

OCENA PARAMETRÓW ASYMETRII DLA SKŁADOWEJ ZEROWEJ W SIECI  
ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

Lubomir MARCINIAK

Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki  
tel.: 343250879 e-mail: lubmar@el.pcz.czest.pl

**Streszczenie:** W pracy wyprowadzono parametryczne zależności pozwalające szacować wielkości charakteryzujące asymetrię napięcia, prądów, mocy i admitancji dla podstawowej i wyższych harmonicznych składowych symetrycznych zerowych. Przeprowadzono analizę porównawczą wyników otrzymanych z wyrażen analitycznych z wynikami otrzymanymi z symulacji pracy sieci SN i wykazano wystarczającą ich zbieżność. Wyprowadzone wzory mogą być stosowane przy określaniu nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

**Słowa kluczowe:** sieci SN, składowe symetryczne zerowe, ocena asymetrii.

## 1. WSTĘP

Najczęściej występującymi zakłóceniami w pracy sieci średnich napięć (SN) są zwarcia doziemne [1-3]. Z uwagi na nieskuteczne uziemienie punktu neutralnego prądy zwarć jednofazowych w tych sieciach są wielokrotnie mniejsze od prądów zwarć międzyfazowych. Do wykrywania takich zwarć wykorzystuje się powszechnie napięcie i prąd dla składowych symetrycznych zerowych oraz wielkości od nich zależne: moc czynną i bierną oraz admitancję, konduktancję i susceptancję dla składowych zerowych. Głównie wykorzystuje się podstawowe harmoniczne wymienionych wielkości zwanych kryterialnymi. Jednak do wykrywania niestacjonarnych zwarć łukowych i wysokorezystancyjnych proponuje się stosowanie również wyższych harmonicznych, zwłaszcza trzeciej [4-7]. Powszechnie stosowaną wielkością kryterialną w zabezpieczeniach jest podstawowa harmoniczna napięcia dla składowej zerowej [1-3]. Wzrost tej wielkości powyżej wartości nastawionej świadczy o pojawieniu się doziemienia i stanowi warunek wstępny działania zabezpieczenia. Do selektywnego wykrywania doziemień na liniach dystrybucyjnych są stosowane pozostałe z wymienionych wielkości kryterialnych, zależnie od sposobu pracy punktu neutralnego sieci.

W sieciach średnich napięć występuje asymetria parametrów pojemności i konduktancji dla składowej symetrycznej zerowej, która prowadzi do asymetrii napięcia, prądów, mocy i admitancji dla składowych zerowych w stanie normalnej pracy [8-12]. Dla zapewnienia selektywnego działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych nastawy stosowanych wielkości kryterialnych muszą być większe od spodziewanych wartości asymetrii. Jednocześnie, w celu zapewnienia wysokiej czułości zabezpieczeń, należy stosować możliwie jak najniższe nastawy, do czego jest niezbędne właściwe szacowanie parametrów asymetrii.

Pożądane są w miarę proste zależności analityczne, ujmujące istotne parametry sieci i zapewniające wystarczającą do celów inżynierskich dokładność obliczeń.

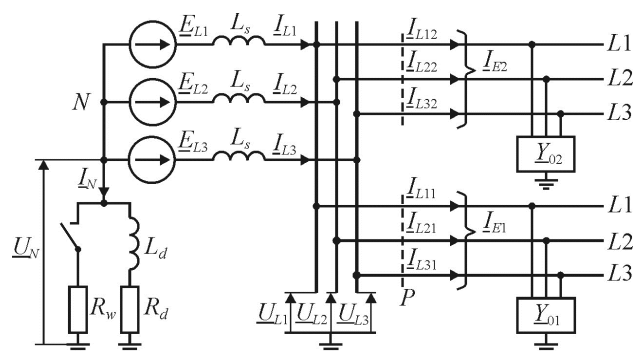
2. ANALITYCZNE ZALEŻNOŚCI DO SZACOWANIA  
NAPIĘCIA, PRĄDU, MOCY I ADMITANCJI  
ASYMETRII DLA SKŁADOWEJ ZEROWEJ

Do oceny parametrów asymetrii dla składowej zerowej w sieci SN wykorzystano skrajnie uproszczony jej model przedstawiony na rysunku 1. Składa się ona z wydzielonej linii o admitancji dla składowej zerowej  $Y_{01}$  i pozostałych linii o admitancji  $Y_{02}$ . W schemacie zastępczym pominięto, jako małoistotne, parametry podłużne linii i prądy obciążenia. Założono, że sieć jest zasilana z symetrycznego źródła o częstotliwości odpowiadającej podstawowej lub wyższym harmonicznym i napięciu

$$E_h = k_h U_n / \sqrt{3} \quad (1)$$

gdzie:  $U_n$  – napięcie znamionowe sieci,  $k_h$  – współczynnik udziału harmonicznej w napięciu zasilania.

W modelu uwzględniono indukcyjność źródła  $L_s$ . Sieć może pracować z izolowanym punktem neutralnym lub uziemionym przez dławik kompensacyjny o indukcyjności  $L_d$  i rezystancji uzwojeń  $R_d$ . Równoległe do dławika może być podłączony rezystor wymuszający  $R_w$ .



Rys. 1. Model sieci SN

Założono, że w sieci występuje wyłącznie asymetria parametrów poprzecznych – pojemności  $C_{0Li}$  i konduktancji  $G_{0Li}$  ( $i = 1, 2, 3$ ). Rozpatrzono najmniej korzystny przypadek asymetrii pojemności i konduktancji faz L1÷L3:

$$\begin{aligned} C_{0L1} &= C_0 - \Delta C_0; & C_{0L2} &= C_0; & C_{0L3} &= C_0 + \Delta C_0; \\ G_{0Li} &= d_0 \omega_1 C_{0Li}; & (i &= 1, 2, 3) \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:  $\Delta C_0 = C_0 - C_{0L1}$  – maksymalne odchylenie pojemności jednej z faz względem wartości średniej pojemności  $C_0$ ,  $G_{0Li}$  – składowe zerowe konduktancji poszczególnych faz sieci;  $\omega_1$  – częstotliwość kątowna podstawowej harmonicznej,  $d_0 = G_0 / \omega_1 C_0$  – współczynnik tłumienia dla podstawowej harmonicznej.

Podobnie zdefiniowano asymetrię wydzielonej linii, zakładając, że udział pojemności linii  $C_{01}$  w całkowitej pojemności sieci  $C_0$  wynosi  $\alpha = C_{01} / C_0$ , a maksymalne odchylenie pojemności linii wynosi  $\Delta C_{01}$ .

Przedstawioną sieć w stanie normalnej pracy można opisać następującym układem równań:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{Li} &= (\underline{E}_{Li} - \underline{I}_N / \underline{Y}_N) \underline{Y}_{Li}; & \underline{I}_N &= \sum_{i=1}^3 \underline{I}_{Li} \\ \underline{U}_{Li} &= \underline{I}_{Li} / \underline{Y}_{0Li}; & \underline{U}_N &= \underline{I}_N / \underline{Y}_N; & \underline{U}_{0as} &= \sum_{i=1}^3 \underline{U}_{Li} / 3 \\ \underline{I}_{01Li} &= \underline{I}_{Li} \underline{Y}_{01Li} / \underline{Y}_{0Li}; & \underline{I}_{E1as} &= \sum_{i=1}^3 \underline{I}_{01Li} \\ \underline{Y}_{Li} &= \underline{Y}_{0Li} / (j \omega L_s \underline{Y}_{0Li} + 1) = \underline{Y}_{0Li} \underline{k}_{si} \\ \underline{Y}_{0Li} &= G_{0Li} + j B_{0Li} = \omega C_{0Li} (d_0 / n_h + j) \\ \underline{Y}_{01Li} &= G_{01Li} + j B_{01Li} = \omega C_{01Li} (d_0 / n_h + j) \\ \underline{k}_{si} &= 1 / (j \omega L_s \underline{Y}_{0Li} + 1) = \\ &= 1 / (1 - C_{0Li} L_s \omega^2 + j C_{0Li} L_s \omega^2 d_0 / n_h) \\ \underline{Y}_N &\approx 1 / R_d + 1 / (j \omega L_d) \end{aligned} \quad (3)$$

w których:  $\underline{I}_{Li}$ ,  $\underline{I}_{01Li}$ ,  $\underline{I}_N$ ,  $\underline{I}_{E1as}$  – odpowiednio prądy fazowe źródła, składowe zerowe prądów fazowych linii, prąd w obwodzie neutralnym i prąd doziemny asymetrii linii,  $\underline{E}_{Li}$ ,  $\underline{U}_{Li}$ ,  $\underline{U}_N$ ,  $\underline{U}_{0as}$  – napięcia fazowe źródła, napięcia fazowe na szynach stacji, napięcie w punkcie neutralnym i napięcie asymetrii dla składowej zerowej,  $\underline{Y}_{Li}$ ,  $\underline{Y}_{0Li}$ ,  $\underline{Y}_{01Li}$ ,  $\underline{Y}_N$  – admitancje fazowe sieci, składowe zerowe admitancji fazowych sieci i linii, admitancja obwodu neutralnego,  $\underline{k}_{si}$  – współczynniki uwzględniające wpływ indukcyjności systemu na admitancje fazowe,  $n_h$  – numer harmonicznej,  $\omega = \omega_1 n_h$  – częstotliwość kątowna harmonicznej.

Z układu równań (3) można uzyskać, po żmudnych przekształceniach, ogólne zależności dla składowej zerowej napięcia asymetrii sieci  $\underline{U}_{0as}$  i prądu doziemnego asymetrii linii  $\underline{I}_{E1as}$ :

$$\begin{aligned} \underline{U}_{0as} &= \frac{1}{3} \left[ \sum_{i=1}^3 (\underline{E}_{Li} \underline{k}_{si}) - \frac{\sum_{i=1}^3 \underline{k}_{si} \sum_{i=1}^3 (\underline{E}_{Li} \underline{Y}_{Li})}{\underline{Y}_N + \underline{Y}_{L1} + \underline{Y}_{L2} + \underline{Y}_{L3}} \right] \\ \underline{I}_{E1as} &= \sum_{i=1}^3 \underline{E}_{Li} \underline{k}_{si} \underline{Y}_{01Li} - \frac{\sum_{i=1}^3 \underline{k}_{si} \underline{Y}_{01Li} \sum_{i=1}^3 \underline{E}_{Li} \underline{k}_{si} \underline{Y}_{0Li}}{\underline{Y}_N + \underline{Y}_{L1} + \underline{Y}_{L2} + \underline{Y}_{L3}} \end{aligned} \quad (4)$$

Ze szczegółowej analizy współczynników  $\underline{k}_{si}$  wynika, że dla harmonicznych nieprzekraczających 10. można przyjąć uproszczenie:

$$\underline{k}_{si} \approx k_s = 1 / (1 - C_{0L_s} \omega^2) \quad (5)$$

Wówczas zależności (4) przyjmą postać:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{0as} &= - \frac{k_s^2 \sum_{i=1}^3 (\underline{E}_{Li} \underline{Y}_{0Li})}{\underline{Y}_N + 3k_s \underline{Y}_0} \\ \underline{I}_{E1as} &= k_s \sum_{i=1}^3 \underline{E}_{Li} \underline{Y}_{01Li} - \frac{3k_s^2 \underline{Y}_{01} \sum_{i=1}^3 \underline{E}_{Li} \underline{Y}_{0Li}}{\underline{Y}_N + 3k_s \underline{Y}_0} \end{aligned} \quad (6)$$

Mianownik w równaniu napięcia asymetrii i w drugim członie równania prądu układu (6) można uprościć do postaci parametrycznej wiążącej pojemność sieci dla składowej zerowej  $C_0$ , stopień rozstrojenia kompensacji  $s_h$  i tłumienie  $d_{0h}$  dla harmonicznej  $n_h$ :

$$\underline{Y}_N + 3k_s \underline{Y}_0 = 3k_s C_0 \omega_1 n_h (d_{0h} - j s_h) \quad (7)$$

przy czym parametry  $s_h$  i  $d_{0h}$  powiązane są ze stopniem rozstrojenia kompensacji dla podstawowej harmonicznej  $s$  i dobrocią dławika  $Q_d$  zależnościami:

$$\begin{aligned} d_{0h} &= (s+1) / (k_s Q_d n_h) + d_0 / n_h; & s_h &= (s+1) / (k_s n_h^2) - 1 \\ s &= [\omega_1 C_0 - 1 / (\omega_1 L_d)] / (\omega_1 C_0); & Q_d &= \omega_1 L_d / R_d \end{aligned} \quad (8)$$

Równania (6) z uwzględnieniem zależności (7) i (3) dla admitancji oraz związku  $\underline{Y}_{01} = \alpha \underline{Y}_0$  uproszczą się do postaci:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{0as} &= - \frac{k_s (d_0 / n_h + j) \sum_{i=1}^3 (\underline{E}_{Li} C_{0Li})}{3C_0 (d_{0h} - j s_h)} \\ \underline{I}_{E1as} &= k_s \omega_1 n_h (d_0 / n_h + j) \sum_{i=1}^3 (\underline{E}_{Li} C_{01Li}) - \\ &= \frac{k_s \alpha \omega_1 n_h (d_0 / n_h + j)^2 \sum_{i=1}^3 (\underline{E}_{Li} C_{0Li})}{(d_{0h} - j s_h)} \end{aligned} \quad (9)$$

Ostatecznie, dla założonej asymetrii parametrów poprzecznych sieci (2) i linii, uzyskamy następujące zależności parametryczne:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{0as} &= -e^{j\frac{5\pi}{6}} \frac{U_n k_h k_s \Delta C_0 (d_0 / n_h + j)}{3C_0 (d_{0h} - j s_h)} \\ \underline{I}_{E1as} &= e^{j\frac{5\pi}{6}} U_n k_h k_s \omega_1 n_h (d_0 / n_h + j) A \\ A &= \frac{d_0 / n_h (\Delta C_{01} - \alpha \Delta C_0) - j (s_h \Delta C_{01} + \alpha \Delta C_0)}{(d_{0h} - j s_h)} \end{aligned} \quad (10)$$

Na podstawie zależności (10) można uzyskać parametryczne równania mocy czynnej  $P_{0as} = \text{Re}(\underline{U}_{0as} \underline{I}_{E1as}^*)$  i biernej  $Q_{0as} = \text{Im}(\underline{U}_{0as} \underline{I}_{E1as}^*)$  dla harmonicznych na linii

$$\begin{aligned} P_{0as} &= - \frac{U_n^2 k_h^2 k_s^2 \Delta C_0 \omega_1 d_0 (\Delta C_{01} + \alpha \Delta C_0)}{3C_0 (d_{0h}^2 + s_h^2)} \\ Q_{0as} &= - \frac{U_n^2 k_h^2 k_s^2 \Delta C_0 \omega_1 n_h (s_h \Delta C_{01} + \alpha \Delta C_0)}{3C_0 (d_{0h}^2 + s_h^2)} \end{aligned} \quad (11)$$

oraz admitancji asymetrii  $\underline{Y}_{0as}$  i jej składowych  $G_{0as}$  i  $B_{0as}$

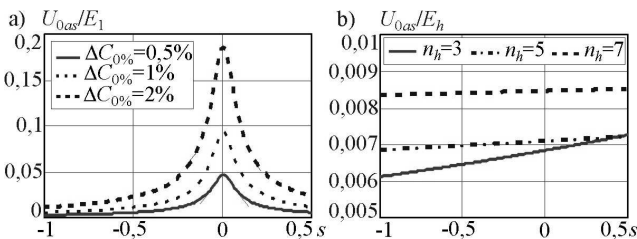
$$\begin{aligned} \underline{Y}_{0as} &= \underline{I}_{E1as} / 3\underline{U}_{0as} = \underline{G}_{0as} + j\underline{B}_{0as}; \\ \underline{G}_{0as} &= C_0 \omega_1 d_0 (\alpha - \Delta C_{01} / \Delta C_0) \\ \underline{B}_{0as} &= C_0 \omega_1 n_h (\alpha + s_h \Delta C_{01} / \Delta C_0) \end{aligned} \quad (12)$$

Równania (11) i (12) są niezbędne do szacowania nastaw zabezpieczeń wykorzystujących kryterium mocy biernej lub admitancji (susceptancji) dla harmonicznych zarówno w sieciach kompensowanych jak i w sieciach z izolowanym punktem neutralnym.

### 3. OCENA PARAMETRÓW ASYMETRII

Na podstawie zależności (10)–(12) oszacowano wartości napięcia asymetrii dla składowej zerowej, prądu doziemnego, mocy i admitancji dla podstawowej i wyższych harmonicznych w funkcji istotnych parametrów sieci. Wybrane wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 2–5. Obliczenia przeprowadzono dla sieci o parametrach:  $U_n = 15$  kV,  $C_0 = 10$   $\mu$ F (prąd pojemnościowy  $I_{CS} = 81,6$  A),  $\Delta C_{0\%} = 1\%$ ,  $C_{01} = 1$   $\mu$ F ( $\alpha = 0,1$ ),  $d_0 = 0,05$ ,  $Q_d = 80$ ,  $L_s = 6,367$  mH ( $\omega_1 L_s = 2$   $\Omega$ ),  $k_h = 3\%$ .

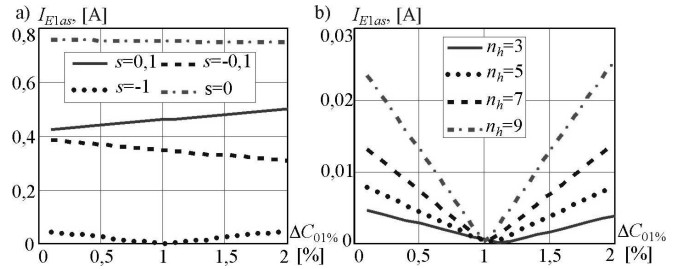
Z pierwszego równania układu (10) wynika, że składowa zerowa napięcia asymetrii zależy wprost proporcjonalnie od wielkości maksymalnego odchylenia składowej zerowej pojemności sieci  $\Delta C_0$  i od udziału harmonicznej w napięciach zasilania  $k_h$ . Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe zależności wartości bezwzględnej napięcia asymetrii odniesionej do harmonicznej w napięciu źródła. Nietrudno zauważyć, że  $U_{0as}$  przyjmuje największe wartości dla podstawowej harmonicznej (rysunek 2a) w przypadku dokładnej kompensacji ( $k_h = k_1 = 1$ ,  $s = 0$ ). W skrajnym przypadku, odpowiadającym  $\Delta C_{0\%} = 2\%$ , napięcie asymetrii może osiągać wartości zbliżone do 20% napięcia źródłowego. Czym wyższy numer harmonicznej  $n_h$ , tym mniejszy jest wpływ rozstrojenia kompensacji  $s$  na  $U_{0as}$ , jednak wraz ze wzrostem  $n_h$  napięcie asymetrii relatywnie rośnie (rysunek 2b). Należy jednak pamiętać, że udział poszczególnych harmonicznych w napięciu zasilania  $k_h$  nie przekracza 5% [11] i w związku z tym napięcia asymetrii dla harmonicznych są co najmniej 20 razy mniejsze niż dla podstawowej harmonicznej.



Rys. 2. Zależność względnego napięcia asymetrii od rozstrojenia kompensacji dla harmonicznych: a) podstawowej  $n_h = 1$ , b)  $n_h = 3, 5$  i  $7$  w przypadku  $\Delta C_{0\%} = 1\%$

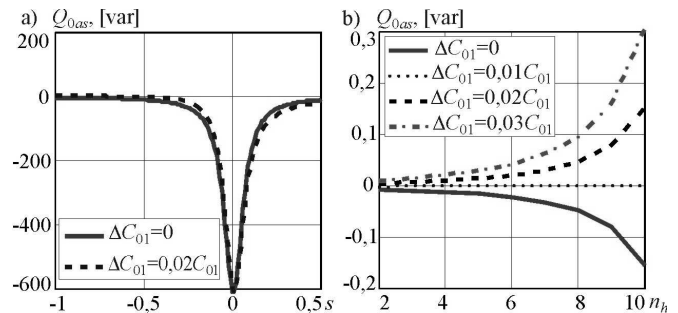
Prąd doziemny asymetrii linii dla podstawowej harmonicznej jest największy przy dokładnej kompensacji (rysunek 3a) i może osiągać wartość nawet 10% prądu pojemnościowego linii. Prąd ten jest najmniejszy przy braku kompensacji ( $s = -1$ ). Stosunkowo słabo zależy on od odchylenia składowej zerowej pojemności linii  $\Delta C_{01}$ . W przypadku wyższych harmonicznych prąd asymetrii jest wielokrotnie mniejszy niż dla podstawowej harmonicznej (rysunek 3b). Jego wartość jest tym większa im wyższy jest

rzęd harmonicznej. Silnie zależy on od różnicy między  $\Delta C_{01}$  i  $\Delta C_0$ , przyjmując minimalne wartości bliskie zeru w przypadku  $\Delta C_{01} \approx \Delta C_0$ .



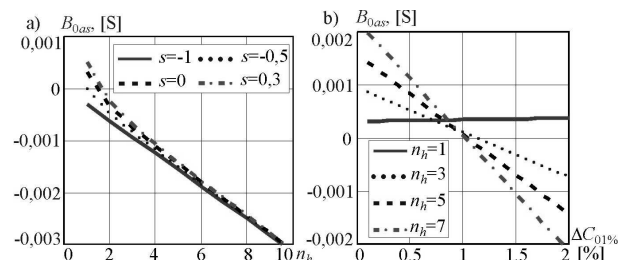
Rys. 3. Zależność prądu asymetrii linii od maksymalnego odchylenia pojemności linii  $\Delta C_{01}$  w przypadku  $\Delta C_{0\%} = 1\%$  dla harmonicznych: a) podstawowej  $n_h = 1$  i  $s = \text{var}$ , b)  $n_h = 3, 5, 7$  i  $9$  oraz  $s = 0,1$ ,  $k_h = 3\%$

Moc bierna asymetrii dla podstawowej harmonicznej (rysunek 4a) silnie zależy od stopnia rozstrojenia kompensacji, osiągając największe wartości w przypadku  $s = 0$ . Jej wartość zależy proporcjonalnie od odchyłki pojemności sieci  $\Delta C_0$  i w niewielkim stopniu od odchyłki pojemności linii  $\Delta C_{01}$ . Moc asymetrii linii dla wyższych harmonicznych (rysunek 4b) jest o kilka rzędów mniejsza od mocy dla podstawowej harmonicznej, silnie zależy od różnicy między  $\Delta C_0$  i  $\Delta C_{01}$  oraz charakteryzuje się paraboliczną zależnością od numeru harmonicznej. Jest ona ujemna w przypadku, gdy zachodzi nierówność  $\Delta C_{01\%} < \Delta C_{0\%}$  i dodatnia, gdy  $\Delta C_{01\%} > \Delta C_{0\%}$ .



Rys. 4. Zależność mocy biernej asymetrii linii: a) dla podstawowej harmonicznej od rozstrojenia kompensacji  $s$ , b) dla harmonicznych  $n_h$  w przypadku  $s = 0,1$ ,  $k_h = 3\%$

Susceptancja asymetrii  $B_{0as}$  nie zależy od napięcia zasilania. Dla podstawowej harmonicznej mieści się ona, zależnie od rozstrojenia kompensacji  $s$  (rysunek 5a), w zakresie  $\pm 1$  mS. Wpływ rozstrojenia kompensacji na  $B_{0as}$  jest tym mniejszy im wyższy jest numer harmonicznej. Dla wyższych harmonicznych wartość i znak  $B_{0as}$  zależy głównie od relacji zachodzących pomiędzy  $\Delta C_{01\%}$  i  $\Delta C_{0\%}$  (rysunek 5b).



Rys. 5. Zależność susceptancji asymetrii linii od: a) numeru harmonicznej  $n_h$ , b) procentowego odchylenia pojemności linii  $\Delta C_{01\%}$  w przypadku  $s = 0,1$ ,  $k_h = 3\%$ ,  $\Delta C_{0\%} = 1\%$

Susceptancja  $B_{0as}$  jest dodatnia, gdy  $\Delta C_{01\%} < \Delta C_{0\%}$  i ujemna, gdy  $\Delta C_{01\%} > \Delta C_{0\%}$ . Wartość bezwzględna  $B_{0as}$  rośnie proporcjonalnie do numeru harmonicznej. Dla wyższych harmonicznych jest ona na ogół większa od wartości dla podstawowej harmonicznej, mimo że zawartość harmonicznych w napięciach i prądach nie przekracza kilku procent. Ten fakt świadczy o niecelowości wykorzystania kryterium susceptancyjnego dla wyższych harmonicznych w zabezpieczeniach ziemnozwarciowych.

Wyniki otrzymywane z parametrycznych zależności są zbliżone z wynikami uzyskanymi z symulacji [13]. Dowodzą tego też wybrane wyniki zamieszczone w tablicy 1. Różnice nie przekraczają 5%.

Tablica 1. Zestawienie porównawcze parametrów asymetrii uzyskanych z pomocą wzorów i z symulacji w przypadku:  $s = 0,1$ ,  $\Delta C_{0\%} = 1\%$ ,  $\Delta C_{01\%} = 2\%$

Param.	$U_{0as}$ , [V]			$I_{E1as}$ , [mA]			$Q_{0as}$ , [mvar]			
	$n_h$	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Z wzoru	447	1,80	1,85	500	3,91	8,06	-222e3	7,02	15,0	
Z symul.	449	1,81	1,86	503	3,91	8,03	-225e3	7,03	14,9	
Błąd, [%]	-0,8	-0,55	-0,54	-0,6	0	0,37	1,33	-0,14	0,67	

#### 4. WNIOSKI

Dla sieci SN, kompensowanych i pracujących z izolowanym punktem neutralnym, wyprowadzono parametryczne zależności pozwalające szacować wielkości charakteryzujące asymetrię napięcia  $U_{0as}$ , prądu doziemnego  $I_{E1as}$ , mocy biernej  $Q_{0as}$  i susceptancji  $B_{0as}$  linii dla podstawowej i wyższych harmonicznych składowych symetrycznych zerowych w stanie normalnej pracy. Otrzymane wzory obejmują wszystkie istotne parametry sieci: napięcie znamionowe  $U_n$ , udział określonej harmonicznej  $k_h$ , rozstrojenie kompensacji  $s$ , pojemność dla składowej zerowej sieci  $C_0$  i linii  $C_{01}$ , tłumienie  $d_0$ , maksymalne odchyłki pojemności sieci  $\Delta C_0$  i linii  $\Delta C_{01}$ , indukcyjność systemu  $L_s$ . Przedstawiono charakterystyki parametrów asymetrii obliczone za pomocą wyprowadzonych wzorów. Wybrane wyniki obliczeń porównano z wynikami otrzymanymi drogą symulacji uzyskując bardzo dobrą zbliżość.

Otrzymane wzory mają charakter ogólny i mogą być wykorzystane do określania nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych, zwłaszcza zabezpieczeń nowych, opartych na wykorzystaniu wyższych harmonicznych.

### ASSESSMENT OF ASYMMETRY PARAMETERS FOR ZERO SEQUENCE COMPONENT IN THE MEDIUM VOLTAGE NETWORK

In medium voltage networks there is an asymmetry of the capacitance and conductance parameters for the zero sequence symmetrical component, which leads to the appearance of the asymmetry voltage for the zero sequence component, earth currents, asymmetry power and asymmetry admittance for zero sequence components occurring in the normal state of network operation and affecting earth fault protection settings and limiting their sensitivity. In order to ensure a sensitive setting of earth fault protections, it is necessary to properly estimate the mentioned quantities. Parametric relationships were derived in the paper, allowing to estimate the quantities characterizing the asymmetry for fundamental and higher harmonics. The resulting formulas contain all relevant network parameters: rated voltage  $U_n$ , share of the specified harmonic  $k_h$ , compensation detuning  $s$ , network and line capacitances for zero sequence component  $C_0$ ,  $C_{01}$  and their maximum deviations  $\Delta C_0$ ,  $\Delta C_{01}$ , damping  $d_0$ , system inductance  $L_s$ . A comparative analysis of the results obtained from analytical expressions with the results obtained from the simulation of the MV network was carried out. The sufficient convergence of results indicating the possibility of using the formulas when determining the settings of earth fault protections was demonstrated.

**Keywords:** MV networks, zero sequence components, asymmetry assessment.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Winkler W., Wiszniewski A.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 2013.
2. Lorenc J.: Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe, Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań 2007.
3. Hoppel W.: Sieci średnich napięć. Automatyka zabezpieczeniowa i ochrona od porażenia, WNT, Warszawa 2017.
4. Marciniak L.: Wykrywanie zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć z wykorzystaniem trzeciej harmonicznej sygnałów. Przegląd Elektrotechniczny, nr 3/2017, s. 56-59.
5. Piątek M., Marciniak L.: Identification of high-resistance earth faults in medium voltage networks using higher harmonics, Acta Energetica, nr 1(30), 2017, s. 50-57.
6. Piątek M., Marciniak L.: Harmoniczne generowane przez nieliniową rezystancję zwarcia z ziemią w sieciach średnich napięć, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 53, 2017, s. 45-48.
7. Arrillaga J., Bradley D. A., Bodger P. S.: Power system harmonics, John Wiley & Sons 1985.
8. Robak S., Pawlicki A., Pawlicki B.: Asymetria napięć i prądów w elektroenergetycznych układach przesyłowych, Przegląd Elektrotechniczny, nr 7/2014, s. 23-31.
9. Hanzelka Z.: Jakość dostawy energii elektrycznej. Zaburzenia wartości skutecznej napięcia, Wyd. AGH, Kraków 2013.
10. Kowalski Z.: Jakość energii elektrycznej, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2007.
11. PN-EN 50160:2010, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych., PKN, 2010.
12. Sawicki A.: Assessment of power parameters of asymmetric arcs by means of the Cassie and Mayr models, Przegląd Elektrotechniczny, nr 2/2011, s. 131-134.
13. Marciniak L., Piątek M.: The influence of the network asymmetry on the settings and sensitivity of an earth fault protection using higher harmonics, E3S Web of Conferences, 84 (2019), 10s.