

UDK: 621.316.1.025

RAZVOJ AKTIVNIH I PASIVNIH METODA ZA AKVIZICIJU ZNAČAJNIH VREDNOSTI U NISKONAPONSKIM ELEKTRIČNIM MREŽAMA

Uroš Jakšić, Slobodan Bjelić, Nenad Marković

Visoka tehnička škola strukovnih studija - Zvečan

Fakultet tehničkih nauka - Kosovska Mitrovica

Visoka tehnička škola strukovnih studija Uroševac - Zvečan

Sadržaj: U radu su prikazani savremeni pasivni i aktivni metodi za određivanje mesta kvara na električnim mrežama uz pomoć računarske tehnologije. Izvedena je i komparacija pasivnih i aktivnih metoda za akviziciju, prenos i obradu značajnih podataka iz niskonaponskih električnih mreža koje se koriste i u poljoprivrednoj tehnici.

Ključne reči: *električne mreže, simetrične komponente, aktivne i pasivne metode.*

1. UVOD

Električne mreže naizmjenične struje su uglavnom višefazne i obrazovane kao troprovodnički ili četvorprovodnički sistemi a u poslednje vreme se koriste i šestoprovodnički sistemi. U toku rada električne mreže nastaju složeni nesimetrični režimi. Električne vrednosti koje karakterišu ovakav režim ne obrazuju uravnotežene višefazne sisteme, pa se za njihovo vrednovanje (računanje ili merenje) koriste neki od matematičkih ili tehničkih postupaka. Matematički metodi koriste transformaciju vrednosti električnih veličina u simetrične ili neke druge komponente.

Merni metodi izvedeni iz matematičkog pristupa moraju da budu zasnovani na merenju simetričnih komponenti a potreba za ovakvim merenjem postoji u relejnoj zaštiti, automatici i sistemima za upravljanje.

Merenjem simetričnih komponenti rešava se veći broj zadataka u vezi sa potrebom njihovim vrednovanjem i u savremenim sistemima za nadzorno upravljanje, akviziciju podataka i protokolisanje u mrežama (SCADA-ma).

Ne postoji univerzalni metod za dijagnostiku kvarova koji bi važio u svim mogućim slučajevima.

Poznati metodi se dele u dve suštinski različite grupe: 1. aktivne i 2. pasivne metode što zavisi od tipa korišćenog filtra, aktivnog ili pasivnog.

Prva grupa metoda zasnovana je na registraciji napona i struja u jednoj ili više tačaka mreže odmah posle nastanka kvara. I pored lake realizacije njihov nedostatak je zavisnost od režima rada voda i manja tačnost.

Metode druge grupe (metode lociranja) su zasnovane na višestrukoj emisiji električnih impulsa u vod sa istovremenom registracijom redosleda reflektovanih signala. Prednost im je veća tačnost nezavisnosti od režima rada kontrolisanog elementa i mogućnost rešavanja više zadataka a mana je velika cena i prenos većeg opsega signala.

Metodi prve grupe se mogu usavršiti. Tako se došlo do metoda kod koga se lokacija kvara vrši u odnosu na vrednosti parametara havarijskog režima (*PHR*) voda (naponi i struje)-(parametarske metode) i metoda kod koga se lociranje kvara izvodi u odnosu na vremena prostiranja naponskih i strujnih talasa (talasne metode) što se može ostvariti sa jedne ili sa obe strane voda.

Jednostranu metodu *ILK* karakteriše visoka operativnost merenja i mogućnost dobijanja informacija o rasponu do mesta kvara neposredno u metrima (*m*). Nedostatak metoda je mala tačnost-velika merna nesigurnost.

Prednost dvostranih metoda je u mogućnosti rešavanja većeg broja zadataka automatskog upravljanja delom mreže i visoka tačnost. Metode jednostrane *ILK* prema parametrima havarijskog režima zasnovane su na računanju reaktansi petlji kratkih spojeva koje su srazmerne odstojanju do mesta kvara, a određene su odnosom napona i struja u kolu u kome je petlja.

Vod je predstavljen u vidu četvorokrajnika sa koeficijentima $A(x)$, $B(x)$, $C(x)$, $D(x)$, koji zavise od rastojanja (h) do mesta *K.S.* i određeni su parametrima voda-koeficijentom prostiranja i karakteristikom otpornosti. Za izvođenje formule za proračun koriste se izvesne sledeće pretpostavke:

- aktivna otpornost na mestu *K.S.* vrlo mala (metalni *K.S.*),
- vod bez gubitaka u prenosu,
- impedanse izvora na krajevima vodova čisto induktivne.

Druga i treća pretpostavka ukazuju da struje koje u momentu kvara teku od krajeva vodova ka mestu kvara imaju samo reaktivne komponente. Jednačina prostiranja predstavlja imaginarni deo kompleksne promenljive:

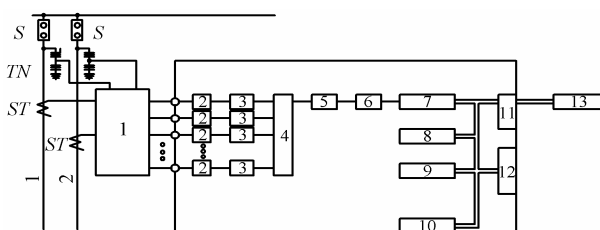
$$I_m = \left[\frac{A(x)\hat{U} - B(x)\hat{I}}{C(x)\hat{U} - D(x)\hat{I}} \right] = 0 \quad (1)$$

\hat{U}, \hat{I} – vektori napona i struja mereni na kraju voda neposredno pre kvara;

\hat{U}^*, \hat{I}^* – vektori napona i struja mereni na istom kraju voda u vreme kvara.

Jednačina se može primeniti i za slučaj predstavljanja napona i struja u modulnim komponentama (simetričnim, $\alpha - q$, itd). Operacije obrade i izračunavanja svode se na numeričko filtriranje parametara prelaznog procesa kada se izračunaju neophodni vektori napona i struja, a odstojanja se odrede rešavanjem nelinearnih jednačina nekim od iterativnih postupaka.

Pošto su kvarovi u mrežama po pravilu nesimetrični, za rešavanje se uglavnom koristi metod simetričnih komponenti. Osnovni izvor mernih nesigurnosti u slučaju korišćenja ove metode *ILK* je zanemarenje kompleksnog karaktera struja koje ka mestu kvara teku sa oba kraja voda.



Sl. 1. S - sklopka, TN - kapacitivni delitelj napona, ST - strujni TR

1. ulazni TR, 2. filter, 3. vremensko zatezanje, 4. multipleksor-jedinica za prenos podataka ili za posredovanje u vezi sa podacima, 5. ADP analogno-digitalni pretvarač, 6. OM - operativna memorija, 7. RM-programska memorija, 8. CR - centralni procesor, 9. blok za izračunavanje iz memorije, 10. zadati nivoi, 11. numerički izlaz, 12. displej, 13. štampač.

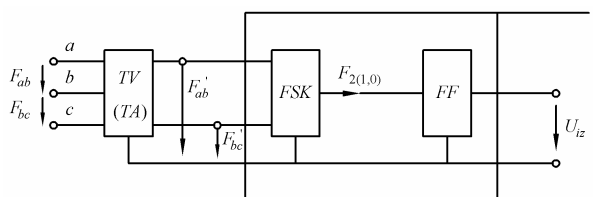
Kompleksna impedansa vrednuje se u odnosu na napon i struju osnovne učestanosti (50 Hz), jer se iz havarijskih komponenti posredstvom filtera mogu odstraniti viši harmonici i aperioidične komponente.

Mikroprocesori [3] (sl. 1), se koriste u dve etape: u prvoj za dobijanje podataka o parametrima prelaznog procesa (struja/napon) i primenu softvera za digitalno filtriranje radi dobijanja sinusnog oblika signala; u drugoj etapi za numeričko rešavanje diferencijalnih jednačina.

2. STRUKTURA FILTERA SIMETRIČNIH KOMPONENTI

Osnovni parametri pasivnih filtera simetričnih komponenti su energetske α , β i informatičke γ_H , γ_f , λ , [1]. Nedostaci filtera su: potreba za velikom snagom koju moraju da daju merni transformatori struja i napona, zavisnost svih radnih karakteristika od vrednosti sopstvenih impedansi filtera i opterećenja (mernog dela) i veliki uticaj viših harmonika ulaznih signala.

Primena aktivnih komponenti je omogućila konstrukciju filtera simetričnih komponenti sa manjom potrebnom snagom iz mernih transformatora sa karakteristikama koje ne zavise od promena na impedansi mernog dela. Aktivni filteri se prave spajanjem različitih savremenih aktivnih komponenti kako pokazuje šema na sl. 2. po ideji Fabrikant-a [4]:



Sl. 2. Idejna šema aktivnog filtra simetričnih komponenti
FSK - filter simetričnih komponenti, TV(TA) - merni transformatori napona (struja), FF - frekventni filter

Merni transformatori galvanski odvajaju ulazne signale i omogućavaju njihovo podešavanje. Frekventni filter je posebna jedinica ili deo sistema frekventnog filtera i filtera simetričnih komponenti kako je predloženo u radu.

Ako na ulaz filtra napona inverznog redosleda dolazi osnovni harmonik električne mreže ($f = 50 \text{ Hz}$) izlazni napon filtra sa jednofaznim izlazom je:

$$U_{iz} = K_{nu} \left[U_{ab} K_{ab} e^{j\gamma} + U_{bc} K_{bc} e^{j(\gamma - \pi/3)} \right] \quad (2)$$

gde su:

$K_{ab} e^{j\gamma}$, $K_{bc} e^{j(\gamma - \pi/3)}$ – kompleksni koeficijenti prenosa filtarskog kola ako je signal sa industrijskom frekvencijom,

U_{ab} , U_{bc} – linijski naponi dovedeni na ulaz pretvarača napona.

Prelaskom na operatorsku formu izlaznog napona filtra, kompleksni koeficijenti K_{ab} i K_{bc} postaju prenosne funkcije čiji red i vrednosti utiču na frekventne karakteristike, napon neujednačenosti i karakter i trajanje sopstvenih prelaznih procesa u filtru. Relacija za izlazni napon je sledeća:

$$U_{iz}(p) = K_{nu} \left[U_{ab}(p) K_{ab}(p) + U_{bc}(p) K_{bc}(p) \right]$$

Tada su $K_{ab}(p)$ i $K_{bc}(p)$ - prenosne funkcije filtra predstavljene odnosom polinoma stepena (m) i polinoma stepena (n) ($m \leq n$):

$$K_{ab}(p) = P_{ab}(p) / Q_{ab}(p); \quad K_{bc}(p) = P_{bc}(p) / Q_{bc}(p)$$

Osnovni podaci pri izboru prenosnih funkcija zavise od odnosa modula i argumenata koeficijenata prenosa K_{ab} i K_{bc} kod signala direktnog redosleda ($I - d$), pod uslovom da je izlazni napon filtra inverznog redosleda u slučaju nailaska signala direktnog redosleda jednak nuli:

$$\begin{aligned} |K_{ab}(j\omega_I)| &= K_{ab,I} = 1; & |K_{bc}(j\omega_I)| &= K_{bc} = 1 \\ \arg K_{ab}(j\omega_I) - \arg K_{bc}(j\omega_I) &= \pi / 3 \end{aligned} \quad (3)$$

Analizom filtara napona inverznog redosleda prvog i drugog reda:

- za filter prvog reda

$$U_{iz}(p) = K_{nu} \left[U_{ab}(p) \frac{K_{01}(pT_1 + 1)}{pT_{ab} + 1} + U_{bc}(p) \frac{K_{02}(pT_2 + 1)}{pT_{bc} + 1} \right]$$

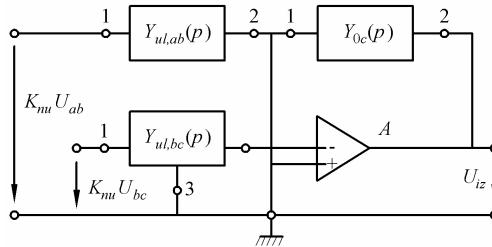
- za filter drugog reda

$$U_{iz}(p) = K_{nu} \left[U_{ab}(p) \frac{K_{01}(pT_1 + 1)}{a_2 p^2 + a_1 p + 1} + U_{bc}(p) \frac{K_{02}(pT_2 + 1)}{b_2 p^2 + b_1 p + 1} \right]$$

Kada je ostvaren uslov (3) mogu se slobodno izabrati preostali koeficijenti kod filtara prvog reda i pet koeficijenata kod filtara drugog reda.

Projektovana šema mora da spreči pojavu imaginarnih vrednosti parazitnih napona čemu odgovaraju strukture filtara i prvog i drugog reda. Fazne inverzne komponente (FIK) i sumator su realizovani sa komponentama sa operacionim pojačivačem a sabiranjem signala na ulazu (sl. 3) ima se:

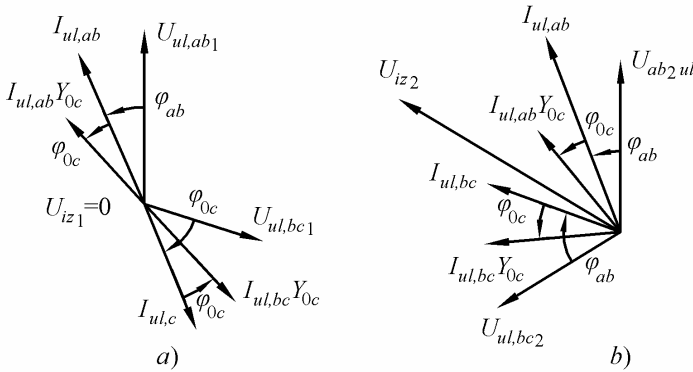
$$K_{ab}(p) = -Y_{ul,ab}(p) / Y_{0,c}(p); \quad K_{bc}(p) = -Y_{ul,bc}(p) / Y_{0,c}(p)$$



Sl. 3. Šema filtra inverznog redosleda sa jednim operacionim pojačivačem

Za konstrukciju dijagrama, sl. 4, korišćeni su odnosi:

$$\begin{aligned}
 I_{ul,ab} &= U_{ul,ab} Y_{ul,ab} = U_{ul,ab} Y_{ul,ab} e^{j\varphi_{ab}}; & I_{ul,bc} &= U_{ul,bc} Y_{ul,bc} = U_{ul,bc} Y_{ul,bc} e^{j\varphi_{bc}} \\
 U_{iz} &= -(I_{ul,ab} + I_{ul,bc}) Y_{0,c}^{-1} = -(I_{ul,ab} + I_{ul,bc}) Y_{0,c}^{-1} e^{-j\varphi_{0,c}} \\
 \arg K_{ab}(j\omega_1) &= \arg Y_{ul,ab}(j\omega_1) - \arg Y_{0,c}(j\omega_1) = \varphi_{ab}(j\omega_1) - \varphi_{0,c}(j\omega_1) \\
 \arg K_{bc}(j\omega_1) &= \arg Y_{ul,bc}(j\omega_1) - \arg Y_{0,c}(j\omega_1) = \varphi_{bc}(j\omega_1) - \varphi_{0,c}(j\omega_1)
 \end{aligned} \tag{5}$$



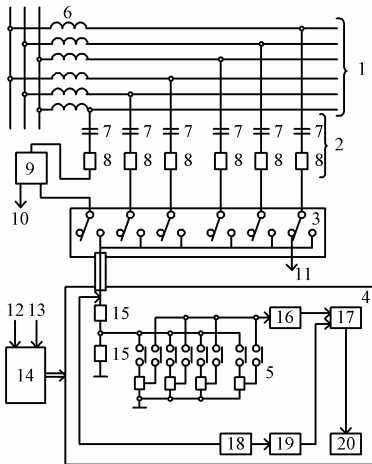
Sl. 4. Vektorski dijagram napona i struja aktivnog filtra napona inverznog redosleda

3. ALGORITAM ZA IDENTIFIKACIJU MESTA KVARA

Smanjenje vremena isključenja voda uslovalo je istraživanja za nalaženje algoritama i metoda *ILK* koji bi omogućili smanjenja vremena akvizicije podataka i bolju tačnost. Ako je vreme akviziranja jednako ili manje od jedne periode osnovne komponente (50 Hz) prisustvo aperiodeske komponente u signalu unosi veću memu nesigurnost. Minimizacija greški ostvaruje se posredstvom korelacija signala sinus-kosinus funkcijama osnovne učestanosti koje imaju periodu, jednaku vremenu akviziranja.

Autori rada predlažu adaptirani algoritam *ILK* zasnovan na korišćenju Kalmanovih filtera uz rešavanje sledećih zadataka:

1. Estimacija stanja mreže i parametara realnog voda pre kvara.
2. Vrednovanje stanja i parametara u trenutku kvara.
3. Analiza rada mreže u realnom vremenu i izbor vrednosti struja i napona u tri fazna provodnika i komponente nultog redosleda.
4. Računarski sistem prati rad električne mreže po vertikalnoj strukturi. Prvi mikroprocesor reaguje na signal prekida (do osam jednovremeno zapisanih vrednosti) a drugi procesor vrednuje stanje mreže i parametara na osnovu baze podataka prvog.



Sl. 5. Sistem za akviziciju, procesiranje i implementaciju signala u lokalnoj automatici i relejnoj zaštiti: 1. vod VN, 2. spojni uređaj, 3. relej za komutaciju faza, 4. tragač kvara, 5. regulacija nivoa primljenog signala, 6. VF limitator, 7. kondenzatorski filter, 8. filtri ulaza, 9. razvodni filter, 10. prema strujnom releju, 11. ka uređaju za VF vezu, 12. TN, 13. ST, 14. relejni za start tragača kvara, 15. odvodnik prenapona, 16. pojačavač, 17. ventili, 18. generator impulsa, 19. oscilograf, 20. digitalni brojač.

U talasnom metodu koriste se talasne komponente napona i struja koji se prostiru na obe strane u odnosu na mesto kvara. Tradicionalni pristup je fiksiranje uređaja na jednom kraju voda i određivanje momenta nailaska direktnog fronta talasa.

Lokacione metode su zasnovane na emisiji električnih impulsa u vod pogođen kvarom i registraciji reflektovanih talasa a po vremenu prostiranja ocenjuje se vrednost odstojanja do tačke refleksije.

Lokacioni tragači u sistemu za akviziciju, procesiranje i implementaciju signala mogu da odrede mesto kvara i identifikuju ga. Široku primenu mikroprocesori u *ILK* uređajima omogućavaju složeni algoritam za obradu signala i njihovu optimizaciju u toku nastanka i tokom povrede.

ZAKLJUČAK

Primena računarske tehnologije i najava konstrukcije novih uređaja za automatsko pozicioniranje mesta kvara na elementima električnih mreža nameće potrebu razvoja novih metoda i algoritama za akviziciju, prenos, merenje veličina i obradu informacija koje karakterišu kvarove u električnim mrežama. Usavršavanje optimalnih algoritama koji obuhvataju i moguće nelinearne procese u mrežama povećava tačnost, pouzdanost i brzinu pozicioniranja kvarova. Filtri napona (struja) direktnog redosleda realizuju se na sličan način kao filtri inverznog redosleda i imaju iste šeme kao i niz karakteristika iste kriterijume i ocenjuju se po istim parametrima.

Zbog manjih zahteva u pogledu vrednosti snage od strujnih i naponskih mernih transformatora se mora voditi računa o energetskim pokazateljima α i β pri izboru aktivnih filtera direktnog i inverznog redosleda.

Analiza i ocena frekventnih karakteristika najlakša je u režimu praznog hoda. Promena snage mernih instrumenata u širokom opsegu ne utiče na karakteristike filtera simetričnih komponenti pošto filtru odgovaraju samo dve frekventne karakteristike određene na osnovu promena frekvencija ulaznih napona direktnog i inverznog redosleda u režimu praznog hoda.

LITERATURA

- [1] Jakšić U.: *Razvoj postupaka za merenje električnih komponenti struja i napona u električnim mrežama*, Doktorska disertacija-Radna verzija, FTN Kosovska Mitrovica, (2008).
- [2] Bjelic S., Mladenovic V.: *Algorithm of measurement-information system to make diagnosis faults in electrical networks*, 14th Telecommunications forum, Telfor 2006., IEEE COM Chapter Serbia&Montenegro, Belgrade, Serbia, PEL#7.6, 21, 22, 23. November (2006).
- [3] Jaksic U., Mladenovic V., Bjelic S.: *The voltage dependence of control current symmetrical components on the output of the distant current's sonde*, The Fifteenth National Scientific and Applied Science Conference-ELECTRONICS-ET 2006, BOOK4 ISBN 954-438-567-3, Paper P.3.17, pg 15-20, Sozopol, (Bulgaria) 20-22 September (2006).
- [4] Taev I.S.: *Električeskie aparati: Obša teorija*, Moskva M-114, 1987. UDK 621.316.5/9, st. 207-208.
- [5] Mladenovic V., Bjelic S.: *Estimation of time characteristic of measurement-information system*, Proceeding of The Advanced School of EE Zvečan, pg 121-126, March, (2007).
- [6] Bjelic S. and author's: *Estimation of currents flow, loss of power and voltage fall down in distribution network by using PDM Kmp.q*, 19 International Conference of Electrical Distribution, Paper 0907, Block 4.2, Method and tools, Cired, (Wien) (2007).
- [7] Bjelic S.: *Introduction in middle voltage networks and low voltage instalations*, BOOK, ISBN 978-86-83561-15-5, Cobiss SR-ID 14100 0204 SVEN NIS, (2007).
- [8] Bjelic S., Mladenovic V.: *The probability error of faults using zero component in symmetrical system electrical network*, Electrical Power Engineering Conference 2007, IEEE, Paper No2, Ostrava, (Czech Repub).
- [9] Electric Power Systems Research N8 184/85 P.179-186.

DEVELOPEMENT OF ACTIV AND PASSIVE METHODS FOR ACQUISITION IMPORTANT ELECTRICAL VALUES IN ELECTRICAL LOW VOLTAGE NETWORK'S

Uroš Jakšić, Slobodan Bjelić, Nenad Marković

Visoka tehnička škola strukovnih studija - Zvečan

Fakultet tehničkih nauka - Kosovska Mitrovica

Visoka tehnička škola strukovnih studija Uroševac - Zvečan

Abstract: This paper presents the modern methods for determination of failure location in high voltage electrical networks with computer aided design technology. Also is performed comparison of passive and active methods for acquisition, transmission and processing of important data from electrical low voltage networks which can be used in agricultural engineering.

Key words: *electrical networks, symmetrical components, active and passive methods.*