

EKSPLOATACIJA BATTERY ENERGY STORAGE-A U DERMS-U**OPERATION OF BATTERY ENERGY STORAGE IN DERMS**Luka Bosanac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je opisan model kao i parametri baterije za skladištenje električne energije (engl. Battery Energy Storage). Opisane su oblasti korišćenja, najpoznatiji tipovi i degradacija baterije. U praktičnom delu rada razvijena je odgovarajuća aplikacija kojom je prikazano korišćenje Battery Energy Storage-a u kombinaciji sa obnovljivim izvorima energije. Aplikacija poseduje Dashboard sa prikazom proizvodnje, potrošnje, cene i količinu energije u Battery energy storage-u u toku 24 časa. Svaki storage može raditi u tri režima: peak shaving, price arbitrage i defaultni („life save“) režim. Kao najkonkurentniji Battery Energy storage posmatra se litijum-jonska baterija spram koje se računa i degradacija u aplikaciji.

Gljučne reči: model, degradacija, obnovljivi izvori energije, Battery Energy Storage

Abstract This paper describes the model as well as the parameters of the battery for electrical energy. Areas of use, the most well-known types and degradation of the battery are described. In the practical part, an appropriate application was developed which shows the use of Battery Energy Storage in combination with renewable energy sources. The application has a dashboard with a display of production, consumption, price and amount of energy in Battery Energy Storage during 24 hours. Each storage can operate in three modes: peak shaving, price arbitrage and default mode. The most competitive Battery Energy Storage is considered to be the lithium-ion battery against which the degradation in the application is calculated.

Keywords: model, degradation, renewable sources, Battery Energy Storage

1. UVOD

Battery Energy Storage (BES) je tehnologija za skladištenje električne energije koja koristi elektro-hemijske reakcije. Cilj BES-a jeste skladištenje ili upotreba električne energije na zahtev što donosi velike benefite za elektroenergetske sisteme. BES je jedna od najupotreblijivijih i najkorisnijih tehnologija u elektroenergetskim sistemima.

Kako se sve više koriste obnovljivi izvori energije, sistem podleže novim izazovima. S obzirom na varijabilnost proizvodnje obnovljivih izvora energije, predviđanje proizvodnje uveliko se uslošnjava.

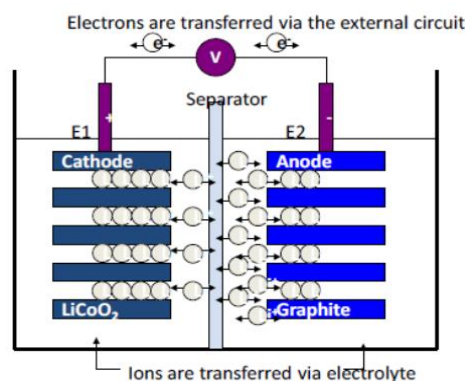
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Bošković, docent

Svaki elektroenergetski sistem teži balansu između potrošnje i proizvodnje električne energije. Ključna tehnologija za energetska održivost upravo je BES. Brojni su benefiti korišćenja BES-a kao što je energetska arbitraža, regulacija frekvencije, regulacija napona, peak shaving kao i korišćenje u data centrima i „pametnim“ građevinama [1].

2. MODEL I PARAMETRI BATERIJA

Svaki element u električnom kolu ima svoje električne parametre, a svaka od osnovnih ćelija jedne baterije ima svoju elektromotornu silu i unutrašnju otpornost. Ćelije se mogu međusobno redno vezivati, čime se postiže povećanje ukupnog napona na krajevima baterije (akumulatora). Što je veći broj ćelija vezan na red to je veći napon na krajevima baterije. Kada je baterija neopterećena kroz nju ne teče struja i na krajevima baterije vlada elektromotorna sila praznog hoda. Kada se baterija optereći, strujno kolo se zatvara i struja teče kroz potrošač i bateriju. Princip rada Li-Ion ćelije baterije je prikazan na slici 1.



Slika 1. Princip rada ćelije Li-Ionske baterije

2.1. Kapacitet

Kapacitet baterije predstavlja jedan od veoma važnih parametara sa aspekta opterećenja same baterije kao izvora jednosmernog napona (struje). Jedinica koja se koristi za kapacitet baterije je amper-čas (Ah). Jedan amper-čas (1Ah) predstavlja struju baterije od jednog ampera koja protekne za vremenski interval od jednog sata (1h).

2.2. Energija

Osnovna namena svake baterije jeste da skladišti električnu energiju. Za energiju Battery Energy Storage-a, koristi se jedinica vat-čas (Wh). Energija koja se izražava jednim amper-časom predstavlja snagu od 1W koja izvrši rad za 1 sat.

2.3. Specifična energija

Specifična energija baterije je parametar koji se definiše kao uskladištena električna energija po kilogramu baterije. Jedinica kojom se izražava ova veličina jeste vat-čas po kilogramu (Wh/kg).

2.4. Gustina energije

Gustina električne energije kod baterija definiše se kao odnos uskladištene električne energije po kubnom metru (Wh/m^3).

2.5. Specifična snaga

Specifična snaga baterija izražava se u vatima po kilogramu (W/kg) ili ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$). Specifična snaga se često definiše i kao gustina energije koju je baterija u stanju da isporuči u jedinici vremena. Neke baterije imaju veoma veliku specifičnu energiju ali sa druge strane imaju lošu specifičnu snagu. Ovo znači da mogu uskladištiti veoma veliku količinu energije ali tu istu uskladištenu energiju predaju potrošaču u dužem vremenskom intervalu [4].

2.6. Ostali parametri

Pored prethodno navedenih parametara koji predstavljaju bitne podatke prilikom analize i odabira odgovarajućih, ništa manje važni su i sledeći parametri:

1. Amper-čas efikasnost
2. energetska efikasnost baterija
3. samopražnjenje baterija
4. geometrija baterija
5. temperatura, grejanje i hlađenje baterija
6. životni vek baterije
7. broj ciklusa punjenja baterija

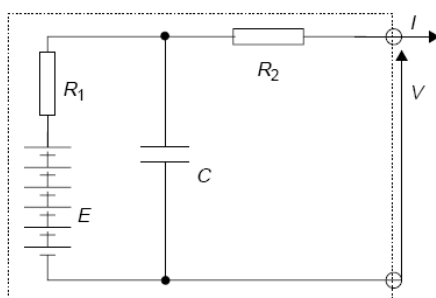
2.7 Model baterije

Modelovanje je veoma važan i koristan deo savremene inženjerske prakse. Veliki trud se danas ulaže na razvijanje dobrih i tačnih modela sistema, pre svega, kako bi se što bolje opisao njihov rad i primena istih u različitim režimima rada.

3. EKVIVALENTNO ELEKTRIČNO KOLO BATERIJE

Jedan od osnovnih parametara električnog kola baterije jeste elektromotorna sila. Stoga su inženjeri i istraživači koji se bave navedenom problematikom posvetili mnogo pažnje načinu opisivanja odnosno modelovanja elektromotorne sile baterije kao jednog od njenih osnovnih parametara.

Na slici 2. prikazano je jedno ekvivalentno električno kolo koje daje dobre rezultate prilikom modelovanja rada same baterije.



Slika 2. Ekvivalentno električno kolo baterije

4. OBLASTI KORIŠĆENJA

Battery Energy Storage-i imaju široku primenu. Najčeće se koriste u kombinaciji sa obnovljivim izvorima energije, pri regulaciji frekvencije i napona te u momentima *peak*-ova potrošnje električne energije. Takođe, uz pomoć *BES*-a, moguće je arbitrirati cenu električne energije što dovodi do velikih ušteda kako sistema za proizvodnju, tako i samog potrošača.

Pored velike podrške za obnovljive izvore energije, *BES* održava stabilnost mikromreža i *behind the meter* usluga.

4.1 Regulacija frekvencije

Usled neusklađenosti između proizvodnje i potrošnje dolazi do varijacije frekvencije. Varijacija frekvencije podrazumeva odstupanje frekvencije od nominalne vrednosti 50/60Hz (zavisno od dizajna elektroenergetskog sistema). Dodatni uticaj na varijaciju frekvencije uzrokovalo je korišćenje obnovljivih izvora energije za proizvodnju električne energije.

Kako bi sistem zadovoljilo potrebno snabdevanje energijom, neophodno je posedovati dodatnu količinu energije u rezervi. Takva se rezerva naziva *Spinning reserve*. Pored toga što treba da sadrži potrebnu količinu energije za regulaciju frekvencije, ova rezerva treba da sadrži i dovoljno energije kako bi zamenila rad najveće proizvodne jedinice u slučaju ispada iste. Na osnovu istorijskih podataka podešava se kapacitet rezerve.

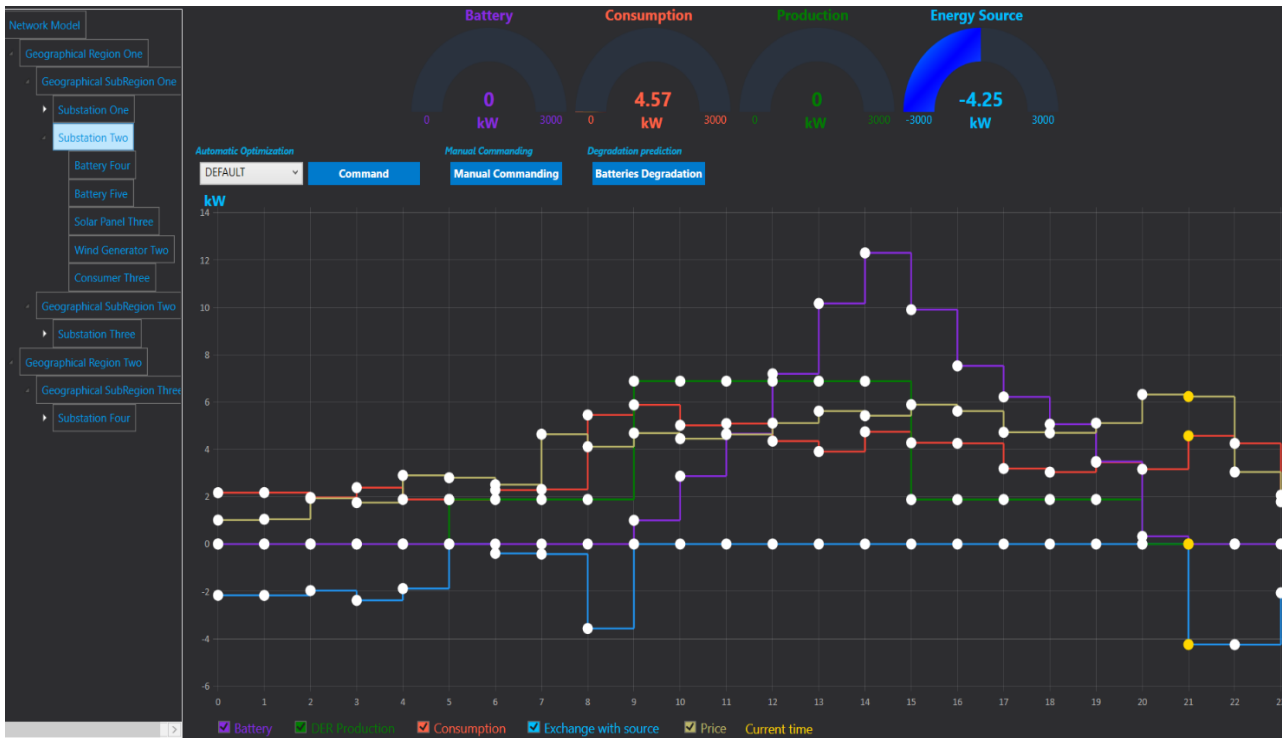
4.2. Peak shaving

Jedan od najvećih i najkompleksnijih "problema" predstavlja predviđanje potrošnje električne energije. Na osnovu istorijskih podataka može se doneti veliki broj zaključaka. Brojni faktori utiču na potrošnju kao što su: temperatura, vlaga, vetar, padavine, gromovi kao i nasumični događaji koji su često nepredvidivi. Nasumični događaji zahtevaju brzu reakciju. Kod *Peak shaving-a Battery Energy Storage-a (BES)* se upotrebljava pri vršnim opterećenjima gde se koristi energija iz *BES*-a kako bi se izbegao uvoz električne energije po skupoj ceni zbog nepredviđene situacije u poslednji čas. Primeri mogu biti popularni događaji ili ispadi većih postrojenja koji imaju uticaj na potrošnju električne energije.

4.3. Integracija obnovljivih izvora energije

Najpoznatiji obnovljivi izvori energije su vetar i sunce zbog svoje održivosti i koristi za životnu sredinu. Međutim, veoma brze i slučajne promene stvaraju velike probleme za mrežu. Postoji problem u predviđanju električne energije kao i uzrokovanje različitih tehničkih problema u vidu zaštite i kvalitete električne energije. Potrebno je posedovati različite pristupe za ublažavanje variranja izlazne snage izazvane energijom vetra i sunca.

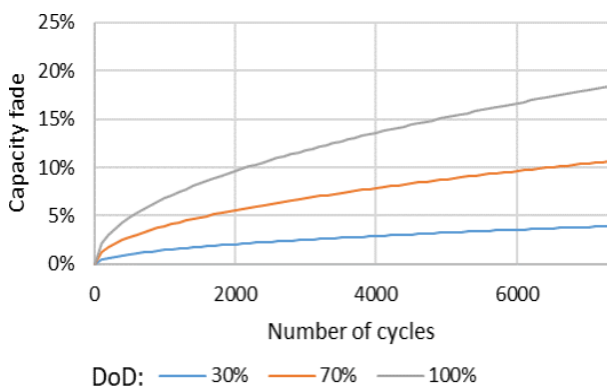
Utvrđeno je da je sistem za skladištenje električne energije iz *BES*-a najprikladniji i najefikasniji način za rešenje problema te vrste ali pod uslovom da se primenjuju efikasne strategije upravljanja kao i optimalno korišćenje *BES*-a [3].



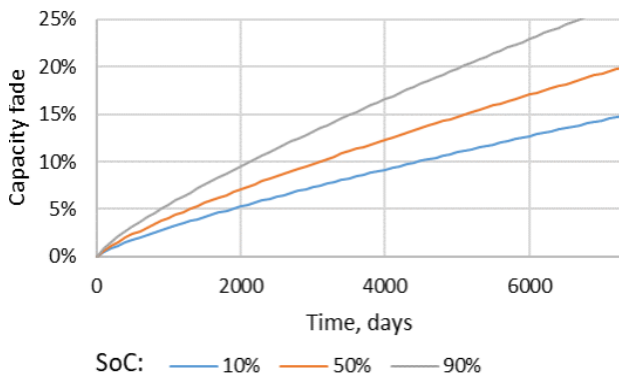
Slika 3. Rezultati simulacije

5. SIMULACIJA UPOTREBE BES-A SA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Prikazana je demonstracija korišćenja Battery Energy Storage-a u različitim režimima tokom 24 časa kao i prikaz preostalog života BES-a uz pomoć formula za degradaciju baterije.



Slika 4. Gubitak kapaciteta pri ciklusima [2]



Slika 5. Gubitak kapaciteta BES-a pri mirovanju [2]

Na slici 3. ilustrovan je *dashboard* putem kog aplikacija pruža prikaz proizvodnje obnovljivih izvora energije, potrošnje električne energije od strane korisnika, energiju *BES*-a i cenu električne energije u toku 24 časa. *BES* radi u tri različita režima. Prvi režim je *default*-ni u kom *BES* čuva život baterije, drugi je *peak shaving* u kom se *BES* prilagođava vršnim opterećenjima isporučivanjem veće snage u toku jednog časa i *price arbitrage* režim koji manipuliše *BES*-om u odnosu na cenu električne energije u odgovarajućem satu. Aplikacija poseduje i mogućnost manuelnog komandovanja snage *BES*-a u trenutnom satu za željeni *BES*.

Za predviđanje preostalog života *BES*-a koriste se dva glavna mehanizma. Posmatra se *BES* u praznom hodu, tj. vreme kada se *BES* ne puni niti prazni i *BES* u toku ciklusa tj. kada je aktivno ponašanje *BES*-a.

Slika 4. prikazuje pad kapaciteta *BES*-a u funkciji broja ciklusa za različite nivoe dubine pražnjenja.

Na slici 5. prikazan je pad kapaciteta *BES*-a u funkciji vremena pri različitim nivoima napunjenosti *BES*-a.

Zbirom ove dve situacije se dobija kompletna formula za degradaciju *BES*-a:

$$\delta^{CF} \approx \delta^{idl} + \delta^{cyc} [2]$$

δ^{cyc} predstavlja gubitak života pri ciklusima

δ^{idl} predstavlja gubitak života u stanju mirovanja

$$\delta^{cyc} = 0.005678e^{-1.943SoC} DoD^{0.7162} \sqrt{n},$$

$$\delta^{idl} = 0.000112e^{0.7388SoC} \tau^{0.8}$$

SoC (*State of Charge*) - nivo napunjenosti *BES*-a

DoD (*Depth of Discharge*) - dubina pražnjenja *BES*-a

n – broj ciklusa

τ – vreme (u danima)

Formule su ustanovljene pri konstantnoj temperaturi od 25°C. Razni faktori utiču na termodinamiku BES-a kao što su uslovi okoline, faktor formiranja sistema, hemijski faktori, dizajn rashladnog sistema BES-a i drugi. Dubina pražnjenja utiče na stopu degradacije na netrivialan način. Sa istim protokom energije i manjom dubinom pražnjenja šteti se kapacitet BES-a. Na primer, 5000 ciklusa sa 30% DoD dovodi do manjeg propadanja od 1500 ciklusa na 100% DoD [2].

6. ZAKLJUČAK

Battery Energy Storage je sistem za skladištenje električne energije. Brojni su razlozi za upotrebu BES-a kao što je regulacija frekvencije, regulacija napona, *peak shaving*, arbitraža cene i mnoge druge. BES je i dalje u fazi istraživanja i razvoja i neophodno je da napreduje po pitanju cene, kapaciteta i dužine životnog veka. U poslednjim godinama zabeležen je veliki napredak kao i napredak ostalih modernih tehnologija i celokupnog elektroenergetskog sistema. BES učestvuje u opskrbljivanju kvalitetnom energijom kao i sigurnošću celokupnog sistema. S obzirom da je manipulisanje BES-om veoma kompleksno i može biti mnogo skuplje pogrešnim manipulisanjem, potrebno je posedovati menadžment za BES. Kreirani BES sadrži određen broj ciklusa i potrebno je postupati pažljivo kako bi se postigli što bolji rezultati za dugoročniji život. Zbog degradacije BES-a, potrebno je posedovati što tačniji model i predviđanja o životnom veku.

7. LITERATURA

- [1] Bolan Xu, Alexandre Oudalov, Andreas Ulbig, Goran Andersson, „Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment“, IEEE Transactions on Smart Grid · June 2016
- [2] Timur Sayfutdinov, Petr Vorobev, Member IEEE, “Optimal Operation of Li-ion Battery Storage ”
- [3] Muhammad Jabir, Safdar Raza, Hazlee Azil Illias, Hazlie Mokhlis, „Intermittent Smoothing Approaches for Wind Power Output: A Review“, *Energies* 2017
- [4] Ivana Stojković Simatović, “Materijali za konverziju energije: ispitivanje i primena”

Kratka biografija:



Luka Bosanac rođen je 1996. godine u Vukovaru. Nakon završetka srednje škole 2015. godine, Fakultet tehničkih nauka upisuje iste godine, smer Primenjeno softversko inženjerstvo. Osnovne akademske studije je završio 2019. godine. Master akademske studije upisuje 2019. godine, smer Primenjeno softversko inženjerstvo.

Kontakt: boske_woo@live.co.uk