

REALIZACIJA SPEKTRALNOG ANALIZATORA KORIŠĆENJEM GOERTZELOVOG ALGORITMA

Odgovorno lice: dr Josif Tomić

Autori rešenja: dr Josif Tomić, dr Miodrag Kušljević, dr Vladimir Vujičić, dr Miloš Živanov,
dr Miloš Slankamenac.

Razvijeno u okviru projekata: TR32019 i IIR43008

Godina: 2011.

1. Oblast tehnike na koju se novi softver odnosi

Predloženi novi softver pripada oblasti softverski podržanih mernih uređaja (virtualnih instrumenata) koji se koriste za merenja na elektroenergetskoj mreži. Korišćene su savremene metode digitalne obrade signala koje su omogućile visokokvalitetno, tačno i precizno merenje. Praktično je realizovan prototipni merni uređaj koji koristi Goertzelov algoritam za merenje amplitude harmonika električnih signala koji potiču iz električne mreže ili sa mernih senzora. U cilju ispitivanja mogućnosti rada ovakvog jednog uređaja praktično je realizovan virtualni instrument u LabVIEW programskom paketu. Takođe su prikazani i rezultati merenja osnovnog harmonika korišćenjem simuliranog elektroenergetskog signala koji je u sebi sadržavao više harmonike fazno pomerene u odnosu na osnovni harmonik.

2. Realizacija

Razvijeni prototip ovog mernog uređaja je realizovan na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za električna merenja u čijoj laboratoriji je izvršena i verifikacija mernog uređaja.

3. Korisnici usluga

Potencijalni korisnici su elektrodistribucije koje imaju zahteve za preciznim i tačnim merenjem harmonijskih izobličenja, koja se javljaju u elektrodistributivnoj mreži. Ovaj merni uređaj se može koristiti i za edukaciju studenata iz predmeta u kojima se obrađuje digitalna obrada mernih signala. Merni algoritam se može koristiti i za spektralnu analizu mernih signala dobijenih sa različitih vrsta senzora u zaštiti životne sredine.

4. Tehnički problem

Sa razvojem industrije, energetska elektronika zauzima sve širu primenu u energetskim sistemima. Nelinearne karakteristike ovakvih uređaja prouzrokuju ozbiljno zagađenje harmonicima. Veliki broj potrošača, kao što su: PWM regulatori, koji se široko koriste za upravljanje motorima, zatim obrtne mašine, PC računari, elektrolučne peći itd., proizvode harmonike. Broj takvih potrošača se povećava, pa problem vezan za povećani nivo harmonika u mreži dobija na značaju, jer se harmonici mogu prostirati kroz mrežu zahvaljujući raznim uslovima za nastajanje rezonancije. Visok nivo harmonika može da ima nepoželjne efekte na performanse elektroenergetskog sistema i energetske opreme, pa se problem stalno proučava sa stanovišta procene i redukcije harmonijskih izobličenja. Zbog toga, pogotovo u uslovima deregulacije tržišta električne energije, sve više pažnje se posvećuje kvalitetu električne energije.

5. Kvalitet električne energije

Termin *Power Quality* vezuje se za različite elektromagnetske fenomene koji su prisutni u sistemu za napajanje električnom energijom. Poremećaji u kvalitetu električne energije se uobičajeno klasifikuju u sledećih pet grupa, i to:

- tranzijenti, (*transients*),
- poremećaji amplitude naponskog talasa, (*voltage variations*),
- neuravnoteženost sistema napona, (*voltage unbalance*),
- izobličenja talasnog oblika, (*waveform distortion*),
- odstupanja frekvencije, (*frequency variation*).

Harmonici nastaju kada se na standardni 50Hz-ni talasni oblik doda harmonijski signal veće frekvencije, najčešće čineći da sinusni talas postane deformisan. Harmonici potiču od nelinearnih opterećenja u sistemu. Ova opterećenja proizvode nesinusoidalni oblik struje kada su pobuđena sinusoidalnim naponom. Nelinearna opterećenja su uređaji koji koriste energetske elektronike (npr. ispravljači), zatim pogoni sa motorima promenljive brzine, fluorescentni izvori svetlosti, računari, itd. Svi oni proizvode nesinusoidalni oblik struje kada su pobuđeni sinusoidalnim naponom. Pri tome oni generišu izobličenu struju koja sadrži harmonike i šalju je nazad u sistem. Izobličeni talas se ponavlja nekom osnovnom frekvencijom. Harmonici imaju frekvenciju koja je celobrojni umnožak osnovne frekvencije, drugi harmonik 100Hz, treći harmonik 150Hz, itd. Sledeća karakteristika pojedinih harmonika je amplituda. Svaki harmonik može imati različite amplitude u zavisnosti od toga koliko je izobličenje izvornog signala. Amplituda svakog harmonika se izražava u procentima amplitude osnovnog harmonika. Sadržaj viših harmonika se naziva totalno harmonijsko izobličenje (Total Harmonic Distortion - THD) ili klir-faktor i jednak je efektivnoj vrednosti svih viših harmonika podeljenoj sa efektivnom vrednošću osnovnog harmonika.

6. Metode merenja amplitude harmonika u električnoj mreži

Metoda koja se veoma često koristi kod merenja amplitude osnovnog i viših harmonika u elektroenergetskoj mreži je diskretna Furijeova transformacija (DFT). Ova metoda se u principu koristi i za merenje ostalih električnih veličina ali problemi sa kojima se susreće ova metoda prilikom merenja harmonika su isti za sva merenja električnih veličina i leže u njenoj osnovi. U mnogim radovima je data i detaljna analiza grešaka kod diskretne Furijeove transformacije, uključujući razmatranje zašto frekvencija uzorkovanja mora biti sinhronizovana sa frekvencijom analognog signala i kako greška raste u slučaju nesinhronizovanog uzorkovanja.

DFT je algoritam koji se sastoji od dva digitalna filtera koji eliminišu neželjene harmonike i obezbeđuju odgovarajući fazni pomak harmonika koji se meri. Izlazi iz filtera se dodatno obrađuju, čime se na izlazu dobijaju amplituda i faza u diskretizovanim tačkama frekvencije. U mernim uređajima filteri se koriste za minimizaciju uticaja šuma i eliminisanje neželjenih harmonika prisutnih u ulaznom signalu.

Harmonijska analiza se obično bazira na brzom Furijeovom transformaciji (FFT). FFT je numerički efikasan algoritam za računanje diskretne Furijeove transformacije i daje zadovoljavajuće rezultate u većini slučajeva. Međutim, FFT ima i lošu osobinu da zahteva sinhronizaciju frekvencije uzorkovanja sa frekvencijom signala.

Pored nedostataka koji se odnose na potrebu sinhronizacije frekvencije sempliranja sa frekvencijom signala, FFT ima nedostatke koji su prouzrokovani blokovskom implementacijom. Naime, FFT obrađuje kompletan blok podataka i ne može dati rezultate za momente vremena unutar prozora. Ako se obrada vrši u tzv. *slajd* modu, tj. FFT se uzastopno primenjuje na prozore pomaknute za jedan korak, potrebno je mnogo više računanja. Obim računanja koji je potreban za dobijanje $N/2$ Furijeovih koeficijenata od prozora od N uzoraka proporcionalan je $N \log_2(N)$. Kod obrade u *slajd* modu, gde se FFT uzastopno primenjuje na poslednjih $N-1$ uzoraka iz prethodnog prozora i na najnoviji uzorak ulaznog signala, obim računanja proporcionalan je $N^2 \log_2(N)$.

Zbog neograničenog trajanja sinusoide, Furijeova analiza nije pogodna za obradu nestacionarnih signala, a to su oni čiji se frekvencijski sadržaj menja sa vremenom. Tako se došlo do ideje da se nestacionaran signal podeli na manje vremenske segmente koji bi sadržali skoro stacionarne delove signala, i da se analizira frekvencijski sadržaj svakog pojedinačnog dela. Metoda koja se zasniva na ovoj ideji naziva se kratkotrajna Furijeova transformacija (STFT = Short Time Fourier Transformation).

Pored metoda za merenje harmonika na bazi diskretne Furijeove transformacije, veći broj algoritama koristi ortogonalne komponente signala dobijene pomoću dva ortogonalna FIR filtera. Frekventna karakteristika filtera treba da ima nule za frekvencije neželjenih harmonika i jedinično pojačanje za frekvenciju harmonika koji se meri. Kaskadna struktura je posebno pogodna za implementaciju FIR filtera. U nekim radovima primenjena je i pogodna metoda računanja koeficijenata filtera tokom merenja frekvencije.

Metoda FIR filtriranja, za razliku od FFT metode, nema probleme vezane za sinhronizaciju frekvencije uzorkovanja sa frekvencijom signala. Međutim, obim računanja potrebnih za procenu $N/2$ koeficijenta u prozoru od N uzoraka proporcionalan je sa N^3 . Ovakva filterska struktura, zbog velikih zahteva za računarskim resursima, realno zadovoljava potrebe off-line aplikacija. Korišćenjem paralelnih računarskih algoritama mogli bi se zadovoljiti zahtevi on-line aplikacija, čime bi algoritam postao znatno praktičniji.

7. Goertzelov algoritam

Osnovni Goertzelov algoritam je nastao 1958. godine i izveden je iz diskretne Furijeove transformacije. Ovo je izuzetno efikasan algoritam kojim se iz bloka ulaznih podataka diskretnog vremenskog signala, na osnovu relacija između frekvencije uzorkovanja, dužine vremenskog bloka ulaznog signala i koeficijenta podešavanja frekvencija, određuju frekvencijske vrednosti željenog signala. Goertzelova banka filtera se zasniva na primeni specijalne diskretne ćelije drugog reda, koja kao rezultat obrade odmeraka ulaznog signala $x(n)$ daje diskretnu Furijeovu transformaciju na izlazu tj. $y_k(n)=X(k)$. Diferencna jednačina koja opisuje Goertzelovu sekciju drugog reda može se napisati u sledećem obliku:

$$y_k(n) = 2 \cos(2\pi k / N) y_k(n-1) - y_k(n-2) + x(n) - e^{-j\frac{2\pi k}{N}} x(n-1) \quad (1)$$

gde je N broj odmeraka kojim se dekodira jedna učestanost. Uvođenjem pomoćne promenljive $v_k(n)$, jednačina (1) se razlaže na rekurzivni i nerekurzivni deo:

$$v_k(n) = x(n) + 2 \cos(2\pi k / N) v_k(n-1) - v_k(n-2) \quad (2)$$

$$y_k(n) = v_k(n) - e^{-j\frac{2\pi k}{N}} v_k(n-1) \quad (3)$$

pri čemu su početni uslovi za promenljivu $v_k(n)$ jednaki nuli. Prednost ovakvog predstavljanja je da se nerekurzivni deo izračunava na N puta nižoj frekvenciji odmeravanja. Dakle za izračunavanje diskretne Furijeove transformacije korišćenjem Goertzelovog algoritma potrebno je: $N + 2$ realnih množenja i $2N+1$ realnih sabiranja. Uporedne vrednosti potrebnih računanja za harmonijsku analizu korišćenjem DFT, FFT i Goertzelovog algoritma date su u Tabeli 1. Iz tabele se može videti da je broj potrebnih matematičkih operacija korišćenjem Goertzelovog algoritma najmanji.

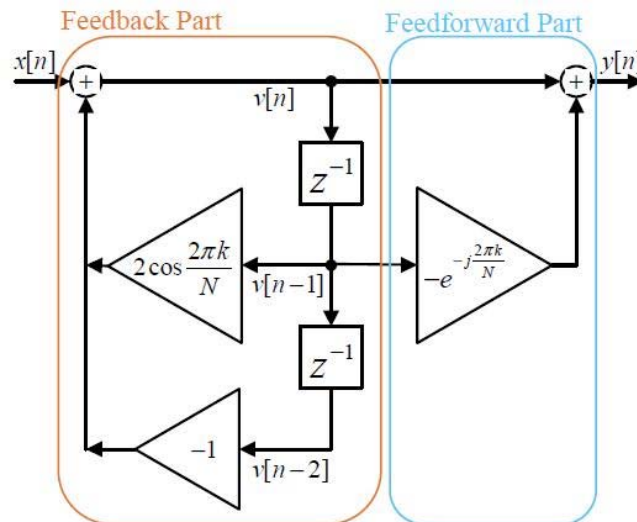
Tabela 1. Broj matematičkih izračunavanja kod pojedinih metoda

Metoda	Ukupni broj realnih množenja	Ukupni broj realnih sabiranja
DFT	4N	2N
FFT	2Nlog ₂ N	Nlog ₂ N
Goertzel	N+2	2N+1

Prenosna funkcija Goertzelove ćelije drugog reda data je jednačinom (4), gde je k koeficijent ugađanja dela frekvencijskog opsega ($k=N*f/fs$), a N je veličina bloka uzoraka.

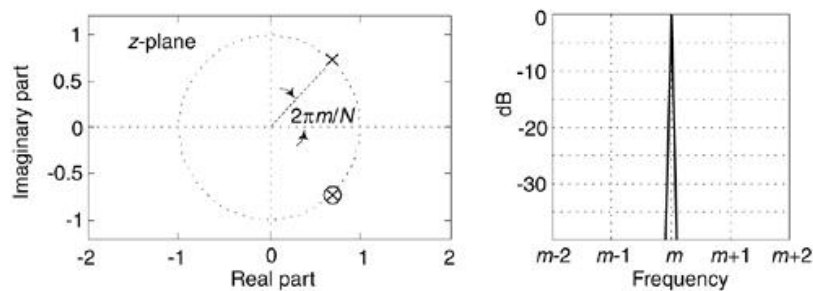
$$H_g(z) = \frac{1 - e^{-j\frac{2\pi k}{N}} z^{-1}}{1 - 2\cos(2\pi k / N) z^{-1} + z^{-2}} \quad (4)$$

Na Slici 1. je prikazan tok obrade osnovnog Goertzelovog algoritma za svaki diskretan trenutak uzorkovanog ulaznog signala. Goertzelov algoritam je ustvari veoma visoko Q pojasno propusni filter kojeg karakteriše podesiv selektivan opseg i realizovan je kao IIR filter drugog reda.



Slika 1. Blok dijagram Goertzelovog algoritma

Goertzelov algoritam omogućava pojedinačno sračunavanje koeficijenata diskretne Furijeove transformacije (DFT) uz pomoć jednostavnog rekurzivnog filtera koji sadrži u sebi digitalni rezonator drugog reda. Na Slici 2. prikazane su lokacije polova i nula u z-domenu kao i amplitudno-frekvencijska zavisnost ovog filtera.



Slika 2. Lokacije polova i nula u z-domenu

Amplituda i faza ulaznog signala se zatim mogu sračunati korišćenjem formula (5) i (6).

$$|y[N]|^2 = v^2[N-1] + v^2[N-2] - v[N-1] \cdot v[N-2] \cdot 2 \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad (5)$$

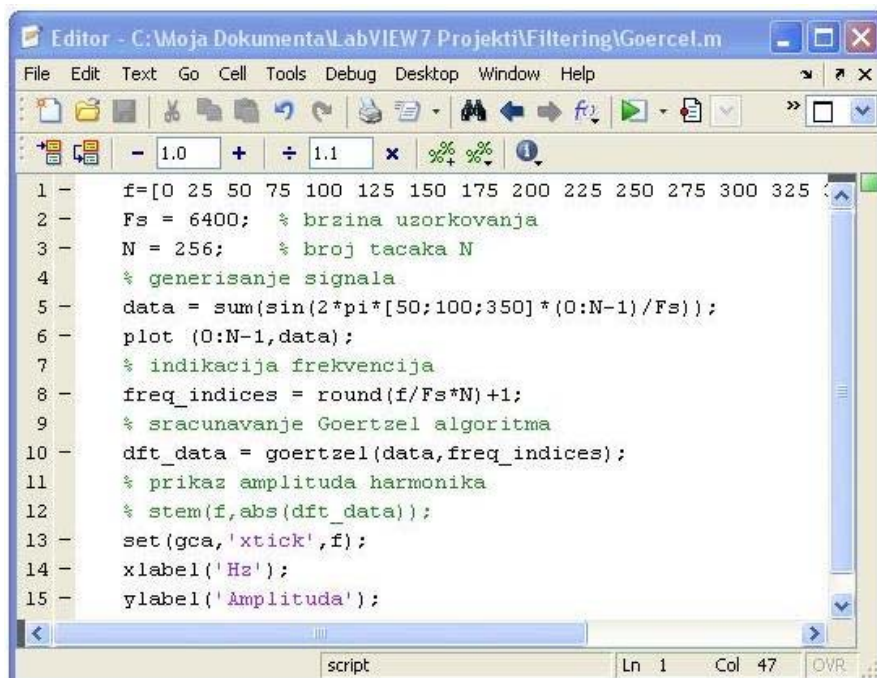
$$\theta = \arg\{y[N]\} = \arctan \frac{\sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \cdot v[N-2]}{v[N-1] - \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \cdot v[N-2]} \quad (6)$$

Prednosti Goertzelovog algoritma u odnosu na FFT metodu za sračunavanje harmonika su sledeće:

- Broj odbiraka N ne mora biti celobrojni umnožak broja 2.
- Rezonantna frekvencija može biti bilo koja frekvencija između nule i frekvencije sempliranja.
- Broj filterskih koeficijenata koji se moraju čuvati je znatno manji a i nije potrebno sačuvati ulazne merne podatke pre procesiranja, već se oni odmah po startovanju algoritma procesiraju.
- Nije potrebno izvršiti operaciju *bit reversal* kao kod FFT metode.
- Ukoliko je potrebno implementirati Goertzelov algoritam M puta da bi se detektovalo M različitih učestanosti, Goertzelov algoritam je znatno brži.

8. Rezultati matematičkih simulacija

Matematičke simulacije izvršene su u programu Matlab i na Slici 3. prikazan je program koji je generisao složeni signal a zatim iz njega izvukao harmonijski sastav korišćenjem Goertzelovog IIR filtera.



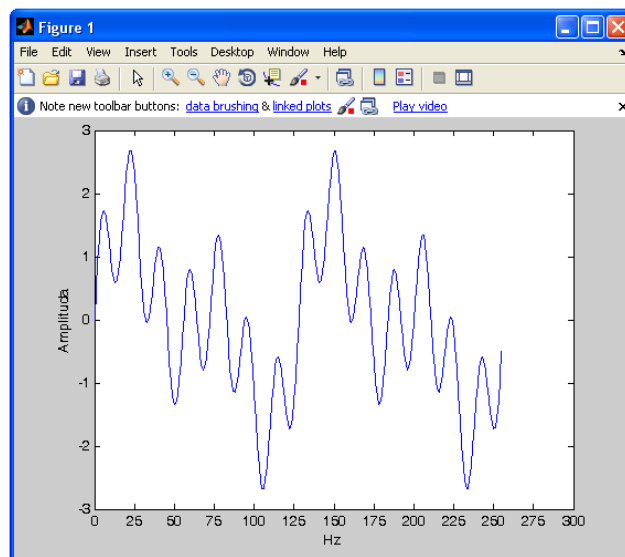
```

1 - f=[0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325];
2 - Fs = 6400; % brzina uzorkovanja
3 - N = 256; % broj tacaka N
4 - % generisanje signala
5 - data = sum(sin(2*pi*[50;100;350]*(0:N-1)/Fs));
6 - plot (0:N-1,data);
7 - % indikacija frekvencija
8 - freq_indices = round(f/Fs*N)+1;
9 - % sracunavanje Goertzel algoritma
10 - dft_data = goertzel(data,freq_indices);
11 - % prikaz amplituda harmonika
12 - % stem(f,abs(dft_data));
13 - set(gca,'xtick',f);
14 - xlabel('Hz');
15 - ylabel('Amplituda');

```

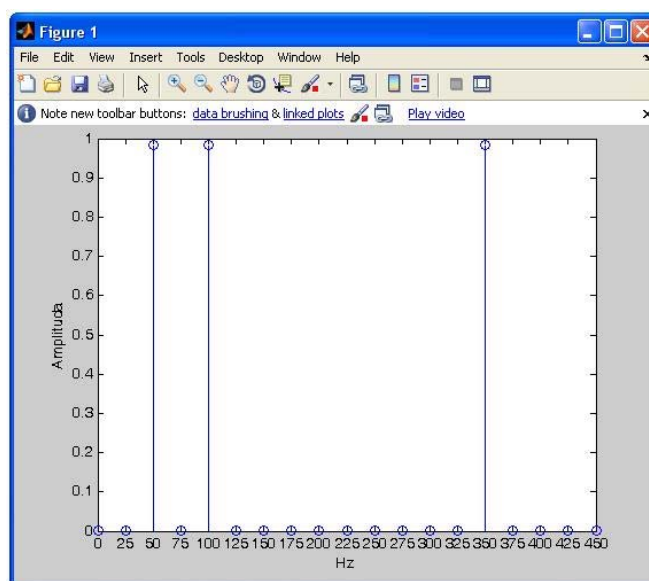
Slika 3. Matlab program za generisanje mernog sugnala i sračunavanje harmonika

Na Slici 4. dat je izgled testiranog mernog signala koji je generisan u Matlab programu.



Slika 4. Merni signal generisan u Matlabu

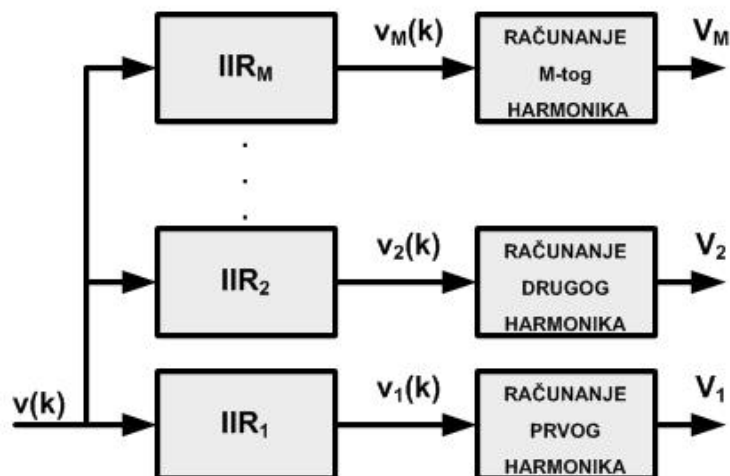
Na Slici 5. dat je rezultat harmonijske analize korišćenjem Goertzelovog algoritma. Sa slike se jasno vidi da su pravilno detektovane sinusne učestanosti od 50, 100 i 350Hz koje su sačinjavale složeni merni signal.



Slika 5. Rezultat harmonijske analize korišćenjem Goertzelovog algoritma

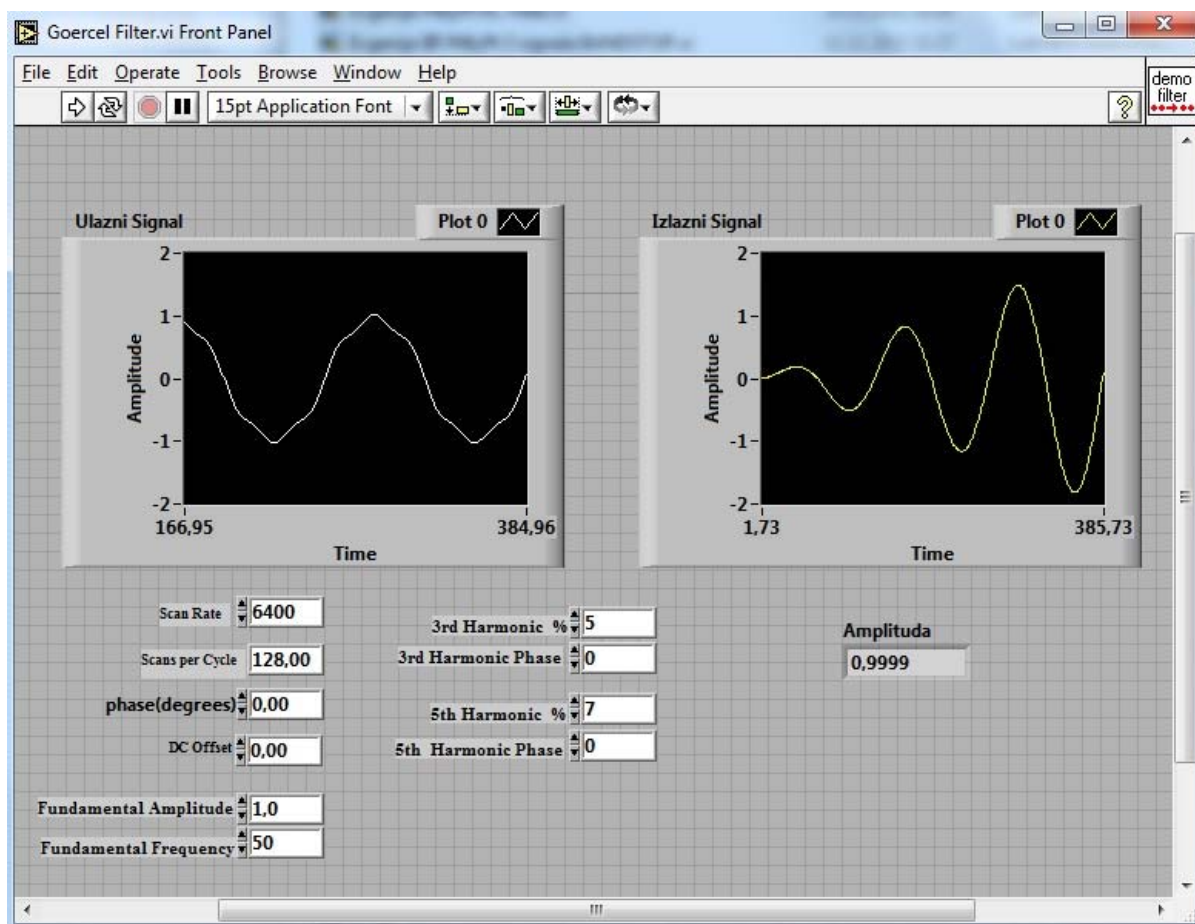
9. Praktična realizacija virtualnog instrumenta

U cilju ispitivanja mogućnosti rada ovakvog jednog analizatora spektra signala, praktično je realizovan virtualni instrument u LabVIEW programskom paketu. Radi ispitivanja tačnosti merenja korišćen je simulirani elektroenergetski signal mreže koji je u sebi sadržavao različite vrednosti amplituda viših harmonika fazno pomerene u odnosu na osnovni harmonik. Merena je efektivna vrednost napona od 1V, osnovnog harmonika od 50Hz. Blok šema virtualnog instrumenta koji bi mogao da meri osnovni a i sve više harmonike data je na Slici 6.



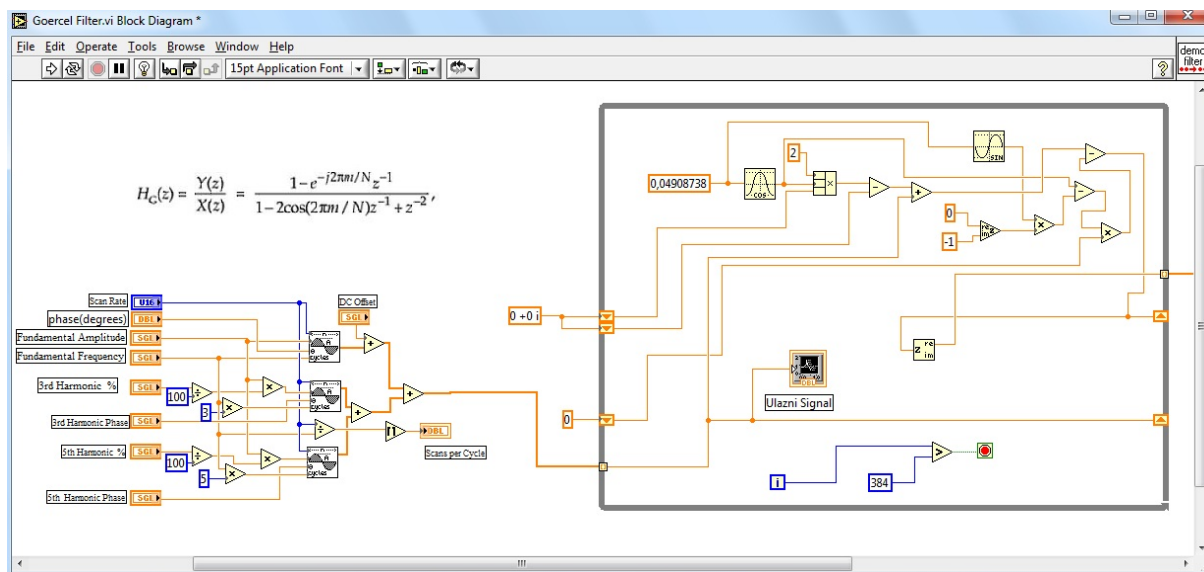
Slika 6. Blok šema virtualnog instrumenta za merenje osnovnog i viših harmonika

Na Slici 7. dat je izgled front panela realizovanog virtualnog instrumenta.



Slika 7. Front panel virtualnog instrumenta

Na Slici 8. dat je izgled blok dijagrama realizovanog virtualnog instrumenta.



Slika 8. Blok dijagram virtualnog instrumenta

U Tabeli 2. dato je nekoliko rezultata merenja osnovnog harmonika u prisustvu trećeg i petog harmonika.

Tabela 2. Rezultati merenja

Treći harmonik		Peti harmonik		Osnovni harmonik ef. vrednost [V]
Amplituda	Faza	Amplituda	Faza	
0%	0°	0%	0°	1.000
5%	0°	3%	0°	0.999
10%	60°	5%	60°	0.997
25%	120°	20%	120°	0.993

10. Zaključak

Predloženi Goertzelov algoritam za estimaciju amplitude harmonika koristi rekurzivnu strukturu filtera koja se bazira na rezonatorima drugog reda. Struktura omogućava uštedu računarskih resursa i memorijskog prostora. Metoda je jednostavna za implementaciju i zahteva skromne računarske resurse, što je čini pogodnom za primenu u realnom vremenu. Izvršene simulacije i eksperimentalni rezultati su pokazali da predložena metoda omogućava precizno i tačno merenje amplitude osnovnog i viših harmonika. Vreme konvergencije algoritma iznosi $2N$ tačaka mernog signala, pa se metoda može upotrebiti i za brzu detekciju promena u elektroenergetskom sistemu. U cilju ispitivanja mogućnosti rada ovakvog jednog uređaja praktično je realizovan virtualni instrument u LabVIEW programskom paketu. Takođe su prikazani i rezultati merenja osnovnog harmonika korišćenjem simuliranog elektroenergetskog signala koji je u sebi sadržavao više harmonike fazno pomerene u odnosu na osnovni harmonik.

Dr Zoran Lovreković, profesor strukovnih studija.
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu
21000 Novi Sad
Školska 1

**Recenzija
Tehničkog rešenja**

**REALIZACIJA SPEKTRALNOG ANALIZATORA KORIŠĆENJEM
GOERTZELOVOG ALGORITMA**

**autora
dr Josif Tomić, dr Miodrag Kušljević, dr Vladimir Vujičić, dr Miloš Živanov,
dr Miloš Slankamenac**

Predloženi novi merni instrument pripada oblasti softverski podržanih mernih uređaja (virtualnih instrumenata) koji se koriste za merenja na elektroenergetskoj mreži. Korišćene su savremene metode digitalne obrade signala koje su omogućile visokokvalitetno, tačno i precizno merenje. Praktično je realizovan prototipni merni uređaj koji koristi Goertzelov algoritam za merenje amplitude harmonika električnih signala koji potiču iz električne mreže ili sa mernih senzora. U cilju ispitivanja mogućnosti rada ovakvog jednog uređaja praktično je realizovan virtualni instrument u LabVIEW programskom paketu. Takođe su prikazani i rezultati merenja osnovnog harmonika korišćenjem simuliranog elektroenergetskog signala koji je u sebi sadržavao više harmonike fažno pomerene u odnosu na osnovni harmonik.

Razvijeni prototip ovog mernog uređaja je realizovan na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za električna merenja u čijoj laboratoriji je izvršena i verifikacija mernog uređaja. Uređaj je realizovan u okviru projekata TR32019 i IIR43008.

Potencijalni korisnici su elektrodistribucije koje imaju zahteve za preciznim i tačnim merenjem harmonijskih izobličenja, koja se javljaju u elektrodistributivnoj mreži. Ovaj merni uređaj se može koristiti i za edukaciju studenata iz predmeta u kojima se obrađuje digitalna obrada mernih signala. Merni algoritam se može koristiti i za spektralnu analizu mernih signala dobijenih sa različitih vrsta senzora u zaštiti životne sredine.

MIŠLJENJE RECENZENTA

Spektralni analizator realizovan korišćenjem Goertzelovog algoritma je novi merni instrument i pripada oblasti softverski podržanih mernih uređaja (virtualnih instrumenata) koji se koriste za spektralnu analizu signala. Ovaj merni instrument je u potpunosti projektovan i izrađen od strane navedenih autora. Uvidom u tehničku dokumentaciju očigledno je da autori ovog rešenja imaju značajno iskustvo u ovoj oblasti merenja, koje su ugradili u razvoj prototipa novog uređaja. U ovom projektu su iskorišćena najsavremenija softverska i tehnička rešenja iz oblasti digitalne obrade mernih signala. Planira se upotreba u elektrodistribuciji kao i na FTN u Novom Sadu za edukaciju studenata iz digitalne obrade mernih signala. Postoji mogućnost primene algoritma i za spektralnu analizu mernih signala dobijenih sa različitih vrsta senzora u zaštiti životne sredine.

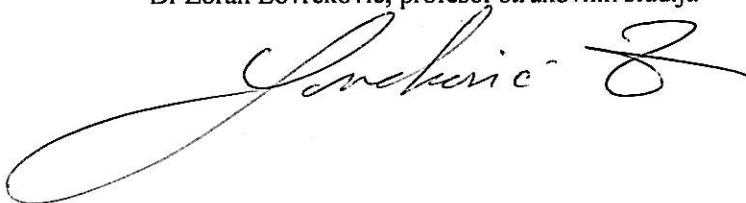
Na osnovu priložene dokumentacije za tehničko rešenje **Realizacija spektralnog analizatora korišćenjem Goertzelovog algoritma** i ovde prethodno navedenih činjenica, predlažem Nastavno-naučnom veću Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu da prijavljeno tehničko rešenje prihvati kao:

Tehničko rešenje – Merni instrument (M85)

Novi Sad, 11.1.2012. godine

Recenzent

Dr Zoran Lovreković, profesor strukovnih studija



Mr Marko Dimitrijević, asistent
Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
Aleksandra Medvedeva 14
18000 Niš

**Recenzija
Tehničkog rešenja**

**REALIZACIJA SPEKTRALNOG ANALIZATORA KORIŠĆENJEM
GOERTZELOVOG ALGORITMA**

autora

**dr Josif Tomić, dr Miodrag Kušljević, dr Vladimir Vujičić, dr Miloš Živanov,
dr Miloš Slankamenac**

Predloženi novi merni instrument pripada oblasti softverski podržanih mernih uređaja (virtualnih instrumenata) koji se koriste za merenja na elektroenergetskoj mreži. Korišćene su savremene metode digitalne obrade signala koje su omogućile visokokvalitetno, tačno i precizno merenje. Praktično je realizovan prototipni merni uređaj koji koristi Goertzelov algoritam za merenje amplitude harmonika električnih signala koji potiču iz električne mreže ili sa mernih senzora. U cilju ispitivanja mogućnosti rada ovakvog jednog uređaja praktično je realizovan virtualni instrument u LabVIEW programskom paketu. Takođe su prikazani i rezultati merenja osnovnog harmonika korišćenjem simuliranog elektroenergetskog signala koji je u sebi sadržavao više harmonike fazno pomerene u odnosu na osnovni harmonik.

Sa razvojem industrije, energetska elektronika zauzima sve širu primenu u energetske sistemima. Nelinearne karakteristike ovakvih uređaja prouzrokuju ozbiljno zagađenje harmonicima. Veliki broj potrošača, kao što su: PWM regulatori, koji se široko koriste za upravljanje motorima, zatim obrtna mašine, PC računari, elektrolučne peći itd., proizvode harmonike. Broj takvih potrošača se povećava, pa problem vezan za povećani nivo harmonika u mreži dobija na značaju, jer se harmonici mogu prostirati kroz mrežu zahvaljujući raznim uslovima za nastajanje rezonancije. Visok nivo harmonika može da ima nepoželjne efekte na performanse elektroenergetskog sistema i energetske opreme, pa se problem stalno proučava sa stanovišta procene i redukcije harmonijskih izobličenja. Zbog toga, pogotovo u uslovima deregulacije tržišta električne energije, sve više pažnje se posvećuje kvalitetu električne energije.

Harmonijska analiza se obično bazira na brzom Furijeovoj transformaciji (FFT). FFT je numerički efikasan algoritam za računanje diskretne Furijeove transformacije i daje zadovoljavajuće rezultate u većini slučajeva. Međutim, FFT ima i lošu osobinu da zahteva sinhronizaciju frekvencije uzorkovanja sa frekvencijom signala. Osnovni Goertzelov algoritam je nastao 1958. godine i izveden je iz diskretne Furijeove transformacije. Ovo je izuzetno efikasan algoritam kojim se iz bloka ulaznih podataka diskretnog vremenskog signala, na osnovu relacija između frekvencije uzorkovanja, dužine vremenskog bloka ulaznog signala i koeficijenta podešavanja frekvencija, određuju frekvencijske vrednosti željenog signala. Goertzelova banka filtera se zasniva na primeni specijalne diskretne ćelije drugog reda, koja kao rezultat obrade odmeraka ulaznog signala $x(n)$ daje diskretnu Furijeovu transformaciju na izlazu tj. $y_k(n) = X(k)$. Goertzelov algoritam je u stvari veoma visoko Q pojasno propusni filter kojeg karakteriše podesiv selektivan opseg i realizovan je kao IIR filter drugog reda.

Prednosti Goertzelovog algoritma u odnosu na FFT metodu za sračunavanje harmonika su sledeće: broj odmeraka N ne mora biti celobrojni umnožak broja 2, rezonantna frekvencija može biti bilo koja frekvencija između nule i frekvencije semplovanja, broj filterskih koeficijenata koji se moraju čuvati je znatno manji a i nije potrebno sačuvati ulazne merne podatke pre procesiranja, već se oni odmah po startovanju algoritma procesiraju, nije potrebno izvršiti operaciju *bit reversal* kao kod FFT metode, ukoliko je potrebno implementirati Goertzelov algoritam M puta da bi se detektovalo M različitih učestanosti i Goertzelov algoritam je znatno brži. Predloženi Goertzelov algoritam za estimaciju amplitude harmonika koristi rekurzivnu strukturu filtera koja se bazira na rezonatorima drugog reda. Struktura omogućava uštedu računarskih resursa i memorijskog prostora. Metoda je jednostavna za implementaciju i zahteva skromne računarske resurse, što je čini pogodnom za primenu u realnom vremenu. Izvršene simulacije i eksperimentalni rezultati su pokazali da predložena metoda omogućava precizno i tačno merenje amplitude osnovnog i viših harmonika. Vreme konvergencije algoritma iznosi $2N$ tačaka mernog signala, pa se metoda može upotrebiti i za brzu detekciju promena u elektroenergetskom sistemu. U cilju ispitivanja mogućnosti rada ovakvog jednog uređaja praktično je realizovan virtualni instrument u LabVIEW programskom paketu. Takođe su prikazani i rezultati merenja osnovnog harmonika korišćenjem simuliranog elektroenergetskog signala koji je u sebi sadržavao više harmonike fazno pomerene u odnosu na osnovni harmonik.

Razvijeni prototip ovog mernog uređaja je realizovan na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za električna merenja u čijoj laboratoriji je izvršena i verifikacija mernog uređaja. Uređaj je realizovan u okviru projekata TR32019 i III43008.

Potencijalni korisnici su elektrodistribucije koje imaju zahteve za preciznim i tačnim merenjem harmonijskih izobličenja, koja se javljaju u elektrodistributivnoj mreži. Ovaj merni uređaj se može koristiti i za edukaciju studenata iz predmeta u kojima se obrađuje digitalna obrada mernih signala. Merni algoritam se može koristiti i za spektralnu analizu mernih signala dobijenih sa različitih vrsta senzora u zaštiti životne sredine.

MIŠLJENJE RECENZENTA

Spektralni analizator realizovan korišćenjem Goertzelovog algoritma je novi merni instrument i pripada oblasti softverski podržanih mernih uređaja (virtualnih instrumenata) koji se koriste za spektralnu analizu signala. Ovaj merni instrument je u potpunosti projektovan i izrađen od strane navedenih autora. U ovom projektu su iskorišćena najsavremenija softverska i tehnička rešenja iz oblasti digitalne obrade mernih signala. Planira se upotreba u elektrodistribuciji kao i na FTN u Novom Sadu za edukaciju studenata iz digitalne obrade mernih signala. Postoji mogućnost primene algoritma i za spektralnu analizu mernih signala dobijenih sa različitih vrsta senzora u zaštiti životne sredine.

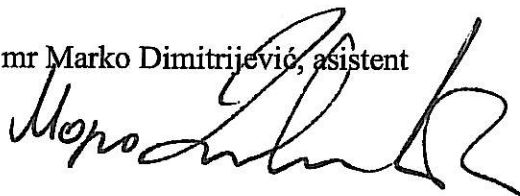
Na osnovu priložene dokumentacije za tehničko rešenje **Realizacija spektralnog analizatora korišćenjem Goertzelovog algoritma** i ovde prethodno navedenih činjenica, predlažem Nastavno-naučnom veću Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu da prijavljeno tehničko rešenje prihvati kao:

Tehničko rešenje – Merni instrument (M85)

Niš, 09.01.2012. godine

Recenzent

mr Marko Dimitrijević, asistent





УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndeap@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАН
СИСТЕМ
МЕНАЏМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2013-01-30

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 4. редовној седници одржаној дана 30.01.2013. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 15.1.47.: Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње / верификација нових техничких решења

Одлука

На основу позитивног извештаја рецензената верификује се
техничко решење (М85) под називом:

РЕАЛИЗАЦИЈА СПЕКТРАЛНОГ АНАЛИЗАТОРА КОРИШЋЕЊЕМ ГЕОЕТЗЕЛОВ АЛГОРИТМА

Аутори техничког решења: др Јосиф Томић, др Миодраг Кушљевић, проф. др Владимир Вујичић, проф. др Милош Живанов, др Милош Сланкаменац.

-непотребно изостављено-

Записник водила:


Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података овераван
Секретар


Иван Нешковић, дипл. правник



Декан


Проф. др Раде Дорословачки