

## Wybrane zagadnienia ochrony ziemnozwarciowej w sieciach dołowych

*W referacie omówiono dostępne środki ochrony ziemnozwarciowej w dołowej sieci kopalnianej w postaci: zabezpieczeń upływowych, zabezpieczeń blokujących oraz układów do kontroli ciągłości uziemienia. Ponadto przedstawione zostały problemy pojawiające się podczas eksploatacji wspomnianych środków ochrony. W artykule opisano także możliwe kierunki działań, które mogłyby ograniczyć wadliwe działanie używanych środków ochrony ziemnozwarciowej.*

### 1. WSTĘP

---

Z zagrożeniami elektrycznymi mamy do czynienia wszędzie tam, gdzie występuje sieć elektryczna. Zagrożenia te związane są nie tylko z występowaniem sieci elektrycznej jako takiej, ale nade wszystko z wykorzystywanej w niej niezbędnej aparatury rozdzielczej (tzn. przyłączy, transformatorów, układów przekształcających) oraz podłączonymi do niej odbiornikami. Ze względu na panujące warunki w kopalnianej, dołowej sieci elektrycznej, do wspomnianych zagrożeń dochodzą jeszcze zagrożenia pożarowe i wybuchowe. W celu ograniczenia zagrożeń elektrycznych w dołowej sieci kopalnianej stosuje się m.in. następujące środki ochrony ziemnozwarciowej: zabezpieczenia upływowe centralne i blokujące oraz układy do kontroli ciągłości uziemienia i stanu izolacji ekranu ogólnego.

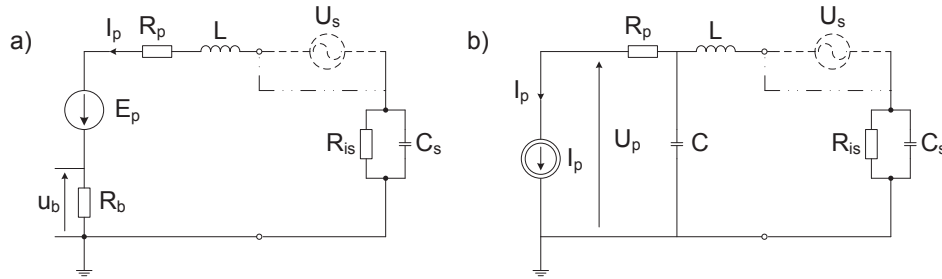
### 2. CENTRALNE ZABEZPIECZENIA UPŁYWOWE

---

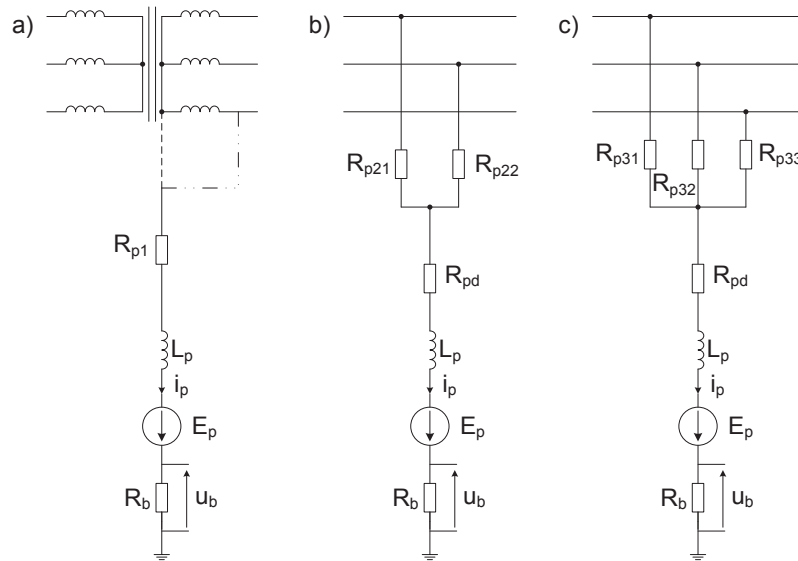
Obowiązujące przepisy dotyczące bezpieczeństwa w dołowych sieciach niskiego napięcia (normy PN-EN 61557-8:2004 oraz PN-G-42040:1996) wymagają monitorowania stanu izolacji w sieciach IT niskiego napięcia. Zgodnie z tymi normami wymagane jest zastosowanie centralnych zabezpieczeń upływowych (CZU). Podstawowym zadaniem CZU jest kontrola

stanu izolacji sieci i urządzeń elektrycznych pracujących pod napięciem i wyłączenie napięcia (w stacji transformatorowej) zasilającego kable i przewody sieci elektroenergetycznej po obniżeniu się rezystancji izolacji poniżej zadanego progu zadziałania. Centralne zabezpieczenia upływowe powinny działać zarówno w przypadku niesymetrycznego jak i symetrycznego obniżenia się rezystancji doziemnej. Zabezpieczenia te budowane są jako jednoparametrowe (pomiar rezystancji izolacji doziemnej) lub wieloparametrowe (mierzone są dodatkowo, np. pojemność doziemna oraz napięcie zerowe). Biorąc pod uwagę fakt coraz szerszego zastosowania układów przekształtnikowych w przemyśle wydobywczym, konieczne stało się zmodyfikowanie układów CZU w taki sposób, by zabezpieczenia te uwzględniały dodatkowe problemy wynikające z załączenia do sieci przemienników oraz przekształtników. Potencjalne problemy mogą pojawić się zarówno w części stałoprądowej [1, 2] jak również na wejściu bądź wyjściu przemiennika [1, 2].

Dostępne na rynku rozwiązania zabezpieczeń upływowych oraz zabezpieczeń blokujących można podzielić na dwie grupy: zabezpieczenia oparte na stałym napięciu pomocniczym lub stałym prądzie pomocniczym (rys. 1). Na przedstawionych schematach poszczególne wielkości oznaczają:  $E_p$ ,  $I_p$  – napięcie i prąd pomocniczy,  $u_p$ ,  $i_p$  – napięcie i prąd pomiarowy,  $U_s$  – zastępcze napięcie przemienne,  $R_b$  – rezystor pomiarowy,  $R_p$  – rezystor szeregowy,  $R_{is}$  – rezystancja izolacji sieci,  $L$  – dławik wygładzający,  $C$  – kondensator filtrujący,  $C_s$  – pojemność doziemna sieci.



Rys. 1. Schemat ideowy zabezpieczenia ziemnozwarciowego w sieci z przemiennikiem



Rys. 2. Sprzęgnięcie centralnych zabezpieczeń upływowych: a) w punkcie neutralnym transformatora (lub jednofazowe), b) międzyfazowe, c) trójfazowe

Różnica pomiędzy schematami zastępczymi zabezpieczeń upływowych centralnych oraz blokujących tkwi w zastępczym napięciu przemiennym  $U_s$ . W przypadku centralnych zabezpieczeń upływowych napięcie to należy uwzględnić (CZU pracuje pod napięciem roboczym), zaś w przypadku zabezpieczeń blokujących napięcie  $U_s$  jest na tych schematach pominięte (układ dokonuje sprawdzenia stanu izolacji w stanie beznapięciowym).

Na podstawie rysunku 1 rezystancja izolacji sieci (zarówno dla zabezpieczeń upływowych centralnych jak i blokujących) jest wówczas opisana zależnościami:

- dla układu ze stałym napięciem pomocniczym:

$$R_{is} = \frac{E_p}{I_p} - (R_p + R_b) \quad (1)$$

- dla układu ze stałym prądem pomocniczym:

$$R_{is} = \frac{U_p}{I_p} - R_p \quad (2)$$

Przyłączanie układów pomiarowych zabezpieczeń upływowych odbywa się najczęściej poprzez dławik i rezystor szeregowy do punktu neutralnego transformatora sieciowego. Ponadto spotykane są rozwiązania, w których przyłącza się je międzyfazowo, trójfazowo bądź jednofazowo (te ostatnie spotyka się na powierzchni). Wspomniane rozwiązania sprzęgnięcia układów pomiarowych zabezpieczeń upływowych z siecią pokazano na rysunku 2.

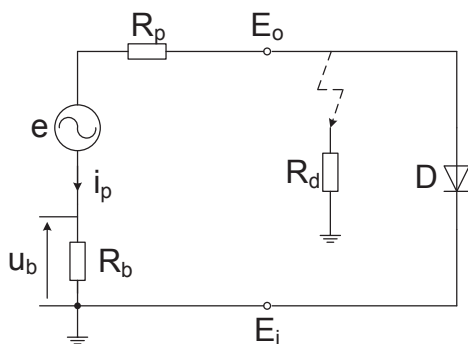
Na powyższych schematach wypadkowa suma rezystancji  $R_{pz} + R_{pd}$  spełnia rolę rezystancji szeregowy z rysunku 1. W praktyce najczęściej spotykane jest podłączanie układów pomiarowych zabezpieczeń upływowych do punktu neutralnego transformatora (rys. 2a). Rozwiązanie to jest powszechnie stosowane w przypadku, gdy dostępny jest punkt neutralny transformatora oraz kiedy mierzona jest jedynie rezystancja doziemna. Do zalet takiego rozwiązania można zaliczyć prostotę oraz wydzielanie się niewielkiej mocy na rezystorach sprzęgającym i pomiarowym w stanie normalnej pracy dołowej sieci kopalnianej (przy zachowaniu symetrii sieci zasilającej). Sprzęgnięcie międzyfazowe może być stosowane w przy-



spowoduje istotnych konsekwencji dla poprawności działania układu. Z kolei uszkodzenie jednej diody w układzie z rysunku 3b przyczyni się do uszkodzenia pozostałych diod (przez napięcie zasilające). Dlatego wydaje się, że w celu zwiększenia niezawodności działania układu z rysunku 3b w każdej fazie układu sprzęgającego powinny znajdować się dwie, a najlepiej trzy szeregowo połączone diody.

#### 4. UKŁADY DO KONTROLI CIĄGŁOŚCI UZIEMIENIA I STANU IZOLACJI EKRANU OGÓLNEGO

W instalacjach zasilających maszyny przodkowe o napięciu powyżej 1 kV stosowane są kable i przewody oponowe wyposażone w ekran ogólny oraz ekrany indywidualne. Ekrany indywidualne łączy się ze sobą równolegle i są one wykorzystywane jako przewód ochronny. Ekrany ogólne wykorzystywane są w układzie do sprawdzania kontroli ciągłości uziemienia oraz stanu izolacji ekranu ogólnego. Uproszczony schemat układu, umożliwiającego jednoczesną kontrolę ciągłości uziemienia oraz badanie stanu izolacji ekranu ogólnego kabla bądź przewodu oponowego, pokazano na rysunku 4. Na schemacie tym:  $e$  – separowane źródło napięcia przemiennego,  $R_d$  – rezystancja doziemienia,  $D$  – dioda,  $E_o$  – ekran ogólny (ewentualnie żyła pomocnicza),  $E_i$  – ekran indywidualny.



Rys. 4. Schemat układu do sprawdzania kontroli ciągłości uziemienia oraz stanu izolacji

W zależności od biegunowości chwilowej wartości napięcia przemiennego  $e$  układ przeprowadza kontrolę zachowania ciągłości uziemienia (obwód zamyka się przez diodę  $D$ ) bądź dokonuje sprawdzenia (przy przeciwnej biegunowości napięcia  $e$ ), czy w kablu (przewodzie oponowym) nie pojawiło się doziemienie, tzn. czy wartość rezystancji doziemienia  $R_d$  nie obniżyła się poniżej wartości nastawczej.

#### 5. PROBLEMY WYSTĘPUJĄCE PODCZAS EKSPLOATACJI ŚRODKÓW OCHRONNYCH W DOŁOWYCH SIECIACH KOPALNIANYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

W praktyce kopalnianej dosyć często spotykamy się z wadliwym funkcjonowaniem omówionych we wstępie środków ochrony doziemnej. Pod pojęciem wadliwe funkcjonowanie rozumie się dwa stany:

- brak zadziałania środka ochrony doziemnej (warunki do zadziałania nie zostały spełnione),
- błędne zadziałanie środka ochrony doziemnej (warunki do zadziałania zostały spełnione).

Oba wspomniane stany są równie niebezpieczne dla bezpieczeństwa ludzi i bezawaryjnej pracy urządzeń. W pierwszym przypadku może nie dojść do odłączenia spod napięcia sieci, której rezystancja doziemienia spadła poniżej minimalnej wartości (zgodnie z określonymi normami). Przedstawiona sytuacja może skutkować powstaniem zagrożenia porażeniowego, pożarowego i (lub) wybuchowego. W drugim przypadku częste, błędne zadziałania środka (bądź środków) ochrony doziemnej mogą prowadzić do chęci odłączenia takiego środka ochrony doziemnej. Efekt końcowy będzie wówczas taki sam jak w przypadku niezadziałania środka ochrony doziemnej, czyli może doprowadzić do pojawienia się zagrożenia porażeniowego, pożarowego i wybuchowego.

##### 5.1. Problemy z funkcjonowaniem centralnych zabezpieczeń upływowych

Jak wspomniano we wstępie, najważniejszym zadaniem CZU jest jak najszybsze wykrycie pojawiającej się awarii oraz jak najszybsze wyłączenie spod napięcia zasilania fragmentów sieci (bądź odbiornika), w której nastąpiło doziemienie. Działanie takie ma na celu zapewnienie zarówno ochrony przeciwporażeniowej jak i przeciwdziałania zagrożeniom pożarowym i wybuchowym. W czasie normalnej pracy zabezpieczenia upływowego na jego pracę mogą wpływać czynniki: stan nieustalony w sieci podczas załączania zasilania oraz obciążenia, doziemienie niesymetryczne w sieci prądu zmiennego, doziemienie w obwodzie prądu stałego, doziemienie symetryczne i niesymetryczne na wyjściu falownika [2].

Zgodnie z normą PN-G-42040:1996, w sieciach o napięciu znamionowym 1000 V CZU powinno zadziałać w przypadku obniżenia się rezystancji doziemnej poniżej 30 kΩ (przy doziemieniu nie-

symetrycznym o rezystancji doziemienia 1 k $\Omega$  po czasie nie dłuższym niż 70 ms). Przeprowadzone badania [2] wykazały, że załączenie napięcia do sieci o dużej pojemności doziemnej i rezystancji doziemienia większej od 30 k $\Omega$  może prowadzić do przekroczenia wartości progowej prądu zadziałania CZU i taki stan rzeczy może utrzymywać się przez czas dłuższy od 70 ms. Wobec tego zachodzą warunki do zbędnego zadziałania CZU. Problem ten najczęściej rozwiązuje się przez opóźnione załączenie członów pomiarowych CZU (wprowadza się zwłokę czasową wynoszącą nawet 0,5 s). Jednakże takie rozwiązanie zmniejsza bezpieczeństwo (przez ten czas sieć nie jest kontrolowana), a w wypadku wystąpienia doziemienia czas jego wykrycia znacznie przekracza czas określony przez normę.

W sieciach z przemiennikami częstotliwości pojawienie się niewielkiego doziemienia w obwodzie napięcia stałego może przyczynić się do powstania obu, wspomnianych wcześniej, niekorzystnych sytuacji. Może prowadzić do zbędnych wyłączeń sieci spod napięcia oraz sytuacji, w której nie dochodzi do zadziałania CZU, pomimo że wartość rezystancji doziemienia spadła poniżej wartości nastawczej. Wystąpienie takich, wydawałoby się przeciwnych stanów, jest uzależnione od biegunowości doziemionej szyny prądu stałego. W przypadku, gdy napięcie pomiarowe jest tej samej biegunowości, nawet niewielkie obniżenie rezystancji izolacji może prowadzić do pojawienia się zbędnych zadziałań CZU. Z kolei w przypadku, gdy napięcia te są przeciwnej biegunowości, doziemienie może nie zostać wykryte. Wynikać to może stąd, że wartość prądu pomiarowego w tych warunkach, może być mniejsza od wartości prądu zadziałania CZU, bądź też może to być związane z tym, że układ pomiarowy CZU nie reaguje na przeciwny kierunek przepływu prądu w tym układzie.

Wystąpienie podwójnego doziemienia po stronie napięcia stałego może w pewnych okolicznościach skutkować brakiem zadziałania CZU nawet w przypadku metalicznego zwarcia.

Wspomniane problemy dotyczą CZU opartych na stałym napięciu (prądzie) pomiarowym. Rozwiązaniem wspomnianego problemu jest zastosowanie CZU opartych na przemiennym napięciu pomiarowym, ale wówczas trudno jest spełnić wymagania norm dotyczących czasu zadziałania CZU (np.: 70 ms dla sieci 1 kV). Doziemień w obwodzie napięcia stałego nie można wykluczyć, jednakże ze względu na to, że w warunkach kopalnianych praktycznie nie odnotowuje się takich przypadków

doziemień, producenci opierają się najczęściej na stałym napięciu pomocniczym, chcąc spełniać normy dotyczące czasu zadziałania zabezpieczeń.

Wystąpienie doziemień na wyjściu falownika może skutkować pojawieniem się w prądzie pomiarowym CZU składowych przemiennych związanych ze składową o częstotliwości napięcia wyjściowego falownika i/lub wzrostem udziału składowej 3 harmonicznej napięcia zasilania (150 Hz). Udziały wspomnianych składowych są uzależnione od tego, czy doziemienia na wyjściu falownika są symetryczne czy niesymetryczne, jak również są one uzależnione od relacji występującej pomiędzy zastępczą pojemnością przed prostownikiem i za falownikiem. W przypadku wystąpienia niesymetrycznego doziemienia (np.: doziemienie w jednej z faz) w przebiegu prądu pomiarowego uwidacznia się wzrost udziału częstotliwości wyjściowej falownika. Relacje pomiędzy zastępczą pojemnością przed prostownikiem i za falownikiem mają głównie wpływ na udział 3 harmonicznej w prądzie pomiarowym. Wystąpienie symetrycznego doziemienia na wyjściu falownika powoduje jedynie wzrost 3 harmonicznej w prądzie pomiarowym, ale niezależnie od relacji zachodzących pomiędzy wspomnianymi pojemnościami, w prądzie pomiarowym nie występuje składowa związana z częstotliwością wyjściową falownika. Na amplitudę składowej przemiennego prądu pomiarowego, związanej z doziemieniem na wyjściu falownika, ma wpływ amplituda i częstotliwość napięcia wyjściowego falownika oraz rezystancja doziemienia i pojemności doziemne.

Podobnymi skutkami charakteryzują się doziemienia pojawiające się w sieci napięcia przemiennego (przed prostownikiem). W przypadku wystąpienia niesymetrycznego doziemienia w sieci napięcia przemiennego w prądzie pomiarowym CZU pojawia się składowa przemienna o częstotliwości sieciowej, której amplituda uzależniona jest od napięcia sieci (zakładając sztywność sieci, jest to czynnik stały) oraz od zastępczej rezystancji doziemienia i zastępczych pojemności doziemnych.

Skutkiem wystąpienia doziemień na wyjściu falownika oraz w sieci napięcia przemiennego jest pojawienie się składowych przemiennych w prądzie pomiarowym CZU. W celu uniknięcia zbędnych zadziałań CZU konieczne staje się odfiltrowanie przebiegu prądu pomiarowego od składowej podstawowej i 3 harmonicznej napięcia sieciowego oraz zastosowania sterowanych filtrów cyfrowych w celu wytlumienia z sygnału pomiarowego zakłóceń o częstotliwości wyjściowej falownika.

## 5.2. Problemy z funkcjonowaniem układów do kontroli ciągłości uziemienia i stanu izolacji ekranu ogólnego

W założeniu układ do kontroli ciągłości uziemienia i stanu izolacji (UKCUiSI, rys. 4) ma stanowić dodatkowy środek ochrony ziemnozwarciowej. Tym samym układ ten ma przede wszystkim przyczynić się do zapewnienia większego bezpieczeństwa przed powstaniem zagrożeń porażeniowych, pożarowych i wybuchowych w podziemiach kopalń. W warunkach eksploatacyjnych wielokrotnie pojawiają się trudności podczas współpracy UKCUiSI z urządzeniami, których pewne elementy (np.: ekrany ogólne) stanowią część UKCUiSI. Wykorzystywane w warunkach kopalnianych urządzenia posiadają szereg właściwości, które w przypadku objęcia ich UKCUiSI, niekorzystnie wpływają na pracę układów pomiarowych UKCUiSI. W efekcie dochodzi do częstych uszkodzeń w układach pomiarowych UKCUiSI. Dodatkowo, ze względu na miejsce zainstalowania oraz współpracę poszczególnych, składowych urządzeń wchodzących w skład większego zespołu, można również spotkać się z sytuacjami, w których prawidłowe działanie UKCUiSI wydaje się wątpliwe (pomimo że normy wymagają zastosowanie UKCUiSI w tych urządzeniach).

Do najczęściej odnotowywanych awarii w UKCUiSI należą uszkodzenia rezystorów  $R_p$  oraz diod  $D$  (rys. 4). Uszkodzenia te najczęściej pojawiały się podczas rozruchu silników. W celu wyjaśnienia zaistniałej sytuacji wykonano badania poprawności współdziałania silnika na napięcie 3,3 kV z użytym do jego zasilania przewodem oponowym [1]. Przeprowadzone badania ujawniły, że w czasie rozruchu silnika dochodzi do pojawiania się powtarzających się przepięć pomiędzy ekranem ogólnym (kontrolnym) a ekranami indywidualnymi (ochronnymi). Amplituda tych przepięć dochodziła do kilkuset V, zaś ich częstotliwość wynosiła kilkadziesiąt kHz.

W pracy [3] wykazano, że za zaobserwowane przepięcia odpowiedzialne może być zjawisko wielokrotnego przełączania styków łączników. Pod pojęciem „zjawisko wielokrotnego przełączania styków łączników” (ZWPSŁ) rozumie się zespół zjawisk odpowiadających za wielokrotne otwieranie i zamykanie się styków łącznika w sensie elektrycznym. ZWPSŁ jest efektem wielokrotnego zapalania się i gaśnięcia łuku elektrycznego pomiędzy stykami łączników, do którego dochodzi podczas zamykania bądź też otwierania się styków łączników. Do sytuacji takiej może dojść także podczas odskoków styków łączników. Odskoki styków łączników próżniowych mogą być wywołane: zderzeniami sprężystymi styków lub in-

nych elementów łącznika, oddziaływaniem elektrodynamicznym komutowanego obwodu oraz wadliwym działaniem układów ich sterowania. Powstawaniu ZWPSŁ sprzyja w szczególności rozruch silnika bądź wyłączenie zahamowanego silnika.

Następstwem wielokrotnego zapalania się i gaśnięcia łuku elektrycznego pomiędzy stykami łączników jest indukowanie się przepięć, które są bezpośrednio związane z występowaniem w obwodzie licznych elementów pasożytniczych RLC. Za powstawanie ZWPSŁ generujących przepięcia odpowiadają przede wszystkim: zjawisko wymuszonego ucięcia prądu [5] (polegające na przerwaniu prądu o częstotliwości sieciowej przed jego naturalnym przejściem przez zero, co powoduje nałożenie się na składową prądu częstotliwości sieciowej prądów wysokiej częstotliwości, pochodzących od ponownych zapłonów łuku w sąsiednich biegunach łącznika lub innych zakłóceń zewnętrznych) oraz zjawisko eskalacji napięcia powrotnego [5] (wzrost amplitudy napięcia wraz ze wzrostem liczby ponownych zapłonów łuku ze względu na dostarczane kolejne porcje energii ze źródła zasilania do elementów LC wyłączanego obwodu).

Powstanie przepięć w UKCUiSI wydaje się być nieuniknione. Są one bowiem efektem ubocznym występujących w układzie obwodów rezonansowych. Przepięcia te mogą wystąpić: przy asymetrycznym załączaniu i wyłączaniu napięcia (załączaniu transformatora na linię kablową), ze względu na asymetrię czasów załączania i wyłączania styków łączników poszczególnych faz (mogą dochodzić do kilkudziesięciu  $\mu$ s), w przypadku wystąpienia obniżenia napięcia podczas rozruchu maszyn o dużej mocy (szczególnie w przypadku wystąpienia zjawiska „pompowania” łącznika).

W celu ograniczenia częstości powtarzających się awarii (w następstwie generowanych przepięć, za które odpowiada ZWPSŁ) można podjąć kilka działań, które pozwolą ograniczyć negatywne skutki pojawiających się przepięć w UKCUiSI.

Najprostszym rozwiązaniem jest zastąpienie elementów będących częścią UKCUiSI (diody w członach końcowych oraz rezystory pomocnicze w UKCUiSI) na elementy o większej dopuszczalnej obciążalności prądowej (diody) i mające możliwość zaabsorbowania większej energii (rezystory pomocnicze). Nie ma jednakże pewności, czy wówczas awariom nie zaczną ulegać inne elementy wchodzące w skład UKCUiSI.

Ograniczenie powstających przepięć można także uzyskać w wyniku zastosowania łączników z „układem antypompującym”. Zadaniem takiego układu jest uniemożliwienie ponownego załączenia wy-

łącznika w przypadku wystąpienia otwarcia styków łącznika. Zastosowanie tego układu uniemożliwia powstawanie wielokrotnych krótkotrwałych wyłączeń stycznika, np.: co 30 ÷ 50 ms, które mogą się pojawiać szczególnie podczas ciężkiego rozruchu silników. Występowanie takich przerw sprzyja pojawieniu się ZWPSŁ (generującego prądy i napięcia o wysokiej częstotliwości). Jednakże rozwiązanie takie nie zapewnia wyeliminowania ZWPSŁ, a jednocześnie może blokować rozruch silnika. W efekcie może pojawić się problem z przeprowadzeniem pełnego rozruchu silnika. Konieczność kilkakrotnego ponawiania ciężkich rozruchów silnika prowadzi do zwiększenia awaryjności napędu (z punktu widzenia eksploatacyjnego) i jednocześnie może stanowić zachętę do blokowania UKCUiSI.

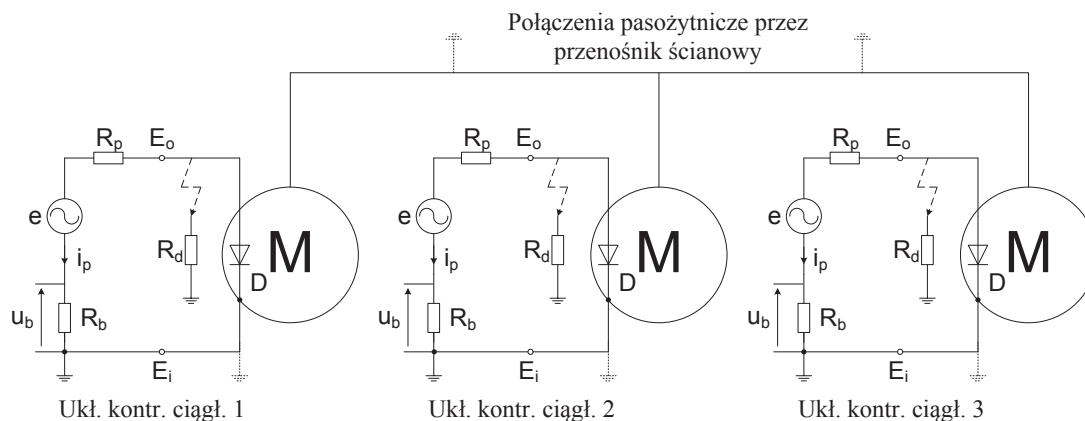
Ograniczenie przepięć w UKCUiSI można również uzyskać poprzez wprowadzenie ograniczników przepięć na obu końcach ekranu ogólnego. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość ograniczenia przepięć do wartości akceptowalnych, bez konieczności dalszej ingerencji w UKCUiSI. Jednakże rozwiązanie takie wymaga opracowania układu ograniczającego przepięcia.

Innym możliwym rozwiązaniem istniejącego problemu mogłoby być zwarcie przewodu ochronnego (ekran indywidualny) z oboma końcami ekranu ogólnego (ze względu na obecnie obowiązujące normy nie jest to w tej chwili możliwe). Rozwiązanie takie pozwoliłoby zmniejszyć wypadkową rezystancję przewodu ochronnego, ale jednocześnie w takich warunkach niemożliwa byłaby poprawna praca UKCUiSI, ze względu na równoległe połączenie przewodu ochronnego z ekranem kontrolnym. Należałoby potwierdzić, że w tych warunkach UKCUiSI będzie działał poprawnie, np.: w przypadku przerwy w ekranie indywidualnym i nieszkodzonym ekranie ogólnym. Należy przy tym zaznaczyć, że prawdopodobieństwo przerwania przewodu ochronnego (ekran indywidualny) przy nienaruszonym przewodzie kontrolnym (ekran ogólny) wydaje się niewielkie. W celu wyeliminowania takiej sytuacji należy w UKCUiSI użyć żyły pomocniczej zamiast ekranu ogólnego (kontrolnego). Jednakże w czasie eksploatacji przewodów oponowych średniego napięcia z ekranem ogólnym, wykonanym w postaci obwoju ze skrętek z drutów miedzianych i stalowych oraz taśmy przewodzącej lub taśmy tekstylnej, dochodzi do częstych złamań tego ekranu, co prowadzi do połączenia drutów ekranu kontrolnego z ekranami indywidualnymi. Prawdopodobnie złamaniom ulegają przede wszystkim druty stalowe. Takie połączenia skutkują zadziałaniem

(części wykrywającej doziemienie ekranu kontrolnego) UKCUiSI. Przy przełączeniu sterowania układu kontroli ciągłości uziemienia (z ekranu kontrolnego do żyły pomocniczej) będzie on kontrolował jej doziemienie. Prawdopodobieństwo doziemienia żyły pomocniczej otoczonej ekranem indywidualnym jest niewielkie. Wzrasta natomiast prawdopodobieństwo przebicia izolacji żyły roboczej przez złamane druty stalowe ekranu ogólnego. Doświadczenia eksploatacyjne sugerują, że zastosowanie tego typu przewodów oponowych może prowadzić albo do częstych wyłączeń sieci spod napięcia przez UKCUiSI (efektem takiej sytuacji może być chęć wyłączania UKCUiSI), albo może prowadzić do uszkodzenia izolacji przewodów roboczych i zwarcia z żyłą roboczą drutów stalowych, będących częścią ekranu ogólnego (przerzut napięcia do ekranu ogólnego i w efekcie wzrost zagrożenia porażeniowego, pożarowego i wybuchowego).

Ograniczenie negatywnych skutków występowania ZWPSŁ można również osiągnąć poprzez uwzględnienie w pracach projektowych spadków napięcia w sieci podczas rozruchu silników o dużych mocach. Rozruch silników o dużych mocach prowadzi bowiem do zwiększenia spadków napięcia w sieci. W takiej sytuacji może dojść do obniżenia się napięcia sieci poniżej 85% wartości znamionowej. To z kolei może prowadzić do pojawienia się warunków zaistnienia zjawiska wielokrotnego przełączania styków łączników (ZWPSŁ). Należy więc w pracach projektowych uwzględnić występujące parametry przewodów pod kątem spadków napięcia w sieci w czasie trwania rozruchu silników dużej mocy (np.: kombajnów ścianowych), aby uniknąć ewentualnych konsekwencji wadliwego działania układów sterowania łączników (w wyniku spadku napięcia sieci poniżej 85% wartości napięcia znamionowego).

Poza szeroko opisywanymi problemami przepięć i sposobami ich ograniczenia w UKCUiSI może również dochodzić do sytuacji, w której UKCUiSI nie będzie w stanie wykryć awarii w postaci przerwy w przewodzie ochronnym. Na przykładzie zastosowania układu w instalacji kompleksu ścianowego zostanie wykazana możliwość błędnego działania zabezpieczenia. W układzie tym napęd przenośnika realizowany jest przy pomocy nawet czterech silników (rys. 5). Koniecznym warunkiem poprawnego działania układu do kontroli ciągłości uziemienia jest połączenie przewodu ochronnego z systemem uziemiającym przewodów ochronnych (SUPO) w jednym punkcie po stronie zasilania. Biorąc pod uwagę fakt, że elementy przenośnika są ze sobą połączone i jednocześnie z przenośnikiem związana



*Rys. 5. Uproszczony schemat zastępczy układu do kontroli ciągłości uziemienia i stanu izolacji kompleksu ścianowego*

jest obudowa zmechanizowana, istnieje duże prawdopodobieństwo, że rezystancja między zaciskami przewodów ochronnych silników napędowych przeñośnika oraz kombajnu jest mała (mniejsza od  $80 \Omega$ ). W tej sytuacji można założyć, że pojawią się pasożytnicze połączenia przewodu ochronnego z ziemią (w schemacie przedstawionym na rysunku 5 uziemienia te narysowano linią przerywaną). W takiej sytuacji zachodzi podejrzenie, że nawet, gdyby doszło do przerwy w ekranach indywidualnych, np.: w silnikach 1 oraz 3, to układ nie wykryłby tych przerw

W opisywanej sytuacji zastąpienie ekranu ogólnego inną żyłą pomocniczą nie rozwiązuje wspomnianego problemu, gdyż takie działanie nie zmienia istoty jego funkcjonowania w zakresie kontroli ciągłości uziemienia.

Na podstawie opisywanych powodów wydaje się dyskusyjne prawidłowe działanie zabezpieczenia, sprawdzającego jednocześnie stan rezystancji dozie-

mienia ekranu kontrolnego przewodu oponowego oraz kontroli ciągłości uziemienia przewodu ochronnego.

#### Literatura

1. Marek A., Marek B.: Wpływ przekształtników na pracę centralnych zabezpieczeń upływowych w dołowych sieciach niskiego napięcia. XII KKEG, str. 49 – 56. Szczyrk 2008.
2. Marek A.: Zabezpieczenia upływowe w sieciach z przemiennikami częstotliwości w podziemiach kopalń. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 2(468), str. 30 – 35. Katowice 2010.
3. Marek A.: Analiza przepięć pojawiających się na ekranie ogólnym przewodów oponowych średniego napięcia. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 10(476), str. 16 – 23. Katowice 2010.
4. Method and apparatus for insulation monitoring in unearthed DC and AC networks.: Opis patentowy EP 0 654 673 B1.
5. Wróblewski Z.: Badania i symulacja cyfrowa wybranych właściwości łączników próżniowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2005.

*Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.*

