

**Jarosław Mielczarek, Maciej Sałasiński**  
**Biuro Projektów i Usług Inwestorskich PRO-MAC, Łódź**

## **SYSTEMY NADZORU STANU IZOLACJI ELEKTRYCZNYCH SIECI PRZEMYSŁOWYCH**

### **ELECTRICAL INSULATION CONTROL SYSTEMS FOR INDUSTRIAL NETWORKS**

**Abstract:** This article describes devices and systems for automatic insulation control in low voltage industrial electrical networks: residual currents monitoring system for earthed (TN/TT) networks and constant resistance insulation monitoring and earth fault locating systems for unearthed (IT) networks.

#### **1. Wstęp**

Dzisiejsze procesy produkcyjne są coraz bardziej zautomatyzowane, dlatego też jakakolwiek niezapowiedziana przerwa w zasilaniu powoduje wysokie koszty związane z koniecznością ponownego zestrojenia systemu, przestoju w produkcji, opóźnieniem dostaw. Jak pokazuje doświadczenie znacząca część problemów z instalacją elektryczną związana jest z pogorszeniem się jej stanu izolacji. Aby można było podjąć świadome działania zapobiegawcze prowadzące do szybkiego i sprawnego usunięcia źródeł zagrożenia dla zdrowia lub wystąpienia awarii krytycznej, konieczne jest uzyskanie wcześniejszej informacji o pogarszaniu się izolacji w konkretnym obwodzie. Aby zdobyć taką informację konieczne jest ciągłe monitorowanie stanu izolacji sieci w jej poszczególnych odcinkach i reagowanie na pojawienie się stanów ostrzegawczych.

W sieciach uziemionych, najczęściej wykorzystywanym rodzaju elektrycznych sieci zasilających, informację taką można uzyskać śledząc poziom prądu upływu w obwodach sieci. Aby szybko zlokalizować i usunąć przyczynę powstania zagrożenia w rozległych sieciach przemysłowych konieczne jest zastosowanie wielu punktów pomiarowych. Aby z kolei obserwacja wskazań nie była zbyt uciążliwa i czasochłonna konieczna jest możliwość centralnej obserwacji i archiwizacji wskazań takiego systemu. Tak uzyskaliśmy podstawowe wymagania dla systemu monitorowania stanu izolacji w rozległych sieciach elektrycznych.

#### **2. Monitorowanie prądów upływu w sieciach uziemionych (TN i TT)**

Zdecydowana większość elektrycznych sieci zasilających wykonana jest jako sieci uzie-

mione w systemie TN lub TT. Oceny ich stanu izolacji podczas pracy dokonać można przez pomiar prądu upływu – służą do tego przekaźniki różnicowoprądowe. Warto tu zaznaczyć różnicę między rzadziej stosowanymi przekaźnikami a wyłącznikami różnicowoprądowymi: wyłączniki są aparatami pracującymi jako zabezpieczenie i mają za zadanie wyłączyć odpływ w przypadku, kiedy wartość prądu różnicowego przekroczy pewną, zwykle stałą dla danego aparatu, wartość.

Inaczej jest w przypadku przekaźników: ich zadaniem jest monitorowanie wartości prądów różnicowych w kontrolowanym odpływie i alarmowanie przy przekroczeniu pewnego zadanego poziomu. Użytkownik nastawia zarówno poziom, przy którym pojawi się alarm (lub ostrzeżenie a potem alarm) jak i opóźnienia, po których nastąpi rozpoczęcie pomiaru, rozpoczęcie i zakończenie sygnalizacji alarmu. Głównym zadaniem tych urządzeń jest więc monitorowanie stanu sieci i ostrzeganie o zbliżającym się zagrożeniu - użytkownik sam decyduje, jak wykorzysta uzyskane w ten sposób informacje. Otrzymane w porę ostrzeżenie umożliwia np. podjęcie przez służby utrzymania ruchu działań konserwacyjnych, dzięki którym nie dojdzie do awaryjnego wyłączenia sieci zasilającej lub błędnego zadziałania sieci sterowniczej.

Należy dokonać wyboru odpowiedniego rodzaju przekaźnika różnicowoprądowego. Głównym kryterium ich doboru jest kształt prądu różnicowego, na jaki aparat ma reagować i wynikiły z tego typ pomiaru. Według norm urządzenia kontrolujące prądy różnicowe realizują trzy podstawowe typy pomiarów:

Typ AC: reagujące na prądy różnicowe sinusoidalne; tak pracowały pierwsze modele wyłączników różnicowoprądowych,

Typ A: reaguje na prądy różnicowe sinusoidalne i pulsujące stałe przy czym składowa stała nie może przekroczyć 6mA; obecnie jest to dominująca grupa aparatów różnicowoprądowych

Typ B: dowolne prądy różnicowe, ze stałymi gładkimi włącznie; ich zastosowanie staje się coraz częściej konieczne ze względu na rosnący udział energoelektroniki.

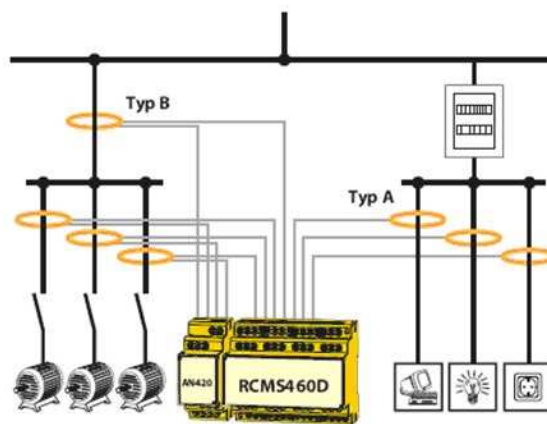
Obecnie najpopularniejsze urządzenia realizują pomiar typu A. Odbiory w dzisiejszych sieciach niezwykle rzadko są czystymi odbiorami AC - większość to odbiorniki nieliniowe oddziałujące mocno na prąd i napięcie sieci. Wiele urządzeń elektronicznych potrzebuje do pracy napięcia stałego i uzyskuje je z wbudowanych prostowników. Wystąpienie wewnętrznego zwarcia do uziemionej obudowy powoduje w takim odbiorze przepływ różnicowego prądu stałego lub pulsującego. Jego wykrycie umożliwiają jedynie przekaźniki typu A lub B. Typowym przykładem bardzo popularnego urządzenia mogącego spowodować dowolny rodzaj prądu różnicowego jest przetwornica częstotliwości. Zabezpieczenie sieci z takimi urządzeniami możliwe jest jedynie przy pomocy przekaźników realizujących pomiar typu B.

Kolejnym parametrem, który należy uwzględnić przy doborze przekaźnika, jest zakres częstotliwości prądów różnicowych, na które aparaty powinny reagować. Przykładowo przekaźniki RCM(A)420 mogą monitorować prąd w zakresie częstotliwości 42...2000Hz (typ A) i 0...2000Hz (typ B pomiaru). Ten niedoceniany często parametr zaczyna nabierać coraz większego znaczenia w sytuacji, gdy przebiegi napięć i prądów w dzisiejszych sieciach przemysłowych coraz bardziej odbiegają od sinusoidy 50Hz. Poziom THD (współczynnik zniekształceń harmonicznnych) w sieciach, w których pracuje dużo przetwornic częstotliwości przekracza często 100% - oznacza to, że większa jest sumaryczna wartość prądów harmonicznnych niż prądu o częstotliwości podstawowej. Oczywiście jest, że w przypadku wystąpienia doziemienia, także prądy różnicowe będą miały częstotliwości wyższe, niż podstawowa. Jeżeli zwarcie doziemne będzie miało odpowiednio niską rezystancję, zadziałają zabezpieczenia nadprądowe. Jeżeli jednak powstanie

doziemienie wysokooporowe, które nie wystarczy do zadziałania bezpieczników, długotrwały prąd upływu może spowodować pożar. W przypadku źle dobranych zabezpieczeń mimo, że prądy różnicowe niższych harmonicznnych będą miały wartość bezpieczną, prądy różnicowe o wyższych częstotliwościach, które nie zostaną wykryte, mogą wystarczyć do zainicjowania pożaru.

Pojedyncze przekaźniki różnicowoprądowe służą do zabezpieczania poszczególnych gałęzi sieci. Ponieważ np. w przekaźnikach RCM420 możliwe jest nastawianie wartości alarmowej prądów różnicowych w zakresie 10mA...10A i zwłoki czasowej 0...10 sekund, możliwe jest zbudowanie selektywnej sieci kontrolnej monitorującej kolejne rozgałęzienia sieci.

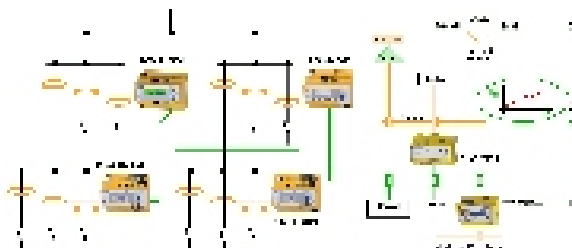
Jednak śledzenie prądów różnicowych w rozległych sieciach przy wykorzystaniu pojedynczych przekaźników stwarzałoby duży problem związany z akwizycją odczytów. Dla takich dostępny jest system monitorowania prądów różnicowych RCMS460. Jego podstawowym elementem jest ewaluator RCMS460, który służy do odczytu i oceny wartości prądów różnicowych z 12 przekładników pomiarowych:



Rys. 1. Prosty system zbudowany w oparciu o ewaluator RCMS460-D

System dokonuje cyklicznego pomiaru prądów różnicowych, roboczych w zakresie 6mA do 20A w maksymalnie 1080 odpływach co 180 ms. Możliwe jest przy tym wydzielenie, w których odpływach mogą wystąpić dowolne (np. gładkie stałe) prądy różnicowe i należy prowadzić w nich kontrolę typu B, a w których wystarczy kontrola typu A – prądy sinusoidalne i pulsujące stałe. O klasie pomiaru decyduje rodzaj zastosowanego przekładnika. W każdym z dwunastu tak uzyskanych kanałów pomiarowych można niezależnie nastawić wartość

alarmową w zakresie 10mA...10A i na ekranie LCD lub przez wbudowany port RS485 odczytać wartość bieżącą i ewentualny sygnał alarmu. Jeżeli odpływów jest więcej, system rozbudowuje się o kolejne przekładniki i ewaluatory RCMS460. W ten sposób możliwe jest monitorowanie nawet 1080 odpływów.



Rys. 2. Rozbudowany system RCMS460

W takim przypadku przydaje się panel umieszczony np. w nastawni i umożliwiający zdalny odczyt wartości bieżących, alarmów i ostrzeżeń a także w razie potrzeby wprowadzanie nastaw. Sterownikiem tym może być kasetka MK2430 lub sterownik/komputer przemysłowy dołączony do magistrali komunikacyjnej RS485. Pomocne są tutaj konwertery protokołów komunikacyjnych. Przykładowo konwerter FTC470XET zmieniający protokół RS485 BMS na TCP/IP Ethernet posiada wbudowany serwer WWW i wystarczy dołączyć go do dowolnego komputera z kartą sieciową i przeglądarką internetową aby uzyskać prostą wizualizację i archiwizację pracy systemu.

Zaletą przekaźników różnicowoprądowych jest fakt, że są one praktycznie niezależne od prądu i napięcia badanej sieci. Umożliwia to na przykład wykorzystanie systemu wykrywania i lokalizacji prądów różnicowych RCMS460 do prowadzenia kontroli sieci średniego napięcia.

Przy pomocy przekaźników różnicowoprądowych a zwłaszcza systemu RCMS460 możliwe jest wykrywanie wielu różnych stanów awaryjnych w sieci. Przykładami takich sytuacji są:

**Prądy różnicowe** – pojawiające się w chwili uszkodzenia izolacji lub pojawienia się wilgoci i zabrudzeń na odizolowanych częściach czynnych sieci.

**Prądy błędzące** – często sieć uziemiona ma wspólny przewody PEN zastępujący PE oraz N; przy takiej sieci przez części przewodzące budynku (wodociągi, sieć grzewczą), mogą płynąć prądy wyrównawcze, zwane błędzącymi. Może to powodować zakłócenia w pracy urządzeń w sieci, stwarzać zagrożenie dla obsługi, przy-

spieszać korozję elementów metalowych budynku.

**Przerwy w przewodzie N** – wysoki poziom harmonicznych może spowodować, że prąd w przewodzie N będzie znacznie większy, niż w przewodach fazowych. Ponieważ przewód ten ma często mniejszy niż fazowe przekrój więc łatwo może dojść do jego przepalenia.

**Ciągłość przewodów PE** – w przypadku przerwy w tym przewodzie prądy normalnie w nim płynące pojawią się np. w sieciach teleinformatycznych będąc źródłem zakłóceń oraz zagrożenia dla użytkowników budynku

### 3. Monitorowanie rezystancji izolacji w sieciach nieziemionych (IT)

Sieci zasilające wykonane jako izolowane spotykane są głównie w kopalniach i hutach natomiast ten układ połączeń jest powszechnie wykorzystywany do budowy typowych przemysłowych sieci sterowniczych DC220V.

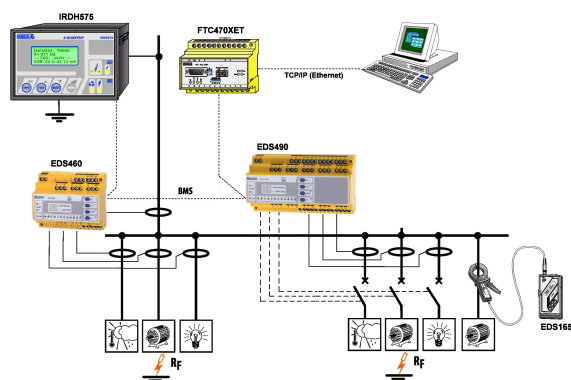
Przepisy regulujące sprawy bezpieczeństwa elektrycznego wymagają, aby w sieciach nieziemionych prowadzona była ciągła kontrola stanu izolacji. Realizują ją przekaźniki kontroli stanu izolacji – urządzenia mierzące w sposób ciągły rezystancję między siecią a ziemią i sygnalizujące spadki jej wartości poniżej nastaw progowych. Dostępne są bardzo różne wykonania tych przekaźników. W zależności od rozległości sieci, rodzaju zasilanych niej odbiorów, warunków środowiskowych i wymaganych sygnałów zmieniają się istotnie wymagania im stawiane: poziom odporności na zakłócenia (zarówno wyższe harmoniczne jak i składowe stałe napięcie), zakres pomiarowy, ilość i rodzaj sygnałów wyjściowych.



Rys. 3. Różne wykonania przekaźników kontroli stanu izolacji

Zadaniem przekaźnika jest wykrycie i zasygnalizowanie faktu powstania doziemienia. Wiele sieci izolowanych, szczególnie sieci sterownicze, przeznaczone są do pracy ciągłej i nie jest możliwe odłączanie poszczególnych odpływów w celu zlokalizowania miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego. W takich wypadkach możliwe jest zabudowanie w pełni automatycz-

nego układu nadzoru stanu izolacji oraz lokalizacji uszkodzenia.



Rys. 4. System lokalizacji doziemień EDS460

Centralnym elementem systemu jest przekaźnik kontroli stanu izolacji IRDH575, w sposób ciągły monitorujący rezystancję izolacji, a po wykryciu doziemienia sterujący procesem lokalizacji: za pomocą kontrolowanych doziemień powoduje przepływ prądu testowego przez miejsce doziemienia co jest wykrywane za pomocą przekładników pomiarowych, których sygnały są analizowane przez ewaluatory EDS460. Informacja o tym, który odpływ jest doziemiony pojawia się na ewaluatorze oraz na ekranie izometru. Informacja ta może być także przekazana do systemów nadrzędnych np. do systemów wizualizacji i sterowania produkcją. System EDS460 umożliwia nadzór sieci DC 20...575V i AC 20...760V. Jest w pełni odporny na zakłócenia generowane przez energoelektronikę i może pracować w sieciach o pojemności do 500uF.

Umożliwia więc w pełni automatyczny nadzór stanu izolacji większości niskonapięciowych sieci izolowanych wykorzystywanych w przemyśle.

#### 4. Podsumowanie

Filozofią wyznawaną przez twórców tego typu systemów jest jak najwcześniejsze ostrzeżenie użytkownika przed zbliżającym się zagrożeniem. Powyższe przykłady pokazują, że odpowiednio wykorzystane urządzenia mogą posłużyć do budowy niezwykle skutecznych systemów, które w pełni automatycznie i podczas normalnej pracy sieci kontrolowanej wykrywają i lokalizują wiele stanów grożących awarią. Pozwala nam to zyskać czas na podjęcie środków zapobiegających powstaniu awarii i uniknąć kosztów z tym związanych.

#### 5. Literatura

- [1]. Hofheinz W.: *Schutztechnik mit Isolationsüberwachung*, VDE-Verlag GmbH-Berlin-Offenbach
- [2]. Hofheinz W.: *Fehlerstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen*, VDE-Verlag GmbH-Berlin-Offenbach
- [3]. Materiały seminaryjne i dane techniczno-handlowe urządzeń firmy Dipl.Ing. W. Bender GmbH & Co KG