

Efektywność ziemnozwarciowych zabezpieczeń impulsowoprądowych

Streszczenie. W artykule oceniono skuteczność zabezpieczeń ziemnozwarciowych opartych na pomiarze impulsowych zmian prądu zerowego lub fazowego w zakresie wykrywania zwarcz rezystancyjnych. Uwzględniono wpływ parametrów sieci, układu kompensacji i wymuszania oraz położenia punktu pomiarowego. Wykazano zdecydowaną przewagę skuteczności działania zabezpieczeń impulsowoprądowych w stosunku do zabezpieczenia nadprądowego zerowego.

Abstract. In the paper the effectiveness of earth fault protection based on measurement of impulse-change zero sequence or phase current was estimated within the range of detection of resistive short-circuits. The influence of the network, compensation and forcing circuit parameters as well as the location of the measuring point was taken into account. It was demonstrated, that the impulse-current protections are much more effective than zero sequence overcurrent protection. (**The effectiveness of impulse-current earth fault protections**).

Słowa kluczowe: zwarcia doziemne, zabezpieczenia impulsowoprądowe, efektywność

Keywords: earth fault, impulse-current protections, effectiveness.

doi:10.12915/pe.2014.04.30

Wstęp

Do odcinkowej lokalizacji i sygnalizacji zwarcz w rozgałęzionych sieciach średnich napięć (SN) coraz powszechniej stosuje się sygnalizatory przepływu prądu zwarcziowego (SPPZ) [1-4]. Są to tanie urządzenia, przeznaczone do masowego użytku, wyposażone najczęściej w proste zabezpieczenia lub detektory zwarcz. Uzupełnienie SPPZ w urządzeniu łączności pozwala realizować systemy centralnej identyfikacji i lokalizacji zakłóceń (CIZ) [5-7] dostarczające informację o uszkodzonym odcinku linii wprost do dyspozycji ruchu spółki dystrybucyjnej tuż po wyłączeniu linii przez zabezpieczenie w stacji zasilającej. Urządzenia tego typu stają się elementami sieci inteligentnej. Z ich pomocą można kilkakrotnie skrócić czas przerwy w zasilaniu odbiorców oraz zmniejszyć straty z tytułu niedostarczonej energii.

Ze względów ekonomicznych i technicznych w SPPZ powinny być stosowane proste i zarazem skuteczne układy identyfikacji zwarcz doziemnych. Wysoką skuteczność wykrywania zwarcz doziemnych w sieciach kompensowanych z automatyką wymuszania składowej czynnej (AWSC) można uzyskać stosując impulsowoprądowe kryteria działania [8] oparte na pomiarach przyrostów prądów fazowych bądź prądu doziemnego (zerowego) zachodzących na skutek wymuszania składowej czynnej prądu zwarcziowego.

Impulsowoprądowe kryteria identyfikacji zwarcz doziemnych

Identyfikacja zwarcza na podstawie kryterium impulsowoprądowego zerowego sprowadza się do wykrycia impulsowego przyrostu prądu doziemnego ΔI_p przekraczającego wartość rozruchową ΔI_r :

$$(1) \quad \Delta I_p = \left| I_{pw} \right| - \left| I_p \right| \geq \Delta I_r$$

gdzie: I_p , I_{pw} - prądy doziemne w punkcie pomiarowym P przed i po załączeniu rezystora wymuszającego.

Impuls przyrostu prądu jest poddawany selekcji czasowej polegającej na sprawdzeniu jego czasu trwania t_i :

$$(2) \quad t_{i \min} \leq t_i \leq t_{i \max}$$

gdzie: $t_{i \min}$, $t_{i \max}$ - minimalna i maksymalna długość impulsu.

Selekcja czasowa impulsu stanowi dodatkowy warunek pozwalający odróżnić przyrost prądu spowodowany wymuszaniem od przyrostów, które pojawiają się w dowolnym punkcie sieci w chwili powstania zwarcza. Dolny przedział selekcji czasowej impulsu musi być mniejszy od zwłoki czasowej zabezpieczenia linii w stacji zasilającej $t_{i \min} < t_{zn}$, a górny przedział - mniejszy od czasu wyczekiwania na samoistny zanik zwarcza $t_{i \max} \leq t_w$.

Prąd rozruchowy ΔI_r dobiera się z warunku odstrojenia od maksymalnych zmian prądu na linii nieuszkodzonej $\Delta I_{pn \max}$ wywołanych asymetrią sieci i może być oszacowany z zależności:

$$(3) \quad \Delta I_r \geq k_b \Delta I_{pn \max} = k_b k_{as} \alpha I_{CS} e^{-\frac{k_{ap} k_{as} I_{CS}}{I_R + d_0 I_{CS}}}$$

w której: I_{CS} - prąd pojemnościowy sieci, $\alpha = I_{CL}/I_{CS}$ - współczynnik udziału prądu pojemnościowego linii I_{CL} w prądzie sieci, I_R - prąd rezystora wymuszającego, d_0 - współczynnik tłumienia sieci, $k_{as} = I_{as}/I_{CS}$ - współczynnik asymetrii (udziału prądu asymetrii I_{as} w prądzie pojemnościowym sieci), $k_b = 1,5 \div 2$ - współczynnik bezpieczeństwa, k_{ap} - współczynnik aproksymacji zależny od tłumienia sieci (dla $d_0 = 0,03 \div 0,05$ można przyjąć $k_{ap} = 2$).

Z zależności (3) wynika, że dla zabezpieczenia linii z prądem $I_{CL} \leq 10$ A w dowolnej sieci kompensowanej można przyjąć nastawę $\Delta I_r \leq 1$ A.

Identyfikacja zwarcza z zastosowaniem kryterium impulsowoprądowego fazowego polega na wykryciu impulsowego przyrostu prądu fazy doziemionej ΔI_{fp} przekraczającego wartość rozruchową ΔI_r :

$$(4) \quad \Delta I_{fp} = \left| I_{fpw} \right| - \left| I_{fp} \right| \geq \Delta I_r$$

gdzie: I_{fp} , I_{fpw} - prądy fazy doziemionej w punkcie pomiarowym P przed i po załączeniu rezystora wymuszającego.

Impuls przyrostu prądu fazowego jest poddawany selekcji czasowej, stanowiącej pomocnicze kryterium identyfikacji zwarcza doziemnego.

Prąd rozruchowy zabezpieczenia impulsowoprądowego fazowego dobiera się z warunku odstrojenia od

maksymalnych zmian prądu fazowego linii nieuszkodzonej podczas zwarcia zewnętrznego:

$$(5) \Delta I_r \geq k_b \frac{I_{CL} \sqrt{I_{CS}(Q_d^{-1} + d_0) + I_R} - \sqrt{I_{CS}(Q_d^{-1} + d_0)}}{3 \sqrt{I_{CS}(Q_d^{-1} + d_0) + I_R} + \sqrt{I_{CS}(Q_d^{-1} + d_0)}}$$

w którym: Q_d - dobroć zespołu kompensacyjnego.

W przypadku występowania dużej asymetrii prądowej $k_{as} = 0,03 \div 0,05$, nastawę zabezpieczenia należy szacować z zależności:

$$(6) \Delta I_r = I_{CL} / 3$$

Skuteczność ziemnozwarciowych zabezpieczeń impulsowoprądowych

Praktyczną miarą efektywności zabezpieczeń impulsowoprądowych, decydującą o ich przydatności do zastosowań w SPPZ, jest graniczna wartość rezystancji przejścia R_{kg} , przy której zabezpieczenie w konkretnym punkcie pomiarowym, nastawione na konkretną wartość rozruchową przyrostów prądu ΔI_r , wynikającą z lokalizacji punktu pomiarowego w sieci, jest w stanie zidentyfikować zwarcie doziemne wewnątrz chronionego odcinka linii. Rezystancję graniczną R_{kg} można ocenić numerycznie z zależności (1) i (4) po przyrównaniu przyrostu prądu do prądu rozruchowego. Niezbędne do obliczeń rezystancji R_{kg} prądy fazowe oraz prąd doziemny najlepiej określać z równań parametrycznych, które w przypadku zwarcia wewnętrznego fazy L1 przyjmują postać:

$$(7) \begin{cases} \underline{I}_{L1p} = \frac{I_{CS}\underline{b} - \underline{I}_{as}}{E + R_k I_{CS}\underline{b}} [E + \alpha(d_0 + j)I_{CL1}R_k] + \underline{I}_{ob} \\ \underline{I}_{L1pw} = \frac{(I_{CS}\underline{b} + I_R - \underline{I}_{as})(E + \alpha(d_0 + j)R_k I_{CL1})}{E + R_k(I_{CS}\underline{b} + I_R)} + \underline{I}_{ob} \end{cases}$$

$$(8) \begin{cases} \underline{I}_{L2p} = \left(\underline{a}^2 - \frac{E + R_k \underline{I}_{as}}{E + R_k I_{CS}\underline{b}} \right) \alpha(d_0 + j)I_{CL2} + \underline{a}^2 \underline{I}_{ob} \\ \underline{I}_{L2pw} = \left(\underline{a}^2 - \frac{E + R_k \underline{I}_{as}}{E + R_k(I_{CS}\underline{b} + I_R)} \right) \alpha(d_0 + j)I_{CL2} + \underline{a}^2 \underline{I}_{ob} \end{cases}$$

$$(9) \begin{cases} \underline{I}_{L3p} = \left(\underline{a} - \frac{E + R_k \underline{I}_{as}}{E + R_k I_{CS}\underline{b}} \right) \alpha(d_0 + j)I_{CL3} + \underline{a} \underline{I}_{ob} \\ \underline{I}_{L3pw} = \left(\underline{a} - \frac{E + R_k \underline{I}_{as}}{E + R_k(I_{CS}\underline{b} + I_R)} \right) \alpha(d_0 + j)I_{CL3} + \underline{a} \underline{I}_{ob} \end{cases}$$

$$(10) \underline{I}_p = \sum_{i=1}^3 k_i \underline{I}_{Lip}; \quad \underline{I}_{pw} = \sum_{i=1}^3 k_i \underline{I}_{Lipw};$$

$$(11) \underline{a} = e^{j2\pi/3}; \quad \underline{b} = (1 + s)/Q_d + d_0 - js$$

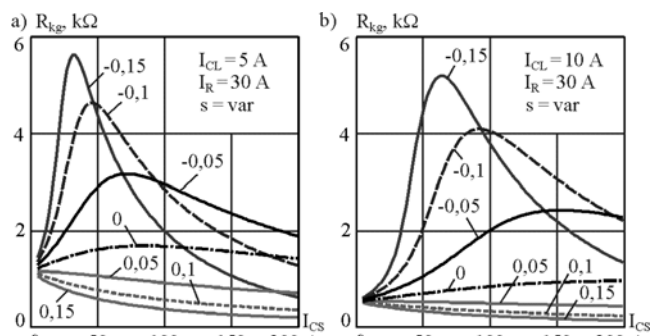
gdzie: E - napięcie fazowe źródła zasilania, \underline{I}_{ob} - prąd obciążenia linii, \underline{I}_{as} - prąd asymetrii sieci, $I_{CL1} \div I_{CL3}$ - prądy pojemnościowe fazowe sieci, $k_i = K_i/K_n$ - względne przekładnie przekładników filtra składowej zerowej prądu, odniesione do przekładni znamionowej K_n .

Równania (7)-(10) mają charakter ogólny. Uwzględniają one istotne parametry sieci, w tym prąd asymetrii i prąd uchybowy wywołany błędami transformacji przekładników. Z ich pomocą jest możliwa wszechstronna ocena skuteczności zabezpieczeń impulsowoprądowych.

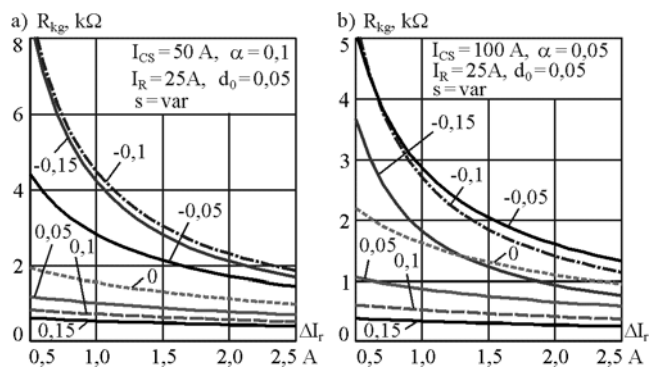
Skuteczność zabezpieczenia impulsowoprądowego zerowego, obliczoną na podstawie przytoczonych wzorów, w zależności od parametrów sieci, układu kompensacji i wymuszania ilustrują rysunki 1 do 4.

Z charakterystyk na rysunku 1 wynika, że zabezpieczenie impulsowe może wykrywać wysokopiętrowe zwarcia doziemne w sieciach dobrze skompensowanych z prądem pojemnościowym do 100 A. W sieciach niedokompensowanych w stopniu $s \cong -(\alpha + d_0)$, istnieje możliwość wykrywania doziemień z udziałem rezystancji $R_k > 2 \text{ k}\Omega$. Taki wynik jest porównywalny ze skutecznością zabezpieczeń admitycyjnych [9], uważanych za najlepsze z obecnie stosowanych. W sieciach przekompensowanych można za pomocą takiego zabezpieczenia wykrywać zwarcia z udziałem rezystancji R_k rzędu 500 Ω , co stanowi wynik gorszy niż uzyskiwany w zabezpieczeniach admitycyjnych, lecz lepszy niż w zabezpieczeniach zerowo-prądowych [8]. Z rysunku 1 wynika także, że zabezpieczenie impulsowe może być szczególnie efektywne na liniach kablowych sieci małych, w których współczynnik lokalizacji punktu pomiarowego α osiąga znaczne wartości, dochodzące nawet do 0,5.

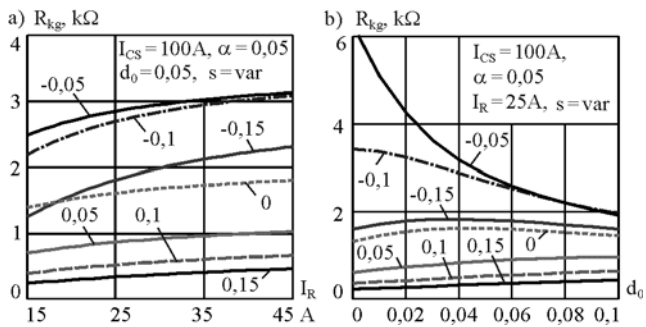
Na skuteczność zabezpieczenia w sposób istotny wpływa prąd rozruchowy ΔI_r (rys. 2). Najbardziej stroma zależność R_{kg} od ΔI_r występuje w sieci niedokompensowanej w stopniu $s \cong -(\alpha + d_0)$, tj. wtedy, gdy rezystancja graniczna jest największa. W większości przypadków prąd rozruchowy może być dobrany z warunku $\Delta I_r \leq 1 \text{ A}$, który zapewnia wysoką lub bardzo wysoką skuteczność działania zabezpieczenia.



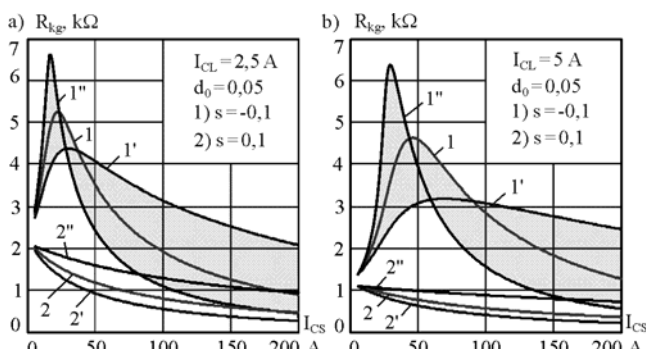
Rys.1. Charakterystyki granicznej wartości rezystancji przejścia wykrywanej przez zabezpieczenie impulsowe zerowe o progu rozruchowym $\Delta I_r = 1 \text{ A}$ w funkcji prądu pojemnościowego sieci dla kilku wartości współczynnika rozstrojenia kompensacji w przypadku lokalizacji punktu pomiarowego na linii z prądem pojemnościowym: a) $I_{CL} = 5 \text{ A}$; b) $I_{CL} = 10 \text{ A}$. Parametry sieci: $U = 15 \text{ kV}$, $d_0 = 0,05$, $Q_d = 80$



Rys.2. Charakterystyki granicznej rezystancji przejścia R_{kg} w funkcji prądu rozruchowego ΔI_r , dla zabezpieczenia impulsowego zerowego: a) $I_{CS} = 50 \text{ A}$, $\alpha = 0,1$; b) $I_{CS} = 100 \text{ A}$, $\alpha = 0$. Parametry sieci: $U = 15 \text{ kV}$, $I_R = 25 \text{ A}$, $d_0 = 0,05$, $Q_d = 80$



Rys.3. Charakterystyki granicznej rezystancji przejścia R_{kg} dla zabezpieczenia impulsowego zerowego o progu rozruchowym $\Delta I_r = 1$ A w funkcji: a) prądu rezystora wymuszającego w przypadku $d_0 = 0,05$, b) współczynnika tłumienia sieci d_0 w przypadku $I_R = 25$ A. Parametry sieci: $U = 15$ kV, $I_{CS} = 100$ A, $\alpha = 0,05$, $Q_d = 80$



Rys.4. Charakterystyki granicznej rezystancji przejścia dla zabezpieczenia impulsowego zerowego w sieci niesymetrycznej w funkcji prądu I_{CS} . Prąd pojemnościowy zabezpieczanej linii: a) $I_{CL} = 2,5$ A, b) $I_{CL} = 5$ A. Nastawa zabezpieczenia $\Delta I_r = 1$ A. Krzywe z numerem 1 - $s = -0,1$, a z numerem 2 - $s = 0,1$. Krzywe 1', 2' - kąt prądu asymetrii $\varphi_{as} = 57^\circ$. Krzywe 1'', 2'' - $\varphi_{as} = 237^\circ$. Parametry sieci: $U = 15$ kV, $I_R = 30$ A, $Q_d = 80$, $I_{as} = 3$ A

Poprawę skuteczności zabezpieczenia impulsowego można osiągnąć przez zmniejszenie wartości rezystancji w obwodzie wymuszania, czyli przez zwiększenie prądu wymuszanego (rys. 3a). Istotna poprawa następuje w przypadku zwiększania prądu rezystora do około 30 A.

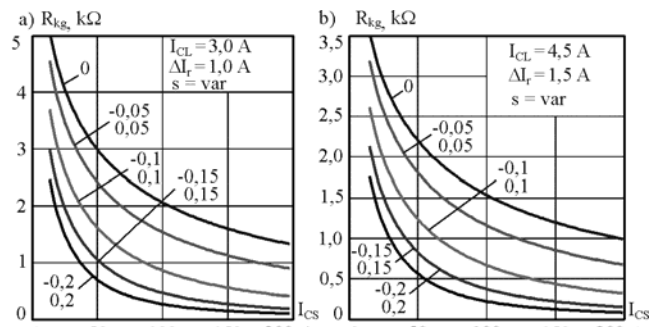
Na skuteczność zabezpieczenia impulsowego w sieci przekompensowanej korzystnie wpływa wzrost upływności (rys. 3b). W sieci niedokompensowanej wzrost d_0 może powodować zarówno zwiększenie ($s \ll -\alpha$) jak i zmniejszenie ($s \approx -\alpha$) skuteczności zabezpieczenia.

Istotnym czynnikiem wpływającym na funkcjonowanie zabezpieczenia jest asymetria pojemnościowa sieci, której skutkiem są prądy asymetrii I_{as} . Jak wynika z rysunku 4, asymetria może powodować zarówno znaczny wzrost granicznej rezystancji przejścia R_{kg} wykrywanej przez zabezpieczenie, jak również znaczne jej zmniejszenie. Zależy to od udziału prądu asymetrii w prądzie pojemnościowym sieci k_{as} , kąta fazowego prądu asymetrii φ_{as} , parametrów sieci oraz lokalizacji punktu pomiarowego α . Znaczące oddziaływanie asymetrii na efektywność zabezpieczenia impulsowego występuje przede wszystkim w sieciach niedokompensowanych.

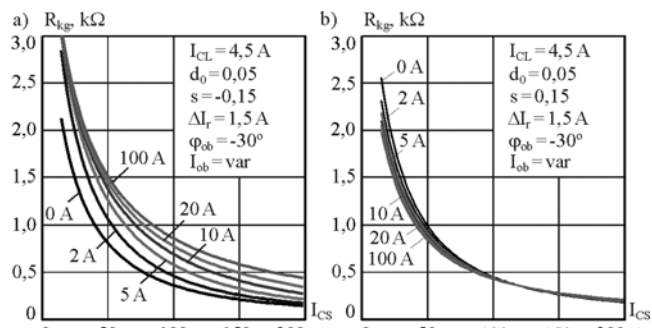
Skuteczność zabezpieczenia impulsowoprądowego fazowego zilustrowano na rysunkach 5 do 7.

Z charakterystyk na rysunku 5 wynika, że zabezpieczenie impulsowe fazowe, podobnie jak zabezpieczenie impulsowoprądowe zerowe, daje możliwość wykrywania wysokorezystancyjnych zwarcí doziemnych w sieciach kompensowanych, lecz jego właściwości są nieco inne. Wykazuje ono najwyższą efektywność w sieciach

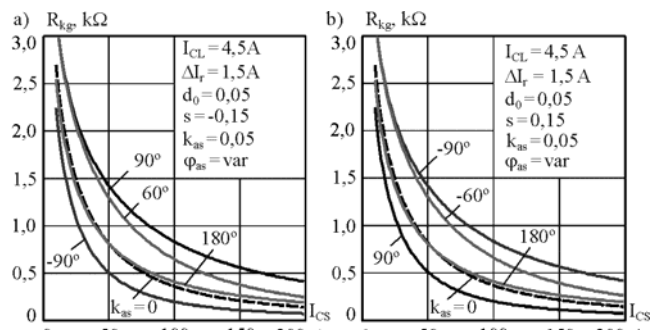
dobrze skompensowanych przy $s = -0,1 \div 0,1$. Na liniach nieobciążonych jest ono jednakowo skuteczne zarówno w przypadku przekompensowania jak i niedokompensowania.



Rys.5. Charakterystyki granicznej rezystancji przejścia wykrywanej przez zabezpieczenie impulsowe fazowe o progu rozruchowym $\Delta I_r = 1,0$ A (a) oraz $\Delta I_r = 1,5$ A (b) w funkcji prądu pojemnościowego sieci dla kilku wartości współczynnika rozstrojenia kompensacji s . Pozostałe parametry sieci: $d_0 = 0,05$, $Q_d = 80$; $I_R = 15$ A



Rys.6. Wpływ prądu odciążenia I_{ob} na graniczną rezystancję przejścia dla zabezpieczenia impulsowego fazowego o progu rozruchowym $\Delta I_r = 1,5$ A w funkcji prądu pojemnościowego sieci: a) rozstrojenie kompensacji $s = -0,15$; b) $s = 0,15$. Parametry sieci: $U = 15$ kV, $I_R = 15$ A, $Q_d = 80$



Rys.7. Wpływ prądu asymetrii i jego kąta na graniczną rezystancję przejścia dla zabezpieczenia impulsowego fazowego o progu rozruchowym $\Delta I_r = 1,5$ A w funkcji prądu pojemnościowego sieci: a) $s = -0,15$, $k_{as} = 0,05$; b) $s = 0,15$, $k_{as} = 0,05$. Parametry sieci: $U = 15$ kV, $I_R = 15$ A, $Q_d = 80$

Efektywność zabezpieczenia zależy od prądu obciążenia chronionej linii (rys. 6) i prądu asymetrii (rys. 7).

Prąd obciążenia powoduje na ogół wzrost R_{kg} (rys. 6a). Tylko w przypadkach, gdy wartości stopnia rozstrojenia kompensacji s i kąta prądu obciążenia φ_{ob} są duże i mają przeciwne znaki (rys. 6.b), występuje nieznaczne zmniejszenie R_{kg} .

Prąd asymetrii może wpływać zarówno na poprawę, jak i na pogorszenie skuteczności zabezpieczenia. W sieci niedokompensowanej największy wzrost R_{kg} następuje

wtedy, gdy kąt prądu asymetrii φ_{as} jest zbliżony do 90° (rys. 7a), a największe zmniejszenie R_{kg} , gdy $\varphi_{as} \cong -90^\circ$. W sieci przekompensowanej (rys. 7b) jest dokładnie na odwrót. Oddziaływanie prądu asymetrii na efektywność zabezpieczenia silnie zależy od jego udziału k_{as} w stosunku do prądu pojemnościowego sieci.

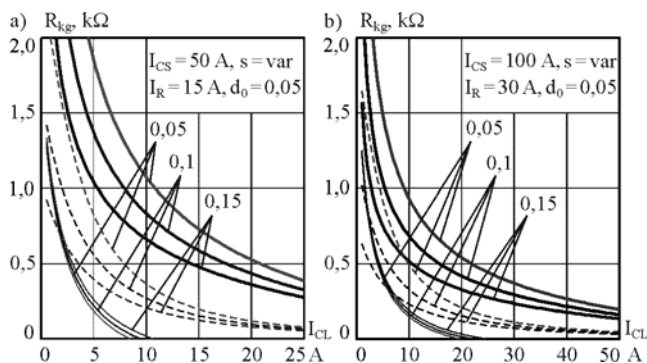
Porównanie skuteczności zabezpieczeń impulsowoprądowych i nadprądowego zerowego

W celu zobrazowania przewagi zabezpieczeń impulsowoprądowych w stosunku do zabezpieczeń nadprądowych przeprowadzono analizę porównawczą ich skuteczności działania podczas zwarcí pośrednich. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe charakterystyki granicznej rezystancji przejścia R_{kg} wykrywanej przez zabezpieczenia nadprądowe i impulsowoprądowe w funkcji prądu pojemnościowego linii I_{CL} dla kilku wartości współczynnika rozstrojenia kompensacji s , z zalecanego w eksploatacji sieci zakresu $0,05 \div 0,15$, określone dla sieci z prądem pojemnościowym $I_{CS} = 50$ A (rys. 8a) i $I_{CS} = 100$ A (rys. 8b). Charakterystyki te uzyskano dla sieci 15 kV przy założeniu, że prąd wymuszony stanowi w pierwszym przypadku $I_R = 15$ A, a w drugim $I_R = 30$ A oraz przy typowych wartościach $Q_d = 80$ i $d_0 = 0,05$. Przy tym prąd rozruchowy I_r zabezpieczenia nadprądowego określano z zależności:

$$(12) \quad I_r = k_b(I_{CL} + I_u)$$

w której: $I_u = 2$ A - prąd uchybowy przekładnika Ferrantiego przeliczony na stronę pierwotną; $k_b = 2$ - współczynnik bezpieczeństwa.

Nastawę zabezpieczenia impulsowoprądowego zerowego przyjęto równą 1 A, natomiast nastawę zabezpieczenia impulsowoprądowego fazowego obliczano z (5) przyjmując $k_b = 2$. Ponadto przy obliczeniach przyjęto $I_{ob} = 50$ A.



Rys.8. Porównanie skuteczności działania zabezpieczeń nadprądowych (linie ciągłe cienkie), impulsowoprądowych zerowych (linie przerywane) oraz impulsowoprądowych fazowych (linie ciągłe pogrubione) w funkcji prądu pojemnościowego linii dla kilku wartości współczynników rozstrojenia kompensacji w sieci z prądem pojemnościowym: a) $I_{CS} = 50$ A; b) $I_{CS} = 100$ A

Jak wynika z rysunku, zabezpieczenia impulsowoprądowe są wielokrotnie skuteczniejsze od zabezpieczenia nadprądowego zerowego. Dotyczy to zwłaszcza zabezpieczenia impulsowoprądowego fazowego. Zabezpieczenia nadprądowe zerowe wykazują dobrą skuteczność działania jedynie w punktach końcowych linii, w których prądy pojemnościowe są niewielkie. Na poprawę skuteczności działania zabezpieczeń nadprądowych korzystnie wpływa zwiększenie stopnia

przekompensowania sieci oraz zwiększenie prądu wymuszanego. Zabezpieczenie impulsowe fazowe, w przeciwieństwie do nadprądowego, wykazuje największą skuteczność w przypadku kompensacji dokładnej, tj. gdy $s \cong 0$. Zabezpieczenie impulsowe zerowe osiąga największą efektywność, jak to było pokazane wcześniej, w przypadku niedokompensowania $s = -(\alpha + d_0)$.

Zabezpieczenia impulsowoprądowe zachowują wysoką skuteczność nawet w przypadku lokalizacji w punktach o znacznych wartościach prądów pojemnościowych, w których zabezpieczenie nadprądowe traci możliwość działania.

Wnioski

Zwarcia doziemne w głębi kompensowanej sieci średniego napięcia można wykrywać na podstawie pomiaru impulsowych zmian prądu zerowego lub prądów fazowych.

Zabezpieczenia ziemnozwarciowe oparte na kryteriach impulsowoprądowych odznaczają się prostotą realizacji i dużą skutecznością działania w zakresie wykrywania zwarcí rezystancyjnych, zwłaszcza w sieciach dobrze skompensowanych. Ich efektywność jest wielokrotnie większa od efektywności zabezpieczeń zerowo-prądowych i w szczególnych przypadkach dorównuje efektywności najlepszych z obecnie stosowanych zabezpieczeń admitancyjnych.

Z uwagi na prostotę realizacji technicznej zabezpieczenia impulsowoprądowe mogą być z powodzeniem stosowane w SPPZ, przeznaczonych do montażu w stacjach transformatorowych linii kablowych lub bezpośrednio na przewodach linii napowietrznych oraz w urządzeniach nadawczych systemu centralnej identyfikacji zakłóceń.

LITERATURA

- [1] Bjerkan E., Venseth T., Locating earth-faults in compensated distribution networks by means of fault indicators, *International Conference on Power Systems Transients (IPST'05)*, Montreal, 19-23 June 2005, paper No. IPST05 - 107
- [2] Hänninen S., Single phase earth faults in high impedance grounded networks. Characteristics, indication and location. *Technical Research Centre of Finland*, Espoo 2001
- [3] Wądołowski M., Nowoczesne narzędzia lokalizacji zwarcí w sieciach średnich napięć - wskaźniki przepływu prądu zwarciovowego, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 9, 2004, 54-57
- [4] Marciniak L., Sygnalizatory do lokalizacji odcinkowej zwarcí w kablowych sieciach średnich napięć. *Automatyka Elektroenergetyczna*, 19 (1998), nr 2, 4-7
- [5] Byrczek J., Rozproszenie automatyki zabezpieczeniowej w sieci SN jako sposób poprawienia jakości energii elektrycznej, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 2006, nr 6, 51-53
- [6] Cieśliewicz K., Marciniak L., Kornatka M., Aktualne możliwości i tendencje rozwojowe centralnej identyfikacji zwarcí systemem CIZ, *Automatyka Elektroenergetyczna*, cz. 1, 8 (1995) nr 3, 13-16, cz. 2, 9 (1995), nr 4, 21-24, cz. 3, 10 (1996), nr 1, 16-18
- [7] Späck H., Schüpferling B., Riemenschneider J., Schelte M., Intelligent transformer substations in modern medium voltage networks as part of "Smart Grid", 7th MedPower 2010, Cyprus, 7-10 November 2010, 658-665
- [8] Marciniak L., Impulsowo-prądowe kryteria wykrywania zwarcí doziemnych w głębi kompensowanej sieci średniego napięcia, *Prace naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej*, 90 (1998), Konferencje nr 33, tom 2, 399-410
- [9] Lorenc J., Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007

Autorzy: dr inż. Lubomir Marciniak, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: ubmar@el.pcz.czyst.pl;