

94

zamknięcie obwodu dla składowej zerowej prądu zwarcia doziemnego. W sieciach z izolowanym punktem neutralnym prąd przyjmuje zatem charakter pojemnościowy. Natomiast w układach elektroenergetycznych pracujących z uziemionym punktem neutralnym prąd zwarcia doziemnego ma charakter indukcyjny.

W sieciach z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym zwarcia jednofazowe mogą być trwałe lub ulegać samogaszeniu. W rozdzielczych sieciach napowietrznych średnich napięć 2/3 wszystkich zwarć jednofazowych z ziemią stanowią zwarcia przemijające. Natomiast dla linii kablowych 1/3 jednofazowych zwarć doziemnych ulega samogaszeniu. Przemijający charakter większości zwarć jednofazowych z ziemią w sieciach rozdzielczych pracujących z izolowanym punktem neutralnym jest podstawowym atutem przemawiającym za wyborem tej konfiguracji układu.

3. WYBÓR UKŁADU PRACY PUNKTU NEUTRALNEGO ELEKTROENERGETYCZNYCH SIECI ŚREDNICH NAPIĘĆ

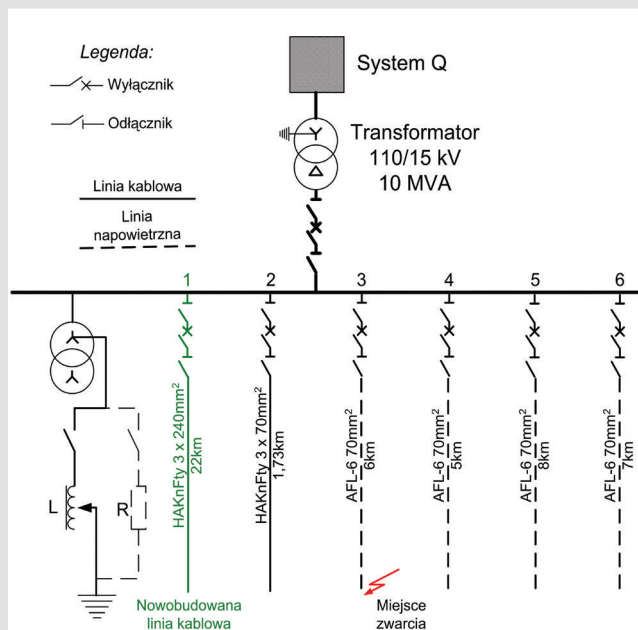
Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej średnich napięć powinien być optymalny pod względem techniczno-ekonomicznym z uwzględnieniem wymagań w zakresie eksploatacji sieci i niezawodności zasilania odbiorców [1]. Większość zwarć występujących w sieciach rozdzielczych średnich napięć, są zvarciami powstałymi za pośrednictwem łuku. Odpowiednia konfiguracja układu sieci lub uziemienie punktu neutralnego poprzez rezystor albo dławik, pozwala na ograniczenie prądu zwarciovego do poziomu powodującego jego samoistne zgaszenie.

Przebiegi ziemnozwarciowe szybkozmienne powstają nie tylko w momencie inicjacji zwarć, ale mogą ulegać również intensyfikacji wskutek występowania łuku przerywanego. Konieczne jest ograniczanie przebiegów ziemnozwarciowych wolnozmiennych przez zastosowanie dławików gaszących albo uziemienia punktu neutralnego przez rezystor, jeżeli pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego przekracza wartość graniczną [2].

Analiza przebiegów ziemnozwarciowych możliwa obecnie jest poprzez wykorzystanie zaawansowanych modeli matematycznych, szczególnie tych, które zawarte są w programie [5, 6].

4. WYBRANE PRZYPADKI SYMULACJI KOMPUTEROWYCH ZWARĆ DOZIEMNYCH W SIECIACH SN Z WYKORZYSTANIEM EMTP

Do przeprowadzenia analizy wybranych przypadków symulacji komputerowych zwarć doziemnych w rozdzielczych sieciach średnich napięć, wykorzystano schemat układu elektroenergetycznego przedstawionego na rysunku 2. Schemat ten odzwierciedla układ stacji elektroenergetycznej 110/15 kV, składającej się z transformatora o mocy 10 MVA oraz odejść w postaci linii napowietrznych i kablowych oznaczonych numerami od 1 do 6.



Rys. 2. Schemat układu elektroenergetycznego 15 kV

Analiza została przeprowadzona w celu sprawdzenia wpływu nowo budowanej linii kablowej nr 1, na poziom prądu doziemienia oraz konieczności jego kompensacji w przypadku przekroczenia dozwolonej wartości (tab. 1, 2). Symulacje zostały przeprowadzone wielowariantowo (tab. 3). Zmianom ulegały takie czynniki jak: rodzaj zwarcia, zakres rozbudowy sieci rozdzielczej oraz sposób uziemienia punktu neutralnego sieci.

Tabela 1. Graniczne wartości pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego w sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej [3]

Napięcie znamionowe sieci [kV]	6	10	15–20	30
Pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego [A]	30	20	15	10

Tabela 2. Graniczne wartości pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego w sieci kablowej lub kablowo-napowietrznej [3]

Napięcie znamionowe sieci [kV]	6	10	15–20	30
Pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego [A]	50			

W pierwszym przypadku dokonano analizy zwarcia metalicznego. W układzie odzwierciedlono istniejący stan – bez nowo budowanej linii kablowej nr 1 oraz układu kompensacji prądu doziemienia.

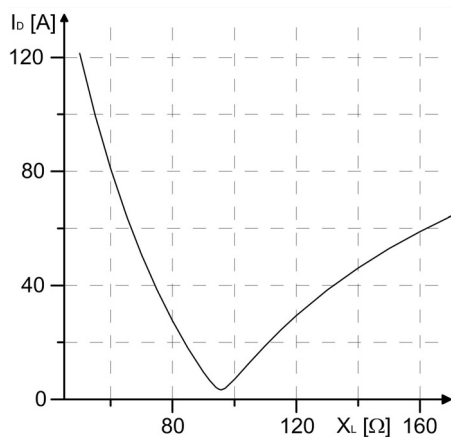
Z przeprowadzonej analizy wariantu 1 wynika, że prąd doziemienia wyniósł 8 A i nie przekracza dopuszczalnej wartości 15 A. Natomiast w przypadku rozbudowy układu o nowobudowaną linię kablową – wariant 2, prąd ten osiągnął wartość rzędu 160 A i w znacznym stopniu przekroczył dopuszczalną wartość. Ze względu na znaczne przekroczenie dozwolonej wartości prądu doziemnego w anali-

zowanym układzie – wariant 2, stwierdzono konieczność wykorzystania układu do kompensacji prądów zwarcio-
 wych. W wariantach 3 przeprowadzono symulacje umożli-
 wiające dobór odpowiedniej wartości L dławika celem
 optymalnej kompensacji prądów zwarcio-
 wych.

Tabela 3. Warianty analizy komputerowej układu
 elektroenergetycznego z rysunku 4

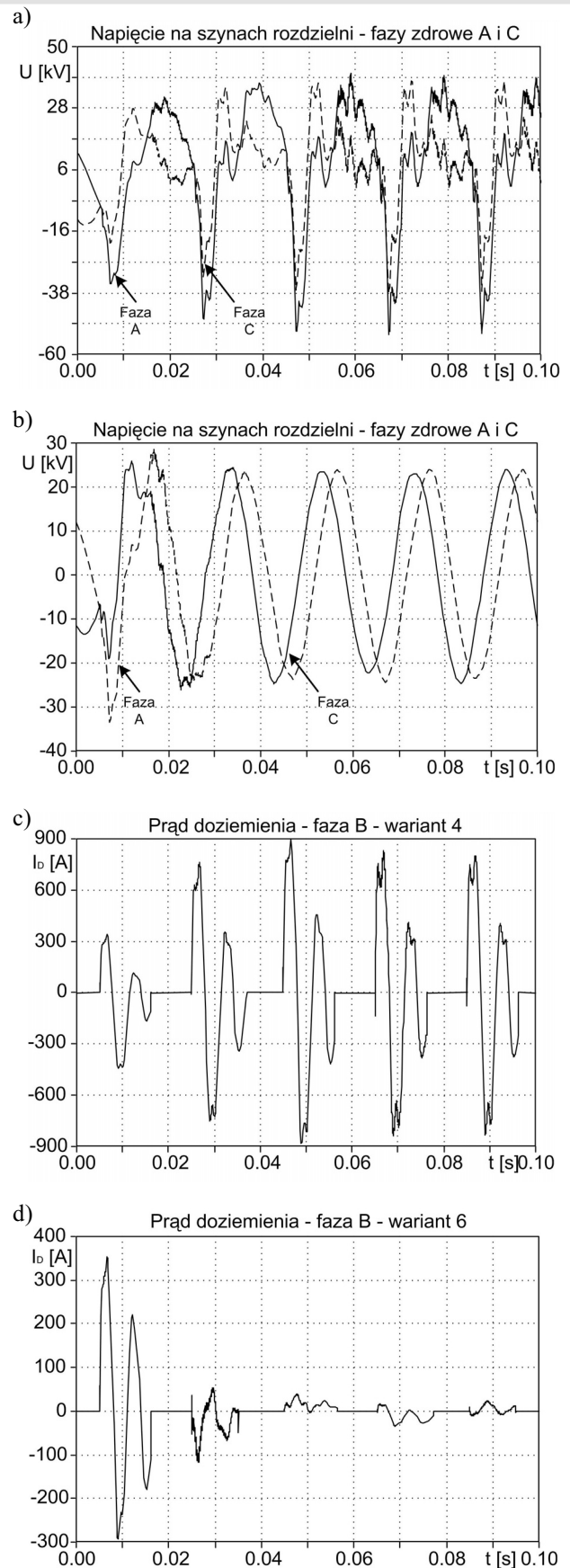
Wariant	Rodzaj zwarcia	Zakres rozbudowy sieci rozdzielczej	Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci
1	metaliczne	brak	brak
2	metaliczne	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	brak
3	metaliczne	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	cewka L
4	poprzez łuk przerywany	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	brak
5	poprzez łuk przerywany	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	cewka L
6	metaliczne	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	rezystor R

Na rysunku 3 przedstawiony został wykres zależności
 prądu doziemienia I_D od reaktancji cewki układu kompen-
 sacyjnego X_L .



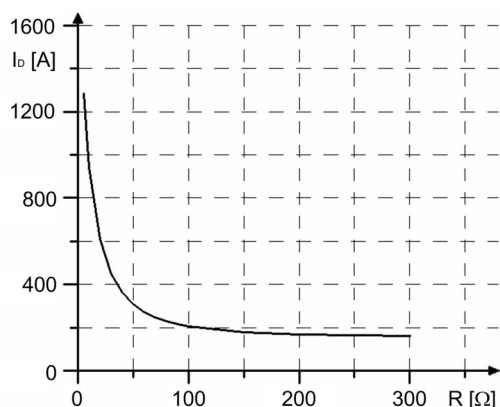
Rys. 3. Wariant 3 – charakterystyka $I_D = f(X_L)$

Wykresy z rysunku 4c i d przedstawiają najkorzystniej-
 sze warunki kompensacji prądu doziemienia. Optymalny
 dobór wartości reaktancji cewki, pozwala uzyskać wartość
 prądu doziemienia poniżej dopuszczalnych 15 A. Analizu-
 jąc warianty 4, 5, uzyskano odpowiedź układu na zwarcie
 poprzez łuk przerywany (rys. 4).



Rys. 4. Warianty 4 i 5: a) napięcia na szynach rozdzielni, faz
 zdrowych A i C – wariant 4; b) napięcia na szynach rozdzielni,
 faz zdrowych A i C – wariant 5; c) prąd doziemionej
 fazy B – wariant 4; d) prąd doziemionej fazy B – wariant 5

Ze względu na rozbudowę układu o nowo budowaną linię kablową oraz zalecenie uziemienia punktu neutralnego przez rezystor w rozległych sieciach kablowych i w sieciach kablowo – napowietrznych z przewagą linii kablowych [3], przeprowadzono analizę wariantu 6. Na rysunku 5 przedstawiony został wykres zależności prądu doziemienia I_D od rezystancji rezystora uziemiającego punkt neutralny R .



Rys. 5. Wariant 6 – charakterystyka $I_D = f(R)$

Przeprowadzone komputerowe symulacje wariantów 4, 5 i 6 przedstawiają wpływ zastosowanego układu kompensacyjnego i ograniczającego wartość prądu doziemnego na wielkość prądu i przetężeń powstałych w zamodelowanym układzie, co potwierdza zasadność ich zastosowania.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Analiza zwarć doziemnych jest szczególnie istotna dla układów elektroenergetycznych średnich napięć, które eksploatowane są z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym. Specyfika pracy tego układu sieci polega na samodzielnym gaszeniu prądów zwarciovych, które w większości zwarć występujących w sieciach rozdzielczych średnich napięć są zwarciami powstałymi za pośrednictwem łuku. Na skutek zmian w konfiguracji sieci, wartość prądu zwarcia może być na tyle duża, że konieczne staje się wykorzystanie dodatkowych układów umożliwiających jego ograniczenie lub kompensację. Aplikacje takich programów komputerowych jak EMTP, umożliwiają rozpoznanie powyższych zjawisk i uwzględnienie ich w praktyce projektowej oraz eksploatacyjnej.

Literatura

- [1] Anderson E.: *Przebiegi wewnętrzne w sieciach średnich napięć i ich ograniczanie*. [w:] Postępy techniki wysokich napięć, Seria wydawnicza Komitetu Elektrotechniki PAN, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1997
- [2] Nowak W., Kerzel B.: *Komputerowe modelowanie i analiza prądów ziemnozwarciowych w układach elektroenergetycznych*. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, XVII Seminarium Zastosowanie Komputerów w Nauce i Technice' 2007, 73–78

- [3] Zasady ochrony od przepięć i koordynacja izolacji sieci elektroenergetycznych. Specyfikacje Techniczne PO-TE-1-P, Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., Warszawa 2001
- [4] Kosztaluk R., Flisowski Z., Kuca B.: *Ograniczanie parametrów prądów w sieciach rozdzielczych*. Materiały konferencyjne VIII Sympozjum nt. „Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia”, Zakopane 2001, 293–298
- [5] *Electromagnetic Transients Program. Theory Book*. Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, 1995
- [6] *Alternative Transients Program. Rule Book*. Canadian/American EMTP User Group, 1987–92

Wpłynęło: 10.04.2008

Wiesław NOWAK



Urodził się w Krakowie w 1963 roku. Tytuł zawodowy magistra inżyniera oraz stopnie naukowe doktora i doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika uzyskał w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, odpowiednio w 1988, 1995 i 2006 roku.

Od 1987 roku jest pracownikiem Katedry Elektroenergetyki AGH. Jest członkiem International Council on Large Electric Systems (CIGRE), International Lightning Protection Club (ILPC) oraz Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS). Jego główne zainteresowania badawcze dotyczą problemów koordynacji izolacji, a także komputerowego modelowania i analizy elektromagnetycznych stanów przejściowych w układach elektroenergetycznych. Jest autorem i współautorem pięciu książek i ponad 70 publikacji z zakresu elektroenergetyki.

e-mail: wieslaw.nowak@agh.edu.pl

Bartłomiej KERCEL



Urodził się w Chrzanowie w 1978 roku. Tytuł magistra inżyniera o specjalności Elektroenergetyka uzyskał w roku 2003 na WEAIiE AGH. W roku 2003 ukończył również studia podyplomowe o specjalności zarządzanie personelem na WZ AGH. W latach 2003–2004 pracownik firmy Elteco Poland. W roku 2004 pracował w Zakładach Remontowych Energetyki Kraków, a następnie w latach 2004–2005 w Enion S.A. Oddział w Krakowie ZEK. Od roku 2005 pracownik Katedry Elektroenergetyki na WEAIiE AGH. Jest członkiem International Lightning Protection Club (ILPC) oraz Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS).

e-mail: kerzel@agh.edu.pl