

Tadeusz CHMIELNIAK, Seweryn POŁEĆ, Jerzy WIDENKA

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

DYNAMIKA UKŁADU WYTWARZANIA MOCY TURBINY PAROWEJ

Streszczenie. Podano opis dynamiki wytwarzania mocy turbiny parowej. W opisie uwzględniono układ sprzężeń zwrotnych w układzie przepływowym. Dynamika zmian mocy jest opisywana oddzielnie dla każdej części turbiny jako funkcja parametrów stanu czynnika roboczego. Równania w postaci macierzowej stanowią liniowy model matematyczny turbiny dla małych zmian wartości parametrów pary. Uwzględniono przy tym zależność entalpii pary od ciśnienia. Jako wielkości wejściowe przyjęto: ciśnienie i temperaturę pary przed turbiną (zakłócenia) oraz położenie zaworów regulacyjnych WP i SP (wielkości nastawcze).

Oznaczenia i ważniejsze symbole

Zi	- i-ty zawór regulacyjny
Di	- i-ty segment dyszowy
UW, US, UN	- upusty parowe w poszczególnych częściach turbiny
PM	- przegrzewacz międzystopniowy
W, S, N	- części WP, SP i NT turbiny
UW, US	- upusty parowe

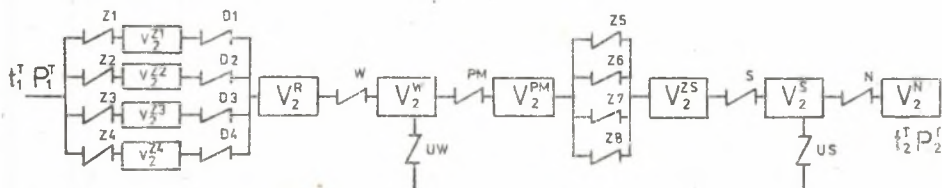
Symbole parametrów termodynamicznych

i	- entalpia kJ/kg
H	- spadek entalpii kJ/kg
m	- natężenie przepływu pary
N	- moc
T	- temperatura pary
P	- ciśnienie pary
V	- objętość m ³

1. Opis układu

W objętościach parowych układu przepływowego turbiny akumulowane są znaczne ilości czynnika [7] o dużej energii wewnętrznej, co istotnie wpływa na dynamikę procesu sterowania turbiną jako układem wytwarzania mocy [2], [7], [8]. Dla potrzeb modelowania dynamiki wytwarzania mocy, układ

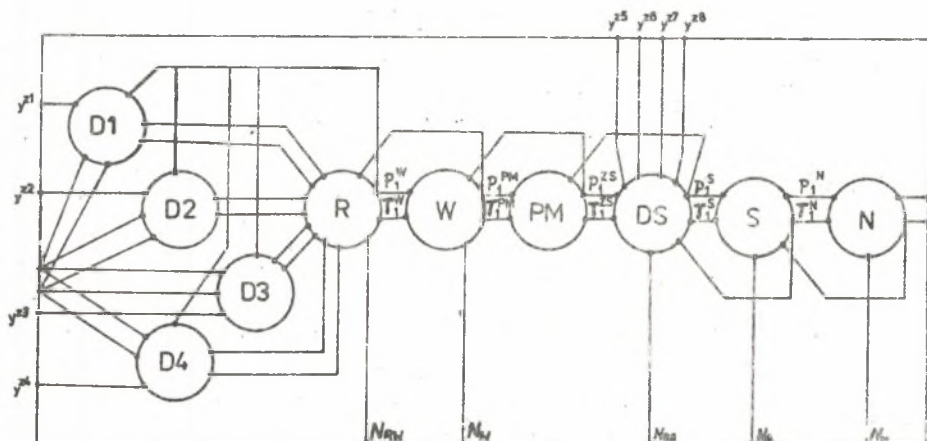
przepływowo uproszczono, przyjmując schemat zastępczy (rys. 1). Schemat rys. 1 przedstawia turbinę z czterema zaworami regulacyjnymi WP i czterema zaworami regulacyjnymi SP. Ponadto turbinę umownie podzielono na następujące moduły: stopnie regulacyjne WP i SP oraz części WP, SP i NP.



Rys. 1. Schemat układu przepływowego turbiny trzykadłubowej z przegrzewaczem międzystopniowym i częścią regulacyjną WP oraz SP

2. Model dynamiczny turbiny

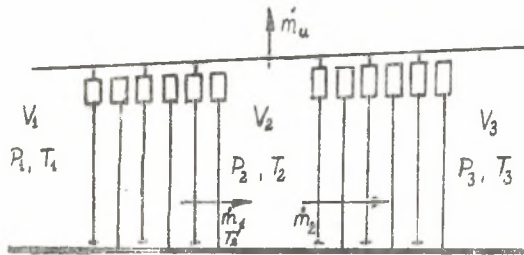
Matematyczny opis dynamiki układu wytwarzania mocy umożliwia zastosowanie techniki cyfrowej lub analogowej do rozwiązania układu równań różniczkowych. Pozwala to także stosować metody analizy częstotliwościowej, szczególnie wygodne w przypadku złożonych modeli matematycznych przy ich upraszczaniu.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny dynamiki układu wytwarzania mocy turbiny parowej z przegrzewaczem międzystopniowym i zaworami regulacyjnymi: Z1-Z8 (np. 13K215)

D1, D2, D3, D4 - bloki dynamiki parametrów przed dyszami stopnia regulacyjnego, R, W, PM, S, N - bloki dynamiki parametrów i zmiany mocy wytwarzanej w stopniu regulacyjnym WP, części WP, SO oraz NP turbiny

Schemat funkcjonalny dynamiki turbiny odpowiadający schematowi technologicznemu z rys. 1 przedstawia rys. 2.



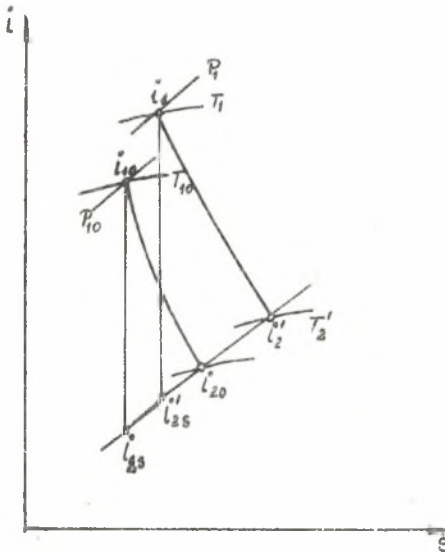
Rys. 3. Schemat do bilansu masy i energii objętości parowej V_2

Poszczególne bloki połączone są liniami sygnałowymi, których punkty zaznaczone oznaczają sygnały wejściowe bloku, natomiast niezaznaczone sygnały wyjściowe bloku. Całkowita moc turbiny jest sumą mocy poszczególnych modułów:

$$N_T = N_{RW} + N_W + N_{RS} + N_S + N_N \quad (1)$$

Moc każdego modułu jest określona wzorem:

$$N = \dot{m} \cdot H \quad (2)$$



Rys. 4. Ekspansja pary w grupie stopni

Dla małych przyrostów od stanu ustalonego otrzymuje się:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}_0} = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (3)$$

Przyrosty natężenia przepływu pary i spadku entalpii są określone przez przyrosty ciśnień i temperatur na wyjściu i wejściu modułu.

Wartości przyrostów ciśnienia i temperatury wyznaczają równania bilansu masy i energii dla objętości parowej na początku i końcu danego modułu.

Niżej podano przykładowe równania bilansu objętości parowej V_2 (rys. 3)

$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_u = V \frac{dq_2}{dT} \quad (4)$$

$$\dot{m}_1 i_1 - \dot{m}_2 i_2 - \dot{m}_u i_u = V \frac{d(q_2 u_2)}{dT} \quad (5)$$

Korzystając z zależności:

$$u_2 = i_2 - P_2/\zeta_2 \quad (6)$$

otrzymuje się na podstawie równań (4) i (5) dla przyrestów:

$$\Delta \dot{m}_1 - \Delta \dot{m}_2 - \Delta \dot{m}_u = v \frac{d(\Delta \zeta_2)}{d\gamma} \quad (7)$$

$$\dot{m}_{10} \Delta i_2' - \dot{m}_{10} \Delta i_2 = v \zeta_{20} \frac{d(\Delta i_2)}{d\gamma} - v \frac{d(P_2)}{d\gamma} \quad (8)$$

i_2' - entalpia doletowa pary do objętości V_2 , różna od wartości entalpii i_2 w stanach nieustalonych (rys. 4).

Wartości przyrostu $\Delta i_2'$ wyznaczono, zakładając, że wartość sprawności wewnętrznej modułu (8) zmienia się nieznacznie:

$$\eta_{i_2} = \frac{i_1 - i_2'}{i_1 - i_{2s}'} = \frac{i_{10} - i_{20}}{i_{10} - i_{2s}} \quad (9)$$

Na podstawie tablic parowych można określić zależności:

$$\begin{aligned} \Delta i_1 &= k_{P_1}^{i_1} \cdot \Delta P_1 = k_{T_1}^{i_1} \cdot \Delta T_1 \\ \Delta i_2 &= k_{P_2}^{i_2} \cdot \Delta P_2 + k_{T_2}^{i_2} \cdot \Delta T_2 \\ \Delta \zeta_2 &= k_{P_2}^{\zeta_2} \cdot \Delta P_2 + k_{T_2}^{\zeta_2} \cdot \Delta T_2 \end{aligned} \quad (10)$$

Przyrosty natężeń przepływu pary wyznaczono wg wzorów:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_{10}} &= \sqrt{\frac{T_{10}}{T_1} \cdot \frac{P_1^2 - P_2^2}{P_{10}^2 - P_{20}^2}} \frac{\Delta \dot{m}_1}{\dot{m}_{10}} = -\frac{\Delta T_1}{2T_{10}} + \frac{P_{10} \cdot \Delta P_1 - P_{20} \cdot \Delta P_2}{P_{10}^2 - P_{20}^2} \\ \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_{20}} &= \sqrt{\frac{T_{20}}{T_2} \cdot \frac{P_2^2 - P_3^2}{P_{20}^2 - P_{30}^2}} \frac{\Delta \dot{m}_2}{\dot{m}_{20}} = -\frac{\Delta T_2}{2T_{20}} + \frac{P_{20} \cdot \Delta P_2 - P_{30} \cdot \Delta P_3}{P_{20}^2 - P_{30}^2} \\ \frac{\dot{m}_u}{\dot{m}_{u0}} &= \sqrt{\frac{T_{20}}{T_2} \cdot \frac{P_2 - P}{P_{20} - P}} \frac{\Delta \dot{m}_u}{\dot{m}_{u0}} = -\frac{\Delta T_2}{2T_{20}} + \frac{P_2}{2(P_{20} - P)} \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie:

P - ciśnienie w regeneratorsze pary.

Na podstawie równań (7) - (11) otrzymuje się układ równań różniczkowych, który w formie operatorowej można przedstawić jak niżej:

$$\begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta T_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta T_1 \\ \Delta P_3 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Wartości współczynników macierzy A i B wyznacza się podstawiając równania (9) - (11) do równań (7) i (8).

3. Uwagi końcowe

Przy formułowaniu założeń posługiwano się możliwie ogólnym opisem dynamiki, który umożliwi zastosowanie go do różnych typów turbin. Otrzymany schemat funkcjonalny może służyć do bezpośredniego modelowania dynamiki układu z zastosowaniem techniki analogowej lub cyfrowej.

Analiza częstotliwościowa bloków dynamicznych pozwoli na uproszczenie transmitancji otrzymanych z podanych równań macierzowych.

Uproszczenie schematu funkcjonalnego dynamiki i wyniki modelowania będą podane w drugiej części pracy.

LITERATURA

- [1] Kulakow T. i inni: Metodika raschieta dinamiczeskich charakteristik odnofaznykh obogriewajemykh uczastkow parogeneratorow. Izv. WUZ-Energetika 8/1973.
- [2] Gelovacz E.: Wybor i issledowanie sistemy regulirovaniia moszcznosti turbiny. Izv. WUZ-Energetika 12/1976.
- [3] Kacnelson B.: Raschet dinamiczeskich charakteristik paroprieregriematielnykh uczastkow parogeneratorow. Teploenergetika 2/1972.
- [4] Duda M.: Parametryczny model przegrzewacza pary Energetyka 1/1973.
- [5] Liusternik A. i inni: Matematicheskiy analiz. Fizmatgiz 1963.
- [6] Stelmach J.: Metoda analizy pracy diawieniowych organow nastawczych. Archiwum Energetyki 4/1975.
- [7] Latzel W.: Die Frequenzgangdarstellung der Turbine und die Anpassung des elektronischen Turbinenreglers. BBC-Nachr. 6/1968.
- [8] Bigret R.: Systemes de reglage electro-hydrauliques. La Technique Moderne, sept. 1971.
- [9] Chmielniak T., Połec S., Widenka J.: Model matematyczny układu wytwarzania mocy w stopniu regulacyjnym turbiny parowej. ZN Pol. Śl. Energetyka (w przygotowaniu).
- [10] Chmielniak T. i inni: Stacje do badań układów regulacyjnych. Opracowanie IMiUE Pol. Śl.

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА МОЩНОСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Р е з ю м е

В статье дано описание динамики производства паровой турбины. Дифференциальные уравнения описывают линейную модель турбины. Принято: возмущения - давление и температура пара, управляющие величины - открытия регулирующих клапанов.

THE DYNAMICS OF THE STEAM TURBINE POWER PRODUCTION

S u m m a r y

The description of the steam turbine power production has been given. The matrix equations are mathematical linear model of the turbine (for little changes of steam working parameters).

The dependance of steam enthalpy on pressure has been included. Pressure and temperature of steam before turbine (interference) and regulation valves position WP and SP (manipulated variables) has been taken as the input talues.