(R)ewolucja bloków energetycznych: Generatory o napięciu... 110 kV

Na podstawie artykułu Iwanow-Smolenskij A.W. i in. „Opyt i perspektiwy sozdanija wysokowoltnych generatorow na napriażenija 110-500 kV", Elektriczestwo 10/2008 opracował Piotr Olszowiec

(„Energia – Gigawat" – nr 2-3/2009)

Jednym z perspektywicznych sposobów obniżenia nakładów na budowę i eksploatację elektrowni jest uproszczenie tradycyjnej struktury bloku energetycznego przez wyeliminowanie transformatora blokowego. Urządzenie to służy do podwyższenia napięcia generatora do poziomu sieci przesyłowej. Bezpośrednie przyłączenie generatora do sieci wysokiego napięcia (WN) bez udziału transformatora blokowego daje wiele korzyści ekonomiczno–technicznych. Należą do nich m.in. zmniejszenie terenu zajmowanego przez blok, obniżenie kosztu budowy i eksploatacji elektrowni, wyeliminowanie zagrożenia ekologicznego, pożarowego i wybuchowego wywoływanego przez samą obecność oleju transformatora.

Zadanie budowy i wdrożenia do eksploatacji generatorów przystosowanych do bezpośredniego włączenia do sieci WN rozwiązali w końcu lat 90. uczeni i specjaliści firmy ABB. Był to głośny wówczas wynalazek o nazwie Powerformer. Należy jednak przypomnieć, że pierwsze tego rodzaju urządzenie w świecie zostało skonstruowane już około 40 lat temu w ZSRR.

Radzieckie osiągnięcia w dziedzinie konstrukcji generatorów WN

W latach powojennych moce radzieckich generatorów znacznie przewyższyły tysiąc MW, jednak ich znamionowe napięcia nie osiągnęły 30 kV. W rezultacie zaczęły narastać problemy związane z konstrukcją maszyn, wyłączników i szynoprzewodów na coraz wyższe prądy robocze, a także utrudnienia przy budowie elektrowni, zwłaszcza wodnych w warunkach braku dostępnego terenu w okolicach górskich. Uczeni radzieccy stwierdzili, że dla dalszego podnoszenia napięcia generatorów konieczne są zasadniczo nowe rozwiązania konstrukcyjne uzwojeń stojana i obwodu magnetycznego. Realne perspektywy technologicznego przełomu otworzyła koncepcja akademika prof. G. N. Pietrowa zakładająca znaczne zwiększenie wymiarów żłobków stojana i wykonanie specjalnego uzwojenia tłumiącego na wirniku. Dla praktycznej realizacji budowy wysokonapięciowych generatorów dużej mocy konieczne było rozwiązanie szeregu złożonych problemów technicznych takich jak wybór rodzaju izolacji uzwojeń stojana, opracowanie sposobów ochrony przepięciowej oraz kontroli stanu izolacji na etapie produkcji i podczas eksploatacji. Na podstawie zgromadzonych doświadczeń do budowy prototypu radzieccy konstruktorzy wybrali sprawdzoną w urządzeniach o napięciu do 750 kV izolację papierowo-olejową, i to mimo znanych jej wad, którymi są niewysoka dopuszczalna temperatura pracy i zagrożenia pożarowe. Dla uzwojeń o tej izolacji przyjęto chłodzenie przez cyrkulację oleju. Należy podkreślić, że w omawianym okresie poszukiwań i prób, tj. w latach 60. XX wieku, rozpowszechniona obecnie izolacja z usieciowanego polietylenu znajdowała się dopiero na etapie początkowych badań. Zasadniczą przeszkodę dla podniesienia napięcia roboczego maszyny, czyli nadmierny wzrost natężenia pola elektrycznego wokół prostokątnych prętów uzwojeń stojana, przezwyciężono w ZSRR dzięki zastosowaniu unikalnych rozwiązań technicznych. W przybliżeniu jednorodne pole elektryczne o żądanym natężeniu, uzyskano przez wprowadzenie układu ekranów z folii

aluminiowej oraz kondensatorowych okładzin. Uzwojenia stojana połączone w gwiazdę z uziemionym punktem zerowym obejmowały 21 cewek (po 7 na fazę). Dla ochrony izolacji uzwojeń od przepięć początkowe cewki każdej z faz stojana zbocznikowano kondensatorami. Wszystkie elementy generatora za wyjątkiem uzwojeń stojana były chłodzone powietrzem. Same pręty tych uzwojeń wyposażono w nietypowe dla maszyn wirujących chłodzenie olejowe.

Prototyp wysokonapięciowego hydrogeneratora o parametrach znamionowych 16.9 MVA, 121 kV, cos fi=0.8, 187.5 obr/min zbudowano w końcu lat 60. i zainstalowano w niewielkiej elektrowni wodnej „Schodnia" w obrębie Moskwy. Jednostkę przyłączono bezpośrednio do sieci 110 kV. Maszyna pomyślnie przeszła przewidziane próby i wieloletni okres eksploatacji. Jednak w 1980 r. dalsze badania prototypu zostały przerwane z bliżej nie podanych przyczyn. W oparciu o pozytywne doświadczenia wyniesione z badań i eksploatacji tego hydrogeneratora w Rosji zaplanowano opracowanie i budowę dwóch większych jednostek o parametrach 122.4 MVA, 165 kV, 103.4 obr/min, cos fi=0.85 i sprawności 97.1%. Analiza techniczno-ekonomiczna wielu rosyjskich elektrowni wykazała, że zastąpienie tradycyjnych bloków „generator-transformator" generatorami wysokonapięciowymi przyłączanymi bezpośrednio do sieci przesyłowej przynosi znaczne oszczędności materiałów i kosztu zakupu urządzeń, przy czym korzyści wzrastają przy wyższych prędkościach obrotowych maszyny. W szczególności dla turbogeneratorów parowych efekt ten sięga aż 40 %, zaś dla elektrowni wodnych i pompowo-szczytowych wynosi 15 do 20 %.

Obniżenie kosztów produkcji, poprawa sprawności a ostatnio także zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko wymuszają nieustanny rozwój układów elektroenergetycznych wysokiego napięcia na świecie. W tych urządzeniach izolacja posiada zasadnicze znaczenie dla spełnienia postawionych wymagań technicznych. W ostatnich latach w technologii materiałów izolacyjnych zaszły gruntowne zmiany, które umożliwiły np. około 2-krotny wzrost dopuszczalnej wartości natężenia pola elektrycznego występującego w izolacji uzwojeń maszyn wirujących. Wynalazki te otworzyły drogę do podnoszenia napięć pracy w maszynach elektrycznych największych mocy.

Poważnym osiągnięciem w tej dziedzinie okazało się zastosowanie izolacji z tworzyw sztucznych, sprawdzonej w układach kablowych przesyłu i rozdziału energii elektrycznej, do uzwojeń maszyn i transformatorów energetycznych wysokiego napięcia. Rozwój technologii kabli elektroenergetycznych rozpoczął się w latach 80. XIX wieku wraz z upowszechnianiem instalacji oświetleniowych, natomiast od początku XX wieku przystąpiono do budowy podziemnych sieci kablowych. Z biegiem lat zmieniały się materiały izolacyjne kabli: guma naturalna, gutaperka, wosk, juta, konopie, bawełna, żywica czy asfalt. Przy wyższych napięciach roboczych wprowadzono ciśnieniowe kable olejowe. Obecnie stosuje się dwa główne rodzaje izolacji kabli WN, a mianowicie papierową (i olejowo-papierową) oraz polimerową. Wśród tych ostatnich najszersze zastosowanie znalazły kable w izolacji z usieciowanego polietylenu (angielski skrót XLPE), które po zdominowaniu układów rozdzielczych, torują sobie drogę również do sieci przesyłowych, a ostatnio do maszyn elektrycznych dużej mocy.

W tradycyjnych generatorach energetycznych uzwojenia stojana wykonane są z izolowanych prętów o przekroju prostokątnym. W ciągu ostatnich dziesięcioleci materiały izolacyjne (taśma mikowa impregnowana epoksydowo lub poliesterem) nie uległy większym zmianom, mimo iż nieustannie wzrastało natężenie pola elektrycznego w żłobkach stojana osiągając wartość 2.5kV/mm. Prostokątny kształt prętów uzwojeń wywołuje na ich krawędziach wzrost

natężenia pola, które jest źródłem powstawania wyładowań niezupełnych i ulotu. Taka konstrukcja uzwojeń uniemożliwia dalsze podnoszenie napięcia generatora powyżej poziomu 30 kV. Dlatego, w odróżnieniu od konwencjonalnych generatorów, uzwojenia szwedzkiej konstrukcji nazwanej Powerformer wykonano z kabli o izolacji z usieciowanego polietylenu (XLPE).

Okrągłe żyły zapewniają równomierny rozkład pola elektrycznego na jej powierzchni, zaś kształt żłobka dopasowano do ułożenia szeregu kabli kolejnych zwojów w izolacji o narastającej wytrzymałości. Takie rozwiązanie zapewniło wzrost dopuszczalnego natężenia pola do 15kV/mm, co sprawdzono już w sieciach kablowych o napięciu 500 kV. Generator o takim napięciu roboczym można przyłączyć bezpośrednio do sieci WN bez transformatora podwyższającego (blokowego). Jednocześnie dzięki zwiększonemu napięciu wielokrotnie zmniejszyła się wartość prądu stojana wymagana dla uzyskania założonej mocy generatora.

Nowym korzystniejszym parametrom elektrycznym towarzyszy wyższa sprawność maszyny wskutek obniżonych strat cieplnych w przewodach uzwojeń. Prototyp Powerformera o danych znamionowych 11MVA, 45kV i 600obr/min pracuje w szwedzkiej elektrowni wodnej Porjus od 1998r. W kolejnych trzech latach dołączyły do niego dalsze jednostki, w tym turbogenerator o parametrach 42MVA,136kV i 3000obr/min oraz hydrogeneratory o danych 75MVA,155kV i 125obr/min oraz 25 MVA, 78 kV i 115 obr/min.