

ANALIZA METODA ZA ELIMINACIJU UTICAJA OPADAJUĆE JEDNOSMJERNE KOMPONENTE U FURIJEOVOM ALGORITMU ZA ODREĐIVANJE AMPLITUDE OSNOVNOG HARMONIKA MJERNOG SIGNALA ZA POTREBE RELEJNE ZAŠTITE

ANALYSIS OF VARIOUS METHOD FOR REMOVING DECAYING DC COMPONENT IN FOURIER ALGORITHM FOR AMPLITUDE ESTIMATION OF THE FUNDAMENTAL HARMONIC IN POWER SYSTEM PROTECTION

V. BAJIĆ, Elektrokrajina, Banja Luka, Republika Srpska
M. ĐURIĆ, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija
Z. ADŽIĆ, Elektrokrajina, Banja Luka, Republika Srpska

UVOD

U tehnici relejne zaštite za određivanje amplitude osnovnog harmonika mjernog signala najčešće se koristi Furijeov algoritam. Furijeov algoritam je robusan i ima dobre filterske karakteristike, ali je osjetljiv na prisustvo opadajuće jednosmjerne komponente u mjernom signalu. Opadajuća jednosmjerna komponenta utiče na tačnost i brzinu odziva algoritma. U ovom radu, na početku je prikazan nastanak i uticaj opadajuće jednosmjerne komponente na tačnost određivanja amplitude osnovnog harmonika mjernog signala primjenom Furijeovog algoritma, a zatim su analizirane metode za eliminaciju opadajuće jednosmjerne komponente iz mjernog signala i njihova primjena u Furijeovom algoritmu. Analiza je potkrijepljena detaljnim testiranjem metoda uz pomoć računarskih simulacija na mjerni signal koji se sastoji od opadajuće jednosmjerne komponente, osnovnog i viših harmonika.

FURIJEOV ALGORITAM I OPADAJUĆA JEDNOSMJERNA KOMPONENTA

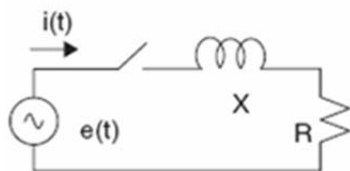
Označimo sa m broj odbiraka na periodu osnovnog harmonika mjernog signala, dobijenih sa periodom odabiranja dt , tako da je zadovoljen Nikvistov kriterij. Furijeov algoritam za određivanje fazora k -tog harmonika mjernog signala bazira se na primjenidiskretnog Furijeovog reda (1). Za $k=1$, dobija se fazor osnovnog harmonika mjernog signala.

$$\bar{V}_k = \frac{2}{m} \left[\sum_{n=0}^{m-1} v_n \cos\left(k \frac{2\pi n}{m}\right) - j \sum_{n=0}^{m-1} v_n \sin\left(\frac{2\pi n}{m} k\right) \right] = C_{k_{re}} - j C_{k_{im}} \quad (1)$$
$$V_{k_m} = \sqrt{C_{k_{re}}^2 + C_{k_{im}}^2}, \quad V_{k_{eff}} = \frac{V_{k_m}}{\sqrt{2}}, \quad \phi_k = \arctg \frac{C_{k_{im}}}{C_{k_{re}}}$$

Primjenom Furijeovog algoritma za određivanje amplitude osnovnog harmonika mjernog signala dobijaju se tačne vrijednosti amplitude, ako su zadovoljeni sljedeći uslovi:

1. Frekvencija najvišeg harmonika u mjernom signalu je manja od $(m/2)f_1$, gdje je f_1 frekvencija osnovnog harmonika mjernog signala.
2. U mjernom signalu ne postoji opadajuća jednosmjerna komponenta.

Međutim, ako u mjernom signalu postoji i opadajuća jednosmjerna komponenta, tada algoritam neće odrediti tačnu amplitudu osnovnog harmonika mjernog signala. Nastanak opadajuće jednosmjerne komponente može se objasniti ako se posmatra jednostavno električno kolo, prikazano na slici 1.



Slika 1 – Pomoćno električno kolo

Pretpostavimo da se kvar desio u trenutku $t=0$, u kojem je napon na izvoru $e(t)$ dat sa (2).

$$e(t) = \sqrt{2E} \cos(\omega_0 t + \phi) \quad (2)$$

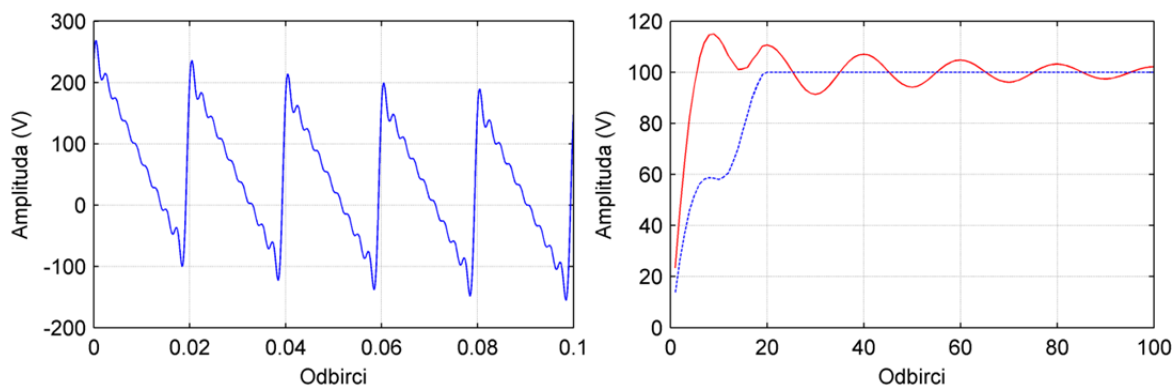
Tada je struja kvara $i(t)$:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2E}}{\sqrt{(R^2 + X^2)}} \cos(\omega_0 t + \phi - \Psi) - \frac{\sqrt{2E}}{\sqrt{(R^2 + X^2)}} \cos(\phi - \Psi) e^{-\frac{\omega_0 R t}{X}} \quad (3)$$

Drugi član u (3) predstavlja opadajuću jednosmjernu komponentu u mjernom signalu. U daljem izvođenju, pretpostavićemo da se mjerni signal sastoji od osnovnog harmonika, opadajuće jednosmjerne komponente i viših harmonika. Matematički oblik ovog mjernog signala dat je sa (4). Usvojićemo da je $N=9, V_{dc} = V_{max} = 100V, \tau = 0.05s$ i $\theta = 10^\circ$. Na osnovu datih podataka i Nikvistovog kriterija, usvaja se frekvencija odabiranja od 1kHz. Za usvojenu frekvenciju odabiranja postoji 20 odbiraka u prozoru podataka ($m=20$).

$$v(t) = V_{dc} e^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\theta) \quad (4)$$

Na slici 2a prikazan je mjerni signal (4), a na slici 2b prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (4) sa $V_{dc} = 0V$ i $V_{dc} = 100V$ određena primjenom Furijeovog algoritma. Sa slike 2b vidi se da algoritam daje tačnu vrijednost amplitude osnovnog harmonika, ako mjerni signal ne sadrži opadajuću jednosmjernu komponentu, dok u slučaju prisustva opadajuće jednosmjerne komponente, algoritam daje vrijednosti amplitude osnovnog harmonika koje se ne mogu koristiti u praksi. Kašnjenje algoritma jednako je jednoj periodi osnovnog harmonika, a to je u ovom slučaju 20 odbiraka.

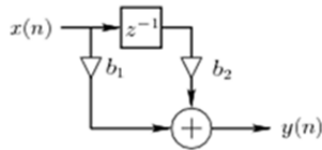


Slika 2 – (a) Mjerni signal (4); (b) Amplituda osnovnog harmonika signala (4) za $V_{dc}=0$ (crtkano) i $V_{dc}=100V$ određena Furijeovim algoritmom

Prema tome, za praktičnu primjenu Furijeovog algoritma, neophodno je izvršiti eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente. U ovom radu analiziranesu četiri različite metode za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente u Furijeovom algoritmu.

METODA 1

Prva metoda bazira se na primjeni digitalnog visokopropusnog filtera konačnog impulsnog odziva sa dva člana, koji je u tehnici relejne zaštite poznat pod nazivom digitalni mimic filter [3]. Blok dijagram digitalnog mimic filtera prikazan je na slici 3.



Slika 3 – Digitalni mimic filter

Matematički model filtera dat je sa (5).

$$y(n) = b_1 \cdot x(n) + b_2 \cdot x(n - 1) \quad (5)$$

pri čemu se parametri filtera određuju tako da je zadovoljena jednakost (6).

$$K(f_0 \text{ Hz}) = |K[(1 + \tau) - \tau e^{-j\omega t}]| = 1 \quad (6)$$

Pojačanje K jednako je jedinici za vrijednost frekvencije osnovnog harmonika. Razvojem prethodne formule dobijaju se relacije za određivanje vrijednosti parametara filtera (7).

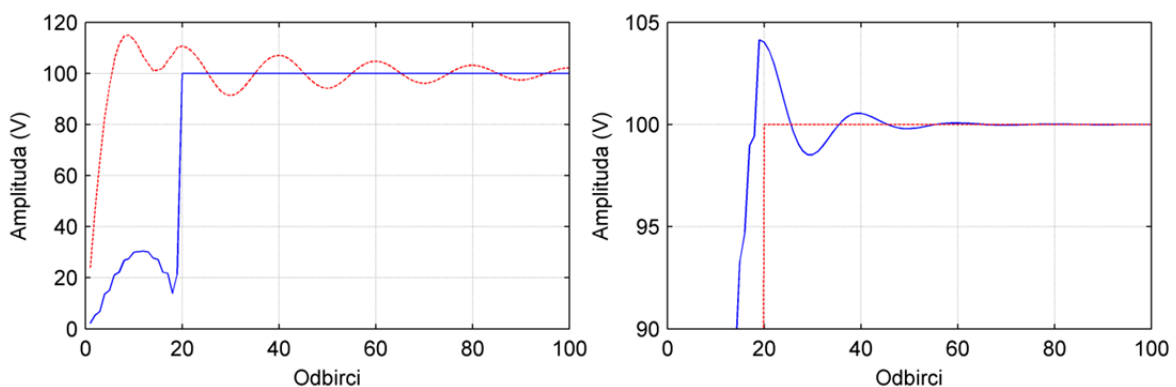
$$|K(1 + \tau f_s) - K\tau f_s \cos(\omega T_s) + jK\tau f_s \sin(\omega T_s)| = 1$$

$$f_s = (br_odb_u_prozoru_podataka) \cdot f_0 \quad K = \sqrt{1/(M^2 + N^2)}$$

$$M = 1 + \tau f_s - \tau f_s \cos\left(\frac{2\pi f_0}{f_s}\right) \quad b_1 = K(1 + \tau f_s) \quad (7)$$

$$N = \tau f_s \sin\left(\frac{2\pi f_0}{f_s}\right) \quad b_2 = -K\tau f_s$$

Primjenom navedenog digitalnog mimic filtera u Furijeovom algoritmu smanjuje se ili u potpunosti eliminiše uticaj opadajuće jednosmjerne komponente. Digitalni mimic filter ne unosi dodatno kašnjenje u algoritam, jer su za njegovu realizaciju potrebna dva odbirka, a operacije množenja i sabiranja izvode se u toku uzimanja svakog novog odbirka i formiranja prozora podataka. Osnovni nedostatak digitalnog mimic filtera je usvajanje vremenske konstante τ . Ako odabrana vremenska konstanta nije jednaka vremenskoj konstanti u el. kolu, tada ne dolazi do potpune eliminacije opadajuće jednosmjerne komponente. Na slici 4a, prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (4), određena primjenom Furijeovog algoritma bez (crtkano) i sa primjenom digitalnog mimic filtera.



Slika 4 – (a) Amplituda osnovnog harmonika signala (4) određena Furijeovim algoritmom bez (crtkano) i sa digitalnim mimic filterom; (b) Slučaj kada su vremenske konstante filtera i el. kola jednake (crtkano) i različite

Primjenom digitalnog mimic filtera, Furijeov algoritam određuje amplitudu osnovnog harmonika sa greškom od $\pm 0.02V$. U ovom slučaju pretpostavljeno je da su vremenske konstante filtera i ees-a u trenutku pojave kvara iste. U slučaju odstupanja pretpostavljene vremenske konstante u filteru i ees-u, u trenutku nastanka kvara, javlja se greška u određivanju amplitude osnovnog harmonika mjernog signala, što je prikazano na slici 4b. Ukoliko odstupanja između vremenskih konstanti nisu veća od

$\pm 10\tau$, tada greška u određivanju amplitude iznosi $\pm 0.3V$. Za veća odstupanja potrebno je koristiti neku drugu metodu za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente u Furijeovom algoritmu.

METODA 2

Posmatrajmo mjerni signal (8).

$$v(t) = V_{dc}e^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\phi) \quad (8)$$

Ako se uzme u obzir da je integral periodične funkcije, na intervalu koji je jednak periodu osnovnog harmonika jednak nuli, tada integral mjernog signala (8) na periodu osnovnog harmonika mjernog signala zavisi od prvog člana na desnoj strani, tj. od vrijednosti opadajuće jednosmjerne komponente. Koristeći vrijednost integrala mogu se odrediti parametri opadajuće jednosmjerne komponente, amplituda V_{dc} i vremenska konstanta τ . Ako sa T_0 označimo periodu osnovnog harmonika mjernog signala, tada vrijedi (9).

$$\begin{aligned} \int_{t-T_0}^t v(t) dt &= \int_{t-T_0}^t \left[V_{dc}e^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\phi) \right] dt \\ &= \int_{t-T_0}^t V_{dc}e^{-t/\tau} dt = [-\tau V_{dc}e^{-t/\tau}]_{t-T_0}^t = -\tau V_{dc}e^{-t/\tau}(1 - e^{-T_0/\tau}) = Z(t) \end{aligned} \quad (9)$$

Izraz (9) predstavlja vrijednost integrala opadajuće jednosmjerne komponente na intervalu osnovnog harmonika mjernog signala. Označimo sa $Z(t + \Delta t)$ vrijednost integrala opadajuće jednosmjerne komponente nakon malog vremenskog intervala Δt , tada vrijedi (10).

$$Z(t + \Delta t) = -\tau V_{dc}e^{-(t+\Delta t)/\tau}(1 - e^{-T/\tau}) = -\tau V_{dc}e^{-t/\tau}(1 - e^{-T/\tau}) \cdot e^{-\Delta t/\tau} = Z(t) \cdot e^{-\Delta t/\tau} \quad (10)$$

Pomoću formula (9) i (10) mogu se odrediti amplituda V_{dc} i vremenska konstanta τ opadajuće jednosmjerne komponente, što je dato formulom (11).

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{-\Delta t}{\ln \frac{Z(t+\Delta t)}{Z(t)}} \\ V_{dc} &= \frac{-Z(t)}{\tau \cdot e^{-t/\tau}(1 - e^{-T/\tau})} \end{aligned} \quad (11)$$

Ako sa m označimo broj odbiraka u prozoru podataka, tada je potrebno $m+1$ odbirak za određivanje integrala $Z(t)$ i $Z(t + \Delta t)$. U cilju pojednostavljenja određivanja parametara opadajuće jednosmjerne komponente, funkcija $e^{-\Delta t/\tau}$ može se razviti u Tejlorov red (12).

$$e^{-\Delta t/\tau} = 1 + (-\Delta t) \frac{1}{\tau} + (-\Delta t)^2 \frac{1}{\tau^2} + \dots = \frac{Z(t + \Delta t)}{Z(t)} \quad (12)$$

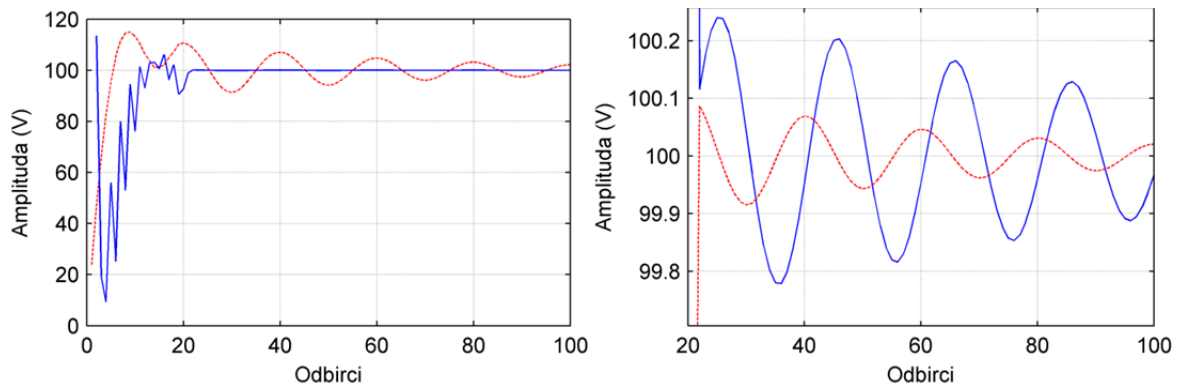
S obzirom da je perioda odabiranja Δt mnogo manja od vremenske konstante τ , tada se mogu koristiti samo prva dva člana Tejlorovog reda (12). U tom slučaju formula za određivanje parametara signala data je sa (13).

$$\begin{aligned} e^{-\Delta t/\tau} &= 1 + (-\Delta t) \frac{1}{\tau} = \frac{Z(t + \Delta t)}{Z(t)} \Rightarrow \\ \frac{1}{\tau} &= \left(1 - \frac{Z(t + \Delta t)}{Z(t)} \right) \frac{1}{\Delta t} \\ V_{dc} &= \frac{Z(T_0)}{-\tau(e^{-T/\tau} - 1)} \end{aligned} \quad (13)$$

Nakon određivanja parametara opadajuće jednosmjerne komponente V_{dc} i τ , formira se novi prozor podataka sa odbircima koji ne sadrže opadajuću jednosmjernu komponentu (14).

$$V'_k = V_k - V_{dc}e^{-k\Delta t/\tau} \quad (14)$$

Na slici 5a prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8) određena primjenom Furijeovog algoritma i prethodno izvedene metode za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente. Parametri signala (8) su isti kao i za mjerni signal (4), tj. $N=9$, $V_{dc} = V_{max} = 100V$, $\tau = 0.05s$ i $\theta = 10^\circ$. Izvedeni algoritam određuje amplitudu osnovnog harmonika sa greškom od $\pm 0.001\%$. Nedostatak ove metode je potreba za $m+1$ odbirak za određivanje parametara opadajuće jednosmjerne komponente, čime se povećava ukupno kašnjenje algoritma za jedan odbirak. Drugi nedostatak ove metode je prisustvo konstantne jednosmjerne komponente u mjernom signalu. Ako se mjernom signalu (8) doda konstantna jednosmjerna komponenta $V_0 \leq V_{max}$, tada greška određivanja amplitude iznosi $[\pm (V_0/2) \cdot 0.005\%]$. Na slici 5b prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8) kojem je dodana konstantna jednosmjerna komponenta od 50V. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se greška u oba slučaja može zanemariti.



Slika 5 – (a) Amplituda osnovnog harmonika signala (8) određena Furijeovim algoritmom bez (crtkano) i sa primjenom metode 2; (b) Ulazni signal (8) bez (crtkano) i sa konstantnom jednosmjernom komponentom

METODA 3

Ova metoda bazira se na primjeni realne komponente osnovnog harmonika Furijeovog algoritma (1), za određivanje parametara opadajuće jednosmjerne komponente. Neka se signal (8) odabire sa frekvencijom odabiranja f_{odb} , tako da je zadovoljen Nikvistov kriterij i neka je m broj odbiraka u prozoru podataka, tada je realna komponenta u Furijeovom algoritmu (1) data sa (15).

$$C_{1_{re}}(m) = \frac{2}{m} \sum_{n=1}^m \left\{ \left[V_{dc}e^{-\Delta t/\tau} + \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\phi) \right] \cos\left(\frac{2\pi n}{m}\right) \right\} \quad (15)$$

Analogno, uzimanjem novog odbirka i odbacivanjem najstarijeg odbirka u prozoru podataka, dobija se nova vrijednost realne komponente (16).

$$\begin{aligned} C_{1_{re}}(m+1) &= \frac{2}{m} \sum_{n=2}^{m+1} \left\{ \left[V_{dc}e^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\phi) \right] \cos\left(\frac{2\pi n}{m}\right) \right\} \\ &= C_{1_{re}}(m) + \frac{2}{m} (V_{dc}e^{-(m+1)\Delta t/\tau} - V_{dc}e^{-\Delta t/\tau}) \cos\left(\frac{2\pi}{m}\right) \\ &= C_{1_{re}}(m) + \frac{2}{m} V_{dc}e^{-\Delta t/\tau} (e^{-m\Delta t/\tau} - 1) \cos\left(\frac{2\pi}{m}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

Ponavljanjem prethodnog postupka dobija se (17).

$$C_{1,re}(m+2) = C_{1,re}(m+1) + \frac{2}{m} V_{dc} e^{-2\Delta t/\tau} (e^{-m\Delta t/\tau} - 1) \cos\left(\frac{2\pi}{m}\right) \quad (17)$$

Koristeći prethodne tri vrijednosti relanih komponenti osnovnog harmonika mjernog signala, mogu se pomoću formule (18) odrediti parametri opadajuće jednosmjerne komponente, amplituda V_{dc} i vremenska konstanta τ .

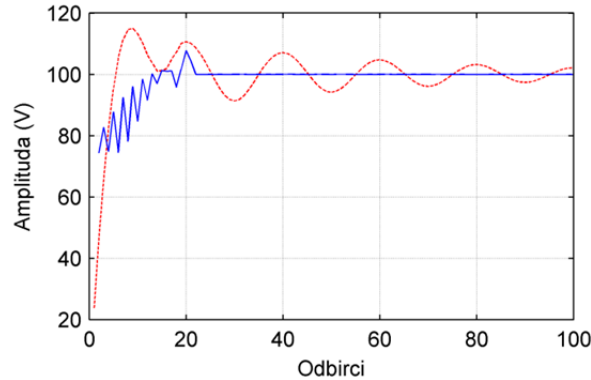
$$e^{-\Delta t/\tau} = \frac{(C_{1,re}(m+2) - C_{1,re}(m+1)) \cos\left(\frac{2\pi}{m}\right)}{(C_{1,re}(m+1) - C_{1,re}(m)) \cos\left(\frac{4\pi}{m}\right)} \quad (18)$$

$$V_{dc} = \frac{m(C_{1,re}(m+1) - C_{1,re}(m))}{\cos\left(\frac{2\pi}{m}\right) e^{-\Delta t/\tau} (e^{-m\Delta t/\tau} - 1)}$$

Nakon određivanja parametara opadajuće jednosmjerne komponente V_{dc} i τ , formira se novi prozor podataka sa odbircima koji ne sadrže opadajuću jednosmjernu komponentu (19).

$$V'_k = V_k - V_{dc} e^{-k\Delta t/\tau} \quad (19)$$

Na slici 6 prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8) određena primjenom Furijeovog algoritma i prethodno izvedene metode za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente. Izvedeni algoritam tačno određuje amplitudu osnovnog harmonika mjernog signala. Nedostatak ove metode je potreba za $m+2$ odbirka za određivanje parametara opadajuće jednosmjerne komponente, čime se povećava ukupno kašnjenje algoritma za dva odbirka.



Slika 6 – Amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8) određena Furijeovim algoritmom bez (crkano) i sa primjenom metode 3 za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente

METODA 4

Ova metoda bazira se na primjeni parcijalnih suma za određivanje parametara opadajuće jednosmjerne komponente u mjernom signalu. Neka se signal (8) odabire sa frekvencijom odabiranja f_{odb} , tako da je zadovoljen Nikvistov kriterij i neka je m broj odbiraka u prozoru podataka. U metodi se koriste dvije parcijalne sume formirane od parnih i neparnih odbiraka. Prva parcijalna suma, koja je formirana od neparnih odbiraka data je sa (20), gdje je $E = e^{-(\Delta t/\tau)}$.

$$PS1 = V_1 + V_3 + \dots + V_{m-1} = \sum_{k=1}^m V_{dc} E^{(2k-1)} + \sum_{k=1}^m \left\{ \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\phi) \right\} \quad (20)$$

Primjenom trigonometrijskih formula može se dokazati da vrijedi (21).

$$\sum_{k=1}^m \left\{ \sum_{n=1}^N \frac{V_{max}}{n} \sin(n\omega_0 t + n\phi) \right\} = 0 \quad (21)$$

Primjenom (21) u (20), dobija se (22).

$$PS1 = V_{dc} \frac{E(E^m - 1)}{E^2 - 1} \quad (22)$$

Analogno se formira i druga parcijalna suma od parnih odbiraka (23).

$$PS2 = V_2 + V_4 + \dots + V_m \Rightarrow$$

$$PS2 = V_{dc} \frac{E^2(E^m - 1)}{E^2 - 1} \quad (23)$$

Primjenom formula (22) i (23) dobijaju se formule za određivanje parametara opadajuće jednosmjerne komponente (24).

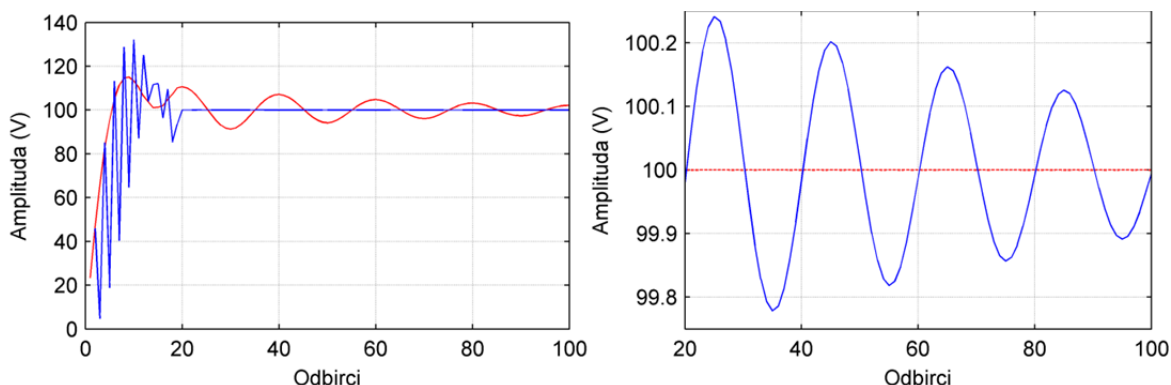
$$E = e^{-(\Delta t/\tau)} = \frac{PS2}{PS1}$$

$$V_{dc} = \frac{E^2 - 1}{E(E^m - 1)} PS1 \quad (24)$$

Određivanjem parametara opadajuće jednosmjerne komponente primjenom formule (24) formiraju se novi odbirci mjernog signala (8), koji ne sadrže opadajuću jednosmjernu komponentu (25).

$$V'_k = V_k - V_{dc} e^{-k\Delta t/\tau} \quad (25)$$

Na slici 7a prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8) određena primjenom Furijeovog algoritma i prethodno izvedene metode za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente. Izvedeni algoritam tačno određuje amplitudu osnovnog harmonika mjernog signala. Na slici 7b prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8) kojem je dodana konstantna jednosmjerna komponenta od 50V. Greška u određivanju amplitude osnovnog harmonika mjernog signala (8) sa konstantnom jednosmjernom komponentom iznosi $\left[\pm \left(\frac{V_0}{2} \right) \cdot 0.005\% \right]$, gdje je $V_0 \leq V_{max}$ amplituda konstantne jednosmjerne komponente. Ova greška može se zanemariti.



Slika 7 – (a) Amplituda osnovnog harmonika signala (8) određena Furijeovim algoritmom bez (crtkano) i sa primjenom metode 4; (b) Ulazni signal (8) bez (crtkano) i sa konstantnom jednosmjernom komponentom

ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodne analize, metode za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente možemo podijeliti u dve grupe. U prvu grupu spadaju metode koje eliminišu opadajuću jednosmjernu komponentu bez određivanja njenih parametara V_{dc} i τ , a u drugu grupu metode koje prethodno odrede parametre V_{dc} i τ , a zatim se oduzimanjem eliminiše opadajuća jednosmjerna komponenta. Digitalni mimik filter spada u prvu grupu, dok ostale metode spadaju u drugu grupu. Prednost digitalnog mimik filtera u odnosu na ostale metode je u brzini, jer su za njegovu realizaciju potrebna samo dva odbirka. Zbog toga se digitalni mimik filter može koristiti i u drugim algoritmima koji koriste dva ili više odbiraka za određivanje amplitude osnovnog harmonika mjernog signala. Nedostatak

digitalnog mimic filtera je pravilan izbor vremenske konstante filtera, koja mora biti približno jednaka očekivanoj vremenskoj konstanti ees-a u trenutku nastanka kvara.

Druga metoda zahtjeva $m+1$ odbirak, gdje je m broj odbiraka u prozoru podataka, čime se povećava ukupno kašnjenje Furijeovog algoritma za jedan odbirak. Primjenom druge metode u Furijeovom algoritmu, ukupna greška određivanja amplitude osnovnog harmonika mjernog signala koji sadrži i konstantnu i opadajuću jednosmjernu komponentu je mala i može se zanemariti.

Primjenom treće metode za eliminaciju uticaja opadajuće jednosmjerne komponente u Furijeovom algoritmu u potpunosti se eliminiše uticaj opadajuće jednosmjerne komponente i algoritam određuje tačnu vrijednost amplitude osnovnog harmonika mjernog signala. Osnovni nedostatak ove metode je potreban broj odbiraka od $m+2$ odbirka, čime se povećava ukupno kašnjenje algoritma za 2 odbirka. U odnosu na drugu metodu, u trećoj metodi se koriste već izračunate vrijednosti realne komponente fazora osnovnog harmonika mjernog signala, čime se smanjuje potreban broj aritmetičkih operacija.

Četvrta metoda za eliminaciju opadajuće jednosmjerne komponente u Furijeovom algoritmu, za razliku od druge i treće, ne povećava kašnjenje Furijeovog algoritma. Metoda je jednostavna, a greška koja nastaje usljed prisustva konstantne jednosmjerne komponente može se zanemariti. Nedostatak metode je potreban broj računskih operacija.

LITERATURA

1. M. Đurić, 2005, „Relejna zaštita“, „Beopres“
2. V. Bajić, M. Đurić, 2010, „Eliminacija uticaja opadajuće jednosmjerne komponente u nerekurzivnom Furijeovom algoritmu za određivanje efektivne vrijednosti signala primjenom digitalnog mimic filtera, Infoteh-Jahorina, Vol. 9, Ref. D-6, p. 380-383.
3. G. Benmouyal, 1995, „Removal of DC offset in current waveforms using digital mimic filtering“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 2.
4. Y. Cho, C. Lee, G. Jang, H. Lee, 2009, „An innovative decaying DC component estimation algorithm for digital relaying“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 1.
5. J. Gu, S. Yu, 2000, „Removal of DC offset in current and voltage signals using a novel Fourier filter algorithm“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1.
6. Y. Guo, M. Kezunovic, D. Chen, 2003, „Simplified algorithms for removal of the effect of exponentially decaying DC offset on the Fourier algorithm“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 3.
7. S. Karris, 2007, „Numerical analysis using Matlab and Excel“, Orchard Publications.