

Elektronika a softwarová struktura BMS

Abstrakt

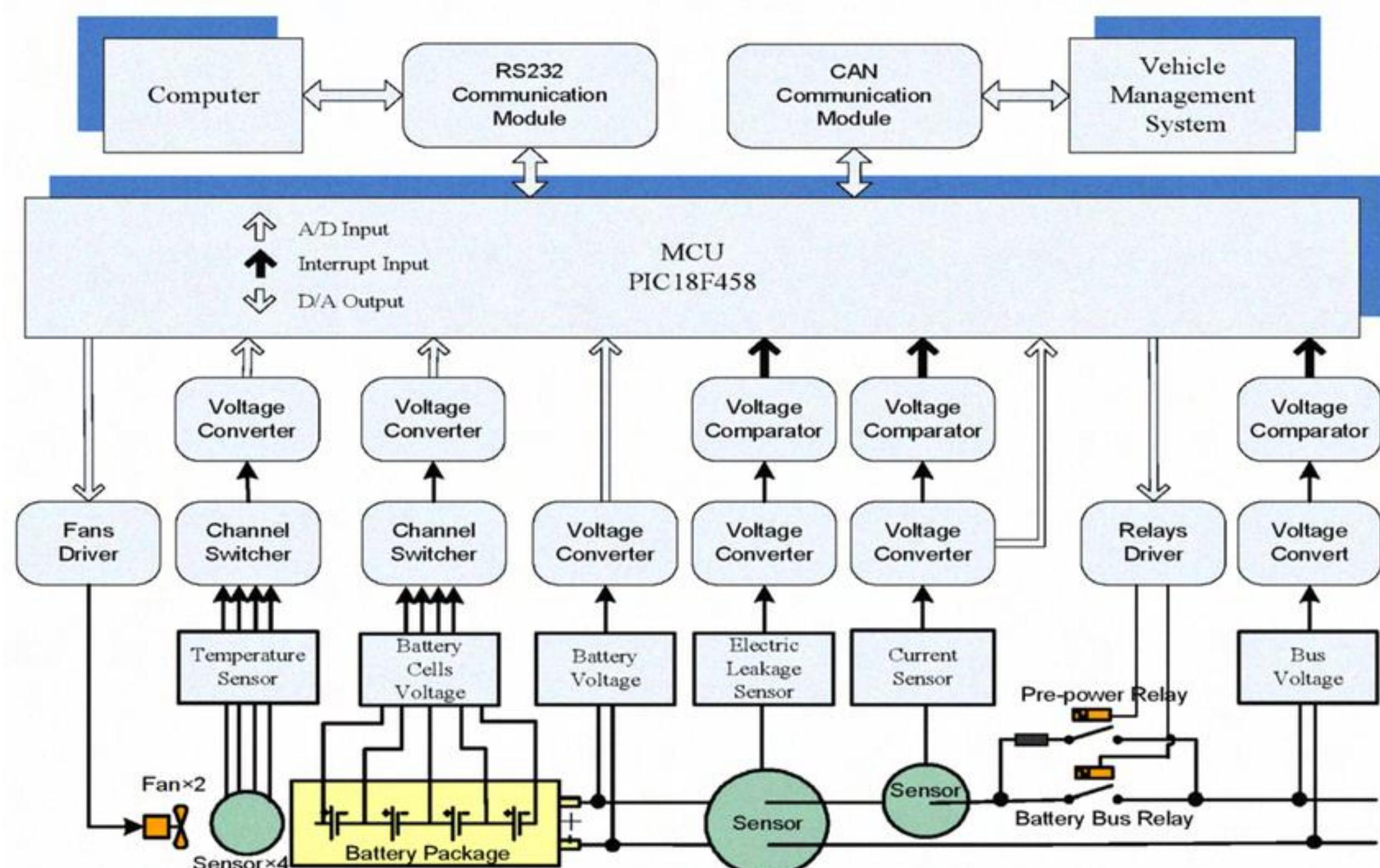
Cílem práce je návrh a realizace pokročilého systému řízení elektronického managementu současných moderních Li-Ion článků. Komplexní úlohu lze principiálně kategorizovat na více dílčích částí – elektroniku výkonového rozhraní, monitorovací analog front-end obvody, komunikační periferie a centrální řídicí jednotku vybavenou odpovídajícím softwarem. Battery management system slouží pro kontinuální dynamické monitorování toku elektrické energie a je realizován podpůrnými obvody řady BQ769x0. Volba konkrétního obvodu ovlivňuje především variabilní sériovou kombinaci článků. Jednoprocesorová řídicí jednotka, mimo své úsporné provozní fáze, s požadovanou periodou vyčítá z AFE obvodů provozní informace, které jsou zpracovávány implementovanými algoritmy. Princip pokročilého řízení vyžaduje plnou kontrolu nad připojenými Li-Ion články, které jsou na počátku prvními provozními cykly důkladně mapovány. Centrální řídicí jednotka dále disponuje možností záznamu provozních dat na MMC, servisní USB komunikací a bezdrátovým připojením prostřednictvím bluetooth modulu.

Metody pro odhad SoC

Odhad stavu nabití baterie (State-of-charge) je nejdůležitějším aspektem v systému správy baterií, který je jednou z klíčových vlastností vyšších tříd BMS systémů využívaných zejména v bateriově poháněných elektrických vozidlech. Parametr SoC představuje dostupnou kapacitu baterie, se kterou lze aktivně pracovat, aniž by došlo k pod-vybití nebo naopak přebití článků a tím zároveň optimalizuje její životnost. Pro návrh odhadu SoC existuje mnoho různých metod, nicméně jejich klasifikace není snadná, neboť většina přístupů vychází z kombinací dvou nebo více metod a zahrnuje řadu heuristických nebo deterministických matematických nástrojů. V praxi lze celkem úspěšně vycházet i z kombinací metod měření napětí nezatíženého obvodu (Open Circuit Voltage – OCV) a počítání Coulombova náboje (Coulomb Counting – CC). Pro tyto metody je běžné, že svůj počáteční odhad korigují kontinuálně během přenosu energie, protože mohou trpět určitými nepřesnostmi. Existují kombinace metod OCV algoritmů a detektorů dynamického zatížení s klíčovou funkcí metody CC rozšířenou algoritmem Kalmanova filtru (REKF). Tyto kombinace vybočují z klasického spektra třídění metod, a proto jsou odborně navrhovány dvě nové reprezentativní kategorie přímého a nepřímého odhadu SoC s podkategoriemi shrnujícími aktuální vývojové trendy.

Vývoj hardware BMS pro mobilní platformu

Význam aplikace battery management systémů obecně spočívá v monitorování kondice připojené baterie, čímž prodlužuje její životnost, zaručuje bezpečnost a poskytuje odhad zbývajících hodnoty kapacity. Schopnost baterie ukládat energii postupně klesá po celou dobu její životnosti, indikátorem zhoršení oproti původní kapacitě je parametr State of Health (SoH). Zbývajících životnost ať už v jednotkách času či počtu vybíjecích cyklů definuje anglická literatura jako Remaining Useful Life (RUL), dokud baterie nedosáhne konce své životnosti End of Life (EoL). Aby se zvýšila účinnost a bezpečnost baterie, musí být BMS velice spolehlivým a přesným zařízením, které z kontinuálně měřených elektrických i neelektrických hodnot dokáže předvídat SoC, SoH, RUL, kapacitu a výkon.



Obrázek 1 – Obecná vnitřní struktura BMS systémů

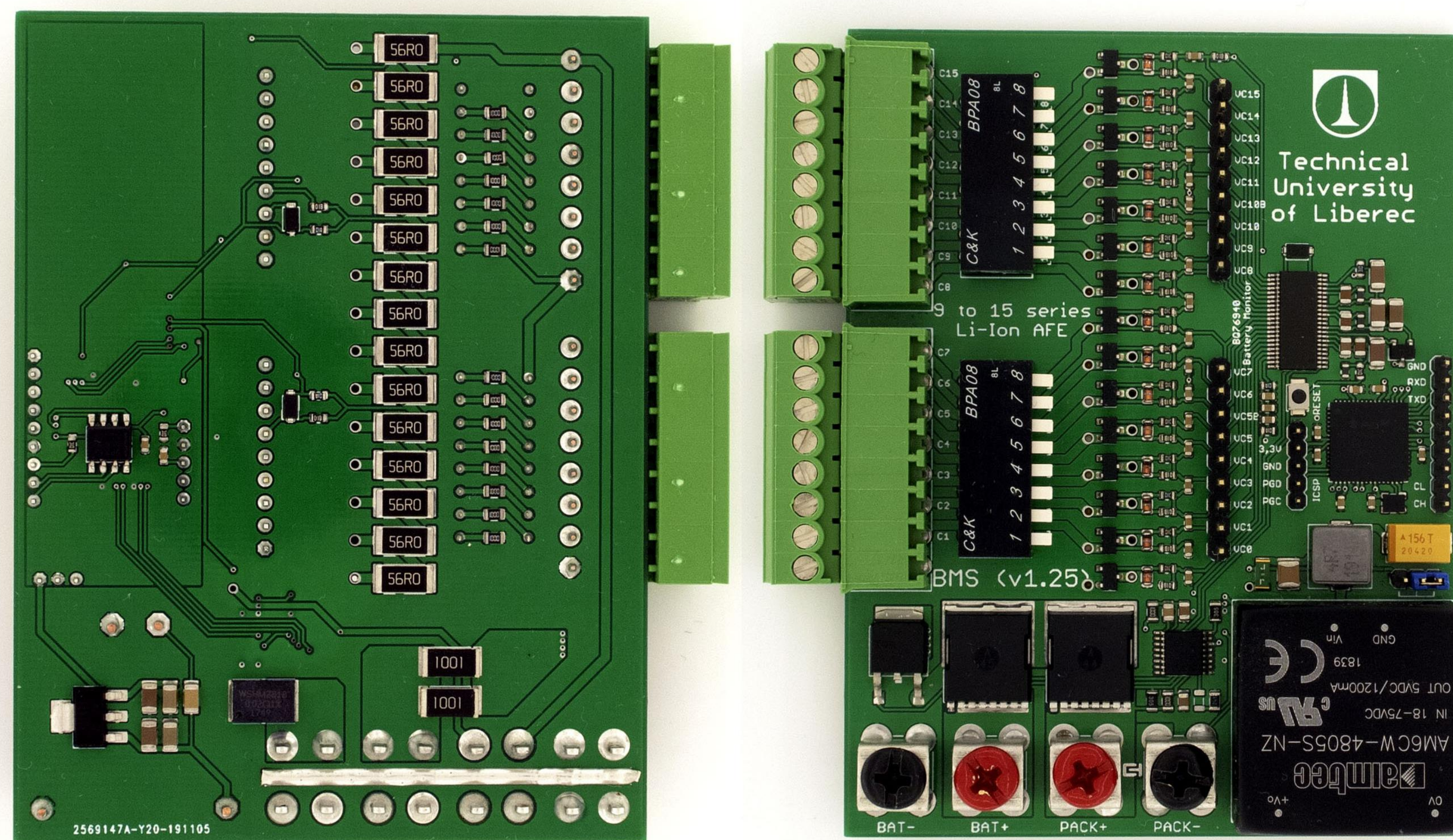
Metoda počítání Coulombova náboje (CC)

Coulomb Counting (CC) se v průmyslu standardizuje jako vypovídající metoda pro odhad SoC. V současné době se jedná o nejpoužívanější metodu, která je obecněji ze značení galvanických článků známa pod jednotkou ampérhodin (Ah). Metoda CC definuje parametr SoC integrálně:

$$SoC(t) = SoC(t_0) + \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^{t_0+t} I_{cell}(d\tau) \times 100\%$$

kde SoC(t0) je počáteční hodnota SoC, Cn nominální kapacita a Icell hodnota průchodu proudu vybíjecího či nabíjecího. Počítání Coulombova náboje probíhá pomocí časového integrálu vybíjecího a nabíjecího proudu, kde je nutná znalost SoC. Metoda CC je implementačně a výpočetně jednoduchá, nicméně nese si sebou problémy vycházející z nepřesné počáteční hodnoty a trvalé kumulace chyb. Chyby senzorů, šum, široké rozlišení se zaokrouhlováním a další ať už snímací či výpočetní faktory vedou k postupné ztrátě přesnosti, takže podpůrné algoritmy jsou nezbytné. Počáteční hodnota SoC nemusí být v praxi většinou ani známa a korektně ji definovat můžeme pouze tehdy, pokud se nachází systém baterií v termodynamické rovnováze. Pokud je počáteční hodnota SoC nepřesná, ovlivňují se postupně všechny navazující odhady a výpočet přestává odpovídat skutečným hodnotám. Přestože metoda CC zůstává v návrhových systémech velice populární, bývá pro přesnější odhad SoC v kombinaci doplňována jinými technikami.

Současná podoba experimentálního návrhu elektroniky



Obrázek 3 – Experimentální návrh elektroniky BMS

Motivace vývoje vlastního systému BMS

- Role BMS v celém energetickém řetězci (+ vlastní spotřeba sleep režimů)
- Volba centralizované / decentralizované topologie soustavy baterií
- CAN komunikace s nabíječkou formát, specifikace, možnosti konfigurace
- Parametry baterie počet článků, kapacita, „vitálnost“ článků
- Princip a způsob balancování pasivní, aktivní – technika přelévání energií



Obrázek 2 – Běžně dostupné formáty Li-Ion baterií

Reference

- [1] Tanim, T.R. Lithium Ion Battery Modeling, Estimation, and Aging for Hybrid Electric Vehicle Applications; The Pennsylvania State University: State College, PA, USA, 2015. [Google Scholar] <https://www.mdpi.com/2079-9292/6/4/102/html>
- [2] Bastawrous H. Online state of charge and model parameters estimation of the LiFePO4 battery in electric vehicles using multiple adaptive forgetting factors recursive least-squares. J Power Sources 2015;296:215–24.
- [3] Hannan MA, Lipu MSH, Hussain A, Mohamed A. A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: challenges and recommendations. Renew Sustain Energy Rev 2017;78:834–54

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2020

Závěr

Za uplynulé období se povedl dokončit a následně zrealizovat návrh elektroniky BMS, nyní již v pokročilé verzi (v1.25, rev.3). Volba konkrétního analog front-end (AFE) obvodu ovlivňuje především variabilní rozsah sériové kombinace článků – BQ76920 (3–5s), BQ76930 (6–10s), BQ76940 (9–15s). Současná experimentální elektronika BMS je založena na obvodu BQ76940, poskytujícím podporu pro separátní obsluhu devíti až patnácti sériově řazených Li-Ion článků a zahrnuje měření proudu a další přidružené ochrany. Pro větší systémy baterií se nabízí způsob modulárního řetězení, které ale pro tuto experimentální aplikaci zatím není nutné. Nadřazeným prvkem v rámci BMS byl zvolen MCU PIC32MZ2048EFH064, který s požadovanou periodou vyčítá po I2C rozhraní z AFE obvodů provozní informace a zpracovává je implementovanými algoritmy. Princip pokročilého řízení vyžaduje plnou kontrolu nad připojenými Li-Ion články, které jsou na počátku prvními provozními cykly důkladně mapovány. Centrální řídicí jednotka dále disponuje možností záznamu provozních dat, CAN komunikací a servisní UART komunikací s bezdrátovým připojením prostřednictvím externího bluetooth modulu.