

# Analiza dinamičkih stanja sustava vlastite potrošnje hidroelektrane

---

**Benšić, Tin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:466359>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

Sveučilišni studij elektrotehnike

ANALIZA DINAMIČKIH STANJA SUSTAVA  
VLASTITE POTROŠNJE  
HIDROELEKTRANE

Diplomski rad

Tin Benšić

Osijek, 2014.

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SINKRONI I ASINKRONI STROJ</b>	<b>2</b>
2.1	Naponske jednadžbe sinkronog stroja . . . . .	2
2.1.1	Matrica induktiviteta statora $\mathbf{L}_s$ . . . . .	5
2.1.2	Matrica induktiviteta rotora $\mathbf{L}_r$ . . . . .	9
2.1.3	Matrica međuinduktiviteta statora i rotora $\mathbf{L}_{sr}$ . . . . .	12
2.1.4	Matrica induktiviteta sinkronog stroja $\mathbf{L}$ . . . . .	14
2.2	Naponske jednadžbe asinkronog stroja . . . . .	16
2.2.1	Matrica induktiviteta statora $\mathbf{L}_s$ . . . . .	18
2.2.2	Matrica induktiviteta rotora stroja $\mathbf{L}_r$ . . . . .	20
2.2.3	Matrica međuinduktiviteta statora i rotora $\mathbf{L}_{sr}$ . . . . .	20
2.2.4	Matrica induktiviteta asinkronog stroja $\mathbf{L}$ . . . . .	23
2.3	Transformacija u dvoosni koordinatni sustav . . . . .	24
2.3.1	Transformacija varijabli - sinkroni stroj . . . . .	27
2.3.2	Transformacija varijabli - asinkroni stroj . . . . .	29
2.4	Mehaničko vladanje stroja . . . . .	30
2.4.1	Elektromagnetski moment stroja . . . . .	32
2.5	Matematički model sinkronog i asinkronog stroja sedmog reda . . . . .	33
2.6	Model u sustavu relativnih jedinica (per unit) . . . . .	34
2.6.1	Izbor baznih veličina . . . . .	34
2.6.2	Svođenje modela strojeva u p.u. sustav - Sinkroni stroj . . . . .	35
2.6.3	Svođenje modela strojeva u p.u. sustav - Asinkroni stroj . . . . .	39
<b>3</b>	<b>MODELIRANJE SINKRONOG GENERATORA U PROSTORU STANJA</b>	<b>40</b>
3.1	Modeliranje sustava u frekvencijskoj domeni . . . . .	40
3.1.1	Laplaceova transformacija . . . . .	40
3.1.2	Prijenosna funkcija . . . . .	40
3.1.3	Svojstva polova sustava . . . . .	41
3.2	Modeliranje u prostoru stanja . . . . .	42
3.3	Linearizacija . . . . .	44
3.4	Linearizirani model sinkronog stroja u prostoru stanja . . . . .	44
<b>4</b>	<b>SIMULACIJA DINAMIKE SUSTAVA VLASTITE POTROŠNJE HE JAJCE</b>	<b>48</b>
<b>1</b>		<b>48</b>
4.1	Podaci sustava vlastite potrošnje HE Jajce 1 . . . . .	48
4.2	Parametriranje generatora . . . . .	49
4.3	Parametriranje regulatora . . . . .	52
4.3.1	Regulator uzbude . . . . .	53
4.3.2	Regulator brzine vrtnje . . . . .	56
4.4	Parametriranje pumpi rashladne vode . . . . .	60
4.5	Simulacija dinamičkih odziva sustava . . . . .	64
4.5.1	Istovremeni zalet obje pumpe rashladne vode . . . . .	65
4.5.2	Sukcesivni zalet pumpi . . . . .	73
4.5.3	Zalet motora uz smanjeno pasivno opterećenje mreže . . . . .	85

4.5.4 Protufazno uključenje motora . . . . .	90
<b>5 Zaključak</b>	<b>95</b>
<b>Literatura</b>	<b>97</b>
<b>Popis slika</b>	<b>99</b>
<b>Popis tablica</b>	<b>101</b>
<b>Sažetak</b>	<b>102</b>
<b>Abstract</b>	<b>103</b>
<b>Životopis</b>	<b>104</b>
<b>PRILOG 1</b>	<b>105</b>
<b>PRILOG 2</b>	<b>107</b>
<b>PRILOG 3</b>	<b>112</b>

## Sažetak

U ovom diplomskom radu detaljno se opisuju matematičke modele sinkronog generatora i asinkronog motora sedmog reda. Ovi modeli nužni su za razumjevanje dinamičkih vladanja sinkronog i asinkronog stroja. Za sinkroni generator matematički se model prikazuje u prostoru stanja te linearizira kako bi se moglo odrediti svojstvene vrijednosti generatora u zadanoj radnoj točki, tj. njegove modove. Na temelju modova konkretnog generatora koji napaja vlastitu potrošnju HE Jajce 1 i step odziva generatora u praznom hodu te pomoću modalne analize parametrira se regulator uzbude i brzine vrtnje. S parametriranim regulatorima simuliraju se dinamički odzivi sustava. Najizraženije prijelazne pojave nastaju pri zaletu pumpi rashladne vode na sustav u pogonu. Na temelju simulacija donose se zaključke o načinu zaleta pumpi rashladne vode i utjecaja istih na sustav.

**Ključne riječi:** Sinkroni stroj, asinkroni stroj, matematički model, prostor stanja, uzbudni regulator, turbinski regulator, odziv, dinamika, hidroelektrana, vlastita potrošnja, pomoćni pogoni, prijelazne pojave

## Abstract

### Dynamic states analysis of hydroelectric power plant's auxiliary drives

A detailed description of seventh grade mathematical models for synchronous generator and induction motor is given in this masters thesis. Understanding these models is necessary for evaluation of dynamic responses of the represented machines. For synchronous generator, mathematical model is derived in linearized state space form. This form is used to calculate the eigenvalues, also called modes of the synchronous machine for given stationary state. Calculated modes of the synchronous machine that drives the auxiliary drives of the hydro power plant Jajce 1, together with step response test and modal analysis are used to choose the parameters for excitation and turbine regulators of the synchronous machine. With completed regulator parameters set, dynamic responses of the power plant auxiliary systems are simulated. The dynamic responses that result from starting the pumps "pumpa rashladne vode" 1 and 2 are the most emphasized dynamic responses. Simulation of various events regarding the two pumps brings conclusions about the way pumps are supposed to be started and their influence on the entire system.

**Key words:** Synchronous machine, induction machine, mathematical model, state space, excitation regulator, turbine regulator, response, dynamics, hydroelectric power plant, own consumption, auxiliary drives, transients