

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

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPIWOWYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

66

WARSZAWA—POZNAN 1975

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

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

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
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 1975

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 370+90 egz.	Oddano do składania 7 VIII 1974 r.
Ark. wyd. 14,75. Ark. druk. 11,375+1 wkl.	Podpisano do druku 17 II 1975 r.
Papier druk. sat. kl. V, 70 g	Druk ukończono w lutym 1975 r.
Nr zam. 577/43 F-17/1183.	Cena zł 45,-

DRUKARNIA UNIWERSYTETU IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

ZYGFRYD DOMACHOWSKI, ANDRZEJ MALINOWSKI, KONSTANTY PILECKI

Gdańsk

Badania modelowe układu regulacji mocy turbozespołu przy wymuszeniach stochastycznych

Część III. Badanie wpływu postaci funkcji korelacji częstotliwości w systemie elektroenergetycznym na optymalizację regulatora mocy turbozespołu*

Tematem artykułu jest badanie wpływu rozkładu energii pomiędzy składowe (o różnych szerokościach pasma) sygnału sterującego na parametry optymalne regulatora PI i wskaźnik jakości układu regulacji.

Przeprowadzone badania teoretyczne [1, 2] oraz modelowe [5] pozwalają stwierdzić, że uchyb średniokwadratowy w układzie regulacji mocy turbozespołu biorącego udział w regulacji pierwotnej systemu elektroenergetycznego zależy przede wszystkim od parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego (zmian częstotliwości w systemie), a w znacznie mniejszym stopniu od parametrów transmitancji regulatora. W pracy [5] porównano pod względem jakości: 1) układ regulacji mocy turbozespołu z regulatorem PI statystycznie optymalnym oraz 2) układ regulacji mocy turbozespołu z regulatorem PI optymalnym ze względu na skok mocy w systemie elektroenergetycznym. Uchyb średniokwadratowy układu 2 był niewiele większy niż układu 1, natomiast zarówno zapas stabilności jak charakterystyki dynamiczne były wyraźnie korzystniejsze w układzie 2 (parametry regulatora PI w układzie 1 były bliskie granicy stabilności).

Funkcję korelacji sygnału zmian częstotliwości w systemie elektroenergetycznym można aproksymować szeregiem skończonym funkcji oscylacyjno-wykładniczych i wykładniczych [2, 5]. W wymienionych wyżej badaniach dotyczących optymalizacji statystycznej przyjmowano jako kryterium wartość średnią kwadratu uchybu sygnału regulowanego, mającą własność addytywności względem sygnałów wejściowych statystycznie niezależnych.

W związku z tym, wymienione badania wykonywano oddzielnie dla dwu typów i kilku wariantów unormowanej funkcji korelacji sygnału sterującego, mianowicie: 1) oscylacyjno-wykładniczego, 2) wykładniczego. Nie badano wpływu rozkładu energii sygnału sterującego pomiędzy składowe odpowiadające poszczególnym składowym funkcji korelacji. Takie uzupełniające badanie wpływu rozkładu energii pomiędzy składowe (o różnych szerokoś-

* Praca wykonana w ramach problemu resortowego PAN-19, grupa tematyczna 6.

ciach pasma) sygnału sterującego na parametry optymalne regulatora PI i wskaźnik jakości układu regulacji mocy turbozespołu jest tematem niniejszej pracy.

W przedstawianych obecnie badaniach przyjęto funkcję korelacji sygnału sterującego w następującej postaci:

$$F_{\varphi\varphi}(\tau) = \sigma_1 e^{-\alpha_1|\tau|} \cos \Omega_1 \tau + \sigma_2 e^{-\alpha_2|\tau|} \cos \Omega_2 \tau.$$

Taką funkcję korelacji ma, na przykład, sygnał sterujący będący sumą dwu składowych statystycznie niezależnych, o różnych energiach, szerokościach pasma i czasach korelacji. Postawiono zadanie zbadania wpływu stosunku energii dwu założonych składowych sygnału sterującego na parametry optymalnego regulatora PI oraz uchyb średniokwadratowy (wskaźnik jakości) układu regulacji. Przeprowadzono badania dla trzech typów funkcji korelacji $F_{\varphi\varphi}(\tau)$. Mianowicie: 1) gdy $\Omega_1 \neq 0, \Omega_2 \neq 0$ – funkcja korelacji typu „oscylacyjno-wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”, 2) gdy $\Omega_1 = 0, \Omega_2 = 0$ – funkcja korelacji typu „wykładnicza + wykładnicza”, 3) gdy np. $\Omega_1 = 0, \Omega_2 \neq 0$ – funkcja korelacji typu „wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”. Wzięto pod uwagę kilka wybranych wariantów unormowanych funkcji korelacji sygnałów składowych (parametry $\alpha_1, \Omega_1; \alpha_2, \Omega_2$); stosunek energii (σ_1/σ_2) zmieniano w przedziale od 0 do ∞ .

1. Opis badanego modelu układu regulacji mocy turbozespołu

Schemat blokowy badanego modelu układu regulacji mocy turbozespołu jest przedstawiony na rysunku 1 w pracy [5]. Sygnał zmian częstotliwości Δf w systemie elektroenergetycznym modelowano przy użyciu generatora „białego szumu” dolnopasmowego. Inne człony omawianego układu modelowano na elektronicznej maszynie analogowej.

Jako obiekt regulowany przyjęto turbozespół o mocy 200 MW; jego liniowy model wraz z regulatorem mocy i miernikiem częstotliwości jest opisany szczegółowo w pracach [10, 11].

Podobnie jak w pracy [5], przyjęto do rozważań regulator proporcjonalno-całkujący (PI) mocy turbozespołu, o transmitancji postaci $G_R = k_R(1 + 1/T_i \cdot s)$.

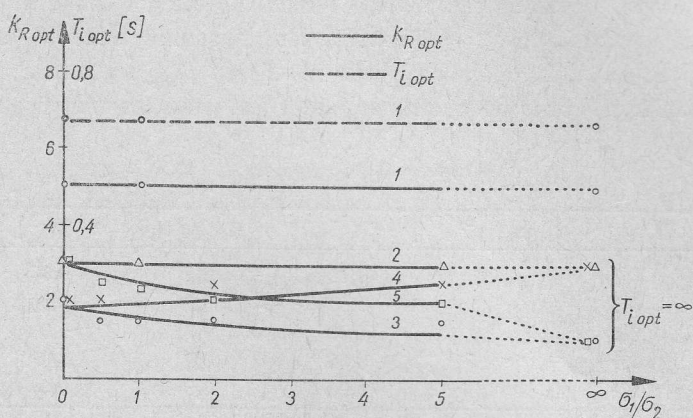
Założono bezinercyjny miernik częstotliwości, o transmitancji $G_M = 1/\delta$; przyjęto $\delta = 0,04$.

2. Wyniki badań

Przedstawimy je kolejno dla wymienionych we wstępie trzech typów funkcji korelacji sygnału sterującego.

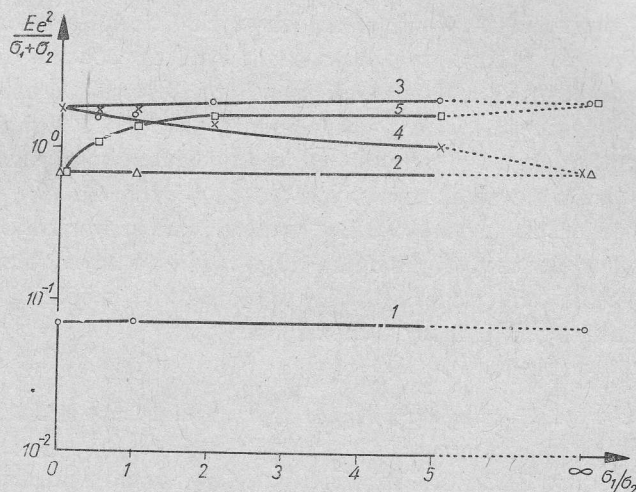
2.1. Funkcja korelacji sygnału sterującego typu „oscylacyjno-wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”

Wartości parametrów Ω_1, Ω_2 obrano, podobnie jak w pracy [5], z przedziału $0,1 - 1,0 \text{ s}^{-1}$; dolne wartości współczynników tłumienia, α_1, α_2 , składowych funkcji korelacji przyjęto większe aniżeli w pracy [5]. Rysunek 1 przedstawia zależność optymalnych parametrów regulatora PI ($k_{R \text{ opt}}, T_{i \text{ opt}}$) od parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego;



Rys. 1. Optymalne parametry regulatora PI, dla funkcji korelacji typu „oscylacyjno-wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”

- | | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 0,1 \text{ s}^{-1}$ |
| 2 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 0,5 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 0,5 \text{ s}^{-1}$ |
| 3 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 1,0 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 1,0 \text{ s}^{-1}$ |
| 4 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 0,5 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 1,0 \text{ s}^{-1}$ |
| 5 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 1,0 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 0,5 \text{ s}^{-1}$ |



Rys. 2. Optymalny wskaźnik jakości układu regulacji, dla funkcji korelacji typu „oscylacyjno-wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”

- | | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 0,1 \text{ s}^{-1}$ |
| 2 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 0,5 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 0,5 \text{ s}^{-1}$ |
| 3 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 1,0 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 1,0 \text{ s}^{-1}$ |
| 4 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 0,5 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 1,0 \text{ s}^{-1}$ |
| 5 | – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_1 = 1,0 \text{ s}^{-1}$, | $\Omega_2 = 0,3 \text{ s}^{-1}$, | $\alpha_2 = 0,5 \text{ s}^{-1}$ |

rysunek 2 przedstawia przebiegi wariacji uchybu regulowanego (wskaźnika jakości układu regulacji), w postaci $Ee^2/(\sigma_1 + \sigma_2)$ – odniesionej do wariacji sygnału sterującego. W tabeli 1 zestawiono parametry funkcji korelacji odpowiadające poszczególnym krzywym na rysunkach 1 i 2. Umieszczono w niej ponadto wartości szerokości pasm poszczególnych sygnałów (patrz w związku z tym [4] oraz Dodatek w pracy [4], $\omega_k = 2\pi f_g$).

W rozpatrywanym obszarze parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego, gdy α_1, α_2 przekraczają wartość $0,1 \text{ s}^{-1}$ (szerokości pasm sygnałów składowych przekraczają $0,1 \text{ Hz}$ — patrz tabela 1), to optymalny czas zdwojenia $T_{i \text{ opt}}$ regulatora PI zmierza do nieskończoności. Statystycznie optymalny regulator jest wówczas typu proporcjonalnego.

Tabela 1

Nr krzywej	$\Omega_1 [\text{s}^{-1}]$	$\alpha_1 [\text{s}^{-1}]$	$f_{g1} [\text{Hz}]$	$\Omega_2 [\text{s}^{-1}]$	$\alpha_2 [\text{s}^{-1}]$	$f_{g2} [\text{Hz}]$
1	0,1	0,1	0,10	0,3	0,1	0,12
2	0,1	0,5	0,50	0,3	0,5	0,51
3	0,1	1,0	1,00	0,3	1,0	1,00
4	0,1	0,5	0,50	0,3	1,0	1,00
5	0,1	1,0	1,00	0,3	0,5	0,51

Jego wzmocnienie $k_{R \text{ opt}}$ maleje ze zmniejszaniem czasu korelacji sygnału sterującego (ze wzrostem parametrów α_1, α_2 ; wówczas szerokość pasma sygnału sterującego wzrasta). Zwraca uwagę mała zależność optymalnego współczynnika wzmocnienia $k_{R \text{ opt}}$ regulatora od stosunku energii (σ_1/σ_2) składowych sygnału sterującego. Otóż, w przypadku krzywych 1, 2, 3, $k_{R \text{ opt}}$ praktycznie nie zależy od σ_1/σ_2 — wówczas szerokości pasm sygnałów składowych są bliskie, patrz tabela 1. W przypadku krzywych 4, 5, $k_{R \text{ opt}}$ zmienia się ze zmianą σ_1/σ_2 , ponieważ szerokości pasm sygnałów składowych są wówczas różne (tabela 1).

Ze wzrostem parametrów α_1, α_2 (szerokość pasma sygnału sterującego wówczas wzrasta), wariancja uchybu sygnału regulowanego rośnie (rys. 2). Przy tym, podobnie jak optymalne parametry regulatora, zależy od σ_1/σ_2 tylko wówczas, gdy szerokości pasm sygnałów składowych różnią się (jak w przypadku krzywych 4, 5 na rysunku 2).

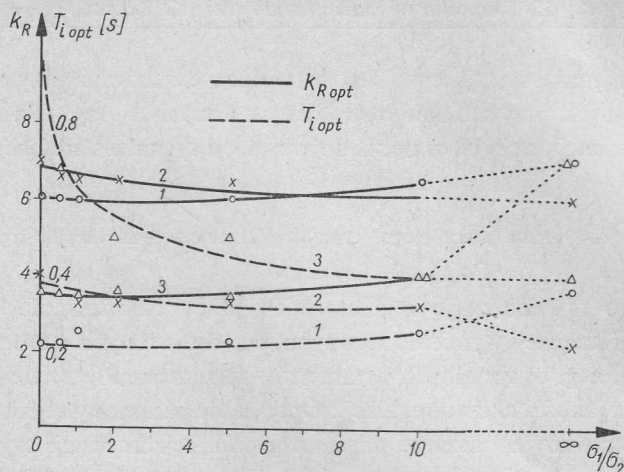
Trzeba jeszcze dodać, że gdy $\alpha_{1,2} > 0,1 \text{ s}^{-1}$, to odniesiona wariancja uchybu regulowanego $Ee^2(\sigma_1 + \sigma_2)$ przekracza 0,1 (jest bliska 1,0) w rozpatrywanym obszarze parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego. Świadczy to o całkowitej nieprzydatności regulatora PI w tych warunkach regulacji mocy turbozespołu.

2.2. Funkcja korelacji sygnału sterującego typu „wykładnicza + wykładnicza”

Podobnie jak w pracy [5] wartości parametrów α_1, α_2 obrano z przedziału $0,01\text{--}1,0 \text{ s}^{-1}$. Badania wykonano przy trzech wariantach parametrów α_1, α_2 ; rezultaty przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Poszczególnym krzywym na rysunkach odpowiadają parametry funkcji korelacji sygnału sterującego zawarte w tabeli 2.

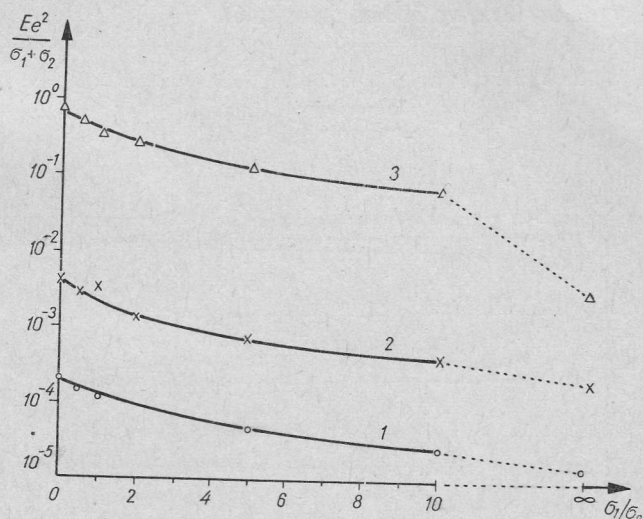
W rozważanym obszarze parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego, wartości optymalnego współczynnika wzmocnienia $k_{R \text{ opt}}$ regulatora PI są zawarte w przedziale $3 \div 7$. Zależność $k_{R \text{ opt}}$ od szerokości pasma sygnału sterującego jest najwyraźniej widoczna w przebiegu krzywej 3; gdy szerokość pasma rośnie (σ_1/σ_2 maleje), to $k_{R \text{ opt}}$ maleje (porównaj rysunek 3 i tabelę 2). Gdy szerokość pasma sygnału sterującego zbliża się do $0,3 \text{ Hz}$, to regulator PI staje się nieprzydatny w rozpatrywanym układzie regulacji, $T_{i \text{ opt}} \rightarrow \infty$ (patrz rysunki 3, 4 oraz tabela 2).

Wariancja uchybu sygnału regulowanego, $Ee^2/(\sigma_1 + \sigma_2)$, jest tym większa, im większa



Rys. 3. Optymalne parametry regulatora PI, dla funkcji korelacji typu „wykładnicza + wykładnicza”

- 1 - $\alpha_1=0,01 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2=0,003 \text{ s}^{-1}$
 2 - $\alpha_1=0,03 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2=0,10 \text{ s}^{-1}$
 3 - $\alpha_1=0,10 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2=0,30 \text{ s}^{-1}$



Rys. 4. Optymalny wskaźnik jakości układu regulacji, dla funkcji korelacji typu „wykładnicza + wykładnicza”

- 1 - $\alpha_1=0,01 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2=0,03 \text{ s}^{-1}$
 2 - $\alpha_1=0,03 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2=0,10 \text{ s}^{-1}$
 3 - $\alpha_1=0,10 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2=0,30 \text{ s}^{-1}$

Tabela 2

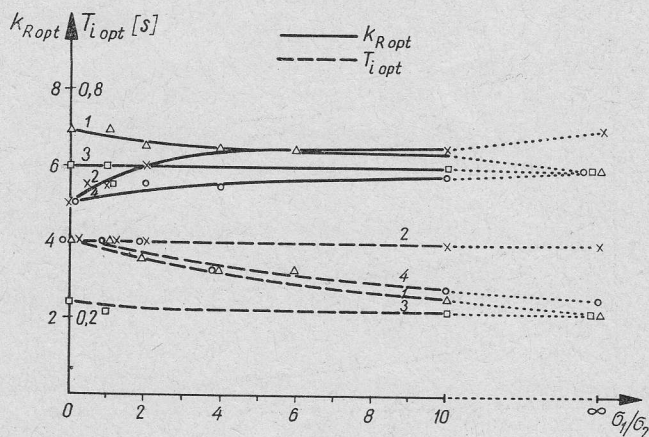
Nr krzywej	$\alpha_1 [\text{s}^{-1}]$	$\alpha_2 [\text{s}^{-1}]$	$f_{g1} [\text{Hz}]$	$f_{g2} [\text{Hz}]$
1	0,01	0,03	0,01	0,03
2	0,03	0,10	0,03	0,10
3	0,10	0,30	0,10	0,30

szerokość pasma sygnału sterującego. Jest to widoczne zarówno przy zmianie wariantu parametrów α_1, α_2 , jak przy zmianie σ_1/σ_2 dla ustalonych α_1, α_2 . Dla szerokości pasma bliskiej 0,3 Hz, wariancja uchybu zmierza do wariancji sygnału sterującego (rys. 4).

2.3. Funkcja korelacji sygnału sterującego typu „wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”

Przeprowadzono optymalizację regulatora PI mocy turbozespołu dla 4 wariantów parametrów funkcji korelacji wymienionego typu, przedstawionych w tabeli 3. Na rysunku 5 przedstawiono przebiegi optymalnych parametrów regulatora PI, a na rysunku 6 – optymalnego wskaźnika jakości układu regulacji. Optymalne parametry regulatora PI zmieniają się mało w rozpatrywanym obszarze parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego. Mianowicie, $k_{R\text{opt}}$ zawiera się w przedziale $5 \div 7$, $T_{i\text{opt}}$ w przedziale $0,2 \div 0,4$ s. Ze zmianą σ_1/σ_2 , optymalne parametry regulatora zmieniają się wyraźnie tylko w tych przypadkach, gdy szerokości pasm sygnałów składowych są wyraźnie różne – krzywe 1, 2, 4.

Wskaźnik jakości układu regulacji, $Ee^2/(\sigma_1 + \sigma_2)$, zależy jak poprzednio, głównie od szerokości pasma sygnału sterującego (porównaj rysunek 6 i tabelę 3). Gdy szerokości pasm sygnałów składowych są zbliżone, to $Ee^2/(\sigma_1 + \sigma_2)$ praktycznie nie zależy od stosunku energii (σ_1/σ_2) tych sygnałów (krzywe 2 i 3 na rysunku 6).



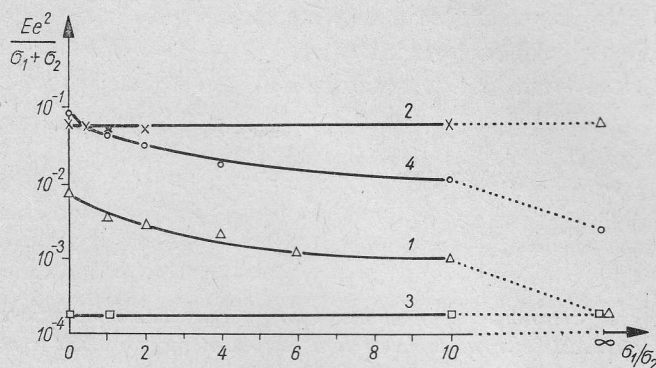
Rys. 5. Optymalne parametry regulatora PI, dla funkcji korelacji typu „wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”

1 – $\Omega_1 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_1 = 0,02 \text{ s}^{-1}$, $\Omega_2 = 0, \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2 = 0,10 \text{ s}^{-1}$
2 – $\Omega_1 = 0$, $\alpha_1 = 0,10 \text{ s}^{-1}$, $\Omega_2 = 0,5 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2 = 0,10 \text{ s}^{-1}$
3 – $\Omega_1 = 0$, $\alpha_1 = 0,03 \text{ s}^{-1}$, $\Omega_2 = 0,1 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2 = 0,02 \text{ s}^{-1}$
4 – $\Omega_1 = 0$, $\alpha_1 = 0,03 \text{ s}^{-1}$, $\Omega_2 = 0,5 \text{ s}^{-1}$, $\alpha_2 = 0,10 \text{ s}^{-1}$

3. Wnioski

Podsumowując rezultaty badań zawarte w pracy [5] oraz w niniejszej pracy, można powiedzieć, że:

1. Uchyb średniokwadratowy w układzie regulacji mocy turbozespołu zależy głównie



Rys. 6. Optymalny wskaźnik jakości układu regulacji, dla funkcji korelacji typu „wykładnicza + oscylacyjno-wykładnicza”

1	$\Omega_1=0,1 \text{ s}^{-1}$,	$\alpha_1=0,02 \text{ s}^{-1}$,	$\Omega_2=0$,	$\alpha_2=0,10 \text{ s}^{-1}$
2	$\Omega_1=0$,	$\alpha_1=0,10 \text{ s}^{-1}$,	$\Omega_2=0,5 \text{ s}^{-1}$,	$\alpha_2=0,10 \text{ s}^{-1}$
3	$\Omega_1=0$,	$\alpha_1=0,03 \text{ s}^{-1}$,	$\Omega_2=0,1 \text{ s}^{-1}$,	$\alpha_2=0,02 \text{ s}^{-1}$
4	$\Omega_1=0$,	$\alpha_1=0,03 \text{ s}^{-1}$,	$\Omega_2=0,5 \text{ s}^{-1}$,	$\alpha_2=0,10 \text{ s}^{-1}$

Tabela 3

Nr krzywej	$\Omega_1 [\text{s}^{-1}]$	$\alpha_1 [\text{s}^{-1}]$	$f_{g1} [\text{Hz}]$	$\Omega_2 [\text{s}^{-1}]$	$\alpha_2 [\text{s}^{-1}]$	$f_{g2} [\text{Hz}]$
1	0,1	0,02	0,03	0	0,10	0,10
2	0	0,10	0,10	0,5	0,10	0,15
3	0	0,03	0,03	0,1	0,02	0,03
4	0	0,03	0,03	0,5	0,10	0,15

od parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego, mniej od parametrów transmitancji regulatora PI.

2. Uchyb średniokwadratowy zależy głównie od szerokości pasma sygnału sterującego – jest tym większy, im większa szerokość tego pasma.

3. Statystycznie optymalne parametry regulatora PI mocy turbozespołu zmieniają się w niewielkich granicach (w rozpatrywanym obszarze parametrów funkcji korelacji sygnału sterującego), przy tym zależą głównie od szerokości pasma sygnału sterującego.

4. Statystycznie optymalny regulator PI należy uznać za nieprzydatny do regulacji mocy turbozespołu, z następujących powodów:

a) jakkolwiek przy wolnym sygnale sterującym (wąskim pasmie sygnału sterującego) ma on wystarczający w sensie statystycznym wskaźnik jakości, to jednak zapas stabilności układu regulacji jest niewystarczający, a charakterystyki dynamiczne (skokowe) niekorzystne,

b) przy szybkich sygnałach sterujących (szerokie pasmo) regulator PI jest całkowicie nieprzydatny – mianowicie, optymalny czas zdwojenia dąży do nieskończoności, a wariancja uchybu sygnału regulowanego dąży do wariancji sygnału sterującego.

5. Należy kontynuować badania zmierzające do określenia struktury regulatora mocy turbozespołu, która spełniałaby wymagania co do

- a) jakości w sensie statystycznym układu regulacji,
- b) zapasu stabilności układu regulacji,
- c) charakterystyk statycznych i dynamicznych układu regulacji mocy turbozespołu.

Praca wpłynęła do Redakcji w lutym 1973 r.

Literatura

- [1] Z. Domachowski, *Sterowanie mocy turbozespołu w warunkach stochastycznych. Część I. Dobór filtru Wienera w układzie sterowania mocy turbozespołu biorącego udział w regulacji pierwotnej systemu elektroenergetycznego*. Prace IMP, z. 58, 1972.
- [2] Z. Domachowski, *Sterowanie mocy turbozespołu w warunkach stochastycznych. Część II. Badanie wpływu postaci funkcji korelacyjnej częstotliwości w systemie elektroenergetycznym na wartość błędu średniokwadratowego w układzie sterowania mocy turbozespołu*. Prace IMP, z. 59, 1972.
- [3] Z. Domachowski, A. Malinowski, *Generowanie „białego szumu” dolnopasmowego do badań modelowych układu sterowania turbozespołu*. Prace V Krajowej Konferencji Automatyki, zeszyt 6, Gdańsk 1971.
- [4] Z. Domachowski, A. Malinowski, *Badania modelowe układu regulacji mocy turbozespołu przy wymuszeniach stochastycznych. Część I. Wytwarzanie stochastycznego sygnału zmian częstotliwości do badania układów regulacji turbin*. Prace IMP, z. 65, 1974.
- [5] Z. Domachowski, A. Malinowski, K. Pilecki, *Badania modelowe układu regulacji mocy turbozespołu przy wymuszeniach stochastycznych. Część II. Optymalizacja parametrów regulatora PI mocy turbozespołu*. Prace IMP, z. 66, 1975.
- [6] V. Hertel, Chr. Walter, *Netzfrequenzanalyse und Blockregelung*. Energietechnik 1965, Nr. 11, 12.
- [7] M. Koszelnik, J. Malkiewicz, St. Trybuła, *A method to determine the transfer functions of power systems*. Proc. Fourth IFAC Congress, Technical Session 33, Warszawa 1969.
- [8] J. Malkiewicz, St. Trybuła, *Determination of the frequency bias of interconnected power systems*. Prace Instytutu Automatyki Systemów Energetycznych, nr 10, 1968.
- [9] G. Mumdzijan, M. Chadzijski, A. Kirij, *Statisticheskie charakteristiki izmienienija czastoty w eniergosistiemie NRB*. Tieploeniergetika 1970, nr 11.
- [10] St. Perycz, Z. Domachowski, *Optymalizacja układu sterowania mocy turbozespołu przy wymuszeniach zdeterminowanych*. Biuletyn IMP nr 38/711/1972.
- [11] St. Perycz, Z. Domachowski, K. Pilecki, *Studium optymalizacji regulatora mocy turbozespołu z adaptacją nastaw w zależności od obciążenia*. Prace IMP, z. 61, 1973.

Модельные исследования системы регулирования мощности турбоагрегата при стохастических воздействиях

Часть III. Модельные исследования влияния формы функции корреляции частоты в электроэнергетической системе на оптимизацию регулятора мощности турбоагрегата

Резюме

Исследования касаются оптимизации регулятора PI мощности турбоагрегата, участвующего в первичном регулировании частоты электроэнергетической системы. Принимается, что функция корреляции управляющего сигнала имеет две составляющие, как в случае управляющего сигнала,

являющегося суммой двух статистически независимых составляющих, характеризующихся различными энергиями, ширинами полос и временем корреляции. Исследовались влияние отношения энергий этих составляющих и ширины полосы управляющего сигнала на оптимальные параметры регулятора PI мощности турбоагрегата, а также среднеквадратная ошибка системы регулирования.

Среднеквадратная ошибка зависит в главной мере от ширины полосы управляющего сигнала, а менее от параметров регулятора. От ширины полосы зависят главным образом оптимальные параметры регулятора PI.

Статистически оптимальный регулятор PI нужно считать непригодным для регулирования мощности турбоагрегата, так как при узкой полосе управляющего сигнала система регулирования с таким регулятором характеризуется недостаточным запасом устойчивости и невыгодными динамическими характеристиками; при широкой полосе дисперсия ошибки регулируемого сигнала стремится к дисперсии управляющего сигнала, а оптимальное время удвоения регулятора стремится к бесконечности.

Model Investigations of a Turbine Set Power Control System Subjected to Stochastic Input Signals

Part III. Investigations of the Influence of Shape of the Power Network Frequency Correlation Function on the Optimization of the Turbine Set Power Controller

Summary

The investigations concern the optimization of the turbine set PI type power controller used in the primary frequency control in the power network. It was assumed that the correlation function of the control signal consists of two components as in the case of a signal which is the sum of two statistically independent components with different energies, bandwidths and correlation times. The influence of the energy ratio of the components as well as that of the control signal bandwidth on optimum parameters of the turbine set power controller of the PI type and r.m.s. error of the control system were investigated.

The r.m.s. error depends mainly on the control signal bandwidth and less on the controller parameters. Optimum parameters of the PI type controller depend mainly on the bandwidth.

The statistically optimum controller of the PI type should be regarded as unfit for the turbine set power control, as the control system using such a controller has an insufficient stability margin and bad dynamic characteristics with the narrow bandwidth of the control signal. With the wide bandwidth the variance of the error of the controlled signal makes its way to the variance of the controlled signal whereas the optimum doubling time of the controller makes its way to the infinity.