

Smanjenje nesimetrije faznih napona

Nenad Marković, Slobodan Bjelić

Sadržaj — Razmotrene su mogućnosti smanjenja nesimetrije faznih napona pomoću poprečno uključenih šantiranih simetričnih komponenti čime se ustvari deluje na struje nultog redosleda i poboljšava simetrija faznih napona.

Ključne reči — Nesimetrija, fazni napon, struje nultog redosleda.

I. UVOD

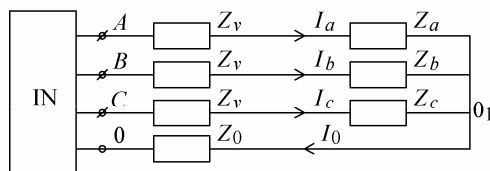
SAVREMENI metodi projektovanja niskonaponskih mreža zasnovani su na pretpostavci da su fazna opterećenja jednaka. Prema ovoj pretpostavci kao najpovoljnija sprega transformatora koristila se sprega Y_{12} i četvoroprovodni sistem u kome je nulti provodnik imao isti presek kao fazni provodnici.

Projektovane električne mreže obezbeđivale su zadovoljavajući kvalitet napona pri opterećenjima za koja su koeficijenti jednovremenosti i učešće u maksimumu bliski jedinici (opterećenja kao što su svetlosni izvori). U današnje vreme, zbog razvoja potrošnje u elektroenergetici i sniženja vrednosti ovih koeficijenata dolazi do izražene nejednakosti faznih opterećenja i deformacije sistema napona.

Nesimetrični sistem faznih napona moguće je tretirati kroz napone direktnog (U_1), inverznog (U_2) i nultog (U_3) redosleda pa se zadatak poboljšanja kvaliteta napona svodi na smanjenje komponenti (U_2) i (U_0).

Dobro je u prvom koraku analizirati uticaj (U_0) na deformaciju faznih napona a u drugom razmotriti smanjenje komponente napona nultog redosleda. Na sl. 1 je predstavljena šema dela radijalne mreže.

Za prostije rasuđivanje pretpostavljeno je da je opterećenje mreže koncentrisano na jednom mestu.



izvor napajanja (IN)

Sl. 1. Šema dela radijalne mreže.

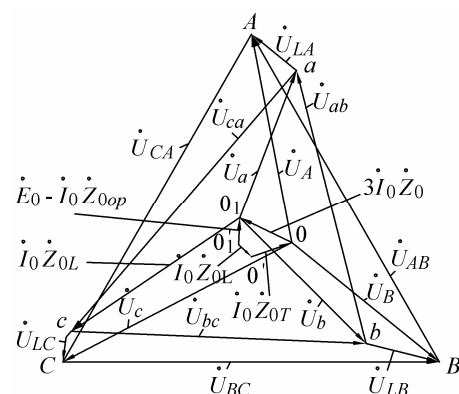
N. Marković, Visoka tehnička škola strukovnih studija Uroševac sa privremenim sedištem u Zvečan, Branislava Nušića 6, 38227 Zvečan, Srbija (telefon: 381-63-1898000; faks: 381-28-421624; e-mail: nen.mark@sezampro.yu).

S. Bjelić, Elektrotehnički fakultet u Kosovskoj Mitrovici, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija; (telefon: 381-63-8822492; faks: 381-18-223383; e-mail: slobodan_bjelic@yahoo.com).

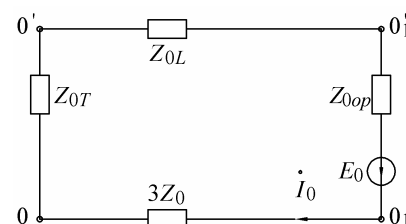
Vektorski dijagram i ekvivalentna zamenska šema datog dela mreže za sistem nultog redosleda struja i napona dati su na sl. 2 i 3, gde Z_{0T} , $3Z_0$, Z_{0L} , Z_{0op} predstavljaju komponente nultog redosleda transformatora, nultog provodnika, voda i opterećenja, a I^0 i E_0 struje i EMS nultog redosleda ekvivalentnog generatora. Na dijagramu indeksi A, B, C odnose se na izvor, a a, b, c na opterećenje. Za ekvivalentnu zamensku šemu sastavljaju se jednačine prema II Kirhofovom zakonu.

$$E_0 = I_0 Z_{0op} + I^0 3Z_0 + I_0 Z_{0T} + Z_{0L} \quad (1)$$

$$E_0 - I_0 Z_{0op} = I_0 (3Z_0 + Z_{0T} + Z_{0L}) \quad (2)$$



Sl. 2. Vektorski dijagram datog dela mreže za sistem nultog redosleda struja i napona.



Sl. 3. Ekvivalentna zamenska šema datog dela mreže za sistem nultog redosleda struja i napona.

Levi deo jednačine (2) je napon U_0 na krajevima ekvivalentnog izvora nultog redosleda u zamenskoj šemi. EMS ovog izvora i unutrašnja impedansa zavise od neravnomernosti opterećenja i veličine navojnog napona. Sa druge strane napon U_0 je geometrijski zbir padova napona na impedansama $3Z_0, Z_{0T}, Z_{0L}$. Ako se ovaj zbir označi sa Z_{0sp} , može se napisati:

$$U_0 = I_0 Z_{0op} = I_0 (3Z_0 + Z_{0T} + Z_{0L}) \quad (3)$$

Za pravilnu analizu uticaja Z_{0sp} i njegovih komponenti na U_0 predpostavimo da se Z_{0sp} menja u domenu:

$$\infty \geq Z_{0op} \geq 0 \quad (4)$$

Kada je $Z_{0op} = \infty$ iz (2) dobijamo $U_0 = E_0$, t.j. pad napona na Z_{0sp} je jednak sa E_0 i nesimetrija faznih napona na opterećenju je maksimalna. Sa promenom Z_{0sp} od (∞) do (0), U_0 se menja od E_0 do (0). Sa gledišta kvaliteta napona najinteresantnija vrednost je $Z_{0op} = 0$ pošto je tada nesimetrija napona najmanja.

Jednakost $Z_{0sp} = 3Z_0 + Z_{0T} + Z_{0L} = 0$ se može postići na dva načina:

1) Uzajamnom kompenzacijom komponenti Z_{0sp} ;

2) Kroz smanjenje modula impedansi nultog redosleda električnog kola.

Prvi način u električnim mrežama se ne primenjuje pošto se svaka od komponenti Z_{0sp} sastoji od aktivnog i reaktivnog (induktivnog) dela i zato njihova uzajamna kompenzacija nije moguća.

Drugi način smanjenja Z_{0sp} može se postići ali se mora izvršiti rekonstrukcija električne mreže pošto se smanjenje vrednosti $3Z_0$ i Z_{0L} može dobiti povećanjem preseka nultog i faznih provodnika a takođe i kapacitivnom kompenzacijom njihovih reaktivnih komponenti. Smanjenje Z_{0T} se postiže zamenom sprege Y_{12} spregom (Dy) sa nultim provodnikom na delu (y) ili spregom (Dz).

Paralelno rekonstrukciji odgovarajuće niskonaponske mreže za smanjenje Z_{0sp} mogu se koristiti uređaji sa malom impedansom-otpornošću prema strujama nultog redosleda. Ukoliko se paralelno impedansi $3Z_0 + Z_{0T} + Z_{0L}$ priključi dopunska impedansa Z_d , opšta impedansa spoljnog kola postaje:

$$Z'_{0sp} = \frac{Z_{0sp} \cdot Z_d}{Z_{0sp} + Z_d} < Z_{0sp} \quad (5)$$

Nejednakost će biti izraženija sa smanjenjem Z_d i pri $Z_d \rightarrow 0$, $Z'_{0sp} \rightarrow 0$.

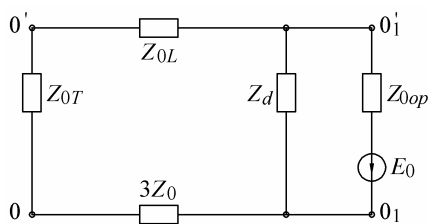
Tada je:

$$U_0 = E_0 - I_0 Z_{0sp}, U_0 = I_0 Z'_{0sp} \rightarrow 0 \quad (6)$$

pošto I_0 teži konačnoj vrednosti:

$$I_0 = \frac{E_0}{Z_{0op}} \quad (Z_{0op} - \text{impedansa opterećenja}).$$

Zamenska šema sa uključenom dopunskom impedansom je data na sl. 4. Uređaj sa malim Z_d za struje nultog redosleda naziva se šantiranim simetričnim uređajem (ŠSU). Primena ŠSU jednako je moguća i u slučaju koncentrisanih opterećenja linearnog i nelinearnog karaktera.



Sl. 4. Zamenska šema sa uključenom dopunskom impedansom.

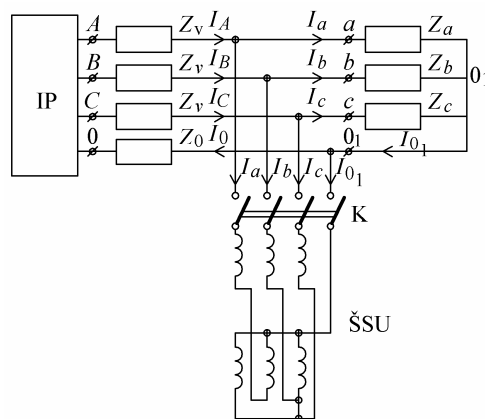
Kod nelinearnih opterećenja umanjuje se uticaj viših harmonika pošto je uređaj uključen na krajevima nelinearnog opterećenja. ŠSU filtrira ove harmonike, i više od trećeg ne propusta u niskonaponsku mrežu. Kod raspodeljenih opterećenja primena ŠSU je manje efikasna pošto se pri zadanom Z_d šantira samo deo Z_{0sp} . Zato je veoma teško ustanoviti poziciju postavljanja ŠSU u niskonaponskoj mreži pošto ona suštinska zavisi od nesimetrije izmenljivog opterećenja.

Nedostatak ŠSU, prema principu njegovog delovanja, je smanjenje vrednosti struja kratkih spojeva na početku voda. Smanjenje struja kratkih spojeva uglavnom nije dopustivo sa aspekta relejne zaštite.

Kao ilustracija ŠSU dat je primer "neutralera" koji se u prošlosti koristio za stvaranje veštačke neutralne tačke u troflovodnim niskonaponskim mrežama. Neutraler je elektromagnetni aparat, koji se sastoji iz trostubnog magnetnog kola, pri čemu na svakom stubu po polovima namotaja pripadaju dvema različitim fazama. Pošto je broj navojaka po polovini namotaja jednak a struje nultog redosleda koje teku kroz njih su jednake i u protiv fazi, jednake su i njihove magnetopobudne sile stvorene ovim strujama. U tom slučaju relativne otpornosti za struje nultog redosleda određene su samo fluksevima nultog redosleda i zato dimenzije neutralera ne moraju da budu značajne.

Prototip neutralera sa dopunskom impedansom $Z_d = 0,96 \Omega$ se već koristi u zapadnoj Evropi i njegova šema data je na sl. 5. Predpostavljeni parametri šeme: IN-transformator, $S_n = 1,06 \text{ kVA}$, Y/y , $U' / U'' = 340 / 156 \text{ V}$, $Z_{0T} = 15 \Omega$, $Z_L = Z_0 = 0,6 \Omega$, $Z_a = 19 \Omega$, $Z_b = 50 \Omega$, $Z_c = 58 \Omega$ (fazni prijemnici u električnoj instalaciji).

Rezultati proračuna i merenja su dati u tabeli 1.



Sl. 5. Prototip neutralera sa dopunskom impedansom.

Data tabela i njene vrednosti potvrđuju izvedene zaključke. Nesimetrija faznih napona smanjuje se u skladu sa vrednošću Z_d . Struja na početku voda se ravnomernije raspodeljuju na način preraspodele struja nultog redosleda. Kod kratkih spojeva uređaj deluje na analogan način, odnosno umanjuju se struje kratkih spojeva na početku voda.

Na ovaj način primena šantiranih uređaja za umanjnjenje nesimetrija omogućava da se preraspodele struje nultog redosleda i time poboljša simetrija napona.

TABELA 1: REZULTATI PRORAČUNA I MERENJA.

Nazivna vrednost	$Z = \infty$	$Z_0 = 0,6 \Omega$		Nazivna vrednost	$Z = \infty$	$Z_0 = 0,6 \Omega$	
	bez ŠSU	bez ŠSU	sa ŠSU		bez ŠSU	bez ŠSU	sa ŠSU
I_A	2,94	4,0	3,64	U_{B0}	96	103	95
I_B	2,2	2,0	2,4	U_{C0}	98	95	97
I_C	2,0	1,66	2,18	U_{AB}	165	164	164
I_0	-	2,0	0,22	U_{BC}	170	170	170
I_{ba}	-	-	0,86	U_{CA}	167	165	165
I_{ab}	-	-	0,96	U_{a01}	55	77	85
I_{bc}	-	-	0,71	U_{b01}	110	100	92
I_b	-	-	2,5	U_{c01}	115	96	94
I_a	2,94	4,0	4,48	U_{ab}	154	154	152
I_b	2,2	2,0	1,84	U_{bc}	162	164	163
I_c	2,0	1,66	1,6	U_{ca}	157	154	154
I_{01}	-	2,0	2,78	U_{010}	33	4,3	0,6
I_{A0}	95	89	94				

LITERATURA

- [1] S. Bjelić: "Energetski pretvarači u mrežama i instalacijama", Sven, Niš, 2007, ISBN 978-86-909183-1-7.
- [2] S. Bjelić, M. Vujičić: "Električno osvetljenje", Xerox, Čačak, Srbija, 2001, no. 1-101, ISBN 8679670103.
- [3] Joseph B. Murdoch: "Illumination Engineering", University of New Hampshire, Macmillan Publishing Company, New York 1997, ISBN 002949250-5.
- [4] G. Seidh: "Electrical Installation Handbook", Siemens, Berlin, Munchen, London, Part 2, ISBN 3800914760 (SIEMENS AG).
- [5] S. Bjelić, N. Krečković, Z. Bogičević, N. Marković: "Estimation flow current, loss of power and voltage fall down are showing us the usage of PDM KM_{p,q} applicative program in electrical engineering", Session 5, Power distribution system development, Block 4, Methods and Tools, Cired, Wien, 2007.

REDUCTION OF PHASE VOLTAGES NONSYMMETRY

Nenad Markovic, Slobodan Bjelic

Abstract — Here are discussed possibilities for reduction of phase voltage nonsymmetry by transversally connected shunt symmetric components, which influence the currents of zero order and improve the symmetry of phase voltages.