

Luko Milić *

Dragan Martinović **

Nataša Jurjević ***

ISSN 0469 - 6255
(21 - 25)

RAČUNALNI SIMULACIJSKI MODEL AUTOMATSKE REGULACIJE PLOVIDBE BRODA

COMPUTER SIMULATION MODEL OF AUTOMATIC NAVIGATION CONTROL

UDK 681.5:519.681]656.61

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Abstract

The paper deals with dynamics analysis of automatic ships steering gear system with the sequential system and using complex controller working in accordance with the principle of proportional, integral and derivation controllers. The dynamic-simulation-modulation methodology system, which is one of the most suitable and effective ways of dynamic modelling of non-linear natural, organizational and technical systems, has been used in the analysis.

In the paper, system dynamics and simulation models are used as follows:

- System dynamics model of ship with following system of steering gear and PID-controller
- System dynamics structural model
- System dynamics computer simulation model

The authors suggest using the represented models in: the design of steering gear system, diagnosing existing constructions and university education process.

Keys words: System dynamics, continuous model, simulation, ship's course

Sažetak

Rad obrađuje dinamičko ispitivanje sustava automatskog upravljanja kursom broda sa slijednim sustavom i uporabom složenog regulatora koji djeluje prema zakonu proporcionalnih, integralnih i derivacijskih regulatora. Pri ispitivanju rabi se sustav dinamičko simulacijsko modulacijska metodologija koja je jedna od najprikladnijih i najučinkovitijih putova za dinamičko modeliranje kompleksnih nelinearnih prirodnih, organizacijskih i tehničkih sustava.

U radu su prikazani:

- sustav dinamički model broda sa slijednim sustavom upravljanja i PID-regulatorom,
- sustav-dinamički strukturni model,
- sustav-dinamički kompjutorski model.

Autori predlažu uporabu prikazanih modela pri dizajniranju novih konstrukcija kormilarskih sustava, pri dijagnosticiranju postojećih konstrukcija i pri nastavnim procesima koji omogućuju skraćivanje potrebnog vremena za izlaganje i kreativno uključivanje studenata u rad.

Ključne riječi: računalni, sustav-dinamički, kontinuirani, model, simulacija, kurs broda

* dr. sci. Luko Milić, dipl.ing.
Veleučilište u Dubrovniku

** dr. sci. Dragan Martinović, dipl. ing.
Pomorski fakultet, Sveučilište u Rijeci

*** Nataša Jurjević, dipl. ing.
Veleučilište u Dubrovniku

1. Uvod Introduction

U integriranom transportu brod kao transportno sredstvo ima značajno mjesto kako u prijevozu tereta tako i putnika. Brod treba posjedovati sposobnost

plovidbe po zadanoj traektoriji i mogućnost mijenjanja pravca prema zadanom zakonu.

U režimu zadržavanja broda na zadanom kursu za osiguranje njegove stabilnosti, kako pokazuju rezultati ispitivanja, neophodno je često zakretanje lista kormila. Pri kutovima zakreta 4° do 6° broj uključivanja pogonskog stroja kormila je oko 400 u satu pri ručnom upravljanju, a do 1500 pri automatskom upravljanju.

Najvažniji režim plovidbe je pravocrtno gibanje broda po kursu. Održavanje gibanja broda po kursu ostvaruje se djelovanjem kormilarskog uređaja, osiguravajući kompenzaciju vanjskih utjecaja, poremećaja, koji su u stanju izazvati odstupanje gibanja od zadanog pravca.

Za automatsko upravljanje plovidbom broda upotrebljavaju se uređaji za automatsko kormilarenje, koji mogu raditi kao stabilizacijski, slijedni ili programski sustavi.

Za upravljanje plovidbom broda po zadanom kursu potrebno je poznavanje prirode i veličine sila koje djeluju na brod, kao i poznavanje upravljivosti broda.

U ovom radu obrađuje se slijedni sustav upravljanja kormilom broda s PID-regulatorom. Za navedeni sustav daje se matematički model broda i to kao sustav od tri diferencijalne jednačbe, matematički model slijednog sustava upravljanja brodskim kormilom i matematički model PID-regulatora. U trećem dijelu daje se sustav dinamički strukturni model automatske regulacije plovidbe broda, na kojem se grafički prikazuje utjecaj pojedinih varijabla i parametara na pojedine elemente sustava i to u neposrednom kao i u posrednom djelovanju.

Četvrti dio obrađuje kompjutorski model sa scenarijem u kojem su predviđeni razni poremećajni utjecaji na brod, obavljena su ispitivanja tih utjecaja na kurs broda, položaj kormila i na brzine tih događanja.

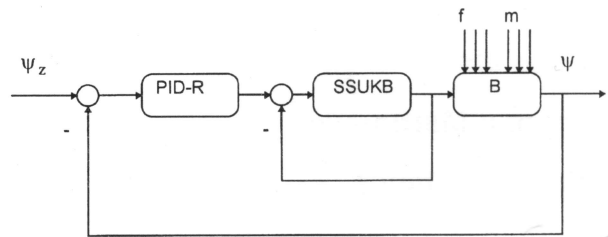
Sustavna dinamika je metodologija istraživanja, modeliranja, simuliranja i optimiziranja složenih dinamičkih sustava. U ovom radu primijenjeno je sustav-dinamičko modeliranje koje je razmjerno nova metodologija, primjenljiva pri ispitivanju tehničkih, prirodnih i društvenih sustava.

2. Jednačbe stanja sustava automatske regulacije plovidbe broda

The state equations of the automatic navigation control system

Realni sustavi su u osnovi nelinearni. Pri njihovom rješavanju, u pravilu, rabi se postupak lineariziranja koji daje dobre rezultate pri određenim ograničenjima. Međutim, da bi se dobila potpuna slika realiteta, sustav se mora promatrati u cjelini. Takav pristup omogućuje sustav-dinamičko sagledavanje i rješavanje problema. U tom je pristupu od posebne važnosti kvalitativno modeliranje koje sadržava mentalno-verbalni dijagram tijekova i strukturni model.

U DYNAMO-simulacijskom jeziku rabi se nekoliko osnovnih jednačba i to:



Slika 2.1. Blok-dijagram sustava automatske regulacije plovidbe broda

Figure 1 The block diagram of automatic navigation control system

- jednačbe stanja sustava;
- jednačbe promjene stanja sustava;
- pomoćne jednačbe;
- jednačbe konstanti;
- jednačbe početnih vrijednosti.

Uvjeti pri plovidbi broda nisu stalni nego se neprestano mijenjaju zbog promjene stanja mora i atmosferskih uvjeta, plovnih putova i područja plovidbe, radnih zadataka i radnih režima. Pri dobivanju matematičkog modela broda potrebno je pretpostaviti da se radi o čvrstom tijelu sa šest stupnjeva slobode gibanja. Gibanje broda pri upravljanju pomoću kormilarskog uređaja u uvjetima poremećaja, koji djeluju na brod i stvaraju zakretni moment u horizontalnoj ravnini, može se promatrati pri malim vrijednostima kuta bočnog nagiba, diferencijalne vrijednosti, beznačajnih vertikalnih pomicanja i gibanjem s malim kutovima zanošenja broda strujom i vjetrom. U tu svrhu danas se rabe sustavi nelinearnih diferencijalnih jednačba koje se razlikuju u osnovnom načinu pisanja.

Za dobivanje jednačba stanja sustava automatske regulacije plovidbe broda potrebno je sustav rasčlaniti na funkcionalne blokove kako je predočeno na slici 2.1. Na slici 2.1. prikazan je blok-dijagram sustava automatske regulacije plovidbe broda prema zadanoj maršruti, na kojoj su označeni osnovni sklopovi: brod (B) kao objekt regulacije, slijedni sustav upravljanja kormilom broda (SSUKB) i regulator s proporcionalnim, integralnim i derivacijskim djelovanjem (PID-R).

2.1. Jednačba stanja broda kao objekt automatske regulacije

The state equation of the ship as an object of automatic control

Dinamički matematički model plovidbe broda daje zakon po kojem se mijenjaju parametri broda pri plovidbi u horizontalnoj ravnini i djelovanju raznih poremećaja.

$$\frac{d\psi}{dt} = \omega \quad (1)$$

$$\frac{d\beta}{dt} = f - k_1\alpha_{12} - k_2\beta - k_3\beta|\beta| - k_7\omega \quad (2)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = m - k_4\alpha_{12} - k_5\beta - k_6\omega \quad (3)$$

ψ - relativna vrijednost promjene kuta kursa broda;

α - relativna vrijednost promjene kuta lista kormila;

m - koeficijent poremećaja, koji ovisi o djelovanju na brod momenta vjetra, struja mora i valova, dužini broda, momentu tromosti broda, brzini gibanja broda, te masi vode koja se giba gibanjem broda;

ω - relativna vrijednost promjene kutne brzine zakretanja broda;

β - relativna vrijednost promjene kuta zanošenja broda;

f - koeficijent poremećaja, koji ovisi o silama djelovanja vjetra, valova i struja, dužini broda, masi vode koja se giba gibanjem broda i brzini broda.

k_1 do k_7 - odgovarajući koeficijenti pojačanja

2.2. Jednadžba stanja slijednog sustava upravljanja brodskim kormilom (SSUBK)

The state equation of the sequential system of the steering gear control

Slijedni sustav automatske regulacije ima zadaću mijenjati reguliranu veličinu u skladu s promjenom vodeće veličine. SSUBK u analiziranom primjeru sastoji se od:

- poluvodičkog pojačala, koje pojačava signal razlike između zadane i stvarne vrijednosti kuta kormila;

- izvršnog motora i reduktora, koji pod djelovanjem odgovarajućeg napona ostvaruju okretanje vratila motora i reduktora;

- polužnog prijenosa, koji pretvara kružno gibanje vratila izvršnog motora u upravljajuće gibanje motke razvodnika;

- selsinskog osjetila, koje radi u režimu transformatora;

- elementa čvrste povratne veze, u lokalnoj povratnoj vezi, rabi se selsinsko osjetilo i reduktor;

- elementa povratne veze, položaja kormila, koji je selsinsko osjetilo;

- člana povratne veze prema kursu broda, koji je selsinski davač i primač;

- hidrauličkog pogona.

Dinamičke odlike navedenih elemenata SSUBK opisane su slijedećim sustav-dinamičkim matematičkim modelom:

$$U_{11} = U_{10} - K_{20} K_{22} \theta_{12} - K_{23} K_{24} K_{25} \alpha_{12} \quad (4)$$

$$U_{12} = K_{21} U_{11} \quad (5)$$

$$U_{13} = f(U_{12}) \quad (6)$$

$$\frac{d\theta_{11}}{dt} = K_{26} K_{27} U_{13} \quad (7)$$

$$\theta_{12} = f(\theta_{11}) \quad (8)$$

$$h_{11} = K_{28} \theta_{12} \quad (9)$$

$$\frac{d\alpha_{11}}{dt} = K_{29} h_{11} \quad (10)$$

$$\alpha_{12} = f(\alpha_{11}) \quad (11)$$

U_{10} - relativna vrijednost zadanog napona; U_{11} - relativna vrijednost napona na izlazu iz sumatora; U_{12} - relativna vrijednost napona na izlazu poluvodičkog pojačala; U_{13} - relativna vrijednost napona koja je u nelinearnoj funkciji od U_{12} ; θ_{11} - relativna vrijednost kuta zakreta vratila izvršnog motora; α_{11} - relativna vrijednost pomaka ručke za upravljanje položajem klipa razvodnika; K_{20} do K_{29} - koeficijenti prijenosa raznih uređaja u SSUBK.

2.3. PID-regulator PID-controller

PID-regulator u sebi objedinjuje proporcionalno, integralno i derivacijsko djelovanje. Njegovo dinamičko ponašanje može se definirati sljedećim matematičkim modelom:

$$\Psi_{10} = \Psi_z - \Psi \quad (12)$$

$$U_{30} = K_{31} \Psi_{10} \quad (13)$$

$$\frac{dU_{31}}{dt} = K_{32} U_{30} \quad (14)$$

$$T_{33} \frac{dU_{33}}{dt} = K_{33} \frac{dU_{30}}{dt} - U_{33} \quad (15)$$

$$U_{10} = U_{30} + U_{33} + U_{31} \quad (16)$$

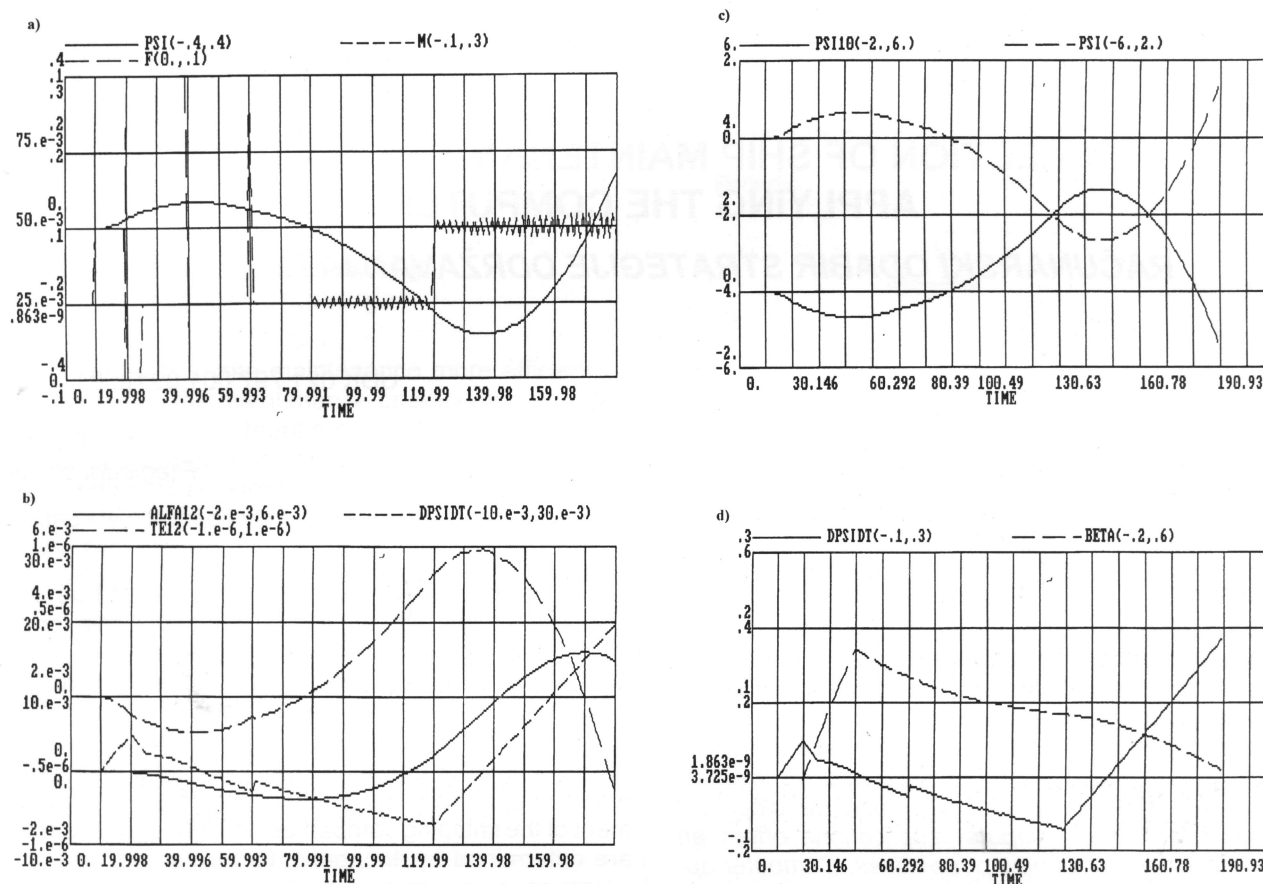
U_{30} - relativna vrijednost promjene napona zbog promjene kursa broda; U_{31} - relativna vrijednost napona na izlazu iz I-člana; U_{33} - relativna vrijednost napona na izlazu iz D-člana; K_{31} - koeficijent pojačanja P-člana; K_{32} - koeficijent pojačanja I-člana; K_{33} - koeficijent pojačanja D-člana; T_{33} - vremenska konstanta D-člana.

3. Sustav-dinamički strukturni model broda, slijednog sustava i PID-automatskog regulatora *System dynamic structural model of the ship with the sequential system and PID-automatic controller*

Na osnovi dinamičkog matematičkog modela broda, slijednog sustava i PID-regulatora kao i njihovih komponenata, formira se dinamički strukturni model kako je prikazano na sljedećoj slici 3.1.

4.3. Rezultati simulacije

Simulation results



Slika 4.1. Grafički rezultati simulacije
Figure 4.1 Graphic simulation results

5. Zaključak

Conclusion

U radu je rabljena jedna od najsuvremenijih metoda prikazivanja i ispitivanja dinamičkog ponašanja sustava automatskog upravljanja i reguliranja brodskim kormilom.

Strukturni dinamički model omogućuje vizualno predstavljanje vrlo složenih sustava kao što je sustav automatskog reguliranja kursom broda. Na osnovi matematičkog i kompjutorskog modela te strukturnog dijagrama može se determinirati dinamičko ponašanje sustava u cjelini prema po volji izabranim scenarijima. Također, mogu se vršiti izabirati i ispitivati utjecaji mnogobrojnih parametara na ukupno ponašanje sustava.

Autori predlažu uporabu prikazanih modela pri dizajniranju novih konstrukcija kormilarskih sustava, pri dijagnosticiranju postojećih uređaja i pri nastavnim procesima koji omogućuju aktivno i kreativno uključivanje studenata u rad.

Rukopis primljen: 20. 04. 1998.

Literatura / References

- [1] Munitić, A., Milić, L. i Milković, M., System Dynamics Computer Simulation Model of The Marine Diesel-Drive Generating set Automatic Control System, 15th IMACS World Congress on Scientific Computation, Modelling and Applied Mathematics, vol 5, Wissenschaft & Technik Verlag Berlin, 1997.
- [2] Milić, L., Šundrica, J. i Krile, S.: Sustav dinamički nelinearni kompjutorski simulacijski model automatske regulacije plovidbe broda, Zbornik referatov 6. Međunarodni simpozij o elektronici u prometu ISEP 97, Ljubljana, 1997.
- [3] Milić, L., Milić, I.: Osnove automatizacije, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, Dubrovnik, 1995.
- [4] Munitić, A.: Kompjuterska simulacija uz pomoć systemske dinamike, Brodosplit, Split 1989.
- [5] Milić, L., Batoš, V., Milić, I.: System dynamics comparative modelling of the "Woodward" and digital-electronics PID-Regulator, Proceedings of the VII Congress of IMAM, Dubrovnik 1995.
- [6] Milić, L., Munitić, A., Milić, I.: System dynamics simulation model of the marine Diesel engine, Naše more, vol.43, No (3-4), Dubrovnik, 1996.
- [7] Bupić, M., Milić, L., Oršulić, M.: Simulacijski model rashladnog sustava brodskog dizelskog motora, Naše more, vol. 44, No (1-2), Dubrovnik, 1997.
- [8] Freidzon, I. R., Sudovije avtomatizirovannije elektroprivodi i sistemi, Sudostroenije, Leningrad, 1988.
- [9] DiStefano, J.J., Stubberud, A.R., Williams, I.J., Theory and problems of feedback and control systems, McGraw-Hill book company, New York, 1987.