ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: ENERGETYKA z. 133 Nr kol. 1486

Michał FERENC
Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA SKUTECZNOŚCI REGULACJI PRZEGRZEWACZA PARY W UKŁADZIE KASKADOWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono wymagania stawiane układom regulacji przegrzewaczy pary, opisano przyjęty matematyczny model dynamiki przegrzewacza oraz kaskadowy układ regulacji z kompensacją zakłóceń. Wykonano obliczenia przebiegu regulacji temperatury dla skokowych zmian przepływu pary, temperatury pary wlotowej i strumienia ciepła dopływającego od spalin.

ANALYSE OF THE EFFICIENCY STEAM SUPERHEATED CONTROLLING IN CASCADE SYSTEM CONTROL

Summary. The article shows the requirements that a steam superheats is to fulfil, describes the mathematical model for steam-superheated dynamics, the cascade control system with compensation of perturbations. In the article are done calculations for abrupt changes of steam flow, temperature of inlet steam and heat flux coming from flue gas.

1. WYMAGANIA STAWIANE UKŁADOM REGULACJI PRZEGRZEWACZY PARY

W elektrowniach cieplnych dąży się do stosowania jak najwyższych temperatur pary, bowiem wraz ze wzrostem temperatury rośnie sprawność energetyczna obiegu. Maksymalna temperatura pary jest ograniczona wytrzymałością stali, z której jest wykonany przegrzewacz. Używana w Polsce stal 10H2M wytrzymuje maksymalną temperaturę 580 $^{\circ}$C. Ze względu na nieuniknione oscylacje temperatury spowodowane działaniem zakłóceń średnia temperatura pary przegrzanej musi być odpowiednio niższa. Również czas bezawaryjnej pracy (żywotność) przegrzewacza skraca się wraz ze wzrostem amplitudy i częstości zmian temperatury. Z

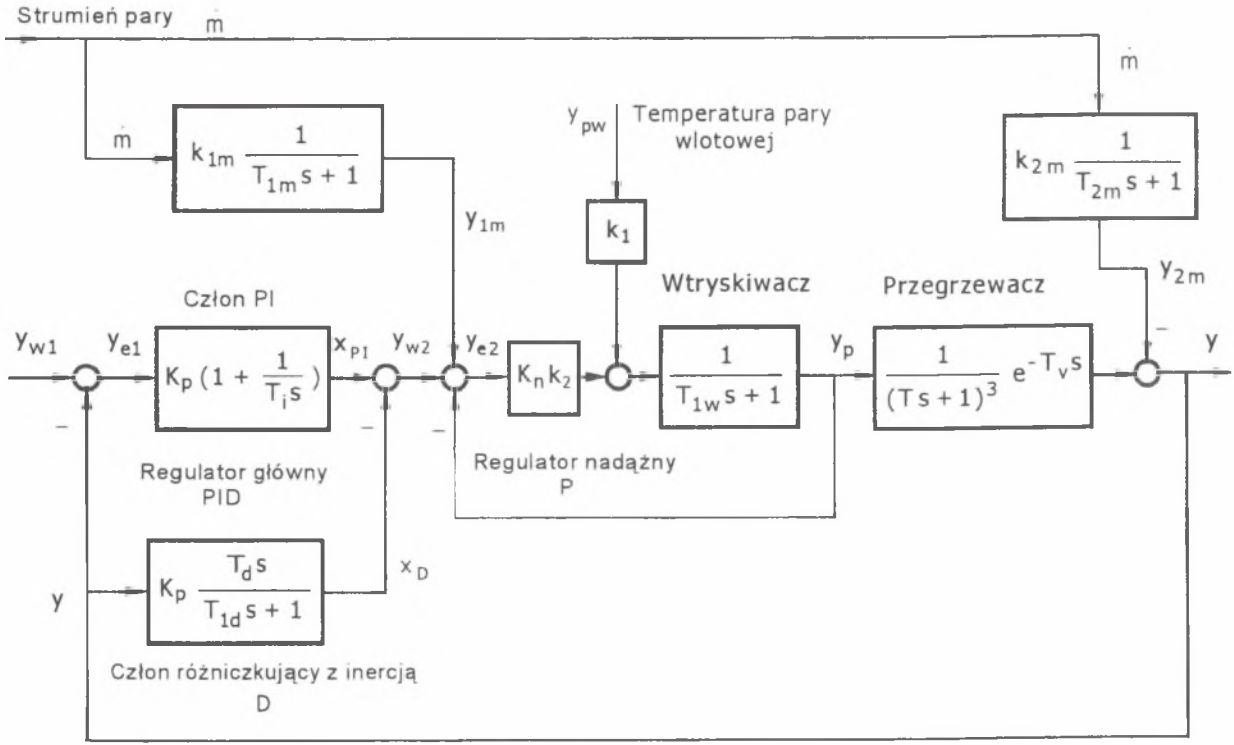
wymienionych powodów stawia się wysokie wymagania układom regulacji temperatury pary przegrzanej. Jeżeli układ regulacji utrzyma małe odchyłki temperatury przy istniejących zakłóceniach ruchowych, to można będzie podwyższyć dopuszczalną temperaturę średnią pary wylotowej z kotła. Ze względu na niekorzystne charakterystyki dynamiczne do regulacji temperatury pary w końcowych stopniach przegrzewaczy stosuje się złożone układy regulacji: *układy kaskadowe* i *układy kaskadowe z kompensacją zakłóceń*. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń skuteczności wymienionych układów regulacji w przypadku typowych zakłóceń.

2. SCHEMAT BLOKOWY UKŁADU REGULACJI PRZEGRZEWACZY PARY

Przegrzewacz pary jest obiektem o parametrach rozłożonych. Do opisu dynamiki przegrzewacza pary należy stosować równania różniczkowe z pochodnymi cząstkowymi, ale w obliczeniach przybliżonych często przyjmuje się opis uproszczony [1], [3]. W celu porównania skuteczności różnych układów regulacji przyjęto uproszczony model dynamiki przegrzewacza przedstawiony na rys.1.

Dynamikę toru regulacyjnego przedstawiającego wpływ temperatury pary wlotowej na temperaturę pary wylotowej opisuje człon inercyjny 3 rzędu, połączony szeregowo z członem opóźniającym, a dynamikę zakłócenia przepływem pary człon inercyjny 1 rzędu. Dynamikę wtryskiwacza wody opisuje człon inercyjny 1 rzędu. Stałe czasowe i współczynniki proporcjonalności powinny być dobrane w oparciu o pomiary na rzeczywistym obiekcie.

Przyjęto kaskadowy układ regulacji połączony z kompensacją od przepływu pary. Regulator główny jest typu PID, w którym człon różniczkujący D ma sygnał wejściowy wzięty od wielkości regulowanej (temperatury pary wylotowej), a nie od odchyłki regulacji. Regulatory konstruuje się tak dlatego, aby uniknąć różniczkowania wartości zadanej, która może być zmieniana ręcznie, a wówczas jej pochodna zmieniałaby się bardzo silnie i zakłócała ręczne sterowanie. Regulator nadążny jest typu P. Regulatory te są połączone szeregowo. Regulator główny PID steruje wartością zadaną regulatora nadążnego P. Sygnał kompensacyjny od przepływu pary jest doprowadzany na wejście regulatora nadążnego P (a nie na wejście regulatora głównego PID), dzięki temu nie powstaje statyczny uchyb regulacji.



Rys. 1. Schemat blokowy układu regulacji przegrzewacza pary

Fig. 1. Block diagram of the steam superheated control system

3. WYNIKI OBLICZEŃ PRZEBIEGÓW REGULACJI TEMPERATURY PARY

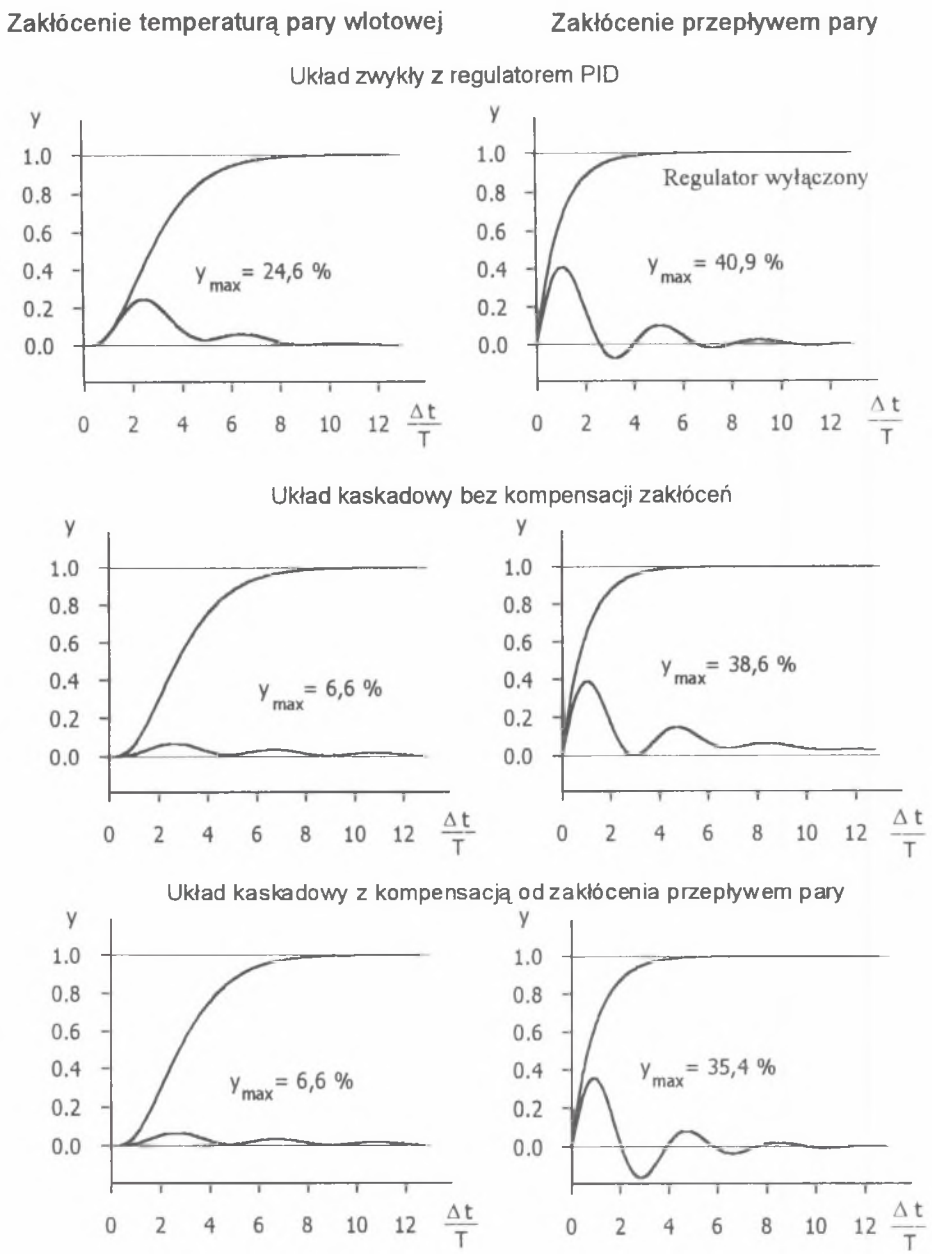
Obliczenia przebiegów regulacji wykonano w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL. Zestaw równań wynikających ze schematu blokowego oraz dane do obliczeń podano w załączniku. Na rys. 2 przedstawiono wybrane wyniki obliczeń przebiegu regulacji temperatury pary dla zakłóceń spowodowanych skokową zmianą temperatury pary dolotowej oraz przepływu pary. Porównano trzy układy regulacji:

- zwykły układ regulacji z regulatorem PID,
- układ kaskadowy z regulatorem głównym PID i regulatorem nadążnym P,
- układ kaskadowy z kompensacją od zakłócenia przepływem pary.

Parametry regulatorów dobrano takie, aby maksymalna odchyłka dynamiczna temperatury była mała, a oscylacje przebiegu regulacji były szybko tłumione. W układach: kaskadowym oraz kaskadowym z kompensacją zakłóceń przyjęto te same parametry regulatorów.

4. WNIOSKI

Z załączonych obliczeń wynika, że kaskadowy układ regulacji jest bardzo skuteczny w przypadku zakłóceń temperaturą pary wlotowej. Maksymalna odchyłka regulacji zmniejsza się z 24,6 % w układzie zwykłym do 6,6 % w układzie kaskadowym. Tak wyraźna poprawa dokładności regulacji jest spowodowana dobrymi własnościami regulacyjnymi wtryskowego schładzacza pary (małą stałą czasową schładzacza). Warunek stabilności dopuszcza nastawienie dużego współczynnika wzmocnienia regulatora nadążnego, dlatego regulator ten szybko eliminuje zakłócenia pojawiające się w układzie nadążnym. Skuteczność układu kaskadowego dla zmian przepływu pary jest znacznie mniejsza. Jest to spowodowane niekorzystną charakterystyką toru regulacyjnego (inercja 3 rzędu) w odniesieniu do toru zakłócenia (inercja 1 rzędu o porównywalnej stałej czasowej). Poprawę własności regulacyjnych można uzyskać poprzez podział całego przegrzewacza na mniejsze sekcje, przez co stałe czasowe też ulegną zmniejszeniu.



Rys. 2. Porównanie przebiegów regulacji temperatury pary dla różnych układów regulacji
Fig. 2. Comparizon output functions temperature of steam at the different control systems

LITERATURA

1. Ferenc M., *Automatyczna regulacja maszyn i urządzeń energetycznych,* Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1010, Gliwice 1981
2. Niederliński A., *Zbiór zadań z automatyki procesów przemysłowych*, Skrypt Politechniki Śląskiej nr 169, Gliwice 1967
3. Rakowski J., *Automatyka cieplnych urządzeń siłowni*, WNT, Warszawa 1976

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan M. Taler

Abstract

The article describes the mathematical model for steam superheated dynamics, the cascade control system with compensation of perturbations. In the article are given calculations for abrupt changes of steam flow, temperature of inlet steam. The cascade control system is very effective for eliminate some disturbance provoked by changeable temperature of inlet steam. The cascade control system with compensation of perturbations is recommended for reduction of steam flow disturbance.