

Referat wygłoszony podczas konferencji "Zwarcia doziemne w sieciach SN", 11-13 kwietnia 2001 zorganizowanej przez Zakład Energetyczny PŁOCK S.A.

dr inż. Witold Hoppel

Politechnika Poznańska

Instytut Elektroenergetyki

**UKŁAD RÓWNOLEGLY REZYSTORA I DŁAWIKA
DLA UZIEMIENIA PUNKTU NEUTRALNEGO SIECI SN**

1. WSTĘP

Sposób pracy punktu neutralnego sieci średniego napięcia jest zagadnieniem ciągle aktualnym. W ostatnich kilku latach znów wzbudza dyskusje wśród specjalistów w związku ze wzrostem prądów pojemnościowych prądów ziemnozwarciowych związanym przede wszystkim z rozwojem sieci kablowych. Największe negatywne skutki tego wzrostu pojawiają się w liniach napowietrznych tych sieci i dotyczą zagrożenia porażeniowego. 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. Ochrona przeciwporażeniowa stanowi podstawową grupę zagadnień wskazujących na potrzebę ograniczenia prądów ziemnozwarciowych wywoływanych uziemianiem sieci przez rezystor.

Drugą grupą zagadnień wpływających na aktualność tego zagadnienia jest problematyka awaryjności kabli powiązana z przepięciami ziemnozwarciowymi oraz wynikającym z tego rozwojem zakłóceń.

Natomiast warunki pracy obecnie stosowanych zabezpieczeń ziemnozwarciowych nie mają już decydującego znaczenia przy wyborze sposobu uziemienia punktu zerowego. Jest to przede wszystkim efekt rozpowszechnienia zabezpieczeń admitancyjnych, których skuteczność jest relatywnie wysoka bez względu na sposób uziemienia punktu zerowego, a czułość ich działania praktycznie nie zależy od rezystancji w miejscu doziemienia.

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,
- zwarciami doziemnymi na trasie linii z niewielkim sływem 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 sływu 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. 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 zwarcia 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 zastosowano 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.

Szkodliwość niektórych z tych zjawisk jest potęgowana przez powszechne stosowanie słupów żelbetowych.

W zakresie ochrony przeciwporażeniowej można podać przykład nieszczęśliwego zdarzenia, któremu bardzo trudno w praktyce zapobiec - jest to 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.

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 dławik (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 dławik znacznej części zwarć przemijających bez udziału wyłącznika i automatyki SPZ.

W bieżącym roku uruchomione zostały 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 nie są już argumentem za wymianą dławików 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 składowych zerowych napięcia i prądu. Zabezpieczenia admitancyjne 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.

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 przeanalizowano skuteczność działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych umożliwiającą skracanie czasu przepływu prądu rażeniowego.

3. WARUNKI WSTĘPNE DOBORU URZĄDZEŃ W PUNKCIE ZEROWYM SIECI

Jeśli dla konkretnego prądu pojemnościowego sieci warunki doboru dławika nie budzą wątpliwości, ponieważ za najkorzystniejsze uważa się powszechnie niewielkie przekompensowanie, to sposób doboru 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 związany ze wzrostem wartości prądu, zalecana jest wartość prądu czynnego równo około 1,2 prądu pojemnościowego. Uzyskuje się wtedy ograniczenie przepięć do poziomu mniejszego od 2,6.

Natomiast dla sieci uziemionych przez równoległe połączenie dławika i rezystora wymagania odnośnie parametrów rezystora mogą być złagodzone, Badania symulacyjne [3] wykazują, że rozstrojenie dławika w zakresie nie większym niż 20-30 % i włączenie równoległe rezystora o prądzie znamionowym na poziomie 0,8 prądu pojemnościowego sieci pozwala ograniczyć przepięcia ziemnozwarciowe do poziomu podobnego jak w przypadku uziemienia sieci rezystorem o prądzie równym 1,2 wartości pojemnościowego prądu doziemnego sieci.

4.ZAGROŻENIE PORAŻENIOWE 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 może być 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 bliskich zwarć oporowych przy pominięciu impedancji wzdłużnej linii, określony może być zależnością

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

k_d - współczynnik przewodności doziemnej sieci, którego wartość wyznacza równanie

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

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

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

gdzie:

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

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

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 tablicy 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 $G_s = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ S}$, a w sieci kompensowanej konduktancja jest dwa razy większa.

Zależność napięcia uziomowego słupa od jego rezystancji uziemienia słupa przedstawiono na rys.1 (objaśnienia krzywych wg tablicy 1).

W wierszu trzecim tablicy 1 oraz w objaśnieniach do wzoru 6 podano, że z dławikiem współpracuje układ AWSCz - przypadek taki nie jest prezentowany na rys.1, ale jest ważny w analizie czułości działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

Tablica 1

Charakterystyka sieci o napięciu znamionowym 15 kV

i susceptancji doziemnej $\omega C_s = 0,01 \text{ S}$ 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
Dławik bez układu AW-SCz (K=1,2)	0,04	0,236	2
Dławik 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 dławik (K=1,2) - układ równoległy	0,84	0,863	5

Napięcia uziomowe, a co za tym idzie - napięcia rażeniowe, są największe dla sieci uziemionej przez rezystor. Dla rezystancji do 50Ω podobny poziom napięć rażeniowych może wystąpić w sieci o izolowanym punkcie zerowym. Z podanych przypadków najmniejsze

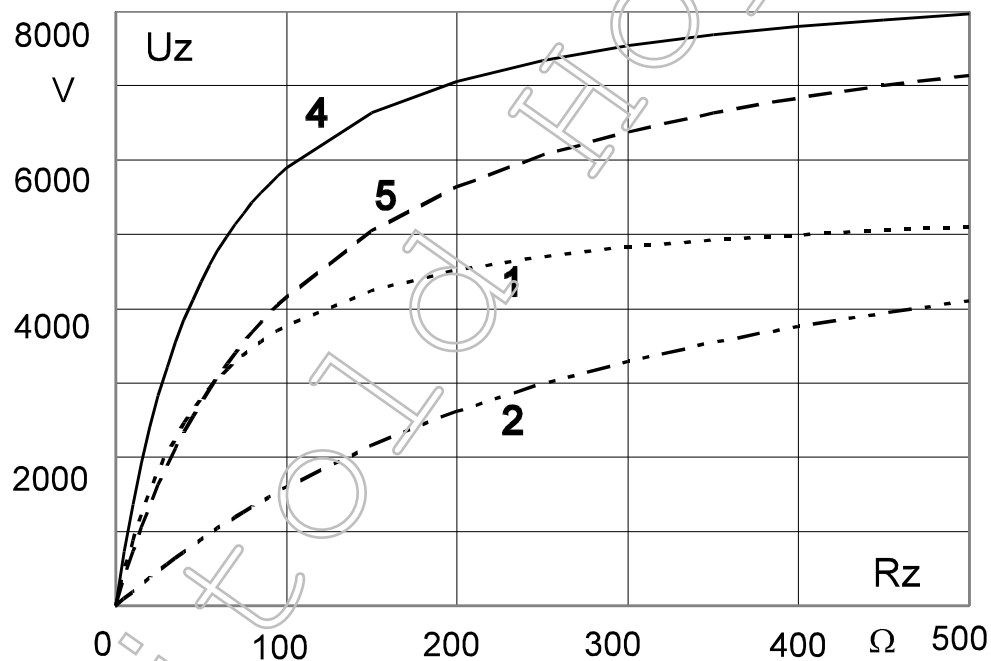
napięcia uziomowe występują w sieci kompensowanej. Równoległe dołączenie do rezystora dławika powoduje, że poziom napięć uziomowych jest również wyraźnie mniejszy niż w sieci uziemionej przez rezystor.

Dla słupów z dodatkową ochroną przeciwporażeniową, czyli wyposażonych w uziom ochronny, rezystancje uziemienia nie przekraczają praktycznie wartości 30Ω . 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 dotykowego α_{dr} , który zależy od rezystancji przejścia w miejscu rażenia i w praktyce zmienia się od 0 do 1.



Rys.1. Zależność napięcia uziomowego na słupie U_z od jego rezystancji uziemienia R_z .

Oznaczenia krzywych:

- 1 – punkt zerowy izolowany, 2 – kompensacja bez układu AWS Cz;
4 – rezystor dobrany wg zasady $I_r = 1,2 \cdot I_{poj}$, 5 – układ równoległy

W warunkach dużej wilgotności gruntu wartość α_{dr} może zbliżyć się do niekorzystnej wartości 1. Na jej zmniejszenie można wpływać poprzez malowanie części nadziemnych słupa i pokrywanie go 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.

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 zakłóceniowe 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 zakłóceniowego 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 zakłóceniowe 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 przebiegiowej i warunków poprawnego działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

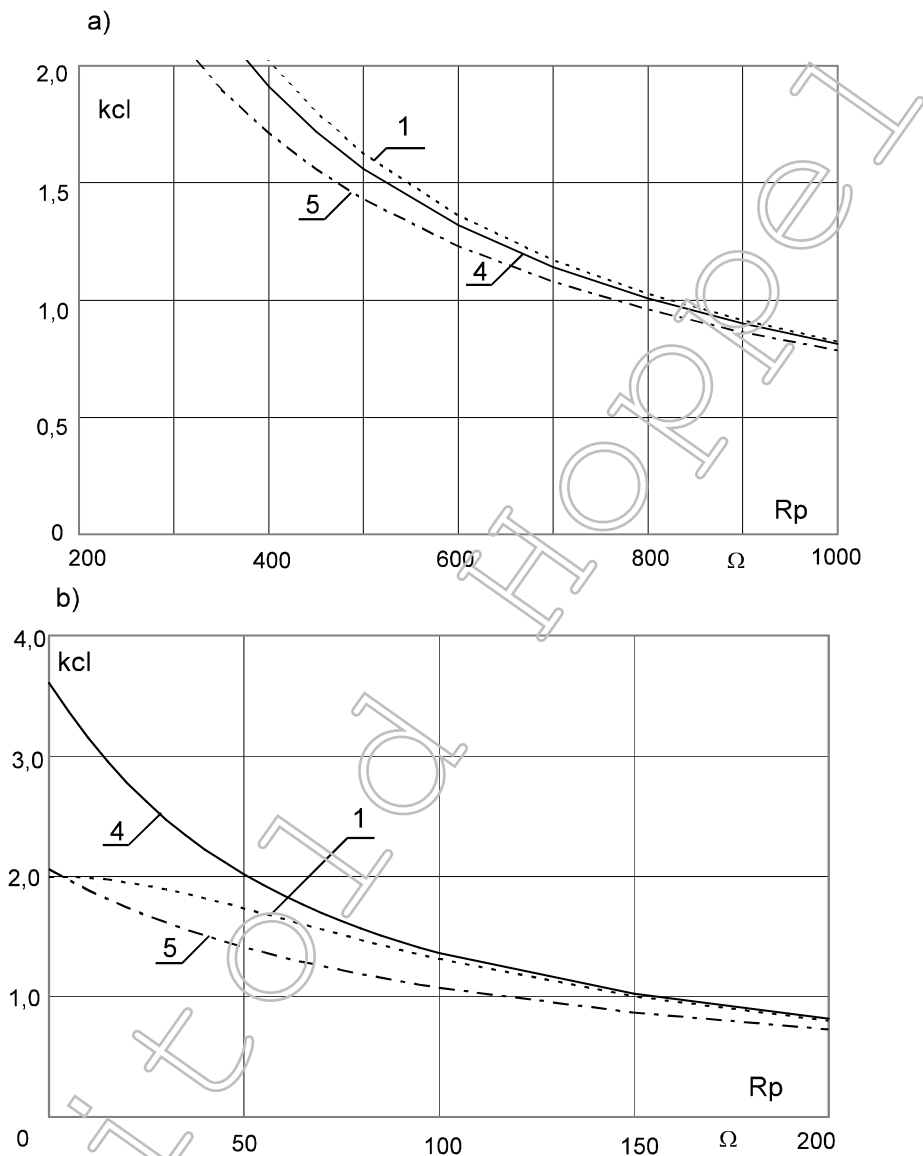
6. ZAKRES WYKRYWANYCH ZWARĆ PRZEZ ZABEZPIECZENIA ZIEMNOZWARCIOWE

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 porażień, ponieważ opadnięcia przewodów np. na wysuszone rzyska czy wyizolowane płoty są często prawie niemożliwe do wykrycia. Podkreślanie zalet sieci z izolowanym punktem zerowym lub uziemionej przez rezystor tym, że można w niej stosować proste zabezpieczenia nadprądowe i dzięki nim osiągnąć dobre wykrywanie zwarć 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 o 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 rezystancji przejścia do 700Ω współczynnik czułości prądowej k_{cl} jest większy od jedności i jest możliwość zadziałania tego zabezpieczenia, to dla prądu własnego linii 20 A, czyli o udziale 0,2 (rys.2b), dochodzi do ograniczenia zakresu wykrywanych rezystancji do około 150Ω i to niezależnie od sposobu pracy punktu zerowego. Badania wykazują, że poza tym przedziałem występuje bardzo dużo zwarć doziemnych, w tym również przez słupy bez uziomów ochronnych. Im większy udział danej linii w prądzie pojemnościowym sieci, tym gorsze warunki wykrywania zwarć 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 zwarć 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 a wartością nastawioną.

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

Widać, że zdecydowanie najlepsze warunki działania takie zabezpieczenia mają w sieci kompensowanej. Zakres wykrywanych rezystancji przejścia osiąga wartości zbliżone do 1000Ω . 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 o izolowanym punkcie zerowym lub uziemionej tylko przez rezystor.



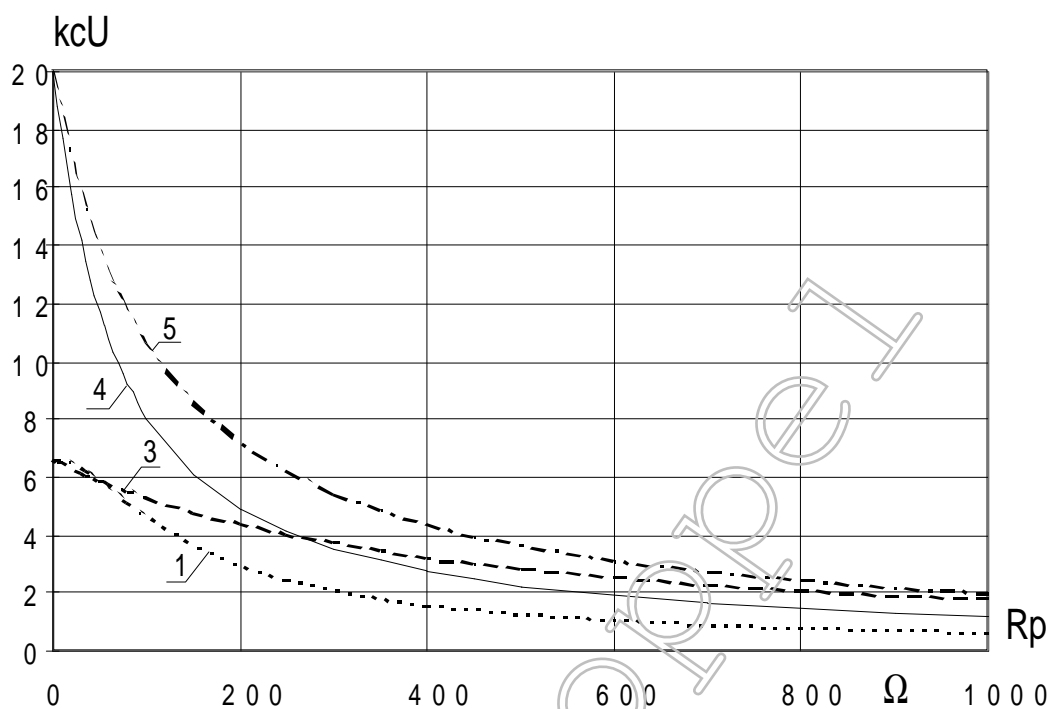
Rys.2. Zależność współczynnika czułości prądowej zabezpieczeń zerowoprądowych od rezystancji przejścia w miejscu zwarcia dla sieci o różnych sposobach pracy punktu zerowego. Rysunek a dla linii o udziale w prądzie pojemnościowym sieci 0,05, rysunek b – dla linii o udziale 0,2.

Oznaczenia krzywych:

1 – punkt zerowy izolowany,

4 – rezystor dobrany wg zasady $I_r = 1,2 \cdot I_{poj}$,

5 – układ równoległy



Rys.3. Zależność współczynnika czułości napięciowej zabezpieczeń admitancyjnych od rezystancji przejścia w miejscu zwarcia dla różnych rodzajów sieci.

Oznaczenia krzywych:

- 1 – punkt zerowy izolowany, 3 – kompensacja z układem AWSCz;
 4 – rezystor dobrany wg zasady $I_r=1,2 \cdot I_{poj}$, 5 – układ równoległy

7. WNIOSKI

Przedstawiona w referacie dyskusja wskazuje na związki między ochroną od porażen 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] PN-IEC 60364-4-442: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
- [5] Arciszewski J., Komorowska I.: Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć. Wskazówki wykonawcze.PTPiREE, Poznań, marzec 1999r.