

# Hierarhijski sustavi regulacije napona i reaktivnih snaga u EES-u

---

Opačak, Hrvoje

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:848364>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**HIJERARHIJSKI SUSTAVI REGULACIJE NAPONA I  
REAKTIVNIH SNAGA U EES-U**

**Diplomski rad**

**Hrvoje Opačak**

**Osijek, 2015.**

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OPĆENITO O ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU .....	3
2.1. Konfiguracija mreže .....	3
2.1.1. Struktura radijalne mreže .....	4
2.1.2. Struktura prstenaste mreže .....	5
2.1.3. Struktura zamkaste mreže (Niskonaponska mreža) .....	6
2.1.4. Struktura zamkaste mreže (Srednjenaponska i visokonaponska mreža).....	6
2.2. Naponske prilike u mreži.....	7
2.3. Proračun pada napona.....	9
2.4. Utjecaj potrošača na prilike u mreži .....	11
2.5. Dijagram potrošnje .....	13
3. NAPONSKA STABILNOST .....	16
3.1. Osnovna teorija naponske stabilnosti .....	16
3.2. Statičke karakteristike prijenosnog voda.....	23
3.2.1. $P$ - $Q$ krivulje prijenosnog voda .....	23
3.2.2. $P$ - $V$ krivulje prijenosnog voda.....	26
3.2.3. $Q$ - $V$ krivulje prijenosnog voda .....	31
3.3. Analiza naponske stabilnosti u složenim mrežama elektroenergetskog sustava.....	35
3.3.1. Klasifikacija naponske stabilnosti.....	35
3.3.2. Metode analize .....	36
4. PODJELA REGULACIJSKIH UREĐAJA (VRSTE I TEHNIČKE KARAKTERISTIKE UREĐAJA ZA KOMPENZACIJU $V$ I $Q$ ).....	39
4.1. Uzbuda sinkronog generatora.....	40
4.1.1. Klasični sustavi regulacije uzbude sinkronih generatora .....	41
4.1.2. Statički sustav regulacije uzbude sinkronih generatora .....	43

4.2.	Regulacijski transformator .....	46
4.2.1.	Uzdužna regulacija transformatora .....	48
4.2.2.	Poprečna regulacija napona.....	50
4.3.	Kondenzatorske baterije .....	53
4.3.1.	Pojedinačna kompenzacija .....	54
4.3.2.	Grupna kompenzacija.....	55
4.3.3.	Centralna kompenzacija .....	55
4.3.4.	Mješovita kompenzacija.....	56
4.4.	Kompenzacija prigušnicom .....	57
4.5.	FACTS kompenzacija.....	58
4.5.1.	Statički VAR kompenzator (SVC).....	60
4.5.2.	Statički VAR kompenzator (STATCOM).....	62
4.6.	Praktične primjene FACTS naprava.....	63
5.	STRUKTURNA PODJELA REGULACIJE NAPONA I JALOVE SNAGE PREMA NAPONSKOM NIVOU.....	66
5.1.	Regulacija napona i jalove snage u prijenosnoj mreži .....	66
5.2.	Regulacija napona i jalove snage u distributivnoj mreži .....	69
6.	HIJERARHIJSKA PODJELA REGULACIJE NAPONA I JALOVE SNAGE EES-a .....	76
6.1.	Primarna regulacija.....	77
6.2.	Sekundarna regulacija.....	78
6.2.1.	Sekundarna automatska regulacija .....	78
6.2.2.	Regulacija napona i jalove snage bez sekundarne automatske regulacije .....	82
6.3.	Tercijarna regulacija .....	83
7.	ISPITIVANJE HIJERARHIJSKOG SUSTAVA REGULACIJE U MREŽI SLAVONIJE I BARANJE PROGRAMSKIM ALATOM „DIGSILENT POWER FACTORY“ .....	85
7.1.	Slučaj bez kompenzacije .....	87
7.2.	Slučaj kompenzacije kondenzatorskom baterijom .....	88
7.3.	Slučaj s kombinacijom kondenzatorske baterije i regulacijskih transformatora .....	90

7.4. Slučaj kombinacije kondenzatorske baterije i transformatora s ručnom regulacijskom preklopkom.....	93
8. ZAKLJUČAK.....	97
LITERATURA.....	99
SAŽETAK.....	102
ŽIVOTOPIS.....	103

## SAŽETAK

Regulacija napona i jalove snage u elektroenergetskom sustavu ističe se kao glavni način očuvanja naponske stabilnosti. Iako je prisutnost jalove snage u sustavu povezana s gubicima, tj. padovima napona na reaktivnim elementima mreže, u drugu ruku je iznimno korisna za regulaciju napona, ali i potrebna industrijskim potrošačima. Uspoređujući izmjerenu vrijednost na izlazu iz regulacijskog uređaja s referentnom vrijednošću na ulazu u regulator, regulatori napona i jalove snage reagiraju na promjene u mreži. Hijerarhijski je sustav regulacije podjeljen na primarnu, sekundarnu i tercijarnu. Regulacija je poredana od najužeg (lokacijskog) do najšireg (globalnog) djelovanja za promatrani EES. U budućnosti se očekuje veća upotreba statičkih naprava za kompenzaciju jalove snage temeljenim na energetskej elektronici, a time i veći prijenosni kapacitet sustava s povećavanjem njegove sigurnosti i pouzdanosti.

**Ključne riječi:** Sredstva za regulaciju napona, naponska stabilnost, regulacija napona, kompenzacija jalove snage.

## ABSTRACT

### HIERARCHICAL VOLTAGE AND REACTIVE POWER CONTROL IN THE ELECTRICAL POWER SYSTEM

The best method for keeping the voltage stability is using the voltage and reactive power control in the electrical power systems. Although reactive power flow in the system is related with power losses and voltage drops respectively, it's very useful for controlling the voltage rate in its limits but is also required from industrial loads. Comparing the output voltage values of the regulating devices to some actual fixed reference value on the regulator's input, regulators react to the changes in the power system. Hierarchical system of controlling the voltage and reactive power is divided into three controlling circuits. These are primary, secondary and tertiary, established from the narrowest (local) to the widest (global) control of the system. In the future of reactive power and voltage control, new regulation methods are expected, considering static resources that belong to power electronics-based systems. Usage of so called FACTS devices will increase security and reliability, as well as transmission capacity of its electrical power grid.

**Key words:** Devices for voltage regulation, voltage stability, voltage regulation, reactive power compensation.