

**MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII
AL REPUBLICII MOLDOVA**

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

Admis la susținere

Șef departament:

HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.

„_____” _____ 2020

**Studiul și analiza tehnologiilor de perspectivă și a sistemelor
corespunzătoare de stocare a energiei**

Teză de master

Student: _____ **MORARI Vasiliu,**
gr. EE-19M

Conducător: _____ **TÎRȘU Mihai,**
conf. univ., dr.

Chișinău, 2020

ADNOTARE

Autor – MORARI Vasile. **Titlul** – *Studiul și analiza tehnologiilor de perspectivă și a sistemelor corespunzătoare de stocare a energiei.*

Structura lucrării: lucrarea conține o introducere, cinci capitole, concluzii, bibliografie din 20 titluri și 21 link-uri utilizate, 93 pagini, 52 figuri, 1 tabele.

Cuvinte-cheie: stocarea energiei electrice, sisteme de stocare, baterii electrice, sistem electric, sistem casnic.

Problematika studiului: determinarea sistemelor ce țin de îmbunătățirea eficienței energetice și înmagazinarea energiei electrice.

Obiectivele studiului: minimizarea consumului de energie, micșorarea pierderilor de energie, dezvoltarea implementării sistemelor de stocare a energiei electrice.

Rezultate obținute: în urma studiului s-a demonstrat posibilitatea creșterii eficienței energetice prin implementarea sistemelor de stocare a energiei electrice și a diferitor metode de acest tip.

ABSTRACT

Author – LAȘCU Vadim. **Title** – *Study and analysis [technologies perspective](#) and appropriate energy storage systems.*

Thesis structure: the paper contains an introduction, five chapters, conclusions, bibliography of 20 titles and 21 links used, 93 pages, 52 figures, 1 table.

Keywords: electricity storage, storage systems, electric batteries, electrical system, household system.

Study issues: determining the systems related to improving energy efficiency and storing electricity.

The study's objectives: minimizing energy consumption, reducing energy losses, developing the implementation of electricity storage systems.

Result obtained: The study demonstrated the possibility of increasing energy efficiency by implementing electricity storage systems and various such methods.

CUPRINS

| | |
|---|----|
| INTRODUCERE | 6 |
| 1. STOCAREA ENERGIE ELECTRICE | 8 |
| 1.1. Formularea problemei..... | 8 |
| 1.2. Centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare..... | 11 |
| 1.3. Energia mareelor..... | 14 |
| 1.4. Stocarea electrochimică a energiei electrice. Principalele proprietăți fizico-chimice ale hidrogenului | 16 |
| 1.5. Pila de combustie hidrogen-oxigen..... | 25 |
| 1.6. Stocarea în bobine supraconductoare..... | 26 |
| 2. STOCAREA ÎN BATERII DE ACUMULARE | 31 |
| 2.1. Bateriile de mare capacitate vor schimba profund piața de energie..... | 31 |
| 2.2. Baterii Plumb-acid..... | 35 |
| 2.3. Acumulatoare de tip Ni-Cd..... | 36 |
| 2.4. Baterii Li-Ion..... | 37 |
| 2.5. Generalizarea parametrilor funcționali..... | 43 |
| 3. ACUMULATOARE CU FLUX DE ELECTROLIT | 45 |
| 3.1. Baterii utility-scale sunt doar primul pas..... | 45 |
| 3.2. Baterie bio..... | 48 |
| 3.3. Setarea absorbției CO ₂ | 50 |
| 3.4. ABB lansează o instalație de stocarea a energie de ultima generație..... | 51 |
| 4. DENSITATEA DE PUTERE ȘI DE ENERGIE, CALCULAREA BANCULUI ELECTRIC | 53 |
| 4.1. Stadiul în care se găsesc diversele sisteme de stocare | 53 |
| 4.2. Timpul de restituire a energiei | 54 |
| 4.3. Costul unui sistem de stocare a energiei..... | 56 |
| 4.4. Calcularea bancului energetic..... | 57 |
| 5. MODELUL ELECTROCHIMIC AL BATERIEI | 63 |
| 5.1. Relația lui Peukert..... | 63 |
| 5.2. Modelul SHEPHERD (Modelul R_{int})..... | 64 |
| 5.3. Modelul neliniar al circuitului echivalent al bateriei..... | 67 |
| 5.4. Modelul LUMPED al circuitului echivalent al bateriei..... | 69 |
| 5.5. Impactul temperaturii asupra capacității..... | 70 |
| 5.6. Starea de încărcare..... | 70 |
| 5.7. Vârsta bateriei..... | 71 |
| 5.8. Modelul RC-circuit echivalent propus, pentru încărcare la tensiune constantă..... | 72 |
| 5.9. Modelul RC-modelarea matematică a circuitului de încărcare a bateriei..... | 73 |
| 5.10. Modelul RC-modelarea matematică a circuitului de depozitare a bateriei | 75 |
| 5.11. Modelul RC-modelarea matematică a circuitului de descărcare a bateriei..... | 76 |
| 5.12. Modelul RC-determinarea a capacității echivalente C..... | 77 |
| 5.13. Modelul RC- determinarea a capacității echivalente C-pentru modelarea proceselor de suprafață | 78 |
| 5.14. Modelul RC-modelarea matematică a circuitului de încărcare la curent constant..... | 79 |
| 5.15. Modelul RC-modelarea matematică a circuitului pentru regim staționar..... | 81 |
| 5.16. Modelul RC-modelarea matematică a circuitului pentru descărcare la curent constant..... | 81 |
| 5.17. Rezultate experimentale..... | 83 |
| CONCLUZII | 89 |
| BIBLIOGRAFIE | 91 |

INTRODUCERE

O restricție întâlnită în producerea de energie electrică se datorează faptului că energia electrică trebuie consumată atunci când se generează și nu poate fi conservată decât prin stocarea ei.

Stocarea eficientă a energiei devine unul dintre cele mai spectaculoase și sensibile domenii de activitate care stimulează dezvoltarea procedurilor, echipamentelor și tehnologiilor de conversie și stocare fiind o condiție exclusivă pentru utilizarea competitivă și eficientă a tuturor surselor regenerabile de energie (solară, eoliană, maree etc.).[1]

În toate timpurile, din momentul descoperirii treptate a diferitor forme de energii și introducerii lor în circuitul uzual casnic sau industrial se căutau modalități de a depozita, de a face rezerve de energii.

Această dorință se explică prin faptul că între perioadele "producerea – consum" de energie ("disponibilitatea – necesarul") între regimul de consum al energiilor (termice și electrice) și regimul de producere (sau disponibilitate naturală) există un "defasaj" de timp și de cantitate, cu alte cuvinte are loc discrepanța evidentă dintre momentul și locul producerii energiei și momentul și locul consumării acesteia. În unele cazuri și în dependență de forma energiilor acest "defasaj" se apreciază la câteva ore (diurne), în altele, în câteva zile (săptămânale) sau chiar câteva luni (sezoniere). Totodată știința și practica cu mai mulți ani în urmă au demonstrat că posibilitățile de stocare a energiei electrice și termice sunt destul de limitate (din punct de vedere al volumelor și duratei) și costisitoare.

Pachetul de problemele și schimbările globale din sectoarele energeticii tradiționale, provocările ecologice, implicarea în bilanțul energetic mondial al surselor regenerabile, schimbările tehnice, economice și tarifare au readus stocarea energiilor pe ordinea de zi energetică.[2]

"Noi trebuie să ajungem la stocarea energiilor electrice regenerabile, fără de care vom avea o limită pe care nu o vom putea depăși. Astfel de investiții sunt poate chiar mai eficiente decât în stațiile de pompare. "

Un Sistem de Stocare a Energiei poate fi realizat apelând la numeroase tehnologii de stocare, succesul unui proiect depinzând de alegerea celei mai potrivite soluții care trebuie să asigure atât performanțele tehnice optime în raport cu aplicația cât și performanțele economice traduse prin doi indicatori esențiali: costurile de instalare și costul MWh livrat. Aceste Sisteme de Stocare a Energiei – numeroase și apelând la cunoștințe din diverse domenii ale tehnicii, au la bază principii de conversie cu caracter mecanic: sisteme de pompaj hidro, stocare în aer comprimat, volanți, electrochimic Pb-acid, Nickel Cadmiu – NiCd, Lithium Ion – Li Ion, Sodium Sulfur – NaS, ZEBRA – NaNiCl, Vanadium Redox-VRB, Zinc Bromine – ZnBr, chimic: Hydrogen – H₂, electromagnetic și termic: capacitor dublu strat, stocare magneți supraconductori, săruri topite.[3]

Pornind de la cele expuse problema depozitării (stocării) energiei, apărute odată cu utilizarea la scară industrială a energiilor regenerabile la momentul actual a devenit mult mai actuală și mai importantă și cu mai multe posibilități de a fi realizate în practică având în vedere discrepanța dintre momentul și

locul producerii energiei și momentul și locul consumării acesteia, caracteristică acestui grup de generare.[2]

În tendințele semnalate recent de Power & Energy privind The Grid Of the Future, se prognozează că stocarea poate deveni o soluție alternativă care să ofere rezolvări pentru viitor: “Storage can be an alternative for frequency regulations or short term reserves” iar stocarea energiei disponibilă în parcurile solar/eoliene va deveni o componentă obligatorie a viitoarelor dezvoltări. Varietatea situațiilor la care un SSE poate interveni eficient într-o rețea este numeroasă, dar important de semnalat este faptul că eficiența tehnico/economică al acestora, nu este aceeași pentru toate aplicațiile, minimizarea celor 2 parametri: costul MW instalat și costul MWh livrat, fiind esențială ! [4]

Problemele cu care se confruntă astăzi rețelele electrice –în faza de dezvoltare SMART GRID pe care o parcurgem– sunt numeroase, iar Sistemele de Stocare a Energiei (SSE) pot oferi în mod sigur și economic, răspuns la unele din ele, menționând în cele ce urmează o serie de posibilități:

- pornirea echipamentelor după defect asigurând fără a apela la rețea pentru energia necesară (cazuri de black out, black start);
- stocarea energiei în perioada de gol de sarcină și prețuri mici și restituirea la consumator în perioadele de vârf și cost mai ridicat;
- asigură datorită electronicii de putere asociată, controlul și variația rapidă a puterii active și reactive, menținând parametrii optimi ai rețelei;
- reducerea nevoii de a prevedea unități convenționale, SSE asigurând funcția de “spinning reserve”;
- stabilitatea sistemului, prin amortizarea variației puterii și frecvenței;
- asigurarea rapidă prin energia stocată, la cereri suplimentare solicitate de consumer;
- integrarea surselor intermitente în rețea soare, vânt, hidro -dependente de vreme-, stocarea energiei când timpul o permite și restituirea ei atunci când este necesar a fi livrată;
- stocarea excesului de energie în cazul unor condiții meteo favorabile, în condițiile în care nu există cereri și eficientizarea unor parcuri eoliene, fotovoltaice.[4]

BIBLIOGRAFIE

1. <https://www.agir.ro/buletine/2222.pdf>
2. www.instalatii.ro/energiei-neconventionale
3. www.theecologist.org
4. https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020/power-sector?utm_content=buffer61c85&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer
5. www.waterhistory.org
6. www.oceanenergycouncil.com
7. Oniciu L. Conversia electrochimica a energiei. Bucuresti, 1977
8. Mogoreanu N., Golovanov N., Hidrogenul: una din modalitatile de stocare a energiei electrice si de aplatizare a curbei de sarcina, FOREN, 2010, Neptun, Romania
9. Frunchin A. N., Electrodneye protesy, Moscva, Nauca, 1987
10. <http://old-kursk.ru/kp/kp044.html> old-kursk.ru
11. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/363-367_0.pdf
12. https://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm, CC BY-SA 4.0, [Link](#)
13. <https://www.nwradu.ro/2019/01/bateriile-de-mare-capacitate-vor-schimba-profund-piata-de-energie/>
14. <http://www.tehnosat.ro/Produse/Acumulatori-Solari>
15. <https://books.google.md/books?isbn..>
16. https://ro.wikipedia.org/wiki/Acumulator_cu_plumb
17. <https://www.nwradu.ro/2019/01/bateriile-de-mare-capacitate-vor-schimba-profund-piata-de-energie/>
18. <https://renen.ru/bio-batareya-issledovateli-ispolzuyut-bakterii-dlya-vyrabotki-elektroenergii/>
19. <https://hightech.plus/2020/06/15/naiden-sposob-povisit-emkost-litii-ionnih-batarei>
20. <https://www.eupd-research.com/en/2020/04/21/5-maerz-2020-staatliche-hilfen-fuer-unternehmen-rechtliche-regelungen-und-termine-2/>
21. <https://renen.ru/chislo-ustanovlennyyh-domashnih-nakopitelej-energii-v-frg-prevysilo-200-tysyach/>
22. <https://new.abb.com/news/detail/41056/abb-unveils-modern-production-plant-for-energy-storage-systems-in-baden>
23. <https://gisprofi.com/gd/documents/abb-zapustila-v-badene-sovremennyj-zavod-po-izgotovleniyu-sistem.html>
24. Electrical Energy Storage. White Paper. CEI, Geneve, Dec 2011
25. Grid Energy Storage. US Dep of Energy, Dec 2013.
26. Repondre au defi de l'energie. Le role de la CEI de 2010-a 2030. White Paper. CEI, Geneve, 2010.
27. Claudiu Dumbrăveanu: Evoluții legislative de natură tehnică privind integrarea surselor regenerabile în SEN. FOREN, București, 2014, 22-26 Juin, S2-3.
28. Amenajarea hidroelectrică a râului Olt pe sectorul Izbiceni–Dunăre. Centarala Hidroelectrică Islaz. Hidroelectrică Slatina, 2012.
29. Tănăsescu Florin Teodor: Sisteme de stocare a energiei. Studiu CER, 242, Oct. 2013.
30. <https://www.constructosu.eu/cum-se-calculeaza-bancul-de-baterii/>

31. Bumby, J. R., P. H. Clarke, and I. Forster, U of Durham (UK), 'Computer modelling of the automotive energy requirements for internal combustion engine and battery electric-powered vehicle', IEE Proceedings, Vol 132, Pt. A, No. 5, Sept 1985, pp. 265-279)
32. Moore, Stephen and Merhdad Eshani, Texas A&M, 'An Empirically Based Electrosource Horizon Lead-Acid Battery Model', Strategies in Electric and Hybrid Vehicle Design, SP-1156, 1996, pp.135-138
33. Unnewehr, L. E. and Nasar, S. A., Electric Vehicle Technology, John Wiley, pp. 81-91, 1982)
34. Salameh et al 1992 and Appelbaum, J and Weiss, R., 'Estimation of Battery Charge in Photovoltaic Systems', 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 513-518, 1982).
35. Bailey, K. E. and B. K. Powell, Ford Research Laboratories, 'A Hybrid Electric Vehicle Powertrain Dynamic Model', Proceedings of the American Control Conference, 1995, pp. 1677-1682)
36. Powell, B. K., K. E. Bailey, and S. R. Cikanek, Ford Research Laboratories, 'Dynamic Modeling and Control of Hybrid Electric Vehicle Powertrain Systems', IEEE Control Systems, Oct 1998, pp. 17-33)
37. Roan, Vernon P. and Anand Raman, U of Florida, 'An Approach to Incorporating Age and Electrolyte Temperature Effects on Performance Simulation of Electric/Hybrid Vehicle batteries', American Chemical Society, 1993, pp. 2.229-2.237)
38. Ekdunge, Per, 'A simplified model of the lead/acid battery', Jornal of Power Sources, Vol 46, pp. 251-262, 1993) and at Virginia Tech (Merkle, 1997).
39. Facinelli, W. A., 'Modeling and Simulation of Lead-Acid Batteries for Photocoltaic Systems', 1983 18st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), Volume 4, 1983)
40. <https://www.scribub.com/tehnica-mecanica/Bateria81217.php>