

Poboljšanje spektralnih karakteristika signala primenom digitalnih filtara

Pavić Aleksandar

Sadržaj — U ovom radu prikazana je mogućnost primene digitalnih filtara u cilju poboljšanja spektralnih karakteristika složenih radarskih signala u osnovnom opsegu. Signal je realan i generisan je univerzalnim frekvencijskim sintezatorom *AD9854* na bazi DDS (*Direct Digital Syntesis*) tehnologije. Generisani signal je propušten kroz filtar propusnik opsega sa *Butterworth*-ovom karakteristikom koji je simuliran softverskim putem.

Ključne reči — *AD9854*, *Butterworth*-ova karakteristika, DDS, digitalni filtri, složeni radarski signal, spektralne karakteristike.

I. UVOD

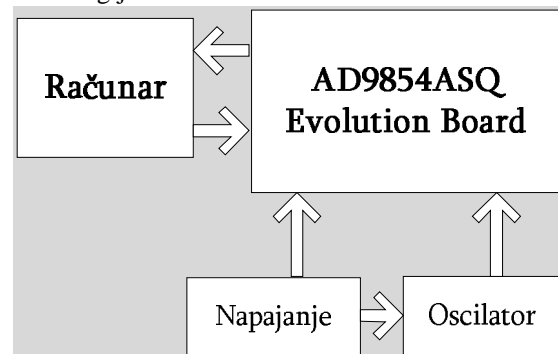
POZNAVAJUĆI karakteristike, kao i mogućnosti univerzalnih frekvencijskih sintezatora na bazi DDS tehnologije znamo da ovako generisani signali imaju mnogo bolje karakteristike u odnosu na neke sintezatore starije generacije. U nekim slučajevima potrebno je da imamo još bolje spektralne karakteristike signala na predaji, kao na primer u radarskoj tehnici, s obzirom da signal koji se vraća na radarski prijemnik ima bitno lošije karakteristike i zahteva kvalitetniji prijemnik, što samo po sebi drastično povećava cenu jednog takvog sklopa. Međutim postavlja se pitanje da li je moguće još na neki način poboljšati spektralne karakteristike signala ne samo sa aspekta sintezatora signala već i upotrebom nekih drugih metoda? Prilikom testiranja određenih softverski simuliranih filtara na signalima koji su generisani realnim sintezatorima uočeno je da pojedini filtri utiču na delimično poboljšanje spektralnih karakteristika signala, kao što je na primer odnos signal-šum.

U narednim pasusima ću detaljnije izožiti celi postupak ovog kratkog istraživanja. Biće prikazane karakteristike sintezatora signala, korišćenog filtra, teorijske osnove signala koji je generisan i na kraju će biti prikazan postupak testiranja, mogućnosti primene ovog rešenja, kratak zaključak kao i dalji pravci razvoja.

II. SINTEZATOR SIGNALA

Sintezator signala je realizovan na bazi DDS tehnologije. Razlog odabira ove tehnologije je višestruk. Prvo zato što pruža odlične performanse u odnosu na neke starije, a drugi je sama primena u modernim radarskim sistemima. Moderni radarski sistemi koji poseduju *solid*

state tehnologiju nezamislivi su bez DDS kola.



Sl. 1. Laboratorijski model sintezatora signala na bazi DDS tehnologije

DDS je tehnika za dobijanje analognog frekvencijskog signala iz jednog prostog taktovanog frekvencijskog izvora, digitalno kontrolisanog. Ova tehnika obezbeđuje visoku tačnost frekvencije; temperaturnu i vremensku stabilnost; promenu frekvencije u širokom propusnom opsegu; i veoma brzo podešavanje frekvencije sa kontinualnom fazom. Jedini važniji nedostatak je ograničen frekvencijski opseg.

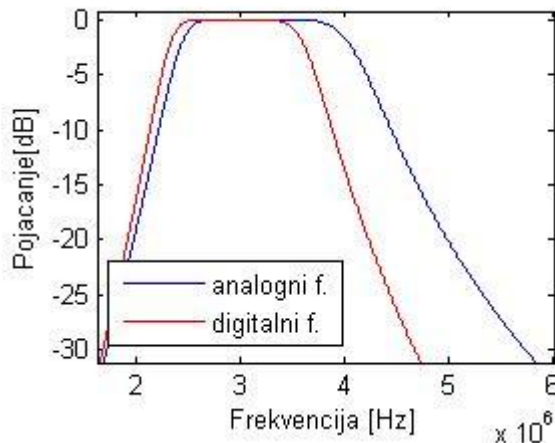
Na slici 1 prikazan je laboratorijski model sintezatora signala koji je korišćen za generisanje signala. Model je sastavljen od *AD9854ASQ* razvojnog okruženja, *ADLink 9810* akvizicijske kartice i računara sa određenim softverom. Najvažniji deo je *AD9854* čip kojim upravlja računar preko određene aplikacije. Programiranjem određenih registara kontrolišemo rad sintezatora. Inače ovim čipom može da se upravlja i posredstvom mikrokontrolera ili DSP-om (*Digital Signal Processor*). Ovaj model omogućava generisanje više vrsta složenih signala različito moduliranih. Osnovne karakteristike ovog DDS čipa su: maksimalni radni takt *300MHz*, bitska dužina frekvencijskog registra je 48 bita, rezolucija A/D konvertora je 12 bita i interno množenje je 4-20 puta [1].

III. DIGITALNI FILTAR

Mogućnosti današnjih softverskih paketa omogućavaju nam da simuliramo razne procese, signale, sisteme, određene elektronske komponente kao i digitalne filtre. Ovaj filtar je simuliran programskim paketom *Matlab*. Prilikom odabira pogodnog filtra za ovo testiranje uzeto je u obzir više parametara: amplitudska i fazna karakteristika, stabilnost, red i mogućnost praktične realizacije filtra. Važnost izgleda amplitudske karakteristike je pre svega bitna u propusnom opsegu filtra te je potrebno da bude što ravnija i da ima minimalno moguće talasanje da filtar ne bi

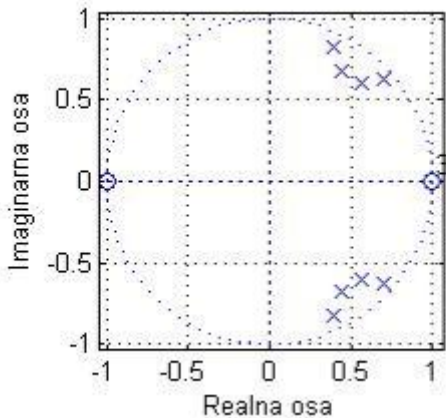
uticao na izgled ili stabilnost signala. Iz tog razloga je odabran filtar propusnik opsega sa *Butterworth*-ovom karakteristikom koji ispunjava prethodno navedene uslove. Ovaj filtar je realizovan tako što je prvo napravljen analogni filtar koji je kasnije upotrebom bilinearne transformacije konvertovan u digitalni. Važno je napomenuti da ovaj filtar i pored dobrih amplitudno-faznih karakteristika nije idealan i može da se zameni nekim drugim filtrom sličnih ili boljih karakteristika i prostije realizacije.

Na slici 2 vidimo amplitudske karakteristike oba filtra u delu propnog opsega. Plavom linijom je prikazana karakteristika analognog a crvenom karakteristika digitalnog filtra [2].



Sl. 2. Uporedni prikaz amplitudskih karakteristika analognog i digitalnog filtra

Analogni filtar je projektovan u skladu sa signalom koji se filtrira, tako da su granice propusnog opsega $F_{p1}=2,4MHz$ i $F_{p2}=4,1MHz$, sa slabljenjem $1dB$, dok su granice nepropusnog opsega $F_{n1}=0,9MHz$ i $F_{n2}=6MHz$, sa slabljenjem od $20dB$. Posle transformacije u digitalni filtar sa slike vidimo da je propusni opseg nešto uži u odnosu na propusni opseg analognog filtra. Na slici 3 prikazan je krug stabilnosti filtra sa koga vidimo da je filtar stabilan jer se svi polovi nalaze unutar kruga. Takođe vidimo i da je filtar osmog reda tako da je moguća realizacija istog.



Sl. 3. Krug stabilnosti filtra

IV. TEORIJSKE OSNOVE GERISANOG FSK SIGNALA

Za praktičnu proveru postavljene hipoteze iskorišćen je FSK signal modulisan čirpom, koji se vrlo često koristi u laboratorijskim ispitivanjima. Ovaj signal je prvi korišćen za kompresiju impulsa u radarskoj tehnici, kao i za razne druge primene. Matematički linearni čirp signal je opisan relacijom (1).

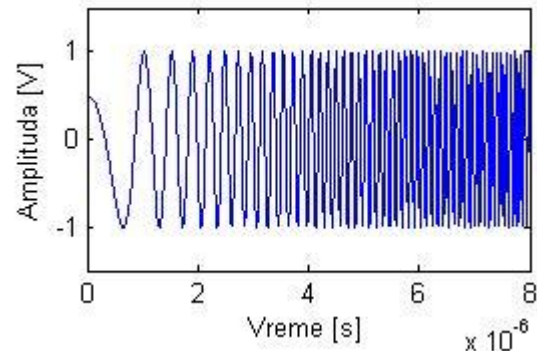
$$s(t) = \mu(t) e^{2\pi if_0 t} \tag{1}$$

$\mu(t)$ predstavlja normalizovanu obvojnici signala koja je opisana relacijom (2).

$$\mu(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{jk\pi t^2} \text{ za } |t| < \frac{T}{2} \tag{2}$$

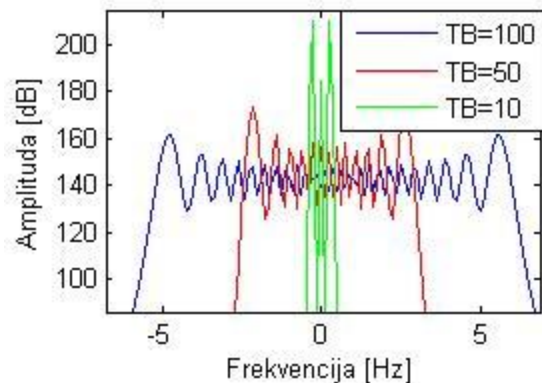
Koeficijent strmine $k=B/T$ određuje pravac promene frekvencije, gde B predstavlja opseg promene frekvencije a T vreme trajanja signala [3].

Na slici 4 prikazan je izgled linearnog čirp signala u vremenskom domenu. Možemo videti kako se vrši promena frekvencije po određenom linearnom zakonu od nule do maksimalne zadate frekvencije.



Sl. 4. Linearni čirp u vremenskom domenu

Izgled signala modulisanog čirpom u frekvencijskom domenu je vrlo promenljivog karaktera i uglavnom zavisi od TB proizvoda, što je i prikazano na slici 5. Povećanjem TB proizvoda pravougaoni izgled postaje sve izraženiji.



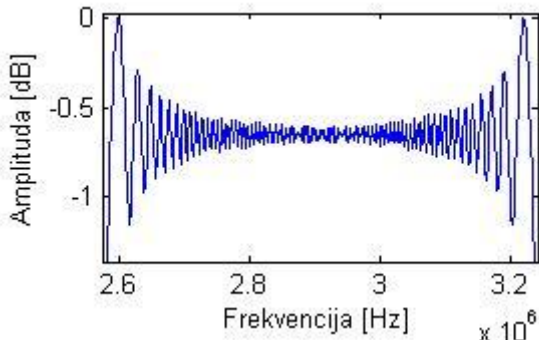
Sl. 5. Frekvencijski spektar čirp signala za različite TB proizvode

V. PRAKTIČNI REZULTATI

Praktična provera prethodno navedenih teorijskih postavki zahtevala je više faza rada.

Prva faza je predstavljala odabir i sintezu signala koji je korišćen za filtriranje. U ovoj fazi je postavljen

laboratorijski model sintezatora DDS signala. Generisan je diskretni čirp signal koji ima sledeće karakteristike: frekvencija odabiranja $F_s=20MHz$, početna frekvencija $f_p=2.6MHz$, krajnja frekvencija $f_k=3.2MHz$. Vidimo da je opseg promene frekvencija $B=0.6MHz$, trajanje signala $T=16.7\mu s$ i TB proizvod je deset, što čini realan signal u osnovnom opsegu. Frekvencijski spektar ovog signala je prikazan na slici 6.

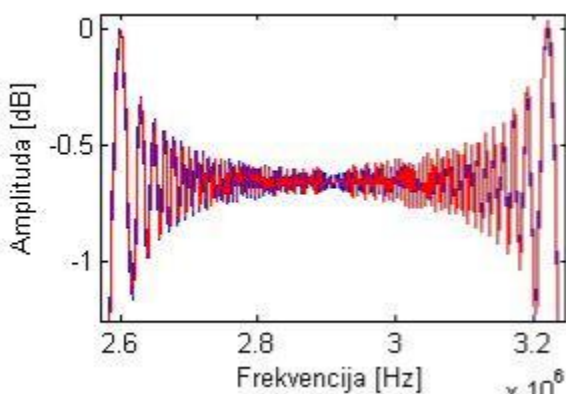


Sl. 6. Frekvencijski spektar generisanog diskretnog čirpa

Pošto je signal generisan i snimljen u obliku audio formata usledila je druga faza. Druga faza rada predstavlja odabir filtra adekvatnih karakteristika koji je softverski simuliran. Karakteristike filtra koji je softverski simuliran su već prikazane u drugom poglavlju a zatim su teorijskim proračunom proverene.

Treća faza rada je i najvažnija jer je u ovoj fazi izvršeno samo filtriranje signala i analizirane su spektralne karakteristike, posebno odnos signal-šum. Kao što se vidi iz karakteristika filtra, može se zaključiti da je ovde najvažnije ponašanje filtra u propusnom opsegu jer je on od većeg interesa u ovom istraživanju s obzirom da se ceo koristan signal nalazi u okviru njega.

Prilikom poređenja signala pre i posle filtriranja u frekvencijskom domenu mogle su se uočiti razlike u spektralnim karakteristikama signala. Prvo što može da se primeti je da filter nije uticao na izgled korisnog dela signala, amplitudski spektar signala je nepromenjen što je prikazano na slici 7. Ovo je direktno posledica ravne i stabilne *Butterworth*-ove aproksimacije u filtru.

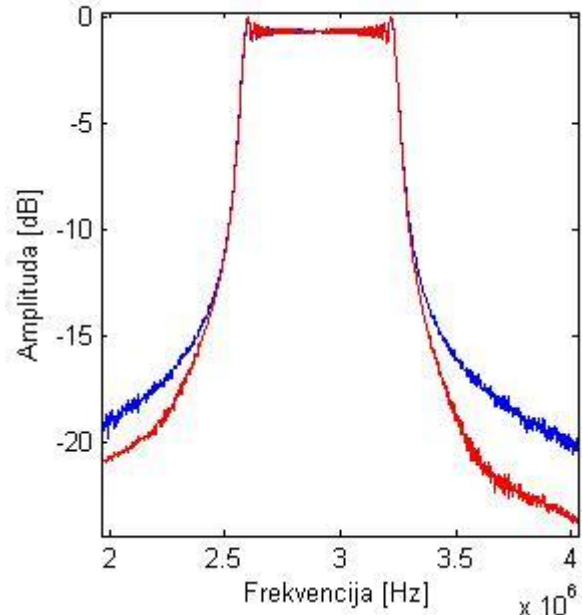


Sl. 7. Uporedni prikaz originalnog i filtriranog signala u frekvencijskom domenu

odnosi se na nivo šuma. Na slici 8 možemo videti da već na nivou oko $-15dB$ dolazi do pojave značajnog nivoa šuma. Iako je upotrebljen sintezator odličnih performansi šum se ipak javlja na vrlo visokom nivou. Intenzitet šuma se pojačava kako se udaljavamo od dela sa korisnim signalom. Međutim s obzirom da je ovo signal u osnovnom opsegu, spektralne karakteristike su sada najbolje. Posle množenja signala, *up* konverzije na veće frekvencije odnosno u RF oblast, ove spektralne karakteristike će se još drastičnije pogoršati, tj. nivo šuma će porasti dodatno i zbog lošijih karakteristika elektronskih komponenti u oblasti visokih frekvencija. Takođe tu treba dodati i pogoršanje karakteristika nastalih zbog greške DAC-a (*Digital to Analog Converter*) koji se nalaze u sklopu DDS sintezatora, kao i pojavu harmonika koji su posledica teoreme odabiranja [4].

Na slici 8 prikazan je uporedni prikaz originalnog (plava boja) i filtriranog signala (crvena boja). Ako pogledamo deo signala u kome dolazi do pojave šuma možemo primetiti da je došlo do određenog dodatnog potiskivanja šuma kod signala koji je filtriran. Tačnije šum vrlo malog intenziteta kod originalnog signala počinje da se javlja na nivou od $-14dB$, dok kod filtriranog signala na nivou od $-16dB$. Kako se spuštamo sve niže u oblasti gde je nivo šuma kod originalnog signala sve izraženiji tako je potiskivanje kod filtriranog signala sve veće.

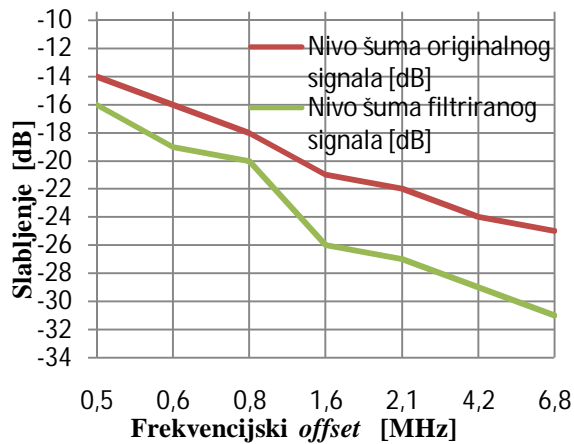
Pored smanjenja nivoa šuma takođe je primetno da se i intenzitet šuma smanjuje, odnosno filter vrši prigušenje nepotrebnog signala.



Sl. 8. Uporedni prikaz kreenja nivoa šuma

Na slici 9 grafički je prikazano kako se menja nivo šuma signala za različite frekvencijske *offset*-e u odnosu na centralnu frekvenciju korisnog signla $2,9MHz$. Crvena boja predstavlja promenu nivoa šuma originalnog signala a zelena promenu nivoa šuma filtriranog signala. Sa grafika vidimo da se nivo šuma dodatno smanjuje kako se povećava frekvencijski *offset* kod filtriranog signala.

Korekcija signala u sferi spektralnih karakteristika



Sl. 9. Grafički prikaz dodatnog povećanja potiskivanja šuma filtriranog signala

Pored prednosti ovoga filtra on ima i određene nedostatke. Prvo digitalni filtar ne može u potpunosti da isprati analogni filtar. Digitalni filtar ne deluje jednako sa obe strane gde su prelazi sa propusnog u nepropusni deo što uzrokuje da potiskivanje šuma nije isto sa leve i desne strane signala što vrlo jasno može da se vidi sa slike 8, vidimo da je nivo šuma dosta manje potisnut na levoj nego na desnoj strani signala.

VI. MOGUĆNOSTI PRIMENE

Mogućnost primene ovog rešenja je velika u sistemima koji zahtevaju vrhunski kvalitet i čistoću signala. Konkretno u radarskoj tehnici, kako u novim a posebno na nekim starijim radarskim sistemima blokovi koji su zaduženi za generisanje složenih radarskih signala stalno se unapređuju kako u smislu raznolikosti tako i u kvalitetu signala. Frekvencijski generatori starijih radara su realizovani tehnologijom koja je danas prevaziđena. Težnja da se pređe na *solid state* tehnologiju podrazumeva da je kompletan blok sastavljen od elektronskih komponenti vrhunskih performansi.

Većina modernih frekvencijskih generatora sadrži univerzalne frekvencijske sintezatore signala na bazi DDS tehnologije. Spektralne karakteristike generisanih signala mogu se unaprediti primenom digitalnih filtara. Prethodno je pokazano da ovi filtri daju određene rezultate, odnosno da poboljšava posebno odnos signal-šum.

Odabir filtra za ugradnju treba vršiti pre svega na osnovu opsega u kome se nalazi signal koji je potrebno filtrirati. Postoji širok spektar raznih filtara koji se mogu upotrebiti u zavisnosti od postavljenih zahteva. U nekim slušajevima postoji mogućnost ugradnje više filtara u zavisnosti od toga da li postoji jedan ili više signala na izlazu sintezatora. Ovakav filtar može da se ugradi kao samostalna komponenta ili da se integriše u blok već pri samom projektovanju bloka u zavisnosti od toga da li se

projektuje novi blok ili se unapređuje već postojeći. Svakako da je integracija u sistem pri projektovanju bolja varijanta i sa stanovišta kompatibilnosti i cene realizacije filtra. Naravno potrebno je da se ispita kako ugrađeni filtar utiče na poseban blok kao i na ceo sistem, kao i precena isplativosti ugradnje u odnosu na poboljšanje karakteristika celog sistema.

VII. ZAKLJUČAK

Ovaj rad pokazuje da postoje dodatne mogućnosti korekcije signala ne samo sa aspekta generatora, već i primenom raznih drugih metoda, kao što je u ovom slučaju korišćen filtar propusnik opsega. Na ovaj način spektralne karakteristike su poboljšane u osnovnom opsegu. Ovo je vrlo bitno u radarskoj tehnici jer je ovde potrebno da imamo signal što boljih spektralnih karakteristika u osnovnom opsegu, kako bi posle *up* konverzije u prostor poslali što kvalitetniji signal jer na prijemu pored korisnog signala koji je veoma izmenjen imamo i klater, odnosno nekoristan signal. Dalje istraživanje je potrebno usmeriti na ispitivanje delovanja ove metode i na druge spektralne karakteristike kao što je na primer pojava špurijusa i harmonika, kao i na signale koji su modulirani na drugi način. Potrebno je ispitati kako jedna ovakva modifikacija postojećeg ili nekog novog elektronskog bloka utiče na kompletan sistem. Takođe bi bilo poželjno ispitati kakve rezultate daju ovi filtri kada je izvršena *up* konverzija u oblasti mikrotalasnih signala.

LITERATURA

- [1] Datasheet za AD9854.
- [2] B. A. Sheno, "Introduction to Digital Signal Processing and Filter Design", Wiley Interscience, 2006.
- [3] S. Yakov, "Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection and Tracking", Artech House, 2002.
- [4] Y. Zhang, "RF/Microwave systems analysis for wideband radars/Remote sensing", University of Nebraska, 2003.

ABSTRACT

This paper presents the possibility of using digital filters in improvement of spectral characteristics of modulated radar signals in baseband without up conversion. Signal is real, generated by universal frequency generator AD9854 based on DDS (*Direct Digital Synthesis*) technology. Generated signal is filtered by band pass *Butterworth* filter which is simulated in a computer environment using appropriate software.

IMPROVEMENT OF SPECTRAL CHARACTERISTICS BY USING DIGITAL FILTERS

Pavić Aleksandar