

ANALIZA TELEKOMUNIKACIONIH SIGNALA I SISTEMA POMOĆU PERSONALNOG RAČUNARA

Vujo Drndarević, Dragutin Kostić, Nenad Jevtić
Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: *U radu je dat pregled novih tehnika i softverskih alata koji se koriste u analizi telekomunikacionih signala i linearnih sistema u frekvencijskom domenu. Na bazi izvršenih analiza predložena su praktična rešenja hardverske osnove i programske podrške savremenih PC baziranih mernih sistema pogodnih za primenu u oblasti telekomunikacija. U radu su dati rezultati merenja koja su izvršena sa nekim od predloženih mernih sistema.*

Ključne reči: *Spektralni analizator, brza Fourierova transformacija, personalni računar, merenja*

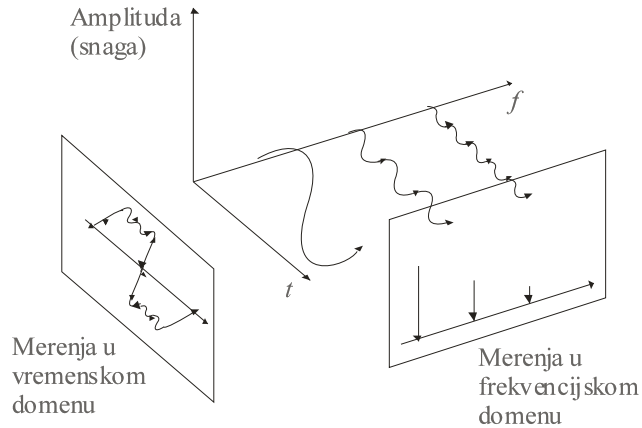
1. Uvod

Većina komunikacionih prenosnih sistema i elemenata predajnika i prijemnika mogu se posmatrati kao linearni vremenski invarijantni sistemi. To znači da se dobro poznate tehnike i alati koji se koriste u analizi linearnih sistema mogu uspešno primeniti i u analizi telekomunikacionih sistema. Ove analize, uključujući i praktična merenja, mogu se sprovesti u vremenskom ili u frekvencijskom domenu.

Uobičajeno je da se prikaz signala ili ponašanja sistema vrši u vremenskom domenu. Za prikaz električnih signala najčešće se koristi osciloskop. Pomoću osciloskopa moguće je prikazati vremensku promenu signala. Premda vremenski prikaz signala pruža dragocene informacije kako o signalu tako i o sistemu preko koga se vrši prenos, on ne daje kompletnu sliku o posmatranom signalu. Npr. za signal koji na osciloskopu ima oblik čiste sinusoidne moglo bi se reći da nije izobličen tj. da ne sadrži više harmonike. Međutim, ako se ovakav signal analizira pomoću spektralnog analizatora može se zapaziti da on pored osnovne komponente, često sadrži i više harmonike.

Analiza signala u frekvencijskom domenu zastupljena je u mnogim delatnostima a da toga često nismo ni svesni. Npr. kada lekar pomoću stetoskopa osluškuje rad srca njegova pažnja je usredsređena na neobične zvuke, na zvučne signale određene učestanosti koji govore o problemima u funkcionisanju srca. I iskusan automehaničar koristi slične metode. Istrošenost kugličnih ležajeva na točkovima automobila može se pouzvano utvrditi na osnovu zvuka karakteristične frekvencije koji se tom prilikom javlja. Frekvencijska analiza signala intenzivno se koristi u ispitivanju mehaničkih

konstrukcija i akustičkih sistema. Dakle, može se reći da frekventijski domen nije ništa neobičniji od vremenskog, jedino se ređe koristi ovakav način prikazivanja signala. Na slici 1 ilustrovan je vremenski i frekventijski prikaza signala.



Slika 1. Prikaz signala u vremenskom i frekventijskom domenu

Mnogi telekomunikacioni sistemi su inherentno frekventijski orijentisani. Neki telekomunikacioni sistemi koriste frekventijsku raspodelu kanala (*Frequency Division Multiplexing*, FDM) ili frekventijsku raspodelu sa višestrukim pristupom (*Frequency Division Multiple Access*, FDMA). U ovakvim sistemima, kao što je npr. mobilna telefonija, korisnicima se dodeljuju različite frekvencije za prijem i slanje. Radio stanice koriste FDM raspodelu tako da svaka stanica u određenoj geografskoj oblasti zauzima određeni frekventijski opseg. Ovakvi sistemi se očigledno moraju analizirati u frekventijskom domenu. Još jedna očigledna prednost merenja u frekventijskom domenu odnosi se na mogućnost redukovanja šuma. Naime, sužavanjem frekventijskog opsega u kome se vrši merenje redukuje se nivo šuma, imajući u vidu da se najčešće radi o prisustvu tzv. belog šuma, koji je uniformno raspodeljen na svim frekvencijama.

Na osnovu spektralne analize signala moguće je odrediti frekventijski sastav signala, tj. amplitudski i fazni spektar signala. Korišćenjem ovih rezultata može se doći do drugih mernih funkcija kao što su spektar snage, spektar unakrsne snage, impulsni odziv, modulacija, ukupno harmonijsko izobličenje, frekventijski opseg koji zauzima signal, stabilnost signala, izlazna snaga, intermodulaciono izobličenje, odnos nosećeg signala i šuma i dr. parametara signala i telekomunikacionog sistema.

2. Teorijske osnove

Dobro je poznato da se periodičan signal $x(t)$ sa periodom T_0 koji zadovoljava Dirichletove uslove može predstaviti Fourierovim redom:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n e^{j2\pi nt / T_0}, \quad (1)$$

pri čemu su sa x_n označeni koeficijenti Fourierovog reda koji su određeni sledećim izrazom:

$$x_n = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) e^{-j2\pi nt/T_0} dt . \quad (2)$$

Za numeričko iznalaženje Fourierove transformacije kontinualnog signala potrebno je signal diskretizovati u vremenu, pa potom kvantizovati svaki odmerak. Imajući u vidu da se izračunavanje može izvršiti za konačan broj diskretnih vrednosti frekvencije, dobijeni frekvencijski spektar će takođe biti diskretan.

Pri numeričkom računanju mora se operisati sa konačnim vrednostima. To znači da broj odmeraka signala $x(t)$ i broj diskretnih vrednosti odgovarajuće Fourierove transformacije $X(\omega)$ mora biti ograničen. Drugim rečima, račun se može primeniti na vremenski ograničene signale, a ako ovaj uslov nije ispunjen onda se analiza sprovodi na delu signala ograničenog trajanja. Isti zaključci odnose se i na spektar $X(\omega)$.

Da bi došli do veze između odmeraka signala $x(t)$ i diskretnog spektra $X(\omega)$ posmatraćemo signal ograničenog trajanja T (slika 2a). Pretpostavimo da je signal $x(t)$ odmeravan svakih T_s sekundi. Ukupan broj odmeraka u intervalu T je:

$$N = \frac{T}{T_s} . \quad (3)$$

Ako se u izrazu za Fourierovu transformaciju signala $x(t)$:

$$X(\omega) = \int_0^T x(t) e^{-j\omega t} dt , \quad (4)$$

vrši numeričko izračunavanje integrala, onda se može pisati:

$$X(\omega) = \lim_{T_s \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{N-1} x(kT_s) e^{-j\omega k T_s} T_s . \quad (5)$$

Diskretne vrednosti spektra nalaze se na rastojanju $\omega = 2\pi/T$. Na osnovu jednačine (5) r -ti odmerak spektra $X_r = X(r\omega)$ jednak je:

$$X_r = \sum_{k=0}^{N-1} T_s x(kT_s) e^{-j\omega r T_s k} , \quad (6)$$

odnosno:

$$X_r = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-jr\Omega k} , \quad (7)$$

pri čemu je:

$$x_k = T_s x(kT_s), X_r = X(r\omega), \Omega = \omega T_s . \quad (8)$$

Jednačina (7) predstavlja traženu vezu odmeraka signala i frekvencijskog spektra. Pri dolasku do gornje relacije pretpostavili smo da $T_s \rightarrow 0$. Pri numeričkom računanju ovaj zahtev ne može biti ispunjen jer bi se vreme računanja neograničeno produžilo. Zbog toga T_s treba da bude prihvatljivo malo. Naravno, konačna vrednost T_s uneće grešku u izračunavanju.

Na osnovu jednačine (7) lako se pokazuje da su odmerci X_r periodični, pri čemu je $2\pi/\Omega$ perioda odmeraka spektra. Takođe, vidi se da je odmerak X_r određen preko N nezavisnih odmeraka x_k . To znači da je:

$$N = \frac{2\pi}{\Omega} = \frac{2\pi}{\omega T_s} = \frac{2\pi N}{\omega T} , \quad (9)$$

te je:

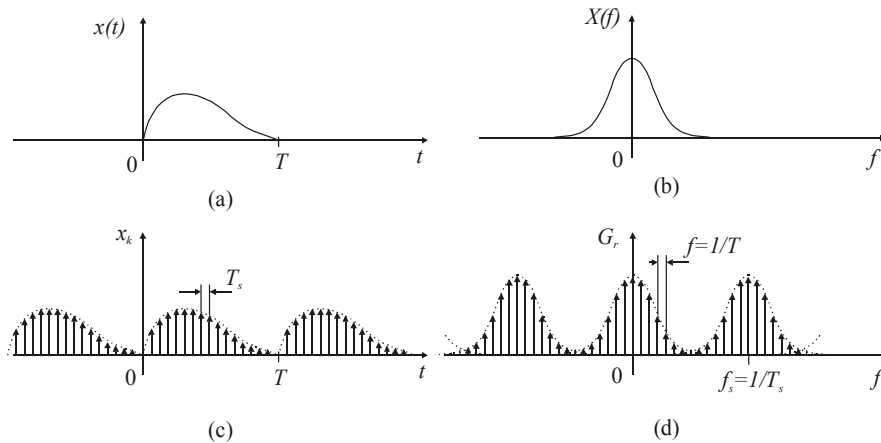
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ i } f = \frac{1}{T}, \quad (10)$$

što govori da se rastojanje diskretnih vrednosti spektra ili spektralna rezolucija f može menjati promenom intervala T u kome se posmatra vremenski signal $x(t)$.

Polazeći od (7) može se doći do inverzne relacije [1]:

$$x_k = \frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} X_r e^{jk\Omega r}. \quad (11)$$

Diskretna Fourierova transformacija (DFT) data jednačinom (7) i inverzna diskretna Fourierova transformacija (IDFT), koja je data jednačinom (11), obrazuju Fourierov transformacioni par. Sekvence x_k i X_r su periodične sa periodom koja iznosi N odmeraka. To znači da se x_k ponavlja svakih T sekundi a X_r sa periodom $f_s = 1/T_s$. Perioda odmeravanja x_n je T_s , dok je interval odmeravanja X_r jednak f , kao što je pokazano na slikama 2c i 2d.



Slika 2. Kontinualni vremenski signal $x(t)$ (a) i odgovarajući Fourierov spektar (b); Odmerci vremenskog signala x_k (c) i odgovarajući diskretni frekvencijski spektar (d)

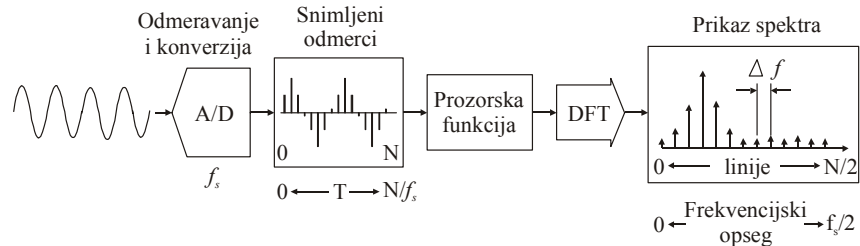
3. Analiza signala u frekvencijskom domenu

Spektar X_r dobijen primenom DFT transformacije je periodična funkcija sa periodom N . Za prikaz spektra potrebno je odrediti vrednosti X_r tokom jedne periode. Isto važi i za periodičnu funkciju x_k . Uobičajeno je da se izračunavanja vrše u opsegu $(0, N-1)$ za X_r , odnosno u opsegu $(0, T)$ za x_k . Postupak spektralne analize na bazi DFT transformacije ilustrovan je na slici 3.

Kada se posmatraju realni signali onda je odgovarajući frekvencijski spektar simetričan oko nule. To znači da je spektar negativnog frekvencijskog opsega u informacionom smislu redundantan. Zbog toga je uobičajeno da se prikaz rezultata frekvencijskih merenja vrši samo za pozitivne frekvencije.

Imajući u vidu da jednu polovinu energije signala nose spektralne komponente iz opsega negativnih učestanosti a drugu polovinu komponente iz opsega pozitivnih

učestanosti, ako se prikaz spektra vrši samo u opsegu pozitivnih učestanosti onda treba amplitude spektralnih komponenti pozitivnih učestanosti pomnožiti sa 2, a komponente spektra koje odgovaraju negativnim učestanostima odbaciti.



Slika 3. Spektralna analiza na bazi DFT transformacije

Imajući u vidu da je X_r kompleksna veličina, tj.

$$X_r = X_{rr} + jX_{ri}, \quad (12)$$

pri čemu je sa X_{rr} označena realna a sa X_{ri} imaginarna komponenta amplitude, amplitudski spektar se izračunava na sledeći način:

$$|X_r| = \sqrt{X_{rr}^2 + X_{ri}^2}, \quad (13)$$

a fazni spektar je definisan na sledeći način:

$$\theta \angle X_r = \tan^{-1} \frac{X_{ri}}{X_{rr}}. \quad (14)$$

Spektar snage određen je proizvodom:

$$P_r = X_r X_r^* = |X_r|^2, \quad (15)$$

dok je spektralna gustina snage data izrazom:

$$S_r = \frac{P_r}{\Delta f}. \quad (16)$$

Merenje spektra snaga omogućuje da se odredi kolika je snaga signala na određenoj učestanosti. Ovo merenje predstavlja najčešći tip merenja koje se obavlja u frekvencijskom domenu. Spektar snage prikazuje kvadratnu vrednost amplitudskog spektra. Informacija o fazi se gubi tokom ove obrade signala, tako da se spektar snage ne može koristiti u slučajevima kada je važna informacija o fazi.

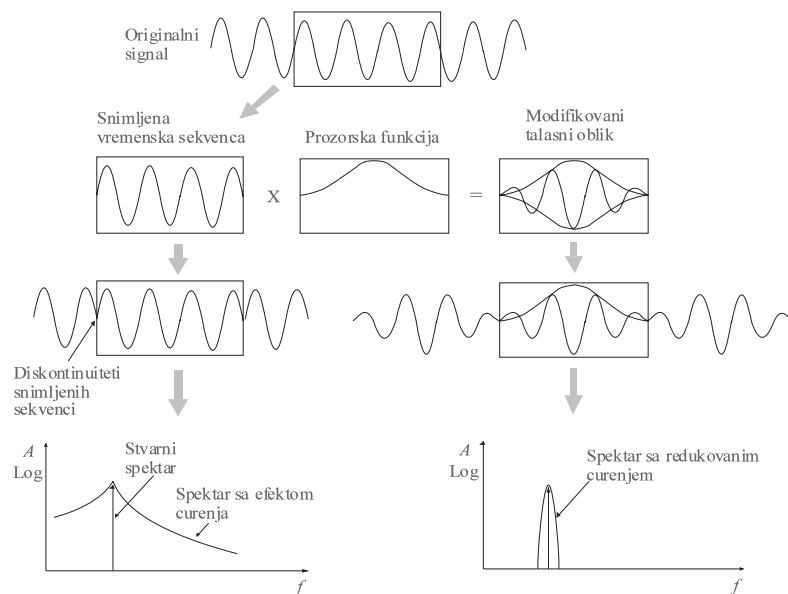
Ako se zahteva poznavanje energije unutar opsega frekvencija, onda je pogodno koristiti spektralnu gustinu snage. Spektar gustine snage pokazuje kako je energija signala raspoređena u opsegu učestanosti. Ovaj tip spektra koristan je pri merenju energije signala pomešanog sa šumom.

4. Praktični aspekti DFT analize signala

Sada se možemo vratiti korak unazad i analizirati posledice ograničenja trajanja vremenske sekvence signala $x(t)$ koji je podvrgnut DFT analizi. Ako se ograniči trajanje signala onda je frekvencijski opseg spektra $X(\omega)$ neograničen. Zbog toga, kao što se vidi sa slike 2d, dolazi do preklapanja spektralnih komponenti periodičnog spektra X_r , što dovodi do greške. Uzrok ove greške je dobro poznati alijasing efekat. Redukovanje

preklapanja komponenti periodičnog spektra X_r , koji se ponavlja svakih f_s Hz, može se postići povećanjem učestanost odmeravanja f_s . Ova greška je dakle direktna posledica ne ispunjavanja uslova $Ts \rightarrow 0$.

Izračunavanje inverzne diskretne Fourierove transformacije prate slične teškoće. Ako je frekvencijski opseg $X(\omega)$ ograničen onda $x(t)$ nije vremenski ograničena funkcija, tako da dolazi do preklapanja odmeraka vremenske funkcije, tj. do alijasinga u vremenskom domenu. Greška usled preklapanja vremenskih odmeraka signala može se redukovati ako se poveća interval T . To je ekvivalentno smanjenju frekvencijske rezolucije f , koja je obrnuto proporcionalna intervalu T . Međutim, ako opseg spektra $X(\omega)$ nije ograničen, on se mora ograničiti. Na taj način unosi se dodatna greška u izračunavanje x_k . Ograničenje frekvencijskog opsega signala, pa samim tim i redukovanje preklapanja odmeraka signala, postiže se uvođenjem prozorske funkcije, kao što je pokazano na slici 4 [2].



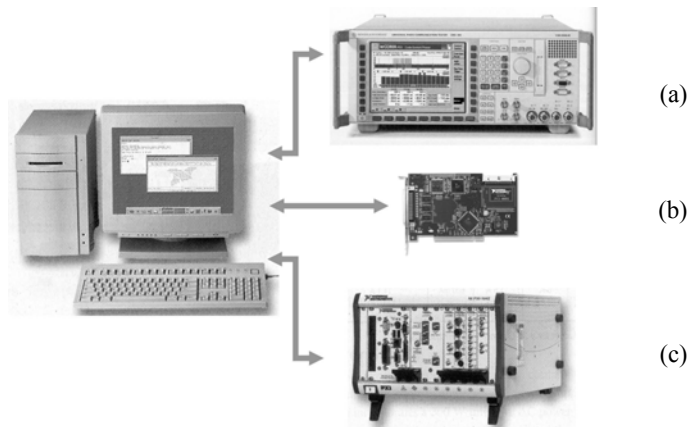
Slika 4. Ilustracija postupka redukovanja curenja spektra modifikovanjem snimljenog talasnog oblika signala pomoću prozorske funkcije

Za izračunavanje jednog odmerka diskretnog spektra X_r , korišćenjem diskretne Fourierove transformacije (jednačina 7) potrebno je obaviti N množenja i $N-1$ sabiranja kompleksnih veličina, što znači da je za izračunavanje N vrednosti X_r , potrebno N^2 množenja i $N(N-1)$ sabiranja kompleksnih brojeva. Ako je N veliki broj, vreme za potrebno računanje postaje neprihvatljivo dugo i kada su na raspolaganju savremeni brzi računari. Broj izračunavanja pri obavljanju diskretne Fourierove transformacije može se drastično redukovati korišćenjem algoritma koji su prvi predložili Tukey i Cooley [3] i koji je poznat kao brza Fourierova transformacija (*Fast Fourier Transform* – FFT). Ovim algoritmom broj izračunavanja se sa N^2 redukuje na $N \log N$. Dodatna pojednostavljena u izračunavanju postiže se ako N predstavlja stepen broja 2 [1].

5. PC bazirani analizatori spektra

Ako se personalnom računaru doda odgovarajući hardver i obezbedi potrebna softverska podrška, on se može transformisati u kvalitetan, fleksibilan i ekonomičan merni sistem pomoću koga se mogu rešavati mnogi problemi merenja, analize signala i podataka, kao i problemi automatskog upravljanja. Ovako koncipiran instrument, koji predstavlja harmoničan spoj hardvera i softvera, odlikuje se kvalitetom koji je svojstven klasičnom autonomnom mernom uređaju i fleksibilnošću personalnog računara. PC bazirani instrumenti često se nazivaju virtuelni instrumenti [4].

Postoji više mogućnosti da se dođe do mernog sistema na bazi personalnog računara pogodnog za analizu telekomunikacionih signala i sistema (slika 5).

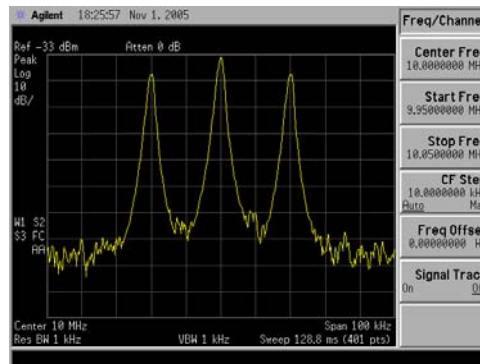


Slika 5. Realizacije PC podržanih mernih sistema pogodnih za analizu telekomunikacionih signala i sistema korišćenjem: (a) klasičnih laboratorijskih mernih instrumenata, (b) PC kompatibilnih digitalizatora signala i (c) PXI modularne instrumentacije

Do fleksibilnog sistema za automatizovano merenje i testiranje može se doći povezivanjem standardne programabilne laboratorijske instrumentacije sa PC računarom. Posebna prednost ovakvog koncepta ogleda se u mogućnosti realizacije složenih računarski upravljanih mernih sistema sa automatizovanom obradom rezultata merenja koji omogućuju raznovrsnu primenu dobijenih rezultata (prikaz, štampanje, memorisanje, slanje na udaljenu lokaciju i dr.). Za povezivanje sa računarom programabilni instrument raspolaze standardnim IEEE-488, RS-232 ili USB interfejsom. Na slici 6 prikazan je spektar snage AM signala dobijen pomoću spektralnog analizatora Agilent E4411B

Sve prednosti koncepta virtualne instrumentacije dolaze do punog izražaja ako se merni sistem realizuje korišćenjem po ceni veoma ekonomičnih akvizicionih kartica. Za analizu telekomunikacionih signala zanimljive su akvizicione kartice za digitalizaciju analognog signala. Na tržištu je prisutan veliki broj digitalizatora signala frekvencijskog opsega od nekoliko desetina kHz pa do nekoliko stotina MHz [5]. Povezivanje ovakvih kartica sa PC računarom vrši se njihovim postavljanjem u slobodan PCI slot PC računara. Na slici 7a dat je primer spektra AM signala koji je dobijen pomoću PC baziranog

spektralnog analizatora pri čemu je za digitalizaciju signala korišćena akviziciona kartica PCI-6025E.



Slika 6. Spektar snage AM signala dobijen korišćenjem spektralnog analizatora Agilent E4411B

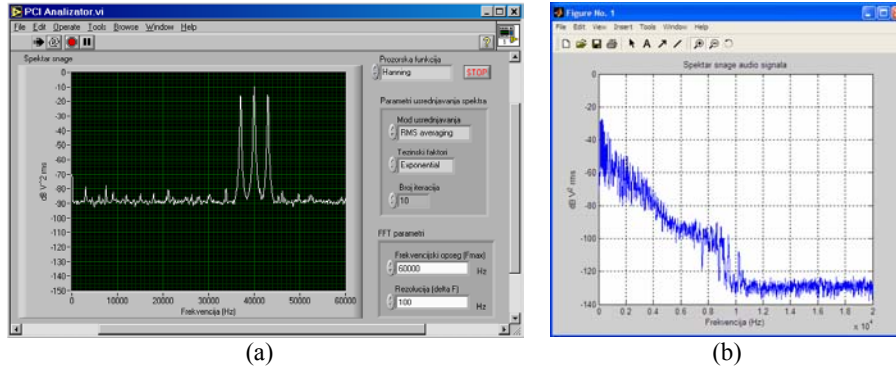
Za realizaciju usavršenih mernih sistema razvijena je modularna VXI instrumentacija (*VME eXtensions for Instrumentation*). Ovaj koncept prerastao je u opšteprihvećeno kvalitetno i ekonomično rešenje za modularne instrumentacione sisteme poznato pod skraćenicom PXI (*PCI eXtensions for Instrumentation*). PXI instrumentacioni moduli postavljaju se u odgovarajuću šasiju (slika 5). Jedan od modula može biti i sam PC računar sa svim potrebnim resursima (hard disk, interfejsi za perifere jedinice i dr.) ili se veza šasije u kojoj se nalaze moduli sa PC računarom ostvaruje preko kontrolera PXI magistrale posredstvom standardne instrumentacione magistrale IEEE-488 ili brze serijske magistrale kakva je npr. IEEE-1394 (*Firewire Bus*). U poslednje vreme nude se rešenja za povezivanje PC računara i instrumentacionih modula putem optičkih kablova.

Kao zanimljiv primer PXI sistema za analizu telekomunikacionih signala i sistema može da posluži analizator RF signala proizvodnje National instruments [6]. Pomoću ovog analizatora može se vršiti frekvencijska i vektorska analiza RF signala u opsegu od 9 kHz do 2.7 GHz. Ovako širok merni opseg postiže se korišćenjem konverzije spektralnog sadržaja signala iz navedenog opsega u opseg od 20 MHz u kome se vrši digitalizacija.

Paralelno sa razvojem hardvera razvijaju se softverski alati pogodni za obezbeđenje mernih i upravljačkih funkcija PC baziranih sistema koji se mogu koristiti i u analizi telekomunikacionih signala i sistema. Pored mogućnosti da se FFT algoritam implementira korišćenjem nekog klasičnog programskog jezika, ova funkcija je raspoloživa u većem broju savremenih programskih alata kao što su LabView i LabWindows/CVI [6], ili MATLAB.

LabView predstavlja grafički orijentisano programsko okruženje pogodno za brzi razvoj virtualne instrumentacije. Program sadrži veliki broj funkcija za obradu signala uključujući FFT transformaciju i druge funkcije za analizu signala u frekvencijskom domenu. Zahvaljujući inženjerskoj orijentaciji ovog programskog paketa kreiranje programa aplikacija za akviziciju signala kao i izračunavanje i prikaz

spektralnih karakteristika relativno je jednostavno. LabView raspolaže gotovim programima za određivanje spektra signala što korisnike programskog paketa oslobađa potrebe za poznavanjem detalja matematičkog aparata koji se koristi pri izračunavanju FFT transformacije. Na raspolaganju je veći broj prozorskih funkcija realizovanih u okviru FFT transformacije i mogućnosti usrednjavanja spektralnih karakteristika u cilju smanjenja uticaja šuma.



Slika 7. (a) Spektralna snaga AM signala dobijen korišćenjem PC baziranog spektralnog analizatora sa akvizicionom karticom kao digitalizatorom signala. Za realizaciju programa korišćen je programski paket LabView. (b) Spektralna snaga audio signala dobijen korišćenjem zvučne kartice i programa MATLAB

LabWindows/CVI sadži veliki broj bibliotečkih funkcija za obradu signala u vremenskom i frekvencijskom domenu. Pored toga, ovaj programski paket nudi dodatnu fleksibilnost u izradi programa korišćenjem standardnog programskog jezika C.

Realizacija programa za akviziciju signala i prikaz spektralnih karakteristika u okviru programa MATLAB relativno je jednostavna, a od korisnika se zahteva da poseduje znanja potrebna za kreiranje programa u ovom programskom okruženju. Akvizicija signala u realnom vremenu vrši se korišćenjem alata i funkcija definisanih u okviru programskog modula Data Acquisition Toolbox. Za dalju obradu signala, izračunavanje FFT transformacije i grafički prikaz rezultata na raspolaganju stoji veliki broj gotovih funkcija. Međutim, da bi se realizovao kompletan program za akviziciju i prikaz spektra ulaznog signala neophodno je poznavati osnovne elemente diskretne Fourierove transformacije i FFT algoritama. Na slici 7b dat je primer spektra audio signala koji je dobijen pomoću PC baziranog spektralnog analizatora realizovanog u programu MATLAB pri čemu je za digitalizaciju signala korišćena muzička kartica.

6. Zaključak

Frekvencijska analiza i merenja u oblasti telekomunikacionih signala i sistema do nedavno su sprovedeni korišćenjem klasičnih spektralnih analizatora sa prebrisavanjem učestanosti (*swept spectrum analyzer*). Brz razvoj digitalizatora signala, računara i odgovarajuće programske podrške omogućio je numeričko izračunavanje Fourierove transformacije i iznalaženje spektra signala. U ovom radu ukazano je na

moćnosti frekvencijske analize telekomunikacionih signala i sistema na bazi FFT transformacije realizovane pomoću personalnog računara. Ove mogućnosti potkrepljene su rešenjima mernih sistema koji su verifikovani kroz praktična merenja.

S obzirom da je za FFT analizu signala potrebno digitalizovati vremenski signal, frekvencijski opseg FFT analizatora zavisi od brzine odmeravanja odnosno od brzine konverzije AD konvertora, čime je određena i najviše frekvencijske komponente signala koje se mogu analizirati. Premda savremeni AD konvertori rade brzinom koja se nalazi u opsegu od nekoliko stotina kHz pa do nekoliko stotina MHz, može se reći da širi frekvencijski opseg pokrivaju klasični spektralni analizatori sa prebrisavanjem frekvencije. S druge strane, zahvaljujući inherentnoj karakteristici *swept* analizatora koja se odnosi na tehniku primenjenu u dolaženju do spektra, oni imaju znatno duže ukupno vreme merenja od FFT baziranih analizatora. Vreme merenja FFT analizatora definisano je vremenom potrebnim za digitalizaciju signala i izračunavanje FFT transformacije.

Imajući u vidu činjenicu da su FFT analizatori mnogo brže dolaze do spektra od *swept* analizatora, FFT analizatori su mnogo pogodniji za analizu signala čiji se frekvencijski sastav menja tokom vremena. Ova osobina daje im mogućnost primene pri analizi tranzijentnih signala i prelaznih pojava. Na kraju, ako je potrebno uzeti u obzir i faznu karakteristiku signala, onda je neophodno koristiti FFT analizator koji daje rezultat u kompleksnoj formi, na osnovu koje se lako dolazi do amplitude i faze signala na svakoj od posmatranih učestanosti.

Literatura

- [1] Lathi B. P., Modern Digital and Analog Communication Systems, 3rd Edition, Oxford University Press, 1998.
- [2] Harris F. J., "On the Use of Windows for Harmonic Analysis with Discrete Fourier Transform", Proc. IEEE, vol.66, pp. 51-83, Jan. 1978.
- [3] Tukey, Cooley, "An Algorithm for the Mashine Calculation of Complex Fourier Series", Mathematics of Computation, Vol. 19, pp 297-301, April, 1965.
- [4] Drndarevic V., Personalni računari u sistemima merenja i upravljanja, Akademska misao, Beograd, 2003.
- [5] www.gage-applied.com
- [6] www.ni.com

Abstract: *Consideration is given to the new concept and programming tools for analysis of telecommunication signals and systems in frequency domain. Based on the analysis carried out practical solutions for the hardware and the software architecture of the PC based spectrum analyzers are offered. Some measurement results obtained with suggested systems have been presented.*

Keywords: *Spectrum Analyzer, Fast Fourier Transform, Personal Computer, Measurements*

ANALYSIS OF TELECOMMUNICATION SIGNALS AND SYSTEMS USING PERSONAL COMPUTER

Vujo Drndarević, Dragutin Kostić, Nenad Jevtić