

Rejestracja zakłóceń elektroenergetycznych w systemach rozproszonych z wykorzystaniem wymiany danych w sieciach Ethernet

Streszczenie. Artykuł przedstawia wyniki testów kilku urządzeń wykorzystywanych w elektroenergetyce mających funkcje rejestratora zakłóceń oraz synchronizacji czasu, prowadzonych w celu określenia możliwości ich zastosowania w rozproszonym systemie rejestracji, pozwalającym na wykonanie kompleksowej analizy działania układów automatyki stacji elektroenergetycznej. Wyniki testów pokazują również możliwość zastosowania tego rodzaju urządzeń do wykonania rozproszonego systemu pomiarowego wspólnie rejestrującego wybrane sygnały analogowe prądów i napięć zasilających określony zestaw odbiorników elektrycznych. Tego rodzaju system pozwala w warunkach rzeczywistych na zebranie danych potrzebnych do wykonania weryfikacji działania algorytmów identyfikujących rodzaj urządzenia odbiorczego pracującego jako jedno z wielu zasilanych ze wspólnego źródła nn napięcia. Testy zostały wykonane dla kilku urządzeń zabezpieczeniowych: L90 firmy General Electric i MiCOM P443 firmy Schneider Electric oraz rejestratora zakłóceń BEN5000 firmy Qualitrol. Wyniki testów mogą być przydatne w realizacji projektu badawczego NCBiR PBS2/A4/8/2013.

Abstract. This paper presents the tests results of a few devices used in the power industry with the disturbance recorder and time synchronization functions, conducted in order to determine their application in a distributed recording system allowing comprehensive analysis of substation automation systems. The test results also show the applicability of such devices to perform distributed recording system of selected analog current and voltage signals supplying a specific set of electrical loads. Such a system allows under real-world conditions to collect the data needed to perform the verification of algorithms that identify the type of the load device running as one of the many supplied from a common source voltage. Tests were performed for a number of protection devices: L90 General Electric and MiCOM P443 Schneider Electric and disturbance recorder BEN5000 Qualitrol company. The test results may be useful in the research project NCBiR PBS2/A4/8/2013. (**Distributed system of fault recording using data exchange via Ethernet network**).

Słowa kluczowe: automatyka zabezpieczeniowa, rejestratory zakłóceń, zakłócenia, monitorowanie.

Keywords: power system protections, disturbance recorders, disturbance, monitoring.

doi:10.12915/pe.2014.11.16

Wstęp

W artykule zostały przedstawione testy wewnętrznych rejestratorów zakłóceń wykorzystywanych w urządzeniach zabezpieczeniowych: L90 firmy General Electric [1] oraz MiCOM P443 firmy Schneider Electric [2]. Testy obejmowały sprawdzenie podstawowych możliwości rejestratorów, sposobów ich pobudzenia oraz dokładności pomiarów sygnałów analogowych. Dodatkowo, w celu potwierdzenia możliwości synchronizacji czasu jednocześnie dla kilku urządzeń powiązanych w jedną sieć, wykorzystano stanowisko laboratoryjne oparte na urządzeniach: D60 i T60 dwóch L90, wszystkie produkcji GE, oraz zewnętrznym rejestratorze zakłóceń BEN 5000 firmy Electronic Instruments. W wyniku czego możliwe było sprawdzenie różnic w określaniu czasu w każdym z urządzeń. Jako źródło sygnału zegarowego wykorzystano zegar GPS ARBITER 1088B z wyjściem IRIG-B, natomiast tester CMC synchronizowany był przez moduł CMGPS. W przypadku zabezpieczenia P443 firmy Schneider do synchronizacji czasu wykorzystano protokół SNTP generowany również przez zegar GPS ARBITER 1088B. Całość badań wykonana została za pomocą testera Omicron CMC – 156. Przykładowy schemat elektryczny stanowiska do badań zabezpieczenia L90 pokazano na rys. 1 (górny element).

Wszystkie testy zostały wykonane w laboratorium Zakładu Aparatów i Automatyki Elektroenergetycznej, Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Poniżej opisano bardziej szczegółowo wybrane elementy testów jednego z wspomnianych urządzeń. Pozostałe urządzenia poddano podobnej procedurze testów, jednak ze względu na ograniczoną objętość artykułu zrezygnowano z zamieszczenia ich szczegółowych opisów.

Testy funkcji rejestratora urządzenia L90

W celu skonfigurowania urządzenia L90 wykorzystane zostało oprogramowanie EnerVista UR Setup pozwalające nie tylko na wprowadzanie zmian we wszystkich funkcjach

zabezpieczenia, ale również na podgląd i analizę przebiegów (rejestracji) zapisanych w jego pamięci. Wymiana danych była prowadzona poprzez port Ethernet. Oprogramowanie to (moduł Oscillography) umożliwiało między innymi na zmianę parametrów funkcji rejestratora takich jak: liczba rejestracji zapisywanych w pamięci (zmieniana w zakresie od 1 do 64), podział czasu rejestracji: między, czas przed i pozakłóceń (ustawiany w zakresie 0 – 100% - wybrana wartość określa część całkowitego czasu, jaka przeznaczona będzie na czas przed zakłóceniem), wybór sygnału pobudzającego funkcję rejestratora, wybór częstotliwość próbkowania sygnałów (z zakresu: 8, 16, 32 lub 64 próbek/okres sygnału 50Hz), wybór sygnałów, pokazywanych w postaci przebiegów w programie analizującym (do 64 kanałów cyfrowych oraz 16 sygnałów analogowych).

Możliwe jest wykorzystanie prawie każdego sygnału logicznego (np. sygnałów zadziałania lub pobudzenia), bądź ustalenie poziomu sygnału analogowego, którego przekroczenie wywoła pobudzenie rejestratora, co może być szczególnie przydatne w przypadku wykorzystania do rejestracji sygnałów pozwalających na przeprowadzenie identyfikacji odbiornika (systemy NIALMS). Wykorzystanie do pobudzenia rejestracji więcej niż jednej funkcji zabezpieczeniowej, wymaga odwołania się do logiki programowalnej urządzenia. Za jej pomocą, poprzez wykorzystanie bramek logicznych, możliwe jest użycie większej liczby sygnałów pobudzających.

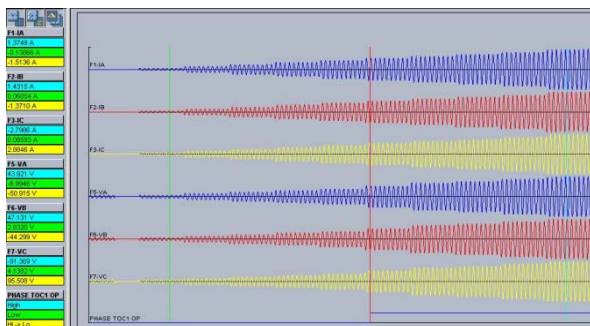
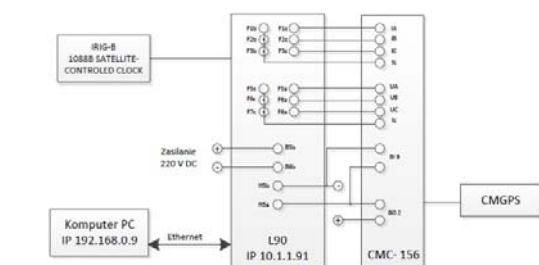
Przed przeprowadzeniem testów sprawdzających sposoby pobudzenia rejestratora, dokonano weryfikacji dokładności, z jaką rejestrator zakłóceń zaimplementowany w urządzeniu zabezpieczeniowym L90 mierzy prądy i napięcia. W celu ustalenia błędów wymuszono serię zmian wartości prądów i napięć wymuszanych za pomocą testera, a następnie porównano wartości ustalone w testerze z odczytanymi z rejestracji. Okno uzyskanej rejestracji sekwencji zmian prądów i napięć przedstawiono na rys. 1 (dolny element). Błędy względne nie przekraczały wartości okre-

ślonych przez producenta (w zakresie 10 do 208V nie przekraczały +/-0,5%, natomiast dla prądów w przedziale 0,1 – 2A dopuszczalna wartość błędu była mniejsza niż $\pm 0,25\%$).

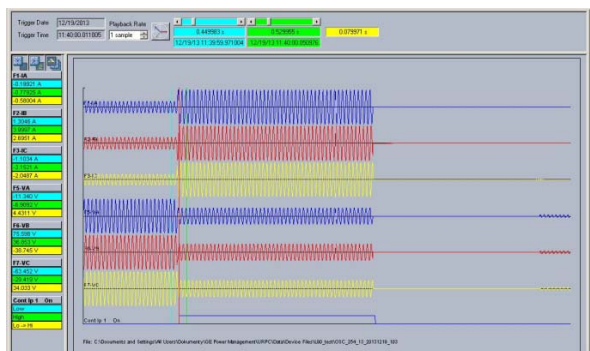
W trakcie testów zabezpieczenia L90 sprawdzono kluczowe cechy zaimplementowanej w nim funkcji rejestratora zakłóceń weryfikując:

- wpływ zmian wybranych parametrów funkcji na czas rejestracji,
- błędy pomiarów sygnałów analogowych,
- sposoby pobudzenia rejestracji w urządzeniu L90, w tym dokładność synchronizacji czasu.

Testy sprawdzania wpływu zmiany parametrów rejestracji na cechy charakterystyczne rejestracji były przeprowadzone poprzez zmianę liczby zapisywanych rejestracji oraz częstotliwości próbkowania, dokonywanie wielu wymuszeń trójfazowych przebiegów prądów i napięć oraz analizę uzyskanych wyników w oprogramowaniu. Poprzez ustalenie skrajnych wartości uzyskano maksymalny (21.384 s) oraz minimalny (0,206) czas zapisu, natomiast dla 15 rejestracji o częstotliwości próbkowania 16 próbek na cykl, czas pojedynczej rejestracji wynosił 2,466 s [3].



Rys. 1. Przykładowy schemat stanowiska laboratoryjnego wykorzystywanego do testów zabezpieczenia L90 oraz zarejestrowane w tym urządzeniu przebiegi prądów faz A, B, C i napięć faz A, B, C

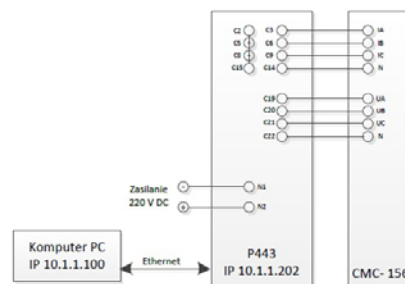


Rys. 2. Przebiegi prądów, napięć oraz sygnału dwustanowego zarejestrowane w trakcie testów sprawdzającego możliwość pobudzenia rejestracji z układu logiki programowalnej urządzenia L90 oraz synchronizacji. Od góry: 3 sygnały prądu, 3 sygnały napięcia (fazy A, B, C), sygnał z układu logiki programowalnej urządzenia L90

Kolejnym testem było sprawdzenie sposobów pobudzenia rejestratora. W tym celu wykonane zostały rejestracje wywołane sygnałem binarnym, przekroczeniem wartości analogowej oraz pobudzenia sygnałem logicznym z układu logiki programowalnej (koincydencja stanów: zwiększenie się mierzonej wartości prądu w fazie L1 powyżej 1,5 A, zmniejszenie mierzonych wartości prądów w fazach L2 i L3 poniżej 0,1 A, zmniejszenie napięcia w fazie L1 poniżej wartości 5,773 V, zwiększenie napięcia w fazach L2 i L3 powyżej wartości 86,595 V oraz wystąpienie zmiany stanu jednego z wejść dwustanowych). Rejestracja uzyskana w ten sposób przedstawiona została na rys. 2. Po wykonaniu testów i przeanalizowaniu ich wyników stwierdzono, wszystkie rodzaje pobudzeń działały prawidłowo i w związku z tym mogą zostać wykorzystane w rozproszonych układach rejestracji.

Testy funkcji rejestratora urządzenia MiCOM P443

Podobnym testom poddane zostało urządzenie firmy Schneider Electric. Testy przeprowadzono przy wykorzystaniu stanowiska laboratoryjnego pokazanego na rys. 3. Do komunikacji wykorzystano łącze Ethernetowe. Obsługa urządzenia z poziomu komputera możliwa była za pomocą oprogramowania MiCOM S1 Studio. Oprogramowanie umożliwiło zmianę nastawień oraz pozwoliło na podgląd uzyskanych rejestracji, za pomocą dodatkowego modułu Wavewin – SE.



Rys. 3. Przykładowy schemat stanowiska laboratoryjnego wykorzystywanego do testów zabezpieczenia P443

Parametrami rejestracji, które mogą być zmieniane przez użytkownika w urządzeniu P443 są czas rejestracji, regulowany w zakresie od 0,1 – 10,5 s oraz podział tego czasu na część przed i pozakłóceniową, w zakresie 0 – 100%.

Użytkownik ma wpływ jedynie na kolejność umieszczenia na rejestracjach 12 sygnałów analogowych, gdyż nie ma możliwości wyłączenia choćby części z nich. Dostępne są również 32 sygnały dwustanowe. Dodatkową opcją jest natomiast tak zwany „Trigger Mode”, czyli tryb pobudzenia rejestratora. Wybranie opcji „Extended” pozwala na automatyczne wydłużenie czasu pojedynczego zapisu, w przypadku gdyby w czasie trwania rejestracji pojawił się kolejny sygnał wywołujący zadziałanie rejestratora zakłóceń.

Jednym z testów rejestratora zaimplementowanego w urządzeniu P443 było sprawdzenie dokładności z jaką mierzone są sygnały analogowe. W tym celu wykonano serię wymuszeń (podobną jak dla L90), a następnie porównano wartości nastawione w testerze z odczytanymi z rejestracji wykonanych przez urządzenie. W testerze CMC – 156, za pomocą modułu State Sequencer, wymuszono 14 wartości prądów i napięć. Na podstawie uzyskanych wyników określono błąd względny pomiarów. Według producenta, co określone zostało w [2], błędy uzyskanych wartości dla prądów w zakresie 0,05 – 1 A oraz napięć w

zakresie 3 – 115 V nie powinny przekroczyć +/- 1% wartości mierzonej. Niedokładność pomiaru uzyskanego na podstawie rejestracji mieściła się w zakresie określonym przez producenta, a nawet większość uzyskanych wartości nie przekroczyła progu +/- 0,5 %, co świadczy o dużej dokładności pomiarowej urządzenia [3].

Kolejnym krokiem podczas testów, było sprawdzenie możliwości pobudzenia rejestracji. W zabezpieczeniu P443 jako impuls rozpoczynający rejestrację wykorzystany został sygnał binarny, pojawiający się wskutek zadziałania funkcji nadprądowej. Działanie układu dla tego przypadku było prawidłowe.

Rejestrator zaimplementowany w przekaźniku P443 pozwala również na uzyskanie wielokrotnego pobudzenia, zwiększającego całościowy czas rejestracji. Wybranie opcji wielokrotnego pobudzenia rejestratora powoduje, że jeśli w chwili trwania rejestracji pojawił się kolejny sygnał powodujący pobudzenie rejestratora, czas rejestracji ulegał automatycznemu wydłużeniu ponad domyślną wartość. W rezultacie, dla przykładowego testu, mimo czasu rejestracji ustalonego na 1,5 s, w związku z ponownym pobudzeniem rejestratora, całkowity czas zapisu wyniósł 2,4 s, czyli został wydłużony o 0,9 s.

Synchronizacja czasu rejestratorów

Ważnym wymaganiami stawianym przed rejestratorami zakłóceń jest możliwość dokonania synchronizacji wewnętrznych zegarów wszystkich urządzeń zainstalowanych w ramach jednej stacji elektroenergetycznej. Synchronizacja stosowana jest w celu porównania rejestracji, wykonanych przez urządzenia rejestrujące, zainstalowane w różnych miejscach stacji elektroenergetycznej. Dzięki synchronizacji, wewnętrzne zegary tych urządzeń mają identyczny czas podawany przez nadrzędny zegar GPS. W celu sprawdzenia dokładności synchronizacji wykonano kilka rodzajów testów urządzeń: L90, MiCOM P443 oraz rejestratora BEN5000.

W przypadku urządzenia L90 firmy General Electric, synchronizacji dokonano poprzez połączenie z zegarem GPS ARBITER 1088B, w standardzie IRIG – B. Dokładność synchronizacji czasu rejestratora sprawdzona została z wykorzystaniem testera mikroprocesorowego CMC – 156. Jako sygnał rozpoczynający rejestrację wybrana została zmiana stanu pierwszego wyjścia binarnego testera CMC wykonywana w ściśle określonej chwili czasowej. Uzyskanie takiego sposobu działania wymagało wykorzystania przystawki CMGPS, która pozwoliła na synchronizację wewnętrznego zegara testera z zegarem GPS. Następnie, wykorzystując moduł State Sequencer, ustalone zostały 2 stany wymuszeń. Sygnał pobudzający, czyli zmiana stanu wyjścia binarnego BO1, pojawiała się w drugim wymuszonym stanie, wraz z wymuszeniem ustalonych wartości prądów i napięć. W celu oceny dokładności synchronizacji sygnał zmiany stanu pojawiał się o każdej pełnej minucie. W celu określenia zwłoki czasowej, wprowadzanej przez przekaźnik wyjściowy testera CMC, sygnał z wyjścia BO1, oprócz podania go na wejście urządzenia L90, przekazany został również na wejście BI9 testera. Schemat układu testowego przedstawiony został na rys. 1. Na podstawie uzyskanych przebiegów oceniono, że dokładność określenia czasu

rzeczywistego w rejestratorze tego urządzenia wynosi ok. 1.65ms, natomiast (co dziwne i ciekawe) funkcja rejestratora zdarzeń jest o wiele bardziej dokładna (opóźnienie ok. 0.04ms).

Aby sprawdzić, dokładność, jaka uzyskana zostanie między kilkoma zsynchronizowanymi urządzeniami, dokonano próby połączenia czterech urządzeń firmy GE oraz jednego zewnętrznego rejestratora zakłóceń – BEN 5000. Urządzenia firmy GE, czyli 2 zabezpieczenia L90, urządzenie D60 oraz T60 zostały połączone z wcześniej wykorzystywanym zegarem GPS ARBITER 1088B. W każdym z nich uruchomiono opcję Real Time Clock oraz ustalono zmianę stanu wyjścia binarnego jako sygnał rozpoczynający rejestrację. Urządzenie BEN 5000 połączone zostało z zegarem za pomocą dodatkowego wyjścia IRIG-B zegara GPS ARBITER 1088B. Sposób sprawdzenia dokładności przebiegał identycznie jak w przypadku testów jednego urządzenia. Na podstawie testów uzyskano wartości opóźnień między czasem rzeczywistym (GPS) oraz uzyskanymi z urządzeń, które zostały pokazane w zestawieniu zamieszczonym w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie opóźnień synchronizacji czasu rejestratora zakłóceń dla kilku testowanych urządzeń zabezpieczeniowych

BEN 5000	L90 (prawy)	L90 (lewy)	T60	D60	P443
0,3 ms	4,33 ms	3,88 ms	3,85 ms	2,63 ms	12,94 ms

Wnioski wynikające z przeprowadzonych testów

Wyniki przeprowadzonych testów dowodzą, że funkcje rejestracji zakłóceń urządzeń zabezpieczeniowych oraz niezależnego rejestratora zakłóceń BEN5000 mogą być wykorzystane jako źródło danych pomiarowych służących do weryfikacji algorytmów pomiarowych stosowanych w systemach identyfikacji odbiorników elektrycznych (system NIALMS). Precyzja synchronizacji czasu wspomnianych urządzeń (rozbieżności sięgające 11 ms w przypadku jednego z urządzeń przy średniej wynoszącej ok. 3 ms), która jest niewystarczająca dla celów analizy działania układów automatyki elektroenergetycznej, jest do zaakceptowania w przypadku rozproszonych układów pomiarowych, których dane mogą służyć do weryfikacji działania algorytmów pomiarowych (system NIALMS).

LITERATURA

- [1] L90 Line Differential Relay UR Series Instruction Manual, L90 Revision: 4.6x, 2005
- [2] MiCOM P44y (P443 & P446) Technical Manual, 2010-2013
- [3] Żukowska M, „Rejestratory zakłóceń w urządzeniach zabezpieczeniowych” *Praca inżynierska, Warszawa 2014*

Autorzy: inż. Magdalena Żukowska, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa; dr. inż. Ryszard Kowalik, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: ryszard.kowalik@ien.pw.edu.pl; dr. inż. Marcin Januszewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: marcin.januszewski@ien.pw.edu.pl