

# Elementy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej w głębi sieci SN

Zdzisław Koszkul – TAURON Dystrybucja

## Streszczenie

Referat podejmuje próbę omówienia nowego podejścia wyposażenia obiektów elektroenergetycznych takich jak: stacje transformatorowe SN/nN i złącza kablowe SN i łączniki SN sterowane zdalnie w układy EAZ w aspekcie przyszłej współpracy z automatykami FDIR.

## 1. Wstęp

Doświadczenia ostatniej dekady pokazują, że w głębi sieci średniego napięcia coraz częściej pojawiają się elementy, które realizują dość istotną funkcję w systemie dystrybucyjnym, podobnie do tych elementów, które lokalizowane są w rozdzielniach średniego napięcia stacji o górnym napięciu 110 kV. Począwszy od funkcji sterowniczych, pomiarowych związanych z pomiarem zarówno parametrów sieci w danym punkcie, poprzez pomiar rozliczeniowy lub bilansowy energii elektrycznej, aż po detekcję zakłóceń, w tym detekcję zwarcia.

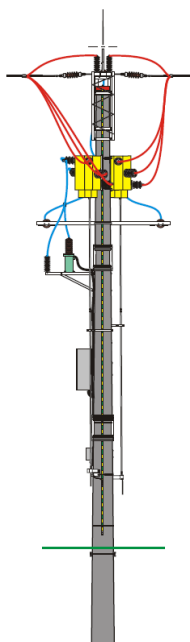
Operatorzy wyposażają się systemy SCADA, które oprócz typowych funkcji sterowniczych realizowanych przez dyspozytora często realizują funkcje analityczne oraz restytucyjne.

## 2. Odrobina historii

Do niedawna modelem standardowym w sieci średniego napięcia było, że wszystkie funkcje eliminacyjne zakłóceń w systemie dystrybucyjnym na tym poziomie napięcia były skupione w polach średniego napięcia stacji 110 kV/SN. Tam odbywała się detekcja i eliminacja zakłóceń zwarciovych.

Najwcześniej zostały przeniesione w głąb sieci funkcje sterownicze. Pojawiły się bowiem rozłączniki sterowane zdalnie, które dzięki lepszym lub gorszym rozwiązaniom komunikacyjnym pozwalały na wykonywanie przełączeń w głębi sieci. Zaczęło się od miejsc trudno dostępnych, dla brygad pogotowia, szczególnie na terenach górzystych, gdzie dostęp wiązał się często z dość uciążliwą wycieczką pieszą od samochodu zaparkowanego gdzieś przy drodze polnej do słupa, na którym był zainstalowany aparat łączeniowy. Trwało to też często kilka godzin.

Potem ktoś wpadł na słuszny pomysł, by wykorzystać fakt możliwości zdalnego sterowania łącznikiem na słupie nie tylko podczas planowych przełączeń, ale również do rekonfiguracji sieci podczas zakłóceń zwarciovych. Zaczęto więc stosować sygnalizatory (ktoś inny powie wskaźniki) przepływu prądu zwarciovego. Była to końcówka lat 90-tych ubiegłego wieku. Dyspozytor mając wiedzę o ich działaniu łatwo mógł określić odcinek między łącznikami (najlepiej zdalnie sterowanymi), w którym wystąpiło zakłócenie. Na tej podstawie mógł dokonać odpowiednich przełączeń w sieci, ograniczając skutki awarii dla odbiorców.



Już wówczas zaczęły pojawiać się różnego rodzaju automatyki, które wykorzystując czasy przerw beznapięciowych w automatyce SPZ, potrafiły wyizolować automatycznie uszkodzony odcinek. Wadą jednak tych rozwiązań była konieczność stosowania wielokrotnego SPZ. Były to więc dość trudne czasy dla łączników uczestniczących w 'programie przełączeń'. Trzeba jednak uczciwie powiedzieć, że pomimo dość częstych przypadków instalowania urządzeń zdolnych do realizacji tej automatyki, funkcja ta w znakomitej większości aplikacji, nie była wykorzystywana. Powodem były błędy w rekonfiguracji spowodowane dość niską skutecznością detekcji zwarców, zwłaszcza dotyczyło to zwarców doziemnych w sieciach skompensowanych, gdzie zwarcia pojedyncze z ziemią charakteryzują się małymi wartościami prądów.

Nie były to jeszcze czasy rozliczeń ze współczynników SAIDI, czy SAIFI. Nie chodziło więc jeszcze o pieniądze, ale można by rzec, o zwykłą rzetelność i przyzwoitość w odniesieniu do klienta.

### **3. Dotychczas stosowane rozwiązania elementów EAZ, telemechaniki i komunikacji**

Zastosowanie wskaźników przepływu prądu zwarciovego jest rozwiązaniem dość tanim i prostym technicznie, co niewątpliwie należy uznać za jego zaletę. Rynek producencki oferuje wiele konstrukcji z szeroką gamą możliwych do zastosowania kryteriów detekcji zwarców.

Dla przypomnienia kilka przykładów wybranych losowo.

#### **3.1. SOFTIN, sygnalizator zwarcia typu SZN**

Sygnalizator SZN działa na zasadzie pomiaru pola magnetycznego występującego w pewnej odległości od przewodów nadzorowanej linii. Czujnik, wykrywający nagle zmiany pola magnetycznego występujące przy zwarciu doziemnym lub międzyfazowym, jest montowany kilka metrów pod linią i połączony z układem pomiarowym. Układ pomiarowy rozgranicza jednocześnie zmiany pola magnetycznego występujące przy skokach prądu obciążenia lub przy załączeniu napięcia linii. Czujnik pola magnetycznego stanowi cewka z rdzeniem otwartym. Czujnik jest połączony przewodem koncentrycznym z układem pomiarowym sygnalizatora. Kierunkowość działania czujnika zapewnia zastosowanie cewki z rdzeniem magnetycznym o dużej przenikalności.

#### **3.2. SCHNEIDER ELECTRIC, wskaźniki zwarcia typu FLAIR/FLITE**

Detekcja zwarców doziemnych i międzyfazowych w kablach SN realizowana jest oparciu kierunkowy algorytm do wykrywania zwarcia doziemnego w oparciu o kryterium prądowe bez pomiaru składowej zerowej napięcia. Istotnym elementem przy tym rozwiązaniu jest analiza prądu pojemnościowego oraz prądów fazowych w momencie zwarcia. Urządzenie współpracuje z przekładnikami prądowymi, które zamawiane są w komplecie.

Do rozwiązań napowietrznych firma proponuje wskaźniki typu Flite.

#### **3.3. ZAKŁĘDY AUTOMATYKI ENERGETYCZNEJ (ZAE), sygnalizator zwarcia typu CPZ**

Urządzenie (centralka) dokonuje pomiaru chwilowych wartości prądów w momencie pobudzenia centralki oraz po nastawionym czasie. W sieci skompensowanej czas ten zależy od nastawionego czasu wymuszenia składowej czynnej przez automatykę AWSK (zwykle 3-4s).

Jeżeli mierzony po tym czasie prąd ma wartość większą niż zmierzony w chwili pobudzenia i powiększony o dopuszczalny różnicowy prąd zależny od prądu nie skompensowania, oraz prądów pojemnościowych, to uruchamiana jest sygnalizacja zwarcia. W przeciwnym przypadku sygnalizacja jest blokowana.

W rozwiązaniu dedykowanym dla sieci skompensowanej w celu eliminacji błędów wynikających z pojemności sieci, wprowadzono człon kierunkowy pozwalający ocenić, czy płynący prąd pochodzi od zwarcia, czy od prądów pojemnościowych sieci.

Podczas detekcji zwarców międzyfazowych oraz zwarców doziemnych w sieci uziemionej przez rezystor i izolowanej jedynym kryterium wykrycia zwarcia jest wzrost wartości prądu (zwarciovego lub doziemnego) powyżej nastawionej wartości.

#### **3.4. HORSTMANN, sygnalizator zwarciov SIGMA**

Seria SIGMA to kombinowane sygnalizatory kierunkowego zwarcia fazowego i kierunkowego zwarcia doziemnego w sieciach średniego napięcia. Zasadniczo urządzenia są zasilane prądem dostarczanym przez przetworniki prądowe i nie wymagają napięcia pomocniczego. Pomiar prądu odbywa się przy pomocy przetworników prądowych z opcją dodatkowego przetwornika prądowego sumującego. Odczyt napięcia sieci odbywa się poprzez zintegrowany system detekcji napięcia. Detekcja zwarcia doziemnego może

odbywać się stosując jedną z 5 dostępnych do wyboru przez użytkownika różnych metod, lub ich kombinację.

### **3.5. Ocena rozwiązań sygnalizatorów i wskaźników zwarć**

Największym wyzwaniem od wielu lat w 'głębi sieci SN' była odpowiednio czuła detekcja zwarć doziemnych, zwłaszcza w sieci z małymi wartościami prądów zwarciovych, porównywalnymi lub nawet mniejszymi od prądów obciążeniowych. Pomimo, że już wcześniej wypracowane były bardzo skuteczne kryteria umożliwiające wykrywanie tych zwarć, trudno było je zrealizować właśnie w głębi sieci, gdzie choćby pomiar napięć był zawsze bardzo kosztowny. Producenci więc prześcigali się w tworzeniu algorytmów zastępczych, które z lepszym lub gorszym skutkiem wykrywały te zwarcia. Zawsze jednak nie dość skutecznie z uwagi na małą czułość w zakresie małych prądów zwarciovych, tj. poniżej 20 A.

Niestety analizując statystykę działań wskaźników zwarć łatwo dostrzec dość niską skuteczność działania, tj. w najlepszym przypadku dochodzącą do 70% a w najgorszym nawet do 25%.

Przyczyn tak niskiej skuteczności detekcji zwarć upatrywać można kilka, tj.:

- niskiej jakości elementy pomiarowe będące źródłem wielkości pomiarowej członu pomiarowego wskaźnika,
- czułość metod detekcji i algorytmów pomiarowych,
- często też błędy w nastawianiu.

Mimo to rozwiązania były akceptowalne z uwagi na fakt, że służyły jedynie do lokalizacji zakłóceń, a po potwierdzeniu miejsca zwarcia, dyspozytor mógł dokonać „ręcznej” rekonfiguracji sieci SN.

Wykorzystanie jednak wskaźników do automatycznej rekonfiguracji sieci po zaistnieniu zwarcia, wiązało się już dość dużym ryzykiem błędów lub koniecznością blokowania takiej automatyki w momentach, gdy mogła być najbardziej przydatna.

## **4. Nowe rozwiązanie dla obiektów w głębi sieci średniego napięcia**

Nie ma już dzisiaj wątpliwości, że spełnienie oczekiwań Regulatora w zakresie poziomu wskaźników jakościowych SAIDI i SAIFI, wiązać musi się transformacją struktury sieci dystrybucyjnej średniego napięcia, która to sieć ma największy wpływ na osiągnięte wskaźniki.

Problemem w tej części systemu dystrybucyjnego jest ograniczona możliwość czerpania wzorców z zastosowanych rozwiązań w takich krajach Unii Europejskiej jak Niemcy, Francja, Hiszpania, czy choćby kraje skandynawskie. Tam bowiem infrastruktura energetyczna związana z gęstością sieci dystrybucyjnej jest duża, kilkukrotnie korzystniejsza niż Polsce, co pozwala na dość łatwą realizację zasilań rezerwowych. Dodatkowo z uwagi na znaczącą przewagę sieci kablowej nad napowietrzną, sieć ta jest praktycznie niezależna od kaprysów największego destruktora polskiej energetyki czyli sił natury, czego doświadczaliśmy nader często i dotkliwie w ostatnich latach.

W Polsce z uwagi na trudności prawne związane z realizacją inwestycji liniowych (w tym również kablowych), wysoki koszt tych inwestycji, a przede wszystkim długi czas dojścia do zadawalającego stanu sieci dystrybucyjnej, zmusza spółki dystrybucyjne do działań zastępczych, niekonwencjonalnych i często nowatorskich.

Do takich działań zliczyć można realizację systemów działających w czasie rzeczywistym FDIR (Fault Detection, Isolation and Restoration), których działanie najogólniej ujmując polega na automatycznej rekonfiguracji sieci średniego napięcia po stanach zakłóceń, w celu wyizolowania uszkodzonych jej elementów i tym samym ograniczenia do minimum skutków zakłóceń w postaci przerw w dostawie energii elektrycznej dla odbiorców.

Wdrożenie wspomnianych systemów polegających na automatycznej restytucji sieci dystrybucyjnej średniego napięcia po stanach awaryjnych, wymaga dostosowania do nowych warunków pracy elementów zlokalizowanych w jej głębi, tj.:

- stacji transformatorowych SN/nN,
- złączy kablowych SN,
- punktów rozłącznikowych SN sterowanych zdalnie.



*Fot. 1. Złącze kablowe średniego napięcia z elementami multipolowej telemechaniki i układem elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej.*

Punktem wyjścia działania systemów FDIR jest czuła detekcja zwarców w sieci SN, bowiem to na tej podstawie FDIR określa optymalną rekonfigurację sieci minimalizując wyłączenia jedynie do tych, w których wystąpiły uszkodzenia.

Koniecznym staje się wypracowanie nowego standardu budowy i wyposażenia obiektów elektroenergetycznych instalowanych w głębi sieci średniego napięcia.

Proces ten wymaga też dialogu przedstawicieli spółek dystrybucyjnych i producentów wymienionych wcześniej obiektów, w tym również producentów urządzeń EAZ, telemechaniki, komunikacji, i pewnie jeszcze kilku innych, które w algorytmie działania FDIR stanowią zarówno podstawowe źródło informacji jak i element wykonawczy.

Dzisiaj, gdy zaistniała potrzeba i tak dużo mówi się o automatyzacji sieci średniego napięcia nie po to by pominąć, a raczej po to by odciążyć czynnik ludzki przy podejmowaniu decyzji o przełączeniach w sieci SN należy stwierdzić, że skuteczność dotychczas stosowanych rozwiązań EAZ jest już niewystarczająca. Zapewnienie wysokiej dokładności kryteriów detekcji i lokalizacji miejsca zakłócenia jest bezwzględnie konieczne.

Szczęśliwie rynek producencki jest otwarty na dialog techniczny i współpracę we wdrażaniu nowych rozwiązań technicznych dostosowanych do aktualnych potrzeb operatorów systemu dystrybucyjnego.

#### **4.1. Nowe rozwiązanie**

Zastosowanie nowych technologicznie rozwiązań nie oznacza zmiany praw fizyki i elektrotechniki. Nowe technologie dają tylko nowe możliwości realizacyjne. Nowe rozwiązania w postaci sensorów prądowych i napięciowych, które zarówno pod względem gabarytów jak i umiarkowanych cen, pozwalają na wykorzystanie ich w obiektach zlokalizowanych w ciągach linii średniego napięcia.

Nowe rozwiązanie przewiduje już powszechne wykorzystanie techniki sensorowej do pozyskiwania wielkości pomiarowych dla elementów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ).

Pozwala to na wykorzystanie w pełni, znanych od dawna i czułych kryteriów zabezpieczeniowych opartych o pomiar prądów i napięć, takich jak kryterium admitancyjne, czynnomocowe lub biernomocowe.

Największym jednak atutem nowego rozwiązania jest struktura i funkcjonalność wielopolowa. Terminal sterowniczo-zabezpieczeniowy, który jest sercem i mózgiem stacji czy złącza kablowego jest urządzeniem integrującym funkcje komunikacyjne, zabezpieczeniowe i sterownicze obiektu, obsługującym funkcjonalnie wszystkie pola średniego napięcia stacji transformatorowej czy złącza kablowego.

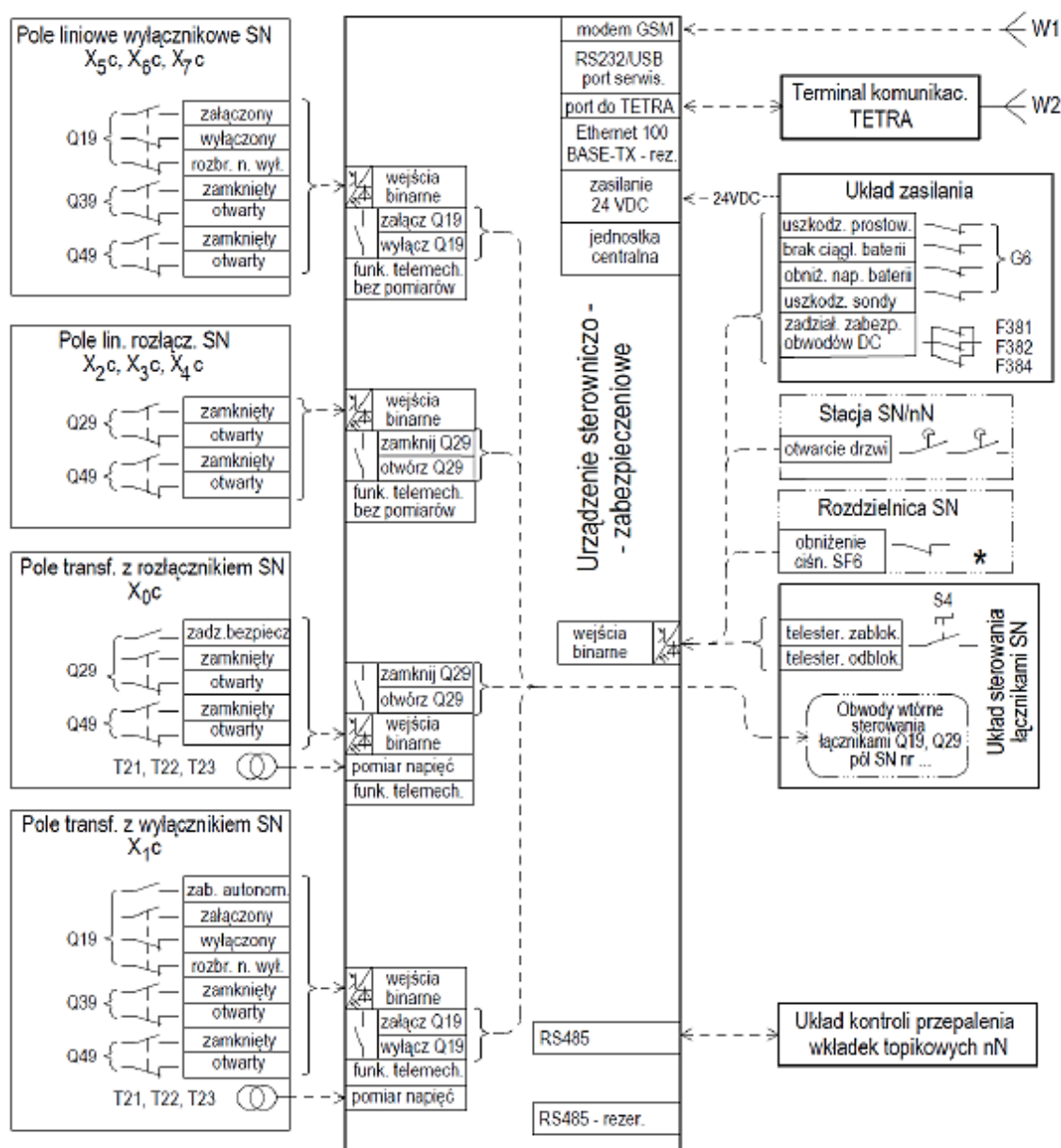
Wspomniana funkcjonalność oznacza możliwość pełnego sterowania każdym polem SN, akwizycji danych o jego stanie do systemów SCADA'owych oraz realizacji wszystkich koniecznych funkcji zabezpieczeniowych i automatycznych wykorzystywanych w głębi sieci. Innymi słowy, osiągnięta została zarówno dokładność jak i funkcjonalność taka sama jak w polach średniego napięcia w stacji 110kV/SN zasilającej dany ciąg liniowy.

## 4.2. Multipolowość

Jak już to zostało wspomniane, cechą charakterystyczną nowego rozwiązania jest możliwość obsługi wszystkich pól w stacji/złączu kablowym przy pomocy jednego urządzenia skupiającego wszystkie funkcje sterownicze, zabezpieczeniowe, telemechaniczne i komunikacyjne.

Takie podejście daje możliwość optymalizacji kosztów produkcji. Nie należy bowiem zapominać, że skala potrzeb w głębi sieci średniego napięcia jest wielokrotnie większa niż w stacjach zasilających ciągi. Optymalizacja powinna dotyczyć również możliwości dostosowania tych urządzeń do potrzeb obiektu. W dzisiaj budowanym 3-polowym złączu kablowym średniego napięcia nie ma sensu stosować urządzenia sterowniczego z możliwością obsługi 5 pól.

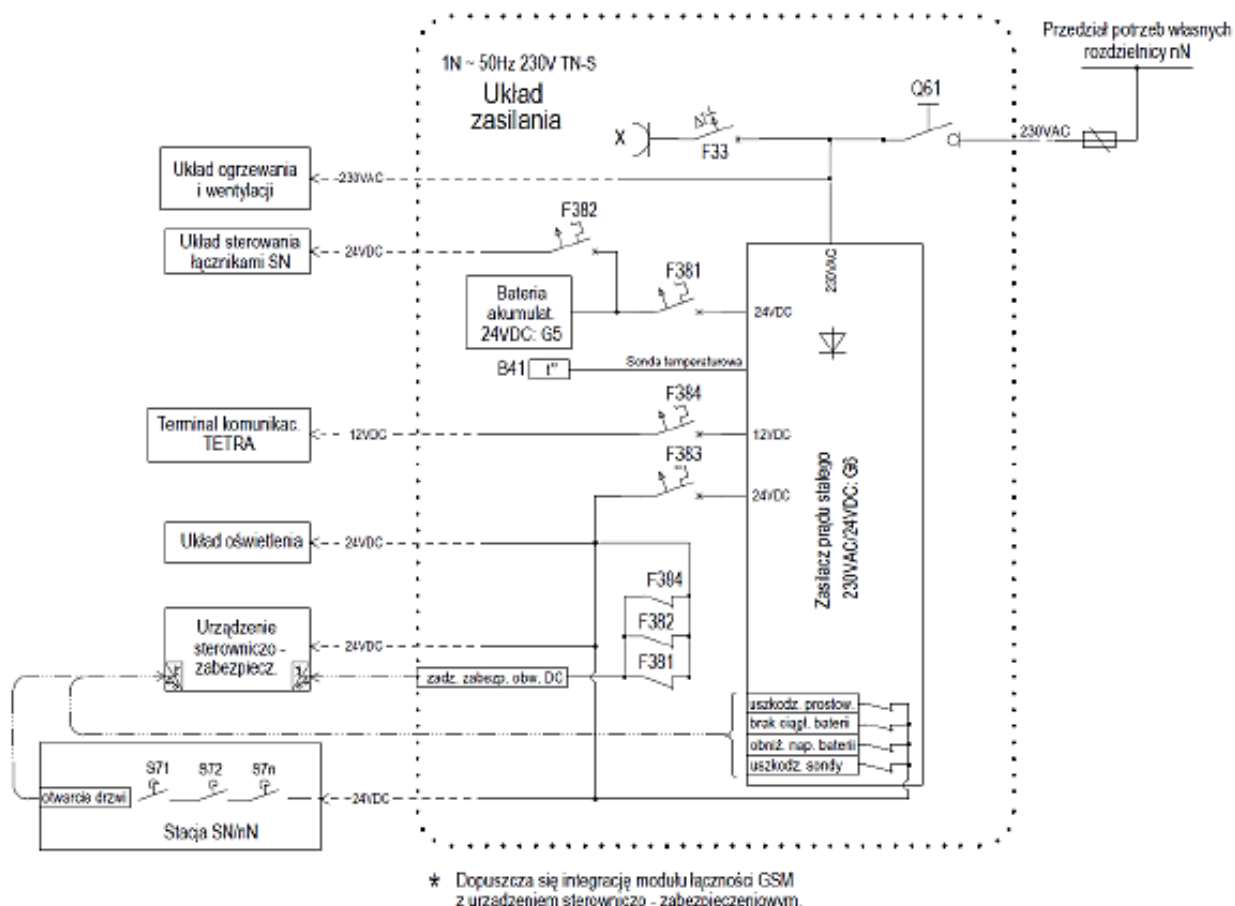
To samo dotyczy funkcji zabezpieczeniowych, których konfiguracja powinna być dostosowana do potrzeb aparatury zastosowanej w układzie pierwotnym. Innymi słowy, pole wyłącznikowe wymagać będzie powiązań sterowniczych, a rozłącznikowe jedynie sygnalizacyjnych w aspekcie detekcji zwarć.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny urządzenia sterowniczego - zabezpieczeniowego w układzie multipolowym sterowania.

### 4.3. Komunikacja

Z uwagi na fakt, że są to elementy sieci SN zlokalizowane w jej głębi, wyzwaniem stanowi dostatecznie szybka i niezawodna komunikacja najczęściej jeszcze dzisiaj bezprzewodowa, oparta o technologię TETRA i GSM. Coraz częściej istnieje możliwość wykorzystania łączy ethernet'owych, tam gdzie istnieją już światłowody lub z czasem będą się pojawiać. Terminal sterowniczo-zabezpieczeniowy powinien więc umożliwiać komunikację we wszystkich tych trzech mediach komunikacyjnych.



Rys. 2. Schemat strukturalny układu zasilania i komunikacji.

### 4.4. Detekcja zwarc

Detekcja zwarc realizowana jest w oparciu o pomiar trzech prądów fazowych pozyskanych z sensorów prądowych i trzech napięć fazowych pozyskanych z sensorów napięciowych, niezależnie od sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci średniego napięcia.

Warto dodać, że coraz częściej pojawiają się w literaturze informacje o nowych rozwiązaniach pomiaru prądu i napięcia służących identyfikacji zwarc, wykorzystujące np. technikę fazorową. Wszystko to daje nowe możliwości dla realizacji elementów EAZ w głębi sieci średniego napięcia.

Wszystkie pola liniowe (rozłącznikowe i wyłącznikowe) należy wyposażać w funkcje zabezpieczeniowe umożliwiające współpracę z siecią o różnym reżimie pracy punktu gwiazdowego. Wynika to przede wszystkim z konieczności dostosowania tych obiektów do przyszłej zmiany reżimu pracy sieci średniego napięcia. Plany m.in. związane z kablowaniem tej sieci nie pozostawiają złudzeń co do tego, że sieci skompensowane i izolowane będą ustępować miejsca sieciom uziemionym przez rezystor. Stąd minimum kryteriów zabezpieczeniowych to:

- nadprądowe zwłoczne, od skutków zwarc międzyfazowych,
- nadprądowe zwłoczne, od skutków zwarc międzyfazowych z blokadą kierunkową,
- zwarciove, od skutków zwarc międzyfazowych,
- ziemnozwarciowe zerowoprądowe,
- ziemnozwarciowe konduktancyjne bezkierunkowe,
- ziemnozwarciowe kierunkowe biernomocowe.

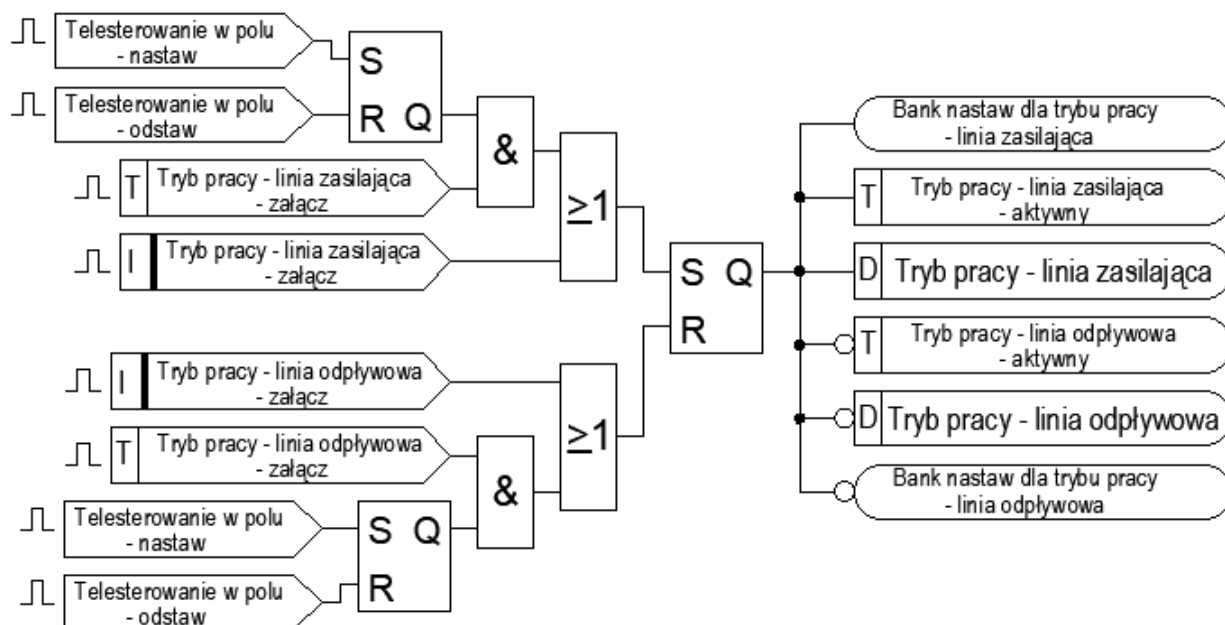
Dodatkowo pola liniowe SN z wyłącznikami należy wyposażać w zabezpieczenia:

- nadnapięciowe i podnapięciowe,
- nadczęstotliwościowe i podczęstotliwościowe,

i automatykę 2-krotnego SPZ.

Dodatkowe zabezpieczenia związane są z przewidywanym przyrostem rozproszonych źródeł wytwórczych przyłączanych do sieci średniego napięcia, najczęściej właśnie w jej głębi.

Warto zadbać więc i o możliwość wyboru trybu pracy pola (podobnie jak to ma miejsce w polu liniowym średniego napięcia stacji 110 kV/SN). Można to zrobić stosując np. prostą logikę.



## 5. Podsumowanie

Rozwiązaniem dla sieci średniego napięcia może być urządzenie, które oprócz dostępnej funkcji detektora zwarcia, posiada dodatkowo elementy sterowania i automatyki do nadzoru więcej niż jednego odpływu.

Istotnym elementem wdrażania systemów FDIR w sieci dystrybucyjnej średniego napięcia jest czuła detekcja prądu zwarciego, oraz pewna komunikacja z systemem SCADA.

Nowe rozwiązanie w znaczący sposób może wpłynąć na automatyzację procesu przełączeń oraz umożliwić otrzymywanie istotnych informacji o zjawiskach zwarciovych z większej części systemu dystrybucyjnego średniego napięcia. W dobie rozważań nad wprowadzaniem inteligentnych sieci, bardzo ważnym aspektem pozostaje zapewnienie obiektom lokalizowanym w głębi urządzeń działających o pewne kryteria zwarciove skutecznie wykrywające zakłócenia w każdych warunkach pracy sieci SN, nie pomijając przy tym aspektów związanych z pracą źródeł rozproszonych.

Nawiązując jednak do doświadczeń innych krajów przy realizacji podobnych rozwiązań w dużych aglomeracjach miejskich, oraz obszarach mocno zurbanizowanych wydaje się zasadnym prowadzenie takiego kierunku działań by uzyskiwać z roku na rok bardziej efektywną sieć dystrybucyjną polepszając w ten sposób zarówno wskaźniki SAIDI i SAIFI, oraz zwiększając stabilność pracy systemu zasilania ku zadowoleniu wszystkich użytkowników systemu elektroenergetycznego.

Wszystkie te działania, które są związane z wprowadzaniem nowych rozwiązań i technologii rodzą nowe wyzwania przed spółką dystrybucyjną. Tego typu obiekty wymagają nowych kompetencji personelu obsługującego łączących wiedzę z zakresu pracy systemu elektroenergetycznego, znajomości układów pracy sieci SN, z wysokim poziomem świadomości działania elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej oraz umiejętności z zakresu informatyki i telekomunikacji.

Dodatkowo z uwagi na fakt, że są to rozwiązania dużo droższe w porównaniu z tego samego typu obiektami dotychczas stosowanymi, lokalizacja tych obiektów wymaga świadomego i optymalnego planowania.

## **Literatura**

- [1] Standardy techniczne TAURON Dystrybucja S.A.
- [2] Hoppel W.: Sieci średnich napięć. Automatyka zabezpieczeniowa i ochrona od porażeń.
- [3] Karty katalogowe producentów sygnalizatorów zwarć: SOFTIN, SCHNEIDER ELECTRIC, ZAE, HORSTMANN