

doi:10.15199/48.2016.01.05

## Stanowisko pomiarowe do określania parametrów ruchu styków elektrycznego łącznika zwarcowego

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia konstrukcję stanowiska pomiarowego, dzięki któremu możliwe jest wyznaczenie charakterystyk czasowych ruchu styków zwarcowego, szybkiego łącznika elektrycznego, wykorzystującego mechanizm kulowy. Konstrukcja mechaniczna oparta jest na płycie bazowej, na której znajduje się badany łącznik. Jako system pomiarowy wykorzystano akcelerometr o dużym zakresie pracy oraz wielokanałowy oscyloskop cyfrowy. Przedstawione zostały dane pomiarowe oraz ich analiza.

**Abstract.** The article presents the design of the test stand, whereby it is possible to designate the movement characteristics of short-circuit contacts of high-speed electrical switch, which uses the ball mechanism. The mechanical design is based on a base plate, on which the test switch is mounted. As a measuring system used an accelerometer with a large operating range and multi-channel digital oscilloscope. Measurement data and their analysis were presented. (**The test stand for determining contacts movement parameters of electrical short circuit switch**).

**Słowa kluczowe:** łączniki elektryczne, dynamika łączenia

**Keywords:** electrical switches, switching dynamics

### Wstęp

Kontrola sieci energetycznej oraz współpracujących z nią aparatów elektrycznych jest podstawowym zadaniem, jakie należy wykonywać w celu zachowania niezawodności i spójności działania sieci przesyłowych. Ze względu na swoje specyficzne cechy mechaniczno-elektryczne oraz szerokie zastosowania funkcyjne, łączniki energetyczne wymagają szczególnej uwagi podczas konstruowania i eksploatacji. Do grupy łączników zalicza się łączniki zwarcowe, których dotyczy niniejszy artykuł.

Szybki, elektryczny łącznik zwarcowy jest to aparat elektryczny należący do grupy elementów łączeniowych [1]. Jego podstawowym zadaniem jest łączenie obwodów elektrycznych przy przepływie dużego prądu zwarcowego, a jego podstawowym parametrem elektrycznym jest bardzo niska rezystancja styków w stanie zamknięcia.

Podstawowym parametrem mechanicznym jest czas zamknięcia styków nazywany czasem własnym. Ze względu na specyfikę pracy czas zamknięcia łącznika musi być krótki i powtarzalny, a jednocześnie łącznik musi charakteryzować się dużą trwałością łączeniową.

### Cel i zakres pracy

Celem pracy było opracowanie stanowiska pomiarowego do określenia parametrów czasowych ruchu styków szybkiego elektrycznego łącznika zwarcowego. Zastosowano łącznik dwuprzerowy z kulowym mechanizmem zamykania i otwierania styków łącznika. Przedstawiono elementy składowe konstrukcji oraz zastosowane metody pomiarowe. Przedstawiono wyniki wstępnych pomiarów badanego łącznika (z uwzględnieniem różnych wartości napięcia zasilania dwóch cewek wyzwalających), ich analizę oraz wnioski do dalszych prac i badań.

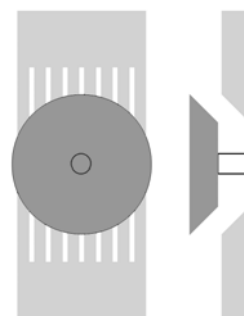
### Łącznik elektryczny

Zasadniczym elementem opisywanego łącznika zwarcowego są dwa styki nieruchome i jeden ruchomy, tworzące zespół dwóch widocznych przerw (rys.1).

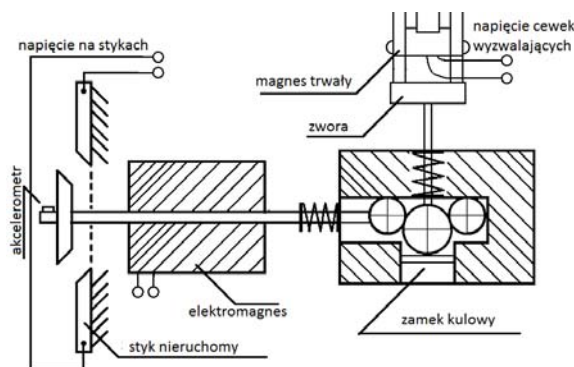
Taka konstrukcja umożliwia uzyskanie zdolności łączenia strumienia prądu o dużej wartości energii, powodującej wystąpienie łuku elektrycznego rozłożonego na dwie powietrzne przerwy.

Styki nieruchome łącznika wykonano z płaskowników miedzianych tak ukształtowanych, aby wraz ze stykiem ruchomym tworzyły zespół zapewniający niską rezystancję stykową, poprzez zwielokrotnienie pojedynczych powierzchni styku [3]. Styk ruchomy w postaci krążka o

stożkowej powierzchni bocznej, umocowano na trzpieniu, który jest wsuwany poprzez układ mechaniczny zamka kulowego, a wysuwany dzięki zastosowaniu tzw. elektromagnesu garnkowego. Zastosowanie zamka kulowego umożliwia uzyskanie małych wartości czasu własnego łącznika.



Rys.1. Model zespołu styków łącznika



Rys.2. Model poglądowy łącznika

Zamek kulowy łącznika składa się z kilku kulek stalowych. Środkowa kulka jest przesuwana wraz popychaczem zwory wyzwalającej. Zwolnienie zwory poprzez podanie napięcia na cewki wyzwalające, powoduje przesunięcie środkowej kulki zamka w dół. Zsunięcie dwóch bocznych kulki umożliwia przesunięcie się trzpienia na którym umocowany jest styk ruchomy łącznika. Podczas otwierania styków łącznika, trzpień przesuwana w sposób umożliwiający wpadnięcie kulki środkowej na wcześniejszą pozycję. Zwora magnesu trwałego w stanie otwarcia styków znajduje się u góry i jest podtrzymywana przez pole

magnetycznego tego magnesu. Podanie napięcia na cewki wyzwalające powoduje przepolaryzowanie pola wokół zwory, jej zwolnienie i ruch ku dołowi, czego konsekwencją jest zamknięcie styków łącznika.

### Stanowisko pomiarowe

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi następujące zespoły:

- badany szybki łącznik zwarciowy (1) (rys. 3),
- stycznik załączający elektromagnes garnkowy, dzięki któremu zrealizowane jest elektryczne otwieranie styków łącznika poprzez wypchnięcie trzpienia osiowego (2),
- dwa przyciski klawiszowe, odpowiadające za załączenie wyzwolenia zamknięcia styków łącznika (podanie napięcia na cewki wyzwalające) oraz za otwarcie styków łącznika (podanie napięcia zasilającego na stycznik, który załącza elektromagnes garnkowy) (3),
- akcelerometr z wyjściem napięciowym, umieszczony na przedłużeniu trzpienia osiowego, gdzie wartość napięcia wyjściowego jest proporcjonalna do wartości przyspieszenia podczas ruchu styków (4) [5],
- układ zasilania (bateria) akcelerometru i zespół gniazd pomiarowych (5)
- transformator włączony w obwód cewek wyzwalających, na wyjściu którego pojawia sygnał napięciowy, którego zbrocza narastające odpowiada momentowi podania napięcia na cewki wyzwalające (6),
- obwód probierczy na stykach łącznika, dzięki któremu możliwy jest pomiar napięcia bezpośrednio na stykach (uzyskanie przebiegu drgań styków) (7),
- płyta bakelitowa, stanowiąca podstawę mechaniczną całej konstrukcji.



Rys.3. Badany łącznik



Rys.4. Stanowisko pomiarowe

Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci przebiegów napięcia w funkcji czasu. Wyznaczono je za pomocą cyfrowego wielokanałowego oscyloskopu z możliwością rejestracji danych. Źródłem wyzwolenia podstawy czasu oscyloskopu był sygnał napięciowy na wyjściu transformatora znajdującego się w obwodzie cewek

wyzwalających. Sygnały napięciowe wyprowadzone zostały do gniazd BNC na panelu, umożliwiającym wygodne podłączenia do przyrządów pomiarowych. Na rysunku 3. przedstawiono zdjęcie stanowiska z obiektem badań (bez oscyloskopu).

### Wyznaczane charakterystyki i parametry czasowe

Podstawowym parametrem czasowym łącznika zwarciowego jest jego czas własny. Jest to czas między podaniem napięcia sterującego na cewki wyzwalające, a zwarciem styków o pełnej styczności. Czas ten jest ważny z punktu widzenia wystąpienia łuku elektrycznego pomiędzy stykami łącznika i dlatego musi być jak najkrótszy. Drugim ważnym parametrem jest niepowtarzalność czasu własnego, dzięki której możliwa jest ocena działania łącznika pod kątem jego trwałości i powtarzalności łączenia styków [2].

Wartość czasu własnego łącznika szacowana wyznaczano na stanowisku z zarejestrowanego oscylogramu, jako różnicę między czasem zbrocza narastającego sygnału napięciowego z transformatora i czasem wystąpienia zbrocza opadającego sygnału napięcia zebranego ze styków nieruchomych łącznika. Poprzez rezystor podłączono do styków źródło napięcia o znanej wartości. W stanie rozwarcia wartość napięcia na stykach jest równa wartości napięcia tego źródła, w stanie zwarcie styków łącznika wartość napięcia na stykach spada do zera.

Powyższy układ probierczy pozwala również na uzyskanie jednej z podstawowych charakterystyk pracy łącznika czyli charakterystykę drgań styków. Można ją uzyskać poprzez powiększenie oscylogramu zbrocza opadającego sygnału napięciowego zbieranego ze styków łącznika.

Drugą równie ważną charakterystyką pracy łącznika jest przebieg wartości przyspieszenia styku ruchomego w funkcji czasu podczas zamykania łącznika. Stopień zafalowania przebiegu świadczy o stanie szczeliny w którym przesuwa się trzpień oraz o stanie zużycia zamka kulowego, możliwa jest analiza tego przebiegu pod kątem luzów i ewentualnego „docierania się” mechanizmu ruchomego [4].

Po scałkowaniu przebiegu przyspieszenia uzyskiwana jest charakterystyka prędkości w funkcji czasu zamykania styków łącznika. Na podstawie tej charakterystyki możliwe jest określenie wartości prędkości hamowania i wartości prędkości w momencie zwarcia styków. Wartość prędkości w momencie zwarcia styków musi być dostosowana do wartości napięcia zasilającego w torze prądowym załączanym przez łącznik, w celu wyeliminowania bądź ograniczenia występującego łuku elektrycznego.

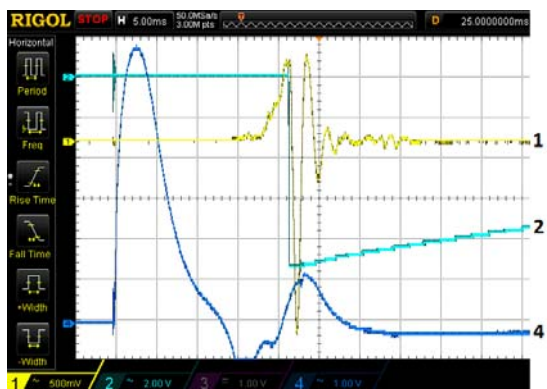
### Wyniki pomiarów

Analiza uzyskanych przebiegów przyspieszenia oraz napięcia na stykach w procesie ich zwarcia dla dwóch różnych wartości napięcia zasilającego cewki wyzwalające (rys. 5 i 6) pozwoliło na zarejestrowanie początku podania napięcia na cewki wyzwalające (przebieg ciemnoniebieski, kanał 4) oraz równie wyraźny czas zetknięcia styków w postaci zbrocza opadającego sygnału napięciowego ze styków łącznika (przebieg błękitny, kanał 2).

Analiza przebiegu przyspieszenia (przebieg żółty, kanał 1) pozwala na wyznaczenie wartości przyspieszenia i prędkości styków w momencie ich zwarcia. Wyniki pomiarów parametrów łącznika, dla dwóch wartości napięcia wyzwalającego cewki został przedstawiony w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów

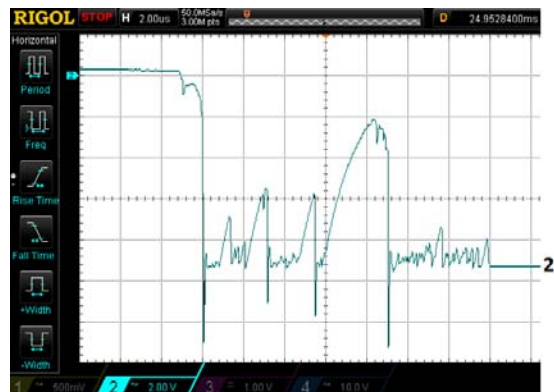
Napięcie wyzwolenia cewek	Czas własny	Przyspieszenie	Prędkość
110V DC	21,7 ms	110 g	2,23 m/s
220V DC	10,9 ms	125 g	2,25 m/s



Rys.5. Przebiegi napięcia dla  $U_s = 110VDC$  w funkcji czasu



Rys.6. Przebiegi napięcia dla  $U_s = 220VDC$  w funkcji czasu



Rys.7. Przebieg napięcia w funkcji czasu na stykach przy zwiększonej podstawie czasu oscyloskopu

Stwierdzono, że napięcie zasilania cewek wyzwalających nie ma dużego wpływu na wartość przyspieszenia i prędkości styku ruchomego łącznika zwarcowego. Dwukrotny wzrost napięcia zasilające spowodował wzrost przyspieszenia o około 14% i prędkości o 1%. Natomiast w większym stopniu zmiana ta wpłynęła na czas własny łącznika, który zmniejszył się o około 50%, czyli o połowę.

Należy nadmienić, że są to wyniki dla tego konkretnego łącznika, konkretnego stanowiska pomiarowego. Ponadto nie zbadano powtarzalności parametrów działania łącznika i nie przeprowadzono analiz statystycznych procesu. Konieczne będzie wykonanie takiej analizy w dalszych badaniach nad właściwościami styczników, ponieważ prezentowana praca była ukierunkowana na budowę stanowiska.

Szczególnej uwagi wymaga analiza przebiegu przyspieszenia. Widoczne są na nim dwa maksima. Czas pierwszego z nich określa moment zatrzymania się styków podczas ruchu, drugie maksimum i następujące po nim zafalowania sygnału są spowodowane drganiami wynikającymi z uderowego łączenia styków. Skrócenie

czasu własnego łącznika spowodowało zwiększenie amplitudy drgań układu. Charakterystyczne zafalowania przebiegu, jeszcze przed wystąpieniem pierwszego maksima lokalnego można uzasadnić docieraniem się układu mechanicznego styków i występującymi oporami ruchu trzpienia. Wychwytywanie takich stanów jest szczególnie ważne podczas diagnostyki łącznika.

Wyznaczony przebieg napięcia na stykach (rys. 7) pokazuje iż zjawisko drgań styków nie ma dużego wpływu na wcześniej opisane przebiegi i ich parametry. Skala zjawiska drgań styków (czas trwania zjawiska) jest na tyle mała w porównaniu do wartości czasów własnych łącznika, że można to zjawisko pominąć (oczywiście dla tego konkretnego łącznika).

Z punktu widzenia konstrukcyjnego najciekawszym zjawiskiem, jaki udało się zaobserwować, są przenoszące się na układ pomiarowy drgania styków przycisku klawiszowego, który podaje napięcie na cewki wyzwalające. Drgania te widoczne są w pierwszej podziałce na oscylogramach (rys. 5 i 6) z tym, że zjawisko to nasiliło się po wzroście napięcia do 220V. Drgania te wynikają z konstrukcji mechanicznej samych przycisków klawiszowych, a nasilenie przy drugim pomiarze wynika z wyższego napięcia zasilającego. Obserwacje te sugerują zastosowanie innego rodzaju sposobu wyzwalania całego układu, np. poprzez użycie łącznika tyrystorowego.

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania pokazują, że w przypadku łącznika zwarcowego iż zjawisko drgań styków, nie ma dużego wpływu na wartość czasów własnych. Nie można jednak zapominać o istnieniu tego zjawiska.

Uwzględnienie podczas badań dwóch wartości napięcia zasilania cewek wyzwalających potwierdza wpływ zmian wartości tego napięcia na czas własny łącznika, aby uzyskać optymalne wartości czasu własnego należy odpowiednio dostosować jego wartość.

Uzyskany przebieg przyspieszenia podczas ruchu łącznika jednoznacznie pokazuje jest zgodny z oczekiwaniami, co prawidłowość działania stanowiska pomiarowego. Duża rozdzielczość oscyloskopu pozwala na uzyskanie w miarę dokładnych oscylogramów, dzięki czemu możliwa jest zaobserwowania na przebiegach nierównomierności trzpienia osiowego. („docieranie się” układu).

Zastosowanie akcelerometru o szerokim zakresie pomiaru wartości przyspieszenia (według dokumentacji do 250 g) w technologii MEMS, ułatwiło uzyskanie dokładnego przebiegu przyspieszenia.

Zwracając uwagę na zmienność czasów własnych łącznika, konieczne staje się wykonanie serii pomiarów dla każdej wartości napięcia, również dla wartości pośrednich z przedziału 110V – 220V, w celu wyznaczenia wartości średniej czasu własnego oraz rozrzutu, który również jest ważnym parametrem łącznika.

**Autor:** mgr inż. Robert Berczyński, E-mail: rberczynski@wat.edu.pl, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

### LITERATURA

- [1] Maksymiuk J., *Aparaty elektryczne*, WNT, Warszawa, 1992.
- [2] Kolimas Ł. Kulas S. Piskała M. Zgliński K., *Laboratorium obciążalności torów wieloprądowych I zestyków*, OWPW, Warszawa, 2014
- [3] Kulas S., *Podstawy konstrukcji elektromechanicznych*, OWPW, Warszawa, 2012.
- [4] Kulas S., *Tory prądowe i układy zestykowe*, OWPW, Warszawa, 2008.
- [5] Dokumentacja akcelerometru ADXL193: [www.botland.com.pl/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=555](http://www.botland.com.pl/index.php?controller=attachment&id_attachment=555) [link aktualny na dzień 24.06.2015].