

# Elektronika a softwarová struktura BMS

Ing. Ondřej Mach <ondrej.mach@tul.cz>

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.

**Klíčová slova:** Battery Management System, Li-Ion Battery, Active Cell Balancing

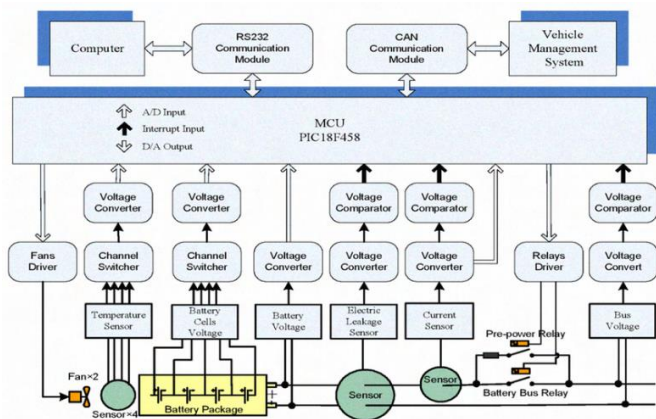
## Úvod

Význam aplikace battery management systémů obecně spočívá v monitorování kondice připojené baterie, čímž prodlužuje její životnost, zaručuje bezpečnost a poskytuje odhad zbývající hodnoty kapacity. Schopnost baterie ukládat energii postupně klesá po celou dobu její životnosti, indikátorem zhoršení oproti původní kapacitě je parametr State of Health (SoH). Zbývající 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.

Odhadovaný parametr SoC lze v BMS označit za jeden z nejdůležitějších, nicméně zjišťování jeho aktuální přesné hodnoty zůstává výzvou kvůli silným nelineárním a komplexním elektrochemickým reakcím v baterii a také vzhledem k průběžným procesům jejího stárnutí.

## Metodika

Existuje mnoho různých přístupů k návrhům elektroniky BMS v závislosti na specifických požadavcích koncových aplikací, nicméně většina z nich se zaměřuje právě pouze na funkce balancování článků a zmíněné odhady SoC. Nepatrné množství z nich pak prezentuje výzkum týkající se BMS z globálnějšího pohledu, který zobrazuje celý návrh distribuované struktury pro dosažení lepší modularity a přenositelnosti. V elektronických vozidlech postupně sílí trend směřovat BMS k návrhu inteligentních systémů, které zahrnují oblasti výzkumu směřující k umělé inteligenci používané pro odhad zbývající kapacity baterie. Adaptivní a prediktivní BMS založené na heuristických modelech jsou zvláště důležité pro velké akumulátory v aplikacích elektrických vozidel a do budoucna v inteligentních sítích. V literatuře prezentované v [1] je BMS navržen na základě sedmého řádu pro model s jednoduchou baterií s difúzním elektrolytem a teplotně závislými parametry, které využívají interakci odezvy lithium-iontového článku s teplotou, přičemž úsilí zaměřují na přesný odhad SoC.



Obrázek 1: Návnost funkčních bloků BMS

Zdroj: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

## 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.

## Počítání Coulombova náboje (CC)

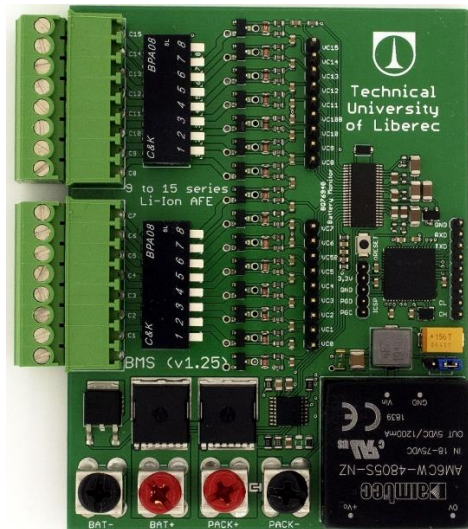
Coulomb Counting (CC) se v průmyslu standardizuje jako vypovídající metoda pro odhad SoC. V současné době se jedná o nejpoužívanější metodu, která je obecněji ze značení galvanických článků známa pod jednotkou ampérhodin (Ah). Metoda CC definuje parametr SoC integrálně:

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

kde  $SoC(t_0)$  je počáteční hodnota SoC,  $C_n$  nominální kapacita a  $I_{cell}$  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.

## Výsledky, diskuze a závěr

Široké spektrum postupně nastíněných situací má v současné době hardwarovou podporu v rámci konkrétních obvodů. Pro naši experimentální aplikaci byla dle úvodu vybrána AFE součástka BQ76940, kolem které následně „vyrostly“ odpovídající obvody doplňující elektronický management o další nezbytné řídicí / komunikační a bezpečnostní prvky. Hardware je koncipován obecněji pro snadnější vnik externích modifikací a následnou dostupnost provozních měření.



Obrázek 2: Experimentální návrh elektroniky BMS

## Poděkování

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

## 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.