

Ryszard Jaworski, Zygmunt Kulhawik, Gustaw Przywara, Andrzej Domino, Henryk Świątek

Nowa metoda pomiaru parametrów wyłączników szybkich prądu stałego

W artykule przedstawiono wyniki badań wyłączników szybkich prądu stałego przy wykorzystaniu nowej metody pomiaru parametrów wyłączników szybkich prądu stałego, przy zastosowaniu urządzenia typu TWS-6000 opracowanego w ramach projektu celowego, sfinansowanego przez Naczelną Organizację Techniczną (Centrum Innowacji NOT). Tester typu TWS-6000 jest rozwiązaniem oryginalnym oraz spełnia wymagania producentów i użytkowników wyłączników.

Podstawowym wyposażeniem każdej podstacji trakcyjnej są wyłączniki szybkie prądu stałego, przeznaczone do:

- łączenia prądów roboczych i przeciążeniowych,
- zabezpieczania przed prądami zwarciovymi na podstacjach i w kabinach sekcyjnych dla kolei, tramwajów, metra oraz na pojazdach trakcyjnych,
- zabezpieczania przed prądami zwarciovymi w prostownikach oraz przekształtnikach tyrystorowych w hutnictwie, górnictwie itp.

Wyłączniki szybkich wymagają okresowych przeglądów w zakresie sprawdzania:

- czy wartość prądu powodująca wyłączenie wyłącznika jest zgodna z prądem nastawy wyłącznika określonej przez położenie wskaźnika na jego skali,
- zdolności załączania wyłącznika, tzn. określenie procentowej wartości prądu nastawy wyłącznika, przy której wyłącznik powinien dać się załączyć; praktycznie parametr ten określa zdolność załączania napięcia na sieć obciążoną odbiorami trakcyjnymi.

Testy te wymagają wymuszania w obwodzie głównym prądu o wartościach kilku tysięcy amperów, przy napięciach kilku do kilkunastu woltów. Oznacza to moc rzędu kilkudziesięciu, a nawet powyżej stu kilowatów.

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań wyłączników szybkich przy wykorzystaniu urządzenia typu TWS-6000. Urządzenie jest zasilane z sieci jednofazowej 230 V 50 Hz i pobiera maksymalnie około 2 kVA mocy. Badania przeprowadza się w miejscu zainstalowania wyłączników, co eliminuje potrzebę ich transportu do laboratorium wyposażonego w tester stacjonarny. Jest to istotna zaleta opracowanego urządzenia, gdyż w czasie transportu wyłączniki mogą ulegać rozkalibrowaniu.

Metodyka badania wyłączników

Konieczność okresowych przeglądów wymaga:

- sprawdzenia zgodności wartości prądu wyzwalacza I_d z wartością prądu nastawy I_{dm} ,
- sprawdzenia zdolności załączania,
- sprawdzenia czasu załączania,
- pomiaru rezystancji styków.

W przypadku wartości niezgodnych z danymi znamionowymi wyłącznika konieczna jest jego regulacja.

Pomiar prądu wyzwalacza I_d polega na wygenerowaniu impulsu probierczego o wartości maksymalnej o 100 lub 200 A powyżej prądu nastawy I_{dm} i zmierzeniu wartości prądu płynącego w momencie, w którym rozpoczyna się proces rozwarcia styku głównego wyłącznika. W przypadku wartości odbiegającej od nastawionej na wyłączniku wprowadza się odpowiednią korektę.

Pomiar zdolności załączenia polega na określeniu procentowej wartości prądu nastawy wyłącznika I_{dm} , przy której testowany aparat powinien dać się załączyć. W sensie praktycznym parametr ten odpowiada zdolności załączania napięcia na sieć obciążoną odbiorami trakcyjnymi. Procentową wartość prądu, przy której wyłącznik daje się załączyć, w stosunku do prądu nastawy wyzwalacza I_d wyraża współczynnik k_1 .

Pomiar czasu wyłączenia – czas wyłączenia wyłącznika charakteryzuje jego dynamiczne właściwości. Jest wyznaczany podczas narastania prądu i mierzony od momentu, gdy przekroczy wartość prądu I_d do chwili rozwarcia styków.

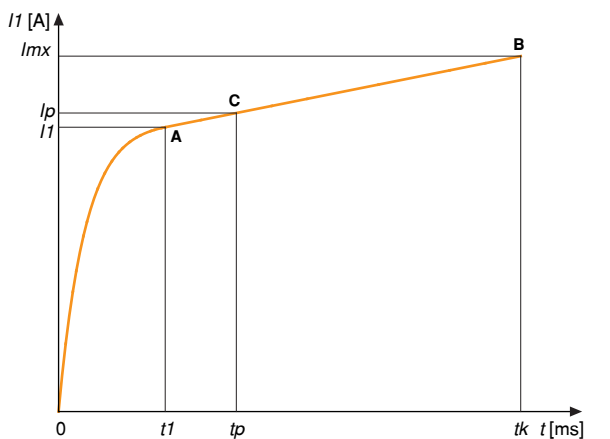
Pomiar rezystancji wykonuje się metodą techniczną. Formowany przez tester prąd o dużych wartościach pozwala zmierzyć spadki napięć na bardzo małych rezystancjach. Zostało to wykorzystane na potrzeby pomiaru rezystancji całości lub fragmentu zewnętrznego obwodu pomiarowego. Typowym zastosowaniem jest pomiar rezystancji styku głównego wyłącznika.

Badania wyłączników szybkich za pomocą testera TWS-6000

Przeprowadzenie wymienionych badań wymaga urządzenia generującego impuls prądu probierczego o odpowiednim kształcie i wartości. Przedstawiony w artykule tester typu TWS-6000, umożliwia generację odpowiednich impulsów i umożliwia przeprowadzenie kompleksowych badań wyłączników.

Według wymagań normy PN-EN 50123-2 podczas testowania wyłączników szybkich, na wynik może wpływać stromość narastania prądu pomiarowego. Opracowany tester TWS-6000 zapewnia w zakresie pomiarowym wolne narastanie prądu ze stromością od 200 A/s do 2000 A/s (rys. 1).

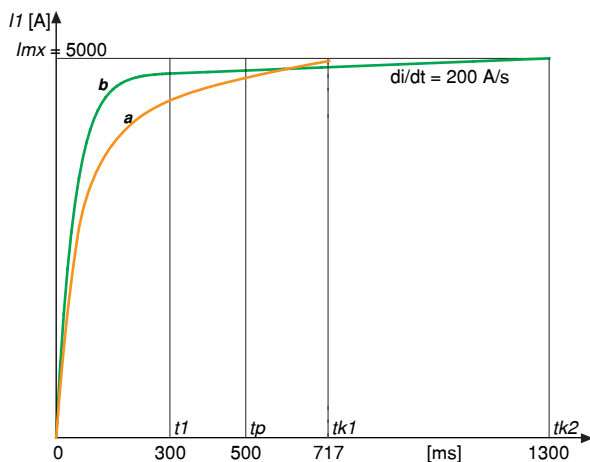
W testerze można generować dwa rodzaje impulsu probierczego: impuls standardowy i impuls liniowo narastający. W czasie od 0 do t_1 prąd dla obu rodzajów impulsów narasta w przybliżeniu aperiodycznie do wartości I_1 , a następnie w przedziale czasu od t_1 do t_k w impulsie standardowym narasta powoli z malejącą stromością, a w impulsie liniowym narasta ze stałą stromością od wartości I_1 do I_{mx} . Stromość narastania prądu w impulsie probierczym ma wpływ na zadziałanie (wyłączenie) wyłącznika. Stromość ta zmniejsza się ze wzrostem czasu i po czasie t_p jej wpływ jest pomijalnie mały. Jeżeli rozwarcie styków wyłącznika nastąpi przed chwilą t_p , to pomiar wartości prądu jest traktowany jako niedokładny, co sygnalizuje komunikat na ekranie komputera.



Rys. 1. Przykładowy przebieg impulsu prądowego generowanego w testrze TWS-6000 podczas próby pomiaru prądu nastawy badanego wyłącznika prądu stałego

Na rysunku 2 przedstawiono dwa rodzaje impulsu probierczego:

- impuls nazywany dalej standardowym, o czasie trwania $tk1 = 717$ ms i nastawianej wartości maksymalnej Imx ;
- impuls o przebiegu liniowo narastającym w przedziale czasu od $t1$ do $tk2$ o nastawianych wartościach prądu maksymalnego Imx i stromości narastania di/dt .



Rys. 2. Przykładowe przebiegi: a – impulsu standardowego; b – przebiegu o liniowym narastaniu ze stromością 200 A/s, przy wartości prądu maksymalnego $Imx = 5000$ A

Wartości przebiegu prądu są kształtowane przez stopniowe zmniejszanie rezystancji szeregowej w obwodzie styków badanego wyłącznika. Odbywa się to przez dołączenie w odpowiednim momencie równoległych rezystorów za pomocą kluczy tranzystorowych.

Czasy załączania kluczy przy generacji impulsu standardowego są zdeterminowane i nie zmieniają się przy różnych wartościach prądu maksymalnego Imx . Stromość narastania prądu po czasie tp jest inna dla różnych wartości prądu maksymalnego Imx .

Czasy załączania kluczy przy generacji impulsu liniowego są przy każdej próbie wyliczane na podstawie modelu cyfrowego obwodu prądu pomiarowego tak, aby prąd w przedziale czasu od 0 do $t1$ narastał wykładniczo, a od $t1$ do tk narastał liniowo z zadaną stromością. Czas $t1$ wynosi 300 ms, a czas tk może przyjmować różne wartości. Wartości rezystancji w tym modelu są usta-

lane na podstawie pomiaru skalującego wykonywanego na początku badania wyłącznika.

Do pomiarów eksploatacyjnych zaleca się stosowanie impulsu standardowego oraz impulsu liniowego ze stromością narastania 200 A/s. Impulsy liniowe o innych parametrach (stromości z przedziału od 200 do 1500 A/s i czasach tk do 2000 ms) można generować w celu bliższego rozpoznania właściwości badanego wyłącznika.

Funkcjonalność testera TWS-6000

Do badań wyłączników szybkich jako urządzenie generujące impuls prądu probierczego o odpowiednim kształcie i wartości wykorzystano układ testera typu TWS-6000, który umożliwia przeprowadzenie kompleksowych badań wyłączników. Cechą charakterystyczną testera jest praca w dwóch etapach. W etapie pierwszym jest gromadzona energia w baterii superkondensatorów, a następnie w etapie drugim jest generowany probierczy impuls prądowy o zadanej wartości i kształcie w funkcji czasu. Pozwala to na zasilanie urządzenia z jednofazowej sieci prądu przemiennego 230 V 50 Hz o stosunkowo niewielkim poborze mocy – maks. 2 kVA. Na rysunku 3 przedstawiono tester podczas badania wyłącznika prądu stałego na podstacji.



Rys. 3. Tester TWS-6000 na podstacji podczas testowania wyłącznika

Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy testera. Źródłem energii zapewniającej wydajność prądową testera o wartości 6000 A jest bateria kondensatorów BSC o wielkiej pojemności. Prąd w obwodzie probierczym jest kształtowany przez kluczowanie rezystorów w zespole zmiennej rezystancji VR według wymaganej sekwencji.

Kondensatory są ładowane przez prostownik tyrystorowy PT z transformatora jednofazowego umieszczonego w walizce zasilacza PS.

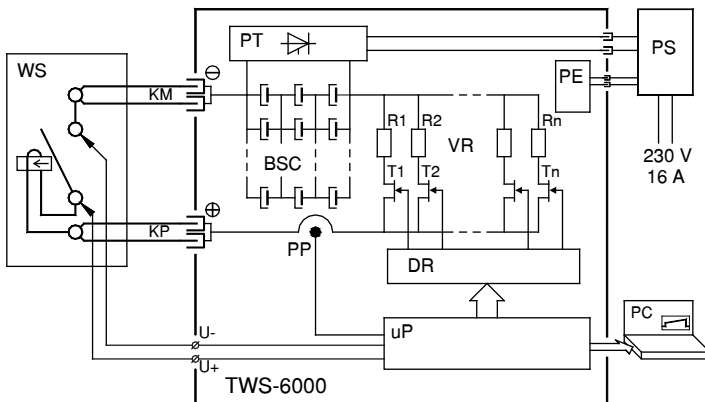
Ładowanie baterii kondensatorów, załączanie tranzystorów za pośrednictwem sterownika DR oraz pomiary prądu i napięcia na wybranym elemencie obwodu zewnętrznego realizuje mikroprocesor uP sterowany z przenośnego komputera PC.

Wartość prądu płynącego z baterii kondensatorów do obwodów zewnętrznych testera zależy od :

- napięcia, do którego jest naładowana bateria kondensatorów;
- rezystancji obwodu zewnętrznego dołączonego do zacisków testera (obwód główny wyłącznika WS i kable KP i KM łączące tester z wyłącznikiem – rezystancja kabli jest limitowana);
- rezystancji zespołu VR.

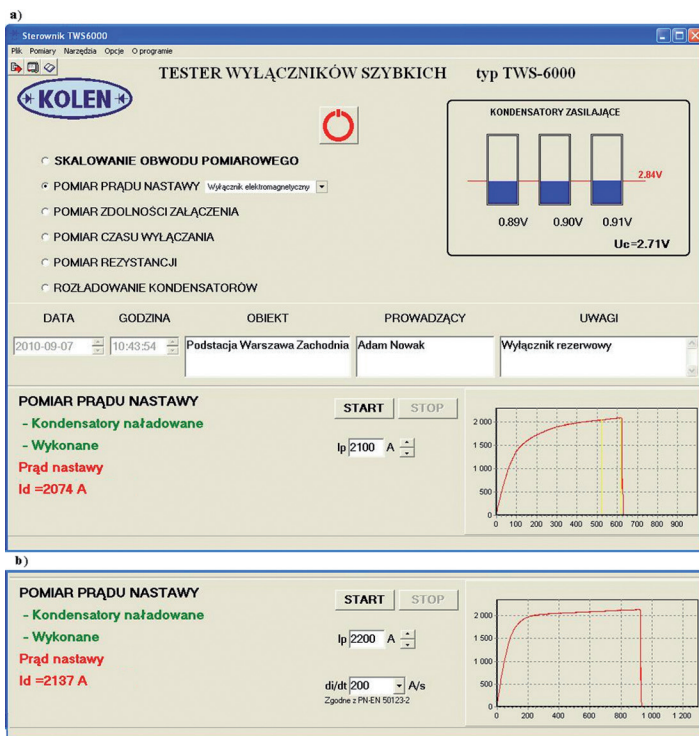
Wszystkie funkcje testera TWS-6000 są realizowane z pomocą programu zainstalowanego w komputerze z systemem Windows. Komunikacja z testerem odbywa się przez łącze szeregowe USB. Po uruchomieniu programu na ekranie komputera pojawia się pulpit sterowniczy (rys. 5).

Funkcje realizowane przez tester pokazane są po lewej stronie pulpitu. Poziomą napięć do jakich są naładowane sekcje baterii kondensatorów pokazane są po prawej stronie ekranu. Na dole ekranu pokazywane są wyniki realizowanych prób. Wyniki te są



Rys. 4. Schemat blokowy testera wyłączników szybkich

TWS-6000 – tester, PS – zasilacz, PC – komputer przenośny, WS – badany wyłącznik szybki; BSC – bateria superkondensatorów, PT – prostownik tyrystorowy, VR – zespół zmiennej rezystancji, PP – przetwornik prądowy, uP – sterownik mikroprocesorowy, DR – sterownik tranzystorów zespołu zmiennej rezystancji, PE – zasilacz elektroniki, U-, U+ – zaciski do pomiaru napięcia na styku wyłącznika, KP i KM – kable przyłączeniowe



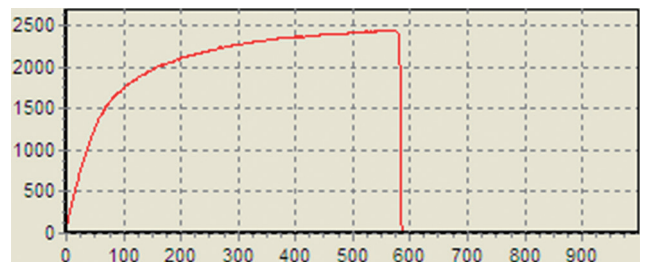
Rys. 5. Przykładowy widok pulpitu sterującego na ekranie komputera po wykonaniu pomiaru prądu nastawy wyłącznika

a – z wykorzystaniem metody standardowej, b – z wykorzystaniem metody liniowej

również gromadzone w pamięci komputera i po wprowadzeniu w okienkach (OBIEKT, PROWADZĄCY, UWAGI) dodatkowych informacji przez operatora prowadzącego próbę mogą być wydrukowane w postaci raportu.

Przykładowe wyniki badań wyłączników

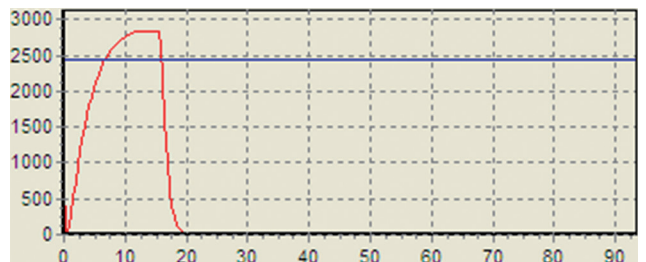
Zarejestrowane podczas sesji pomiarowych przebiegi prądów probierczych pozwalają na dokładniejsze zdiagnozowanie badanego wyłącznika. Na kolejnych rysunkach są pokazane przykłady przebiegów prądu probierczego. Wartości prądu są wyrażone w amperach, a czas w milisekundach.



Rys. 6. Przebieg prądu probierczego przy zastosowanym impulsie standardowym

Na rysunku 6 pokazano przebieg prądu podczas pomiaru nastawy prądu wyzwalacza w wyłączniku zapadkowym firmy Secheron. Zastosowano tu impuls standardowy o nastawionej wartości maksymalnej 2500 A. Styki rozwarły się przy prądzie 2438 A.

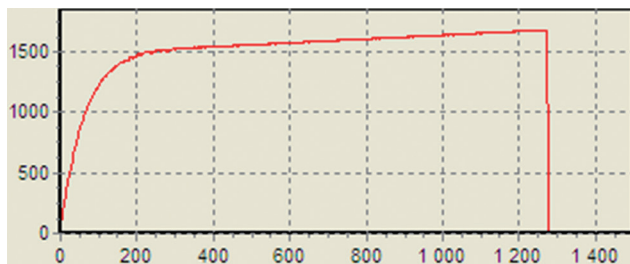
Oscylogram na rysunku 7 pokazuje pomiar czasu wyłączenia w tym samym wyłączniku. Niebieska linia pokazuje poziom prądu zadziałania wyzwalacza. Odcinek czasu mierzony między zboczami impulsu prądu, gdy jego wartość przekracza poziom prądu zadziałania jest miarą czasu wyłączenia. Wynosi on w tym przypadku 9 ms.



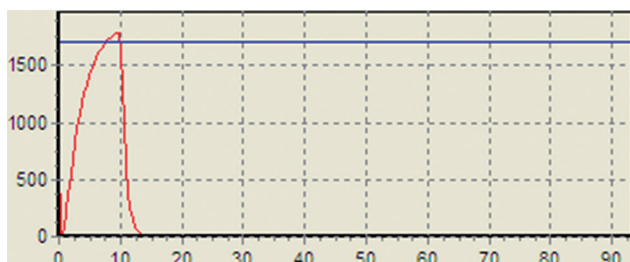
Rys. 7. Pomiar czasu wyłączenia

Kolejne dwa oscylogramy pokazane na rysunkach 8 i 9 pokazują analogiczne przebiegi prądu probierczego przy pomiarze wyłącznika ultraszybkiego firmy Voltan. Pomiaru nastawy prądu wyzwalacza wykonano z pomocą impulsu liniowego o stromości 200 A/s i nastawionej wartości maksymalnej 1700 A. Zmierzony prąd wyzwalacza $I_d = 1680$ A. Czas wyłączenia wynosi tu ok. 2 ms.

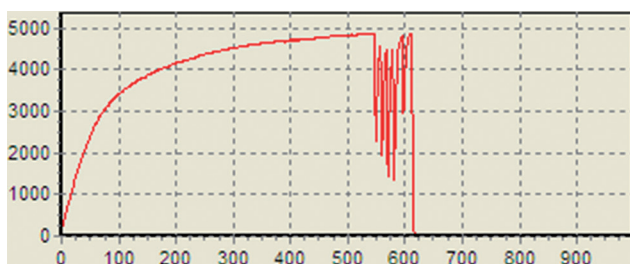
Na kolejnych dwóch oscylogramach – rysunki 10 i 11 są pokazane przebiegi prądu probierczego wskazujące na złą pracę wyłącznika elektromagnetycznego z bocznikiem indukcyjnym.



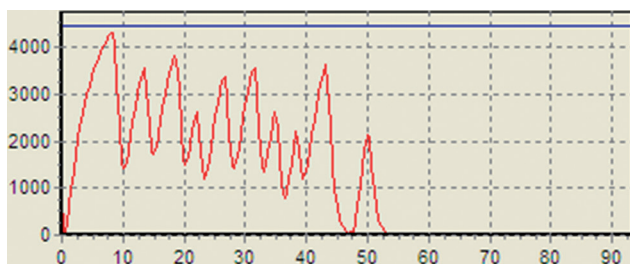
Rys. 8. Przebieg prądu probierczego przy zastosowanym impulsie liniowym



Rys. 9. Pomiar czasu wyłączenia



Rys. 10. Długi stan nieustalony w procesie rozłączania styków – 70 ms



Rys. 11. Przebieg prądu podczas pomiaru czasu załączania przy niesprawnym

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań wyłączników szybkich przy wykorzystaniu urządzenia typu TWS-6000. W trakcie badań generowano probiercze impulsy prądowe o różnym kształcie i amplitudzie. Urządzenie generujące wykazało dużą dokładność odwzorowywania założonych parametrów, a co za tym idzie wysoką powtarzalność kształtu impulsów.

Proces badania wyłączników, dzięki wyposażeniu urządzenia w komputerowy system sterowania procesami pomiarowymi, jest bardzo prosty i łatwy w obsłudze. Wizualizacja prowadzonej próby pozwala na szybką ocenę parametrów badanego wyłącznika. Dobrze zorganizowana jest rejestracja wyników, raport z badań oraz współpraca z zakładową siecią komputerową.

Przeprowadzone pomiary wyłączników szybkiego prądu stałego z przechwytem elektromagnetycznym, zapadkowych oraz ultraszybkich instalowanych na podstacjach trakcyjnych z nastawami do 6000 A potwierdziły możliwość prowadzenia badań diagnostycznych przy wykorzystaniu urządzenia TWS-6000, gdyż uzyskane wyniki pomiarów są równoznaczne z wynikami uzyskanymi w urządzeniach stacjonarnych.

Zaletą testera TWS-6000 jest jego zasilanie z sieci jednofazowej 230 V 50 Hz o stosunkowo niewielkim poborze mocy (maks. 2 kVA). Umożliwia to bezproblemowe korzystanie z testera praktycznie w dowolnym miejscu. Niewielka masa testera czyni z niego urządzenie przenośne.

Tester TWS-6000 był prezentowany na 38 Międzynarodowej Wystawie Wynalazczości Nowoczesnej Techniki i Wyrobów w Genewie (kwiecień 2010), gdzie został wyróżniony ZŁOTYM MEDALEM oraz dodatkowo MEDALEM Mołdawskiej Agencji Własności Intelaktualnej.



Ryszard Jaworski – Firma KOLEN

Zygmunt Kulhawik – Firma KOLEN

Gustaw Przywara – Firma KOLEN

Andrzej Domino – Instytut Elektrotechniki

Henryk Świątek – Instytut Elektrotechniki