

Modularni sistem za upravljanje Li-Ion baterije

Andrej Debenjak, Gregor Papa, Janko Petrovčič
Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija
Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija
andrej.debenjak@ijs.si, gregor.papa@ijs.si, janko.petrovcic@ijs.si

Modular Li-Ion battery management systems

Li-Ion rechargeable battery technology is becoming increasingly popular in applications where traditionally less demanding and more proven types of batteries are employed. Due to the properties of the technology, different levels of state-of-charge among individual cells occur within a battery, which results in a reduction of the accessible capacity. In order to prevent this from occurring and to ensure the safety of operation, a battery management system is an indispensable component of any multi-cell Li-Ion battery. This paper presents a modular battery management system, which can be applied to a Li-Ion battery of variety of sizes. The system ensures safety of operation, which is based on measurements of temperature, current and voltage of all individual Li-Ion cells and detection of critical errors. In addition, the system also performs charge balancing, thereby ensuring efficient exploitation of a Li-Ion battery.

Kratek pregled prispevka

Tehnologija polnilnih baterij Li-Ion je vedno bolj zanimiva za uporabo v aplikacijah, v katere se tradicionalno vgrajuje manj zahtevne in bolj preizkušene vrste baterij. Zaradi lastnosti tehnologije se v Li-Ion baterijah pojavlja divergenca napolnjenosti posameznih celic, kar povzroča zmanjševanje trenutno uporabne kapacitete. Z namenom preprečevanje tega in zagotavljanja varnega delovanja je sistem za upravljanje baterije nepogrešljiv sestavni del vsake Li-Ion baterije. V tem prispevku je predstavljen tovrstni vgrajeni sistem, ki je zasnovan modularno, kar omogoča njegovo prilagoditev za upravljanje Li-Ion baterij različnih velikosti. Sistem skrbi za varno delovanje baterije s tem, da nadzoruje temperaturo, spremlja električni tok in napetost vsake posamezne Li-Ion celice ter zaznava kritične napake. Poleg tega sistem izvaja tudi izravnavanje napolnjenosti posameznih celic baterije, s čimer zagotavlja učinkovito izkoriščenost le-te.

1 Uvod

Tehnologija polnilnih baterij Li-Ion je vedno bolj zanimiva za uporabo tudi v aplikacijah, v katere se tradicionalno vgrajuje manj zahtevne in bolj preizkušene vrste baterij [1]. Večinoma so to sistemi večjih moči in kapacitet, pri katerih je zanesljivost in varnost delovanja izjemnega pomena. Mednje spadajo različna električna orodja, sistemi brezprekinitvenega napajanja, električna kolesa in avtomobili ter letala.

Dve najpomembnejši lastnosti Li-Ion baterij, ki vzpodbujata k prehodu na Li-Ion tehnologijo, sta visoka energijska gostota [Wh/kg] (ugodno razmerje med uskladiščeno energijo in maso) in velik dovoljeni polnilni tok (kar omogoča kratek čas polnjenja). Poleg tega imajo Li-Ion celice visoko nominalno napetost in izjemno majhen praznilni tok, nimajo spominskega efekta in so izdelane iz okolju prijaznejših materialov. Ob vseh dobrih lastnostih pa imajo Li-Ion celice tudi nekaj slabosti [2]:

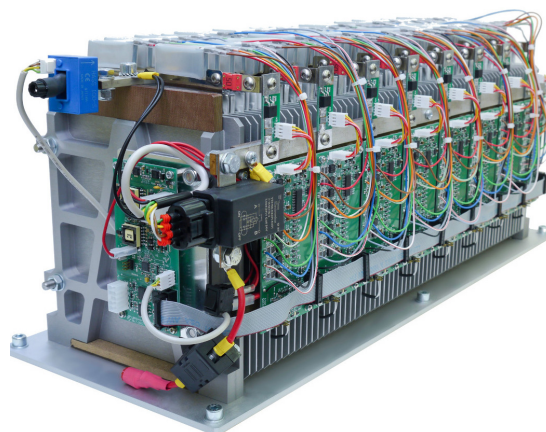
- občutljivost na izpraznjenje pod določeno napetostjo celic, kar povzroča degradacijo,
- občutljivost na polnjenje nad določeno napetostjo, kar ravno tako povzroča degradacijo in lahko v določenih primerih vodi v termični pobeg in samovžig, ter
- ozek temperaturni pas delovanja.

Običajno je zahtevana nazivna napetost baterije (na primer 24 V) višja od napetosti posamezne Li-Ion celice (med 2,8 in 4,3 V). Zaradi tega je za doseganje višjih napetosti baterije potrebno *serijsko* vezati več celic. Takšen sestav se polni in prazni preko priključnih sponk baterije (negativna sponka – katoda prve celice, pozitivna sponka – anoda zadnje celice v seriji), kar pomeni, da skozi vsako izmed celic vedno teče isti tok. Zaradi občutljivosti Li-Ion tehnologije na delovanje pri previsoki ali prenizki napetosti je potrebno polnjenje ali praznjenje prekiniti takoj, ko katerakoli izmed celic doseže zgornjo oziroma spodnjo mejno napetost. Isti tok vsake izmed celic in neizogibne variacije v kapaciteti

posameznih celic povzročajo divergenco stanja napoljenosti celic, vezanih v serijo.

V primeru manj občutljivih tehnologij (Pb, Ni-Cd, Ni-MH) se je divergenci moč izogniti z blagim prekomernim polnjenem, s katerim se doseže, da manj napolnjene celice dohitijo ostale, pri čemer se presežna energija, dovedena že napolnjenim celicam, sprošča kot toplota. Zaradi vseh prej naštetih slabosti Li-Ion tehnologije je nepogrešljiv sestavni del vsake Li-Ion baterije sistem za upravljanje, ki skrbi za ustrezno delovanje celotnega baterijskega paketa [3].

Ta prispevek podaja vpogled v snovanje sistema za upravljanje prototipa Li-Ion baterije (slika 1), ki je bil razvit in izdelan na Odseku za sisteme in vodenje, Institut Jožef Stefan. Razviti sistem v prvi vrsti skrbi za varno delovanje celotnega baterijskega paketa. To doseže s tem, da v več točkah nadzoruje temperaturo sklada celic, spremlja tok vseh vzporednih vej in napetost vsake posamezne Li-Ion celice baterijskega paketa. S tem tudi preprečuje nastanek trajnih poškodb, ki so jim izpostavljene Li-Ion celice v primeru neustreznih delovnih pogojev. Poleg navedenega sistem skrbi tudi za izravnavanje napoljenosti celic znotraj posameznih vej serijsko vezanih celic, s čimer omogoča maksimalno izrabo kapacitete baterijskega paketa.



Slika 1: Li-Ion baterijski paket.

Programske in strojne rešitve, ki so bile uporabljene pri snovanju sistema, so nastajale kot kompromis med željami, zahtevami, kompleksnostjo, izvedljivostjo in ceno. Možnih rešitev je bilo več. Razlogi in utemeljitve, zakaj so bile izbrane točno določene ter kako so te rešitve izvedene v interakciji strojne in programske opreme, so podane v nadaljevanju tega prispevka.

V tem prispevku se besedne zveze *celica*, *baterija* in *baterijski paket* uporabljajo tako, kot je podano z naslednjimi definicijami:

celica – naprava, ki je preko elektrokemične reakcije sposobna pretvarjati kemično energijo v električno in obratno (npr. Li-Ion celica)

baterija – več serijsko in/ali vzporedno vezanih celic, ki tvorijo baterijo z namenom doseganja višje napetosti, toka, ali kapacitete

baterijski paket – baterija, ki je opremljena s sistemom za upravljanje

2 Sistem za upravljanje Li-Ion baterije

Skladno z zastavljenimi izhodišči je prototip sistema za upravljanje Li-Ion baterije razširljiv na več ali manj celic. Izveden je tako, da je tudi energijsko učinkovit. Poleg tega sistem omogoča naslednje funkcionalnosti:

- meritev napetosti vsake posamezne celice baterije,
- meritev toka posameznih vzporedno vezanih vej in celotne baterije,
- meritev temperature baterije v večjem številu točk,
- izravnavanje napolnjenosti vseh posameznih celic baterije,
- komunikacijo preko CAN komunikacijskega vmesnika za upravljanje baterijskega paketa in
- komunikacijo po standardu RS-422 za povezovanje z industrijskimi prikazovalniki.

Zaradi zahteve po razširljivosti sistema na manjše ali večje baterije je sistem zasnovan modularno. Sestavljajo ga centralni modul in poljubno število podrejenih modulov. Blokovna shema celotnega sistema je podana na sliki 2.

Centralni modul skrbi za višjenivojsko upravljanje podrejenih modulov, zbiranje podatkov iz le-teh, ter za komunikacijo z zunanjimi napravami. Vsak izmed podrejenih modulov upravlja z osmimi serijsko vezanimi Li-Ion celicami in pri tem skrbi za:

- izvajanje vseh zahtevanih meritev njemu dodeljenih celic,
- izravnavanje napolnjenosti celic,
- izvajanje varnostno-nadzornega algoritma in komunikacijo s centralnim modulom ter izvrševanje ukazov le-tega.

2.1 Centralni modul

Centralni modul je sestavljen iz naslednjih strojnih podsklopov (slika 2):

- večkanalnega izoliranega napajalnika,
- mikrokrmilniškega vezja,
- komunikacijskih vmesnikov,
- vezja za pripravo in zajem signalov in
- digitalnih vhodov/izhodov.

Večkanalni napajalnik ima sedem napetostnih izhodov. Šest izmed njih napaja vezje centralnega modula in vezja vseh podrejenih modulov. Sedmi, izolirani izhod, pa je uporabljen za napajanje komunikacijskih vmesnikov. Na centralnem modulu in na podrejenih modulih so vgrajeni mikrokrmilniki z ARM Cortex-M3 procesorskim jedrom, na katerih se izvaja vsa programska, ki je zasnovana brez uporabe operacijskega sistema in se zato izvaja na podlagi prekinitvenih dogodkov.

Komunikacijski vmesnik CAN

Spremljanju in upravljanju delovanja celotnega sistema za upravljanje Li-Ion baterije je namenjen izoliran komunikacijski vmesnik CAN. Zunanja naprava preko vmesnika sprejema vse parametre celotnega sistema (napetosti posameznih celic, napetost celotne baterije, tokovi posameznih vzporednih vej, tok baterije, temperature, stanje napolnjenosti celic, status izravnavanja napolnjenosti in status posameznega podrejenega modula). V nasprotni smeri pa zunanja naprava z ustreznimi CAN sporočili upravlja sistem baterije, pri čemer

lahko zahteva vklop ali izklop glavnega močnostnega stikala, priklop ali odklop posameznega podrejenega modula na močnostno vodilo in ponovni zagon sistema.

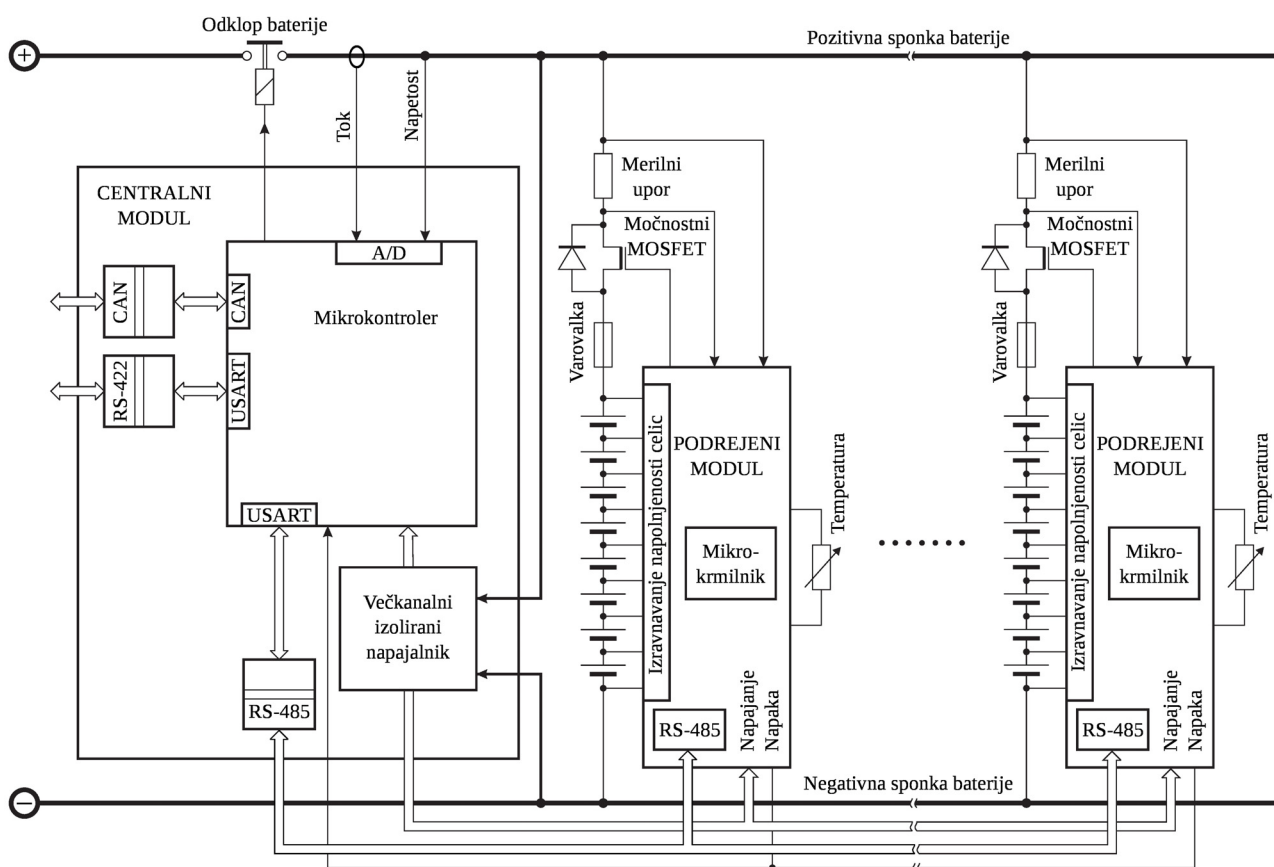
CAN vmesnik je zasnovan tako, da v največji možni meri za njegovo delovanje skrbi strojna oprema. Ta funkcionalnost je močno pogojevala izbiro tipa mikrokrmilnika centralnega modula. Na centralnem modulu je zato vgrajen mikrokrmilnik STM32F103 [4]. Za fizični nivo komunikacijskega kanala CAN skrbi izolirani gonilnik Texas Instruments ISO1050.

Pri oddajanju na vodilo CAN programska oprema poskrbi le za pripravo podatkov in želenega identifikacijskega naslova sporočila. Le-te posreduje CAN periferni enoti v t.i. izhodni nabiralnik. Enota nato prevzame vse potrebne nadaljnje korake, ki so po standardu CAN potrebni, da se sporočilo prenese na vodilo [5]. To vključuje izračun CRC kode za odkrivanje napak, sestavljanje celotnega CAN sporočila in nadzorovano oddajanje in potrditev.

Tudi sprejemanje sporočil je v največji meri prepuščeno strojni opremi. Sistemu za upravljanje Li-Ion baterije je namenjenih le nekaj vnaprej določenih identifikacijskih naslovov sporočil, pri čemer vsak naslov pomeni določen ukaz, ki ga mora sistem izvesti. Zaradi tega je na periferiji CAN mikrokrmilnika nastavljen in aktiviran strojni filter identifikacijskih naslovov. S pomočjo tega filtra so programski opremi centralnega modula posredovana le sporočila, ki so le-temu tudi zares namenjena. S tem je dosežena precejšnja razbremenitev procesorskega jedra, saj večina sporočil, ki so na vodilu, ni namenjena sistemu za upravljanje baterije.

Komunikacijski vmesnik RS-422

Komunikacijski vmesnik RS-422 je namenjen povezovanju baterijskega paketa z industrijskimi prikazovalniki za namen spremljanja delovanja baterije. Vmesnik deluje po komunikacijskem protokolu za povezovanje PLC-HMI podjetja Mitsubishi.



Slika 2: Blokovna shema sistema za upravljanje Li-Ion baterije.

Gonilni del vmesnika je periferna enota USART mikrokrmilnika. Za pretvorbo 3,3 V digitalnih USART signalov v signale po standardu RS-422 skrbi zunanji izolirani vmesnik Texas Instruments ISO3080.

Za izvajanje komunikacijskega protokola PLC–HMI skrbi programska oprema, saj strojne rešitve ni na voljo. Razbremenitev procesorskega jedra je bila mogoča le pri predajanju oddajnih nizov iz pomnilnika v periferno enoto USART. V ta namen je bil uporabljen vmesnik za neposredni dostop do pomnilnika DMA, ki omogoča precejšnje razbremenitev jedra med oddajanjem. Na ta način ni potrebne nobene programske intervencije med samim oddajanjem, ampak le pred in po zaključku oddajanja. V primeru sprejemanja je uporaba vmesnika DMA nekoliko manj učinkovita. Komunikacijski protokol PLC–HMI ne predvideva podatkovnih nizov konstantne dolžine in je zato potrebno obravnavati vsak sprejeti zlog (byte) posebej. Kljub temu je bil tudi v ta namen uporabljen vmesnik DMA s cikličnim medpomnilnikom. S tem je bilo zagotovljeno, da programska oprema ne zgreši nobenega zloga, kar bi bilo brez uporabe vmesnika DMA nemogoče zagotoviti.

Lokalni komunikacijski vmesnik

Lokalna komunikacija med centralnim in podrejenim moduli poteka po prirejenem vodilu po standardu RS-485. To vodilo je bilo izbrano zato, ker zahteva minimalno število povezovalnih linij in je izključevanje ali vključevanje dodatnih modulov nezahtevno. Enako kot pri komunikacijskem vmesniku po standardu RS-422 je tudi tu uporabljena periferija enota USART mikrokrmilnika in izolirani gonilnik Texas Instruments ISO3080.

Zaradi poldupleks (angl. half-duplex) topologije izvedenega komunikacijskega vodila RS-485 in upoštevajoč postavljene zahteve, je bil zasnovan komunikacijski protokol tipa nadrejeni-podrejeni (angl. master-slave). Pri tem protokolu je arbiter komunikacijskega vodila centralni modul, vsi podrejeni moduli pa imajo unikatni identifikacijski naslov. Arbiter lahko posameznemu modulu kadarkoli pošlje ukaz in

mu dodeli pravico za oddajanje na komunikacijski kanal.

Komunikacijski protokol je zasnovan tako, da v največji možni meri izkorišča zmožnosti strojne opreme. S tem je bila dosežena visoka hitrost prenosa ob minimalni obremenjenosti procesorskega jedra tako na centralnem, kot tudi na podrejenih modulih. Posledično sta bila definirana nadrejeni in podrejeni okvir nespremenljive dolžine, ki ob ustrezni zasnovi protokola in uporabi vmesnika DMA omogočata minimiziranje potrebnega procesorskega časa. Ob skrbi za pripravo in inicializacijo prenosa podatkov mora strojna oprema poskrbeti tudi za ustrezno upravljanje signala za vklop ali izklop gonilnika tipa RS-485. Časovno ustrezno upravljanje tega gonilnika, tako na centralnem, kot tudi podrejenih modulih, je bistvenega pomena za pravilno delovanje lokalne komunikacije, saj neustrezno upravljanje vodi do "trčenja" in izgube podatkov.

Zajem meritev

Na centralnem modulu se izvajata meritvi napetosti in toka celotne baterije. A/D pretvorba se izvaja z uporabo vgrajenega pretvornika A/D mikrokrmilnika. Merilni postopek je v celoti prepuščen strojni opremi, ki se izvaja v naslednjih korakih:

1. periferni časovnik mikrokrmilnika vsako milisekundo sproži začetek A/D pretvorbe,
2. periferna enota z A/D pretvornikom poskrbi za sekvenčno pretvorbo vseh merilnih kanalov in ob vsaki A/D pretvorbi sproži zahtevo za neposredni prenos rezultatov v pomnilnik RAM,
3. vmesnik DMA prenese digitalno vrednost pretvorbe na pred-nastavljeno lokacijo v cikličnem medpomnilniku,
4. v primeru, da se je izvršil zadnji prenos v sekvenci pretvorbe (ki je določen z velikostjo cikličnega medpomnilnika), sproži izvajanje prekinitvene programske rutine vmesnika DMA.

Prekinitvena programska rutina za obdelavo zajetih meritev se začne izvajati, ko se zaključi zadnji DMA prenos iz sekvence meritev. Rutina najprej izvede filtriranje digitalnih meritev z

Butterworthovim filtrom drugega reda. V naslednjem koraku pa izvede skaliranje meritev na podlagi kalibracijskih konstant. Filtriranje predstavlja večino potrebnega časa obdelave, saj procesorsko jedro uporabljenega mikrokrmilnika ne vsebuje enote s plavajočo vejico. V iskanju kompromisa je bila izbrana izvedba filtra s celimi števili ob uporabi 64-bitne aritmetike. S tem je zagotovljena ustrezna natančnost izračuna, hkrati pa je časovna zahtevnost precej manjša kot v primeru uporabe emulacije aritmetike s plavajočo vejico.

2.2 Podrejeni modul

Električno vezje podrejenega modula sestavljajo naslednji podsklopi (slika 2):

- mikrokrmilniško vezje z mikrokrmilnikom STM32L152 podjetja STM [6],
- lokalni komunikacijski vmesnik,
- vezje za pripravo in zajem signalov, in
- vezje za izravnavanje napolnjenosti celic.

Lokalni komunikacijski vmesnik

Okostje strojne in programske zasnove komunikacijskega vmesnika na mikrokrmilniku podrejenega modula je podobno kot na centralnem modulu. Programska oprema se razlikuje le v protokolarnem delu, saj vsak podrejeni modul neprestano spremlja, kaj se na komunikacijskem kanalu dogaja in na komunikacijski kanal odda podatke le, ko je k temu pozvan.

Poleg lokalnega komunikacijskega vmesnika tipa RS-485 je za hitro sporočanje kritičnih napak iz podrejenega modula na centralni modul namenjena posebna prekinitvena povezava. To povezavo si delijo vsi podrejeni moduli in omogoča, da podrejeni modul sproži prekinitveno rutino na centralnemu modulu. Na ta način je mogoče hitro opozoriti centralni modul, da je nekje v sistemu prišlo do kritične napake. Za kakršno koli nadaljnjo lokalizacijo in identifikacijo napake pa je potreben lokalni komunikacijski vmesnik. V trenutni izvedbi programske opreme se ta prekinitvena komunikacijska povezava ne uporablja, saj je že sama komunikacija preko komunikacijskega vmesnika RS-485 dovolj učinkovita za ustrezno

hitro sporočanje napak centralnemu modulu. Uporabnost in bistvena prednost te povezave pred lokalnim komunikacijskim vmesnikom RS-485 se izkaže v primeru večjega števila podrejenih modulov v sistemu, saj postane v tem primeru pogostost osveževanja podatkov nizka in zato nezadovoljiva za varno delovanje.

Zajem meritev

Podrejeni modul omogoča opravljanje meritev napetosti vseh osmih posameznih celic veje, toka veje in temperature veje.

Napetosti posameznih celic so potencialno "naložene" ena nad drugo. To onemogoča neposredno izvajanje meritev z A/D pretvornikom mikrokrmilnika, ampak zahteva predhodno analogno obdelavo. Potrebna je pretvorba diferencialnih signalov, ki so naloženi na precejšnji sofazni napetosti, v nesimetrične (angl. single-ended) signale, primerne za povezavo na A-D pretvornik mikrokrmilnika [7]. Ta pretvorba je izvedena z diferencialni ojačevalnikom z razširjenim vhodnim obsegom. Ker podrejeni modul meri osem takšnim napetosti, je merilno vezje sestavljeno iz enega diferencialnega ojačevalnika INA-148 podjetja Texas Instruments in osem-kanalnega diferencialnega multiplekserja DG407 podjetja Vishay.

Električni tok celotne veje celic podrejeni modul meri preko merilnega upora in analognega ojačevalnika. Ker lahko tok teče v obe smeri, je merilno vezje zasnovano tako, da ima dva merilna izhoda. Prvi izhod je namenjen odčitavanju referenčne vrednosti, ki označuje ničelni tok. Drugi izhod pa predstavlja ojačani padec napetosti na merilnem uporu nizke upornosti. Tok veje je proporcionalen razliki med prvim in drugim izhodom. Ob uporabi vgrajene kalibracijske procedure omogoča takšen način merjenja zelo dobro izločitev ničelne napetosti analognega ojačevalnega vezja.

Temperaturo veje celic meri temperaturni merilni upor z negativnim temperaturnim koeficientom.

Izravnavanje napolnjenosti celic

Zaradi občutljivosti Li-Ion celic na preizpraznjenost in prenapolnjenost je potrebno aktivno upravljanje polnilnega toka posameznih serijsko vezanih celic. S tem se doseže čim boljša izravnana napolnjenosti celic znotraj veje. Za to je na eni strani potrebno natančno meriti napetosti vsake posamezne celice, na drugi pa upravljati izravnalna tokovna vezja.

Pri snovanju sistema za upravljanje baterije se je pri izvedbi funkcionalnosti izravnavanja napolnjenosti tehtalo med celostnimi komercialnimi rešitvami na čipu in lastno rešitvijo. Preučena je bila ponudba integriranih vezij družine BQ podjetja Texas Instruments, ki omogočajo preprosto izdelavo sistema za izravnavanje napolnjenosti celic [8]. V primeru uporabe teh vezij ni potrebno načrtovanje merilnega vezja in vezja za odjem toka, saj je vse to izvedeno na čipu. Kljub temu je bila izbrana lastna rešitev, saj le ta omogoča precej večjo fleksibilnost v smislu različnih funkcionalnosti in natančnosti. Uporaba lastne rešitve tako omogoča:

- natančno merjenje in sprotno spremljanje napetosti in toka celic,
- izvajanje različnih algoritmov ocenjevanja nemerljivih stanj celic (stanje napolnjenosti, preostala življenjska doba) in
- snovanja ter preizkušanja različnih strategij izravnavanja napolnjenosti celic.

V tabeli 1 so predstavljene prednosti in slabosti v primeru snovanja sistem za upravljanje Li-Ion baterije z namenski BMS integriranimi vezji in med lastno rešitvijo.

Bistvena sestavna dela posameznega odjemnega vezja za izravnavanje napolnjenosti sta stikalo MOSFET in močnostni upor. Z vklopom stikala se del polnilnega toka preusmeri s celice na močnostni upor, kjer se odvečna energija pretvori v toploto.

Zato, da je izravnavanje čimbolj učinkovito, je potreben algoritem strategije za izravnavanje napolnjenosti celic. Le-ta zaradi precej položne polarizacijske krivulje Li-Ion celic zahteva zelo natančne meritve napetosti, saj v vmesnem

področju napolnjenosti le nekaj mV lahko pomeni razliko v napolnjenosti celic tudi za nekaj 10%.

Precejšnjo napako meritve je povzročala fizična izvedba električnih povezav med celicami in podrejenimi moduli. Ker se žice hkrati uporabljajo za prevajanje izravnalnih tokov kot tudi za tipanje napetosti, so meritve napetosti izpostavljene napakam zaradi padcev napetosti zaradi prisotnega izravnalnega toka. Napake so bile v velikostnem razredu nekaj mV. Ker bi bila strojna rešitev tega problema z uporabo Kelvinovih kontaktov precej nepraktična in draga, za kompenzacijo skrbi programska oprema, s katero je doseženo zmanjšanje napake meritve precej pod 1 mV.

Pri razvoju sistema za izravnavanje napolnjenosti posameznih celic je bilo preizkušenih več različnih strategij vodenja, s katerimi bi bilo mogoče ob čim manjši uporabi izravnalnih tokov in s tem čim višjim izkoristkom doseči čim hitrejše uravnoteženje napolnjenosti.

Tabela 1: Primerjava med rešitvijo z namenski BMS vezji in lastno rešitvijo.

	namenska BMS vezja	lastna rešitev
strojna oprema	preprosta in kompaktna izvedba	zahtevna izvedba – potrebno je zasnovati vrsto elektronskih vezij, pri čemer je uporabljenih veliko elektronskih komponent
programska oprema	srednje zahtevna izvedba – potrebno je poskrbeti za ustrezno inicializacij integriranih vezij in spremljanje delovanja	zahtevna izvedba -- v programski opremi je potrebno izvesti čim več funkcionalnosti
fleksibilnost	nefleksibilno – funkcionalnosti so točno določene ob izbiri modela namenskega BMS integriranega vezja	fleksibilno -- veliko funkcionalnosti je izvedenih v programski opremi, kar mogoča prilagodljivost tekom celotnega življenjskega cikla
cena	relativno visoka	nizka zaradi uporabe splošno-namenskih (ceneni) elektronskih komponent

Simulacija različnih strategij je bila izvedena s programskim paketom Matlab, nato pa so bile le-te preizkušene tudi s prenosom na programsko opremo podrejenih modulov. Na ta način razviti sistem za upravljanje Li-Ion baterije omogoča veliko večjo fleksibilnost in prostor za lastne rešitve v primerjavi z uporabo komercialno dosegljivih integriranih vezij.

3 Zaključek

Zasnovani in izdelani sistem za upravljanje Li-Ion baterije sestavljajo centralni modul in načeloma poljubno število podrejenih modulov. Na ta način je mogoča poljubna razširljivost na različne velikosti baterijskega paketa. Podrejeni moduli lahko nadzorujejo do osem serijsko vezanih celic, kar omogoča gradnjo baterijskih paketov nominalne napetosti do 24 V.

Sistem za upravljanje skrbi za varno in pravilno delovanje baterijskega paketa. V ta namen meri vse vplivne veličine in v primeru neustreznih pogojev skrbi, da le-te ne vodijo v neželene okvare ali nevarne situacije. Sistem med polnjenjem baterije aktivno upravlja tudi z napoljenostjo celic in s tem skrbi za čim boljšo izkoriščenost kapacitete baterijskega paketa.

Izdelani prototipni sistem omogoča povezljivost baterijskega paketa z zunanji napravami. V ta namen ima vgrajena komunikacijska vmesnika CAN in RS-422. Vmesnik CAN je zasnovan kot glavni komunikacijski kanal za spremljanje in upravljanje delovanja baterijskega paketa. Vmesnik RS-422 pa omogoča priključitev industrijskih prikazovalnikov za namen spremljanja parametrov baterijskega paketa.

Pri razvoju sistema za upravljanje Li-Ion baterije je bil ključni kompromis med funkcionalnostjo sistema in njegovimi stroški. V postopek so-načrtovanja je bila vključena programska oprema, periferne enote mikro-krmilnika in elektronska vezja modulov. Z namenom doseganja čim nižje cene je bilo potrebno čim več funkcij izvesti v programski opremi in pri tem uporabiti čim manj dragih elektronskih komponent. S skrbnim so-načrtovanjem strojne in programske opreme je bilo potrebno poskrbeti za učinkovito izkoriščenost vezij in ostalih sklopov, ki so na voljo. Na ta način je mogoče izpolniti zahtevane cilje, realizirati večje število koristnih funkcij in s postopki avtokalibracije doseči visoko natančnost.

4 Literatura

- [1] Lithium batteries: Status, prospects and future, *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 9, pp. 2419-2430, 2010.
- [2] C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, and R. T. Long, *Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment*, SpringerBriefs in Fire, Springer, 2011.
- [3] Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang, A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles, *Journal of Power Sources*, vol. 226, no. 0, pp. 272- 288, 2013.
- [4] DS5319: Medium-density performance line ARM-based 32-bit MCU, STM, 2013.
- [5] CAN Specification - Version 2.0. Robert Bosch GmbH, 1991.
- [6] DS6876: Ultra-low-power 32-bit MCU ARM-based Cortex -M3, STM, 2014.
- [7] R. Dobkin and J. Williams, *sAnalog Circuit Design: A Tutorial Guide to Applications and Solutions*. Linear Technology, 2011.
- [8] Five to Ten Series Cell Lithium-Ion or Lithium-Polymer Battery Protector and Analog Front End - Datasheet. Texas Instrumnets, 2009.