

Marian MIKRUT  
Zygmunt PILCH  
Marian SAUCZEK

## WYKRYWANIE JEDNOFAZOWYCH ZWARĆ REZYSTANCYJNYCH W KOMPENSOWANYCH SIECIACH SN Z WYMUSZENIEM SKŁADOWEJ CZYNNEJ PRĄDU

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zależności opisujące wielkości wejściowe zabezpieczeń ziemnozwarciowych przy zwarciach pośrednich w kompensowanych sieciach średnich napięć z układem wymuszenia składowej czynnej prądu ziemnozwarciowego. Określono wartości graniczne rezystancji przejścia w miejscu zwarcia dla zabezpieczeń nadprądowych, kierunkowych i admitancyjnych w zależności od wartości składowych pojemnościowej i czynnej prądu ziemnozwarciowego oraz stopnia rozstrojenia kompensacji.

## RESISTANCE SINGLE PHASE-TO-EARTH FAULT DETECTION IN THE MV-COMPENSATED NETWORKS WITH THE FORCED ACTIVE CURRENT

**Summary.** The relationships describing input quantities of earth fault protection during resistance single phase-to-earth faults in the MV-compensated networks with the forced active current are presented. The fault resistance boundary values for overcurrent-, directional and admittance protection schemes are determined according to capacitive and active current components values and to the detuning coefficient level.

### 1. WPROWADZENIE

Sieci średnich napięć (SN) w krajowym systemie elektroenergetycznym pracują z punktem gwiazdowym izolowanym lub uziemionym przez dławik kompensacyjny lub rezystor. To ostatnie rozwiązanie, tj. trwałe uziemienie punktu gwiazdowego przez rezystor o odpowiednio dobranej rezystancji, jest wzorowane na sieciach zagranicznych (m.in. francuskich) i w kraju znajduje zastosowanie dopiero od kilkunastu lat. W takich sieciach - jak wykazano

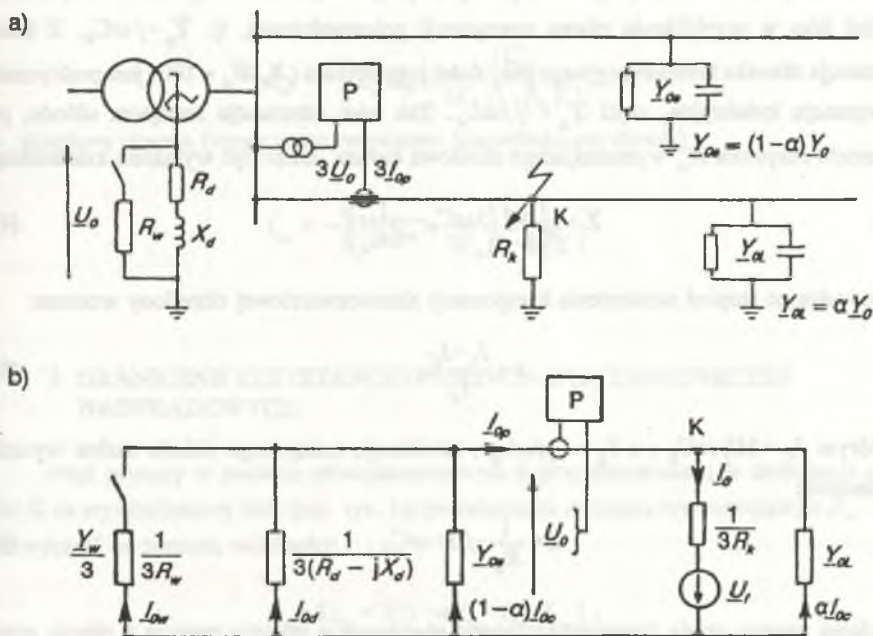
w [2] - możliwości wykrywania zwarc rezystancyjnych z ziemią zależą od rodzaju zastosowanego zabezpieczenia, wartości prądu pojemnościowego sieci i wartości wymuszanego prądu czynnego przez rezystor uziemiający. M.in. dowiedziono, że przy stosowaniu zabezpieczeń kierunkowych występuje ograniczenie obszaru wykrywania zwarc rezystancyjnych w porównaniu z zabezpieczeniami nadprądowymi.

Znacznie bardziej rozpowszechnione w systemie krajowym są sieci pracujące z kompensacją prądów pojemnościowych. Jak podano w [1], ponad 70% sieci SN pracuje właśnie z punktem gwiazdowym uziemionym przez dławik kompensacyjny, a jeśli chodzi o sieci energetyki zawodowej o napięciach od 10 kV do 20 kV udział ten wynosi nawet ponad 90%. Do ochrony linii od skutków jednofazowych zwarc z ziemią w tych sieciach stosowane są najczęściej zabezpieczenia kierunkowe czynno-mocowe, rzadziej zabezpieczenia zerowoprądowe, a w ostatnich latach także zabezpieczenia admitancyjne.

Kompensacja składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego ma wiele zalet; powoduje m.in. samolikwidację zwarc przemijających, ale utrudnia wykrywanie zwarc doziemnych ze względu na zbyt małą wartość wypadkowego prądu ziemnozwarciowego (tzw. prądu resztkowego), który ma charakter czynny. Polepszenie warunków działania zabezpieczeń, a w szczególności zwiększenie czułości, uzyskuje się poprzez wymuszenie dodatkowej składowej czynnej prądu zwarcowego. W praktyce stosuje się krótkotrwałe wymuszenie prądu czynnego o zadanej wartości, zapewniającej wymaganą czułość zabezpieczenia ziemnozwarciowego (zwykle jest to prąd o wartości z przedziału 10÷40 A). Większość zwarc, w tym także zwarc jednofazowych, stanowią zwarcia rezystancyjne, których wykrywanie jest konieczne, ale nie zawsze jest możliwe. O możliwości wykrywania takich zwarc decydują m.in. rodzaj zastosowanego zabezpieczenia oraz wzajemne relacje zachodzące między wartościami charakterystycznych wielkości dla zwarcia jednofazowego z ziemią. Bezpośrednim wskaźnikiem możliwości wykrywania przez dane zabezpieczenie zwarc rezystancyjnych jest graniczna rezystancja przejścia w miejscu zwarcia, której wartości zostaną niżej określone dla sieci modelowej wyposażonej w różne rodzaje zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

## 2. MODEL SIECI I WIELKOŚCI WEJŚCIOWE ZABEZPIECZEŃ ZIEMNOZWARCIOWYCH

Do rozważań przyjęto sieć modelową pracującą z punktem gwiazdowym uziemionym przez dławik kompensacyjny bocznikowany krótkotrwałe rezystorem, z wyodrębnioną linią chronioną od skutków zwarc jednofazowych z ziemią za pomocą zabezpieczenia nadprądowego, kierunkowego czynno-mocowego lub admitancyjnego. Schemat ideowy takiej sieci oraz jej schemat zastępczy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy sieci modelowej (a) oraz jej schemat zastępczy (b)  
 Fig. 1. Schematic diagram of the model network (a) and its equivalent diagram (b)

Składowa zerowa napięcia przy zwarciu jednofazowym z ziemią przez rezystancję  $R_k$ , określona na podstawie bilansu napięć w obwodzie z rys. 1b, wynosi:

$$U_0 = -U_f + 3I_0 R_k, \quad (1)$$

gdzie:

$$I_0 = I_{\alpha\alpha} + I_{\alpha d} + I_{\alpha w}, \quad (2)$$

jest składową zerową prądu ziemnozwarciowego, będącą sumą składowych pojemnościowej ( $I_{\alpha c}$ ), indukcyjnej ( $I_{\alpha d}$ ) oraz czynnej ( $I_{\alpha w}$ ).

Uwzględniając, że  $I_{\alpha c} = -Y_0 U_0$ ,  $I_{\alpha d} = -\frac{1}{3} Y_d U_0$ ,  $I_{\alpha w} = -\frac{1}{3} Y_w U_0$  oraz że admitancja zastępcza sieci  $Y = 3Y_0 + Y_d + Y_w$ , otrzymuje się:

$$U_0 = -\frac{U_f}{1 + R_k Y}. \quad (3)$$

Jeśli zauważyć, że w sieciach SN  $G_0 < B_0$  ( $B_0/G_0 = 10$ ), to admittancej zerową można przyjąć jako w przybliżeniu równą susceptancji pojemnościowej, tj.  $Y_0 = j\omega C_0$ . Z kolei admittancej dławika kompensacyjnego przy dużej jego dobroci ( $X_d/R_d = 100$ ) jest praktycznie susceptancją indukcyjną, czyli  $Y_d = -j/\omega L_d$ . Tak więc admittancej zastępcza układu, po włączeniu rezystora  $R_w$  wymuszającego składową czynną, może być wyrażona zależnością:

$$Y = \frac{1}{R_w} + j \left( 3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L_d} \right). \quad (4)$$

Wprowadzając stopień rozstrojenia kompensacji ziemnozwarciowej określony wzorem:

$$s = \frac{I_L - I_C}{I_C}, \quad (5)$$

w którym  $I_C = 3U_f \omega C_0$ , a  $I_L = U_f / \omega L_d$ , admittancej zastępczego układu można wyrazić zależnością:

$$Y = \frac{1}{R_w} - j 3s \omega C_0. \quad (6)$$

Składowa zerowa prądu ziemnozwarciowego płynącego w miejscu zwarcia z ziemią przez rezystancję  $R_k$  po włączeniu rezystora bocznikującego dławik kompensacyjny wynosi:

$$I_0 = \frac{U_0 + U_f}{3R_k}, \quad (7)$$

a uwzględniając wyrażenie (3) można ją opisać wzorem:

$$I_0 = \frac{U_f Y}{3(1 + R_k Y)}. \quad (8)$$

Prąd ziemnozwarciowy jest natomiast równy:

$$I_s = 3I_0 = \frac{U_f Y}{1 + R_k Y}. \quad (9)$$

Udziały poszczególnych składowych w prądzie zerowym wynoszą:

► składowa pojemnościowa

$$I_{\alpha} = -Y_0 U_0 = -\frac{j\omega C_0 U_f}{1 + R_k Y}, \quad (10)$$

► składowa indukcyjna (wymuszana dławikiem kompensacyjnym)

$$I_{0d} = -\frac{1}{3}Y_d U_0 = \frac{jU_f}{3X_d(1+R_k Y)} \quad (11)$$

► składowa czynna (wymuszona rezystorem bocznikującym dławik)

$$I_{0w} = -\frac{1}{3}Y_w U_0 = \frac{U_f}{3R_w(1+R_k Y)} \quad (12)$$

### 3. GRANICZNE REZYSTANCJE PRZEJŚCIA DLA ZABEZPIECZEŃ NADPRĄDOWYCH

Prąd płynący w punkcie zabezpieczeniowym P przy doziemieniu w dowolnym punkcie K na wyodrębnionej linii (por. rys. 1a) po załączeniu rezystora wymuszającego  $R_w$ , można wyrazić za pomocą zależności:

$$I_p = 3I_{0p} = 3[(1-\alpha)I_{0c} + I_{0d} + I_{0w}] \quad (13)$$

w której  $\alpha$  jest współczynnikiem "lokalizacji zabezpieczenia", określającym udział admitancji zabezpieczanej linii w admitancji całej sieci galwanicznie połączonej. Po podstawieniu zależności (10), (11), (12) i (6) oraz uwzględnieniu, że  $I_C = 3\omega C_0 U_f$ ,  $I_L = 3I_d = U_f/X_d$  i  $I_R = U_f/R_w$  otrzymuje się ostatecznie:

$$I_p = U_f \frac{I_R - j(\alpha+s)I_C}{(U_f + R_k I_R) - jsR_k I_C} \quad (14)$$

Prąd rozruchowy zabezpieczenia nadprądowego zerowego dobierany jest na podstawie warunku:

$$I_r \geq k_b \alpha I_C \quad (15)$$

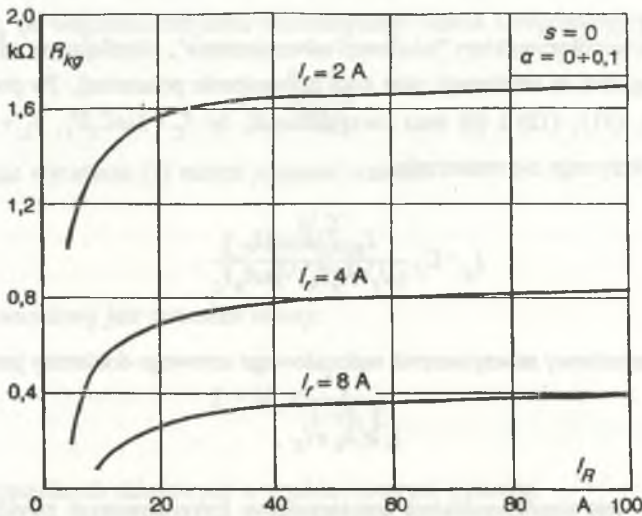
w którym  $k_b$  jest współczynnikiem bezpieczeństwa (przyjmowanym zwykle z przedziału 2÷8). Przy znanej wartości prądu  $I_r$ , można, korzystając z zależności (14), wyznaczyć wartość granicznej rezystancji przejścia  $R_{k_g}$  z równości:

$$I_r = U_f \frac{|I_R - j(\alpha + s)I_C|}{|(U_f + R_{kg}I_R) - jsR_{kg}I_C|} \quad (16)$$

Zależność (16) umożliwia określenie wartości  $R_{kg}$  przy różnych wartościach  $I_r$ ,  $I_R$ ,  $I_C$ ,  $s$  oraz  $U_f$  i  $\alpha$ , a więc jest podstawą oceny możliwości wykrywania jednofazowych zwarć rezystancyjnych przez zabezpieczenie nadprądowe zerowe o danym prądzie rozruchowym w dowolnie wybranej sieci.

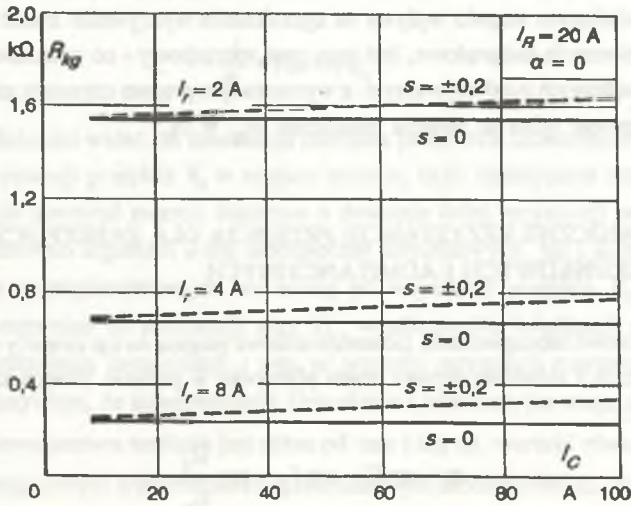
Przykładowe wyniki analizy ilościowej wykonanej dla sieci o napięciu znamionowym  $U_n = 6$  kV ( $U_f = 6/\sqrt{3}$  kV) pokazano na rys. 2, 3, 4.

Z zamieszczonych wykresów (rys. 2) widać, że przy wymuszonym prądzie czynnym powyżej 20 A rezystancja graniczna praktycznie nie zależy od wartości tego prądu. Maleje ona natomiast wraz ze wzrostem prądu rozruchowego (rys. 2, 3 i 4). Wpływ stopnia rozstrojenia kompensacji w granicach  $\pm 20\%$  na wartość rezystancji granicznej jest niewielki; rozstrojenie powoduje nieznaczny wzrost rezystancji granicznej. W warunkach pełnej kompensacji ( $s = 0$ ) rezystancja graniczna nie zależy od składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego, a więc od wykonania i rozległości sieci (rys. 3). Przy rozstrojeniu kompensacji rezystancja graniczna bardzo nieznacznie rośnie wraz ze wzrostem składowej



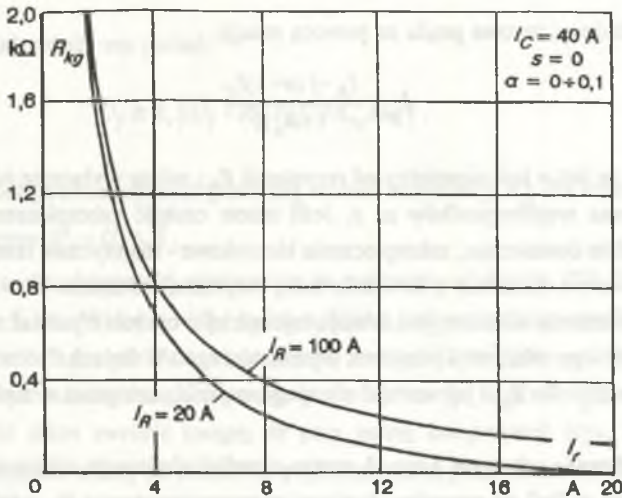
Rys. 2. Wartości granicznej rezystancji przejścia dla zabezpieczenia nadprądowego w zależności od wymuszonego prądu czynnego

Fig. 2. Boundary values of the fault resistance according to the forced active current for the over-current protection



Rys. 3. Wartości granicznej rezystancji przejścia dla zabezpieczenia nadprądowego w zależności od składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego

Fig. 3. Boundary values of the fault resistance according to the capacitive current component for the overcurrent protection



Rys. 4. Wartości granicznej rezystancji przejścia dla zabezpieczenia nadprądowego w zależności od prądu rozruchowego

Fig. 4. Boundary values of the fault resistance according to the starting current of the overcurrent protection

pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego. Reasumując, warto podkreślić, że wielkością, która w największym stopniu wpływa na ograniczenie wykrywania zwarcń rezystancyjnych przez zabezpieczenie nadprądowe, jest jego prąd rozruchowy - co pokazano na rys. 4. Przy prądzie rozruchowym porównywalnym z wymuszonym prądem czynnym zabezpieczenie jest w stanie reagować tylko na zwarcia metaliczne ( $R_{kg} = 0$ ).

#### 4. GRANICZNE REZYSTANCJE PRZEJŚCIA DLA ZABEZPIECZEŃ KIERUNKOWYCH I ADMITANCYJNYCH

Kierunkowe zabezpieczenia ziemnozwarciowe reagują na kąt zawarty między składową zerową napięcia i składową zerową prądu płynącego w punkcie zabezpieczeniowym, czyli kąt  $\varphi$  równy:

$$\varphi = \arg U_0 - \arg I_{\varphi} = \arg \frac{U_0}{I_{\varphi}}. \quad (17)$$

Składowa zerowa napięcia wyrażona jest zależnością:

$$U_0 = - \frac{U_f}{1 + R_k Y}, \quad (18)$$

natomiast składowa zerowa prądu za pomocą relacji:

$$I_{\varphi} = \frac{I_R - j(\alpha + s)I_C}{1 + R_k Y}. \quad (19)$$

Widać więc, że kąt  $\varphi$  jest niezależny od rezystancji  $R_k$ ; zależy wyłącznie od takich wielkości jak  $I_R, I_C$  oraz współczynników  $\alpha, s$ . Jeśli zatem czułość zabezpieczenia (napięciowa i prądowa) będzie dostateczna, zabezpieczenie kierunkowe - teoretycznie rzecz ujmując - może wykrywać zwarcia doziemne o dowolnie dużej rezystancji przejścia.

Zabezpieczenia admitancyjne działają najczęściej w oparciu o pomiar różnicy admitancji zerowej przed i po włączeniu rezystora wymuszającego. W liniach "zdrowych" admitancja ta jest równa  $Y_x = 3\alpha Y_0$  i jej wartość nie ulega zmianie, natomiast w linii z doziemieniem zmienia się.

Na podstawie schematu z rys. 1 można określić admitancję widzianą z punktu zabezpieczeniowego w linii ze zwarcie doziemnym przez rezystancję  $R_k$ , zdefiniowaną stosunkiem  $I_{\varphi} / U_0$ . Admitancja ta przed włączeniem rezystora wymuszającego  $R_w$  wynosi:

$$Y' = 3(\alpha + s)Y_0, \quad (20)$$



natomiast po włączeniu rezystora  $R_w$  jest równa:

$$Y'' = -\frac{1}{R_w} + 3(\alpha + s)Y_0. \quad (21)$$

Z powyższych zależności widać, że admitancja mierzona przez takie zabezpieczenie również nie zależy od rezystancji przejścia  $R_k$  w miejscu zwarcia, czyli teoretycznie zabezpieczenie admitancyjne może ujmować zwarcia doziemne o dowolnie dużej rezystancji przejścia.

Tak więc zarówno argument  $\varphi$  dla zabezpieczeń kierunkowych, jak i admitancja mierzona w punkcie zabezpieczeniowym nie zależą od rezystancji przejścia  $R_k$  w miejscu zwarcia. Zależą natomiast od admitancji sieci  $Y_0$ , współczynnika lokalizacji zabezpieczenia  $\alpha$ , stopnia rozstrojenia kompensacji  $s$  oraz od wartości rezystancji rezystora wymuszającego  $R_w$ . Jest oczywiste, że zabezpieczenia kierunkowe i admitancyjne mogą działać tylko wtedy, gdy składowa zerowa napięcia jest różna od zera i ma np. wartość równą  $U_0 = k_r U_f$  ( $k_r$  jest tu tzw. napięciowym współczynnikiem rozruchowym zabezpieczenia). Musi być więc spełniony warunek:

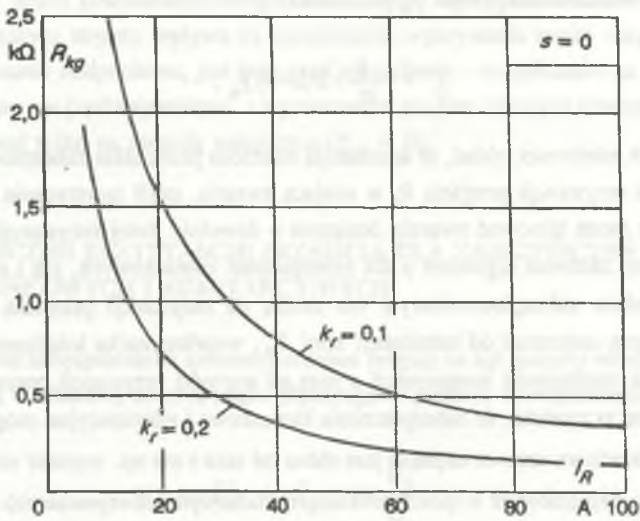
$$U_0 = \left| -\frac{U_f}{1 + R_k Y} \right| \geq k_r U_f, \quad (22)$$

który po przekształceniach ma postać:

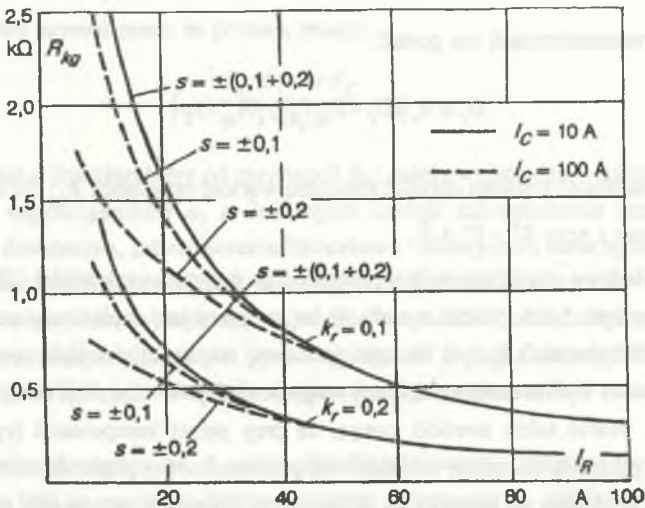
$$U_f \geq k_r |(U_f + R_{kg} I_R) - j R_{kg} s I_C|. \quad (23)$$

Powyższa zależność pozwala określić graniczną wartość rezystancji  $R_{kg}$  dla różnych wartości  $k_r$ ,  $I_R$ ,  $I_C$  oraz  $s$  przy  $U_f = U_n / \sqrt{3}$ .

Przykładowe charakterystyki wyznaczone na podstawie zależności (23) dla sieci 6 kV pokazano na rys. 5 i 6. Widać z nich, że im mniejszy jest napięciowy współczynnik rozruchowy zabezpieczenia  $k_r$ , tym wartości granicznej rezystancji przejścia są większe. Ponadto wzrost wartości wymuszanego prądu czynnego powoduje bardzo silne obniżenie wartości tej rezystancji. Warto także zwrócić uwagę, że przy pełnej kompensacji (rys. 5) graniczna rezystancja przejścia nie zależy od składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego  $I_C$ . Zależy ona natomiast od wartości tej składowej w przypadku stosowania rozstrojenia kompensacji (rys. 6). Wzrost wartości stopnia rozstrojenia kompensacji powoduje zmniejszenie wartości rezystancji  $R_{kg}$ .

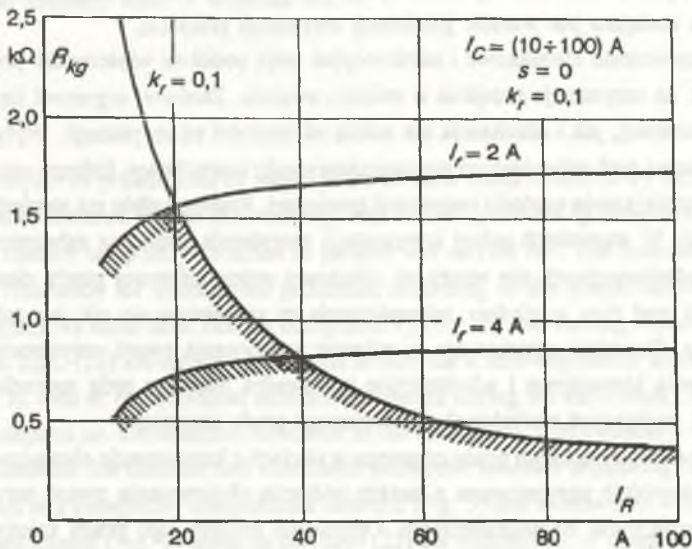


Rys. 5. Wartości granicznej rezystancji przejścia dla zabezpieczeń kierunkowych i admitancyjnych w zależności od wymuszanego prądu czynnego w sieci z pełną kompensacją  
 Fig. 5. Boundary values of the fault resistance for the directional and admittance protection according to the forced active current in the full-compensated network



Rys. 6. Wartości granicznej rezystancji przejścia dla zabezpieczeń kierunkowych i admitancyjnych w zależności od wymuszanego prądu czynnego w sieciach o różnych stopniach rozstrojenia kompensacji  
 Fig. 6. Boundary values of the fault resistance for the directional and admittance protection according to the forced active current in the networks with the various detuning level

Ocenę możliwości wykrywania zwarc rezystancyjnych przez zabezpieczenia kierunkowe i admitancyjne można przeprowadzić w stosunkowo prosty sposób wyznaczając strefę graniczną dla sieci o danych parametrach, przyjmując określone progi prądowy i napięciowy zabezpieczenia. Przykładowe obszary rezystancji przejścia dla zabezpieczeń o minimalnie możliwym w praktyce progu napięciowym  $k_r = 0,1$  i dwóch różnych wartościach progu prądowego - jak widać z rysunku - obszar rezystancji przejścia jest ograniczany progiem napięciowym w znacznie szerszym przedziale wymuszanego prądu czynnego  $I_R$ , niż przy progu prądowym o wyższej wartości. Wymuszanie dużych wartości prądu  $I_R$  mija się z celem, gdyż powoduje ograniczenie zdolności zabezpieczenia do reagowania na zwarcia pośrednie, co wynika także z rys. 5 i 6.



Rys. 7. Obszary rezystancji przejścia dla zabezpieczeń kierunkowych o różnych prądowych progach rozruchowych

Fig. 7. Fault resistance ranges for the directional protection with various starting current values

## 5. WNIOSKI

Obszar wykrywania zwarc rezystancyjnych przez zabezpieczenia ziemnozwarciowe może być określony na podstawie granicznej rezystancji przejścia, którą w sieciach kompensowanych z wymuszeniem składowej czynnej prądu, w zależności od rodzaju zastosowanego

zabezpieczenia (nadprądowe, kierunkowe, admitancyjne), można określić korzystając z zależności (16) lub (23) podanych w niniejszym artykule. Zamieszczone przykładowo wykresy zmienności granicznej rezystancji przejścia dotyczą sieci o napięciu znamionowym 6 kV. Wnioski ilościowe dotyczące wartości granicznej rezystancji przejścia zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach SN o innym napięciu znamionowym ( $U_{nx}$ ) mogą być formułowane na podstawie charakterystyk z rys. 2+7, po pomnożeniu wartości  $R_{kg}$  przez  $U_{nx}/6$ .

Dla zabezpieczeń nadprądowych graniczna rezystancja przejścia praktycznie nie zależy od wartości wymuszanego prądu czynnego, jeśli jego wartość jest nie mniejsza od ok. 20 A. W sieciach z pełną kompensacją graniczna rezystancja przejścia nie zależy od składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego, czyli od wykonania i rozległości sieci. Zasadniczy wpływ na zdolność reagowania zabezpieczeń nadprądowych na zwarcia rezystancyjne ma wartość prądu rozruchowego; im wyższa jest wartość prądu rozruchowego zabezpieczenia, tym mniejsza jest wartość granicznej rezystancji przejścia.

Zabezpieczenia kierunkowe i admitancyjne mają podobne właściwości pod względem wrażliwości na rezystancje przejścia w miejscu zwarcia. Zarówno argument impedancji dla składowej zerowej, jak i admitancja nie zależą od wartości tej rezystancji. Wpływ na rezystancję graniczną tych zabezpieczeń ma napięciowy próg rozruchowy, którego wzrost wartości powoduje zmniejszenie wartości rezystancji granicznej. Podobny efekt ma stopień rozstrojenia kompensacji. W warunkach pełnej kompensacji rezystancja graniczna zabezpieczeń kierunkowych i admitancyjnych nie zależy od składowej pojemnościowej prądu ziemnozwarciowego, czyli pod tym względem zabezpieczenia te zachowują się tak jak zabezpieczenia nadprądowe. Poważne ograniczenia w zakresie wykrywania zwarc rezystancyjnych przez zabezpieczenia kierunkowe i admitancyjne wprowadza prądowy próg rozruchowy, szczególnie przy mniejszych wartościach wymuszanego prądu czynnego.

Wartość wymuszanego prądu czynnego w sieciach z kompensacją ziemnozwarciową nie może być dowolnie przyjmowana z punktu widzenia obejmowania zwarc rezystancyjnych przez zabezpieczenia ziemnozwarciowe. Optymalny poziom tego prądu zależy od rodzaju zabezpieczenia i jego progów rozruchowych, tak prądowego, jak i napięciowego.

## LITERATURA

1. Kowalski J.: Możliwości eliminowania błędnych działań zabezpieczeń ziemnozwarciowych kierunkowych czynnomocowych w kompensowanych sieciach śn. *Energetyka* nr 4, 1995 r., s. 146.
2. Mikrut M., Pilch Z., Sauczek M.: Wykrywanie jednofazowych zwarc rezystancyjnych w sieciach średnich napięć o punkcie gwiazdowym uziemionym przez rezystor. *ZN Pol. Śląskiej, Elektryka* nr 127, Gliwice 1992, s. 63.

3. Mikrut M., Pilch Z., Sauczek M.: Automatyczna regulacja kompensacji ziemnozwarciowej w przemysłowych sieciach 6 kV. Mat. IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Aktualne problemy automatyki w energetyce", Gliwice 1985, t. B, s. 180.
4. Sauczek M.: Wykrywanie doziemień rezystancyjnych w sieciach przemysłowych 6 kV z kompensacją ziemnozwarciową. Mat. V Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Aktualne problemy automatyki w energetyce", Gliwice 1989, t. II, s. 250.
5. Synal B.: Porównanie sposobów uziemienia punktu zerowego sieci SN. Biuletyn Elektroprojektu, 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Łobos

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 września 1995 r.

#### Abstract

An analysis of possibilities of single phase-to-earth faults detection by different earth-fault protective schemes for the MV-network with neutral grounded by compensating reactor with linear resistor temporary switched in parallel was carried out. The boundary values of a transient resistance for overcurrent protection according to the forced active current  $I_R$  (Fig. 2), capacitive earth-fault current component  $I_C$  (Fig. 3) and starting current  $I_r$  (Fig. 4) based on the Eqn. (16) are determined. It was shown that a zero-impedance argument (Eqns. 17, 18, 19) as well as an equivalent network admittance during the earth-fault (Eqns. 20 and 21) do not depend on the transient resistance in the fault point. The boundary values of the transient resistance for distance and admittance protective schemes depending on the forced active current in a completely compensated network (Fig. 5) and in networks with the various detuning coefficients (Fig. 6) based on the Eqn. (23) are determined. A range of the transient resistances for distance and admittance protection with the smallest from practically occurring voltage starting levels and various current levels (Fig. 7) was determined. It was also shown that the value of the forced active current in networks with earth-fault compensation should not be chosen arbitrary because of embracing the resistance faults by earth-fault protection. The optimal level of this current depends on the kind of protection and its starting levels.

The given boundary values of the transient resistance refer to a nominal voltage 6 kV. For networks of another nominal voltage (e.g.  $U_{nx}$ ) the mentioned values should be multiplied by  $U_{nx}/6$ .