

Statyczne i dynamiczne testowanie zabezpieczeń – ocena czasochłonności

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, prof. UZ

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

Streszczenie

Opisano statyczną i dynamiczne on/off metody testowania wartości rozruchowej zabezpieczeń oraz oceniono czasochłonność procedur testowania zabezpieczeń.

Abstract

Static and Dynamic On/Off Methods for Start-up relay testing are described. Time consumption of Start-up relay test procedure are estimated.

Słowa kluczowe: sprawdzanie zabezpieczeń, tester zabezpieczeń, testowanie wartości rozruchowej.

Keywords: protection relays testing, Protection Relay Test Set, Pick-up testing.

1. Wstęp

Analiza aktualnego stanu techniki w zakresie testowania cyfrowych zespołów zabezpieczeniowych skłoniła Autorów raportu o badaniach okresowych zabezpieczeń w zakładach energetycznych [1] do sformułowania następujących stwierdzeń:

- coraz trudniej jest badać nowoczesne cyfrowe zabezpieczenia tradycyjnymi metodami,
- uaktywnienie w zabezpieczeniach cyfrowych coraz większej liczby zabezpieczeń nadmiernie wydłuża czas badań.

Jednym z istotnych elementów badań zabezpieczeń jest pomiar charakterystyk rozruchowych zabezpieczeń. W tym celu mierzy się wartość rozruchową zabezpieczenia w funkcji wielkości mierzonej, np. dla zabezpieczenia ziemnozwarciowego kierunkowego mierzy się wartość rozruchową prądu w funkcji kąta przesunięcia fazowego. Skracanie czasu badań charakterystyk rozruchowych można osiągać dwoma drogami:

- przez odejście od ręcznego badania wartości rozruchowej w kolejnych punktach charakterystyki na korzyść stosowania zautomatyzowanych testów zgodnie z wcześniej przygotowanymi procedurami,
- przez zastosowanie nowych metod badań, wydajnych przy stosowaniu zautomatyzowanych testów.

W krajowych testerach zabezpieczeń [1,2,3], w porównaniu z zaawansowanymi testerami zagranicznymi [4,5,6,7], stopień automatyzacji testów jest słaby. Sterowanie funkcjami odbywa się z zastosowaniem klawiatury i wyświetlacza, których funkcjonalność jest z założenia ograniczona w stosunku do możliwości sterowania z komputera. Doszło do tego, że badany obiekt (cyfrowy zespół zabezpieczeniowy) jest sterowany z komputera, podczas gdy sterowanie testera odbywa się ręcznie z zastosowaniem klawiatury i wyświetlacza. Nic zatem dziwnego, że wartość rozruchową zabezpieczeń sprawdzało się u nas zawsze przez "najeżdżanie" i decydowały o tym ograniczone możliwości sprzętowe testerów [8].

2. Metody testowania

Znane są dwie metody badania wartości rozruchowej zabezpieczeń: metoda statyczna (tradycyjnie nazywana metodą "najeżdżania" lub "najazdu liniowego") i metoda dynamiczna (nazywana też metodą "sukcesywnej aproksymacji" lub "kolejnego ważenia") [1,3]. W metodach dynamicznych wyróżnia się [9]:

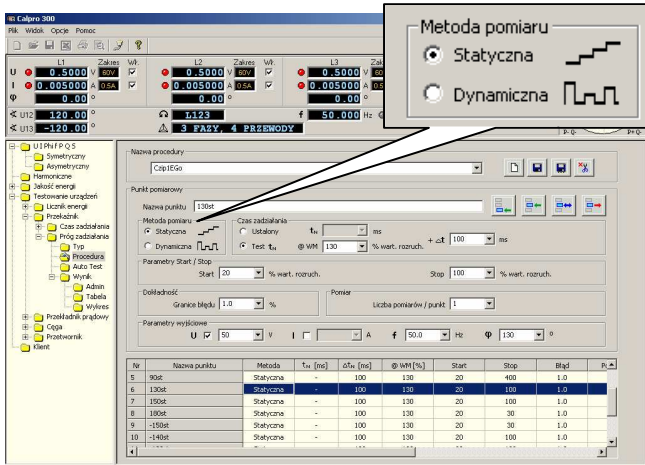
- metodę dynamiczną on/off (Dynamic On/Off Method), w której wartość początkowa jest równa zero i jest nagle zwiększana do wartości zakłóceńowej,
- metodę dynamiczną prostą (Simple Dynamic Method), w której wartość początkowa jest niezerowa i jest nagle zwiększana do wartości zakłóceńowej,
- metodę dynamiczną złożoną (Complex Dynamic Method), która w stosunku do metody dynamicznej prostej ma w stanie zakłócenia dodatkową składową wolnozmienną.

Pomimo, że pomiar wartości rozruchowej z zastosowaniem metody dynamicznej jest zazwyczaj zdecydowanie szybszy niż z zastosowaniem metody statycznej, panuje jednak rozbieżność zdań na ten temat: jedni [1,8] twierdzą, że zastosowanie metody przez "najeżdżanie" pozwala najszybciej określić wartość rozruchową zabezpieczenia, natomiast inni [3,10] polecają metodę dynamiczną do szybkiego określania wartości rozruchowej zabezpieczenia.

Błędny pogląd o dużej wydajności metody statycznej, najprawdopodobniej bierze się z faktu praktycznej niemożności stosowania metody dynamicznej w testerach z ręczną obsługą. Do zastosowania metody dynamicznej badania wartości rozruchowej wymagane jest spełnienie dwóch warunków:

- warunku krótkiego czasu odpowiedzi źródła na skokową zmianę wymuszenia,
- warunku pełnej automatyzacji pomiaru wartości rozruchowej przynajmniej dla jednego punktu lub najlepiej całej charakterystyki rozruchowej zabezpieczenia.

Na rys.1 przedstawiono widok okna programu *Calpro 300TS* [11] kalibratora *C300* [12] z funkcją redakcji procedury pomiarowej charakterystyki rozruchowej zabezpieczenia. Przy redakcji procedury jest możliwość wyboru jednej z dwóch metod pomiaru: metody statycznej lub metody dynamicznej. Ponieważ na czas trwania testu ma wpływ wybór metody pomiaru, w artykule przedstawiono analizę porównawczą czasu testowania zabezpieczenia z zastosowaniem metody statycznej i dynamicznej.



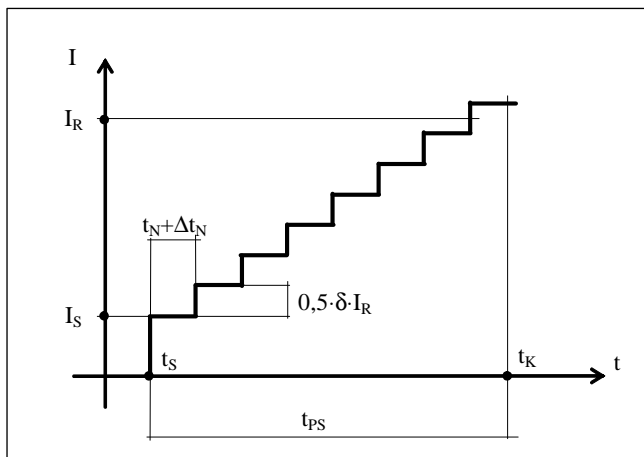
Rys. 1. Funkcja redakcji procedury pomiarowej
Fig. 1. Start-up test procedure edition function

3. Metoda statyczna

Na rys.2 przedstawiono wykres prądu I w funkcji czasu t przy pomiarze wartości rozruchowej zabezpieczenia nadprądowego metodą statyczną. W momencie czasu t_S następuje skokowa zmiana prądu od wartości początkowej równej zero do wartości startowej I_S i dalej schodkami o czasie trwania $t_N + \Delta t_N$ i wysokości równej połowie dopuszczalnego błęd pomiaru wartości rozruchowej I_R aż do przekroczenia wartości rozruchowej. Przy stosowaniu metody statycznej powinien być spełniony warunek $I_S < I_R$. Czas pomiaru t_{PS} wartości rozruchowej metodą statyczną dany jest wzorem:

$$t_{PS} = n \cdot (t_N + \Delta t_N) = \left(\frac{I_R - I_S}{0,5 \cdot \delta \cdot I_R} + 1 \right) \cdot (t_N + \Delta t_N) \quad (1)$$

gdzie: n – liczba schodków,
 t_N – znamionowy czas rozruchu,
 Δt_N – tolerancja czasu rozruchu,
 I_R – wartość rozruchowa prądu,
 I_S – wartość startowa prądu,
 δ – wartość dopuszczalna błęd pomiaru wartości rozruchowej prądu.



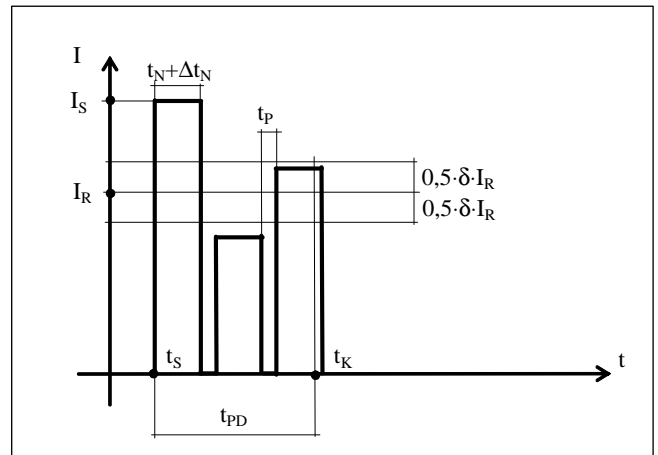
Rys. 2. Statyczna metoda badania wartości rozruchowej
Fig. 2. Static Start-up Test Method

4. Metoda dynamiczna

Na rys.3 przedstawiono wykres prądu I w funkcji czasu t przy pomiarze wartości rozruchowej zabezpieczenia nadprądowego metodą dynamiczną on/off. W momencie czasu t_S następuje skokowa zmiana prądu od wartości początkowej równej zero do wartości startowej $I_S > I_R$ o czasie trwania $t_N + \Delta t_N$. Po czasie powrotu t_P następuje skokowa zmiana prądu o wartości $0,5 \cdot I_S$. Jeżeli w tej próbie przekaźnik zadziałał, to po czasie t_P następuje skokowa zmiana prądu o wartości $0,25 \cdot I_S$, w przeciwnym przypadku (przedstawionym na rys.3) następuje skokowa zmiana prądu o wartości $0,75 \cdot I_S$. Czas pomiaru t_{PD} wartości rozruchowej metodą dynamiczną dany jest wzorem:

$$t_{PD} = n \cdot (t_N + \Delta t_N + t_P) - t_P = \left(-\log_2 \left(0,5 \cdot \delta \cdot \frac{I_R}{I_S} \right) \right) \cdot (t_N + \Delta t_N + t_P) - t_P \quad (2)$$

gdzie: t_P – czas powrotu.



Rys. 3. Badanie wartości rozruchowej metodą dynamiczną on/off
Fig. 3. Dynamic On/Off Start-up Test Method

5. Metoda dynamiczna hold

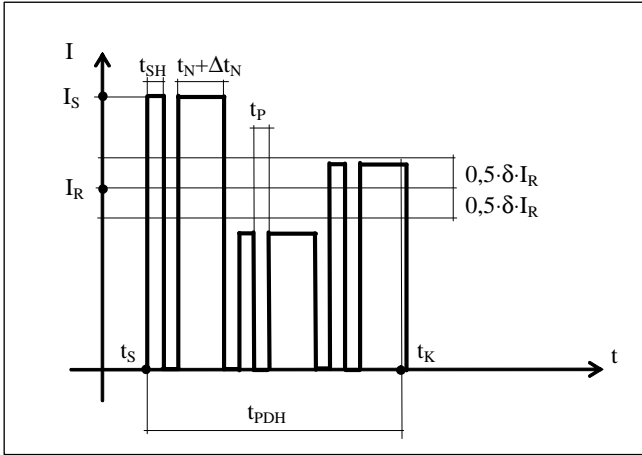
Na rys.4 przedstawiono wykres prądu I w funkcji czasu t przy pomiarze wartości rozruchowej zabezpieczenia nadprądowego metodą dynamiczną on/off hold, która w stosunku do metody dynamicznej on/off charakteryzuje się zastosowaniem dodatkowych skokowych zmian prądu o czasie trwania t_{SH} w odstępie czasu równego t_P od testowego skoku prądu. Jeżeli czas t_{SH} jest równy lub większy niż czas odpowiedzi źródła prądu, to ograniczone właściwości dynamiczne zastosowanego źródła prądu nie wpływają na jakość zbrocza testowego skoku prądu. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie bardziej ekonomicznych rozwiązań układowych źródeł prądu, co jest szczególnie istotne przy realizacji trójfazowych źródeł o szerokim zakresie dynamicznym prądu w zakresie do 100A. Czas pomiaru t_{PDH} wartości rozruchowej metodą dynamiczną hold dany jest wzorem:

$$t_{PDH} = n \cdot (t_{SH} + t_N + \Delta t_N + 2 \cdot t_P) - t_P =$$

$$= \left(-\log_2 \left(0,5 \cdot \delta \cdot \frac{I_R}{I_S} \right) \right) \cdot (t_{SH} + t_N + \Delta t_N + 2 \cdot t_P) - t_P$$

(3)

gdzie: t_{SH} – czas dodatkowego skoku.



Rys. 4. Badanie wartości rozruchowej metodą dynamiczną on/off hold
Fig. 4. Dynamic On/Off Hold Start-up Test Method

6. Komentarz do metod

Przedstawione wzory (1), (2) i (3) na czas pomiaru wartości rozruchowej należy traktować jako przybliżone a obliczony z ich wykorzystaniem czas jako wartość maksymalną. Przy stosowaniu metody statycznej czas pomiaru t_{PS} może być krótszy, w stosunku do obliczonego ze wzoru (1), o podwójną wartość tolerancji Δt_N i fakt ten zaznaczono na rys.2 przez wskazanie wartości czasu t_K przed końcem płaskiej części ostatniego schodka. Ta właściwość dotyczy również metod dynamicznych.

W metodach dynamicznych (metoda on/off, metoda prosta, metoda złożona) wartość startowa I_S może przyjmować:

- 100% wartości maksymalnej przewidzianej w procedurze pomiarowej – taki przypadek jest przedstawiony na rys.3 i metodę taką można nazwać metodą dynamiczną typu $S=100\%Max$ - zaletą metody jest szybkość (w pierwszym kroku) identyfikacja uszkodzenia przekaźnika lub błędnego połączenia,
- 50% wartości maksymalnej przewidzianej w procedurze pomiarowej i metodę taką można nazwać metodą dynamiczną typu $S=50\%Max$ - zaletą metody jest krótszy (o jeden krok) procedura pomiaru wartości rozruchowej ale identyfikacja uszkodzenia następuje w ostatnim kroku.

W przedstawionej na rys.4 metodzie dynamicznej hold każdy testowy skok prądu jest poprzedzony dodatkowym skokiem o czasie t_{SH} i przerwą o czasie t_P . Metody dynamiczne typu hold wykorzystują dodatkowy skok do zapamiętania wysterowania układu stabilizacji prądu na czas między kolejnymi dodatkowymi skokami. Jeżeli w tym czasie nie zmienia się obciążenie wyjścia prądowego, zamrożenie wysterowania układu stabilizacji nie wpływa na dokładność prądów wyjściowych. Możliwe jest skrócenie czasu pomiaru t_{PDH} przez:

- zastosowanie tylko jednego dodatkowego skoku przed pierwszym testowym skokiem prądu i metodę taką można nazwać metodą dynamiczną hold z jednokrotnym skokiem dodatkowym – wadą metody jest wydłużony czas przerwy między skokami,
- rezygnację z przerwy o czasie t_P po zakończeniu testowego skoku w przypadku niezadziałania zabezpieczenia i metodę taką można nazwać metodą dynamiczną hold z redukcją lic-

by przerw – wadą metody jest większa złożoność algorytmu procedury przy małej oszczędności czasu.

7. Analiza porównawcza

Do porównania skuteczności stosowania metod dynamicznych w stosunku do metod statycznych wybrano metody o najdłuższym czasie pomiaru wartości rozruchowej: metodę dynamiczną (rys.3) i metodę dynamiczną hold (rys.4). Czas pomiaru charakterystyki rozruchowej zabezpieczenia w 10-ciu punktach (np. zabezpieczenia kierunkowego dla 10-ciu wartości kąta przesunięcia fazowego) z trzykrotnym powtórzeniem pomiaru w każdym punkcie (obliczenie dyspersji wskazań niezbędnej dla oceny powtarzalności wyników pomiarów) dla następujących warunków:

- wartość dopuszczalna błędu $\delta=1\%$,
- wartość rozruchowa prądu $I_R=5A$,
- wartość startowa prądu dla metody statycznej $I_{SS}=2,5A$ i dla metody dynamicznej $I_{SD}=10A$ co pozwala przebadać 100% otoczenia wartości rozruchowej,
- znamionowy czas rozruchu $t_N=0,1s$ z tolerancją $\Delta t_N=0,1s$,
- czas powrotu $t_P=0,01s$ i czas dodatkowego skoku $t_{SH}=0,2s$ jest nie większy niż:
- 606,0s dla metody statycznej,
- 56,4s dla metody dynamicznej,
- 113,1s dla metody dynamicznej hold.

Dla oceny skuteczności metod zaproponowano współczynnik skuteczności S_D metody dynamicznej i S_{DH} metody dynamicznej hold wyrażone następującymi wzorami:

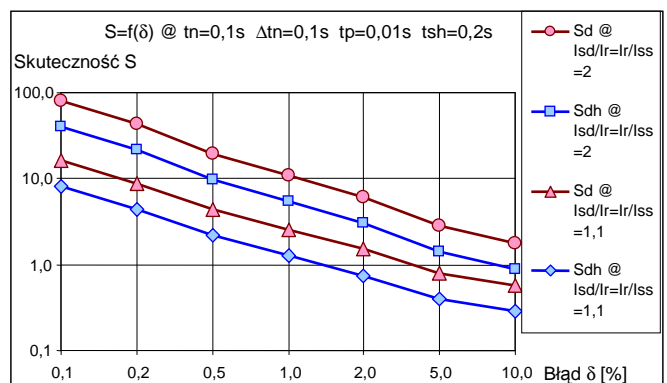
$$S_D = t_{PS} / t_{PD}$$

$$S_{DH} = t_{PS} / t_{PDH}$$

(4)

jako stosunki czasu pomiaru wartości rozruchowej metodą statyczną (1) do czasu pomiaru wartości rozruchowej metodą dynamiczną (2) lub dynamiczną hold (3).

Na rys.5 przedstawiono wykres współczynników skuteczności w funkcji wartości dopuszczalnej błęd pomiaru wartości rozruchowej dla dwóch szerokości badanego otoczenia wartości rozruchowej. Z wykresu widać, że zastosowanie metod dynamicznych pozwala szybciej określić wartość rozruchową zabezpieczenia ($S>1$) w przypadkach wymagania małych wartości błęd i zwiększania szerokości badanego otoczenia wartości rozruchowej. A to oznacza, że metody dynamiczne pozwalają zwiększać wymagania dokładnościowe testu i upraszczać redakcję procedur pomiarowych – test może być wykonywany automatycznie w pełnym zakresie sygnałów wejściowych od zera do wartości dopuszczalnych bez istotnego zwiększania czasu trwania testu. Jest to szczególnie istotne w przypadku automatyzacji testu wielostrefowych zabezpieczeń odległościowych – w testach tych jest penetrowany szeroki zakres wartości rozruchowych zabezpieczenia.



Rys. 5. Skuteczność metod dynamicznych
Fig. 5. Dynamic Methods efficiency

8. Wnioski

Stosowanie metod dynamicznych pozwala zdecydowanie szybciej badać wartości rozruchowe zabezpieczeń, szczególnie w przypadkach wymagania wysokich dokładności i dużych szerokości otoczenia wartości rozruchowej. Aby uzyskać ten efekt tester powinien być przystosowany do realizacji zautomatyzowanych testów programowanych za pomocą komputera i bez stosowania ręcznych przełączników i pokręteł. W najnowszym krajowym trójfazowym kalibratorze mocy typu C300 [12] zastosowano metodę dynamiczną on/off hold do automatycznego i szybkiego testowania zabezpieczeń. Zachowano również możliwość wyboru metody statycznej dla tych użytkowników, którzy preferują badania w wąskich otoczeniach wartości rozruchowej.

7. Literatura

- [1] Woliński K., Kuran Z.: Badania okresowe zabezpieczeń w zakładach energetycznych – stan obecny i perspektywy, www.ien.com.
- [2] Tester zabezpieczeń TZ-2c, Apex, www.apex-apex.pl
- [3] Wiliński J.: Cyfrowe wymuszalniki prądu EMEX100 I EMEX400DC, Wiadomości Elektrotechniczne Nr2/2005.
- [4] MPRT Protective Relay Test System, www.megger.com.
- [5] Test Universe Software. Protection Relay Testing, www.omicron.at.
- [6] The Integrated Testing Solution TDMS, www.isatest.com.
- [7] APTS3 Protection Relay Test Set, www.relayeng.com.
- [8] Kuran Z., Skrodzki S.: Doskonalenie metod badania zabezpieczeń, Wiadomości Elektrotechniczne Nr1-2/2004.
- [9] Werstiuk Ch.: *The Relay Testing Handbook: Relay Testing Fundamentals*. Valence Electrical Training Services, 2007, USA.
- [10] Giuliante A.: *New Techniques for Dynamic Relay Testing*. Neta Word Winter 2006-2007, www.netaworld.org.
- [11] Calpro 300 TS. Program komputerowy do sterowania kalibratorem typu C300. Wersja TS Test System – automatyczne testowanie urządzeń, instrukcja obsługi, Calmet, 2007, www.calmet.com.pl.
- [12] Trójfazowy kalibrator mocy i tester aparatury energetycznej typu C300, karta katalogowa, Calmet, 2007, www.calmet.com.pl.

Title: Static and dynamic relay testing – time consumption estimation

Artykuł recenzowany