dovodi do zaključka da analogni filtri imaju svoje limitacije na osnovu elektronskih komponenti kao što su tolerancije pasivnih komponenti kao i njihova tačnost dok se kod digitalnih filtara limitacija ogleda u signalu odnosno teorijskim mogućnostima koje signal i njegova obrada zadovoljavaju.

## 2.2 Opis univerzalnog aktivnog filtra UAF42

U zavisnosti od toga koje komponente sadrže, filtri mogu biti pasivni ili aktivni. Pasivni u sebi sadrže samo pasivne komponente dok aktivni poseduju i neku aktivnu komponentu. Filtar koji je korišćen za obradu date teme u sebi sadrži operacione pojačavače koji su aktivne komponente što govori da je filter UAF42 univerzalni aktivni filter. Takođe, ovi filtri obezbeđuju dobitak a granicu striktnosti propuštanja imaju na osnovu Q-faktora (*Quality factor*). Što je veća vrednost Q-faktora, to je granica propusnog i nepropusnog opsega filtra uža.

Iz svega navedenog zaključujem da univerzalni filtri mogu biti od velike koristi a svoju primenu nalaze u različitim sferama. Osim pomenutih primena u prethodnim sekcijama, ovi filtri svoju primenu nalaze i u zvučnim sistemima gde mogu biti korišćeni kako bi se dobio čist izlazni signal bez šuma. U područjima gde ima buke, zgrade i kancelarije mogu imati filtre za uklanjanje spoljne buke. Takođe, postoje specijalni čepovi za uši sa filtrom u sebi za osobe koje rade na izuzetno bučnim mestima.

Neke od mana univerzalnih aktivnih filtara su te da nisu operativni na velikim snagama kao i to da se promenom vrednosti eksternih pasivnih komponenti radi promene određenih parametara jednog filtra može uticati na parametre drugog filtra. Na slici 2.1 prikazana je blok shema univerzalnog aktivnog filtra UAF42.



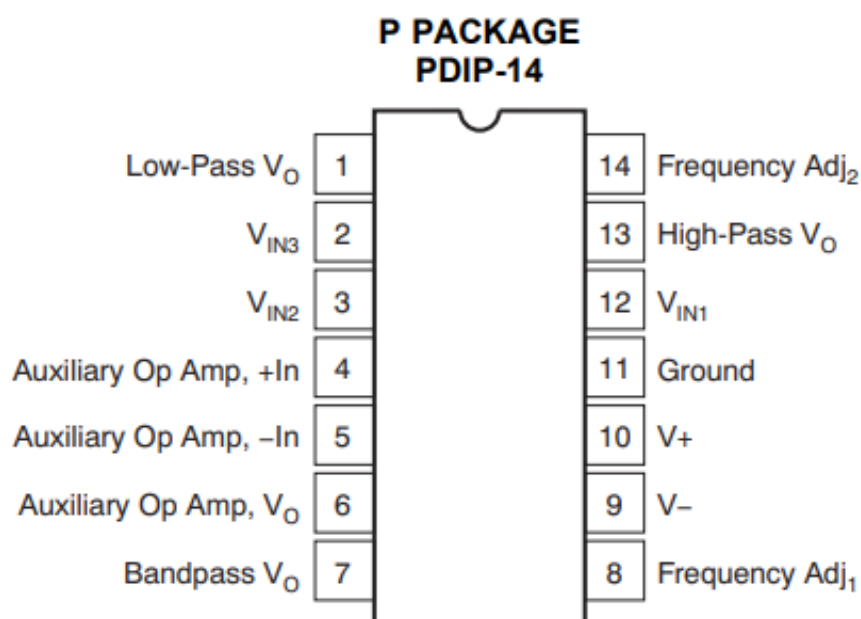
Slika 2.1: Blok shema univerzalnog aktivnog filtra UAF42.

Za realizaciju filtra nepropusnika učestanosti na 50Hz korišćen je univerzalni aktivni filter UAF42 firme Texas Instruments. Baziran je na klasičnoj analognoj arhitekturi i sastoji se od tri operaciona pojačavača - dva integra-

tora i jednog invertujućeg pojačavača. Čip na sebi sadrži i četvrti operacioni pojačavač koji je tu radi fleksibilnosti čipa. Unutrašnje pasivne komponente imaju toleranciju od 0.5% kako bi osigurale stabilne performanse. Filtar je kompatibilan za implementaciju više tipova filtara, kao što su Butterworthov, Besselov i Chebyshev. Postoji u verziji kao 14-pin plastic DIP i SOIC-16.

Filtar u sebi sadrži dva ugrađena kondenzatora od po 1000pF i četiri otpornika otpornosti od po 50kΩ. Postoje dva ulazna pina za napajanje od 20V ( $V+$  i  $V-$ ), pin za ulazni signal  $V_{IN}$ , pin za izlazni signal  $V_{OUT}$  dok se ostali pinovi koriste za povezivanje eksternih komponenti. Kao izlazni pin se mogu koristiti i pinovi Band-Pass Out, High-Pass Out i Low-Pass Out koji daju izlaz filtra propusnika opsega učestanosti, visokopropusnog i niskopropusnog filtra, respektivno.

Na slici 2.2 je data shema numeracije i konfiguracije pinova analiziranog filtra u verziji kao 14-pin plastic DIP.

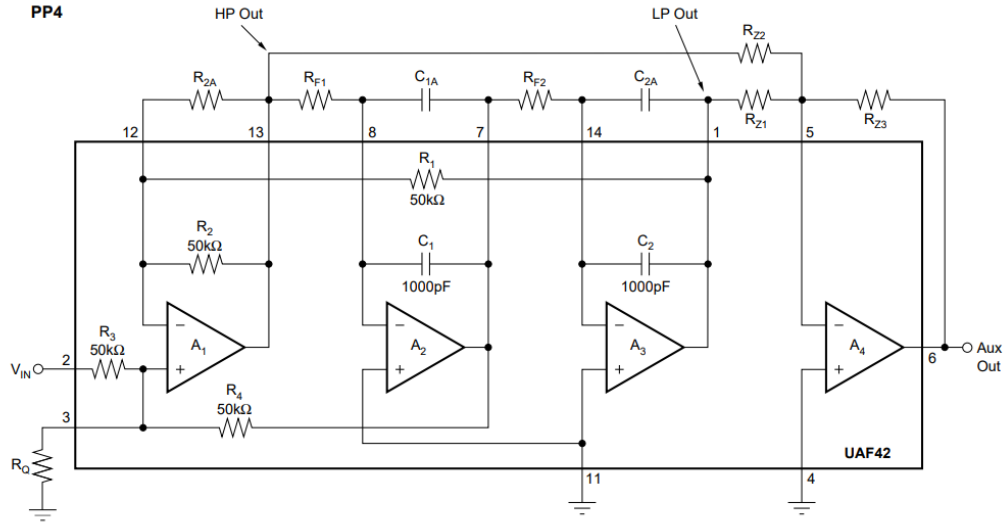


Slika 2.2: Shema numeracije i konfiguracije pinova univerzalnog aktivnog filtra UAF42.



## 2.3 Proračun parametara filtra drugog reda

Filtar nepropusnik učestanosti drugog reda se jednostavno može realizovati dodavanjem šest otpornika u kolo. Na slici 2.3 je data blok shema univerzalnog aktivnog filtra konfigurisanog kao filter nepropusnik učestanosti.



Slika 2.3: Blok shema univerzalnog aktivnog filtra UAF42 realizovanog kao nepropusnik učestanosti.

Na dalje sledi proračun parametara filtra za traženu frekvenciju  $f_{NOTCH} = 50Hz$ , faktor dobrote  $Q = 10$  i red filtra  $n = 2$ .

Notch frekvencija se dobija iz izraza:

$$f_{NOTCH} = \sqrt{A_{LP}/A_{HP} * R_{Z2}/R_{Z1} * f_0}, \quad (2.1)$$

gde je:  $A_{LP}$  - dobitak na Low-pass izlazu za  $f = 0$ ,  $A_{HP}$  - dobitak na High-pass izlazu za  $f \gg f_0$ .

Izraz  $A_{LP}/A_{HP} * R_{Z2}/R_{Z1}$  se izjednačava sa jedan radi jednostavnosti proračuna što daje izraz za  $f_{NOTCH}$ :

$$f_{NOTCH} = f_0, \quad (2.2)$$

za  $f_0$  dato kao:

$$f_0 = \frac{1}{R_F * C * 2\pi}, \quad (2.3)$$

gde je  $R_F = R_{F1} = R_{F2}$  i  $C = C_1 = C_2$ .

Primetimo da se  $f_{NOTCH}$  može modifikovati menjanjem otpornosti  $R_F$  i dodavanjem novih otpornika ili kondenzatora. Trodecibelski propusni opseg se može podesiti prema jednačini:

$$BW_{-3dB} = \frac{f_{NOTCH}}{Q}, \quad (2.4)$$

gde je  $BW_{-3dB} = f_H - f_L$ .  $Q$  faktor se može podesiti na osnovu otpornosti  $R_Q$  i to pomoću jednačine:

$$R_Q = \frac{25k\Omega}{Q - 1}, \quad (2.5)$$

Slabljenje u propusnom opsegu filtra se može prilagoditi faktorom  $Q$  i to po formuli:

$$Q = \frac{R_{Z3}}{R_{Z1}} = \frac{R_{Z3}}{R_{Z2}}, \quad (2.6)$$

Primetimo da se parametri  $f_0$  i  $Q$  mogu nezavisno podešavati sa adekvatnim izborom  $R_{F1}$ ,  $R_{F2}$  i  $R_Q$ . Zamenom vrednosti notch frekvencije od 50Hz i vrednosti usvojenog faktora dobrote u prethodne jednačine dobijaju se potrebne vrednosti parametara za realizaciju filtra nepropusnika učestanosti drugog reda:

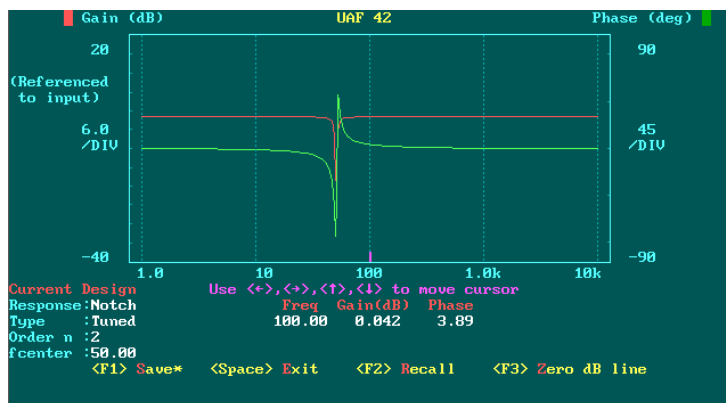
$$\begin{aligned} f_{NOTCH} &= f_0 = 50Hz, \\ f_0 &= \frac{1}{R_F * C * 2\pi} \implies R_F = R_{F1} = R_{F2} = 3.18M\Omega, \\ BW_{-3dB} &= f_H - f_L \implies BW_{-3dB} = 5Hz, \\ R_Q &= \frac{25k\Omega}{Q - 1} \implies R_Q = 2.78k\Omega, \\ Q &= \frac{R_{Z3}}{R_{Z1}} = \frac{R_{Z3}}{R_{Z2}} \implies R_{Z1} = R_{Z2} = 2k\Omega, R_{Z3} = 20k\Omega. \end{aligned}$$

Radi provere dobijenih rezultata, urađen je proračun i u softverskom alatu FILTER42 koji za datu frekvenciju  $f_{NOTCH}$  i faktor dobrote  $Q$  podešava parametre otpornika i kondenzatora. Na slici 2.4 date su dobijene vrednosti proračuna parametara dok je na slici 2.5 dobijeni amplitudski spektar za tako usvojene parametre.

***UAF42 Filter Component Values***									
Response: Notch		Input Config: Noninverting				fnotch		: 50.00Hz	
Type : Tuned						Bandwidth		: 5.000Hz	
Order n : 2						Resistors		: nearest 1%	
	Subckt	fo	Q	fz	RF1,2	RQ	RG	R2A	
	C ext	Rp	Cp	Rz1	Rz2	Rz3	Ckt-gain		
Sub	PP4	50.37Hz	10.00	50.55Hz	3.160k $\Omega$	2.800k $\Omega$	----	----	
Ckt 1	----	----	----	2.000k $\Omega$	2.000k $\Omega$	20.00k $\Omega$	1.007		
Gain, Max Vin: 1.010V , 9.93V									

Slika 2.4: Parametri filtra drugog reda dobijeni softverskim alatom *FILTER42*.

Primetimo da se softverski proračun ne poklapa u potpunosti sa teorijskim što će rezultovati manjim odstupanjima koja se na datim redovima veličina neće u velikoj meri manifestovati. Softverski alat *FILTER42* daje vrednosti parametara pasivnih komponenti koje je potrebno povezati u kolo takve da one budu približne zahtevanim teoretskim ali i da ih je moguće kupiti u maloprodaji.



Slika 2.5: Amplitudska karakteristika filtra drugog reda dobijena softverskim alatom *FILTER42*.

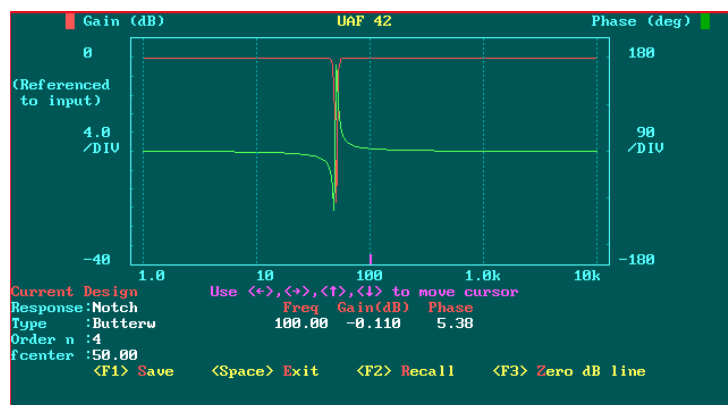
## 2.4 Proračun parametara filtra četvrtog reda

Usled kompleksnijeg proračuna parametara za filter četvrtog reda, parametri su dobijeni softverskim putem. Povećanje reda filtra povećava kompleksnost realizacije pa se datim proračunom zaključuje da se filter nepropusnik učestanosti četvrtog reda može realizovati povezivanjem na red dva filtra gde izlaz prvog filtra predstavlja ulaz drugog. Na slici 2.6 prikazane su vrednosti parametara traženog filtra proračunate softverskim alatom *FILTER42*.

***UAF42 Filter Component Values***									
Response: Notch		Input Config: NonInverting		fnotch : 50.00Hz					
Type : Butterworth				Bandwidth : 5.000Hz					
Order n : 4				Resistors : nearest 1%					
	Subckt	fo	Q	fz	RF1,2	RQ	RG	R2A	
	C ext	Rp	Cp	Rz1	Rz2	Rz3	Ckt-gain		
Sub	PP4	51.51Hz	14.15	49.52Hz	3.090M $\Omega$	1.910k $\Omega$	----	----	
Ckt 1	----	----	----	2.150k $\Omega$	2.000k $\Omega$	28.00k $\Omega$	924.4m		
Sub	PP4	47.94Hz	14.15	49.55Hz	3.320M $\Omega$	1.910k $\Omega$	----	----	
Ckt 2	----	----	----	2.000k $\Omega$	2.150k $\Omega$	30.10k $\Omega$	1.068		
Gain, Max Vin: 987.mV/U , 10.0V									
<Space> to exit									

Slika 2.6: Parametri filtra četvrtog reda dobijeni softverskim alatom *FILTER42*.

Očekuje se da će povećanje reda filtra rezultovati većim slabljenjem u nepropusnom delu opsega kao i manjoj fluktuaciji vrednosti slabljenja u propusnom delu opsega. Na slici 2.7 prikazana je amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom *FILTER42*.



Slika 2.7: Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom *FILTER42*.

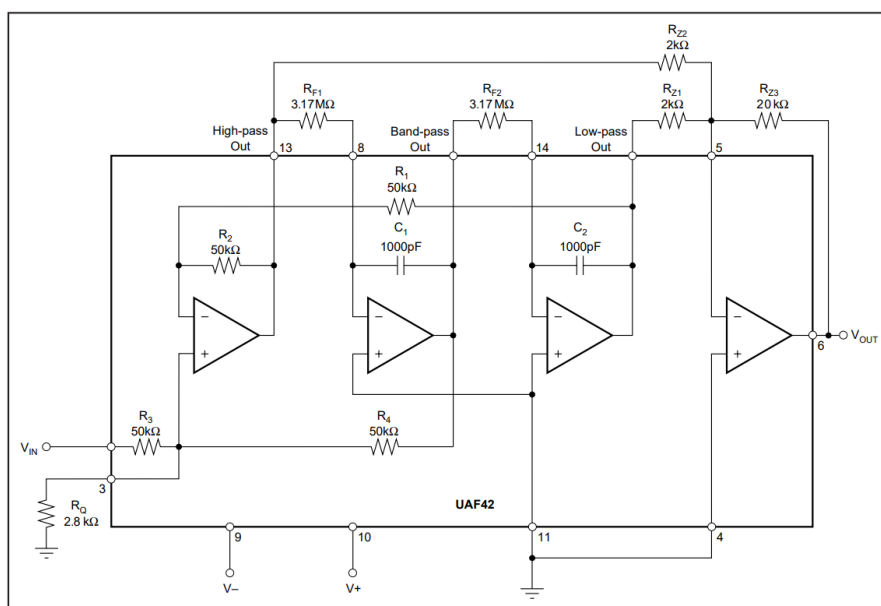
Poređenjem sa amplitudskom karakteristikom filtra drugog reda zaključuje se da je slabljenje izraženije kod filtra četvrtog reda što je i očekivan zaključak i da je prelaz iz propusnog u nepropusni deo opsega uži.

# Glava 3

## Rezultati

### 3.1 Projektovanje i realizacija

Najpre bih prikazao rezultate dobijene za proračun filtra nepropusnika učestanosti drugog reda. Nakon izvršenog proračuna i povezivanja datih komponenti, blok shema filtra je data na slici 3.1.

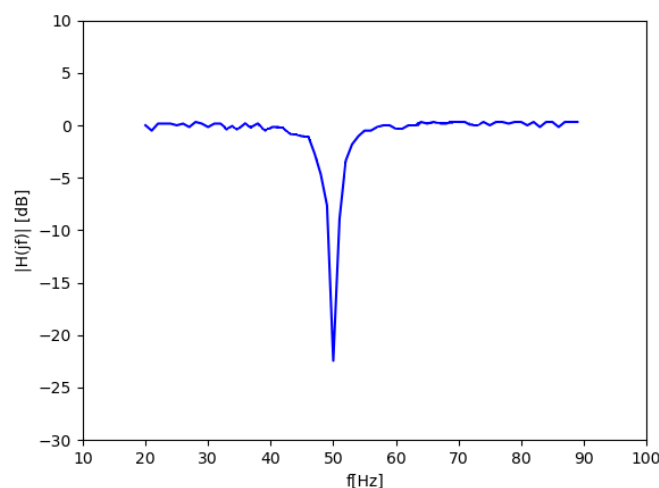


Slika 3.1: Blok shema univerzalnog aktivnog filtra drugog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz.

Kapacitivnosti  $C_{1A}$  i  $C_{2A}$  su nula pa predstavljaju otvorenu vezu i zbog toga se na slici ne pojavljuju. Pin  $V_{OUT}$  se povezuje na ulaz osciloskopa gde se

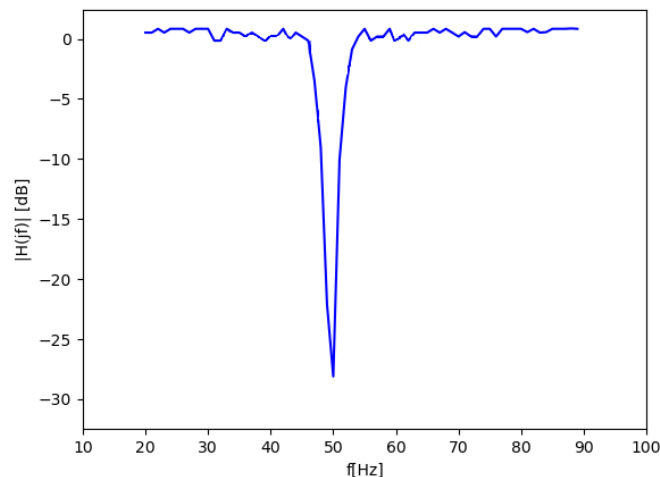
očitava vremenski oblik izlaznog signala. Pin  $V_{IN}$  predstavlja ulaz generatora signala. Ulazni signal je oblika  $U * \sin(2 * \pi * f * t)$ , gde je amplituda  $U$  podešena na 1V a frekvencija  $f$  u početnom trenutku iznosi 20Hz i ona će se pokretanje Python skripte menjati u opsegu od 20Hz do 90Hz sa korakom od 1Hz. U svakoj tački se mere maksimalne vrednosti izlaznog i ulaznog signala čijim se deljenjem i logaritmovanjem dobija vrednost komponente amplitudske karakteristike u datoj tački.

Korišćenjem softverskog alata Python određena je amplitudska karakteristika filtra na realnim komponentama i u realnim uslovima koja bi trebala da ima izgled krive date na slici 2.5 dobijene simulacijom. Primetno je značajno slabljenje na frekvenciji od 50Hz što je i bilo za cilj dobiti. Van nepropusnog opsega, slabljenje varira oko nule što je posledica nesavršenosti komponenta kao i nemogućnosti realizacije filtra po idealnim parametrima dobijenim u teorijskom proračunu u sekciji 2.3. Amplitudska karakteristika dobijena softverskim alatom Python je data na slici 3.2:



Slika 3.2: Amplitudska karakteristika filtra drugog reda dobijena softverskim alatom Python.

Na dalje sledi prikaz rezultata za filter četvrtog reda. Blok shema filtra četvrtog reda se dobija rednom vezom dva bloka prikazana na slici 3.1 sa vrednostima parametara sa slike 2.6. Signal generatora se povezuje na pin 2 prvog filtra, pin 6 prvog filtra predstavlja ulazni signal drugog filtra na pinu 2 dok je na pinu 6 drugog filtra priključen osciloskop kojim se prikazuje vremenski oblik signala na izlazu. Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom Python data je na slici 3.3.

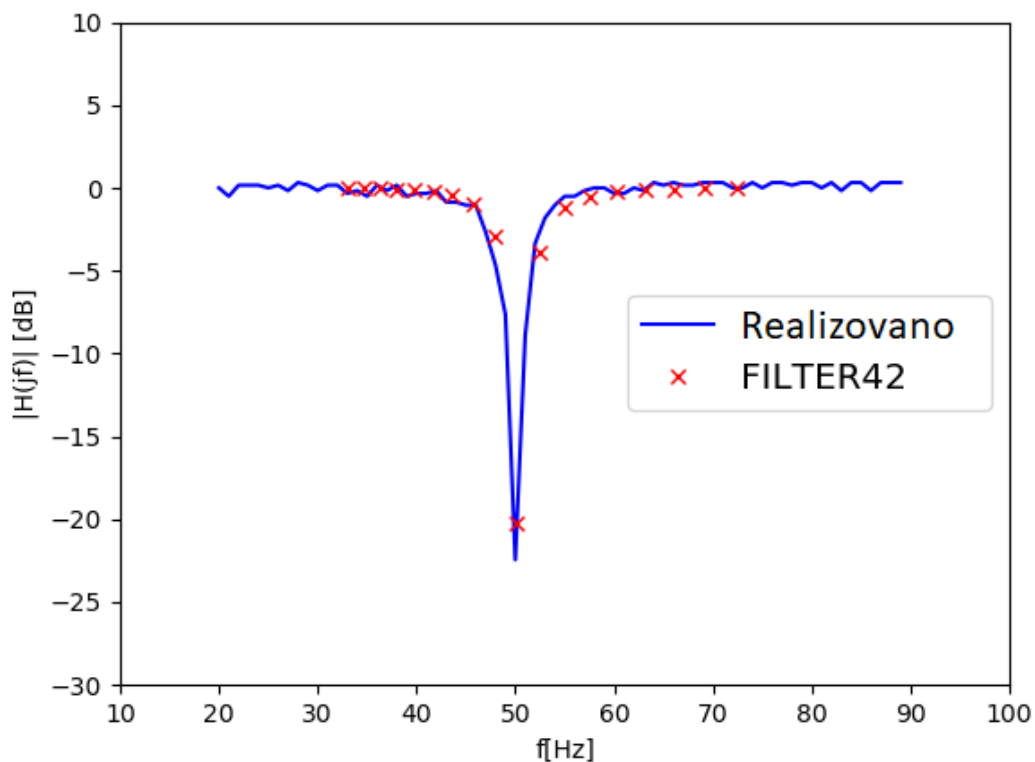


Slika 3.3: Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom Python.

Poređenjem amplitudskih karakteristika filtra drugog i četvrtog reda dolazi se do zaključka da se povećanjem reda filtra dobija veće slabljenje u nepropusnom delu opsega od oko 5dB i da je fluktuacija u propusnom delu opsega i dalje izražena. Prelaz iz nepropusnog u propusni deo opsega je uži što nas dovodi o zaključka da je povećanje reda filtra dovelo do većeg slabljenja u delu opsega koji je od interesa ali i to da to povećanje nije drastično u odnosu na filter drugog reda.

## 3.2 Poređenje projekat-realizacija

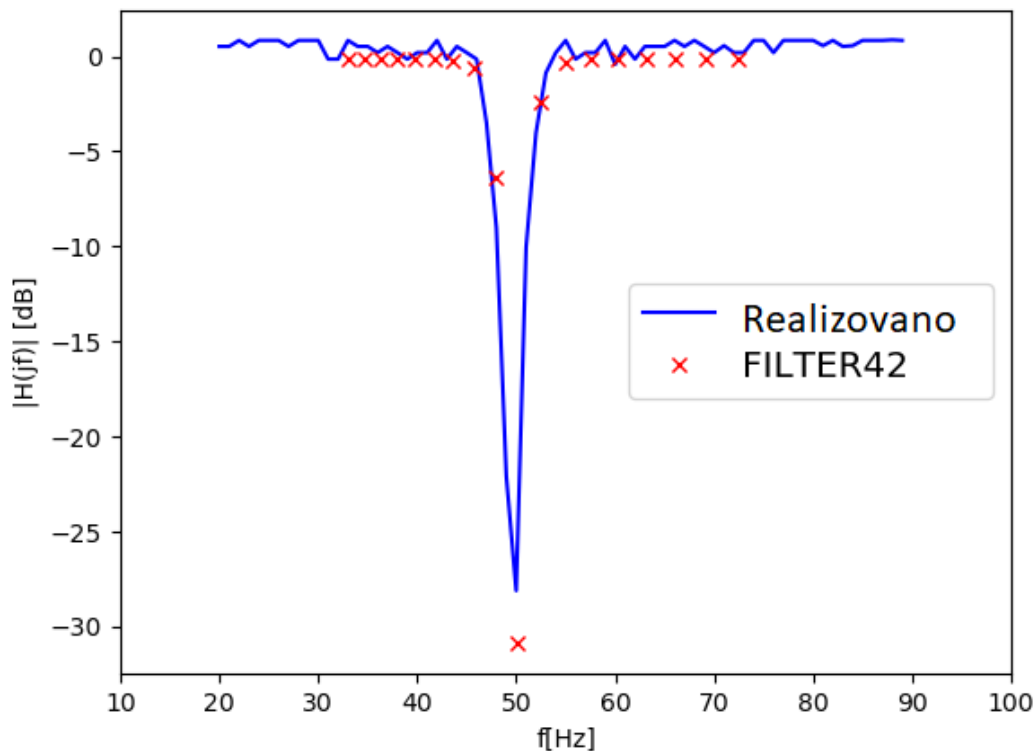
Uporedimo zatim prethodno dobijene rezultate. Jasno je da će se vrednosti dobijene softverskim alatom FILTER42 razlikovati u odnosu na rezultat dobijem radom na realnoj opremi. Na slikama 3.4 i 3.5 plavom bojom je dat prikaz amplitudske karakteristike dobijene u realnim uslovima dok su crvenom bojom označene vrednosti amplitudske karakteristike u softverski predefinisanim tačkama i sa određenim korakom iz programa FILTER42.



Slika 3.4: Poređenje amplitudskih karakteristika za filter drugog reda - realizovano i *FILTER42*.

Sa slika se može zaključiti da za filter drugog reda nema većih odstupanja u vrednosti slabljenja na frekvenciji od 50Hz dok je za filter četvrtog reda softverski dobijena vrednost maksimuma slabljenja nedostignuta u realnim uslovima. Slabljenje u nepropusnom delu opsega za oba filtra je sa izraženim fluktuacijama vrednosti slabljenja ali su one bliske vrednostima softverskog proračuna i imaju vrednosti oko nule.

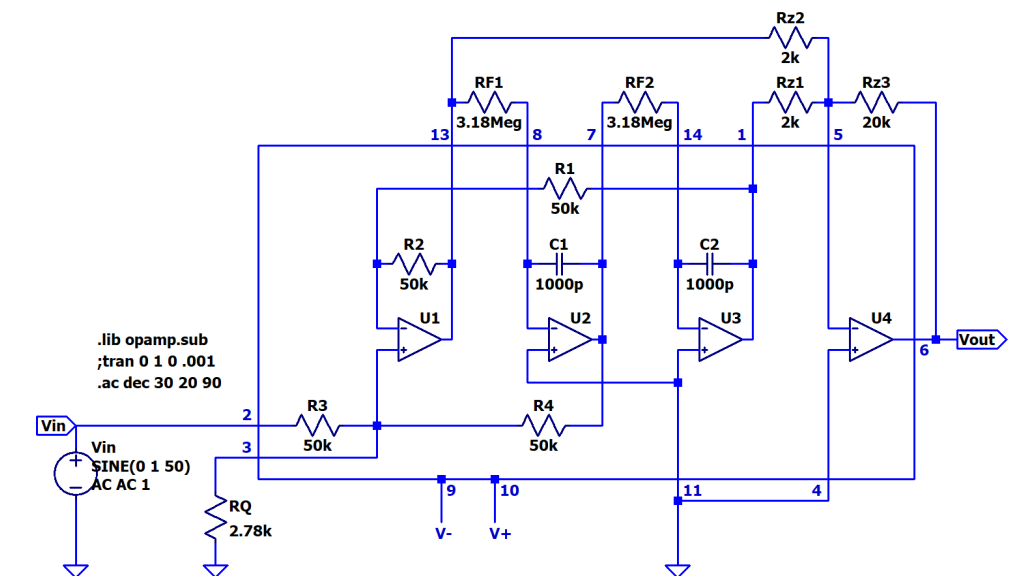




Slika 3.5: Poređenje amplitudskih karakteristika za filter četvrtog reda - realizovano i *FILTER42*.

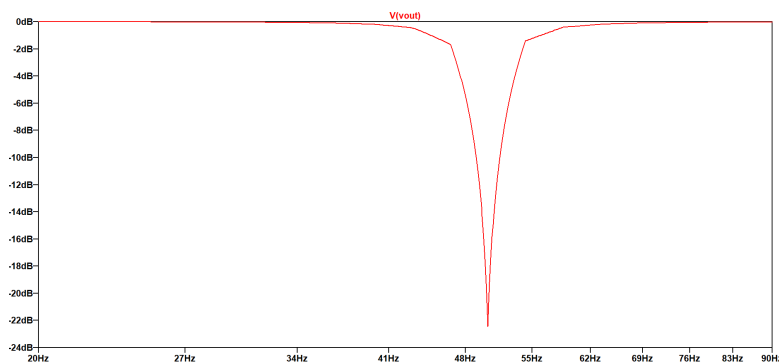
### 3.3 Poređenje idealno-projektovano

Uporedimo sada koji se rezultati dobijaju za teorijske vrednosti pasivnih komponenti proračunatih u sekcijama 2.3 i 2.4. Na slici 3.1 data je blok shema univerzalnog aktivnog filtra drugog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz. Najpre je potrebno datu blok shemu realizovati u softverskom alatu kako bi se izvršila simulacija. Na slici 3.6 data je blok shema filtra drugog reda realizovana u softverskom alatu LTspice.



Slika 3.6: Blok shema filtra drugog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz dobijena pomoću softverskog alata LTspice.

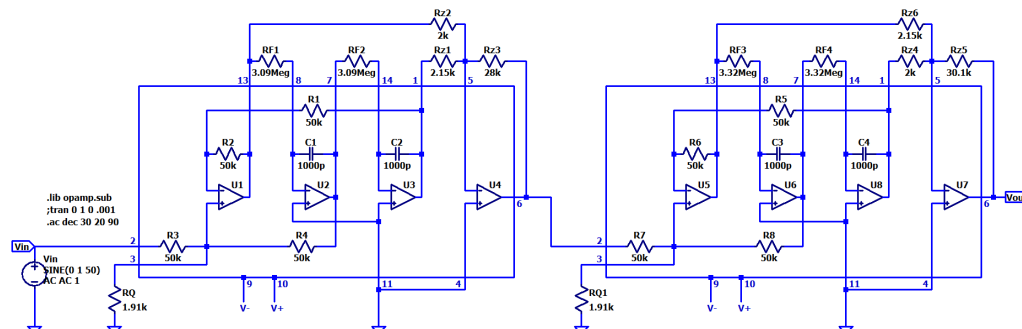
Na slici 3.7 prikazana je amplitudska karakteristika filtra. Primetimo da je u idealnim okolnostima kakva je Spice simulacija, vrednost slabljenja u propusnom delu opsega konstantna i iznosi 0 dok je za vrednost frekvencije od 50Hz izraženo znatno slabljenje od oko 23dB.



Slika 3.7: Amplitudska karakteristika filtra drugog reda dobijena softverskim alatom LTspice.

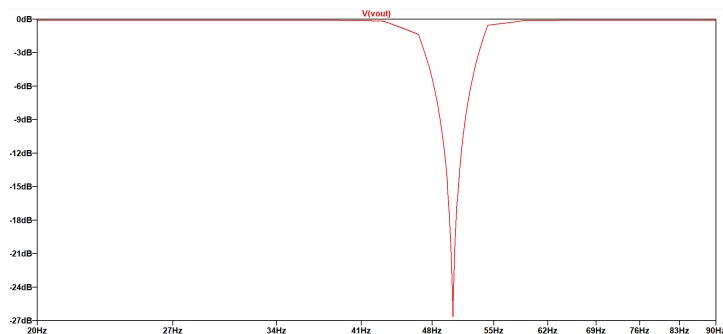
Uporedimo kakvi se rezultati dobijaju za filter četvrtog reda. Na slici 3.8 prikazana je realizacija filtra četvrtog reda podešenog kao nepropusnik učestanosti na 50Hz i ona se predstavlja pomoću redne veze dva bloka sa slike 3.6. Očekuje se da će kao i u slučaju realizacije filtra drugog reda vred-

nost slabljenja u nepropusnom delu opsega biti izraženija dok bi slabljenje u propusnom delu opsega takođe trebalo iznositi 0. Na slici 3.9 prikazana je amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda.



Slika 3.8: Blok shema filtra četvrtog reda podešenog kao nepropusnik učestnosti na 50Hz dobijena pomoću softverskog alata LTspice.

Sa date slike se može videti da je dostignuto veće slabljenje koje iznosi blizu 27dB što je za približno 4dB više od filtra drugog reda. Razlika od 4dB nije velika ali se svakako ne može zanemariti. Zavisno od sfere primene, ova razlika slabljenja može biti od velike koristi ali u primeni o kojoj se govori u ovom radu nije od velikog značaja.



Slika 3.9: Amplitudska karakteristika filtra četvrtog reda dobijena softverskim alatom LTspice.

## Glava 4

# Zaključak

U radu je predstavljen postupak kako je moguće jednostavnim proračunima dobiti parametre potrebne za realizaciju filtra nepropusnika učestanosti na 50Hz. Lako je moguće proračunati i vrednosti parametara potrebnih za realizaciju drugih vrsta filtara što govori i o tome da je implementacija izuzetno jednostavna. Zamenom vrednosti eksternih pasivnih komponenti mogu se dobiti različite vrste filtara u skladu sa potrebama.

U predstavljenom radu, iako komponente nisu identičnih vrednosti kao i one proračunate teorijski, greška koja se dobija na izlazu je zanemarljiva a i nju je moguće u velikoj meri ukloniti adekvatnim izborom komponenti koje će u potpunosti zadovoljavati gore navedene jednačine kao i povećanjem reda filtra što je takođe pokazano.

Takođe, izveden je zaključak da odnos cena-performanse filtra realizovanog kao filter četvrtog reda u obrađenoj temi nije od velikog značaja ali se u primeni u drugim oblastima osetljivijim na dati problem svakako treba razmotriti.

# Literatura

- [1] Steven W. Smith, *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Pub, United States, Jan 1997.
- [2] Vijay Laxmi Kalyani, Kusum Jadam, Kritika Padonia and Eshita Gupta, *Different Types of Active Universal Filters And Their Various Applications*, Journal of Management Engineering and Information Technology (JMEIT), India, Aug 2016.
- [3] Art Pini, *Use Monolithic Universal Active Filter ICs to Speed IoT Analog Front-End Design*, United States, Nov 2017.
- [4] Johnnie Molina, *Design A 60Hz Notch Filter With The UAF42*, Texas Instruments, United States, Oct 2000.
- [5] Johnnie Molina, *Build a Three Phase Sine Wave Generator With The UAF42*, Texas Instruments, United States, Oct 2000.
- [6] Johnnie Molina, *Digitally Programmable, Time-Continuous Active Filter*, Texas Instruments, United States, Sep 2000.
- [7] Johnnie Molina and R. Mark Stitt, *Filter Design Program For The UAF42 Universal Active Filter*, Texas Instruments, United States, Sep 2000.
- [8] R. Mark Stitt, *Simple Filter Turns Square Waves Into Sine Waves*, Texas Instruments, United States, Sep 2000.
- [9] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na, [https://www.rtelecom.net/userfiles/product\\_files\\_shared/Rigol/Oscilloscopes/MS01000Z/DS1000Z\\_Programming%20Guide\\_EN.pdf](https://www.rtelecom.net/userfiles/product_files_shared/Rigol/Oscilloscopes/MS01000Z/DS1000Z_Programming%20Guide_EN.pdf), RIGOL Technologies, China, Dec 2013.
- [10] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na, [https://www.batronix.com/pdf/Rigol/ProgrammingGuide/DG1000Z\\_ProgrammingGuide\\_EN.pdf](https://www.batronix.com/pdf/Rigol/ProgrammingGuide/DG1000Z_ProgrammingGuide_EN.pdf), RIGOL Technologies, China, Feb 2014.