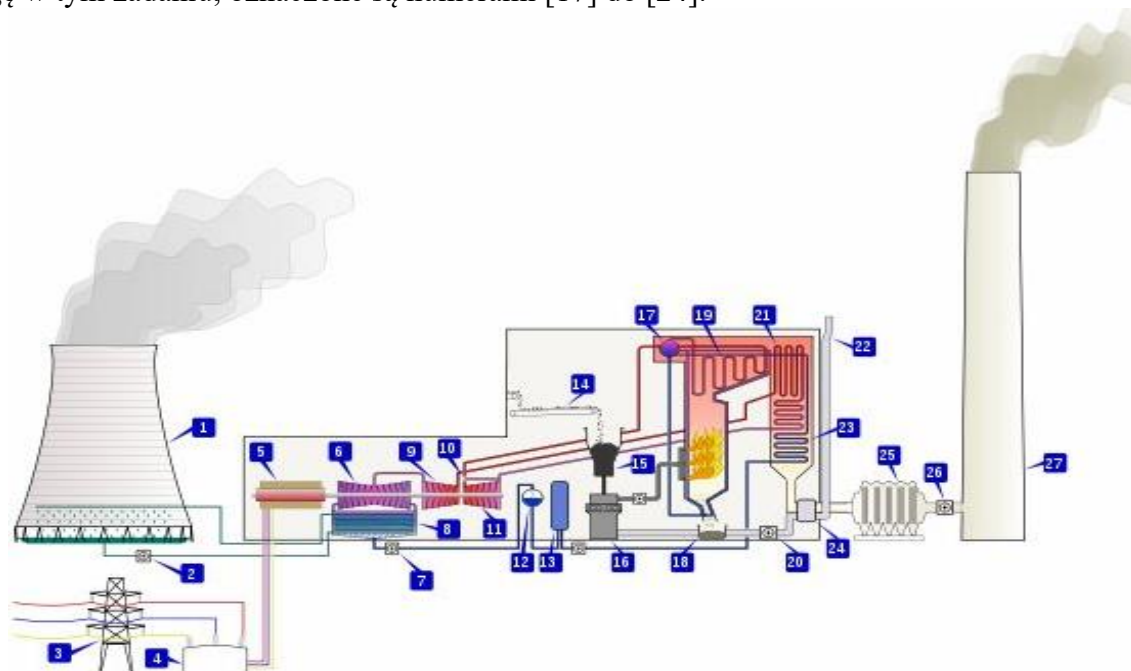


Zaawansowane Techniki Sterowania: Projekt 2025

Kocioł do wytwarzania pary przegrzanej w elektrowni ciepłej (węglowej/nuklearnej)

Kocioł (ang. boiler) jest jedną z najważniejszych części elektrowni, w przypadku gdy urządzeniem generującym energię elektryczną jest turbina parowa. Na poniższym rysunku, części składowe kotła, brane pod uwagę w tym zadaniu, oznaczone są numerami [17] do [24].

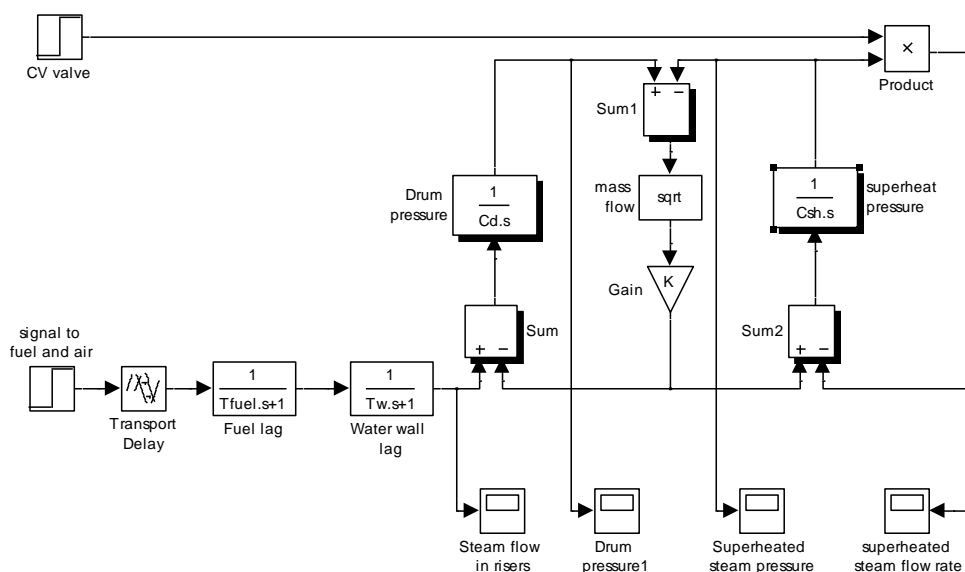


Przedstawiony poniżej model, pochodzący z artykułu [1], został zaprogramowany w pakiecie SIMULINK, a następnie przedstawiony za pomocą równań stanu, według publikacji [2].

Literatura:

- [1] de Mello F.P. *Boiler Models For System Dynamic Performance Studies*, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 1, pp 66-74, Feb. , 1991
- [2] Ordys A.W., A.W. Pike, M.A. Johnson, R.M. Katebi and M.J. Grimble, *Modelling and Simulation of Power Generation Plants*, Springer Verlag, 1994.

De-Mello model w SIMULINKu:



Model kotła w przestrzeni stanu:

WEJŚCIA:

- SIG - zakres zmian: [0:1]: dopływ mieszanki paliwo-powietrze (signal to fuel and air) [oddzielny układ regulacji (nie rozpatrywany tutaj) reguluje stosunek paliwa do powietrza];
- CV - zakres zmian: [0:1]: otwarcie zaworu dopływu pary przegrzanej do turbiny (Governor Valve flow area).

STANY:

- Q - Energia cieplna dostarczana do kotła w wyniku spalania paliwa;
- m_w - dopływ pary nienasyconej do kotła (przepływ masowy w [kg/s]);
- P_T - ciśnienie pary przegrzanej na wyjściu z przegrzewacza;
- P_D - ciśnienie pary nasyconej w kotle.

ZMIENNA WEWNĘTRZNA :

- m - przepływ pary z kotła do przegrzewacza (przepływ masowy w [kg/s]).

WYJŚCIA:

- m_s - wypływ przegrzanej pary do turbiny parowej (przepływ masowy w [kg/s]);
- P_D - ciśnienie pary nasyconej w kotle.

PARAMETRY:

- T_w - Stała czasowa związana ze zbiorczym efektem odparowywania wody;
- C_D - Pojemność kotła;
- C_{SH} - Pojemność przegrzewacza pary (superheater);
- k - Współczynnik oporu przepływu;
- τ_f - Opóźnienie w torze paliwo-energia;
- T_f - Stała czasowa systemu dostarczania paliwa.

RÓWNANIA ALGEBRAICZNE:

$$m = k\sqrt{P_D - P_T}$$

$$m_s = CV \times P_T$$

RÓWNANIA RÓŻNICZKOWE:

$$\frac{d}{dt}Q = \frac{1}{T_f} [SIG(t - \tau_f) - Q]$$

$$\frac{d}{dt}m_w = \frac{1}{T_w} [Q - m_w]$$

$$\frac{d}{dt}P_T = \frac{1}{C_{SH}} [m - m_s]$$

$$\frac{d}{dt}P_D = \frac{1}{C_D} [m_w - m]$$

Parametry kotła:

	Zespół 1	Zespół 2	Zespół 3	Zespół 4	Zespół 5	Zespół 6	Zespół 7	Zespół 8
T_w	7.0	9.0	12.0	10.0	5.0	4.0	6.0	11.0
C_D	160	170	130	150	190	220	180	200
C_{SH}	20	20	10	15	35	40	30	25
k	3.1616	3.1616	3.1616	3.1616	3.1616	3.1616	3.1616	3.1616
τ_f	10.0	14.0	6.0	15.0	3.0	9.0	5.0	7.0
T_f	10.0	12.0	8.0	14.0	6.0	15.0	8.0	11.0

Zadania do wykonania:

1. Zbudować model układu w SIMULINK'u, korzystając ze schematu przedstawionego powyżej. Następnie zbudować model wykorzystujący równania w przestrzeni stanu.
2. Dla stałych wartości wejść: $SIG=0.5$, $CV=0.5$ obliczyć wartości zmiennych stanu i wyjścia w stanie ustalonym (punkt pracy). Zasymulować działanie układu dla kilku wybranych sygnałów wejściowych (skoki zmiennych wejściowych o różnych amplitudach i kierunkach – w odniesieniu do wartości w stanie ustalonym) - sterowanie w układzie otwartym. Porównać zachowanie dwóch modeli zbudowanych w punkcie 1, tak aby upewnić się, że modele działają prawidłowo.
3. Opracować modele zlinearyzowane (ciągły w postaci równań stanu) dla obliczonego wcześniej punktu pracy. Porównać działanie modelu liniowego z działaniem modelu nieliniowego (odpowiedzi na skoki zmiennych wejściowych o różnych amplitudach i kierunkach, startując z punktu pracy). Na tej podstawie, ocenić jakość przybliżenia liniowego, dla postawionego zadania.
4. Na podstawie modelu zlinearyzowanego, opracować model dyskretny w przestrzeni stanu. Wybrać okres dyskretyzacji mając na uwadze szybkość odpowiedzi układu – przetestowaną w punkcie 2. Porównać działanie modelu dyskretnego w czasie z działaniem modelu liniowego ciągłego w czasie oraz z działaniem modelu nieliniowego (odpowiedzi na skoki zmiennych wejściowych o różnych amplitudach i kierunkach, startując z punktu pracy). Na tej podstawie, ocenić jakość przeprowadzonej dyskretyzacji, dla postawionego zadania.

Zadaniem sterowania w tym układzie jest aby wpływ pary z przegrzewacza do turbiny m_s nadążał za zmieniającą się wartością zadaną. Natomiast drugie wyjście: ciśnienie pary nasyconej w kotle P_D powinno pozostać niezmiennione – takie jak zostało wyliczone w punkcie 2 (punkt pracy). Należy wygenerować kilka zmiennych w czasie przebiegów wartości zadanej m_s w celu testowania działania układu sterowania.

5. Dobrać strukturę wielopętlowego układu regulacji z regulatorami PI lub PID oraz nastawy tych regulatorów, zademonstrować działanie układu na modelu symulacyjnym, dla celu regulacji opisanego powyżej. Zanalizować i przedyskutować wyniki.
6. Dla układu regulacji z regulatorami PI/PID, wprowadzić ograniczenia na sygnały sterujące. Zademonstrować efekt nasycenia elementu wykonawczego. Przedyskutować, jak wpływa to na jakość sterowania. Zaproponować metodę wyeliminowania niepożądanego efektu „wind-up” elementu całkującego.

7. Zaprojektować wielowymiarowy regulator predykcyjny , **który zastąpi wcześniej stosowane regulatory PI/PID**. W regulatorze predykcyjnym należy uwzględnić, że przyszłe wartości zadane są znane w całym horyzoncie predykcji. Również, uwzględnić ograniczenia na wielkości sterujące (takie jak wprowadzone w punkcie 6), przedyskutować, czy występuje zjawisko „wind-up”.

Uwaga: regulator predykcyjny ma zastąpić regulatory PID. NIE NALEŻY umieszczać regulatora predykcyjnego w pętli nadrzędnej nad regulatorami PID.

8. Porównać działanie regulatora predykcyjnego z działaniem wcześniej stosowanych regulatorów PI/PID. Na tej podstawie podać rekomendacje czy regulator predykcyjny powinien być zastosowany w danym zadaniu.