

SOFTVERSKA PODRŠKA NASTAVI U OBLASTI PROJEKTOVANJA AKTIVNIH FILTARA

Dejan Mirković, Dragiša Milovanović, *Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu,*
dejan.mirkovic@elfak.ni.ac.rs, dragiša.milovanovic@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj – U ovom radu biće prezentovana realizacija softverskog alata za podršku izučavanju projektovanja analognih aktivnih filtara. Najpre će kratko biti dat pregled implementiranih matematičkih metoda za aproksimaciju filtarske funkcije, a zatim i neke topologije za realizaciju iste. Biće komentarisani algoritmi realizovanog softvera i pregled osnovnih opcija koje se nude korisniku putem korisničkog interfejsa. Konačno, rezultat rada će biti prezentovan kroz primer projektovanja jednog analognog RC aktivnog filtra korišćenjem realizovanog softvera.

1. UVOD

Filtri su već dugi niz godina predmet izučavanja i istraživanja LEDA laboratorije sa Elektronskog fakulteta, Univerziteta u Nišu pri katedri za elektroniku. Pored toga ova tematika je jedna od fundamentalnih u programu predmeta analogne elektronike na Elektronskom fakultetu u Nišu. U tom cilju došlo se na ideju kreiranja odgovarajućeg programskog alata kako bi studenti koji slušaju ovaj predmet, i inženjeri koji detaljnije žele da se bave ovom tematikom, kvalitetnije i jednostavnije usvojili znanja utvrđena programom ovog predmeta. Softverski alat nosi naziv AFP od Aktivni Filtri Proračun. Radi jednostavnijeg izlaganja akronim AFP će na dalje biti korišćen kao zamena za naziv kreiranog softverskog alata. Iz istog razloga usvojena je i sledeća notacija: (1) LP- propusnik niskih frekvencija, (2) HP- propusnik visokih frekvencija, (3) BP- propusnik opsega frekvencija, (4) BS- nepropusnik opsega frekvencija, (5) PCB- tehnika štampanih ploča.

AFP ima za cilj prevazilaženje kompleksne matematičke interpretacije koja u svakom postupku projektovanja uzima dosta projektantskog vremena. Na ovaj način uvodi se automatizacija samog postupka projektovanja. Rad se fokusira na analizu analognih filtara i realizaciju pri kojoj se kao aktivna komponenta koristi operacioni pojačavač.

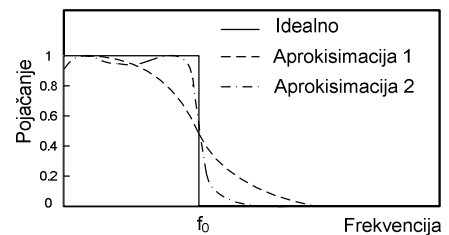
Kako bi se bolje objasnili ulazni parametri koje AFP uzima u obzir prilikom proračuna u narednom poglavlju će biti više reči o njima. Prvenstveno biće komentarisana matematička interpretacija prenosne funkcije filtra kao i aproksimacioni metodi implementirani u softver. Takođe će biti komentarisane i usvojene topologije za realizaciju softverom dobijenih aproksimacija filtarske funkcije. Usvojene topologije su pogodnije za realizaciju u PCB tehnici.

U četvrtom poglavlju rada biće više reči o koracima u postupku projektovanja analognih filtara koji su pretočeni u algoritam softvera. Takođe će biti prezentovano rešenje korisničkog interfejsa. Biće komentarisana fleksibilnost i osnovne funkcionalnosti koje interfejs nudi korisniku.

Postupak projektovanja jednog analognog aktivnog RC filtra korišćenjem AFP softvera biće dat kao rezultat rada. Na osnovu topologije može se fomirati odgovarajuća SPICE netlista. Dobijeni rezultat projektovanja se zatim može verifikovati simulacijom, a u konačnom ishodu i fizički implementirati na PCB. U ovom radu prezentovana je samo verifikacija simulacijom na funkcionalnom nivou.

2. MATEMATIČKA INTERPRETACIJA FILTARSKE FUNKCIJE

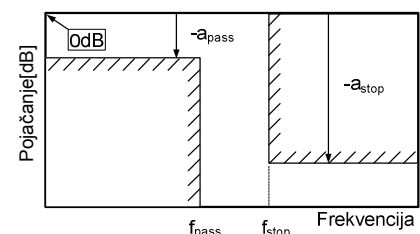
Osnovni matematički model predstavlja filter kao linearni sistem sa odgovarajućim ulaznim i izlaznim signalima. Kao što je već poznato iz teorije filtara idelana prenosna funkcija filtra nije realno ostvariva [1]. Ono što se može fizički ostvariti jeste zadovoljavajuća aproksimacija korišćenjem odgovarajućeg matematičkog metoda kao što je ilustrativno na slici 1.



Sl.1. Idealna prenosna karakteristika filtra propusnika niskih frekvencija sa prikazom dve moguće aproksimacije

Sa slike 1. se može uočiti da idealna kriva prenosne funkcije postavlja stroge uslove za filtarski sistem. Tačnije signal u propusnom opsegu ($f < f_0$) nije oslabljen ($Pojačanje=1$), dok je van propusnog opsega ($f > f_0$) potpuno potisnut ($Pojačanje=0$). Kako ovakva prenosna karakteristika nije realno ostvariva potrebno je postaviti „komotnije“ uslove za realizaciju, a da se pri tome ne naruše zahtevi koje nameće primena filtarskog sistema. Ovi novi uslovi koje treba da ispuni filtarski sistem u literaturi su poznati pod nazivom gabariti filtra.

Na slici 2. ilustrativno je prikazana usvojena notacija za gabarite filtra koji predstavljaju podskup ulaznih parametara AFP i imaju sledeće značenje: (1) maksimalno dozvoljeno slabljenje u propusnom opsegu a_{pass} , (2) minimalno dozvoljeno slabljenje u nepropusnom opsegu a_{stop} , (3) granična frekvencija propusnog opsega f_{pass} , (4) granična frekvencija nepropusnog opsega f_{stop} . Sve vrednosti gabarita u ovom slučaju su veće od nule.



Sl.2. Ilustrativni prikaz usvojene notacije za gabarite dat na primeru LP filtra

Bitno je napomenuti da prilikom projektovanja BP i BS filtarskih sistema granice propusnog i nepropusnog opsega moraju biti ravnomerno raspoređene u odnosu na centralnu kružnu frekvenciju ω_0 . Tačnije mora biti ispunjen uslov $\omega_0^2 = \omega_{pass1} \cdot \omega_{pass2} = \omega_{stop1} \cdot \omega_{stop2}$, gde je kod BP $\omega_{stop1} < \omega_{pass1} < \omega_{pass2} < \omega_{stop2}$, a kod BS $\omega_{pass1} < \omega_{stop1} < \omega_{stop2} < \omega_{pass2}$. Ukoliko ovaj uslov nije ispunjen moraju se pronaći nove granice

propusnog/nepropusnog opsega. Treba voditi računa da ove nove vrednosti i dalje ispunjavaju zahteve koje filtarski sistem treba da zadovolji po pitanju selektivnosti.

Karakteristike filtarskog sistema mogu se analizirati kako u vremenskom tako i u frekvencijskom domenu. Analiza u vremenskom domenu podrazumeva određivanje impulsnog odziva sistema, dok se u frekvencijskom domenu razmatra prenosna funkcija. Kod projektovanja analognih filtara uobičajen je drugi pristup. Do prenosne funkcije dolazi se Laplasovom transformacijom impulsnog odziva sistema.

Prenosna funkcija filtarskog sistema se može predstaviti na više načina. Generalni oblik prenosne funkcije linearnog sistema može se prikazati kao odnos dva polinoma (1).

$$H(s) = G \frac{(s^m + a_{m-1}s^{m-1} + \dots + a_1s + a_0)}{(s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_1s + b_0)} \quad (1)$$

Ovde je G konstanta, a a_i i b_i koeficijenti filtra, n i m red polinoma u brojiocu i imeniocu, respektivno, a s Laplasova promenljiva. Alternativno polinomi se mogu faktorirati tako da prenosna funkcija dobija oblik (2)

$$H(s) = G \frac{(s + z_0) \cdot (s + z_1) \dots (s + z_{m-1})}{(s + p_0) \cdot (s + p_1) \dots (s + p_{m-1})} \quad (2)$$

gde su z_i i p_i nule i polovi prenosne funkcije, respektivno. Nule i polovi prenosne funkcije filtra se često javljaju kao konjugovano kompleksni parovi. Iz tog razloga je mnogo pogodnije polinome u imeniocu i brojiocu faktorirati kao polinome drugog reda čiji su koreni pomenute konjugovano kompleksne vrednosti nula ili polova kao u (3).

$$H(s) = G \frac{(s + z_0) \cdot (s^2 + a_{01}s + a_{02}) \dots (s^2 + a_{q1}s + a_{q2})}{(s + p_0) \cdot (s^2 + b_{01}s + b_{02}) \dots (s^2 + b_{r1}s + b_{r2})} \quad (3)$$

U (3) su a_{ji} i b_{ki} ($j=0, 1, \dots, q; k=0, 1, \dots, r$ i $i=1, 2$) koeficijenti polinoma drugog reda, a z_0 i p_0 nula i pol prvog reda prenosne funkcije, respektivno. Faktori prvog reda će biti prisutni samo ukoliko je red prenosne funkcije neparan. Ovakav oblik je pogodan za realizaciju pa je iz tog razloga i usvojen u algoritmu AFP prilikom proračunavanja i formiranja ukupne prenosne karakteristike filtra.

Početna tačka u projektovanju jednog analognog filtra jeste određivanje koeficijenata njegove normalizovane prenosne karakteristike. Normalizovana prenosna karakteristika predstavlja aproksimaciju idealne karakteristike propusnika niskih učestanosti za zadate gabarite nekim od izabranih matematičkih metoda. Idealna prenosna karakteristika filtra propusnika niskih učestanosti ima pojačanje jednako jedinici ($G=1$) u propusnom opsegu, nuli u nepropusnom opsegu ($G=0$) i granicu propusnog opsega jedan radijan po sekundi ($\omega_0=2\pi f_0=1\text{rad/s}$, slika 1.). Kada se dobije normalizovana prenosna karakteristika potrebno je obaviti odgovarajuće matematičke transformacije kako bi bili ispunjeni realni zahtevi koje filtarski sistem treba da ispuni. Drugim rečima treba doći do oblika prenosne funkcije date u (3). Skup ovakvih transformacija čini postupak preslikavanja tj. pomeranja dobijene normalizovane prenosne funkcije filtra po frekvencijskoj osi. Preslikavanje praktično podrazumeva transformaciju prenosne karakteristike filtra u s domenu.

Danas postoji veliki broj matematičkih metoda kojima se može aproksimirati idealna prenosna karakteristika filtra. U AFP su implementirane sledeće aproksimacione funkcije: Batervortova (Butterworth), Čebiševljeva (Chebyshev), inverzna Čebiševljeva (inverse Chebyshev) i Eliptička

(Elliptic). Na dalje će ukratko biti komentarisane neke od bitnih osobina implementiranih aproksimacionih funkcija.

Batervortova aproksimaciona funkcija ima konačne polove i ne dozvoljava talasnost amplitudskog odziva kako u propusnom tako i u nepropusnom opsegu. Vrednost pojačanja za DC vrednost signala na ulazu ($\omega=0$) je uvek jedan, a opadanje vrednosti pojačanja kada je u pitanju funkcija prvog reda je 20dB/dec.

Čebiševljeva aproksimaciona funkcija ima takođe samo polove. Ovom funkcijom može se aproksimirati strmija prenosna karakteristika, a da pri tome red funkcije bude manji nego kod Batervorta. To se postiže po cenu talasnosti amplitudskog odziva u propusnom opsegu koju u određenoj meri ova funkcija dozvoljava. Bitno je napomenuti da se kod Čebiševljeve aproksimacione funkcije čiji je rad paran uvodi i korekcija pojačanja kako se ne bi desilo da na graničnoj učestanosti ono bude veće od jedan.

Inverzna Čebiševljeva funkcija se izvodi iz standardne Čebiševljeve funkcije i u literaturi se još nalazi pod nazivom Čebiševljeva funkcija tipa dva. Naziv "inverzna" potiče od toga što su uglavnom svi proračuni vezani za ovu funkciju po prirodi inverzni proračunima za standardnu Čebiševljevu funkciju (tipa jedan). Ova funkcija ima maksimalno ravnani amplitudski odziv poput Batervortove pa nije potrebno uvoditi korekciju pojačanja kao što je to bio slučaj kod standardne Čebiševljeve funkcije. Ovde se talasnost javlja u nepropusnom opsegu što potiče od prisustva nula u inverznoj Čebiševljevoj funkciji.

Eliptička ili Kauerova (Cauer) funkcija takođe poseduje nule kao i inverzna Čebiševljeva funkcija. Ova funkcija nudi najbolju aproksimaciju prenosne karakteristike po pitanju selektivnosti u poređenju sa prethodno pomenutim. Tačnije, sa mnogo manjim redom, a time i manjim hardverom, se mogu ispuniti strožiji zahtevi nego što je to slučaj sa drugim aproksimacionim funkcijama. To se postiže po cenu talasnosti amplitudskog odziva kako u propusnom tako i u nepropusnom opsegu, koju ova funkcija dozvoljava. Pored toga za procenu eliptičke aproksimacione funkcije neophodan je znatno kompleksniji matematički aparat u poređenju sa Batervortovom funkcijom. Treba napomenuti da je softverska implementacija ovog aproksimacionog metoda najzahtevnija u odnosu na druge aproksimacione metode. Aproksimacione funkcije su detaljnije opisane u [2].

3. USVOJENE TOPOLOGIJE

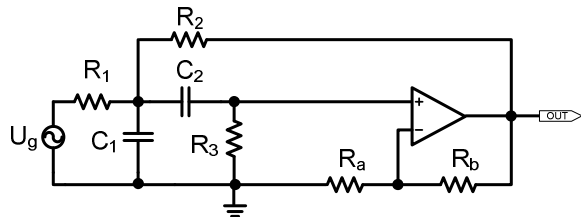
U ovom poglavlju će biti više reči o samoj praktičnoj realizaciji analognih aktivnih filtara. Biće ukratko komentarisane usvojene topologije za realizaciju sa operacionim pojačavačem kao aktivnim elementom. Kako se HP i LP sekcije prvog reda mogu realizovati jednostavnim RC kolom sa jediničnim pojačavačem kao razdvojnim stepenom, ovde će biti pomenute samo realizacije sekcija drugog reda.

Za realizaciju sekcije drugog reda LP i HP filtra na raspolaganju su Sellen-Key topologije [3]. Ovim topologijama se mogu realizovati prenosne funkcije drugog reda date u (4) i (5) za LP i HP filtarske sekcije, respektivno.

$$H(s) = \frac{G \cdot a_2}{s^2 + b_1 \cdot s + b_2} \quad (4)$$

$$H(s) = \frac{G \cdot s^2}{s^2 + b_1 \cdot s + b_2} \quad (5)$$

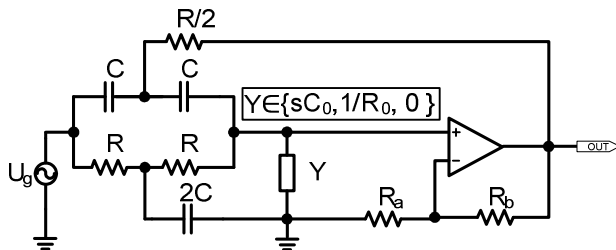
Za realizaciju sekcije drugog reda BP filtra usvojena je topologija prikazana na slici 3. Ovakvom topologijom se realizuje prenosna funkcija data sa (6). Konačno za realizaciju sekcije drugog reda BS filtra izabrana je topologija prikazana na slici 4.



Sl.3. Usvojena topologija za realizaciju sekcije drugog reda BP RC aktivnog filtra

$$H(s) = \frac{a_1 \cdot s}{s^2 + b_1 \cdot s + b_2} \quad (6)$$

Topologija sa slike 4. se u literaturi može naći pod nazivom aktivni dvostruko „T“ filter. Ova topologija obezbeđuje praktičnu realizaciju prenosne funkcije oblika (7).



Sl.4. Usvojena topologija za realizaciju sekcije drugog reda BS RC aktivnog filtra

$$H(s) = \frac{G \cdot (s^2 + a_2)}{s^2 + b_1 \cdot s + b_2} \quad (7)$$

U zavisnosti od prirode i vrednosti admitanse, Y, mogu se izdvojiti tri slučaja: (1) $Y=0$, (2) $Y=1/R_0$ i (3) $Y=sC_0$. U prvom slučaju pojačanje je isto u celom propusnom opsegu kako prema niskim tako i prema visokim frekvencijama u odnosu na centralnu ω_0 . U drugom slučaju pojačanje u delu propusnog opsega prema visokim frekvencijama je veće od pojačanja u delu prema niskim frekvencijama. Ovakva pojava se obično u literaturi naziva kao HP “notch”. Suprotna pojava manifestuje se u trećem slučaju i naziva se LP “notch”. Detaljnije o topologijama za realizaciju aktivnih filtera sa opracionim pojačavačima može sa naći još u [4] i [5].

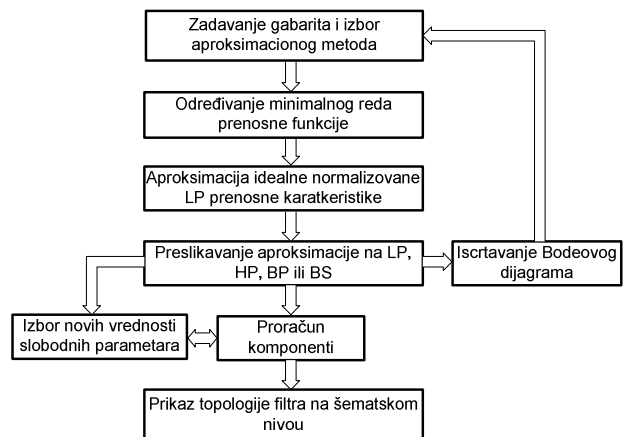
Treba napomenuti da su radi lakše realizacije usvojene iste vrednosti za sve pasivne elemente (RC kolo), gde je vrednost kondenzatora ostavljena kao slobodni parametar koji korisnik može da zada. Sa slika 3 i 4 može se uočiti da se faktor pojačanja sekcije ostvaruje putem negativne povratne sprege koju formiraju otpornici R_a i R_b . U ovom slučaju pojačanje ima vrednost $1+R_b/R_a$. Usvojena je fiksna vrednost otpornika R_b a vrednost R_a ostaje kao slobodni parametar. Isti uslovi važe i za Sellen-Key topologije kojima se realizuju LP i HP sekcije drugog reda.

Prilikom realizacije u obzir je uzeto i impedansno prilagođenje na željenu izlaznu otpornost. Prilagođenje je realizovano jednostavnim naponskim razdelnikom na izlazu poslednje sekcije filtra. Izlaznu otpornost filtra korisnik takođe može da bira kao slobodni parametar.

4. ALGORITAM SOFTVERA I KORISNIČKI INTERFEJS

Funkcionalnost i vizuelizacija AFP softvera je obezbeđena odgovarajućim MATLAB® skriptovima. Za razvojnu platformu izabran je MATLAB® iz razloga izuzetno dobre podrške kako za procenu kompleksnih matematičkih funkcija tako i za obradu dobijenih rezultata. Opšti dijagram toka izvršenja programa je prikazan na slici 6.

Izvršenje programa startuje izborom aproksimacionog metoda, tipa i gabarita filtra. Zatim se na osnovu izabranih ulaznih parametara proračunava minimalni red prenosne funkcije filtra za usvojeni tip aproksimacije.



Sl.6. Opšti dijagram toka izvršenja programa

U narednom bloku se formira aproksimaciona funkcija normalizovane LP prenosne karakteristike. Ovako dobijena funkcija se na dalje translira po frekvencijskoj osi kako bi se ispunili zahtevi propusnog/nepropusnog opsega. Tačnije bitno je ustanoviti odnos granica propusnog i ne propusnog opsega za izabrani tip filtra.

Nakon preslikavanja dobija se konačna prenosna funkcija filtra u faktorisanom obliku rasčlanjena na sekcije (videti (3)). Korisnik zatim može pozvati podprogram za crtanje Bodeovog dijagrama i vizuelno se utvrditi da li su zahtevi zadati gabaritima filtra ispunjeni. Kopletna informacija o dobijenoj prenosnoj karakteristici se štampa u tekstualni fajl *ls.txt* koji se kreira u lokalnom direktorijumu programa.

Ukoliko je korisnik zadovoljan osobinama prenosne karakteristike filtra može izabrati opciju proračuna komponenti za usvojene topologije sekcija. Kao slobodni parametri mogu se zadati vrednosti kondenzatora, otpornika u povratnoj sprezi (R_a) i izlazna otpornost filtra. Vrednosti proračunatih komponenti se beleže u tekstualni fajl *comp.txt* koji se takođe kreira u lokalnom direktorijumu programa.

Nakon potpunog proračuna pored informacije o dobijenom broju i tipu sekcija kao i vrednosti komponenti za pojedine sekcije korisnik ima i mogućnost ilustrativnog prikaza topologije filtra na šematskom nivou.

AFP softver poseduje i odgovarajući GUI (Graphical User Interface) korisnički interfejs. Interfejs je kreiran u MATLAB® GUIDE okruženju. Kako će AFP biti korišćen prevashodno u svrhe edukacije predviđen je jednostavan interfejs koji sam po sebi sugerise akcije koje korisnik treba da preduzme. Kreirani izvorni kod je prekompajliran korišćenjem MCR MATLAB® kompajlera. Na taj način dobijena je desktop, MS Windows, aplikacija prenosiva na druge mašine koje ne moraju da imaju kompletnu MATLAB® instalaciju. Ipak kako je sors kod pisan u MATLAB® skript

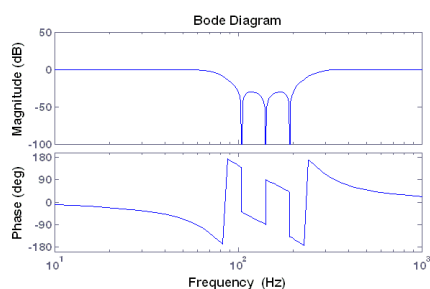
jeziku, neophodno je, na mašine koje ne poseduju kompletnu MATLAB[®] instalaciju, instalirati MCR (MATLAB Compiler Runtime) podršku. Praktično uz dobijeni izvršni fajl potrebno je distribuirati i *MCRInstaller.exe* ukoliko se radi o Windows operativnom sistemu. Primena aplikacije će biti ilustrovana kroz primer prikazan u narednom poglavlju.

5. REZULTATI

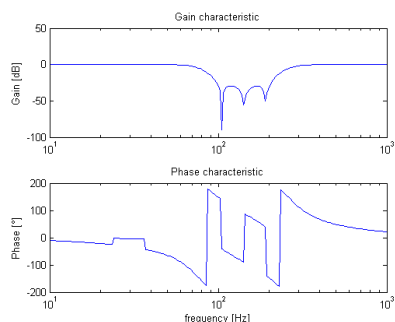
Rezultat rada je prezentovan kroz primer projektovanja jednog BS filtra. Zadatak se može formulirati na sledeći način. Prijektovati BS filter sa slabljenjem od maksimalno 1dB u propusnom i minimalno 30dB u nepropusnom opsegu filtra sa granicama propusnog opsega od 50Hz i 400Hz i granicama nepropusnog opsega od 100Hz i 200Hz, a pri tome koristiti inverznu Čebiševljevu aproksimacionu funkciju. Na osnovu zadatka mogu se identifikovati sledeći ulazni parametri za AFP: (1) Aproximaciona funkcija inverzna Čebiševljeva, (2) Tip filtra BS, (3) $a_{pass}=1\text{dB}$, $a_{stop}=30\text{dB}$ (4) $f_{pass1}=50\text{Hz}$ i $f_{pass2}=400\text{Hz}$, (5) $f_{stop1}=100\text{Hz}$ i $f_{stop2}=200\text{Hz}$. Nakon proračuna dobija se filter šestog reda čija je amplitudska i fazna karakteristika prikazana na slici 7. U amplitudskom odzivu može se uočiti talasnost u nepropusnom opsegu koja u ovom slučaju potiče od nula u prenosnoj karakteristici filtra.

Aplikacija predlaže realizacije pomoću tri sekcije topologija dvostruko „T“ (Twin-Tee) sa odgovarajućim elementima kola pri čemu su izabrane vrednosti slobodnih parametara: $C=10\text{nF}$, $R_a=10\text{k}\Omega$ i $R_{out}=10\text{k}\Omega$.

Nakon kreiranja SPICE netliste prema dobijenim rezultatima, ispravnost predloženog rešenja je verifikovana simulacijom. Za aktivnu komponentu izabran je operacioni pojačavač LT1001 proizvođača Linear Technology. Rezultat SPICE simulacije je prikazan na slici 8. gde se vidi da predloženi hardver uspešno obavlja odgovarajuću funkciju. Tačnije projektovani filter ukida frekvencije u opsegu od 100 do 200Hz sa slabljenjem signala od minimalno 30dB, a pri tome za frekvencije manje od 50Hz i veće od 400Hz ne slabi signal više od 1dB.



Sl.7. Amplitudska i fazna karakteristika projektovanog RC aktivnog filtra



Sl.8. Amplitudska i fazna karakteristika nakon SPICE simulacije predložene hardverske topologije

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prezentovana AFP softverska podrška projektovanju aktivnih analognih filtera. Komentarisani su implementirani matematički metodi za aproksimaciju idealne prenosne karakteristike filtra. Usvojene su i implementirane: Batervotova, Čebiševljeva, inverzna Čebiševljeva i Eliptička aproksimaciona funkcija. Neke od osnovnih osobina ovih funkcija kratko su komentarisane u odgovarajućem poglavlju.

Takođe su predstavljene neke od topologija za realizaciju analognih aktivnih filtera na bazi operacionih pojačavača. Kako se radi o PCB realizaciji ovde su izabrane one topologije koje su se u praksi pokazale kao najjednostavnije i najefikasnije po pitanju složenosti hardvera. Dakle AFP predlaže Sellen-Key topologije za realizaciju HP i LP prenosnih karakteristika prvog i drugog reda, dok se za BS predlaže aktivni dvostruko „T“ filter.

Dat je pregled algoritma i opcija korisničkog interfejsa. Ilustrovan je i opšti dijagram toka izvršenja programa, a pojedini blokovi ukratko komentarisani. Windows orijentisan korisnički interfejs je kreiran iz potrebe jednostavnijeg i lakšeg rada sa AFP softverom. Iz tog razloga smo se trudili da isti bude jednostavan i sugestivan. Takođe ostavljen je prostor za ugradnju novih opcija i funkcionalnosti kako u izvorni kod tako i u sam korisnički interfejs. Međutim, kako je već napomenuto, AFP je prvenstveno namenjen za edukaciju pa je trebalo napraviti odgovarajući kompromis između broja i složenosti opcija i jednostavnog korišćenja. Rezultati su prezentovani primerom projektovanja jednog analognog RC aktivnog filtra i uspešno verifikovani SPICE simulacijom.

LITERATURA

- [1] L. Thede, Practical analog and digital filter design, Architech House, Inc, Norwood, 2005, pp. 15-313.A.E. Bryson and Y.C. Ho, Applied Optimal Control, New York: Wiley, 1975.
- [2] M. Abramowitz, I.Stegun, eds., Handbook of Mathematical Functions, Dover Publications, Inc., New York, 1965.
- [3] R. Mancini, T. Kugelstadt, Op amps for everyone, chapter 16, Texas instruments, August 2002.
- [4] S. Soclof, Analog integrated circuits, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985., pp. 311-325.
- [5] V. Litovski, Osnovi Elektornike, Akademska misao, Beograd 2006., str. 405-408.
- [6] A. Jefry, Advanced engineering mathematics, HARDCOURT/ACADEMIC PRESS, 2002, pp. 1065-1077.

Abstract – One realisation of software support for analog active filters design is presented in this paper. Primarily, review of implemented approximation methods, and adopted filter topologies will be given. Some basic user interface options and algorithm of realised software will be commented to. Finaly, as a result, one example of analog RC active filter design using realised software will bi presented.

EDUCATIONAL SOFTWARE SUPPORT FOR ANALOG ACTIVE FILTERS DESIGN

Dejan Mirković, Dragiša Milovanović