

**OGRANICZANIE ZAGROŻENIA PORĄŻENIOWEGO W ZALEŻNOŚCI
OD SPOSOBU UZIEMIENIA PUNKTU NEUTRALNEGO W SIECIACH SN**

Witold Hoppel, Józef Lorenc

Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul.Piotrowo 3a, 60-965 Poznań (Polska)

tel.+48 61 8782279 - FAX + 48 61 8782280

Jerzy Andruszkiewicz

Energetyka Poznańska S.A. ul.Nowowiejskiego 11,Poznań, (Polska)

tel. FAX

Streszczenie

W artykule przedyskutowano czynniki wpływające na zagrożenia porażeniowe powodowane zakłóceniami doziemnymi w sieciach średnich napięć. Zwrócono szczególną uwagę na uziemienia słupów SN i stacji SN/nn. Przedstawiono zależność poziomu zagrożenia od sposobu uziemienia punktu zerowego i efektywności zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Analizowano skuteczność działania zabezpieczeń nadprądowych i admitancyjnych dla różnych wartości rezystancji przejścia w miejscu doziemienia.

1.WSTĘP

W Polsce sieci średnich napięć obejmują zakres od 1 do 60 kV, ale w praktyce w energetyce zawodowej spotyka się głównie urządzenia na napięciu 15 i 20 kV, czasem jeszcze 6 i 10 kV, a w energetyce przemysłowej - 6 kV. Pojedyncze sieci, rozumiane jako układy galwanicznie ze sobą związane, na terenach miejskich są w wykonaniu kablowym, a na terenach pozostałych - jako mieszane, napowietrzno-kablowe. Wzrost pojemnościowych prądów zwarciovych związany jest przede wszystkim z rozwojem sieci kablowych, ale największe negatywne skutki tego wzrostu pojawiają się w częściach napowietrznych tych sieci. W Polsce w praktyce na trasach linii kablowych lub w stacjach z nich zasilanych nie dochodzi do wypadków porażen elektrycznych. Natomiast w liniach napowietrznych niestety do takich wypadków dochodzi, przy czym nie są one spowodowane niespełnieniem warunków ochrony dodatkowej, ale zanikiem ochrony podstawowej lub brakiem działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

Przykładem takiego nieszczęśliwego zdarzenia, któremu bardzo trudno w praktyce zapobiec, jest uszkodzenie zawieszenia przewodów na słupie w ten sposób, że nie zostaje on zerwany, ale zwisa na niewielkiej wysokości nad powierzchnią gruntu w ten sposób, że człowiek może przypadkowo go dotknąć, szczególnie w ciemności lub poruszając się szybko pojazdem jednośladowym na terenach leśnych.

Bezpieczeństwo sieci kablowych SN i związanych z nimi sieciami niskiego napięcia wynika z kilku faktów:

- ułożenia przewodów pod ziemią, co nie stwarza możliwości ich dotknięcia nawet w sytuacji awaryjnej,
- zvarciami doziemnymi na trasie linii z niewielkim wpływem prądu do ziemi - obwód prądowy zamyka się głównie przez żyły powrotne lub powłoki,

- w większości przypadków małymi rezystancjami przejścia w miejscu zwarcia, co pozwala na łatwe jego wykrycie przez zabezpieczenia ziemnozwarciowe,
- podczas zwarć w stacjach SN/nn silnym oddziaływaniem sprzężenia magnetycznego powodującego redukcyjne działanie żyły powrotnej lub powłoki kabla i zmniejszanie wpływu prądu do ziemi przez uziom stacji,
- małymi rezystancjami uziemienia stacji SN/nn wynikającymi z połączeń pomiędzy stacjami za pomocą żył powrotnych i powłok, ale także wpływem przewodu PEN linii niskiego napięcia,
- wyrównywaniem potencjałów na terenach miejskich przez uziomy naturalne.

W sieciach napowietrznych SN zagrożenie porażeniowe wywołane zwarcieniem doziemnym może pojawić się w miejscu i najbliższym otoczeniu przepływu prądu uziomowego do ziemi. Należy zaznaczyć tutaj, że w Polsce stosuje się przede wszystkim zbrojone słupy betonowe, czasem stalowe, natomiast konstrukcje drewniane są prawie niespotykane. W praktyce mamy do czynienia z różnymi zjawiskami w następujących punktach:

- przy słupach SN podlegających dodatkowej ochronie przeciwporażeniowej za pomocą uziemień ochronnych pojawia się problem napięć dotykowych rażeniowych, natomiast w przypadku zwarcia doziemnego na takim słupie ze względu na niewielką rezystancję przejścia istnieją zawsze warunki do działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych, problemem mogą być zvarciami przerywane o niestabilnym prądzie.
- przy słupach SN nie podlegających dodatkowej ochronie przeciwporażeniowej przy założonym znacznym poziomie napięć rażeniowych wielokrotnie przekraczającym wartości dopuszczalne, szczególnie w piaszczystych gruntach o dużej rezystywności, występuje problem skuteczności wykrywania zwarć przez zabezpieczenia,
- w innych miejscach w pobliżu przewodu gołego linii napowietrznej po opadnięciu na powierzchnię gruntu lub np.ogrodzenie, których nie można poddać analizie wartościowej, w których zagrożenie jest związane ze skutecznością zabezpieczeń ziemnozwarciowych,
- w stacji SN/nn zagrożenie pojawia się jako napięcie rażeniowe dotykowe i krokowe wywołane przepływem prądu przez uziom stacji w jej najbliższym otoczeniu oraz jako napięcie rozprowadzane przez przewód ochronny PE sieci niskich napięć typu TN do odbiorców na połączone z nim obudowy urządzeń elektrycznych, jeśli nie zastosowa-

no rozdzielania uziemienia ochronnego i roboczego. W Polsce większość sieci nn pracuje właśnie w systemie TN, który zresztą wielu autorów (1) uważa za system najlepszy, a rozdzielanie uziemień nie jest stosowane.

2. UZIEMIENIE PUNKTU ZEROWEGO SIECI

W Polsce spotyka się następujące sposoby pracy punktu zerowego sieci:

- izolowany, stosowany coraz rzadziej, tylko w sieciach o małym prądzie pojemnościowym,
- uziemiony przez cewkę Petersena, najbardziej rozpowszechniony, szczególnie w energetyce zawodowej,
- uziemiony przez rezystor, chętnie wprowadzany w sieciach kablowych, a coraz częściej w napowietrzno-kablowych.

Napowietrzna sieć uziemiona przez rezystor traci zaletę sieci kompensowanej polegającą na gaszeniu przez cewkę Petersena znacznej części zwarć przemijających bez udziału wyłącznika i automatyki SPZ.

W bieżącym roku uruchomione zostaną pierwsze sieci uziemione przez równoległe połączenie rezystora i dławika, do którego zasady opracowali autorzy niniejszego referatu. Dobór parametrów urządzeń w punkcie zerowym przy przyjęciu jako kryterium poziomu przepięć pozwolił na dwukrotne zmniejszenie prądu zwarciovego, co za tym idzie, złagodzenie wymagań dla uziemień ochronnych i roboczych. [2].

Uziemienie przez rezystor jest chętnie wprowadzane ze względu na niewątpliwą zaletę ograniczania przepięć ziemnozwarciowych, co pozytywnie wpływa na awaryjność kabli, szczególnie kabli w izolacji z polietylenu niesieciowanego.

Należy tutaj zaznaczyć, że w warunkach Polski nie są już argumentem za wymianą cewek Petersena na rezystor pierwotny parametry zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Wiadomo, że w sieciach kompensowanych nie można stosować kryterium nadprądowego, stąd w świecie powszechność zabezpieczeń kierunkowych korzystających z dodatkowego układu wymuszania składowej czynnej dla potrzeb zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Kryteria kierunkowe są jednak bardzo zawodne, szczególnie podczas zwarć przerywanych i o silnie odkształconej wyższymi harmonicznymi krzywej prądu, gdzie trudno nawet wyrafinowanymi metodami cyfrowymi określić kąt pomiędzy podstawowymi harmonicznymi składowymi zerowych napięcia i prądu. W Polsce rozpowszechniły się zabezpieczenia admitancyjne, bazujące na wartościach średnich wielkości pomiarowych, które na odkształcenia są odporne i uzyskują bardzo dobrą skuteczność przy zwarciach przerywanych [2]. W ostatnich dwóch latach bardzo dobrze kryteria te działają w cyfrowych zespołach CZIP opracowanych przy udziale Politechniki Poznańskiej. Ten polski pomysł na zabezpieczenia ziemnozwarciowe może być atrakcyjny również dla energetyk innych krajów.

Zastosowanie rezystora pierwotnego powoduje wzrost prądów ziemnozwarciowych i zaostrzenie wymagań dla dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej związanej z uziomami słupów i stacji SN/nn.

Poniżej przedyskutowano wpływ uziemienia punktu zerowego sieci na poziom zagrożenia porażeniowego oraz skuteczność działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

3. WARUNKI WSTĘPNE DOBORU URZĄDZEŃ W PUNKCIE ZEROWYM SIECI

O ile dla konkretnego prądu pojemnościowego sieci warunki doboru cewki Petersena nie budzą wątpliwości, ponieważ za najkorzystniejsze uważa się powszechnie niewielkie przekompensowanie, to sposób dobór rezystora wzbudza znaczne dyskusje. Ze względu na nieznaczne zagrożenie porażeniowe w sieciach kablowych przyjmuje się wartości 300 -500 A bez względu na wartość prądu pojemnościowego, natomiast w sieciach napowietrzno-kablowych ze względu na wzrost zagrożenia porażeniowego ze wzrostem wartości prądu, zalecana jest wartość prądu czynnego jako 1.2 prądu pojemnościowego. Uzyskuje się wtedy ograniczenie przepięć do poziomu mniejszego od 2.

Natomiast dla sieci uziemionych przez równoległe połączenie cewki Petersena i rezystora dla kilku doświadczalnych sieci w oparciu o symulacje [3] przy współczynniku kompensacji w granicach 0,8 - 1,2 wystarczająca okazała się wartość 0,8 prądu pojemnościowego.

4. ZAGROŻENIE PORĄŻENIOWE PRZY SŁUPACH LINII NAPOWIETRZNYCH

Powodem zagrożenia porażeniowego przy słupie SN jest utrata izolacji fazowej jednego z przewodów roboczych linii i spływ prądu doziemnego przez jego konstrukcję do ziemi.

Napięcie rażeniowe dotykowe jest funkcją prądu uziomowego i opisane następującą zależnością

$$U_{rd} = \alpha_d * \alpha_{dr} * I_{uz} * R_z \quad (1)$$

w której:

α_d - współczynnik dotykowy rozumiany jako iloraz napięcia dotykowego i napięcia uziomowego (współczynnik ten zależy od rozkładu potencjału wokół słupa i teoretycznie może zmieniać się w granicach od 0 do 1, w praktyce przyjmuje wartość najczęściej z przedziału 0,3 - 0,7)

α_{dr} - współczynnik dotykowy rażeniowy rozumiany jako stosunek napięcia dotykowego rażeniowego i dotykowego (podobnie jak współczynnik poprzedni może przyjmować wartości z przedziału od 0 do 1, przy czym zależy od rezystywności powierzchniowej warstwy gruntu, a więc od warunków atmosferycznych, spotykane są również wartości skrajne - tak zbliżone do 0, jak i 1),

R_z - rezystancja uziemienia słupa,

I_{uz} - prąd uziomowy, który jest w tym przypadku równy prądowi zwarcia

doziemnego i określony równaniem:

$$I_{uz} = \beta * I_{poj} * k_d \quad (2),$$

gdzie:

I_{poj} - doziemny prąd pojemnościowy sieci,

β - współczynnik ziemnozwarciowy, który dla zwarć bliskich oporowych, przy pominięciu impedancji wzdłużnej linii, określony może być zależnością

$$\beta = \frac{1}{\left| 1 + \omega * C_s * R_z [d_z + j(1 - k)] \right|} \quad (3),$$

k_d - współczynnik przewodności doziemnej sieci, którego wartość wyznacza równanie, a praktycznie oznacza dla

$$k_d = \left| d_z + j(1 - K) \right| \quad (4).$$

Użyte we wzorach (3) i (4) oznaczenia określają:

C_s - pojemność doziemną sieci,

R_z - rezystancję w miejscu zwarcia (np. rezystancję uziemienia słupa),

K - współczynnik kompensacji ziemnozwarciowej określony równaniem

$$K = \frac{1}{\omega^2 L_d C_s} \quad (5),$$

w którym:

ω - pulsacja robocza sieci,

L_d - indukcyjność dławika kompensującego

oraz

d_z - współczynnik tłumienia opisany wzorem

$$d_z = \frac{1 + G_s R_u}{\omega C_s R_u} \quad (6),$$

w którym:

G_s - konduktancja doziemna sieci (wypadkowa wszystkich linii, dławika oraz urządzeń AWSCz),

R_u - rezystancja uziemienia punktu zerowego sieci.

W zależności (1) można przyjąć, że

$$U_z = I_{uz} * R_z \quad (7)$$

a wielkość U_z nazywa się często napięciem uziomowym lub potencjałem względem ziemi odniesienia. Wpływa ona bezpośrednio na zagrożenie porażeniowe.

Przy założeniu [7] zależność (1) przyjmuje postać

$$U_{rd} = \alpha_d * \alpha_{dr} * U_z \quad (8).$$

Wymienione wielkości i współczynniki przyjmują różne wartości w zależności od sposobu uziemienia punktu zerowego. W tabelicy 1 podano przykładowo wartości współczynników charakteryzujących sieć 15 kV o prądzie pojemnościowym 86.6A pracującą z różnymi uziemieniami punktu zerowego. W obliczeniach współczynnika d_z przyjęto, że w sieci o izolowanym punkcie zerowym $G_s = 0,2 * 10^{-3}$, a w sieci kompensowanej jest on dwa razy większy.

Zależność napięcia uziomowego słupa od jego rezystancji uziemienia słupa przedstawiono na rys.1, objaśnienia krzywych wg tabelicy 1.

W wierszu trzecim tabelicy oraz w objaśnieniach do wzoru 6 podano, że z cewką Petersena włączony jest układ AWSCz (automatyka krótkotrwałego bocznikowania cewki Petersena rezystorem) - pozycja ta jest analizowana w dalszej części artykułu.

Napięcia uziomowe, a co za tym idzie - napięcia rażeniowe, są największe dla sieci uziemionej przez rezystor. Dla rezystancji większych od 20 Ω podobny poziom napięć rażeniowych, a nawet nieco większy, może wystąpić w sieci o izolowanym punkcie zerowym. Z podanych przypadków najmniejsze napięcia uziomowe występują w sieci kompensowanej. Równoległe dołączenie do rezystora dławika powoduje, że poziom napięć uziomowych jest również wyraźnie mniejszy niż w sieci o izolowanym punkcie zerowym.

Dla słupów z dodatkową ochroną przeciwporażeniową, czyli wyposażonych w uziom ochronny, rezystancje uziemienia nie przekraczają praktycznie wartości 30 Ω . W takich przypadkach ograniczanie zagrożenia porażeniowego jest najtrudniejsze w sieciach o izolowanym punkcie zerowym lub uziemionych przez rezystor.

Zagrożenie porażeniowe przy uziemionych słupach linii SN zależy również od:

- współczynnika dotykowego α_d , który zależy od rozkładu potencjału wokół słupa, czyli ukształtowania uziomu ochronnego,

- współczynnika dotykowego rażeniowego α_{dr} , który zależy od rezystancji przejścia w miejscu rażenia i w praktyce zmienia się od 0 do 1.

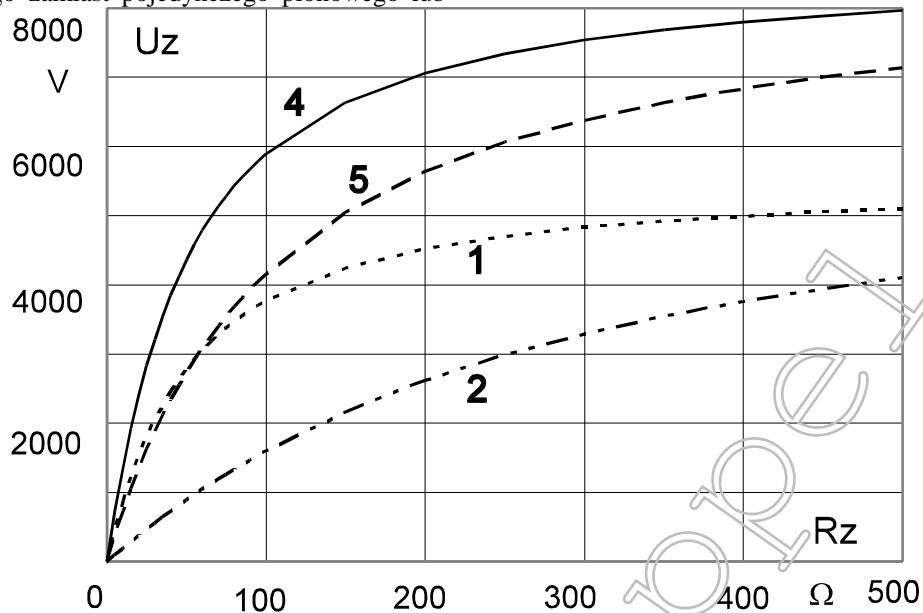
Tabela 1

Charakterystyka sieci o napięciu znamionowym 15 kV i susceptancji doziemnej $\omega C_s = 0,01S$ użytej do wykresów i przykładowych obliczeń

Sposób uziemienia punktu zerowego	d_z	k_d	Nr krzywej na rysunkach
Izolowany punkt zerowy	0,02	1,000	1
Cewka Petersena (K=1,2)	0,04	0,236	2
Cewka Petersena z układem AWSCz (prąd AWSCz: 20 A)	0,25	0,269	3
Rezystor ($R_u=80 \Omega$)	1,27	1,616	4
Rezystor ($R_u=125 \Omega$) i cewka Petersena (K=1,2)	0,84	0,863	5

W warunkach dużej wilgotności gruntu wartość α_{dr} może zbliżyć się do niekorzystnej wartości 1. Na jej zmniejszenie można wpływać poprzez malowanie jego dobrze przewodzących części naziemnych i pokrywanie powłokami elektroizolacyjnymi. Nie jest to zawsze łatwe i ekonomicznie uzasadnione. Istnieje możliwość uszkodzenia powłoki z biegiem czasu przez działanie czynników atmosferycznych oraz osób postronnych. Poza tym malowanie konstrukcji nie ogranicza napięć rażeniowych krokowych, które nie są normalizowane.

Współczynnik α_d można zmniejszać przez odpowiednie ukształtowanie uziomu ochronnego, np. stosowanie uziomu otokowego zamiast pojedynczego pionowego lub poziomego.



Rys.1. Zależność napięcia uziomowego na słupie U_z od jego rezystancji uziemienia R_z . Oznaczenia krzywych i parametry sieci według tablicy 1.

5. ZAGROŻENIE PORAŻENIOWE PODCZAS DOZIEMIEŃ W STACJACH SN/NN

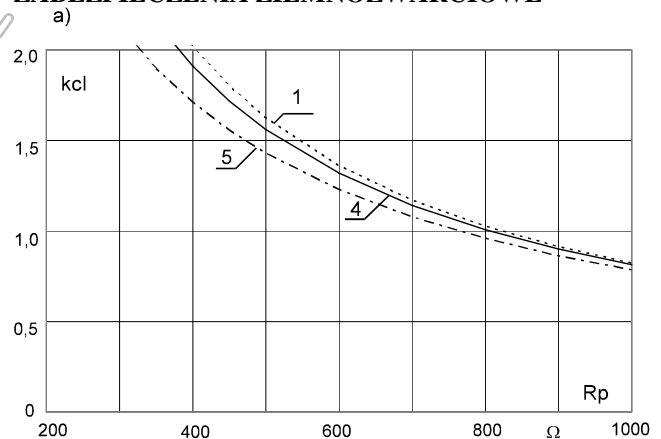
Zdecydowanie najtrudniejszymi przypadkami są stacje zasilane liniami napowietrznymi i współpracujące z napowietrznymi wyprowadzeniami linii niskiego napięcia. W takich sieciach przejście na uziemienie przez rezystor wymaga przeprowadzenia szczegółowej analizy poziomu zagrożenia i wykonania odpowiednich zabiegów technicznych ograniczających to zagrożenie.

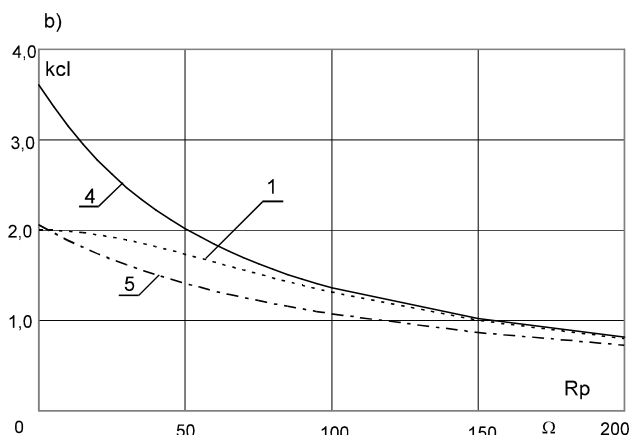
Stąd decydując się na określony sposób pracy punktu zerowego należy przedtem sprawdzić, jakie dla danej sieci należy spełnić wymagania odnośnie rezystancji uziemienia stacji. Do oceny stopnia ochrony przeciwporażeniowej przyjmuje się często, że dopuszczalne napięcia zakłócenia i dotykowe powinno być określone zgodnie ze standardami międzynarodowymi, zawartymi w [4]. Należy tutaj zwrócić uwagę, że w przepisach tych zawarte są dwie krzywe, pierwsza tzw. napięcia zakłócenia na uziemiu stacji SN/nn oraz druga - określająca wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego w sieci niskiego napięcia podczas zwarcia doziemnego w stacji SN/nn. Badania przeprowadzone w kilku polskich zakładach energetycznych wykazały, że w napowietrznych sieciach niskiego napięcia typu TN zawsze znajdują się miejsca (np. zabudowania położone najbliżej stacji), w których prawie całe napięcie zakłócenia odkłada się w postaci napięcia dotykowego. Występuje to głównie w starszych sieciach nn, w których brakuje dodatkowych uziomów przewodu PEN na słupach i przyłączach.

Dla uniknięcia konieczności rozbudowy uziomów stacji SN/nn wymagane jest skracanie czasów trwania zwarć oraz ograniczanie prądów zwarciovych do wartości

koniecznych z punktu widzenia ochrony przepięciowej i warunków poprawnego działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

6. ZAKRES WYKRYWANYCH ZWARĆ PRZEZ ZABEZPIECZENIA ZIEMNOZWARCIOWE





Rys.2. Zależność współczynnika czułości prądowej zabezpieczeń zerowoprądowych od rezystancji przejścia w miejscu zwarcia dla sieci o różnych sposobach pracy punktu zerowego. Objaśnienia krzywych wg tablicy 1. Rysunek a dla linii o udziale w prądzie pojemnościowym sieci 0,05, rysunek b - o udziale 0,2.

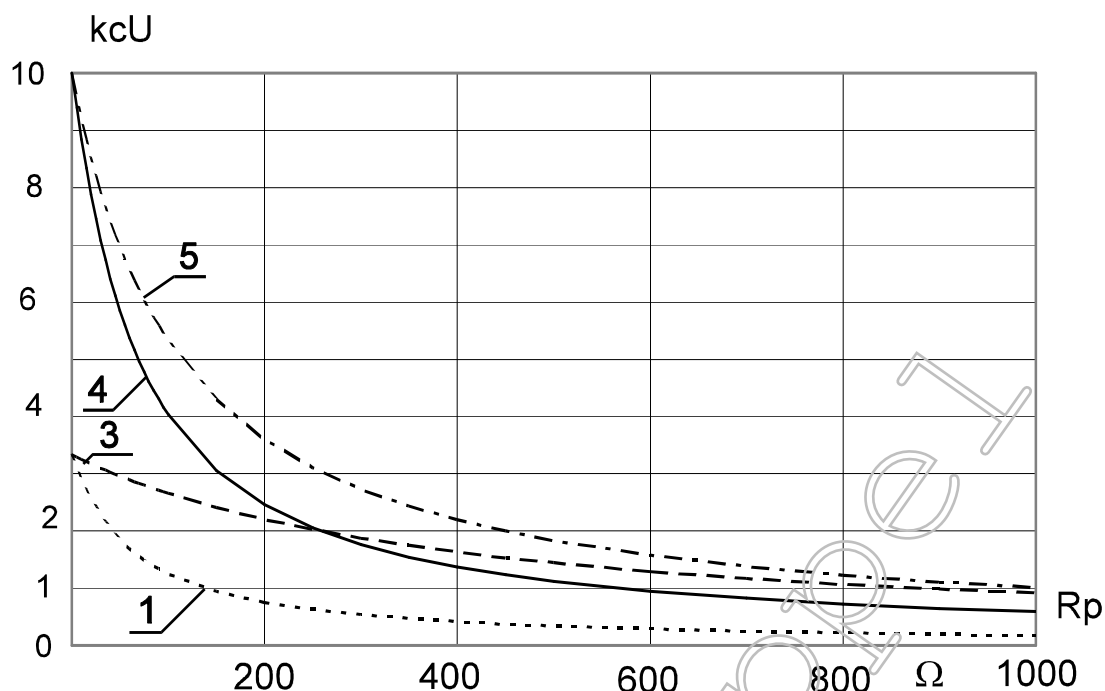
Efektywność działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w funkcji rezystancji przejścia w miejscu zwarcia jest drugim problemem sieci SN i decydująco waży na jej bezpieczeństwie. Trzeba zdać sobie sprawę, że nawet najlepsze zabezpieczenia ziemnozwarciowe nie spowodują całkowitego zlikwidowania wypadków porażenia, ponieważ opadnięcia przewodów np. na wysuszone rzyska czy wyizolowane płoty są często prawie niemożliwe do wykrycia. Podkreślanie zalety sieci z izolowanym punktem zerowym czy uziemionej przez rezystor, że można w niej stosować proste zabezpieczenia nadprądowe i dzięki nim osiągnąć dobre wykrywanie zwarcia jest błędem. Na rys.2 pokazano wykresy k_{cl} w funkcji rezystancji przejścia w miejscu zwarcia oznaczanej jako R_p dla trzech rodzajów pracy punktu zerowego sieci prądzie pojemnościowym 100 A. Współczynnik k_{cl} zdefiniowany jest jako iloraz wartości pomiarowej składowej zerowej prądu w linii i wartości nastawionej w zabezpieczeniu. Pozostałe założone parametry tej sieci zawarte są w tablicy 1. O ile dla prądu własnego linii 5 A (rys.2a), czyli o udziale 0,05 w zakresie rezy-

stancji przejścia do 700 Ω współczynnik czułości prądowej k_{cl} jest większy od jednośc i jest możliwość zadziałania tego zabezpieczenia, to dla prądu własnego 20 A, czyli o udziale 0,2 (rys.2b), dochodzi do ograniczenia zakresu wykrywanych rezystancji do około 150 Ω i to niezależnie od sposobu pracy punktu zerowego. Badania wykazują, że poza tym przedziałem występuje bardzo dużo zwarcia doziemnych, w tym również przez słupy bez uziomów ochronnych. Im większy udział danej linii w prądzie pojemnościowym sieci, tym gorsze warunki wykrywania zwarcia przez zabezpieczenia nadprądowe.

Z tego względu wskazane jest stosowanie zabezpieczeń admitancyjnych z rozruchem nadnapięciowym, w których obszar działania ograniczany jest tłumieniem składowej zerowej napięcia podczas zwarcia rezystancyjnych. Na rys.3 pokazano zależność współczynnika czułości napięciowej k_{cU} w funkcji rezystancji przejścia R_p w miejscu zwarcia dla sieci jak poprzednio i różnych sposobach pracy punktu zerowego. Współczynnik k_{cU} oznacza relację pomiędzy wartością pomiarową składowej zerowej napięcia do wartości nastawionej w zabezpieczeniu.

Dla sporządzenia wykresu przyjęto, że dla sieci z izolowanym punktem zerowym lub uziemionej przez cewkę Petersena, nastawiona wartość napięcia rozruchowego ze względu na możliwą asymetrię wynosi 15 % napięcia fazowego. W sieci uziemionej przez rezystor i sposobem mieszczonym nie ma niebezpieczeństwa wystąpienia znaczącej wartości napięcia asymetrii i próg rozruchowy można tam obniżyć do 5 % i tak założono dla wykonania wykresu

Widać, że zdecydowanie najlepsze warunki działania takie zabezpieczenia mają w sieci kompensowanej. Zakres wykrywanych rezystancji przejścia osiąga wartości zbliżone do 1000 Ω . Bardzo korzystnie w tym miejscu plasuje się mieszany sposób uziemienia sieci, ponieważ zakres wykrywanych rezystancji jest zbliżony do sieci kompensowanej i większy niż w sieci izolowanej lub uziemionej tylko przez rezystor.



Rys.3. Zależność współczynnika czułości napięciowej zabezpieczeń admitancyjnych od rezystancji przejścia w miejscu zwarcia dla różnych rodzajów sieci. Objasnienia krzywych według tablicy 1.

7. WNIOSKI

Przedstawiona w referacie dyskusja wskazuje na związki między ochroną od porażenia a sposobem uziemienia punktu zerowego sieci napowietrzno-kablowych. Minimalizowanie zagrożenia uzyskuje się przez właściwy dobór parametrów urządzeń w punkcie zerowym sieci oraz wykonanie odpowiednich uziemień. Wiąże się to z wartością rezystancji uziemienia i kształtowaniem korzystnego rozkładu potencjałów w miejscach szczególnie niebezpiecznych. Na stopień zagrożenia porażeniowego ma często decydujący wpływ skuteczność zabezpieczeń ziemnozwarciowych. W wielu przypadkach tą skuteczność poprawi zastosowanie, w miejsce kryteriów prądowych, członów o łączonych kryteriach admitancyjnych i napięciowych.

Należy również zakładać, że czasy opóźnień działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych dla wielu linii SN, zwłaszcza napowietrznych, będą musiały być mniejsze od 1 sekundy.

Literatura

- [1] Bigelmaier G.: Układy sieci elektroenergetycznych i ochrona przeciwporażeniowa w publikacjach IEC. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Bezpieczeństwo Elektryczne", Wrocław 1997.
- [2] Lorenc J., Marszałkiewicz K., Andruszkiewicz J.: Admittance criteria for earth fault detection in substation automation systems in polish distrybution power networks. CIRED, Birmingham, June 1997.
- [3] Michalik M., Rebizant W., Hoppel J., Lorenc J.: Optimization of MV network neutral point earthing mode with respect to transient ground-fault overvoltages. Materiały 8th SCC Conference, Bruksela, październik, 1998.
- [4] International standard IEC 364. Part4: Protection for safety. Chapter 44: Protection against overvoltagez. Section442 - Protection of low-voltage installations against faults between high-voltage systems and earth.