

Andrzej CHOLEWA

Piotr GAWOR

Instytut Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa  
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

DZIAŁANIE ZABEZPIECZEŃ ZIEMNOZWARCIOWYCH TYPU RPEI  
W SIECI KOMPENSOWANEJ - NA PRZYKŁADZIE SIECI 6 kV  
KWK "BOBREK"

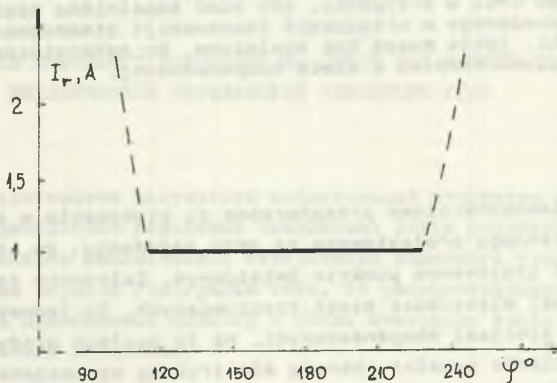
**Streszczenie.** Przedstawiono przyczyny błędnego działania zabezpieczeń typu RPEI w przypadku, gdy sieć kopalniana zasilana jest ze źródła wyposażonego w urządzenia kompensacji ziemnozwarciowej. Podano warunki, jakie muszą być spełnione, by zabezpieczenia te działały prawidłowo również w sieci kompensowanej.

## 1. WSTĘP

Przełączniki ziemnozwarciowe przeznaczone do stosowania w sieciach 6 kV kopalń węgla kamiennego projektowane są przy założeniu, że sieci te pracują w układzie o izolowanym punkcie gwiazdowym. Założenia to jest słuszne dla zdecydowanej większości sieci rzeczywistych. Są jednak i kopalnie, których sieci są sieciami kompensowanymi. Ma to miejsce wtedy, kiedy jedno ze źródeł zasilania kopalni energią elektryczną wyposażone jest w urządzenie kompensacji ziemnozwarciowej (zainstalowane poza siecią kopalnianą). Pojawia się wtedy problem określenia warunków poprawnej pracy zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieci zasilanej z takiego źródła. W niniejszym komunikacie problem ten przedstawiono na przykładzie sieci 6 kV KWK "Bobrek" wyposażonej w zabezpieczenia ziemnozwarciowe porównawczoprądowe typu RPEI. Jednym ze źródeł zasilania kopalni "Bobrek" jest pobliska elektrownia energetyki zawodowej. W elektrowni do sekcji szyn zbiorczych rozdzielnic 6 kV, z której zasilana jest kopalnia są przyłączone dwa urządzenia gaszące o łącznym prądzie indukcyjnym 100 A. Prąd ziemnozwarciowy pojemnościowy całej galwanicznie połączonej sieci wynosi ok. 114 A, w tym udział sieci kopalnianej - 60 A. W przedstawionym układzie zasilania kopalni stwierdzono liczne przypadki błędnego działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych RPEI.

## 2. PRZYCZYNY BŁĘDNEGO DZIAŁANIA ZABEZPIECZENIA Z PRZEKAŹNIKIEM ZIEMNO-ZWARCIOWYM TYPU RPEI W SIECI KOMPENSOWANEJ

Jako kryterium działania przełącznika ziemnozwarciowego typu RPEI wykorzystano fakt, że wektor składowej zerowej prądu w odpływie uszkodzonym jest przesunięty o kąt  $180^\circ$  w stosunku do wektorów składowej zerowej prądu w odpływach nie uszkodzonych. Jest to właściwość sieci o izolowanym punkcie gwiazdowym i w takich sieciach przełącznik RPEI powinien być w zasadzie stosowany. Jednak z analizy układu przełącznika RPEI wynika, że przełącznik ten mógłby wybiórczo działać również w sieci kompensowanej, gdyby spełniony był odpowiedni warunek co do rozstrojenia kompensacji (w sieci kompensowanej kąt między wektorem składowej zerowej prądu w odpływie uszkodzonym a wektorami składowej zerowej prądu w odpływach zdrowych zależy od rozstrojenia kompensacji oraz od pojemnościowego prądu własnego odpływu z doziemieniem).



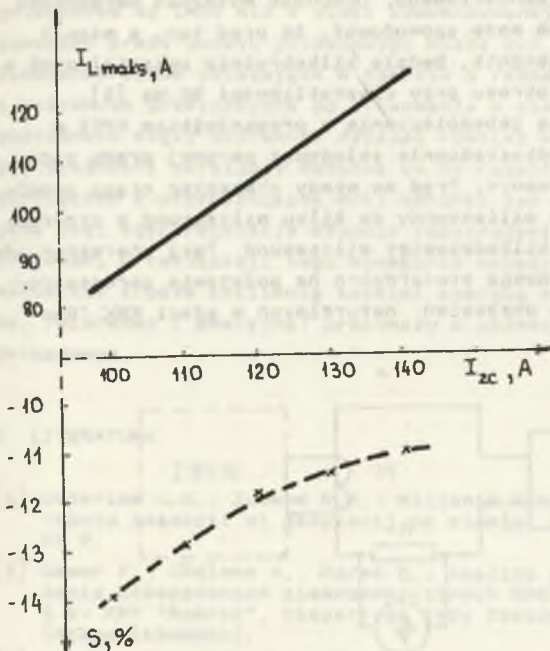
Rys. 1. Zależność prądu rozruchowego  $I_r$  zabezpieczenia z przełącznikiem RPEI i przekładnikiem IO-1s od kąta  $\varphi$  ( $\varphi$  - kąt między wektorem składowej zerowej prądu w odpływie uszkodzonym a wektorami składowej zerowej prądu w odpływach zdrowych)

W celu ilościowego określenia tego warunku wyznaczono charakterystykę kątową przełącznika  $I_r = f(\varphi)$ , tj. zależność prądu rozruchowego od kąta przesunięcia wektora składowej zerowej prądu w odpływie uszkodzonym w stosunku do wektorów składowej zerowej prądu w odpływach zdrowych. Charakterystykę tę przedstawiono na rys. 1. Z charakterystyki tej wynika, że przełącznik będzie działał prawidłowo (wartość prądu rozruchowego będzie taka sama, jak przy kącie  $\varphi = 180^\circ$ ), gdy kąt zawarty będzie w przedziale od  $115^\circ$  do  $230^\circ$ . Teoretycznie kąt  $\varphi$  może zmieniać się w sieci kompensowanej od  $180^\circ$  do  $360^\circ$ . Tak więc, aby zabezpieczenie z przełącznikiem RPEI działało poprawnie w sieci kompensowanej, musi być zapewnione odpowiednie rozstrojenie kompensacji. Dla danego prądu ziemnozwarciowego pojemności-

węgo całej galwanicznie połączonej sieci  $I_{zc}$  i prądu własnego zabezpieczonego odpływu  $I_{cw}$  prąd indukcyjny  $I_L$  nie może przekraczać określonej wartości. Musi być spełniona nierówność:

$$I_L \leq (I_{zc} - I_{cw})(1 - 0,05 \operatorname{ctg} \varphi), \quad (1)$$

w której  $\varphi$  - jest kątem wyznaczony na podstawie charakterystyki z rys. 1.  $\varphi = 50^\circ$ , zaś współczynnik 0,05 wynika z założenia, że składowa czynna prądu ziemnozwarciowego  $I_{zR} = 0,05 I_{zc}$



Rys. 2. Zależność prądu indukcyjnego  $I_{Lmaks}$  i rozstrojenia kompensacji  $S$ , dla których spełniony jest jeszcze warunek poprawnego działania zabezpieczenia z przełącznikiem RPEI w sieci kompensowanej, od prądu ziemnozwarciowego pojemnościowego  $I_{zc}$

Dla oznaczenia stopnia rozstrojenia kompensacji, jaki należałoby utrzymywać w sieci KWK "Bobrek", aby spełniony był warunek poprawnego działania zabezpieczenia z przełącznikiem RPEI, przyjęto założenie, że prąd ziemnozwarciowy pojemnościowy całej galwanicznie połączonej sieci może zmieniać się w granicach od 100 A do 140 A. Maksymalny prąd własny zabezpieczonego odpływu w rozpatrywanej sieci wynosi 10 A. Z zależności (1) wynika, że dla każdej wartości prądu  $I_{zc}$  z założonego przedziału prąd indukcyjny urządzeń gazowych nie powinien przekraczać wartości  $I_{Lmaks}$  podanej na rys. 2. Tak więc utrzymywanie co najmniej 14-procentowego niedokompensowania sieci ( $S \leq -14\%$ ) jest warunkiem koniecznym poprawnego działania za-

bezpieczenia w założonym przedziale zmienności prądu  $I_{zc}$ . Należy tu zaznaczyć, że byłaby to wartość epozą dopuszczoną w przepisach [4] przedziału ( $-5\% \pm 15\%$ ). W warunkach sieci KWK "Bobrek" wartość prądu  $I_L$  wynosi 100 A i praktycznie nie jest zmieniana. Poprawna praca zabezpieczeń RPEI będzie więc zapewniona, gdy  $I_{zc} \geq 115$  A.

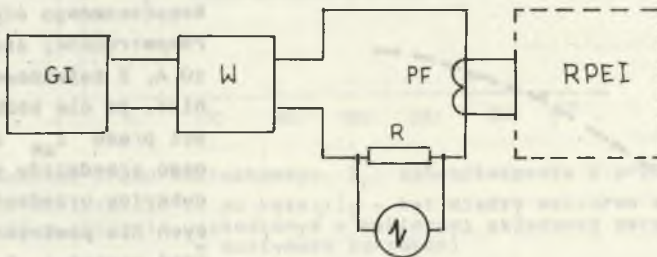


Inny sposób spełnienia warunku (1) poprawnej pracy zabezpieczeń RPEI w sieci kompensowanej może polegać na wyłączeniu (w cyklu SPZ), po kilku sekundach od chwili wystąpienia doziemienia, niektórych tylko lub wszystkich urządzeń gaszących. Sposób taki nie pozwoliłby jednak na spełnienie wymagania, by zabezpieczenia ziemnozwarciowe linii prowadzonych w pomieszczeniach niebezpiecznych ze względu na wybuch metanu działały bezwzględnie.

Oprócz niespełnienia warunku (1) należy zwrócić uwagę również na inne możliwe przyczyny błędnego działania zabezpieczenia z przekaźnikiem RPEI w sieci kompensowanej.

W sieci z urządzeniami gaszącymi kompensowana jest praktycznie tylko pierwsza harmoniczna prądu pojemnościowego. Obecność wyższych harmonicznych w prądzie ziemnozwarciowym może spowodować, że prąd ten, a więc i prąd wejściowy zasilający przekaźnik, będzie kilkakrotnie zmienił znak w czasie odpowiadającym połowie okresu przy częstotliwości 50 Hz [3].

Przyczyną błędnego działania zabezpieczenia z przekaźnikiem RPEI w sieci kompensowanej może być odkształcenie składowej zerowej prądu podczas doziemienia o łuku przerywanym. Prąd ma wtedy charakter ciągu impulsów o czasie trwania od ułamka milisekundy do kilku milisekund z przerwami trwającymi kilkanaście lub kilkadziesiąt milisekund. Taki charakter odkształcenia prądu ziemnozwarciowego stwierdzono na podstawie zarejestrowanych jego przebiegów podczas doziemień naturalnych w sieci KWK "Bobrek" [2].



Rys. 3. Uproszczony schemat układu do badania zabezpieczenia z przekaźnikiem RPEI przy impulsowym sygnale wejściowym

GI - generator impulsów, W - wzmacniacz, PF - przekaźnik Ferrantiego

Przekaźnik RPEI ma skomplikowaną budowę (jest przekaźnikiem statycznym elektronicznym), podatną na zakłócenia, szczególnie przy braku celowo wprowadzonej zwłoki w jego działaniu ( $\tau_n = 0$ ). Analizując układ przekaźnika stwierdzono, że prawdopodobne jest, iż wystarczy jeden stosunkowo krótki impuls składowej zerowej prądu, by spowodować zadziałanie przekaźnika. Potwierdzenie tego spostrzeżenia uzyskano badając przekaźnik w układzie jak na rys. 3. Przekaźnik działał przy pojedynczym impulsie o czasie trwania ok. 0,5 ms i amplitudzie 9 A (po stronie pierwotnej prze-

kładnika IO-1) oraz 28 A (po stronie pierwotnej przekładnika IO-2). Pojedyncze impulsy składowej zerowej prądu mogą pojawić się na wejściu przełącznika podczas celowo wykonywanych czynności łączeniowych w sieci [1]. Wada ta uniemożliwia stosowanie przełącznika RPEI jako elementu zabezpieczenia bezzwłocznego.

### 3. 'WAGI KOŃCOWE

Podstawowe zależności między charakterystycznymi wielkościami ziemnozwarciowymi w stanie ustalonym doziemienia w sieci o izolowanym punkcie gwiazdowym są inne niż w sieci kompensowanej. Dlatego w sieciach o różnym sposobie pracy punktu gwiazdowego muszą być stosowane zabezpieczenia ziemnozwarciowe działające w oparciu o różne kryteria. Aby zabezpieczenia z założenia przeznaczone do stosowania w sieci o izolowanym punkcie gwiazdowym mogły poprawnie działać również w sieci kompensowanej, musi być spełniony określony warunek co do rozstrojenia kompensacji. Dla zabezpieczeń z przełącznikiem RPEI warunek ten wyraża zależność (1). Wymagana jest więc regulacja stopnia rozstrojenia kompensacji. Ze względu na trudności w realizacji tego wymagania należy obecnie dążyć do tego, by wszystkie źródła zasilania kopalni energią elektryczną (źródło podstawowe, rezerwowe i awaryjne) pracowały w układzie o izolowanym punkcie gwiazdowym.

### 4. LITERATURA

- [1] Duderiew L.E., Zubkow W.W.: Wlijanie kommutacji w sietjach 6÷35 kV na rabotu zaezczit ot zamykanij na ziemlu. Elektriczeskije Stancyi 1980, nr 9.
- [2] Gawor P., Cholewa A., Marek B.: Analiza możliwości wybiórczego działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych RPEI zainstalowanych w sieci 6 kV KWK "Bobrek". Ekspertyza Izby Rzeczoznawców SEP. Gliwice 1984 (niepublikowana).
- [3] Müller L.: Selektivschutz elektrischer Anlagen. VWEW, Frankfurt 1971.
- [4] Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć. Wskazówki wykonawcze do PBUE. Instytut Energetyki - Ośrodek Normalizacji, Warszawa 1978.

Recenzent: Prof. Władysław GLUZIŃSKI

Wpłynęło do Redakcji w sierpniu 1984 r.

ДЕЙСТВИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ ТИПА РПЭИ  
В КОМПЕНСИРОВАННОЙ СЕТИ - НА ПРИМЕРЕ СЕТИ 6 кВ ШАХТЫ "БОБРЕК"

Резюме

В работе представлены причины ошибочного действия защиты от замыканий на землю типа РПЭИ в случае, когда шахтная сеть питается от источника однофазного в устройства компенсации. Даны необходимые условия для того чтобы защита эта работала правильно тоже в компенсированной сети.

THE EFFECTIVENESS OF EARTH-SHORTING PROTECTIONS  
OF THE RPEI TYPE IN NEUTRALIZED NETWORK - ON THE  
EXAMPLE OF THE 6 kV NETWORK IN THE "BOBREK" COAL MINE

Summary

The reasons for faulty performance of the earth-shorting protections of the RPEI Type are presented, in the case when the coal-mine network is energized from a source with earth-shorting neutralization equipment. The conditions which must be satisfied for the protections to perform correctly also in neutralized network are given.