

**Marek KOPEĆ<sup>1</sup>, Andrzej OLENCKI<sup>2</sup>, Izabela SKORUPSKA<sup>1</sup>**<sup>1</sup>UNIwersytet Zielonogórski, Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji<sup>2</sup>UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki**Weryfikacja eksperymentalna wyników badania symulacyjnego systemu testującego urządzenia EAZ****Mgr inż. Marek KOPEĆ**

Absolwent Wydziału Elektrycznego Uniwersytetu Zielonogórskiego. Obecnie słuchacz studium doktoranckiego. Zawodowo i naukowo zajmuje się automatyką zabezpieczeniową, a w szczególności zagadnieniami związanymi z testowaniem urządzeń EAZ.



e-mail: M.Kopec@weit.uz.zgora.pl

**Dr hab. inż. Andrzej OLENCKI**

Projektant urządzeń elektronicznych w zakładach Lumel 1977-89, Inmel 1989-90 i Calmet od 1990. Studia (Bydgoszcz, Charków 1972-77), doktorat (Wrocław 1984-86), habilitacja (Kijów 1989-91). Od 1991 profesor Instytutu Informatyki i Elektroniki oraz kierownik Zakładu Elektroniki i Układów Mikroprocesorowych. Zainteresowania to odtwarzanie i pomiar wielkości elektroenergetycznych.



e-mail: A.Olencki@iie.uz.zgora.pl

**Mgr inż. Izabela SKORUPSKA**

Absolwentka Wydziału Elektrycznego Uniwersytetu Zielonogórskiego. Obecnie słuchaczka studium doktoranckiego. W pracy naukowej zajmuje się metodami tworzenia wiedzy oraz metodami sztucznej inteligencji.



e-mail: I.Skorupska@weit.uz.zgora.pl

**Streszczenie**

Artykuł przedstawia weryfikację danych otrzymanych w wyniku symulacji układu zamkniętego do testowania urządzeń EAZ. Układ zamknięty z urządzeniem CZAZ jako obiekt, symulowano w Matlabie, dla różnych parametrów Zadajnika Sygnałów Wielofazowych (stałe czasowe w modelu kalibratora sygnałów wielofazowych) i dla różnych punktów charakterystyki czasowo-prądowej CZAZ. Otrzymane wyniki przeanalizowano za pomocą programów do wnioskowania. W wyniku otrzymano parametry, jakimi powinien się charakteryzować zadajnik sygnałów wielofazowych, żeby zoptymalizować proces testowania. Otrzymane wyniki zostały wstępnie zweryfikowane eksperymentalnie.

**Słowa kluczowe:** zabezpieczenia, system testujący urządzenia EAZ.

**The Physical Verification of Testing Systems for Electrical Power Protection Devices****Abstract**

This paper discusses the influence of parameters underlying multiphase signal generators on the process of testing Electrical Power Protection Devices. A short presentation of electrical protection devices and testing methods is included. Experimental and simulation results are presented. It is shown that parametric optimization of multiphase signal generators strongly influences the testing time and quality.

**Keywords:** protection devices, testing system.

**1. Wstęp**

Szybki postęp w dziedzinie automatyki zabezpieczeniowej wymaga prace nad nowymi metodami testowania urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ. Jeszcze kilka lat temu testery zabezpieczeń były dostępne wyłącznie dla specjalistycznych ekip serwisowych i laboratoriów. Obecnie coraz częściej znajdują się na wyposażeniu wydziałów elektrycznych zakładów energetycznych, elektrowni i większych zakładów produkcyjnych.

Nowoczesny tester zabezpieczeń jest skomplikowanym urządzeniem zarówno pod względem sprzętowym jak i oprogramowania.

Naukowcy i inżynierowie stale pracują nad udoskonalaniem istniejących testerów i budową nowych. W efekcie tych prac na rynku pojawiają się urządzenia o coraz lepszych parametrach elektrycznych, dynamicznych i funkcjonalnych. Nowoczesne testery zabezpieczeń są mniejsze, lżejsze i tańsze od swoich starszych odpowiedników [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

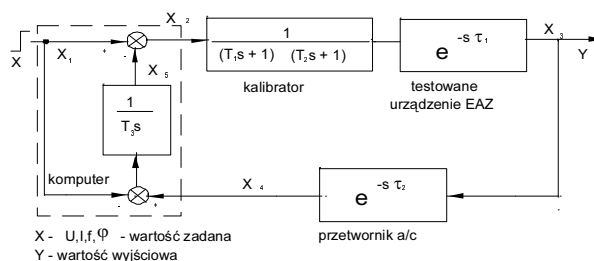
Jedną z dróg prowadzących do ulepszenia testerów zabezpieczeń jest optymalizacja ich właściwości dynamicznych. Efektywnym narzędziem do badań właściwości dynamicznych jest komputer z oprogramowaniem do modelowania i tworzenia struktur oraz do analizy danych. W wyniku wykonanych badań otrzymano zależności – zestawy parametrów dynamicznych, umożliwiające optymalizację testowania wybranych zabezpieczeń. Opracowanie zestawów parametrów dynamicznych zamkniętego systemu testującego w zależności od parametrów badanego zabezpieczenia może być pomocne dla projektantów testerów urządzeń EAZ.

Wyniki badań symulacyjnych zweryfikowano badaniami modelu fizycznego.

**2. Wyniki badań symulacyjnych**

Badania symulacyjne zamkniętego systemu testującego urządzenia EAZ przedstawiono w [10]. W artykule zaprezentowano strukturę oraz końcowe wyniki badań, tzn. reguły doboru parametrów dynamicznych systemu dla danego urządzenia EAZ. Ponieważ rozważania dotyczą zabezpieczeń, zbiór obiektów testowania został ograniczony do obiektów opisanych charakterystyką czasowo-prądową, a więc obiektów opóźniających. Zakres zmian stałej czasowej odpowiada możliwym nastawom zabezpieczenia zwarciowego sterownika polowego CZAZ [10].

Na rys. 1 przedstawiono schemat do analizy dynamicznej zamkniętego układu do testowania zabezpieczeń.



Rys. 1. Schemat zamkniętego układu do testowania zabezpieczeń [10]  
Fig. 1. Closed-loop testing system schematic diagram [10]

W tabeli 1 zestawiono parametry, dla których przeprowadzono badania symulacyjne.

Tab. 1. Zakres parametrów  
Tab. 1. Range of parameters

Stała czasowa	Nazwa	Wartość maksymalna [s]	Wartość minimalna [s]	Krok [s]
$T_1$	Kalibrator	10	0.01	0.1
$T_2$	Kalibrator	10	0.01	0.1
$T_3$	Komputer	10	0.1	0.1
$\tau_1$	Zabezpieczenie	0.1	1.0	0.1

W wyniku symulacji otrzymano zbiór reguł pozwalających dobrać optymalne parametry dla wybranego punktu charakterystyki czasowo-prądowej. Na tej podstawie znając parametry zabezpieczenia można znaleźć najlepsze parametry dynamiczne systemu testującego, wybierając część wspólną reguł odpowiadającą punktem pomiarowym. W tabeli 2 zestawiono zbiór wybranych reguł [2].

Tab. 2. Reguły uzyskane w wyniku symulacji  
Tab. 2. The rule which were found by the simulations

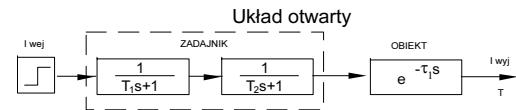
Stała obiektu	$T_1$	$T_2$	$T_3$	Prawdziwe dla
0.1	<0.1, 0.6)	<=3.6	<=0.1	8
0.1	<=0.1	<=2.6	<=0.1	6
0.1	<=0.1	(0.6, 3.6>	(0.1, 0.6>	6
0.1	(0.6, 3.6>	<=0.1	(0.1, 0.6>	6
0.1	(0.6, 2.6>	<=0.1	<=0.1	4
0.1	(0.6, 3.6>	(0.1, 0.6>	<=0.1	6
0.2	<=0.1	(1.1, 3.6>	<=0.6	10
0.2	(0.1, 0.6>	(1.1, 3.6>	<=0.1	5
0.2	(0.6, 3.6>	<0.1	<=0.6	12
0.2	(0.6, 3.6>	(0.1, 0.6>	<0.1	6
0.3	<=0.1	>1.1	(0.1, 0.6>	6
0.3	<=0.1	(1.1, 3.1>	<=0.1	4
0.3	(0.1, 0.6>	(1.1, 4.1>	<=0.1	6
0.3	(0.6, 3.1>	<=0.1	<=0.6	10
0.3	>=3.1	<=0.1	(0.1, 0.6>	3
0.3	<=0.6	(0.1, 0.6>	<=0.1	8
0.4	<=0.1	(1.1, 3.1>	<=0.6	8
0.4	(1.1, 3.1>	<=0.1	<=0.6	8
0.6	(1.1, 3.6>	<=0.1	<=0.1	5
0.6	<=0.1	(1.1, 3.6>	<=0.1	5
0.7	<=0.1	(1.6, 3.6>	<=0.1	4
0.7	(1.6, 3.6>	<=0.1	<=0.1	4
0.8	(1.6, 3.6>	<=0.1	<=0.1	4
0.8	<=0.1	(1.6, 3.6>	<=0.1	4
0.9	<2.1	<=0.1	<=0.1	5
0.9	<=0.1	(2.1, 4.1>	<=0.1	4
1.0	<2.1	<=0.1	<=0.1	5
1.0	<=0.1	(2.1, 4.1>	<=0.1	4

### 3. Badania eksperymentalne

W celu wstępnej weryfikacji reguł otrzymanych w wyniku symulacji zbudowano otwarty układ testujący. Jako zadajnik sygnałów wielofazowych wykorzystano urządzenie PZPN ZP1 nr 8813 o parametrach toru prądowego 250VA, o zakresie 10-20-50-100-150-300 A i parametrach toru napięciowego 100VA o zakresie 150-300-600 V. Obiektem 1 był sterownik polowy CZAZ-PZ nr CO6-MF8, zabudowany w rozdzielni SN w polu zasilania podstawowego. Obiektem 2 był sterownik polowy CZAZ-M nr CO4-MF-8, zabudowany w polu silnikowym, zabezpieczający silnik 6 kV. Badania wykonano w następujących warunkach:

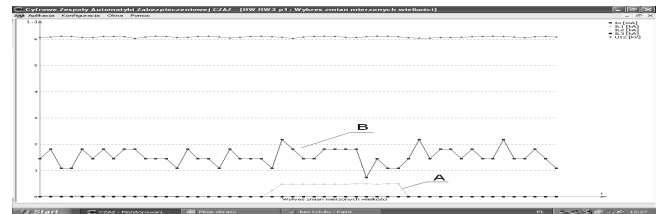
- wyłącznik VD4 w polu zasilania podstawowego w pozycji „próba”,
- wyłącznik VD4 w polu silnikowym w pozycji „próba”, z możliwością załączenia,
- zasilanie rozdzielni poprzez pole zasilania rezerwowego,
- załączony uziemnik szynowy w polu zasilania podstawowego,

- wyjścia zadajnika sygnałów wielofazowych podłączone do listwy zaciskowej obwodów prądowych,
  - ze względu na rzeczywiste warunki testów wymuszenie wartości przeciążeniowych i zwarciovych wykonano jednofazowo (największe prawdopodobieństwo),
  - zwarne i uziemione obwody wtórne przekładników prądowych w przedziale kablowym pola zasilania podstawowego.
- Schemat układu do badań eksperymentalnych przedstawiono na rys. 2.

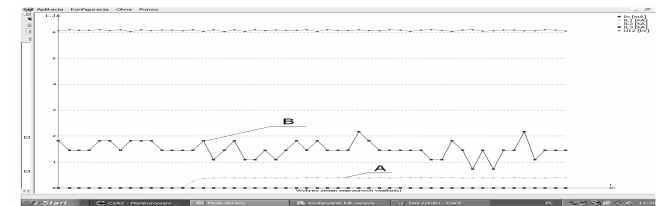


Rys. 2. Schemat otwartego układu do testowania zabezpieczeń  
Fig. 2. Opened testing system schematic diagram

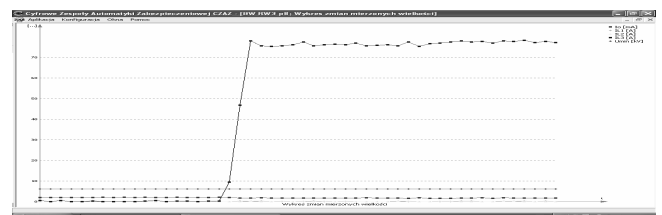
Układ przedstawiony na rys. 2 odpowiada schematowi toru głównego zamkniętego systemu do testowania zabezpieczeń. Analiza odpowiedzi na skok jednostkowy pozwala wyciągnąć pierwsze wnioski odnośnie poprawności przyjętego modelu systemu testującego [1].



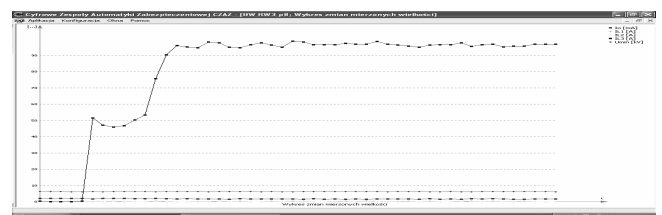
Rys. 3a. Wykres otrzymany w wyniku badania obiektu 1  
Fig. 3a. The obtained figure for object 1



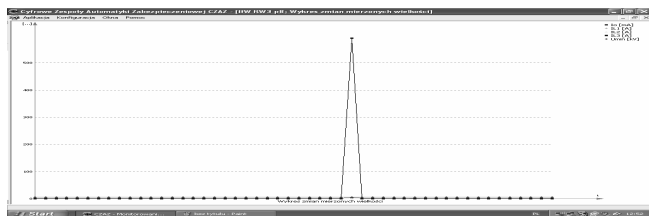
Rys. 3b. Wykres otrzymany w wyniku badania obiektu 1 w pozycji „próba”  
Fig. 3b. The obtained figure for object 1 in “test” position



Rys. 3c. Wykres otrzymany dla fazy 3 w wyniku badania obiektu 2  
Fig. 3c. The obtained figure for object 2 for phase 3



Rys. 3d. Błędne zadziałanie zadajnika sygnałów dla obiektu 2  
Fig. 3d. Fault work of signal generators for object 2



Rys. 3e. Zadziałanie zabezpieczenia dla obiektu 2

Fig. 3e. Used Electrical Power Protection Devices for object 2

Rys. 3 pokazuje wykresy uzyskane z rejestratora zdarzeń sterownika CZAZ. Wykresy są tworzone w czasie rzeczywistym, stąd niewielka rozdzielczość czasowa. Poszczególne pomiary są również rejestrowane i zapisywane liczbowo w postaci tabeli, która jest bardziej przydatna do dokładnej analizy. Urządzenie CZAZ ma możliwość rejestracji 500 zdarzeń. Maksymalna rozdzielczość 1/1000 s.

Rys. 3 a) przedstawia wyłączenie pola zasilającego od zabezpieczenia nadprądowego  $I_{b1}$ . Próbę przeprowadzono w czasie normalnej pracy, wymuszając w jednej fazie wartość przeciążeniową (linia A). Po czasie wynikającym z charakterystyki czasowo-prądowej następuje wyłączenie pola zasilania podstawowego i przełączenie rozdzielni przez automatykę SZR na zasilanie rezerwowe. Linia B odpowiada prądowi różnicowemu z przekładnika Feranti'ego IOR-12, który nie przekracza wartości dopuszczalnej. Relatywnie większa na wykresie wartość prądu różnicowego w stosunku do fazowego wynika z wyskalowania - prąd różnicowy jest wyskalowany w mA, a prąd fazowy w kA. Na wyskalowanie wielkości użytkownik nie ma wpływu. Ponieważ wartości wymuszające są podawane na wyjściach przekładników prądowych, odczytany z wykresu prąd przeciążeniowy 500A odpowiada wymuszeniu z zadajnika ok. 8,5A (przekładnik 300/5A). Odczytany czas odpowiedzi 15 s znacznie różni się od wymaganego 10s (wynikający z charakterystyki).

Na rys. 3 b) poprzedni test został powtórzony w pozycji „próba” wyłącznika. W tym przypadku na wykresie nie widać chwili wyłączenia, ponieważ obwód prądowy nie jest rozwierany ani z zadajnika nie jest zdejmowany wymuszany prąd. Czas wyłączenia jest mierzony stoperem podłączonym do wyjścia wyłączającego sterownika CZAZ. Stoper jest załączany w chwili włączenia zadajnika sygnału i zatrzymywany w chwili pojawienia się impulsu wyłączającego z CZAZ. W tym wypadku zmierzony czas wyniósł 14,5 s, co daje bardzo zbliżony wynik jak w poprzednim teście.

Na rys. 3 c) pokazano wykres prądu w fazie 3, w polu silnika 6 kV. Czas wyłączenia zgodnie z DTR urządzenia wynosi:

$$t_z = 2t_r \cdot \left( \frac{I_r}{I_z} \right) = 0,625s \quad (1)$$

gdzie:  $t_z$  – czas zadziałania,  $t_r$  – czas zadziałania zabezpieczenia dla  $I_z = 2 I_r$  (0,5s),  $I_z$  – wartość prądu zwarcia (120/8A str. pierw/str. wt),  $I_r$  – wartość prądu rozruchowego zabezpieczenia (75/5A). Zmierzony czas wyłączenia wyniósł 1,15 s.

Na rys. 3 d) zarejestrowano błędne zadziałanie zadajnika sygnałów, spowodowane nadmiernym obciążeniem wyjścia. Tak wykonany pomiar jest obciążony dużym błędem.

Rys. 3 e) pokazuje działanie zabezpieczenia zwarciego bezzwłocznego. W tym wypadku zadziałanie nie wynika z przebiegu charakterystyki, tylko następuje w czasie będącym sumą czasów własnych zabezpieczenia i wyłącznika. Test wykonano wymuszając prąd zwarcia w jednej fazie, powodując fizyczne wyłączenie. Wyłączenie nastąpiło po czasie 0,75 s.

#### 4. Wnioski

Badania eksperymentalne pozwoliły wyciągnąć bardzo ważne wnioski na temat założeń i poprawności wykonania symulacji. Ze względu na ograniczony charakter badań na obiekcie fizycznym należy je traktować jako wstęp do badań fizycznego układu zamkniętego, z nowoczesnym zadajnikiem sygnałów wielofazo-

wych, o znacznie lepszych parametrach dynamicznych. Z otrzymanych wyników wynikają następujące wnioski:

- z porównania odpowiedzi skokowych układu symulowanego i rzeczywistego wynika, że obiekt ma charakter inercyjny, a nie jak przyjęto opóźniający,
- układ jest stabilny asymptotycznie [1],
- nastąpiły stosunkowo duże rozbieżności między wartościami zmierzonymi i odczytanymi z charakterystyk lub wyliczonymi. W badanym polu silnikowym wcześniej nastąpiło zwarcie w trakcie normalnej pracy, wyłączone z czasem poniżej 0,5s. Różnica wyniku uzyskanego w teście i zapisu rzeczywistej awarii dowodzi, że parametry dynamiczne zadajnika sygnałów wielofazowych mają wpływ na proces testowania,
- przy dużym obciążeniu wyjść zadajnika i dużej szybkości narostu sygnału wymuszającego nastąpiło chwilowe zmniejszenie sygnału na wyjściu zadajnika. Wskazuje to na możliwość występowania błędów w procesie testowania, spowodowanych zastosowaniem zadajnika o złych lub źle dobranych parametrach,
- parametry zadajnika sygnałów wielofazowych mają decydujący wpływ na proces testowania zabezpieczeń i innych urządzeń EAZ.

#### 5. Podsumowanie

Weryfikacja wyników badań symulacyjnych systemu do testowania zabezpieczeń w uproszczonym układzie fizycznym potwierdza założenia przyjęte do symulacji. Na tej podstawie można uznać, że przyjęto właściwą strukturę systemu i parametry dynamiczne. Ponadto na podstawie wyników badań eksperymentalnych został poddany wątpliwości sposób modelowania urządzenia EAZ. Rozwiązaniem tego problemu będzie przeprowadzenie badań eksperymentalnych urządzenia EAZ, pod kątem własności dynamicznych. Przeprowadzone badania dotyczą toru głównego systemu testującego zawierającego zadajnik i zabezpieczenie.

Kolejnym etapem prac będzie przeprowadzenie badań symulacyjnych po zmianie transmitancji obiektu i badania eksperymentalne na dedykowanym stanowisku, z wykorzystaniem dwóch zadajników o różnych parametrach. Na podstawie odpowiedzi skokowych możliwe będzie zidentyfikowanie parametrów dynamicznych systemów testujących urządzenia EAZ i porównanie ich ze zbiorem reguł otrzymanych w wyniku badań symulacyjnych.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego ze środków Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego (Działanie 2.6: Regionalne strategie innowacyjne i transfer wiedzy) z udziałem Europejskiego Funduszu Społecznego.

#### 6. Literatura

- [1] Stefański T.: Teoria terowania, Kielce: Dział Wydawnictw Politechniki Świętokrzyskiej, 1995
- [2] Arabas J.: Wykłady z algorytmów ewolucyjnych, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2001
- [3] Dokumentacja techniczno-ruchowa cyfrowych zespołów automatyki zabezpieczeniowej CZAZ, 2005
- [4] Maksymiuk J.: Tendencje rozwojowe w dziedzinie aparatów elektrycznych, Elektroinstalator 2004 nr 2
- [5] Materiały konferencyjne Technika Zabezpieczeniowa, SIEMENS 2006, SIEMENS 1996
- [6] Talaga A.: Testowane układów zabezpieczeń przyrządami typu DRTS/UTS/ART firmy ISA.
- [7] Soliński K.: SIPROTEC 7UT61-różnicowy przekładnik zabezpieczeniowy transformatorów, generatorów, silników i szyn zbiorczych. Wiadomości Elektrotechniczne 2004 nr 3
- [8] Broda K.: Testowanie urządzeń elektroenergetycznych w trybie automatycznym, Elektronika 11/2002, 26-28
- [9] Kołodziejczyk Z.: Testowanie urządzeń zabezpieczeniowych stosowanych w energetyce, Elektronika 12/2004, 65-67
- [10] Jagielski J., Kopeć M., Olencki A., Skorupka I.: Zastosowanie algorytmów genetycznych do ustalania parametrów układu testującego urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, W: Pomiary Automatyka Kontrola - 2005, nr 9, wyd. spec., 131-133