

Katowice grudzień 2009

Spis Treści.

1. Cel stosowania zabezpieczeń odcinkowych
2. Przegląd stosowanych rozwiązań zabezpieczeń różnicowych firmy C&C
  - 2.1 Zabezpieczenia linii typu point-point z zdesynchronizowanym pomiarem
  - 2.2 Zabezpieczenia linii typu multipoint z zsynchronizowanym pomiarem
  - 2.3 Podsumowanie
3. Jednolity interface telezabezpieczeniowy
  - 3.1 Tryby pracy interface'u telezabezpieczeniowego w zabezpieczeniach C&C
  - 3.2 Przesyłanie sygnałów interface'u telezabezpieczeniowego dla przekaźników C&C
  - 3.3 Podsumowanie
4. Wnioski.

Poprawna praca zabezpieczeń polega na szybkim i maksymalnie selektywnym wyłączeniu fragmentu sieci energetycznej dotkniętej nieprzemijającą awarią.

Przełączniki kierunkowe, ziemnozwarciowe czy odległościowe, na podstawie pomiaru napięć i prądów określają miejsce zwarcia. Dzięki czasowemu ze stopniowaniu oraz ukierunkowaniu działania całych ciągów zabezpieczeń możemy selektywnie likwidować awarie.

Selektywne działanie zabezpieczeń dysponujących pomiarami tylko z jednego punktu chronionej sieci energetycznej jest bardzo trudne i często obarczone sporymi błędami. Dało to impuls do powstania systemów zabezpieczeń o bardziej "odcinkowym" charakterze działania.

Pierwszą metodą ulepszenia było wprowadzenie tzw. jednolitego interface'u zabezpieczeniowego. Innowacja polegała na tym że co najmniej dwa przełączniki pracujące na dwóch przeciwległych końcach chronionej linii "łączy się" binarnymi sygnałami nadawczym łącza "TX", odbiorczym "RX" oraz sygnałem stanu łącza "Łącze OK"<sup>1</sup>. Ustalono wiele trybów współpracy pomiędzy urządzeniami. Zdefiniowane procedury pozwalały na przyśpieszanie, blokowanie i współwyłączenie, wszystko po to aby ich działanie było szybsze i bardziej selektywne. Jednolity interface okazał się szczególnie przydatny w trudnych warunkach, krótkie linie, skomplikowany układ sieci itp.

Równoległe z wymienionymi wcześniej powstawały rozwiązania oparte o pomiary dokonywane na dwóch lub więcej końcach zabezpieczanej linii. Zwykle są to urządzenia porównujące wielkość prądów w zakresie modułów oraz faz. Każdy z pół kompletów zabezpieczeń dokonuje pomiaru prądu i przy pomocy kanału transmisyjnego przesyła tą informację na drugą stronę. Każda ze stron wyznacza różnicę i w przypadku przekroczenia zadanego, dopuszczalnego progu, wyłącza uszkodzony fragment sieci.

---

1 Oznaczenia stosowane w urządzeniach C&C

W ofercie firmy C&C można wyróżnić trzy podstawowe grupy przekaźników różnicowych :

- urządzenia ze zdesynchronizowanym pomiarem prądów do której należą ZCR 4, ZZN 4/RP, UTXvZRP, UTXvRP, przeznaczone w zasadzie do zabezpieczania linii o dwóch końcach,
- urządzenia typu UTXvMS/R i UTXvSS/R których działanie jest oparte o zsynchronizowany pomiar i przeznaczone do zabezpieczania linii o wielu końcach ( z odczepami ),
- zabezpieczenia różnicowe transformatora ZTR 4 i ZTR 5 oraz obecnie produkowane UTXvTR2/3/4 o synchronicznym próbkowaniu.

Zasada działania zabezpieczeń transformatorów jest powszechnie znana i nasze opracowania nie różnią się w zasadniczym stopniu od rozwiązań innych producentów. W przypadku przekaźników różnicowych linii występują poważne różnice i dlatego urządzenia te zostaną dokładniej omówione.

Dwa fizyczne urządzenia w wykonaniu RP wyposażone są w moduły różnicowo prądowe, które pracują na dwóch przeciwległych końcach zabezpieczanej linii WN/SN.

Poprzez łącze transmisyjne wymieniają się one wzajemnie informacjami na temat bieżących wartości wektorów prądów fazowych zabezpieczanej linii.

W czasie normalnej pracy prądy fazowe „widziane” przez zabezpieczenie w stacji A (Ia) muszą być równe prądom „widzianym” przez drugie zabezpieczenie w stacji B (Ib), i to zarówno pod względem: modułów jak i przesunięć fazowych. Po wystąpieniu zwarcia wektory prądów zmieniają się i prawie zawsze (mają inne wartości – przynajmniej pod względem modułów lub faz). Jeżeli moduły lub fazy wektorów prądów różnią się ponad dopuszczalne (zaprogramowane przez użytkownika granice) i jednocześnie jest przekroczony minimalny prąd pobudzenia, to następuje wygenerowanie przez zabezpieczenie sygnału startu modułu różnicowo prądowego. Jeżeli funkcja blokady wyłączenia jest wyłączona to start modułu różnicowo prądowego jest równoznaczny z żądaniem wyłączenia linii, w przeciwnym wypadku stopień ten działa tylko na sygnał.

Zabezpieczenia działają w oparciu o zdesynchronizowany pomiar prądów, co oznacza iż fazy początkowe widziane przez zabezpieczenia mogą być różne. Zabezpieczenia, po wymianie informacji na temat wektorów prądów dokonują zsynchronizowania faz prądów (z uwzględnieniem opóźnień transmisji) i różnic pomiarowych, wynikających z różnych momentów próbkowania. Następnie, każde osobno, dokonuje komparacji różnic z ustawionymi progami, niezależnie dla modułów prądów i ich faz. Przekroczenie dopuszczalnej różnicy przynajmniej jednego parametru (modułu lub fazy), powoduje pobudzenie stopnia różnicowego, a po odliczeniu programowanego opóźnienia wysyłany jest sygnał startu modułu różnicowo-prądowego, pod warunkiem przekroczenia minimalnego prądu pobudzenia. Zastosowany algorytm pomiarowo – obliczeniowy gwarantuje wykrycie praktycznie wszystkich rodzajów uszkodzeń (zwarć oraz przerw) w zabezpieczanym odcinku linii. Dodatkowo zabezpieczenia są wyposażone w zaawansowane funkcje diagnostyczne pomiaru prądu oparte na określeniu zawartości sygnału 50 Hz w stosunku do całki prądu. Niepoprawny pomiar prądu skutkuje wyłączeniem analizy różnicowej dla tej fazy. Fazy mierzone poprawnie nadal podlegają analizie i w razie przekroczenia dopuszczalnych różnic spowodują wyłączenie linii.

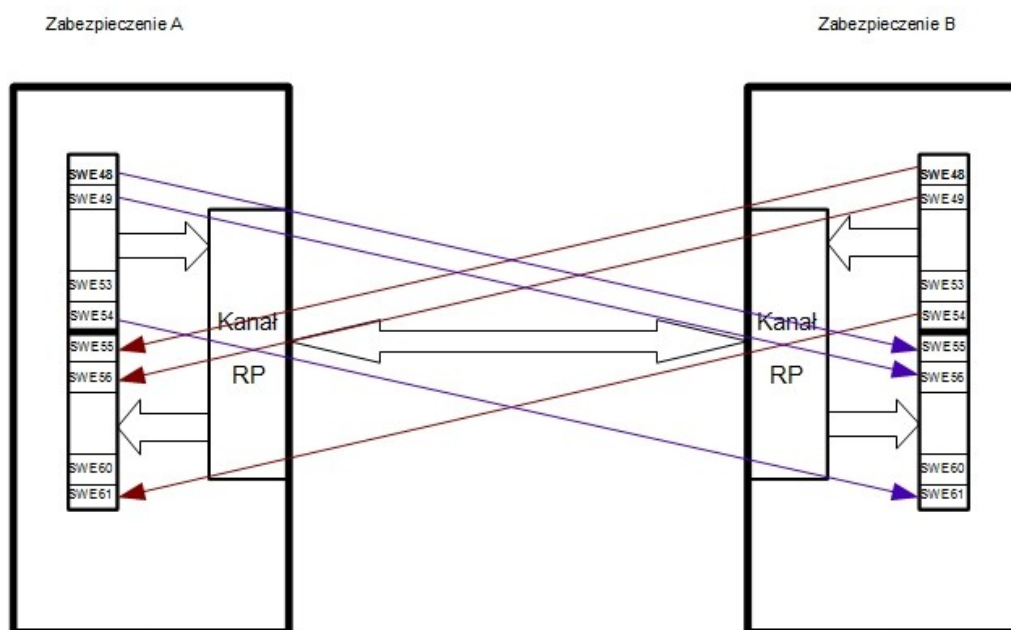
W przypadku braku wymiany danych pomiędzy zabezpieczeniami następuje automatyczne zablokowanie działania zabezpieczenia różnicowego z równoczesną sygnalizacją tego stanu.

W zabezpieczeniach UTX do pobudzenia modułu różnicowego potrzebna jest dwukrotna wymiana danych z drugim zabezpieczeniem potwierdzająca ten stan. Czas ten zapewnia selektywność wyłączeń, ze względu na możliwość wystąpienia krótkotrwałych, przejściowych, zaburzeń (np. w czasie operacji łączeniowych) lub stanów nieustalonych, w początkowym okresie zwarć zewnętrznych.

Zabezpieczenia ZCR 4E, ZZN 4E oraz wcześniejsze wersje zabezpieczeń ZZN 4E/TP działały indywidualnie. Każdy z półkompletów samodzielnie podejmował decyzję co do wyłączenia swojego końca linii niezależnie od decyzji wypracowanej przez partnera. W zabezpieczeniach ZZN 4/TP oraz ZCR 4/TP od wersji 6.7 dostępny jest parametr który wymusza współwyłączenie. W tym trybie pracy wystarczy że jedna ze stron podejmie decyzję o wyłączeniu to druga, niezależnie czy istnieją warunki do działania, wykona wyłączenie na swoim końcu.

Najnowsze zabezpieczenia serii UTXvZRP lub UTXvR wyposażono w bardziej zaawansowane

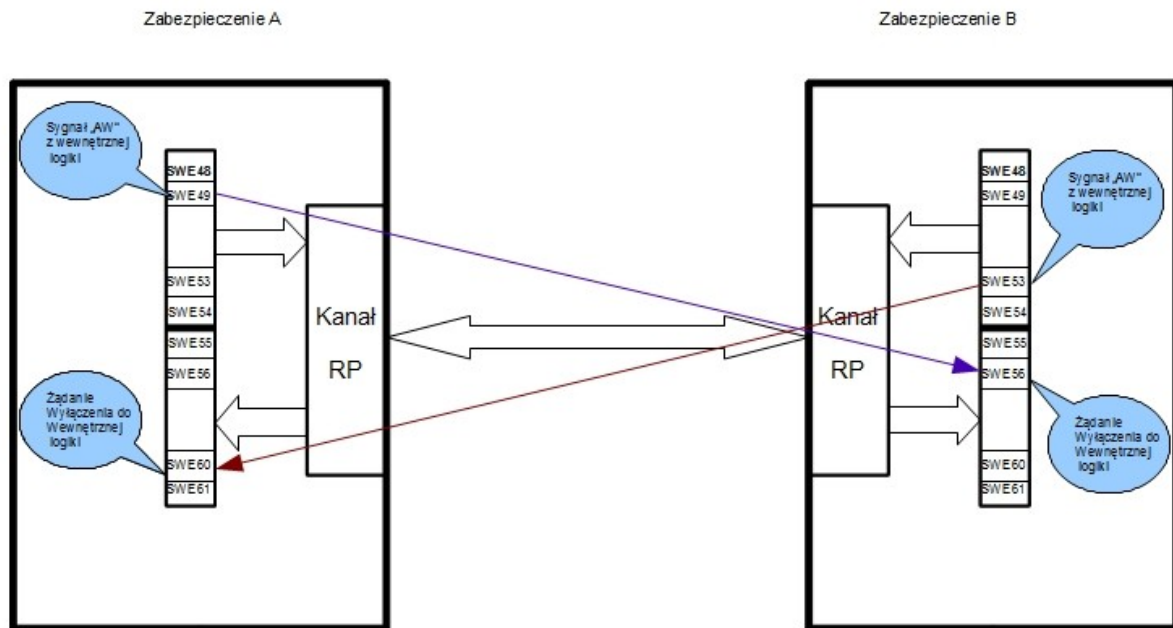
mechanizmy współpracy. W kanale transmisyjnym przesyła się dodatkowe dane będące odbiciem pewnych wybranych binarnych sygnałów wewnętrznych. Wykorzystując łącze transmisyjne, możliwe jest wysłanie do 8 binarnych stanów (widzianych w odpowiedniej grupie SWE) wypracowanych przez programowalną logikę zabezpieczenia A, w celu wykorzystania w dowolny sposób, również programowalny przez zabezpieczenie B. Sygnały te mogą być wykorzystane np. do blokowania, wyłączenia lub wymuszenia wyłączenia dla przeciwległego zabezpieczenia. Binarne sygnały przesyłane do drugiego końca odpowiadają stanom wewnętrznych sygnałów zabezpieczeń oznaczonych jako SWE 48 do SWE 55 a odbierane to SWE 56 do SWE 63.



Idea przesyłania sygnałów binarnych z wykorzystaniem kanału transmisyjnego RP

Ustawienie sygnałów binarnych w przypadku braku wymiany danych pomiędzy zabezpieczeniami następuje automatycznie, do stanów określonych w nastawach. Parametry transmisji są wspólne z zabezpieczeniem różnicowym, które zostały omówione powyżej.

Przykład wykorzystania możliwości tych funkcji interface'u RP jest realizacja współwyłączenia przedstawiona na poniższym rysunku.



Realizacja współwyłączenia z wykorzystaniem kanału transmisyjnego RP

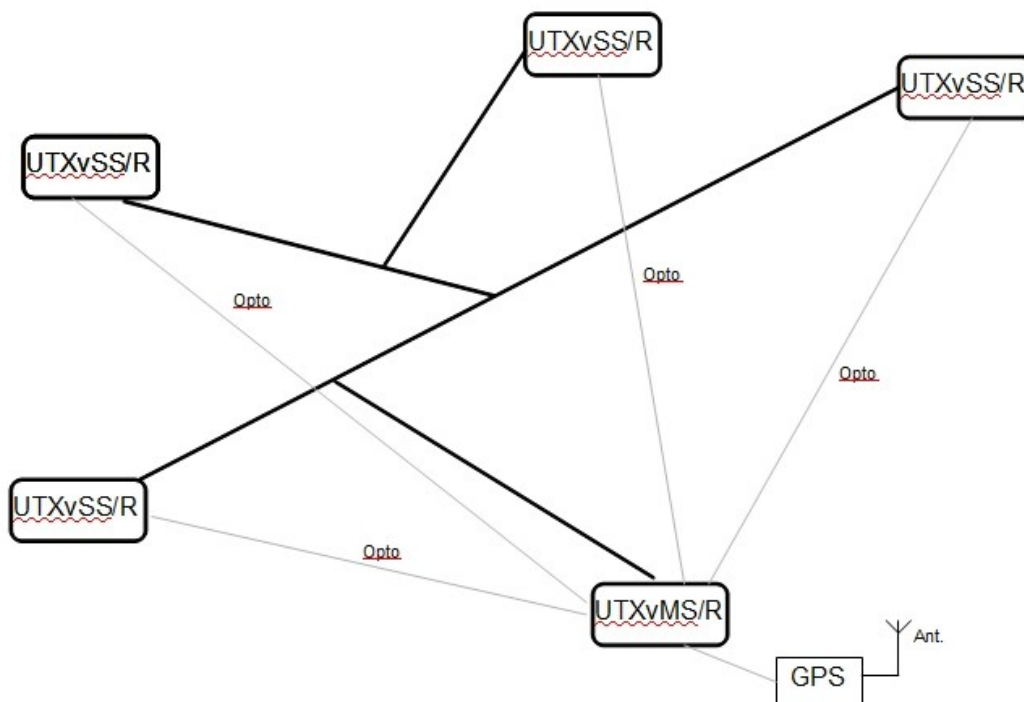
Innym przykładem jest realizacja funkcji tzw. "jednolitego interfejsu telezabezpieczeniowego" który zostanie omówiony w następnych rozdziałach.

Najnowsze opracowanie zabezpieczenia różnicowego linii firmy C&C to rozwiązanie bazujące na urządzeniach typu MASTER o nazwie UTXvMS/R oraz SLAVE o nazwie UTXvSS/R.

UTXvMS/R, w swojej podstawowej wersji, posiada 3 kanały pomiarowe prądów fazowych, jeden kanał pomiarowy napięcia dla  $U_e$ , 12 wejść dwustanowych, 10 wyjść przekaźnikowych, maksymalnie 6 kanałów optycznych ( 6x RX i 6x TX ) służących do komunikacji z urządzeniami UTXvSS/R instalowanymi na pozostałych końcach linii energetycznej ( z odczepami ).

Typowe wyposażenie UTXvSS/R jest prawie identyczne z UTXvMS/R, liczba kanałów optycznych jest równa 1. Zainstalowane kanały optyczne, jednomodowe, umożliwiają transmisję danych z szybkością 1Mbit/s na odległość do 40 km.

UTXvMS/R połączony jest promieniście ( rysunek poniżej ) z UTXvSS/R zainstalowanymi na pozostałych końcach linii.



Całość systemu działa w oparciu o unikalny system synchronicznego pomiaru ALICE'79.

Urządzenie MASTER ( UTXvMS/R ) co 1 ms wysyła znacznik czasu oraz rozkazy adresowane do poszczególnych urządzeń SLAVE ( UTXvSS/R ) które dokonują pomiarów w momentach określonych przez MASTER'a. W odpowiedzi urządzenia SLAVE, również co 1 ms wysyłają swoje pomiary oraz informują MASTER'a o swoim stanie ( ew. błędach, stanie odłączników, wyłączników itp.). Dane od UTXvSS/R oraz własne pomiary UTXvMS/R podlegają zbilansowaniu. Wyliczona suma prądów jest porównywana z zadaniem progiem różnicowym. Jeżeli bilans jest różny od zera, i przekroczył zadane kryteria ( progi różnicowe włącznie z charakterystykami hamowania itp.) mamy do czynienia ze zwarcie w obszarze chronionym. MASTER generując AW na swój wyłącznik, wysyła również rozkazy wyłączenia do urządzeń SLAVE. UTXvSS/R

stosownie do tych rozkazów wysyłają sygnały AW do swoich wyłączników. Całość pomiarów może być synchronizowana z czasem GPS wykorzystując indywidualny odbiornik GPS albo po połączeniu z serwerem czasu UTXvTS. Układ adaptuje się automatycznie do stanu pracy linii z odczepami, pomijając w bilansie fragmenty odłączone.

Dodatkowym wyposażeniem UTXvMS/R oraz UTXvSS/R są rezerwowe stopnie ziemno zwarciove ( kierunkowe i bezkierunkowe ) oraz bezkierunkowe stopnie nad prądowe. Stopnie są funkcjonalnie identyczne jak te z UTXline WN ( UTXvZ, vD itd ).

System ten pozwala na ochronę linii posiadającej od 2 do 7 końców ( maksymalnie 5 odczepów ) na odległość do 40 km pomiędzy UTXvMS/R oraz dowolnym UTXvSS/R. Jednak podstawowym wymaganiem jest zapewnienie optycznych łączy jednomodowych, promieniście pomiędzy MASTERem a urządzeniami SLAVE.

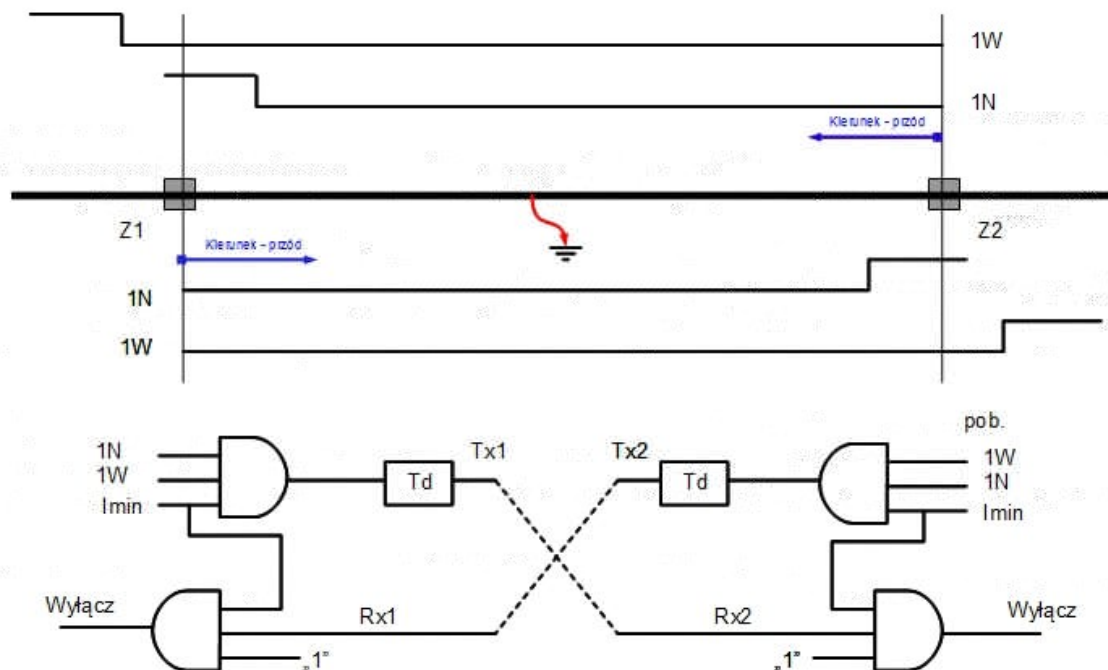
Zabezpieczenia z zdesynchronizowanym pomiarem mają mniejsze wymagania co do jakości kanału transmisyjnego. Urządzenia ZZN, UTXvZRP i vR tolerują kanał transmisyjny o opóźnieniu do 12 ms oraz zmianach w opóźnieniu nie większych niż  $50 \mu\text{s} / 5 \text{ms}$  i to przy bardzo mocno wyśrubowanych kryteriach dot. nastaw różnicy faz prądów. Działanie ich jest oparte o porównanie prądów poszczególnych faz pod kątem różnicy modułów i faz odpowiednio do nastawionych progów.

Urządzenia z synchronizowanym pomiarem działają podobnie jak zabezpieczenia szyn zbiorczych czy zabezpieczenia różnicowe transformatorów. Wyznaczana jest suma prądów poszczególnych faz podobnie jak w węźle prądowym. Następnie dokonywana jest komparacja z nastawionymi progami z uwzględnieniem charakterystyk prądowo zależnych.



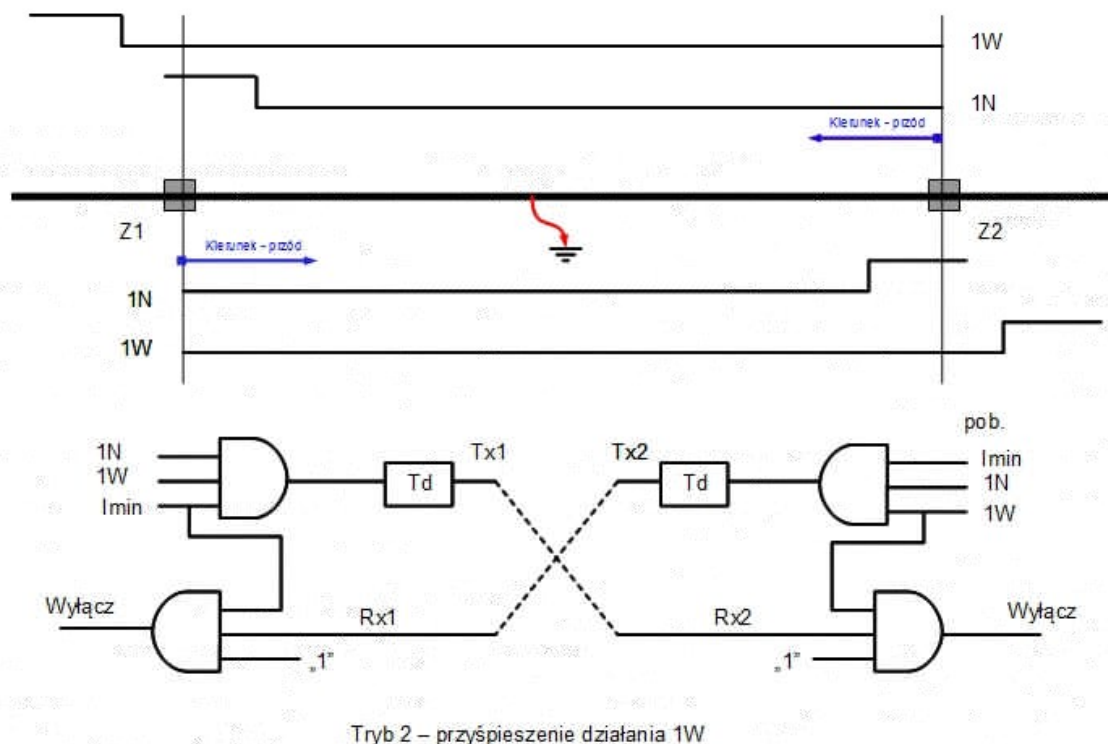
Zabezpieczenia odległościowe ZCR 4, ZCS 4 we wszystkich odmianach oraz UTXvZRP i UTXvZ wyposażone są w jednolity interfejs telezabezpieczeniowy. Jego głównym przeznaczeniem jest umożliwić budowę systemu zabezpieczeń które w trudnych warunkach będą zapewniały szybkie i selektywne wyłączenie zwarcia. Zdefiniowano kilka podstawowych trybów współpracy zabezpieczeń odległościowych opisanych poniżej. Przed analizą działania interfejsu należy przyjąć że jego działanie ma, w zasadzie, sens tylko wtedy gdy czasy opóźnień w strefach 1N i 1W są różne i dłuższe dla 1W niż 1N. Różnica w nastawionych opóźnieniach powinna uwzględniać nastawę opóźnienia nadawania sygnału łącza TX oraz czas propagacji sygnałów w fizycznym kanale transmisyjnym

### 3.1 Tryby pracy interfejsu telezabezpieczeniowego.

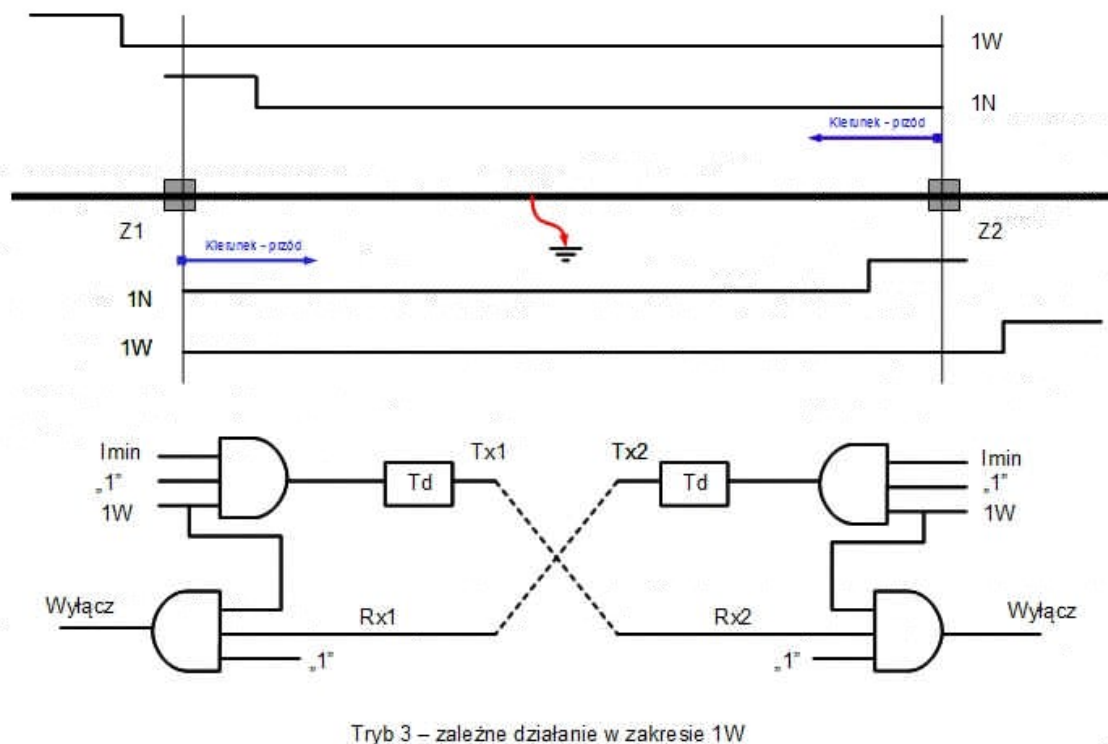


Tryb 1 – współwyłączenie uzależnione od pobudzenia

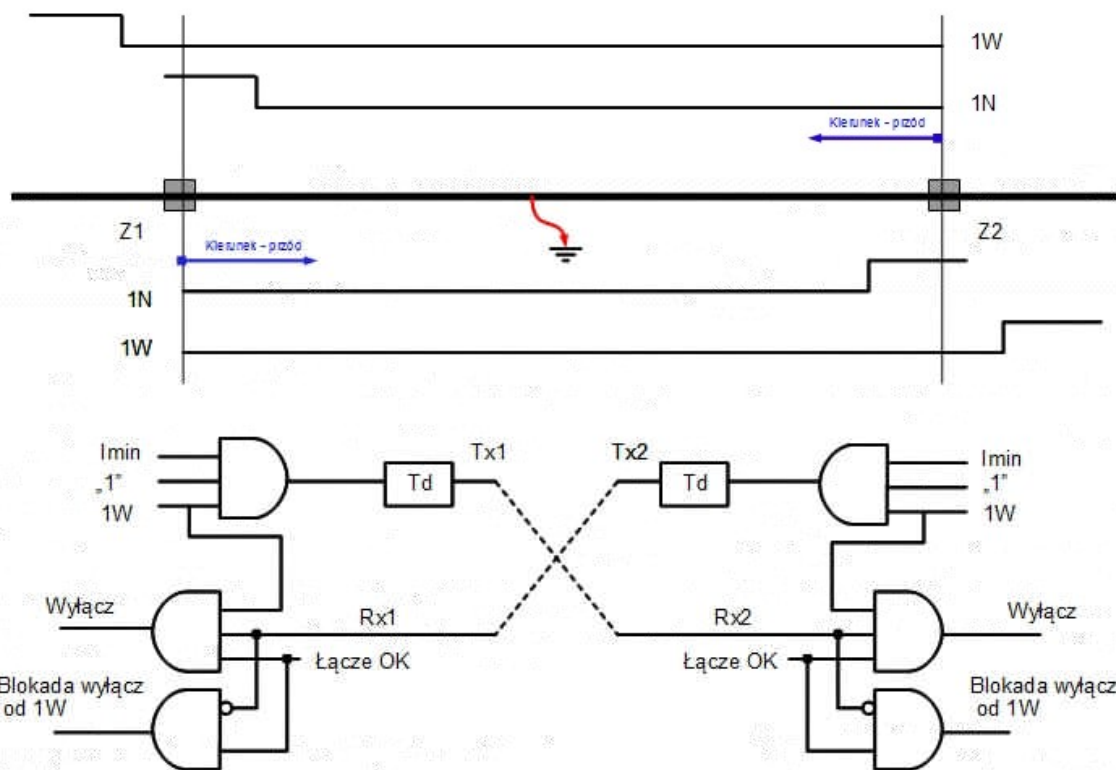
Dla zwarć w 1N wysłany jest rozkaz wyłączający do przeciwległego zabezpieczenia. Odebrany sygnał spowoduje wyłączenie, jeżeli zabezpieczenie to jest pobudzone prądowo ( $I_{min} >$ ). Tryb szczególnie zalecany gdy jeden z końców linii pracuje w trudnych warunkach uniemożliwiających prawidłowy pomiar impedancji. Nawet brak pobudzenia impedancyjnego na jednym z końców nie ma wpływu na selektywne odcięcie uszkodzonego odcinka.



Dla zwarć w 1N wysyłany jest rozkaz wyłączenia do przeciwnego zabezpieczenia. Odebrany sygnał spowoduje bezzwłoczne wyłączenie, jeżeli zwarć jest widziane przez drugi przełącznik w strefie 1W. Tryb ten różni się od trybu 1 tym że wyłączenie drugiego końca nastąpi tylko w zasięgu do jego 1W. Taka współpraca ogranicza możliwość nie selektywnego wyłączenia linii gdy np. Zabezpieczenie "1" niepoprawnie "namierzy" zwarć w 1N. Nawet jeżeli wyłączy bez zasadnie to linia może pozostać pod napięciem ze strony zabezpieczenia numer 2.

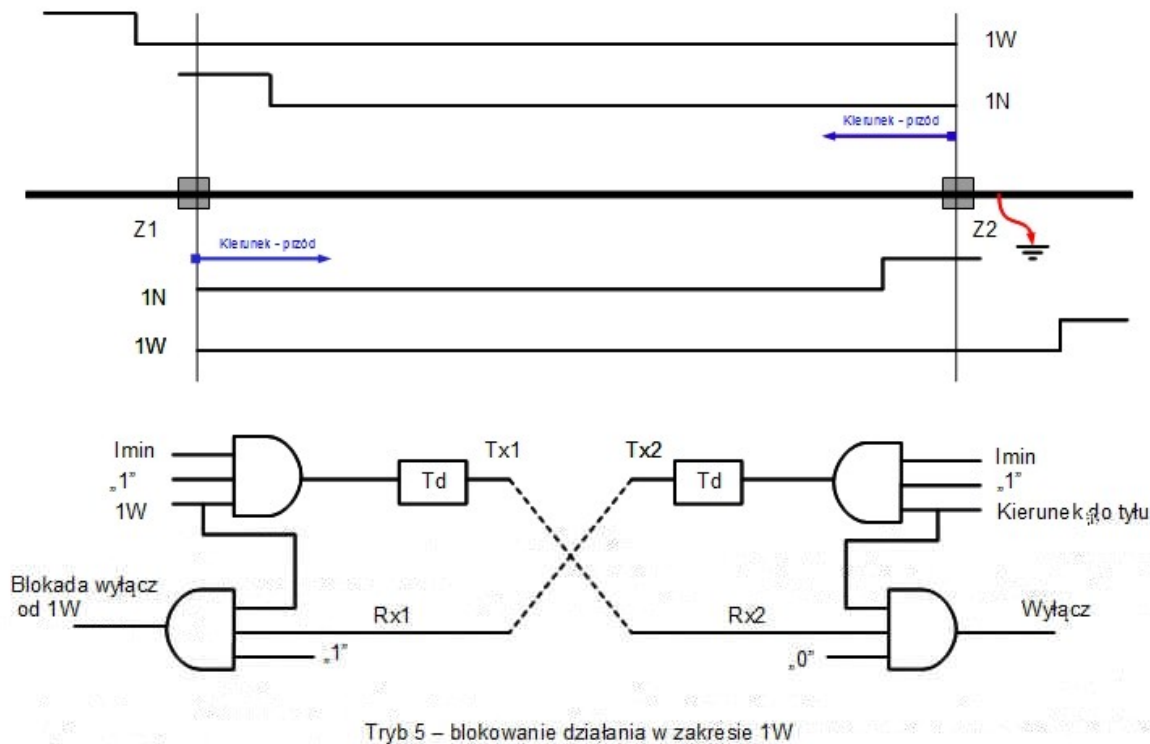


Dla zwarcia w 1W wysyłany jest rozkaz zezwalający na wyłączenie. Jeżeli z drugiego końca linii zostanie odebrany podobny sygnał, tzn. że drugie zabezpieczenie widzi zwarcie w 1W, to zwarcie zostanie wyłączone natychmiastowo. Uzyskujemy iloczyn zasięgów 1W zabezpieczeń pracujących w kierunkach "na przeciw". Kapitalnie zwiększa selektywność i szybkość wyłączeń w przypadku zwarć zlokalizowanych w obszarze poza stacją. Jedno zabezpieczenie widzi takie zwarcie w 1W ale drugie powinno go zauważyć w kierunku do tyłu. Wydłużenie opóźnienia w 1W oraz zastosowanie łącza wyeliminuje niepotrzebne wyłączenie i co ważniejsze SPZ a zwarcie jest likwidowane przez właściwe zabezpieczenie.

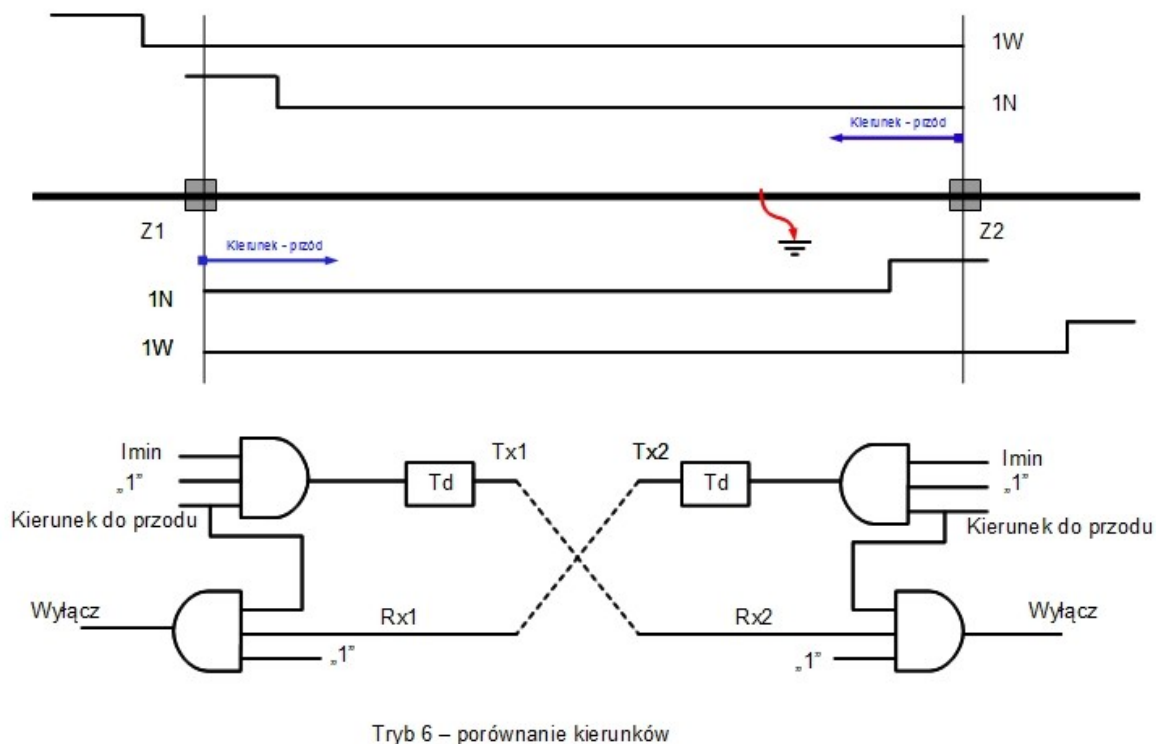


Tryb 4 – warunkowe działanie w zakresie 1W

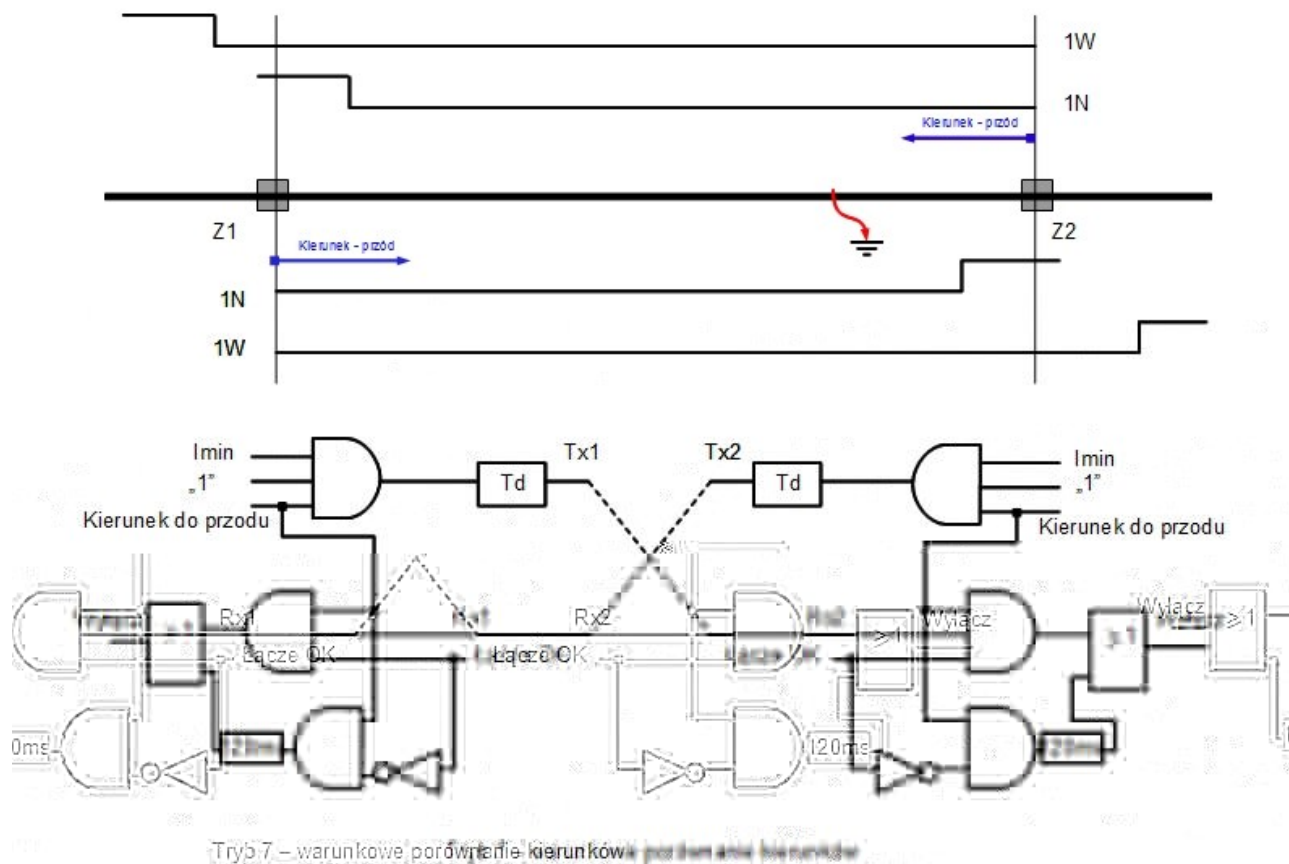
Dla zwarć w 1W wysyłany jest rozkaz łącza. Jeżeli ŁĄCZE jest sprawne, to zabezpieczenie oczekuje na sygnał przyzwalający na wyłączenie który jest generowany gdy drugi przełącznik widzi zwarcie w 1W. Brak zezwolenia blokuje wyłączenie w strefie 1W. Jeżeli łącze jest niesprawne, to wyłączenie następuje wg. indywidualnych nastaw poszczególnych zabezpieczeń. Tryb podobny do trybu 3. Został uzupełniony o logikę kontroli sprawności łącza zapewniające prawidłowe działanie w przypadku jego niesprawności.



Dla zwarć widzianych w kierunku „do tyłu” zabezpieczenie wysyła sygnał rozkazu łącza. Zabezpieczenie przeciwnie, pobudzone w 1W, doprowadzi do wyłączenia, pod warunkiem, że nie odbierze sygnału z łącza, powodującego zablokowanie wyłączenia od strefy 1W. Tryb pracy eliminuje niepotrzebne wyłączenie w 1W oraz SPZ. Kapitalnie zwiększa selektywność wyłączeń.



Dla zwarć w kierunku linii wysłany jest sygnał do przeciwnego zabezpieczenia. Odebranie sygnału oraz stwierdzenie zwarcia w kierunku linii, pozwala na wyłączenie. Tryb pracy szczególnie przydatny dla przypadków krótkich linii oraz słabych zasilaniach. W takich przypadkach pomiar impedancji może być bardzo zgrubny. Porównanie kierunku i współwyłączenie może znacznie poprawić szybkość i selektywność.



Dla zwarć w kierunku do linii wysyłany jest sygnał łącza. Jeżeli łącze jest sprawne, to zabezpieczenie oczekuje na sygnał z drugiego zabezpieczenia zezwalający na bezzwłoczne wyłączenie. Brak tego sygnału (przy aktywnym sygnale uszkodzenia łącza), powoduje wyłączenie po czasie około 120 [ms]. Tryb podobny do poprzedniego nr. 6. Logika działania została wzbogacona o dodatkową kontrolę stanu łącza. W przypadku jego uszkodzenia i przy stwierdzeniu kierunku do przodu nastąpi wyłączenie po czasie 120 ms jeżeli inne zabezpieczenie nie zlikwiduje awarii wcześniej.

W przekaźnikach typu ZCS 4 i ZCR 4 we wszystkich odmianach ( łącznie z serią TP ) łącze telezabezpieczeniowe było powiązane z sygnałami binarnymi. Konfigurując zabezpieczenia można było przypisać jako sygnał TX - fizyczne wyjście przekaźnikowe, jako sygnał odbiorczy RX - fizyczne wejście dwustanowe oraz jako sygnał wejściowy "Łącze OK" - fizyczne wejście. Transferem tych sygnałów na sąsiednią stację oraz generacją sygnału "Łącze OK" zajmowały się specjalizowane stacje teletransmisyjne lub dedykowane przystawki np. KSD 4 produkcji C&C. Przekazniki rodziny UTX opcjonalnie są wyposażone w port RP który może być wykorzystany zarówno do pracy stopni różnicowo prądowych jak i przesyłania sygnałów łącza telezabezpieczeniowego. Dostępne są wykonania standardowe RS 232 jak i optyczne jedno i wielomodowe.



Na podstawie kilkunastoletnich doświadczeń należy stwierdzić że wykorzystanie interface'u telezabezpieczeniowego jest marginalne. Typowa nastawa czasu opóźnień identyczna dla 1N jak i 1W zbliżona do czasu własnego przekaźników, oraz powiązanie działania 1W z SPZ w zasadzie pozbawia sensu stosowanie tego narzędzia. Aby wykorzystać zalety łącza trzeba zdecydowanie zmienić nastawy czasowe i to nie tylko wybranej pary zabezpieczeń pracujących na przeciwległych końcach ale także zabezpieczeń sąsiednich, rezerwujących.

Łącze telezabezpieczeniowe w przekaźnikach C&C współpracuje tylko ze stopniami impedancyjnymi, jednak nowe możliwości dostępne w rodzinie UTX pozwalają na dużo więcej. Rozbudowane funkcje logiczne, potężna moc obliczeniowa, szybkie porty komunikacyjne pozwalają na realizację podobnych funkcji jak przedmiotowy interface. Niewątpliwie ciekawym może być zrealizowanie np. trybu porównania kierunków ale dla stopni ziemno zwarciovych. Zwykle ich nastawy czasowe są długie, wiadomo rezerwa, ale możemy w kapitalny sposób ją ulepszyć. I to zarówno pod względem selektywności jak i szybkości działania.

W dziedzinie odcinkowego zabezpieczania sieci energetycznej przyszłość należy, nie wątpliwie, do zabezpieczeń różnicowo prądowych. Ich zalety są bezdyskusyjne. Ale pod warunkiem że dysponujemy dobrej jakości kanałami transmisyjnymi. Przesłanie informacji pomiędzy urządzeniami jest absolutnie konieczne.

Niestety, czym bardziej wyrafinowane urządzenie, np. zabezpieczenie różnicowe linii z odczepami UTXvMS/R i UTXvSS/R tym wymagania co do jakości transmisji rosną.

W tym miejscu, należy zwrócić uwagę że jedynie zabezpieczenia ZCR 4, ZZN 4/RP oraz UTXvZRP i RP potrafią działać z miernej jakości kanałami transmisyjnymi. Urządzenia te często są porównywane do urządzeń produkcji Siemens, AREVA czy ABB. A zapomina się że wyroby tych przodujących firm wymagają stosowania drogich, dedykowanych kanałów optycznych.