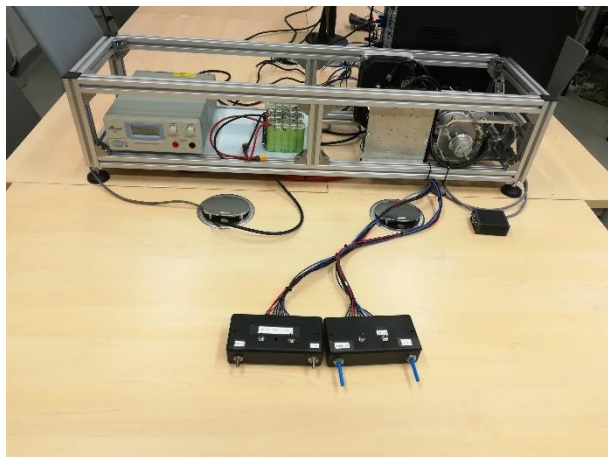
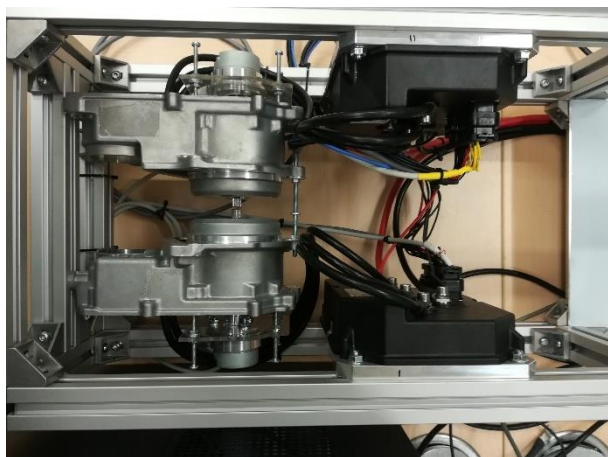


(LAN eXtension for instrumentation) [1].

ECU (angl. electronic control unit) je povezovalni računalnik, ki logično poveže vse elektronske deležnike v enoten sklop na podatkovnem nivoju, obdeluje podatke in skrbi za povezavo z »zunanjin svetom«. LXI sistem, ki omogoča daljinsko zbiranja meritev, debugiranje, analizo in servis celotnega sistema. Slika 2. prikazuje fizična AC motorja in inverterja iz sheme BMS na sliki 1. Moč motorjev je 2 x 1kW.



Slika 2: Laboratorijski model BMS sistema z dvema 1 kW motorjema



Slika 3: Povezava inverterjev z dvema 1 kW motorjema

2.2 Primarna stran BMS

Primarna stran BMS je BMS, ki upravlja z Li-NMC baterijo. Osnovni podatki za eno celico Li-NMC so: 2,4V/4,2V, 2C. Posamezne celice so povezane paralelno in zaporedno zaradi zmogljivosti po toku in napetosti. Li-NMC baterija ne zmore velikih večkratnikov svoje tokovne zmogljivosti. Baterija zmore konstanten tok na dolgi rok. Primarna stran baterije je namenjena motorju, ko ni pretirano obremenjen in to obremenitev baterija zmore, ne da bi baterijska napetost padla. Baterijo na primarni strani ščitimo na dva načina. DC/DC pretvornik ima nastavljivo tokovno limito. Na ta način preprečimo, da bi baterija bila preobremenjena. Osnovna zaščita baterije je bateriji prigraven BMS, ki ima več funkcij. Opis BMS-a je opisan v naslednjih pod poglavjih.

2.2.1 Kratkostična zaščita

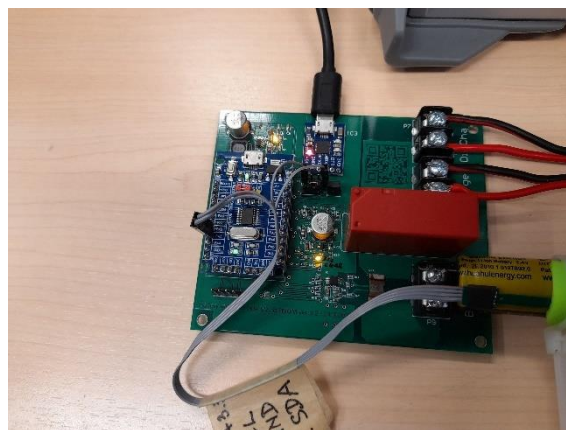
Kratkostična zaščita je narejena analogno s shunt senzorjem in podpornim analognim vezjem, ki ima procesorsko podporo. Reakcijski čas odklopa je reda mikrosekunde, saj so odklopni elementi NMOSFET, linijska induktivnost pa zagotavlja, da tokovni sunek nima pretiranega prenehaja. Shunt, kot senzor je ugoden, saj zagotavlja robustnost, natančnost in ponovljivost meritve toka ter preprosto merilno vezje. Procesor kot zaščita je prepočasen. Pri malih in hitrih sistemih, kjer si iz takih ali drugačnih razlogov procesorja kot zaščito ne moremo privoščiti.

Procesor vsak kratek stik evidentira in kratkostično zaščito resetira. Če število kratkih stikov preseže limito procesor zaščite ne vklopi ponovno in kratek stik prijavi nadzornemu sistemu v ECU BMS enoti (slika1).

2.2.2 Merilni sistem za meritev toka

Merilni sistem je osnovan na SHUNTU $4\text{ m}\Omega$ in v primeru motocikel BMS $100\ \mu\Omega$. Analogno digitalni pretvornik se izkrmili pri $81,92\text{ mV}$, kvantizacija pretvornika je 32768. To izhodišče nam da kvant merjenega toka: Lab model: $R_s=4\text{ m}\Omega$, ločljivost 6.2 mA in merilno območje $20,4\text{ A}$. Motocikel model: $R_s=100\ \mu\Omega$ ločljivost 25 mA , merilno območje = 816 A itd. Merilni sistem meri skupni tok baterijskega paketa. Merilno natančnost pri teh tokovih potrebuje genetski algoritem [1]. Merilni sistem je natančen in je del sistema LXI.

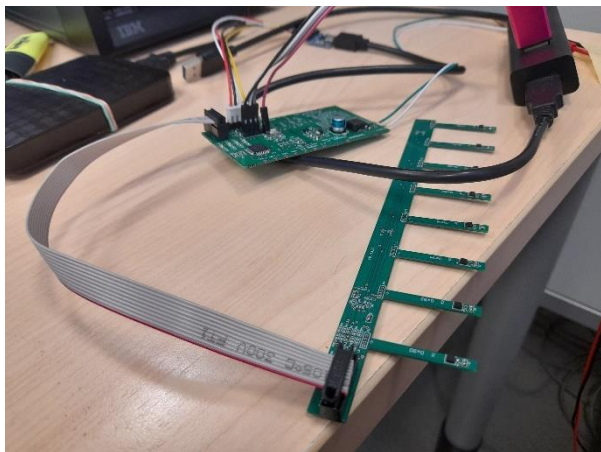
Potrebno je poudariti, da smo se BMS-a lotili etapno. Idejni načrt smo razdelili na osnovne enote in izdelali vsakega posebej, ga izpilili in napisali osnovno programsko opremo. Tudi tako, da je ustrezala LXI zahtevam. Slika 4. prikazuje parcialni merilni sistem, ki ga uporabimo v končni verziji BMS in za avtomatske meritve baterije v sklopu polnilnika in elektronskega bremena. S tem smo dosegli dvoje: izvedli osnovne meritve baterije in rezultate prenesli po LXI sistemu v Matlab, nastalo programsko opremo pa uporabili pri sestavi kompleksnega BMS-a za laboratorijski BMS in BMS motocikla.



Slika 4: Pilotni merilni sistem baterije uporabljen v BMS

2.2.3 Meritve temperature posameznih celic

Genetski algoritem napovedovanja napolnjenosti baterije [7] potrebuje za izračun meritev temperature posamezne celice. Meritev temperature je narejena s senzorji v obliki 'glavnika' kot prikazuje slika 5. Razmak 'zobov glavnika' ustreza razmaku med bateriskimi celicami. Tip senzorja temperature je NCT75 (čip OnSemi I2c).



Slika 5: Modul za merjenje temperature z 8 senzorji

2.2.4 Balansirni sistem

Balansirni sistem ima dva namena. Prvi je namenjen merjenju napetosti posameznih celic in drugi balansiranju celic. Poznavanje napetosti posamezne celice potrebujeta dva algoritma: genetski algoritem identifikacije parametrov baterije in balansirni algoritem. Genetski algoritem je predstavljen v [7]. Balansirni sistem je osnovan pasivno. Pomeni, da se energija celic ne prerazporeja med celicami, temveč je k vsaki celici vzporedno preko stikala priključen balansirni upor, ki je krmiljen z balansirnim algoritmom. Ob vklopu stikala se na balansirnem uporu porablja energija celice in ji s tem napetost pade. Balansirni algoritem balansiranja baterij se vklaplja samo pri polnjenju baterij, ko se smer toka v bateriji obrne. Balansirni sistem pri polnjenju vklaplja balansirne upore tako, da zagotovi na vseh celicah približno enako napetost. Procesor BMS opazuje balansirni proces in poroča nadzornemu sistemu. Balansirni sistem je zgrajen z vezjem LTC6804-1.

V primeru primarne strani BMS, kjer imamo Li-NMC se balansirni algoritem vklopi le ob polnjenju Li-NMC baterije. V primeru sekundarnega BMS-ja, kjer je LTO baterija pa se praznjenje ali polnjenje (balansiranje baterije) izvaja dinamično glede na obremenitev paketa.

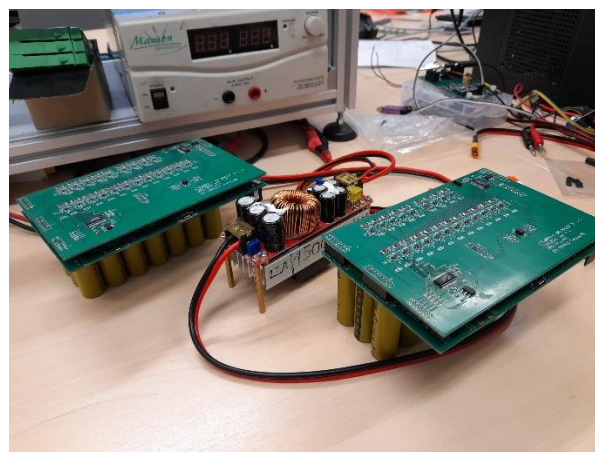
2.3 DC-DC pretvornik

Kot je bilo povedano v uvodu ima DC-DC pretvornik več nalog. Izenačevanje potencialov različnih baterijskih paketov in posredno sekundarno zaščito primarnega baterijskega paketa. DC-DC pretvornik je tipa back/boost. Pretvornik je opremljen s CAN [4] vodilom, s katerim nastavimo tokovno limito, izhodno

napetost, merimo temperaturo pretvornika za servisne namene. DC/DC pretvornik je vključen v LXI sistem.

2.4 Sekundarna stran BMS

Sekundarna stran BMS je BMS, ki upravlja z LTO baterijo. Osnovni podatki za eno celico LTO so 1,5V/2,8V, 60C. Zmogljivost LTO baterije je enormno večja kot pri Li-NMC bateriji. V času nekaj sekund zmore LTO baterija tudi do 60C. BMS sekundarne strani predstavljenega laboratorijskega modela je zgrajen identično kot primarna stran s tem, da so upoštevane danosti LTO. V primeru BMS realnega motocikla so stvari drugačne. Napetosti 200-350V zahtevajo drugačen pristop. Stikalni element ni MOSFET temveč kontaktor, kar za posledico povzroči težavno izvedbo zahtevanih performansov baterijskega sistema. V času izdelave funkcionalnega BMS smo se omejili na funkcionalnost izdelka. V naslednjem redizajnu pa moramo upoštevati vse IEC standarde, podstandarde EMC [2] in stopnjo varnosti ASIL-D [*1] saj gre izdelek, ki spada v avtomobilsko kategorijo za katero so zahtevani posebni standardi. Pri večjih BMS je smiselno sistem sestaviti modularno, saj so paketi med seboj po številu baterij zelo različni. Na sliki 7. je balansirni modul BMS-ja motocikla, ki je uporaben na kateremkoli BMS sistemu.



Slika 6: Primarni in sekundarni BMS laboratorijskega modela BMS z DC-DC pretvornikom

Nadzorni računalnik ECU, BMS ECU (angl. electronic control unit) je zgrajen okrog zmogljivega procesorja STM32L4RV5, ki je različica STM32F417 120/168MHz. S strojnega stališča ECU podpira 4x CAN vodilo, 2x UART za servis in debugiranje, 2x UART za komunikacijo s podrejenima procesorjema na lokalnih BMS-jih, ki skrbita za meritve, zaščito in balansiranje LTO in Li-NMC baterije. Naloge so porazdeljene. Ni smiselno lokalne procesorje obremenjevati s časovno zahtevnimi algoritmi, zato smo te naloge preselili na ECU. Procesorja STM32G071 primarnega in sekundarnega BMS-a zbrane podatke meritev pošljeta preko lokalne UART povezave na ECU, ki te podatke uporabi za izračun genetskega algoritma, katerega končni rezultat je SOC - stanje napolnjenosti baterije. Osnovna povezava z BMS sistemom je OBD, (sistem za diagnostiko – OBD

[*1] ASIL-D is an automotive risk classification that is part of a larger ISO standard – [ISO 26262](#)

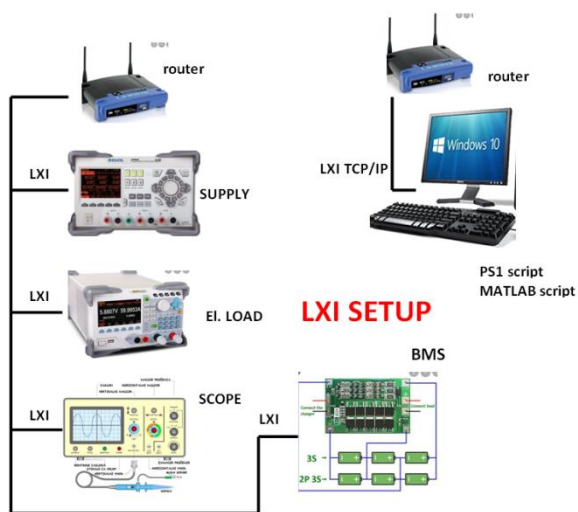
konektor) ki pa vedno ni fizično na razpolago. Predvsem tedaj, ko je sistem na terenu. Za ta namen smo uporabili obstoječo GSM infrastrukturo 2G (cellular network), do katerega dostopamo s SIM800H. SIM800H je 2G GSM komunikacijski modul starejše generacije. S protokolom MQTT [2] opazujemo podatke BMS sistema, ko nam sistem ni fizično dosegljiv.



Slika 7: Balansirni modul

3 LXI sistem

LXI [1] sistem je razvilo podjetje National Instrument. Namen LXI sistema je povezati vse merilne instrumente v podatkovno celoto in jo krmiliti s skripto. Komunikacija med napravami poteka s preprostimi semi standardnimi ASCII nizi (SCPI ukazi). LXI zagotovi možnost kreirati hibridni podatkovni sistem, ki vsebuje LXI, GPIB, VXI, PXI, PCI in ostale standarde prenosa podatkov. Podatkovni nosilec je lahko karkoli: CAN, UART, LAN itd. Še posebej pri delu z baterijami so nekateri testi in meritve časovno dolgotrajni., tudi po teden dni dolgi. Pomagajo nam skripte PS1 ali Matlab, ki izvedejo meritve avtomatsko, jih obdelajo, izrišejo diagrame in pomagajo poiskati optimalne rešitve [1]. Vso elektroniko, ki smo jo zgradili smo izdelali v smislu LXI naprave.



Slika 8: LXI sistem zajemanja in upravljanja s podatki

4 Zaključek

V prispevku je predstavljen razvoj BMS-a za hibridni tip baterij. Sistem, ki smo ga zgradili daleč presega sam pomen BMS-a, ki se v svoji osnovi ukvarja le z zaščito baterije. Predstavljen BMS je kompleksna naprava s koščkom umetne inteligence skrite v genetskem algoritmu, ki se ukvarja z identifikacijo baterije. Zavedamo se, da je naše delo brez pomena, če ga ne pripravimo za tržišče. Posledično se projekt ukvarja s 'top-down' dizajnom: funkcionalnost, standardi, sistemskimi simulacijami, močnostno, analogno, digitalno elektroniko (SPICE), RF (CST) in končno EMC ne bo nikoli zadostoval standardom, če PCB-jev ne narišemo sami (ALTIUM) [3] in ostanemo v okviru budžeta. Iz naštetega je slutiti, da je sam BMS le košček celotne slike in ta slika je tisto kar izdelku daje svojo težo in to je pogoj, da se izdelek pojavi na trgu podobnih izdelkov. Vse kar sledi je stvar ekonomije.

5 Literatura

- [1] LXI, „LXI,“ 20 Marec 2021. [Elektronski]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/LAN_eXtensions_for_Instrumentation. [Poskus dostopa 28 Junij 2021].
- [2] EMC, „EMC,“ 17 Maj 2021. [Elektronski]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_common_EMC_test_standards. [Poskus dostopa 28 Junij 2021].
- [3] ALTIUM, „ALTIUM,“ 26 june 2021. [Elektronski]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Altium>. [Poskus dostopa 28 Junij 2021].
- [4] CAN, „CAN,“ 20 Junij 2021. [Elektronski]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus. [Poskus dostopa 28 Junij 2021].
- [5] wikipedia, „MQTT,“ 18 maj 2021. [Elektronski]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT>. [Poskus dostopa 28 junij 2021].
- [7] K. Korez, R. Šafarič, M. Antončič, M. Globevnik, Napovedovanje stanja napolnjenosti baterijske celice na osnovi ESC modela in genetskega algoritma, članek v proceduri za objavo v ERK2021
- [8] G. L. Plett, Battery Modeling, ISBN-13: 978-1630810238
- [9] P. Weicker, Lithium-Ion Battery Management, ISBN-13: 978-1608076598