

# Primjena elektroničkih energetske pretvarača u sustavima obnovljivih izvora energije

---

Špoljarić, Mario

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:200:256074>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-26**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**PRIMJENA ELEKTRONIČKIH ENERGETSKIH  
PRETVARAČA U SUSTAVIMA OBNOVLJIVIH IZVORA  
ENERGIJE**

**Diplomski rad**

**Mario Špoljarić**

**Osijek, 2015.**

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 1.1. Zadatak diplomskog rada.....   | 1  |
| 2. ENERGIJA.....  | 2  |
| 2.1. Energetska učinkovitost.....   | 2  |
| 2.1.1. Učinkovita uporaba energije .....  | 3  |
| 2.2. Klasifikacija energetskih izvora .....   | 4  |
| 2.3. Energija sunca.....  | 4  |
| 2.3.1. Sunčevo zračenje .....   | 6  |
| 2.4. Energija vjetra.....   | 6  |
| 2.5. Prednosti obnovljivih izvora energije.....   | 7  |
| 3. ELEKTRONIČKI ENERGETSKI PRETVARAČI.....  | 8  |
| 3.1. Pretvarači koji povezuju izmjeničnu mrežu i istosmjerno trošilo .....                        | 8  |
| 3.1.1. Neupravljivi ispravljači.....  | 8  |
| 3.1.2. Upravljivi ispravljač.....   | 10 |
| 3.1.3. Diodni ispravljač s uzlaznim pretvaračem u kaskadnom spoju .....                           | 14 |
| 3.1.4. Upravljivi ispravljač s pulsno-širinskom modulacijom (PWM upravljivi ispravljač).....      | 15 |
| 3.2. Pretvarači koji povezuju istosmjernu mrežu i istosmjerno trošilo .....                       | 17 |
| 3.2.1. Silazni pretvarač.....   | 18 |
| 3.2.2. Uzlazni pretvarač .....  | 19 |
| 3.2.3. Uzlazno-silazni pretvarač.....   | 21 |
| 3.3. Pretvarači koji povezuju istosmjernu mrežu i izmjenično trošilo .....                        | 22 |
| 3.3.1. Sinusna pulsno-širinska modulacija (SPWM) .....  | 22 |
| 3.3.2. Rad jednofaznog izmjenjivača .....   | 24 |
| 3.3.3. Rad trofaznog izmjenjivača .....   | 26 |
| 3.4. Pretvarači koji povezuju izmjeničnu mrežu i izmjenično trošilo .....                         | 27 |
| 3.4.1. Sklopna kontrola .....   | 28 |
| 3.4.2. Fazna kontrola.....  | 28 |
| 4. PRIMJENA ELEKTRONIČKIH ENERGETSKIH PRETVARAČA U SUSTAVIMA<br>OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE ..... | 29 |
| 4.1. Fotonaponski sustavi .....   | 29 |
| 4.1.1. Osnove fotonaponskih ćelija.....   | 29 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.2. Osnovni dijelovi fotonaponskog sustava .....                                     | 30 |
| 4.1.3. Mrežni fotonaponski sustavi .....  | 31 |
| 4.1.4. Otočni fotonaponski sustavi.....   | 32 |
| 4.1.5. Regulator punjenja .....   | 33 |
| 4.1.5.1. Baterije u fotonaponskim sustavima .....                                       | 34 |
| 4.1.5.2. Šant regulator punjenja.....   | 35 |
| 4.1.5.2.1. Pulsirajući šant regulator punjenja .....                                    | 36 |
| 4.1.5.2.2. Linearni šant regulator punjenja .....                                       | 36 |
| 4.1.5.3. Serijski regulator punjenja .....  | 36 |
| 4.1.5.3.1. Pulsirajući serijski regulator punjenja .....                                | 37 |
| 4.1.5.3.2. Pulsirajući serijski dvokoračni regulator punjenja s konstantnom strujom.... | 37 |
| 4.1.5.4. Regulator punjenja, pulsno-širinski moduliran (PWM).....                       | 37 |
| 4.1.5.5. Izbor regulatora punjenja .....  | 38 |
| 4.1.5.6. Rad bez regulatora punjenja .....  | 39 |
| 4.1.5.7. Korištenje niskonaponskih samoregulirajućih modula .....                       | 39 |
| 4.1.5.8. Korištenje velikih baterija ili malih fotonaponskih sustava .....              | 39 |
| 4.1.6. Izmjenjivači fotonaponskih sustava .....   | 40 |
| 4.1.6.1. Centralni izmjenjivač .....  | 41 |
| 4.1.6.2. String izmjenjivači .....  | 42 |
| 4.1.6.3. Multi-string izmjenjivači.....   | 43 |
| 4.1.6.4. Mikro-izmjenjivači .....   | 44 |
| 4.1.6.5. Topologija izmjenjivača .....  | 45 |
| 4.1.6.5.1. Pravokutni i modificirani pravokutni izmjenjivači.....                       | 45 |
| 4.1.6.5.2. Sinusni izmjenjivači .....   | 48 |
| 4.1.6.5.3. Višerazinski pretvarači .....  | 51 |
| 4.1.6.6. Princip rada izmjenjivača .....  | 52 |
| 4.1.6.7. Izvedbe izmjenjivača.....  | 53 |
| 4.1.6.7.1. Izmjenjivači s niskofrekventnim transformatorom.....                         | 54 |
| 4.1.6.7.2. Izmjenjivači s visokofrekventnim transformatorom.....                        | 54 |
| 4.1.6.7.3. Izmjenjivači bez transformatora .....  | 55 |
| 4.2. Vjetroelektrane .....  | 57 |
| 4.2.1. Karakteristike vjetra.....   | 57 |
| 4.2.2. Vjetroturbina .....  | 57 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.3. Spajanje vjetroagregata na mrežu .....  | 63 |
| 4.2.3.1. Vjetroelektrane s fiksnom brzinom vrtnje.....                                   | 63 |
| 4.2.3.2. Asinkroni generator s elektronički upravljivim vanjskim djelatnim otporom ..... | 64 |
| 4.2.3.3. Asinkroni generator s dvostranim napajanjem.....                                | 65 |
| 4.2.3.4. Generator povezan s mrežom preko frekventnog pretvarača.....                    | 66 |
| 4.2.3.5. Sinkroni generator s pretvaračem brzine i momenta.....                          | 66 |
| 4.2.4. Pretvarači za vjetroagregate .....  | 67 |
| 4.2.4.1. Sinkroni generator s permanentnim magnetom .....                                | 67 |
| 4.2.4.1.1. Tiristorski izmjenjivač.....  | 67 |
| 4.2.4.1.2. Izmjenjivač s tvrdim sklapanjem.....  | 68 |
| 4.2.4.1.3. Izmjenjivač s istosmjernim međukrugom.....                                    | 68 |
| 4.2.4.1.4. Dvostrano napajani pretvarači .....   | 69 |
| 4.2.4.1.5. Nekonvencionalne sheme .....  | 70 |
| 4.2.4.2. Dvostruko napajani asinkroni generator .....                                    | 71 |
| 4.2.4.2.1. Kramer pogon i tiristorski pretvarači.....                                    | 71 |
| 4.2.4.2.2. Dvostrano napajani pretvarači .....   | 71 |
| 4.2.4.2.3. Matrični pretvarač.....   | 73 |
| 4.2.4.3. Asinkroni generatori.....   | 74 |
| 4.2.4.4. Sinkroni generatori .....   | 74 |
| 4.2.4.5. Frekvencijski pretvarači u vjetroagregatima .....                               | 74 |
| 4.2.4.6. Upravljanje mrežnim pretvaračem .....   | 75 |
| 4.2.5. Spajanje na mrežu .....   | 76 |
| 4.3. Hibridni sustavi.....   | 80 |
| 4.3.1. Hibridni sustav s vjetroagregatom i FN sustavom.....                              | 81 |
| 4.3.1.1. Ćuk-SEPIC pretvarač .....   | 81 |
| 4.3.2. Hibridni sustav s fotonaponskim sustavom i dizel-agregatom .....                  | 84 |
| 4.3.3. Fotonaponski izmjenjivač .....  | 85 |
| 4.4. Gorivne ćelije .....  | 86 |
| 4.4.1. Tehnologija gorivnih ćelija .....   | 86 |
| 4.4.1.1. Važnost gorivnih ćelija.....  | 87 |
| 4.4.1.2. Vrste gorivnih ćelija .....   | 88 |
| 4.4.1.3. Električno ponašanje gorivnih ćelija .....                                      | 90 |
| 4.4.1.4. Potreba za elektroničkim pretvaračima .....                                     | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.4.1.5. Istosmjerni pretvarači .....                             | 93  |
| 4.4.1.5.1. Vrste istosmjernih pretvarača .....                    | 94  |
| 4.4.1.6. Uzlazni pretvarač.....                                   | 94  |
| 4.4.1.7. Kaskadni uzlazni istosmjerni pretvarač.....              | 96  |
| 4.4.1.8. Miješani uzlazni istosmjerni pretvarač.....              | 98  |
| 4.4.1.9. Izolirani pretvarači .....                               | 101 |
| 4.4.1.10. Flyback pretvarač .....                                 | 101 |
| 4.4.1.11. Izravni pretvarač.....                                  | 102 |
| 4.4.1.12. Protutaktni pretvarač .....                             | 104 |
| 4.4.1.13. Polumosni pretvarač .....                               | 105 |
| 4.4.1.14. Mosni pretvarač.....                                    | 106 |
| 4.4.2. Izmjenjivači.....  | 107 |
| 4.4.2.1. Jednofazni izmjenjivač .....                             | 107 |
| 4.4.2.2. Polumosna konfiguracija.....                             | 107 |
| 4.4.2.3. Polumosna konfiguracija s omskim teretom .....           | 108 |
| 4.4.2.4. Polumosna konfiguracija s radnoinduktivnim teretom ..... | 108 |
| 4.4.2.5. Mosna konfiguracija.....                                 | 108 |
| 4.4.2.6. Mosna konfiguracija s omskim teretom .....               | 109 |
| 4.4.2.7. Mosna konfiguracija s radno-iduktivnim teretom .....     | 110 |
| 4.4.2.8. Trofazni izmjenjivač .....                               | 110 |
| 4.4.2.9. Z izmjenjivač.....                                       | 111 |
| 4.4.2.10. Rezonantni izmjenjivač .....                            | 113 |
| 5. ZAKLJUČAK .....  | 114 |
| LITERATURA.....   | 116 |
| SAŽETAK.....  | 118 |
| ABSTRACT .....  | 119 |
| ŽIVOTOPIS .....   | 120 |

## SAŽETAK

Diplomski rad opisuje pojam energiju i iz kojih obnovljivih izvora se može proizvesti energija. Opisani su elektronički energetske pretvarači i dana je njihova podjela. Elektronički energetske pretvarači se dijela na pretvarače koji povezuju izmjeničnu mrežu i istosmjerno trošili, pretvarači koji povezuju istosmjernu mrežu i istosmjerno trošilo, pretvarači koji povezuju istosmjernu mrežu i izmjenično trošilo i na pretvarače koji povezuju izmjeničnu mrežu i izmjenično trošilo. Također je svaka podjela pretvarača opisana. U zadnjem dijelu opisana je primjena elektroničkih energetske pretvarača u fotonaponskim sustavima, vjetroelektranama, hibridnim sustavima i gorivnim ćelijama.

Ključne riječi: energija, pretvarač, izmjenjivač, ispravljач, obnovljivi izvori energije, fotonaponski sustavi, vjetroelektrane, hibridni sustavi, gorivne ćelije.

## **ABSTRACT**

Paper describes energy and renewable energy sources. It contains descriptions of power converters for connecting AC source with DC load, DC source with AC load, AC source with AC load and DC source with DC load. Paper also describes applications of power converters in PV systems, wind turbines, fuel cells and hybrid systems.

Key words: energy, converter, inverter, rectifier, renewable energy source, photovoltaic system, wind-turbines, hybrid systems, fuel cells