



VII SYMPOZJUM
**PROBLEMY EKSPLOATACJI
UKŁADÓW IZOLACYJNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA**
Zakopane, 21–23 października 1999

Romuald Włodek*

**AKTUALNY STAN I TENDENCJE
W EKSPLOATACJI UKŁADÓW IZOLACYJNYCH
WYSOKIEGO NAPIĘCIA**

Referat wprowadzający

Bieżąca eksploatacja urządzeń w systemie elektroenergetycznym odbywa się zgodnie z procedurami operacyjnymi, opracowanymi tak, aby zapewnić niezawodną dostawę energii o określonej jakości. Prawidłowa eksploatacja wymaga hierarchicznego uporządkowania następujących problemów: 1) spraw dotyczących zarządzania majątkiem technicznym, 2) schematów organizacyjnych dostosowanych do specyfiki pracy poszczególnych urządzeń w systemie, 3) procedur postępowania w bieżących czynnościach operacyjnych oraz w pracach diagnostycznych, 4) dysponowania nowoczesnymi systemami i urządzeniami diagnostycznymi, 5) opracowaniem systemów ewidencji zdarzeń zakłóceńowych i innych, umożliwiających formułowanie wniosków dla korekty decyzji w diagnostyce oraz dla remontów i unowocześniania urządzeń.

Pierwsze dwie grupy problemów o charakterze organizacyjnym mają swoje odniesienie w działaniach struktur energetycznych w różnych krajach, również w Polsce i odpowiednie informacje można znaleźć w materiałach specjalistycznych konferencji o charakterze roboczym itp. Na obecnym Sympozjum znalazły one również wyraz w przedstawionych referatach. Problemy o charakterze technicznym są z kolei przedmiotem prac i publikacji na międzynarodowych sympozjach z dziedziny wysokich napięć i zbliżonych tematycznie.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Elektroenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Procedury postępowania w czynnościach operacyjnych i diagnostycznych powinny przewidywać normalne i zakłóceniami narażenia eksploatacyjne i wynikające z nich zmiany właściwości urządzeń, będące następstwem zarówno fizykalnych procesów starzeniowych jak i zdarzeń o charakterze awaryjnym. Dbałość o niezawodną pracę narzuca w związku z tym potrzebę dysponowania informacjami o stanie urządzenia a najchętniej, co jednak nie jest jeszcze osiągalne, możliwością predykcji jego dalszej pracy. Stąd problemy diagnostyki wysuwają się obecnie jako jedno z zagadnień podstawowych w pracach naukowych i technicznych w dziedzinie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych.

Różne są zakresy diagnostyki, jako metodyki podejmowania decyzji zapewniającej niezawodną pracę. Zależą od rodzaju urządzenia i jego roli w systemie elektroenergetycznym. Podstawą jej jest uzyskanie zbioru informacji, które na obecnym poziomie wiedzy pozwolą porównać aktualne parametry techniczne urządzenia z określonym układem parametrów, stanowiącym bazę odniesienia. Aby diagnostyka była skuteczna i wiarygodna, musi mieć podstawę w systemie norm technicznych, który reguluje techniki pomiarów i dostarcza danych odniesienia. Ten system norm z kolei powinien być dwustopniowy: pierwszy stopień powinny stanowić podstawowe normy obejmujące klasyfikację wspólnych dla wszystkich urządzeń narażeń i wynikających z nich wymagań dla prób i pomiarów, drugi stopień natomiast obejmuje szczegółowe normy specyficzne dla poszczególnych urządzeń. Do takiego ułożenia systemu norm zmierzają prace w instytucjach międzynarodowych.

Pierwszy stopień normalizacji w odniesieniu do układów izolacyjnych zawierać powinien określenie przede wszystkim relacji pomiędzy spodziewanymi narażeniami elektrycznymi i adekwatnymi do nich procedurami i technikami prób, pomiarów i badań. Są to zatem problemy szeroko rozumianej koordynacji izolacji, znajdujące swoją realizację w pracach CIGRE, IEC, publikacjach konferencyjnych jak ISH ii. Wynikające z nich zalecenia obejmują obecnie jedno z podstawowych narażeń jakim jest pole elektryczne. Rozwój nowoczesnych szybkich łączników oraz urządzenia o izolacji gazowej i zachodzące w nich procesy wyładowań zainspirowały potrzebę badań i normalizacji bardzo szybkich przebiegów. Nad ich realizacją techniczną w sensie generowania oraz rejestracji trwają intensywne prace. Aczkolwiek w kraju nie są to jeszcze w chwili obecnej problemy powszechne, nie ma wątpliwości że dotrą do nas, wzbogacone o uzyskane już doświadczenia. W ten sposób aktualny podział narażeń przepięciowych według IEC 60071 obejmuje cztery kategorie: 1) napięcie robocze (*OV* — *operating voltage*) o czasie działania od 1 godziny aż do oczekiwanego czasu pracy i o wartości 1 j.w., 2) przepięcia przejściowe (*TOV* — *temporary overvoltage*), działające od 0,03s do 2600s o wartości do 1,8 j.w., 3) przepięcia o stromym czole (*FFOV* — *fast-front overvoltages*), od 0,1 μ s do 20 μ s o czasie działania do 300 μ s i wartości do 4 j.w., 4) przepięcia o bardzo stromym czole (*VFFOV* — *very-fast-front overvoltages*), od 3ns do 100ns o czasie działania do 3ms i wartości do 3 j.w. Narażenia pierwszej grupy pochodzą od napięcia roboczego, druga grupa jest wywoływana zjawiskami ziemnozwarciowymi, zmianami obciążenia itp., narażenia trzeciej grupy pochodzą od wyładowań atmosferycznych i czynności łączeniowych zaś źródłem grupy czwartej są czynności łączeniowe w urządzeniach GIS. W programie niniejszego Sympozjum znajdują się odniesienia do tej tematyki. Nowe problemy przepięciowe pojawiają się

też w następstwie coraz powszechniejszego wprowadzania urządzeń energoelektronicznych, będących źródłem bardzo szybkich przepięć.

Narażenia elektryczne nie są wyłącznymi, w związku z czym istnieje i rozwijana jest tematyka narażeń wieloczynnikowych. Dąży się w niej po pierwsze do określenia podstaw fizykalnych działania i ich modelowania, zakładając, że niewystarczające są obecne empiryczne, w większości potęgowe formuły czasu życia, po drugie do wyznaczenia tak zwanych narażeń decydujących. Również ta problematyka znajduje wyraz w programie obecnego Sympozjum. Odpowiednią jakością urządzeń w warunkach eksploatacyjnych powinny zapewnić adekwatnie dobrane warunki prób i badań odbiorczych i stosownych prób ruchowych. Dla pełnego osiągnięcia tego celu potrzebna jest też określona jakość samych prób i badań i stąd wynikają dla nich wymagania, podlegające również normalizacji. I ten temat znalazł również miejsce w obecnym EUI'99.

Odnosnie procedur diagnostycznych dla poszczególnych oddzielnych grup urządzeń można również obserwować rozwój metod i technik, które wyznaczają aktualne tendencje w tej dziedzinie. Streszczając je można scharakteryzować kierunki rozwoju technicznego w dziedzinie prób, pomiarów, badań i organizacji nadzoru technicznego w eksploatacji najważniejszych urządzeń elektroenergetycznych wysokiego napięcia.

Transformatory mają szczególnie obszernie opracowane techniki diagnostyczne, zarówno elektryczne, akustyczne jak i chemiczne. Komplementarne wykorzystanie tych źródeł informacji wymaga jednak dalszej pracy nad stworzeniem wspólnego modelu zmian właściwości eksploatacyjnych transformatora z upływem czasu oraz pod wpływem narażeń losowych, szczególnie prądów zwarciovych.

W dziedzinie nadzoru ważnych kabli i linii kablowych rozważa się zainstalowanie monitoringu temperatury, przynajmniej warstwy zewnętrznej kabla, za pomocą zainstalowanych przewodów światłowodowych i określania temperatury wewnętrznej na podstawie uprzednio zweryfikowanych matematycznych modeli cieplnych. Dla kontroli miejsc szczególnie wrażliwych cieplnie znalazła już zastosowanie termowizja, na przykład do kontroli temperatury głowic kablowych. Proponowana jest na terenie międzynarodowym nowelizacja prób pomontażowych linii kablowych. Rozwija się technikę badań wyładowań niezupełnych oraz prób napięciowych, przy czym ze względu na niezbędną moc urządzeń probierczych proponowane są urządzenia specjalne, np. rezonansowe, urządzenia bardzo niskiej częstotliwości lub formujące określony kształt impulsów a mające budowę dostosowaną do warunków terenowych. Proponowane jest ustalenie specjalnych arkuszy statystyki uszkodzeń, umożliwiających opracowanie wyników według wiarygodnych testów statystycznych. Pojawia się zainteresowanie przepięciami, generowanymi w sieciach kablowych ze względu na zagrożenie dla samych kabli.

Do budowy i eksploatacji izolacji napowietrznej wkraczają coraz szerzej materiały polimerowe. Dostarczając znanych korzyści technologicznych, wprowadzają problemy odporności na działanie warunków atmosferycznych. Zagadnienie nie jest nowe, od szeregu lat badane, obecnie już widać kierunki postępu w tej dziedzinie. Istotną jest tutaj problematyka utraty właściwości hydrofobowych pod wpływem wyładowań w takich materiałach jak SIR i EPDM oraz zamierzone wywoływanie regeneracji tych właściwości w warunkach eksploatacyjnych dzięki dyfuzji niskomolekularnych składników z wnętrza struktury ku powierzchni. Odnosnie zaś kontroli właściwości

izolacyjnych gotowych wyrobów w celu określania wymagań dla diagnostyki, można wskazać na prowadzone prace na gotowych obiektach (np. w Szwecji), gdzie dokonuje się systematycznych pomiarów takich wielkości jak składowa stała i wartość szczytowa prądu upływu. Pozwolą one na weryfikację modeli fizycznych i matematycznych opracowywanych w warunkach laboratoryjnych. W eksploatacji linii napowietrznych prowadzi się analizę różnych sposobów inspekcji i diagnostyki zarówno stanu mechanicznego przewodów jak i izolatorów. Znajdują tutaj na przykład zastosowania efektywne techniki nadzoru lotniczego. Dąży się do oceny możliwości zwiększenia obciążalności prądowej linii przy zachowaniu niezbędnej niezawodności przede wszystkim ze względu na wytrzymałość mechaniczną, ale problemy izolacyjne elektryczne pojawiają się w sposób naturalny. Obserwuje się zainteresowanie warunkami odporności na wyładowania atmosferyczne: przeskok odwrotny, przepięcia indukowane. Aktualnie można obserwować liczne prace przede wszystkim symulujące te zjawiska.

Dla nowoczesnej eksploatacji łączników pojawiają się rozwiązania umożliwiające kontrolowaną kinetykę rozdzielania styków z równoczesną szybką odbudową właściwości izolujących przestrzeni międzystykowej tak aby zminimalizować zagrożenie napięciem powrotnym. Stosownie do tego powstaną zapewne odpowiednie wymagania probiercze.

Znajdujące zastosowanie coraz powszechniej ochronniki warystorowe muszą podlegać badaniom szczególnie wiarygodnym w odniesieniu do spodziewanych narażeń. Proponowana jest obecnie nowelizacja stosownych wymagań IEC, tak aby próby weryfikowały w sposób właściwy zdolność bezawaryjnego adiabatycznego pochłaniania energii. Drugim problemem ochronników są pojawiające się w nich wyładowania niezupełne i ich detekcja oraz następstwa. Wreszcie efekty ewentualnych wielokrotnych wyładowań atmosferycznych powinny znaleźć wyraz w wymaganiach przepisów.

Obszerna już problematyka urządzeń o izolacji gazowej nie ma jeszcze znaczącego odniesienia w kraju, niemniej jej zastosowanie jest niewątpliwe w określonej przyszłości.

Odnosnie wykorzystania statystyk awaryjności urządzeń prowadzone są prace, zmierzające do ustalenia odpowiednich systemów zbierania informacji z eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych w celu sformułowania procedur wyznaczania ich niezawodności. Dotyczy to praktycznie wszystkich dużych urządzeń, kabli, linii napowietrznych. W odniesieniu do niektórych obiektów, na przykład linii napowietrznych, istnieją już dość dobre doświadczenia eksploatacyjne i obszernie bazy danych, inne zaś, jak transformatory, wymagają jeszcze pogłębionych analiz, w tym ekonomicznych. Pojawiające się ostatnio w stosunku zwłaszcza do dużych obiektów o długim już czasie eksploatacji pytania o ich przewidywany dalszy czas pracy uzasadniają potrzebę opracowywania takich źródeł informacji z myślą o przyszłości.

Wymienione tendencje w dziedzinie szeroko rozumianej eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych znalazły wyraz w pracach, zgłoszonych na obecne Sympozjum. Przegląd problematyki referatów obecnego Sympozjum EUT'99 pozwala na dokonanie następującego podziału na grupy tematyczne:

- zagadnienia organizacyjne, zarządzanie jako podstawa eksploatacji technicznej,
- awaryjność urządzeń, analizy eksploatacyjne,

- diagnostyka różnych urządzeń, doświadczenia, nowe metody pomiarowe,
- nowe materiały i konstrukcje, postęp w technologii, racjonalna gospodarka materiałami w aspekcie środowiskowym,
- starzenie materiałów, modele,
- przepięcia, szczególne przypadki, ochrona.

Reprezentacja wymienionych grup obejmuje zatem wszystkie aktualne problemy eksploatacji urządzeń od zagadnień organizacyjnych poprzez badania, analizę awaryjności i tendencje nowych materiałów i konstrukcji. Badania przedstawiane w materiałach Sympozjum EUI'99 obejmują generatory, transformatory, kable, izolatory porcelanowe, linie napowietrzne ochronniki przeciwprzepięciowe. Szczególnie wyróżnia się problem badań transformatorów, obejmując zarówno podstawy jak i realizację techniczną. Obszernie opisane są różne techniki badań wyładowań niezupełnych aż do wskazania możliwości monitoringu. Znaczącą grupę stanowią problemy izolacji linii napowietrznych, modelowania działania narażeń zabrudzeniowych oraz zastosowania kompozytów polimerowych. Odnośnie linii napowietrznych opisany jest między innymi ich nadzór z użyciem techniki lotniczej. Opisano nowe źródła szybkich przebiegów udarowych, koniecznych z wskazanych poprzednio względów. Mechanizmy reagowania materiałów na różne narażenia i detekcja skutków z użyciem różnych metod stanowi osobną grupę referatów.

ACTUAL STAGE AND TENDENCIES IN THE EXPLOITATION OF HIGH VOLTAGE INSULATING SYSTEMS

In this paper the main topics of the Proceedings of Symposium “Problems of High Voltage Insulating Systems Exploitation EUI'99” have been presented and compared with actual research in this matter.

They can be summarized as follows:

- organizing problems, management as the background of technical exploitation,
- failure statistics, exploitation analysis,
- diagnostic of different apparatus, experience, new measurement methods,
- new materials and constructions, development in technology, materials management, particularly in ecological aspect,
- ageing processes, modelling,
- overvoltages, particular cases, overvoltage protection.