



Romuald WŁODEK

Przewodniczący Komitetu Naukowego Sympozjum EUI2003

Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia - wprowadzenie

Streszczenie. Artykuł zawiera przegląd wybranych zagadnień, dotyczących aktualnego stanu problematyki eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych. Należą do nich zagadnienia utrzymania ruchu i diagnostyki wysokonapięciowej, badań materiałów i urządzeń, nowych konstrukcji i technologii oraz modelowania narażeń eksploatacyjnych.

Abstract. (Problems of the high voltage insulating systems exploitation - introduction) Paper presents the review of selected problems concerning the actual stage of power arrangements exploitation. Among them there are problems of operation maintenance and high voltage diagnostic, testing of materials and devices, new constructions and technologies and modelling of exploitation exposures.

Słowa kluczowe: urządzenia elektroenergetyczne wysokiego napięcia, diagnostyka, nadzór eksploatacyjny, narażenia eksploatacyjne.

Keywords: high voltage power arrangements, diagnostic, operation maintenance, exploitation exposures.

Elektroenergetyka zarówno w Polsce jak i w wielu krajach znajduje się obecnie w okresie przemian, które są rezultatem narastających problemów technicznych, prawnych, ekonomicznych i organizacyjnych. W wielu przypadkach wpływają one wzajemnie na siebie, inspirując na przykład rozwój techniczny z jednej strony i racjonalizację organizacji z drugiej. Po okresie ekstensywnego rozwoju zapotrzebowania na urządzenia przesyłowo-rozdzielcze, którego efektem w drugiej połowie ubiegłego wieku, szczególnie w latach siedemdziesiątych, było zbadanie podstaw fizykalnych i ustalenie zasad budowy urządzeń napowietrznych na najwyższe napięcia, ustalił się obecny układ napięć w systemach i do niego dostosowuje się postęp w tej dziedzinie, uwzględniający współczesne wymagania. Dotyczą one przede wszystkim niezawodności dostawy energii elektrycznej i kompatybilności ze środowiskiem.

Wymienione wymagania dla elektroenergetyki inspirują rozwój zarówno w dziedzinie techniki budowy urządzeń z zastosowaniem nowych materiałów jak i racjonalnie zorganizowaną ich eksploatację.

Eksploatacja urządzeń w systemie elektroenergetycznym jest procesem techniczno-organizacyjnym, w którym obiekty te podlegają działaniu zespołu narażeń wewnętrznych i zewnętrznych o charakterze fizycznym oraz czynnościom, wynikającym z ingerencji obsługi i działań systemów zabezpieczających i sterujących. W wyniku tego urządzenia podlegają zmianom swoich właściwości eksploatacyjnych, których znajomość ma istotne znaczenie dla operacyjnej pracy systemu elektroenergetycznego.

Eksploatacja urządzeń elektrycznych jako element pracy systemu elektroenergetycznego powinna poprzez ich wysoką niezawodność zapewniać maksymalne zmniejszenie przerw dostawy energii elektrycznej. Przykłady ostatnich poważnych awarii systemów elektroenergetycznych na świecie wskazują na znaczenie tego problemu, w tym i eksploatacji.

Obsługa jako element procesu eksploatacji zawiera czynności, związane z prowadzeniem ruchu i pracami montażowymi i remontowymi oraz procedury, należące do diagnostyki wysokonapięciowej. Obydwie grupy problemów są w dużym zakresie reprezentowane w programie obecnego Sympozjum.

Do najważniejszych operacyjnych warunków utrzymania ruchu systemu elektroenergetycznego należy zagadnienie

prac pod napięciem. Organizacja, technika i wyposażenie sprzętowe do tego celu stoją już na bardzo wysokim poziomie i liczne kadry zostały w tym zakresie wyszkolone w kraju w sposób systematyczny. Tematowi temu, otwierającemu grupę zagadnień, dotyczących problemów techniczno-organizacyjnych w eksploatacji, poświęcone są referaty na obecnym Sympozjum.

Optimalizacja czynności eksploatacyjnych wymaga między innymi podejmowania działań remontowych lub modernizacyjnych w takim terminie, aby uprzedzić występowanie zakłóceń z częstotliwością większą od uznanej za dopuszczalną. Powstaje problem częstości, szerokości i głębokości badań diagnostycznych. Postuluje się od pewnego czasu, że powinny one być rozpatrywane kompleksowo z punktu widzenia celu - zapewnienia niezawodnej eksploatacji. Problem częstości badań profilaktycznych można rozpatrywać według różnych modeli. Najprostszy z nich optymalizuje częstość badań ze względu na minimum łącznych kosztów stosowania określonych metod i procedur diagnostycznych oraz kosztów strat w przypadku ich niestosowania, zatem tylko te wielkości muszą być znane. Komplikując problem, można wprowadzić doń metody znane w teorii profilaktyki urządzeń technicznych, z uwzględnieniem specyfiki odnośnie do urządzeń elektroenergetycznych, otrzymując - stosownie do przyjętych założeń - różne modele optymalizacyjne. Najwyższą formą techniki diagnostycznej są pomiary *on-line* i monitoring, który znajduje zastosowanie do obiektów o szczególnej ważności (urządzenia GIS, duże transformatory). Obserwuje się stały postęp w tym celu w rozwoju czujników różnych wielkości, wbudowanych w urządzeniach i przekazujących sygnały pomiarowe do systemu komputerowego nadzoru obsługi ruchu. W ten sposób diagnostyka staje się stopniowo elementem zintegrowanego systemu eksploatacji urządzeń w systemie elektroenergetycznym.

Diagnostyka urządzeń wysokiego napięcia obejmuje metodykę podejmowania decyzji o aktualnym stanie danego urządzenia pod względem niezawodnego spełniania jego funkcji eksploatacyjnych oraz ewentualnie określania przewidywanego czasu dalszej pracy. Problematyka ta jest prezentowana na Sympozjum zarówno od strony podstaw metodycznych jak i szeregu technik badawczych.

Aktualnie metody elektryczne oceny stanu układu izolacyjnego można podzielić na dwie grupy, wykorzy-

stujące odmienne zasady. Do pierwszej należą metody detekcji i interpretacji zjawisk relaksacyjnych, do drugiej - metody detekcji sygnałów generowanych z powodu efektów nieliniowych o charakterze stochastycznym.

Techniki badawcze w diagnostyce, zmierzające do wydobycia informacji różnego rodzaju (elektryczne, chemiczne, fizyczne) o aktualnym stanie układu są pierwszym etapem procedury diagnostycznej. Jej drugim etapem jest sformułowanie wniosku, co stanowi w większości przypadków trudność z powodu najczęściej niepełnych informacji oraz braku pełnej znajomości modelu danego obiektu i działających w nim ciągów przyczyn i skutków różnych narażeń, wykazujących do tego często właściwości synergizmu. Zaangażowane zostały dlatego w diagnostyce wysokonapięciowej metody rozwijane w teorii podejmowania decyzji i można oczekiwać efektów tych prac w formie profesjonalnych programów kończących procedury pomiarowe na konkretnych urządzeniach. Diagnostyka stanu urządzeń może być zatem traktowana jako etap procedury strategii obsługi eksploatacyjnej układów izolacyjnych.

Diagnostyka transformatorów dotyczy badań zmian właściwości elektrycznych ich układów izolacyjnych oraz detekcji deformacji mechanicznych uzwojeń. W związku z tym zagadnienia różnych procedur diagnostycznych są jednymi z najważniejszych w dziedzinie problemów eksploatacji układów izolacyjnych transformatorów. Rozwój badań odbywa się tutaj równocześnie w różnych kierunkach. Obok doskonalenia metod chemicznych obserwuje się rozwój metod elektrycznych opartych na przetwarzaniu i interpretacji sygnałów. Służą one do detekcji zmian parametrów elektrycznych układu izolacyjnego oraz deformacji uzwojeń z powodu działań dynamicznych prądów zwarciovych. Do realizacji drugiego celu najbardziej skutecznym może być wykorzystanie funkcji przenoszenia transformatora jako obiektu. Podstawową trudnością jest tutaj opanowanie wpływu zakłóceń, do którego to celu stosuje się różne transformaty przetwarzające sygnały z dziedziny czasu do częstotliwości i odwrotnie.

W technice badań wyładowań niepełnych zagadnienia mają podobny charakter: filtracji sygnału i jego interpretacji, przy czym same sygnały są pochodzenia elektrycznego lub akustycznego.

Kontynuuje się badania w zakresie fizykalnych podstaw materiałów izolacyjnych w ich technicznym wykonaniu. Prace nad mechanizmami procesów relaksacyjnych w warunkach różnych narażeń znajdują się w programie Sympozjum. Ich znaczenie wskazuje się dla praktycznych technik diagnostycznych, wśród których przykładami są pomiary napięć powrotnych, pomiary przy obniżonych częstotliwościach i pomiary z zastosowaniem napięcia stopniowanego.

Grupę zagadnień konstrukcyjno-technologicznych tworzą referaty dotyczące układów izolacji gazowej, transformatorów, kabli i izolacji linii napowietrznych, w tym specjalne zagadnienia wynikające z instalacji na nich nowoczesnych torów telekomunikacyjnych.

Układy izolacyjne gazowe są już w dużym stopniu stosowane w urządzeniach elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć. Po pierwotnym znacznym rozwoju układów z SF₆ pojawiły się jednak obawy wynikające z argumentów ochrony środowiska i aczkolwiek o ich zasadności nie można jeszcze wypowiadać się w pełni jednoznacznie, to niewątpliwie trzeba je brać pod uwagę. Fakt ten spowodował zainteresowanie poszukiwaniem rozwiązań kompromisowych, to znaczy zastosowaniem takiego materiału, który łączyłby korzystne charakterystyki

izolacyjne SF₆ z brakiem jego wymienionych wad, wynikających z przyczyn ekologicznych. Tematyka ta znalazła również swoją reprezentację na obecnym Sympozjum EU'03.

Izolatory napowietrzne z kompozytów polimerowych stopniowo znajdują coraz większe zastosowanie, w związku z czym stale aktualna jest tematyka procesów starzenia takich układów. Obok obszernych wyników badań eksperymentalnych przedstawia się próby formułowania na ich podstawie modeli, opisujących te zjawiska tak, aby stopniowo określać możliwie adekwatne warunki badań. Towarzyszą temu pojawiające się pogłębione badania zjawisk powierzchniowych, uwzględniających skomplikowane procesy adhezji wilgoci, obciążenia lodem i innych czynników w warunkach pola elektrycznego i lokalnych wyładowań, zmierzające do zwiększenia wytrzymałości izolatorów. Tematyka izolacji napowietrznej z polimerów kompozytowych inicjuje też szereg problemów z nią związanych, na przykład zagadnienia wytrzymałości mechanicznej i jej mechanizmów. Skomplikowany rozkład pola elektrycznego na- i w otoczeniu izolatora i jego następstwa inspirują rozwój metod ich modelowania.

Nowe konstrukcje i technologie, wprowadzane w urządzeniach elektroenergetycznych, skłaniają w wielu przypadkach do nowelizacji dotychczasowych modeli i charakterystyk układów izolacyjnych a nieraz do bardziej kompleksowego na nie spojrzenia. Na przykład znaczny w ostatnich latach rozwój technik telekomunikacyjnych w liniach napowietrznych zainicjował potrzebę zbadania różnych aspektów, wynikających z montażu na nich przewodów światłowodowych, które swoją obecnością zmieniają z jednej strony charakterystyki powietrznego układu izolacyjnego, z drugiej zaś same stają się obiektem narażeń elektrycznych. Problematyka ta jest dość wyraźnie i z różnych stron przedstawiana na obecnym Sympozjum EU'03 i rozwija zainicjowaną na poprzednim EU'01.

Szczególne narażenia, jakie w porównaniu do zwykłych transformatorów, pracujących w systemie elektroenergetycznym występują w eksploatacji autotransformatorów, skłaniają do opracowania zarówno specjalnej dla nich konstrukcji jak i zastosowania odpowiednich materiałów, odpornych na znaczne przeciążenia cieplne. Temat ten reprezentowany jest na obecnym Sympozjum w formie konkretnej konstrukcji serii takich autortransformatorów.

Specyficznym problemem są przewody napowietrzne ze stopów aluminiowych o znanych korzystnych właściwościach mechanicznych, które stwarzają nowe możliwości w zakresie projektowania przęseł linii napowietrznych.

Zagadnienia narażeń reprezentowane są w grupie problemów przepięć zarówno pochodzenia atmosferycznego, jak i wewnętrznych. Metody ich modelowania z jednej strony, w szczególności z uwzględnieniem efektów nieliniowych oraz działanie nowoczesnych urządzeń ograniczających z drugiej, są tematem referatów, które nawiązują do poprzednich Sympozjów oraz przedstawiają nowe podejścia.

Kontynuacją referatów, dotyczących statystyki awaryjności urządzeń z poprzednich Sympozjów są nowe doniesienia w tej tematyce, w tym naukowa metodyka ich opracowywania.

Przegląd tematyki referatów zgłoszonych na obecnym Sympozjum wskazuje na dalszą ewolucję zagadnień, należących do najważniejszych problemów eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia.

Autor: prof. dr hab. inż. Romuald Włodek, Katedra Elektroenergetyki AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: gewlodek@cyf-kr.edu