

Digitalni filter za dobijanje inverzne komponente iz prototipa allpass filtra

Vladimir M. Mladenović, Slobodan N. Bjelić

Sadržaj — Za rešavanje pojedinih problema u mnogobrojnim analizama vrlo često se električne mreže posmatraju kao četvorpoli. Jedna od pojava koje su često prisutne, naročito u trofaznim električnim mrežama, su nesimetrije. Nesimetrije se određenim transformacijama prevode u simetrične i iza njih u mrežama su prisutne nulta, inverzna i direktna komponenta napona i struje. Jedna od metoda za njihovo detektovanje odnosi se na projektovanje digitalnog filtra koji ima ulogu da izvrši prikupljanje svih neophodnih parametara iz mreže koji su kontinualne prirode, izvrši njihovu konverziju u digitalni domen i obradi podatke koji će dati realno stanje sistema. Razlog za korišćenje metoda iz oblasti digitalnoj obradi signala odnosi se na sve veću potrebu praćenja i detektovanja mnogih neželjenih pojava prisutnih u elektrini mreža i njihovo uklanjanje.

U ovom radu opisana je analiza digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente u trofaznim električnim mrežama dobijenog bilinearnom transformacijom iz prototipa aktivnog analognog allpass filtra. Date su njegove karakteristike i promene za različite frekvencije odmeravanja.

Cljučne reči — Bilinearna transformacija, Digitalni filtri, Inverzna komponenta

I. UVOD

MNOGI signali u nauci i inženjerstvu su po svojoj prirodi analogni što znači da uzimaju vrednosti iz kontinualnog opsega.

Za povećanje efikasnosti kontrole režima električnih mreža koje sadrže distributivna postrojenja, i smanjenje vremena uspostavljanja normalnih režima mreže posle kvarova mora se u svakom distributivnom postrojenju postaviti uređaj koji bi osigurao neprekidnu ocenju stanja mreže. Glavni zadatak u proračunavanju digitalne obrade je pronalazjenje algoritama koji se lako implementiraju i koji su brzi i efikasni.

Ovaj rad opisuje primenu digitalnih filtara u oblasti obrade signala inverzne komponente u trofaznim elektroenergetskim sistemima.

II. INVERZNA KOMPONENTA NAPONA

Vektor \dot{a} je kompleksni vektor čija je apsolutna vrednost jednaka jedinici i pokazuje određeni ugao položaj i za trofazni sistem električne mreže karakteristično je da

vektor \dot{a} ima vrednost $2\pi/3$ dok se druga faza predstavlja

$(\dot{a})^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$. Na osnovu ovoga važi da je:

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

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

U radu [1] opisan je elektroenergetski sistem u kome su prisutne razne nesimetrije koje ogledaju u vidu raznih promena faznih stavova, promeni amplituda napona i struja i prisustva raznih smetnji u procesu prenosa električne energije. Poznato je, takođe, da se u praksi putem transformacija nesimetrični sistem prilagođava tako da postane simetričan i kao takav moguće ga je koristiti u raznim proračunima. Od imetričnih komponenti postoje komponente:

- direktnog redosleda

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

- inverznog redosleda

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

- 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.

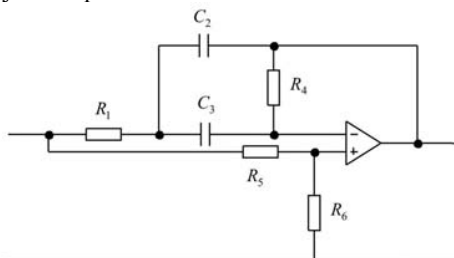
III. DIGITALNI FILTRI ZA DOBIJANJE INVERZNE KOMPONENTE

U elektroenergetici postoji niz postupaka za dobijanje inverzne komponente napona. Transformacijom analognog aktivnog filtra u odgovarajući digitalni moguće je izvršiti analiziranje inverzne komponente i pomoću nje detektovati određene kvarove u mreži. Analogni filter sastoji se od trostepenih filtara gde se na ulaz svakog narednog stepena dovodi izlaz prethodnog stepena, s tim što svaki naredni stepen ima po dva ulaza. Posmatrajući izraz (4) za dobijanje inverzne komponente uočava se da se na ulaz prvog stepena, koji predstavlja allpass filter, dovodi komponenta U_B . Filtarska sekcija mora da bude podešena tako da faza na izlazu ove sekcije mora da bude $2\pi/3$. Na ulazu drugog stepena, koji predstavlja drugi allpass filter, dovodi se izlaz prethodnog stepena i napon U_C . Filter, takođe, mora biti podešen na $2\pi/3$. Na izlazu drugog stepena filtera pojavljuje se zbir napona $a^2 \cdot U_C + a \cdot U_B$ sa fazom od

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

$4\pi/3$. Poslednji stepen ne predstavlja filter već kolo za sabiranje napona gde se na jednom ulazu dovodi dobijeni zbir iz prethodnog stepena a na drugom napon U_A tako da se na izlazu celokupnog filtra dobija inverzna komponenta sistema.

Na slici 1. prikazan je aktivni analogni allpass filter. Za dobijanje inverzne komponente i realizaciju izraza (4) korišćena je šema prikazana na slici 2 i 3.



Sl. 1. Prikaz ćelije aktivnog analognog allpass filtra.

IV. PRORAČUN ALLPASS FILTRA PRVOG STEPENA

Zbog jednostavnosti transformacija i proračuna uzete su sledeće aproksimacije $R_1 = R_3 = R_4 = R$ i $C_2 = C_5 = C$ tako da je prenosna karakteristika sledećeg oblika:

$$H(s) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 + s \cdot RC + s^2 (RC)^2}{(1 + s \cdot RC)^2} \quad (6)$$

Zbog uslova simetričnosti sistema neophodno je da bude ispunjen uslov $\frac{\omega RC(1 - \omega^2 (RC)^2)}{1 + \omega^4 (RC)^4} = \sqrt{3}$, tj. da bi faze iz-

među sebe zadržale faznu razliku $2\pi/3$. Primenom bilinearne transformacije i prelaskom u z domen prenosna karakteristika dobija sledeći oblik:

$$H(z) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha_1 + 2\beta_1 \cdot z^{-1} + c_1 \cdot z^{-2}}{\alpha_2 + 2\beta_1 \cdot z^{-1} + c_2 \cdot z^{-2}} \quad (7)$$

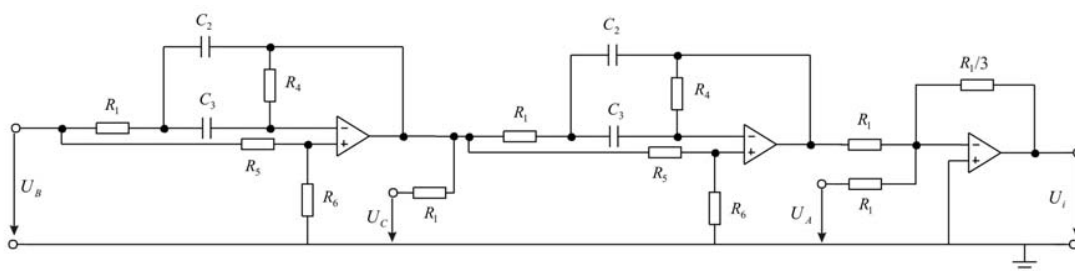
gde su:

$$\alpha_1 = 1 + \frac{T_s}{\tau} + \frac{T_s^2}{\tau^2} \quad (8)$$

$$\beta_1 = 1 - \frac{T_s^2}{\tau^2} \quad (9)$$

$$c_1 = 1 - \frac{T_s}{\tau} + \frac{T_s^2}{\tau^2} \quad (10)$$

$$\alpha_2 = 1 + 2 \frac{T_s}{\tau} + \frac{T_s^2}{\tau^2} \quad (11)$$



Sl. 3. Prikaz aktivnog analognog allpass filtra za dobijanje inverzne komponente.

$$c_2 = 1 - 2 \frac{T_s}{\tau} + \frac{T_s^2}{\tau^2} \quad (12)$$

V. TESTIRANJE ALGORITMA

Sintezom transformisanih filtera u odgovarajući digitalni dobija se ukupna prenosna funkcija u z domenu:

$$H_{okv}(z) = K \cdot H(z) \cdot H(z) - 0.5 \cdot K \cdot H(z) + 1.73 \cdot K \cdot H(z) \cdot z^{-1} - 0.5 \cdot K - 1.73 \cdot K \cdot z^{-1} \quad (13)$$

Radi lakše analize i dobijanje željenih karakteristika i odziva potrebno je izvršiti transformaciju ulaznih analognih vrednosti u z - domen i imaju sledeći oblik:

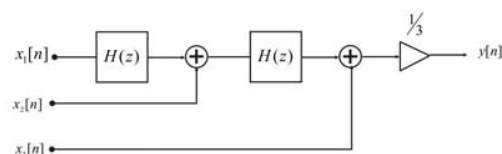
$$\overline{U_B} = U \cos(\omega t) \xrightarrow{n} x_1[n] \xrightarrow{z} x_1(z) \quad (14)$$

$$\overline{U_C} \angle 2\pi/3 \xrightarrow{z} H_{\varphi_1}(z) = x_2(z) = -\frac{1}{2} \cdot x_1(z) (1 - \sqrt{3} \cdot z^{-1}) \quad (15)$$

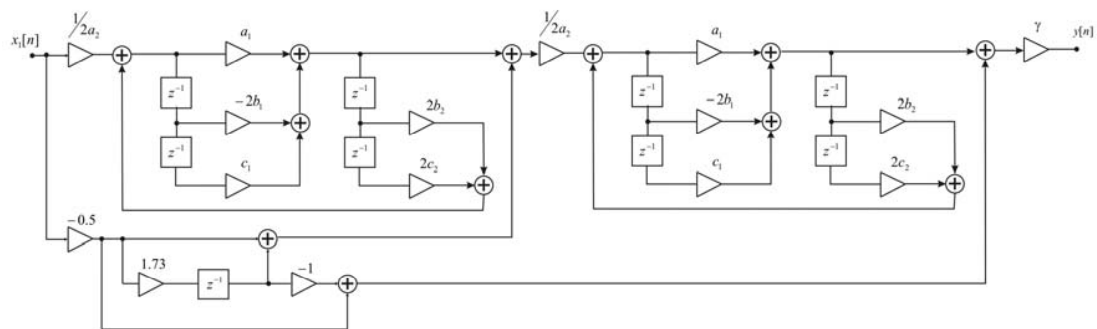
$$\overline{U_A} \angle 4\pi/3 \xrightarrow{z} H_{\varphi_2}(z) = x_3(z) = -\frac{1}{2} \cdot x_1(z) (1 + \sqrt{3} \cdot z^{-1}) \quad (16)$$

Za prikazanu transformaciju analognog filtra u odgovarajući digitalni filter izvršena je analiza koja daje odziv i amplitudsku karakteristiku pomenutog digitalni filtra. Testiranje digitalnog filtra i dobijanje traženih karakteristika dobijeno je pomoću računarski generisanih signala u programskom paketu *WolframResearch Mathematica 5.1*.

U analizama je vršena promena frekvencije semplovanja i s tim u vezi prikazane su karakteristike digitalnog filtra. Pretpostvaljeno je da je frekvencija u mreži $f = 50\text{Hz}$ i da su u cilju održavanja simetričnosti ostali parametri nepromenjeni. Kao najniža frekvencija semplovanja uzeta je $f_s = 100\text{Hz}$. Na slikama 5, 7, 9 11. prikazani su odzivi digitalnog filtra gde n predstavlja broj odmeraka, dok su na slikama 6, 8, 10 i 12. prikazane amplitudske karakteristika za frekvencije $f_s = 100\text{Hz}$, $f_s = 200\text{Hz}$, $f_s = 400\text{Hz}$ i $f_s = 1\text{KHz}$



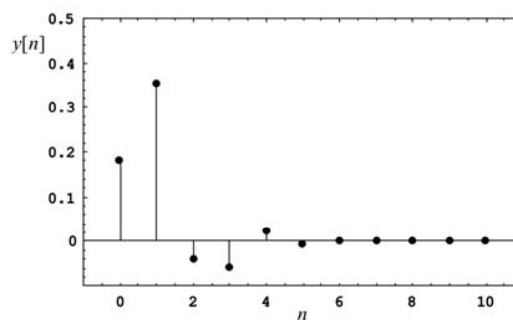
Sl. 2 Digital filter for obtaining inverse component



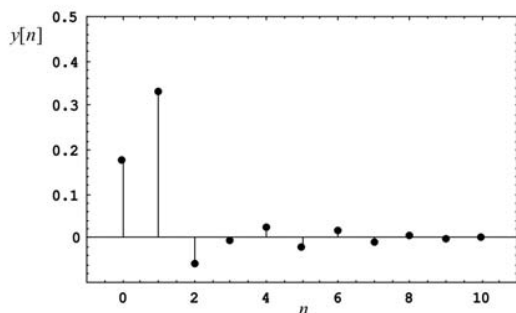
Sl. 4. Izgled digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente u električnim mrežama

I. REZULTATI I KARAKTERISTIKE

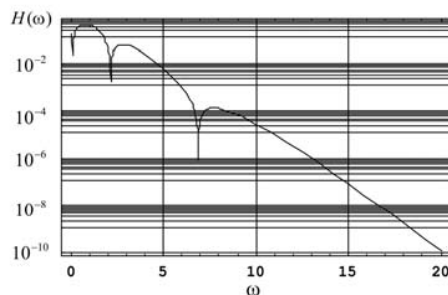
Kao što je u prethodnom delu najavljeno analiza digitalnog filtra za dobijanje inverzne komponente u treofaznim električnim mrežama urađena je pri mrežnoj frekvenciji od $f = 50\text{Hz}$. Najniža frekvencija smplovanja uzeta je $f_s = 100\text{Hz}$. Na slikama 5, 7, 9 i 11. prikazani su odzivi digitalnog filtra gde n predstavlja broj odmeraka, dok su na slikama 6, 8, 10 i 12. prikazane amplitudske karakteristike za frekvencije $f_s = 100\text{Hz}$, $f_s = 200\text{Hz}$, $f_s = 400\text{Hz}$ i $f_s = 1\text{KHz}$.



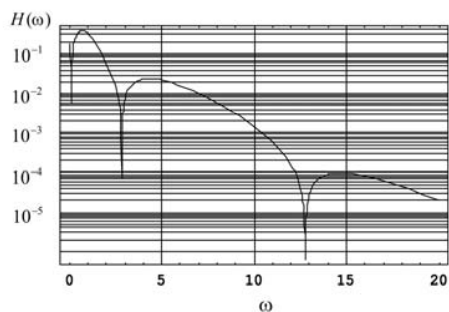
Sl. 7. Odziv digitalni filtra na $f_s = 200\text{Hz}$



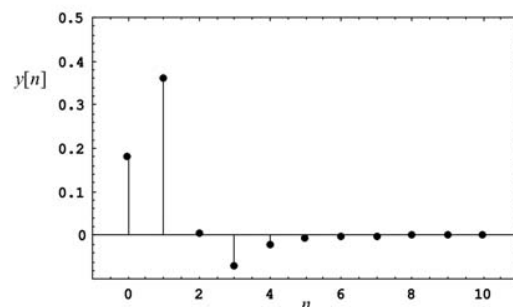
Sl. 5. Odziv digitalni filtra na $f_s = 100\text{Hz}$



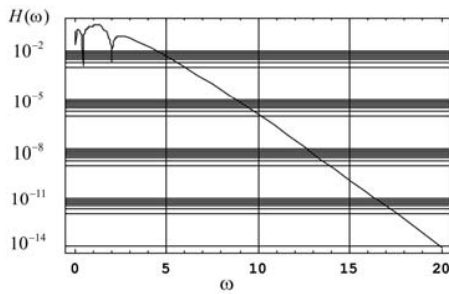
Sl. 8. Amplitudska karakteristika digitalni filtra na $f_s = 200\text{Hz}$



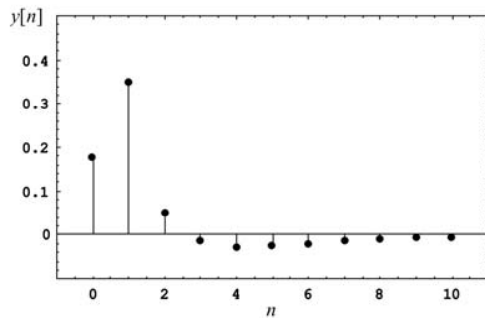
Sl. 6. Amplitudska karakteristika digitalni filtra na $f_s = 100\text{Hz}$



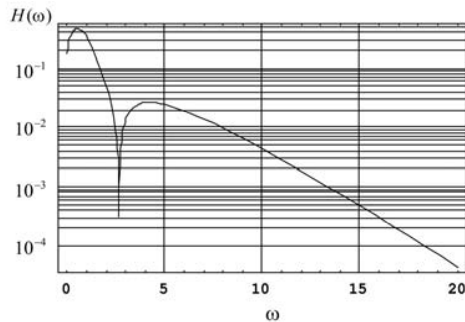
Sl. 9. Odziv digitalni filtra na $f_s = 400\text{Hz}$



Sl. 10. Amplitudska karakteristika digitalni filtra na $f_s = 400\text{Hz}$



Sl. 11. Odziv digitalni filtra na $f_s = 1\text{KHz}$



Sl. 12. Amplitudska karakteristika digitalni filtra na $f_s = 1\text{KHz}$

TABELA 1: VREDNOSTI ODMERAKA.

n	$f(\text{Hz})$			
	100	200	400	1000
0	0.179	0.182	0.182	0.179
1	0.331	0.352	0.362	0.35
2	-0.059	-0.04	0.007	0.05
3	-0.007	-0.058	-0.068	-0.013
4	0.024	0.024	-0.021	-0.027
5	-0.022	-0.006	-0.005	-0.025
6	0.016	0.001	-0.001	-0.019
7	-0.01	0.00005	-0.0002	-0.014
8	0.006	-0.0001	-0.00004	-0.009
9	-0.003	0.00006	-10^{-5}	-0.006
10	0.001	-0.00002	$-0.14 \cdot 10^{-5}$	-0.004

LITERATURA

- [1] V. Mladenović, M. Petrović, S. Bjelić, "Digitalni filtar za dobijanje inverzne komponente u električnim mrežama", 14th TELECOMMUNICATIONS FORUM, TELFOR 2006., IEEE COM SOC Chapter Serbia & Montenegro, Belgrade, Serbia 21, 22 and 23. November 2006 (in Serbian), OS#5.1
- [2] Z. Perić, *Osnove vektorske kvantizacije*, Elektronski fakultet Niš, Monografija 2005.
- [3] V. Mladenovic, S. Bjelic, "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
- [4] V. Mladenovic, S. Bjelic., "Probability error of unideal extraction of discret phase shift using zero components", INFOTEH 2006, Republic of Serbia
- [5] V. Mladenovic, S. Bjelic, "Measuring of nonsymmetrical components in power energy networks", The IASTED I International Conference on Power, Energy, and Applications PEA(2006), September 11-13, 2006, Gaborone, Botswana ID#506-047
- [6] M. Lutovac, D. Tosic, B. Evans, *Filter Design for Signal Processing*, Contents Foreword Preface Software Prentice Hall, ISBN 0-201-36130-2

ABSTRACT

Very often, the electrical networks are observed as four-pole in many analysis. One of present cases, especially in tree-phases electrical networks, are unsymmetries. Unsymmetries are transformed in symmetrical and for this reason the zero, negative sequence and direct components of voltage and current are present in electrical networks.

One of methods for detection of these components is using design of digital filter which has to get all necessary paramteres from network and converts to digital form.

In this paper, the analysis of obtaining digital filter for getting negative sequence in three-phases electrical networks obtained from bilinear transformatio using prtotype of analogue allpass filter. The characteristics of changing are given for different sampling frequency.

DIGITAL FILTER FOR OBTAINING NEGATIVE SEQUENCE USING PROTOTYPE OF ALLPASS FILTER

Vladimir M. Mladenovic, Slobodan N. Bjelić