

P O L S K A   A K A D E M I A   N A U K  
INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE  
INSTYTUTU MASZYN  
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS  
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

78

WARSZAWA-POZNAŃ 1980

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

---

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPLYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

\*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW  
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

---

RADA REDAKCYJNA—EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI  
STEFAN PERYCZ · WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ROMUALD PUZYREWSKI  
KAZIMIERZ STELLER (PRZEWODNICZĄCY · CHAIRMAN) · ROBERT SZEWAŁSKI  
JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY—EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR  
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI  
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA—EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN  
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright  
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe  
Warszawa 1980

Printed in Poland

ISBN 83-01-02543-3  
ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 330+90 egz. Ark. wyd. 8,75. Ark. druk. 7,125 Papier druk. sat. kl. V,  
70 g. 70×100 cm. Oddano do składania 21 kwietnia 1980 r. Druk ukończono  
w lipcu 1980 r. Zamówienie nr 231/9. T-10/317. Cena zł 30,—

DRUKARNIA UNIWERSYTETU IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

STEFAN PERYCZ\*

Gdańsk

## Strategia optymalizacji sterowania mocą turbozespołów energetycznych

### 1. Wstęp

Gdy z początkiem lat pięćdziesiątych przystępowaliśmy do konstrukcji turbiny TP2 jednym z zadań było opracowanie układu regulacji i charakterystyk turbiny w zmiennych warunkach. Cała nasza wiedza o sterowaniu turbiny opierała się wówczas na trzech będących do naszej dyspozycji podręcznikach: Stodoli, Flüglä i Kiryłowa, wspierane notatkami z wykładów profesora Szewalskiego i uzupełniane jego konsultacjami.

Nie posiadaliśmy natomiast żadnych wyników własnych badań eksperymentalnych, żadnych własnych prac teoretycznych. A jednak zadanie trzeba było wykonać i jakoś się ono udało. Taki jest już los konstruktora, że w trakcie tworzenia nowej maszyny natrafia on nieraz na problemy, dla rozwiązania których brakuje aktualnie wiarygodnych metod czy sprawdzonych współczynników. Praca jednak musi być wykonana terminowo i to narzuca konieczność podjęcia pewnego ryzyka.

Tym niemniej, profesor Szewalski wskazywał na konieczność podjęcia własnych badań z zakresu regulacji turbin; nabrały one nowych wymiarów z chwilą utworzenia Zakładu Regulacji w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN zorganizowanym przez profesora Szewalskiego.

Zadania, które stanęły przed nami po epoce turbiny TP2 były znacznie trudniejsze i obszerniejsze. Należało się zająć problemami sterowania dużych turbin kondensacyjnych z przegrzewem wtórnym — co stanowiło wówczas nowość — a także powiązaniem obwodu turbiny z całością bloku energetycznego i uwzględnieniem dynamiki sieci elektroenergetycznej z jej specyficznymi wymaganiami.

Prezentowana praca jednego z licznych uczniów prof. Szewalskiego dotyczy doboru struktury i zasad optymalizacji układu regulacji mocy i częstotliwości turbiny.

### 2. Zadania regulacji mocy bloku parowego

Uczestniczenie bloku energetycznego w regulacji częstotliwości i mocy wymiennej systemu elektroenergetycznego wymaga bieżącego dopasowania produkcji energii elektrycznej do aktualnego zapotrzebowania. Pobór mocy przez sieć jest zmienny w czasie,

\* Prof. zw. dr inż., Politechnika Gdańska.

przy czym w normalnych warunkach można z dość dobrą dokładnością przewidzieć kształt wykresu dobowego obciążeń. Według niego planuje się uruchamianie i obciążanie bloków stojących do dyspozycji. W pracy sieci występują jednak nieplanowe wahania obciążenia, które – pomijając przypadki awaryjne – mają na ogół amplitudę poniżej 2 - 5% mocy maksymalnej systemu, przy czym największy udział przypada na składowe wolnozmiennie o okresie kilkuminutowym. Przypadkowe zmiany obciążeń w obszarze szybkich pulsacji o okresach poniżej jednej minuty są znacznie mniejsze, a ich cała brana w dostatecznie długim przedziale czasu jest bliska zeru.

W wyjątkowych sytuacjach awaryjnych wystąpić mogą nieoczekiwane nagle, duże i długotrwałe zmiany poboru mocy.

Niezawodność systemu elektroenergetycznego wymaga dobrych właściwości manewrowych bloków parowych, zwłaszcza zdolności do szybkiego przyjęcia wzrostu obciążenia. Wymaga to natychmiastowej aktywizacji zdolności akumulacyjnych bloku i stanowi najtrudniejsze zadanie dla jego układu regulacyjnego.

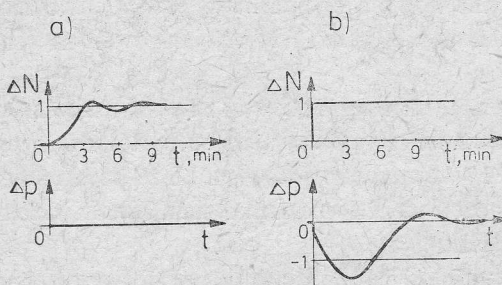
Ogólnie biorąc mamy do czynienia z różnymi wymaganiami sieci.

1. W przypadku normalnej, bezawaryjnej pracy systemu zadanie bloku regulacyjnego sprowadza się do zmian mocy zgodnie z planem obciążeń oraz do uczestniczenia w wygładzaniu drobnych odchyłek częstotliwości sieci.

2. W przypadkach awaryjnych skoków obciążenia sieci, zmiany mocy bloku muszą być duże i szybkie.

### 3. Optymalizacja odpowiedzi skokowych bloku

Odpowiedź skokowa bloku jest ważną charakterystyką określającą jego przydatność w sytuacjach awaryjnych, gdy częstotliwość sieci szybko wykracza poza obszar normalnego pasma jej zmian, lub gdy istnieje konieczność szybkiej i dużej zmiany mocy wymiany



Rys. 1. Przebiegi mocy i ciśnienia bloku parowego przy skokowej zmianie mocy zadanej; a) regulator mocy działa na kocioł, b) regulator mocy działa na turbinę

międzysystemowej. Nagły wzrost obciążenia utrzymujący się przez dłuższy czas może być przyjęty przez blok parowy dzięki zdolnościom akumulacyjnym kotła. W procesie tym występują ograniczenia wynikające z konieczności spełnienia warunków ochrony turbiny i kotła.

Zasadniczy dylemat wynika ze sprzeczności pomiędzy jakością regulacji mocy turbozespołu i jakością regulacji kotła. Dobre podtrzymywanie temperatury i ciśnienia pary wymaga uzależnienia odbioru pary w kotle. Prowadzi to albo do rozwiązania z regulacją typu „Vordruckregelung” w systemie stałociśnieniowym, albo do systemu czysto poślizgowego.

W obu przypadkach duża inercyjność kotła pozwala jedynie na bardzo powolne zmiany mocy turbozespołu. Dobra jakościowo regulacja mocy zakłada wykorzystanie zdolności akumulacyjnych kotła, tj. dopuszcza dość znaczne zmiany parametrów pary. Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi mocy i ciśnienia bloku parowego przy skokowej zmianie zadania, przy regulacji bloku z wiodącym kotłem a) charakterystycznej dla bloków podstawowych i z wiodącą turbiną, b) w przypadku bloków regulacyjnych.

### 3.1. Odpowiedź skokowa bloku przy małych wymuszeniach

W praktycznych wykonaniach układ wprowadzający wielkość sterującą bloku posiada ogranicznik redukujący amplitudę skoku mocy zadanej do wartości dopuszczalnej (granicznej) dla danego bloku, uwzględniającej naprężenia termiczne w turbinie i kotle oraz dopuszczalne zmiany ciśnienia i temperatury pary. Jeżeli skok mocy zadanej jest mniejszy od wartości granicznej, zadanie można linearyzować. Analiza dwuwymiarowego liniowego obwodu regulacji mocy i ciśnienia bloku [3] pozwala stwierdzić, że przy regulacji mocy turbiny można pominąć wpływ obwodu regulacji ciśnienia kotła, tj. można traktować obwód turbiny jako autonomiczny. Wpływ typu kotła na dobór regulatora turbiny i jego strojenie jest pomijalny. Te właściwości regulacji mocy bloku wynikają z faktu, że stałe czasowe występujące w równaniach obwodu kotła są o kilka rzędów wielkości większe od stałych w obwodzie turbiny.

Podobnie dobór typu i optymalizacja nastaw regulatora ciśnienia kotła praktycznie nie zależy od obwodu regulacji turbiny.

Zarówno regulator mocy turbiny jak i regulator ciśnienia kotła może być typu PI lub PID, a ich nastawy należy optymalizować z uwagi na jakość odpowiedzi skokowej.

### 3.2. Odpowiedź skokowa bloku przy dużych wymuszeniach

Nagły wzrost poboru pary przez turbinę pokrywany jest w początkowej fazie dzięki zdolnościom akumulacyjnym kotła. Nadwyżka poboru pary przez turbinę  $\Delta m_T$  nad produkcją kotła  $\Delta m_k$

$$\Delta m = \Delta m_T - \Delta m_k > 0 \quad (1)$$

może prowadzić do zagrożeń spowodowanych zaburzeniami cyrkulacji, niedopuszczalnymi zmianami poziomu wody w walczaku oraz nadmiernymi odchyłkami temperatury pary.

We wzorze (1) symbole  $m$  oznaczają natężenie przepływu. Nasi termodynamicy idąc za przykładem niemieckim forsują oznaczenie  $\dot{m}$ . Geneza tej „kropki nad  $m$ ” sięga wczesnych lat powojennych. Rozumowanie jest takie: oznaczmy przez  $m$  [kg] masową ilość czynnika. Wtedy natężenie przepływu, jako pochodna względem czasu

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

może być zapisane przez  $m$  z kropką, tak jak to nieraz stosują mechanicy pisząc

$$x, \dot{x} = \frac{dx}{dt}, \quad \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

(dla dalszych pochodnych powstają trudności techniczne w opanowaniu ilości kropek). Wydaje się jednak, że zapis  $\dot{m}$  jest w technice przykładem mało konsekwentnym. Przecież dla określenia prędkości jako pochodnej przemieszczenia  $s$  nie stosuje się  $\dot{s}$ . Wymyślono inną symbolikę dla prędkości, np.  $w$ ,  $c$  lub  $v$ . Piszemy więc

$$w = \frac{ds}{dt}$$

Również prąd elektryczny oznaczamy nie przez  $\dot{q}$ , gdzie  $q$  jest ładunkiem, lecz oznaczamy inną literą w myśl relacji

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Można wreszcie wspomnieć, że w rachunkach komputerowych występuje komplikacja, gdy chcemy stosować  $\dot{m}$ : nie ma takich liter w drukarkach, co zmusza do złożonego pisania wieloliterowego.

Wartość  $\Delta m$  w regulacji (1) nie może być dowolnie duża. Dla zabezpieczenia turbiny i kotła stosuje się ograniczenie wartości zmian mocy zadanej, określając graniczną wartość skoku mocy  $\Delta N$  i szybkości jej narastania  $dN/dt$ . Na ogół wymaga się od bloków regulacyjnych szybkości przyjmowania mocy  $dN/dt = 2 - 6\%$  na minutę oraz zdolności obciążenia skokiem mocy  $\Delta N = 6 - 10\%$  wartości znamionowej. W wyjątkowych przypadkach awaryjnych blok parowy winien zwiększać swą moc o 20% w czasie 5 sekund. Żądania takie nie mogą być spełnione przez bloki nieprzystosowane konstrukcyjnie. Wymuszenia w obwodzie sterowania bloku pochodzą od sygnałów zadawanych ręcznie lub automatycznie z dyspozycji mocy, względnie przez regulator centralny systemu (regulacja wtórna) oraz z powodu bezpośredniego uczestniczenia bloku w podtrzymywaniu częstotliwości w ramach regulacji pierwotnej. Występują też poważniejsze zakłócenia w palenisku, zwłaszcza przy paliwach stałych, głównie węgłu brunatnym.

Sumowanie tych trzech wymuszeń może prowadzić do nadmiernego forsowania kotła, mimo istnienia ograniczeń sygnału sterującego regulacji wtórnej turbosespołu. Dla ochrony kotła stosuje się wówczas ograniczenie odbioru pary. Regulator graniczny ciśnienia przyryka zawory turbiny, działając jako nadrzędny w stosunku do regulatora mocy. W praktyce spotyka się z reguły ograniczenie spadku ciśnienia pary  $\Delta p_g$  dla zabezpieczenia przed nadmiernym wyeksploatowaniem zdolności akumulacyjnych kotła.

Jednak oprócz spadku  $\Delta p_g$  istotne znaczenie ma ograniczenie prędkości spadku ciśnienia  $dp/dt$ . Dla ochrony przed zaburzeniami cyrkulacji nie wolno przekroczyć — zależnie od konstrukcji kotła — wartości  $dp/dt = 0,5 - 1$  MPa/min w kotłach z obiegiem naturalnym i około 5 MPa/min dla kotłów z obiegiem przymusowym [6]. Wydaje się, że uzupełnienie regulatora granicznego o tor pochodnej ciśnienia może być niekiedy korzystne, a nawet niezbędne.

Szybkość spadku ciśnienia wynika z równania akumulacji kotła:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{T_v} \Delta m. \quad (2)$$

Przy skokowej zmianie poboru pary  $\Delta m_T$  jest w zakresie  $t < T_0$  ( $T_0$  – czas opóźnienia regulacji ciśnienia)

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{T_a} \Delta m_T. \quad (3)$$

Z równania (3) można obliczyć dopuszczalny skok obciążenia turbiny  $\Delta N_{T1}$  w zależności od granicznej prędkości spadku ciśnienia:

$$\Delta N_{T1} \approx \Delta m_T = -T_a \left( \frac{dp}{dt} \right)_g \quad (4)$$

(we wszystkich równaniach wartości  $p$ ,  $m$ ,  $N$  rozumiane są jako odchyłki odniesione do wartości znamionowych).

Dopuszczalny skok mocy jest więc proporcjonalny do  $(dp/dt)_g$ . Przykładowo, dla  $(dp/dt)_g = 0,5$  MPa/min,  $p_{k0} = 13$  MPa,  $T_0 = 120$  s, otrzymuje się  $\Delta N_{T1} = 8\%$ .

Określenie maksymalnego spadku ciśnienia jest bardziej złożone. Według [4] dla bloku bez przegrzewu wtórnego

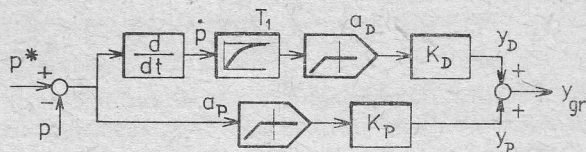
$$\Delta p_k \approx -\Delta m_T \frac{T_k + T_0}{T_a}, \quad (5)$$

gdzie  $T_k$ ,  $T_0$ ,  $T_a$  – stałe czasowe kotła, opóźnienia, akumulacji.

Z relacji (5) wynika graniczna wartość skoku mocy

$$\Delta N_{T2} \approx -(\Delta p_k)_g \frac{T_a}{T_k + T_0}. \quad (6)$$

Porównując (4) i (6) można ocenić, które z ograniczeń kotłowych decyduje w konkretnym przypadku. Na przykład dla  $(\Delta p_k)_g = 10\%$ ,  $T_0 + T_k = 3$  min,  $T_a = 2$  min otrzymuje się  $\Delta N_{T2} = 5\%$ .



Rys. 2. Schemat blokowy regulatora ciśnienia granicznego

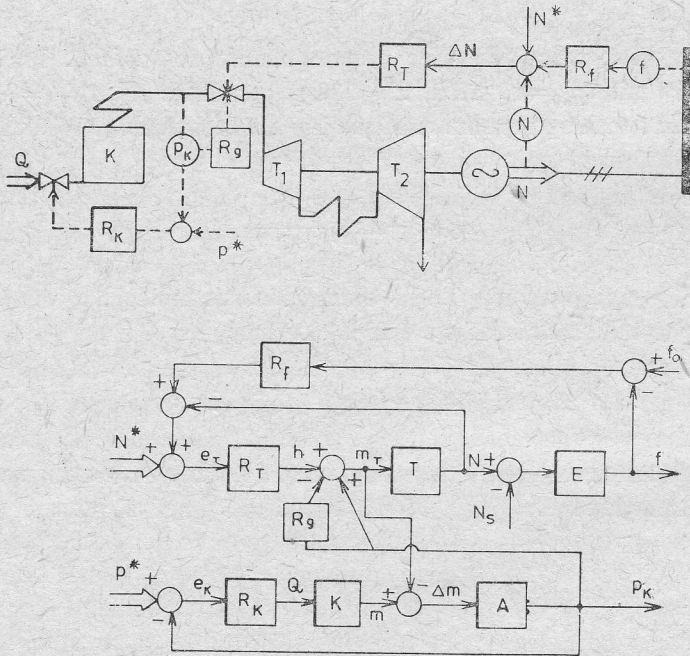
W kotłach przepływowych z obiegiem przymusowym dopuszczalne prędkości spadku ciśnienia są około 10 razy większe niż w kotłach z obiegiem naturalnym, tym samym ograniczenie spadkiem ciśnienia jest ostrzejsze i z toru pochodnej można zrezygnować. W kotłach walczkowych może być różnie, zależnie od wartości  $T_k + T_0$ .

Niezawodność systemu w przypadkach awaryjnych wymaga możliwie pełnego wykorzystania zdolności akumulacyjnych kotła. Regulator graniczny należy konstruować z uwzględnieniem tego żądania. Z zasady maksimum wynika, że najwłaściwszy jest w danym przypadku regulator ze strefą nieczułości i dużym wzmocnieniem, pozwalający na najszybsze osiągnięcie parametrów granicznych i następnie blokujący możliwość przekroczenia tych parametrów.

Na rysunku 2 przedstawiono proponowany schemat blokowy regulatora granicznego zawierający tor proporcjonalny z ograniczeniem  $a_p$  i wzmocnieniem  $k_p$  oraz tor różniczkujący ze współczynnikami  $a_D$  i  $k_D$ . W torze tym przewidziano dodatkowo człon inercyjny o stałej czasowej  $T_1$  dla odfiltrowania krótkotrwałych przekroczeń pochodnej  $(dp/dt)_g$ .

### Przykład

Przy zastosowaniu komputera analogowego zbadano wpływ regulatora granicznego na odpowiedzi mocy i ciśnienia pary, przy wymuszeniu skokiem mocy zadanej większym od dopuszczalnego z uwagi na ograniczenia  $\Delta p_g$ ,  $(dp/dt)_g$ . Oparto się na schemacie dwuwymiarowej regulacji bloku podanym na rysunku 3 i schemacie regulatora granicznego

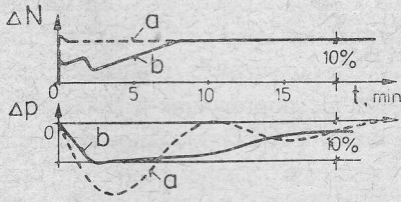


Rys. 3. Schemat dwuwymiarowego obwodu regulacji mocy i ciśnienia bloku parowego z obwodem regulacji pierwotnej  $\Delta f \rightarrow N$  i wtórnej  $N^* \rightarrow N$  oraz z regulatorem granicznym ciśnienia pary  $R_g$

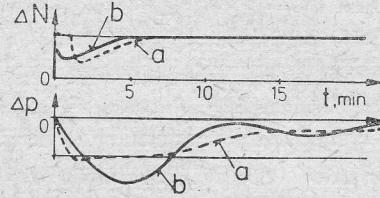
$T$  – turbina,  $K$  – kocioł,  $A$  – zdolności akumulacyjne kotła,  $R_T, R_K, R_f$  – regulator mocy turbiny, regulator ciśnienia kotła, regulator częstotliwości,  $f$  – częstotliwość sieci,  $e_T, e_K$  – uchyby dla turbiny i kotła,  $N$  – moc,  $p$  – ciśnienie,  $h$  – położenie zaworów,  $m_T$  – przepływ pary w turbinie,  $m_K$  – strumień pary wytwarzanej w kotle,  $Q$  – strumień ciepła doprowadzanego w kotle

(rys. 2), przyjmując uproszczone transmitancje i ich parametry podobne jak w blokach krajowych 200 MW [5]. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowo przebieg mocy  $N$  i ciśnienia  $p$  dla modelu liniowego bez ograniczeń ( $k_p=0$ ,  $k_D=0$ ) oraz z ograniczeniami:  $k_p=10$ ,  $a_p=10\%$ ,  $k_D=10$ ,  $a_D=0,05\%/s$ . W porównaniu z przebiegiem bez ograniczeń obserwuje się zmniejszenie mocy turbiny w okresie początkowym do ok. 45% wartości zadanej spowodowane ograniczeniem pochodnej i ponowne obniżenie do ok. 35% wywołane ograniczeniem amplitudy spadku ciśnienia. Dla porównania pokazano na rysunku 5 podobne przebiegi przy wyłączonym torze różniczkującym regulatora granicznego.





Rys. 4. Odpowiedź skokowa bloku z regulatorem granicznym zawierającym tor proporcjonalny i tor różniczkujący (b) i bez ograniczeń ciśnienia (a)



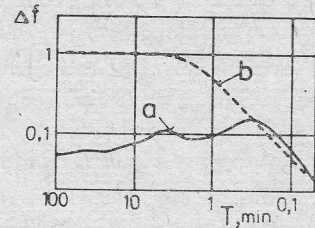
Rys. 5. Odpowiedź skokowa bloku z regulatorem granicznym zawierającym tylko tor proporcjonalny (a) i tylko tor różniczkujący ciśnienia (b)

Wprowadzenie ograniczeń przebiegu ciśnienia pogarsza odpowiedź skokową mocy, ale w zamian zmniejsza odchyłki ciśnienia, utrzymując je na granicznym, dopuszczalnym poziomie.

#### 4. Regulacja pierwotna turbiny w warunkach normalnej pracy systemu elektroenergetycznego

Udział w bloku w podtrzymywaniu częstotliwości sieci uwarunkowany jest działaniem regulacji pierwotnej i wtórnej. Regulacja pierwotna powoduje zmiany mocy bloku proporcjonalne do odchyłek częstotliwości  $\Delta N = k \Delta f$ . Zadaniem regulacji wtórnej jest m. in. utrzymywanie zadanej wartości częstotliwości sieci. Regulator centralny mierzy moc wymiany i częstotliwości w systemie, przesyłając sygnały sterujące mocą zadaną bloków regulacyjnych.

Regulacja pierwotna i wtórna dublują się więc w pewnym sensie.



Rys. 6. Charakterystyka amplitudowa odchyłek częstotliwości w sieci inercyjnej (wg [2]); a) węzły wytwórcze z regulacją pierwotną b) węzły wytwórcze bez regulacji

Przy nieplanowych wahaniami obciążeń systemu amplitudy pulsacji mocy są niewielkie, zwłaszcza w obszarze szybkich pulsacji. Wpływ regulacji pierwotnej turbiny na wyrównanie częstotliwości sieci z okresami poniżej jednej minuty jest nieznaczny, w porównaniu z efektem akumulacyjnym mas wirujących systemu.

Na rysunku 6 [2] pokazano wykres amplitudowy sieci inercyjnej bez regulatora centralnego dla przypadku, gdy współpracujące bloki mają czynną regulację pierwotną (krzywa a) oraz gdy żaden z bloków nie uczestniczy w regulacji częstotliwości (krzywa b).

Porównując wykresy widzimy, że odchyłki częstotliwości w obszarze pulsacji mocy w okresie poniżej 1 minuty są niemal niezależne od tego, czy siłownie pracują z czynną regulacją pierwotną, czy też bez regulacji.

Aktywne uczestniczenie bloku parowego w pierwotnej regulacji częstotliwości w obszarze szybkich pulsacji nie przyczynia się do zmniejszenia pasma odchyłek częstotliwości. W normalnych warunkach pracy systemu elektroenergetycznego regulacja pierwotna bloku jest więc zbędna, a nawet szkodliwa [2], gdyż nie poprawiając w niczym dobroci regulacji systemu (nie wygładzając wykresu zmian częstotliwości) powoduje zbędne reagowanie układów regulacyjnych kotła i turbiny, zwiększając zużycie elementów regulacji. Skutkiem nieustannej pracy bloku w warunkach nieustalonych rosną naprężenia termiczne w turbinie i kotle, a ponadto maleje sprawność cieplna bloku.

Przy normalnej pracy systemu odchyłki częstotliwości mieszczą się w wąskim pasmie  $\pm 0,02$  do  $\pm 0,04$  Hz. W tym zakresie należałoby obniżyć współczynnik wzmocnienia regulacji pierwotnej turbosespołu, pozostawiając wyregulowanie odchyłek wolnozmiennych precyzyjnej regulacji wtórnej.

### 5. Strategia strojenia regulatora pierwotnego

Strojenie regulatorów bloku musi uwzględniać zmienne wymagania sieci.

1. W warunkach normalnej pracy systemu celowe jest zmniejszenie udziału regulacji pierwotnej aż do jej wyłączenia.

2. Przy dużych zakłóceniach potrzebna jest natychmiastowa aktywizacja rezerw regulacyjnych, co wymaga dużych szybkości działania regulatora bloku (dużego wzmocnienia) i możliwie pełnego wykorzystania zdolności akumulacyjnych kotła.

Te sprzeczne wymagania dadzą się spełnić równocześnie. W tym celu strukturę i nastawy regulatora bloku należy dopasować do sytuacji awaryjnych, optymalizując odpowiedzi skokowe przy małych i dużych wymuszeniach.

W obszarze normalnej pracy systemu należy wyłączyć regulację pierwotną; zabieg ten sprowadza się do zaopatrzenia regulatora częstotliwości w strefę nieczułości nastawialną w zakresie odchyłek od  $\pm 0,02$  do  $\pm 0,04$  Hz.

W tym obszarze musi oczywiście interweniować regulator centralny systemu poprzez precyzyjnie, z dużą czułością, działającą regulację wtórną turbiny.

### Literatura

- [1] M. S. Fragin i in., *Sistemy riegulirowanija kondiencjonnych turbin bolszoj moszcznosti LMZ*. Tieploenergieta 11/1972, s. 19 - 25.
- [2] F. Läubli i in., *Dynamik der Block-Leistungsregelung und der übergeordneten Netzfrequenzregelung in Dampfkraftwerken*. Sulzer-Forschungsheft 1973, s. 40 - 49.
- [3] S. Perycz, *Wpływ sprzężeń skrośnych na dynamikę regulacji mocy i ciśnienia bloku kocioł-turbina*. Zagadnienia maszyn przepływowych, PWN, 1968, s. 685 - 693.
- [4] S. Perycz, *Zur Beurteilung der Regelschaltungen von Dampfturbinen mit Zwischenüberhitzung insbesondere im Blockbetrieb*. Regelungstechnik 9/1963, s. 393 - 398.
- [5] S. Perycz, *Optymalizacja regulatora granicznego ciśnienia pary w bloku energetycznym*. Prace VI Krajowej Konferencji Automatyki T. III, s. 535 - 541, Poznań 1974.
- [6] P. Profos, *Die Regelung von Dampfanlagen*. Springer, 1962.
- [7] W. Hellmann, Z. Szczerba, *Regulacja częstotliwości i napięcia w systemie elektroenergetycznym*. WNT, 1978.