

ROZWÓJ WYŁADOWANIA ŁUKOWEGO W OSIOWYM POLU MAGNETYCZNYM

Krzysztof Krasuski

Instytut Elektrotechniki, Zakład Wielkich Mocy

Streszczenie. Artykuł zawiera opis badań wykonanych w Instytucie Elektrotechniki. Badano dwa rodzaje styków generujących osiowe pole magnetyczne stosowane w komorach wyłączników próżniowych. Badania łuku łączeniowego wykonano rejestrując gaszenie łuku ultraszybką kamerą. W pierwszej części artykułu omówiono budowę stanowiska badawczego. W dalszej części przedstawiono wyniki badań zarejestrowane podczas prób zwarciovych w rozbielalnej komorze próżniowej. W konkluzji omówiono uzyskane wyniki badań.

Słowa kluczowe: rozkład pola magnetycznego, łuk elektryczny, wyłącznik próżniowy, styk unipolarny

EXPANSION OF THE DISCHARGE ARC IN THE AXIAL MAGNETICAL FIELD

Abstract. The test results of the contacts generating the axial magnetic field made in Electrotechnical Institute are presented. Short-circuit test were made in dismantable vacuum chamber on two contacts. The diffusion arc of the interrupted short circuit currents recorded by means of a high speed camera are shown. At the first part of this paper the tests circuit and the equipment used were described. At the second part of this paper oscillograms and diffusion arc of the interrupted short circuit currents recorded by means high speed camera are attached. Conclusions contained the results of these investigations.

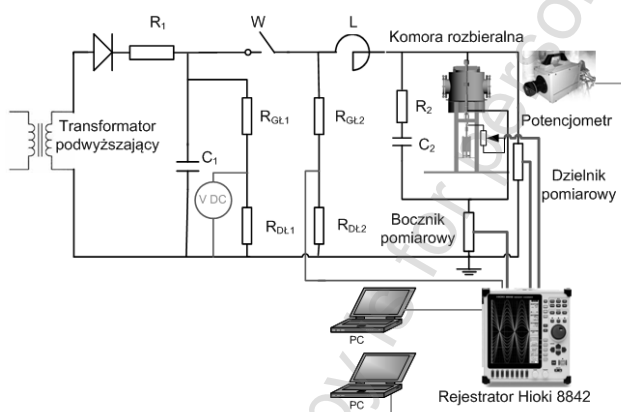
Keywords: distribution of electric and magnetic field, electric arc, vacuum circuit breaker, unipolar contact

Wstęp

W oparciu o dotychczasowe badania [1-4, 7-11] opracowano nowe konstrukcje styków unipolarnych generujących osiowe pole magnetyczne (AMF, Axial Magnetic Field). Wykonano modele fizyczne i przeprowadzono badania łączeniowe w rozbielalnej komorze próżniowej. Podczas badań rejestrowano wyładowania łukowe ultraszybką kamerą z prędkością 10000 klatek/s. Wyniki badań zamieszczono w powyższym artykule.

1. Układ probierczy

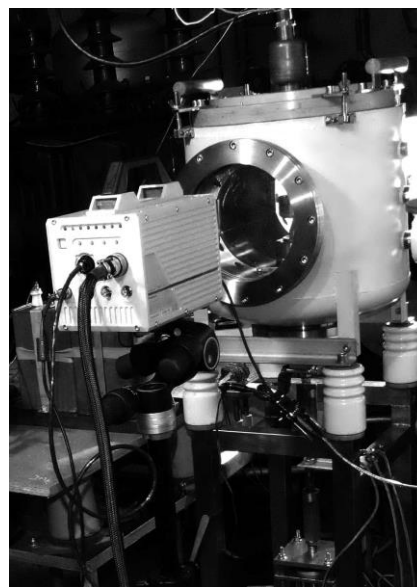
Do badań wykorzystano układ probierczy zasilany z baterii kondensatorów (rys. 1). Bateria złożona jest 70 kondensatorów o pojemności 27,5 μF . W układzie zastosowano dławiki o regulowanej indukcyjności w granicach około 40 mH. Niepewność pomiaru prądu w układzie zamieszczonym poniżej oszacowano na $\pm 1\%$ wartości mierzonej. Niepewność pomiaru napięcia nie przekraczała $\pm 1\%$ wartości mierzonej. Aparatura pomiarowa była wzorcowana zgodnie z wymogami Polskiego Centrum Akredytacji oraz Głównego Urzędu Miar.



Rys. 1. Obwód probierczy (C_1 – bateria kondensatorów 19,25 mF, C_2 – kondensator 0,23 μF – układ do regulacji stromości napięcia powrotnego, R_{DL1} , R_{DL2} – pomiar napięcia ładowania, R_1 – rezystor ograniczający prąd ładowania baterii C_1 , R_2 – rezystor do regulacji stromości napięcia powrotnego, dzielnik pomiarowy – przekładnia 460, bocznik pomiarowy 40 kA/2 V

Baterię ładowano maksymalnie do napięcia około 10 kV, uzyskując prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz i wartości maksymalnej 16 kA. Podczas badań łączeniowych rejestrowano przebiegi ruchu styków, napięcia obwodu zasilania bezpośrednio na zaciskach komory oraz prąd wyłączany. Obiekty badane – styki

zainstalowano w rozbielalnej komorze próżniowej wyposażonej w dwa wizjery umożliwiające obserwację procesów zachodzących podczas prowadzonych testów. Ze względu na znaczne rozmiary rozbielalna komora umożliwia badanie styków o średnicy od 30 mm do 100 mm stosowanych w stycznikach oraz w wyłącznikach średniego i wysokiego napięcia (125 kV). Przy użyciu ultraszybkiej kamery cyfrowej (rys. 2) rejestrowany jest przebieg wyładowania łukowego pomiędzy nakładkami styków podczas operacji otwierania. Filmy nagrano z prędkością 10 000 klatek na sekundę z rozdzielczością 768×768 , ustawiono prędkość migawki na 1/270 0000 s. Badano zdolność wyłączania prądów zwarciovych w warunkach próżni wynoszącej około 3×10^{-6} mbar.



Rys. 2. Rejestracja zdjęć przy użyciu ultra-szybkiej kamery

Opisany wyżej układ pomiarowy wykorzystywany był wielokrotnie do badań styków komór próżniowych wyłączników średniego napięcia o zdolności łączeniowej nieprzekraczającej 16 kA.

2. Badania łączeniowe

Modele styków AMF (rys. 3, 4) zainstalowano w rozbielalnej komorze próżniowej, która umożliwia obserwację rozwoju wyładowania łukowego podczas operacji otwierania.

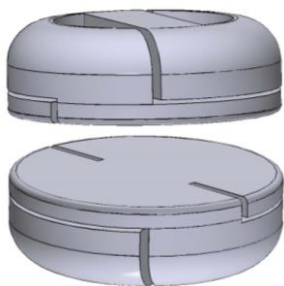


Rys. 3. Styk unipolarny (2P) z nacięciami promieniowymi



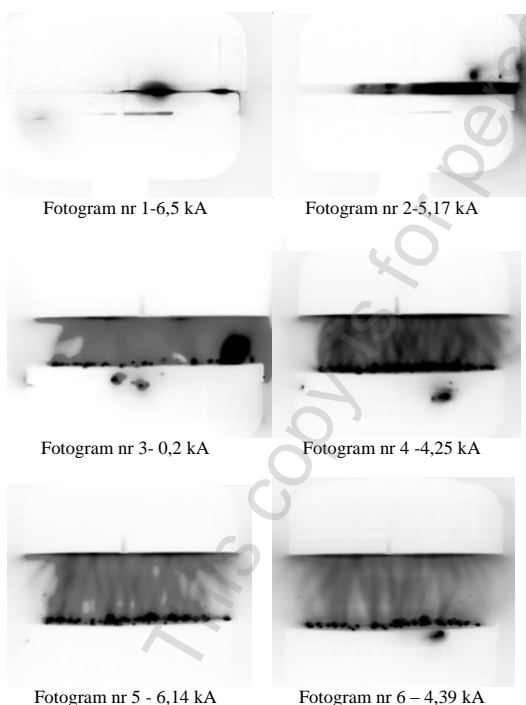
Rys. 4. Styk unipolarny (UNIS2) z nacięciami skośnymi

Przed rozpoczęciem prób łączeniowych szczeliny części cewkowej styku dolnego i górnego ustawiono naprzeciwko siebie, a belki są obrócone względem siebie o kąt 18° (rys. 5). Zestawiono wyniki prób łączeniowych, wybrano przykładowe oscylogramy i fotogramy dla poszczególnych typów układów stykowych.

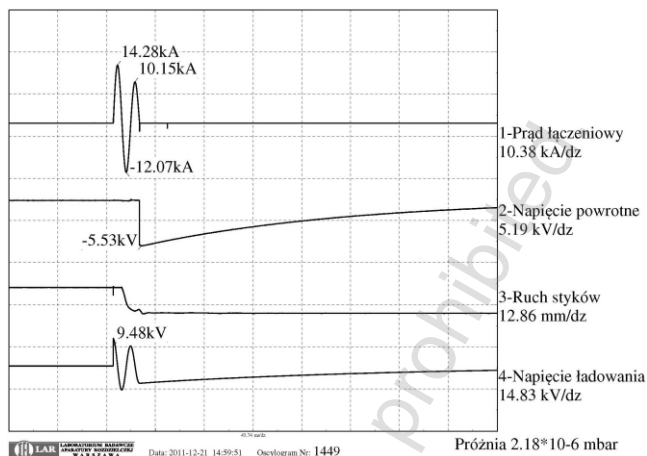


Rys. 5. Ustawienie styków podczas prób zwarciovych

Wybrano 6 fotogramów (rys. 6) dla około 50 % i 100 % wartości prądu wyłączanego (odpowiada to odstępom czasowym na przebiegu co $1/8$ okresu, okres trwa 15 ms, a częstotliwość około 62 Hz). Zamieszczonym zdjęciom przyporządkowano opowiadające im wartości prądu. Niepewność pomiaru prądu łączeniowego wynosi $\pm 2\%$ wartości mierzonej (dla prądu 15 kA, budżet niepewności zawiera się w przedziale 14,7-15,3 kA).

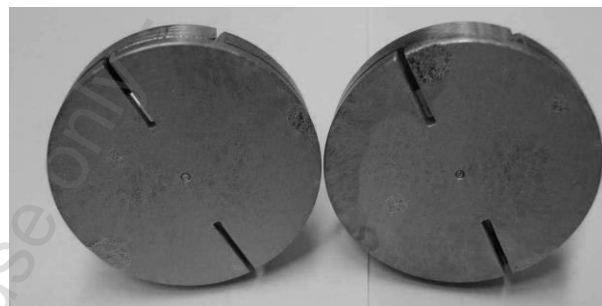


Rys. 6. Fotogramy zarejestrowane podczas prób łączeniowych prądu 6,14 kA dla styków wyposażonych nakładki z nacięciami promieniowymi



Rys. 7. Oscylogram z badań łączeniowych styków z nacięciami promieniowymi

Fotogramy przedstawiające rozkład łuku zaprezentowano po wstępnej obróbce graficznej fotogramów, aby uzyskać czytelności zarejestrowanych obrazów. Z obserwacji zdjęć wynika, że w I fazie wyłączania od 1 ms do 1,5 ms łuk ma postać skupioną i w tej formie może powodować uszkodzenia nakładek stykowych. W II etapie wyłączania formuje się łuk dyfuzyjny niemal na całej powierzchni nakładki stykowej. Następuje tworzenie wielu stóp łuku na powierzchni styków. W końcowej fazie maleje energia łuku i następuje wyłączenie prądu podczas przejścia przez 0 (rys. 7).



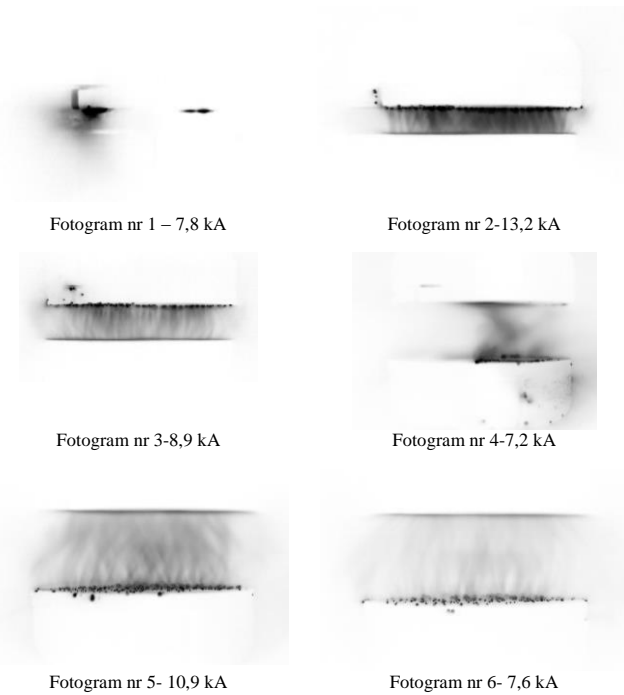
Rys. 8. Styki unipolarnie po badaniach zwarciovych

Na zdjęciach styków po badaniach widoczne są ślady wypalenia w pobliżu nacięć (ostrzych krawędzi, rys. 8). Na powierzchni nakładki nie wykryto znacznych uszkodzeń powstałych na skutek działania łuku elektrycznego. Podczas operacji zamykania na styki działa duża siła (500 N), która powoduje ich odkształcanie [5, 6]. Następuje wygięcie części dolnej generującej pole magnetyczne w kierunku nakładki stykowej. Deformacja styków powoduje nieprawidłowy rozkład pola magnetycznego, a co za tym idzie skupianie plamek katodowych w środku styków. Aby uniknąć deformacji stosowane są elementy usztywniające styki, które mają na celu ochronę przed odkształceniami mechanicznymi podczas operacji łączeniowych [8].

Aby porównać wpływ kształtu nakładek na rozkład łuku przeprowadzono próby łączeniowe styków z nacięciami skośnymi (rys. 4). Zarejestrowano przebieg otwierania dla prądu około 13 kA.

W początkowej fazie łuk ma kształt skupiony (rys. 9, fotogram nr 1), następnie rozprzestrzenia się wraz ze wzrostem prądu po powierzchni nakładki. W kolejnym etapie łuk ma postać dyfuzyjną przy maksimum prądu (rys. 9, fotogramy 2, 5). Na fotogramie nr 2 można zaobserwować znaczne zagęszczenie plamek łuku w sąsiedztwie anody.

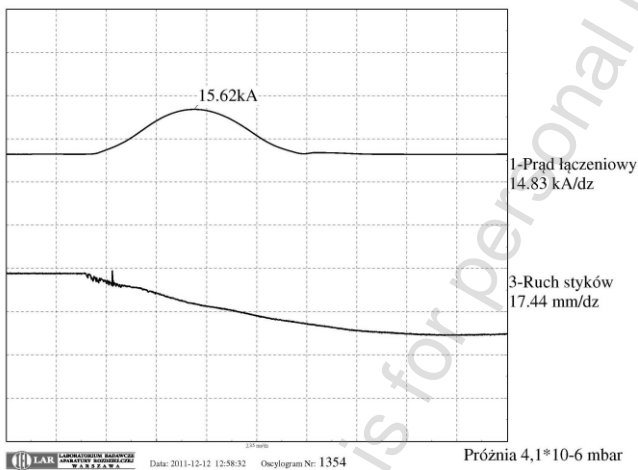
Na rys. 10 przedstawiono styki po badaniach. Widoczne są ślady wypalenia w pobliżu nacięć na nakładkach, pozostała część styku nie została uszkodzona. Styki wyposażone w nakładki z nacięciami skośnymi wyłączały większe wartości prądu niż styki z nacięciami promieniowym.



Rys. 9. Fotogramy zarejestrowane podczas prób łączeniowych prądu 13.2 kA dla styków wyposażonych nakładki z nacięciami skośnymi



Rys. 10. Styki unipolarne (2S) po badaniach zwarciovych



Rys. 11. Oscylogram z badań łączeniowych styków z nacięciami skośnymi

Maksymalny prąd jaki wyłączył w trakcie trwania jednej półfali styk z nakładkami o nacięciach skośnych wynosił 15 kA przy częstotliwości 60 Hz. Oscylogram z rejestracją przebiegu prądowego zamieszczono na rys. 11. Kształt nacięć przy tej samej konstrukcji podstawy stykowej wpłynął na zwiększenie zdolności łączeniowej styku.

3. Podsumowanie

Badano dwa styki typu 2P i 2S różniące się jedynie rodzajem wykonanych nacięć na nakładkach stykowych. Wykonano po kilka cykli prób łączeniowych dla każdego modelu styku w zakresie prądu od 1 kA do około 15 kA. Wyładowania łukowe inicjowane są na brzegu nakładki stykowej, można to zaobserwować na fotogramie nr 1 rys. 6. Skutkuje to widocznymi wypaleniami styków (rys. 8).

Zarejestrowano przebieg badań kamerą do szybkich zdjęć, na których widoczny jest rozwój wyładowania łukowego od katody do anody. Na fotogramach widoczne są stopy łuku oraz miejsca inicjacji wyładowania łukowego w osiowym polu magnetycznym.

Zaobserwowano ślady wyładowań na katodzie oraz ślady większego zagęszczenia wyładowania łukowego na krawędziach styków i na ostrzach co nasuwa wniosek o konieczności zaokrąglenia krawędzi i ostrzy na nakładkach stykowych.

W stykach typu 2S lokalne większe nadtopienia powierzchni stykowych można będzie ograniczyć lub zupełnie wyeliminować przez zmianę kąta ustawienia styków względem siebie tzn. miejsca nacięć przesunąć np. o 30° , co może w znacznym stopniu zmniejszyć lokalne zagęszczenie strug prądowych.

Po wykonaniu licznych badań i oględzin fotogramów można stwierdzić, że przy zwiększaniu wartości prądu wyłączanego następuje stopniowo rosnące zagęszczenie strug wyładowania łukowego w części centralnej przestrzeni międzystykowej.

Wielokrotne operacje zamykania i związane z tym uderzenia styków o siebie spowodowały znaczne deformacje zarówno nakładek jak i podstaw stykowych, co wyraźnie widać na rys. 8 i rys. 10. Wymagane jest wzmocnienie konstrukcji styków i nakładek by uzyskać większą odporność na udary mechaniczne.

Literatura

- [1] Borkowski P.: Nowoczesne metody badań zestyków elektrycznych, Akademia Oficyna Wydawnicza EXIT, 2013.
- [2] Budzyński P.: Wyłączniki próżniowe wysokiego napięcia, Materiały konferencyjne „Łączniki 2012” Pieczętyka, 33-41.
- [3] Chmielak W.: Badanie prądów połukowych w wyłączniku próżniowym w układzie syntetycznym z wymuszonym obciążeniem prądu. Wiadomości Elektrotechniczne, 7/2007.
- [4] Grodziński A., Szymański A., Sibilski H., Dzierżyński A., Berowski P., Hejduk A., Krasuski K.: Rozbieralna komora próżniowa do badań łuku dyfuzyjnego, Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania, 8/2011, 45-47.
- [5] Janiszewski J., Batura R., Emisja materiału elektrod łączników próżniowych podczas procesów łączeniowych, Przegląd Elektrotechniczny, 10/2008, 159-161.
- [6] Janiszewski J., Józefowicz K.: Oddziaływanie elektrycznego łuku łączeniowego na powierzchnie zestyków łączników próżniowych, Przegląd Elektrotechniczny, 10/2008, 155-158.
- [7] Katsumi K., Shuhei K., Shigemitsu O., Hitoshi O.: Optimization technique for electrical insulation design of vacuum interrupters, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 5, 2008.
- [8] Krasuski K.: The influence of contact setting on the magnetic flux density distribution, Elerotechnical Institute Publishing House Recent Advances in Numerical Modelling, 2009, 10-24.
- [9] Sibilski H., Dzierżyński A., Grodziński A., Szymański A., Błażejczyk T., Berowski P., Hejduk A., Krasuski K.: Badanie styków dla łączników próżniowych średniego napięcia, Przegląd Elektrotechniczny, 12a/2012, 193-197.
- [10] Slade P.G.: The Vacuum Interrupter, Theory, Design and Application, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.
- [11] Yu L., Liu Z., Wang J., Geng Y., Sun L. Yu R., Xue X.: Contacts Impact Phenomena in a 126 kV Vacuum Circuit Breaker, XXVth Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum - Tomsk, 2012.

Mgr inż. Krzysztof Krasuski
e-mail: krasuski@iel.waw.pl

Absolwent Wydziału Elektrycznego oraz Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Zatrudniony na stanowisku asystenta w Zakładzie Wielkich Mocy Instytut Elektrotechniki. Zajmuje się badaniem łuku elektrycznego w komorach wyłączników próżniowych.

