

ATV - Radioamaterska televizija

Ureja: **Mijo Kovačević, S51KQ**, Cesta talcev 2/A, 3212 Vojnik, Telefon: 03 781-2210, <http://lea.hamradio.si/~s51kq>

Digitalna televizija - filtriranje (2. del)

Mijo Kovačević, S51KQ

V prvem sestavku uvoda v digitalno televizijo smo se na hitro seznanili z oblikami digitalnih modulacij in njihovimi osnovnimi značilnostmi. Tokrat nadaljujemo, tam kjer smo predhodno poglavje zaključili. Nadaljujemo s postopki filtriranja digitalnih signalov.

Filtriranje

V predhodnih primerih so se na grobo seznanili z različnimi oblikami digitalnih modulacij. Razen v primeru GFSK in GMSK, so bili vsi ostali tipi modulacij opisani kot nefiltrirani teoretični primeri moduliranja. V praksi bi uporaba teh modulacij brez filtriranja na oddaji povzročila zasedbo zelo širokega frekvenčnega spektra. Ostri prehodi iz enega v drugo stanje rezultirajo v visokih bočnih lisah oddajnega spektra. To pa nikakor ni zaželeno. In ker se jim moramo izogniti je filtriranje I in Q signalov nujno opravilo pred moduliranjem. Naloga filtriranja je, da odstrani neželene bočne produkte kar ima za posledico lepši oddajni spekter, oziroma boljšo spektralno učinkovitost, kot tudi kvalitetnejši digitalni signal. Za lažje razumevanje razlogov za filtriranje je na naslednjih slikah podan primer spektra nefiltriranega QPSK signala (slika 1) in spekter istega signala po filtriranju (slika 2). Sliki sta generirani na Agilent simulatorju Advanced Design System 1.5.

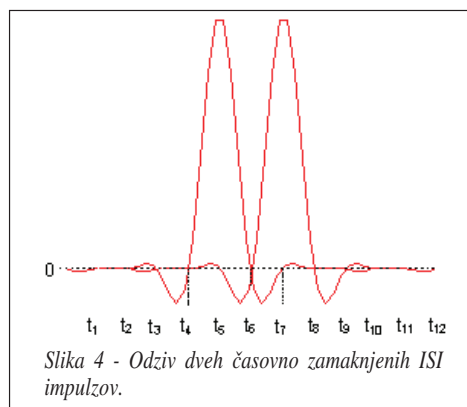
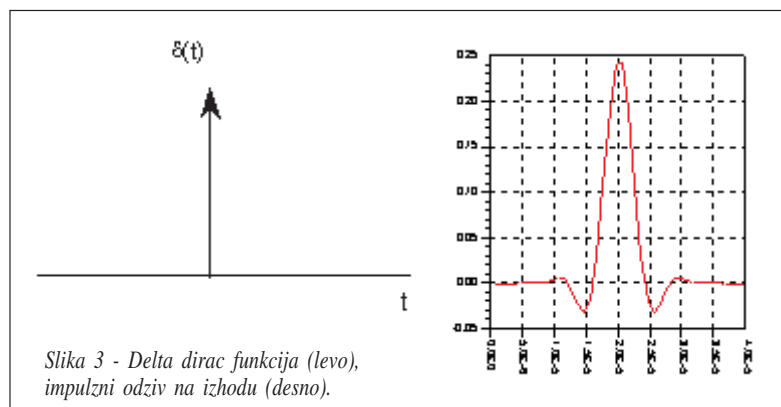
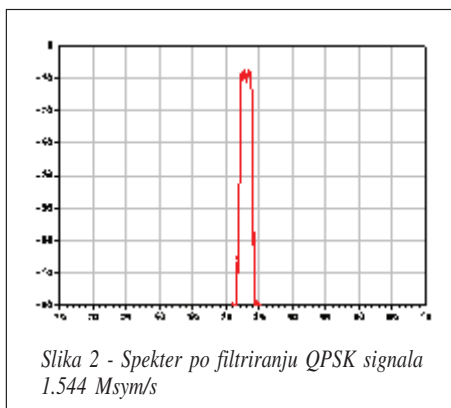
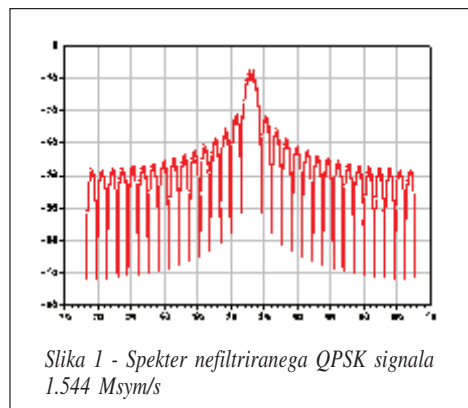
Kot je vidno iz obeh slik, je zelo pomembno, da sta I in Q signala filtrirana že pred I/Q modulacijo. Za uspešno rezanje neželenih bočnih lis pa je pomembno, da je filtriranje izvedeno zelo natančno. Nepravilno ali neprimerno filtriranje lahko celo privede do fenomena poznane kot "Inter Symbol Interference" (ISI), ki še dodatno pokvari celoten oddajni si-

gnal, kar ima za posledico povečano število bitnih napak. Inter Symbol Interference (ISI) je efekt, pri katerem vsak simbol vpliva na drugega v njegovi neposredni bližini. Da bi razumeli ISI, je potrebno vedeti vsaj nekaj osnov o filtriranju.

Večina nas povezuje filtre ali filtriranje le s frekvenčnimi karakteristikami filtra. Vendar pa so lastnosti filtra lahko opisane tudi kot razmerje med amplitudo in fazo glede na frekvenco. V tem primeru sta amplitudni in fazni odziv glede na frekvenco lahko vse od enosmerne (DC) pa do neskončnosti.

Drugi način da opišemo lastnosti filtra je, da gledamo njegove lastnosti glede na čas, namesto glede na frekvenco. Za primerjavo s frekvenčnim prikazom od DC do neskončnosti, prikaz časovnega odziva lahko dosežemo, če na vhod filtra pripeljemo tako imenovane 'unit' impulze. Lastnost teh impulzov so neskončna amplituda in širina 0. Matematični opis takšnega impulza so poimenovali 'delta dirac function'. Rezultat na izhodu filtra bo časovno odvisen signal, poimenovan 'impulse response' - impulzni odziv filtra. Z drugimi besedami, impulzni odziv filtra opisuje tudi lastnosti filtra. Na tretji sliki sta prikazana Delta dirac funkcija (levo), ter impulzni odziv na izhodu (desno). V digitalnih komunikacijah se uporabljajo posebni tipi filtrov, ki omogočajo učinkovito rezanje neželenih bokov pred I/Q moduliranjem in s tem preprečevanje preširoke zasedbe frekvenčnega spektra na oddaji. Te vrste filtrov so na splošno poznane kot Nyquist-ovi filtri. Pogosto so v uporabi Nyquist filtri z nazivom 'the raised cosine filters'. Ti imajo to lastnost, da je imajo nični prehod (zero crossing) impulznega odziva pri nazivni simbolni frekvenci. Tak efekt je prikazan na četrti sliki,

ki prikazuje odziv dveh časovno zamaknjenih impulzov. Simbolni časi so podani kot t_1 .. t_{12} . Oba odziva sta rezultat oddaje dveh ločenih ISI signalov. Če pogledamo med časovnimi koraki t_1 do t_{12} , lahko vidimo, da rezultirajoča amplituda ni enaka nič na časovnih točkah t_5 in t_7 . Na vseh ostalih časovnih točkah pa je amplituda enaka nič. Drži pa tudi, da ta trditev ne velja za vse ostale čase med različnimi simbolnimi časi. Kar pa ne predstavlja težave, saj se v digitalnih sprejemnikih sprejeti signal vzorči pri simbolnih časih med t_1 in t_{12} .



Glede na to pravimo, da Inter Symbol Interference poslabša - poškoduje lastnosti sistema s popačevanjem simbolov (blurred symbols). Raised cosine filtri so dobili tak naziv zaradi lastnosti frekvenčne karakteristike, ki sledi obliki dela cosinus funkcije. Pomemben parameter raised cosine filtra je faktor pretirane pasovne širine (rolloff factor), poimenovan tudi α . Ta faktor označuje pretirano pasovno širino digitalno moduliranega signala. Tako je skupno zasedena pasovna širina digitalno moduliranega signala določena s pasovno širino glavnega signala pomnoženega s faktorjem $(1+\alpha)$. Faktor ima vrednost med 0 in 1. V nekaterih primerih je predstavljen kot procentna vrednost (0 - 100%). Vrednost α pa določa zasedeno pasovno širino digitalnega signala. Manjša je α , manjša je pretirano razširjena pasovna širina. Optimalno pasovno širino je glede na to moč doseči le z uporabo zelo linearnih in večjih ojačevalnikov. V večini digitalnih komunikacijskih sistemov tega tipa je raised cosine filtriranje deljeno na dva dela. Prvi se nahaja v oddajni opremi, drugi pa v sprejemni verigi. Skupno pa je govora o prilagojenih filtrih (matched filters).

V praksi se raised cosine filtriranje izvaja z digitalnimi postopki (FIR filtriranje). Kar ima tudi prednost, saj lahko lastnosti filtra, kot tudi impulzne odzive preprosto spreminjamo, kot tudi simuliramo. To pa nikakor ni tako izvedljivo, če bi uporabili analogno izvedbo istega filtra. Naslednja prednost je ta, da se filtriranje izvaja direktno na pasovno širokih I in Q signalih. V analognem svetu se filtriranje izvaja običajno na VF delu signalne poti. Pri digitalnih komunikacijah bi to v večini primerov imelo za posledico popačitev lastnosti koristnega signala. Zaradi naštetih razlogov je filtriranje torej obvezno izvedeno na nivoju I/Q signalov pred VF moduliranjem. V primerih, kjer je potreba po analognem filtriranju digitalnega signala na VF nivoju, se uporabljajo Surface Acoustic Wave (SAW) filtri.

SAW filtri imajo lastnost zelo kratke skupinske zakasnitve (low group delay variation across the passband). Preproste komponente, kot naprimer helix fitri, pa za filtriranje digitalno moduliranih signalov niso uporabni, če želimo opraviti to delo korektno.

Za ponazoritev so bile izvedene meritve izhodnega signala sistema, ki je bil na VF izhodu filtriran s helix tipom pasovnega sita (bandpass). Meritev je bila opravljena z Agilent 89600 Vector Signal analyzerjem. Rezultat te meritve je podan na peti sliki. Slika prikazuje konstelacijski diagram, frekvenčni spekter in vektorski prikaz napak DQPSK signala filtriranega s pasovno propustnim helix sitom (bandpass) na VF izhodu.

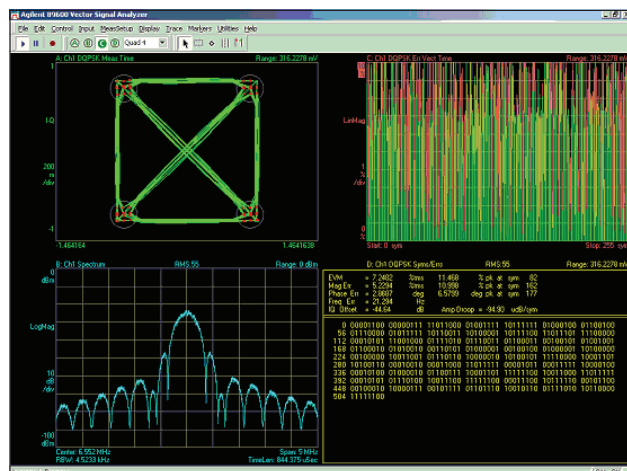
Za razumevanje prikazane slike potrebujemo krajšo razlago. V zgornjem levem vogalu je prikazan konstelacijski diagram Nicam DQPSK nosilca (digitalni audio podnosilec). Zelene povezave med točkami prikazujejo prehode VF nosilca med štirimi različnimi faznimi stanji. Rdeče pike v vogalih ponazarjajo simbole. Dejansko predstavljajo natančno izmerjeno fazo in kote pri določeni simbolni hitrosti. Kot je na sliki razvidno, se na vsaki izmed konstelacijskih točk nahaja po devet rdečih pik. Razlog za to je Inter Symbol Interference (ISI) zaradi neprimerne oziroma napačnega filtriranja. Kar je razumljivo, saj je bil na digitalnem enkoderju uporabljen analogni TOKO helix filter na VF izhodu. Sicer ta filter zares filtrira izhod, vendar pri digitalni modулaciji le delno. To pa je daleč od lastnosti bolj primernega Nyquist filtra, ki ne povzroča ISI težav. Gornji desni vogal prikazuje razmerje med vektorskimi napakami (EVM) in časom, kar je osnovna predstavitev kvalitete digitalno moduliranega signala. V dobro konstruiranem sistemu je EVM v mejah enega samega procenta. Na našem diagramu pa je vidno, da je povprečni EVM v konkretnem primeru med 7-8%, in to je slabo. V spodnjem levem vogalu je prikazan frekvenčni spekter. Tudi ta nas močno zanima. In kot je vidno osnovni signal vsebuje veliko število neželenih bočnih lis. To pa lahko, oziroma je potrebno izboljšati z uporabo bolj primernega filtriranja. Na srečo ima QPSK modulacija to prednost, da je relativno neobčutljiva za napake modulacije višje ga rodu na oddaji, in zato gornji signal ne bi povzročil ekstremnega poslabšanja kvalitete signala. Vsekakor pa dober, tudi profesionalni QPSK modulator potrebuje primerno filtriranje. To pa bo rezultiralo v veliko bolj kvalitetnem signalu, oziroma razmerju signal / šum. Pri digitalni televiziji to lahko pomeni kvaliteten sprejem tudi pri izjemno nizkih nivojih signala. V današnjem času pa se ponujajo nove in nove možnosti za izdelavo primerenih digitalnih modulatorjev. Za razvojne potrebe sta PE1JOK in PE1OBW opravila tudi nekatere meritve na digitalnem modulatorju z enojnim integriranim vezjem, ki uporablja pravilno filtriranje. Rezultat meritve je prikazan na šesti sliki.

Rezultati te meritve dokazujejo, da je vrednost neželenega ISI padla na nič. Tudi simboli v vogalih so sedaj pravilno združeni na eno samo točko v vsakem vogalu, za razliko od predhodnega primera z nepravilnim filtriranjem, kjer je bilo v vogalih po devet rdečih točk. Prav tako je Error Vector Magnitude (EVM) sedaj precej boljši in je njegovo povprečje pod 1% napak. Kot končni rezultat pa je frekvenčni spekter veliko lepši - čistejši (levo spodaj). Lahko bi rekli, da je skoraj idealen. Torej, dobro in pravilno filtriranje I in Q signalov je nujno potrebno za optimalno delovanje digitalnega modulatorja.

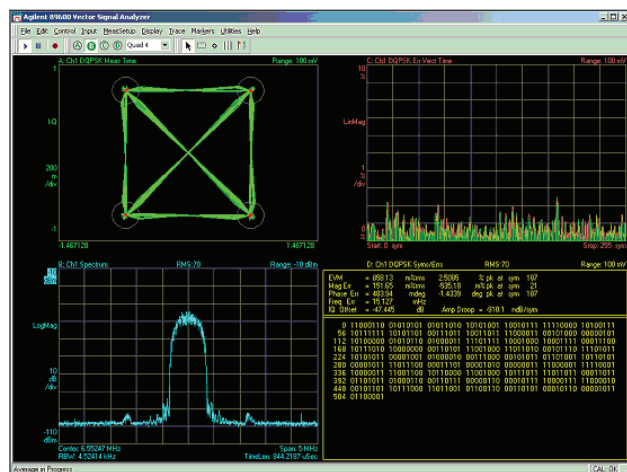
V praksi je filtriranje digitalne modulacije izvedeno na baseband nivoju. Digitalni I in Q signali so prečiščeni z neke vrste Root Raised Cosine filtriranjem, kot je bilo omenjeno že prej. To filtriranje je v digitalnih vezjih moč relativno preprosto realizirati. Pri tem pa so Finite Impulse Response (FIR) filtri pravišnji za takšno opravilo. Glavni parameter Root Raised Cosine filtra je faktor ' α ' - razširjena pasovna širina filtra. α ima velik vpliv na spektralno učinkovitost, kot tudi na potrebno linearnost v oddajni verigi. Nižji kot bo α , ožja bo spektralna zasedba in z njo boljša spektralna učinkovitost. Pri tem pa ima zaradi višjih vrhnjih vrednosti nosilca to velik vpliv na potrebno dinamično območje in linearnost stopenj v oddajni verigi, kar bomo spoznali v nadaljevanju, ki bo objavljeno v naslednji številki CQ ZRS.

Reference

- (1) "The future of Amateur television" 2002/03
Henk Medenblik, PE1JOK; Werner, PE1OBW
- (2) "Digital Amateur TV" 2001
Thomas Sailer, HB9JNX/AE4WA; Stefan Reimann, DG8FAC



Slika 5 - DQPSK signal filtriran s pasovno-propustnim sitom na VF izhodu.



Slika 6 - DQPSK signal modulatorja s pravilnim I/Q filtriranjem.