

ADAM MAREK

# Analiza działania centralnych zabezpieczeń upływowych z pomocniczym źródłem prądowym pracujących w układzie omomierza szeregowego

*W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące właściwości, a w szczególności odporności centralnych zabezpieczeń upływowych z pomocniczym źródłem prądowym na zakłócenia sieciowe. Wykazano podatność centralnych zabezpieczeń upływowych na tego typu zakłócenia (szczególnie w przypadku zastosowania źródeł prądowych o małych prądach znamionowych).*

Słowa kluczowe: *centralne zabezpieczenie upływowe (CZU), rezystancja doziemna, pojemność doziemna, diodowa bariera ochronna*

## 1. WPROWADZENIE

W dołowej sieci kopalnianej jako środki monitorujące stan izolacji sieci stosowane są: zabezpieczenia upływowe, zabezpieczenia blokujące oraz układy do kontroli ciągłości uziemienia. Zabezpieczenia upływowe kontrolują stan izolacji sieci pracującej pod napięciem. W przypadku obniżenia się rezystancji doziemnej  $R_d$  poniżej wartości progowej (zgodnej z określoną normą [2, 3]) zadaniem takiego zabezpieczenia jest wyłączenie (bądź sygnalizacja) uszkodzonego fragmentu sieci. Dostępne na rynku rozwiązania zabezpieczeń upływowych można podzielić na dwie grupy: zabezpieczenia oparte na stałym źródle pomocniczym oraz zabezpieczenia oparte na przemiennym źródle pomocniczym. Większość dostępnych na rynku zabezpieczeń upływowych opiera się na stałym źródle pomocniczym. Spotyka się zarówno zabezpieczenia oparte na stałym napięciu pomocniczym, jak i zabezpieczenia oparte na stałym prądzie pomocniczym. Niezależnie od zastosowanego rodzaju źródła pomocniczego spotyka się rozwiązania pracujące w układzie omomierza szeregowego lub w układzie omomierza równoległego.

W zabezpieczeniach opartych na stałym napięciu pomocniczym pracujących w układzie omomierza szeregowego (rys. 1a) wielkością mierzoną jest prąd  $i_p$ .

Informację o nim uzyskuje się na podstawie spadku napięcia  $u_b$  na boczniku  $R_b$ . Wówczas wartość rezystancji doziemnej  $R_d$  opisana jest zależnością:

$$R_d = \frac{E_p}{I_p} - (R'_p + R''_p + R_b) \quad (1)$$

gdzie:

$R_d$  – wartość rezystancji doziemnej [W],

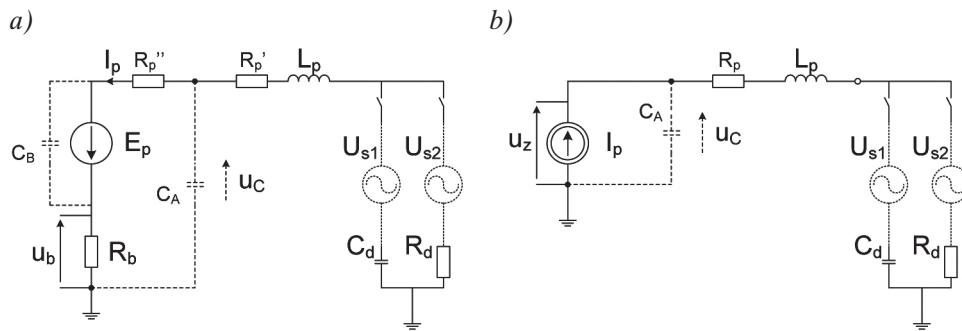
$E_p$  – wartość napięcia źródła pomocniczego zabezpieczenia upływowego [V],

$I_p$  – wartość średnia prądu pomiarowego zabezpieczenia upływowego [A],

$R_p = R'_p + R''_p$  – wartość zastępczej rezystancji szeregowego zabezpieczenia upływowego [W].

Przedstawiony na rysunku 1a schemat uwzględnia ponadto inne elementy związane z zabezpieczeniem upływowym: elementy filtrujące (pojemności  $C_A$  i  $C_B$ ), indukcyjność szeregową  $L_p$  oraz pozostałe elementy związane z siecią zasilającą (zastępcza pojemność doziemna  $C_d$  i zastępcze napięcie zakłócające  $U_s$ ).

W alternatywnym rozwiązaniu (rys. 1b) zabezpieczenie upływowe opiera się na stałym prądzie pomocniczym  $I_p$ , a wielkością mierzoną jest napięcie  $u_z$  na zaciskach zasilania. Przykładowym zabezpieczeniem bazującym na stałym prądzie pomocniczym pracującym w układzie omomierza szeregowego jest



Rys. 1. Uproszczony schemat zastępczy zabezpieczenia upływowego pracującego w układzie omomierza szeregowego opartego na: a) stałym napięciu pomocniczym; b) stałym prądzie pomocniczym

zabezpieczenie PM-2 [4]. Wówczas stan izolacji sieci opisany jest zależnością [1]:

$$R_d = \frac{U_z}{I_p} - R_p \quad (2)$$

gdzie:

$U_z$  – wartość średnia napięcia pomiarowego zabezpieczenia upływowego [V],

$I_p$  – wartość prądu pomocniczego zabezpieczenia upływowego [A].

W bieżącym artykule zostaną przedstawione badania koncentrujące się na określeniu właściwości zabezpieczeń upływowych opartych na stałym prądzie pomocniczym pracujących w układzie omomierza szeregowego oraz wrażliwości tego typu zabezpieczeń na występujące czynniki zakłócające ich pracę w odniesieniu do obowiązujących norm górniczych.

## 2. MODEL BADAWCZY

Założono, że do badań symulacyjnych należy przyjąć uproszczony schemat, który będzie uwzględniał zarówno najważniejsze elementy samego zabezpieczenia upływowego opartego na stałym prądzie pomocniczym, a także najważniejsze parametry sieci elektrycznej. Przyjęcie takiego rozwiązania pozwala obserwować zachowanie badanego zabezpieczenia upływowego: na załączenie układu do sieci, na pojawiające się zmiany rezystancji i pojemności doziemnej w badanej sieci oraz na generowane zakłócenia w stacjach przejściowych. Analiza otrzymanych wyników pozwoli ocenić poprawność reakcji tego typu zabezpieczeń na zaistniałe sytuacje. Będzie również można określić ich odporność na pojawiające się w tych stacjach zakłócenia. Wnioski z przeprowadzonych badań

pozwolą ocenić przydatność zabezpieczeń upływowych opartych na stałym prądzie pomocniczym do pracy w kopalnianych sieciach niskiego napięcia.

Uproszczony schemat zastępczy zabezpieczeń upływowych opartych na stałym prądzie pomocniczym został przedstawiony na rysunku 2. Na schemacie tym można wyróżnić część reprezentującą najważniejsze elementy zabezpieczenia upływowego (CZU) oraz część reprezentującą najważniejsze zastępcze parametry badanej sieci (ZPS).

Do zabezpieczenia upływowego zalicza się źródło prądu pomocniczego  $I_p$ , rezystor i dławik szeregowy ( $R_p$ ,  $L_p$ ), kondensator filtrujący  $C_A$  oraz ogranicznik napięcia występujący w postaci diodowej bariery ochronnej (DBO), w którego skład wchodzi: rezystory  $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  oraz zespół diod stabilizacyjnych (Zenera)  $D_{z1}$ ,  $D_{z2}$ . Sieć, w której dochodzi do różnych stanów awaryjnych, reprezentowana jest przez zastępczą rezystancję i pojemność doziemną ( $R_d$ ,  $C_d$ ) oraz zastępcze napięcie zakłócające  $U_s$ .

Ponadto na schemacie tym:

- $u_z$  – chwilowa wartość napięcia pomiarowego zabezpieczenia upływowego [V],
- $u_1$  – chwilowa wartość zastępczego napięcia wejściowego zabezpieczenia [V].

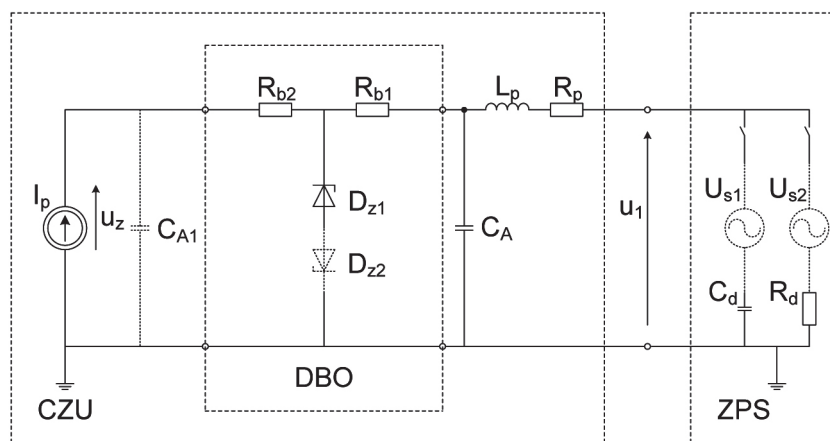
Stan izolacji sieci jest wówczas opisany zależnością:

$$R_d = \frac{U_z}{I_p} - (R_p + R_{b1} + R_{b2}) \quad (3)$$

Czułość napięciowa pomiaru rezystancji doziemnej:

$$\Delta U_z = \Delta R_d I_p \quad (4)$$

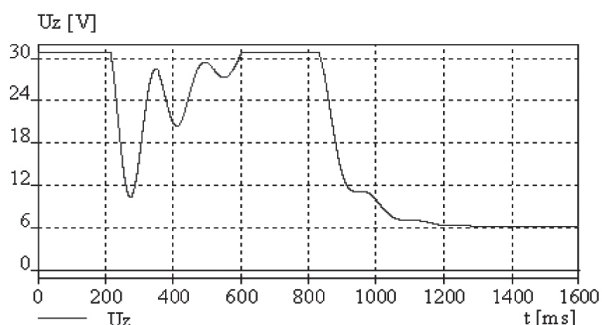
Z relacji (4) wynika, że przyrost napięcia mierzonego jest liniowo zależny od przyrostu rezystancji doziemnej  $R_d$  oraz prądu pomocniczego  $I_p$ .



Rys. 2. Uproszczony schemat zastępczy zabezpieczenia upływowego opartego na stałym prądzie pomocniczym (układ omomierza szeregowego) przyjęty do badań symulacyjnych

### 3. BADANIA SYMULACYJNE

Na podstawie schematu przedstawionego na rysunku 2 przeprowadzono szereg badań symulacyjnych z wykorzystaniem programu symulacyjnego TCAD. Założono:  $U_s = 500 \text{ V}$ ,  $R_p = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{b1} = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{b2} = 1,2 \text{ k}\Omega$ ,  $C_A = 3 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $L_p = 340 \text{ H}$ ,  $I_p = 0,2 \text{ mA}$ . Pierwszy przypadek (rys. 3) pokazuje pracę zabezpieczenia podczas symetrycznego załączenia go w chwili  $t = 0,2 \text{ s}$  do sieci rozległej ( $C_d = 3 \text{ }\mu\text{F}$ ) i następnie pojawienie się trójfazowego symetrycznego obniżenia rezystancji doziemnej  $R_d$  do wartości  $15 \text{ k}\Omega$  (w chwili  $t = 0,8 \text{ s}$ ). Dla przyjętych parametrów wartość napięcia progowego (odpowiadającego rezystancji progowej  $15 \text{ k}\Omega$  dla sieci  $500 \text{ V}$ ), poniżej którego powinno nastąpić zadziałanie zabezpieczenia upływowego, wynosi około  $6 \text{ V}$ . Podczas załączenia zabezpieczenia do sieci w napięciu pomiarowym  $u_z$  pojawiają się oscylacje wywołane przez układ rezonansowy ( $L_p, C_A, C_d, R_p, R_d$ ).

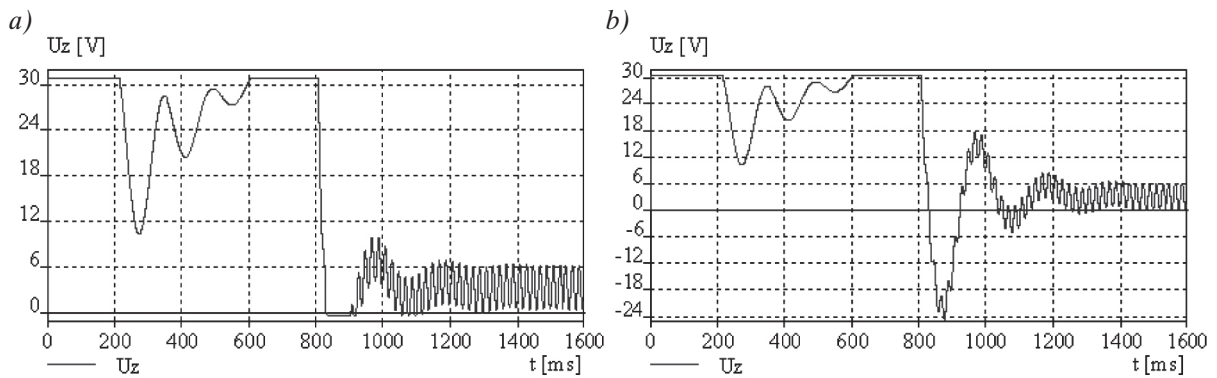


Rys. 3. Symetryczne załączenie zabezpieczenia upływowego ( $t = 0,2 \text{ s}$ ) i symetryczne trójfazowe obniżenie rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 15 \text{ k}\Omega$  ( $t = 0,8 \text{ s}$ ) w sieci rozległej ( $C_d = 3 \text{ }\mu\text{F}$ )

W rozpatrywanej sieci podczas załączenia zabezpieczenia do sieci nie powinno dochodzić do przypadków zbędnego zadziałania zabezpieczenia upływowego, ze względu na to, że mierzone napięcie  $u_z$  nie osiąga wartości mniejszych od wartości progowej ( $6 \text{ V}$ ). Tego typu problemy mogą natomiast pojawiać się w przypadku załączenia tego typu zabezpieczeń upływowych do sieci  $1000 \text{ V}$  [5]. Badania symulacyjne wykazały, że napięcie pomiarowe osiąga wartość oczekiwaną.

Kolejne dwie symulacje (rys. 4a, b) dotyczą podłączenia do sieci rozległej ( $C_d = 3 \text{ }\mu\text{F}$ ) zabezpieczenia upływowego w chwili  $t = 0,2 \text{ s}$  oraz wystąpienia jednofazowego obniżenia rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 1 \text{ k}\Omega$  w chwili  $t = 0,8 \text{ s}$ . Różnica pomiędzy symulowanymi układami tkwiła w zastosowaniu diodowej bariery ochronnej zawierającej jedną bądź dwie przeciwobnie załączone diody stabilizacyjne (rys. 2). Użycie jednej diody stabilizacyjnej przyczynia się do zmniejszenia napięcia zakłócającego w napięciu pomiarowym  $U_z$  ze względu na ograniczenie minimalnej wartości napięcia pomiarowego do napięcia przewodzenia diody (rys. 4a). Zastosowanie dwóch diod stabilizacyjnych powoduje zwiększenie składowej rezonansowej (wynikającej z istnienia obwodu drgającego) w napięciu pomiarowym  $u_z$  (rys. 4b).

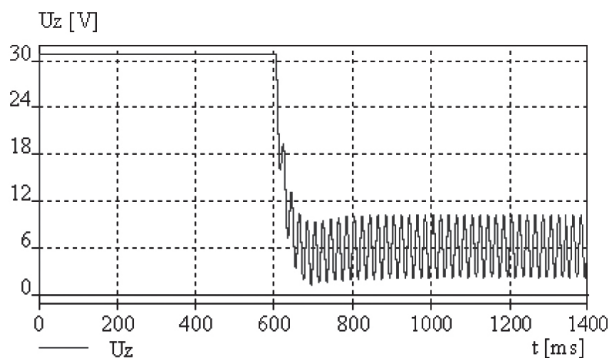
Zwiększenie rezystancji doziemnej do wartości nastawczej zabezpieczenia upływowego ( $R_d = 15 \text{ k}\Omega$ ) w rozległej sieci kopalnianej ( $C_d = 3 \text{ }\mu\text{F}$ ) ogranicza wartość międzyszczytową składowej zmiennej (o częstotliwości sieciowej). W tych warunkach nie ma problemu z pojawieniem się chwilowych wartości napięcia pomiarowego  $u_z$  mniejszych od zera.



Rys. 4. Symetryczne załączenie zabezpieczenia upływowego ( $t = 0,2$  s) i jednofazowe obniżenie rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 1$  kW ( $t = 0,8$  s) w rozległej sieci ( $C_d = 3$   $\mu$ F):

a) z jedną; b) z dwoma diodami stabilizacyjnymi

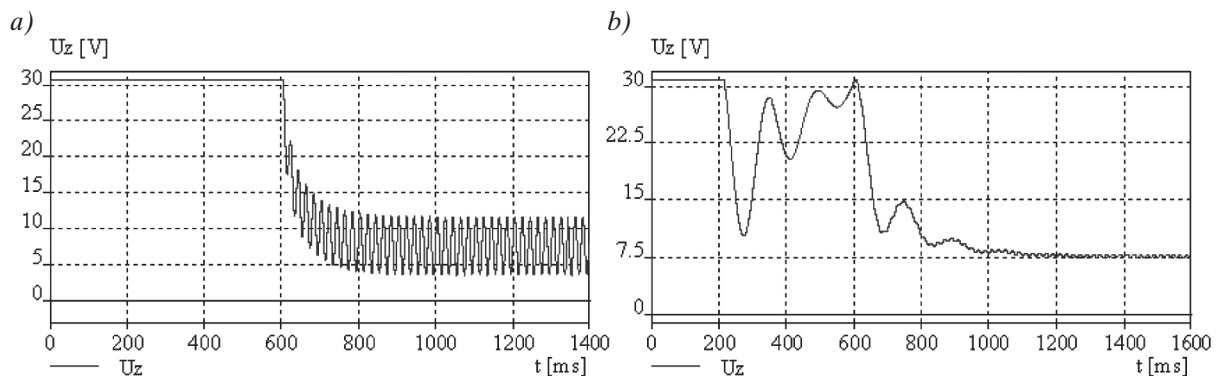
Problem ten nie pojawia się również w sytuacji, gdy zabezpieczenie pracuje w krótkiej sieci, czyli przy niewielkiej pojemności doziemnej ( $C_d = 30$  nF). Sytuację taką obrazuje przebieg napięcia pomiarowego przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Symetryczne załączenie zabezpieczenia upływowego ( $t = 0,2$  s) i jednofazowe obniżenie rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 15$  kW ( $t = 0,6$  s) w sieci krótkiej ( $C_d = 30$  nF) z jedną diodą stabilizacyjną

W przebiegach napięć pomiarowych  $u_z$  nie występują oscylacje po załączeniu zabezpieczenia upływowego do sieci. Jednak przy małych pojemnościach doziemnych ( $C_d = 30$  nF), po obniżeniu się wartości rezystancji doziemnej  $R_d$  do 15 k $\Omega$ , wzrasta wartość międzyszczytowa przebiegu napięcia pomiarowego.

Zwiększenie rezystancji doziemnej do 150% wartości progowej ( $R_d = 22,5$  k $\Omega$ ) powoduje wzrost średniej wartości napięcia pomiarowego (w stosunku do wartości napięcia progowego zadziałania zabezpieczenia upływowego). W tych warunkach nie występuje więc problem z obniżaniem się chwilowych wartości napięcia pomiarowego poniżej zera (rys. 6a, b). Jednocześnie chwilowa wartość napięcia pomiarowego osiąga przez określony przedział czasu wartości mniejsze od wartości progowej. W związku z tym w warunkach tych konieczne jest dodatkowe (analogowe lub cyfrowe) filtrowanie napięcia zakłócającego w celu wyeliminowania możliwości błędnego zadziałania zabezpieczenia.

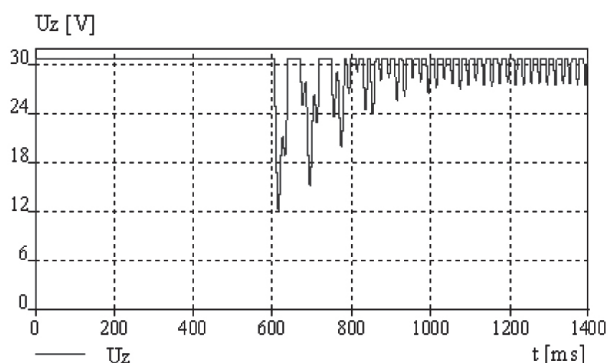


Rys. 6. Symetryczne załączenie zabezpieczenia upływowego ( $t = 0,2$  s) i jednofazowe obniżenie rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 22,5$  kW ( $t = 0,6$  s): a) w sieci krótkiej ( $C_d = 30$  nF);

b) w sieci rozległej ( $C_d = 3$   $\mu$ F)

Zgodnie z normą PN-G-42040 [3], obniżenie się rezystancji doziemnej  $R_d$  do 150% wartości progowej zadziałania zabezpieczenia upływowego (dla sieci 500 V,  $R_d = 22,5 \text{ k}\Omega$ ), przy maksymalnej pojemności doziemnej  $C_d$  ( $3 \text{ }\mu\text{F}$ ), nie powinno spowodować jego zadziałania. Z rysunku 6b wynika, że chwilowe wartości napięcia pomiarowego  $u_z$  są zawsze większe od 6 V. Wobec tego wspomniane wymaganie normy zostanie spełnione.

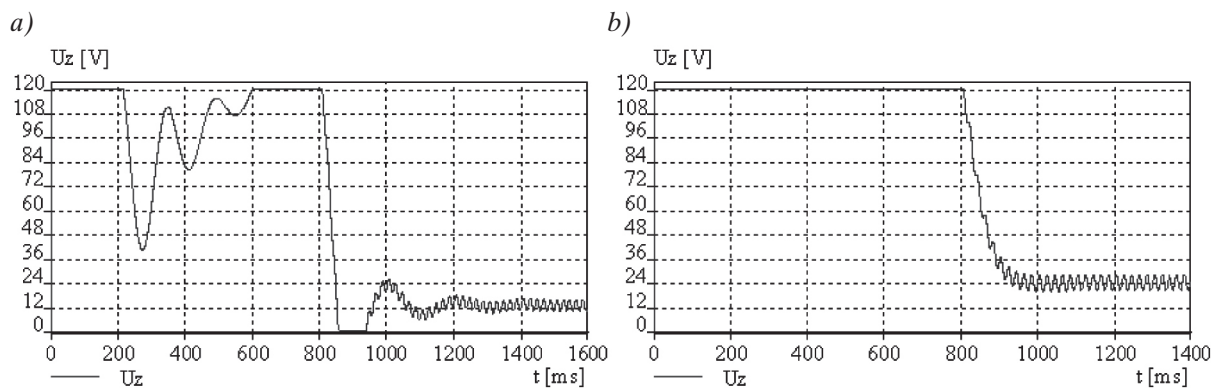
Norma PN-G-42040 [3] przewiduje, że w przypadku załączenia (wyłączenia) niesymetrycznej linii o pojemności fazowej wynoszącej połowę maksymalnej doziemnej pojemności fazowej ( $0,5 \text{ }\mu\text{F}$ ) nie powinno dojść do zadziałania zabezpieczenia upływowego. Otrzymany przebieg napięcia pomiarowego  $u_z$  (rys. 7) sugeruje, że we wspomnianych warunkach nie powinno dochodzić do błędnego zadziałania zabezpieczenia. Dodatkowo zastosowanie odpowiednio dużej pojemności  $C_A$  powoduje, że minimalna wartość napięcia pomiarowego jest znacznie większa od wartości progowej.



Rys. 7. Załączenie ( $t = 0,6 \text{ s}$ ) połowy maksymalnej jednofazowej pojemności doziemnej ( $C_d = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$ ) do zabezpieczenia upływowego z jedną diodą stabilizacyjną

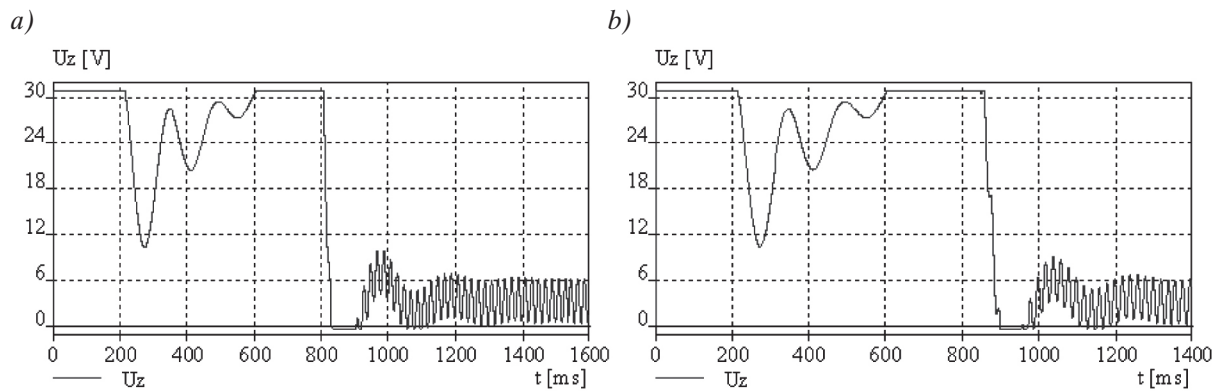
Wrażliwość zabezpieczenia upływowego na składową zakłóceniovą zależna jest także od wartości prądu źródła pomocniczego  $I_p$ . Wzrost wartości prądu  $I_p$  przyczynia się do zmniejszenia względnego udziału składowej zakłóceniovowej w napięciu pomiarowym  $u_z$  (rys. 8a, b) zarówno w przypadku obniżenia rezystancji doziemnej do wartości  $1 \text{ k}\Omega$ , jak i do wartości  $15 \text{ k}\Omega$ . Zastosowanie zabezpieczenia upływowego z większym prądem pomocniczym  $I_p$  wymaga zastosowania szeregowego połączenia diod stabilizacyjnych.

Zgodnie z normą PN-G-42040 [3] w sieciach o napięciu do 500 V (włącznie) czas zadziałania zabezpieczenia upływowego (w przypadku obniżenia się rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 1 \text{ k}\Omega$ ) powinien być nie dłuższy niż 0,1 s. Czas reakcji zabezpieczenia upływowego na pojawiające się zaburzenie w układzie pomiarowym zależy przede wszystkim od momentu pojawienia się tego zaburzenia w odniesieniu do chwilowych wartości napięć sieci zasilającej. Sytuację taką obrazują przedstawione na rysunku 9 przebiegi napięcia pomiarowego. W zależności od momentu pojawienia się zaburzenia zmienia się faza początkowa zastępczego napięcia zakłócającego  $\varphi$ . Opóźnienie wywołane momentem pojawienia się zaburzenia w obwodzie pomiarowym osiąga największe wartości w przypadku, gdy początkowa faza zastępczego napięcia zakłócającego wynosi  $\varphi = 0^\circ$  (rys. 9b), zaś przy kącie  $\varphi = 180^\circ$  opóźnienie reakcji zabezpieczenia upływowego na powstałe zaburzenie jest najkrótsze (rys. 9a). W najniekorzystniejszych warunkach opóźnienie to wynosi około 50 ms. Wydaje się więc, że w przypadku sieci 500 V czas zadziałania zabezpieczenia (w reakcji na obniżenie się rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 1 \text{ k}\Omega$ ) powinien być krótszy od wymaganych 100 ms.



Rys. 8. Symetryczne załączenie ( $t = 0,2 \text{ s}$ ) zabezpieczenia upływowego pracującego z  $I_p = 1 \text{ mA}$  i w układzie z jedną diodą stabilizacyjną, gdzie w chwili  $t = 0,8 \text{ s}$  nastąpiło jednofazowe obniżenie rezystancji doziemnej do: a) wartości  $R_d = 1 \text{ k}\Omega$  w sieci rozległej ( $C_d = 3 \text{ }\mu\text{F}$ ); b) wartości  $R_d = 15 \text{ k}\Omega$  ( $t = 0,8 \text{ s}$ ) w sieci krótkiej ( $C_d = 30 \text{ nF}$ )





Rys. 9. Symetryczne załączenie zabezpieczenia upływowego ( $t = 0,2$  s) i jednofazowe obniżenie rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 1$  kW ( $t = 0,8$  s) w rozległej sieci ( $C_d = 3$   $\mu$ F) z jedną diodą stabilizacyjną i fazą początkową zastępczego napięcia zakłócającego  $u_s$ : a)  $\varphi = 180^\circ$ ; b)  $\varphi = 0^\circ$

Większe problemy ze spełnieniem tego punktu normy mogą pojawić się w przypadku pracy tego typu zabezpieczeń w sieciach 1000 V [5].

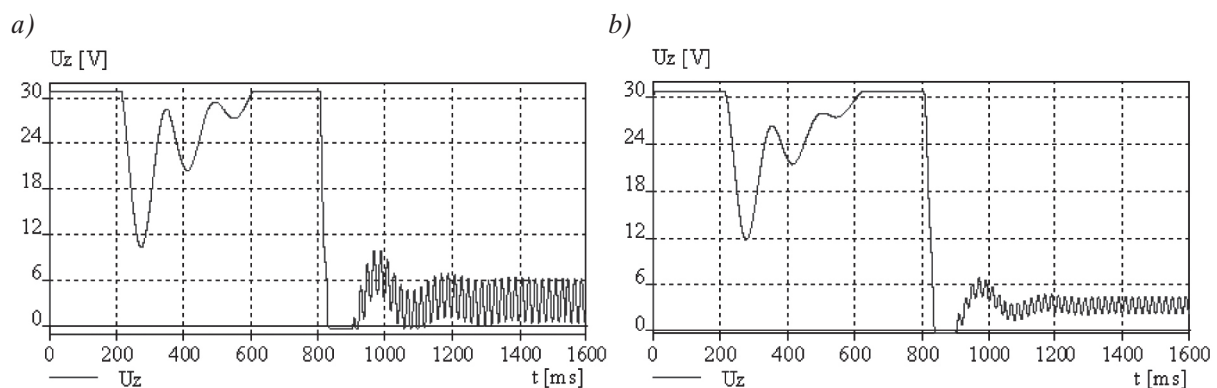
Poza składową stałą w przedstawionych przebiegach napięć pomiarowych uwidacznia się występowanie składowej zmiennej ustalonej i przejściowej. Parametry składowych zmiennych (częstotliwość, amplituda, tłumienie) zależą od parametrów sieci ( $R_d$ ,  $C_d$ ,  $U_s$ ) oraz od parametrów zabezpieczenia upływowego ( $L_p$ ,  $R_p$ ,  $R_b$ ,  $C_A$ ). Istotny wpływ na amplitudę oscylacji składowej zmiennej w układzie pomiarowym ma miejsce włączenie kondensatora (bądź kondensatorów) filtrującego  $C_A$  w układzie pomiarowym. Na rysunku 10 zilustrowano przebiegami napięcia pomiarowego  $u_z$  rozwiązania, w których zastosowano kondensatory o łącznej pojemności  $C_A = 3$   $\mu$ F. W pierwszym przypadku (rys. 10a) zastosowano jeden kondensator filtrujący na wejściu diodowej bariery ochronnej, zaś w drugim przypadku (rys. 10b) dwa kondensatory filtrujące: jeden na wyjściu ( $C_{A1}$ ), a drugi

na wejściu ( $C_A$ ) diodowej bariery ochronnej. Otrzymane wyniki symulacji wskazują, że znacznie lepsze efekty tłumienia składowej zmiennej w napięciu pomiarowym daje rozwiązanie, w którym zastosowano dwa kondensatory filtrujące (rys. 10b).

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule skupiono się na podatności zabezpieczeń upływowych, opartych na stałym prądzie pomocniczym  $I_p$ , na zakłócenia pojawiające się w sieci: w wyniku obniżenia się rezystancji doziemnej oraz podczas procesów łączeniowych.

Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały, że podczas załączania zabezpieczenia upływowego do sieci pojawia się napięcie zakłócające, którego wartość uzależniona jest od wartości pojemności doziemnej sieci  $C_d$ .



Rys. 10. Symetryczne załączenie zabezpieczenia upływowego ( $t = 0,2$  s) i jednofazowe obniżenie rezystancji doziemnej do wartości  $R_d = 1$  kW ( $t = 0,8$  s) w rozległej sieci ( $C_d = 3$   $\mu$ F) z jedną diodą stabilizacyjną dla  $\varphi = 180^\circ$ : a) z jednym kondensatorem  $C_A = 3$   $\mu$ F na wejściu bariery diodowej; b) z dwoma kondensatorami:  $C_{A1} = 1$   $\mu$ F na wyjściu układu pomiarowego i  $C_A = 2$   $\mu$ F na wejściu bariery diodowej

W przypadku rozległych sieci ( $C_d = 3 \mu\text{F}$ ) uwidacznia się to w przebiegu napięcia pomiarowego  $u_z$  w postaci oscylacyjnego stanu przejściowego. W efekcie napięcie pomiarowe  $u_z$  może osiągnąć wartości mniejsze od napięcia progowego. W przypadku sieci 500 V wyniki badań symulacyjnych sugerują, że nie powinny pojawiać się tego typu problemy (dla  $R_d = 15 \text{ k}\Omega$  wartość napięcia progowego wynosi około 6 V, zob. rys. 3), ale mogą się one pojawić w przypadku pracy zabezpieczeń upływowych w sieciach 1000 V [5]. Wystąpienie takiej sytuacji mogłoby powodować zbędne zadziałanie zabezpieczenia upływowego. Omawiane zaburzenie uzależnione jest od zastępczej wartości pojemności doziemnej sieci i w przypadku krótkich sieci ( $C_d = 30 \text{ nF}$ ) nie odnotowuje się znaczących zmian przebiegu napięcia pomiarowego podczas procesu łączeniowego. Tym samym zabezpieczenia upływowe pracujące w krótkich sieciach mają mniejszą podatność na przypadki zbędnego zadziałania zabezpieczenia upływowego wskutek zakłóceń łączeniowych.

Wartości pojemności doziemnych  $C_d$  mają również wpływ na przebieg składowej zakłóceniami w napięciu pomiarowym  $u_z$ , które pojawia się podczas obniżenia rezystancji doziemnej  $R_d$ . Na przebieg napięcia pomiarowego szczególnie niekorzystnie wpływają wtedy sieci krótkie (o małej pojemności doziemnej  $C_d$ ). Jak wykazano, w przebiegu tym pojawiają się napięcia zakłócające o względnie dużych amplitudach. Zastosowanie zabezpieczeń upływowych opartych na diodowych barierach ochronnych z jedną diodą stabilizacyjną może prowadzić do błędnego (zawyżonego) określenia wartości rezystancji doziemnej  $R_d$  [5]. Taki problem może pojawić się głównie w sieciach 1000 V. W sieciach 500 V tego typu problem w najbardziej interesującym zakresie wartości rezystancji doziemnych  $R_d$  ( $R_d = 15 \div 22,5 \text{ k}\Omega$ ) z pomiarowego punktu widzenia (ze względu na obowiązujące normy) nie istnieje (rys. 5 i 6).

Przeprowadzone badania wykazały, że zabezpieczenia upływowe oparte na większym prądzie pomocniczym (0,8 mA) charakteryzowały się większą odpornością na zakłócenia (rys. 9a, b). Zwiększenie wartości prądu pomocniczego  $I_p$  pozwoliło (przy rezystancji progowej  $R_d = 15 \text{ k}\Omega$ ) zwiększyć minimalną, chwilową wartość napięcia pomiarowego  $u_z$  (rys. 9b) i uniknąć dzięki temu sytuacji, w której dochodziłoby do zawyżenia pomiaru wartości rezystancji doziemnej  $R_d$  (w sytuacji, w której napięcie pomiarowe  $u_z$  osiągałoby wartości ujemne).

Zabezpieczenia upływowe w sieciach 500 V są mniej podatne na zakłócenia w obwodzie pomiarowym (wynikające z procesów łączeniowych i zakłóceń sieciowych), które mogłyby prowadzić do ich nieprawidłowego zadziałania (rys. 3, 5 i 7). Tego typu zakłócenia mogą natomiast wpływać na prawidłowe funkcjonowanie zabezpieczeń pracujących w sieciach 1000 V (w przebiegu napięcia pomiarowego pojawiają się przedziały czasu, kiedy napięcie to jest mniejsze od napięcia progowego zadziałania zabezpieczenia upływowego) [5]. Ograniczenie wartości amplitud składowej zmiennej w przebiegu napięcia pomiarowego można dodatkowo osiągnąć przez zastosowanie dwóch kondensatorów filtrujących: na wejściu i wyjściu diodowej bariery ochronnej (rys. 10).

Przeanalizowano trzy aspekty zgodności działania zabezpieczenia upływowego z normą górniczą PN-G-42040 [3]:

- 1) Załączenia rezystancji doziemnej o wartości 1,5 razy większej od wartości rezystancji progowej dla krótkich sieci. Przeprowadzone symulacje (rys. 6a) wskazują, że nie powinny pojawiać się zbędne zadziałania zabezpieczenia upływowego. Nie powinno być problemu ze spełnieniem wymagania tego punktu normy.
- 2) Załączenia rezystancji doziemnej o wartości 1,5 razy większej od wartości rezystancji progowej dla rozległych sieci kopalnianych. Przeprowadzone symulacje (rys. 6b) wskazują, że nie powinno być problemu ze spełnieniem wymagania tego punktu normy.
- 3) Załączenia – wyłączenia połowy maksymalnej fazowej pojemności doziemnej, przy nieskończonej dużej rezystancji izolacji sieci ( $R_d = 8$ ). Wyniki symulacji (rys. 7) wskazują, że nie powinno być problemu ze spełnieniem wymagania tego punktu normy.

Przedstawione w artykule aspekty pracy zabezpieczeń upływowych z pomocniczym źródłem prądowym wskazują, że nie powinny pojawić się trudności w osiągnięciu wymaganej normą [3] czasu zadziałania zabezpieczenia (w przypadku obniżenia się rezystancji doziemnej w jednej z faz do wartości 1 k $\Omega$  wymagany czas zadziałania zabezpieczenia dla sieci 500 V powinien być krótszy od 0,1 s) z jednoczesną dużą odpornością na zakłócenia łączeniowe. Problemy takie mogą natomiast pojawić się w przypadku zabezpieczeń upływowych pracujących w sieciach 1000 V (wymagany czas zadziałania zabezpieczenia ma być wówczas krótszy od 70 ms).

**Literatura**

- [1] Marek A.: *Wybrane zagadnienia ochrony ziemnozwarciowej w sieciach dołowych*, „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa” 2012, 1: 13–20.
- [2] European Standard EN 61557-8: 2015 *Electric safety in low voltage power grids of alternative voltages 1 kV and direct voltages up to 1.5 kV – Devices provided to inspect, measure or monitor the protection means. Part 8: Devices to monitor insulation condition in IT networks*.
- [3] Polska Norma PN-G-42040: *Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej. Zabezpieczenia upływowe. Wymagania i badania*, 1996.
- [4] *Przełącznik mikroprocesorowy sterowniczo-zabezpieczeniowy typu PM-2 – Instrukcja obsługi*, Invertim, Otwock Mały 2013.
- [5] Marek A.: *Wybrane zagadnienia centralnych zabezpieczeń upływowych z pomocniczym źródłem prądowym*, EMTECH, Katowice 2014: 82–91.

*dr inż. ADAM MAREK*

*Katedra Elektrotechniki i Automatyki Przemysłowej*

*Wydział Górnictwa i Geologii*

*Politechnika Śląska*

*ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice*

*Adam.Marek@polsl.pl*