

Selektywne wyłączanie zwarcí doziemnych w sieciach średnich napięć zakładów przemysłowych – część I

Streszczenie. W cyklu dwóch artykułów zostaną omówione wybrane zagadnienia związane z problematyką funkcjonowania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w izolowanych sieciach średniego napięcia. W niniejszym artykule przedstawiono specyfikę pracy sieci elektroenergetycznych średnich napięć w zakładach przemysłowych, zagadnienia związane z prawidłowym doбором przekładników prądowych w tego typu instalacjach oraz omówiono i przeanalizowano możliwości powstania zjawiska ferorezonansu. Zaprezentowane w artykule zagadnienia są punktem wyjścia do analizy poprawności działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych, które zostaną przedstawione w drugiej części artykułu.

Abstract. The series of two articles will discuss selected factors related to the operation of earth-fault protection in insulated medium voltage networks. This paper specifies the characteristics of medium-voltage power networks in industry, issues related to the proper choice of CTs in this type of installation and it also discusses and analyzes potential feroresonance phenomena. The issues presented in this paper are the starting point for an analysis of the functioning of earth-fault protection, which will be discussed in the second part of the article. (**Selective detection of earth-faults in medium voltage networks of the industrial plants – part I**).

Słowa kluczowe: zwarcia doziemne, zabezpieczenia ziemnozwarciowe, przekładniki Ferrantiego, ferorezonans.

Keywords: earth-fault, earth-fault protection, Ferranti current transformer, feroresonance.

doi:10.12915/pe.2014.03.05

Wstęp

Najczęstszą awarią występującą w sieciach średniego napięcia są zwarcia doziemne jednej fazy spowodowane obniżeniem parametrów izolacji, uszkodzeniami mechanicznymi, bądź błędami obsługi. Doziemienie jednej fazy w sieciach izolowanych z reguły nie stanowi jeszcze poważnej awarii. Wzrasta jednak ryzyko powstania groźnego zwarcia wielofazowego. Selektywnie działające zabezpieczenia ziemnozwarciowe pozwalają ograniczyć to ryzyko.

W niniejszym artykule zostaną omówione wybrane zagadnienia dotyczące specyfiki pracy zabezpieczeń ziemnozwarciowych w izolowanych sieciach średniego napięcia. Zagadnienia i spostrzeżenia przedstawione w referacie są efektem analiz teoretycznych, doświadczeń ruchowych oraz prób zwarciovych. Właściwy dobór i parametryzacja zabezpieczeń ziemnozwarciowych, stosowanych w takich sieciach, może w sposób znaczący poprawić selektywność i szybkość podejmowanych przez nie decyzji, a w efekcie doprowadzi również do ograniczenia strat spowodowanych awariami w takich sieciach.

Na bazie analiz teoretycznych i zebranych doświadczeń zostało skonstruowane zabezpieczenie ziemnozwarciowe typu Zlo. Jego działanie i doświadczenia eksploatacyjne przedstawione zostaną w drugiej części artykułu.

Specyfika pracy sieci elektroenergetycznych średnich napięć w zakładach przemysłowych

Sieci ŚN w zakładach przemysłowych, w odróżnieniu od sieci rozdzielczych, są znacznie mniej rozległe [1, 2]. Z tego powodu poziomy ziemnozwarciowych prądów pojemnościowych w tych sieciach są odpowiednio niższe. Niska wartość prądu ziemnozwarciowego pozwala na zrezygnowanie z kompensacji. W sieciach rozdzielczych poprawę warunków działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych uzyskuje się poprzez uziemianie punktu gwiazdowego transformatora przez rezystor (stałe lub chwilowe). W Polsce, w sieciach przemysłowych, zazwyczaj nie stosuje się rezystora uziemiającego. Z jednej strony jest to spowodowane wyższymi kosztami inwestycyjnymi, z drugiej zaś tym, że wymuszanie dodatkowego prądu ziemnozwarciowego zwiększa zagrożenie możliwością powstania poważniejszych uszkodzeń silników zasilanych z tej sieci. Sieci przemysłowe są najczęściej sieciami kablowymi, co zmniejsza ryzyko bezpośredniego dotknięcia części

czynnej, a małe prądy ziemnozwarciowe powodują niewielkie zagrożenie występowania niebezpiecznych napięć dotykowych w czasie doziemienia. Sieci rozdzielcze, zwłaszcza napowietrzne, są pod tym względem znacznie bardziej niebezpieczne. Dlatego głównym celem szybkiego wyłączania zwarcí doziemnych w sieciach przemysłowych jest ochrona urządzeń i maszyn, ponieważ utrzymujące się doziemienie może przerodzić się w zwarcie wielofazowe. Skutki takiej awarii są często kosztowne ze względu na powstałe uszkodzenia jak i przerwy w pracy. W sieciach rozdzielczych straty spowodowane ewentualnymi zwarciami wielofazowymi są stosunkowo niższe, natomiast ważniejsze jest szybkie wyłączanie doziemień z powodu niebezpieczeństwa porażenia prądem elektrycznym.

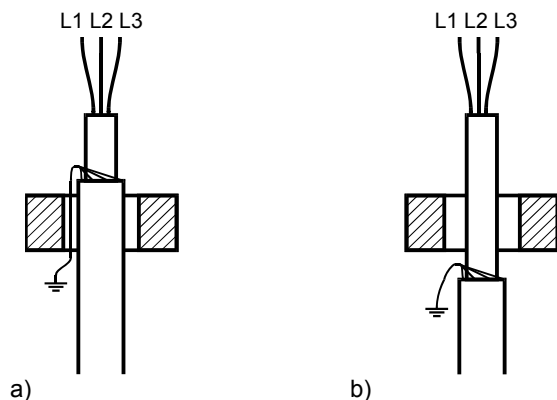
Przytoczone tu niektóre różnice sieci przemysłowych w stosunku do sieci rozdzielczych wymuszają też inne podejście co do specyfiki działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Ze względu na niewielkie prądy ziemnozwarciowe, czasem nawet poniżej 1A, zabezpieczenia w sieciach przemysłowych muszą charakteryzować się dużą czułością, oraz powinny działać selektywnie przy zmieniającej się konfiguracji sieci, a więc zmieniającym się rozpliwie prądów ziemnozwarciowych. Powinny one również prawidłowo wykrywać często występujące zwarcia doziemne łukowe, nie zmniejszając przy tym znacząco swojej czułości działania.

Przekładniki prądowe stosowane w sieciach o małym prądzie zwarcia doziemnego

Ważnym czynnikiem wpływającym na poprawność funkcjonowania każdego typu zabezpieczeń jest właściwy dobór i montaż przekładników prądowych. Ma to szczególne znaczenie w sieciach izolowanych. Ze względu na małe wartości prądów ziemnozwarciowych stosowane są w nich przekładniki Ferrantiego. Dobrej klasy przekładniki ziemnozwarciowe pozwalają poprawnie zmierzyć prądy już od wartości 100mA. Należy mieć jednak świadomość, że w przypadku stosowania przekładników ziemnozwarciowych, o dokładności pomiaru decyduje nie tylko ich klasa, ale właśnie poprawność montażu w miejscu zainstalowania oraz stopień obciążenia przekładnika. Przy zachowaniu odpowiedniej „jakości” montażu, można uchyb prądowy zminimalizować do poziomu nie wpływającego w istotny sposób na wynik pomiaru. Błąd systematyczny transformacji (polegający na zmniejszeniu wartości prądu

płynącego po stronie wtórnej przekładnika) w funkcji wielkości obciążenia można wtedy uwzględnić przy parametryzacji wartości wielkości rozruchowej przekładników.

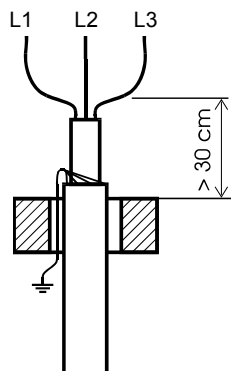
Z dostępnych doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że jednym z najczęstszych błędów montażowych jest niewłaściwe uziemienie pancerza kabla. Poprawny sposób uziemienia pancerza kabla został przedstawiony na rysunku 1. Inny sposób uziemienia pancerza kabla niż pokazany na rysunku 1 spowoduje przepływ przez okno przekładnika dodatkowego prądu będącego prądem wyrównującym potencjały siatek uziemiających powiązanych z końcówkami kabla. Prąd ten może zostać wygenerowany dopiero w czasie zwarcia doziemnego, co z kolei może być przyczyną nieselektywnego działania zabezpieczeń.



Rys. 1. Zalecany sposób uziemienia pancerza (żyły zwrotnej) kabla

Występują również przypadki uziemienia pancerza kabla na odcinku pomiędzy przekładnikiem ziemnozwarciowym a końcówką kabla (np. poprzez pozostawienie uziemień metalowych obejm mocujących kable). W takim przypadku występuje efekt „zwartego zwoju”. Bocznikuje on prąd doziemny mierzony przez przekładnik ziemnozwarciowy. Przypadek taki ma często miejsce na modernizowanych obiektach, gdy – ze względów konstrukcyjnych – założenie przekładnika bezpośrednio na końcu kabla (w polu rozdzielni) jest utrudnione. W takim przypadku przekładnik montowany jest od strony kablowni – przed przejściem przez strop rozdzielni. Zapomina się wtedy o istniejących uchwytach kablowych.

Zbyt bliskie usytuowanie przekładnika ziemnozwarciowego względem końca kabla również może być przyczyną powstania dodatkowych prądów uchybowych indukowanych po stronie wtórnej przekładnika przy przepływie prądów zwarciovych, łączeniowych, a nawet roboczych. Zalecany sposób montażu wynikający z przeprowadzonych prób zwarciovych i doświadczeń eksploatacyjnych przedstawiony został na rysunku 2.



Rys. 2. Zalecany sposób usytuowania przekładnika względem odgiętych końcówek kabla

Łączenie równoległe kilku przekładników w przypadku zabezpieczania wiązki kabli równoległych prowadzi do powstawania poważnych uchybów w transformacji prądów doziemnych. Jest to spowodowane wzajemnym obciążaniem się przekładników. W takim przypadku należy zastosować wyselekcjonowane przekładniki o zbliżonych charakterystykach. Dobre efekty daje też zastosowanie jednego przekładnika obejmującego swym obwodem magnetycznym wszystkie kable równoległe.

Niedokładne skręcenie lub zabrudzenie w czasie montażu powierzchni styku połówek rdzenia przekładników o dzielnym rdzeniu w sposób zdecydowany pogarszają parametry przekładnika, a w szczególności wpływają na wzrost uchybu transformacji prądów. Omyłkowe zwarcie końcówek uzwojenia pomocniczego służącego do przeprowadzania okresowych sprawdzeń zabezpieczeń powoduje również nieprawidłową pracę przekładnika

Wychycenie większości błędów montażowych jest możliwe przez dokonanie pomiaru przekładni prądowej przekładnika. Do pomiaru prądu po stronie wtórnej należy zastosować miliamperomierz o oporności wewnętrznej nie przekraczającej 1Ω , aby w jak najmniejszym stopniu obciążyć przekładnik. Pomiaru należy dokonywać przy wyłączonym polu i nie uziemionym kablu. Pojawienie się prądu po stronie wtórnej, mimo wyłączenia pola i braku uziemia kabla, świadczy o niewłaściwym dodatkowym uziemieniu pancerza kabla za przekładnikiem. W praktyce można było napotkać również przypadki, kiedy przekładnik ziemnozwarciowy był zamocowany w pobliżu (ok. 10cm) stalowej konstrukcji budynku. Prąd płynący w tej konstrukcji powodował indukowanie się prądu w uzwojeniu wtórnym przekładnika o wartości kilku mA.

Duża impedancja wejściowa lub duża rezystancja przewodów łączeniowych prowadzi do znacznych uchybów. Przykładowe charakterystyki błędów pomiaru w funkcji prądu w oknie i obciążenia przekładnika pokazane zostały na rysunku 3. Do badań zostały wybrane przekładniki specjalnie dostosowane do pracy w sieciach o bardzo małych prądach zwarcia z ziemią.

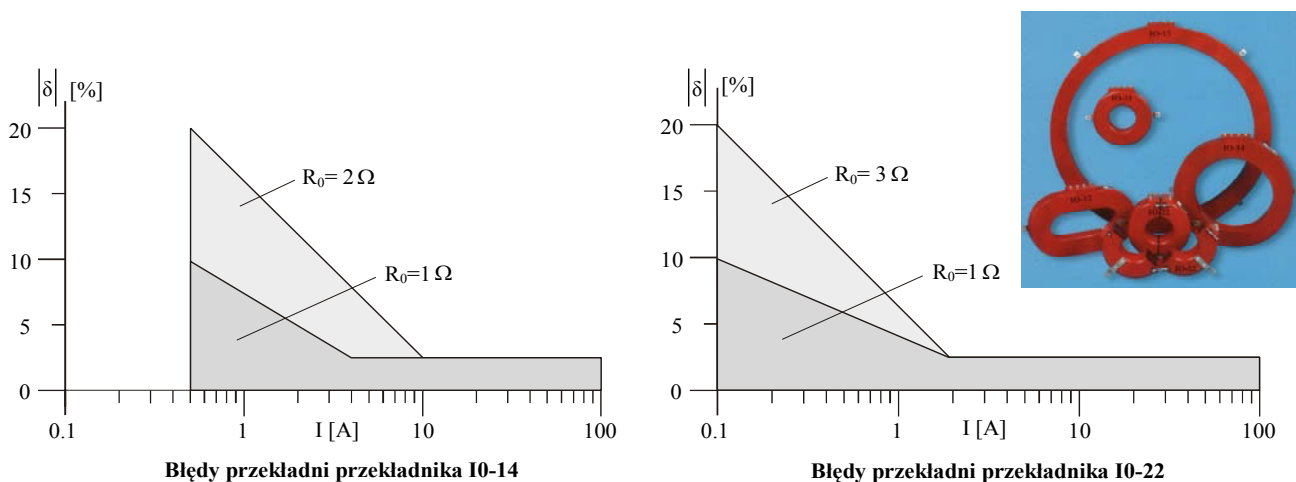
Pewne problemy mogą wiązać się również z pomiarem napięcia $3U_0$, generowanego w obwodzie tzw. „otwartego trójkąta” przekładników napięciowych. Zdarza się, że w obwodzie tym pojawia się napięcie o znacznej wartości w czasie, gdy rozdzielnia jest nieobciążona. Znane są przypadki, gdy to napięcie wynosiło ok. 30V. Napięcie to było efektem asymetrii obciążenia przekładników napięciowych. W tym konkretnym przypadku przekładniki napięciowe były niesymetrycznie obciążone licznikami umieszczonymi w prawie każdym polu rozdzielni. W tej sytuacji należy rozłożyć obciążenia przekładników napięciowych równomiernie pomiędzy poszczególne fazy lub dodatkowo dołożyć obciążenie korygujące asymetrię, tak aby nie dochodziło do zbędnych działań zabezpieczeń.

W obwodzie „otwartego trójkąta” w czasie normalnej pracy sieci wartość napięcia jest bliska zeru. Z tego powodu w razie wystąpienia jakiegokolwiek usterki w tym obwodzie, nie ma możliwości zaalarmowania obsługi o fakcie jej wystąpienia. Usterka ta ujawnia się dopiero w czasie zwarcia doziemnego i prowadzi do braku działania automatyki zabezpieczeniowej. Najczęstsze usterki to przerwy i zwarcia w obwodzie $3U_0$, rozprowadzonym jako szyny okrężne po wszystkich polach rozdzielni. Dlatego należy okresowo dokonywać przeglądów stanu obwodów otwartego trójkąta.

Osobnym problemem jest zapewnienie prawidłowej kierunkowości obwodów prądowych jak i napięciowych. Analityczne ustalenie kierunkowości jest często utrudnione. Powodem tego jest fakt częstego nieoznaczania przez projektantów na schematach biegunowości pierwotnej

przekładników. Prowadzi to do ich przypadkowego montażu, a w konsekwencji do nieselektywnego działania zabezpieczeń. Jedną z metod, jaką można posłużyć się do

wyeliminowania tego rodzaju „błędu” jest wymuszanie odpowiedniego napięcia i prądu po pierwotnej stronie przekładników.

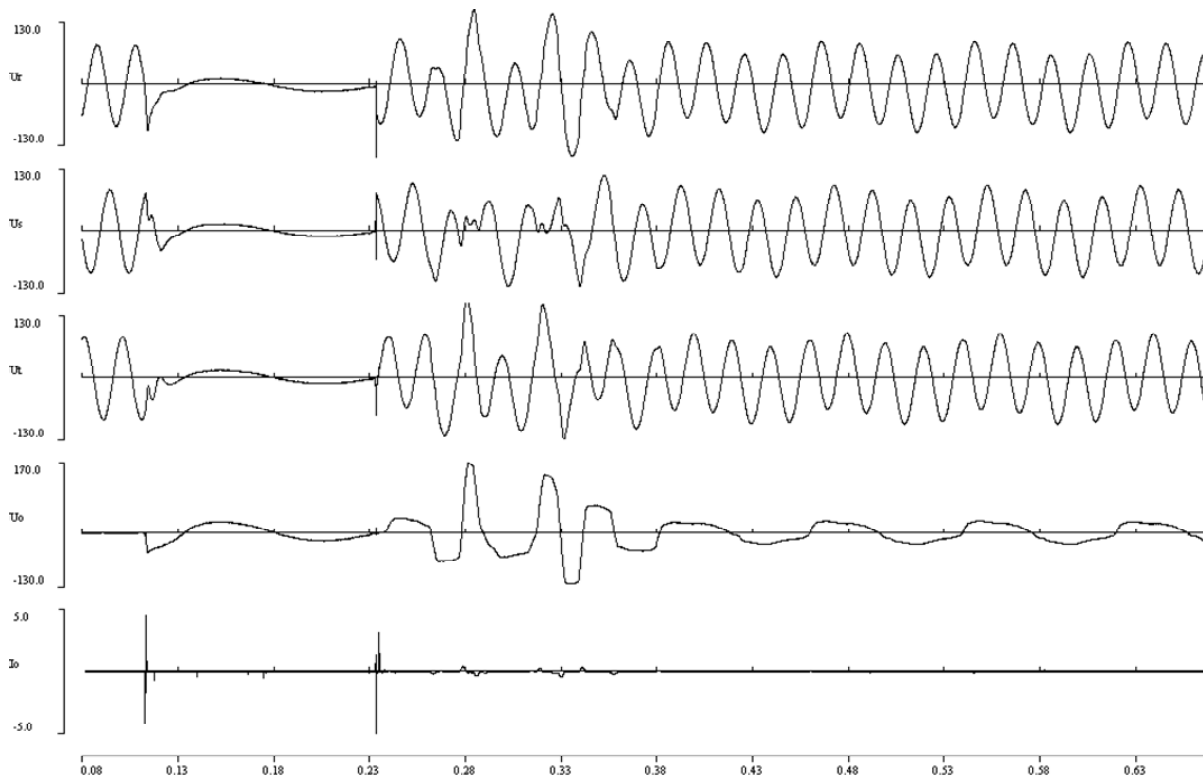


Rys. 3. Przykładowe charakterystyki przekładników ziemnozwarciowych produkcji Energotest-Energopomiar

Zjawisko ferre rezonansu

W sieciach izolowanych o niewielkich prądach zwarcia z ziemią może powstać zjawisko ferre rezonansu. Polega ono na rezonansie pomiędzy pojemnością doziemną sieci a nieliniową indukcyjnością przekładników napięciowych. Zjawisko to najczęściej objawia się występowaniem drgań elektrycznych o częstotliwości zbliżonej do 25Hz. Powstanie drgań o wyższej częstotliwości (50Hz i 150Hz) jest znacznie mniej prawdopodobne lub są one samoistnie wygaszane. Czynnikiem inicjującym drgania są najczęściej stany nieustalone. Najczęściej są one wynikiem manipulacji łączeniowych lub wyłączenia zwarcia doziemnego.

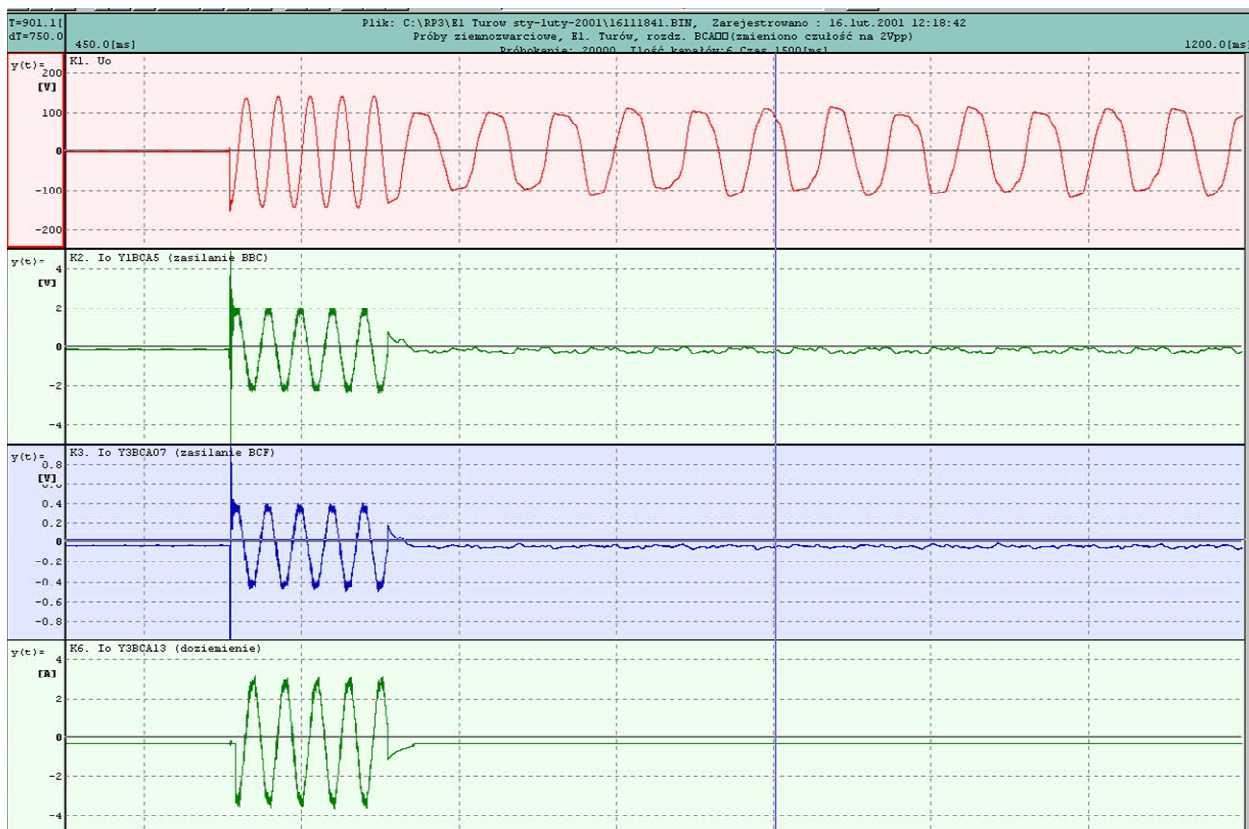
Doświadczenia obiektowe [3] potwierdzają, że podczas przeprowadzania prób ziemnozwarciowych wielokrotnie obserwuje się to zjawisko. Na jednych obiektach obserwowane drgania ustawały samoistnie lub po dociążeniu przekładników. Zdarzały się również przypadki, kiedy „wygaszenie” ferre rezonansu było możliwe tylko poprzez odłączenie przekładników napięciowych. Przykłady rejestracji zjawiska ferre rezonansu zamieszczono na rysunkach 4 i 5. W pierwszym przypadku (rysunek 4) zjawisko to pojawiło się w wyniku operacji łączeniowych (PPZ). W drugim (rysunek 5) było wynikiem eliminacji zwarcia doziemnego.



Rys. 4. Przebiegi napięć fazowych, $3U_0$ i prądu $3I_0$ w jednym z pól odplywowych w czasie manipulacji łączeniowych (PPZ)

Drgania ferorezonansowe stanowią zagrożenie szczególnie dla przekładników napięciowych. Przekładniki te nadmierne nagrzewają się i w efekcie dochodzi do ich uszkodzenia. Drgania ferorezonansowe mogą być też przyczyną błędnego działania zabezpieczeń jak też innych urządzeń automatyki, które bazują na pomiarze napięć fazowych. Z tego powodu powinno się ograniczać możliwość powstania tego zjawiska. Można tego dokonać poprzez obciążenie dodatkową rezystancją obwodu otwartego trójkąta oraz obwodów wtórnych przekładników poszczególnych faz. Dodatkowa rezystancja wprowadza odpowiednio większe tłumienie do obwodu rezonansowego, co zwykle pomaga w samoistnym wygaszeniu drgań ferorezonansowych. Innym sposobem może być obniżanie

napięcia nieobciążonej rozdzielni. Zmniejsza się przez to prawdopodobieństwo wejścia w obszar pracy nieliniowej przekładników napięciowych. W większych sieciach wskazane jest również, ograniczenie liczby przekładników napięciowych. Środkiem nie zapobiegającym powstawaniu ferorezonansu, ale umożliwiającym obsłudze podjęcie stosownych działań, jest zainstalowanie urządzeń wykrywających ferorezonans. Przykładem mogą być tu zabezpieczenia rodziny ZI₀ posiadające człon wykrywający składową 25Hz w napięciu 3U₀ w obwodzie otwartego trójkąta. Zasada działania tego zabezpieczenia oraz doświadczenia ruchowe zostaną przedstawione w drugiej części artykułu.



Rys. 5. Wzbudzenie ferorezonansu po zadziałaniu zabezpieczenia ziemnozwarciowego

Podsumowanie

W artykule omówiono wybrane zagadnienia dotyczące specyfiki pracy zabezpieczeń ziemnozwarciowych w izolowanych sieciach średniego napięcia. Na podstawie analiz teoretycznych, doświadczeń ruchowych oraz prób zwarciovych można stwierdzić, że właściwa parametryzacja zabezpieczeń ziemnozwarciowych, stosowanych w takich sieciach [4, 5], może w sposób znaczący poprawić selektywność i szybkość podejmowanych przez nie decyzji. Jednocześnie z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że jednym z kluczowych zagadnień, umożliwiających uzyskanie wysokiej selektywności i dużej szybkości podejmowanych decyzji jest nie tylko właściwy dobór kryterium i terminalu zabezpieczeniowego, ale również dobór i odpowiedni montaż przekładników prądowych.

LITERATURA

- [1] Adam Pawłowski, Albin Trybus - „Zabezpieczenia ziemnozwarciowe”, OWPT, Bielsko-Biała 1983
- [2] Prace naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej. Seria: konferencje - „Zjawiska i zabezpieczenia

ziemnozwarciowe w sieciach rozdzielczych średniego napięcia.” - II Krajowa konferencja naukowo-techniczna. Szklarska Poreba maj 1997 r.

- [3] Waldemar Graczykowski, Marek Trojanowski, Grzegorz Konopiński: „Badania reakcji zabezpieczeń ziemnozwarciowych podczas prób zwarciovych w El. Bełchatów”- wyniki prób zwarciovych
- [4] Mariusz Talaga, Franciszek Rodoń: „Dokumentacja techniczno ruchowa mikroprocesorowego zabezpieczenia ziemnozwarciowego typu ZI₀” – Energotest-Energopomiar 1999
- [5] Lorenc J., Hoppel W.: Techniczne środki wspomagające działanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach SN., *Przegląd Elektrotechniczny*, R.85 9/2009, s. 241-248

Autorzy: mgr inż. Mariusz Talaga, Energotest sp. z o.o., ul. Chorzowska 44B, 44-100 Gliwice, E-mail: MTalaga@energotest.com.pl; dr hab. inż. Adrian Halinka, Prof. Pol. Śl., Politechnika Śląska w Gliwicach, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-Mail: Adrian.Halinka@polsl.pl; dr inż. Michał Szewczyk, Politechnika Śląska w Gliwicach, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-Mail: Michal.Szewczyk@polsl.pl.