

## TESTOWANIE WYBRANYCH KRYTERIÓW ZABEZPIECZENIOWYCH W PRZEKAŹNIKACH SERII REF615 Z WYKORZYSTANIEM STANDARDU IEC 60255

Tomasz BEDNARCZYK<sup>1</sup>, Kacper CHYŁA<sup>2</sup>, Filip PANKOWIAK<sup>2</sup>, Mirosław WŁAS<sup>2</sup>

1. OMICRON Energy Solutions Polska Sp. z o.o., ul. Kosynierów 44, 41-219 Sosnowiec  
tel: +48 32 621 1028, kom: +48 882 803 661, e-mail: tomasz.bednarczyk@omicronenergy.com
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel: +48 58 347 23 37, fax: +48 58 341 08 80, e-mail: miroslaw.wlas@pg.edu.pl

**Streszczenie:** Badania oparte na standardzie IEC 60255 mają postać szeregu testów wymaganych oraz opracowanych na podstawie owego standardu. Testom zostały poddane wybrane funkcje zabezpieczeniowe zaimplementowane w testowanych przełącznikach zabezpieczeniowych REF 615 firmy ABB. Celem było porównanie otrzymanych wartości z deklarowanymi przez producenta oraz wyznaczenie zależności w funkcji różnych, zmiennych warunków testowych.

**Słowa kluczowe:** tester zabezpieczeń CMC 256-6, przełącznik zabezpieczeniowy REF 615, IEC 60255, sieci średniego napięcia.

### 1. WPROWADZENIE

#### 1.1. Testy oparte opartych na IEC 60255

Celem testów było zweryfikowanie w testowanych przełącznikach deklarowanych przez producenta parametrów wybranych kryteriów zabezpieczeniowych [1], a także określenie w warunkach testowych parametrów wymaganych przez arkusze standardu IEC 60255 serii 100. W testach funkcje poddano dodatkowym testom bazujących na owym standardzie mających na celu rozszerzenie podstawowych charakterystyk funkcji zabezpieczeniowych. Do zakresu badań przełączników zabezpieczeniowych należało:

- konfiguracja oprogramowania przełączników zabezpieczeniowych umożliwiającą testowanie wybranych funkcji zabezpieczeniowych,
- wybór i konfiguracja odpowiednich modułów testowych testera zabezpieczeń,
- zaprojektowanie i przeprowadzenie serii testów wymaganych przez standardy IEC 60255 serii 100 oraz ocena otrzymanych wyników,
- zaprojektowanie i przeprowadzenie serii testów własnych opartych na standardach IEC 60255.

#### 1.2. Wybór arkuszy normatywnych

Wybór odpowiednich arkuszy standardu IEC 60255 [2] został oparty na funkcjach zabezpieczeniowych posiadanych przez badany przełącznik zabezpieczeniowy w wersji sprężonej N.

Przełącznik ten posiada trzy funkcje zabezpieczeniowe opisane w arkuszach normy IEC 60255 serii 100:

- trójfazowe bezkierunkowe zabezpieczenie nadprądowe w trzech stopniach:

- stopniu zabezpieczeniowym niskim – wybrane do testów,
- stopniu zabezpieczeniowym wysokim,
- stopniu zabezpieczeniowym bezzwłocznym,
- trójfazowe zabezpieczenie nadnapięciowe – wybrane do testów,
- trójfazowe zabezpieczenie podnapięciowe – wybrane do testów.

W tablicy 1 umieszczono zestawienie testowanych funkcji zabezpieczeniowych badanego przełącznika oraz odpowiadających im arkuszy standardu IEC 60255.

Tablica 1. Dopasowanie arkuszy standardu [3] IEC 60255 do testowanych funkcji zabezpieczeniowych

Lp.	Funkcja zabezpieczeniowa	Arkusze normatywne IEC-60255 serii 100
1.	Trójfazowe zabezpieczenie nadprądowe w stopniu zabezpieczeniowym niskim	IEC-60255-151
2.	Trójfazowe zabezpieczenie nadnapięciowe	IEC-60255-127
3.	Trójfazowe zabezpieczenie podnapięciowe	IEC-60255-127

#### 1.3. Sprawdzane parametry kryteriów zabezpieczeniowych

Przeprowadzone testy bazujące na arkuszu [4] IEC 60255-151 skupiają się na określeniu dokładności i szybkości zadziałania trójfazowej funkcji nadprądowej w stopniu zabezpieczeniowym niskim z ustawioną niezależną charakterystyką czasową IEC. W artykule skupiono się na testach kryterium nadprądowym, testy kryteriów napięciowych miały analogiczny przebieg. Testy miały za zadanie sprawdzić w szczególności:

- dokładność nastawy prądowej (wartości startowej), po przekroczeniu której, funkcja zabezpieczeniowa powinna przejść w stan aktywny (aktywować odpowiednie wyjście funkcji) i porównać zmierzoną dokładność z dokładnością deklarowaną przez producenta przełącznika zabezpieczeniowego,
- dokładność wartości resetu nastawy prądowej, wynikającej bezpośrednio z nastawy prądowej wyzwala (funkcje posiadają stały współczynnik powrotu), po

przekroczeniu której, funkcja aktualnie działająca powinna przejść w stan nieaktywny (dezaktywować odpowiednie wyjście funkcji) i porównać zmierzony współczynnik powrotu z deklarowanym przez producenta przekaźnika,

- czasy funkcji zabezpieczeniowej:
  - czas uruchomienia funkcji zabezpieczeniowej,
  - czas opóźnienia zadziałania funkcji zabezpieczeniowej.

Testy wykonane zgodnie zaleceniami standardu IEC pozwoliły na stworzenie podstawowych charakterystyk przedstawiających dokładność funkcji zabezpieczeniowych w całym zakresie dostępnych nastaw oraz rzuciły światło na zmieniające się parametry zadziałania funkcji, w przypadku, gdy scenariusz testowy różni się od tego, stosowanego przez producenta.

## 2. STANOWISKO BADAWCZE

### 2.1. Urządzenia

Stanowisko badawcze zostało przedstawione na rysunku 2. Stanowisko służyło do modelowania sieci dystrybucyjnej średniego napięcia. Głównym elementem składowym stanowiska jest przekaźnik zabezpieczeniowy REF 615 firmy ABB.

Przekaźnik REF 615 jest urządzeniem IED, służącym do zabezpieczania, sterowania, wykonywania pomiarów i nadzoru pól liniowych i odpyływowych [5]. Urządzenie jest przystosowane do pracy z różnymi topologiami sieci, takimi jak: sieci dystrybuujące energię elektryczną z rozdziałem lub bez rozdziału wytwarzanej mocy, sieci promieniowe, sieci pierścieniowe i sieci mieszane.

Sygnalizacja oraz przyciski umieszczone na panelu przednim stanowiska zostały połączone do przekaźnika zabezpieczeniowego. Domyślnie odpowiadają one za sterowanie wyłącznikiem niskiego napięcia oraz za sygnalizację położenia styków tego wyłącznika. Na panelu przednim zostały wyprowadzone również wejścia analogowe prądowe przekaźnika wykorzystywane do testowania funkcji zabezpieczeniowych przekaźnika.

Każdy z przekaźników steruje wyłącznikiem niskiego napięcia ABB XT2N za pomocą napędu silnikowego MOE. Zestaw ten ma za zadanie symulować rzeczywiste operacje łączeniowe wyłączników średniego napięcia. Owe elementy zostały przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Elementy składowe stanowiska badawczego, z lewej wyłącznik XT2N wraz z napędem silnikowym MOE, z tyłu przekaźnik zabezpieczeniowy REF615 (wyprowadzenia zacisków) [1]

Jak widać na rysunku 2 stanowisko składa się z sześciu pól z wyłącznikami sterowanymi przez przekaźnik zabezpieczeniowy oraz z jednego pola gdzie znajduje się sam wy-

łącznik XT2N domyślnie sterowany przez tester zabezpieczeń. Na rysunku 3 przedstawiony został front jednego pola z przekaźnikiem zabezpieczeniowym



Rys. 2. Stanowisko badawcze [1]



Rys. 3. Front pola z przekaźnikiem zabezpieczeniowym

Istotnym z punktu widzenia przeprowadzanych w niniejszym opracowaniu badań i testów jest tester zabezpieczeń CMC 256-6 firmy OMICRON. Widok testera został przedstawiony na rysunku 4.

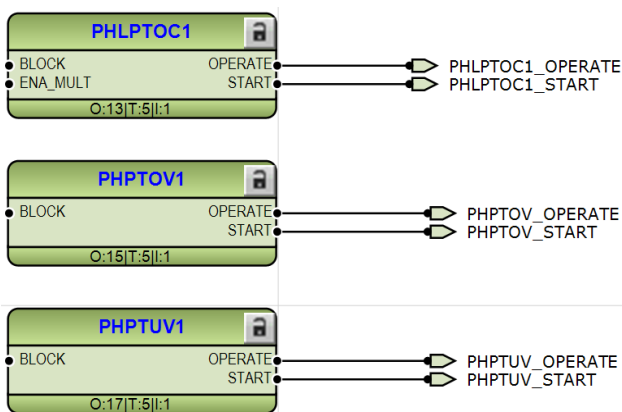


Rys. 4. Tester zabezpieczeń CMC 256-6

Tester zabezpieczeń wyposażony jest w cztery niezależne wyjścia napięciowe oraz sześć wyjść prądowych. Ponadto tester posiada zestaw czterech wyjść binarnych oraz zestaw pięciu podwójnych wejść binarnych. Wyposażony jest również w zasilacz prądu stałego użyteczny w przypadku, gdy testowany obiekt wymaga zasilania pomocniczego. Tester posiada także pomiarowe wejścia analogowe prądu i napięcia stałego. CMC 256-6 wraz z dołączonym oprogramowaniem daje użytkownikowi możliwość przeprowadzenia dokładnych testów przekaźników zabezpieczeniowych, poprzez generowanie odpowiednich wymuszeń prądowych bądź napięciowych, zgodnych z normą IEC 60255.

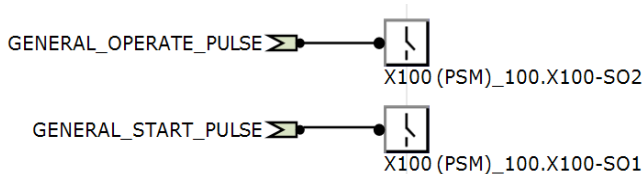
## 2.2. Strona programowa przekaźnika zabezpieczeniowego

W celu poprawnego przetestowania funkcji zabezpieczeniowych niezbędny jest odpowiednio skonfigurowany program wgrany do przekaźnika zabezpieczeniowego. Podstawą programu jest odpowiednia konfiguracja wyjść funkcji, umożliwiająca ich odczytywanie ich stanu przez zewnętrzny tester zabezpieczeń za pomocą wyjść binarnych przekaźnika. Rysunek 5 przedstawia część programu odpowiedzialną za odczytywanie stanu wyjść testowanych funkcji i zamianę ich na sygnały binarne, możliwe do wykorzystania w pozostałej części programu. Na przykład, sygnał *PHLPTOC1\_OPERATE* przyjmuje wartość logiczną wysoką, gdy aktywne jest wyjście *OPERATE* należące do funkcji *PHLPTOC1*.



Rys. 5. Zrzut ekranu z programu PCM600 przedstawiający wyprowadzenie sygnałów binarnych z stanów funkcji zabezpieczeniowych

Sygnały informujące o starcie funkcji (*START*) oraz o uruchomieniu zgodnie z wybraną charakterystyką czasową (*OPERATE*) zostały wyprowadzone na wyjścia binarne, odpowiednio na *SO1* i *SO2* (rys. 6).



Rys. 6. Zrzut ekranu z programu PCM600 przedstawiający przypisanie sygnałów do wyjść binarnych

## 2.3. Strona programowa testera zabezpieczeń

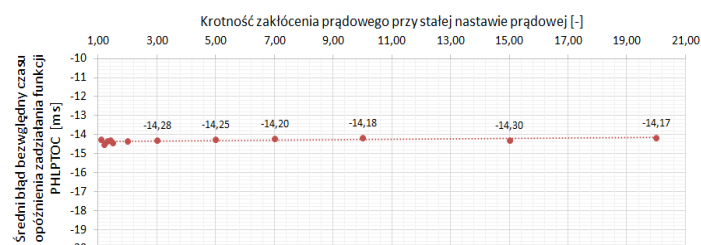
Do testowania funkcji zabezpieczeniowych użyto trzech modułów testowych testera zabezpieczeń CMC 256-6 [6]:

- **OMICRON Ramping** – moduł pozwalający na pomiar rzeczywistych wartości startowych, wartości resetu oraz na obliczenie współczynnika odpadu poprzez normatywne zwiększanie i zmniejszanie wartości wymuszeń,
- **OMICRON State Sequencer** – program umożliwiający pomiar czasów uruchomienia oraz opóźnienia zadziałania funkcji podczas generacji konkretnych sekwencji wymuszeń,
- **OMICRON Overcurrent** – moduł użyty do przedstawienia rzeczywistej charakterystyki czasoprądowej funkcji *PHLPTOC* na podstawie serii uruchomień funkcji.

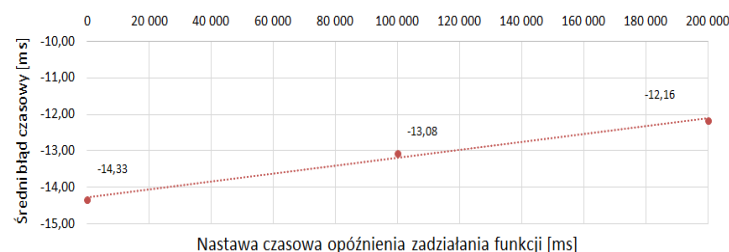
## 3. BADANIA

### 3.1. Otrzymane charakterystyki

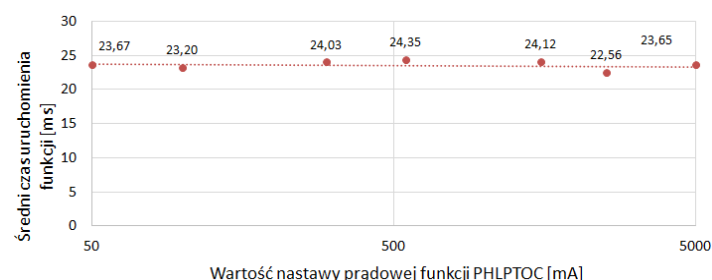
Testy przeprowadzone na funkcji nadprądowej *PLP-TOC* pozwoliły na stworzenie poniższych charakterystyk:



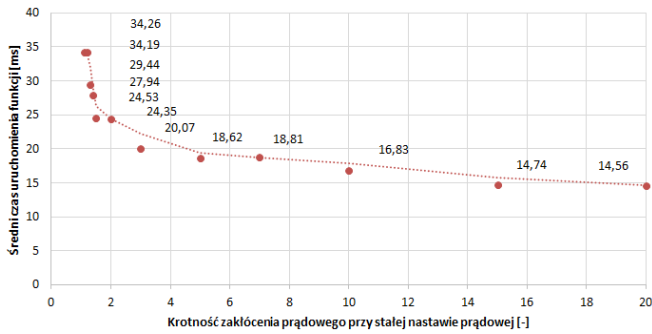
Rys. 7. Charakterystyka średniego bezwzględnego błędu czasu opóźnienia zadziałania funkcji *PHLPTOC* w funkcji krotności wymuszenia zakłócenia względem nastawy prądowej przy stałej nastawie prądowej



Rys. 8. Charakterystyka średniego bezwzględnego błędu czasu opóźnienia zadziałania funkcji *PHLPTOC* w funkcji nastawy czasowej



Rys. 9. Charakterystyka średniego czasu uruchomienia funkcji *PHLPTOC* w funkcji nastawy prądowej przy stałej krotności wymuszenia zakłócenia względem nastawy prądowej



Rys. 10. Charakterystyka średniego czasu uruchomienia funkcji PHLPTOC w funkcji krotności wymuszenia zakłócenia względem nastawy prądowej przy stałej nastawie prądowej

### 3.2. Analiza charakterystyk

Otrzymane wyniki pomiarów czasów opóźnienia zadziałania funkcji PLPTOC nie zmieniały się w sposób znaczny mimo różnych nastaw prądowych oraz różnych krotności amplitudy zakłócenia względem nastawy (rys. 7). Jedyną zauważalną zmianę zachodziła podczas znacznej zmiany nastawy czasowej – błąd bezwzględny malał wraz ze wzrostem wartości nastawy czasowej – przedstawiono na rysunku 8. Warto zaznaczyć, iż błąd bezwzględny zmienił się zależnie od testowanego przekaźnika zabezpieczeniowego, jeden przekaźnik wyróżniał się znacznie, otrzymano krótsze czasy opóźnienia zadziałania funkcji. Wszystkie zmierzone czasy opóźnienia zadziałania mieściły się w granicach błędów deklarowanych przez producenta i utrzymały zadaną charakterystykę – niezależną czasowo, czyli ich wartość nie była zależna od wartości zakłócenia podanego na wejścia analogowe. W przypadku pomiaru czasu uruchomienia, różnica pomiędzy różnymi przekaźnikami lekko się zatarła, chociaż można było wyróżnić jeden przekaźnik, który był najwolniejszy z zestawienia. Czas uruchomienia był niezależny od wartości nastawy prądowej, i pozostał względnie stały (rys. 9). Czasy średnie uruchomienia przy krotności zakłócenia względem nastawy wynoszącej 2 (wartość, przy jakiej zadeklarowano szybkość zadziałania przez producenta) mieściły się w błędach dopuszczalnych, natomiast czasy minimalne nie. Przekaźnik uruchamiał funkcję szybciej niż deklaruje to producent. W przypadku rysunku 10. czasy uruchomienia zmieniły się w sposób znaczny zależnie od krotności amplitudy zakłócenia względem nastawy. Dla niskich krotności czasy uruchomienia okazały się znacznie dłuższe od deklarowanych przez producenta, w przypadku znacznych krotności zakłócenia czasy były o wiele krótsze od zadeklarowanych dla krotności zakłócenia, odniesionej do nastawy prądowej, wynoszącej 2.

## 4. PODSUMOWANIE

Większość badanych parametrów została potwierdzona testowo, natomiast część badanych parametrów nie zmieściła się w dopuszczalnych granicach błędu. Punkty testowe wymagane przez arkusze standardu IEC 60255 pozwoliły na zaobserwowanie zachowania się funkcji dla warunków testowych innych, niż te, dla których producent określił dane znamionowe. Dodatkowe punkty testowe, które zostały zainspirowane wymaganiami arkuszy IEC 60255 serii 100, pozwoliły na uzyskanie podstawowych charakterystyk działania funkcji zabezpieczeniowych. Jedną z ciekawszych uzyskanych charakterystyk jest charakterystyka czasu uruchomienia funkcji zabezpieczeniowej w funkcji krotności zakłócenia względem nastaw. Otrzymane wyniki są uzupełnieniem danych znamionowych czasów uruchomienia funkcji podanych przez producenta. Połączenie testowego sprawdzenia charakterystyk deklarowanych przez producenta przekaźnika wraz z wyznaczoną w sposób doświadczalny charakterystyką czasów uruchomienia funkcji, dla różnych krotności wartości zakłóceń względem nastawy, pozwala na dokładniejsze określenie czasu zadziałania zabezpieczenia i lepszy dobór jego parametrów w celu zapewnienia skuteczniejszej ochrony i selektywności zabezpieczeń

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Chyła K., Pankowiak F.: Badania i testowanie zabezpieczeń średniego napięcia z wykorzystaniem testera zabezpieczeń CMC 256-6 firmy OMICRON, Praca dyplomowa, promotor dr inż. Mirosław Włas, Politechnika Gdańska, 2018.
2. IEC 60255-1: Measuring relays and protection equipment – Part 1: Common requirements, 2009.
3. Relion 615 Series, “Feeder Protection and Control REF615: Application Manual, ABB, 2016.
4. IEC 60255-151: Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements for over/under current protection, 2009.
5. Relion – Zabezpieczenia i sterowanie: Seria 615: Podręcznik techniczny, ABB, 2017 (źródło: [https://library.e.abb.com/public/e71b2fc0e29a4734b36fc7d619b0e1a8/RE\\_615\\_tech\\_757517\\_PLd.pdf](https://library.e.abb.com/public/e71b2fc0e29a4734b36fc7d619b0e1a8/RE_615_tech_757517_PLd.pdf), data dostępu: 06.12.2018).
6. OMICRON: RelaySimTest Getting Started, OMICRON electronics, 2018 (źródło: <https://www.omicronenergy.com/en/>, data dostępu: 06.12.2018).

## Application of the IEC 61850 standard for quick reconfiguration of MV networks using an adaptive change of setting banks

The IEC 60255 standard defines the procedures for testing the operational effectiveness of relays and precisely defines the way of determining their parameters. This paper describing the IEC 60255 standard contains a number of tests required by this standard as well as tests inspired by this standard. The tests have been subjected to selected protection functions implemented in the tested protection relays. The tests also include the determination of the actual characteristics of the function start-up times, being a supplement to the rated parameters claimed by the relay manufacturer.

**Keywords:** CMC256-6 relay test set, REF615 protection relay, IEC 60255, medium voltage network.