Izbira baterijskega sistema za uporabo v domačem okolju za glajenje konic

Tomaž Terčič, Jakob Tomas Bolta, Marko Meža, Matej Meža, Iztok Humar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: iztok.humar@fe.uni-lj.si

Choosing a battery system for use in the home for peak shifting

Abstract. *This article explores the selection of battery systems for home use, specifically focusing on their application in peak shifting which refers to the reduction of electrical power consumption during periods of high demand, which can significantly lower electricity bills and reduce strain on the power grid. Through comparative analysis and case studies, the article provides insights and recommendations for homeowners considering the adoption of battery systems to optimize their energy usage and achieve greater energy independence.*

Since the battery system needs to be managed dynamically, the article also introduces technologies for conversion between the grid and battery cells. These technologies include inverters and a control communication module, which integrates the battery system as part of a larger system for optimizing energy consumption/storage.

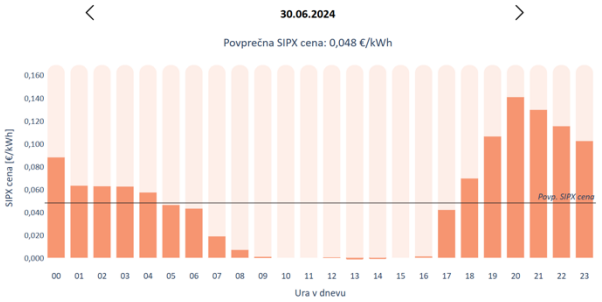
1 Uvod

V članku sta predstavljena pregled in primerjava primernih baterijskih sistemov. Baterijski sistemi so med seboj primerjani na podlagi kemije/tehnologije uporabljenih celic. Ker je potrebno z baterijski sistemom upravljati dinamično, so predstavljene tudi tehnologije za pretvorbo med omrežjem in baterijskimi celicami, ki jih sestavljajo razsmerniki in krmilno komunikacijski modul, s katerim baterijski sistem povežemo kot del večjega sistema za optimizacijo porabe/shranjevanja energije.

S temi pristopi lahko nadgradimo sončne elektrarne, da v obdobjih, ko proizvajajo več energije od porabe, s to energijo polnimo baterije. Tako lahko z baterijami premikamo energijo, proizvedeno v obdobjih nižjih cen, v obdobja z višjimi cenami.

Cilj je identificirati in proučiti ustrezne baterije, ki bi predstavljale dobre rešitve, da bi jih z nadaljnjim delom lahko priključili v omrežje in jih ustrezno opravljali s konkretnim sistemom upravljanja z energijo.

S pomočjo napredne analitike lahko modeliramo podatke pridobljene iz pametnih števcev in tako optimiziramo količino in kapaciteto baterij, da zadostimo energetskim potrebam v različnih časovnih obdobjih, tudi ko niso na voljo obnovljivi viri oziroma je njihova proizvodnja zmanjšana. Povečamo tudi ekonomičnost in porabo primarnih surovin zaradi optimalne količine baterijskih hranilnikov. Tako lahko dosežemo razbremenitev omrežja v času, ko je to najbolj obremenjeno z vidika porabe električne energije in moči.



Slika 1. Prikaz povprečne SIPX cene električne energije, vir: https://www.bisol-energija.si/dinamicni-dom

2 Izbira in karakteristika baterij

Baterijo sestavljajo elektrokemijske celice, ki so vezane v galvanske člene. Teh je v bateriji običajno več in so vezani zaporedno ali vzporedno, odvisno od želene napetosti in kapacitete [2].

2.1 Tipi baterij

V grobem baterije delimo na primarne in sekundarne. Slednje lahko ponovno polnimo, medtem ko primarnih ne moremo in so zavržene po izteku življenjske dobe. Ker so namenjene enkratni uporabi, imajo navadno visoko energijsko gostoto oz. kapaciteto, se počasneje izpraznijo. Prav tako so enostavne za uporabo in niso pretirano drage. V določenih izvedbah lahko izpraznjeno elektrodo zamenjamo z novo in tako baterijo še naprej uporabljamo, v primeru, da imamo za anodo kovino, za katodo pa zrak. Sekundarnim baterijam v splošnem pravimo tudi akumulatorji. Uporablja se jih tudi tam, kjer menjavanje baterij ni možno ali pa je menjavanje drago ter zamudno [2].

Najpogostejše vrste baterij so litij-ionske, svinčeno-kislinske in nikelj-kadmijeve baterije. Litij-ionske baterije so priljubljene zaradi svoje visoke energijske gostote, dolge življenjske dobe in majhne teže. Svinčeno-kislinske baterije so cenovno dostopnejše, vendar imajo nižjo energijsko gostoto in krajšo življenjsko dobo. Nikelj-kadmijeve baterije so trpežne, a vsebujejo strupene materiale.

2.2 Litij-Ionske baterije (Li-ion)

Litij-ionske baterije so ena najpogosteje uporabljenih tehnologij za shranjevanje energije. Uporabljajo litijeve soli kot elektrolit in imajo visoko energijsko gostoto.

Prednosti: visoka energijska gostota (lahko shranijo veliko energije v majhnem prostoru), dolga življenjska doba (več tisoč polnilnih in praznilnih ciklov), nizka stopnja samopraznjenja (energijo ohranijo dlje časa, ko niso v uporabi).

Slabosti: varnostna vprašanja (občutljive na prenapetost, pregrevanje in mehanske poškodbe, kar lahko vodi do požara ali eksplozije), cena (so dražje v primerjavi z nekaterimi drugimi vrstami baterij), okoljski vpliv (recikliranje in odstranjevanje lahko predstavljata okoljski problem).

2.3 Svinčeno-kislinske baterije

Tradicionalne baterije, ki uporabljajo svinec in kislino kot elektrolit. Pogosto se uporabljajo v avtomobilih, UPS sistemih in za shranjevanje energije.

Prednosti: nizki stroški (cenovno dostopne in enostavne za proizvodnjo), zanesljivost (dolgoletna uporaba in preizkušena tehnologija), reciklabilnost (visoka stopnja recikliranja materialov).

Slabosti: nizka energijska gostota (zahtevajo več prostora za shranjevanje enake količine energije), kratka življenjska doba (manjše število ciklov polnjenja in praznjenja), vzdrževanje (zahtevajo redno vzdrževanje in preverjanje nivoja elektrolita).

2.4 Litij-železo-fosfatne baterije ($LiFePO_4$)

Litij-železo-fosfatne ($LiFePO_4$) baterije so vrsta litij-ionskih baterij, ki uporabljajo litij-železo-fosfat kot katodni material. Te baterije so znane po svoji varnosti, dolgi življenjski dobi in stabilnosti, kar jih naredi primerne za številne aplikacije, vključno z električnimi vozili, shranjevanjem energije iz sončnih celic in UPS sistemi.

Prednosti: varnost ($LiFePO_4$ baterije so izjemno stabilne in odporne na pregrevanje. Imajo nižje tveganje za požar in eksplozijo v primerjavi z drugimi litij-ionskimi baterijami), dolga življenjska doba (te baterije lahko prenesejo več tisoč polnilnih in praznilnih ciklov, kar je bistveno več kot pri drugih litij-ionskih baterijah), nizka stopnja samopraznjenja (ko niso v uporabi, izgubijo zelo malo energije, kar povečuje njihovo uporabnost v dolgoročnih aplikacijah).

Slabosti: nižja energijska gostota (v primerjavi z drugimi litij-ionskimi baterijami imajo nižjo energijsko gostoto, kar pomeni, da za enako količino shranjene energije potrebujejo več prostora), cena (medtem ko se stroški $LiFePO_4$ baterij zmanjšujejo, so še vedno lahko višji v primerjavi z nekaterimi drugimi tehnologijami, kot so svinčeno-kislinske baterije), nižja napetost (imajo nekoliko nižjo nominalno napetost na celico (3,2 V) v primerjavi z drugimi litij-ionskimi baterijami (3,6-3,7 V), kar lahko vpliva na zasnovo sistema).

3 Izbira in karakteristika razsmernikov

Pri integraciji baterij v omrežje, so ključnega pomena tudi razsmerniki oz. inverterji, ki pretvarjajo enosmerno električno energijo (DC) iz solarnih panelov v izmenično električno energijo (AC), ki jo lahko uporabimo za napajanje doma, poslovnih prostorov ali omrežja.

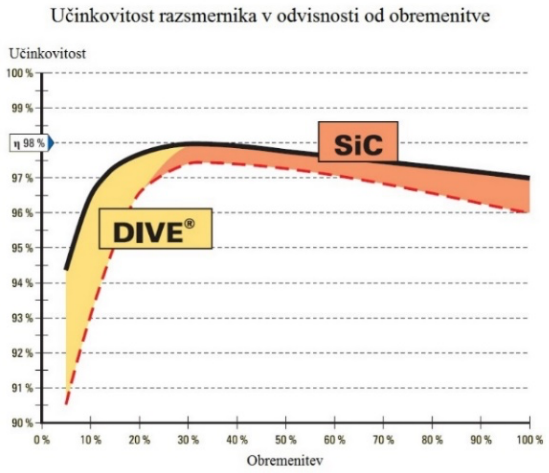
3.1 Učinkovitost razsmernikov

Učinkovitost razsmernikov je bistvenega pomena za zagotavljanje, da čim večji delež proizvedene energije doseže končne uporabnike.

Stopnja učinkovitosti razsmernika določa, koliko vhodne energije se uspešno pretvori v uporabno izhodno energijo. Sodobne izvedbe dosegajo učinkovitost med 95 % in 98 %. To pomeni, da se 95 % do 98 % vhodne energije pretvori v uporabno energijo, medtem ko se preostanek izgubi kot toplota.

3.2 Krivulja učinkovitosti

Na spodnji sliki vidimo krivuljo učinkovitosti za razsmernik Diehl Ako Platinum TL. Iz krivulje je razvidno, da ta razsmernik doseže učinkovitost nad 94 % že pri 5 % obremenitvi, kar omogoča učinkovito delovanje elektrarne tudi pri oblačnem vremenu ter v večernih in jutranjih urah, ko so solarni dobitki nizki [1].



Slika 2. Krivulja učinkovitosti razsmernika, vir: https://tehnosol.si/sites/default/files/diehlako_karakteristika.jpg

Napredne tehnologije, kot je sledenje točki največje moči (MPPT), optimizirajo pretvorbo energije iz sončnih celic. MPPT tehnologija omogoča razsmerniku, da vedno deluje pri optimalni točki moči, kar povečuje skupno učinkovitost sistema [3].

Med delovanjem razsmerniki proizvajajo toploto, kar povzroča izgube energije. Kakovostni razsmerniki imajo učinkovite hladilne sisteme za zmanjšanje toplotnih izgub. Dobro hlajenje je ključnega pomena za vzdrževanje visoke učinkovitosti in dolgoročne zanesljivosti sistema.

4 BMS sistem

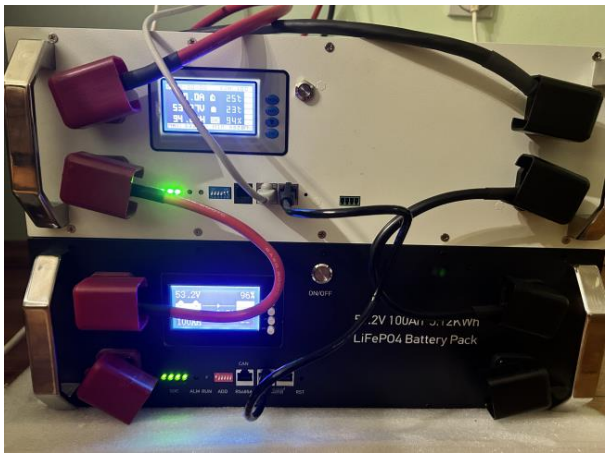
Sistem za upravljanje z baterijami (BMS) je ključnega pomena za zagotavljanje varnosti in učinkovitosti baterij. Njegova primarna naloga je, da analizira in uravnava polnjenje in praznjenje baterij, da prepreči poškodbe zaradi prekomernega polnjenja ali praznjenja.

Sistem lahko komunicira z ostalimi sistemi, da zagotovi informacije o stanju baterije in omogoči napredne funkcije, kot sta daljinsko upravljanje in diagnostika napak. Pri tem sta najpogosteje uporabljena komunikacijska protokola RS485 in CANbus. RS485 je idealen za aplikacije, ki zahtevajo robustno serijsko komunikacijo na dolge razdalje. Njegova prednost je predvsem v tem, da omogoča večtočkovno komunikacijo, kar je pomembno pri povezovanju več BMS sistemov v omrežje. CANbus je učinkovitejši takrat, ko je sistem izpostavljen okolju z elektromagnetnimi motnjami, npr. v avtomobilskih in industrijskih aplikacijah. Naprednejši BMS omogočajo komunikacijo in krmiljenje tudi preko ETH ali WiFi z uporabo že pripravljenih API vmesnikov.

4.1 Gradniki sistema

Predstavljeni primer obsega sončno elektrarno zmogljivosti 2,3 kWp, inverter Growatt SPF3500ES, zmogljivosti 3500 W in dve bateriji, vsaka 5,12 kWh, skupaj 10 kWh. Komunikacija med baterijami oz. BMS poteka preko RS485 protokola.

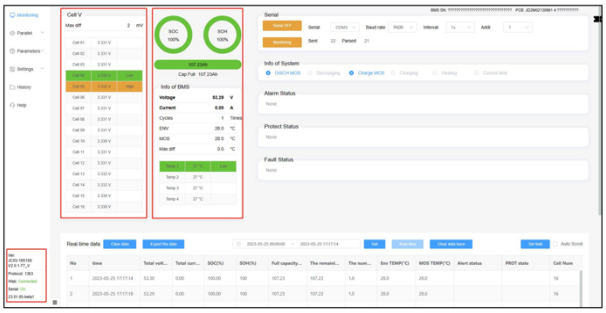
Inverter Growatt SPF3500ES (3,5 kW) ima razpon vhoda MPTT 200-450 V za sončne panele. Vhod za baterije je nizko napetostni med 48 in 55 V. Uporabljen sistem je nominale napetosti 51,2 V in kapacitete 2x 100 Ah. Nudi možnost obratovanja v hibridnem načinu, kot podpora vhodnemu omrežju, brez baterij ali pa otočno, kar pomeni, da istočasno energijo porablja iz baterij in omrežja. Prednost omenjenega razsmernika je možnost polnjenja baterij v tarifnih obdobjih z nižjo ceno električne energije za uporabo v dražjih obdobjih.



Slika 3. Primer BMS sistema, vir: lasten arhiv

4.2 Komunikacija

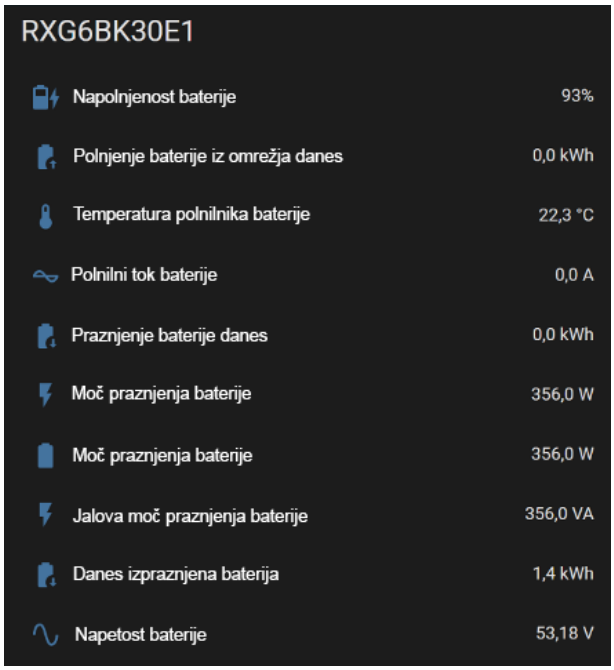
Za komunikacijo z mobilnimi aplikacijami je uporabljen Growatt WiFi modul s povezavo na Growatt oblačno storitev. Namenjen je spremljanju delovanja inverterjev, ki uporabljajo modul ShineWIFI. Zaradi namena raziskovanja in preizkušanja smo podatke preusmerili na lokalni Home Assistant server.



Slika 4. Nadzorna plošča BMS, vir: navodila proizvajalca BMS

Grott vtičnik je namenjen branju, razčlenjevanju ter posredovanju surovih metrik, ki se pošiljajo na strežnike Growatt. Slednji ponujajo API vmesnik za branje in pisanje registrov inverterja in dataloggerja.

Preko modula se lahko spreminjajo ali prebirajo podatki, npr. stanje baterije, polnjenje, moč solarnega sistema, moč porabnikov, temperatura sistema in drugi parametri.



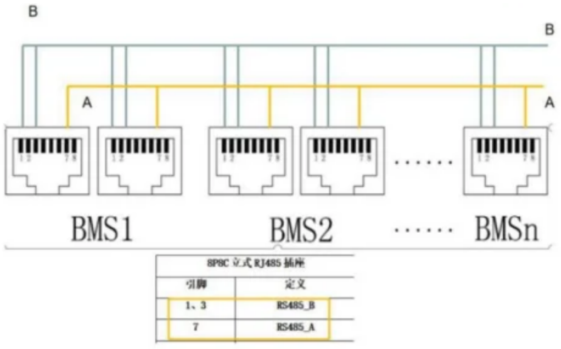
Slika 5. Spremljanje stanja v realnem času, vir: lasten arhiv

Uporabili smo 2 različna BMS sistema: DR power in KS power. Med seboj sta povezana preko ethernet kabla, v konfiguraciji master-slave. Možna povezava je tudi neposredno preko RS485 ali CANbus na inverter.

4.3 Programska oprema

Ker imata bateriji vsaka drugačen BMS, je bilo potrebno namestiti ustrezne različice vgrajene programske opreme.

Programiranje poteka preko USB serial vmesnika, ki je pretvornik na RS485 nivo. Končni rezultat »sinhronizacije« baterij je prikaz stanj obeh baterij na enem podatkovnem vodilu. V primeru Growatt inverterja je to povprečje SoC obeh baterij.



Slika 6. Shema vezave BMS sistemov, vir: navodila proizvajalca BMS

4.4 Težave pri določanju SoC

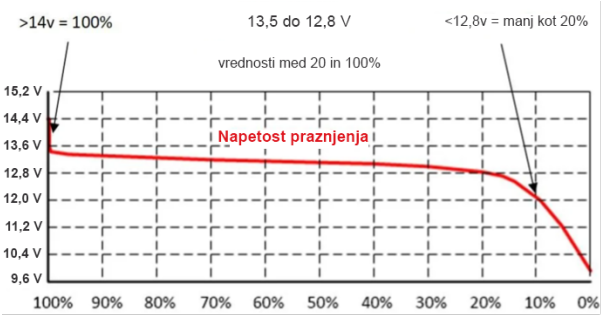
Zanimiv pojav, ki smo ga zaznali pri spremljanju delovanja BMS sistema so tudi nelinearni skoki v stanju SoC sistema.

Baterije LiFePo4, ki so najpogosteje uporabljene v baterijskih hranilnikih, imajo lastnost majhne spremembe napetosti glede na stanje napolnjenosti. Tako se velikokrat zgodi, da BMS sistem napačno oceni stanje napolnjenosti med polnjenjem in je zato prehod med 90 % in 100 % nenaden.

4.5 Prednosti tovrstnega sistema

Zaradi želje po varnem in zanesljivem delovanju baterij, BMS sistem zaznava in preprečuje prenizko ali previsoko napetost na bateriji in vselej spremlja ali so celice enako napolnjene. S sporočanjem SoC stanja napolnjenosti inverterju, sistem po potrebi preklopi na omrežno delovanje v primeru izpraznitve baterij.

Inverter v svoji programski opremi omogoča nastavitev točk preklopa na omrežno napajanje ali napajanje iz baterij glede na stanje napolnjenosti. V primeru izpada omrežja, ko obratuje v omrežnem načinu, pa preklopi na baterijo in deluje do skrajne točke izpraznitve, ki je tudi določena v registru inverterja.



Slika 7. Graf nelinearnih skokov, vir: https://www.promasterforum.com/attachments/life-voltage-jpg.96974/

5 Zaključek

Baterijski sistemi ponujajo obetavno rešitev za shranjevanje energije, saj omogočajo hranjenje presežkov energije in njeno uporabo v obdobjih visoke porabe ali nizke proizvodnje. Prav tako zmanjšujejo potrebo po uporabi fosilnih goriv in prispevajo k nižanju emisij toplogrednih plinov.

Z integracijo BMS-a v baterijske sisteme lahko optimiziramo njihovo učinkovitost in varnost, kar povečuje zanesljivost celotnega energetskega sistema. Tako lahko BMS igra ključno vlogo pri prehodu na trajnostne energetske rešitve in pripomore k bolj zeleni in energetsko učinkovitejši prihodnosti.

Pridobljena znanja in izkušnje bodo neposredno uporabljivi pri domačih podjetjih, ki razvijajo na tem področju.

Literatura

[1] Kaj je dobro vedeti o razsmernikih (inverterjih), https://tehnosol.si/kaj-je-dobro-vedeti-o-razsmernikih-inverterjih

[2] D. Kopač, P. Ziherl, Univerza v Ljubljani Fakulteta za matematiko in fiziko Oddelek za fiziko: Baterije (izbrana poglavja iz uporabne fizike), 2009

[3] Basics of Maximum Power Point Tracking (MPPT), https://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php#:~:text=MPPT%20or%20Maximum%20Power%20Point,PV%20module%20under%20certain%20conditions.

[4] The Growatt Inverter Monitor, https://github.com/johanmeijer/grott

[5] Growatt SPF 5000 ES + Shine WiFi-F (dokumentacija), https://7sun.eu/growatt-spf-5000-es-shine-wifi-f,3,2224,2972?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw7ZO0BhDYARIsAFttkCgJxvN7o_IIKEOKjZUH4Qeh89NJpAaOJd9BW3nh0UauOUHclGHAIUgaAgD0EALw_wcB

[6] C. Lebrón, F. Andrade, E. O'Neill, A. Irizarry, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Puerto Rico, Mayaguez Campus: An Intelligent Battery Management System for Home Microgrids

[7] K. V. Raj, K. Rayudu, G. Battapothula, Electrical and Electronics Engineering B.V Raju, Institute of Technology Narsapur, India: Critical Review on Battery Management Systems