



Universitatea Tehnică a Moldovei  
Programul de masterat **Inginerie Electrică**

**DEZVOLTAREA SISTEMELOR DE  
CONTROL MPPT PENTRU INSTALAȚIILE  
ELECTRICE FOTOVOLTAICE**

Teză de master

Masterand: Igor MOȘANU

Conducător: Lect.univ. Marcel BURDUNIUC

Chișinău – 2022

**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Facultatea Energetică și Inginerie Electrică**  
**Departamentul Inginerie Electrică**

**Admis la susținere**

Șef departament, dr.conf. Ilie NUCA

---

”\_” \_\_\_\_\_ 2022

**DEZVOLTAREA SISTEMELOR DE  
CONTROL MPPT PENTRU INSTALAȚIILE  
ELECTRICE FOTOVOLTAICE**

**Teză de master**

Masterand: \_\_\_\_\_ (Igor Moșanu)

Conducător: \_\_\_\_\_ (Marcel Burduniuc)

**Chișinău – 2022**

## Rezumat

**Teza conține:** 75 pagini, 43 ilustrații, 4 tabele, 61 surse bibliografice.

**Cuvinte cheie:** instalație electrică, fotovoltaic, PV, baterie acumulator, convertor, energie solară, eficiență energetică, controller, MPPT, simulare, control.

**Obiect de studiu:** Obiectul cercetării îl constituie instalațiile electrice fotovoltaice bazate pe convertoare fotovoltaice de energie solară cu reglare extremă a puterii panourilor solare.

**Scopul general al tezei:** Scopul tezei este studierea și dezvoltarea sistemelor MPPT pentru a crește eficiența energetică a instalațiilor electrice fotovoltaice autonome prin cele mai fiabile și eficiente metode de control.

Pentru a atinge scopul propus, este necesar să se rezolve următoarele **obiective:**

- ✓ să se studieze structurile instalațiilor electrice fotovoltaice;
- ✓ să se analizeze metodele de calcul a parametrilor tehnici ai instalațiilor electrice fotovoltaice;
- ✓ să se analizeze metodele și algoritmi de reglare a puterii extreme a panourilor solare;
- ✓ dezvoltarea și simularea unui sistem de reglare extremă în trepte a puterii panourilor solare;
- ✓ să se efectueze cercetarea parametrilor de reglare extremă a puterii panourilor solare pe un model de simulare în MatLab Simulink;

## Summary

**The thesis contains:** 75 pages, 43 illustrations, 4 tables, 61 bibliographic sources.

**Keywords:** electrical installation, photovoltaic, PV, battery, converter, solar energy, energy efficiency, controller, MPPT, simulation, control.

**Object of study:** The object of the research is the photovoltaic electrical installations based on photovoltaic converters of solar energy with extreme regulation of the power of the solar panels.

**The general purpose of the thesis:** The purpose of the thesis is to study and develop MPPT systems to increase the energy efficiency of autonomous photovoltaic electrical installations through the most reliable and efficient control methods..

In order to achieve the proposed aim, the following **objectives** need to be addressed:

- ✓ to study the structures of photovoltaic electrical installations;
- ✓ to analyze the methods for calculating the technical parameters of photovoltaic electrical installations;
- ✓ to analyze the methods and algorithms for regulating the extreme power of solar panels;
- ✓ development and simulation of an extreme step adjustment system of solar panel power;
- ✓ to research the parameters of extreme regulation of the power of solar panels on a simulation model in MatLab Simulink;

# CUPRINS

<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>8</b>
<b>1. CARACTERISTICA TEHNICĂ GENERALĂ A ECHIPAMENTELOR DE TRANSFORMARE A ENERGIEI SOLARE ÎN ENERGIE ELECTRICĂ ȘI METODE DE CREȘTERE A EFICIENȚII ENERGETICE.....</b>	<b>9</b>
1.1 Considerații generale despre energia soarelui.....	9
1.2 Scheme structurale ale instalațiilor electrice fotovoltaice autonome.....	10
1.3 Caracteristici și regimuri de funcționare a panourilor fotovoltaice și bateriilor acumulatori.....	11
1.4 Echipamente electrice din instalația electrică fotovoltaică.....	22
1.5 Metode de creștere a eficienței energetice a instalațiilor cu convertoare de energie solară fotovoltaică.....	27
<b>CONCLUZII Cap.1.....</b>	<b>30</b>
<b>2. DETERMINAREA PARAMETRILOR ȘI CARACTERISTICILE INSTALAȚIILOR ELECTRICE FOTOVOLTAICE.....</b>	<b>31</b>
2.1 Metode de determinare a parametrilor și caracteristicilor instalațiilor electrice fotovoltaice autonome.....	31
2.2 Metodologie pentru proiectarea instalațiilor electrice fotovoltaice pe baza calculului bilanțului energetic și a valorilor statistice ale graficului de insolație.....	35
2.3 Analiza comparativă a eficienței energetice și a parametrilor instalațiilor electrice fotovoltaice.....	42
<b>CONCLUZII Cap.....</b>	<b>46</b>
<b>3. SIMULAREA EXPERIMENTALĂ A SISTEMELOR DE CONTROL ȘI REGLARE EXTREMĂ A PUTERII PANOURILOR SOLARE.....</b>	<b>47</b>
3.1 Convertoare de putere a panourilor solare.....	47
3.2 Metode de reglare extremă a puterii panourilor solare.....	53
3.3 Simularea sistemelor pentru reglarea extremă a puterii în trepte a unui panou solar.....	56
<b>CONCLUZII Cap.3.....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUZII GENERALE.....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>71</b>

## INTRODUCERE

Eficiența energetică în conversia energiei solare în energie electrică, la ora actuală, este scăzută în comparație cu alte tipuri de surse regenerabile de energie, la panourile fotovoltaice randamentul ajungând la cca 10%. Pe vreme senină, însorită, pe suprafața pământului cade o cantitate mare de energie solară, însă, instalațiile electrice fotovoltaice, nu sunt capabile să converteze toată această energie. Acest fapt se datorează subutilizării capacității de generare a energiei de către panourile solare, dar o importanță majoră o are și materialul din care sunt confecționate ele.

Subutilizarea energiei bateriilor solare de până la 30% se explică prin lipsa sistemelor de reglare extremă a puterii PV, în majoritatea instalațiilor electrice fotovoltaice autonome, deși este indicată utilizarea acestora chiar dacă instalația electrică fotovoltaică este staționară sau mobilă cu posibilitate de urmărire automată a soarelui (solar tracking systems).

Din aceste considerente se caută soluții pentru a putea ridica eficiența energetică, problema fiind foarte actuală atât pe plan național, din punct de vedere a dependenței energetice a Republicii Moldova mai ales în urma crizei energetice din ultima perioadă, dar și pe plan internațional unde se renunță la sursele tradiționale de energie în favoarea celor regenerabile, din cauza poluarii masive a mediului ambiant.

Energia solară are un viitor de mare perspectivă, se observă creșterea de surse de energie regenerabile fotovoltaice, mai ales în țările industrial dezvoltate, acest fapt se datorează și dezvoltării tehnologiilor de fabricare a semiconductoarelor tot mai accesibile economic, sistemelor de control din ce în ce mai eficiente, dar și a dezvoltării softurilor de programare, modelare și simulare, cum ar fi MatLab Simulink, care permite proiectanților de a parametriza instalațiile electrice fotovoltaice cât mai eficient din punct de vedere energetic, și cât mai ieftin din punct de vedere economic.

## BIBLIOGRAFIE

1. V. COTOROBAI, T.MATEESCU, "Sisteme de valorificare a energiei recuperabile și regenerabile" Vol.II, Matrix ROM, București 2019, 126 p.
2. T. AMBROS, V.ARION, I.SOBOR P.TODOS "Surse regenerabile de energie" U.T.M "Tehnica-Info" Chișinău 1999, 434 p.
3. I.SOBOR ș.a. "Surse regenerabile de energie" Curs de prelegeri. U.T.M, Chișinău 2006, 370p.
4. I.BOSTAN ș.a. "Sisteme de conversie a energiilor regenerabile" Tehnica-Info, Chișinău 2007, 585p.
5. I.NUCA, "Identificarea și modelarea sistemelor" curs de prelegeri, U.T.M, Chișinău 2020
6. O.MANGOS "Ingineria energiilor regenerabile" curs de prelegeri, U.T.M, Chișinău 2020
7. V.BLAJĂ, "Convertoare și echipamente electronice avansate" curs de prelegeri, U.T.M, Chișinău 2020
8. Никулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М.:Сов. радио, 1980. – 264 с.
9. Totul despre panouri solare și energia soarelui: Tipurile de panouri solare.  
[Resursă web] – 2015.: <http://www.solnpanels.com/vidy-solnechnyh-batarej/>
10. Солнечные батареи альтернативные источники энергии: Арсенид-галлиевые солнечные батареи. [Resursă web]//: <http://www.solar-battery.com.ua/arsenid-gallievyyesolnechnyie-batarei/>
11. Отто А.И. "Контроллер заряда автономных фотоэлектрических энергетических установок,, Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Труды XIV международного студенческого научно – технического семинара. Томск, 2012 г. 215 с.
12. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. / Г. Раушенбах. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 360 с.
13. Васильев А.М., Ландсман А.П. "Полупроводниковые фотопреобразователи " М.: Сов. радио, 1971. 246 с.
14. Отто А.И. "Исследование энергетической эффективности солнечных батарей при недостаточной освещенности и температурной нестабильности фотоэлектрических элементов,, Научная сессия ТУСУР: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Томск, 2012 г. 182 с.

15. С.Н. Борисов, С.М. Городецкий, Г.М. Григорьева, К.Н.Звягина, "Влияние интенсивности света и температуры на параметры кремниевых фотопреобразователей", Гелиотехника. – 1983, №4.
16. Кудряшов В.С., Ш.Н. Исляев "Концепция бортовой системы электроснабжения связного геостационарного ИСЗ" Т.1. Аппаратура управления и преобразования энергии: Сб. науч. трудов НПО «Полюс» 1992, 224с.
17. Ю.А. Шиняков, А.В. Осипов, М.М. Черная „Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей” Альтернативная энергетика и экология 2015, № (8-9).
18. Все о релейной защите: Режим работы аккумуляторных батарей [resursã web] 2009:[http://rza.org.ua/elteh/read/211--Rezhim-raboti-akkumulyatornih-batarey\\_211.html](http://rza.org.ua/elteh/read/211--Rezhim-raboti-akkumulyatornih-batarey_211.html)
19. Багоцкий В.С., Скундин А.М., "Химические источники тока" Энергоатомиздат, 1981. 360 с.
20. Никель-кадмиевые (Ni-Cd) аккумуляторы. [resursã web] Электрон. текстовые дан., 2018. <http://www.powerinfo.ru/accumulator-nicd.php>
21. Энциклопедия по машиностроению XXL: Аккумуляторы никель - железные [resursã web] // Электрон. текст. дан., 2016. <http://mash-xxl.info/info/267021>.
22. Гелевая технология [resursa web]/ Электрон. текстовые дан., 2016, <https://www.varta-automotive.ru/ru-ru/technology/gel-batterytechnology>
23. FLEXmaxChargeControllers. [resursa web]/ Электрон. Текстовые дан. 2016. <http://www.outbackpower.com/forum/viewforum.php>
24. АльтЭко: Контроллеры заряда. [resursa web] Электрон. текстовые дан. 2013: <http://www.altecolgy.ru/kontrolleryzaryada/outback>
25. MPPT контроллеры: Что такое MPPT контроллеры.[resursa web], 2016, <http://www.solarhome.ru/ru/control/mppt>
26. SunSaver MPPT. [resursa web]/Электрон. текстовые дан. 2015: <http://www.morningstarcorp.com/en/sunsavermppt>
27. INVETRA: Высокоэффективный контроллер заряда MorningstarTriStar-MPPT. [resursã web] / Электрон. текстовые дан. 2004: <http://www.inverta.ru/ms//1//11>
28. SOLNECHNYE.RU: О контроллере Tracer-2215RN. [resursa web]/ Электрон. текстовые дан. 2012. <http://www.solnechnye.ru/news/otzyv-o-controllere-zaryada-MPPT-Epsolar-Tracer-2215RN.htm>



29. Продукция: Контроллеры заряда [resursa web] / Электрон. текстовые дан. 2014 :  
<http://www.solarroof.ru/products/54>
30. Контроллер EPSolar Tracer-2215RN MPPT [resursa web] / Электрон. текстовые дан. 2014.: <http://heliosresource.ru/kontroller-epsolar-tracer-2215rn-mppt-1224v-20a.html>
31. EcoVolt: Солнечные батареи и необходимое оборудование. [resursa web]/Электрон. текст. дан. 2014: [http://ecovolt.ru/catalog/Kontrollery\\_solnechnye/kontroller\\_zaryada\\_steca\\_solarix\\_mppt\\_2010](http://ecovolt.ru/catalog/Kontrollery_solnechnye/kontroller_zaryada_steca_solarix_mppt_2010)
32. Солар Грид: StecaSolarix MPPT 1010. / Электрон. текстовые дан. 2014  
[http://solargrid.ru/magazin?mode=folder&folder\\_id=16493406](http://solargrid.ru/magazin?mode=folder&folder_id=16493406)
33. StecaSolarix MPPT. [resursa web]/Электрон. текстовые дан. 2015:  
[http://www.steca.com/index.php?Steca\\_Solarix\\_MPPT\\_en](http://www.steca.com/index.php?Steca_Solarix_MPPT_en)
34. Солнечный контроллер ProsolarSunStar MPPT. [resursa web] / Электрон. текстовые дан. 2015.: <http://www.prosolar.ru/ru/>
35. Электростанции. [resursa web]/Электрон. текстовые дан. 2015.:  
[http://www.electrogid.ru/kontroller\\_zaryada\\_prosolar\\_sunstar](http://www.electrogid.ru/kontroller_zaryada_prosolar_sunstar)
36. ProsolarSunStar MPPT SS-40CX 40A Контроллер заряда. [resursa web] / Электрон. текстовые дан. 2013.: <http://energyplus.opt.ru/good/1213814>
37. Xantrex XW-MPPT 60-150. [resursa web] / Электрон. текстовые дан. 2013.: <http://www.solarinntech.ru/products/detail.php?ID=220>
35. Контроллер заряда EPSolarTracer 2215 RN 12/24 В 20 А. [resursa web ] / Электрон. текстовые дан. 2012.: [http://ingenerdom.ru/catalogue\\_goody-goody\\_id-518.html](http://ingenerdom.ru/catalogue_goody-goody_id-518.html)
36. Groumpos P.P., Papageorgiou G. "An optimal sizing method for standalone photovoltaic power systems" Solar Energy, 351p.
37. Hybrid2. The Hybrid System Simulation Model. Theory Manual. University of Massachusetts. Amherst, Massachusetts, 1996, 195 p.
38. Chapman R.N. "A simplified technique for designing least cost standalone pv/storage systems" 19th IEEE Photovolt Spec. Conf., New Orleans, 1987. NY, 1121p.
39. Groumpos P.P. „An optimal sizing method for standalone photovoltaic power systems" Solar Energy, 351p.
40. Ashenayi K., Ramakumar R. "Design of solar energy systems for supplying power to remote communications centers" INTELEC 86: Int. Telecommun. Energy Conf., Toronto, 332p.

41. Охоткин Г.П. "Методика расчета мощности солнечных электростанций", Вестник Чувашского университета. 2013.- № 3. 230р.
42. Иродионов А.Е. "Реверсивно-балансовый метод проектирования автономных солнечных фотоэлектрических установок" дис. ... кандидата технических наук : 05.14.08 / Всерос. НИИ электрофикации сельского хозяйства. Москва, 2000
43. Иванчура В.И. "Имитационная модель автономной системы электропитания" Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2014, Т.325 №4.
44. Типы свинцово-кислотных аккумуляторов [resursa web] /Электрон. Текст. дан. 2013: <http://www.solarhome.ru/basics/batteries/batteries.htm>
45. AbdEssalamBadoud, Mabrouk KHEMLICHE Modeling, design and simulation of stand-alone photovoltaic power systems with battery storage. Leonardo Journal of Sciences, 2013.
46. Фотоэлектрические системы. Перспективы. Состав. Параметры [resursa web]/Электр.текст.дан.2013.: <http://pochit.ru/fizika/32633/index.html>
47. Аналитика [топ-10]: Топ-10 солнечных электростанций [resursa web] / Электрон. текстовые дан. 2016.: <http://topneftegaz.ru/analisis/view/7620>
48. Шиняков Ю.А. "Автономная фотоэлектрическая энергетическая установка" / Доклады ТУСУРа, 2011. № 2 , часть 1, 283р.
49. Gulin M., Pavlovic T., Vasak M. "Photovoltaic panel and array static models for power production prediction" : Integration of manufacturers' and on-line data. Journal of Renewable Energy, 2016, 413р.
50. Осипов А. В. "Сопоставительный анализ энергетической эффективности преобразования энергии солнечной батареи преобразователями постоянного напряжения" /Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2013, №. 1
51. Привалов В.Д. "Оценка эффективности применения экстремального регулятора в автономных" СЭП, КПИ, 1981.
52. Зиновьев Г.С. "Основы силовой электроники" Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.
53. All About Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controllers [web resource] 2013: <https://www.solar-electric.com/mppt-solar-charge-controllers.html>
54. GEOS24705/Solar Photovoltaics [web resource] 2011: <http://geosci.uchicago.edu/~moyer/GEOS24705/2011/Notes/SolarPhysics>

55. Rahmani R. "Implementation of fuzzy logic maximum power point tracking controller for photovoltaic system" ,Am. J. Applied Sci. 2013.
56. Egiziano L. "Performances improvement of maximum power point tracking perturb and observe method" , Proc. of IASTED International Conference on Advanced Technology in the Environmental Field (ATEF 2006), Lanzarote, Spain. 2006.
57. Hohm D. P., Ropp M. E. "Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed", Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty- Eighth IEEE. – IEEE, 2000. 1702p.
58. Hohm D. P., Ropp M. E. "Comparative study of maximum power point tracking algorithms" Progress in photovoltaics: Research and Applications. 2003, №. 1. 62p.
59. Tung Y. M., Hu A. P., Nair N. K. "Evaluation of micro controller based maximum power point tracking methods using dSPACE platform ", Australian university power engineering conference, 2006.
60. Шиняков Ю. А. "Экстремальное регулирование мощности солнечных батарей автоматических космических аппаратов" , Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика СП Королева (национального исследовательского университета). 2007.
61. Шиняков Ю.А. "Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок", Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. № 2, ч. 2, 2010 107p.