

Autori rešenja: Miodrag Kušljević, dipl. inž.

Josif Tomić, dipl. inž.

Predrag Poljak, dipl. inž.

Analiza harmonika elektroenergetskog sistema Tejlор-Furiјеovom transformacijom na bazi višestrukih rezonatora

1 Oblast tehnike na koju se tehničko rešenje odnosi

Predloženi algoritam namenjen je analizi harmonika rekurzivnom metodom višestrukih rezonatora i Tejlор Furiјеovom transformacijom. Algoritam omogućava smanjenje troškova u računarskim resursima i umanjuje zahteve algoritma za memorijom. Metod je lak za primenu i veoma je fleksibilan. Rekurzivni oblik, lak proračun i visoka preciznost predloženom algoritmu omogućavaju da u digitalnim sistemima bude veoma koristan za rad u realnom vremenu. Predložena tehnika je pogodna za Tejlор – Furiјеovu ananalizu harmonika u širokom spektru varijacija frekvencije. Predloženi metod je ispitivan pod različitim uslovima i pokazalo se da je veoma koristan alat za detekciju komponenti signala pod dinamičkim uslovima.

2 Verifikacija

Razvijeni algoritam namenjen je analizi harmonika, verifikovan je višestrukim simulacijama, a kasnije i merenjima u Kalibracionoj laboratoriji Katedre za električna merenja, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Analizom rezultata merenja potvrđena su očekivanja autora.

3 Korisnici usluga

Korisnici usluga datog tehničkog rešenja, algoritma namenjenog analizi harmonika, su Elektroprivreda Srbije, akreditovane metrološke i ispitne laboratorije za električne veličine, sa naglaskom na merenja vremenski promenljivih signala, kao i drugi korisnici.

4 Tehnički problem

U elektroenergetici, naponski i strujni signali često su predstavljeni u obliku sume kosinusnih funkcija, matematički oblik je

$$x(t) = \sum_{h=0}^M A_h \cos(2\pi h f_1 t + \varphi_h) \quad (1)$$

gde A_h , f_1 , i φ_h su amplitude harmonika, osnovnih frekvencija merenih u hercima (tipično 60 ili 50 Hz), i početni ugao faze harmonika, respektivno i M je maksimalan broj harmonika uključenih u model. Pretpostavlja se da su konstantni sve vreme posmatranja za DFT. Ovo je problematična pretpostavka za elektroenergetske oscilacije. Frekvencija i amplituda, u dinamičkim uslovima, mogu brzo da se promene. Svaki algoritam baziran na ovom statičkom modelu daje netačne procene kada dinamičke karakteristike nisu pravilno izražene. U dinamičkim uslovima, statički model (1) nije u mogućnosti da prati promene fazora u posmatranom prozoru, što vodi netačnoj proceni harmonika/fazora. Poslednjih godina razmatra se ideja dinamičkog modela za bolju procenu fazora.

Nisko frekventni propusno ograničen signal neobavezno periodičan, koji, u prisustvu harmonika, opisuje ponašanje jednog elektroenergetskog sistema u uslovima oscilovanja:

$$x(t) = \sum_{h=0}^M a_h(t) \cos(2\pi h f_1 t + \varphi_h(t)) \quad (2)$$

gde $a_h(t)$ i $\varphi_h(t)$ su promene amplitude i faze h -tog dinamičkog harmonika, ili jednaki po

$$x(t) = \sum_{h=-M}^M c_h(t) e^{j2\pi h f_1 t} \quad (3)$$

U sintetičkom smislu, $c_h(t) = a_h(t) e^{j\varphi_h(t)}$ može se definisati kompleksni oblik za svaki harmonik h . $e^{j2\pi h f_1 t}$ je stalno rotirajući vektor odgovarajućeg h -tog harmonika. Glavna pretpostavka je da ρ propusno ograničava $c_h(t)$, sa $\rho \ll f_1$. Treba primetiti, ako $\rho \rightarrow 0$, onda $c_h(t) \rightarrow c_h$, gde je c_h konstantan kompleksan broj za svako h , a onda, (3) postaje klasična Furijeova sintetička formula

$$x_p(t) = \sum_{h=-M}^M c_h e^{j2\pi h f_1 t} \quad (4)$$

with $x_p(t)$ being a periodical signal.

Definicija (3) je pogodna za nesinusoidalne uslove jer ističe osobinu vremenske promene fazora amplitude $c_h(t)$ i faze $\varphi_h(t)$. Model (3) daje dinamičku referencu za bilo koji algoritam procene harmonika, ostalajući mogućnost za definisanje odgovarajućih računarskih procedura koje omogućavaju računanje fazora sa datim ograničenjima preciznosti.

Definicija fazora u kontinualnom vremenu (3) može biti prevedena u sledeću formulu u diskretnom vremenu:

$$x(nT) = \sum_{h=-M}^M c_h(nT) e^{j2\pi h f_1 n T} \quad n = 0, 1, \dots \quad (5)$$

gde je T period odabiranja.

Pretpostavljajući da je referentno vreme $t_{ref} = 0$, i $c_h(t)$ može se precizno aproksimirati u kratkom vremenskom intervalu u obliku Tejlorovog reda

$$c_h(t) = \sum_{k=0}^K \frac{1}{k!} c_h^{(k)} t^k + \Delta \approx \sum_{k=0}^K \frac{1}{k!} c_h^{(k)} t^k \quad (6)$$

gde je Δ Tejlorova greška i može biti zanemarena sve dok je K dovoljno veliko, K je najveći izvod, a $c_h^{(k)}$ predstavlja k -ti izvod $c_h(0)$. Red modela bira se kao kompromis između preciznosti i računarske složenosti. Pod nominalnim uslovima, $c_h(t)$ je konstantno i DFT može dati tačne procene. U slučaju dinamičkih uslova a statičkog modela najmanje jedan od izvoda nije jednak nuli i neke informacije u toku vremena posmatranja biće izgubljene. Zamenom (6) u (3), dobija se sledeći dinamički model signala u formi Tejlorovog reda:

$$x(t) = \sum_{h=-M}^M \sum_{k=0}^K \frac{1}{k!} c_h^{(k)} t^k e^{j2\pi h f_1 t} \quad (7)$$

ili u diskretnoj formi

$$x(nT) = \sum_{h=-M}^M \sum_{k=0}^K \frac{T^k}{k!} c_h^{(k)} (nT)^k e^{j2\pi h f_1 n T} \quad (8)$$

Jednačina (8) predstavlja sumu modulisanog Tejlorovog reda, a zatim, koeficijenti $c_h^{(k)}$ predstavljaju k -te izvode h -tih dinamičkih harmonika $c_h(t)$.

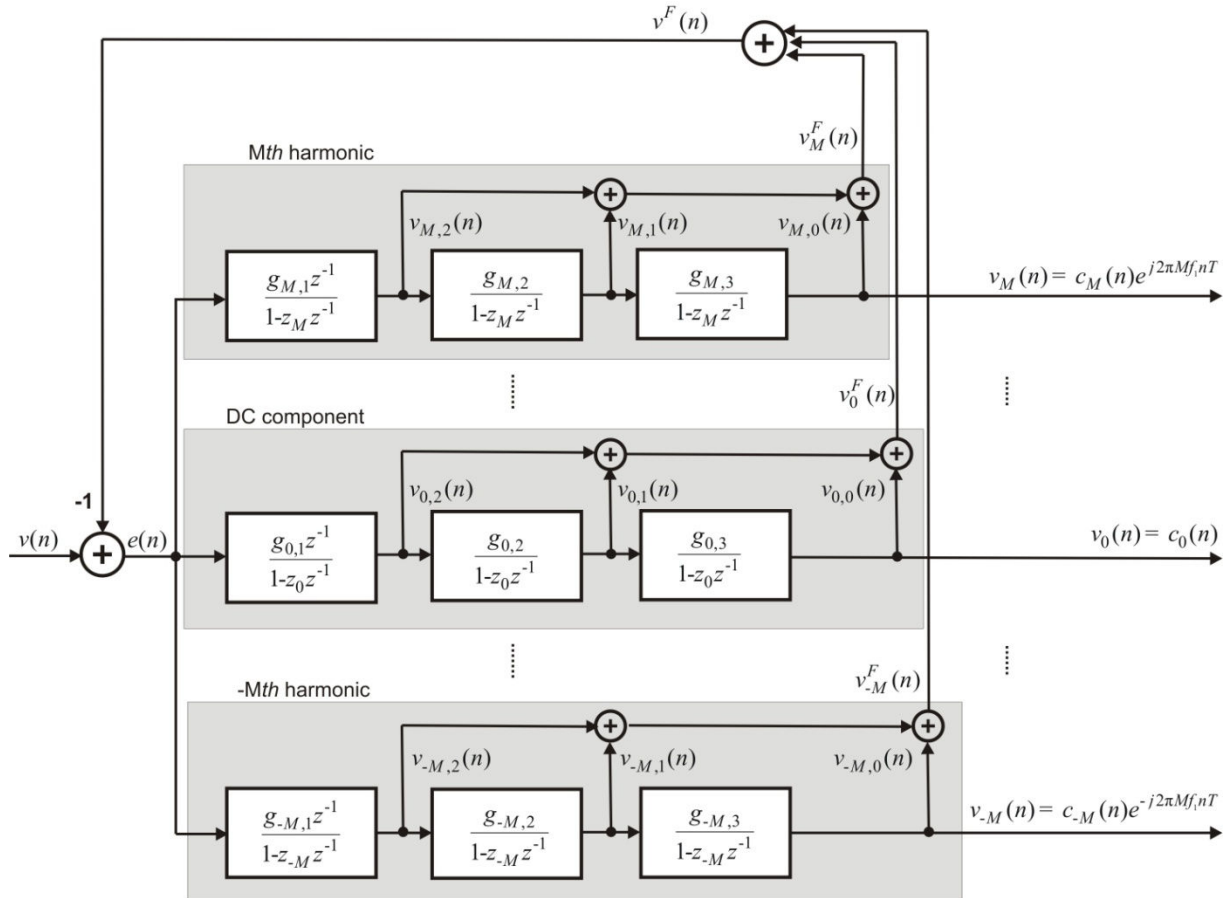
5 Stanje tehnike

U literaturi je predstavljeno nekoliko algoritama za procenu harmonika i fazora. Svaki algoritam zahteva harmonik/fazor model i koristi specifične tehnike da odredi parametre modela. Algoritmi se mogu podeliti u dve glavne klase u odnosu na model merenja: algoritmi koji se oslanjaju na čist sinusoidalni model signala (statički model) i algoritmi bazirani na suštinski nesinusoidalnom modelu (dinamičkom modelu).

Iako mnogi algoritmi predlažu procene harmonika u elektroenergetskom sistemu, procena spektra diskretizacijom procesa obično se zasniva na procedurama korišćenja brze Furijeve transformacije (Fast Fourier Transform - FFT) koji je računarski efikasan algoritam za izračunavanje diskretne Furijeove transformacije (DFT) i koristi statički model signala i pretpostavlja punu periodičnost. Međutim, dok je FFT prilično efikasna pod uslovima fiksne frekvencije, dobro je poznato da gubi svoju preciznost pod nestacionarnim uslovima gde fundamentalna/harmonijska frekvencija može varirati tokom vremena. Uprkos činjenici da je harmonik fenomen ustaljenog stanja u praksi merenja se moraju obavljati u dinamičnim uslovima. Većina signala koji se sreću u realnom svetu imaju vremenski zavisani spektar. U poslednjih nekoliko godina predložene su brojne tehnike za rešavanje problema harmonijskog merenja u nestacionarne scenarijima. Fokus u novijoj literaturi je na metodama pre i post – obrade podataka za algoritme sa fiksnim uzorakovanjem na osnovu DFT (ili slično) analiziranjem fiksnog broja uzoraka.

6 Izlaganje suštine tehničkog rešenja

Dijagram algoritma na bazi višestrukih rezonatora prikazan je na slici 1. Struktura je zasnovana na tri rezonatora koja se ponavljaju i data su kao primer. Struktura sadrži kompleksna pojačanja $g_{m,l}$, $m = -M, \dots, 0, \dots, M$, $l = 1, 2, 3$, što odgovara rezonatorima trećeg reda sa trostrukim kompleksnim polovima na jediničnoj kružnici. Broj rezonatorskih parova (broj formiranih harmonika M) zavisi od složenosti frekvencijske osnovne komponente $\omega_1 = 2\pi f_1/f_s$ zbog uslova $M\omega_1 < \pi$ koji mora biti zadovoljen. Sve ove kaskade rezonatora funkcionišu paralelno sa zajedničkom povratnom spregom. Složenost sistema je $3N = 3(2M + 1)$.



Slika 1 Blok dijagram TFT analizatora na bazi trostrukih rezonatora

U svakom m -tom kanalu structure imamo, kao internu transformacionu funkciju

$$\begin{aligned}
 H_m(z) &= \frac{V_m^F(z)}{E(z)} = \\
 &= \frac{g_{m1}z^{-1}}{1-z_mz^{-1}} + \frac{g_{m1}g_{m2}z^{-1}}{(1-z_mz^{-1})^2} + \frac{g_{m1}g_{m2}g_{m3}z^{-1}}{(1-z_mz^{-1})^3} \quad (9) \\
 &= \frac{g'_{m1}(z-z_m)^2 + g'_{m2}z(z-z_m) + g'_{m3}z^2}{(z-z_m)^3}
 \end{aligned}$$

Gde je $V_m^F(z)$ ukupni povratni signal koji odgovara m -tom kanalu, nastalom kao linearna kombinacija izlaza pojedinih rezonatora, zapravo svaki kanal doprinosi filtarskom izlazu sa po tri kompleksne težine. $E(z) = V(z) - \sum_{m=-M}^M V_m^F(z)$ je signal greške. $z_m = e^{jm\omega_1}$ je m -ti pol rezonatora, i

$$g'_{m1} = g_{m1}$$

$$g'_{m2} = g_{m1}g_{m2}$$

$$g'_{m3} = g_{m1}g_{m2}g_{m3}$$

$$m = -M, \dots, 0, \dots, M, \quad M\omega_1 < \pi,$$

koji je obično funkcija kompleksnih koeficijenata ima pol na jediničnom krugu. Globalna transfer funkcija za svaki kanal ima sledeću formu

$$\begin{aligned}
 T_m(z) &= \frac{V_{m,0}(z)}{V(z)} = \frac{\frac{g'_{m3}z^2}{(z-z_m)^3}}{1 + \sum_{n=-M}^M H_n(z)} = \\
 &= \frac{\frac{g'_{m3}z^2}{(z-z_m)^3}}{1 + \sum_{n=-M}^M \frac{g'_{n1}(z-z_n)^2 + g'_{n2}z(z-z_n) + g'_{n3}z^2}{(z-z_n)^3}} \quad (10) \\
 &= \frac{g'_{m3}z^2 P_m(z)}{\prod_{n=-M}^M (z-z_n)^3 + \sum_{n=-M}^M \left(\left(g'_{n1}(z-z_n)^2 + g'_{n2}z(z-z_n) + g'_{n3}z^2 \right) P_n(z) \right)}
 \end{aligned}$$

$$m = -M, \dots, 0, \dots, M$$

gde

$$P_m(z) = \prod_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M (z-z_i)^3.$$

Pretpostavljeno je da su polovi i nule $T_m(z)$ ($m = -M, \dots, 0, \dots, M$) realni brojevi ili da se pojavljuju kao parovi konjugovano kompleksnih brojeva, tj. $z_m = z_{-m}^*$.

Interesantno svojstvo ovakve strukture je da važi:

$$T_m(z_n) = \begin{cases} 1 & \text{za } n = m \\ 0 & \text{za } n \neq m \end{cases}$$

$$m = -M, \dots, 0, \dots, M, \quad n = -M, \dots, 0, \dots, M \quad ()$$

iz čega se može zaključiti da je osetljivost prenosne funkcije u $z = z_m$, $m = -M, \dots, 0, \dots, M$ nula u odnosu na bilo koji $H_n(z)$ i z_n ($n = -M, \dots, 0, \dots, M$) izuzev u slučaju $n = m$. Ovo svojstvo je posledica beskonačnog pojačanja povratne sprege u ovim frekvencijama, što omogućava apsolutnu nezavisnost od koeficijenata unutar povratne petlje.

Veoma je bitno napomenuti da ova opšta forma sa povratnom spregom omogućava idealan mehanizam za poništavanje pol-nula. Polovi u (9), koji ne moraju obavezno biti smešteni na jediničnoj kružnici u opštem slučaju, transformišu se pomoću povratne veze u nule, koje automatski i idealno poništavaju njihove generatore u (10). To je razlog zašto primena idealnih rezonatora ne prouzrokuje probleme prilikom realizacije, pošto je svaki pol poništen nulom generisanom zajedničkom povratnom spregom.

Karakteristični polinom prenosne funkcije (10) treba da je jednak z^{3N} , to jest

$$A(z) = z^{3N} \Big|_{z=z_m} \quad (11)$$

gde $m = -M, \dots, 0, \dots, M$, $N = 2M + 1$, i

$$A(z) = \prod_{n=-M}^M (z - z_n)^3 + \sum_{n=-M}^M \left(\begin{matrix} g'_{n1}(z - z_n)^2 \\ + g'_{n2}z(z - z_n) \\ + g'_{n3}z^2 \end{matrix} \right) P_n(z) \Bigg|_{z=z_m}$$

Broj nepoznatih promenljivih tri puta je veći od broja jednačina, sledeće dve jednačine izvedene su iz (11) i ceo sistem jednačina je

$$\begin{aligned} A(z) &= z^{3N} \Big|_{z=z_m} \\ \frac{dA(z)}{dz} &= 3Nz^{3N-1} \Big|_{z=z_m} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\frac{d^2 A(z)}{dz^2} = 3N(3N-1)z^{3N-2} \Big|_{z=z_m}$$

Ovi uslovi

$$\left(g'_{m1}(z-z_m)^2 + g'_{m2}z(z-z_m) + g'_{m3}z^2 \right) P_m(z) \Big|_{z=z_m} = z^{3N}$$

$$\left(2g'_{m1}(z-z_m) + g'_{m2}(2z-z_m) + 2g'_{m3}z \right) P_m(z) + \left(g'_{m1}(z-z_m)^2 + g'_{m2}z(z-z_m) + g'_{m3}z^2 \right) \frac{dP_m(z)}{dz} \Big|_{z=z_m} = 3Nz^{3N-1}$$

$$\left(2(g'_{m1} + g'_{m2} + g'_{m3})P_m(z) + 2 \left(\frac{2g'_{m1}(z-z_m)}{+g'_{m2}(2z-z_m) + 2g'_{m3}z} \right) \frac{dP_m(z)}{dz} + \left(\frac{g'_{m1}(z-z_m)^2}{+g'_{m2}z(z-z_m) + g'_{m3}z^2} \right) \frac{d^2 P_m(z)}{dz^2} \right) \Big|_{z=z_m} = 3N(3N-1)z^{3N-2}$$

gde

$$\frac{dP_m(z)}{dz} = 3 \left(\prod_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M (z-z_i)^3 \right) \left(\sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{z-z_i} \right) = 3P_m(z) \sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^{N-1} \frac{1}{z-z_i}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 P_m(z)}{dz^2} &= 9 \left(\prod_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M (z - z_i)^3 \right) \left(\sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{z - z_i} \right)^2 \\
&\quad - 3 \left(\prod_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M (z - z_i)^3 \right) \left(\sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{(z - z_i)^2} \right) \\
&= 3P_m(z) \left[3 \left(\sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{z - z_i} \right)^2 - \sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{(z - z_i)^2} \right]
\end{aligned}$$

daju sledeće rešenje:

$$\begin{aligned}
g'_{m3} &= \frac{z^{3N-2}}{P_m(z)} \Big|_{z=z_m} \\
g'_{m2} &= \frac{3Nz^{3N-2} - g'_{m3}z \frac{dP_m(z)}{dz}}{P_m(z)} - 2g'_{m3} \Big|_{z=z_m} \\
g'_{m1} &= \frac{3N(3N-1)z^{3N-2} - 2(g'_{m2} + 2g'_{m3})z \frac{dP_m(z)}{dz} - g'_{m3}z^2 \frac{d^2 P_m(z)}{dz^2}}{2P_m(z)} - g'_{m2} - g'_{m3} \Big|_{z=z_m} \quad (13)
\end{aligned}$$

gde

$$\frac{dP_m(z)}{dz} = 3P_m(z) \sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{z - z_i}$$

$$\frac{d^2 P_m(z)}{dz^2} = 3P_m(z) \left[3 \left(\sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{z - z_i} \right)^2 - \sum_{\substack{i=-M \\ i \neq m}}^M \frac{1}{(z - z_i)^2} \right]$$

Konačno je

$$g_{m1} = g'_{m1}$$

$$g_{m2} = g'_{m2} / g'_{m1}$$

$$g_{m3} = g'_{m3} / g'_{m2}$$

Izlaz k -og rezonatora (u obrnutom redosledu, od kraja prema početku kaskade) koji u m -toj grani odgovara m -om harmoniku je

$$v_{m,k}(n) = c_{m,k}(n) e^{j2\pi m f_1 n T} \quad (14)$$

$$m = -M, \dots, 0, \dots, M, \quad k = 0, 1, 2, \dots, K,$$

i sastoji se od kompleksnog člana $c_{m,k}(n)$ i konstantno rotirajućeg vektora $e^{j2\pi m f_1 n T}$.

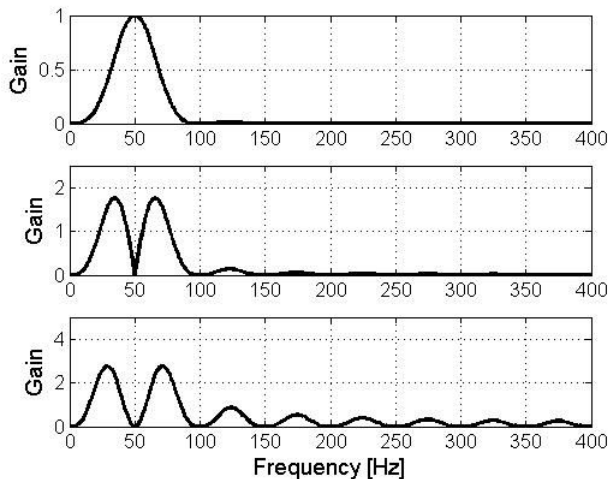
Procenjena vrednost k -tog izvoda m -tog harmonica proporcionalna je kompleksnom članu $c_{m,k}(n)$ i jenaka:

$$\hat{c}_m^{(k)} \Big|_{t=nT} = \left(\prod_{i=0}^k g_{m,K-i+2} \right) \frac{c_{m,k}(n)}{T^k} \quad (15)$$

gde je $g_{m,K+2} = 1$.

Poređenjem (15) sa (8), k -ti Tejlorov koeficijent $c_{m,k}^T \Big|_{t=nT}$, $k = 0, 1, 2, \dots, K$, za kanal m je trenutak $t = nT$, je

$$c_{m,k}^T \Big|_{t=nT} = \frac{\prod_{i=0}^k g_{m,K-i+2}}{k!} c_{m,k}(n) \quad (16)$$

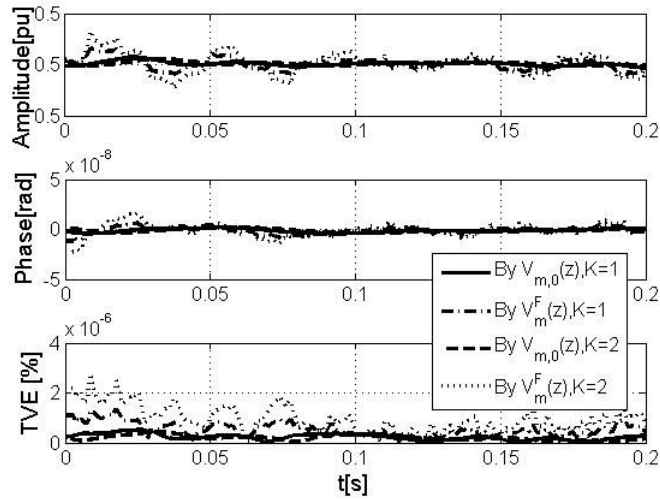


Slika. 2. Frekvencijski odziv diskretnih FIR filtara 0-og, 1-og i 2-og reda za signal $V_{m,k}(z)$, ($m=1$, $k=0,1,2$), sa osnovnim komponentama, za $f_s=800\text{Hz}$, $f_1=50\text{Hz}$ i $K=2$ (rezonatorska struktura trećeg reda).

Prednost strukture na bazi rezonatora je da ne postoji curenje ako osnovna frekvencija ne odgovara frekvenciji uzorkovanja (nekoherentno uzorkovanje). Koeficijenti filtra baziranog na rezonatorima dati su eksplicitnim formulama, tako da mogu biti računati linijski. Predloženi algoritam prati frekvenciju tako da su performanse filtra optimizovane za mereni signal, jer stvarna frekvencija varira u realnom vremenu. U predloženom algoritmu, brzina uzorkovanja AD konvertora održava se konstantnom, a digitalni filtri se prilagođavaju u realnom vremenu. Koristi se spoljni odvojeni modul za procenu frekvencije.

6.1 Test u prisustvu harmonijskih smetnji

Ovim testom vrši se provera sposobnosti algoritma da odbacuje harmonike u stabilnom stanju pri prisustvu harmonijskih izobličenja. Norma sinhrofazora toleriše do 1 % od ukupne greške vektora (Total Vector Error – TVE), za opseg od 1% od ukupne harmonijske distorzije (THD), na svakoj harmonijskoj frekvenciji, uključujući sve do 50-te, u slučaju P klase, i opsega od 10 % za M klasu. U ovom tehničkom rešenju, test signal odmerava se sa 16 uzoraka po ciklusu, tako se TVE analiza vrši do 8. harmonika, ali se može lako proširiti na 50. Iako standard pretpostavlja kontaminaciju jednog harmonika, u ovom testu, zbog sažetosti, amplitude svih harmonika do 8-og su postavljene na 10 % osnovnog. Slika 3. pokazuje procene amplituda i faza i TVE. U ovom testu, predloženo rešenje procene ima odlične performanse. Harmonici su dobro oslabljeni i postiže se veoma nizak TVE.



Slika 3. Procena a) amplitude b) faze, i c) TVE u procentima, odgovaraju harmonijskim poremećajima, dobijenim za $V_{m,0}(z)$ i $V_m^F(z)$ za $K=1$ i $K=2$, sa $f_1=50\text{Hz}$, $\varphi_1=0\text{rad}$, $f_s=800\text{Hz}$.

RECENZIJA TEHNIČKOG REŠENJA

“Analiza harmonika elektroenergetskog sistema Tejlora-Furijeovom transformacijom na bazi višestrukih rezonatora”

Kratak prikaz tehničkog rešenja

Predloženi algoritam namenjen je analizi harmonika rekursivnom metodom višestrukih rezonatora i Tejlora Furijeovom transformacijom. Algoritam omogućava smanjenje troškova u računarskim resursima i umanjuje zahteve algoritma za memorijom. Metod je lak za primenu i veoma je fleksibilan. Rekursivni oblik, lak proračun i visoka preciznost predloženom algoritmu omogućavaju da u digitalnim sistemima bude veoma koristan za rad u realnom vremenu. Omogućena je Tejlora – Furijeova analiza harmonika u širokom spektru varijacija frekvencije. Testiranja pod različitim uslovima pokazala su da je predloženi metod veoma koristan alat za detekciju komponenti signala pod dinamičkim uslovima.

Ocena tehničkog rešenja

Predložena tehnika može potencijalno da se primeni za izdvajanje frekvencijskih komponenti iz električnog signala mrežnog napona napajanja, koje nisu celobrojno deljive sa osnovnom frekvencijom a prisutne su kod određivanja kvaliteta električnog signala mrežnog napona napajanja, prilikom merenja viših harmonika i flikera kada se želi procena nestacionarnih komponenti signala.

Konačno, u zavisnosti od zahteva aplikacije, frekvencije koje se dobijaju kao rezultati, predloženim višestrukim rezonatorom zasnovanim na računanju harmonika, mogu se preoblikovati kroz naknadnu obradu korišćenjem kompenzacionih filtara.

Svrha ovog rešenja je da se smanji visoka računarska složenost Tejlora – Furijeove transformacije. U ovom cilju, u osnovi se koristi višestruki rezonator, koji sa unutrašnjom mrežom od izlaza sa više rezonatora predstavlja za sebe odličnu platformu za TFT realizaciju.

Značaj ostvarenih rezultata

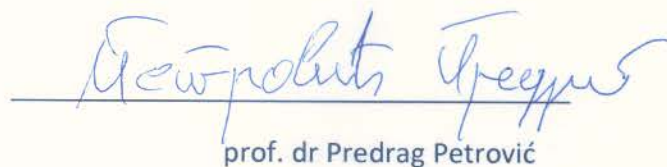
Rezultati simulacija pokazali su da predložena tehnika pruža tačne procene i nudi mogućnost praćenja promene učestalosti i amplitude kod nestacionarnih signala. Ovaj algoritam stvarno zadovoljava potrebu online aplikacija.

Zaključak

Moje mišljenje, kao recenzenta ovog tehničkog rešenja, je da ono raspolaže svim elementima neophodnim za pozitivnu ocenu (originalnost, značaj, svrsishodnost i primenljivost) i predlažem da se prihvati kao rezultat istraživanja u okviru projekta Ministarstva za nauku i tehnologiju.

U Čačku,

dana 23.12.2015.



prof. dr Predrag Petrović

RECENZIJA TEHNIČKOG REŠENJA

“Analiza harmonika elektroenergetskog sistema Tejlora-Furijeovom transformacijom na bazi višestrukih rezonatora”

Kratak prikaz tehničkog rešenja

Rezonatori imaju mogućnost povezivanja u različite topologije i samim tim su zahvalni za rešavanje problema gde je potrebno izdvajanje harmonika. Rekurzivnom metodom višestrukih rezonatora moguće je rešavanje algoritma Tejlora-Furijeove transformacije i analiza harmonika. Algoritam omogućava rad u okviru skromnih računarskih resursa. Metoda je fleksibilna i jednostavna je primena. Rad u realnom vremenu omogućen je kroz rekurzivni oblik, lak proračun i visoku preciznost predloženog algoritma. Predložena tehnika pogodna je za Tejlora – Furijeovu analizu harmonika u širokom spektru varijacija frekvencije. Predloženi metod je ispitivan pod različitim uslovima i pokazalo se da je veoma koristan alat za detekciju komponenti signala pod dinamičkim uslovima.

Ocena tehničkog rešenja

Prednost strukture na bazi rezonatora je da ne postoji curenje ako osnovna frekvencija ne odgovara frekvenciji uzorkovanja (nekoherentno uzorkovanje). Koeficijenti filtra baziranog na rezonatorima dati su eksplicitnim formulama, tako da mogu biti računati linijski. Predloženi algoritam prati frekvenciju tako da su performanse filtra optimizovane za merenje signala, jer stvarna frekvencija varira u realnom vremenu.

U predloženom algoritmu, brzina uzorkovanja AD konvertora održava se konstantnom, a digitalni filtri se prilagođavaju u realnom vremenu. Koristi se spoljni odvojeni modul za procenu frekvencije.

Značaj ostvarenih rezultata

Računarska složenost Tejlora – Furijeove transformacije ovim rešenjem se značajno umanjuje. U osnovi se koristi višestruki rezonator. Izlazi sa više rezonatora predstavlja za sebe odličnu platformu za TFT realizaciju. Rezultati simulacija, kod nestacionarnih signala, pokazali su da predložena tehnika pruža tačne procene i nudi mogućnost praćenja promene učestalosti i amplitude. Algoritam zadovoljava potrebu aplikacija za rad u realnom vremenu.

Zaključak

Kao recenzent ovog tehničkog rešenja, smatram da ono jasno i koncizno izloženo, i da ima sve neophodne elemente za pozitivnu ocenu (originalnost, svrsishodnost, primenljivost i zančaj) i predlažem da se prihvati kao rezultat istraživačkog rada na republičkom projektu, finansiranom od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju.

U Nišu,

dana, 13.12.2014.



prof. dr Dragan Denić



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: ftndcan@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАН
СИСТЕМ
МЕНАЏМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2015-01-05

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 33. седници одржаној дана 24.12.2014. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 13.1.21.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење под називом:

АНАЛИЗА ХАРМОНИКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОГ СИСТЕМА ТЕЛЛОР-ФУРИЈЕОВОМ ТРАНСФОРМАЦИЈОМ НА БАЗИ ВИШЕСТРУКИХ РЕЗОНАТОРА (М85 МЕРНА МЕТОДА)

Аутори техничког решења: Миодраг Кушљевић, Јосиф Томић, Предраг Пољак.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан

Проф. др Рале Дорословачки