

Digitalni filter za dobijanje inverzne komponente u električnim mrežama

Vladimir Mladenović, Mile Petrović, Slobodan Bjelić

Sadržaj — U ovom radu opisana je transformacija aktivnog analognog filtra u odgovarajući digitalni filter za dobijanje inverzne komponente u trofaznim električnim mrežama primenom bilinearne transformacije. Takođe, date su karakteristike digitalnog filtra dobijenog pomenutom transformacijom.

Ključne reči — Bilinearna transformacija, Rekurzivni digitalni filtri, Inverzna komponenta.

I. UVOD

SIGNAL se, u teoriji digitalne obrade signala, definiše kao neka fizička veličina koja se menja sa vremenom, prostorom ili nekom drugom nezavisnom promenljivom ili promenljivima i predstavlja namerno izazvane određene fizičke procese koji u sebi nose željenu poruku. Digitalni sistem može da se implementira softverski, gde neki program specificira operacije nad signalom, i digitalnom hardverskom implementacijom, gde se obrada signala vrši digitalnim hardverom. Dakle, šire gledano, digitalni sistem može biti realizovan kombinacijom digitalnog hardvera i softvera od kojih svaki izvršava sopstveni skup specificiranih operacija. Glavni zadatak u proračunavanju digitalne obrade je pronaalaženje algoritama koji se lako implementiraju i koji su brzi i efikasni. Mnogi signali u nauci i inženjerstvu su po svojoj prirodi analogni, dakle uzimaju vrednosti iz kontinualnog opsega. Ovaj rad daje opisuje primenu digitalnih filtrova u oblasti merenja inverznih komponenti u trofaznim elektroenergetskim sistemima.

II. KARAKTRISTIKE VEKTORSKOG OPERATORA a I PREDSTAVLJANJE INVERZNIH KOMPONENTI NAPONA

Vesor a je kompleksni vektor čija je apsolutna vrednost jednaka jedinici i pokazuje određeni ugaoni položaj. Korišćenjem Euler – ovih jednačina moguće je prikazati nekoliko karakterističnih versora koji se kod analize mreža često sreću. Na primer za $\varphi = 90^\circ \cong \frac{\pi}{2}$

moguće da pišemo $e^{\frac{\pi}{2}} = \cos \frac{\pi}{2} + j \sin \frac{\pi}{2} = j$;

mr Vladimir Mladenović, Mašinsko – elektrotehnička škola Paraćin, ul. Branka Kršmanovića bb, 35250 Paraćin, (e-mail: vlad_m@yubc.net)
dr. Mile Petrović, red. prof., Fakultet tehničkih nauka K. Mitrovica, Kneza Miloša, 28000 Kosovska Mitrovica (e – mail: milep1@ptt.yu)
dr. Slobodan Bjelić, red. prof., Fakultet tehničkih nauka K. Mitrovica, Kneza Miloša, 28000 Kosovska Mitrovica

$\varphi = 180^\circ \cong \pi$ možemo da pišemo

$$e^{j\pi} = \cos \pi + j \sin \pi = -1; \quad \varphi = 270^\circ \cong \frac{3\pi}{2},$$

$$\text{možemo da pišemo } e^{\frac{j3\pi}{2}} = \cos \frac{3\pi}{2} + j \sin \frac{3\pi}{2} = -j;$$

i $\varphi = 360^\circ \cong 2\pi$ možemo da pišemo

$$e^{j2\pi} = \cos 2\pi + j \sin 2\pi = 1.$$

Za trofazni sistem od značaja su uglovi $\varphi = 120^\circ$ i $\varphi = 240^\circ$ tako da primenom prethodnih jednačina imamo:

$$\varphi = 120^\circ \cong \frac{2\pi}{3}, \text{ tj.}$$

$$e^{\frac{j2\pi}{3}} = \cos \frac{2\pi}{3} + j \sin \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} = \dot{a}.$$

Vesoram \dot{a} moguće je prikazati sve ostale uglove u fazorskom dijagramu:

$$\varphi = 240^\circ \cong \frac{4\pi}{3} = 2 \frac{2\pi}{3} \text{ tj.}$$

$$e^{\frac{j4\pi}{3}} = \cos \frac{4\pi}{3} + j \sin \frac{4\pi}{3} = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} = \dot{a} \cdot \dot{a} = (\dot{a})^2.$$

Daljim postupkom dobiceemo

$$\dot{a} \cdot \dot{a} \cdot \dot{a} = (\dot{a})^3 = e^{j2\pi} = 1 \quad (1)$$

Odavde proizilazi da je

$$1 + \dot{a} + (\dot{a})^2 = 0 \quad (2)$$

U svakom elektroenergetskom sistemu prisutne su razne nesimetrije zbog prisustva raznih elektromagnetskih veličina. Nesimetrije se ogledaju u vidu raznih promena faznih stavova, promeni amplituda napona i struja i prisustva raznih smetnji u procesu prenosa električne energije. U praksi se veoma često putem transformacija nesimetrični sistem prilagođava tako da postane simetričan i kao takav moguće ga je koristiti u raznim proračunima. U ovom slučaju signal obrazuju simetrični sistem fazora i tako se mogu razložiti na simetrične komponente:

- direktnog redosleda

$$U_d = \frac{1}{3}(U_B + a \cdot U_C + a^2 \cdot U_A) \quad (3)$$

- inverznog redosleda

$$U_i = \frac{1}{3}(U_B + a^2 \cdot U_A + a \cdot U_C) \quad (4)$$

- nultog redosleda

$$U_o = \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) \quad (5)$$

gde U_A , U_B i U_C predstavljaju signale fazno pomerene u vektorskom dijagramu. U simetričnom sistemu fazni stavovi su $2\pi/3$ i moduli su jednaki.

Direktne komponente modelovane su kao režim generatora sa jednim smerom obrtanja, inverzne komponente modelovane su kao generator sa suprotnim smerom obrtanja i nulte komponente modelovane su kao tri jednofazna generatora koji su startovani u isto vreme u sve tri faze.

U elektroenergetici postoji niz postupaka za dobijanje inverznih komponenti napona. U ovom radu opisan je postupak da se primenom analognog aktivnog filtra dobije i dobije inverzna komponenta pomoći digitalnog filtra.

III. DIGITALNI FILTRI

Digitalni filter je sistem koji se koristi za filtriranje digitalnih signala i pod tim se podrazumeva proces ili algoritam pomoću koga se niz ulaznih brojeva transformiše u drugi niz izlaznih brojeva. Poznato je da se digitalni filtri dele na dve velike klase: rekurzivni i nerekurzivni. Nerekurzivnim digitalnim filtrima može se ostvariti linearna karakteristika i čitav niz veoma složenih amplitudskih karakteristika. Rekurzivni digitalni filtri mogu ostvariti približno iste karakteristike kao i analogni filtri. Oni se obično primenjuju za realizaciju selektivnih amplitudskih karakteristika kada se zahteva izdvajanje nekog frekventnog opsega.

IV. OPIS FILTRA ZA DOBIJANJE INVERZNE KOMPONENTE

Kao što je pomenuto u realnim sistemima električnih mreža postoje razne nesimetrije koje unose različita izobličenja.

Na slici 1. prikazan je analogni filter za detekciju inverzne komponente. S'obzirom na to da su u trofaznoj električnoj mreži faze pomerene za $2\pi/3$ tako je i filter koji se koristi trostopeni.

Zbog svojih karakteristika za preslikavanje analognog u digitalni domen koristi se bilinearna transformacija. Pretpostavka je da vremenski odziv analognog i diskretnog integratora na proizvoljnu pobudu budu isti u diskretnim trenucima.

V. ANALIZA SISTEMA

Ulavni naponi $\overline{U_A}$, $\overline{U_B}$ i $\overline{U_C}$ su naponi koji su između sebe fazno pomereni za $2\pi/3$. Faza između svakog od ovih napona je ista što i dovodi do zaključka da je sistem simetričan. Nominalna frekvencija na kojoj se posmatra rad čitavo sistema i filtra je $f = 50\text{Hz}$. Vrednosti

$\omega RC = \sqrt{3}$ i $R = 2R_1$ podešene su tako da se poštuje fazna razlika između ulaznih napona.

U izrazu (4) prikazano je kako se analitičkim putem dobija inverzna komponenta. Za bilinearnu transformaciju neophodno je da se prenosna funkcija filtra iz s – domena transformiše u z – domen poznatim izrazom:

$$s = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

gde $T_s = 1/f_s$ predstavlja period semplovanja.

Za dobijanje ukupne prenosne funkcije filtra potrebno je izvršiti transformaciju ulaznih analognih vrednosti u z – domen:

$$\overline{U_B} = U \cos(\omega t) \xrightarrow{n} x_1[n] \xrightarrow{z} x_1(z) \quad (6)$$

$$\overline{U_C} = U \cos\left(\omega t + 2\pi/3\right) \xrightarrow{z} \quad (7)$$

$$\xrightarrow{z} x_2(z) = -0.5 \cdot x_1(z) + 1.73 \cdot x_1(z) \cdot z^{-1}$$

$$\overline{U_A} = U \cos\left(\omega t + 4\pi/3\right) \xrightarrow{z} \quad (8)$$

$$\xrightarrow{z} x_3(z) = -0.5 \cdot x_1(z) - 1.73 \cdot x_1(z) \cdot z^{-1}$$

Prenosna funkcija jedne sekcije filtra u diskretnom obliku je:

$$H_1(z) = \alpha \frac{1+z^{-1}}{1+\beta \cdot z^{-1}} \quad (9)$$

gde su :

$$\alpha = \frac{k}{1+2\frac{\Omega_0}{T_s}} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{1-2\frac{\Omega_0}{T_s}}{1+2\frac{\Omega_0}{T_s}} \quad (11)$$

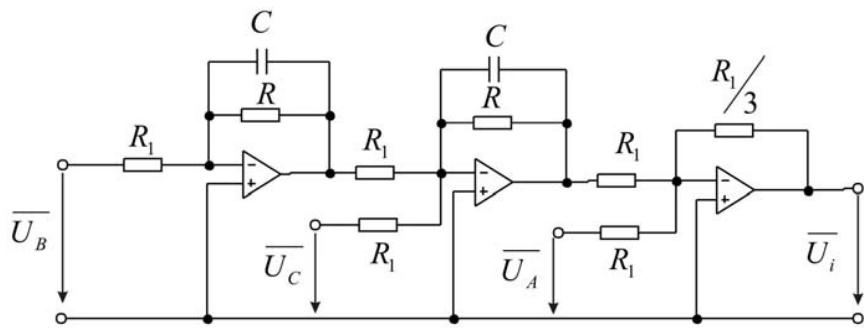
gde je $\Omega_0 = RC$ i prenosna funkcija predstavlja digitalni filter sa beskonačnim impulsnim odzivom tj. IIR filter. Korišćenjem postojećih parametara moguće je realizovati celi digitalni filter za dobijanje inverzne komponente što je prikazano na slici 2.

Primenjujući izraze (6), (7), (8) i (9) i koristeći dobijeni izgled digitalnog filtra dobijamo ukupnu prenosnu funkciju digitalnog filtra u Z – domenu:

$$H_{ekv}(z) = \gamma \cdot H_1^2(z) - 0.5 \cdot \gamma \cdot H_1(z) + \\ + 1.73 \cdot \gamma \cdot H_1(z) \cdot z^{-1} - 0.5 \cdot \gamma - 1.73 \cdot \gamma \cdot z^{-1} \quad (12)$$

VI. TESTIRANJE ALGORITMA I REZULTATI

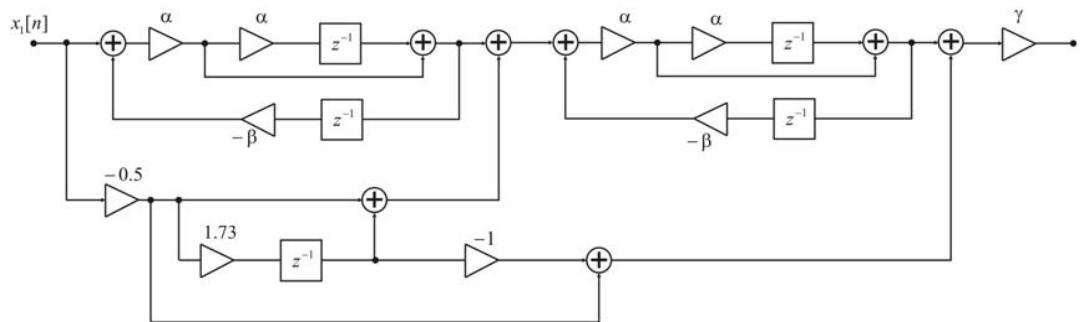
Za prikazanu transformaciju analognog filtra u odgovarajući digitalni filter za dobijanje inverzne komponente u električnim mrežama izvršena je analiza koja daje odziv i amplitudsku karakteristiku pomenutog digitalnog filtra. Testiranje digitalnog filtra i dobijanje traženih karakteristika dobijeno je pomoći računarski generisanim signalima u programskom paketu *WolframResearch Mathematica 5.1*.



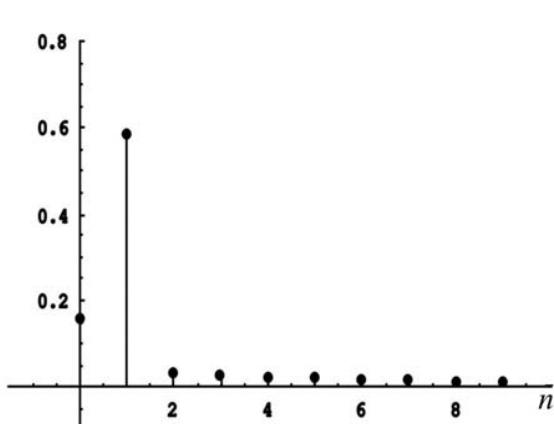
Slika 1. Izgled analognog filtra za dobijanje inverzne komponente

U analizama je vršena promena frekvencije semplovanja i s'tim u vezi prikazane su karakteristike digitalnog filtra. Prepostavljen je da je frekvencija u mreži $f = 50Hz$ i da su u cilju održavanja simetričnosti ostali parametri nepromenjeni: $\omega RC = \sqrt{3}$ i $R = 2R_1$, gde su $\Omega_0 = RC$, $k = -\frac{R}{R_1} = -2$ i $\gamma = -\frac{1}{3}$.

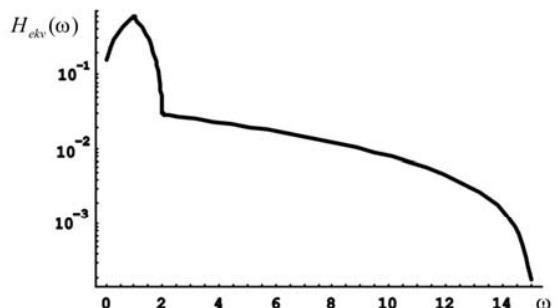
Kao najniža frekvencija semplovanja uzeta je $f_s = 4.2KHz$. Na slikama 3. i 5. prikazani su odzvi digitalnog filtra gde n predstavlja broj odmeraka, dok su na slikama 4. i 6. prikazane amplitudske karakteristika za frekvencije $f_s = 4.2KHz$ i $f_s = 10KHz$.



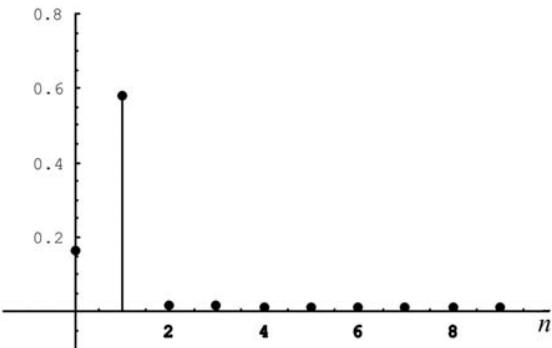
Slika 2. Izgled digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente napona u simetričnom režimu



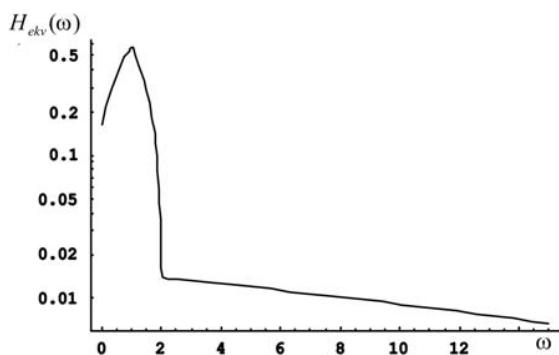
Slika 3. Odziv digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente za $f_s = 4.2KHz$



Slika 4. Amplitudska karakteristika digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente za $f_s = 4.2KHz$



Slika 5. Odziv digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente za $f_s = 10\text{kHz}$



Slika 6. Amplitudska karakteristika digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente za $f_s = 10\text{kHz}$

Na osnovu dobijenih karakteristika i proračuna izvedena su dva zaključka: prvi je da se povećanjem frekvencije semplovanja amplitudna karakteristika se sužava i drugi, primećeno je da daljim povećanjem frekvencije semplovanja karakteristike ne menjaju svoj oblik.

I. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisana je sistem za dobijanje odgovarajućeg digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente u trofaznim električnim mrežama. Dobijen je filter pomoću bilinearne transformacije i sa beskonačnim impulsnim odzivom (IIR filter). Ovakav filter može biti realizovan kako hardverski tako i softverski što u ovom slučaju može da predstavlja lakše rešenje za implementaciju.

LITERATURA

- [1] Bjelić, S., Matić, D., Application of Digital Signal Processing to the Control and Protection
- [2] M. Popović, Digitalna obrada signala, Akademski Misao, Beograd, 2003
- [3] Bjelić, S., Matić, D., Application of Digital Signal Processing to the Control and Protection System at Substation, AMSE Scientific International Conference on Communication, Signals and Systems (Session 6.) CSS'96 Brno (Czech Republic)
- [4] Bjelić, S., Matić, D., Application of Digital Signal Processing to the Control and Protection System at Substation, AMSE Scientific International Conference on Communication, Signals and Systems (Session 6.) CSS'96 Brno (Czech Republic)

- [5] Mladenović V., Bjelić S., "Discret signal processing in function of measurements, control and protection of power system versus short contacts", Proceeding of The advanced school of electrotechnical engineering Pozarevac, April 2006. (original science paper) UDK 621.391:621.311.064.1
- [6] Mladenović V., Bjelić S., "Measuring of nonsymmetrical components in power energy networks", The IASTED International Conference on Power, Energy, and Applications PEA(2006), September 11-13, 2006, Gaborone, Botswana ID#506-047
- [7] Mladenović V., Bjelić S., "Probability error of unideal extraction of discret phase shift using zero components", INFOTEH 2006, Republic of Serbia

ABSTRACT

In this paper the transformation of active analogue filter in corresponding digital filter for obtaining inverse components of three-phase electrical networks using bilinear transformation is described. Also, the characteristics of obtained digital filter are given.

DIGITAL FILTER FOR OBTAINING INVERSE COMPONENTS IN ELECTRICAL NETWORKS

Vladimir Mladenović, Mile Petrović, Slobodan Bjelić