

Antoni Bogucki, Edward Lawera,  
Marian Sauczek

Instytut Elektroenergetyki  
i Sterowania Układów

## WPLYW SPOSOBU POŁĄCZENIA PUNKTU ZEROWEGO NA WARUNKI PRACY SIECI ŚREDNICH NAPIĘĆ

Streszczenie. W artykule omówiono niektóre zagadnienia związane z warunkami pracy sieci średnich napięć przy różnych sposobach połączenia punktu zerowego z ziemią. Szczególnie dużo uwagi poświęcono problemom pracy zabezpieczeń ziemnozwarciowych w tych sieciach.

### 1. Wstęp

Intensywny rozwój sieci średnich napięć jest od kilku lat powodem rozległych badań i analiz warunków pracy tych sieci, zarówno w kraju [1] [2] [4] [7] [8] [10] [12] [13] [18] [19] [21] [23] [25], jak i za granicą [5] [6] [9] [16] [17] [20] [26] [27].

W krajowym systemie elektroenergetycznym, według danych z 1968 roku, łączna długość linii średniego napięcia wynosiła około 88% ogólnej długości linii wysokiego napięcia, a jednocześnie liniami tymi było przesyłane około 75% wyprodukowanej energii elektrycznej [7]. Powyższe dane uzasadniają znaczenie zarówno samych sieci, jak i zagadnień związanych z ich eksploatacją.

Jednym z najważniejszych zagadnień związanych z warunkami pracy sieci średniego napięcia jest sposób połączenia z ziemią jej punktów zerowych.

Sposób połączenia z ziemią punktu zerowego ma istotny wpływ na szereg problemów eksploatacyjnych takich jak: przetężenia elementów przesyłowych przy zwarciach doziemnych, wielkość przepięć ziemnozwarciowych, łatwość lokalizacji miejsca zwarcia, rodzaj i prawidłowość pracy zabezpieczeń, zagrożenie porażeniowe, zakłócenia telekomunikacyjne, praca aparatury rozdzielczej itp.

Duża ilość podanych zagadnień istotnych dla eksploatacji sieci stwarza konieczność kompleksowości badań. Te kompleksowe badania w powiązaniu z analizą ekonomiczną uwzględniającą zarówno perspektywę rozwoju sieci, jak również stan aktualny i możliwości modernizacji muszą leżeć u podstaw decyzji odnośnie wyboru sposobu pracy punktu zerowego sieci średniego napięcia.

Celem niniejszego artykułu jest przegląd niektórych zagadnień eksploatacji przedmiotowej sieci z uwzględnieniem najnowszych wyników, badań, analiz i doświadczeń, przy czym główną uwagę położono na problemy pracy za bezpieczeńzeń ziemnozwarciowych.

## 2. Warunki pracy sieci średnich napięć

Z przeglądu aktualnej sytuacji i rozeznania tendencji rozwojowych wynika, że sieci średnich napięć mogą pracować przy jednym z następujących sposobów połączenia punktu zerowego z ziemią:

- izolowanym punktem zerowym,
- z kompensacją prądu ziemnozwarciowego,
- z punktem zerowym uziemionym przez niskoomową rezystancję, reaktancję lub impedancję.

Z izolowanym punktem zerowym pracują sieci o małych wartościach prądu zwarcia doziemnego. Jako sieci kompensowane pracują sieci bardziej rozległe, dla których wartość prądu ziemnozwarciowego przekracza pewne ustalone wartości.

Obydwa podane sposoby pracy, w zależności od wartości prądu ziemnozwarciowego, stosowane są w sieciach krajowych. W podobny sposób eksploatowane są sieci w szeregu innych krajów takich jak: ZSRR, NRD i NRF.

Innym stosowanym rozwiązaniem jest uziemianie punktu zerowego sieci, przy czym istotnym zagadnieniem w tym przypadku jest wybór optymalnego sposobu uziemienia. Uziemienie może nastąpić przez odpowiednio dobraną rezystancję, reaktancję lub impedancję. O wyborze rodzaju oporności decydują zagadnienia przepięć i względy konstrukcyjne, natomiast o jej wartości pożądana wielkość prądu. Prąd ten z jednej strony ograniczają względy przetężeń, zagrożenia porażeniowego i zakłóceń telekomunikacyjnych, z drugiej zaś prawidłowego działania zabezpieczeń.

Uziemienie punktu zerowego sieci średniego napięcia stosowane jest w takich krajach jak Francja, USA i Anglia.

Każdy z przedstawionych sposobów pracy punktu zerowego ma swoje wady i zalety, które determinują przede wszystkim warunki pracy rozpatrywanej sieci przy jednofazowych zwarcia z ziemią. Z kolei jednofazowe zwarcia z ziemią stanowią najczęściej występujące zakłócenie w pracy sieci elektroenergetycznych.

Dla sieci pracujących z izolowanym punktem zerowym oraz sieci kompensowanych jako zalety uznaje się:

- małe wartości prądów przy zwarcia doziemnych,
- małe niebezpieczeństwo porażień,
- brak oddziaływań telekomunikacyjnych.

Wady natomiast stanowią:

- trudna lokalizacja miejsca zwarcia,

- występowanie przepięć ziemnozwarciowych,
- trudności z zapewnieniem prawidłowości działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych, szczególnie w sieciach kompensowanych.

Zaletami uziemiania punktów zerowych są:

- niewystępowanie przepięć,
- proste i skuteczne układy zabezpieczeń.

Natomiast wady tego sposobu pracy to:

- duża wartość prądu przy zwarciach doziemnych,
- niebezpieczeństwo porażeń,
- zakłócenia telekomunikacyjne,
- konieczność wyłączenia wszystkich zwarć doziemnych.

Przy wyborze sposobu pracy punktu zerowego sieci istotne znaczenie ma udział sieci kablowych i napowietrznych dla których warunki pracy z punktu widzenia podanych wyżej zagadnień są różne. Potwierdzają to prowadzone od pewnego czasu eksperymenty z uziemianiem punktu zerowego sieci kablowych w Polsce [8] oraz w innych krajach, w tym również w NRD i NRF, gdzie kompensacja posiada tradycje największe [9] [16].

### 2.1. Zwarcia doziemne i przepięcia ziemnozwarciowe

O ile analiza zwarć jednofazowych z ziemią w sieciach z niskoomowo uziemionym punktem zerowym nie nastrocza większych trudności, o tyle analiza taka dla sieci kompensowanej czy izolowanej stanowi skomplikowane zagadnienie. Wzrasta w tym przypadku zarówno ilość istotnych czynników koniecznych do uwzględnienia przy analizie charakteru wielkości i przebiegu czasowego prądów zwarcia, jak też stopień trudności ich określenia. Już samo ustalenie głównych parametrów schematu zastępczego do obliczeń zwarciowych, takich jak susceptancja  $B$  i konduktancja  $G$  sieci oraz rezystancja zwarcia  $R_z$ , nastrocza wiele problemów. Problemy te występują przede wszystkim w przypadku linii napowietrznych, dla których przewodności poprzeczne  $B$  i  $G$  zależą od wielu czynników takich jak: układ przewodów linii, wysokość zawieszenia, warunki klimatyczne, zabrudzenie izolacji, poziom napięcia i inne. Szczególnie trudna do ustalenia jest wielkość i charakter rezystancji zwarcia  $R_z$ .

Względnie dokładne wyznaczenie tej rezystancji na drodze analitycznej jest praktycznie niemożliwe, konieczne jest więc stosowanie metod pomiarowych.

Jak wykazały przeprowadzone badania [10] [23] [27] rezystancja zwarcia  $R_z$ , przy zwarciach przewodu do ziemi jest zależna od wartości prądu zwarcia, czasu zwarcia oraz oporności gruntu.

Wyznaczenie analityczne wartości prądów w rozpatrywanej sieci, przy nieskomplikowanej jej konfiguracji (sieć promieniowa) w przypadku znajomości parametrów schematu zastępczego nie nastrocza większych trudności [5] [10] [23].



Niemniej ważna od analizy przebiegu i wielkości prądów zwarcí doziemnych jest analiza statystyczna pozwalająca określić częstość występowania tych zwarcí, czasy ich trwania oraz sposoby likwidacji. Dotychczasowe badania na tym polu są, przynajmniej dla systemu krajowego, bardzo skromne. Wskazują one jednak na następujące fakty w odniesieniu do sieci napowietrznych [7] [10] [25]:

- w największej ilości (od kilkunastu do kilkuset na 100 km sieci na rok dla poszczególnych badań) występują krótkotrwałe doziemienia o czasie trwania  $0,5 \pm 3$  s. Są to doziemienia likwidowane samoistnie, przy czym szczególnie skuteczne samolikwidowanie następuje przez cewki gaszące,
- doziemienia trwałe są nieliczne - rzędu kilku do kilkunastu na 100 km sieci na rok.

Z punktu widzenia prawidłowości działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych istotnym jest fakt występowania w prądzie zwarcia doziemnego wyższych harmonicznych, głównie 3, 5 i 7-mej [10] [23] [26]. Występowanie wyższych harmonicznych jest spowodowane przez odbiory energetyczne o charakterystykach nieliniowych oraz nieliniowością elementów obwodu zwarcia - głównie rezystancji  $R_z$ . Określenie zawartości wyższych harmonicznych w przebiegu prądu może być praktycznie dokonane tylko na drodze pomiarowej.

Zwarciom doziemnym w sieciach pracujących z izolowanym punktem zerowym i sieciach kompensowanych towarzyszą przepięcia ziemnozwarciowe. Dotyczy to przede wszystkim sieci kablowych. Zagadnienia przepięć ziemnozwarciowych były przedmiotem licznych badań. Otrzymane wyniki badań najczęściej pomiarowych, określają wielkości maksymalne współczynników przepięć  $k = \frac{U_{max}}{U_f}$  dla krajowych sieci kablowych 6 i 15 kV jako zawarte w przedziale  $2 \div 3,2$ . [1] [4] [7] [12]

## 2.2. Zagrożenie porażeniowe

Wartość prądów ziemnozwarciowych wpływa w zasadniczy sposób na stopień zagrożenia porażeniowego ludzi znajdujących się w pobliżu urządzeń elektrycznych. Można przyjąć, że bezpieczeństwo przy urządzeniach elektrycznych będzie zachowane, jeżeli podczas zwarcí w stacjach jest spełniony warunek:

$$I_z R_{uz} = U_z \leq U_r,$$

gdzie  $I_z$  - prąd ziemnozwarciowy płynący przez uzziemienie stacji,  
 $R_{uz}$  - rezystancja uzziemienia stacji,  
 $U_z$  - napięcie na uzziemieniu stacji względem ziemi odniesienia,  
 $U_r$  - najwyższa dopuszczalna wartość napięcia rażenia.

W sieciach z izolowanym punktem zerowym lub z kompensacją prądu ziemnozwarciowego spełnienie warunku dopuszczalnych wartości napięć rażenia nie stwarza większych trudności.

Niskoomowe uziemienie punktu zerowego sieci średniego napięcia powoduje wzrost prądów ziemnozwarciowych, a to jest równoznaczne ze wzrostem napięć rażenia. Do określenia wartości tych napięć niezbędne jest ustalenie wartości prądu uziomowego  $I_z$ . Prąd uziomowy przybierać może relatywnie różnorodne wartości uzależnione od rozptyłu prądu ziemnozwarciowego, przy czym ogólnie biorąc w sieciach napowietrznych prąd uziomowy zbliżony będzie zazwyczaj do całkowitego prądu ziemnozwarciowego, natomiast w sieciach kablowych stanowił będzie jedynie znikomą jego część (0,5% do 5%) [2] [8] [9] [14]. Wynika stąd, że uziemienie punktu zerowego sieci kablowych stwarza znacznie mniejszy stopień zagrożenia porażeniowego, niż uziemienie punktu zerowego sieci napowietrznych.

Niebezpieczeństwo porażenia, przy niskoomowym uziemieniu punktu zerowego sieci kablowych przez rezystancję lub reaktancję ograniczającą prąd ziemnozwarciowy, będzie niewielkie lub nie będzie istniało wcale. Dotyczy to zwłaszcza sieci kablowych w warunkach miejskich lub przemysłowych, znajdujących się zawsze na terenie objętym gęstą siecią uziemień naturalnych, z którymi uziemienia urządzeń elektrycznych połączone są wielokrotnie, tworząc gęstą sieć ekwipotencjalną [2] [9] [16]

W przypadku niskoomowego uziemienia punktu zerowego sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej przepływ przez uziemienie stacji podczas zwarć doziemnych prądu o znacznej wartości, spowoduje powstanie na rezystancji uziemienia dużego spadku napięcia. Napięcia rażenia, krańcowo równe temu spadkowi, mogą osiągnąć wówczas wartości dochodzące nawet do kilku kilowoltów. Wprawdzie bezpieczeństwo osób znajdujących się w samej stacji jest stosunkowo łatwo zapewnić dzięki odpowiedniemu sterowaniu potencjałami, jednakże istnieje poważne niebezpieczeństwo porażenia napięciami wyprowadzonymi z terenu stacji. Urządzeniami, które wyprowadzić mogą na zewnątrz stacji potencjał uziomu stacji, bywają przede wszystkim przewody zerowe, sieci niskiego napięcia oraz płaszcze i pancerze kabli.

### 2.3. Zakłócenia telekomunikacyjne

Sposób uziemienia punktu zerowego posiada istotny wpływ na SEM indukowane w przewodach napowietrznych i kablowych linii telekomunikacyjnych przebiegających w pobliżu linii średnich napięć.

W sieciach z izolowanym punktem zerowym lub w sieciach kompensowanych, prądy ziemnozwarciowe są zwykle tak małe, że nie powodują zagrożenia i zakłóceń w pracy urządzeń telekomunikacyjnych. Z tego względu zarówno zalecenia międzynarodowe [3], jak i przepisy krajowe nie wymagają obliczania SEM indukowanych przy tych układach pracy punktu zerowego.

Uziemienie punktu zerowego sieci średniego napięcia przez rezystancję lub reaktancję powoduje wzrost prądów ziemnozwarciowych, a to wzmagają oddziaływania telekomunikacyjne. Powstanie w tych warunkach zagrożenia urządzeń telekomunikacyjnych uzależnione jest ponadto od szeregu dodatkowych czynników, między innymi takich jak: rozptył prądów ziemnozwarciowych, długość odcinków zblżenia oraz konstrukcja linii telekomunikacyjnych.

Przeprowadzone w kraju badania oddziaływań telekomunikacyjnych przy przejściu do niskoomowego uziemienia punktu zerowego sieci kablowych wykazały, że prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnych SEM indukowanych w liniach telekomunikacyjnych jest znikome [8]. Do podobnych wniosków doprowadziły badania przeprowadzone w zblżonych warunkach w NRF, gdzie na podstawie pomiarów stwierdzono [16], że przy prądach ziemnozwarciowych nie przekraczających 1,5 kA nie należy obawiać się zakłóceń w kablach telekomunikacyjnych.

Podane wnioski nie mogą być jednakże uznane za słuszne we wszystkich przypadkach. W krajowej eksploatacji znane są bowiem przypadki uszkodzeń urządzeń teletechnicznych powstałych przy zwarciach doziemnych [12]. Konieczne staje się zatem przewidywanie i ewentualne stosowanie odpowiednich środków zabezpieczających urządzenia telekomunikacyjne, przy przejściu sieci średnich napięć do pracy z punktem zerowym uziemionym niskoomowo.

### 3. Próba oceny zabezpieczeń ziemnozwarciowych pracujących w sieci krajowej

Zagadnienie zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach średnich napięć stanowi jeden z trudniejszych problemów elektroenergetycznej techniki zabezpieczeniowej. Trudności te dotyczą przede wszystkim kompensowanych sieci napowietrznych, aczkolwiek i w pozostałych sieciach średnich napięć nie zawsze są łatwe do pokonania, zwłaszcza w warunkach krajowych.

Uzyskanie poprawnie działającego zabezpieczenia ziemnozwarciowego jest trudne ponieważ zwarciom doziemnym towarzyszy szereg czynników przypadkowych mających istotny wpływ na działanie zabezpieczeń. Przede wszystkim są to:

- wartość prądu ziemnozwarciowego w sieci,
- wartość składowej czynnej prądu ziemnozwarciowego,
- rezystancja przejścia w miejscu zwarcia,
- dokładność skompensowania prądu ziemnozwarciowego,
- zawartość wyższych harmonicznych w prądzie ziemnozwarciowym.

Tradycyjnie stosowane dotychczas w Polsce zabezpieczenia ziemnozwarciowe działające swe opierają na wykorzystaniu składowej symetrycznej zerowej prądu ziemnozwarciowego, składowej biernej oraz składowej czynnej mocy zerowej. Dobór odpowiedniego rodzaju zabezpieczenia uzależniony jest od rozptyłu składowej zerowej prądu ziemnozwarciowego, a więc związany jest bezpośrednio ze sposobem pracy punktu zerowego sieci średniego napięcia.



W sieciach pracujących z izolowanym punktem zerowym powszechne zastosowanie znalazły zabezpieczenia nadprądowe o działaniu opartym na pomiarze składowej zerowej prądu ziemnozwarciowego. Zabezpieczenia te wobec niewielkich zazwyczaj wartości prądów ziemnozwarciowych wymagają stosowania czułych przekładników prądowych. Produkowane przez przemysł krajowy układy zabezpieczeń zerowo-prądowych reagują na prądy pierwotne rzędu 2 A. W wielu przypadkach powyższa czułość okazuje się niedostateczna (np. w układach zasilania potrzeb własnych elektrowni [19]) i zachodzi konieczność zastosowania układów o czułości poniżej 1 A [24].

Możliwości stosowania zabezpieczeń nadprądowych w sieciach pracujących z izolowanym punktem zerowym są ograniczone warunkiem wybiórczości. W przypadkach gdy warunek ten nie może być spełniony, konieczne staje się stosowanie zabezpieczeń kierunkowych reagujących na składową bierną mocy zerowej.

Doświadczenia eksploatacyjne z krajowymi zabezpieczeniami bierno-mocowymi wykorzystującymi przekładniki indukcyjno-elektrodynamiczne ogólnie biorąc są dobre aczkolwiek działanie ich bywa czasami zawodne. Przyczyną tego są wady konstrukcyjne (brak tłumienia) stosowanych przekładników, powodujące nieprawidłowe działanie zabezpieczeń w stanach niestabilnych związanych z powstaniem lub zanikiem zwarcia doziemnego.

Zastosowanie kompensacji prądu ziemnozwarciowego uniemożliwia uzyskanie wybiórczości zabezpieczeń o działaniu opartym na pomiarze prądu zerowego jak i jego składowej biernej. W przypadku tym zachodzi potrzeba zastosowania zabezpieczenia kierunkowego typu kosinusowego, reagującego na składową czynną prądu zerowego. Stosowane dotychczas zabezpieczenia ziemnozwarciowe oparte na przekładnikach kierunkowych o charakterystyce kosinusowej, działają nie zawsze wybiórczo. Złe doświadczenia eksploatacyjne z krajowymi układami zabezpieczeń czynno-mocowych wynikają głównie z następujących przyczyn [13] [21]:

- nieodpowiednie charakterystyki i układy funkcjonalne oraz wady konstrukcyjne produkowanych dotychczas przekładników czynno-mocowych,
- brak wzajemnego dopasowania charakterystyk przekładników do zasilających je filtrów składowej zerowej prądu,
- niewłaściwy dobór i eksploatacja urządzeń kompensujących prąd ziemnozwarciowy.

Mogą również zachodzić przypadki zbyt małej czułości zabezpieczeń ziemnozwarciowych stosowanych w sieciach kompensowanych. Wynikiem tego będzie niedziałanie zabezpieczenia linii doziemionej, niezależnie od jakości stosowanych przekładników i przekładników. Staje się wtedy nieodzowne wymuszenie dodatkowej składowej czynnej prądu ziemnozwarciowego w celu zapewnienia wystarczającej czułości zabezpieczeń [21].

#### 4. Tendencje rozwojowe i nowe rozwiązania zabezpieczeń ziemnozwarciowych

Trudności w rozwiązaniu poprawnie działających zabezpieczeń ziemnozwarciowych izolowanych i kopensowanych sieci średniego napięcia zmusiły do poszukiwań nowych kryteriów działania i nowych rozwiązań zabezpieczeń.

Rozwiązania te najogólniej można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- a) Zabezpieczenia reagujące w stanach przejściowych, występujących w chwili pojawienia się zwarcia doziemnego,
- b) Zabezpieczenia reagujące na wyższe harmoniczne naturalnego prądu ziemnozwarciowego, lub też wprowadzonego do sieci z obcego źródła.

Próby wykrzystania zjawisk stanu przejściowego związanego z pojawieniem się zwarcia doziemnego jako kryterium działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych istniały od dawna i są nadal kontynuowane [14] [15] [17].

Zabezpieczenia ziemnozwarciowe reagujące w stanach przejściowych posiadają szereg bezsprzecznych zalet, spośród których najistotniejsze to: wybiórczość działania, niewrażliwość na prądy uchybowe i uchyby prądowe przekładników oraz działanie przy zwarciach przemijających. Zabezpieczenia te stosowane być mogą zarówno w sieciach kompensowanych, jak również pracujących z izolowanym punktem zerowym, przy czym w tych pierwszych działają wybiórczo niezależnie od stopnia kompensacji prądu ziemnozwarciowego.

W chwili obecnej praktyczne zastosowanie na szerszą skalę znalazł przekaźnik produkowany seryjnie przez firmę EAW (NRD) typu TRER. Jest to konstrukcja skomplikowana, a przy tym nie pozbawiona pewnych wad, jak np. brak możliwości pewnego działania kontrolnego przy zwarciach trwałych. Również koszt tego zabezpieczenia praktycznie uniemożliwia stosowanie go w rozbudowanych sieciach rozdzielczych, wobec konieczności wyposażenia w indywidualne przekaźniki każdej linii.

Celowość zastosowania w sieciach krajowych zabezpieczeń od zwarć doziemnych reagujących w stanach przejściowych wydaje się być problematyczna, mimo iż prowadzone są prace w tym kierunku [14].

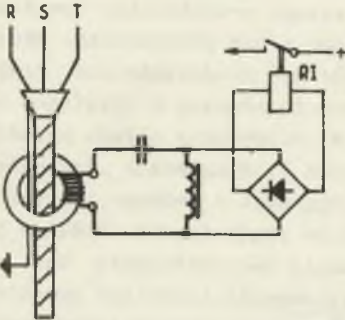
Zabezpieczenia ziemnozwarciowe wykorzystujące kryterium wyższych harmonicznych prądu doziemnego (po odpowiednim ich odfiltrowaniu) mogą być realizowane na analogicznych zasadach jak zabezpieczenia nadprądowe i kierunkowe dla sieci pracujących z izolowanym punktem zerowym. Mogą być one stosowane również w sieciach kompensowanych bowiem wyższe harmoniczne prądu nie są kompensowane przez cewki gaszące.

Prace nad wykorzystaniem wyższych harmonicznych do realizacji nowych zabezpieczeń ziemnozwarciowych prowadzone są w różnych krajach [6] [11] [26], przy czym liczne już obecnie rozwiązania można podzielić następująco:

- zabezpieczenia nadprądowe reagujące na sumę wyższych harmonicznych lub na wartość wybranej harmonicznej prądu ziemnozwarciowego,



- zabezpieczenia kierunkowe biernomocowe reagujące na kierunek przepływu wybranej wyższej harmonicznej prądu ziemnozwarciowego,
- zabezpieczenia reagujące na stosunek poziomu wyższych harmonicznych różnych linii,



Rys. 1. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe reagujące na wyższe harmoniczne prądu zwarcia z ziemią

Zabezpieczenie działające według zasady pierwszej, dzięki prostocie rozwiązania, stosowane jest obecnie najczęściej, może jednak znaleźć zastosowanie tylko w sieciach promieniowych o dużej zawartości harmonicznych.

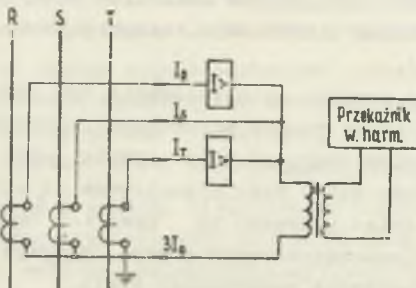
Zabezpieczenia realizowane w oparciu o dwie pozostałe zasady są rozwiązaniami złożonymi i kosztownymi, przy czym ostatnie z nich nie wyszło poza stadium prób modelowych.

Na rys. 1 przedstawiono schemat ideowy zabezpieczenia nadprądowego reagującego na wartość wybranej wyższej harmonicznej. Zabezpieczenie składa się z obwodu rezonansowego dla wybranej harmonicznej (np. 250Hz) i członu pomiarowego. Zadaniem obwodu rezonansowego na wejściu jest relatywne zwiększenie wartości wybranej harmonicznej.

Wykorzystując przedstawione zabezpieczenie do współpracy z układem Holmgreena należy uwzględnić, że jego impedancja dla częstotliwości 50 Hz wynosi setki omów. Z tych względów trzeba stosować przekładnik pomocniczy w układzie przedstawionym na rysunku 2.

Wyniki zagranicznych doświadczeń eksploatacyjnych z zabezpieczeniami reagującymi na wyższe harmoniczne są dobre [6] [26]. Rokuje to poważne nadzieje na rozwiązanie problemu zabezpieczeń ziemnozwarciowych zwłaszcza sieci kompensowanych.

Niezależnie od przedstawionych wyżej możliwości wykorzystania wyższych harmonicznych naturalnego prądu ziemnozwarciowego, notowane są próby zastosowania sztucznego źródła wyższych harmonicznych prądu [20].

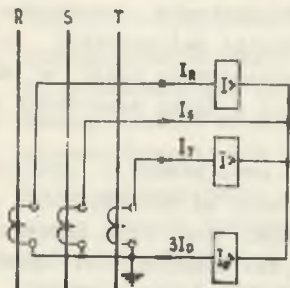


Rys. 2. Sposób podłączenia zabezpieczenia ziemnozwarciowego reagującego na wyższe harmoniczne do układu Holmgreena.

4.1. Uziemienie punktu zerowego sieci jako środek poprawy warunków pracy zabezpieczeń ziemnozwarciowych

W pewnych przypadkach celowym może okazać się niskomowe uziemianie punktów zerowych sieci stwarzające możliwości realizacji prostych i niezawodnych zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Dotyczy

to przede wszystkim sieci kablowych, zwłaszcza rozległych sieci miejskich [1] [4] [8] [9].



Rys. 3. Nadprądowe zabezpieczenie ziemnozwarciowe sieci z uzmiemionym punktem zerowym przy wykorzystaniu układu Holmgreena

$I_1$  - zabezpieczenie od zwarcć międzyfazowych,  
 $I_0$  - zabezpieczenie od zwarcć z ziemią

zabezpieczenia od zwarcć międzyfazowych i odrębne zabezpieczenie zerowoprądowe od zwarcć doziemnych. Odrębne zabezpieczenie zerowoprądowe pozwala bowiem na odpowiednio czułe nastawienie, podczas gdy, zabezpieczenia od zwarcć międzyfazowych muszą być nastawione powyżej prądów maksymalnego obciążenia.

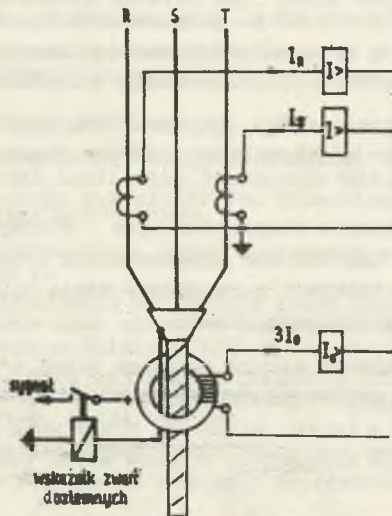
W przypadkach gdy istnieć będzie możliwość uzyskania odpowiedniej czułości nadprądowych zabezpieczeń fazowych, również przy zwarciach doziemnych, można zrezygnować z odrębnych zabezpieczeń zerowoprądowych. Dotyczy to przede wszystkim odbiorów krańcowych o stosunkowo niewielkich prądach maksymalnego obciążenia.

W sieciach zamkniętych i dla linii równoległych konieczne jest uzupełnienie zabezpieczeń nadprądowych członem kierunkowym, reagującym na kierunek przepływu mocy składowej zerowej.

W sieciach kablowych możliwe jest ponadto zainstalowanie tzw. wskaźników zwarcć doziemnych [9]. Wskaźniki takie będące pierwotnymi przekaźnikami prądowymi włącza się w przewód uzmiemniający głowice kabla, przy czym ważne jest aby sama głowica i końcówka kabla była odizolowana od uzmiemnienia stacji. Sposób podłączenia wskaźnika pokazano na rys. 4. Wskaźnik działa w wyniku przepływu prądu ziemnozwarciowego przez płaszczyznę kabla doziemionego i umożliwia szybkie odszukanie uszkodzonej linii.

Projektowanie uzmiemnienia punktu zerowego sieci istniejących, w których zabezpieczenia od zwarcć międzyfazowych rozwiązane są jako dwufazowe, wymaga w zasadzie zainstalowania dodatkowego trzeciego przekaźnika prądowego i współpracującego z nim przekaźnika. Wadą takiego układu może być niedostateczna czułość w przypadku zwarcć doziemnych i dlatego bardziej celowe jest stosowanie układu przedstawionego na rysunku 3. W układzie tym powstaje możliwość rezygnacji z jednego z przekaźników reagujących na prądy fazowe. Możliwe jest również rozwiązanie zabezpieczenia bez konieczności instalowania trzeciego przekaźnika prądowego. Rozwiązanie takie przedstawiono na rysunku 4. Polega ono na zastosowaniu układu zerowoprądowego jako zabezpieczenia od zwarcć doziemnych.

W nowo projektowanych sieciach średnich napięć, w których przewiduje się uzmiemnienie punktu zerowego, stosować należy trójfazowe



Rys. 4. Nadprądowe zabezpieczenie ziemnozwarciowe sieci z uziemionym punktem zerowym przy wykorzystaniu przekładnika Ferrantiego

W warunkach krajowych wskaźnik taki można ewentualnie zrealizować w postaci przekaźnika nadprądowego zasilanego z niskonapięciowego przekaźnika prądowego, włączonego w przewód uziemiający głowicę kabla [22].

## 5. Wnioski

- W świetle przedstawionych problemów tendencje utrzymania dotychczasowych sposobów pracy krajowych sieci średnich napięć (sieci kompensowane i z izolowanym punktem zerowym) wydają się być uzasadnione. Wyjątek mogą stanowić tu sieci kablowe o dużych wartościach prądu doziemnego, dla których celowe jest kontynuowanie dalszych badań związanych z możliwością niskoomowego uziemienia punktu zerowego.
- Wyniki przeprowadzonych prób pomiarowych zarówno w kraju, jak i za granicą wykazują, że wartości przepięć ziemnozwarciowych są w większości przypadków niewielkie i nie powinny stanowić niebezpieczeństwa dla izolacji sieci spełniającej wymogi odpowiednich przepisów.
- W przypadku niskoomowego uziemienia punktu zerowego sieci, jak wykazują dotychczasowe doświadczenia, zagrożenia zagrożenia porażeniowego i zakłóceń telekomunikacyjnych są groźne tylko dla sieci napowietrznych, dla sieci kablowych nie stanowią one większego problemu. Zagadnienia te mogą być istotne przy wyborze sposobu pracy sieci napowietrzno-kablowych.



- d) Warunki zakłóceń sieci kompensowanej i izolowanej w przypadku zwarć doziemnych są trudne do dokładnego rozeznania. Do ich określenia konieczne są badania pomiarowe.
- c) Stosowane aktualnie w kraju zabezpieczenia ziemnozwarciowe sieci średnich napięć, a w szczególności sieci kompensowanych, nie zawsze spełniają warunki pewnego i niezawodnego działania.
- f) Poprawa istniejącego stanu dla sieci krajowej winna nastąpić przede wszystkim poprzez udoskonalenie i modernizację zabezpieczeń konwencjonalnych.
- g) Prowadzone są badania eksperymentalne z nowymi zabezpieczeniami ziemnozwarciowymi. Zagraniczne doświadczenia w tym względzie są dobre przy czym najkorzystniejsze perspektywy zdają się stwarzać zabezpieczenia reagujące na wyższe harmoniczne.
- h) Niskoomowe uziemienie punktu zerowego sieci stwarza możliwość zastosowania prostych i poprawnie działających zabezpieczeń ziemnozwarciowych. W powiązaniu z innymi warunkami pracy może okazać się to szczególnie korzystne dla niektórych układów sieci kablowych.

## LITERATURA

1. Anderson E. - Niektóre problemy uziemienia punktu zerowego sieci kablowych. Energetyka nr 8 1967 r.
2. Anderson E., Jasiński E., Kosztaluk R. - Zagrożenie porażeniowe przy uziemieniu punktu zerowego sieci kablowych średniego napięcia. Energetyka nr 7 1972 r.
3. CCITT - Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electricity lines. Genewa, 1963 r.
4. Czaplak W. - Przepięcia wewnętrzne i wybór sposobu uziemienia punktu zerowego w sieciach średnich napięć. Energetyka nr 5 1968 r.
5. Funk G. - Berechnung der Nullstromverteilung bei Erdkurzschluss einer Freileitung. ETZ-A nr 2, 1971 r.
6. Guttman F. - Die funfte Oberschwingung als vorteilhaftes Kriterium für die selektive Erdschlusserfassung in kompensierten Drehstromnetzen. Techn. Mitt. AEG-Telefunken nr 1, 1970 r.
7. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Pol. Śl. - Analiza wielkości przepięć i prądów ziemnozwarciowych w sieci elektroenergetycznej Kopalni Knurów. Praca nr inw. 1/72 Gliwice, 1972 r.
8. Instytut Energetyki - Wybór optymalnego sposobu uziemienia punktu zerowego sieci kablowej 15 kV w Warszawie. Warszawa 1970 r.
9. Kahnt R., Korner H. - Niederrömige Sternpunktterdung in Mittelspannungs- und Kabelnetzen. Elektrizitätswirtschaft. nr 13, 1968 r.
10. Katedra Elektroenergetyki Politechniki Śląskiej - Studia nad środkami skrócenia czasów działania automatyki zabezpieczeniowej w sieciach rozdziałowych. Praca nr inw. 2/70, Gliwice 1970 r.
11. Kiskaczi W.M., Nazarow J.G. - Opredelenie powrezdennoego prisoadinenija pri zamykanijach na zemlju w kabelnych setjach. Elektrischeskie Stanciji nr 7, 1965 r.
12. Krajowa narada na temat izolacji i przepięć w sieciach średnich napięć. Energetyka nr 9 1968 r.

13. Lawera E., Mikrut M., Pilch Z. - Wpływ niektórych czynników na poprawność działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych zerowo-mocowych w sieciach skompensowanych. Zeszyty Naukowe Polit.Sl. Elektryka nr 31, 1971 r.
14. Łobos T. - Zabezpieczenie sieci od jednofazowych zwarcí doziemnych reagujące na prądowy przebieg przejściowy. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej nr 6 1970 r.
15. Popow I.N. - O principach wypoknienija zaszczyty ot zamykanij na zemlu osnowannoj na ispolzowanii perechodnych processow. Elektriczesstwo nr 2, 1962 r.
16. Possner O. - Netzsternpunktbehandlung. AEG-Mitteilungen 1966 nr 5.
17. Pundt H. - Untersuchungen der Ausgleichsvorgänge bei Erdschluss in Hochspannungsnetzen mit isoliertem Sternpunkt und induktiver Sternpunktterdung als Grundlage zur selektiven Erdschlusserfassung. Dissertation, TU Dresden 1963 r.
18. Rogoń A. - Problemy kompensacji zwarcí doziemnych w sieciach kablowych Energetyka nr 3, 1969 r.
19. Sajkowski J. - Zabezpieczenie od skutków zwarcí doziemnych sieci 6 kV potrzeb własnych bloków oraz silników zasilanych z tej sieci. Opracowanie ZPBE Energopomiar - Gliwice, 1972 r.
20. Sirota I.M. - O principach wypoknienija zaszczyty ot zamykanij na zemlu w kompiensirowannyh sietiach. Awtomatizacija i relejnaja zaszczyta elektrieskich sietiem. Kijew 1966 r.
21. Synal B. - Zabezpieczenia ziemnozwarciowe sieci kablowych kompensowanych na tle warunków krajowych. Przegląd Elektrotechniczny nr 9, 1970 r.
22. Synal B. - Niskoomowe uzziemienie punktu zerowego kablowych sieci średnich napięć - problematyka zabezpieczeniowa. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej nr 8, 1972 r.
23. Synal B., Schier A., Belka H., Salwach T. - Zwarcia doziemne w sieciach rozdzielczych średnich napięć-problematyka zabezpieczeniowa. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej nr 16, 1972 r.
24. Wiszniewski A. - Nadprądowe zabezpieczenie ziemnozwarciowe oparte na przekaźnikach kontraktonowych. Przegląd Elektrotechniczny nr 7 1969 r.
25. Zieliński Z. - Analiza sposobu pracy punktów gwiazdowych w sieciach napowietrznych średnich napięć. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej nr 16 1972 r.
26. Zimmerl L. - Das Erdschlussproblem in Mittelspannungsnetzen. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft nr 5 1969 r.
27. Żeżelenko I.W. i in. - Uczet wlijanija perechodnego soprotiwlenija w sistemach signalizacji zamykanij na zemlu. Elektriczesstwo nr 10, 1969r

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ  
НА РАБОТУ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Резюме

В статье представлены некоторые проблемы связанные с работой сети среднего напряжения в различных режимах работы нейтрали. Особенное внимание обращено на работу защит от замыканий на землю в этих сетях.

## THE INFLUENCE OF ZERO POINT JOINTING FOR THE OPERATING CONDITIONS OF MEDIUM VOLTAGE NETWORKS

### S u m m a r y

Some problems connected with the operating conditions of medium voltage networks when different methods of zero point and earth jointing are applied are discussed.

A lot of attention is given to the problems of work of earthfault protection device in the network.