

BADANIA SYMULACYJNE STANÓW ZAKŁÓCENIOWYCH W SIECIACH ROZDZIELCZYCH ŚREDNICH NAPIĘĆ DLA OCENY DZIAŁANIA AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ

Szczepan MOSKWA, Wiesław NOWAK, Rafał TARKO

Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

tel: (12) 617 36 53 fax: (12) 634 57 21

e-mail: szczepan.moskwa@agh.edu.pl; wieslaw.nowak@agh.edu.pl; rafal.tarko@agh.edu.pl

Streszczenie: W artykule omówiono przyczyny i skutki nieprawidłowego działania automatyki zabezpieczeniowej podczas wystąpienia doziemienia w sieci średniego napięcia z izolowanym punktem neutralnym. Dla identyfikacji przyczyn błędnego działania automatyki zabezpieczeniowej przeprowadzono analizę obliczeniową rzeczywistego zdarzenia zarejestrowanego w układzie elektroenergetycznym. Symulacje przeprowadzone zostały przy pomocy programu *The Electromagnetic Transients Program - Alternative Transients Program (EMTP-ATP)*.

Słowa kluczowe: modelowanie układów elektroenergetycznych, program *EMTP-ATP*, elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa.

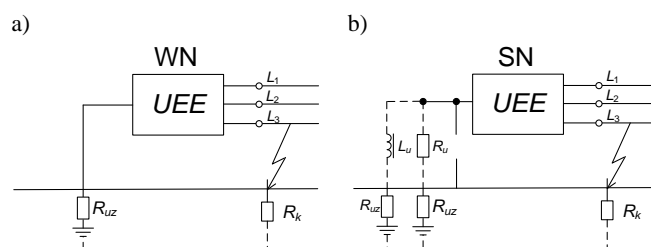
1. WPROWADZENIE

Eksploatacji układów elektroenergetycznych towarzyszą różnorodne stany zakłóceniowe, uniemożliwiające lub utrudniające ich normalną pracę. Jednym z zakłóceń o podstawowym znaczeniu są zwarcia. Praktyka eksploatacyjna wykazuje, że wśród zakłóceń zwarciovych, około 70-80% to zwarcia jednofazowe doziemne.

Wykrywanie oraz eliminacja zakłóceń lub innych nienormalnych warunków występujących w systemie elektroenergetycznym jest zadaniem elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ). Działanie EAZ może być albo prawidłowe, albo nieprawidłowe, przy czym wśród działań nieprawidłowych wyróżnić można zarówno działania brakujące, jak i działania zbędne.

W odróżnieniu od elektroenergetycznych układów przesyłowych wysokich (WN) i najwyższych napięć (NN), sieci rozdzielcze średnich napięć (SN) eksploatowane są jako układy trójfazowe z punktem neutralnym izolowanym, uziemionym przez dławik (sieć skompensowana) albo uziemionym przez rezystor (rys. 1). Niezależnie od sposobu eksploatacji sieci SN, ich wspólną cechą są relatywnie małe w stosunku do układów WN i NN wartości prądów doziemień (zwarć jednofazowych doziemnych).

Pomimo, że prądy doziemień w sieciach średnich napięć nie stanowią narażeń cieplnych oraz dynamicznych urządzeń i aparatów elektroenergetycznych, to zakłócenia te powinny być odpowiednio szybko eliminowane przede wszystkim ze względu na wynikające z doziemienia zagrożenie porażeniowe.



Rys. 1. Układy pracy sieci: a) wysokiego napięcia, b) średniego napięcia

Jednak brak skutecznego uziemienia punktu neutralnego implikuje szereg niekorzystnych warunków i trudności w realizacji skutecznych zabezpieczeń ziemnozwarciowych [1]. Problemy te są przedmiotem niniejszego artykułu, w którym przedstawiono wyniki badań wybranego przypadku warunków działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w elektroenergetycznej sieci SN.

2. CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEGO UKŁADU

Przedmiotem badań był układ elektroenergetyczny o napięciu 15 kV, eksploatowany przez *ENION Grupa Tauron S.A. Oddział w Tarnowie* [2]. Uproszczony schemat układu przedstawiono na rysunku 2. W układzie tym wyodrębniono trzy Główne Punkty Zasilające: *GPZ Latoszyn*, *GPZ Kędzierz* oraz *GPZ Pilzno*. W normalnym stanie eksploatacji układ jest rozcięty w miejscu zainstalowania odłączników *Ł754* i *Ł1208*.

Inspiracją do przeprowadzenia niniejszej analizy było zakłócenie, które wystąpiło na jednej z linii napowietrznych zasilanych z *GPZ Latoszyn* i nie zostało prawidłowo wykryte przez zainstalowaną tam automatykę zabezpieczeniową. Na linii *Latoszyn-Pilzno* przyłączonej w polu *P06* wyżej wymienionej rozdzielni 15 kV, wystąpiło zakłócenie w postaci zwarcia wielofazowego, wynikłego z powalenia na linię drzewa. Zakłócenie to zostało efektywnie wyeliminowane w wyniku zadziałania zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego zwłocznego. Linia jednak została ponownie załączona przez automatykę *SPZ* (samoczynnego

ponownego załączenia). Jednak na skutek powalenia drzewa, jeden z przewodów linii został zerwany i na odcinku około 20 m spoczywał na ziemi pozostając pod napięciem. Linie tą wyłączono na skutek zgłoszenia telefonicznego dopiero po czterech godzinach od zaistniałej awarii. Przybyłe na miejsce służby energetyczne stwierdziły wypaloną na długości około kilkunastu metrów ziemię przez leżącą na niej zerwany przewód linii. Przewód ten do momentu zdalnego wyłączenia linii przez dyspozytora, cały czas pozostawał pod napięciem, stwarzając zagrożenie porażeniowe dla osób, które mogły znaleźć się w pobliżu zerwanego przewodu.

Na podstawie wstępnej analizy zdarzenia, postawiono hipotezę, że nieprawidłowe działanie zabezpieczenia ziemnozwarciowego było spowodowane zbyt dużą rezystancją przejścia w miejscu zetknięcia przewodu fazowego z ziemią. W celu weryfikacji tej hipotezy, przeprowadzono badania w układzie rzeczywistym oraz opracowano model komputerowy układu dla analizy warunków działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

3. MODEL KOMPUTEROWY UKŁADU

Model analizowanego układu opracowany został w programie *EMTP-ATP (ElectroMagnetic Transients Program)*, na podstawie danych techniczno-konstrukcyjnych istotnych – z punktu widzenia analizowanych zjawisk – elementów. Przeprowadzono również weryfikację opracowanych modeli matematycznych poprzez porównanie wyników symulacji komputerowych z wynikami uzyskanymi podczas badań w układzie rzeczywistym. Otrzymany w ten sposób model matematyczny stał się podstawą do analiz warunków eksploatacji sieci w aspekcie oceny niezawodności działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w linii *Latoszyn–Pilzno*.

Odwzorowano wszystkie istotne elementy sieci, w szczególności:

- systemy elektroenergetyczne 110 kV i 30 kV,
- transformatory 110/30/15 kV zainstalowane w *GPZ Latoszyn* (procedura *BCTRAN*),
- transformator 110/15 kV zainstalowany w *GPZ Kędzierz* (procedura *BCTRAN*),
- transformator 30/15 kV zainstalowany w *GPZ Pilzno* (procedura *BCTRAN*),
- transformatory uziemiające zainstalowane w *GPZ Latoszyn* oraz *GPZ Kędzierz*,
- linie napowietrzne i kablowe (procedura *LCC*).

Przykładowy schemat fragmentu modelu analizowanego układu przygotowany w preprocesorze graficznym *ATPDraw* przedstawiono na rysunku 3.

4. WYNIKI ANALIZY

W celu określenia napięciowych i prądowych warunków działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych rozważanego układu, zastosowano opracowany w programie *EMTP-ATP* model. Analizowano istotne z punktu widzenia działania automatyki ziemnozwarciowej zależności, następujących wielkości od rezystancji przejścia R_F w miejscu doziemienia:

- składowa zerowa U_0 napięć fazowych na szynach rozdzielni 15 kV po stronie wtórnej układu pomiarowego

(napięcie otwartego trójkąta przekładników tworzących filtr składowej zerowej napięcia),

- składowa zerowa I_0 prądów w polu zasilającym doziemioną linię (suma geometryczna prądów fazowych mierzona przez przekładnik prądu zerowego lub układ Holmgreena, przeliczona na stronę pierwotną).

Na wartość prądu doziemienia oraz zmianę napięć fazowych podczas jednofazowego zwarcia doziemnego mają wpływ parametry podłączonych do szyn rozdzielni linii elektroenergetycznych. W szczególności istotna jest długość i rodzaj linii (napowietrzna czy kablowa) oraz parametry konstrukcyjne (średnica przewodów, odległość między przewodami, rodzaj i grubość izolacji w liniach kablowych, itp.). Aktualnie sieć ta pracuje z izolowanym punktem neutralnym, lecz możliwe jest również zasilenie linii *Latoszyn–Pilzno* z *GPZ Kędzierz* lub z *GPZ Pilzno*. Przy zasilaniu z *GPZ Pilzno* punkt neutralny sieci pozostaje izolowany, natomiast przy zasilaniu z *GPZ Kędzierz* sieć jest uziemiona przez rezystor o wartości $R_u = 44 \Omega$.

W *GPZ Latoszyn* planowana jest w najbliższym czasie modernizacja, polegająca między innymi na instalacji drugiego transformatora WN/SN oraz na zmianie sposobu pracy punktu neutralnego z ziemią. Docelowo planowana jest praca układu przy zasilaniu sekcji rozdzielni 15 kV z dwóch transformatorów i instalacja na każdej z nich rezystora uziemiającego o wartości $R_u = 56,8 \Omega$. Do czasu instalacji drugiego transformatora układ będzie pracował jako uziemiony przez jeden rezystor z zamkniętym łącznikiem sekcyjnym (wariant przejściowy).

Rozważono następujące warianty układu:

- zasilanie podstawowe ze *GPZ Latoszyn*
 - układ z izolowanym punktem neutralnym
 - układ kompensowany
 - układ z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor
- zasilanie rezerwowe ze *GPZ Kędzierz*
 - układ z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor
- zasilanie rezerwowe ze *GPZ Pilzno*
 - układ z izolowanym punktem neutralnym

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe zależności $U_0 = f(R_F)$ oraz $I_0 = f(R_F)$ dla wybranych wariantów zasilania układu.

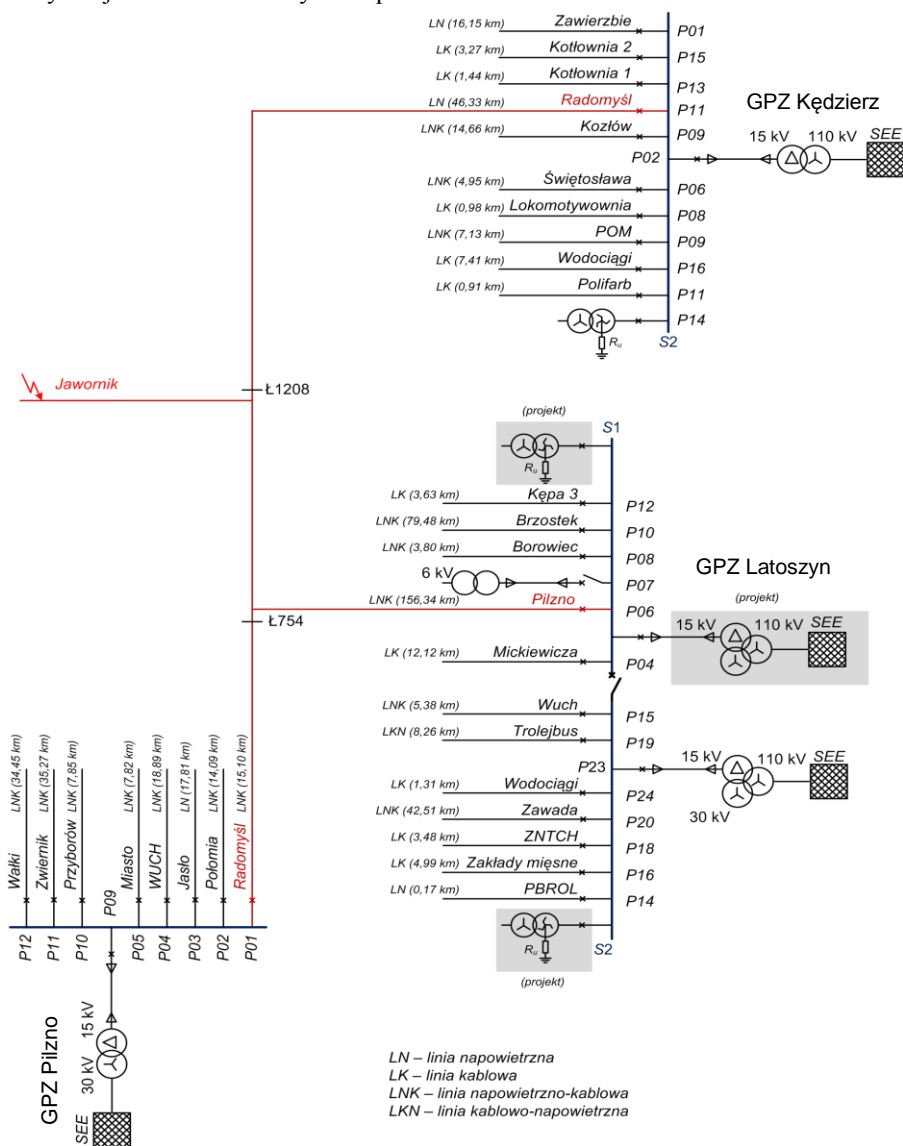
Przeprowadzona analiza wartości sygnałów wejściowych (U_0 i I_0) dla zabezpieczeń ziemnozwarciowych w wybranych stanach zakłóceń wykazała, że w rozpatrywanych układach zasilania, już przy wartościach rezystancji przejścia w miejscu zwarcia powyżej kilkuset ohmów, może nie nastąpić pobudzenie zainstalowanych zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Tak więc w przypadku rozważanego zakłócenia, nie było możliwe zadziałanie zabezpieczenia ziemnozwarciowego w linii *Latoszyn–Pilzno* ze względu na rezystancję przejścia rzędu kilku tysięcy ohmów.

4. WNIOSKI

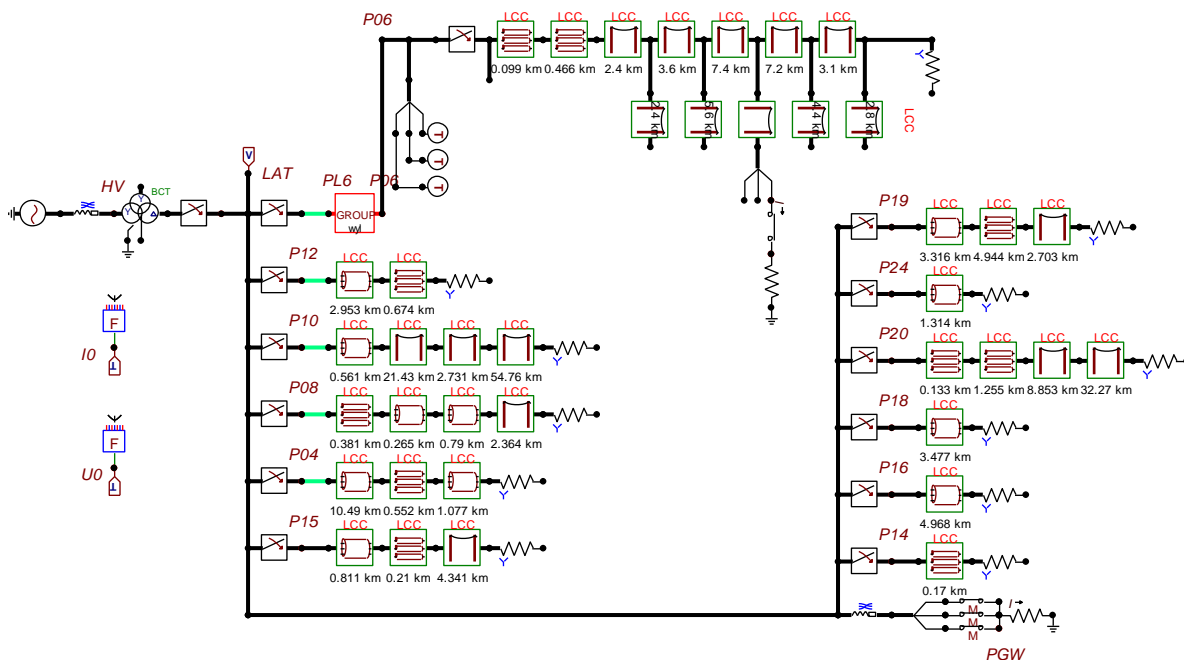
Wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy mają nie tylko charakter indywidualny, specyficzny dla rozważanego zdarzenia zakłóceńowego, ale również charakter ogólny dla zabezpieczeń ziemnozwarciowych zainstalowanych sieciach dystrybucyjnych średnich napięć.

Niezależnie od struktury sieci oraz sposobu pracy punktu neutralnego, w sytuacjach doziemień wysokoopor-

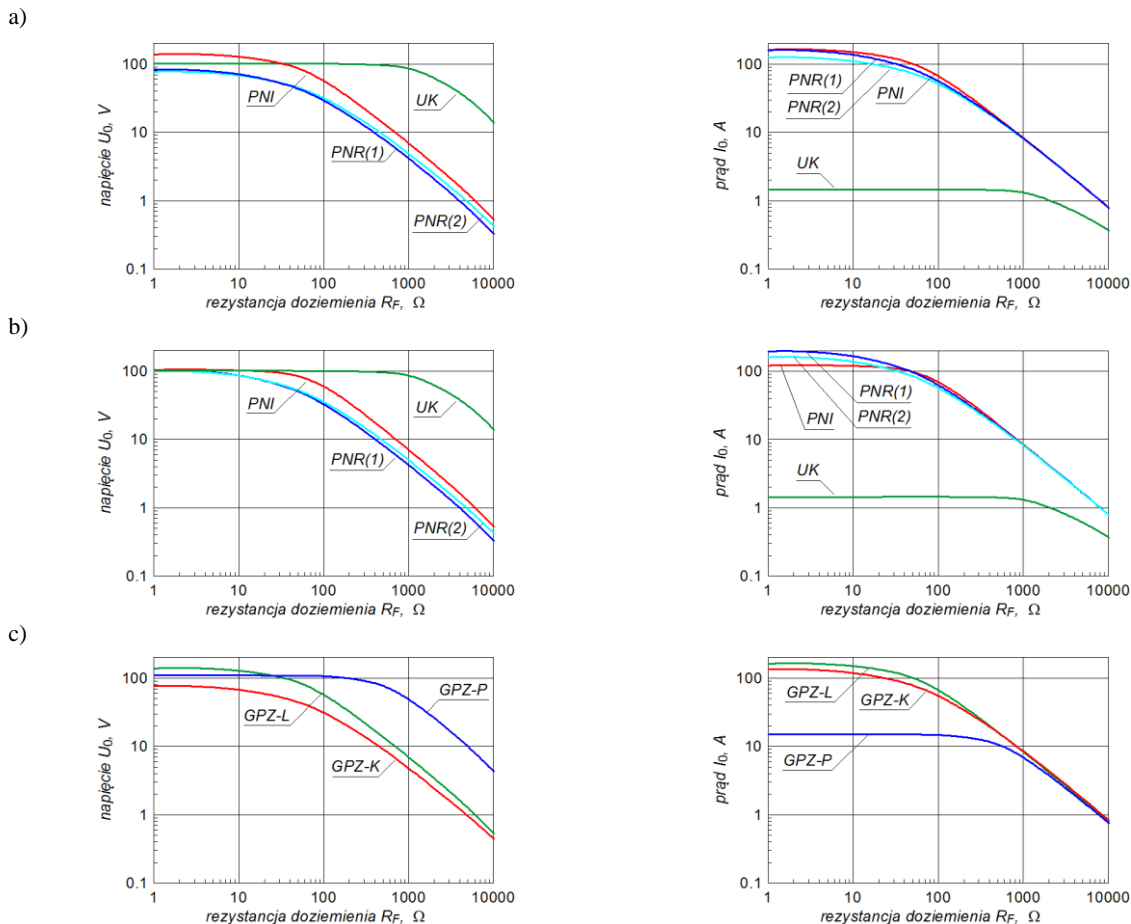
wych, takich jakie wystąpiło w miejscowości Jawornik,



Rys. 2. Analizowany układ elektroenergetyczny o napięciu 15 kV



Rys. 3. Fragment modelu analizowanego układu 15 kV dla programu EMTP-ATP



Rys. 4. Zależność napięcia U_0 składowej zerowej oraz prądu I_0 składowej zerowej od rezystancji doziemienia R_f :
 a) zasilanie z GPZ LATOSZYN, miejsce zwarcia w Jaworniku, b) zasilanie z GPZ LATOSZYN, miejsce zwarcia w Latoszynie,
 c) miejsce zwarcia w Jaworniku, zasilanie podstawowe i rezerowe
 PNI – punkt neutralny izolowany, UK – układ kompensowany, PNR(1) – punkt neutralny uziemiony przez rezystor – wariant przejściowy, PNR(2) – punkt neutralny uziemiony przez rezystor – wariant docelowy, GPZ-L – zasilanie z GPZ LATOSZYN, GPZ-P – zasilanie z GPZ PILZNO, GPZ-K – zasilanie z GPZ KĘDZIERZ

nie jest praktycznie możliwe prawidłowe i niezawodne działanie obecnie stosowanych zabezpieczeń ziemnozwarciowych, a tym samym wykrycie zaistniałego w tych warunkach doziemienia. Wniosek ten musi skłaniać do poszukiwania efektywnych i uzasadnionych pod względem ekonomicznym rozwiązań technicznych tego problemu.

Można ponadto stwierdzić, że zastosowanie w analizowanym przypadku zabezpieczeń admitancyjno-porównawczych YY_0 pozwoliłoby zwiększyć zakres wykrywalności zwarć wysokooporowych do wartości rezystancji doziemienia wynoszącej kilka tysięcy ohmów. Zastosowanie tego typu zabezpieczeń jest możliwe w sieciach kompensowanych.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Lorenc J.: Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe. Komitet Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007
2. Nowak W., Moskwa Sz., Tarko R.: Analiza warunków działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w przypadku wysokorezystancyjnych zwarć z ziemią. Materiały Konferencji Naukowej nt. Wysokorezystancyjne zwarcia z ziemią w sieciach napowietrznych średniego napięcia, SEP, Tarnów, 3 grudnia 2008
3. www.elkomtech.pl

FAULT SIMULATIONS IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION POWER NETWORKS FOR VALUATION OF THE PROTECTION SYSTEM

Key-words: computer modeling of electrical power systems, EMTP-ATP program, protection

This article discusses the reasons and effects of malfunction of protection while earth fault in medium voltage networks. The analysis was based on real case registered in the electrical power system. Simulations was performed in *The Electromagnetic Transients Program - Alternative Transients Program (EMTP-ATP)*.