



Ante Munitić*
Mario Oršulić**
Maja Krčum***
Joško Dvornik****

ISSN 0469 - 6255
(8-19)

SUSTAVSKO DINAMIČKO SIMULACIJSKO MODELIRANJE POGONSKOG SUSTAVA "BRODSKO SIDRENO VITLO POGONJENO ASINKRONIM MOTOROM" (BSVPAM)

**SYSTEM – DYNAMIC SIMULATING MODELLING OF DRIVING SYSTEM
"ANCHOR WINDLASS DRIVEN BY ASYNCHRONOUS MOTOR" (BSVPAM)**

UDK 621.313.333+519.876

Izvorni znanstveni članak

Original scientific paper

Sažetak

Sustavsko dinamičko simulacijsko modeliranje je jedna od najprimjerenijih i najuspješnijih znanstvenih načina modeliranja dinamike složenih, nelinearnih, prirodnih, tehničkih i organizacijskih sustava. Proučavanje dinamike ponašanja broskog pogonskog sustava, kao jednog od složenih, dinamičkih, nelinearnih, tehničkih sustava, zahtijeva primjenu najučinkovitijih metoda modeliranja. U vremenskom razdoblju od 1991. do 2001., prilikom izrade diplomskih radova, na Pomorskom fakultetu u Splitu, koristila se sustavska dinamička računalna simulacijska metodologija za modeliranje dinamike ponašanja većeg broja nelinearnih broskih elektroenergetskih, termodinamičkih, hidrauličnih, mehaničkih i pneumatskih sustava. Svrha ovog rada jest: pokazati uspješnost primjene sustavskog dinamičkog simulacijskog modeliranja pri istraživanju dinamike ponašanja pogonskog sustava BSVPAM-a. Brodsko sidreno vitlo i njegov pogonski asinkroni motor će biti predstavljeni mentalno-verbalnim, strukturnim i matematičko-kompjutorskim modelima! Sustavsko dinamički modeli su u suštini kontinuirani modeli, jer se realiteti predstavljaju skupom nelinearnih diferencijalnih jednadžbi, tj. "jedadžbi stanja"! Međutim, oni su istodobno i

diskretni, jer im se osnovni vremenski korak računanja, tj. diskretizacije (uzorkovanja) "DT" određuje u potpunom skladu s **Teoremom o uzorkovanju** (Sampling Teorem) Shannona i Kotelnikova! Ovakav odabir osnovnog vremenskog koraka DT omogućuje, kompjutorsko modeliranje kontinuiranih simulacijskih modela na digitalnom računalu, što je veoma primjereno za edukaciju studenata pomorstva, strojarstva i elektrotehnike, te za teoretsko i praktično trenaziranje inženjera broskih sustava, jer im omogućuju stjecanje novih znanja i vještina o složenoj dinamici ponašanja pomorskih sustava i procesa.

Ključne riječi: Sustavska dinamika, modeliranje, asinkroni motor, brodsko sidreno vitlo, kontinuirana i diskretna simulacija.

Summary

System-dynamic simulating modelling is one of the most appropriate and successful scientific dynamics modelling methods of the complex, non-linear i.e. natural, technical and organisational systems. Investigation of behaviour dynamics of the ship's propulsion system as a typical example of complex, dynamic technical systems requires application of the most efficient modelling methods. Since 1991 to 2001 in elaborating the degree essays with the College of Maritime Studies in Split, system-dynamic computing simulating methodology has been used for modelling of most non-linear

*Prof. dr. sc. Ante Munitić

**Dr. sc. Mario Oršulić, profesor visoke škole

***Mr. sc. Maja Krčum

****Joško Dvornik, dipl. ing., znanstveni novak

Visoka pomorska škola u Splitu, Zrinsko-frankopanska 38,
21000 Split, Hrvatska

shipborne electro-energetic, thermodynamic, hydraulic, mechanical and pneumatic systems. The aim of this essay is to present the efficiency of application of the system-dynamic simulating modelling in investigation of behaviour dynamics of the BSVPAM propulsion system. The anchor windlass and its driving asynchronous motor shall be presented by mental-verbal, structural and mathematical computing models. These system-dynamic BSVPAM models are very appropriate for education of students with the College of Maritime Studies as well as the training of mechanical engineers dealing with shipborne systems because they enable a simple system i.e. holistic approach to investigation of the complex dynamics behaviour of the marine complex systems and processes.

Key words: system dynamics, simulation, modelling, asynchronous motor and anchor windlass.

1. Uvod

Introduction

Sustavsko dinamičko modeliranje je zaseban, tj. "holistički" pristup simulaciji dinamike ponašanja prirodnih, tehničkih i organizacijskih sustava, te sadržava kvalitativno i kvantitativno simulacijsko modeliranje realiteta različite prirode. Pojam optimizacije u sustavskoj dinamici je temeljen na vjerovanju da "ručna i iterativna" procedura, tj. optimizacija metodom "pokušaja i pogrešaka" (*retry and error*) može biti uspješna korištenjem algoritma tzv. "heurističke optimizacije", uz pomoć brzog digitalnog računala, te u potpunom skladu sa sustavskom dinamičkom simulacijskom metodologijom. Ovaj simulacijski model BSVPAM je jedan maleni dio znanstvenog makroprojekta zvanog INTELIGENTNA KOMPJUTORSKA SIMULACIJA MODELA POMORSKIH PROCESA.

2. Sustavsko dinamičko simulacijski modeli sustava "Brodsko sidreno vitlo pogonjeno asinkronim motorom"

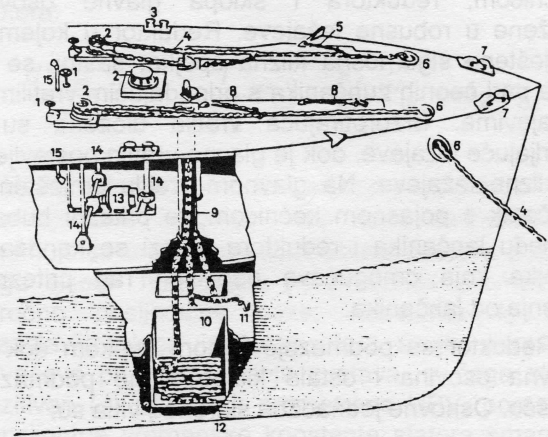
System-dynamic simulating system models "Anchor windlass driven by asynchronous motor"

2.1. Sustavsko dinamički modeli brodskog sidrenog vitla

System dynamic model of the anchor windlass

Sidrenje je operacija kojom se brod veže za brodsko dno. Postiže se sidrenim uređajem koji se sastoji od: sidra, lanca, štopera, kočnice sidrenog

okna, lančanika, skladišta lanca i vitla. Neki elementi uređaja za sidrenje koriste se i pri vezivanju broda za obalu. Svi brodovi imaju pramčani, a pojedini i krmeni uređaj.

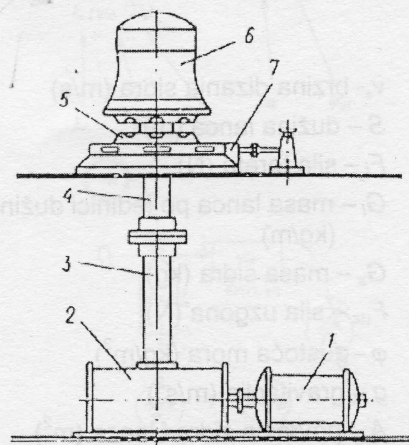


Slika 2.1.1. Sidreni uređaj

Figure 2.1.1. Anchor Windlass

1-uputnici za upravljanjem vitlom, 2-bubnjevi vitla, 3-bitva, 4-sidreni lanac, 5-slipni zapor, 6-sidreno ždrijelo, 7-zijevalica, 8-osiguranje lanca, 9-provodna cijev, 10-spremište lanca, 11-slipna kuka, 12-uglav, 13-elektromotor, 14-vratila vitla, 15-doglasna cijev.

Manji brodovi mogu imati za pogon sidrenih vitla motore s unutrašnjim izgaranjem, dok primjerice tankeri na kojima takav pogon može izazvati eksploziju upotrebljavaju parni pogon. Većina ostalih brodova imaju pogon vitla s elektromotorom, a također se u novije vrijeme koristi i hidraulični pogon. Električno pogonjena vitla izvode se: izmjenično trofaznim elektromotorom, ali i Leonardovim spojem, izmjenično-trofaznim elektromotorom izravno spojenim s preklapanjem dvaju odnosno triju parova pola.



Slika 2.1.2. Dvopalubno sidreno vitlo pogonjeno asinkronim motorom

Figure 2.1.2. Double-deck anchor windlass driven by asynchronous motor

1 - asinkroni motor, 2 - pužni prijenos, 3 - vertikalno vratilo, 4 - vratila vitla, 5 - lančanik, 6 - bubanj za užu, 7 - kočnica

Sidreno vitlo

Anchor windlass

Vitlo se sastoji od pogonskog elektromotora s kočnicom, reduktora i sklopa glavne osovine uložene u robusne ležajeve. Reduktor u kojem je smještena sigurnosna klizna spojka, sastoji se od više pari čeonih zupčanika s pripadajućim vratilima i ležajevima. Brzorotirajuća vratila uložena su u kotrljajuće ležajeve, dok je glavno vratilo postavljeno u klizne ležajeve. Na glavnom vratilu smješten je lančanik s pojasnom kočnicom, te pritezni bubanj. Između lančanika i reduktora nalazi se kandžasta spojka koja omogućava neovisan rad priteznog bubnja od lančanika.

Reduktor se podmazuje uljnom kupkom dok se glavna osovina i ostale klizne plohe podmazuju mašću. Osnovne jednadžbe sidrenog vitla su:

$$\frac{ds}{dt} = \omega r_o \quad (1)$$

$$F_t = (G_l S + G_s) g \quad (2)$$

$$F_{uz} = \varphi g A S \quad (3)$$

$$F_u = F_t - F_{uz} \quad (4)$$

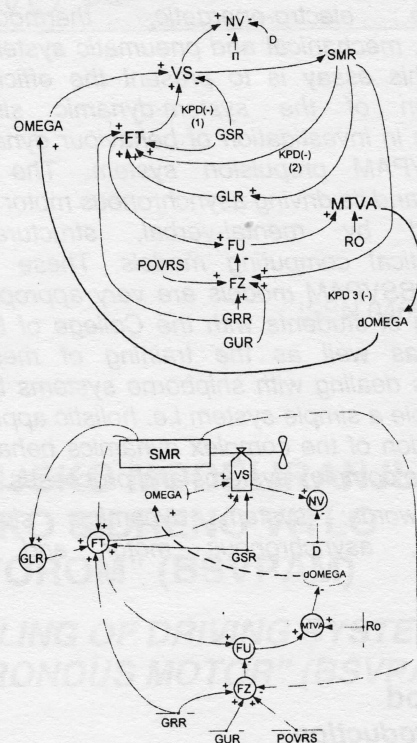
$$M_v = F_u r_o \quad (5)$$

$$S = S_o - \int v_s dt \quad (6)$$

Gdje je:

- v_s – brzina dizanja sidra (m/s)
- S – dužina lanca (m)
- F_t – sila tereta (N)
- G_l – masa lanca po jedinici dužine (kg/m)
- G_s – masa sidra (kg)
- F_{uz} – sila uzgona (N)
- φ – gustoća mora (kg/m³)
- g – gravitacija (m/s²)
- A – površina sidra i lanca (m²)
- M_v – moment vitla (Nm)

Na temelju osnovnih jednadžbi moguće je izraditi mentalno-verbalni model brodskog sidrenog vitla odnosno strukturni dijagram i dijagram toka brodskog sidrenog vitla.



Slika 2.1.3. Strukturni dijagram i dijagram toka brodskog sidrenog vitla

Figure 2.1.3. Structural diagram and anchor windlass course diagram

U promatranom sustavu brodskog vitla egzistiraju tri kruga povratnog djelovanja (KPD).

KPD1(-): VS=>(-)SMR=>(+)FT=>(+)VS; koji ima samoregulirajući dinamički karakter (-), jer je suma negativnih predznaka neparan broj.

KPD2(-): VS=>(-)SMR=>(+)GLR=>(+)FT=>(+)VS; koji ima također samoregulirajući dinamički karakter!

KPD3(-): VS=>(-)SMR=>(+)GLR=>(+)FT=>(+)FU=>(+)MTVA=>(+)dOMEGA=>(+)OMEGA=>(+)VS; koji ima također samoregulirajući dinamički karakter.

Unutar KPD-a djeluje veći broj uzročno-posljedičnih veza (UPV), za koje vrijede sljedeće dinamičke ovisnosti:

"Ako raste brzina dizanja sidra i lanca-**VS** smanjuje se dužina lanca-**SMR** iz čega slijedi negativan predznak uzročno-posljedične veze"; porastom brzine dizanja lanca i sidra-**VS** raste i broj okretaja osovine-**NV** iz čega slijedi pozitivan predznak UPV". "Povećanjem relativne mase sidra-**GSR** smanjuje se brzina dizanja lanca i sidra-**VS** iz čega slijedi negativan predznak UPV". "Povećanjem relativne dužine lanca-**SMR** raste i sila tereta odnosno i ukupna težina lanca-**GL**, a također i sila uzgona-**FU** iz čega slijedi pozitivan predznak UPV". "Povećanjem sile tereta-**FT** raste brzina dizanja sidra-**VS** i lanca kao i povećanjem brzine okretaja asinkronog motora pa promatrana UPV ima pozitivan predznak". "Povećanjem gravitacije-**G** povećava se i sila tereta-**FT** i sila uzgona-**FU** pa promatrana UPV ima pozitivan predznak". "Povećanjem sile tereta-**FT** povećava se i ukupna sila, a povećanjem ukupne sile povećava se i

moment vitla-MTVA pa promatrana UPV ima pozitivan predznak". "Povećanjem sile uzgona-FU pada ukupna sila iz čega slijedi negativan predznak UPV". "Povećanjem površine lanca i sidra-A kao i gustoće mora povećava se sila uzgona iz čega slijedi pozitivan predznak promatrane UPV".

2.2. Sustavsko dinamički simulacijski modeli asinkronog motora

System dynamic model of asynchronous motor

Tablica 2.2.1. Popis oznaka i način zapisa u DYNAMO jeziku

Table 2.2.1. Marks and model of records in DYNAMO language

Popis oznaka	Opis	Zapis u DYNAMO jeziku
R'_s	Transformirani djelatni otpor statora	Rs
R'_r	Transformirani djelatni otpor rotora	Rr
L'_s	Transformirani induktivitet statora	Lcs
L'_r	Transformirani induktivitet rotora	Lcr
L'_m	Transformirani međuinduktivitet	Lm
$L_{\sigma s}$	Rasipni induktivitet statora	Lsigs
$L_{\sigma r}$	Rasipni induktivitet rotora	Lsigr
σ	Faktor rasipanja	SIGMA
k_s	Faktor ulančenja statora	Ks
k_r	Faktor ulančenja rotora	Kr
T'_s	Tranzijentna vremenska konstanta statora	Tcs
T'_r	Tranzijentna vremenska konstanta rotora	Tcr
H	Konstanta tromosti	H
Ψ_{ds}	Ulančeni tok statora u osi d	PSIds
Ψ_{qs}	Ulančeni tok statora u osi q	PSIqs
Ψ_{dr}	Ulančeni tok rotora u osi d	PSIdr
Ψ_{qr}	Ulančeni tok rotora u osi q	PSIqr
ω	Kutna brzina vrtnje rotora	OMEGA
ω_k	Kutna brzina vrtnje okretnog polja statora	OMEGAK
S	Klizanje	S
u_{ds}	Napon statora u osi d	Uds
u_{qs}	Napon statora u osi q	Uqs
u_{as}	Fazni napon	Uas
i_{ds}	Struja rotora u osi d	Ids
i_{qs}	Struja rotora u osi q	Iqs
i_{as}	Fazna struja statora	Ias
i_{dr}	Struja rotora u osi d	Idr
i_{qr}	Struja rotora u osi q	Iqr
i_{ar}	Fazna struja rotora	Iar
M_e	Elektromagnetski moment	Mel
M_l	Moment tereta	MT
$D\Psi_{ds}/dt$	Derivacija ulančenog toka statora u osi d	dPSIds
$D\Psi_{qs}/dt$	Derivacija ulančenog toka statora u osi q	dPSIqs
$D\Psi_{dr}/dt$	Derivacija ulančenog toka rotora u osi d	dPSIdr
$D\Psi_{qr}/dt$	Derivacija ulančenog toka rotora u osi q	dPSIqr
$d\omega$	Derivacija kutne brzine vrtnje rotora	domega
G_s	Težina sidra	GS
G_l	Težina lanca	GL
S	Dužina lanca	SM
φ	Gustoća mora	GU
G	Gravitacija	GR
A	Površina lanca i sidra	POVRSR

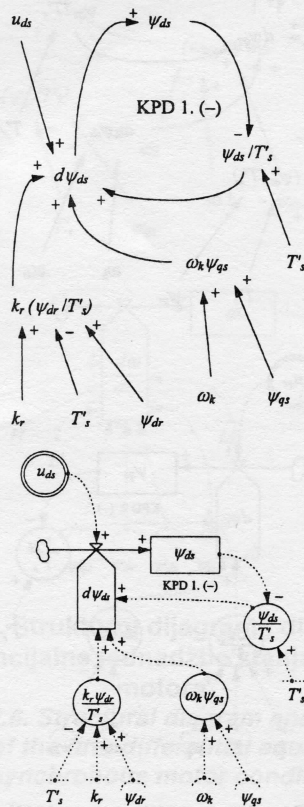
Temeljem danog matematičkog modela asinkronog motora moguće je izraditi sustavsko-dinamičke simulacijske, tj. mentalno-verbalne, strukturne i kompjutorske modele.

Prva diferencijalna jednadžba stanja asinkronog motora:

$$\frac{d\Psi_{ds}}{dt} = u_{ds} - \frac{l}{T'_s} \Psi_{ds} + \frac{k_r}{T'_s} \Psi_{dr} + \omega_k \Psi_{qs}$$

U promatranoj jednadžbi vrijede sljedeća uzročna – posljedična ovisnost: "Ako raste varijabla Ψ_{ds} , smanjuje se brzina promjene stanja sustava $d\Psi_{ds}$, iz čega slijedi "negativan" (-) predznak promatrane uzročne posljedične veze, konstanta k_r koja predstavlja faktor ulančenja rotora, svojim porastom povećava promjenu stanja sustava, iz čega slijedi pozitivan (+) predznak promatrane UPV, porastom tranzijentne vremenske konstante statora smanjuje se promjena stanja sustava, iz čega slijedi negativan (-) predznak promatrane UPV, ako raste umnožak $\omega_k \Psi_{qs}$ i ako raste promjena napona u_{ds} raste i brzina promjene stanja sustava što ima za uzrok pozitivan (+) predznak promatrane UPV.

Na temelju navedenog modela, koji je dan u obliku uzročno-posljedične ovisnosti između elemenata sustava, moguće je izraditi mentalno verbalni model jednadžbe stanja asinkronog motora uz pomoć kojeg se izrađuje strukturni model te dijagram toka navedene jednadžbe.



Slika 2.2.2. Strukturni dijagram i dijagram toka prve diferencijalne jednadžbe stanja asinkronog motora
Figure 2.2.2. Structural diagram and continuity diagram of the first differential equation of the asynchronous motor condition

negativan (-) predznak u promatranoj UPV, povećanjem brzine vrtnje okretnog magnetskog polja statora ω_k kao i ulančenog toka ψ_{qr} raste i brzina promjene stanja sustava, što znači pozitivan (+) predznak u promatranim UPV.

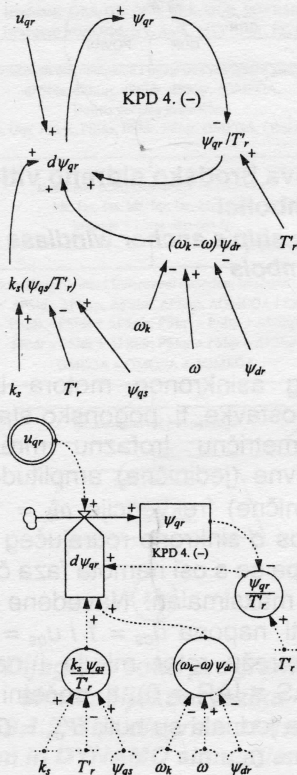
Četvrta diferencijalna jednadžba stanja asinkronog motora glasi:

$$\frac{d\psi_{qr}}{dt} = u_{qr} - \frac{1}{T'_r} \psi_{qr} + \frac{k_s}{T'_r} \psi_{qs} + (\omega_k - \omega) \psi_{dr}$$

U ovoj jednadžbi vrijedi sljedeća uzročno – posljedična ovisnost:

Ako raste varijabla ψ_{qr} tada će se brzina promjene stanja sustava smanjivati, što znači negativan (-) predznak promatrane UPV, faktor ulančenja statora k_s kao i ulančeni tok ψ_{qs} svojim porastom povećavaju promjenu stanja sustava, znači pozitivan (+) predznak UPV, porastom tranzijentne vremenske konstante, kao i porastom brzine vrtnje okretnog magnetskog polja statora ω_k ima za posljedicu smanjenje brzine promjene stanja sustava, što znači negativan (-) predznak UPV. Rast brzine vrtnje rotora ω i ulančenog toka ψ_{dr} izaziva i rast promjene stanja sustava, iz čega slijedi pozitivan (+) predznak promatrane UPV.

Strukturalni dijagram kao i dijagram toka četvrte diferencijalne jednadžbe stanja asinkronog motora prikazani su na sljedećoj slici.



Slika 2.2.5. Strukturalni dijagram i dijagram toka četvrte diferencijalne jednadžbe stanja asinkronog motora
 Figure 2.2.5. Structural diagram and continuity diagram of the fourth differential equation of the asynchronous motor condition

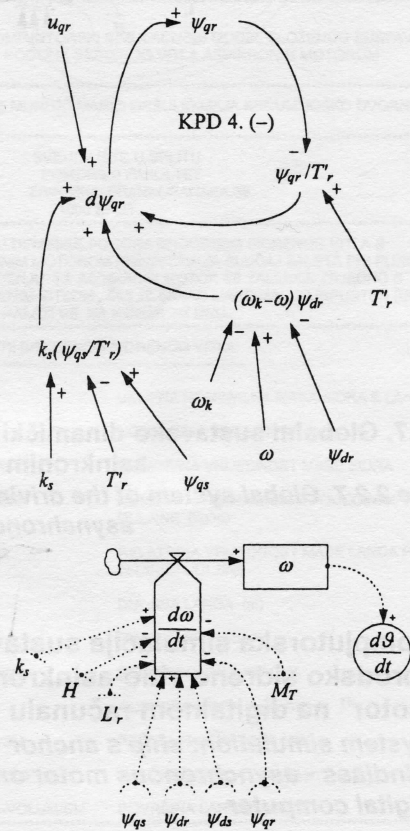
Peta diferencijalna jednadžba stanja asinkronog motora glasi:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{2H} \frac{k_s}{L'_r} (\psi_{qs} \psi_{dr} - \psi_{ds} \psi_{qr}) - \frac{M_t}{2H}$$

U petoj jednadžbi stanja asinkronog motora nema kruga povratnog djelovanja. Promjena brzine vrtnje rotora asinkronog motora $d\omega$, odnosno derivacija brzine vrtnje, svojim rastom povećava se i derivacija kuta zakreta rotora to jest brzina promjene kuta zakreta rotora $d\vartheta$ jer je $\omega = d\vartheta / dt$. Konstanta tromosti H i transformirani induktiviteti rotora L'_r te moment tereta M_t , svojim rastom smanjuju derivaciju brzine vrtnje $d\omega$, dok je faktor ulančenja statora k_s svojim povećanjem povećava.

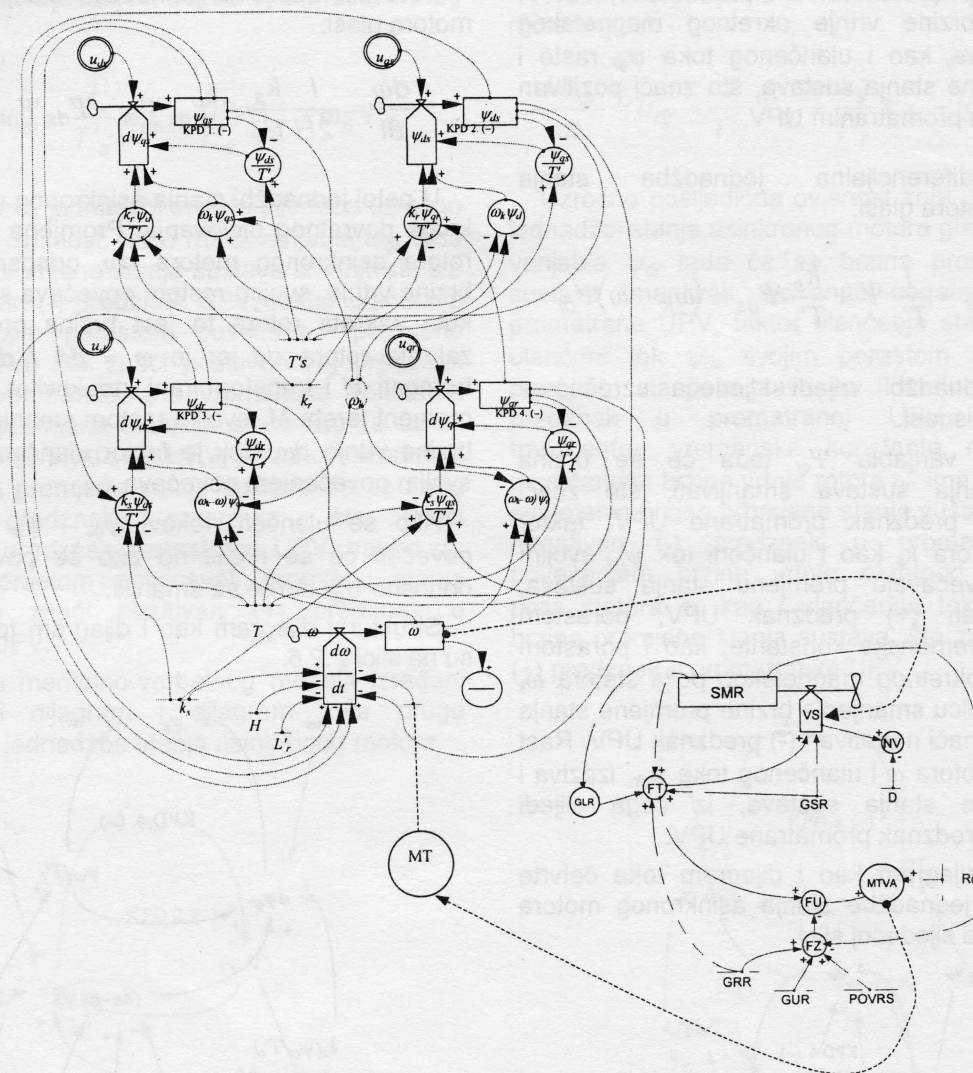
Ako se ulančeni tokovi ψ_{qs} i ψ_{dr} povećavaju, povećati će se i $d\omega$, no ako se povećavaju ψ_{ds} odnosno ψ_{qr} , $d\omega$ će se smanjiti.

Strukturalni dijagram kao i dijagram toka prikazani su na slici 2.2.6.



Slika 2.2.6. Strukturalni dijagram i dijagram toka pete diferencijalne jednadžbe stanja asinkronog motora
 Figure 2.2.6. Structural diagram and continuity diagram of the fifth differential equation of the asynchronous motor condition

Sve navedene jednadžbe stanja zajedno tvore globalni dijagram toka dinamičkog sistema: BSV-PAM - brodsko sidreno vitlo – asinkroni motor koji je prikazan na slici 2.2.7..



Slika 2.2.7. Globalni sustavsko-dinamički model pogonskog sustava brodsko sidreno vitlo pogonjeno asinkronim motorom u DYNAMO simbolici

Figure 2.2.7. Global system of the driving system dynamic model: ship's anchor windlass driven by asynchronous motor in DYNAMO symbols

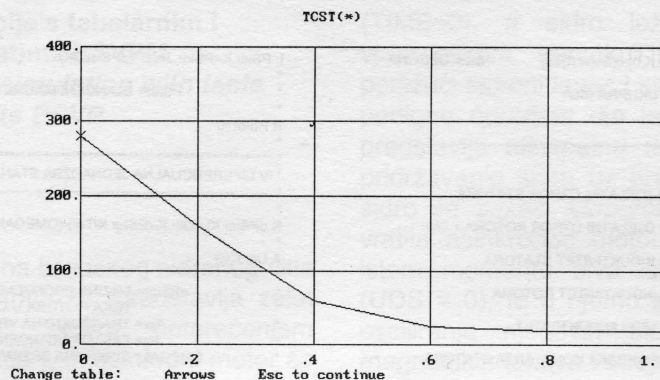
2.3. Kompjutorska simulacija sustava "brodsko sidreno vitlo-asinkroni motor" na digitalnom računalu System simulation: ship's anchor windlass - asynchronous motor on digital computer

2.3.1. Dijagram toka programa Correlation of stator time constant and rotor speed

U prethodnim poglavljima dana je većina podataka da bi se program mogao strukturirati i pustiti u rad. Još treba odrediti početne uvjete, odnosno ulazne (inicijalne) veličine i predstaviti ih relativnim (jediničnim) vrijednostima. Simulacija

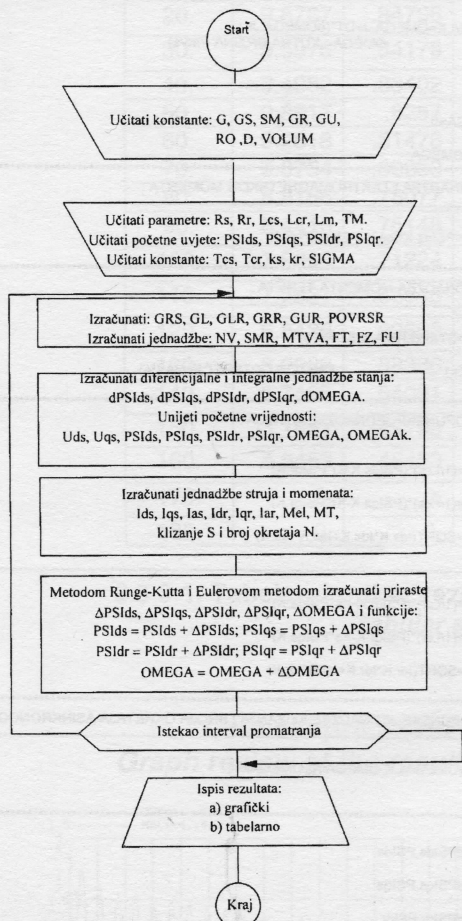
klizno-kolutnog asinkronog motora izvodi se uz sljedeće pretpostavke, tj. pogonsko stanje: motor se spaja na simetričnu trofaznu mrežu sinusnog napona, relativne (jedinične) amplitude $U_s = 1$ i relativne (jedinične) frekvencije $\omega_s = 1$. U trenutku ukopčavanja os d sinkrono rotirajućeg koordinatnog sustava poklapa se s osi namota faza čiji je napon u tom trenutku maksimalan. Navedene pretpostavke daju vrijednosti napona $u_{ds} = 1$ i $u_{qs} = 0$. U trenutku spajanja na mrežu rotor miruje i nema struja u namotima ($I_{AS} = I_{AR} = 0$), tj. početni uvjeti za sve varijable stanja jednaki su nuli, $\Psi_{ds} = 0$, $\Psi_{qs} = 0$, $\Psi_{dr} = 0$, $\Psi_{qr} = 0$, $\omega = 0$.

"Zalet motora" izvodi se i uz promjenjivu tranzijentnu vremensku konstantu T_s' , koja je u ovom scenariju tokom cijelog procesa simulacije konstanta. Statorska vremenska konstanta u ovom slučaju, ovisna je o brzini rotora, a mijenja se prema krivulji na slici 2.3.1.1.



SI.2.3.1.1. Međuviznost statrorske vremenske konstante i brzine rotora
Figure 2.3.1.1. Interrelation of stator time constant and the velocity of rotor

Da bi smo mogli napisati program simulacije, potrebno je još izraditi dijagram toka programa prikazan na slici 2.3.1.2.



Sika 2.3.1.2. Dijagram toka programa u DYNAMO simulacijskom jeziku

Figure 2.3.1.2. The diagram of the process of program in DYNAMO simulation language

U skladu s danim matematičkim, mentalno-verbalnim i strukturnim modelima te u skladu s DYNAMO programskim jezikom moguće je dati kompjutorsko simulacijski model pogona brodsko sidreno vitlo – asinkroni motor.

2.3.2. Kompjutorski simulacijski model BSVPAM
Computer simulating model BSVPAM

.....
 * KOMPJUTORSKI SIMULACIJSKI MODEL SLOŽENOG SUSTAVA POGONA SIDRENOG VITLA ASINKRONIM MOTOROM
 * ANTE MUNITIĆ; MARIO ORŠULIĆ; MAJA KRČUM; JOŠKO DVORNIK
 * SVEUČILIŠTE U SPLITU POMORSKI FAKULTET ZRINJSKO-FRANKOPANSKA 38 21000 SPLIT
 * SCENARIJ DINAMIKE POGONA BRODSKOG SIDRENOG VITLA S ASINKRONIM MOTOROM PREDSTAVLJA SLUČAJ ZALETA PRI PUNOM OPTEREĆENJU T.J. ASINKRONI MOTOR SE ZALIJEČE ZAJEDNO S PRISPOJENIM VITLOM, ČIJI JE LANAC MAKSIMALNO ISPUŠTEN (UKLJUČUJUĆI SIDRO) I NALAZI SE NA MORSKOM DNU.
 * PARAMETRI BRODSKOG SIDRENOG VITLA:

 C G=7000 UKUPNA NOMINALNA MASA SIDRA S LANCOM (kg)
 C GS=3000 NOMINALNA MASA SIDRA (kg)
 K GSR=GS/G RELATIVNA VRIJEDNOST MASE SIDRA
 K GL=4000/SM NOMINALNA MASA LANCA PO JEDINICI DULJINE (kg/m)
 K GLR=GL/G RELATIVNA VRIJEDNOST MASE LANCA PO JEDINICI DULJINE
 C SM=100 DULJINA LANCA (m)
 C GR=9.81 GRAVITACIJA (m/s²)
 K GRR=GR/SM RELATIVNA GRAVITACIJA
 C GU=1.25 GUSTOĆA MORA (kg/m³)
 K GUR=GU/SM RELATIVNA GUSTOĆA MORA
 C VOLUM=1000 VOLUMEN LANCA I SIDRA (m³)
 K POVRSR=VOLUM/SM POVRŠINA LANCA I SIDRA

 R VS.KL=CLIP(STEP(OMEGA,K,0),0,FT,K,GSR) BRZINA PODIZANJA SIDRA
 C D=1
 A NV.K=VS.KL/(D*3.14) BROJ OKRETAJA OSOVINE
 L SMR.K=SMR.J+DT*(-VS.JK)
 N SMR=100
 A MTVA.K=FU.K*RO MOMENT VITLA
 C RO=0.1 PROMJER LANČANIKA
 A FT.K=CLIP(STEP((GLR*SMR.K+GSR)*GR,0),0,GLR*SMR.K*GR,GSR) SILA TERETA

2.3.3. Scenarij simulacije s tabelarnim i grafičkim rezultatima BSVPM

Scenario of the simulation with table and graph results BSVPM

Scenarij

Scenario

Scenarij dinamike pogona broskog sidrenog vitla pogonjenog asinkronim motorom, predstavlja zalet asinkronog motora pod punim opterećenjem (sidro+100 m sidrenog lanca), tj. asinkroni motor se upućuje u rad s priključenim sidrenim vitlom, čiji je sidreni lanac maksimalno ispušten u more

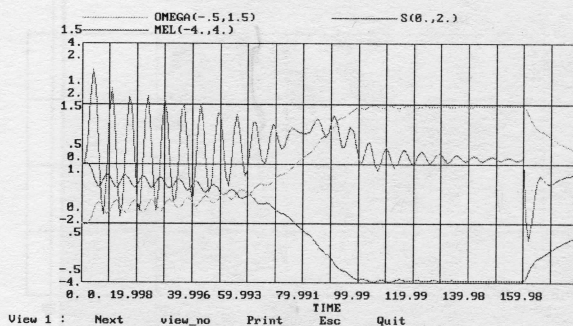
(TIME=0), a sidro leži na morskom dnu! U vremenskom trenutku TIME=0 motor se zalijeće podižući sidreni lanac i sidro, što traje sve dok se ne podigne određeni dio lanca, odnosno 7,6 m, koji predstavlja minimalnu duljinu lanca koja služi za pridržavanje sidra uz brodski trup. U tom trenutku sidro se zakači štoperom i automatski odpaja s vratila asinkronog motora. Asinkroni motor u tom istom momentu biva isključen s brodske mreže (UDS = 0), te u njemu započinje prijelazna pojava osciliranja njegovih elektromagnetskih polja, tj. magnetskih tokova i struja, te se postupno prigušuje rotacija asinkronog motora, koji u tom prijelaznom vremenskom razdoblju radi kao asinkroni generator.

Tabelarni prikaz rezultata simulacije sistema BSVPM.: *Tabular scheme of simulation results:*

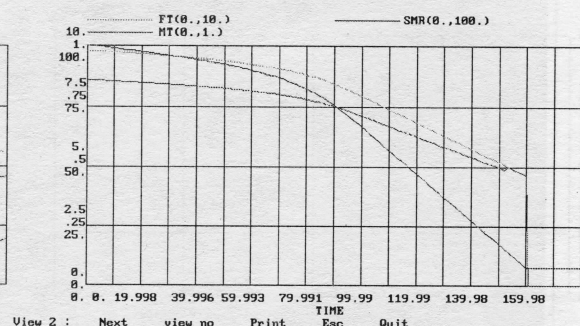
TIME	FT	MT	SMR	OMEGA	S	MEL	IAS
0.	9.81	.85838	100.	0.	1.	0.	0.
10.	9.7623	.85465	99.149	95.45e-	.90455	1.7044	3.1716
20.	9.6767	.84796	97.622	3	.82506	-1.293	4.1262
30.	9.5976	.84178	96.211	.17494	.85252	2.2127	2.3817
40.	9.4982	.83402	94.439	.14748	.82403	-1.209	4.4043
50.	9.3917	.8257	92.538	.17597	.76783	1.6524	2.1351
60.	9.2518	.81476	90.041	.23217	.73924	-.19276	4.2357
70.	9.0734	.80083	86.859	.38546	.61454	1.1506	2.4745
80.	8.8166	.78077	82.279	.55288	.44712	1.0363	3.4339
90.	8.4418	.75148	75.593	.78459	.21541	1.3757	2.1779
100.	7.9395	.71224	66.631	.97169	28.31e-3	.10758	.77489
110.	7.3921	.66948	56.868	.97792	22.08e-3	.56115	.6933
120.	6.8439	.62665	47.088	.97442	25.58e-3	4.35e-3	.20726
130.	6.2962	.58386	37.317	.98215	17.85e-3	.31733	.53991
140.	5.7465	.54091	27.511	.97839	21.61e-3	.16	.25624
150.	5.1962	.49793	17.695	.98423	15.77e-3	.16931	.40751
160.	4.6453	.46453	7.8663	.98248	17.52e-3	.19071	.32482
170.	0.	0.	7.6403	.7249	.2751	-.6661	2.2374
180.	0.	0.	7.6403	.60973	.39027	-.32891	1.5201

2.3.3.1. Tabelarni prikaz rezultata simulacije scenarija punog opterećenja *Tabular scheme of simulation results*

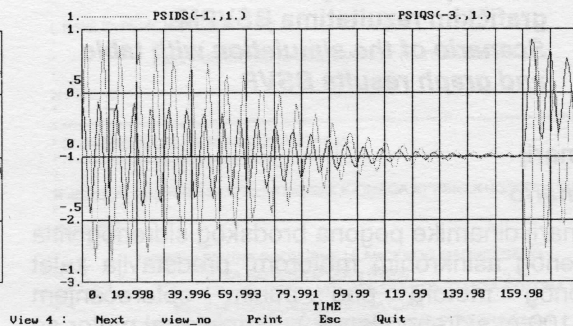
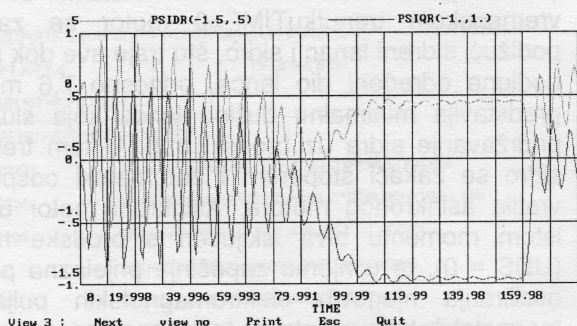
Grafički prikaz rezultata simulacije sistema BSVPM: *Graph review of the results of the simulation of the system BSVPM:*



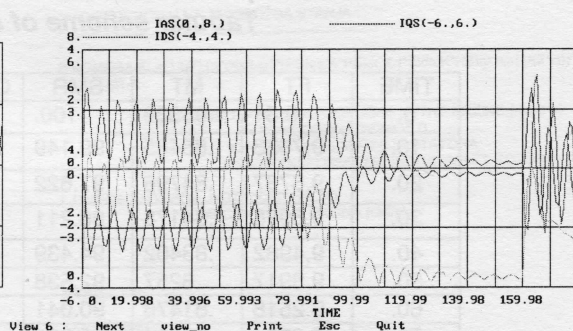
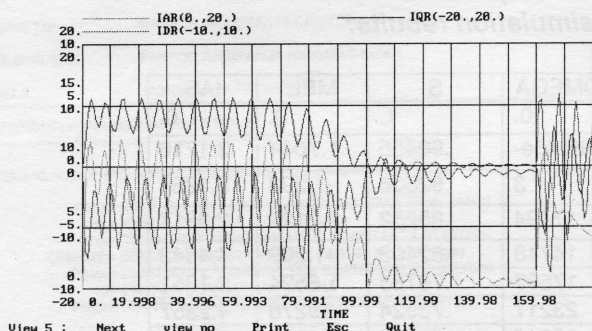
2.3.3.2. Dijagram električnog momenta, klizanja i kutne brzine lanca *Diagram of loading force, buoyancy, chain length and speed*



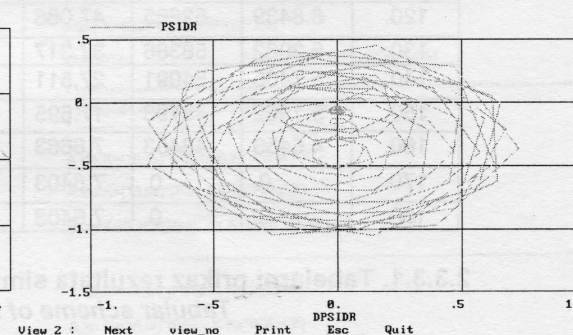
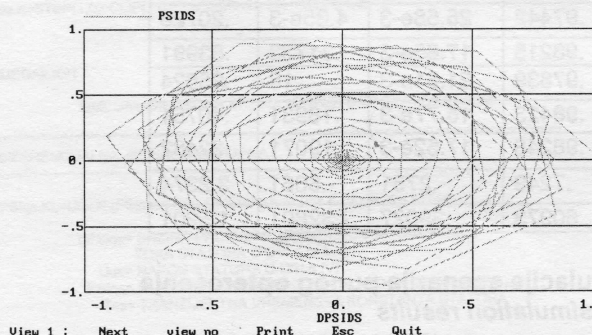
2.3.3.3. Dijagram sile tereta, momenta i dužine lanca tereta *Diagram of loading torque, electric torque and slipping*



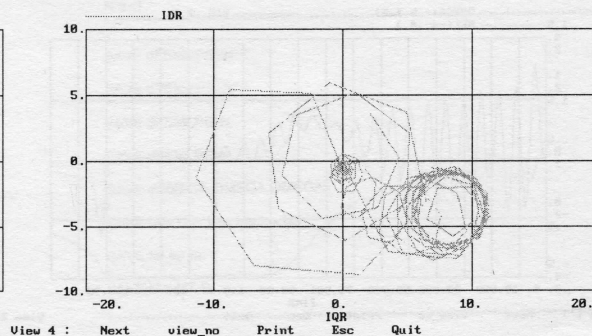
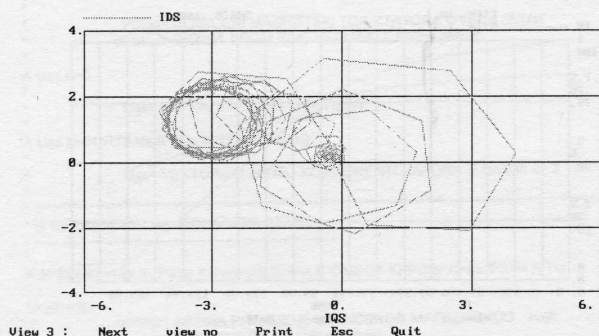
2.3.3.4. Ulančeni tokovi statora i rotora Stator and rotor magnetic fluxes



2.3.3.5. Struje statora i rotora Stator and rotor currents



2.3.3.6. Ovisnost ulančenih tokova statora i rotora o svojim derivacijama Dependence of the stator and rotor linkage fluxes on their derivations



2.3.3.7. Hodograf struja statora i rotora Stator and rotor currents odograph

Komentar simulacije**Comment on simulation**

Prikazani dijagrami i tabelarni podaci ukazuju na validnost dinamičkog ponašanja ovog pogonskog sustava, uz napomenu da fazni dijagrami *sl.2.3.3.6. i 2.3.3.7* imaju u stvarnosti kontinuirani, a ne razlomljeni prikaz što je rezultat korištenja PC-a s relativno malim memorijskim kapacitetom.

2.4. Zaključak**Conclusion**

Sustavna dinamika je takva znanstvena metodologija koja omogućuje simulacije najstroženijih sustava. U pokazanom primjeru metodologija očito pokazuje visoku kvalitetu simulacija složenih dinamičkih sistema te daje priliku svakom zainteresiranom studentu ili inženjeru da pomoću iste metodologije modelira, optimira i simulira bilo koji scenarij postojećih realiteta. Nadalje, korisnici koji koriste ovu metodologiju simuliranja kontinuiranih modela na digitalnom računaru otvaraju sebi mogućnost stjecanja najnovijih znanja u ponašanju dinamičkih sustava. Metodologija je značajna i po tome što ne obuhvaća samo kompjutorski tip modeliranja već jasno determinira i metalno, strukturno i matematičko modeliranje istih realiteta sustava. Na osnovu našeg dugogodišnjeg iskustva u primjeni sustav-dinamičke metodologije simuliranja, te u ovoj malenoj prezentaciji,

omogućavamo svakom potrebitom stručnjaku da sam na brz, znanstveno utemeljen, način istraživanja složenih sustava, steknu dopunska znanja o istom sustavu.

Literatura**References**

[1] Forrester, Jay W., 1973/1971., Principles of Systems, MIT Press, Cambridge Massachusetts, USA

[2] Jadric, M. and Francić, B., 1996., Dinamika električnih strojeva (in Croatian), MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM SPALATIENSIS, GRAPHICS, Zagreb, Croatia

[3] Munitić, A. and L.Milic. and M.Milkovic, 1997., System Dynamics Computer Simulation Model of the Marine Diesel-Drive Generation Set 997. Automatic Control System. IMACS World Congress on Scientific Computation, Modelling and Applied Matemathics, vol.5, Wiessenschaft & Technik Verlag, Berlin

[4] Munitić, A., 1989., Kompjuterska simulacija uz pomoć sistemske dinamike, (in Croatian), BIS, Split, Croatia

[5] Munitić, A., 1989., "Application Possibilities of System Dynamics Modelling." System Dynamics, Edited by Susan Spencer and George Richardson, Proceedings of the SCS Western Multiconference, San Diego, California, A Society for Computer Simulation International, San Diego, USA

[6] Richardson, George P. and Pugh III Aleksander L. 1981. "Introduction to System Dynamics Modelling with Dynamo.", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA

[7] Munitić A., Milić L., M. Bupić: System Dynamics Simulation Modeling and Heuristic Optimization of the Induction Motor, Simulation Symposium, Marseille, France, Oct. 18-20,2001.

Rukopis primljen:11.3.2002.



COLLEGIUM RAGUSINUM

Veleučilište u Dubrovniku
otvara **NOVI studij** u akademskoj 2002/03. godini

AKVAKULTURA

Tel. +385 20 445700 <http://www.vdu.hr/>

Veleučilište u Dubrovniku - Collegium Ragusinum Circa Canča 4 20000 Dubrovnik