

Wybrane wyniki testów koordynacji działania zabezpieczeń linii elektroenergetycznych z wykorzystaniem standardu IEC 61850

Streszczenie. Artykuł przedstawia wybrane wyniki badań współczesnych układów koordynacji zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych kierunkowych stosowanych w liniach elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć (WN i NN). Funkcje zabezpieczeniowe oraz funkcje koordynacji ich działania zostały przetestowane dla urządzeń serii UR firmy GE Multilin. Komunikacja pomiędzy testowanymi przełącznikami elektroenergetycznymi została zrealizowana poprzez sieć Ethernet, z wykorzystaniem standardu IEC 61850.

Abstract. The article presents selected results for performed tests of modern pilot schemes for distance and directional ground overcurrent protections used in high voltage (HV) transmission networks. Protection functions and their coordination functions have been tested for GE Multilin UR-series devices. Communication between the tested protective relays has been realized through Ethernet network using the IEC 61850 standard (**Selected tests results for coordination of transmission-line protections using the IEC 61850 standard**).

Słowa kluczowe: automatyka zabezpieczeniowa, zabezpieczenia stacyjne, testowanie zabezpieczeń, IEC 61850.

Keywords: power system protections, substation protections, testing of power protections, IEC 61850.

doi:10.12915/pe.2014.10.55

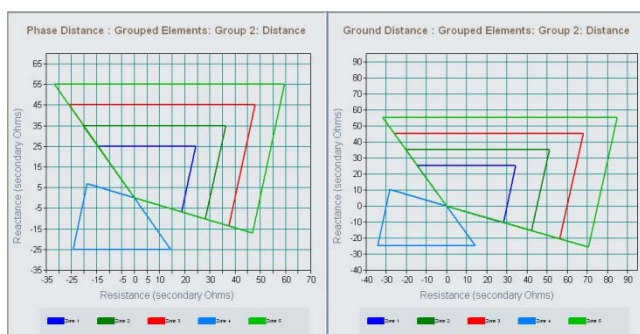
Wstęp

W niniejszym artykule przedstawiono przykładowe wyniki oraz metodykę badań przeprowadzonych w laboratorium Zakładu Aparatów i Automatyki Elektroenergetycznej Instytutu Elektroenergetyki PW, dotyczących koordynacji działania zabezpieczeń odległościowych i ziemnozwarciowych stosowanych w liniach WN i NN. W badaniach wykorzystano urządzenia D60 i D90Plus firmy GE.

Specyfiką przeprowadzonych testów było wykorzystanie podczas badań wymiany danych pomiędzy testowanymi urządzeniami poprzez sieć Ethernet w oparciu o protokół IEC 61850. Przekazniki zostały skonfigurowane w taki sposób, aby sygnały koordynacji działania były przesyłane jedynie w formie komunikatów GOOSE. Nie korzystano przy tym z klasycznych sposobów przesyłania sygnałów dwustanowych opartych na połączeniach drutowych.

Konfiguracja urządzeń D60 i D90Plus

Do komunikacji z urządzeniem D60 wykorzystano aplikację EnerVista UR Setup v6.0, zaś do komunikacji z urządzeniem D90Plus wykorzystano aplikację EnerVista UR Plus Setup v1.8.



Rys. 1. Widok nastawień funkcji odległościowej zabezpieczenia D60 dla zwarc międzyfazowych i doziemnych

Na rysunku 1 przedstawiono nastawione strefy funkcji odległościowej od zwarc międzyfazowych (po lewej - ang. *Phase Distance*) i doziemnych (po prawej - ang. *Ground Distance*) w urządzeniu D60. Dla urządzenia D90Plus zasięgi stref nastawiono w podobny sposób. Spośród nastawionych pięciu stref pomiarowych istotne są, z punktu widzenia badania funkcji współpracy z łączem, strefy pierwsza, druga oraz czwarta (wsteczna).

Urządzenie D90Plus posiada trzy porty komunikacyjne. Komunikacja za pomocą IEC 61850 jest dostępna dla drugiego i trzeciego portu [1], dlatego należy odpowiednio ustawić jeden z nich (rys. 2, port 2), w celu umożliwienia współpracy z urządzeniem D60. W przypadku zabezpieczenia D60 wyposażone jest ono w dwa porty Ethernet w wersji elektrycznej i optycznej, wzajemnie redundantne. Każdy z portów może być wykorzystany do wymiany danych w standardzie IEC 61850.

| SETTING | PARAMETER |
|-----------------------------|--|
| Port 1 IP Address | 192.168.21.145 |
| Port 1 IP Subnet Mask | 255.255.255.0 |
| Port 1 Gateway IP Address | 0.0.0.0 |
| Port 1 Ethernet Mode | Auto |
| Port 2 IP Address | 10.1.1.94 |
| Port 2 IP Subnet Mask | 255.255.255.0 |
| Port 2 Gateway IP Address | 10.1.1.20 |
| Port 2 Ethernet Mode | Auto |
| Port 2 Redundancy | Single IP |
| Port 3 IP Address | 192.168.253.253 |
| Port 3 IP Subnet Mask | 255.255.255.0 |
| Port 3 Gateway IP Address | 0.0.0.0 |
| Port 3 Ethernet Mode | Auto |
| OS Network Address (NSAP) | 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 49 00 00 00 |
| SSH Configuration Timer | 120 s |
| Configure IP Network | Apply |
| Configure IP Network Status | OK |

Rys. 2. Okno konfiguracji połączeń sieciowych dla przełącznika D90Plus (aplikacja *EnerVista UR Plus Setup v1.8*)

Następnie w urządzeniach uruchomiono komunikację za pomocą standardu IEC 61850 (rys. 3 i rys. 4).

a)

| SETTING | PARAMETER |
|---------------------|-------------------|
| Function | Enabled |
| ID | D90_PLUS |
| Destination MAC | 00 00 00 00 00 00 |
| GOOSE VLAN Priority | 4 |
| GOOSE VLAN ID | 0 |
| GOOSE ETYPE APPID | 0 |

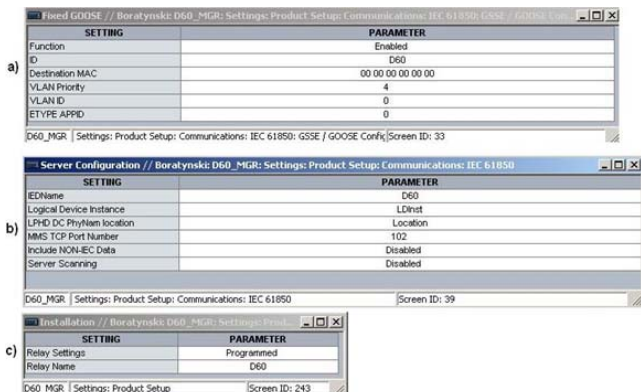
b)

| SETTING | PARAMETER |
|--------------------------|-----------|
| ID Name | D90_PLUS |
| Logical Device Instance | LDist |
| LPHD DC PhyName location | Location |
| MMS TCP Port Number | 102 |
| Server Scanning | Disabled |

c)

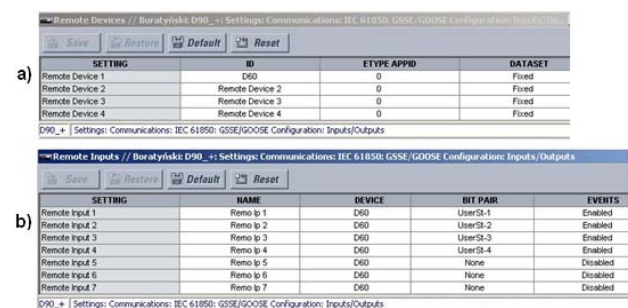
| SETTING | PARAMETER |
|-------------------------|----------------------------------|
| Relay Settings | Programmed |
| Relay Name | D90_PLUS |
| User Configuration Name | Konfiguracja LAB |
| User Configuration Date | Wednesday, May 29, 2013 13:49:03 |

Rys. 3. Uaktywnienie komunikacji za pomocą standardu IEC 61850 w urządzeniu D90Plus: a) ustawienia funkcji *Fixed GOOSE*, b) ustawienia *Server Configuration*, c) ustawienia w grupie *Installation*

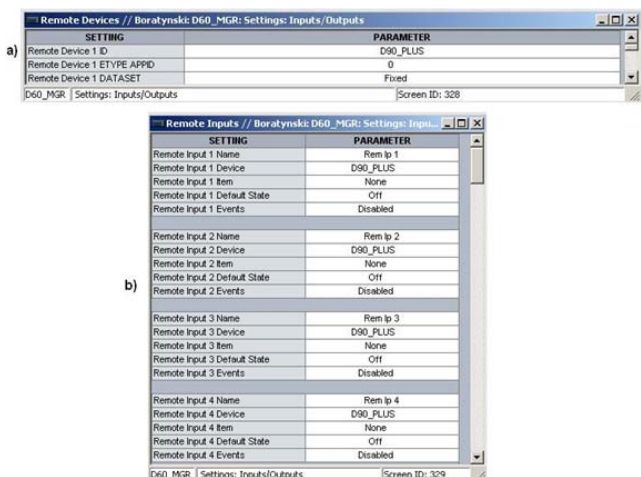


Rys. 4. Uaktywnienie komunikacji za pomocą standardu IEC61850 w urządzeniu D60: a) ustawienia funkcji Fixed GOOSE, b) okno Server Configuration, c) ustawienia w grupie Installation

Kolejnym krokiem było wzajemne przypisanie urządzeń oraz sygnałów dwustanowych przesyłanych łączem Ethernetowym, pozwalające na jednoznaczne zdefiniowanie pojawiających się informacji (rys. 5 i rys. 6).



Rys. 5. Uaktywnienie komunikacji za pomocą standardu IEC 61850 w urządzeniu D90Plus: a) okno Remote Devices, b) okno Remote Inputs



Rys. 6. Uaktywnienie komunikacji za pomocą standardu IEC 61850 w urządzeniu D60: a) okno Remote Devices, b) okno Remote Inputs

W urządzeniach firmy GE istnieje możliwość przesyłania sygnałów koordynujących, które pozwalają na określenie rodzaju zwarcia a także faz lub fazy zwartej. W zależności od ustawienia badanej automatyki, między urządzeniami przesyłane były informacje jedno-, dwu- bądź czterobitowe. Odpowiada to fizycznemu przesyłaniu do czterech sygnałów dwustanowych. W przypadku badania automatyki DUTT sygnały wysyłane z zabezpieczeń za pomocą komunikatów GOOSE, wchodzące na zdalne wejścia (Remote Inputs), zilustrowano na rysunku 7. Są to sygnały generowane podczas wykrycia zakłócenia przez jedno z

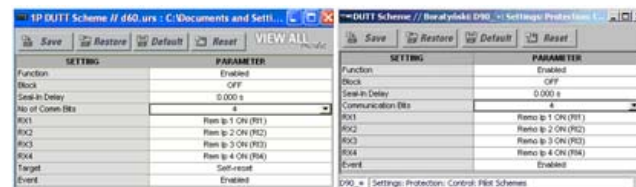
zabezpieczeń i pozwalają one na odpowiednio szybkie działanie przekaźnika znajdującego się na drugim końcu linii. Sygnały te są opisywane symbolami odpowiadającymi danemu trybowi pracy koordynacji oraz dodatkowym symbolem TX1÷4.

| SETTING | OPERAND | EVENTS |
|----------|----------|---------|
| UserSt 1 | DUTT TX1 | Enabled |
| UserSt 2 | DUTT TX2 | Enabled |
| UserSt 3 | DUTT TX3 | Enabled |
| UserSt 4 | DUTT TX4 | Enabled |

Rys. 7. Sygnały wysyłane między zabezpieczeniami D60 i D90Plus podczas badania automatyki DUTT, dla kodowania czterobitowego

Kolejnym etapem było utworzenie programowalnej logiki wewnętrznej zabezpieczenia (FlexLogic). W obu urządzeniach utworzono identyczne logiki wewnętrzne. Sygnały zostały przypisane w taki sposób, że dowolnemu zwarciu albo pojawieniu się operandu funkcji koordynacji (DCUB OP, DUTT OP, Hybrid POTT OP, POTT OP, PUTT OP lub DIR BLOCK OP) odpowiada wirtualny operand Virt OP 63 (sygnały połączone za pomocą bramek OR). Zadziałaniu pierwszej, drugiej oraz czwartej strefy, niezależnie od rodzaju zwarcia, odpowiadają kolejno: Virt OP 65, Virt OP 66 i Virt OP 67. Dla urządzenia D90Plus sygnały te wyprowadzono na wyjścia dwustanowe i wprowadzono na wejścia dwustanowe testera. Dla urządzenia D60 wyprowadzonymi sygnałami dwustanowymi były: sygnał Virt OP 63 oraz sygnały TX generowane przez badaną automatykę (np. sygnały TX na rysunku 7).

W celu sprawdzenia działania koordynacji działania funkcji odległościowych i ziemnozwarciowych występujących w obu urządzeniach, należało odpowiednio nastawić badane automatyki. Na rysunku 8 przedstawiono nastawienia jednej z badanych automatyk – DUTT (ang. Direct Under-reaching Transfer Trip), dla kodowania czterobitowego. Opis działania badanych automatyk przedstawiono w [2] oraz [3].



Rys. 8. Nastawy automatyki DUTT w urządzeniach D60 (po prawo) i D90Plus (po lewo), dla kodowania czterobitowego

Układ testowy i sekwencje testowe

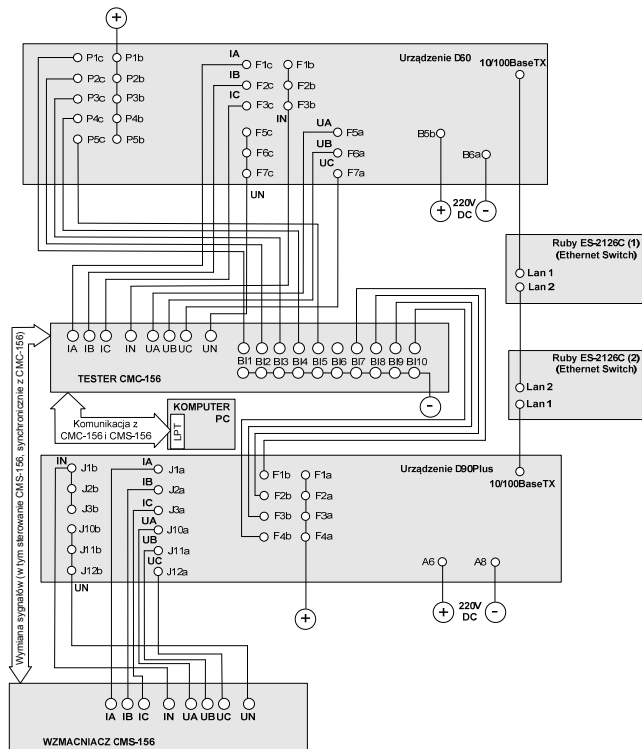
Testowanie urządzeń zabezpieczeniowych polegało na wymuszaniu prądów i napięć trójfazowych oraz sprawdzeniu reakcji urządzeń zabezpieczeniowych, dokonując analizy czasów zmiany stanów (wytworzanych przez nie) sygnałów dwustanowych, sygnalizujących zadziałanie. Wykorzystano tester CMC-156 oraz wzmacniacz CMS-156 firmy Omicron, umożliwiające wymuszenie w sumie 6 sygnałów prądowych oraz 6 sygnałów napięciowych.

Schemat połączeń układu testowego do badania koordynacji działania funkcji odległościowych i zerowoprądowych kierunkowych urządzeń D60 i D90Plus został przedstawiony na rysunku 9.

Do konfiguracji testera oraz różnych funkcji wchodzących w jego skład wykorzystywano dedykowane oprogramowanie firmy Omicron – Test Universe w wersji 2.41.

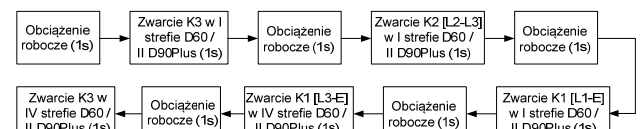
Na potrzeby badań koordynacji działania funkcji odległościowych zabezpieczeń D60 i D90Plus, przy wykorzystaniu modułu State Sequencer, utworzone zostały sekwencje testowe, realizujące symulacje założonych warunków pracy zabezpieczeń. Pozwalały one na:

- a) symulowanie zwarcia w pierwszej strefie zabezpieczenia odległościowego na potrzeby badania sygnałów wysyłanych przez automatyki współpracy z łączem: DUTT, PUTT, POTT, Hybrid POTT,
 b) symulowanie zwarcia w strefie wstecznej, dla potrzeb badania sygnałów wysyłanych przez automatyki DCB i DCUB,
 c) symulowanie zwarcia w strefie drugiej, dla potrzeb badania reakcji zabezpieczenia na wymuszane sygnały dwustanowe od poszczególnych trybów koordynacji działania.



Rys. 9. Układ pomiarowy wykorzystywany w badaniach koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus

Na potrzeby sprawdzenia automatki współbieżnych (DUTT, PUTT, POTT, Hybrid POTT), utworzona została sekwencja zawierająca 10 stanów (rys. 10).

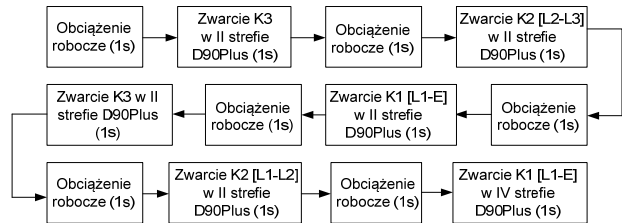


Rys. 10. Sekwencja do badania automatki współbieżnych

Stanom 2, 4 i 6 odpowiadają kolejno zwarcia: trójfazowe, dwufazowe faz L2 i L3 oraz jednofazowe fazy L1 z ziemią, mające miejsce w I strefie zabezpieczenia odległościowego D60. Dla stanu 8 zwarcie fazy L3 z ziemią ma miejsce w strefie IV (wstecznej) zabezpieczenia D60, podobnie zwarcie trójfazowe dla stanu 10. Dla zabezpieczenia D90Plus wszystkie zwarcia mają miejsce w drugiej strefie. Stany nieparzyste to normalne warunki pracy zabezpieczeń. Stany nieparzyste stanowią normalne warunki pracy zabezpieczeń. Stany nieparzyste to normalne warunki pracy zabezpieczeń.

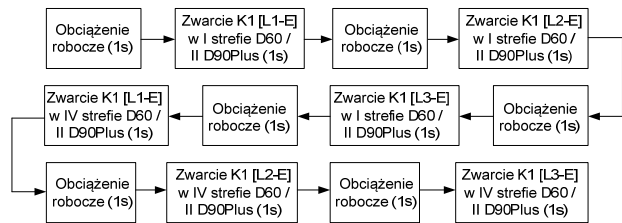
Dla potrzeb sprawdzenia automatki przeciwbieżnych (DCB, DCUB), utworzona została sekwencja zawierająca 12 stanów (rys. 11). Stanom 2, 4 i 6 odpowiadają kolejno

zwarcia: trójfazowe, dwufazowe faz L2 i L3 oraz jednofazowe fazy L1 z ziemią, mające miejsce w I strefie zabezpieczenia odległościowego D60. Dla stanów 8, 10 i 12 symulowane były natomiast zwarcia (odpowiednio): trójfazowe, dwufazowe faz L1 i L2 oraz jednofazowe fazy L1 z ziemią, mające miejsce w strefie IV (wstecznej) zabezpieczenia D60. Dla zabezpieczenia D90Plus wszystkie zwarcia mają miejsce w drugiej strefie. Stany nieparzyste to normalne warunki pracy zabezpieczeń.



Rys. 11. Sekwencja do badania automatki DCB i DCUB

Na potrzeby badania działania koordynacji funkcji zerowoprądowej kierunkowej, utworzona została sekwencja zawierająca 12 stanów (rys. 12).



Rys. 12. Sekwencja do badania działania koordynacji funkcji zerowoprądowej kierunkowej

Dla stanów 2, 4 i 6 symulowano zwarcia z ziemią odpowiednio faz L1, L2 i L3, mające miejsce w I strefie zabezpieczenia D60, natomiast dla stanów 8, 10 i 12 - zwarcia z ziemią odpowiednio faz L1, L2 i L3, mające miejsce w strefie IV (wstecznej) tego zabezpieczenia. Dla zabezpieczenia D90Plus wszystkie zwarcia mają miejsce w drugiej strefie. Stany nieparzyste stanowią normalne warunki pracy zabezpieczeń.

Wyniki testów układu koordynacji zabezpieczeń D60 i D90Plus wykorzystującego komunikaty GOOSE

W ramach niniejszego artykułu opisano jedynie wybrane tryby koordynacji działania funkcji podimpedancyjnej dostępne w przełącznikach firmy GE. Automatyki SCR i SCB nie są dostępne bezpośrednio w urządzeniach D60 i D90Plus. Do ich zbadania wykorzystano automatyki: Hybrid POTT (przy badaniach automatyki SCR - ang. *Signal Comparison Release*) oraz DCB (przy badaniach automatyki SCB - ang. *Signal Comparison Blocking*), z którymi współpracowała, zawarta w obu urządzeniach, funkcja zerowoprądowa kierunkowa.

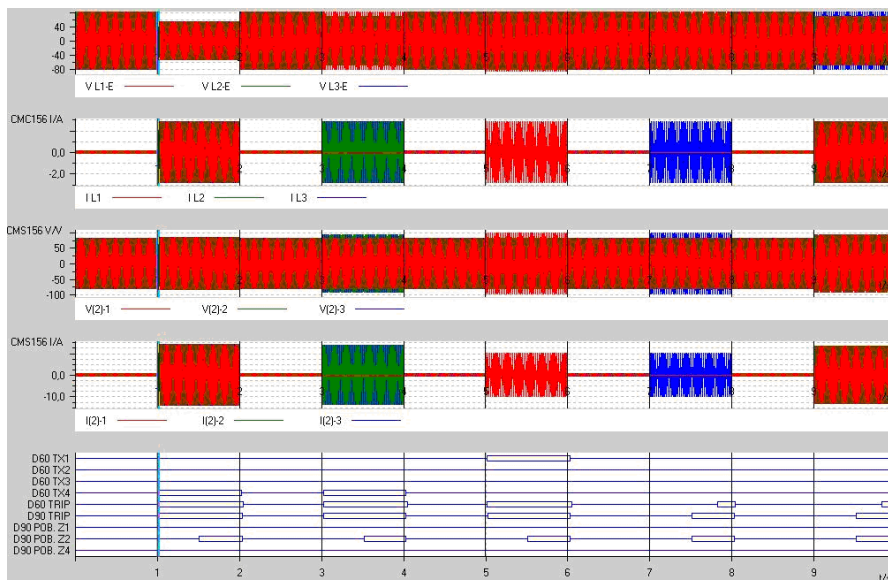
Tabela 1. Sygnały wysyłane przez automatyki współbieżne dla kodowania czterobitowego (gdzie: 3P - zwarcie trójfazowe), wg [4]

| Rodzaj uszkodzenia rozpoznanego przez selektor fazowy | Bity wysyłane | | | |
|---|---------------|-----|-----|-----|
| | TX1 | TX2 | TX3 | TX4 |
| L1-E | 1 | 0 | 0 | 0 |
| L2-E | 0 | 1 | 0 | 0 |
| L3-E | 0 | 0 | 1 | 0 |
| L1-L2(-E), L1-L3(-E), L2-L3(-E), 3P, nierozpoznane | 0 | 0 | 0 | 1 |

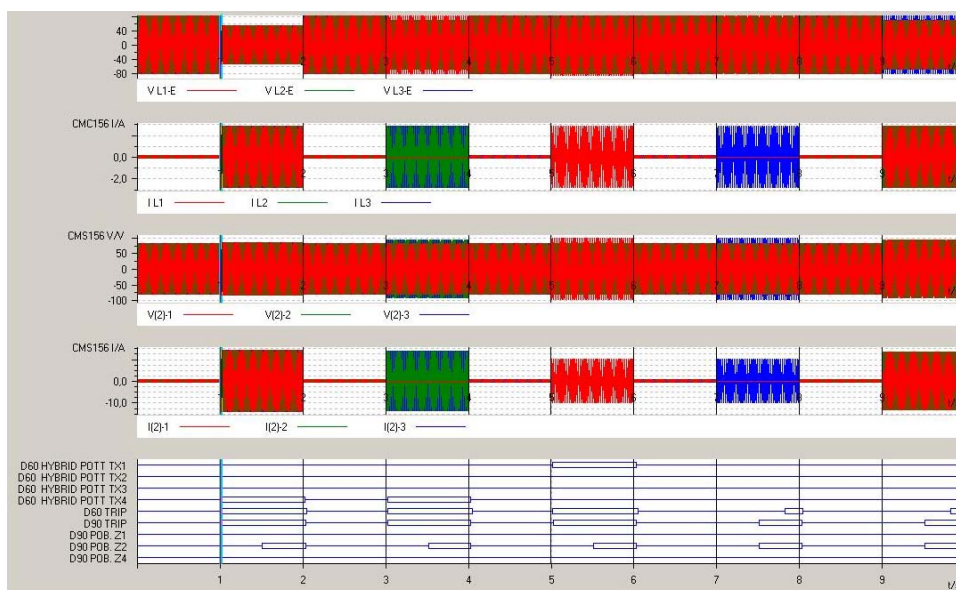
Wyniki badania koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus, z wykorzystaniem automatyki DUTT przy

kodowaniu czterobitowym, przedstawiono na rysunku 13. Podczas testów wykorzystano sekwencję wymuszeń pokazaną na rysunku 10. Urządzenie D60 poprawnie generowało sygnały DUTT TX (zgodnie z tabelą 1). Sygnał ogólnego wyłączenia D60 TRIP był właściwy dla każdego symulowanego zwarcia - pojawiał się z czasem

wynikającym ze stopniowania stref. Dla urządzenia D90Plus, dla zwarć w drugiej strefie przełącznika, zauważyć można przyspieszone zadziałanie zabezpieczenia. Dla pozostałych zwarć przełącznik zadziałał z czasem drugiej strefy. Oba urządzenia zadziałały zatem prawidłowo.



Rys. 13. Badanie koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus z wykorzystaniem automatyki DUTT przy kodowaniu czterobitowym (symulowane stany zgodne z rys. 10)



Rys. 14. Badanie koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus z wykorzystaniem automatyki Hybrid POTT przy kodowaniu czterobitowym (symulowane stany zgodne z rys. 10)

Wyniki badania koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus z wykorzystaniem automatyki Hybrid POTT przy kodowaniu czterobitowym przedstawiono na rysunku 14. Urządzenie D60 poprawnie generuje sygnały Hybrid POTT TX (zgodnie z tabelą 2). Sygnał ogólnego wyłączenia D60 TRIP jest właściwy dla każdego symulowanego zwarcia - pojawia się on z czasem wynikającym ze stopniowania stref.

Dla urządzenia D90Plus, dla zwarć w drugiej strefie przełącznika, zauważyć można przyspieszone zadziałanie zabezpieczenia. Dla pozostałych zwarć przełącznik zadziałał natomiast z czasem drugiej strefy. Oba urządzenia zadziałały prawidłowo we wszystkich symulowanych przypadkach zwarć.

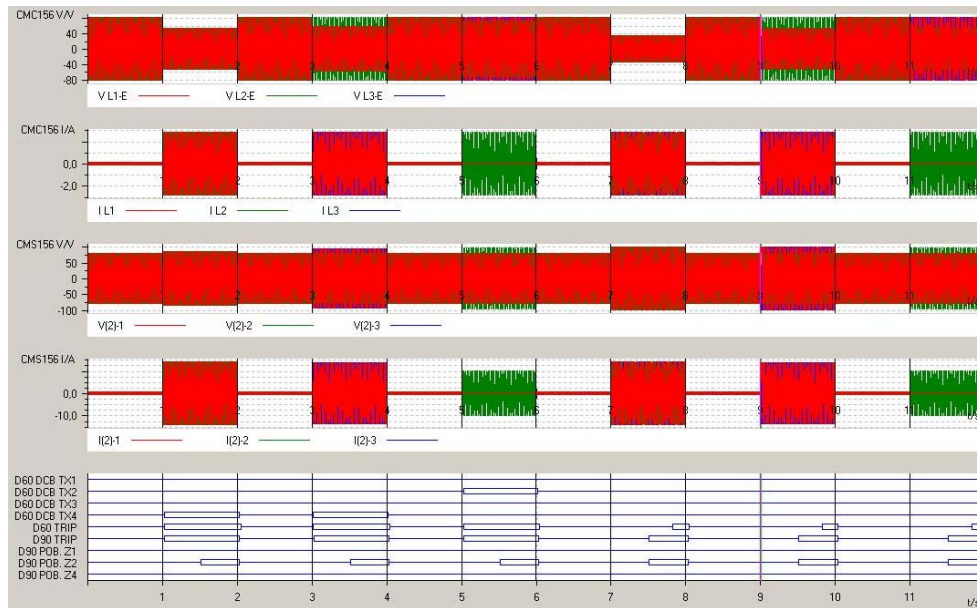
Tabela 2. Sygnały wysyłane przez automatykę DCUB dla kodowania czterobitowego (gdzie: 3P - zwarcie trójfazowe), wg [4]

| Rodzaj uszkodzenia rozpoznanego przez selektor fazowy | Bity wysyłane | | | |
|---|---------------|-----|-----|-----|
| | TX1 | TX2 | TX3 | TX4 |
| L1-E | 1 | 0 | 0 | 0 |
| L2-E | 0 | 1 | 0 | 0 |
| L3-E | 0 | 0 | 1 | 0 |
| L1-L2(-E), L1-L3(-E), L2-L3(-E), 3P, nierozpoznane | 0 | 0 | 0 | 1 |

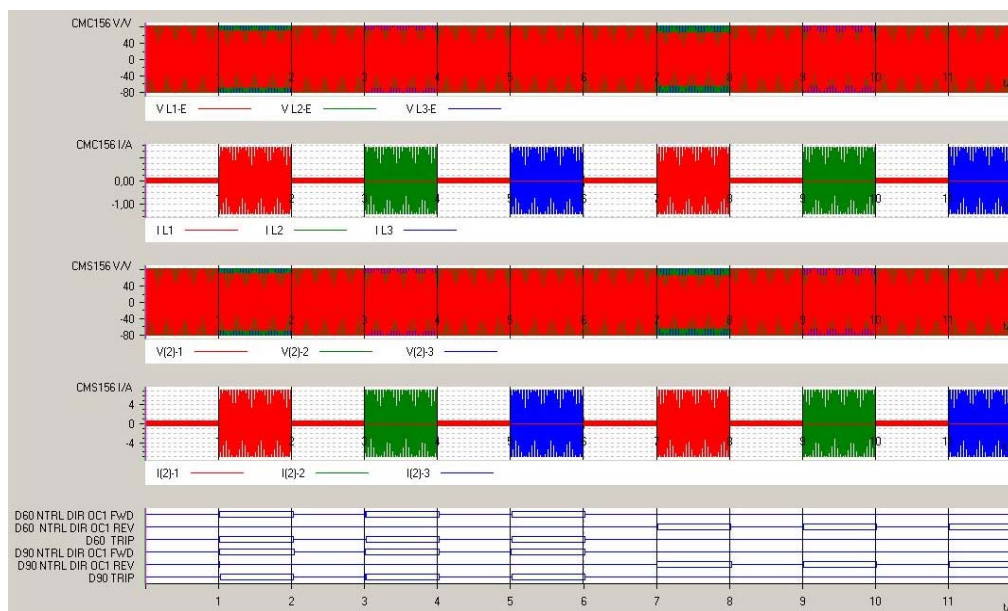
Wyniki badania koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus, z wykorzystaniem automatyki DCUB przy kodowaniu czterobitowym, przedstawiono na rysunku 15.

Urządzenie D60 poprawnie generuje sygnały odblokowania DCUB TX1÷4 (zgodnie z tabelą 2). Sygnał ogólnego wyłączenia D60 TRIP jest właściwy dla każdego symulowanego zwarcia, ponieważ pojawia się z czasem wynikającym ze stopniowania stref. Dla urządzenia

D90Plus, dla zwarc w drugiej strefie przekąznika, następuje przyspieszone zadziałanie. Dla pozostałych przypadków symulowanych zwarc, przekąznik ten zadziałal z czasem drugiej strefy.



Rys. 15. Badanie koordynacji działania urządzeń D60 i D90Plus z wykorzystaniem automatyki DCUB przy kodowaniu czterobitowym (symulowane stany zgodne z rys. 11)

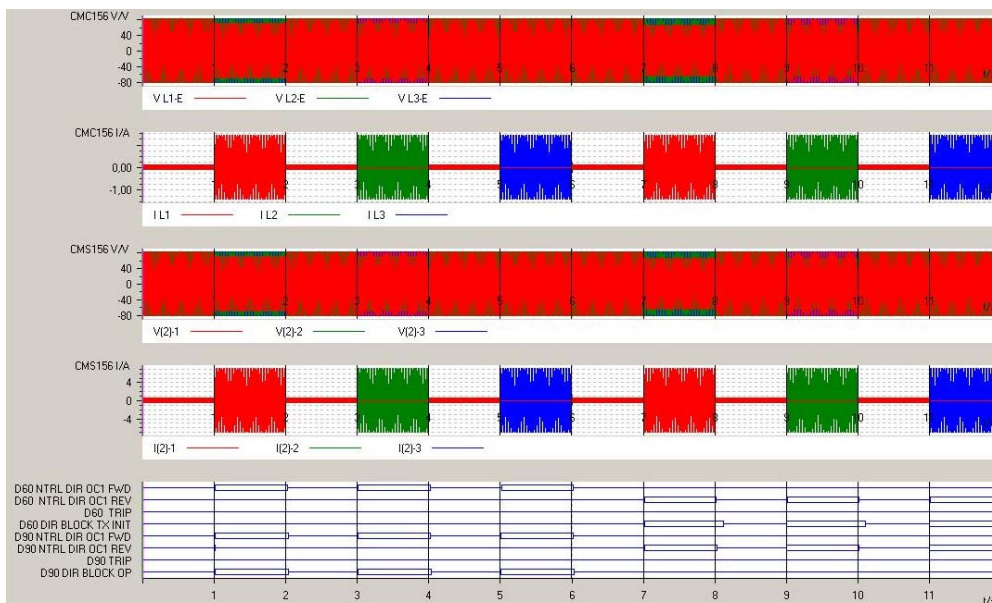


Rys. 16. Badanie koordynacji działania funkcji zeroprądowej kierunkowej urządzeń D60 i D90Plus z wykorzystaniem automatyki Hybrid POTT (symulowane stany zgodne z rys. 12)

Przedstawione na rysunku 16 wyniki badań świadczą o poprawności działania koordynacji pracy urządzeń D60 i D90Plus przy wykorzystaniu automatyki SCR.

Urządzenie D60, dla każdego symulowanego zwarcia, zadziałalo z czasem wynikającym ze stopniowania stref. Dla każdego zwarcia poprawnie zadziałalo zabezpieczenie zeroprądowe kierunkowe. Dla zwarc w stanach 2, 4 i 6 zwarcie bylo widziane w kierunku do przodu, zaś dla stanów 8, 10 i 12 - w kierunku do tyłu (sekwencja zakłóceń pokazana została na rysunku 12). Funkcja zabezpieczenia zeroprądowego w urządzeniu D90Plus zadziałala poprawnie - każde zwarcie bylo widziane w kierunku do przodu. Dodatkowo podczas badań przeprowadzono testy dotyczące koordynacji działania zabezpieczeń

nadprądowych zerowych kierunkowych. Wykorzystano do tego celu sekwencję testową pokazaną na rysunku 12. Uzyskane wyniki pokazano na rysunku 17. Przebiegi świadczą o poprawności działania koordynacji działania funkcji zerowo-prądowej kierunkowej zrealizowanej przy wykorzystaniu automatyki DCB. Urządzenie D60, dla każdego symulowanego zwarcia, zadziałalo z czasem wynikającym ze stopniowania stref. Dla stanów 2, 4 i 6 zwarcie bylo widziane w kierunku do przodu. Dla stanów 8, 10 i 12 zwarcie widziane bylo w kierunku do tyłu i pojawil się sygnał blokowania D60 DIR BLOCK TX INIT. Funkcja zabezpieczenia zeroprądowego w urządzeniu D90Plus zadziałala poprawnie, ponieważ każde zwarcie bylo widziane w kierunku do przodu.



Rys. 17. Badanie koordynacji działania funkcji zerowoprądowej kierunkowej urządzeń D60 i D90Plus z wykorzystaniem automatyki SCB (symulowane stany zgodne z rys. 12)

Wnioski

Przedstawione testy działania urządzeń zabezpieczeniowych sprawdzały możliwość koordynacji działania funkcji odległościowych i ziemnozwarciowych przy wykorzystaniu standardu IEC 61850, w oparciu o lokalną sieć Ethernet (LAN).

Wyniki testów wskazują na możliwość poprawnej współpracy obu urządzeń w przedstawionym układzie. Wszystkie sprawdzone automatyki koordynacji działania, oparte na wymianie danych poprzez porty Ethernet i dostępne w obu testowanych urządzeniach, pozwoliły na skuteczne przyspieszenie zadziałania urządzenia zdalnego odcinka linii. Jednocześnie odnotowano blokowanie szybkiego zadziałania przełącznika zdalnego w przypadkach wykrycia przez przełącznik lokalny zwarcia w strefie wstecznej, a więc zlokalizowanego poza podstawowym odcinkiem chronionym rozpatrywanej linii elektroenergetycznej. Podczas przeprowadzonej dużej ilości testów nie stwierdzono błędów w działaniu funkcji zabezpieczeniowych, wynikających z zastosowanej metody przesyłania sygnałów dwustanowych. Nie odnotowano wydłużonych czasów zadziałania czy przekłamań w transmisji danych, objawiających się np. złą interpretacją charakteru zwarcia.

Zastosowana, podczas przedstawionych badań, komunikacja z wykorzystaniem komunikatów GOOSE pozwala na przesyłanie wielu sygnałów za pomocą infrastruktury sieci Ethernet - zmniejszając ilość koniecznych połączeń drutowych. Prowadzone są badania [5] nad wprowadzeniem trasowalności (routowalności)

ramek GOOSE/GSSE, co umożliwiłoby w przyszłości transmisję z wykorzystaniem standardu IEC 61850 poprzez sieci rozległe WAN.

LITERATURA

- [1] GE Multilin: "D90Plus Line Protection System, D90 Plus Revision: 1.6", instruction manual, 2008
- [2] Emil Bartosiewicz, Desire Rasolomampionona: "Modern pilot schemes for coordination of line distance protection relays", Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 89, NR 10/2013, 167-171
- [3] Tomasz Boratyński: "Koordynacja działania zabezpieczeń odległościowych oraz ziemnozwarciowych stosowana w liniach", Politechnika Warszawska, 2013
- [4] GE Multilin: "D60 Line Distance Protection System, D60 Revision: 6.0", instruction manual, 2011
- [5] Mark Adamiak, Jerzy Kościelny: "IEC TR 61850-90-5 - Protokół Przesyłania Synchronicznych Danych w Systemach WAMS i WAPMAC", Technika cyfrowa w automatyce elektroenergetycznej - Seminarium 2013, Bielsko-Biała, 24-26 kwietnia 2013 r.

Autorzy: mgr inż. Tomasz Boratyński, PSE-Wschód S.A., ul. Żeromskiego 75, 26-600 Radom, E-mail: Tomasz.Boratynski@pse.pl;
mgr inż. Emil Bartosiewicz, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, Gmach Mechaniki, 00-662 Warszawa, E-mail: Emil.Bartosiewicz@ien.pw.edu.pl;
dr inż. Marcin Januszewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, Gmach Mechaniki, 00-662 Warszawa, E-mail: Marcin.Januszewski@ien.pw.edu.pl;
dr inż. Ryszard Kowalik, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, Gmach Mechaniki, 00-662 Warszawa, E-mail: Ryszard.Kowalik@ien.pw.edu.pl.