

Artykuł przygotowany na konferencję „Automatyzacja sieci średnich napięć w KSE” w Krasnobrodzie, 2002 r.

Witold Hoppel

Józef Lorenc

Politechnika Poznańska

Instytut Elektroenergetyki

**WYBRANE ZAGADNIENIA UZIEMIENIA PUNKTU NEUTRALNEGO
SIECI ŚREDNIEGO NAPIĘCIA**

Wstęp

Sposób pracy punktu neutralnego sieci średniego napięcia ciągle powoduje dyskusje i nowe poszukiwania, pomimo dość dobrej orientacji w dziedzinie zjawisk mających wpływ na to zagadnienie.

W warunkach polskich wiąże się to z powolnym, ale ciągłym rozrastaniem się sieci SN zasilanej z poszczególnych GPZ-tów przy tylko sporadycznym powstawaniu nowych stacji 110 kV/SN. Powoduje to wzrost pojemnościowych prądów zwarć doziemnych poszczególnych sieci i często ogranicza możliwości ich skutecznej kompensacji.

Ukazujące się akty prawne - będące tłumaczeniami norm europejskich lub dokumentów IEC nie zawsze wystarczają do weryfikacji zakresu zastosowania poszczególnych sposobów, a łatwo znaleźć w nich powody nowych wątpliwości.

Należy też wspomnieć, że sieci SN są źródłem najbardziej spektakularnych wypadków porażeń, często zakończonych śmiercią lub kalectwem ludzi. Wypadki porażeń na tym poziomie napięć, przynajmniej w Polsce, wiążą się z naruszeniem ochrony podstawowej lub brakiem działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Nie jest znany, a tym bardziej opisany, żaden wypadek spowodowany przekroczeniem dopuszczalnych napięć rażeniowych w czasie prawidłowego działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Często pośrednią przyczyną wypadków jest brak świadomości ludzi o niebezpieczeństwie grożącym ze strony urządzeń elektrycznych.

Kryteria wyboru

Na sposób wyboru uziemienia punktu neutralnego sieci wpływają następujące zagadnienia:

- poziom nieustalonych i ustalonych przepięć ziemnozwarciowych,
- ochrona od porażień,
- skuteczność i złożoność zabezpieczeń od skutków zwarć doziemnych,
- parametry eksploatacyjne.

Dwa pierwsze spośród nich mają relacje przeciwne względem siebie w funkcji składowej czynnej prądu ziemnozwarciowego – im większy prąd czynny tym większe zagrożenie porażeniowe, ale mniejsze przepięcia. Stąd należy wyszukiwać optymalne wartości prądu, aby osiągnąć zadowalające parametry w tych dwóch zagadnieniach.

Akty prawne

Z obowiązujących aktów prawnych najsilniej na problemy omawiane w ramach niniejszego referatu wpływa norma [2]. Inne publikacja o charakterze przepisów, to prenorma SEP [3], która jak się wydaje, najlepiej przystaje do polskich warunków i uwzględnia dobrze specyfikę polskich sieci.

Istotne znaczenie będzie miała norma, która może ukazać się w najbliższych miesiącach, a jej projekt [1] skierowany został w ubiegłym roku do powszechnej ankietyzacji. Norma ta jest polską wersją europejskiego dokumentu HD 637 S1: 1999 przyjętego przez CENELEC w dniu 01-01-1999. Polska wersja została uzgodniona przez Normalizacyjną Komisję Problemową nr 73 ds. Projektowania i Eksploatacji Urządzeń Elektroenergetycznych o napięciu powyżej 1 kV Prądu Przemianowego (1,5 kV Prądu Stałego) oraz Ograniczników Przepięć w dn.19.06.2000. Ponieważ norma do marca br nie została ustanowiona wydaje się, że są problemy z przyjęciem pewnych jej fragmentów. Nie należy spodziewać się zmian w stosunku do wersji oryginalnej, ponieważ jest to formalnie niemożliwe. Natomiast norma ta prawdopodobnie ukaże się od razu z polskim komentarzem.

Norma dotyczy przede wszystkim stacji i wszystkich urządzeń w nich instalowanych. W wielu miejscach odnosi się do spraw związanych z zabezpieczeniami ziemnozwarciowymi i sposobami pracy punktu neutralnego. Natomiast nie dotyczy linii napowietrznych i kablowych na terenach poza stacjami. Tak więc problem ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej w pobliżu słupów, tak silnie związany ze sposobem pracy punktu neutralnego sieci (nie używa się pojęcia *punkt zerowy*), pozostaje dalej nieunormowany. Brak będzie jeszcze przez bliżej nieokreślony okres wskazówek, które słupy podlegają dodatkowej ochronie przeciwporażeniowej (szczególnie ze względu na pełnioną funkcję i położenie względem np. dróg i chodników), a także jakie są kryteria tej ochrony. Jeśliby wymagania odnośnie słupów opierałyby się o dopuszczalne napięcia rażeniowe, to dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez

rezystor może to wymusić stosowanie uziomów otokowych lub relatywnie małych rezystancji uziemienia.

Norma PN/E-05115 wprowadza następujący podział sieci:

- z punktem neutralnym izolowanym,
- skompensowane,
- z punktem neutralnym uziemionym przez małą impedancję,
- z punktem neutralnym lub przewodem fazowym uziemianym dorywczo.

Nie ma podziału na sieci o małym lub dużym prądzie zwarcia doziemnego, co zresztą od dawna nie występuje w polskich przepisach, ani używanego w literaturze podziału na sieci z punktem neutralnym skutecznie lub nieskutecznie uziemionym.

Budzą wątpliwości niektóre definicje podane w tej normie – i tak np. sieć z punktem neutralnym uziemionym przez małą impedancję jest charakteryzowana w następujący sposób (dosłowny cytat): *Sieć, w której przynajmniej jeden punkt neutralny transformatora, transformatora uziemiającego lub generatora jest uziemiony bezpośrednio lub przez impedancje tak dobrane, że zwarcie doziemne w dowolnym miejscu wywoła przepływ prądu zwarciovowego o wartości, która doprowadzi do pewnego wyłączenia prądu ziemnozwarciowego.*

Sądzić można, że intencją autorów normy było wskazanie, że w takiej sieci muszą mieć zapewnione działanie zabezpieczenia zerowoprądowe. Można postawić retoryczne pytania: Czy w sieci z izolowanym punktem neutralnym zabezpieczenia nie działają pewnie? Czy zabezpieczenia admitancyjne w sieci kompensowanej z AWSCz, (która na pewno nie jest uziemiona przez małą impedancję) nie prowadzą do pewnego wyłączenia prądu zwarciovowego? Z kolei tak szeroko stosowana w zachodniej Europie sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor prawdopodobnie miała być sklasyfikowana jak sieć uziemiona przez małą impedancję (wynika to jeszcze z innych fragmentów tekstu), ale czy zwarcia o dużej rezystancji przejścia są pewnie wyłączane? Znane są w takiej sieci nawet przypadki tzw. wyizolowania się słupa. W opinii autorów niniejszego artykułu tak podana definicja jest nieściśła i nie pozwala na jasne sklasyfikowanie sieci.

Pojawia się w tej normie pojęcie *sieci skompensowanej dorywczo uziemianej przez małą impedancję* – rozwiązanie to będzie jeszcze omawiane w dalszej części artykułu.

Dla EAZ istotny jest fragment mówiący o konieczności stosowania zabezpieczeń od skutków zwarć międzyfazowych działających na wyłączenie stosownie do wielkości i znaczenia obiektu, ale również:

Instalacje powinny posiadać samoczynne urządzenia do wyłączania niebezpiecznych zwarcí doziemnych albo sygnalizację stanu doziemienia, głównie w zależności od budowy sieci pod względem sposobu uziemienia punktu neutralnego.

W innym fragmencie tekstu mówi się o tym, że każde doziemienie powinno być wyłączane automatycznie lub ręcznie, a napięcia rażeniowe nie powinny występować długotrwale, przy czym nie określa się dopuszczalnego czasu trwania doziemienia.

Stąd wniosek, że norma nie stawia bezwzględnego wymogu instalowania zabezpieczeń ziemnozwarciowych działających na otwarcie wyłącznika, jeśli pozwalają na to warunki techniczne wynikające z wartości prądu zwarcia doziemnego. Wystarczające może być wyłączenie ręczne przez obsługę po zadziałaniu zabezpieczeń pobudzających odpowiednie sygnalizacje (można domyślać się, że chodzi głównie o zabezpieczenia zerowonapięciowe w polu pomiaru napięcia). Można również wnioskować, że niedopuszczalne jest świadome utrzymywanie doziemienia w sieci w dłuższym czasie, poza okresem koniecznym na lokalizację linii doziemionej.

Na dobór parametrów ochrony przeciwporażeniowej mają wpływ: wartość prądu doziemnego i czas trwania doziemienia. Przyjmując czas trwania doziemienia zakłada się poprawne działanie zabezpieczeń i wyłączników – czyli działanie zabezpieczeń podstawowych.

W dalszym ciągu, zgodnie z dotychczasowymi przepisami i zwyczajami, nie bierze się pod uwagę podwójnego zwarcia z ziemią.

W proponowanej normie podano wartości prądów przyjmowane do obliczeń napięcia uziomowego i napięć rażeniowych takie, jak w tabelicy 1. We wszystkich pozycjach tabelicy zachowano oryginalne słownictwo z projektu normy [1].

Nie budzą wątpliwości zależności oznaczonych liczbami 1, 3, 4 i 5. Natomiast brakuje precyzji pozostałym zależnościom. Dla stacji wyposażonej w dławik podaje się, że przez uziom płynie prąd będący funkcją pierwiastka z sumy kwadratów jego prądu znamionowego dławika i prądu resztkowego – tak jakby zakładano, że prąd resztkowy to tylko prądy upływu i nieskompensowane wyższe harmoniczne.

Wiadomo również, że podczas zwarcia doziemnego w sieci, przez dławik, a dalej przez uziom stacji, w której jest on umieszczony, płynie tylko prąd dławika. Przez uziom stacji może płynąć jednak w pewnych warunkach prąd pojemnościowy sieci – jeśli zwarcie jest bezpośrednio do jej uziomu. W zasadzie do analizy zagrożenia należałoby przyjąć większą z wartości: I_C lub I_L , o czym norma nie wspomina. Na szczęście w Polsce dławiki znajdują się w stacjach wyposażonych w rozbudowane uziomy kratowe i rozważanie prawidłowości zależności 2 ma tylko znaczenie teoretyczne.

Wprowadza się sieć z punktami neutralnymi dorywczo uziemionymi przez małe impedancje, przyjmując że w stacjach, w których wykonywane jest dorywcze uziemianie prąd uziomowy wynika z parametrów tej małej impedancji (wzór 5). W innych stacjach (wzór 7) proponuje się do analizy przyjąć tylko prąd resztkowy – jest to bardzo korzystne technicznie, ponieważ znacznie łagodzi wymagania co do wartości rezystancji uziemień kosztem zwiększenia zagrożenia porażeniowego. Jeśli wzór 7 uzna się za prawidłowy, to będzie to prawny wybieg umożliwiający pomijanie prądów wymuszanych dorywczo w analizie zagrożenia porażeniowego mimo sprzeczności z normą [2]. Trudno zinterpretować intencje autorów w tym punkcie. Można jedynie przypuszczać, że chodzi tu o zaakceptowanie stanu prawnego istniejącego w jednym z państw opracowujących normę i również uzasadnienie merytoryczne wynikające z twierdzenia, że większe zagrożenie porażeniowe występuje podczas zwarć długotrwałych w sieciach kompensowanych, niż podczas krótkich impulsów prądowych podczas załączania małej impedancji uziemiającej.

Z dużą rezerwą i ostrożnością należy podejść do proponowanych w [1] zależności, aby nie spowodować wzrostu zagrożenia porażeniowego w stacjach SN/nn.

Warto również zwrócić uwagę, że do tej pory prąd resztkowy przyjmowano w Polsce na poziomie 20 % prądu pojemnościowego sieci – nowa norma zaleca jego obliczanie lub przyjmowanie jako wartości 10 % prądu pojemnościowego. Jest to korzystne dla wymagań stawianych uziomom stacji SN/nn.

Nowa norma w najmniejszym stopniu nie wyjaśnia zagadnienia - jak przyjmować czas występowania zagrożenia porażeniowego podczas cyklu SPZ-tu w zależności od przerwy beznapięciowej i jego relacji w stosunku do czasu działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

Tablica 1

**Prądy uwzględniane przy obliczaniu napięcia uziomowego
i napięć dotykowych rażeniowych**

Typ układu sieci wysokiego napięcia		Wartość prądu	Nr wzoru
Sieć z izolowanym punktem neutralnym		$I_E = r \cdot I_C$	1
Sieć skompensowana	Stacje z dławikiem gaszącym	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{Res}^2}$	2
	Stacje bez dławika gaszącego	$I_E = r \cdot I_{Res}$	3
Sieć z uziemionymi punktami neutralnymi przez małe impedancje		I_E	4
Sieć skompensowana i dorywczo uziemionymi punktami neutralnymi przez małe impedancje	W stacjach, w których punkt neutralny jest dorywczo uziemiony		I_E
	W pozostałych stacjach	z dławikiem gaszącym	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{Res}^2}$
		bez dławika gaszącego	$I_E = r \cdot I_{Res}$

I_C – obliczony lub zmierzony pojemnościowy prąd doziemienia,
 I_{Res} – prąd resztkowy (nieskompensowany), jeżeli wartość I_{Res} nie jest znana, można przyjąć, że jest równa 10 % I_C ,
 I_L – suma prądów znamionowych, połączonych równolegle dławików gaszących zainstalowanych w rozpatrywanej stacji,
 I_E – prąd uziomowy,
 r – współczynnik redukcyjny.

Podstawowe problemy sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor

Wybierając parametry dla rezystora uziemiającego należy kierować się przede wszystkim kryterium dostatecznego tłumienia przepięć. Wielokrotnie [5] wymóg ten był formułowany następująco:

$$I_R \geq 1,2 \cdot I_C \quad [1],$$

ale również:

$$I_R \geq 100 A \quad [2],$$

gdzie:

I_C – pojemnościowy prąd zwarcia sieci,

I_R – prąd znamionowy rezystora uziemiającego.

Zależność [2] jest spotykana również w innej postaci z różnymi wartościami prądu, nawet sięgających wartości 300 A. Realizacja warunku [1] dla sieci o większych prądów po-

jemnościowych powoduje konieczność zastosowania rezystorów o prądach znamionowych 200 – 300 A, a w incydentalnych przypadkach nawet więcej. Dla stacji zasilanych liniami napowietrznymi SN powoduje to trudne do spełnienia wymagania odnośnie rezystancji ich uziomów. Problem jest znacznie złagodzony w stacjach zasilanych liniami kablowymi ze względu na redukcyjne oddziaływanie powłoki lub żyły powrotnej kabla oraz galwaniczne połączenia ich uziomów z uziomami innych stacji lub oddziaływanie kabli w izolacji tradycyjnej.

Zastosowanie równoległego układu rezystora i dławika, przy tym samym stopniu nieustalonych przepięć ziemnozwarciowych, pozwala na dobór rezystora wg zależności:

$$I_R \geq 0,8 * I_C \quad [3],$$

co przy zależności na prąd ziemnozwarciowy przy zwarciu bezoporowym i pominięciu impedancji wzdłużnych:

$$I_z = \sqrt{(I_C - I_L)^2 + I_R^2} \quad [4]$$

pozwała na stosowanie dwukrotnie większych rezystancji uziemienia stacji. Układ równoległy nadaje się do terenów o dużych rezystywnościach gruntów lub sieci o prądach pojemnościowych zbliżonych do 200 A. W Polsce pracuje obecnie w ten sposób kilka sieci, a wyniki ich eksploatacji są pozytywne.

Niestety, w sieciach uziemionych układem równoległym uwidacznia się ta sama właściwość, co w sieciach uziemionych przez rezystor – zwiększenie intensywności automatyki SPZ z powodu braku gaszenia zwarć przemijających. W tablicy 2 przedstawiono taką statystykę uzyskaną z ZE Płock [4] dla sieci składającej się w 91 % z linii napowietrznych i 9 % z linii kablowych. Po zainstalowaniu rezystora równoległego liczba udanych SPZ-tów w ciągu roku wzrosła 2,4-krotnie. Zauważalny jest również 3,6-krotny wzrost liczby wyłączeń definitywnych. Liczba SPZ w sieci zmniejszyła się po okresie 2-3 kwartałów, ponieważ zwiększono naciski na prawidłową eksploatację sieci napowietrznych – a szczególnie wycinanie drzew. Przedstawione wyniki nie muszą być wiarygodne dla innych sieci, a intensywność zwarć zależy silnie od warunków pogodowych. Zastanawiający jest fakt poważnego wzrostu definitywnych wyłączeń. Trudno określić wiarygodną przyczynę tego zjawiska – można podejrzewać warunki atmosferyczne lub związek ze zmniejszonymi nastawami czasowymi. Ta druga okoliczność może powodować słabsze wypalanie elementów zwierających (gałęzie, ptaki, itp) i podtrzymywanie zwarcia po cyklu SPZ.

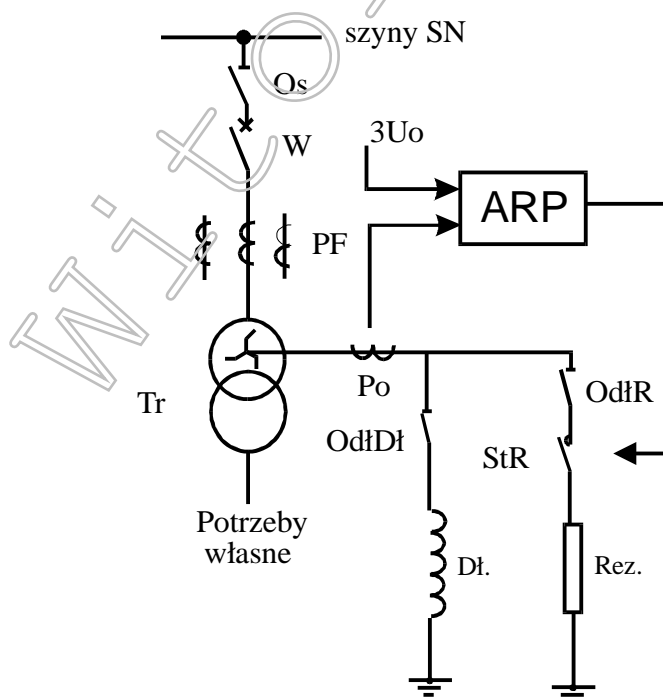
Tablica 2

Intensywność automatyki SPZ

Kwartał	1999 r.– sieć kompensowana				2000 r.– sieć z układem równoległym			
	Razem	WZ	WZWZ	WZWZW	Razem	WZ	WZWZ	WZWZW
I	17	13	0	4	361	61	215	85
II	134	65	41	28	385	271	77	37
III	271	207	41	23	455	353	54	48
IV	89	60	24	5	92	25	35	32
Suma	511	339	116	56	1293	710	381	202

Drugą wadą sieci uziemionej przez rezystor lub układem równoległym, to konieczność wyłączenia zasilania całej sekcji szyn zbiorczych podczas działania zabezpieczeń zerowoprądowych w polu potrzeb własnych, a ściślej – w obwodzie rezystora. Zabezpieczenie to jest rezerwowe w stosunku do zabezpieczeń w polach odpływowych i podstawowe dla zwarć doziemnych w obrębie szyn zbiorczych. Uszkodzenia zabezpieczeń pól odpływowych (np. zasilacza, brak składowej zerowej napięcia) powodują podczas zwarć doziemnych wyłączenie całej sekcji lub nawet rozdzielni. W warunkach coraz większej odpowiedzialności z tytułu niedostarczonej energii są to problemy coraz poważniejsze.

W Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej dla sieci kompensowanej opracowano zasady stosowania dorywczego uziemienia punktu neutralnego przez rezystor (rys.1). W polu potrzeb własnych realizującym tą zasadę mogą być następujące aparaty elek-



Rys.1. Pole potrzeb własnych dla dorywczego uziemienia przez rezystor sieci kompensowanej

tryczne: Os – odłącznik szynowy, W – wyłącznik, PF – przekładniki prądowe fazowe, Po – przekładnik prądowy w obwodzie uziemienia punktu neutralnego, Tr – transformator uziemiający, OdłDł – odłącznik dławika, OdłRez – odłącznik rezystora, Dł – dławik, Rez – rezystor, StR – stycznik rezystora. Proponuje się, aby cykl pracy rezystora był podobny do cyklu automatyki AWSCz – załączenie ma nastąpić po odpowiednio dobranym czasie, który powinien wystarczyć na próbę zgaszenia zwarcia przez dławik i na czas wystarczający do realizacji pojedynczego cyklu SPZ. Jest szansa, że taki sposób pracy punktu neutralnego zostanie wprowadzony eksperymentalnie w jednym z GPZ-tów w Zakładzie Energetycznym Płock.

Jest to propozycja w pewnym sensie nawiązująca do rozwiązań z lat 60-tych i 70-tych pod nazwą automatyka wymuszania pierwotnego AWP.

Doświadczenia eksploatacyjne wykażą, czy korzyści z możliwości gaszenia zwarć łukowych w przedziale czasu od momentu wystąpienia zwarcia doziemnego do załączenia rezystora będą większe od negatywnych skutków niestabilnych przepięć ziemnozwarciowych w tym okresie. Ograniczenie przepięć nastąpi dopiero po załączeniu rezystora. Największe przepięcia występują podczas zwarć z łukiem przerywanym i podczas wyłączania zwarcia. Te drugie ograniczone jednak będą załączonym już rezystorem. Znany jest pogląd, że odporność kabli o izolacji polietylenowej jest zależna od czasu trwania przepięcia i następuje kumulacja oddziaływań. Znaczne skrócenie czasu przepięć powinno pozytywnie wpłynąć na trwałość izolacji. Zastosowany sposób sterowania został nazwany ARP (automatyka rezystora pierwotnego) i wymaga wielu uszczegółowień, szczególnie przy rozpatrywaniu sposobu działania zabezpieczeń rezerwowych przy pracy rozdzielni SN z połączonymi sekcjami.

Wnioski

Pomimo znacznego postępu wiedzy oraz wprowadzania polskich norm opartych na dokumentach europejskich lub IEC ciągle nie ma możliwości jednoznacznego opracowania kryteriów wyboru sposobu punktu neutralnego sieci rozdzielczych średniego napięcia. Każdy ze sposobów posiada swoje wady i zalety, a zakres jego stosowania jest ograniczony do pewnych rodzajów sieci.

Szczególnie kłopotliwe są sieci napowietrzno-kablowe, które przeważają w naszym kraju.

Z wcześniejszych publikacji innych autorów oraz własnych wynika, że tylko dla sieci kablowych wyraźnie można zalecić uziemienie punktu neutralnego przez rezystor.

Najwięcej problemów stwarzają sieci napowietrzno-kablowe o pojemnościowych prądach zwarcia doziemnego przekraczających 200 A.

W ostatnim okresie pojawiły się dwie nowe możliwości: równoległego włączenia dławika i rezystora oraz dorywcze uziemienie przez rezystor sieci kompensowanej.

Dokonując wyboru sposobu pracy punktu neutralnego należy wziąć pod uwagę również właściwości eksploatacyjne.

Literatura

- [1] PrPN-E-05115: Instalacje elektroenergetyczne o napięciu nominalnym powyżej 1 kV.
- [2] PN-IEC 60364-2-442: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
- [3] Prenorma SEP P SEP-E-0001: Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa. Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa, 2002. Zespół autorski: Danielski L., Jabłoński W.
- [4] Kożuchowski J.: Uziemienie punktu zerowego sieci SN przez układ równoległy dławika i rezystora. Referat wygłoszony podczas seminarium „Zwarcia doziemne w sieciach SN”, 11-13 kwietnia 2001 r. Dębowa Góra.
- [5] Hoppel W., Lorenc J.: Wybrane zagadnienia pracy rozdzielni SN w aspekcie zjawisk ziemnozwarciowych. Materiały II Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej "Zjawiska i zabezpieczenia ziemnozwarciowe w sieciach rozdzielczych średniego napięcia", Szklarska Poręba, maj 1997, ss. 37-42.