

Artykuł przygotowany na konferencję naukową **Współczesna problematyka sieci średnich napięć** w 2007 r. – Kórnik k/Poznań

Witold HOPPEL, Józef LORENC
Politechnika Poznańska
Instytut Elektroenergetyki

**WYKORZYSTANIE SYSTEMU MPZ-NET DO REALIZACJI FUNKCJI
ADAPTACYJNYCH ZABEZPIECZEŃ I POMIARU KOMPENSACJI
ZIEMNOZWARCIOWEJ
UTILISING MPZ-NET SYSTEM TO PERFORM ADAPTIVE FUNCTIONS
OF EARTH FAULT PROTECTIONS**

Streszczenie: Artykuł jest próbą wprowadzenia funkcji adaptacyjnych do zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym. Efektem tego zabiegu ma być wykrywanie zwarć doziemnych o możliwie dużym zakresie rezystancji przejścia lub o łuku przerywanym. W tym celu proponuje się dopasowywanie nastaw wybranych kryteriów do warunków panujących w sieci przed wystąpieniem zwarcia oraz korzystanie z wymiany informacji sterowników zawierających funkcje ziemnozwarciowe w poszczególnych polach z urządzeniami umieszczonymi w innych punktach sieci. W artykule przedstawiono opracowany w Politechnice Poznańskiej system MPZ-NET, który pozwala na łatwą realizację funkcji adaptacyjnych w cyfrowych zabezpieczeniach typu CZIP.

Summary: In this paper we try to introduce adaptive functions into earth fault protection systems in networks with ineffective zero (neutral) point grounding. We expect to be able to detect earth faults across wide range of transition resistance or break caused by an electric arc. To achieve this goal we propose adapting the settings of chosen criteria according to the network conditions prior to the earth fault, as well as using the information flow between controllers equipped with earth fault functions in respective fields and the devices at other locations in the network. We discuss the MPZ-NET system developed at Poznan University of Technology, which enables straight forward performance of adaptive functions in digital protection device called CZIP.

1. Wstęp

Definicja zabezpieczeń adaptacyjnych podana w [1] jest następująca: *Zabezpieczenia adaptacyjne polegają na automatycznym wprowadzaniu zmian w realizacji poszczególnych funkcji zabezpieczeniowych celem lepszego ich dostosowania do panujących aktualnie warunków systemowych.* Jest to więc definicja dość szeroka i obejmuje również niektóre klasyczne zabezpieczenia pracujące od wielu lat (np. zabezpieczenia różnicowe stabilizowane lub zabezpieczenia wykorzystujące modele cieplne). W obecnie eksploatowanych konstrukcjach cyfrowych korzystanie z funkcji adaptacyjnych jest technicznie znacznie łatwiejsze i istnieje wiele przykładów ich aplikacji. Powszechnie wykorzystywane są algorytmy pomiarowe z adaptacją do zmian częstotliwości i korekcji błędów układów przetwarzania sygnałów oraz algorytmy lokalizacji zakłóceń z uwzględnieniem adaptacyjności do różnych konfiguracji sieciowych.

Niniejszy artykuł jest próbą wskazania możliwości realizowania funkcji adaptacyjnych dla potrzeb zabezpieczeń ziemnozwarciowych sieci średnich napięć. Zdaniem autorów można w ten sposób zwiększyć skuteczność wykrywania zwarć szczególnie kłopotliwych, w których pojawia się znaczna rezystancja przejścia w miejscu zakłócenia.

Obecnie większość zabezpieczeń ziemnozwarciowych linii korzysta z naturalnych sygnałów składowej zerowej napięcia sieci i składowej zerowej prądu powstających podczas zwarcia doziemnego. Indywidualne zabezpieczenie określonej linii z reguły nie korzysta z wielkości pomiarowych pojawiających się w sąsiednich elementach i nie wymienia z nimi informacji poza pojedynczymi sygnałami logicznymi (np. o zadziałaniu automatyki AWSCz dla zabezpieczeń porównawczo-admitancyjnych).

Założonym w publikacji celem adaptowania się zabezpieczeń ziemnozwarciowych jest wykrywanie zwarć o możliwie dużej rezystancji przejścia lub niestabilnych zwarć przerywanych. Adaptacja zabezpieczeń ziemnozwarciowych dążąca do realizacji tych celów wymaga uwzględniania zmian w czasie takich wielkości jak:

- uchyby pomiarowe w obwodach składowych zerowych linii,
- admitancja doziemna linii,
- admitancja uziemienia punktu neutralnego sieci,
- napięcie naturalnej asymetrii doziemnej sieci.

Na temat uchybów pomiarowych brak jest pewnych i szczegółowych danych. W doborze nastaw dla poszczególnych kryteriów działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych uwzględnia się szacowany poziom uchybów w zależności od zastosowanego filtra składowej zerowej prądu. Pomija się w analizach problem uchybów filtrów składowych zerowych napięcia, których wpływ jest minimalny.

Nie wchodząc w szczegóły związane ze sposobami pracy punktu neutralnego sieci, można podzielić kryteria ziemnozwarciowe [2-4] na dwie grupy :

- a) silnie reagujące na wartość rezystancji przejścia w miejscu zwarcia,
- b) praktycznie nie reagujące na wartość rezystancji przejścia.

Do grupy „a” należą przede wszystkim rozwiązania jednowielkościowe takie jak zerowoprądowe lub zerowonapięciowe. Grupę „b” reprezentują układy wykorzystujące obie wielkości pomiarowe (I_0 i U_0), których typowym przykładem są zabezpieczenia admitancyjne. Należy jednak zaznaczyć, że kryteria admitancyjne są uaktywniane członem zerowonapięciowym i w związku z tym ich niezależność czułości od rezystancji przejścia jest ograniczona wartością nastawczą takiego członu napięciowego

Dla typowych zabezpieczeń obowiązuje zasada, że im większa nastawa – tym mniejsza czułość czasem uniemożliwiająca całkowicie działanie kryterium, a im nastawa mniejsza – tym czułość lepsza, ale przy zbyt małej nastawie mogą pojawić się zadziałania zbędne. Wraz z działaniami brakującymi stwarzają one niepożądane skutki w sieci elektroenergetycznej.

2. Warunki pracy wybranych zabezpieczeń ziemnozwarciowych

Dla kryteriów zerowonapięciowych i zerowoprądowych można sformułować następujące zależności:

$$U_{0nast} > f(U_{ns}, t) \quad (1)$$

$$I_{0nast} = f_1(C_L) + f_{2a}(\Delta_i) + f_{2b}(U_{ns}) \quad (2)$$

gdzie:

U_{0nast} – nastawa kryterium zerowonapięciowego,

U_{ns} – napięcie asymetrii,

t – czas,

C_L - pojemność doziemna zabezpieczanej linii,

Δ_i – uchyby zastosowanego filtra składowej zerowej prądu,

f_1, f_2, \dots - funkcje opisujące zależność.

Napięcie asymetrii zależy od tak wielu czynników (ma na nie wpływ również aktualna konfiguracja sieci i aktualne parametry urządzeń w punkcie neutralnym), że można je potraktować jako funkcję losową zmienną w czasie. Stąd bieżąca nastawa zabezpieczenia zerowonapięciowego może być zależna od średniej wartości U_{ns} w pewnym okresie czasu poprzedzającym badanie kryterium rozruchu.

W klasycznych sytuacjach wartość nastawcza I_{0nast} jest obliczana przeważnie przy pominięciu trzeciego członu wzoru (2) lub przy uwzględnieniu tego zjawiska w postaci współczynnika bezpieczeństwa w funkcji f_1 . Należy jednak pamiętać, że podczas rzeczywistego zwarcia doziemnego w liniach zdrowych na wartości mierzone składowej zerowej prądu mogą mieć porównywalny wpływ wszystkie składowe tego wzoru.

W ogólnym przypadku efektywność działania zabezpieczeń zerowoprądowych zależy od ich zdolności do spełnienia warunku:

$$I_{onast} > \frac{U_{op\ max} k_b I_{0p}}{U_{op}} \quad (3a)$$

lub dokładniej:

$$I_{onast} > \frac{U_{op\ max} k_b (I_{0p} - I_{\mu})}{U_{op}} + I_{\mu\ nast} \quad (3b)$$

w których:

$U_{op\ max}$ - maksymalna wartość U_{op} ($U_{op\ max} = 100V$),

k_b - współczynnik bezpieczeństwa obejmujący głównie błędy pomiarowe i obliczeniowe, proponuje się przyjmować 1,2,

I_{0p} - wartość składowej zerowej prądu linii zdrowej podczas zwarcia doziemnego w sieci,

I_{μ} - rzeczywista wartość prądu uchybowego w czasie zwarcia doziemnego,

$I_{\mu\ nast}$ - wartość prądu uchybowego szacowana przy wyznaczaniu nastawy.

W zabezpieczeniach admitancyjnych czułość w obszarze ich działania nie zależy od wartości rezystancji przejścia, a wartości mierzonej konduktancji G_0 wyznaczyć można z równań:

$$G_{0p} = f_3(G_L) + f_4(Y_{\Delta}) \quad - \text{ dla linii zdrowej,} \quad (4)$$

$$G_{0p} = f_5(G_S) + f_6(Y_{\Delta}) + f_7(G_N) \quad - \text{ w linii doziemionej.} \quad (5)$$

gdzie:

G_L i G_S - konduktancje linii (L) lub sieci (S), które są związane z jej upływnościami i najczęściej nie przekraczają 2-3 % wartości admitancji,

Y_{Δ} - admitancja wynikająca z uchybów filtrów składowych zerowych i samego zabezpieczenia, może mocno zależeć od jego konstrukcji, a dla zastosowanych algorytmów pomiarowo-decyzyjnych w rozwiązaniach cyfrowych (np. 0,1-0,2 mS),

G_N - konduktancja charakteryzująca urządzenia zainstalowane w punkcie neutralnym sieci.

Wartość admitancji mierzonej w linii zdrowej podczas doziemienia w sieci wynosi:

$$Y_{0p} = f_8(Y_L) + f_6(Y_{\Delta}) \quad (6)$$

a wartość admitancji mierzonej w linii uszkodzonej:

$$Y_{0p} = f_9(Y_L) + f_6(Y_{\Delta}) + f_{10}(Y_N) \quad (7)$$

gdzie:

Y_L - admitancja linii,

Y_N - konduktancja urządzeń zainstalowanych w punkcie neutralnym sieci.

Najmniej czytelną i rozpoznaną wielkością jest admitancja oznaczona jako Y_{Δ} . Składają się na nią przede wszystkim uchyby filtrów Ferrantiego lub Holmgrena oraz uchyby przetworników indukcyjnych i analogowo-cyfrowych w układach wejściowych zabezpieczeń.

Można więc przyjąć, że:

$$Y_{\Delta} = Y_{\mu} + Y_R \quad (8)$$

gdzie:

Y_{μ} - uchyb wynikający z właściwości filtra składowej zerowej prądu

Y_R - uchyb zabezpieczenia.

W odniesieniu do Y_{μ} przyjmuje się jedną z dwóch możliwości:

- stałą wartość zależną tylko od typu zastosowanego filtra - rzędu 0,6 mS dla Ferrantiego i 2,0-2,5 mS dla Holmgrena,
- wartość zależną od nastawy U_{onast} członu zerowonapięciowego, czyli:

$$Y_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{U_{0nast}} \quad (9)$$

gdzie:

I_{μ} – prąd uchybowy filtra składowej zerowej prądu, który przyjmować można w granicach 10 – 20 mA dla przekładnika Ferrantiego lub 30 – 40 mA dla układu Holmgreena.

Przyjęcie drugiej zasady przyczynia się do znacznego zmniejszenia czułości zabezpieczeń przy małych wartościach nastawczych U_{0nast} , np. dla Ferrantiego przy nastawie 5 V admitancja Y_{μ} jest już rzędu 2 – 4 mS.

3. Możliwości adaptacji zabezpieczeń ziemnozwarciowych do aktualnych warunków ich pracy

Jak stwierdzono wcześniej, większość składowych mierzonych wielkości kryterialnych przyjmuje wartości zmienne w czasie. Dotyczy to nie tylko napięcia U_{ns} i prądu I_{μ} , ale również parametrów doziemnych linii C_L , G_L i punktu neutralnego sieci Y_N . W związku z tym rzeczywiście wymagane wartości nastawcze zabezpieczeń ziemnozwarciowych mogą być adaptowane do aktualnych warunków panujących w sieci i w układach pomiarowych.

Dość łatwo wprowadzić funkcje adaptacyjne do zależności na wartości nastawcze zabezpieczeń admitancyjnych (wzory 4 i 6). W tym celu wystarczy do warunku (9) zamiast U_{0nast} wprowadzić aktualną wartość U_0 występującą podczas aktualnie rejestrowanego zwarcia doziemnego. W tej sytuacji nastawa admitancji czy konduktancji rozruchowej będzie różna dla zmieniających się parametrów zakłócenia.

Adaptacja nastaw może być również wynikiem ciągłego monitorowania prądu I_{μ} . Nowoczesne zabezpieczenia cyfrowe są zdolne do rejestrowania bieżących wartości sygnałów pomiarowych. Podczas normalnych warunków pracy sieci w mierzonych prądach obwodów zerowych linii, przy pomijalnie małym napięciu U_{ns} może wystąpić jedynie składowa wywołana przede wszystkim prądem I_{μ} . W ten sposób zdobyta informacja może zostać wykorzystana do bieżącego uaktualniania nastaw zabezpieczeń zerowoprądowych i admitancyjnych. Należy wtedy w miejsce szacowanej wartości prądu I_{μ} wprowadzić wartości zmierzone przez zabezpieczenie przed pojawieniem się zwarcia doziemnego z pewnym współczynnikiem bezpieczeństwa. Wymaga to jednak dużej dokładności pomiarowej zabezpieczeń, szczególnie w zakresie małych wartości.

Funkcje adaptacji nastaw mogą również korzystać z informacji o rzeczywistych i aktualnych wartościach parametrów doziemnych poszczególnych linii. Z praktyki eksploatacyjnej sieci SN wynika, że występują w niej częste przełączenia w jej konfiguracji, które zmieniają długości poszczególnych linii i ich parametry doziemne. W związku z tym przy wyznaczaniu nastaw automatyki ziemnozwarciowej przyjmuje się możliwie maksymalne wartości parametrów linii (C_{Lmax} i G_{Lmax}), co często zawyża ich ostateczny poziom zmniejszając niepotrzebnie czułość działania zabezpieczeń. W eliminowaniu takich sytuacji pomocna może być wiedza o aktualnym stanie sieci i parametrach poszczególnych linii. Wiedza taka może być zdobywana przez rejestratory cyfrowych systemów zabezpieczeniowych instalowanych w polach liniowych rozdzielni SN. Każde doziemienie sieci może dostarczać nowych informacji dla potrzeb uaktualnienia nastaw w algorytmach ziemnozwarciowych.

Powyższe rozważania wyraźnie wskazują, że możliwości adaptacyjne zabezpieczeń ziemnozwarciowych mogą dotyczyć głównie zmian nastaw rozruchowych w celu lepszego dopasowaniu ich do aktualnych warunków w sieci i błędów pojawiających się w torach pomiarowych.

Z ogólnej teorii zabezpieczeń nadmiarowych, w tym również ziemnozwarciowych dla sieci SN wynika, że zwiększanie czułości ich działania przez zmniejszanie nastaw zwiększa prawdopodobieństwo działań zbędnych. Takie ryzyko wystąpić może przede wszystkim w tradycyjnych rozwiązaniach, w których zabezpieczenia ziemnozwarciowe podejmują autonomiczne decyzje oddzielnie dla każdego zabezpieczanego elementu sieci, a selektywność działania uzyskuje się przez stopniowanie nastaw czasowych. Obecne możliwości komunikowania

się zabezpieczeń ze sobą pozwalają na wprowadzenie zasady, że w galwanicznie połączonej sieci SN decyzję o otwarciu wyłącznika może podejmować tylko jedno zabezpieczenie ziemnozwarciowe.

W algorytmach logicznego podejmowania decyzji można również wprowadzić warunek, że podczas zwarć złożonych (np. zwarcie dwufazowe z ziemią) powinny najpierw zadziałać zabezpieczenia od skutków zwarć międzyfazowych. W sieci skompensowanej warunek ten jest realizowany dzięki znacznie większemu opóźnieniu czasowym działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych niż układów reagujących na skutki zwarć międzyfazowych.

Funkcje adaptacyjne zabezpieczeń ziemnozwarciowych mogą również dotyczyć algorytmu podejmowania decyzji w przypadku jednoczesnego rozruchu zabezpieczeń ziemnozwarciowych w kilku polach liniowych. W takich sytuacjach może obowiązywać zasada, że wyłączane jest pole, w którym zmierzona składowa zerowa prądu, konduktancji czy admitancji jest największa.

4. Wykorzystanie systemu MPZ-NET w realizacji funkcji adaptacyjnych zabezpieczeń ziemnozwarciowych

W Politechnice Poznańskiej opracowany został układ MPZ-NET [5] przystosowany do współpracy z rozproszonymi zabezpieczeniami cyfrowymi CZIP powiązany systemem CZIP-NET. Schemat powiązań współpracy MPZ-NET i CZIP-NET jest przedstawiony na rys.1. Rozproszony system zabezpieczeń pozwala zbierać i koncentrować informacje o wartościach wielkości ziemnozwarciowych w poszczególnych polach rozdzielni takich, jak:

- składowa zerowa prądu linii (I_0),
- składowa zerowa napięcia sieci (U_0),
- admitancja doziemna i jej składowe (Y_0, G_0, B_0).

Pomiary tych wielkości dokonywane są podczas zwarć doziemnych sieci, ich wartości gromadzone są w specjalnym zbiorze koncentratora systemu CZIP-NET. Informacje zgromadzone w tym zbiorze po kilku zakłóceniach doziemnych (przynajmniej dwa zwarcia stabilne) mogą stanowić bazę danych dla specjalizowanego programu MPZ-NET, który dokonując odpowiednich przeliczeń przygotowuje zestaw wyników w postaci :

- wartości aktualnych wymagań w zakresie nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych w liniach SN,
- parametrów obwodu uziemienia punktu neutralnego, w tym stopnia zestrojenia kompensacji ziemnozwarciowej,
- efektywności działania urządzeń AWSCz.

Wyniki te dotyczą zawsze stanu sieci z ostatniego okresu jej eksploatacji (np. z ostatnich dwóch zakłóceń doziemnych). Zmiany następujące w sieci (zmiana parametrów uziemienia punktu neutralnego lub przełączenia w ciągach liniowych) zostaną zaobserwowane podczas rejestrowania najbliższego w czasie zwarcia doziemnego i uwzględnione przy aktualizowaniu wyników.

System uwzględnia możliwość wystąpienia cyklu SPZ w linii lub zwarcia niestabilne łukowe. W tych przypadkach, jeżeli przebiegi napięć są niestabilne, system MPZ-NET dokonuje oceny ich wiarygodności i w sytuacjach niepewnych nie uwzględni ich w aktualizowaniu wyników.

Program obsługi systemu MPZ-NET dokonuje obliczeń wielkości ziemnozwarciowych w oparciu o zapisany przez koncentrator *pakiet wyników* dotyczących wybranego GPZ-u. *Pakiet wyników* to zestaw informacji pochodzących ze wszystkich urządzeń CZIP w stacji. Informacje te są umieszczane w specjalnym pliku, którego nazwa (11 znaków w standardzie DOS – 8 znaków nazwy pliku i 3 znaki rozszerzenia) zawiera określenie chwili wystąpienia zdarzenia oraz 2-znakowy skrót jednoznacznie identyfikujący wybrany GPZ. W pamięci koncentratora przechowywanych jest maksymalnie 8 zdarzeń (ostatnich), które są przenoszone przez użytkownika do podkatalogu KONTENER aplikacji MPZ-NET przy pomocy Xmodem-u (standardowego programu MS-Windows).

Program MPZ-NET poza katalogiem KONTENER, w którym gromadzi *pakiety wyników* ze wszystkich stacji na określonym obszarze sieci, posiada własną *bazę danych* o poszczególnych GPZ-ach. W bazie tej przechowywane są informacje o polach liniowych (filtr składowej zerowej

prądu, parametry ziemnozwarciowe, wielkości rozruchowe kryteriów ziemnozwarciowych) oraz o polach potrzeb własnych (sposób uziemienia punktu neutralnego, dławiki, automatyka wymuszania składowej czynnej, itd.). Baza może zostać wypełniona metodą *ręczną* (przez wprowadzenie informacji w oknie dialogowym) lub automatycznie (przez odczytanie wybranych danych z urządzeń CZIP).

Po odczytaniu kolejnych zdarzeń MPZ-NET pozwala na porównanie parametrów ziemnozwarciowych - wartości nastawczych i wartości obliczonych. Wyniki pomiarów i obliczeń dokonywanych przez MPZ-NET mogą być wykorzystane w doborze nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

System MPZ-NET w połączeniu w programem obsługi działa jakby poza czasem rzeczywistym, analizy nie są prowadzone na bieżąco, ale dopiero po likwidacji zwarcia.

Opracowana wersja systemu została zainstalowana w doświadczalnej stacji i wstępna ocena uzyskanych wyników w pełni potwierdza przydatność eksploatacyjną zaproponowanego rozwiązania.

Część funkcji adaptacyjnych systemu MPZ-NET może być zrealizowana w terminalu polowym linii. Użyto tutaj sformułowania „terminal polowy”, może być również „sterownik polowy”, ponieważ rozwiązania w innych technikach nie nadają się do przedmiotowych celów. Bezwzględnie jest wymagana komunikacja pomiędzy zespołami umieszczonymi w polach i jednostką centralną czy systemem nadzoru – może to być sieć typu Ethernet.

W polu można zrealizować zmianę nastaw związaną z badaniem składowej zerowej napięcia podczas zwarcia lub prądu uchybowego zastosowanego filtra składowej zerowej prądu określone wzorem (7).

Natomiast wybór zabezpieczenia dokonującego wyłączenia podczas jednoczesnego rozruchu w kilku polach i koordynacja działania w celu osiągnięcia selektywności musi być realizowana przez jednostkę centralną. W działaniach jednostki centralnej ważną rolę pełni bieżąca wiedza o parametrach ziemnozwarciowych całej sieci.

5. Wnioski

1. Dotychczasowa wersja systemu MPZ-NET w wyniku swojego działania pozwala ocenić prawidłowość doboru nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych, skuteczność automatyki AWSCz., efektywność dławików kompensujących pojemnościowe prądy doziemne lub parametry rezystora w punkcie neutralnym sieci. Jego wadą jest natomiast to, że wyniki otrzymuje się podczas zwarć doziemnych, czyli nie na każde żądanie.

2. Funkcje adaptacyjne zabezpieczeń ziemnozwarciowych mogą dotyczyć:

- analizy wielkości pomiarowych przed wystąpieniem zwarcia doziemnego i wyznaczenia nowych wartości nastawczych,
- wymianę informacji logicznych pomiędzy zabezpieczeniami poszczególnych elementów sieci SN, szczególnie odnośnie rozruchu poszczególnych kryteriów,
- ocenę wartości wielkości kryterialnych w poszczególnych elementach, jeśli dochodzi do rozruchu zabezpieczeń w kilku z nich.

3. Realizacja funkcji adaptacyjnych wymaga istnienia szybkiej sieci wymiany informacji i dodatkowego centrum podejmowania decyzji na poziomie rozdzielni SN.

Literatura:

- [1] Winkler W., Wiszniewski A.: Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych. WN-T, Warszawa, 1999 r.
- [2] Hoppel W., Lorenc J.: Podstawy doboru nastaw zabezpieczeń w polach SN. Automatyka Elektroenergetyczna, 1/2003, ss.45-50.
- [3] Hoppel W., Lorenc J.: Dobór nastaw zabezpieczeń w polach linii średniego napięcia. Automatyka Elektroenergetyczna, 2/2003, ss.35-39.
- [4] Hoppel J., Lorenc J.: Jak dobierać nastawy zabezpieczeń w polach funkcyjnych rozdzielni średniego napięcia. Automatyka Elektroenergetyczna, 3/2003, ss.35-39.

[5] Hoppel W., Lorenc J.: Zgłoszenie patentowe: nr P-375429 z dnia 30.05.2005 : Sposób i układ do pomiaru parametrów doziemnych oraz wyznaczania nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych linii w sieci średniego napięcia (SN) pracujących z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym.

WITOLIP HOPPEL