

Regulacja sieci elektroenergetycznej dzięki pompie szczytowej w elektrowni wodnej Forbach

W elektrowni wodnej szczytowo-pompowej Forbach (Schwarzwald) po raz pierwszy w Niemczech jednostka maszynowa wzięła udział w regulacji wtórnej i pierwotnej sieci. AEG skonstruowało i zainstalowało przetwornik częstotliwości, dzięki któremu pompa szczytowa mogła być regulowana.

Pompa szczytowa napędzana za pośrednictwem przetwornika częstotliwości posiada moc 20 MW, wysokość pompowania 229 m, wydajność 8,8 m³/s przy prędkości obrotowej 440 bis 500 obr/min. Pompa została dostarczona i zainstalowana w roku 1991.

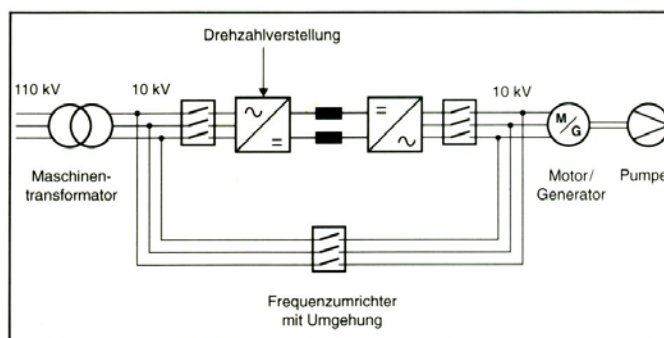


W zachodnioeuropejskiej sieci układu elektroenergetycznego UCPTE (Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité, Paryż) została zapewniona koordynacja wytwarzania i rozdziału energii elektrycznej, co zapewnia równowagę pomiędzy produkcją a konsumpcją dzięki wspólnemu działaniu wszystkich przedsiębiorstw energetycznych¹. Do utrzymania mocy wymiennej i usunięcia wahań częstotliwości służy regulacja wtórna, nazywana również regulacją częstotliwości i mocy lub regulacją sieci. Badenwerke AG, Karlsruhe w końcu lat pięćdziesiątych uruchomiło pierwszy regulator mocy i częstotliwości nazywany regulatorem sieci. W owym czasie funkcje regulującą spełniała już elektrownia wodna w Forbach wraz z dwoma zespołami maszynowymi zakładów Schwarzenbach z mocą 43 MW. W późniejszym okresie do regulacji zostały włączone maszyny elektrowni nad jeziorem Schluchsee, Häusern, Witznau i Waldshut o mocy 225 MW oraz na początku lat siedemdziesiątych elektrownie Säkingen i Wehr w południowym Schwarywaldzie. Badenwerk posiada łącznie 856 MW mocy regulującej. Do tej pory używano, do regulacji sieci, układów generatorowych, ze względu na szybko zdolność wytwarzania mocy. Regulacja wtórna i pierwotna bloku sieci za pomocą pomp nie była do tej pory możliwa.

Zdjęcie pokazuje część konstrukcji trójpoziomowego prostownika sieci. Elektroniczne sterowanie tyrystorów (strona lewa). Po prawej stronie znajduje się bezpiecznik w obwodzie pośrednim prądu stałego.

Dzięki regulacji pompy za pomocą przetwornika częstotliwości, występujące wahania częstotliwości w sieci elektroenergetycznej mogą być bardzo szybko wyregulowane, poprzez redukcję mocy pompy, co powoduje odciążenie sieci. Wtórna regulacja to zależność prędkości obrotowej pompy od współczynnika obciążenia regulatora sieci. Dodatkową funkcją przetwornika, jest wykorzystanie go jako przetwornik napędowy do rozruchu jednostki maszynowej i do programów zmiany rodzaju pracy. Przedział mocy tej instalacji 12 – 20 MW, w porównaniu do całkowitej mocy zainstalowanej Badenwerk stosunkowo niewielka. Jednak dzięki doświadczeniom nabrany podczas realizacji tego projektu, otwierają się możliwości wykorzystania podobnych rozwiązań dla elektrowni pompowych o dużo większej mocy. Przetestowane zostały oddziaływania elektryczne i mechaniczne, przetwornika na maszynowe wyposażenie elektrowni. Szczególną uwagę zwrócono na drgania całego wału, podwyższenie temperatury i hałas. Wyniki uwzględniono w rozplanowaniu przetwornika.

¹Hoffmann, E., Schäufte, R..
Zastosowanie regulowanej pompy w regulacji sieci
Der Einsatz einer regelbaren Speicherpumpe in der Netzregelung.
Elektrizitätswirtschaft 92 (1993) 25



Schemat zasilania maszyny synchronicznej za pomocą przetwornika częstotliwości

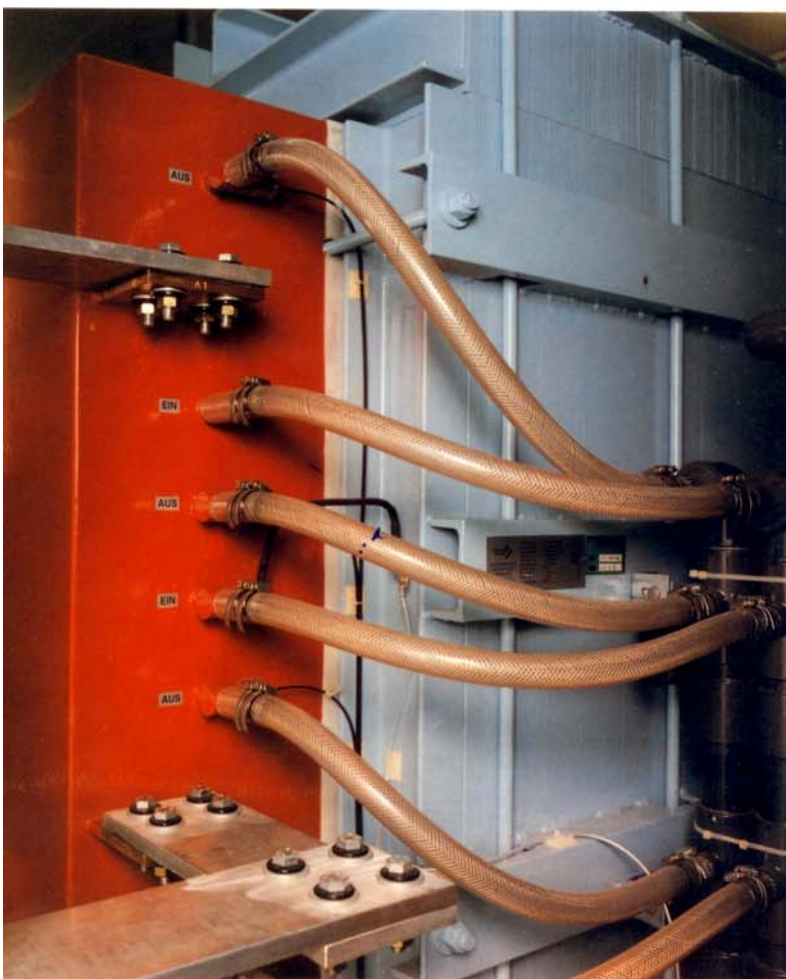
Elektroniczne urządzenia sterujące dla tyrystorów leżą na wysokim potencjale. Komendy załączania realizowane są za pomocą światłowodu. Drugi światłowód służy do kontroli reakcji tyrystora na komendę.

Istotny był fakt, iż przetwornik obciążał sieć i transformator niesinusoidalnymi prądami, indukcyjną mocą bierną oraz przepięciami komutacyjnymi.

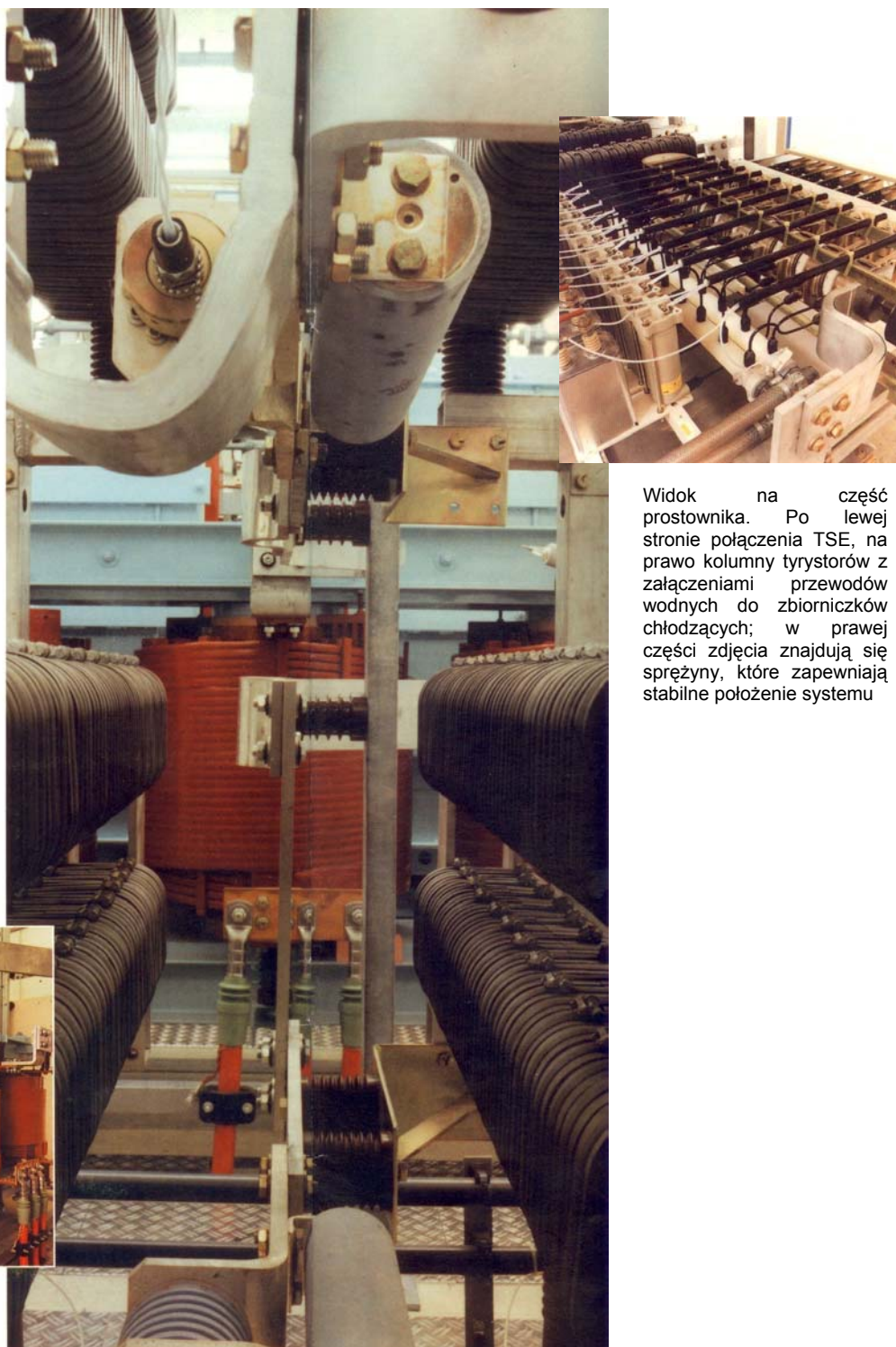
Przetworniki częstotliwości dla elektrowni szczytowo-pompowych, zainstalowane do tej pory to urządzenia najczęściej w instalacjach posiadających jedną turbinę tj. jedną maszynę dla 2 kierunków obrotów. Są one załączane do rozruchu maszyny z pustą pompą do jej prędkości znamionowej i po synchronizacji generatora z siecią zostają odłączone. Moc takiego przetwornika jest znacznie mniejsza niż moc znamionowa maszyny. W Elektrowni szczytowo-pompowej Forbach w odróżnieniu do pozostałych typów przetwornik pracuje ciągle. Za pomocą tego urządzenia można realizować 8 następujących programów zmiany rodzaju pracy:

- wzbudzenie tzn. ze stanu przestoju na stan pracy z nieregulowanym lub regulowanym biegiem turbiny lub pompy;
- z regulowanego biegu pompy na nieregulowanego biegu pompy (silnik / generator synchroniczny załączony bezpośrednio do sieci) i
- z nieregulowanego biegu pompy z powrotem na;
- z regulowanego biegu pompy na pracę turbiny i
- z pracy turbiny na regulowany bieg pompy i
- z tego stanu do stanu przestoju.

Przejście ze stanu pracy biegu turbiny w stan przestoju zespołu maszynowego daje się dokonać przez hamowanie, za pomocą przetwornika częstotliwości.



Chłodzone wodą dławiki wyglądające w obwodzie pośrednim prądu stałego. Jako połączenia elektryczne służą masywne szyny prądowe. Do dławika dochodzi obieg wodny.



Cewka komutacyjna prostownika sieciowego jest chłodzona powietrzem, z tyłu dławik wyglądający chłodzony wodą.

Widok na część prostownika. Po lewej stronie połączenia TSE, na prawo kolumny tyrystorów z załączeniami przewodów wodnych do zbiorniczków chłodzących; w prawej części zdjęcia znajdują się sprężyny, które zapewniają stabilne położenie systemu

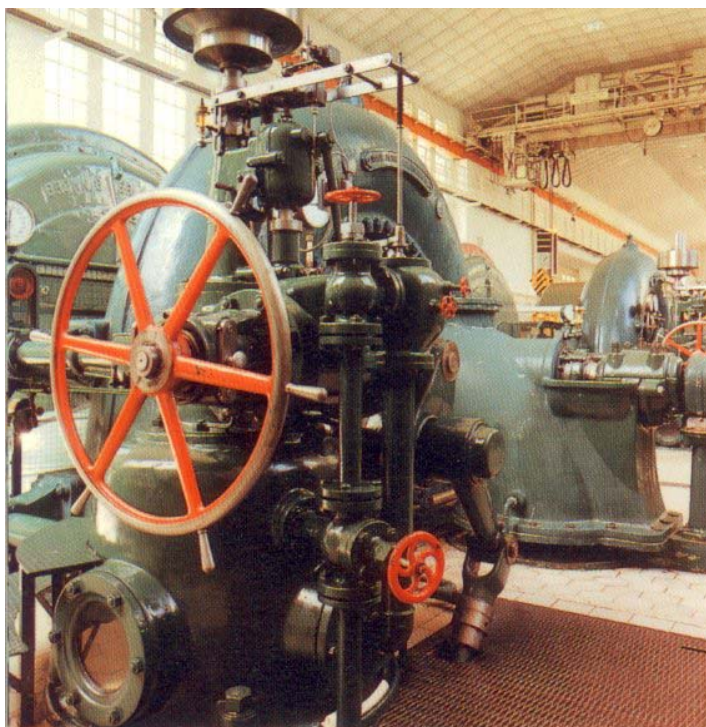
Ten widok na prostownik sieciowy pokazuje po prawej i lewej stronie rdzenie ferrytowe, które ograniczają wzrost prądu w gałęziach tyrystorów.

Regulacja sieci

Cechy charakterystyczne pojawiają się przykładowo w przejściu z pracy turbiny na pracę pompy i odwrotnie; hamowanie dokonywane jest w tym przypadku za pomocą przetwornika, aby oszczędzać pompę; prostownik sieciowy pracuje jako falownik, prostownik maszyny pracuje jako prostownik. Energia jest oddawana do sieci. Maszyna zostaje zahamowana elektrycznie, aż do prędkości pełnej / pustej pompy. Po napełnieniu / opróżnieniu pompa zostaje ponownie rozpędzona do prędkości znamionowej. Dzięki przetwornikowi częstotliwości jest możliwy sposób eksploatacji, który oszczędza cały zespół maszynowy.

Podczas przejścia z pracy wyregulowanej do nieregulowanej, więc podczas załączania maszyny synchronicznej do sieci, konieczna jest synchronizacja, odbywająca się za pomocą przetwornika częstotliwości, zarówno podczas obciążenia jak i biegu jałowego. Częstotliwość, napięcie i faza maszyny synchronicznej zostaną wyrównane z napięciem sieci poprzez przetwornik częstotliwości lub przez wzbudnicę. Maszyna zostaje załączona do sieci za pomocą sprzęgła. Dzięki temu następuje obejście przetwornika, który może zostać odłączony. Przejście pomiędzy stanem wyregulowanym a nieregulowany jest bezprzerwowo. Przełączenie maszyny z pracy sieciowej na pracę z załączonym przetwornikiem następuje również bezprzerwowo. Przy załączonym sprzęgle zostaje dołączony przetwornik, wyregulowany w taki sposób, aby przejął moc czynną ze sprzęgła, które zostaje otwarte bezprądowo.

Głównym zadaniem przetwornika jest wyregulowany bieg pompy. Prędkość obrotowa ustawiona jest pomiędzy 440 i 500 obr./min; odpowiada to mocy pompy od 12 do 20 MW. Moc może zostać ustawiona ręcznie, za pomocą szybkiego mikroprocesorowego systemu pomiarowego lub współczynnika obciążenia regulatora sieci.



Widok na halę maszynową, najstarszą część zakładu Schwarzenbachwerk z roku 1914 do 1918. Spiralna turbina Francisa i generatory, w sumie 5 każdy o mocy 5 MVA, pracują do dziś.

Konstrukcja i funkcjonowanie przetwornika

W przetworniku jest podłączony prostownik sieciowy szeregowo do falownika maszyny w układzie 6-impulsowym, który jest połączony z maszyną synchroniczną. Pobiera on moc bierną komutacji z maszyny. Napięcie znamionowe przetwornika wynosi 10 kV, przedział częstotliwości 0 - 50 Hz, moc czynna, przy 50 Hz, 21,3 MW oraz napięcie obwodu pośredniego 13 kV. Konstrukcja przetwornika opiera się na systemie konstrukcji zespołowej. Jedna rama wiąże wszystkie elementy w jeden kompletny, gotowy do pracy prostownik.

Pojedyncze gałęzie składają się z szeregowo połączonych 9 tyrystorów dla 1,3 kA przy temperaturze obudowy 85°C i dla napięcia zaporowego 5,2 kV w obydwu kierunkach. Budują one kolumny tyrystorowe, pomiędzy którymi znajdują się zbiorniczki chłodzące (chłodzenie wodne), oraz które połączone są do jednego mechanicznego wiązania. Podczas awarii można wymienić jeden tyrystor, bez konieczności otwierania obwodu chłodzącego; czas przestoju urządzenia redukuje się do minimum.

Materiałem chłodzącym jest oczyszczona chemicznie woda w zamkniętym obiegu. Woda ta zostaje ochłodzona w chłodziarce przez wodę nieuzdatnioną. Grupa połączeń RC jest podłączona bezpośrednio do tyrystorów i służy jako sterowanie i zabezpieczenie przeciw przepięciowe. Osobne zabezpieczenie na każdym z tyrystorów chroni, dzięki automatycznemu załączaniu, przed uszkodzeniami, które zostają obciążone wysokim napięciem zwarcia w wypadku wystąpienia błędu.



Widok części prostownika

Podsumowanie

Przetwornik częstotliwości nowej generacji w Elektrowni Forbach grupy Badenwerk AG, umożliwi nie tylko automatyczne szybkie rozpędzanie i hamowanie zespołu maszynowego, również regulację pierwotną i wtórną sieci podczas pracy pompy poprzez zmiany prędkości obrotowej. Przedział regulacji mocy leży między 12 a 20 MW.

Zastosowania tej techniki w wielkich elektrowniach szczytowo-pompowych w przyszłości wymagać będą nowego rozplanowania i modernizacji jednostek maszynowych. W tym projekcie pilotażowym AEG brało udział w dostawie i planowaniu elektrotechnicznego wyposażenia, w skład którego wchodzi kompletna instalacja przetwornika częstotliwości wraz z energoelektroniką, sterowaniem, regulatorem mocy / prędkości obrotowej i rozdzielni 10 kV oraz nowej wzbudnicy dla silnika / generatora synchronicznego.

Netzregelung durch Pumpspeichermaschine

Frequenzumrichter speist Synchronmaschine

Im Kraftwerk Pöchlarn (Schwarzwald) der Badenerwerke AG, Karlsruhe, wurde erstmals in der Bundesrepublik Deutschland ein Maschinensatz eines Pumpspeicherkwerkes im Pumpbetrieb an der Primär- und Sekundärregelung des Netzes beteiligt. Hierfür ontzählte und installierte die AEG einen Frequenzumrichter, mit dem die Speicherpumpe regelbar wird.

Die mit Hilfe des Frequenzumrichters angetriebene Speicherpumpe hat eine Förderhöhe von 259 m, eine Leistung von 20 MW, eine Fördermenge von 8,8 m³/s bei einer Drehzahl von 440 bis 500 min⁻¹. Die Pumpe wurde im Jahr 1991 hergestellt und installiert.