

## Układ sterownika aktywnego punktu neutralnego i sposób sterowania impedancją uziemiającą punktu neutralnego

Przedmiotem wynalazku jest układ sterownika aktywnego punktu neutralnego, który dopasowuje impedancję uziemiającą punktu neutralnego w celu ograniczenia napiężeń na izolacji, oraz sposób sterowania impedancją uziemiającą punktu neutralnego. Sterownik analizuje charakterystyczne parametry zwarcí doziemnych, co pozwala na rozpoznanie rodzaju zwarcia – trwałe lub przerywane. W przypadku zwarcí trwałych o amplitudzie prądu mogącej stanowić zagrożenie termiczne lub porażeniowe rezystor niskoomowy jest odłączany. Alternatywnie rezystor niskoomowy jest odłączany jeżeli zwarcie trwałe występuje w linii napowietrznej w celu umożliwienia kompensacji prądu przez dławik ziemnozwarciowy. Jeżeli sterownik aktywnego punktu neutralnego zidentyfikuje zwarcie przerywane rezystor niskoomowy pozostaje podłączony ponieważ układ taki w najlepszym stopniu tłumi przepięcia ziemnozwarciowe, które mają destrukcyjny wpływ na izolacje.

Sposób pracy punktu neutralnego ma duży wpływ na działanie całej sieci dystrybucyjnej zasilanej przez stacje 110/SN. W polskich sieciach dystrybucyjnych stosuje się następujące sposoby pracy punktu neutralnego: uziemienie przez rezystor, dławik, układ równoległy oraz punkt neutralny izolowany. Sposób pracy punktu neutralnego często wynika z zaszcíości historycznych i dlatego w poszczególnych krajach można spotkać różne rozwiązania. W Finlandii popularny jest izolowany punkt neutralny, z kolei w USA, gdzie sieć jest 4-przewodowa powszechnie stosowane jest uziemienie bezpośrednie. Ponadto do punktu neutralnego przyłącza się układy energoelektroniczne, których zadaniem jest dokładna kompensacja prądu zwarciovego. W Niemczech popularne jest uziemienie punktu neutralnego przez cewkę Petersena. Rozwiązanie to jest sukcesywnie wprowadzane w wielu krajach, w tym w Polsce ponieważ dławik kompensuje pojemnościowy prąd zwarciovowy, co w wielu przypadkach prowadzi do wygaszenia łuku i w konsekwencji ogranicza konieczność wyłączania linii napowietrznych lub ciągów kablowo-napowietrznych. Oczywiście korzyścią jest więc poprawa niezawodności działania sieci elektroenergetycznej. Uziemienie przez dławik wiąże się z wystąpieniem dużej wartości napięcia zgodnie z krzywą rezonansową oraz długą odbudową napięcia po wystąpieniu zwarcia. W celu ograniczenia negatywnego wpływu wymienionych zjawisk równolegle do dławika dołącza się rezystor, co ogranicza napięcie asymetrii naturalnej. Niestety stosowanie dławika wiąże się z dużym poziomem przepięć ziemnozwarciowych. Znaczna część awarii kabli SN jest spowodowana przepięciami sieciowymi. Do przepięć sieciowych zalicza się m. in. przepięcia ziemnozwarciowe. Szczególnie niebezpieczne są zwarcia przerywane ponieważ na skutek efektu kumulacyjnego następuje obniżenie wytrzymałości izolacji o około 10 - 20 %. Przepięcia ziemnozwarciowe towarzyszące zwarciom 1f mogą doprowadzić do wystąpienia szczególnie niekorzystnego zwarcia – zwarcia 2 fazowego z ziemią podczas, którego prąd zwarcia osiąga dużą, niebezpieczną wartość. Prąd zwarcia jest niekorzystny ponieważ ze wzrostem amplitudy prądu zwarcia rośnie zagrożenie porażeniowe oraz ryzyko uszkodzenia elementów sieci elektroenergetycznej. Ryzyko porażenia jest związane ze spadkiem napięcia w miejscu doziemienia. W celu ograniczenia spadku napięcia i związanej z tym różnicy potencjałów wywołujących prąd rażeniowy rezystancje uziomów w sieci dystrybucyjnej muszą mieć możliwie małe wartości.

Istotą wynalazku jest sposób sterowania impedancją uziemiającą punktu neutralnego, w którym do określenia optymalnej impedancji uziemiającej wykorzystuje się pomiar napięcia  $U_0$  oraz prądu  $I_{pn}$ . Prąd  $I_{pn}$  jest porównywany z wartością zadaną w komparatorze, którego wysoki stan pobudza bramkę. Alternatywnie bramka może zostać pobudzona przez blok identyfikujący zwarcia w liniach napowietrznych. Wysoki sygnał bloku jest analizowany przez opóźniacz który generuje sygnał na otwarcie łącznika rezystora niskoomowego. Załączenie

rezystora niskoomowego odbywa się na podstawie pomiarów  $I_{pn}$  oraz  $U_0$  porównywanych z wartościami zadanymi w komparatorach pozwalających na rozpoznanie wygaszenia zwarcia lub wyłączenia fragmentu sieci w której wystąpiło doziemienie. Wysoki stan komparatorów powoduje zamknięcie łącznika rezystora niskoomowego w celu zapewnienia optymalnej impedancji uziemiającej dla różnych stanów pracy:

- stan normalny, stan zwarcia przerywanego lub stan zwarcia trwałego w linii kablowej cechujący się małą amplitudą  $I_0$ , podczas których wszystkie elementy przyłączone do punktu neutralnego są załączone,
- stan zwarcia trwałego w linii napowietrznej lub zwarcia trwałego w linii kablowej cechującego się dużą wartością prądu  $I_0$  po wystąpieniu, którego rezystor niskoomowy zostaje odłączony.

Przedmiotem wynalazku jest również układ sterownika aktywnego punktu neutralnego, do którego doprowadzony jest sygnał  $I_{pn}$  porównywany z wartością nastawioną w komparatorze, który doprowadza sygnał do wejścia bramki logicznej OR, do której doprowadzony jest również sygnał z bramki logicznej OR. W przypadku wygenerowania wysokiego stanu przez bramkę rozpoczyna się zliczanie czasu w opóźniaczu, z kolei komparatory odpowiedzialne w połączeniu z wysokim stanem bloku rozpoznającego odbudowę napięcia za wygenerowanie wysokiego sygnału na wyjściu bramki logicznej AND, co powoduje załączenie rezystora niskoomowego.

Pierwszym etapem działania sterownika jest identyfikacja rodzaju zwarcia – trwałe lub przerywane. Wyróżnia się 5 charakterystycznych stanów pracy rozróżnianych przez sterownik aktywnego punktu neutralnego. Stany pracy zostały wymienione w Tabeli 1. W przypadku wykrycia zwarcia trwałego w linii napowietrznej lub zwarcia trwałego cechującego się dużą amplitudą prądu, mogącą stwarzać zagrożenie porażeniowe lub ryzyko uszkodzenia linii i urządzeń el-en. Konfiguracja punktu neutralnego zostaje zmieniona – rezystor niskoomowy zostaje odłączony, a prąd zwarcia doziemnego zostaje skompensowany do poziomu pozwalającego na wygaszenie zwarcia lub do poziomu bezpiecznego dla linii, urządzeń oraz ludzi. Rezystor niskoomowy jest podłączony poprzez łącznik o krótkim czasie działania, co pozwala na wykonanie operacji łączeniowej przed zadziałaniem zwykłego wyłącznika sterowanego przez zabezpieczenia z opóźniaczami w polach liniowych. Po wygaszeniu zwarcia lub wyłączeniu fragmentu sieci, w której wystąpiło zwarcie rezystor niskoomowy zostaje załączony dzięki czemu kolejne przebiegi ziemnozwarciowe będą tłumione.

Układ uziemiający, którego prace nadzoruje sterownik aktywnego punktu neutralnego został przedstawiony na fig. 2.

W przykładzie realizacji układu sterownika aktywnego punktu neutralnego (fig. 3), do którego doprowadzony jest sygnał  $I_{pn}$  porównywany z wartością nastawioną w komparatorze 1, który doprowadza sygnał do wejścia bramki logicznej OR 3, do której doprowadzony jest również sygnał z bramki logicznej 2 OR. W przypadku wygenerowania wysokiego stanu przez bramkę 3 rozpoczyna się zliczania czasu w opóźniaczu 4, z kolei komparatory 5 i 6 odpowiedzialne w połączeniu z wysokim stanem bloku 7 za wygenerowanie wysokiego sygnału na wyjściu bramki logicznej 8, co powoduje pobudzenie bloku decyzyjnego 9 i załączenie rezystora niskoomowego.

Sposób sterowania impedancją uziemiającą punktu neutralnego w którym do określenia optymalnej impedancji uziemiającej wykorzystuje się pomiar napięcia  $U_0$  oraz prądu  $I_{pn}$ . Prąd  $I_{pn}$  jest porównywany z wartością zadaną w komparatorze 1, którego wysoki stan pobudza bramkę 3. Alternatywnie bramka 3 może zostać pobudzona przez blok 2 identyfikujący zwarcia

w liniach napowietrznych. Wysoki sygnał bloku 3 jest analizowany przez opóźniacz 4, który generuje sygnał na otwarcie łącznika rezystora niskoomowego. Załączenie rezystora niskoomowego odbywa się na podstawie pomiarów  $I_{pn}$  oraz  $U_0$  porównywanych z wartościami zadanymi w komparatorach 5 i 6 pozwalających na rozpoznanie wygaszenia zwarcia lub wyłączenia fragmentu sieci w której wystąpiło zakłócenie. Wysoki stan komparatorów 5 i 6 w połączeniu z wysokim stanem bloku 7 powoduje zamknięcie łącznika rezystora niskoomowego w celu zapewnienia optymalnej impedancji uziemiającej dla różnych stanów pracy:

-stan normalny, stan zwarcia przerywanego lub stan zwarcia trwałego w linii kablowej cechujący się małą amplitudą  $I_0$ , podczas których wszystkie elementy przyłączone do punktu neutralnego są załączone,

-stan zwarcia trwałego w linii napowietrznej lub zwarcia trwałego w linii kablowej cechującego się dużą wartością prądu  $I_0$  po wystąpieniu, którego rezystor niskoomowy zostaje odłączony

Największe zdolności tłumienia przepięć występują w sieciach z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym (jedynie impedancja uziomu). Bezpośrednie uziemienie powoduje jednak wzrost amplitudy prądu zwarcia do wartości maksymalnych, a ponadto obserwuje się wzrost poziomu napięcia faz nieobjętych zwarcie do niebezpiecznego poziomu. Ponadto w sieciach uziemionych bezpośrednio lub przez rezystor niskoomowy zwarcia w sieci SN stają się widoczne w sieci nn. Stosowanie wysoko impedancyjnych połączeń uziemiających lub dławika eliminuje tę niedogodność, co przyczynia się do poprawy jakości zasilania odbiorców.

Tabela 1 Możliwe układy pracy

	Stan normalny	Zwarcie trwałe w linii napowietrznej	Zwarcie trwałe w linii kablowej o dużej amplitudzie prądu	Zwarcie trwałe w linii kablowej o małej amplitudzie prądu	Zwarcie przerywane
<b>Rezystor niskoomowy (a)</b>	załączony	Wyłączony	Wyłączony	Załączony	Załączony
<b>Dławik (c)</b>	Załączony	Załączony	Załączony	Załączony	Załączony
<b>Rezystor wysokoomowy (b)</b>	załączony	załączony	załączony	Załączony	Załączony

Przykładowo dla punktu neutralnego uziemionego przez dławik  $80 \Omega$  oraz rezystor bocznikujący  $400 \Omega$  wartość szczytowa przepięć wynosi  $27,355 \text{ kV}$ . Dodanie rezystora niskoomowego o przykładowej wartości -  $15 \Omega$  pozwala na ograniczenie wartości szczytowej przepięć do poziomu  $24,373 \text{ kV}$ .

Zaletą układu równoległego jest możliwość ograniczania wartości szczytowych przepięć natomiast wadą jest duża amplituda prądu zwarcia. Wpływ rezystancji i reaktancji włączonych równolegle między punktem neutralnym, a ziemią na wartość szczytową przepięcia ziemnozwarciowego w fazie C podczas zwarcia w fazie A przedstawiono na fig. 1. Sterownik aktywnego punktu neutralnego pozwala na dostosowanie sposobu pracy punktu neutralnego do występujących zagrożeń. Rezystor wysokoomowy (b) ma na celu przyspieszenie procesu

odbudowy napięcia oraz tłumienie asymetrii doziemnej w przypadku ewentualnych awarii rezystora niskoomowego.

Dzięki wejściom „linia napowietrzna nr n” określającym linie, w której wystąpiło zwarcie doziemne sterownik aktywnego punktu neutralnego ocenia zasadność zmiany konfiguracji układu punktu neutralnego (2). Rezystor niskoomowy (a) (lub bezpośrednio połączenie z ziemią) jest odłączane przez łącznik (e) w przypadku gdy prąd zwarcia doziemnego przekracza wartość nastawioną. Wartość nastawiona ma na celu ograniczenie ilości operacji łączeniowych oraz zapewnienie ochrony przed cieplnymi skutkami przepływu prądu zwarciovego.

### Przykład 1

W stanie normalnym do punktu neutralnego przyłączony jest dławik (c) oraz rezystory (a) i (b). W pewnym momencie np. 0.10 występuje zwarcie 1-fazowe doziemne. Sterownik aktywnego punktu neutralnego (f) rozpoznaje, że zwarcie jest zwarcie trwałe ponieważ pomiar wartości skutecznych prądów w kolejnych półokresach wskazuje utrzymujący się prąd zwarcia doziemnego. Po określonym opóźnieniu czasowym nastawionym w bloku decyzyjnym (np. 0.1) oraz opóźnieniu wynikającym z bezwładności łącznika rezystor niskoomowy (a) zostaje odłączony (0.25). Na podstawie prądu zmierzonego podczas pracy układu równoległego dostrajany jest dławik (c) i krótko po odłączeniu rezystora niskoomowego (a) dławik (c) osiąga odpowiednie parametry potrzebne do skompensowania prądu zwarcia. Po stwierdzeniu, że łuk został zgaszony rezystor niskoomowy zostaje załączony. Załączenie rezystora niskoomowego (a) odbywa się na podstawie powrotu napięcia fazowego mierzonego na szynach stacji do wartości sprzed wystąpienia zwarcia oraz malejącego napięcia w punkcie neutralnym.

Przykład zdarzeń po wystąpieniu zwarcia doziemnego w sieci, w której zainstalowany jest wynalazek:

- 0.10 - moment wystąpienia zwarcia,
- 0.20 - sygnał na wyłączenie rezystora niskoomowego,
- 0.25 - odłączenie rezystora niskoomowego,
- 0.35 - wygaszenie prądu zwarcia,
- 0.45 - identyfikacja wygaszenia zwarcia,
- 0.55 - załączenie rezystora niskoomowego.

### Przykład 2

Brak ciągłości przepływu prądu przez punkt neutralny podczas zwarć przerywanych jest wykorzystywany do blokowania sygnału na odłączenie rezystora niskoomowego (a). Zwarcie zostaje wyłączone poprzez działanie urządzeń automatyki zabezpieczeniowej w konkretnej linii bez zmiany konfiguracji punktu neutralnego.

REKTOR  
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ  
  
prof. dr hab. inż. Tomasz Łudjowski