

BOND GRAPH BICAUSALITY MODELING THE HYDRAULIC SYSTEM

Dragana M. Trajković

Academy of Technical Educational-Vocational Studies Vranje, Serbia,

dragana.trajkovic@akademijanis.edu.rs

Branislav Dimitrijević

Academy of Technical Educational-Vocational Studies Vranje, Serbia,

branislav.dimitrijevic@akademijanis.edu.rs

Abstract: This paper represents one of the most widely challenging control problems. The most accepted block diagrams in automatic control used to describe processes have been replaced by control based on bond graph modeling. The bond graph model of one physical model hydraulic process is presented. The goal of the research is to obtain a model of process with and without knowledge of the mathematical model, which is used to obtain a simulation and prediction model. Due to the feedback effect of the liquid in the pipes (power and flow), a bicausal bond graph was used as the flow source. Bond graphs have a basic concept in their physics - energy that is exchanged through connectors O and I (ports). Effort e (force, voltage, pressure, etc.) and flow f (current, velocity, volume, etc.) are general physical quantities that are used to analyze the appropriate physical model and description for bond graph modeling and that very successfully. Bond-graph modeling is a powerful tool for modeling engineering systems, especially when physical domains are involved. Submodels graph can be reused, because link graph models are not causal. Connection graphs are labeled and directed graphs, in which vertices represent submodels and arrows represent the ideal energy connection between power ports. Bond has a direction of strength and a direction of causality. The assigned computational causality dictates which port variable will be computed as the result (output) and accordingly, another port variable will be the cause (input). Graphs can be connected to parts of the block diagram, submodels of the connection graph can have power connections, signal inputs and signal outputs as their interface elements. Aspects such as the physical domain of the connection (energy flow) can be used to support the modeling process. The research in this work is on obtaining a fast and adequate physical model with good knowledge of physical changes.

Keywords: Bond graph model, Bicausality Bond Graph, Hydraulic Systems, Mathematical Model.

PRIMENA BIKAUZALNIH BOND - GRAF MODELOVANJA HIDRAULIČNOG SISTEMA

Dragana M. Trajković

Akademija Primenjenih Strukovnih Studija Vranje, Srbija, dragana.trajkovic@akademijanis.edu.rs

Branislav Dimitrijević

Akademija Primenjenih Strukovnih Studija Vranje, Srbija, branislav.dimitrijevic@akademijanis.edu.rs

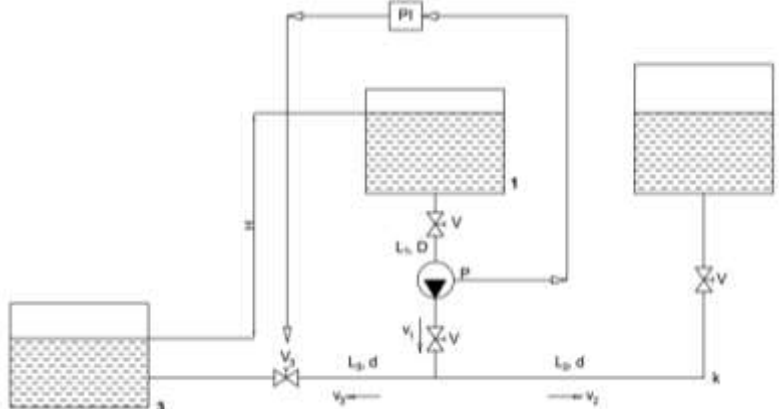
Abstract: U radu je predstavljen jedan od načina upravljanja tehničkim procesom. Najprihvaćeniji blok dijagrami u automatskom upravljanju koji se koriste za opis procesa su zamenjeni upravljanjem na bazi bond graf modelovanja. Prikazan je bond graf model jednog hidrauličkog procesa fizičkog modela. Cilj istraživanja je dobijanje modela upravljanja sa i bez poznavanja matematičkog modela, koji se koristi za dobijanje simulacionog i predikcionog modela. Zbog povratnog dejstva tečnosti u cevima (snage i protoka) korišćen je bikauzalni bond graf kao izvor protoka. Bond grafovi imaju osnovni koncept u svojoj fizici-energiju koja se preko konektora O i I (portovi) razmenjuje. Napor e (sila, napon, pritisak, itd.) i protok f (struja, brzina, zapremina, itd.) su uopštene fizičke veličine koje se koriste za analizu odgovarajućeg fizičkog modela i opisa za bond graf modelovaje i to veoma uspešno. Bond-graf modeliranje je moćan alat za modeliranje inženjerskih sistema, posebno kada su uključeni fizički domeni. Podmodeli grafova veza mogu se ponovo koristiti, jer modeli grafova veza nisu uzročni. Grafovi veza su označeni i usmereni grafovi, u kojima vrhovi predstavljaju podmodele, a strelice predstavljaju idealnu energetska vezu između portova napajanja. Bond ima smer snage i smer kauzalnosti računanja. Dodeljena računaska uzročnost diktira koja promenljiva porta će biti izračunata kao rezultat (izlaz) i shodno tome, druga promenljiva porta će biti uzrok (ulaz). Grafovi mogu biti povezni sa delovima blok dijagrama, podmodeli grafa veza mogu imati priključke za napajanje, ulaze za signal i signalni izlazi kao njihovi elementi interfejsa. Aspekti kao što je fizički domen veze (protok energije) se može koristiti kao podrška procesu modeliranja. Istraživanje u ovom radu je na dobijanju brzog i adekvatnog modela fizičkog modela sa dobrim poznavanje fizičkih promena.

Ključne reči: Bond graf model, bikauzalni bond graf, hidraulički sistemi, matematički model.

1. FIZIČKI MODEL HIDRAULIČNOG SISTEMA

Hidraulični sistem na slici ima tri rezervoara. Iz tri velika otvorena rezervoara ističe tečnost kroz cevi 1, 2 i 3. Cevi 1 i 2 imaju isti prečnik u vertikalnom delu D , dok je u horizontalnom delu prečnik cevi d za sve tri cevi. Regulaciju protoka tečnosti izvodi pumpa P koja je povezana za rezervoar broj 1. Regulaciju rada pumpe i protoka tečnosti obezbeđuje PI regulator. Na cevovodima se nalaze ventili V za regulaciju protoka. Koeficijenti trenja - lokalnih otora cevi su $\xi_{tr1,2,3}$, koeficijent trenja kolena je ξ_k , koeficijent trenja ventila ξ_v .

Slika 1: Fizički model hidrauličkog sistema



2. MATEMATIČKI MODEL

Matematički model hidrauličkog postrojenja sastoji se od datih algebarskih jednačina. Usled jednakih protoka (isti prečnik cevi), važe sledeće jednačine:

$$Q_2 = Q_3 \Rightarrow v_2 = v_3 \quad (1)$$

Za opisivanje matematičkih modela koristimo proširene Bernulijeve jednačine za nivoe tečnosti 1, 2 i 3:

$$\frac{p_a}{\rho} + Y_p = \frac{p_a}{\rho} + \left(\xi_{tr} \frac{L_1}{D} + 2\xi_v + \xi_u \right) \frac{v_1^2}{2} + \left(\xi_{tr} \frac{L_2}{d} + \xi_v + \xi_k + 1 \right) \frac{v_2^2}{2} \quad (2)$$

$$\frac{p_a}{\rho} + Y_p + gH = \frac{p_a}{\rho} + \left(\xi_{tr} \frac{L_1}{d} + 2\xi_v + \xi_u \right) \frac{v_1^2}{2} + \left(\xi_{tr} \frac{L_2}{D} + \xi_{v3} + 1 \right) \frac{v_3^2}{2} \quad (3)$$

Izjednačavanjem navedenih jednačina, dobijamo:

$$gH + \left(\xi_{tr} \frac{L_1}{d} + 2\xi_v + \xi_u \right) \frac{v_2^2}{2} = \left(\xi_{tr} \frac{L_3}{d} + \xi_{v3} + 1 \right) \frac{v_3^2}{2} \quad (4)$$

Kako je $v_2 = v_3$, dobija se:

$$gH = \left(\xi_{tr} \frac{L_3}{d} + \xi_{v3} + 1 - \xi_{tr} \frac{L_2}{d} - \xi_v - \xi_k - 1 \right) \frac{v_2^2}{2} \quad (5)$$

Na osnovu jednačine kontinuiteta dobija se:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (6)$$

$$v_1 \frac{D^2 \pi}{4} = v_2 \frac{d^2 \pi}{4} + v_3 \frac{d^2 \pi}{4} = 2v_2 \frac{d^2 \pi}{4} \Rightarrow v_1 D^2 = 2v_2 d^2 \quad (7)$$

$$Q_1 = v_1 \frac{D^2 \pi}{4} \quad Q_2 = Q_3 = v_2 \frac{d^2 \pi}{4} \quad (8)$$

$$P_p = \frac{\rho Q_1 Y_p}{\eta_p} \quad (9)$$

Gde je snaga pumpe izražena preko jediničnog rada.

3. BOND GRAF MODELOVANJE

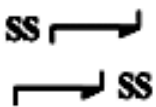
Za upravljanje sistemom najčešće se koriste blok-dijagrami. Jedan od modernih načina upravljanja su bond grafovi. Koncept grafova je pokrenuo Paynter (1961). Ideju je dalje razvio Karnopp i Rosenberg u svojim udžbenicima (1968, 1975, 1983, 1990), tako da se može koristiti u praksi (Thoma, 1975; Van Dikhoorn, 1982). Pomoću Breedveldove formulacije (1984, 1985) zasnovane na termodinamici, opis modela grafa veze je evoluirao u teoriju sistema.

Pojam bikauzalnosti uveden je za proučavanje inverznih dinamika sistema sa modelima grafova veza. Uvode se dodatni graf veza elementi, među kojima su *SS* (*Source-Sensor*), *AE* (*Amplifier of Effort*) i *AF* (*Amplifier of Flow*) relevantni u sadašnjem kontekstu. Oznaka bikauzalnosti deli dodelu kauzalnosti za dva faktora, na napor-pritisak (*e*) i protok-brzinu (*f*).

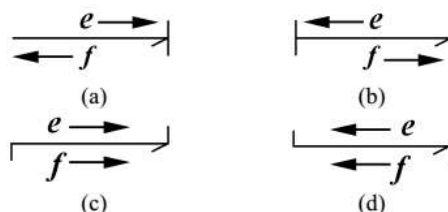
Svaka veza ima dva polu-kauzalna poteza, jedan za pritisak, a drugi za tok. Uzrok napora za promenljivu je prikazan na strani gde je polovina strelica za smer snage prisutna. Kada su napor i tok informacija suprotno orijentisane, za vezu se kaže da je jednozročna.

Pravilo za bikauzalni *0* (*I*)-bond je da samo jedna veza može doneti informaciju o pritisku (toku), a druge veze mogu doneti informaciju toku (pritisku). To znači da na bikauzalnom spoju samo dve veze mogu biti u bikauzalnosti, ni više, ni manje. Drugim rečima, na bikauzalnom spoju mora postojati jedna veza i u pritiscima i u toku informacija, dok mora biti još jedna povratna informacija i pritiska i protoka.

Slika 2: Kauzalitet bikauzalnih bond grafova

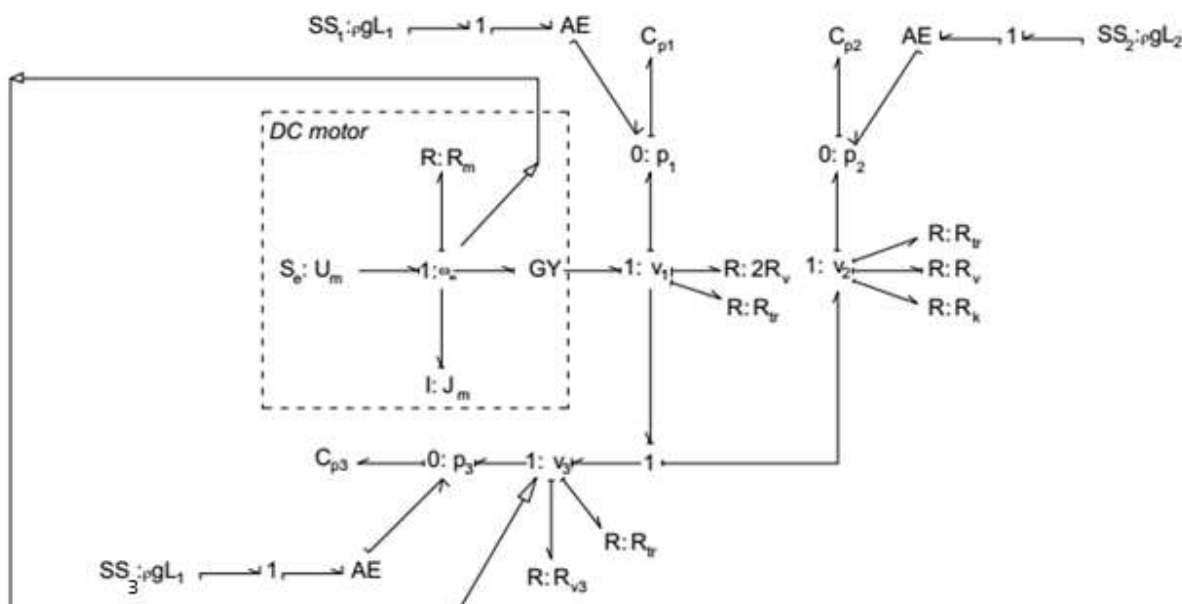
Kauzalitet	Osobine SS ulaznog elementa
	Izvor protoka i pritiska Senzor protoka i pritiska

Slika 3: Smer kretanja protoka i snage: a) i b) normalni bond; c) i d) bikauzalni bond-graf



Ulaz u sistem, predstavljen je bikauzalnim ulazima SS_1 , SS_2 i SS_3 . Ulaz koji potiče od pumpe obeležen je sa S_e , kao ulaz u proces unosi napon U_m . Bikauzalni ulazi imaju ulaznu energiju koja potiče od potencijalne energije tečnosti u sudu. Električna energija pumpe, napona, transformiše se u mehaničku pomoću žiratora. Indukcioni element I predstavlja inerciju pumpe J_m . S obzirom da postoji otpor usled trenja u cevima, kolena, ventila, kao i strujni otpor uvedeni su otporni elementi R_m - otpor struje za DC motor, R_v - otpor ventila, R_r - otpor trenja, R_k - otpor kolena. Portovi obeleženi sa I predstavljaju vezu koja ima istu brzinu proticanja fluida, a portovi O obeležavaju spoj sa istim pritiskom fluida. Kapacitivni deo bondova Cp_1 , Cp_2 i Cp_3 su posude 1, 2 i 3 ispunjene tečnošću.

Slika 4: Bikauzalni bond graf model hidrauličkog Sistema



4. ZAKLJUČAK

Primenom bikauzalnih bond grafova, dobija se priprema za simulacioni model koji se koristi u predikciji. Prednost bond grafova je da se čak i bez dovoljnog poznavanja matematičkog modela, ali dobrog poznavanja fizičkog procesa dobija simulacioni model, koji daje predikciju u projektovanju novih modela. Grafovi veze su grafički opis dinamičkog ponašanja fizičkih sistema. To znači da sistemi iz različitih domena (električni, mehanički, hidraulični, akustički, termodinamički, materijalni) mogu biti opisani su na isti način. Osnova je da su bond grafovi zasnovana na energiji i razmeni energije. Analogije između domena su više od običnih jednačina analogno: korišćeni fizički pojmovi su analogni. Dobijeni bond graf model hidrauličkog sistema, primenom odgovarajućeg simulacionog softverskog paketa, najčešće *DYMOLE*, daje mogućnost predikcije i upravljanja procesima.

REFERENCE

- Antić, D., Milojković, M., & Nikolić, S. (2009). Fuzzy sliding mode control with additional fuzzy control component. *FACTA UNIVERSITATIS Series: Automatic Control and Robotics*, vol. 8, no. 1, pp. 25–34.
- Borutzky - Bruzzone, W., & Dauphin-Tanguy, J. (Eds.), (2019). A Combined Bond Graph-based – Data-based Approach to Failure Prognosis. *Proc. 12th International Conference on Integrated Modelling and Analysis in Applied Control and Automation (IMAACA)*, part of the I3M Multiconference, Lisbon, Portugal. pp. 1 – 10.
- Borutzky, W. (2018). Sensor Placement on Diagnostic Bond Graphs For Maximum Structural Isolation of Parametric Faults, in: Granda, J., Karnopp, D. (Eds.), *Proc. 13th International Conference on Bond Graph Modeling and Simulation (ICBGM)*, SCS, Bordeaux, France. pp. 41– 49.
- Karnopp, D. C., Margolis, D. L., & Rosenberg, R. C. (2012). Modeling, Simulation, and Control of Mechatronic Systems. *System Dynamics*, John Wiley & Sons, New York, <http://dx.doi.org/10.1002/9781118152812>
- Paynter, H. M. (1961). Analysis and Design of Engineering Systems, *M.I.T. Press*, Cambridge.
- Perić, S., Trajković, D., Antić, D., Nikolić, V., Nikolić, S., & Milovanović, M. (2015). Fuzzy-PI control of water pumps modelled by hybrid bond graphs. *Facta universitatis - series: Automatic Control and Robotics* vol. 14, br. 1, str. 29-42,
- Rosenberg, R. C., & Karnopp, D. C. (1983). Introduction to Physical System Dynamics. *McGraw-Hill Book Co.*, New York,
- Trajković, D., Nikolić, V., Antić, D., Nikolić, S., & Perić, S. (2013). Application of the Hybrid Bond Graphs and Orthogonal Rational Filters in Sag Voltage Effect Reduction. *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 25-30. Print ISSN: 1392-1215, (Doi No: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.19.6.1746>), Publisher: Kaunas University of Technology,

- Trajković, D., & Dimitrijević, B. (2017). Hybrid bond graph of the robot's arm. *Knowledge International Journal* 20 (5) Bansko, 2311-2317,
- Trajković, D., & Dimitrijević, B. (2018). Bond graph model of the submersible pump. *Knowledge International Journal* 28 (4), 1335-1339,
- Trajković, D., Nikolić, V., Antić, D., Nikolić, S., & Perić, S. (2013). Application of the Hybrid Bond Graphs and Orthogonal Rational Filters in Sag Voltage Effect Reduction. *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 19, no. 6, (2013), pp. 25-30. Print ISSN: 1392-1215, (Doi No: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee.19.6.1746>) Publisher: Kaunas University of Technology,
- Trajković, D., Nikolić, V., Nikolić, S., Perić, S., & Milojković, M. (2012). Modeling and simulation of pump station using bond graphs in Proceedings of XI International Conference on Systems. *Automatic Control and Measurements, SAUM, Niš, Serbia*, pp. 455–458,
- Xiangwen, F., Yongyi, H., Minglun, F., & Pengfei, C. (2019). Design and Modelling of a Hydraulic System for Detecting Solenoid Valve Based on Bond Graphs Method, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 569 042016 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/569/4/042016