

ZASTOSOWANIE GRAFÓW ZALEŻNOŚCI I DRZEW ROZGRYWAJĄCYCH PARAMETRYCZNIE W PROCESIE INNOWACJI NA PRZYKŁADZIE UKŁADÓW MASZYNOWYCH

Adam DEPTUŁA, Marian A. PARTYKA

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono zastosowanie grafów zależności i drzew rozgrywających parametrycznie do analizy i syntezy własności dynamicznych układów maszynowych. Różne rozwiązania grafowe oznaczają powiązania wielkości wejściowych, wyjściowych oraz parametrów konstrukcyjnych. Wprowadzono szczególne przypadki rozkładu grafu zależności na strukturę drzewiastą rozgrywającą parametrycznie. Przeprowadzono ocenę informacyjną otrzymanych rozwiązań grafowych dla optymalizacji konstrukcji.

Słowa kluczowe: graf zależności, złożoność wierzchołkowa, struktura systemowa, drzewo rozgrywające parametrycznie.

1. Wstęp

Tablice decyzyjne [1] i funkcje logiczne [2, 3, 4, 5] mają zastosowanie w zagadnieniach modelowania układów maszynowych, które opisane są równaniami różniczkowymi (zwykłymi lub cząstkowymi). Wynika to z faktu, że występujące elementy nieliniowe można rozdzielić na skończoną liczbę elementów (części) liniowych, co prowadzi do otrzymania kilku układów liniowych w sensie przebiegu modelowania z pierwotnego pojedynczego układu nieliniowego. Występujące parametry konstrukcyjne mają wpływ na przebieg nieznanymi funkcji zależnych od czasu. Tradycyjna analiza typu Wejście → Wyjście i Wyjście → Wejście danego układu metodą grafu zależności prowadzi do otrzymania grup wierzchołkowych o następujących własnościach [6]:

- elementy wewnątrz danej grupy mają dużo połączeń informacyjnych,
- poszczególne grupy mają wzajemnie mało połączeń informacyjnych.

W ten sposób otrzymuje się wytyczne konstrukcyjne. Należy zaznaczyć, że istnieje możliwość otrzymania wielokrotnych rozwiązań z grafu zależności i dlatego selekcję odpowiednich podrozwiązań można przeprowadzić z wykorzystaniem klasyfikatorów drzewiastych z sieci neuronowych [7, 8, 9].

Odmienne podejście może być przeprowadzone jako przetłumaczenie skierowanego grafu zależności na strukturę drzewiastą rozgrywającą parametrycznie [10, 11].

2. Zastosowanie grafu zależności do analizy własności dynamicznych na przykładzie układów maszynowych

Z równań dynamiki można określić wzajemne powiązania wszystkich funkcji zależnych od czasu. W wyniku zapisania i przeprowadzenia rozkładu grafu zależności tych funkcji, otrzymuje się grupy rozkładu, które strukturalnie opisują własności kolejnych podukładów danego układu maszynowego.

Przykład

Dla układu hydraulicznego [6], składającego się z pompy zębatej, zaworu przelewowego, rozdzielacza i silnika obciążonego dużym masowym momentem bezwładności, model matematyczny ma postać:

1. równanie natężenia przepływu z pompy

$$Q_s = Q_p 1(t) - \frac{1}{R_{p0}} P_p - Q_{zp}, \text{ gdzie } \frac{1}{R_{p0}} = \frac{1}{R_{pp}} + \frac{1}{R_{pz}} + \frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_s} \quad (1)$$

oraz:

P_p - ciśnienie w linii tłocznej pompy,

Q_p - wydajność teoretyczna pompy,

Q_{zp} - natężenie przepływu przez zawór przelewowy,

Q_s - natężenie przepływu podawane do części odbiorczej układu;

2. równanie zaworu przelewowego

$$Q_{zp} = 0 \text{ dla } P_p \leq P_0$$
$$\frac{dQ_{zp}}{dt} = \frac{K}{T} P_p - \frac{1}{T} Q_{zp} \text{ dla } P_p > P_0 \quad (2)$$

3. równanie strat ciśnienia

$$P_p = R_l Q_s + P_s \quad (3)$$

gdzie: P_s - spadek ciśnienia między komorami roboczymi silnika

4. równanie przepływowo silnika

$$\frac{dP_s}{dt} = \frac{1}{C} Q_s - \frac{D}{C} \omega \quad (4)$$

gdzie: ω - prędkość kątowa wału silnika

5. równanie momentów silnika

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{D}{J} P_s - \frac{R}{J} \omega, \text{ tzn. } J \frac{d\omega}{dt} = D P_s - R \omega. \quad (5)$$

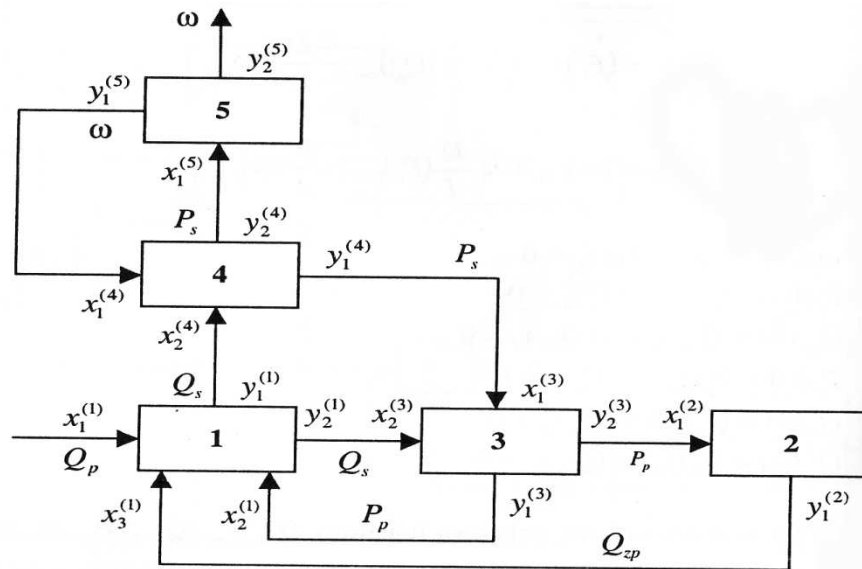
Ponieważ niewiadome funkcje P_p , P_s , Q_s , Q_{zp} , ω są obliczone na podstawie danego wejścia układu Q_p , więc istnieje struktura systemowa (rys. 1). Wynikają stąd następujące zapisy grafu zależności:

1. Z jakich sygnałów powstał dany sygnał:

$$Q_{zp}(P_p), P_p(Q_s, P_s), P_s(Q_s, \omega), \omega(P_s), Q_s(Q_p, P_p, Q_{zp});$$

2. Jakie sygnały tworzy dany sygnał:

$$Q_s(P_p, P_s), P_p(Q_{zp}, Q_s), Q_{zp}(Q_s), P_s(P_p, \omega), Q_p(Q_s).$$



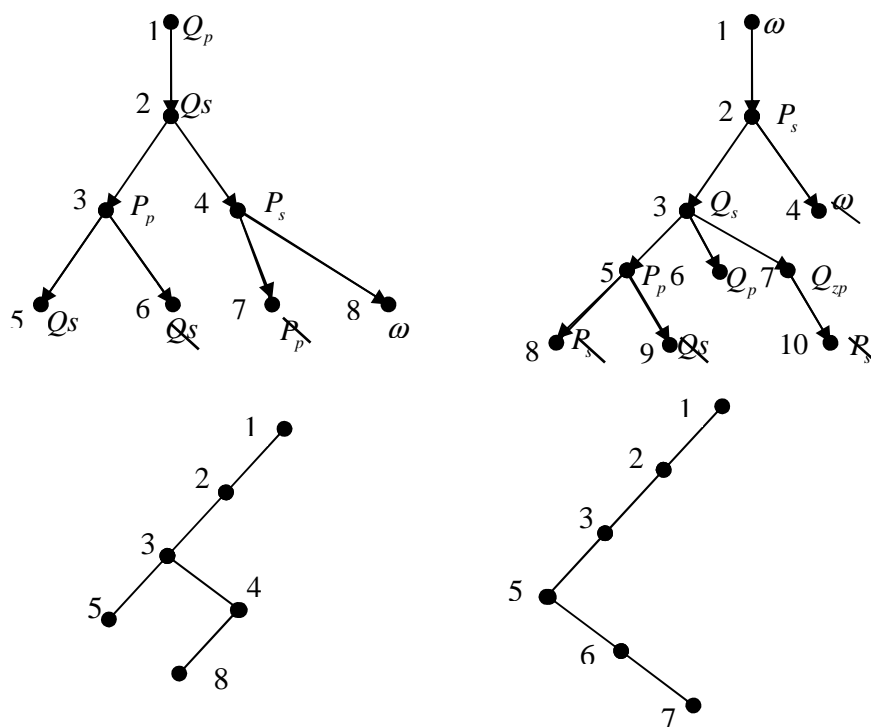
Rys. 1. Struktura systemowa układu hydraulicznego

W rozpatrywanym modelu dynamiki układu zostało wprowadzone uogólnienie rozkładu grafu zależności polegające na udowodnieniu istnienia tzw. wierzchołków obcych w dalszych liniach (rzędach) rozkładu niż trzecia. W ten sposób otrzymano dwa rozwiązania grafowe – rys.2 [12]:

- $\{Q_p, Q_s, P_p, P_s\}, \{Q_{zp}\}, \{\omega\}$ dla wierzchołka początkowego Q_p ,
- $\{\omega, P_s\}, \{Q_s, P_p, Q_p, Q_{zp}\}$ dla wierzchołka początkowego ω .

Oznaczają one istnienie najważniejszego podrozwiązania $\{Q_p, Q_s, P_p\}$, które jest wytyczną do optymalizacji konstrukcji.

Ponieważ jednak rozkład grafu zależności ma drzewiastą strukturę decyzyjną, więc zastosowanie klasyfikatorów drzewiastych znacznie przyspiesza proces wyszukiwania i klasyfikacji informacji [13, 14, 15, 16]. Należy zaznaczyć, że kodowanie wierzchołkowe klasyfikatora drzewiastego można przetłumaczyć na kodowanie gałązkowe drzewa logicznego [17].



Rys. 2. Rozwiązanie grafowe w ujęciu drzewiastym i odpowiednie klasyfikatory drzewiaste

Ogólnie można otrzymać rozwiązanie grafowe w ujęciu drzewiastym dla układu hydraulicznego z rys. 1 przy uwzględnieniu parametrów konstrukcyjnych i następujących zapisów zależności:

1. Z jakich sygnałów powstał dany sygnał:

$$Q_{zp}(P_p | K, T); P_p(P_s; Q_s | R_l); P_s(Q_s | C; \omega | C, D); \omega(P_s | D, J; R);$$

$$Q_s(Q_p; P_p | R_{p0}; Q_{zp});$$

2. Jakie sygnały tworzy dany sygnał:

$$Q_s(P_p, R_l; P_s, C); P_p(Q_{zp}, K, T; Q_s, R_{p0}); Q_{zp}(Q_s); P_s(P_p; \omega, D, J);$$

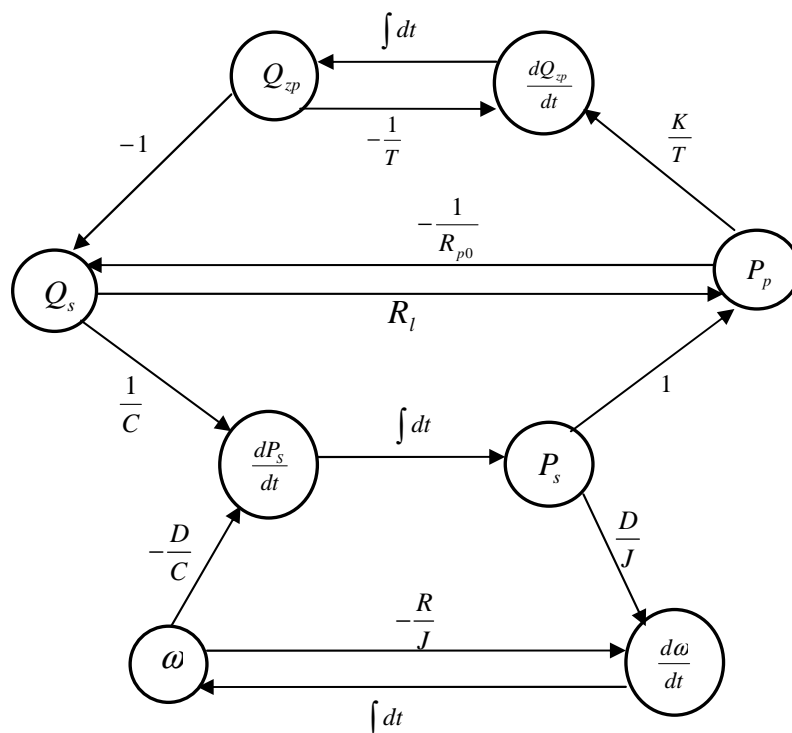
$$Q_p(Q_s); \omega(P_s, D, C).$$

W tym przypadku ostatecznie otrzymano rozwiązanie grafowe (dla wierzchołka początkowego Q_p), które jest wieloznaczne z punktu widzenia kolejnego otrzymywania podgrup:

$$\begin{aligned}
 & -(\{Q_p, Q_s, P_p, P_s, R_l, C\}), \quad --(\{T, Q_{zp}\}, \{K\}), \quad --(\{Q_{zp}\}, \{K\}, \{T\}), \\
 & --(\{K, Q_{zp}\}, \{T\}), \quad ---\{R_{p0}\}, \quad ----(\{\omega, J\}, \{D\}), \quad ----(\{\omega, D\}, \{J\}).
 \end{aligned}$$

3. Graf zależności dla struktur drzewiastych rozgrywających parametrycznie

Podobnie można zapisać graf przepływu sygnałów w ujęciu rozgrywającym parametrycznie (rys. 3), co prowadzi do struktury drzewiastej z cyklami (rys. 4, 6), a potem do ogólnej struktury drzewiastej rozgrywającej parametrycznie (rys. 5, 7)- zależnych od wierzchołka początkowego. Podano zapisy analityczne takich struktur jako G_i^+ oraz G_i^{++} .



Rys.3. Skierowany graf zależności przepływu sygnałów

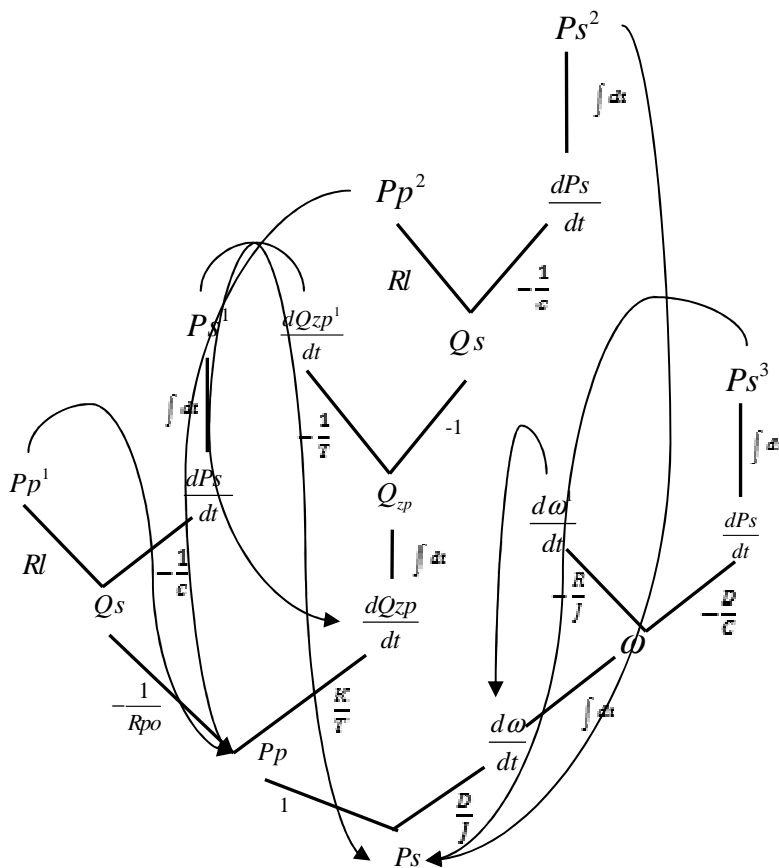
$$G_{P_s}^+ = ({}^0 P_s ({}^1 P_p ({}^2 - \frac{1}{R_{p0}} Q_s ({}^3 R_l P_p, -\frac{1}{C} \frac{dP_s}{dt} ({}^4 \int dt P_s)^4)^3), \quad (6)$$

$$\frac{K}{T} \frac{dQ_{zp}}{dt} ({}^3 \int dt Q_{zp} ({}^4 - \frac{1}{T} \frac{dQ_{zp}}{dt}, -1 Q_s)^4)^3)^2, \frac{D}{J} \frac{d\omega}{dt} ({}^2 \int dt \omega ({}^3 - \frac{D}{C} \frac{dP_s}{dt}, -\frac{R}{J} \frac{d\omega}{dt})^3)^2)^1)^0$$

$$G_{Ps}^{++} = ({}^0Ps({}^1Pp({}^2 - \frac{1}{Rpo}Qs({}^3RlPp^1, -\frac{1}{C}\frac{dPs}{dt}({}^4\int dtPs^1)^4)^3), \quad (7)$$

$$\frac{K}{T}\frac{dQzp}{dt}({}^3\int dtQzp({}^4 - \frac{1}{T}\frac{dQzp^1}{dt}, -1Qs({}^5RlPp^2, -\frac{1}{C}\frac{dPs}{dt}({}^6\int dtPs^2)^6)^5)^4)^3)^2,$$

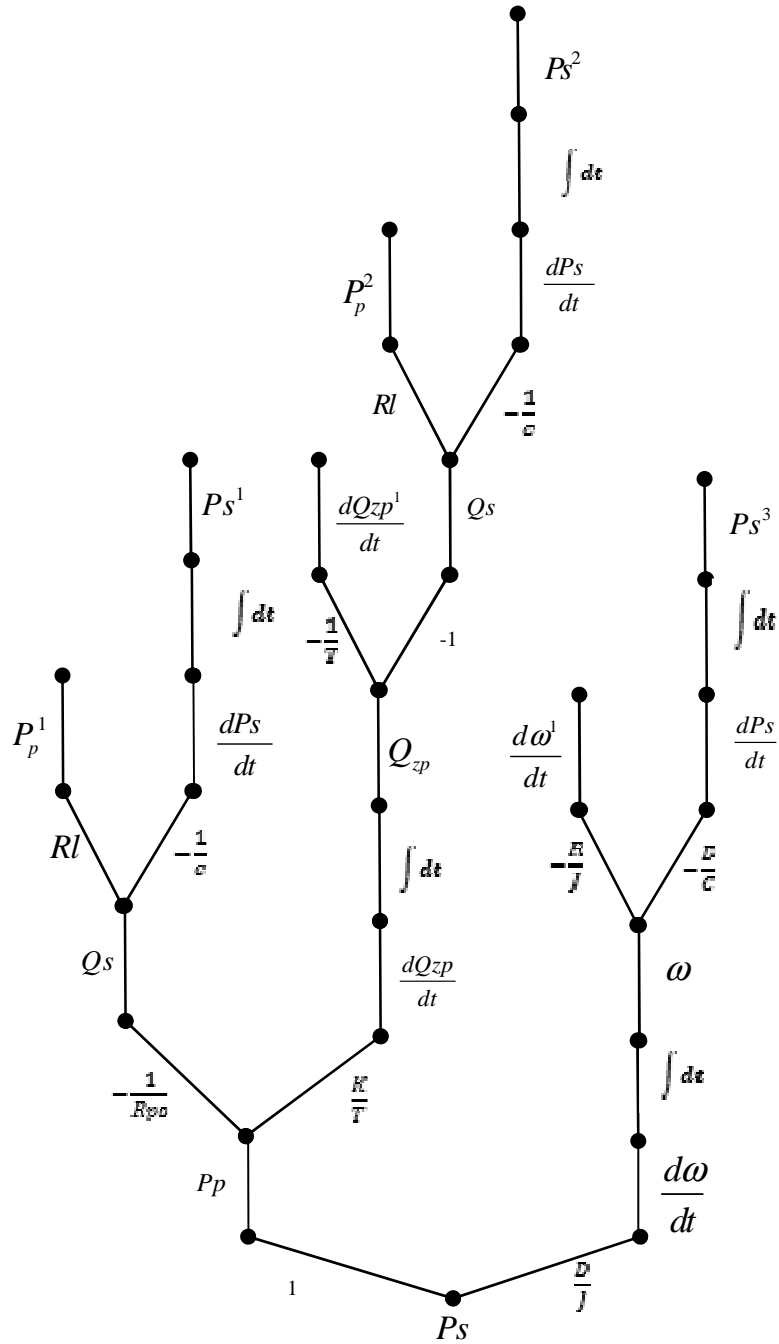
$$\frac{D}{J}\frac{d\omega}{dt}({}^2\int dt\omega({}^3 - \frac{D}{C}\frac{dPs}{dt}({}^4\int dtPs^3)^4, -\frac{R}{J}\frac{d\omega^1}{dt})^3)^2)^1)^0$$



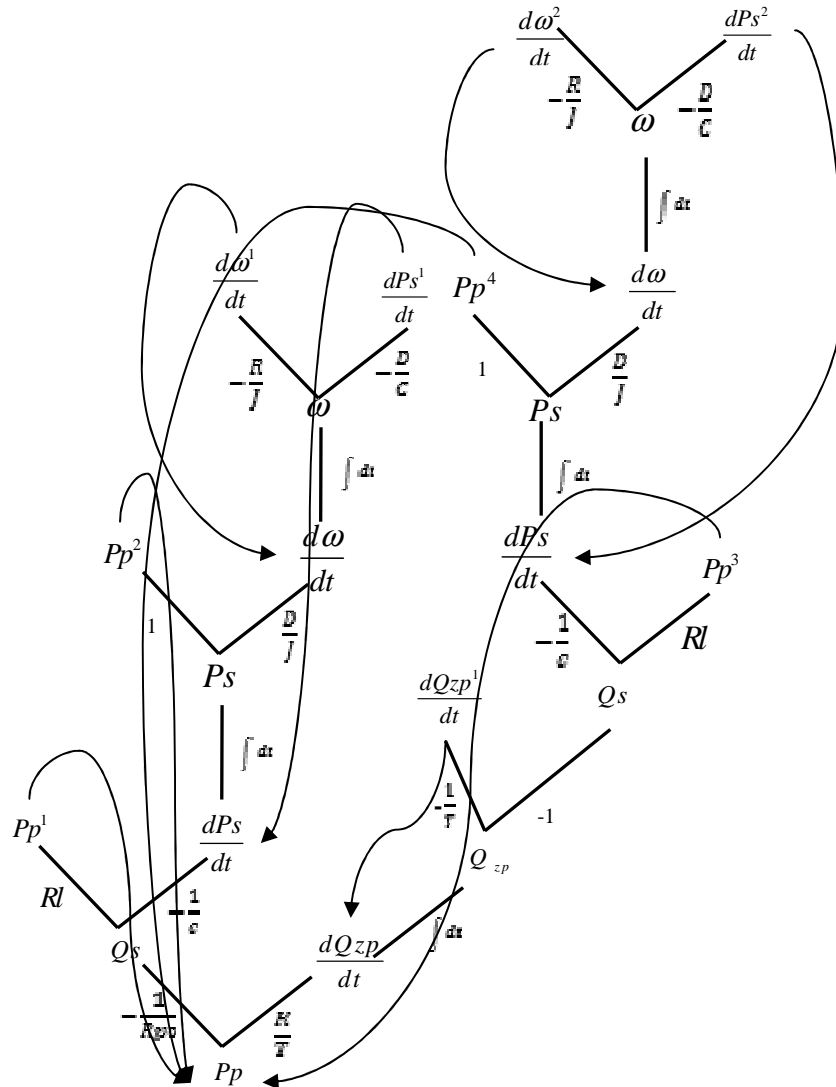
Rys. 4. Struktura drzewiasta z cyklami z wierzchołkiem początkowym P_s

$$G_{Pp}^+ = ({}^0Pp({}^1 - \frac{1}{Rpo}Qs({}^2RlPp, -\frac{1}{C}\frac{dPs}{dt}({}^3\int dtPs({}^41Pp, \frac{D}{J}\frac{d\omega}{dt}({}^5\int dt\omega({}^6 - \frac{D}{C}\frac{dPs}{dt},$$

$$-\frac{R}{J}\frac{d\omega}{dt})^6)^5)^4)^3)^2, \frac{K}{T}\frac{dQzp}{dt}({}^2\int dtQzp({}^3 - \frac{1}{T}\frac{dQzp}{dt}, -1Qs)^3)^2)^1)^0 \quad (8)$$

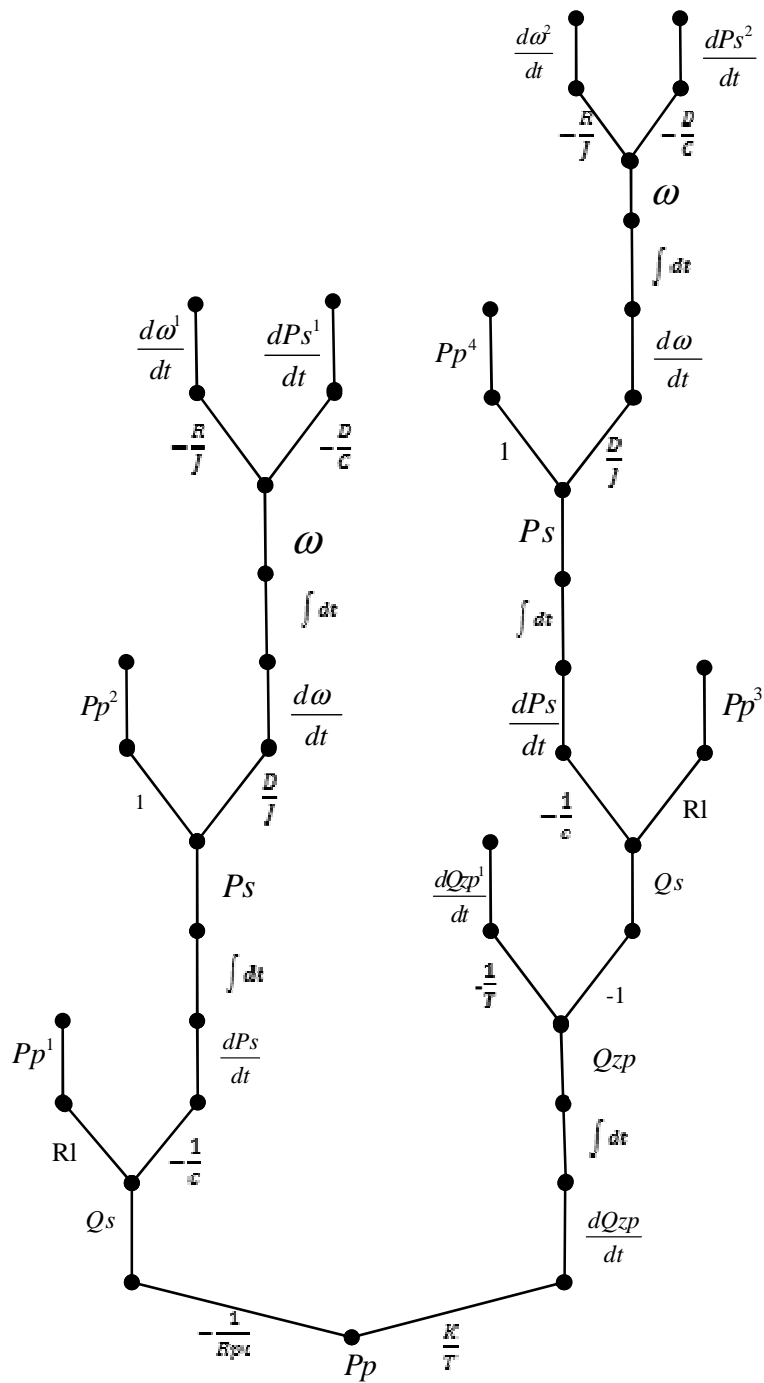


Rys. 5. Struktura drzewiasta rozgrywająca parametrycznie od wierzchołka początkowego P_s



Rys. 6. Struktura drzewiasta z cyklami z wierzchołkiem początkowym P_p

$$\begin{aligned}
G_{Pp}^{++} = & \left({}^0 Pp \left({}^1 - \frac{1}{Rpo} Qs \left({}^2 RL Pp^1, -\frac{1}{C} \frac{dPs}{dt} \right) \right) \left({}^3 \int dt Ps \left({}^4 1 Pp^2, \frac{D}{J} \frac{d\omega}{dt} \right) \right) \left({}^5 \int dt \omega \left({}^6 - \frac{D}{C} \frac{dPs^1}{dt}, \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{R}{J} \frac{d\omega^1}{dt} \right) \right) \left({}^7 \int dt \omega^2 \left({}^8 - \frac{D}{C} \frac{dPs^2}{dt}, \frac{R}{J} \frac{d\omega^2}{dt} \right) \right) \left({}^9 \int dt Ps \left({}^{10} RL Pp^3, -\frac{1}{C} \frac{dPs}{dt} \right) \right) \left({}^{11} \int dt Ps \left({}^{12} 1 Pp^4, \frac{D}{J} \frac{d\omega}{dt} \right) \right) \\
& \left({}^{13} \int dt \frac{dQzp}{dt} \left({}^{14} \frac{1}{T} \frac{dQzp^1}{dt}, -1 Qs \left({}^{15} RL Pp^3, -\frac{1}{C} \frac{dPs}{dt} \right) \right) \right) \left({}^{16} \int dt Qs \left({}^{17} RL Pp^1, -\frac{1}{C} \frac{dPs}{dt} \right) \right) \left({}^{18} \int dt Qzp \left({}^{19} \frac{1}{T} \frac{dQzp^1}{dt}, -\frac{1}{C} \frac{dPs}{dt} \right) \right)
\end{aligned} \quad (9)$$



Rys. 7. Struktura drzewiasta rozgrywająca parametrycznie od wierzchołka początkowego P_p

4. Wnioski

Grafi zależności i drzewa rozgrywające parametrycznie są przydatne w procesie innowacji, gdyż w zależności m. in. od rangi ważności wierzchołka początkowego otrzymuje się różną liczbę rozgałęzień i łuków powrotnych. Dotychczasowe doświadczenia analityczne nakazują zrobić rozkłady od wszystkich wierzchołków początkowych, celem wybrania wierzchołków z dużą rangą ważności, która graficznie powoduje mniejszą liczbę rozgałęzień także na drzewach rozgrywających parametrycznie.

Opracowanie zostało napisane w ujęciu dosłownego zapisania skierowanego grafu zależności przepływu sygnałów z ustalonego układu równań algebraiczno- różniczkowych, opisujących dany układ maszynowy. Dlatego różne działania matematyczne i stałe parametry konstrukcyjno- eksploatacyjne zostały oznaczone na dalszych strukturach drzewiastych dosłownie jako decyzje. Takie podejście wymaga od inżyniera- projektanta zwracania uwagi na występujące interakcje w równaniach, gdyż podczas zmiany wartości arytmetycznej wybranego parametru dla poprawy zachowania się jednego równania (stanu) można zepsuć automatycznie inne równanie (stan), które dotychczas było spełnione z odpowiednią dokładnością.

W odróżnieniu od tradycyjnych grafów zależności i klasyfikatorów drzewiastych, graf zależności z drzewami rozgrywającymi parametrycznie posiada zaletę w postaci istnienia związku rangi ważności wierzchołków (stanów) z wysokością struktury drzewiastej. Tradycyjny graf zależności z rozkładu względem różnych wierzchołków ocenia jedynie rangę ważności wierzchołków względem siebie według grupowania taksonomicznego:

- wierzchołki związane dużą liczbą powiązań powinny być w ustalonej grupie;
- różne grupy względem siebie powinny być powiązane małą liczbą powiązań;
- rozkład od wierzchołka niezbyt ważnego prowadzi do otrzymania dużej liczby grup o małej liczności;
- rozkład od wierzchołka ważnego prowadzi do otrzymania małej liczby grup o dużej liczności;
-

Istnieje możliwość wprowadzenia dalszych uogólnień i modyfikacji dla grafów i drzew rozgrywających parametrycznie w procesie projektowania systemowego np.: układów maszynowych

Literatura

1. Cholewa W., Kaźmierczak J.: Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów, skrypt nr 1904, Politechnika Śląska, Gliwice, 1995.
2. Hong S.I., Ostapko D. L.: On the complementation of Boolean functions, IEEE Trans. Comp., 1975, 24.
3. Partyka M.A.: An application of structural Boolean decisions to the CAD of mechanical systems. AMSE Confer. Model Simul., Karlsruhe 1987, AMSE Period. Model. Sim. Cont., 1988, vol.17, No.4.
4. Partyka M. A.: Some remarks on the Quine – Mc Cluskey minimization algorithm of multiple- valued partial functions for design structures, 7th Inter. Cong. Log. Method. Phil. Sc., Salzburg, 1983.
5. Partyka M. A.: The Quine- Mc Cluskey minimization algorithm of individual multiple- valued partial functions for digital control systems, 3rd Inter. Confer. Syst. Engin., Wright State University, Dayton, 1984.

6. Coner L., Partyka M. A.: Application of dendritic classifiers and dependence graphs in CAD of decision processes with use of the machine systems as an example, 4th Confer. Neural Netw. and Their Applic., Zakopane 1999, Depart. of Comput. Engin., Techn. Univ. of Częstochowa, Częstochowa, 1999.
7. Devroye L., Gyori L.: Lugosi G., Probabilistic Theory of Pattern Recognition, Berlin, Springer Verlag, 1995.
8. Partyka M. A.: Application of the tree classifiers for analysis of decision and minimal multiple-valued logical functions- for example in machine systems, 3rd Inter. Confer. Neur. Netw. and Applic., Kule 1997, Kated. Inżyn. Komput. Polit. Częst., Częstochowa, 1997.
9. Partyka M. A.: Similarities and differences between neuron networks and dendritic structures for CAD of decisive processes, 2 Conf. Neur. Netw., Szczyrk 1996., Polit. Częst., Częstochowa, 1996.
10. Kazimierzczak J.: Teoria gier w cybernetyce, Wiedza Powszechna, Omega, Warszawa, 1973
11. Kazimierzczak J.: System cybernetyczny, Wiedza Powszechna, Omega, Warszawa 1978.
12. Coner L., Koziarska A., Partyka M.A., Zastosowanie klasyfikatorów drzewiastych i grafów zależności o różnym stopniu szczegółowości w CAD procesów decyzyjnych na przykładzie układów maszynowych, Konfer. Cylinder 1999- Badanie Konstrukcja Wytwarzanie Eksploatacja Układów Hydraulicznych; Zakopane ,1999.
13. Partyka M. A.: The application of structural multiple-valued logical decisions in knowledge engineering based on the example of mechanical systems, XXXV Symp. Model. in Mech., Wisła 1996, Zesz. Nauk. Kat. Mech. Tech. Polit. Śląs. No.1, Gliwice, 1996.
14. Partyka M. A.: Krzyżak A., Podobieństwa i różnice między logicznymi drzewami decyzyjnymi a drzewami binarnymi z klasyfikatorów drzewiastych i rozpoznawania obrazów, XXV Konfer. Zast. Matem. Zakopane 1996, Inst. Matem. PAN, Warszawa, 1996.
15. Reingold E.M.: Nievergelt J., Deo N.: Algorytmy kombinatoryczne, Warszawa, PWN, 1985.
16. Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe, Warszawa, Akad. Ofic. Wydaw. RM, 1993.
17. Koziarska A.: Partyka M. A., Similarities and differences between logical trees and dendritic classifiers in CAD of decision processes, 4th Conf. Neur. Netw. and Their Applic., Zakopane 1999, Depart. of Comput. Engin., Techn., Univ. of Częstochowa, Częstochowa 1999.

Mgr inż. Adam DEPTUŁA
 Politechnika Opolska
 Wydział Mechaniczny
 45-271 Opole, ul. Stanisława Mikołajczyka 5
 tel.: (0-77) 400-60-58, 400-61-98
 e-mail: a.deptula@doktorant.po.opole.pl

Prof. dr hab. Marian A. PARTYKA
 Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji
 45-085 Opole, ul. Niedziałkowskiego 18
 tel.: (0-77) 402-19-00/(1)