

# REALIZACIJA ADAPTIVNOG DIGITALNOG MIMIC FILTERA I IMPLEMENTACIJA U FURIJEOV ALGORITAM ZA ELIMINACIJU UTICAJA OPADAJUĆE JEDNOSMJERNE KOMPONENTE

## REALIZATION OF ADAPTIVE DIGITAL MIMIC FILTER AND IMPLEMENTATION IN FOURIER ALGORITHM TO ELIMINATE THE EFFECT OF DECAYING DC COMPONENT

Vanja Bajić, Elektrokrajina, Banja Luka  
Milenko Đurić, Elektrotehnički fakultet, Beograd

**Sažetak** – U tehnici relejne zaštite, za određivanje amplitude osnovnog harmonika mjernog signala najčešće se koristi Furijeov algoritam. Metoda je robusna i ima dobre filterske karakteristike, ali je osjetljiva na prisustvo opadajuće jednosmjerne komponente. Primjenom digitalnog mimic filtera opadajuća jednosmjerna komponenta može se djelimično ili u potpunosti eliminisati, što zavisi od vremenske konstantne digitalnog mimic filtera i konfiguracije elektroenergetskog sistema u trenutku pojave kvara. U radu je izvršena realizacija adaptivnog digitalnog mimic filtera i njegova primjena u Furijeovom algoritmu u cilju potpune eliminacije uticaja opadajuće jednosmjerne komponente, bez obzira na trenutnu konfiguraciju elektroenergetskog sistema u trenutku pojave kvara.

**Ključne riječi:** digitalni releji, Furijeov algoritam, adaptivni digitalni mimic filter, opadajuća jednosmjerna komponenta

**Abstract** – The most widely used method for amplitude estimation of fundamental frequency signal in power system protection is the Fourier method. The method is robust with good filter characteristics, but is sensitive at presence of decaying DC component. Using the digital mimic filter, a decaying DC component may be partly or totally removed, which depends of time constant in the mimic filter and the configuration of power system at the fault instant. In this analysis, the adaptive digital mimic filter is realized and is used in Fourier algorithm for removing decaying DC component without considering the configuration of power system at the fault instant.

**Key words:** digital relaying, Fourier algorithm, adaptive digital mimic filter, decaying DC component

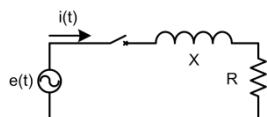
### 1. UVOD

Za određivanje amplitude osnovnog harmonika mjernog signala u tehnici relejne zaštite najčešće se koristi Furijeova metoda. Furijeova metoda ima dobra filterska svojstva i tačno određuje amplitudu osnovnog harmonika mjernog signala ako su zadovoljeni sljedeći uslovi:

- Frekvencija najvišeg harmonika u mjernom signalu je manja od  $(N/2)f_0$ , gdje je N broj odbiraka na periodu osnovnog harmonika ( $1/f_0$ ) mjernog signala.
- U mjernom signalu ne postoji opadajuća jednosmjerna komponenta.

U praksi, prvi uslov može se zadovoljiti primjenom kvalitetnog niskopropusnog filtera, dok se drugi uslov najčešće ne može zadovoljiti u slučajevima pojave kvara u elektroenergetskom sistemu, kada dolazi do pojave opadajuće jednosmjerne komponente.

Pojava opadajuće jednosmjerne komponente može se objasniti ako se posmatra električno kolo dato na slici 1.



Sl. 1 – Jednostavno električno kolo

Pretpostavimo da se kvar desio u trenutku  $t=0$  kada je napon na izvoru  $e(t)$  dat sa (1).

$$e(t) = \sqrt{2E} \cos(\omega_0 t + \phi) \quad (1)$$

Tada je struja kvara  $i(t)$  data sa (2).

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

Drugi član u (2) predstavlja opadajuću jednosmjernu komponentu. U toku analize i testiranja algoritma za određivanje amplitude osnovnog harmonika signala baziranog na primjeni adaptivnog digitalnog mimic filtera i Furijeove metode koristeće se testni signal dat sa (3) koji se sastoji od osnovnog i viših harmonika, kao i konstantne i opadajuće jednosmjerne komponente.

$$v(t) = V_a + V_b e^{-t/\tau} + \sum_{k=1}^N V_k \sin(k\omega_0 t + \phi) \quad (3)$$

gdje su:

$V_a, V_b$  - amplitude konstantne i opadajuće jednosmjerne komponente signala,

$V_k$  - amplituda k-tog harmonika signala

$\tau$  - vremenska konstanta,

$\omega_0 = 2\pi f_0$  - ugaona frekvencija osnovnog harmonika signala.

Broj harmonika u signalu ograničen je na N zbog pretpostavke da je posmatrani naponski mjerni signal prethodno propušten kroz niskopropusni filter koji je eliminisao više harmonike od N-tog.

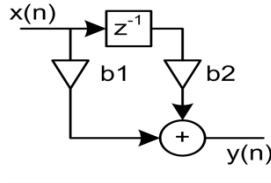
## 2. FURIJEOVA METODA I DIGITALNI MIMIC FILTER

Neka je  $m$  broj odbiraka na periodu osnovnog harmonika mjernog signala, dobijenih sa periodom odabiranja  $\Delta t$ , tako da je zadovoljen Nikvistov kriterij. Amplituda  $k$ -tog harmonika  $\bar{V}_k$  može se odrediti primjenom diskretnog Furijeovog reda (4). Amplituda osnovnog harmonika mjernog signala dobija se za  $k=1$ .

$$\bar{V}_k = \frac{2}{m} \left[ \sum_{n=0}^{m-1} v_n \cos\left(k \frac{2\pi n}{m}\right) - j \sum_{n=0}^{m-1} v_n \sin\left(\frac{2\pi n}{m} k\right) \right] = C_{re} - jC_{im} \quad (4)$$

$$V_m = \sqrt{C_{re}^2 + C_{im}^2}, \quad \phi = \arctg \frac{C_{im}}{C_{re}}$$

Kao što je već rečeno, ako mjerni signal ne sadrži opadajuću jednosmjernu komponentu Furijeova metoda će odrediti tačnu vrijednost amplitude osnovnog harmonika signala. Međutim, ako mjerni signal sadrži opadajuću jednosmjernu komponentu tada se dobijaju rezultati koji se ne mogu koristiti u tehnici relejne zaštite. Eliminacija uticaja opadajuće jednosmjerne komponente moguća je primjenom digitalnog mimic filtera koji je dat na slici 2 [1][3].



Sl. 2 – Digitalni mimic filter

Digitalni mimic filter je visokopropusni filter konačnog impulsnog odziva sa dva člana (eng. FIR – finite impulse response), čiji je matematički model dat sa (5).

$$y(n) = b1 \cdot x(n) + b2 \cdot x(n-1) \quad (5)$$

Parametri digitalnog mimic filtera određuju se pomoću relacije (6), gdje je pojačanje  $K$  jednako jedinici za frekvenciju koja je jednaka frekvenciji osnovnog harmonika. Vrijednost vremenske konstante  $\tau=x/r$  treba da je približno jednaka vremenskoj konstanti EES-a u trenutku pojave kvara

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

Razvojem relacije (6) dobijaju se formule date u (7), za određivanje vrijednosti parametara digitalnog mimic filtera.

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

$$f_s = (br\_odb\_u\_prozoru\_podataka) \cdot f_0$$

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

$$N = \tau f_s \sin\left(\frac{2\pi f_0}{f_s}\right) \quad (7)$$

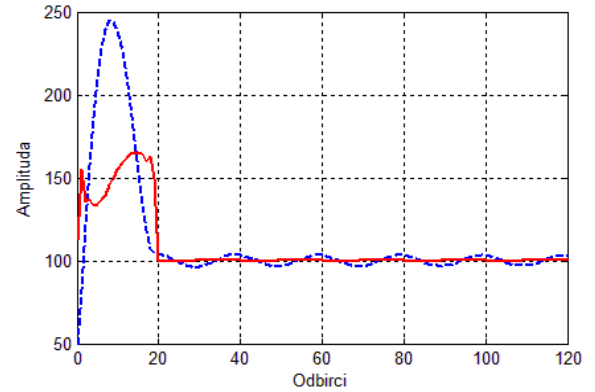
$$K = \sqrt{1/(M^2 + N^2)}$$

$$b1 = K(1 + \tau f_s)$$

$$b2 = -K\tau f_s$$

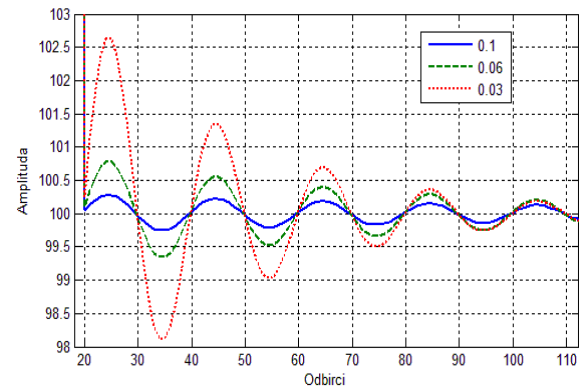
Na slici 3 prikazana je amplituda osnovnog harmonika mjernog signala (8), određena primjenom Furijeove metode sa i bez primjene digitalnog mimic filtera. Tokom testiranja pretpostavljeno je da je vremenska konstanta digitalnog mimic filtera jednaka vremenskoj konstanti EES-a u trenutku pojave kvara ( $\tau = 0.3s$ ).

$$v(t) = 100 + 200e^{-t/0.3} + \sum_{n=1}^9 \frac{100}{n} \sin(n\omega_0 t + 10^\circ) \quad (8)$$



Sl. 3 – Amplituda osnovnog harmonika signala (8) određena primjenom Furijeove metode sa i bez (crtkano) mimic filtera

Sa slike 3 vidi se da je primjenom digitalnog mimic filtera uticaj opadajuće jednosmjerne komponente u potpunosti eliminisan, jer su vremenske konstante digitalnog mimic filtera i EES-a u trenutku pojave kvara jednake. Međutim, odstupanjem vrijednosti između ovih vremenskih konstanti unosi se greška u algoritam. Ako su odstupanja mala tada dolazi do djelimične eliminacije uticaja opadajuće jednosmjerne komponente i greška se može zanemariti, dok se kod većih odstupanja greška ne može zanemariti. Na slici 4 prikazana je amplituda signala (8) određena primjenom Furijeove metode i digitalnog mimic filtera za vrijednosti vremenske konstante signala 0.1s, 0.06s i 0.03s. Usvojena vremenska konstanta u mimic filteru je 0.3s.



Sl. 4 – Amplituda osnovnog harmonika signala (8) određena Furijeovom metodom i mimic filterom pri odstupanju vremenskih konstanti u filteru i EES-u

Sa slike 4 vidi se da se sa većim odstupanjem između vremenske konstante u digitalnom mimic filteru i u EES-u u trenutku pojave kvara unosi greška koja se ne može zanemariti. Prema tome za pravilan rad digitalnog mimic filtera neophodno je poznavanje vremenske konstante EES-a u trenutku nastanka kvara.

### 3. ADAPTIVNI DIGITALNI MIMIC FILTER

Ideja realizacije adaptivnog digitalnog mimic filtera svodi se na određivanje vremenske konstante  $\tau$  EES-a iz parametara mjernog signala, a zatim određivanja parametara digitalnog mimic filtera primjenom formula datih u (7).

Posmatrajmo signal dat sa (9), pri čemu odnos  $V_0/V_1$  zavisi od trenutka nastanka kvara, a  $\tau$  zavisi od odnosa  $X/R$  EES-a takođe u trenutku nastanka kvara.

$$u(t) = V_0 e^{-t/\tau} + \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 t + \Phi_k) \quad (9)$$

Za  $r$ -ti odbirak vrijedi:

$$V_r = V_0 e^{-r\Delta t/\tau} + \sum_{k=1}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 r\Delta t + \Phi_k) \quad (10)$$

Ako sa  $m=2p=4q$  označimo broj odbiraka na periodu osnovnog harmonika, tada se može definisati prva parcijalna suma (11) [4].

$$\sum_1 V_r = V_r + V_{r+p} = V_0 e^{-r\Delta t/\tau} \{1 + e^{-p\Delta t/\tau}\} + R_{2k} \quad (11)$$

Ostatak  $R_{2k}$  zavisi od harmonika reda  $2k$ , gdje je  $k \in N$ . Na sličan način može se definisati druga parcijalna suma (12), gdje ostatak  $R_{4k}$  zavisi od harmonika reda  $4k$ .

$$\begin{aligned} \sum_2 V_r &= \sum_1 V_r + \sum_1 V_{r+q} \\ &= V_0 e^{-r\Delta t/\tau} \{1 + e^{-p\Delta t/\tau}\} \{1 + e^{-q\Delta t/\tau}\} + R_{4k} \end{aligned} \quad (12)$$

Za usvojenu frekvenciju odabiranja od 1kHz, na periodu osnovnog harmonika postoji  $m=20$  odbiraka, odakle slijedi da je  $p=10$  i  $q=5$ . Prema tome, druga parcijalna suma može se formirati 5 puta, što je dato u (13).

$$\begin{aligned} \sum_2 V_1 &= V_1 + V_6 + V_{11} + V_{16} \\ \sum_2 V_2 &= V_2 + V_7 + V_{12} + V_{17} \\ \sum_2 V_3 &= V_3 + V_8 + V_{13} + V_{18} \\ \sum_2 V_4 &= V_4 + V_9 + V_{14} + V_{19} \\ \sum_2 V_5 &= V_5 + V_{10} + V_{15} + V_{20} \end{aligned} \quad (13)$$

Ako u mjernom signalu nema harmonika reda  $4k$ ,  $k \in N$  tada se ostatak  $R_{4k}$  može zanemariti i vrijedi (14).

$$\begin{aligned} \sum_2 V_1 &= V_0 e^{-\Delta t/\tau} \{1 + e^{-10\Delta t/\tau}\} \{1 + e^{-5\Delta t/\tau}\} \\ \sum_2 V_2 &= \sum_2 V_1 e^{-\Delta t/\tau} \\ \sum_2 V_3 &= \sum_2 V_1 e^{-2\Delta t/\tau} \\ \sum_2 V_4 &= \sum_2 V_1 e^{-3\Delta t/\tau} \\ \sum_2 V_5 &= \sum_2 V_1 e^{-4\Delta t/\tau} \end{aligned} \quad (14)$$

Iz druge jednačine u (14) vrijedi:

$$e^{-\Delta t/\tau} = \sum_2 V_2 / \sum_2 V_1 \quad (15)$$

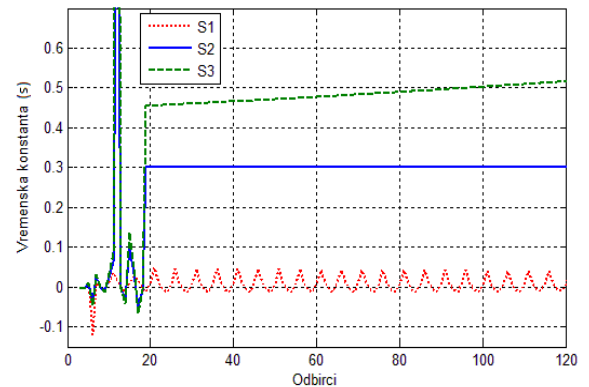
Razvojem  $e^{-\Delta t/\tau}$  u Tejlоров red vrijedi:

$$e^{-\Delta t/\tau} = 1 + (-\Delta t) \frac{1}{\tau} + (-\Delta t)^2 \frac{1}{\tau^2} + \dots = \frac{\sum_2 V_2}{\sum_2 V_1} \quad (16)$$

S obzirom da je perioda odabiranja  $\Delta t$  mnogo manja u odnosu na vremensku konstantu  $\tau$  EES-a, tada se mogu koristiti samo prva dva člana Tejlоровog reda za određivanje vremenske konstante  $\tau$  EES-a (17).

$$\frac{1}{\tau} = \left( 1 - \sum_2 V_2 / \sum_2 V_1 \right) \frac{1}{\Delta t} \quad (17)$$

Iz (17) vidi se da su za određivanje vremenske konstante  $\tau$  potrebne samo dve druge parcijalne sume, tj. koriste se prve dvije formule iz (13). Broj odbiraka koji je potreban za određivanje vremenske konstante  $\tau$  zavisi od broja odbiraka potrebnih za formiranje prve dvije parcijalne sume u (13). U ovom slučaju potrebna dužina prozora podataka je 17 odbiraka, s tim da se u proračunu koristi samo 8 odbiraka. Testiranjem izvedene metode za određivanje vremenske konstante signala (8), može se zaključiti da je metoda osjetljiva na konstantnu jednosmjernu komponentu i na harmonike reda  $4k$ , u ovom slučaju četvrti i osmi harmonik. Na slici 5 prikazane su vrijednosti vremenske konstante  $\tau$  određene za signal (8) (S1), zatim na signal (8) bez konstantne jednosmjerne komponente i bez četvrtog i osmog harmonika (S2) i na signal (8) sa konstantnom jednosmjernom komponentom i bez četvrtog i osmog harmonika (S3).



Sl. 5 – Vremenska konstanta  $\tau$  određena primjenom formula (13) i (17) za signal S1, S2 i S3

Sa slike 5 vidi se da metoda određuje tačnu vrijednost vremenske konstante ukoliko u signalu nisu prisutni konstantna jednosmjerna komponenta, četvrti i osmi harmonik. Metoda nije osjetljiva na neparne harmonike.

Ako mjerni signal ne sadrži parne harmonike, tada se vremenska konstanta  $\tau$  može odrediti sa  $m/2+2$  odbiraka, gdje je  $m$  broj odbiraka na periodu osnovnog harmonika. U ovom slučaju koristi se prva parcijalna suma (11), s tim da se

ostatak  $R_{2k}$  može zanemariti, jer u signalu nema harmonika reda  $2k$ ,  $k \in N$ . Razvojem (11) za  $m=20$  i  $p=10$  dobija se:

$$\begin{aligned} \sum_1 V_1 &= V_1 + V_{11} \\ \sum_1 V_2 &= V_2 + V_{12} \end{aligned} \quad (18)$$

Zanemarivanjem ostataka  $R_{2k}$  u (11) dobija se (19).

$$\begin{aligned} \sum_1 V_1 &\cong V_0 e^{-\Delta t/\tau} \{1 + e^{-5\Delta t/\tau}\} \\ \sum_1 V_2 &\cong \sum_1 V_1 e^{-\Delta t/\tau} \end{aligned} \quad (19)$$

Analognom primjenom formula (15) i (16) na izraz (19), dobija se formula (17) za određivanje vremenske konstante EES-a ( $\tau$ ), s tim da se u ovom slučaju koriste parcijalne sume date u (11), odnosno za konkretan slučaj (18). Ova metoda je osjetljiva na parne harmonike i konstantnu jednosmjernu komponentu.

Ako se za određivanje vremenske konstante  $\tau$  koristi formula (17) sa parcijalnim sumama datim sa (20), tada se dobija metoda koja nije osjetljiva na više harmonike. U ovom slučaju kašnjenje metode iznosi jednu periodu osnovnog harmonika mjernog signala. Metoda je takođe osjetljiva na konstantnu jednosmjernu komponentu.

$$\begin{aligned} \sum_1 V_1 &= V_1 + V_3 + V_5 + \dots + V_{19} \\ \sum_1 V_2 &= V_2 + V_4 + V_6 + \dots + V_{20} \end{aligned} \quad (20)$$

Koja će se metoda koristiti za određivanje vremenske konstante  $\tau$ , zavisi od karakteristika mjernog signala i potrebne brzine određivanja vremenske konstante. Potrebno je obratiti pažnju da u toku određivanja vremenske konstante  $\tau$ , u mjernom signalu ne bude prisutna konstantna jednosmjerna komponenta, jer se neće dobiti tačna vrijednost vremenske konstante, a što će dovesti do pogrešnog određivanja parametara digitalnog mimic filtera.

#### 4. RAZVOJ I TESTIRANJE ALGORITMA

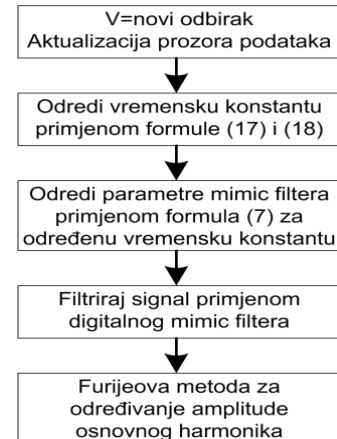
Pretpostavimo da se mjerni signal sastoji od opadajuće jednosmjerne komponente i neparnih harmonika (21), pri čemu je frekvencija osnovnog harmonika 50Hz, a usvojena frekvencija odabiranja 1kHz.

$$v(t) = 200e^{-t/\tau} + \sum_{n=1,3,5,7,9} \frac{100}{n} \sin(n\omega_0 t + 10^\circ) \quad (21)$$

Testiranje algoritma izvršće se za vrijednosti vremenske konstante  $\tau = 0.3s$ ,  $\tau = 0.08s$  i  $\tau = 0.03s$ .

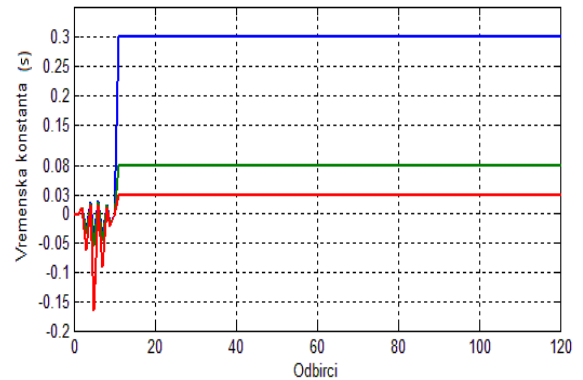
Algoritam za određivanje amplitude osnovnog harmonika mjernog signala baziran na primjeni Furijeove metode i adaptivnog mimic filtera prikazan je na slici 6.

S obzirom da mjerni signal ne sadrži parne harmonike, tada se za određivanje vremenske konstante  $\tau$  mogu primijeniti formule (17) i (18). Nakon određivanja vremenske konstante  $\tau$ , određuju se parametri digitalnog mimic filtera sa formulama (7) i vrši se filtriranje mjernog signala pri čemu se eliminiše opadajuća jednosmjerna komponenta iz mjernog signala. Na filtriran signal primjenjuje se Furijeova metoda za određivanje amplitude osnovnog harmonika signala.



Sl. 6 – Algoritam baziran na primjeni Furijeove metode i adaptivnog digitalnog mimic filtera

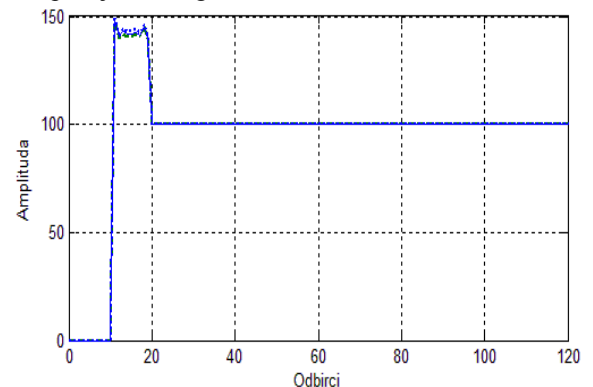
Na slici 7 prikazane su vrijednosti vremenske konstante  $\tau$  određene primjenom formula (17) i (18), za mjerni signal (21) i različite vrijednosti vremenske konstante.



Sl. 7 – Vremenske konstante signala (21) određene primjenom formula (17) i (18)

Sa slike 7 vidi se da se dobijaju tačne vrijednosti vremenskih konstanti mjernog signala (21), sa kašnjenjem od 12 odbiraka.

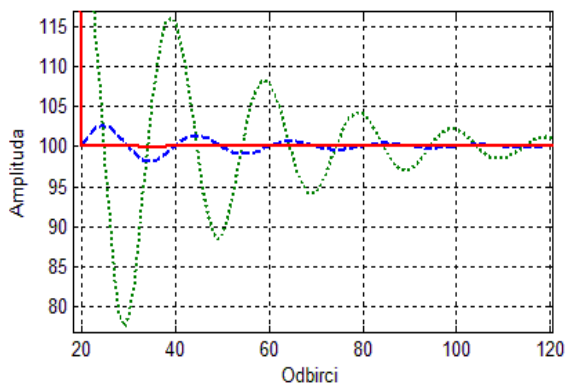
Na slici 8 prikazana je amplituda osnovnog harmonika signala (21) za različite vrijednosti vremenske konstante  $\tau$ , određena primjenom algoritma sa slike 6.



Sl. 8 – Amplituda osnovnog harmonika signala (21) sa različitim vremenskim konstantama, određena primjenom algoritma sa slike 6

Sa slike 8 vidi se da algoritam određuje tačne vrijednosti amplitude osnovnog harmonika mjernog signala i da u potpunosti eliminiše uticaj opadajuće jednosmjerne komponente, bez obzira na vrijednost vremenske konstante  $\tau$ . S obzirom da je amplituda osnovnog harmonika u sva tri testirana slučaja 100V, grafici amplituda međusobno se poklapaju. Kašnjenje algoritma iznosi jednu peirodu osnovnog harmonika signala, iz čega se može zaključiti da adaptivni digitalni mimic filter ne unosi dodatno kašnjenje u Furijeovu metodu.

Da bi se uočila razlika između primjene adaptivnog i običnog digitalnog mimic filtera, na slici 9 prikazana je vrijednost amplitude osnovnog harmonika signala (21) sa usvojenom vremenskom konstantom  $\tau = 0.03s$ , određena primjenom algoritma sa slike 6, a zatim primjenom Furijeove metode i običnog digitalnog mimic filtera sa usvojenom vremenskom konstantom od 0.3s. Na slici 9 takođe je prikazana amplituda osnovnog harmonika signala (21) određena primjenom samo Furijeove metode.

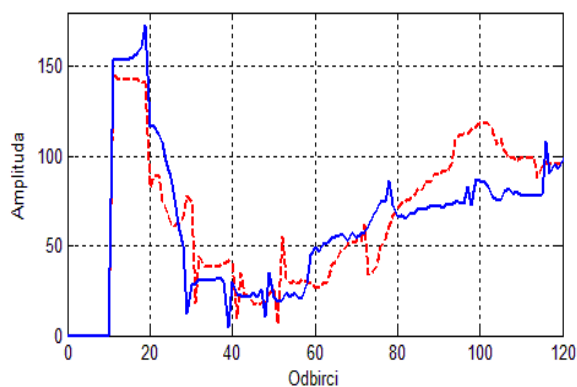


Sl. 9 – Amplituda osnovnog harmonika signala (21) za  $\tau=0.03s$ , određena primjenom Furijeove metode (tačkasto), sa adaptivnim mimic filterom (crtkano) i običnim mimic filterom sa usvojenom vremenskom konstantom od 0.3s

Sa slike 9 vidi se uticaj opadajuće jednosmjerne komponente pri korištenju samo Furijeove metode. Primjenom običnog digitalnog mimic filtera u Furijeovoj metodi djelimično se smanjuje uticaj opadajuće jednosmjerne komponente iz razloga nejednakosti vremenske konstante u filteru i u signalu. Primjenom adaptivnog digitalnog mimic filtera uticaj opadajuće jednosmjerne komponente se u potpunosti eliminiše.

Nedostatak primjene navedenog adaptivnog mimic filtera je uticaj konstantne jednosmjerne komponente i zavisnost parametara filtera od frekvencije osnovnog harmonika signala. Ovdje je potrebno obratiti pažnju da konstantna jednosmjerna komponenta utiče na određivanje vremenske konstante  $\tau$ , koja se koristi za određivanje parametara digitalnog mimic filtera, dok ne utiče na rad digitalnog mimic filtera. Prema tome konstantnu jednosmjernu komponentu, ako postoji u mjernom signalu, potrebno je eliminisati samo u toku određivanja vremenske konstante  $\tau$ .

Odstupanjem frekvencije osnovnog harmonika signala od pretpostavljene frekvencije u algoritmu, filter unosi grešku u algoritam koja se ne može zanemariti. Na slici 10 prikazana je primjena algoritma sa slike 6 na signal (21) i  $\tau=0.03s$ , za frekvenciju osnovnog harmonika signala od 48Hz i 52Hz.



Sl. 10 – Amplituda osnovnog harmonika signala (21) za frekvenciju osnovnog harmonika 48Hz (crtkano) i 52Hz određena primjenom algoritma sa slike 6.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je izveden algoritam za određivanje amplitude osnovnog harmonika signala primjenom adaptivnog digitalnog mimic filtera i Furijeove metode. Iz prethodne analize i testiranja algoritma možemo zaključiti da se na osnovu karakteristika mjernog signala može kreirati algoritam koji nije osjetljiv na opadajuću jednosmjernu komponentu. Primjenom adaptivnog digitalnog mimic filtera u Furijeovoj metodi u potpunosti se eliminiše uticaj opadajuće jednosmjerne komponente i pri tome se ne unosi dodatno kašnjenje u algoritam.

Osnovni nedostatak algoritma baziranog na primjeni adaptivnog digitalnog mimic filtera i Furijeove metode je uticaj konstantne jednosmjerne komponente na određivanje vrijednosti vremenske konstante  $\tau$ . Ukoliko u mjernom signalu postoji jednosmjerna komponenta, dobiće se pogrešna vrijednost vremenske konstante  $\tau$ , a samim tim i pogrešne vrijednosti parametara digitalnog mimic filtera.

## 6. LITERATURA

- [1] V. Bajić, M. Đurić, „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, March 2010.
- [2] M. Đurić, Modifikovan Fourier-ov algoritam za merenje osnovnog harmonika signala, stručan rad, Elektroprivreda, br. 2, 2004. Str. 51-56.
- [3] G. Banmouyal, „Removal of dc-offset in current waveforms using digital mimic filtering“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No.2, April 1995.
- [4] A. G. Phadke, T. Hlibka, and M. Ibrahim, „A digital computer system for EHV substation: analysis and field tests“, IEEE Trans. Power Appar. Syst., vol. PAS-95, pp. 291-301, Jan./Feb. 1976.
- [5] Y. Guo, M. Kezunovic, D. Chen, „Simplified algorithm for removal of the effect of exponentially decaying DC-offset on the Fourier algorithm“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No.3, July 2003.