



Instalacje elektryczne

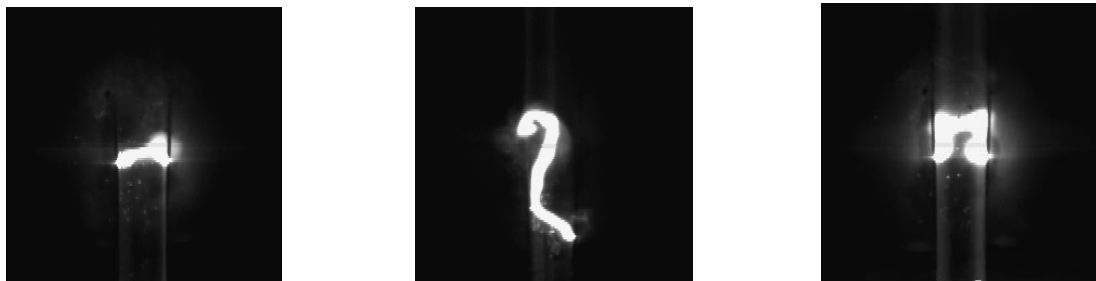
Zwarcia łukowe w rozdzielnicach elektroenergetycznych SN i nn

Mgr inż. Ireneusz Surówka

Nr ref EIM: EIM100010

Wprowadzenie

Oferowane w Polsce i na świecie rozdzielnice elektroenergetyczne to w większości nowe, zwarte i małogabarytowe konstrukcje mające zapewnić niezawodną dostawę energii elektrycznej do odbiorców. Jednak podczas normalnej pracy i eksploatacji tych urządzeń zdarzają się sytuacje, w wyniku których we wnętrzu rozdzielnicy może pojawić się otwarty łuk elektryczny. Takie wyładowanie energii w następstwie różnych zdarzeń (zazwyczaj losowych i niezamierzonych) nazywane jest zwarciem łukowym a powstały w jego wyniku otwarty łuk elektryczny (rys. 1) nazywany jest zakłóceniovym, awaryjnym bądź wewnętrznym [1].



Rys. 1. Łuk zakłóceniovym inicjowany pomiędzy szynami miedzianymi (zdjęcia z badań prowadzonych w Instytucie Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, nt opracowania nowej metody szybkiej eliminacji łuku zakłóceniovego [2])

Skutkiem wystąpienia zwarcia łukowego wewnątrz rozdzielnicy jest zazwyczaj przerwa w zasilaniu odbiorców, straty materialne jak również bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia lub życia ludzi przebywających w jej otoczeniu. Dlatego zwarcia łukowe w rozdzielnicach elektroenergetycznych są zaliczane do grupy najbardziej niebezpiecznych i groźnych awarii.



Rys. 2. Skutki zwarć łukowych [3, 2, 10]

Zwarcia łukowe w rozdzielnicach elektroenergetycznych

Zwarcia łukowe zalicza się do zdarzeń losowych, które występują stosunkowo rzadko. Prowadzone na terenie Polski statystyki tych awarii szacują ich liczbę na kilka do kilkudziesięciu zdarzeń rocznie w zależności od napięcia znamionowego systemu. Jednak dokładna ich liczba nie jest znana ze względu na fakt nieodnotowywania wszystkich tego typu zdarzeń.

Do przyczyn powstawania zwarc łukowych w rozdzielnicach elektroenergetycznych średniego i niskiego napięcia zalicza się najczęściej:

- błędy ludzkie np.: w czynnościach łączeniowych, na etapie prefabrykacji urządzenia lub poprzez nieumyślne pozostawienie narzędzi po zakończeniu prac remontowych,
- błędy projektowe,
- wady konstrukcyjne,
- wady materiałowe,
- ingerencję zwierząt np. przedostanie się do wnętrza rozdzielnicy drobnych gryzoni, ptaków lub węży,
- długotrwałe przeciążenia,
- przepięcia łączeniowe i atmosferyczne,
- uszkodzenia lub zły stan izolacji stałej.

Początkowym skutkiem wystąpienia zwarcia łukowego wewnątrz rozdzielnicy jest gwałtowny wzrost temperatury i ciśnienia w wyniku przemiany energii pobieranej przez łuk z sieci i oddawanej następnie do otoczenia głównie w postaci ciepła. Pozostała część energii jest wydzielana w postaci promieniowania (światło łuku) oraz fali akustycznej. Wysoka temperatura kolumny łukowej ($6\div 15$) x 10^3 K w zamkniętej lub ograniczonej przestrzeni rozdzielnicy prowadzi do szybkiego podgrzewania gazu w otoczeniu łuku, powierzchniowego odparowania elementów metalowych i stopienia elementów izolacyjnych wykonanych z tworzyw sztucznych. Efektem tego może być częściowe lub całkowite zniszczenie aparatów, osłon, konstrukcji wsporczej lub przegród wewnętrznych rozdzielnicy oraz eksplozyjna emisja toksycznych par i gazów (rys. 3), która jest najpoważniejszym zagrożeniem dla bezpieczeństwa osób przebywających w pobliżu rozdzielnicy.



Rys. 3. Eksplozyjna emisja gazów i pyłów połukowych w wyniku zwarcia łukowego

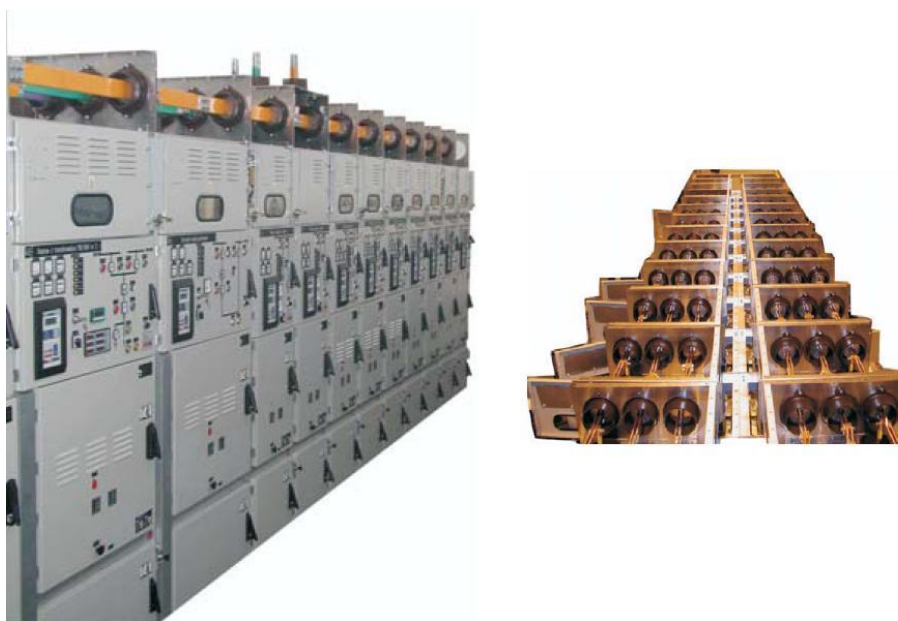
Szkody i zagrożenia jakie powstaną w wyniku działania łuku zakłóceniewego zależą przede wszystkim od energii zwarcia łukowego, która podczas rzeczywistego zwarcia nie jest łatwa do oszacowania. W przypadkach zwarc bezzłukowych (metalicznych) energia ta jest relatywnie niewielka, ze względu na bardzo małą impedancję obwodu zwarcowego, przez co zwarcia te w konsekwencji nie są tak groźne jak zwarcia łukowe. Przyjmuje się (tablica 1), że energia zwarcia łukowego do 100 kJ nie powoduje znaczących szkód w rozdzielnicach.

Tablica 1. Skutki zwarć łukowych w rozdzielnicach niskiego napięcia oraz sposoby ich usuwania w zależności od energii zwarcia [4]

Energia zwarcia łukowego [kJ]	Skutki w rozdzielnicy	Sposoby usuwania szkód
100	Okopcenie bez uszkodzeń wyposażenia oraz izolacji	Czyszczenie
170	Ślady wypalenia szyn i izolatorów, uszkodzenia termiczne przegród, napylenia, pogorszenie stanu izolacji	Intensywne czyszczenie, wymiana niektórych aparatów i urządzeń
260	Silne zniszczenia wewnątrz przedziałów, wypalenia szyn i izolatorów, tworzenie się metalicznych powłok na elementach konstrukcji, izolatorach i urządzeniach	Wymiana elementów konstrukcji, aparatów i urządzeń
340	Przenikanie łuku do większości przedziałów, skutki widoczne na zewnątrz rozdzielnicy, uszkodzenia konstrukcji wsporczych, znaczne pogorszenie się stanu izolacji, niebezpieczeństwo zapalenia	Wymiana ścian, osłon przegród i wyposażenia
700	Całkowite zniszczenie przedziałów rozdzielnicy	Wymiana rozdzielnicy

Rozdzielnica po oczyszczeniu i kontroli stanu izolacji może być nadal eksploatowana. Rzeczywiste energie zwarć łukowych mogą być jednak znacznie większe rzędu MJ i powodować całkowite zniszczenie urządzenia.

Zwarcia łukowe mogą powstać w wyniku zwarcia doziemnego lub międzyfazowego a zainicjowany łuk może pozostawać w miejscu (nazywany jest wtedy łukiem stacjonarnym lub stojącym) jak również przemieszczać się pod wpływem sił elektrodynamicznych pomiędzy przedziałami lub polami rozdzielnicy (tzw. łuk wędrujący). Łuk wędrujący jest szczególnie groźny dla przedziałów szynowych (rys. 4) gdyż są one elementem wspólnym dla grupy urządzeń. W miejscach tych występują także duże moce zwarciovowe przez co skutki takich awarii mogą być poważne. Najpowszechniej stosowanym materiałem na szyny w rozdzielnicach elektroenergetycznych jest miedź, która charakteryzuje się dużą konduktywnością, wysoką wytrzymałością mechaniczną i dobrą plastycznością.



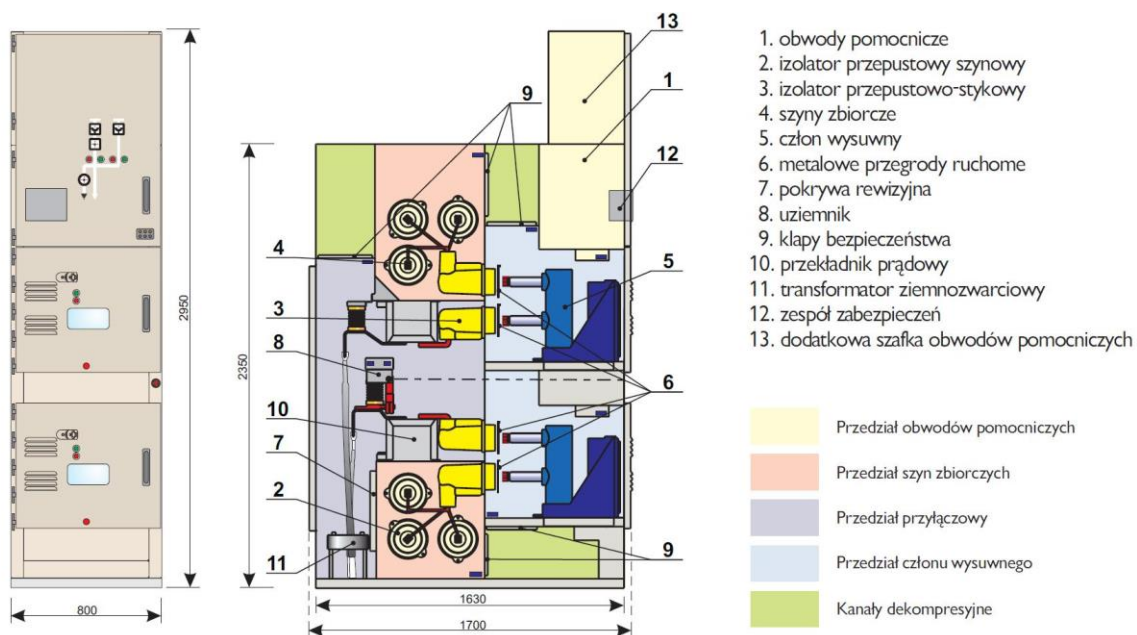
Rys. 4. Przedział szynowy rozdzielnicy SN D-12-2s Elektrobudowa SA [16], szyny zbiorcze wykonane z miedzi

Sposoby ograniczenia skutków zwarć łukowych

Pomimo braku systematycznie gromadzonych danych dotyczących liczby zwarć łukowych w rozdzielnicach elektroenergetycznych ich stan ochrony przed skutkami zwarć łukowych jest w dalszym ciągu uważany za niezadowalający. Dlatego jest to jedno z ważniejszych zagadnień, nad którym stale pracują konstruktorzy i producenci rozdzielnic jak również wiele ośrodków naukowych. Wynikiem tych prac są nowe łukoodporne konstrukcje rozdzielnic oraz specjalne urządzenia i systemy mające zapewnić skuteczną i szybką eliminację zwarć łukowych. Ogólnie w tym zakresie wyróżnia się dwie zasadnicze grupy działań:

- 1) wprowadzenie rozwiązań konstrukcyjnych i wymagań dotyczących tzw. łukoodporności rozdzielnic prądu przemiennego w osłonach metalowych [5],
- 2) zastosowanie specjalnych urządzeń lub systemów do szybkiej detekcji i eliminacji łuku zakłóceniewego.

Działania należące do pierwszej grupy dotyczą głównie poprawy łukoodporności rozdzielnic poprzez zastosowanie nowych materiałów izolacyjnych dla części będących pod napięciem, zastosowanie blokad mechanicznych i elektrycznych, eliminowanie odłączników poprzez wprowadzenie dwuczłonowych konstrukcji rozdzielnic oraz wykonanie odpowiednio wytrzymałej mechanicznie obudowy zewnętrznej, która będzie w stanie wytrzymać dynamiczne i termiczne skutki zwarć łukowych. Ma to zapewnić większe bezpieczeństwo dla personelu eksploatacyjnego oraz osób mogących znaleźć się w pobliżu rozdzielnic. Zakłada się przy tym, że urządzenia zainstalowane w danym przedziale lub polu mogą zostać częściowo lub całkowicie zniszczone. Jednym z rozwiązań konstrukcyjnych mającym ograniczyć skutki działania łuku wewnątrz rozdzielnic jest jej podział na kilka przedziałów funkcjonalnych. W rozdzielnicach takich nazywanych wielopredziałowymi (rys. 5) szyny zbiorcze, łączniki, obwody pomocnicze oraz inne aparaty zlokalizowane są w wydzielonych przestrzeniach nazywanych przedziałami.



Rys. 5. Przekrój i budowa celki rozdzielnic D- 12-2P Elektrobudowa SA [17]

Pozwala to na ograniczenie strat powstałych w wyniku działania łuku jedynie do przedziału, w którym on wystąpił nie narażając pozostałych elementów na zniszczenie lub uszkodzenie.

Niektóre konstrukcje rozdzielnic wielopredziałowych są wyposażone w specjalne klapy bezpieczeństwa lub membrany, które w razie wystąpienia zwarcia łukowego i zwiększenia ciśnienia w przedziale funkcjonalnym pozwalają na odpowiednio ukierunkowane i bezpieczne ujście gorących gazów, pyłów połukowych lub płomieni do kanału dekompresyjnego. Najbardziej rozbudowane konstrukcje w tym zakresie produkuje się na potrzeby przemysłu górniczego. Ze względu na zagrożenie wybuchem, redukcja nadciśnienia musi nastąpić w wewnętrznym kanale dekompresyjnym. W innych zastosowaniach oferowane są rozwiązania pozwalające na

wyprowadzenie gazów połukowych poprzez kanały dekompresyjne na zewnątrz rozdzielnicy lub budynku stacji.

Rozdzielnice o konstrukcji wieloprzedziałowej są bardziej skomplikowane mechanicznie, mają większe wymiary i masę oraz utrudniony dostęp do poszczególnych urządzeń, jednak pod względem łukoodporności są bardziej niezawodne i bezpieczne w obsłudze niż rozdzielnice jednoprzędziałowe.

Wysoką łukoodpornością charakteryzują się rozdzielnice, w których środowiskiem izolacyjnym jest gaz SF₆ (rys. 6). W konstrukcjach tych szyny zbiorcze oraz niektóre aparaty są umieszczone w szczelnych zbiornikach wypełnionych sześćfluorkiem siarki.

Rozdzielnice tego typu charakteryzują się wysokim komfortem eksploatacji ze względu na rzadkie awarie, przeglądy i rozszczelnienia, wysokim poziomem bezpieczeństwa obsługi oraz niezawodnością. Cechy te wynikają między innymi z zastosowania łączników o dużej trwałości łączeniowej i mechanicznej, szczelnego zabudowania aparatów oraz dużej odporności na wpływy środowiskowe. Niektórzy wytwórcy rozdzielnic o izolacji SF₆ gwarantują, że w czasie 30 letniego okresu użytkowania rozdzielnicy nie jest konieczne dokonywanie jakichkolwiek prac konserwacyjnych dotyczących części będących pod napięciem lub komór gaszeniowych.



Rys. 6. Rozdzielnica RM6 24 kV Schneider Electric [15]

Działania należące do drugiej grupy koncentrują się na zastosowaniu specjalnych urządzeń lub systemów do szybkiej detekcji i eliminacji łuku zakłóceniewego. Istotą tych metod jest ograniczenie czasu trwania zwarcia łukowego poprzez szybką detekcję łuku zakłóceniewego i podanie impulsu wyłączającego na wyłącznik [3] lub też zainicjowanie zwarcia metalicznego, które zostanie wyłączone przez najbliższy aparat zabezpieczający [6]. Detekcja łuku odbywa się poprzez monitorowanie zjawisk fizycznych takich jak:

- światło łuku (poprzez system czujników i światłowodów),
- wartość i szybkość narostu prądu zwarciewego,
- spadek napięcia na szynach zbiorczych,
- temperatura i ciśnienie wewnątrz rozdzielnicy.

Całkowity czas wyłączenia zwarcia łukowego przy zastosowaniu wyżej wymienionych metod jest sumą:

$$t_w = t_d + t_i + t_z \quad (1)$$

gdzie: t_w - całkowity czas wyłączenia zwarcia łukowego; t_d - czas identyfikacji łuku przez system detekcji; t_i - czas przesłania sygnału pobudzającego do wyłącznika; t_z - czas własny zadziałania zabezpieczenia (czas

pobudzenia wyzwalaczy, otwarcia styków oraz gaszenia łuku łączeniowego). Dla obecnie produkowanych wyłączników czasy własne zadziałania wynoszą 20÷60 ms w urządzeniach niskiego napięcia i 40÷100 ms w urządzeniach średniego napięcia.

Przekłady systemów do eliminacji zwarć łukowych poprzez szybką detekcję łuku zakłóceniewego to między innymi:

- Światłowodowe zabezpieczenie łukochronne ZŁ firmy Energotest-Energopomiar [3],
- Arcon firmy Moeller [6],
- REA firmy ABB [7].

Podsumowanie

Eliminacja zwarć łukowych w rozdzielnicach SN i nn oraz ograniczanie skutków ich działania jest nadal aktualnym zagadnieniem naukowo-technicznym. Producenci rozdzielnic doskonalą swoje konstrukcje lub poszukują nowych rozwiązań, które mają zapewnić właściwy poziom bezpieczeństwa obsługi i eksploatacji oraz niezawodność dostawy energii elektrycznej do odbiorców. W metodach szybkiej lub ultra-szybkiej eliminacji zwarć łukowych dąży się do detekcji i gaszenia łuku zakłóceniewego w ciągu kilku pierwszych milisekund od chwili wystąpienia zwarcia łukowego. Czasy takie są trudne do uzyskania, jeśli łuk jest gaszony równocześnie z wyłączeniem zwarcia przez wyłącznik. Dlatego też poszukiwane są inne czasem niekonwencjonalne sposoby, które byłyby w stanie zapewnić bezpieczeństwo ludzi i zmniejszyć do minimum straty powodowane przez zwarcia łukowe.

Literatura

- [1] Koch B.: Zwarcia łukowe. Podstawowe charakterystyki (I), Bilans energetyczny i erozja elektrod (II), Przyrosty ciśnienia i produkty łuku (III). Elektroinstalator 3/2002, Elektroinstalator 5/2002, Elektroinstalator 6/2002
- [2] Markiewicz H., Klajn A., Surówka I.: Łuk powietrzny i próżniowy w jednym obwodzie elektrycznym – badania eksperymentalne i podstawy modelowania zjawisk, Raport serii Sprawozdania nr I-8/S-002/02, Wrocław, 2002
- [3] Światłowodowe zabezpieczenia łukochronne ZŁ-1, ZŁ-4. Materiały katalogowe Energotest-Energopomiar 2009
- [4] Partyka R.: Badanie skutków zwarć łukowych w rozdzielnicach osłoniętych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006
- [5] PN-EN 62271-200:2007 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza -- Część 200: Rozdzielnice prądu przemiennego w osłonach metalowych na napięcie znamionowe powyżej 1 kV do 52 kV włącznie
- [6] Moeller: ARCON Arc fault protection system. Product information. Bonn 2009
- [7] ABB: Arc protection relay REA 10_. Product guide. Vaasa 2009
- [8] Surówka I., Klajn A., Markiewicz H.: Ochrona rozdzielnic prądu przemiennego w osłonach metalowych przed skutkami zwarć łukowych, XV Konferencja Bezpieczeństwo Elektryczne ELSAF 2005, Wrocław 2005
- [9] Surówka I.: Zwarcia łukowe – zagrożenia jakie stwarzają w rozdzielnicach SN i nn. Elektroinstalator 9/2006
- [10] Surówka I.: Zwarcia łukowe – metody eliminacji w rozdzielnicach okapturzonych SN i nn. Elektroinstalator 10/2006
- [11] Klajn A., Markiewicz H., Surówka I.: Extinguishing of an air arc using a parallel vacuum arc. Switching arc phenomena. Tenth International Conference joint with the Polish Grant Session on Switchgear and Arc Technologies, Łódź 2005
- [12] Klajn A., Markiewicz H., Surówka I.: Nowy sposób gaszenia łuku zakłóceniewego. Przegląd Elektrotechniczny 2005
- [13] Klajn A., Markiewicz H., Surówka I.: Experimental analysis of a vacuum arc connected parallel to an arc in air. W: XXth International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. XXth ISDEIV. Tours, France 2002
- [14] Schneider Electric: Rozdzielnice SN RM6 24 kV katalog wyrobu. Schneider Electric Polska Sp. z o.o. 2009
- [15] Elektrobudowa SA: Rozdzielnice średniego napięcia D-12-2S, D-17-2S. Katalog 2009
- [16] Elektrobudowa SA: Rozdzielnice dwupoziomowe średniego napięcia typu D-12-2P. Katalog 2009