

SYMULACJE KOMPUTEROWE ZWARĆ DOZIEMNYCH W SIECIACH ŚREDNICH NAPIĘĆ

STRESZCZENIE

Do najczęściej występujących uszkodzeń w sieciach elektroenergetycznych można zaliczyć zwarcie przewodu fazowego z ziemią. W pracy przedstawiono modelowanie zwarć doziemnych w układach elektroenergetycznych średnich napięć, mających istotne znaczenie dla określenia zagrożeń wynikłych w momencie ich powstania. Do symulacji komputerowych zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć zastosowano program Electromagnetic Transients Program (EMTP).

Słowa kluczowe: symulacje komputerowe, EMTP, sieci średnich napięć

COMPUTER'S SIMULATIONS OF SHORT CIRCUIT IN MV ELECTRICAL POWER SYSTEM

The paper presents computer's simulations of short circuit in MV electrical power system which has got essential importance to show risk at the moment when it arising. Short circuit in MV electrical power system was analyzing by Electromagnetic Transients Program (EMTP).

Keywords: computer's simulations, EMTP, MV electrical power systems

1. WSTĘP

W sieciach elektroenergetycznych średnich napięć pracujących z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym, bądź jako układy z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor albo dławik, analiza zwarć doziemnych jest szczególnie istotna. Niestalony stan elektromagnetyczny związany z wystąpieniem zwarć w układach elektroenergetycznych jest przyczyną powstawania przepięć ziemnozwarciowych. Przepięcia te w stanie niestalonym po zaistnieniu zjawiska są rozpatrywane jako szybkozmienne, natomiast po wytlumieniu procesów przejściowych – jako przepięcia ziemnozwarciowe wolnozmienne.

W przypadku układów elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć pracujących ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym, przepięcia szybkozmienne powstają tylko w momencie inicjacji zwarć. Natomiast w układach rozdzielczych średnich napięć pracujących z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym na skutek wystąpienia łuku przerywanego następuje intensyfikacja przepięć szybkozmiennych, których analiza ma istotne znaczenia ze względów eksploatacyjnych [1, 2].

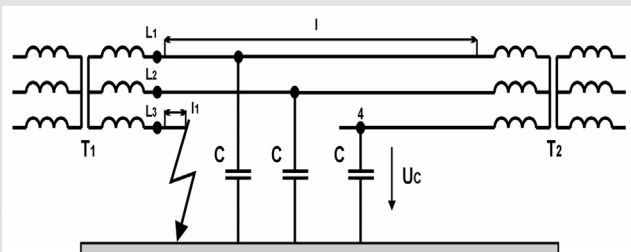
W artykule przedstawiono wybrane wyniki symulacji komputerowych układów elektroenergetycznych średnich napięć, w których przeprowadzono analizę skuteczności ograniczania przepięć ziemnozwarciowych poprzez uziemienie punktu neutralnego poprzez dławik i rezystor. Zastosowanie programu EMTP (*Electromagnetic Transients Program*) pozwoliło na określenie potencjalnego zagrożenia, a otrzymane wyniki analizy mogą być istotnym elementem przy projektowaniu i eksploatacji układów elektroenergetycznych.

2. ANALIZA SIECI ROZDZIELCZYCH ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

Układy elektroenergetyczne średnich napięć są eksploatowane z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym.

Do sieci pracujących z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym należą:

- sieć z izolowanym punktem neutralnym,
- sieć z kompensacją prądu zwarcia doziemnego (uziemienie punktu neutralnego poprzez dławik gaszący),
- sieć z kompensacją prądu zwarcia doziemnego oraz automatyką wymuszania składowej czynnej prądu zwarciaowego,
- sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor ograniczający wartość prądu zwarcia doziemnego.



Rys. 1. Schemat sieci z izolowanym punktem neutralnym

W elektroenergetycznych układach średnich napięć pracujących z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym (rys. 1), impedancja składowej zerowej $Z_{(0)}$ dąży do ∞ . Jednakże uwzględniając poprzeczne elementy układu, tj. pojemność i upływność, można stwierdzić, że umożliwiają one

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

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 zvarcia 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

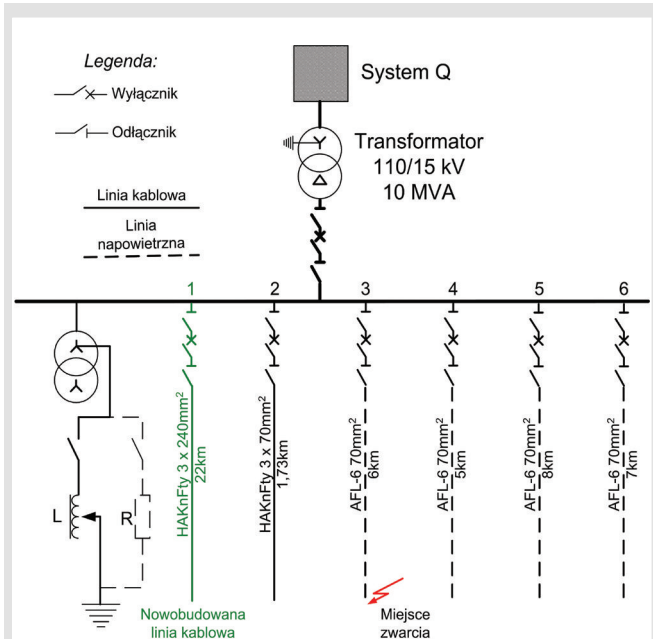
Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej średnich napięć powinien być optymalny pod względem techniczno-ekonomicznym z uwzględnieniem wymagań w zakresie eksploatacji sieci i niezawodności zasilania odbiorców [1]. Większość zwarć występujących w sieciach rozdzielczych średnich napięć, są zvarciami powstałymi za pośrednictwem łuku. Odpowiednia konfiguracja układu sieci lub uziemienie punktu neutralnego poprzez rezystor albo dławik, pozwala na ograniczenie prądu zwarciego 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 przepięć ziemnozwarciowych wolnozmiennych przez zastosowanie dławików gaszących albo uziemienia punktu neutralnego przez rezystor, jeżeli pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego przekracza wartość graniczną [2].

Analiza przepięć 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 EMTF

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.

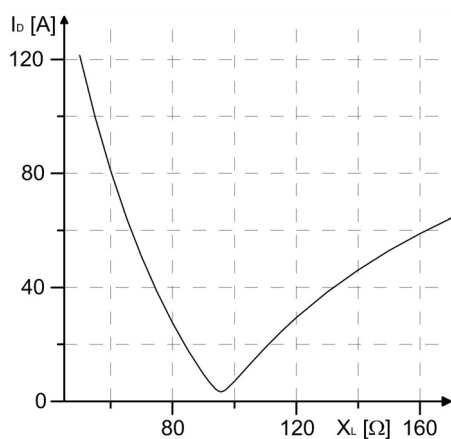
Z przeprowadzonej analizy wariantu 1 wynika, że prąd doziemienia wyniósł 8 A i nie przekracza dopuszczalnej wartości 15 A. Natomiast w przypadku rozbudowy układu o nowobudowaną linię kablową – wariant 2, prąd ten osiągnął wartość rzędu 160 A i w znacznym stopniu przekroczył dopuszczalną wartość. Ze względu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

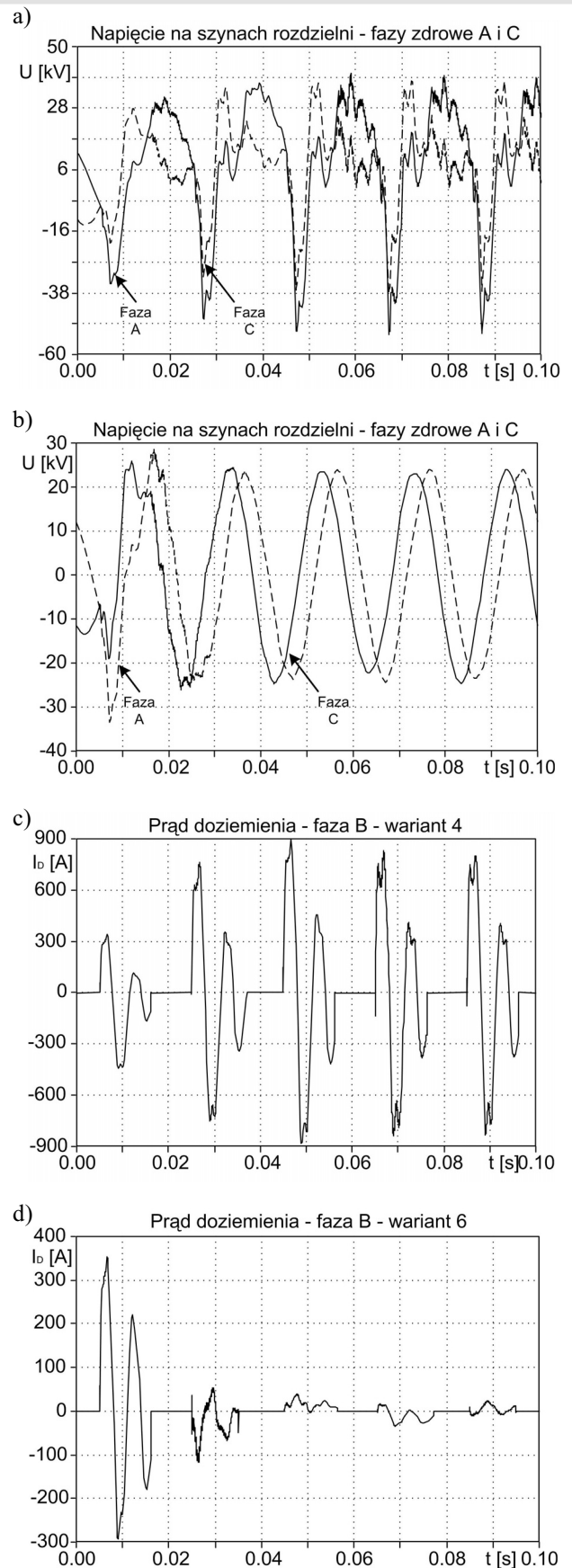
Wariant	Rodzaj zwarcia	Zakres rozbudowy sieci rozdzielczej	Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci
1	metaliczne	brak	brak
2	metaliczne	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	brak
3	metaliczne	linia kablowa – nr 1 HAKnFtA $3 \times 240 \text{ mm}^2$	cewka L
4	poprzez łuk przerywany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



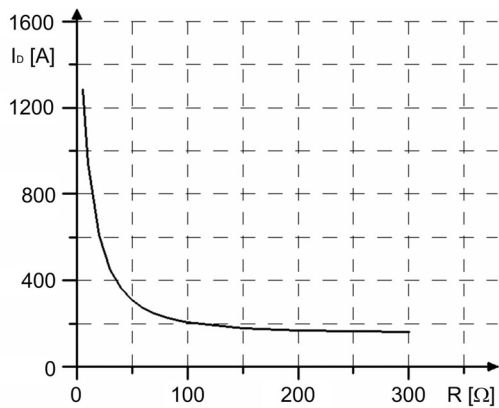
Rys. 3. Wariant 3 – charakterystyka $I_D = f(X_L)$

Wykresy z rysunku 4c i d przedstawiają najkorzystniejsze warunki kompensacji prądu doziemienia. Optymalny dobór wartości reaktancji cewki, pozwala uzyskać wartość prądu doziemienia poniżej dopuszczalnych 15 A. Analizując 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 przepięć 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 samistnym 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.: *Przepięcia 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., Kercel B.: *Komputerowe modelowanie i analiza przepięć 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 przepięć 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 elektroenergetyka 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 Elektroenergetyki 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 Elektroenergetyki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS).

e-mail: kercel@agh.edu.pl