
BOND GRAPH MODEL OF THE SUBMERSIBLE PUMP

Dragana M. Trajković

Collage of Applied Professional Studies, Vranje, Srbija, dragana.trajkovic@visokaskola.edu.rs,
dtrajkovic80@gmail.com

Branislav Dimitrijević

Collage of Applied Professional Studies, Vranje, Srbija, branislav.dimitrijevic@visokaskola.edu.rs

Abstract: This paper presents application of the bond graph in modelling of the submersible pump. It is shown on this practical example that the use of Dymola software package will simplify the modelling and simulation. The bond graph modelling of the UPP pump is presented in this paper.

Keywords: Submersible pump, Mathematical model, Bond graph modelling, Dymola.

BOND GRAF MODEL POTOPNE PUMPE

Dragana M. Trajković

Visoka škola primenjenih strukovnih studija Vranje, Srbija, dragana.trajkovic@visokaskola.edu.rs
dtrajkovic80@gmail.com

Branislav Dimitrijević

Visoka škola primenjenih strukovnih studija Vranje, Srbija, branislav.dimitrijevic@visokaskola.edu.rs

Rezime: U ovom radu biće razmotren bond graf modelovanje jednog modela potopne pumpe iz proizvodnog programa firme *JASTREBAC* iz Niša. Korišćenjem softvera Dymola dobijamo pojednostavljenje modela i simulaciju. U radu je predstavljen bond graf model UPP pumpe.

Ključne reči: Potopna pumpa, Matematički model, Bond graf modelovanje, Dymola.

1. OPIS MODELA

Propelerne pumpe sa utopnim motorom tipa UPP koriste se za pumpanje čiste i zaprljane vode (bez grubih nečistoća i vlaknastih materija).

Ove pumpe koriste se za navodnjavanje i odvodnjavanje, kao rashladne pumpe u termoelektranama, u postrojenjima za vodosnabdevanje, kod hitnih slučajeva (poplava), za gradnju veštačkih brzaka (vodopada) u parkovima i dr.

Pumpni i motorski deo su integrisani u jednu celinu. Radno kolo pumpe je na zajedničkom vratilu sa rotorom motora.

Propelerne pumpe UPP su izvedene sa fiksnim lopaticama kola, koje se u fabrici postavljaju na zadati ugao, zavisno od željenih karakteristika.

Motorni za pogon su asinhroni trofazni. Rotorski deo je uklešten kotrljajućim ležajevima, podmazivanjem mašču. Zaptivanje vratila je izvedeno sa dva mehanička zaptivača. Upuštanje motora je pomoću kombinacije zvezda. Namotaji statora imaju termičku zaštitu.

2. MATEMATIČKI MODEL POTOPNE PUMPE

Matematički model asinhronne mašine se sastoji od diferencijalnih i algebarskih jednačina, kojima se opisuju elektromagnetne (električni podsistem) i mehaničke pojave (mehanički podsistem) u mašini.

Matematički model asinhronog motora i potopne pumpe, dati su sledećim jednačinama

$$U_{ds} = \frac{2}{3} \left(\begin{array}{l} U_{as} \cos \theta_s + U_{bs} \cos \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ + U_{cs} \cos \left(\theta_s + \frac{2\pi}{3} \right) \end{array} \right) \quad (1)$$

$$U_{qs} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} U_{as} \cos \theta_s + U_{bs} \sin \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) + \\ + U_{cs} \sin \left(\theta_s + \frac{2\pi}{3} \right) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\theta_s = \int_0^t \omega_s(t) dt + \theta_s(0); \theta_s(0) \rightarrow 0 \quad (3)$$

Indeksi d i q predstavljaju promenljive statora U_{as} , U_{bs} , U_{cs} i faze napona statora, U_{ds} , U_{qs} su komponente vektora napona na statoru. Elektromagnetni moment T_{em} i mehanički moment T_m su dati izrazom:

$$T_{em} = \frac{pL_m}{3} (i_{dr}i_{qs} - i_{qr}i_{ds}), T_{em}\eta = T_m \quad (4)$$

gde je p - broj polova, L_m - induktivnosti statora, η - koeficijent efikasnosti motora. Snaga motora bi trebalo da bude dovoljno da se ostvari promenu impulsa tz , i da nadoknadi sve gubitke u prenosu energije od motora na tečnosti vlast. Obično, pretpostavlja se da je moment motora je uravnotežena hidraulična pumpa obrtnog momenta.

Ukoliko započinjanje pumpe izaziva prelaznu režim, ove dve varijable moraju posebno uzeti. Da bi se dobio matematički model potopljene pumpe, prvo moramo da definišemo neke od potrebnih pojedinačnih parametara. Ulazni obrtni moment od pumpe je odnos snage pumpe i ugaona brzina tečnosti:

$$T_e = \frac{P_m}{\omega} = \frac{60P_m}{2\pi n} \quad (5)$$

Gde P_m predstavlja mehaničku snagu pumpe, n – broj obrtaja u minuti. Moment inercije-otpora, pri startovanju pumpe je određena pomoću izraza:

$$T_p = 0.0043 \left(\frac{2\pi P_m}{60\omega} \right)^{1.48} \quad (6)$$

Povećanje početnog momenta zahvaljujući naporu fluida je opisan jednačinom:

$$T_h = \frac{\rho_w g f(QH_p)}{\omega} \eta_p \quad (7)$$

Gde je ρ_w –gustina fluida, g –gravitaciona konstanta, Q – voda protiče kroz pumpu i H_p predstavlja napor pumpe definisan preko Q-H karakteristike kao:

$$H_p = H_0 + AQ^2 + BQ \quad (8)$$

Gde je koeficijent $H_0=1.55$ m, a parametri $A=-4.1989 \times 10^{-6}$ i $B=0.010016$.

Promena ugaonog momenta u z-osi je

$$T_z = \rho_w Q (R_2^2 \omega - R_1^2 \omega)$$

(9)

Gde je R_1 kolo radijus i R_2 je poluprečnik kola sa lopaticama. Za opisivanje matematičkih modela koristimo moment jednačine i proširenu Bernulijevu jednačinu:

$$mR_g^2 \frac{d\omega}{dt} = J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_p - T_h - T_z$$

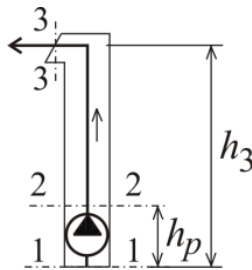
(10)

$$\eta_p = \frac{P_m}{P_{el}} = \eta_h \eta_m \eta_v$$

(11)

gde R_g^2 - centrifugalni moment inercije, m - masa rotirajuće delove - ugaona brzina fluida, ω motora, J - moment inercije lopatice rotora, η_p - ukupnu efikasnost pumpe, η_m - mehanička efikasnost, η_v - zapreminska efikasnost, η_h - hidraulični efikasnost, P_{el} - električna energija iz pumpe.

Inercija odnos je relacija promene napora i ubrzanje protoka. U ovom slučaju to može da se tumači kao odnos cevi ulaznog pritiska i ubrzanje postiže mase tečnosti pritiska u cevima.



Slika 1. Poprečni presek potopne pumpe.

Ako izjednačimo snagu generisanu od strane ulaznog pritiska na vode i sile koja odoleva tečnosti ubrzanje (inercija), dobijamo

$$p_1 = \frac{4\rho_w l}{d_1^2 \pi} \frac{dQ}{dt}$$

(12)

Gde je d_1 –prečnik cevi potisne pumpe 1-1 i l – dužina cevi. Zasnovano je na Bernulijevoj jednačini poprečnog preseka 1-1 i 2-2 (Slika 1):

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho_p}{2} h_p - \frac{\rho_w v^2}{2g}$$

(13)

Gde je h_p – visina pumpe, ρ_p – gustina čelika, v –brzina fluida. Za poprečni presek 2-2 i 3-3 proširena Bernulijeva jednačina, koja uključuje izgublenu energiju koja uključuje energiju tokom trenja, predstavljena je u obliku:

$$\frac{p_2}{\rho_w} + \frac{v_2^2}{2} + gh_p = \frac{p_a}{\rho_w} + \frac{v_3^2}{2} + gh_3 + \xi_{lok} \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

(14)

Gde je ξ_{lok} – lokalni otpor, p_a – atmosferski pritisak. Koeficijent trenja, protok turbulencije je:

$$\lambda = 0.115 \left(\frac{\delta}{d} + \frac{60v}{vd} \right)^{0.25}, \quad (15)$$

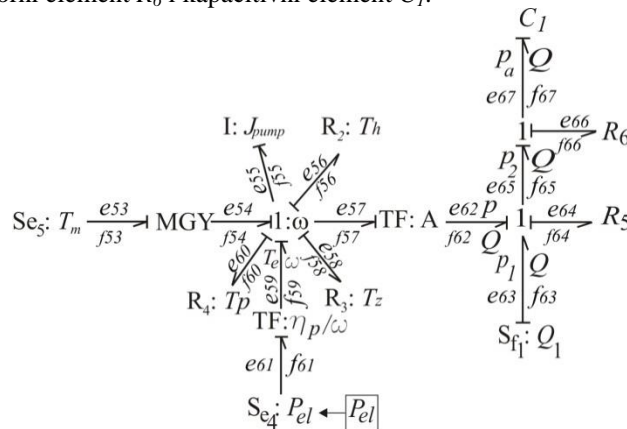
Gde je: δ –hrpavost cevi, d – prečnik cevi, v - kinematska viskoznost vode.

3. BOND GRAF MODEL POTOPNE PUMPE

Na slici 2 prikazan je bond graf model posmatrane potopne pumpe.

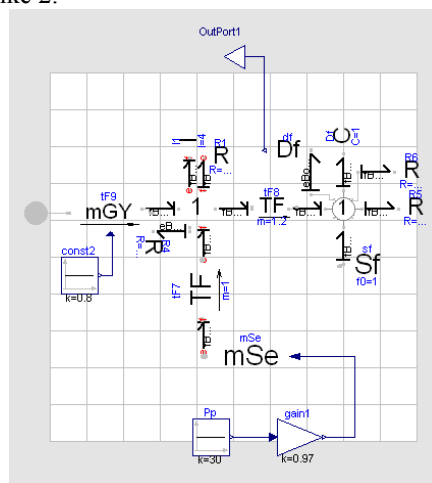
Ulaz u sistem, napajanje električnom snagom predstavljen je ulazom Se_4 . Električna energija se transformiše bond simbolom TF sa stepenom iskorišćenja $\eta p/\omega$ i prenosi do porta $I:\omega$. Sledeći nezavistan ulaz model je Se_5 sa momentom obrtanja motora T_m . S obzirom da se lopatice propelera nalaze u vodi i imaju nezavisnu pobudu, $Sf_1: Q_1$, pri čemu Q_1 predstavlja protok vode. Moment obrtanja T_m se modifikovanim žiratorom prenosi energiju do porta $I:\omega$ koji ima istu ugaonu brzinu; to isto važi za sve portove obeležene sa I - imaju istu energiju.

Energija se iz porta $I:\omega$ deli na indukcioni element I koji predstavlja inerciju pumpe. Otporni element R_2 obeležen sa T_h , otporni element R_4 obeležen sa T_p i otporni element R_3 obeležen sa T_z . Izlazni bond e_{57} - f_{57} se transformiše u bond e_{62} - f_{62} i predstavlja ulazni element snage u port Ia sa otpornim elementom R_5 . Izlazni bond e_{65} - f_{65} iz Ia je ulazni bond u port Ib , koji ima otporni element R_6 i kapacitivni element C_1 .



Slika 2. Bond graf model potopne pumpe

Na slici 3. prikazan je simulacioni model bond grafa u softverskom paketu Dymola. Simulacioni model je identičan sa bond graf modelom sa slike 2.



Slika 3: Bond graf model potopne pumpe u Dymoli

ZAKLJUČAK

U radu je dat model potopne pumpe UPP proizvedene u fabrici pumpi *Jastrebac DOO* u Nišu. Prikazan je direktan način modelovanja pomoću softverskog paketa Dymola. Poznavanjem matematičkog modela procesa i fizičkog razumevanja procesa moguće je realizovati modelovanje koji daje rezultate simulacije identične onima u praksi, čime se postiže predikcija u projektovanju novih modela.

LITERATURA

- [1] Dragana M. Trajković, Vlastimir D. Nikolić, Dragan S. Antić, Saša S. Nikolić, Staniša Lj. Perić “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. June 2013.
- [2] Dragana Trajković, Vlastimir Nikolić, Saša Nikolić, Staniša Perić, Marko Milojković “Modeling and Simulation of Pump Station using Bond Graphs”, *Proceedings of the XI International Conference on Systems, Automatic Control and Measurements, SAUM 2012*, Niš, Serbia, November 14.-16., 2012., pp. 455-458. (ISBN: 978-86-6125-072-9), Publisher: Faculty of Electronic Engineering, Niš, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, Serbia.
- [3] R. C. Rosenberg, D. C. Karnopp, “Introduction to Physical SystemDynamics “, *McGraw-Hill Book Co., New York, 1983*.
- [4] M. A. Djeziri, B. Ould Bouamama, R. Merzouki, “Modelling and Robust FDI of Steam Generator Using Uncertain Bond Graph Model”, *Journal of Process Control*, vol. 19, pp. 149–162, 2009. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2007.12.009>
- [5] D. C. Karnopp, D. L. Margolis, R. C. Rosenberg, *System Dynamics: “Modeling, Simulation, and Control of Mechatronic Systems”*. John Wiley & Sons, New York, 2012. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118152812>
- [6] D. Trajković, V. Nikolić, D. Antić, S. Nikolić, S. Perić, “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. June 2013
- [7] Vjekoslav Damić, “DYNAMIC ANALYSIS OF AN OMNI-DIRECTIONAL MOBILE ROBOT”, *17th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2013, Istanbul, Turkey, 10-11 September 2013*

