

Andrzej NOWAK, Marek SITARZ, Katarzyna CZAPLA, Konrad KACZMAREK
Instytut Matematyki, Politechnika Śląska

MODEL SIECIOWY DYNAMIKI RUCHU POJAZDU SZYNOWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono model sieciowy układu wagon kolejowy, opracowany na podstawie metody grafów wiązań i sieci neuronowych. Sformułowano model układu napędowego pojazdu z silnikiem prądu stałego w postaci sieci neuronowej. Przedstawiono model dynamiczny ruchu pojazdu szynowego z uwzględnieniem zjawiska odbicia, ukosowania i sił tarcia poślizgowego. Na podstawie modelu wyznaczono charakterystyki amplitudowe układu oraz przebieg siły bocznej pomiędzy kołem a szyną.

THE NETWORK MODEL OF THE DYNAMICS OF THE RAILWAY STOCK MOTION

Summary. In the paper the net model of the railway stock machine on basis of the bond graphs and neural net methods has been shown. There is the model of the driving system with steady - current motor in term of the neural network is formulated. In dynamics model of the motion of the railay stock the influence of the reflection phenomenon, the bevel, the side and the friction forces are presented. On basis of the elaborated model the frequencies characteritics and the courses of the side forces between the wheel and rail are determined.

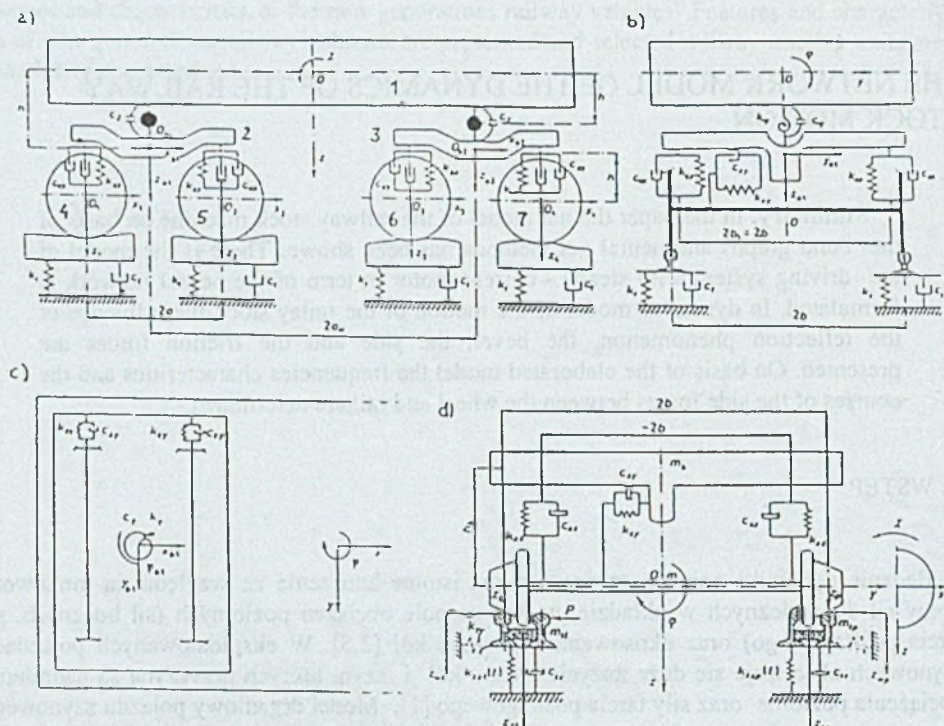
1. WSTĘP

Badanie dynamiki pojazdu szynowego ma istotne znaczenie ze względu na możliwość oceny sił dynamicznych w układzie, w tym na pole obciążeń poziomych (sił bocznych, sił tarcia poślizgowego) oraz ukosowanie i poślizgi kół [2,5]. W eksploatowanych pojazdach szynowych obserwuje się duże zużycie bieżni, kół i szyn, których przyczyną są nadmierne obciążenia poziome oraz siły tarcia poślizgowego [1]. Model drganiowy pojazdu szynowego opracowano przy zastosowaniu metody sztywnych elementów skończonych (SES), co pozwoliło określić siły poziome oraz siły tarcia poślizgowego [3]. Model drganiowy pojazdu szynowego opracowano przy zastosowaniu metody sztywnych elementów skończonych

(SES), co pozwoliło przeprowadzić analizę drgań układu w zakresie wyznaczenia widma częstości drgań własnych, charakterystyk amplitudowych i odpowiedzi czasowych na wymuszenia impulsowe. Model dynamiczny układu napędowego z silnikiem prądu stałego sformułowano opierając się na metodzie grafów wiązań oraz w formalizmie sieci neuronowych [6]. W wyniku analizy numerycznej wyznaczono przebiegi sił bocznych, sił napędowych i sił oporów ruchu.

2. MODEL DYNAMICZNY RUCHU POJAZDU SZYNOWEGO

Schemat fizyczny pojazdu szynowego w postaci modelu drganiowego, opracowany na podstawie metody sztywnych elementów skończonych, pokazano na rys. 1 a,b,c,d. W modelu wyodrębniono podstawowe podukłady - nadwozie, podwozie, ramę wózka oraz cztery zestawy kołowe, połączone z ramą wózka amortyzatorami sprężynowymi [5]. Przedstawiony model pojazdu szynowego jest modelem przestrzennym i opisuje jego drgania we wszystkich płaszczyznach układu współrzędnych. W modelu uwzględniono również wpływ sztywności poprzecznej jezdni oraz szyn wraz z masami odcinków jezdni, co umożliwia ocenę wpływu podatności jezdni i szyn na charakterystyki amplitudowe i dynamiczne układu.



Rys. 1. Model drganiowy pojazdu szynowego
Fig. 1. Vibrating model of the railway stock

Różniczkowe równania drgań pojazdu w zapisie macierzowym, przy uwzględnieniu drgań podłoża ma postać:

$$M \ddot{q} + C(\dot{q} - \dot{z}_0) + K(q - z_0) = 0, \tag{1}$$

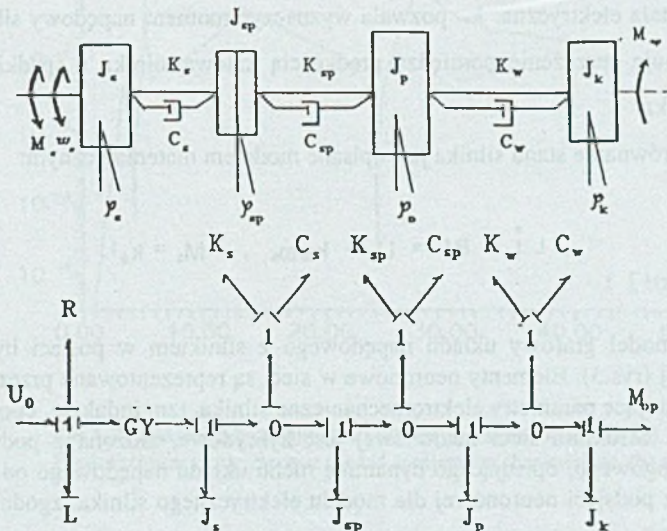
gdzie M, C, K stanowią globalne macierze bezwładności, tłumienia i sztywności układu. Równanie (1) można sprowadzić do postaci:

$$\ddot{w} + C \dot{w} + K w = -M \ddot{z}_0. \tag{2}$$

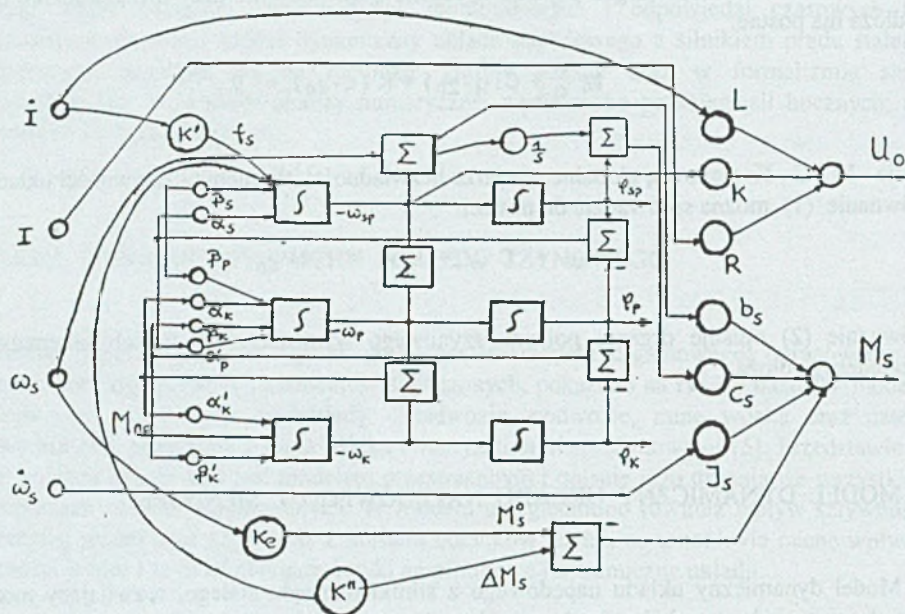
Równanie (2) opisuje drgania pojazdu szynowego wymuszone w sposób kinematyczny względem podłoża.

3. MODEL DYNAMICZNY UKŁADU NAPĘDOWEGO Z SILNIKIEM

Model dynamiczny układu napędowego z silnikiem prądu stałego, rozwijający moment napędowy na jednym z kół pojazdu, przedstawiono na rys.4a. W modelu uwzględniono moment oporu ruchu na kole M_{op} oraz moment napędowy silnika oznaczony przez M . Na tej podstawie opracowano graf wiązań układu napędowego zilustrowany na rys.4b, w którym



Rys.2. Model drganiowy układu napędowego (a) i jego graf wiązań (b)
 Fig.2. Vibrating model of the driving system (a) and its bond graph (b)



Rys.3. Hybrydowa sieć neuronowa układu napędowego z silnikiem prądu stałego
Fig.3. Hybrid neuron net of the driving system with steady – current motor

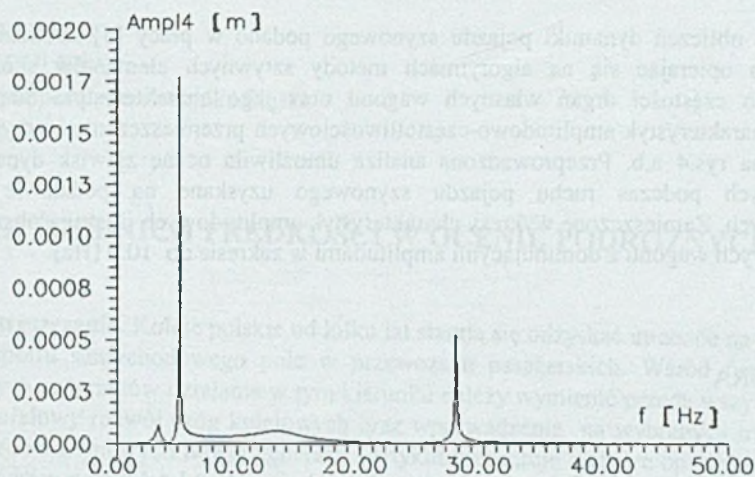
występuje element giratora GY modelujący sprzężenia elektromechaniczne w układzie silnik - wał. Stała elektryczna k_e pozwala wyznaczyć moment napędowy silnika, natomiast stała k_M ujmuje sprzężenie pomiędzy prędkością kątową silnika a spadkiem napięcia w obwodzie silnika.

Różniczkowe równanie stanu silnika jest opisane modelem matematycznym:

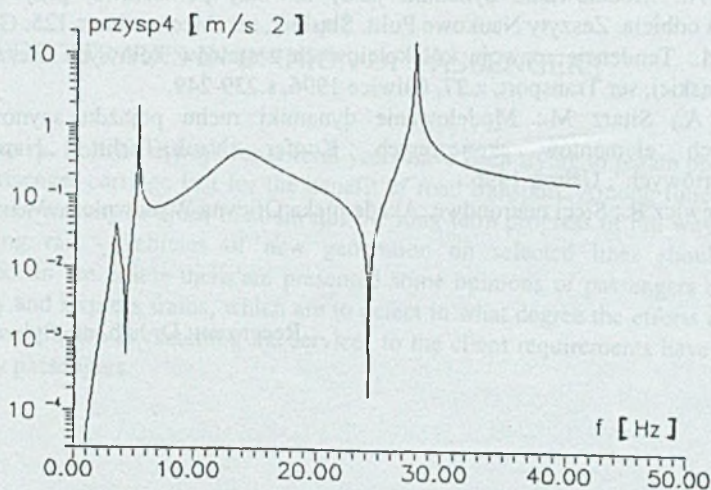
$$L \dot{I} + RI = U_0 - k_M \omega_s, \quad M_s = k_e I. \quad (3)$$

Opracowano model grafowy układu napędowego z silnikiem w postaci hybrydowej sieci neuronowej [6] (rys.3). Elementy neuronowe w sieci są reprezentowane przez wielkości L , R , J_s reprezentujące parametry elektromechaniczne silnika, tzn. indukcyjność, oporność i moment bezwładności. Struktura sieci neuronowej jest hybrydowa, złożona z podsieci w postaci schematu analogowego, opisującego dynamikę ruchu układu napędowego od silnika do koła (rys.3) oraz z podsieci neuronowej dla modelu elektrycznego silnika, zgodnie z równaniem (3).

a



b



Rys.4. Charakterystyka amplitudowa (a) przyspieszenia nadwozia (b)

Fig.4. Frequency characteristic (a) and acceleration characteristic (b) of the rail car

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Dane do obliczeń dynamiki pojazdu szynowego podano w pracy [5]. Obliczenia przeprowadzono opierając się na algorytmach metody sztywnych elementów skończonych. Wyznaczono częstości drgań własnych wagonu oraz jego charakterystyki amplitudowe. Wykresy charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych przemieszczenia i przyspieszenia pokazano na rys.4 a,b. Przeprowadzona analiza umożliwiła ocenę zjawisk dynamicznych występujących podczas ruchu pojazdu szynowego uzyskane na podstawie obliczeń numerycznych. Zamieszczone wykresy charakterystyk amplitudowych ilustrują obszary drgań rezonansowych wagonu z dominującymi amplitudami w zakresie do 10.0 [Hz].

LITERATURA

1. Iwanow J, Sitarz M.: Stan aktualny trwałości i niezawodności kolejowych zestawów kołowych. Zeszyty Naukowe Polit. Śląskiej, ser.Transport, z.27, Gliwice 1995, s.111-119
2. Kisielowski J.: Dynamika układu mechanicznego pojazd szynowy - tor. PWN Warszawa 1991.
3. Nowak A.: Modelowanie dynamiki jazdy suwnicy pomostowej przy uwzględnieniu zjawiska odbicia. Zeszyty Naukowe Polit. Śląskiej, ser. Mechanika, z.125. Gliwice 1995.
4. Sitarz M.: Tendencje rozwoju kół kolejowych zestawów kołowych. Zeszyty Naukowe Polit. Śląskiej, ser.Transport, z.27, Gliwice 1996, s.239-249.
5. Nowak A., Sitarz M.: Modelowanie dynamiki ruchu pojazdu szynowego metodą sztywnych elementów skończonych. Konfer. Nauk.-Techn. „Napędy Maszyn Transportowych”, Ustroń 1996.
6. Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1996.

Recenzent: Dr hab.inż. Sylwester Markusik

Abstract

In the paper the net model of the railway stock machine on basis of the bond graphs and neural net methods has been shown. There is the model of the driving system with steady-current motor in term of the neural network is formulated. In dynamics model of the motion of the railay stock the influence of the reflection phenomenon, the bevel, the side and the friction forces are presented. On basis of the elaborated model the frequencies characteritics and the courses of the side forces between the wheel and rail are determined.