

Jerzy TCHÓRZEWSKI\*

## MODELE ROZWOJU KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO W UJĘCIU TEORII STEROWANIA I SYSTEMÓW

Do identyfikacji Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) wykorzystano podstawy teorii sterowania i systemów oraz teorii identyfikacji rozwoju systemów, co umożliwiło wygenerowanie odpowiednich modeli rozwoju, w tym modeli matematycznych rozwoju w postaci macierzy  $\mathbf{th}$  oraz równań w przestrzeni stanów (ss). Następnie na tej podstawie opracowano systemowy model rozwoju KSE, który zaimplementowano w Simulink'u, definiując kolejne bloki modelu jako charakterystyki poszczególnych podsystemów KSE, zidentyfikowanych w środowisku MATLAB z wykorzystaniem System Identification Toolboxa oraz transformowanych na postać modeli w przestrzeni stanów za pomocą Control System Toolboxa. W wyniku rozwiązania układu równań zmiennych stanu z wykorzystaniem m-pliku w środowisku MATLAB otrzymano trzy zmienne stanu. Następnie na bazie otrzymanego rozwiązania uzyskano w Simulinku odpowiedzi systemu KSE (zmienną wyjściową  $y_1$ ) na wymuszenia typu: skok jednostkowy  $1(\theta)$ , impuls Diraca  $\delta(\theta)$  oraz funkcja  $\sin(\theta)$ . Wyniki badań zinterpretowano.

SŁOWA KLUCZOWE: identyfikacja, modele rozwoju, przestrzeń stanów, rozwój systemu elektroenergetycznego, MATLAB i Simulink

### 1. WPROWADZENIE

Przeprowadzenie identyfikacji krajowego systemu elektroenergetycznego (KSE) jest zadaniem bardzo czasochłonnym, wymaga dokładnych badań statystycznych w celu zgromadzenia odpowiednich danych możliwych do wykorzystania w procesie identyfikacji dotyczących reprezentatywnego okresu, np. lat 1946-2007<sup>1</sup>[11, 13]. Tak przeprowadzona identyfikacja KSE, umożliwia uwzględnienie w modelu rozwoju zarówno zmian parametrycznych jak też zmian strukturalnych KSE.

<sup>1</sup> Dobór danych liczbowych dotyczących lat 1946-2007 wynikał z faktu, iż badania zostały zakończone w 2008 roku, gdy nie były jeszcze znane wyniki za 2008 rok, natomiast dobór roku 1946 wynikał z faktu, iż dane za wcześniejszy okres (lata wojny 1939-1945 i lata przedwojenne) nie były w pełni dostępne. Przyjęcie danych w liczbie 61 lat uznałem za próbkę reprezentatywną, gdyż umożliwiła ona wygenerowanie 33 modeli krajowego systemu elektroenergetycznego z wysoką dokładnością (99,14%) w systemie kroczącym.

\* Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach.

## 2. MODEL KSE W PRZESTRZENI STANÓW

Przykład modelu rozwoju KSE otrzymany na bazie danych eksperymentalnych z lat 1946-2007 dla 14 zmiennych wejściowych oraz jednego wyjścia  $y_1$  reprezentującego moc osiągalną w elektrowniach ogółem [MW] (model MISO)<sup>2</sup> w przestrzeni stanów można zapisać równaniami stanu i wyjścia [11, 13, 16-18]:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,13 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,34 & -0,2 & -5,19 & -14,5 & 0,16 & 0,01 & -0,05 & -0,003 & 0,03 & 0,09 & 0,13 & 0,02 & -0,03 & -0,02 \\ -0,05 & -0,78 & 0,37 & 9,72 & -0,05 & -0,03 & -0,28 & -0,01 & 0,11 & 0,3 & 0,06 & -0,01 & -0,13 & 0,32 \\ -0,14 & 0,33 & 29,52 & 14,17 & 0,07 & 0,01 & -0,61 & 0,03 & -0,03 & 0,15 & -0,05 & -0,01 & 0,23 & 0,03 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,1342 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$y_1 = [1 \ 0 \ 0]$$

gdzie:  $x_1$  – zmienna stanu możliwa do interpretacji jako możliwa do wyprodukowania energia elektryczna w elektrowniach (ogółem) [kWh],  $x_2$  - zmienna stanu możliwa do interpretacji jako moc osiągalna generatorów [MW],  $x_3$  – zmienna stanu możliwa do interpretacji jako szybkość zmian mocy osiągalnej generatorów w ciągu roku [MW/rok].

Szczegółowy schemat blokowy zmiennych stanu utworzony na podstawie równań stanu i wyjścia (1) zamieszczono na rys. 1. Rozwiązanie układu równań zmiennych stanu (1) wiąże się z koniecznością wyznaczenia dwóch składowych [1, 4, 5, 16-19]:

– składowej swobodnej zależnej od warunków początkowych:

$$x_s = e^{A\theta} \cdot x(0), \quad (2)$$

– składowej wymuszonej:

$$x_w = \int_0^{\theta} e^{A(\theta-\tau)} \cdot \mathbf{B} \cdot u(\tau) \cdot d\tau, \quad (3)$$

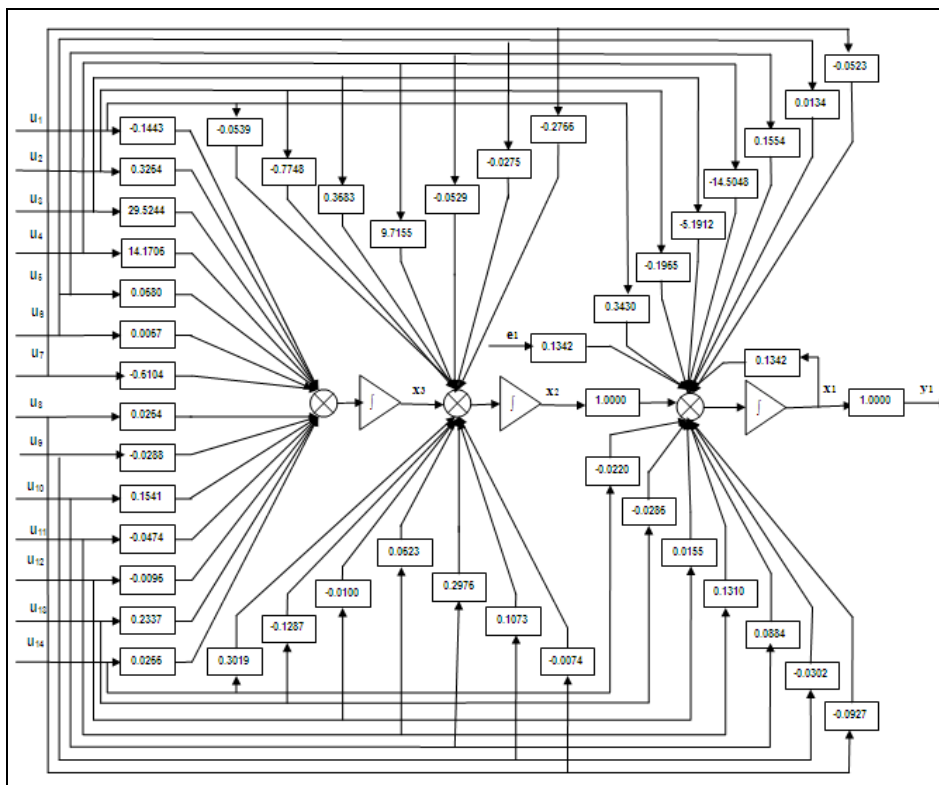
co wiąże się na początku z koniecznością wyznaczenia macierzy podstawowej (macierzy tranzycyjnej) przy wykorzystaniu odwrotnej transformaty Laplace'a

$$e^{A\theta} = \mathcal{L}^{-1}([s \cdot \mathbf{1} - \mathbf{A}]^{-1}), \quad (4)$$

przy czym:

$$[s \cdot \mathbf{1} - \mathbf{A}] = \begin{bmatrix} s - 0,13 & -1 & 0 \\ 0 & s & -1 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix}, \quad (5)$$

<sup>2</sup> MISO – Multi Input Single Output



Rys. 1. Schemat blokowy zmiennych stanu modelu rozwoju KSE dla lat 1946-2007. Oznaczenia w tekście. Opracowanie własne

dla której wyznacznik wynosi:

$$\det(s\mathbf{1} - \mathbf{A}) = s^2 \cdot (s - 0.13), \quad (6)$$

a więc

$$[s \cdot \mathbf{1} - \mathbf{A}]^{-1} = \frac{1}{\det(s \cdot \mathbf{1} - \mathbf{A})} \cdot \mathbf{A}_D^T, \quad (7)$$

gdzie  $\mathbf{A}_D^T$  jest transponowaną macierzą dopełnień.

W konsekwencji przekształceń otrzymano:

$$[s \cdot \mathbf{1} - \mathbf{A}]^{-1} = \frac{1}{s^2(s - 0.13)} \cdot \begin{bmatrix} s^2 & s & 1 \\ 0 & s(s - 0.13) & s - 0.13 \\ 0 & 0 & s(s - 0.13) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

oraz

$$e^{A\theta} = L^{-1}([s \cdot \mathbf{1} - \mathbf{A}]^{-1}) = \begin{bmatrix} e^{0.13\theta} & \frac{1}{0.13}(e^{0.13\theta} - 1(\theta)) & \frac{1}{0.13}(\frac{1}{0.13}e^{0.13\theta} - \theta) \\ 0 & 1(\theta) & \theta \\ 0 & 0 & 1(\theta) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

a zatem:

$$\mathbf{x}_{kse} = e^{A\theta} \cdot \mathbf{B} \cdot u(\theta) = \begin{bmatrix} e^{0.13\theta} & \frac{1}{0.13}(e^{0.13\theta} - 1(\theta)) & \frac{1}{0.13}(\frac{1}{0.13}e^{0.13\theta} - \theta) \\ 0 & 1(\theta) & \theta \\ 0 & 0 & 1(\theta) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \\ u_8 \\ u_9 \\ u_{10} \\ u_{11} \\ u_{12} \\ u_{13} \\ u_{14} \end{bmatrix} \cdot (10)$$

$$* \begin{bmatrix} 0,34 & -0,20 & -5,19 & -14,51 & 0,16 & 0,01 & -0,05 & -0,01 & 0,03 & 0,09 & 0,13 & 0,06 & -0,03 & -0,02 \\ -0,05 & -0,78 & 0,37 & 9,72 & -0,05 & -0,03 & -0,28 & -0,01 & 0,11 & 0,30 & 0,06 & -0,01 & -0,13 & 0,30 \\ -0,14 & 0,33 & 29,52 & 14,17 & 0,07 & 0,01 & -0,61 & 0,03 & -0,03 & 0,15 & -0,05 & -0,01 & 0,23 & 0,03 \end{bmatrix} \cdot (10)$$

oraz

$$\mathbf{Y}_{kse}_1 = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}_{kse} = [1 \quad 0 \quad 0] \cdot \mathbf{x}_{kse}. \quad (11)$$

Wyniki otrzymanych w Simulinku odpowiedzi systemu KSE (zmiennnej wyjściowej  $y_1$ ) na wymuszenia typu: skok jednostkowy  $1(\theta)$ , impuls Diraca  $\delta(\theta)$  oraz funkcja  $\sin(\theta)$  [4, 5, 8, 14, 16, 19] zestawiono w tabeli 1, przy czym rozwiązaniem układu równań zmiennych stanu są 3 następująco wyrażone zmienne stanu:

$$x_1 = (7.6736 \cdot e^{0.1342\theta} + 1.0753 \cdot \theta - 0.4024 \cdot 1(\theta)) \cdot u_1 + (12.1333 \cdot e^{0.1342\theta} - 2.4322 \cdot \theta + 5.7735 \cdot 1(\theta)) \cdot u_2 + \\ + (1637.7976 \cdot e^{0.1342\theta} + 220.003 \cdot \theta - 2.7444 \cdot 1(\theta)) \cdot u_3 + (845.1465 \cdot e^{0.1342\theta} - 105.5932 \cdot \theta - 72.3957 \cdot 1(\theta)) \cdot u_4 + \\ + (3.5398 \cdot e^{0.1342\theta} - 0.5067 \cdot \theta + 0.3994 \cdot 1(\theta)) \cdot u_5 + (0.4358 \cdot e^{0.1342\theta} - 0.0499 \cdot \theta - 0.0499 \cdot 1(\theta)) \cdot u_6 + \\ + (-36.0245 \cdot e^{0.1342\theta} - 4.5485 \cdot \theta - 0.0523 \cdot 1(\theta)) \cdot u_7 + (0.0889 \cdot e^{0.1342\theta} - 0.1967 \cdot \theta - 0.0551 \cdot 1(\theta)) \cdot u_8 + \\ + (2.4298 \cdot e^{0.1342\theta} - 0.2147 \cdot \theta - 0.7996 \cdot 1(\theta)) \cdot u_9 + (10.8674 \cdot e^{0.1342\theta} - 1.1483 \cdot \theta - 2.2179 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{10} + \\ + (-2.0381 \cdot e^{0.1342\theta} + 0.3532 \cdot \theta + 0.4642 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{11} + (-0.5923 \cdot e^{0.1342\theta} + 0.715 \cdot \theta - 0.0745 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{12} + \\ + (1.2001 \cdot e^{0.1342\theta} - 0.0745 \cdot \theta + 0.0715 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{13} + (1.5974 \cdot e^{0.1342\theta} + 0.1982 \cdot \theta - 0.1416 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{14} + 0.1342, \quad (12)$$

$$x_2 = (-0.1443 \cdot \theta - 0.0539 \cdot 1(\theta)) \cdot u_1 + (0.3264 \cdot \theta - 0.7748 \cdot 1(\theta)) \cdot u_2 + 29.5244 \cdot \theta + 0.3683 \cdot 1(\theta) \cdot u_3 + \\ + (14.1706 \cdot \theta + 9.7155 \cdot 1(\theta)) \cdot u_4 + (0.068 \cdot \theta - 0.0528 \cdot 1(\theta)) \cdot u_5 + (0.0067 \cdot \theta - 0.0275 \cdot 1(\theta)) \cdot u_6 + \\ + (-0.6104 \cdot \theta - 0.2766 \cdot 1(\theta)) \cdot u_7 + (0.0264 \cdot \theta - 0.0074 \cdot 1(\theta)) \cdot u_8 + (-0.0288 \cdot \theta + 0.1073 \cdot 1(\theta)) \cdot u_9 + \\ + (0.1541 \cdot \theta - 0.2976 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{10} + (-0.0474 \cdot \theta + 0.0623 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{11} + (-0.0096 \cdot \theta - 0.01 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{12} + \\ + (0.2337 \cdot \theta - 0.1287 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{13} + (0.0266 \cdot \theta + 0.3011 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{14}, \quad (13)$$

$$x_3 = 1(\theta) \cdot (-0.1443 \cdot u_1 + 0.3264 \cdot u_2 + 29.5244 \cdot u_3 + 14.1706 \cdot u_4 + 0.068 \cdot u_5 + 0.0067 \cdot u_6 - 0.6104 \cdot u_7 + 0.0264 \cdot u_8 - 0.0288 \cdot u_9 + 0.1541 \cdot u_{10} - 0.0474 \cdot u_{11} - 0.0096 \cdot u_{12} + 0.2337 \cdot u_{13} + 0.0266 \cdot u_{14}), \quad (14)$$

oraz zmienna wyjściowa:

$$y_1 = c_{11} \cdot x_1 = (7.6736 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} + 1.0753 \cdot \theta - 0.4024 \cdot 1(\theta)) \cdot u_1 + (12.1333 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 2.4322 \cdot \theta + 5.7735 \cdot 1(\theta)) \cdot u_2 + (1637.7976 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} + 220.003 \cdot \theta - 2.7444 \cdot 1(\theta)) \cdot u_3 + (845.1465 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 105.5932 \cdot \theta - 72.3957 \cdot 1(\theta)) \cdot u_4 + (3.5398 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 0.5067 \cdot \theta + 0.3994 \cdot 1(\theta)) \cdot u_5 + (0.4358 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 0.0499 \cdot \theta - 0.0499 \cdot 1(\theta)) \cdot u_6 + (-36.0245 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 4.5485 \cdot \theta - 0.0523 \cdot 1(\theta)) \cdot u_7 + (0.0889 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 0.1967 \cdot \theta - 0.0551 \cdot 1(\theta)) \cdot u_8 + (2.4298 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 0.2147 \cdot \theta - 0.7996 \cdot 1(\theta)) \cdot u_9 + (10.8674 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 1.1483 \cdot \theta - 2.2179 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{10} + (-2.0381 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} + 0.3532 \cdot \theta + 0.4642 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{11} + (-0.5923 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} + 0.715 \cdot \theta - 0.0745 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{12} + (1.2001 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} - 0.0745 \cdot \theta + 0.0715 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{13} + (1.5974 \cdot e^{0.1342 \cdot \theta} + 0.1982 \cdot \theta - 0.1416 \cdot 1(\theta)) \cdot u_{14} + 0.1342. \quad (15)$$

### 3. ANALIZA MODELI ROZWOJU KSE

W przypadku wymuszenia [4, 5, 14, 16, 19]:

- 1) sinusoidalnego, tzn. gdy  $u_1-u_{14} = \sin\theta$  (dla  $\omega = 1$ ) zmienne stanu można wyrazić następująco:

$$\begin{aligned} x_1 &= (k_{11} \cdot e^{s_3 \cdot \theta} + k_{12} \cdot \theta + k_{13} \cdot 1(\theta)) \cdot \sin \theta + 0.1342, \\ x_2 &= (k_{22} \cdot \theta + k_{23} \cdot 1(\theta)) \cdot \sin \theta, \\ x_3 &= k_{33} \cdot 1(\theta) \cdot \sin \theta, \end{aligned} \quad (16)$$

przy czym:  $s_3 = 0.1342$ ,  $k_{11} = 2\,484,2353$ ,  $k_{12} = 107,58$ ,  $k_{13} = -72,2246$ ,  $k_{22} = k_{33} = 43,6964$ ,  $k_{23} = 8,9252$ ,

czyli zmienna stanu  $x_1$ , a więc także zmienna wyjściowa  $y_1$  mają przebiegi wynikające z 3 składowych: składowej eksponentialnej ( $k_{11} \cdot e^{s_3 \cdot \theta}$ ), składowej prostoliniowej  $k_{12} \cdot \theta$  oraz składowej skoku jednostkowego o wartości  $k_{13}$  (odpowiednio zmienne stanu:  $x_2$  oraz  $x_3$ ).

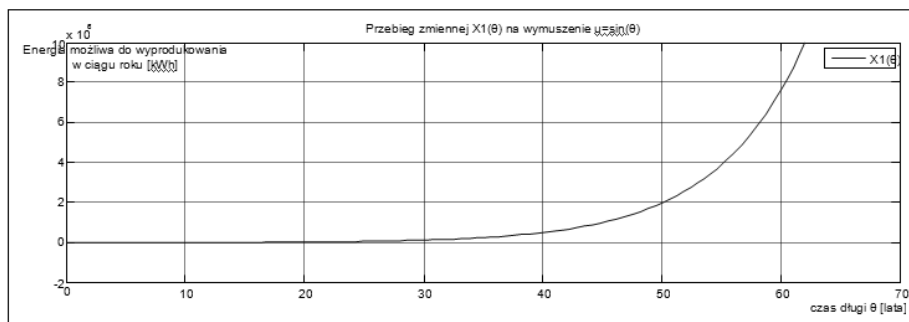
- 2) skoku jednostkowego, tzn. gdy  $u_1-u_{14}=1(\theta)$  zmienne stanu wynoszą:

$$\begin{aligned} x_1 &= (k_{11} \cdot e^{s_3 \cdot \theta} + k_{12} \cdot \theta + k_{13} \cdot 1(\theta)) \cdot 1(\theta), \\ x_2 &= (k_{22} \cdot \theta + k_{23} \cdot 1(\theta)) \cdot 1(\theta), \\ x_3 &= (k_{33} \cdot 1(\theta)) \cdot 1(\theta), \end{aligned} \quad (17)$$

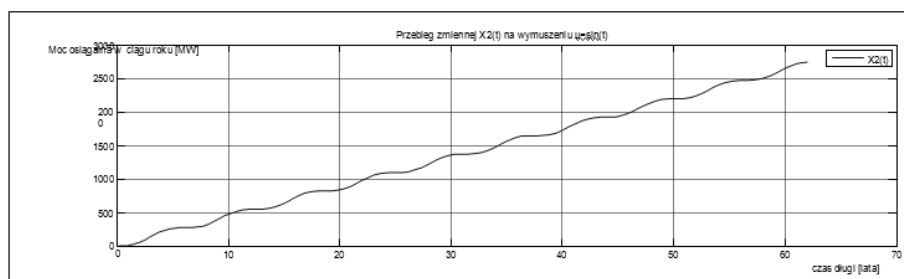
- 3) impulsu Diraca, tzn. gdy  $u_1-u_{14}=\delta(\theta)$  zmienne stanu wynoszą:

$$\begin{aligned} x_1 &= (k_{11} \cdot e^{s_3 \cdot \theta} + k_{12} \cdot \theta + k_{13} \cdot 1(\theta)) \cdot \delta(\theta), \\ x_2 &= (k_{22} \cdot \theta + k_{23} \cdot 1(\theta)) \cdot \delta(\theta), \\ x_3 &= (k_{33} \cdot 1(\theta)) \cdot \delta(\theta). \end{aligned} \quad (18)$$

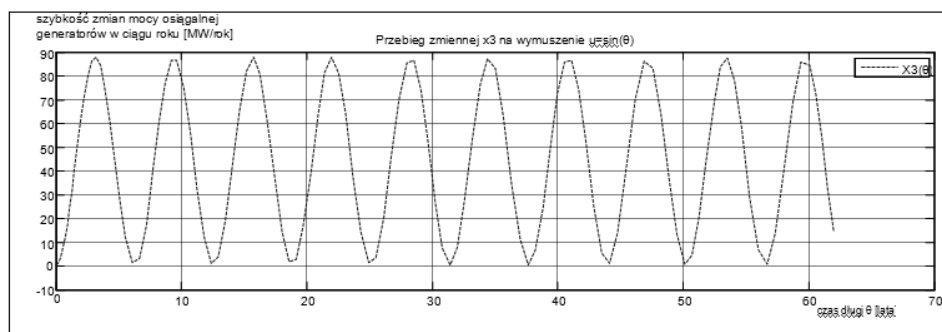




Rys. 3. Przebieg zmiennej stanu  $x_1$  (energia elektryczna możliwa do wyprodukowania w ciągu roku) występującej w modelu ciągłym (ss133) systemu KSE przy wymuszeniu  $u = \sin(\theta)$  - wyniki dla  $\theta = 0 - 62$  lat. Oznaczenia: oś y:  $x_1$  – energia elektryczna możliwa do wyprodukowania w ciągu roku [kWh], oś x – czas długi ( $\theta$ ) [lata]. Opracowanie własne w MATLABIE



Rys. 4. Przebieg zmiennej stanu  $x_2$  (prognozowana moc generatorów w ciągu roku [MW]) występującej w modelu ciągłym (ss133) systemu KSE przy wymuszeniu  $u = \sin(\theta)$ . Oznaczenia: oś y:  $x_1$  – prognozowana moc generatorów w ciągu roku [MW], oś x – czas długi ( $\theta$ ) [lata]. Opracowanie własne w MATLABIE



Rys. 5. Przebieg zmiennej stanu  $x_3$  (szybkość zmian prognozowanej mocy osiągalnej w ciągu roku) występującej w modelu ciągłym (ss133) systemu KSE na wymuszenie  $u = \sin(\theta)$  - wyniki dla  $\theta = 0 - 62$  lat. Oznaczenia: oś y:  $x_3$  – szybkość zmian mocy osiągalnej generatorów w ciągu roku [MW/rok], oś x – czas długi ( $\theta$ ) [lata]. Opracowanie własne w MATLABIE

#### 4. DALSZE KIERUNKI BADAŃ I WNIOSKI

Z punktu widzenia wzrostu stopnia wewnętrznego zorganizowania KSE istotne są badania pierwiastków równania charakterystycznego, a więc m.in. elementów macierzy **A**. Natomiast z punktu widzenia zmiany poziomu sterowania istotne są badania m.in. elementów macierzy **B**. Tego typu zagadnienia zostały omówione m.in. w pracach [16-18]. Badania tego typu dotyczą wspomagania systemu elektroenergetycznego metodami sztucznej inteligencji takimi jak m.in. systemy ekspertowe, sztuczne sieci neuronowe oraz algorytmy genetyczne [2, 3, 10, 15], co związane jest z systemowym ujęciem procesów sterowania funkcjonowaniem i rozwojem krajowego systemu elektroenergetycznego m.in. z punktu widzenia efektywności i bezpieczeństwa z jednej strony oraz wzrostu poziomu sterowania i wewnętrznej organizacji KSE z drugiej strony [6, 7, 9, 12, 16, 19]. Ujęcie rozwoju KSE z punktu ww. kryteriów sterowania prowadzi m.in. do następujących wniosków:

- rozwój systemu KSE wynikający z przebiegu zmiennej  $x_1$  (energia elektryczna możliwa do wyprodukowania w ciągu roku) jest na granicy stabilności, gdyż dwa pierwiastki równania charakterystycznego  $s_{1,2}$  przyjmują wartość 0,
- na przebieg zmiennej stanu  $x_1$  mają wpływ trzy składowe: przebieg eksponentialny ( $k_{11} \cdot e^{\theta/T}$ ), liniowy  $k_{12} \cdot \theta$  oraz skokowy  $k_{13} \cdot 1(\theta)$ ,
- stała czasowa występująca w charakterystyce wykładniczej zmiennej stanu  $x_1$  ( $T_1$ ) ma wartość ujemną i wynosi  $T_1 = -1/0.1342 = -7.4516$ ,
- można zauważyć, że w wyniku wymuszenia sinusoidalnego zmienna stanu:
  - a)  $x_1$  po stosunkowo krótkim stanie przejściowym wywołanym wymuszeniem sinusoidalnym (trwającym w czasie długim rozwoju systemu 1,8 lat przy okresie rozwoju 61 lat – 2,95%) wróciła do stanu równowagi eksponentialnego wzrostu, czyli zmienna stanu  $x_1$  (energia możliwa do wyprodukowania w ciągu roku) przy wymuszeniu sinusoidalnym posiada przebieg wynikający z drgań sinusoidalnych tłumionych eksponentialnie ( $k_{11} \cdot e^{s_3 \cdot \theta}$ , szybkość tłumienia określa  $s_3 = 0.1342$ ), drgań sinusoidalnych tłumionych wykładniczo w przedziałach zmienności sinusoidy wzdłuż linii prostej ( $k_{12} \cdot \theta$ ) oraz drgań sinusoidalnych wzdłuż prostej równoległej do osi czasu  $\theta$  o wartości  $k_{13}$  w prawej półpłaszczyźnie,
  - b)  $x_2$  w wyniku wymuszenia sinusoidalnego zachowała kierunek zmian, przy czym zmiany były oscylacyjne niezanikające (pojawily się drgania wynikające z przebiegu funkcji  $\sin(\theta)$ ),
  - c)  $x_3$  w wyniku wymuszenia sinusoidalnego miała przebieg sinusoidalny o drganiach niegasnących wynikających z funkcji  $\sin(\theta)$ .

#### LITERATURA

- [1] Bolkowska B.: Planowanie systemu elektroenergetycznego w ujęciu teorii sterowania. Archiwum Energetyki nr 4/1974.
- [2] Cichocki A., Osowski S., Siwek K.: MATLAB w zastosowaniu do obliczeń obwodowych i przetwarzania sygnałów. OW PW. Warszawa 2006.



- [3] Helt P., Parol M., Piotrowski P.: Metody sztucznej inteligencji w elektroenergetyce. Wyd. PW. Warszawa 2000.
- [4] Kaczorek T.: Teoria sterowania i systemów. PWN. Warszawa. 1996.
- [5] Kremens Z., Sobierajski M.: Analiza układów elektroenergetycznych. WNT. Warszawa 1996.
- [6] Malko J.: Planowanie systemów elektroenergetycznych. PWN. Warszawa 1976.
- [7] Mielczarski W.: Rynki energii elektrycznej. Wybrane aspekty techniczne i ekonomiczne. ARE S.A. Warszawa 2000.
- [8] Osowski S.: Modelowanie i symulacja układów i procesów dynamicznych. OW PW. Warszawa 2007.
- [9] Paska J.: Niezawodność systemów elektroenergetycznych. OW PW, Warszawa 2005.
- [10] Rebizant W.: Metody inteligentne w automatyce zabezpieczeniowej. PN IE Seria; Monografie Nr 29 (93). OW PWr., Wrocław 2004.
- [11] Rocznik Statystyczny. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1947-2008.
- [12] Sienkiewicz P.: Teoria efektywności systemów. Ossolineum. Wrocław 1987
- [13] Statystyka Elektroenergetyki Polskiej. ARE. Warszawa 1946-2006.
- [14] Staniszewski R.: Sterowanie procesem eksploatacji. WNT. Warszawa 1990.
- [15] Tadeusiewicz R.: Badanie właściwości układów samodzielnych współpracujących ze stochastycznie zmiennym środowiskiem. Postępy Cybernetyki. 4/1976.
- [16] Tchórzewski J.: Rozwój system elektroenergetycznego w ujęciu teorii sterowania i systemów. OW PWR. Wrocław 2013.
- [17] Tchórzewski J.: Development of Electrical Power System from the Point of View of Efficiency. Part 1. Basic development models based on IEEE IRS testing data. Computer Applications in Electrical Engineering. IEEP PP, EEC PAN, IEEE Poland Section, PP, Poznań 2009.
- [18] Tchórzewski J.: Development of Electrical Power System from the Point of View of Efficiency. Part 2. Dynamic development models based on IEEE TRS testing data. Computer Applications in Electrical Engineering. IEEP PP, EEC PAN, IEEE Poland Section, PP, Poznań 2009.
- [19] Zajczyk R.: Modele matematyczne systemu elektroenergetycznego do badania elektromechanicznych stanów niustalonych i procesów regulacyjnych. Wyd. PG. Gdańsk 2003.

#### **DEVELOPMENT MODELS OF THE NATIONAL POWER SYSTEM APPROACH CONTROL THEORY AND SYSTEMS**

To identify the National Power System (NPS) was used basics of control theory and systems theory identification and development of systems, allowing the generation of relevant models of development, including the development of mathematical models in the form of a matrix  $\mathbf{th}$  and equations in the state space (ss). Then, on this basis, a system model of the development of NPS, which was implemented in Simulink defining successive blocks of the model as the characteristics of each sub-NPS, identified in the MATLAB environment using the System Identification Toolbox, and transformed in the form of models in state space using the Control System Toolbox. As a result of solving the system of equations of state variables using the m-file in the MATLAB environment was obtained three state variables. Then, on the basis of the obtained solution was obtained in Simulink system response NPS (output variable  $y_1$ ) to enforce type: step -  $1(\theta)$ , the Dirac impulse  $\delta(\theta)$  and the function  $\sin(\theta)$ . The results were interpreted.