

Ultraszybkie urządzenie do gaszenia łuku elektrycznego zwiększające bezpieczeństwo ludzi i infrastruktury

Ultra-fast arc quenching device that increases the safety of people and infrastructure

Lesław Kwidziński

Słowa kluczowe: aktywne układy, urządzenia gaszące łuk, AQD, zwarcie łukowe

Zapewnienie zasilania w energię elektryczną w zakładach przemysłowych jest kluczowe dla zachowania ciągłości procesów produkcyjnych i minimalizowania strat finansowych wynikających z awarii. Jednym ze sposobów powstrzymania i ograniczenia skutków zwarć łukowych wewnątrz rozdzielnic jest stosowanie aktywnych układów, w tym innowacyjnych urządzeń gaszących łuk elektryczny. Urządzenia te znacząco poprawiają bezpieczeństwo pracy rozdzielnic i są uregulowane w normie PN-EN IEC 60947-9-1:2019-06 opisującej wymagania dla aktywnych układów ograniczania skutków zwarć łukowych w zestawach niskonapięciowych, które istotnie skracają czas trwania łuku elektrycznego. W artykule przedstawiono rozwiązanie ultraszybkiego urządzenia gaszącego łuk elektryczny w czasie krótszym niż 5 ms, czyli w czasie dziesięciokrotnie szybszym od powszechnie stosowanych układów aktywnych. Przedstawiono również przykłady zastosowania tego urządzenia w różnych instalacjach przemysłowych wraz z korzyściami dla inwestorów.

Keywords: active systems, arc quenching devices, AQD, arc fault

Ensuring electricity supply in industrial plants is crucial for the continuity of production processes and minimizing financial losses resulting from failures. One way to contain and mitigate the effects of arc faults within switchgear is to use active systems, including innovative arc quenching devices. This article presents a solution for an ultra-fast AQD device that extinguishes an arc fault in less than 5 ms, ten times faster than commonly used active systems. Examples of this device's application in various industrial installations are also presented.

Jednym z istotnych wyzwań w trakcie projektowania rozdzielnic jest ograniczanie skutków zwarć łukowych wewnątrz obudowy. Najczęściej realizuje się to przez opracowanie rozdzielnic łukochronnych sklasyfikowanych w raporcie technicznym IEC TR 61641:2014 dla rozdzielnic niskiego napięcia czy w normie PN-EN IEC 62271-200:2022-02 dla rozdzielnic średniego napięcia.

WYZWANIA ZWIĄZANE Z WYSTĘPOWANIEM WEWNĘTRZNEGO ŁUKU ELEKTRYCZNEGO W ROZDZIELNICACH

Klasyfikacja odporności na łuk wewnętrzny IAC (Internal Arc Classified) definiuje poziom bezpieczeństwa personelu lub osób postronnych przebywających w pobliżu rozdzielnic w warunkach łukowego zwarcia wewnętrznego w trakcie normalnej pracy rozdzielnic. Przy czym normalna praca rozdzielnic oznacza pracę w stanie zgodnym z przeznaczeniem określonym przez producenta oraz w warunkach eksploatacyjnych przewidzianych w normie, przy zamkniętej obudowie i bez prowadzenia prac serwisowych.

Badania zgodne z dokumentami [1, 5] również koncentrują się na występowaniu łuku elektrycznego w rozdzielnicach z zamkniętymi i zabezpieczonymi drzwiami. Nie obejmują więc ryzyka awarii podczas prac konserwacyjnych i pomiarów wewnętrznych przy otwartych drzwiach rozdzielnic, czyli w sytuacjach gdy błędy ludzkie mogą przyczynić się do ich wystąpienia. Uwagę na to zwrócili autorzy artykułu [2], porównując różne techniki pasywne i aktywne powstrzymania i ograniczania skutków występowania łuku elektrycznego. W celu zwiększenia bezpieczeństwa ludzi proponują oni wdrażanie rozwiązań, które lepiej będą symulować rzeczywiste scenariusze również w przypadkach występowania wewnętrznych zwarć łukowych w warunkach innych niż normalne, w których zagrożenie zdrowia i życia osób przebywających w pobliżu rozdzielnic jest znacznie większe. Autorzy szerzej omawiają zastosowanie urządzeń gaszących łuk elektryczny, przedstawianych jako AQD (Arc Quenching Devices), które zmniejszają energię łuku elektrycznego, niezależnie od czasów zadziałania zabezpieczeń zwarciovych, co znacząco obniża ryzyko uszkodzenia wnętrza rozdzielnic i podnosi poziom bezpieczeństwa ludzi.

URZĄDZENIA AQD W KONTEKŚCIE NORMATYWNYM

Urządzenia AQD wciąż nie zaistniały w świadomości użytkowników i nie są jeszcze szeroko wykorzystywane, chociaż już dobrze opisane w normie PN-EN IEC 60947-9-1:2019-06. Urządzenia te są częścią aktywnego układu ograniczania skutków zwarć łukowych jako elementy wykonawcze eliminacji zwarcia łukowego przez stworzenie toru prądu o mniejszej impedancji w celu przeniesienia się prądu łukowego do tego toru i utrzymywanie go do momentu przerwania prądu zwarcioowego przez zabezpieczenia zwarcioowe (SCPD). Urządzenia AQD są więc uzupełnieniem aktywnych układów obecnie stosowanych tj. urządzeń monitorujących wewnętrzne zwarcie łukowe (IACD) czy zabezpieczeń zwarcioowych (SCPD).

Norma [4] klasyfikuje urządzenia AQD przede wszystkim wg dwóch cech konstrukcyjnych i operacyjnych. Po pierwsze, norma rozróżnia liczbę operacji – wyróżniając AQD jednokrotnego zadziałania, które uruchamiają się tylko raz i wymagają wymiany po zadziałaniu oraz wielokrotnego zadziałania, które można przywrócić do stanu gotowości po wykonaniu akcji gaszenia łuku. Po drugie – AQD klasyfikuje się wg sposobu montażu, z podziałem na urządzenia stacjonarne oraz wysuwane (lub wtykowe), co ma znaczenie dla integracji z rozdzielnicą i utrzymania.

Norma określa także wymagania dotyczące parametrów eksploatacyjnych, takich jak: odpowiednie napięcia znamionowe (U_e , U_{imp} , U_i), prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymały (I_{cw}) i czas jego trwania, maksymalny spadek napięcia w stanie niskiej impedancji, maksymalny czas zadziałania urządzenia. Norma określa również procedurę badania typu i badania wyrobu.

NAJBARDZIEJ INNOWACYJNE URZĄDZENIE AQD NISKIEGO NAPIĘCIA

Firma Arcteq Relay Ltd, która jest częścią Grupy Ensto, produkuje jedno z najbardziej innowacyjnych na skalę światową rozwiązań urządzenia AQD wielokrotnego zadziałania. Urządzenie AQ-1000 jest częścią całego aktywnego ochrony przed łukiem elektrycznym układu serii AQ-100. Seria AQ-100 została zaprojektowana i sprawdzona pod kątem zgodności z najnowszymi normami dotyczącymi przełączników zabezpieczeniowych. Dzięki temu nadaje się do instalacji w dowolnym środowisku, od zakładów użyteczności publicznej i elektrowni, przez zastosowania w przemyśle ciężkim (np.: na morzu, w przemyśle morskim i górnictwie), po komercyjne i instytucjonalne systemy elektryczne. Dzięki modułowej konstrukcji seria AQ-100 doskonale nadaje się zarówno do instalacji nowych, jak i modernizowanych.

System AQ-100 składa się z czujników do wykrywania zwarć łukowych (czujników błysku AQ-01 lub błysku i ciśnienia AQ-02), zabezpieczeń przełącznikowych (np. typu AQ-110PLV czy AQ-101LV) służących do wyzwalania wyłączników mocy i urządzeń AQ-1000.

Urządzenie AQ-1000 zainstalowane jest na szynach jak najbliższej wyłącznika mocy. W każdym polu zamontowane są czujniki błysku podłączone do zabezpieczenia głównego AQ-110PLV umieszczonego na drzwiczkach rozdzielnic. W przypadku wielu pól rozdzielnic dochodzą dodatkowe zabezpieczenia podrzędne (np. AQ-101LV) podłączone do jednostki głównej AQ-110PLV, zwiększając możliwość podłączenia większej liczby czujników błysku.

W przypadku wystąpienia wewnętrznego łuku w rozdzielnicie zabezpieczenie przełącznikowe np. AQ-110PLV wykrywa prąd nadmiarowy w linii za-



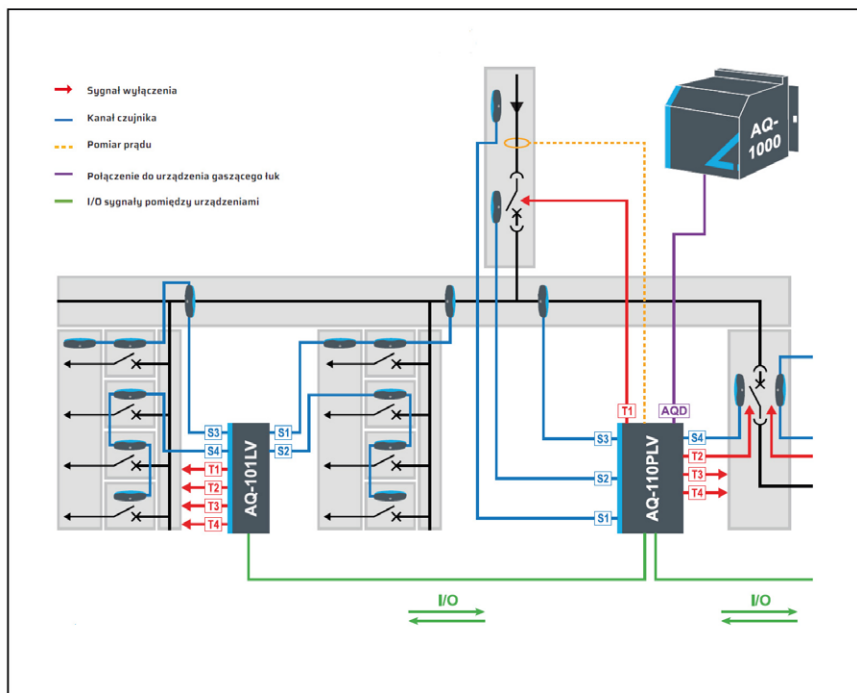
Rys. 1. Ultraszybkie urządzenie AQ-1000 wielokrotnego zadziałania
Fig. 1. Ultra-fast AQ-1000 multi-activation device

silającej oraz otrzymuje sygnał z odpowiedniego czujnika błysku. Dodatkowym kryterium może być również wzrost ciśnienia. Czas detekcji łuku w systemie AQ-100 wynosi do 2 ms. Następnie AQ-110PLV jednocześnie wyzwala zadziałanie urządzenia AQ-1000 i wyłącznika mocy. AQ-1000 jest opatentowanym urządzeniem wykorzystującym technologię cewki Thomsona, w celu bardzo szybkiego przełączania i tworzenia kontrolowanej ścieżki niskiej impedancji, która wykonuje metaliczne trójfazowe zwarcie wewnątrz urządzenia AQD. Przykładowy schemat połączeń w rozdzielnicie przedstawiono na rys. 2. W efekcie następuje zgaszenie łuku elektrycznego, a w komorze urządzenia AQD płynie prąd zwarcioowy do momentu przerwania go przez zabezpieczenia zwarcioowe.

Istotnymi parametrami urządzenia AQ-1000 są:

- prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymały (I_{cw}) 100 kA (200 ms),
- maksymalny czas własny zadziałania urządzenia ustalony przez producenta 3 ms,
- żywotność elektryczna zależna od prądu zwarcioowego np. 2 zadziałania przy 100 kA (200 ms), 4 zadziałania przy 50 kA (1 s),
- żywotność mechaniczna 100 zadziałań.

W aktywnych układach AQ-100 wykorzystujących AQ-1000 mamy więc całkowity czas gaszenia łuku do 5 ms (2 ms detekcji i do 3 ms działania urządzenia AQD). Energia łuku przy stosowaniu takiego układu jest mniejsza niż 1,2 cal/cm². W powszechnie stosowanych rozwiązaniach aktywnych układów ograniczania skutków zwarć łukowych czas gaszenia



Rys. 2. Typowy schemat aktywnego układu serii AQ-100 wraz z AQ-1000
Fig. 2. Typical diagram of the AQ-100 active system with the AQ-1000

łuku można przyjąć na ok. 50 ms (zależnie od czasów własnych systemu detekcji, działania zabezpieczeń zwarciovych i czasu własnego zadziałania wyłącznika). Poziom energii łuku może osiągać od 4,0 do 8,0 cal/cm², co stwarza zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi i infrastruktury. Dodając do układów aktywnych urządzenia AQD, ograniczamy skutki zwarc łukowych niejednokrotnie ratując urządzenia i ludzkie życie. Ponowne uruchomienie rozdzielni możliwe jest po usunięciu przyczyny łuku, czyli czas przestoju można określić na minuty.

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA URZĄDZEŃ AQ-1000

Firma Island Drilling Company w ramach modernizacji istniejącej rozdzielni na platformie wiertniczej Island Innovator wybrała system ochrony przed łukiem elektrycznym AQ-100 z urządzeniem AQ-1000. Pierwotnie rozdzielnica została zainstalowana dziesięć lat wcześniej, jednak obliczona energia łuku elektrycznego w rozdzielni wyraźnie przekraczała ustalone normy bezpieczeństwa. Dlatego celem modernizacji było obniżenie poziomu energii łuku elektrycznego w przypadku wewnętrznego zwarcia łukowego w rozdzielni. Dzięki wprowadzeniu systemu ochrony przed łukiem elektrycznym, poziom potencjalnej energii łuku elektrycznego i odpowiadający mu poziom środków ochrony indywidualnej zostały drastycznie obniżone do poziomu znacznie poniżej minimalnych wymagań, zapewniając najwyższy poziom bezpieczeństwa zarówno dla personelu, jak i ciągłości zasilania.

W Polsce jedną z firm stosujących aktywne układy ograniczania skutków zwarc łukowych z urządzeniami gaszącymi AQ-1000 jest Pfeifer&Langen Polska – Cukrownia Głinojeck. Układy te zostały zainstalowane ze względu na wymagane podniesienie poziomu bezpieczeństwa personelu, jak również na minimalizację czasu postoju przy ewentualnych zdarzeniach łukowych, co w przypadku charakterystyki pracy cukrowni przekłada się na ogromne skutki finansowe.

Innym przykładem jest Mondelez Polska – fabryka w Jarosławiu, która sukcesywnie realizuje modernizacje rozdzielnic doposażając je w aktywne układy ograniczania skutków zwarc łukowych, w tym urządzenia AQ-1000. Celem modernizacji jest podniesienie poziomu bezpieczeństwa personelu i spełnienie wymagań dokumentu NFPA70, przez skrócenie czasu zdarzenia łukowego i obniżenie jego energii. Dodatkowo urządzenia wielokrotnego zadziałania AQ-1000 umożliwiają wykonywanie corocznych przeglądów rozdzielnic wraz z pełnym testem funkcjonalnym całego systemu.

Błędy ludzi się zdarzają, czego doświadczyła jedna z polskich firm z branży budowlanej. W nowo zamontowanej rozdzielni niestety zostały źle przymocowane kable w polach odpływowych. Podczas pierwszego uruchomienia rozdzielni doszło do zwarcia, w wyniku którego

pojawiła się siła elektrodynamiczna oddziałująca na kable. Spowodowała ona przemieszczenie jednego z kabli, który uderzył w ostrą krawędź blachy i uszkodził swoją izolację, co doprowadziło następnie do powstania zwarcia łukowego. Ze względu na to, że rozdzielnica nie miała aktywnego układu ograniczania skutków zwarc łukowych, zwarcie łukowe zostało wyłączone przez zabezpieczenia nadprądowe. Długi czas palenia się łuku spowodował rozległe zniszczenia w tej rozdzielni. Inwestor zdecydował o wymianie całej rozdzielni, tym razem wyposażonej w aktywne układy AQ-100 wraz z urządzeniami AQ-1000, po jednym na każdej sekcji w polu zasilającym (rys. 5).



Rys. 5. Nowa rozdzielnica wyposażona w aktywny układ AQ100 z urządzeniami AQ-1000

Fig. 5. New switchgear equipped with an AQ-100 active system with AQ-1000 devices

PODSUMOWANIE

Zwiększenie bezpieczeństwa osób przebywających w pobliżu pracujących rozdzielnic można zapewnić przez stosowanie aktywnych układów ograniczania skutków zwarc łukowych, w tym układów wyposażonych w dodatkowe urządzenia AQD gaszące łuk. Wymagania dotyczące tych urządzeń są już zamieszczone w odpowiednich normach. Przedstawione urządzenie AQ-1000 pracujące w systemie AQ-100 ogranicza czas trwania wewnętrznego łuku w rozdzielni do czasu nieprzekraczającego 5 ms, co oznacza dziesięciokrotne skrócenie czasu trwania zwarcia łukowego w porównaniu do aktywnych układów bez urządzeń AQD. Skrócenie tego czasu powoduje istotne zmniejszenie energii zdarzenia wyładowania łukowego, co wpływa na podniesienie bezpieczeństwa oraz redukuje szkody. Stosowanie urządzeń AQ-1000 ma więc istotny wpływ na skrócenie czasu postoju przy ewentualnych zdarzeniach łukowych, gdyż po wystąpieniu zwarcia łukowego i jego zgaszeniu, wystarczy usunąć przyczynę zwarcia łukowego i zresetować urządzenie oraz ponownie załączyć rozdzielnicę. Zakłady przemysłowe w wielu krajach, w tym Polsce doceniły powyższe korzyści wynikające ze stosowania urządzeń AQ-1000 wielokrotnego zadziałania.

Firma Arcteq Relay Ltd w swojej ofercie ma również podobne do opisanego rozwiązanie aktywnego układu przeznaczonego do rozdzielnic średniego napięcia.

LITERATURA

- [1] IEC TR 61641:2014 Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault.
- [2] Kay J., J. Arvola, M. Manninen. 2024. Doors Wide Open: Safety Beyond the Standards, IEEE.
- [3] Materiały firmy Arcteq Relay Ltd.
- [4] PN-EN IEC 60947-9-1:2019-06 Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Część 9-1: Aktywne układy ograniczania skutków zwarc łukowych – Urządzenia do gaszenia łuku.
- [5] PN-EN IEC 62271-200:2022-02 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 200 – Rozdzielnice prądu przemiennego w osłonach metalowych na napięcie znamionowe powyżej 1 kV do 52 kV włącznie.



Rys. 3. Zabezpieczenie AQ-110PLV zamontowane na drzwiczkach
Fig. 3. AQ-110PLV arc flash protection mounted on the door



Rys. 4. AQ-1000 zamontowane w polu zasilającym
Fig. 4. AQ-1000 mounted in the power supply field