

Antoni BOGUCKI

Bożena PALUCHIEWICZ

Zbigniew BARTOŃ

ZASTOSOWANIE PLANOWANEGO EKSPERYMENTU W ELEKTROENERGETYCE DO SYNTEZY UKŁADÓW STEROWANIA

Streszczenie. W artykule zaprezentowano zastosowanie metody planowanego eksperymentu w elektroenergetyce do syntezy układów sterowania. Aplikacja metody pozwala pokonać trudności związane z syntezą układów sterowania przy występowaniu zmian warunków pracy systemu elektroenergetycznego. Niezwykle korzystną zaletą jest możliwość oceny wpływu parametrów układu sterowania na przebiegi przejściowe. Zamieszczony przykład obliczeniowy potwierdza celowość stosowania metody.

APPLICATION OF THE METHOD OF EXPERIMENTAL DESIGNS IN POWER SYSTEMS FOR SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS

Summary. This paper presents the application of the method experimental designs in power systems for the synthesis of control systems. Employing this method overcome the difficulties caused by change state of power system in synthesis of control systems. The advantage of utilizing the method is that the future of parameters of control systems can be precisely predicted.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Резюме. В статье приводится применение метода планированного эксперимента в электроэнергетике для синтеза систем управления. Применение метода позволяет преодолеть осложнения которые имеют место при синтезе систем управления, когда выступают изменения условий работы энергосистемы. Очень полезным свойством является возможность оценки влияния параметров-системы управления на переходные процессы. Расчетный пример подтверждает целесообразность применения данного метода.

1. WPROWADZENIE

Badania na obiekcie rzeczywistym w procesie syntezy systemów elektroenergetycznych są praktycznie niemożliwe, a na pewno nieekonomiczne ze względu na:

- brak możliwości wyłączeń części systemu elektroenergetycznego (SE),
- niemożliwość wielokrotnego powtarzania zwańc.

W pracy wykorzystano ideę prowadzenia badań nie na obiekcie rzeczywistym, a na odpowiednio przygotowanym modelu matematycznym. Do decyzji prowadzącego badania należy przy tym wybór struktur urządzeńowych i programowych najbardziej przydatnych do rozwiązywania postawionych zadań. Znanie modeley matematyczne w postaci równań różniczkowych są prosto rozwiązywalne numerycznie. Zaletę tę wykorzystuje się do cyfrowego symulowania pracy systemów elektroenergetycznych.

W przypadku wielowymiarowych zadań w prowadzeniu badań nad zmniejszeniem wymiarowości i przekształceniem modelu wykorzystuje się metodę planowanego eksperymentu (PE) [6]. Metoda PE umożliwia znalezienie modelu o założonej z góry postaci i adekwatnego przy minimalnej liczbie eksperymentów.

2. PLANOWANY EKSPERYMENT W ZADANIACH SYNTEZY SYSTEMÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH

Prace naukowo-badawcze można prowadzić uwzględniając następujące etapy [1]:

- eksperymentowania (sformułowanie zadania, wybór zmiennych zależnych, wybór poziomu ich zmian),
- planowania (ustalenie wymaganej liczby obserwacji, ustalenie porządku prowadzenia obserwacji) oraz
- analizy (zebranie i opracowanie danych, interpretacja wyników).

Sformułowane na etapie eksperymentowania zadanie determinuje wszystkie następnie wykonywane czynności. Należy więc w pierwszym rzędzie precyzyjnie określić cel, do którego się dąży. Celem tym może być np. znalezienie takiego modelu matematycznego, który bezpośrednio wiąże parametry układu regulacji z wybranym parametrem charakterystyki procesu przejściowego, albo tylko analiza wpływu parametrów układu na charakterystyki procesu. Eksperymenty bierne są nieprzydatne do rozwiązywania takich zadań, prowadzenie zaś eksperymentu w warunkach rzeczywistych nieekonomiczne. Stąd propozycja prowadzenia badań na modelu matematycznym w postaci równań różniczkowych. Eksperymenty obliczeniowe wykonywane są przy użyciu komputera. Prowadzenie i opracowanie eksperymentów na komputerze, chociaż czasochłonne, jest nieporównanie tańsze i szybsze niż na obiekcie rzeczywistym. Mimo to, należy tak zaplanować badania, aby przy minimalnej liczbie eksperymentów uzyskać maksimum informacji o obiekcie badań. Jedną z metod optymalizacji procesu badawczego jest metoda PE [2, 3].

Planowany eksperyment polega na organizacji badań według jakiegoś określonego schematu mającego pewne optymalne własności. Wśród zalet metody PE można wyróżnić:

- wysoką efektywność metody (rośnie ze wzrostem złożoności badanego obiektu),
- możliwość uzyskania analitycznej zależności

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

gdzie: y - wielkość wyjściowa, x_i - i -ta wielkość wejściowa (czynnik), w postaci wielomianu,

- wykluczenie intuicyjnego podejścia do badań.

Postawiony cel badań narzuca kryterium wyboru planu. Jeżeli poszukujemy modelu wiążącego parametry układu regulacji z wybranymi parametrami charakterystyki procesu przejściowego, to przy spełnieniu warunku adekwatności musi on być prosty, aby możliwe było rozwiązanie zadania

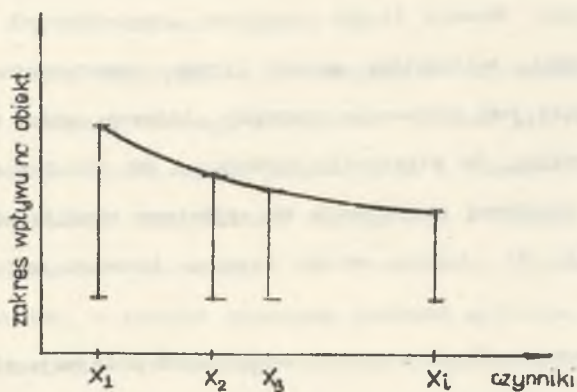
Znaki "+" i "-" w macierzy oznaczają odpowiednio górny i dolny poziom zmian wielkości wejściowej. Poziomy zmian wyznacza się od tzw. wartości bazowej "0", którą są parametry już istniejącego lub założonego układu regulacji. W pierwszym przypadku celem jest poprawienie, w drugim znalezienie nowego układu. Jeżeli na skutek matematycznego opracowania wyników eksperymentu okaże się, że otrzymane modele są nieadekwatne, należy zaplanować eksperyment wielopoziomowy lub sympleksowy. Rosnąca liczba czynników uwzględnianych w eksperymencie typu 2^n powoduje wykładniczy wzrost liczby eksperymentów. Dlatego też ważnym zagadnieniem jest odsiewanie czynników, których wpływ na wielkość wyjściową można pominąć. Do eliminacji czynników, jak również do prowadzenia analizy wpływu wielkości wejściowych na wyjściową stosuje się metodę bilansu losowego [2, 3]. Istotę metody bilansu losowego można sformułować następująco:

- jako miarę oddziaływania poszczególnych wielkości wejściowych przyjmuje się wariancję oceny wielkości wyjściowej,
- czynniki mające mały wpływ na wielkość wyjściową zalicza się do pola szumów.

Zakres wpływu wielkości wejściowej na wyjściową oblicza się jako różnicę średnich arytmetycznych dla poziomu "+" i dla poziomu "-" tej wielkości wejściowej. Wpływ zmian poszczególnych czynników na własności układu można przedstawić graficznie (rys. 1.).

W ogólnym przypadku w procesie badania określonego obiektu osobliwa własność y obiektu zależy od wielkości wejść x_1 i zakłóceń przypadkowych w_1 . Biorąc pod uwagę dokładność z jaką określa się wartości wielkości y w doświadczeniu można podzielić objekty na dwie grupy [3]. Do pierwszej zalicza się się te, w których wartość y określana jest bez błędów. Opis matematyczny tego typu zależności stanowią funkcje deterministyczne, a opracowania rezultatów eksperymentów dokonuje się za pomocą teorii aproksymacji. Do

drugiej grupy obiektów zalicza się te, w których błąd określania wartości y jest istotny i uwarunkowany działaniem przypadkowych, nie uwzględnianych w doświadczeniu czynników. Do opracowania rezultatów eksperymentów należy się w tym przypadku posługiwać metodami statystyki matematycznej.



Rys. 1. Ilustracja metody bilansu losowego

Fig. 1. Illustration of the method of random balance

3. PRZYKŁAD

W adaptacyjnym układzie regulacji przedstawionym na rys. 2 i opisanym układem równań różniczkowych [5] należy zbadać wpływ następujących parametrów na charakter procesu przejściowego:

K - współczynnik wzmocnienia układu regulacji prędkości obrotowej turbiny,

T - stała czasowa,

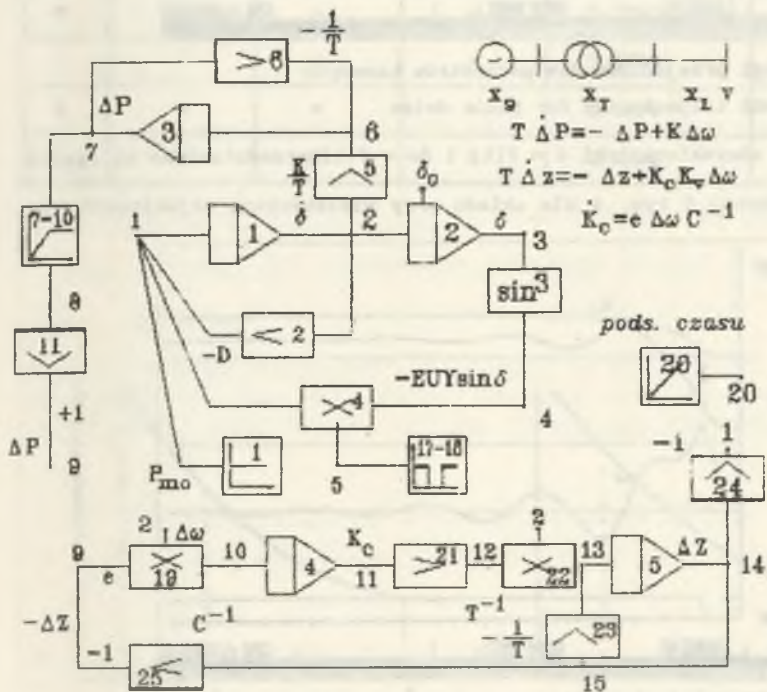
C - współczynnik adaptacji.

Dla trzech zmiennych wejściowych ustalanych na dwóch poziomach (tablica 2) wykorzystuje się plan eksperymentu przedstawiony w tablicy 1.

Tablica 2

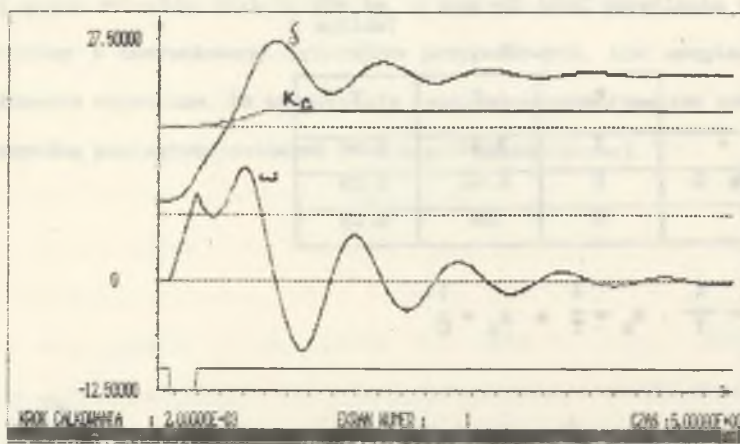
	K	C	T
+	2	3.33	0.50
baza 0	1	6.66	0.25
-	0	10	0.05

przy czym $x_1 = \frac{K}{T}$, $x_2 = \frac{1}{T}$ a $x_3 = \frac{1}{C}$.



Rys. 2. Schemat układu regulacji

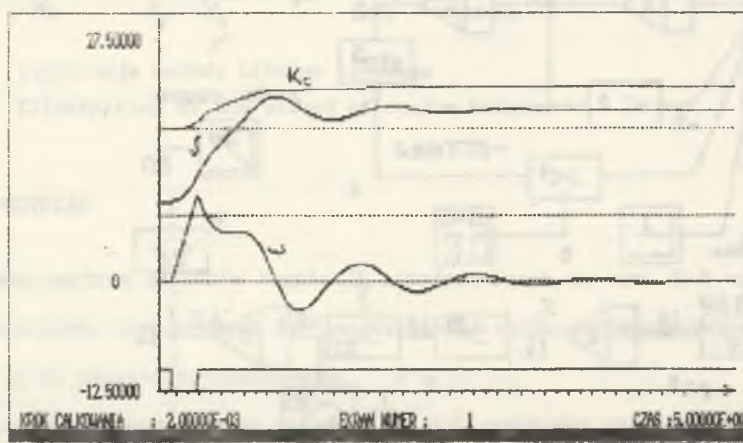
Fig. 2. Scheme of control system



Rys. 3. Przebiegi przejściowe dla parametrów bazowych

Fig. 3. Transient trajectories for basic data

Przykładowe charakterystyki $\delta = f(t)$ i $\Delta\omega = f(t)$ przedstawiono na rys. 3 dla układu bazowego i rys. 4 dla układu przy wielkościach wejściowych na



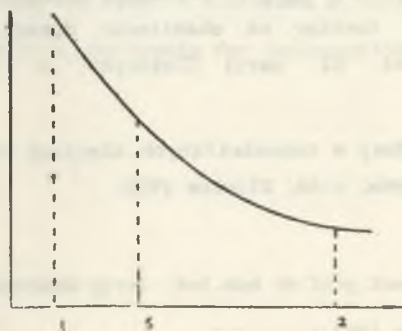
Rys. 4. Przebiegi przejściowe dla parametrów optymalnych

Fig. 4. Transient trajectories for optimal data

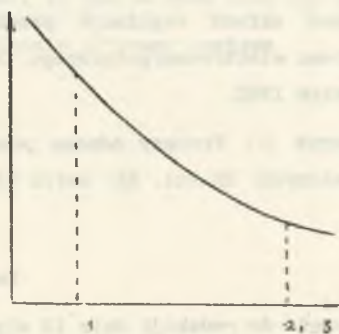
poziomach określonych wierszem 6 planu macierzy. Wyniki eksperymentów przedstawiono w tabelicy 3, a wpływ wielkości wejściowych na wyjściowe - na rys.

Tablica 3

Numer eksp.	x_1	x_2	x_3	Czas, po jakim układ wraca do synchronizmu (t_s)	Czas trwania max wychylenia kąta δ (t_o)
1	-	-	-	3.7647	1.7647
2	+	-	-	3.5294	1.6471
3	-	+	-	3.7647	1.8235
4	+	+	-	3.6765	1.7647
5	-	-	+	3.7647	1.8235
6	+	-	+	3.2353	1.1176
7	-	+	+	3.6747	1.7059
8	+	+	+	3.5294	1.5294
Baza	0	0	0	3.5294	1.5294



Rys. 5. Wpływ wielkości wejściowych na wyjściowe (t_o)
 Fig. 5. Influence of a control input on the control output (t_o)



Rys. 6. Wpływ wielkości wejściowych na wyjściowe (t_s)
 Fig. 6. Influence of a control input on the control output (t_s)

Na podstawie analizy otrzymanych rezultatów metodą bilansu losowego można ocenić, że w układzie przyjętych wartości $K \setminus T = 4 (+)$, $1 \setminus T = 20 (-)$, $1 \setminus C = 0.3 (+)$ wybrane wielkości wyjściowe mają parametry korzystniejsze niż w układzie bazowym, a czas trwania maksymalnego wychylenia kąta δ jest około 1.1 raza krótszy niż w układzie bazowym. W przypadku obu wielkości wyjściowych największy wpływ na nie ma czynnik $K \setminus T$ (por. wiersze 7 oraz 8 w tab.3).

Najniekorzystniejsze warunki występują przy wielkościach wejściowych określonych wierszem 3 i 5 planu macierzy, co w rzeczywistości odpowiada niedziałaniu układu regulacji.

LITERATURA

- [1] Hicks C.: Osnownyje principy eksperimenta. Mir, Moskwa 1967.
- [2] Nalimow W.W., Czernowa N.A.: Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych. WNT, Warszawa 1967,
- [3] Kacprzyński B.: Technika planowania eksperymentu. WNT, Warszawa 1976,
- [4] Draper N.R., Smith H.: Analiza regresji stosowanej. PWN, Warszawa 1973,
- [5] Bogucki A., Bartoń Z., Paluchiewicz B.: O jednej z możliwości zwiększenia wpływu układu regulacji prędkości turbiny na stabilność dynamiczną systemu elektroenergetycznego. ZN Pol. Śl. serii Elektryka, z. 127, Gliwice 1992.
- [6] Popczyk J.: Procesy odnowy poawaryjnej w napowietrznych sieciach rozdzielczych. ZN Pol. Śl. serii Elektryka, z.66, Gliwice 1979.

Recenzent prof.dr hab.inż. Jerzy Wróblewski

Wpłynęło do redakcji dnia 13 stycznia 1992 r.

APPLICATION OF THE METHOD OF EXPERIMENTAL DESIGNS IN POWER SYSTEMS FOR
SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS

A b s t r a c t

A method of experimental designs for control synthesis in power systems is proposed.

In recent years, some investigators have considered employing this method to overcome the difficulties caused by system condition changes and to implement controls in multimachine systems. The advantage of utilizing the method is that the future of parameters of control systems can be precisely predicted. This is substantially beneficial to implement control. In addition, it also allows to focuss on the important local output variables which contain the total information of the system states and hence, one need not care about behavior of the real power system.

A primary simulation test of feasibility and validity of the proposed method is performed.

From the results discussed in this paper, it can be seen that the proposed method is applicable for implementing synthesis of power systems.