

Vývojový prostředek pro vývoj BMS systému automobilu

Development tool for design of vehicle battery management system

Daniel Matloch

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mrověk, Ph.D.

Ostrava, 2022

Zadání bakalářské práce

Student: Daniel Matloch

Studijní program: B0713A060007 Automobilové elektronické systémy

Téma: Vývojový prostředek pro vývoj BMS systému automobilu
Development tool for design of vehicle battery
management system

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte teoretickou rešerši z oblasti trakčních baterií osobních vozidel. Zaměřte se na jejich technologie, konstrukční provedení a možnosti systémů pro monitorování jejich stavu.
- 2) Na základě stanovených požadavků vytvořte návrh vývojového kitu pro vývoj systému pro správu trakční baterie.
- 3) Navržený kit sestavte a oživte.
- 4) Správnou funkci doložte výsledky z konkrétní aplikace a navrhňte možné způsoby využití vývojového kitu.

Seznam doporučené literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce a společnosti Porsche Engineering s.r.o.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Mrovč, Ph.D**

Datum zadání:

Datum odevzdání:

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Tomášovi Mrovčovi, Ph.D. za odbornou pomoc a ochotný přístup. Dále bych rád poděkoval společnosti Porsche Engineering Services s.r.o. za poskytnutí prostředků, podpory a umožnění tvorby této práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem a sestavením testovacího HiLu pro vývoj battery management systému elektromobilu. Úvodní část je věnována teoretickému rozboru trakční baterie a její monitorování. Jsou zde popsány konkrétní aplikace a využití v elektromobilech. V druhé části je za pomoci vytipovaných komponent navržen a sestaven testovací HiL, pomocí vývojového prostředí CANoe a programovacího jazyku C# je také zprovozněn. Poslední část se zabývá navrženou a správně namodelovanou konkrétní aplikací, která může být využita pro školní účely jako laboratorní úloha.

Klíčová slova

Elektromobilita, Battery Management System, Trakční baterie, Li-ion akumulátor, CANoe, CMC simulace

Abstract

The bachelor thesis contains the design and compilation of a test HiL for the development of an electric vehicle battery management system. The introductory part is devoted to the theoretical analysis of the traction battery and its monitoring. Specific applications and uses in electric vehicles are described. In the second part, a test HiL is designed and assembled with the help of selected components which is put into operation using the CANoe development environment and the C # programming language. The last part deals with a designed and correctly modeled specific application which can be used for school purposes as a laboratory task.

Key words

Electromobility, Battery Management System, Traction battery, Li-ion battery, CANoe, CMC simulation

Seznam použitých zkratek

API	Application programming interface
ASIL	Automotive Safety Integrity Level
BEV	Battery electric vehicle
BMS	Battery management system
BTMS	Battery thermal management system
CO ₂	Oxid uhličitý
CMC	Cell module controller
E-mobilita	Elektromobilita
HP	Heat pipes
HEV	Hybrid electric vehicle
HiL	Hardware in the loop
Li-ion	Lithium-iont
Li-pol	Lithium-polymer
NiCd	Nikl-kadmium
NiMH	Nikl-metal hybrid
PCM	Phase change material
PHEV	Plug in hybrid electric vehicle
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 – vyobrazení fázi nabíjení Li-ion baterie	12
Obrázek 2 – porovnání Li-ion baterie se Solid state baterii	13
Obrázek 3 – konstrukce trakční baterie elektromobilu	14
Obrázek 4 - konstrukce válcového provedení článku	15
Obrázek 5 – porovnání uložení válcových a hranolových článků	15
Obrázek 6 – konstrukce hranolové baterie	16
Obrázek 7 – ukázka nabobtnání pouzdrového článku	17
Obrázek 8 – konstrukce pohonů HEV, PHEV A BEV	18
Obrázek 9 – aplikace BMS na jednotlivých člancích baterie.....	20
Obrázek 10 – blokové schéma systému BMS	20
Obrázek 11 – rozdělení systému tepelného managementu.....	22
Obrázek 12 – MAX17851	23
Obrázek 13 – NovaCart	23
Obrázek 14 – schéma zapojení BMS MAX1785	24
Obrázek 15 – schéma zapojení simulovaných modulů NovaCart.....	25
Obrázek 16 – schéma zapojení navrženého HiLu	26
Obrázek 17 – ukázka grafického rozhraní pro ovládání BMS MAX17851.....	28
Obrázek 18 – ukázka části simulace NovaCart vytvořené v CANoe.....	29
Obrázek 19 – nastavení požadovaných hodnot napětí článků na zařízení 4 v CANoe.....	30
Obrázek 20 – aktivitní diagram popisující postup zprovoznění simulace a chování mezi BMS a NovaCart	31
Obrázek 21 – nabíjení Li-ion článku	32
Obrázek 22 – změřený průběh simulovaného nabíjení Li-ion článku	33

Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Seznam použitých obrázků	6
1. Úvod	9
2. Přehled trakčních baterii pro elektromobily	10
2.1. Elektrická baterie	10
2.2. Rozdělení podle chemického složení	11
2.2.1. Olověný akumulátor	11
2.2.2. Nikl-kadmiový akumulátor (NiCd)	11
2.2.3. Nikl-metal hybridový akumulátor (NiMH)	12
2.2.4. Lithium-iontový (Li-ion) akumulátor	12
2.2.5. Lithium-polymerový akumulátor (Li-pol)	13
2.2.6. Solid state akumulátory	13
2.3. Trakční baterie a její konstrukce	14
2.4. Aplikace trakčních baterii v automobilech	17
2.4.1. Hybrid electric vehicle (HEV varianta)	17
2.4.2. Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV varianta)	18
2.4.3. Battery electric vehicle (BEV varianta)	18
2.5. Systémy pro monitorování a správu trakčních baterii	19
2.5.1. Battery management system	19
2.5.2. Systém tepelného managementu (BTMS)	21
3. Návrh testovacího HiLu pro vývoj systému správy trakční baterie	23
3.1. Vytipování komponent pro stavbu testovacího HiLu	23
3.2. Popis BMS vývojového kitu MAX17851	24
3.3. Popis simulačního kitu bateriových článků NovaCart	25
4. Sestavení a oživení navrženého kitu	26
4.1. Schéma zapojení navrženého obvodu	26
4.2. Komunikace	26
4.2.1. UART komunikace mezi BMS a NovaCart	26
4.2.2. Komunikace mezi uživatelem a obvodem	26
4.3. Správa BMS kitu MAX17851	27
4.4. Vývojové prostředí CANoe	28
4.5. Správa CMC simulace	29

4.6.	Ověření funkčnosti navrženého obvodu	30
5.	Výsledky z měření simulovaného nabíjení Li-ion článku pomocí vývojového kitu	32
5.1.	Návrh a popis simulačního modelu	32
5.2.	Postup a výsledky měření.....	33
5.3.	Návrh možných dalších způsobů využití	33
6.	Závěr	34
	Použitá literatura	35
	Seznam použitých příloh	38

1. Úvod

Klimatické změny, které v nemalé míře začínají ovlivňovat náš každodenní život, jsou velkým tématem 21. století. Cílem pro minimalizaci těchto změn je snížení emisí CO₂. Jejich snížení se dá docílit vícero způsoby, avšak momentálně je jedním z nejdiskutovanějších témat e-mobilita, která se mílovými kroky vyvíjí a posouvá dopředu. Elektromobily rapidně snižují lokální emise a s největší pravděpodobností se tak budoucnost automobilů bude ubírat tímto směrem.

I když se o elektromobilitě začalo hlasitě mluvit teprve v posledních letech, historie elektromobilů sahá až do roku 1835, tedy ještě před vznikem spalovacích motorů. Spalovací motory se dostaly do popředí díky vynálezu elektrického startéru a Henrymu Fordovi, který spustil první sériově vyráběný model T. Elektromobily tak dlouho dobu kráčely ve stínu konvenčních pohonů, nicméně v roce 2008 přišla na trh americká automobilka Tesla, která odstartovala „dobu elektrickou“.

Aby mohl elektromobil spalovacím vozidlům konkurovat, musí nabídnout zákazníkovi minimálně stejné parametry. Jedná se především o výkon motoru, dojezd (velikost kapacity baterie) a rychlost nabíjení. Dvěma parametrům (dojezd a rychlost nabíjení) se momentálně z konstrukčních limitů nedaří „klasickým“ automobilům vyrovnat. Nicméně, automobilky vynakládají velké úsilí, aby se tyto ztráty v co nejkratším čase dorovnaly. Komponentou, na které se závisí již výše zmíněné nedostatky je trakční baterie. Aby mohla fungovat efektivně, měla dlouho životnost, byla bezpečná a spolehlivá, je potřeba k ní integrovat battery management systém neboli systém pro správu baterie. Baterii může během používání narazit na řadu destruktivních situací, kterým můžeme díky využití battery management systému předcházet, v ideálním případě je zcela eliminovat. Vývoj této části je tedy naprosto klíčový pro úspěšnou budoucnost elektromobilů.

Cílem této práce je popsat trakční baterii (konstrukci, technologie a systémy pro její správu), navrhnout a sestavit testovací HiL, pomocí kterého se provede konkrétní aplikace a navrhnou se další možné způsoby jeho využití.

2. Přehled trakčních baterii pro elektromobily

2.1. Elektrická baterie

Elektrická baterie je zdroj elektrické energie, složená ze sériově, případně paralelně spojených elektrických článků. Sériovým spojením se dosáhne vyššího elektrického napětí, než jaké bylo při použití pouze jednoho článku. Celkovým součtem dílčích napětí na článcích pak dostaneme výsledné napětí celé baterie. Články rozlišujeme na primární (nelze nabíjet) a sekundární (lze nabíjet). Množství elektřiny (tj. elektrického náboje) uložené v bateriích se nejčastěji udává v ampérhodinách, přičemž celková energie uložená v baterii se často udává ve watthodinách.

- **Primární článek**

Je označení pro elektrický zdroj na jedno použití. Jejich efektivita není příliš vysoká (na výrobu je nutno použít mnohem více energie, než kterou z nich lze získat), výhodou je však odolnost proti samovybíjení (dobrá skladovatelnost) oproti sekundárnímu článku.

- **Sekundární článek**

Je označení pro elektrický zdroj na opakované uchování elektrické energie. Oproti primárnímu článku jej lze použít vícekrát, má tedy dobré předpoklady pro použití ve startovacích a trakčních bateriích.

- **Série sekundárních článků (akumulátor)**

Zapojení sekundárních článků do trvalých sérií snižuje jejich životnost a kvalitu. V režimu vybíjení se články chovají stejně jako primární, v režimu nabíjení sériové zapojení přiřazuje každému článku stejný proud. Každý článek je v praxi trochu rozdílný (jiný vlastní odpor) a potřebuje své vlastní nabíjecí napětí (toho lze dosáhnout pomocí regulátoru zdroje proudu). Pokud články nedisponují stejnou kapacitou, může nastat situace kdy článek s nejmenší kapacitou se vybije pod svou přípustnou hranici, toto může vést k reverzaci napětí a zničení samotného článku. [1][2]

2.2. Rozdělení podle chemického složení

2.2.1. Olověný akumulátor

Je sekundární galvanický článek, jehož elektrody jsou na bázi olova a elektrolytem je koncentrát kyseliny sírové. Má dva druhy provedení výroby:

- **Se zaplavenými elektrodami**

Elektrolyt je volně mezi elektrodami ve formě kapaliny (autobaterie)

- **VRLA (řízené ventilem)**

Jedná se o zapouzdřené akumulátory s výrazným omezením vývinu plynů. Tento typ se pak dále dělí na AGM, jehož elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě mezi elektrodami a gelové, kdy elektrolyt je zahuštěn ve formě gelu

Akumulátor patří mezi nejrozšířenější, můžeme jej nalézt prakticky v každém typu vozidla. Mezi hlavní výhody patří možnost odebírat velké rázové proudy a nízká cena. Naopak mezi nevýhody můžeme zařadit, nevhodnost akumulátor dlouhodobě hluboce vybíjet, nutnost uchovávat akumulátor v nabitém stavu a nízkou jak energetickou hustotu, tak počet cyklů. Převážně se využívá pro startování spalovacích motorů (krátkodobý odběr vysokého proudu) anebo pro krátkodobé napájení spotřebičů v autě při vypnutém motoru. Tento typ akumulátoru nalezneme také v e-mobilitě, např. Škoda Enyaq využívá olověný akumulátor pro napájení spotřebičů v autě, který je následně dobíjen z trakční baterie. [3]

2.2.2. Nikl-kadmiový akumulátor (NiCd)

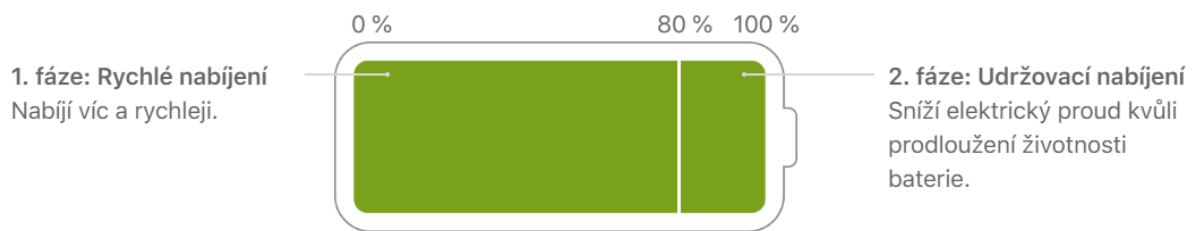
Vyrábí se ve dvou variantách, se zaplavenými elektrodami a kapalným elektrolytem nebo jako hermetizovaný. Tento typ akumulátorů najde uplatnění v zařízeních s vysokým odběrem proudu a vysokým zatížením během jejich provozu. Baterie na bázi niklu se používaly u trolejbusů jako zásobník energie pro dojezd bez troleje, nebo u lokomotiv. Mezi přednosti patří nízké náklady, dlouhá životnost (8–10 let), vysoký počet cyklů (nabití a vybití), rychlé nabíjení, funkčnost za nepříznivých podmínek (např. nízká teplota). Nicméně tento akumulátor má také řadu nevýhod. Jednou z nejzásadnější, kvůli přísným požadavkům na životní prostředí, je obsah toxického kadmia a kvůli tomu se NiCd akumulátor v dnešní době moc nevyužívá. Akumulátory se musí skladovat vybité, jelikož rychle ztrácí svou kapacitu (až 10 % /měsíc), pokud bychom akumulátor skladovali rok, tratí téměř veškerou svou energii. Před nabitím je potřeba akumulátor nejprve vybit jinak dojde ke zkrácení kapacity a životnosti. Pokud akumulátor dlouho skladujeme, jeho obnova vyžaduje tři cykly úplného nabití a vybití. [4][5]

2.2.3. Nikl-metal hybridový akumulátor (NiMH)

Tento typ vytlačuje výše zmíněný Nikl-kadmiový akumulátor díky absenci kadmia a vyšší hustotě energie (přibližně o 30 %). Jsou odolné proti silnému nabíjecímu a vybíjecímu proudu a v případě jejich přehřátí také bezpečnější než například lithiové akumulátory. Díky absenci lithia je snadnější jejich skladování a přeprava. Mezi negativa patří, náchylnost vůči úplnému vybití, složitá detekce konce nabíjení a nižší počet cyklů než u výše zmíněného NiCd akumulátoru. Akumulátory NiMH dříve ztrácely během prvních 24 hodin 10 až 15 % ze své kapacity (poté každý měsíc), ovšem v roce 2005 se objevily NiMH akumulátory s nízkým samovybíjením neboli NiMH LSD, které se prodávaly již nabitě. Tyto akumulátory během jednoho roku skladování drží zhruba 70 až 85 % své kapacity. Dnes mají velké zastoupení u hybridních vozidel. [5][6][7]

2.2.4. Lithium-iontový (Li-ion) akumulátor

V současné době nejpoužívanější typ akumulátorů, je založen na podobném chemickém principu jako lithium-polymerové akumulátory. Díky svým vlastnostem je používán jako uchovatel elektrické energie pro elektromobily. Mezi výhody patří vysoká výkonová hustota (třikrát větší než u NiMH), velmi nízké samovybíjení (do 5 %), absence akumulátor formovat (více než jednou nabít a vybit před prvním použitím). Nevýhodou je pak stárnutí akumulátoru nezávislé na tom, zda je používán či nikoliv, rychlost stárnutí může urychlit například vyšší teplota, vyšší stav nabití a vyšší vybíjecí proud. Akumulátoru lze však prodloužit životnost správným zacházením. Při nabíjení se akumulátor velmi rychle nabije do 80 % své kapacity, poté se nabíjení zpomalí a do plna se dobije výrazně pomaleji. Akumulátor se však může zničit pokud je delší dobu úplně vybitý. I přes velké využití zůstává nevyřešena jejich recyklace, která je velmi složitá a nákladná, a jsou tak nebezpečím pro životní prostředí. [8][9][10]



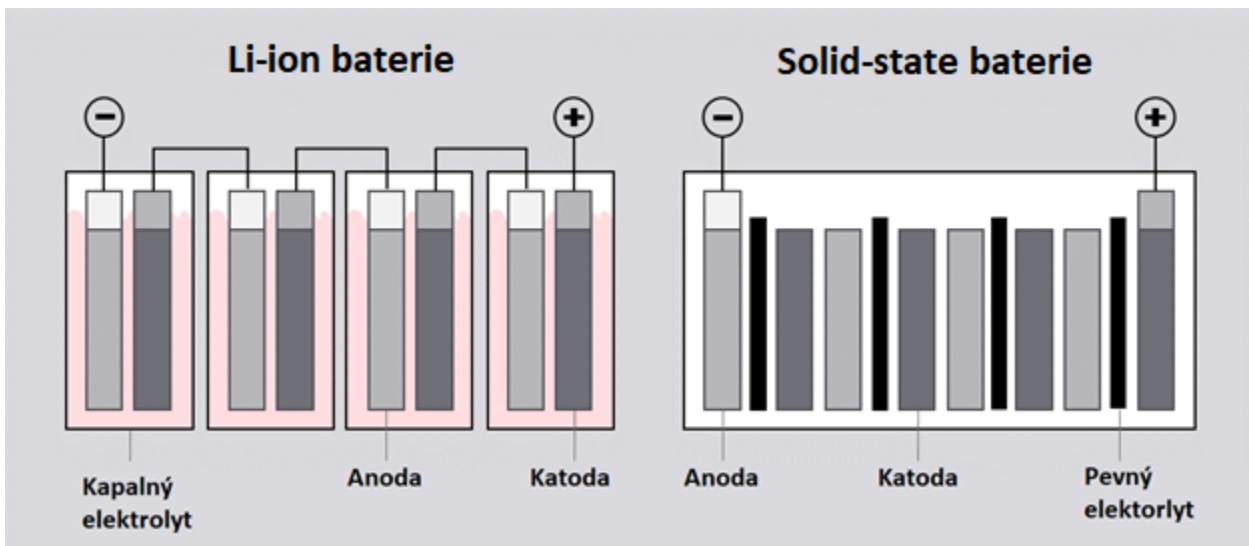
Obrázek 1 – vyobrazení fází nabíjení Li-ion baterie [10]

2.2.5. Lithium-polymerový akumulátor (Li-pol)

Vznik pochází z lithium-iontových akumulátorů. Zásadním rozdílem oproti výše zmíněným akumulátorům je v elektrolytu, který v tomto případě není kapalný, ale obsahuje gelový elektrolyt. Akumulátor je díky tomu tenčí, má menší hmotnost, je schopný pracovat ve velkém teplotním rozsahu (-10 až 50) a je především bezpečnější. Přestože Li-pol zlepšuje vlastnosti Li-ion akumulátorů (vysoká kapacita, velká výkonnost, nízká hmotnost a nízké samovybíjení) není jeho použití v automobilovém průmyslu rozšířené kvůli technologicky, energeticky a ekonomicky náročné výrobě. Akumulátory tak svůj podíl na trhu najdou v menších zařízeních jako jsou mobilní telefony, notebooky apod. [9][11]

2.2.6. Solid state akumulátory

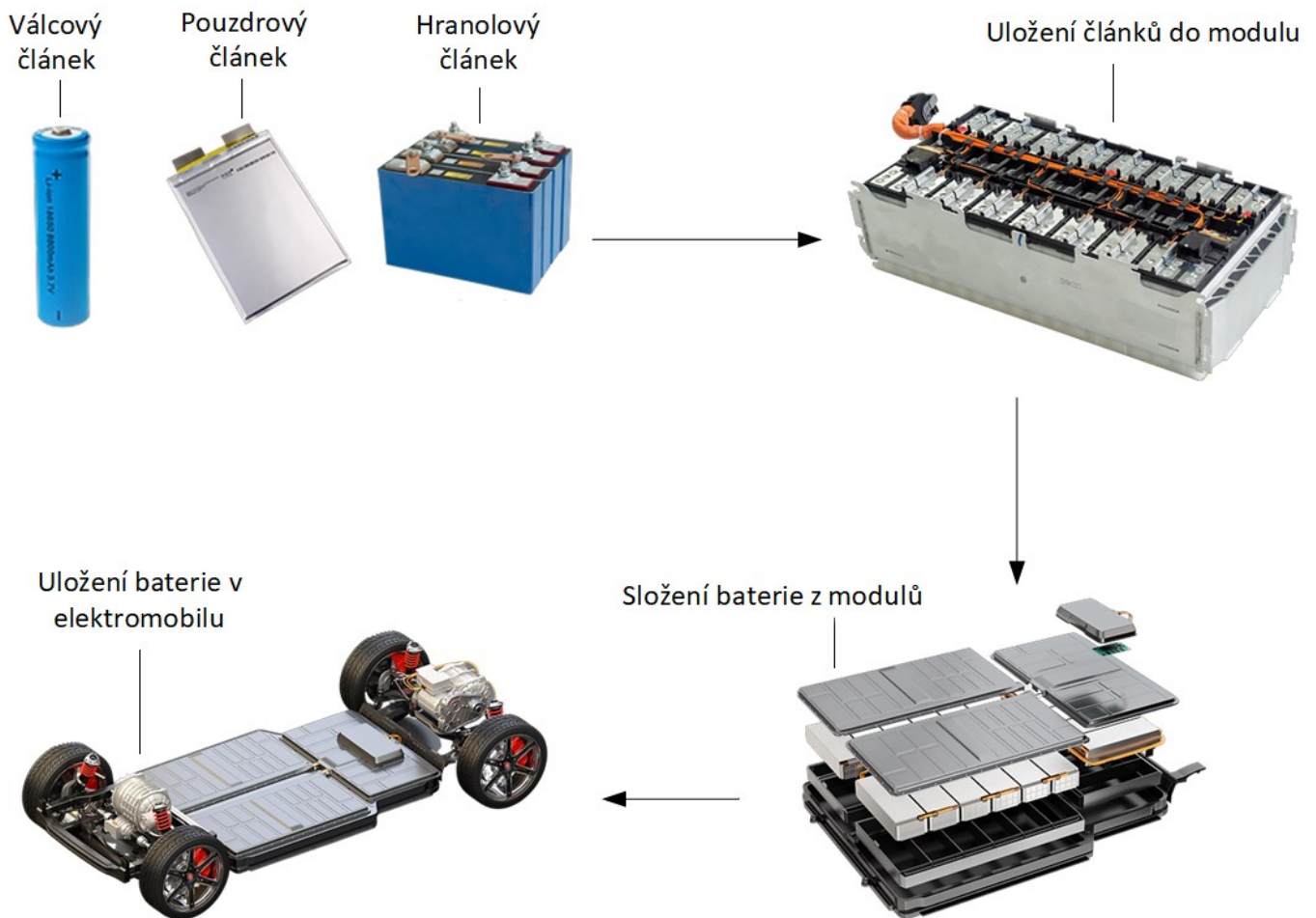
Tyto akumulátory jsou založeny na pevném elektrolytu. Díky tomuto řešení je použito méně materiálu na výrobu stejného počtu článků jako u Li-ion akumulátorů. V praxi to tedy znamená menší hmotnost, objem a tím i vyšší hustota energie. Dalším důležitým aspektem je pak větší bezpečnost, v případě vzniklé nehody a následného poškození baterie si solid state stále udržuje svůj tvar. Nicméně tento typ je stále ve vývoji a má tak jistá technická omezení, oproti Li-ion má daleko menší počet cyklů, vyšší vnitřní odpor (vysoké ztráty při velkém výkonu a nemožnost užití rychlonabíjení) a v neposlední řadě malá odolnost proti nízkým teplotám. I přes tyto nedokonalosti, na jejichž odstranění již automobilky pracují, se budou v budoucnu tlačit do popředí e-mobility, a to zejména kvůli tomu, že obsahují až dvakrát více energie než Li-ion při stejné velikosti. [12]



Obrázek 2 – porovnání Li-ion baterie se Solid state baterií [13]

2.3. Trakční baterie a její konstrukce

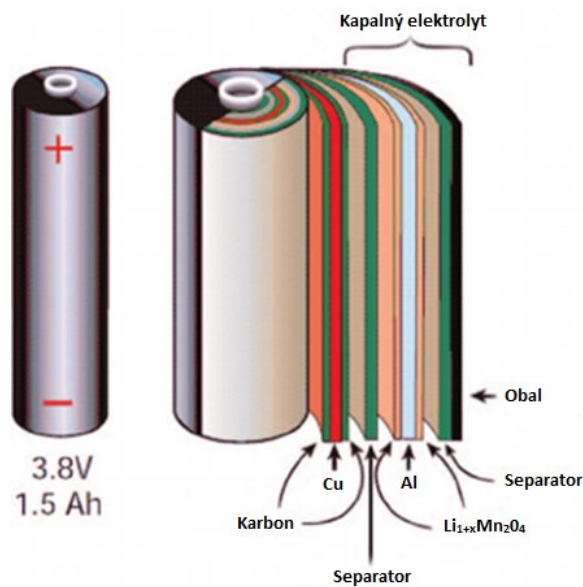
Trakční baterie (akumulátor) je uchovatel elektrické energie. Na rozdíl od startovací baterie (olověné), je navržena pro opakované hluboké vybíjení. Hodí se tedy zejména pro náročné aplikace a každodenní zatěžování. Typická aplikace je pro elektrické pohony vozidel (osobní automobily, pracovní stroje, drážní vozidla). Baterie se skládá z bateriových článků (válcové, hranolové nebo pouzdrové), které se zapojují paralelně nebo do série, aby se dosáhlo požadovaného napětí a proudu. Články jsou naskládány do modulů, ze kterých se pak složí celá baterie. Toto řešení je jednodušší na výrobu, instalaci, správu, údržbu a v případě vzniku požáru snižuje rychlost jeho šíření. Trakční baterie musí být navrženy tak, aby měly co největší kapacitu. Baterie pro elektromobily se vyznačují relativně vysokými poměry výkonu k hmotnosti, energie k hmotnosti a hustotou energie (menší a lehčí baterie snižuje hmotnost vozidla a zlepšuje tak jeho výkon). Ve srovnání s kapalnými palivy (benzín a nafta) má většina současných bateriových technologií mnohem nižší měrnou energii, která ovlivňuje maximální dojezd vozidel. [14][15]



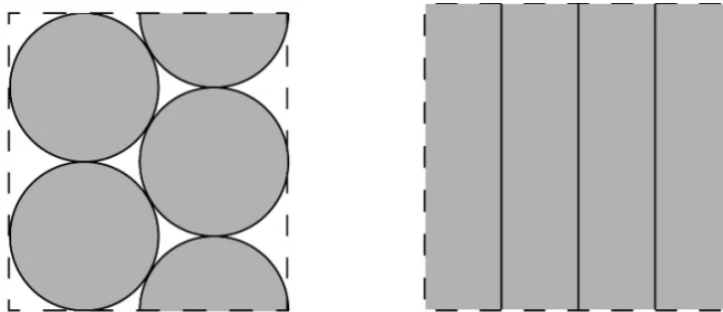
Obrázek 3 – konstrukce trakční baterie elektromobilu [16]

2.3.1. Válcové provedení článků

Tento typ se začal vyrábět sériově jako jeden z prvních, jedná se o osvědčenou technologii, která je taky velmi využívána v oblasti e-mobility. Tento druh článku se skládá z plochých anod, katod a separátorů, které jsou na sobě poskládány a srolovány do svitku ve tvaru válce. Články jsou tak vhodné pro automatizovanou výrobu. Další výhodou tohoto typu konstrukce je mechanická stabilita, kulatý tvar baterie rozděluje vnitřní tlak z bočních reakcí téměř rovnoměrně po obvodu článku. Díky tomu je pak možné tolerovat vyšší úroveň vnitřního tlaku, aniž by došlo k deformaci. Spojení válcových článků do modulů se vytvoří kruhový průřez a neumožňuje tak plně využít prostor, vznikají tak prostorové ztráty. Baterie tedy není tak kompaktní při stejném počtu článků jako hranolové nebo pouzdrové, na druhou stranu tepelné řízení článků je daleko jednodušší, protože vzniklý prostor umožňuje chladicí kapalině snadno cirkulovat kolem článků. [17]



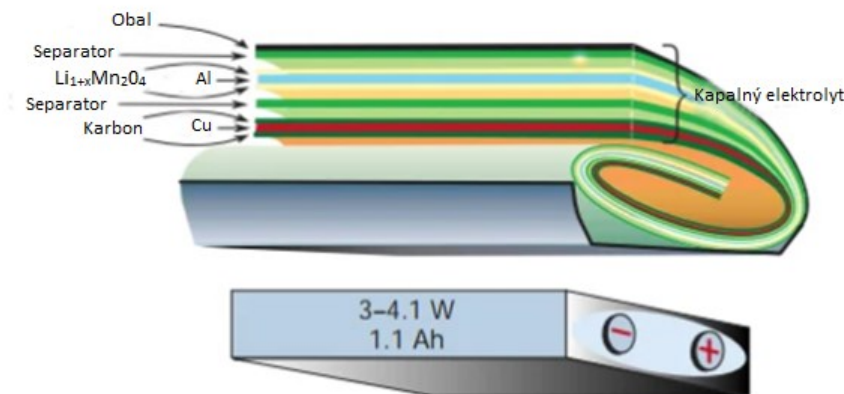
Obrázek 4 - konstrukce válcového provedení článku [17]



Obrázek 5 – porovnání uložení válcových (vlevo) a hranolových (vpravo) článků [18]

2.3.2. Hranolové provedení článků

Hranolové články se skládají z velkých plátů anod, katod a separátorů, které jsou pak svinuty a slisovány tak, aby se vešly do kovového nebo tvrdého plastového krychlového pouzdra. Části elektrod a separátorů, které se nacházejí blízko rohů pouzdra, mohou být vystaveny většímu namáhání. Povlak elektrody tak může být poškozen, a to vede k nerovnoměrné distribuci elektrolytu. Hranolový formát pouzdra se efektivně skládá do modulů a je tak optimální pro využití dostupného prostoru. Toto řešení je však na úkor náročnějšího tepelného managementu, vzhledem k absenci větších prostorů jako je tomu u válcových článků. Ve srovnání s válcovým provedením pak mají kratší životnost a jsou náročnější na výrobu. Hranolové články méně trpí na otoky než pouzdrové, ale i v tomto ohledu si nevedou tak dobře jako válcové. Naopak mezi přednosti tohoto provedení můžeme zařadit, bezpečnost a na úrovni modulů nabízí vysokou energetickou hustotu. Kapacita článků se pohybuje od několika ampérhodin (notebooky, mobilní telefony) až po stovky ampérhodin určených pro elektromobily. Díky tomu je aktuálně nejčastějším provedením v elektromobilech, do jejich vývoje hodně investuje například automobilka Toyota. [18] [19]



Obrázek 6 – konstrukce hranolové baterie [18]

2.3.3. Pouzdrové provedení článků

Toto provedení je aktuálně druhé nejčastěji používané v automobilovém průmyslu. Mezi jeho přednosti patří dobrý odvod tepla a jednoduché řízení. Články nemají pevný obal, jejich pouzdro je tvořeno zatavenou flexibilní fólií. Vrstvy elektrody a separátoru jsou na sobě pouze naskládány. Jedná se o minimalistický přístup, díky nižší hmotnosti a kompaktním rozměrům, se snadno vejdou do dostupného prostoru. U váčkových buněk by měl konstruktér vyčlenit dostatek prostoru pro bobtnání buněk. Tento typ však na úrovni modulu vyžaduje vyšší náklady, aby byl zajištěn bezpečný provoz. Po zhruba 500 cyklech může baterie nabobtnat, to je způsobeno tvorbou plynu během nabíjení a vybíjení. Nicméně výrobci údajně, že tyto baterie nevytvářejí přebytečné plyny, které mohou vést k otokům. I přesto může k nadměrnému bobtnání dojít, avšak

nejčastěji tento problém není způsoben nesprávným použitím, ale chybou výroby. Tlak z nabobtnání může zničit kryt baterie. Ikdýž výrobci tvrdí, že nafouknutý článek je bezpečný, oteklý článek nesmí být narušen v těsné blízkosti tepla nebo ohně, jelikož unikající plyny se mohou vznítit. Vzhledem k měkké konstrukci článku je vyžadována podpurná struktura a článek by neměl být tedy umístěn blízko ostrých hran. [18][19][20]



Obrázek 7 – ukázka nabobtnání pouzdrového článku [19]

2.4. Aplikace trakčních baterii v automobilech

V automobilovém průmyslu se před vznikem hybridů a elektromobilů využívaly trakční baterie například v karavanech. Existuje více druhů řešení elektrického pohonu, ale momentálně se využívají trakční baterie nejvíce v těchto třech variantách pohonu – HEV (Hybrid Electric Vehicle), PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) a BEV (Battery Electric Vehicle). [21]

2.4.1. Hybrid electric vehicle (HEV varianta)

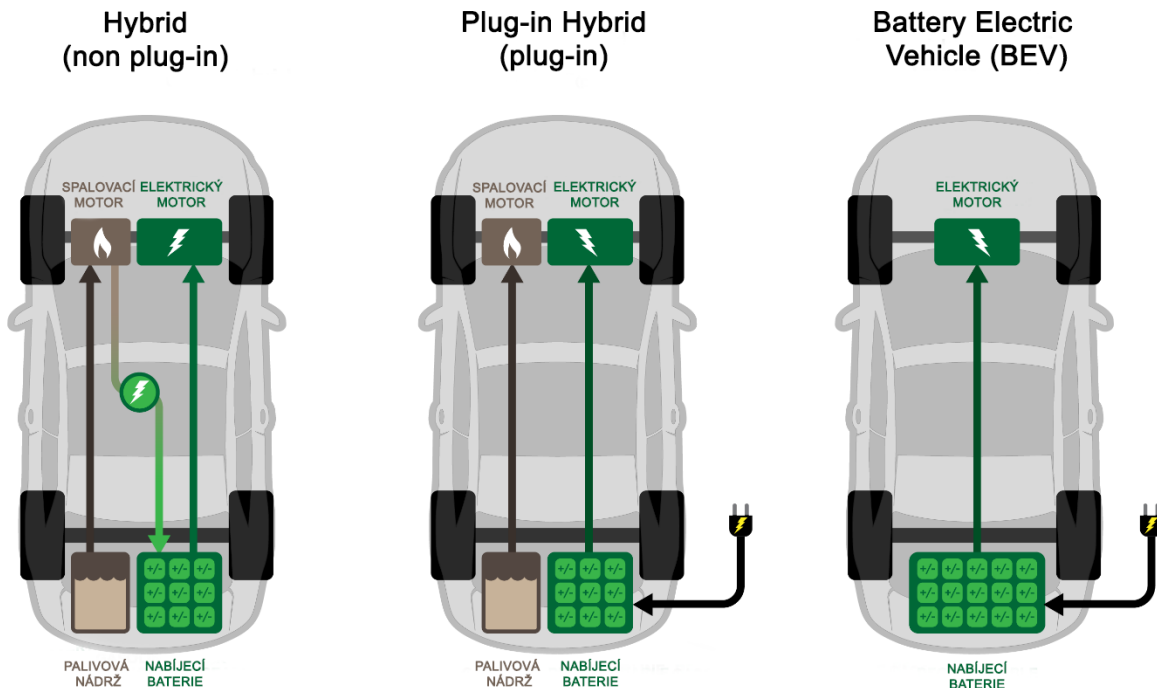
Používá menší baterie, které jsou ve většině případů umístěny v zadní části vozu (pod zadními sedadly), jelikož krom elektromotoru se zde vyskytuje také motor spalovací. Baterie nelze dobíjet externě, ale pouze rekuperací. Nepoužívají se tedy pro ježdění na čistě elektrický pohon (dojezd v jednotkách km podle vozidla). Elektromotor zde zastává funkci podpory spalovacího motoru, pomáhá například u rozjezdů, ale taky může pomoci spalovacímu motoru vyvinout větší výkon. Touto kombinací pak můžeme dosáhnout výrazného snížení emisí CO₂ a tím šetřit jak naši planetu, tak i spalovací motor. [21][22][23][24]

2.4.2. Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV varianta)

Vylepšení varianty HEV. Stále se zde nachází kombinace spalovacího a elektrického motoru. Nabízí však větší baterii, která je schopná uchovat dostatek elektrické energie pro dojezd na čistě elektrický pohon, např. Škoda Octavia iV má uváděný dojezd až 60 km., samotné elektromotory pak mají také vyšší výkon. Stále však zůstává možnost jezdit v režimu podpory spalovacího motoru. Zásadní rozdíl je v nabíjení baterie, kterou kromě rekuperace elektrické energie z jízdy, je možné nabíjet externě ze sítě (dobíjecí stanice, 230 V zásuvka), odtud tedy „plug-in“. [21][22][23][24]

2.4.3. Battery electric vehicle (BEV varianta)

V této variantě stojí vše na elektrické energii, vozidlo je tedy kompletně „zelené“ jelikož má téměř nulové CO₂ (není zde zahrnutá praxe ve výrobě a užití elektrické energie, ale pouze samotné vozidlo). Baterie je daleko konstrukčně a kapacitně větší než u předchozích dvou variant, a proto je také umístěna v podlaze vozidla. Tímto řešením se posouvá, níž těžiště vozidla, čímž se zlepšují jízdní vlastnosti vozidla. Dojezdy se liší podle typu vozidla, respektive podle možnosti velikosti baterie, např. malé městské auto Škoda Citigo-e iV udává papírově dojezd až 252 km, naproti tomu velké SUV Škoda Enyaq podle výrobce ujede až 534 km na jedno nabití. Na dojezd pak má velký vliv počasí a také používání spotřebičů na palubě vozidla (klimatizace, elektrické vyhřívání sedaček, volantu, skla apod.). [21][22][23][24]



Obrázek 8 – konstrukce pohonů HEV, PHEV A BEV [25]

2.5. Systémy pro monitorování a správu trakčních baterií

2.5.1. Battery management system

K monitorování a správě trakčních baterií se používá tzv. BMS (Battery Management System). V základním principu se jedná o systém složený z obvodů, senzorů a akčních členů, který monitoruje napětí, teplotu, kapacitu, stav nabití, spotřebu energie, zbývající provozní dobu, nabíjecí cykly a další charakteristiky. Systém podporuje funkci vyvažování článků, aby bylo zajištěno, na všech člancích stejné napětí. BMS tedy zajistí, aby nedocházelo k zatěžování baterie a chrání ji před hlubokým vybitím nebo přepětím.

- **Řídicí obvod**

Na základě dat získaných z vyhodnocovacího obvodu, pošle obvod signál vybranému prvku systému (například pokud vyhodnocovací obvod zjistí, že se článek blíží k přepětí, vyšle signál obsahující informaci o přepětí článku řídicímu obvodu, který na základě této informace pošle signál akčnímu členu (výkonový tranzistor), aby článek odpojila.

- **Vyhodnocovací obvod**

Třídí a vyhodnocuje data získaných ze senzorů, které následně posílá do řídicího obvodu.

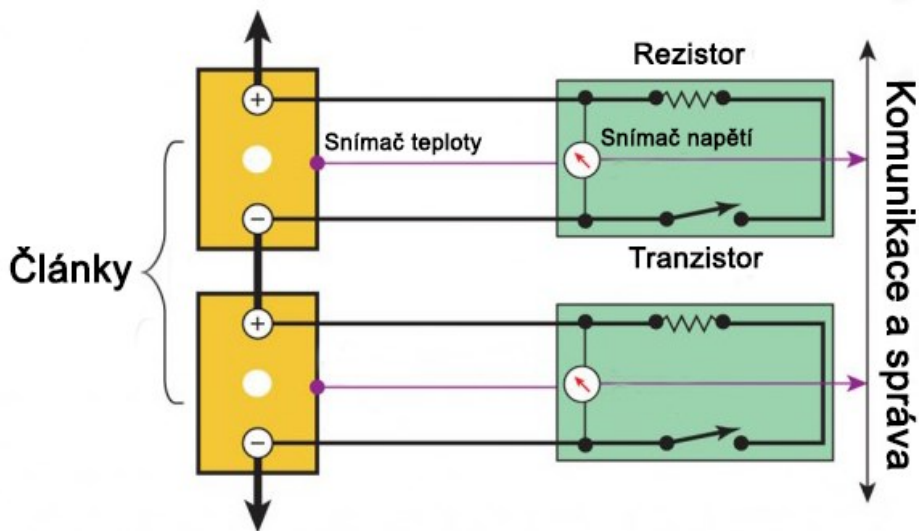
- **Senzor**

Snímá napětí a teplotu na jednotlivých člancích.

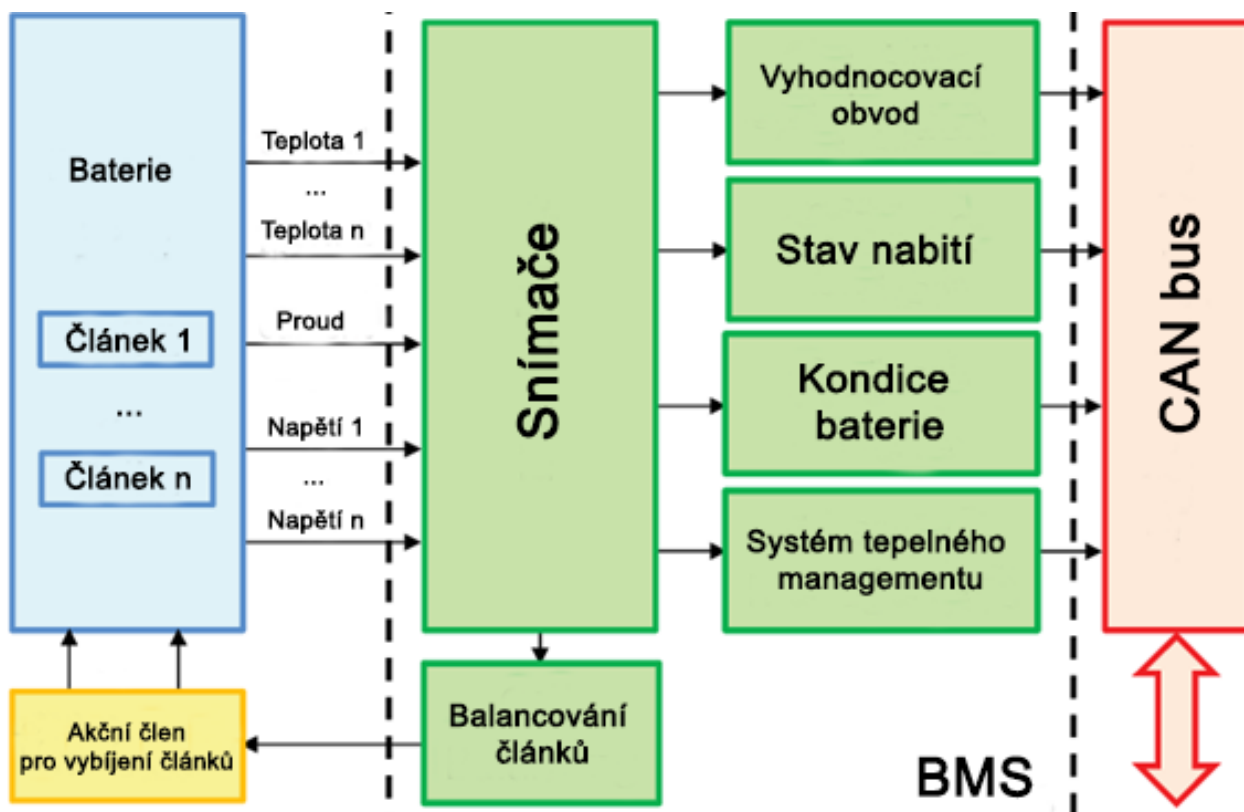
- **Akční člen**

Výkonový tranzistor, který sepne nebo rozezne na základě přijatého signálu z řídicího obvodu.

Důležitým bodem využití BMS je bezpečnost. Během nabíjení a vybíjení je důležité, aby napětí, proud a teplota jakéhokoli článku nebo modulu nepřekročily definované limity SOA. Pokud jsou předepsané limity delší dobu překračovány, hrozí nejen destrukce drahé baterie, ale může dojít také k nebezpečným únikům tepla. Můžeme se podívat na důležitost aplikace BMS u jednoho z nejpoužívanějších druhů článku Li-ion. Důsledně jsou zde sledovány taky meze spodního prahu napětí pro jejich ochranu a funkční bezpečnost. Pokud Li-ion baterie zůstane dlouho v nízkonapěťovém stavu, mohly by na anodě vzniknout měděné dendrity, které v důsledku můžou znamenat zvýšené samovybíjení a zvýšit taky možné bezpečnostní obavy. Li-ion baterie tak za cenu vysoké energetické hustoty, ponechává malý prostor pro chyby při její správě. Nicméně, Li-ion baterie, díky BMS, patří mezi jednu z nejúspěšnějších a nejbezpečnějších baterií, které jsou dnes na trhu k dispozici. [26][27][28]



Obrázek 9 – aplikace BMS na jednotlivých člancích baterie [27]



Obrázek 10 – blokové schéma systému BMS [29]

2.5.2. Systém tepelného managementu (BTMS)

Systém je součástí BMS, využívá chladicí média jako vzduch, kapalina nebo nějaké formy změny fáze. Při výběru systému máme k dispozici chlazení aktivní, pasivní nebo jejich kombinace, hybridní. V příštích letech kterákoliv alternativa, toto odvětví získá v krátkodobém horizontu význam, nejen z důvodu postupného zavádění elektromobilů, ale také pro jejich užitečnost a uplatnění v dalších oblastech, kde je pro jejich správnou funkci rozhodující optimální provoz a teplota článků a baterií.

- **Aktivní chlazení**

V dnešní době se u elektromobilů tento druh chlazení na bázi vzduchu nebo chladicí kapaliny využívá nejvíce. Toyota nebo Lexus používají ventilátory, které cirkulují studený vzduch mezi články baterie. Tesla nebo Audi používají naopak kanály, kterými protéká chladicí kapalina (obvykle směs vody a etylenglykolu) a jsou tak v přímém kontaktu s články. V případě použití chladicí kapaliny, rozdělujeme chlazení na přímé a nepřímé. U přímého jsou články ponořené do kapaliny, naopak u nepřímého cirkulují uvnitř potrubí a působí tak nepřímo. Jednou z hlavních nevýhod systémů využívajících nepřímé chlazení je menší účinnost přenosu tepla oproti přímým systémům, a to v důsledku odporu vůči přenosu tepla mezi potrubím obsahujícím chladivo a článkem. Jelikož, ale nedochází k přímému kontaktu mezi kapalinou a baterií, u nepřímých systémů můžeme využít konvenčních chladicích kapalin, které se používají ve spalovacích vozidlech. V kombinaci s nízkými náklady je to dnes preferovaná alternativa výrobců, při implementaci kapalinové chlazení. Existují však významné výzvy, které dnes brání implementaci tohoto řešení v elektrických vozidlech. Hlavním z nich je potřeba dalšího výzkumu dielektrických kapalin, které zaručí správnou funkci článků, které nejsou nekompatibilní s žádnou ze součástí bateriového bloku (články, sběrače proudu, elektronika...), které mají rozumnou cenu. a které zaručí bezpečnost vozidla v případě nárazu.

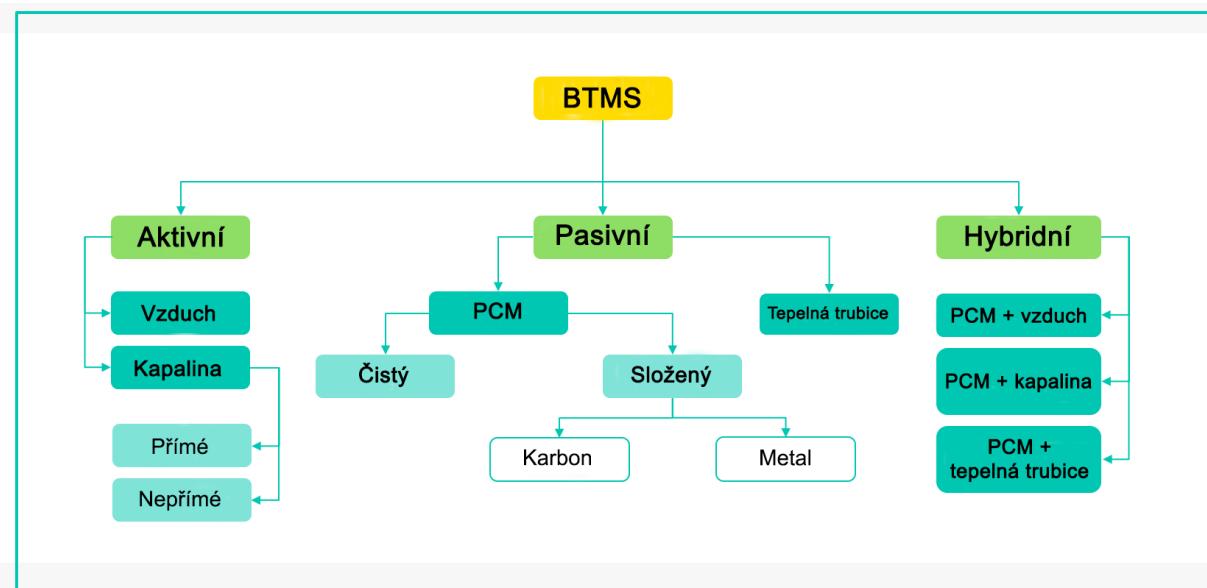
- **Pasivní chlazení**

Pasivní systémy chlazení jsou alternativou k aktivnímu chlazení, které eliminují jejich nevýhody. Hlavní vlastnosti, které je činí velmi zajímavými je jejich flexibilní konstrukce, vysoká tepelná vodivost (téměř dvojnásobná než u pevných vodičů) a prakticky nulová údržba. Výrazným omezením této technologie je pak složitost a cena kompletního řešení. Tyto typy systémů nejsou v současné době implementovány v elektrických vozidlech, nicméně v poslední době se staly velmi důležitými díky jejich provozním výhodám. Mezi pasivními řešeními vynikají dva způsoby: materiály s fázovou změnou (PCM) a tepelné trubice (HP). Pro použití PCM jako chlazení byly tyto materiály rozsáhle studovány. Zájem o použití těchto materiálů spočívá v možnosti zkoumání vysokých energií spojených s fázovými změnami, ke kterým při konstantní teplotě dochází. Jsou tedy výhodné při udržování homogenní teploty v celé baterii, která je blízka teplotě fázové změny implementovaného PCM. Druhou alternativou jsou tepelné trubice. Jedná se o vakuové trubice naplněné tekutinou (obvykle vodou), které fungují na základě změny fáze kapaliny pára-kapalina. Tepelná trubice má tři

části: výparník (oblast v kontaktu se zdrojem tepla/článku), adiabatická část, kterou pára cirkuluje, a kondenzátor. Jejich použití zatím najdeme pouze při chlazení elektronických součástí.

- **Hybridní chlazení**

Tento styl využívá výhod aktivních a pasivních systémů, kombinací dvou nebo více řešení popsaných výše. Mezi nejvíce zkoumané kombinace patří například PCM s nuceným oběhem vzduchu, PCM s kapalinovým chlazením nebo PCM s tepelnými trubnicemi. V prvním případě je cílem dosáhnout vhodného rozložení teploty v baterii a za použití nuceného chlazení vzduchem nebo kapalinou odvedení vznikajícího tepla ven. Dále třeba PCM s tepelnými trubnicemi zlepšuje přenos tepla z PCM na povrch článků, aby bylo možné články ochlazovat přirozenou konvekcí. Přestože jsou tyto systémy mnohem efektivnější než pasivní nebo aktivní systémy, tak se kvůli své složitosti a ceně v elektrických vozidlech neobjevují. [30]

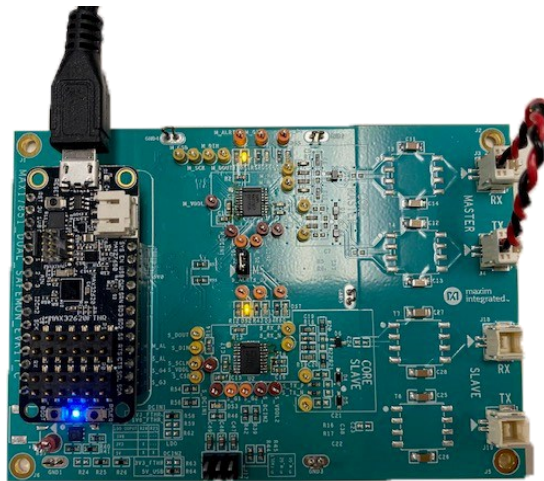


Obrázek 11 – rozdělení systému tepelného managementu [30]

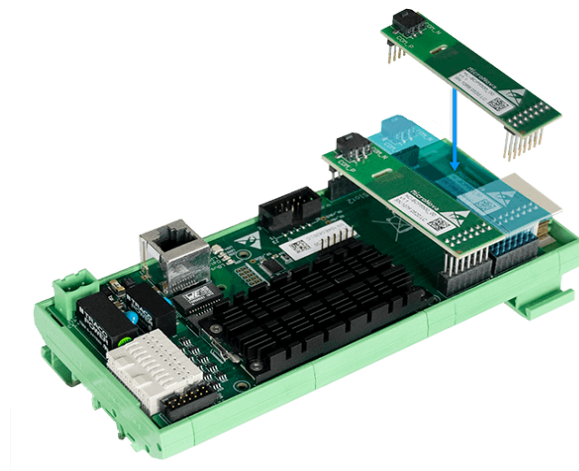
3. Návrh testovacího HiLu pro vývoj systému správy trakční baterie

3.1. Vytipování komponent pro stavbu testovacího HiLu

Pro vývoj systému BMS, byly do stavby testovacího HiLu vybrány dvě komponenty. Jako BMS komponenta byla vybrána evaluační deska od společnosti Maxim Integrated osazena čipem MAX17851. Jako druhá část obvodu (baterka) byla zvolena NovaCart od společnosti MicroNova, která provádí CMC simulaci, jelikož umožní otestovat různé režimy (přepětí, podpětí apod.) a je tedy pro vývojové účely vhodnější než reálná baterie, která by byla v tomhle ohledu problematická.



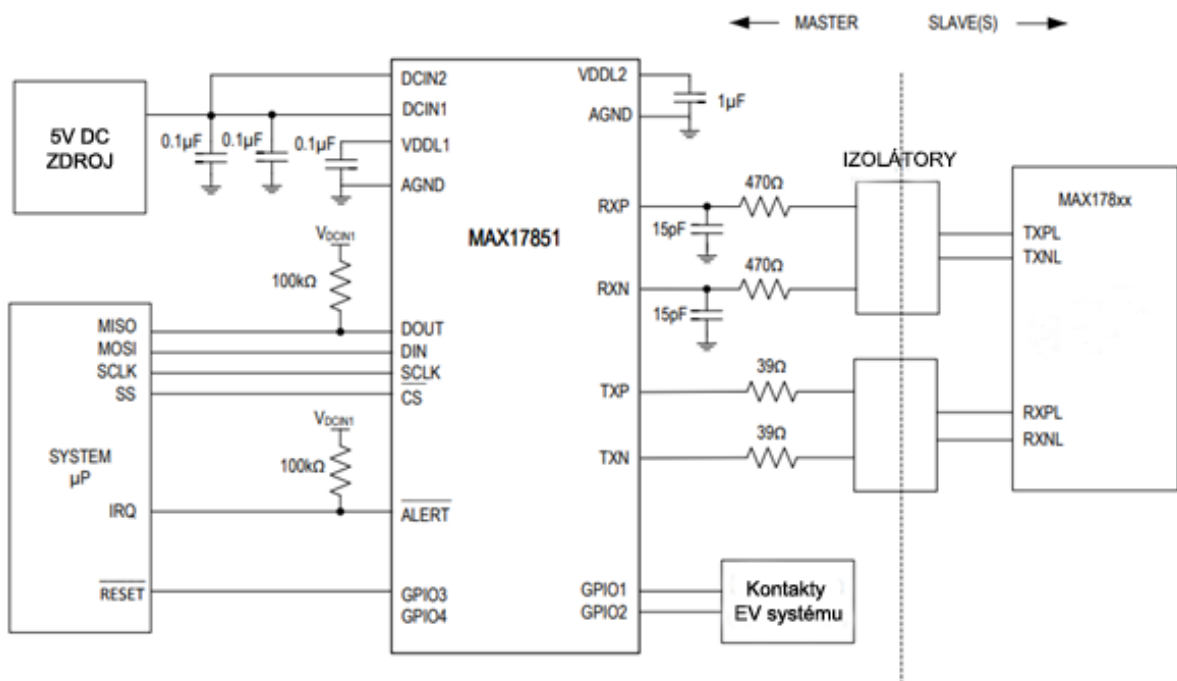
Obrázek 12 – MAX17851 [31]



Obrázek 13 – NovaCart [32]

3.2. Popis BMS vývojového kitu MAX17851

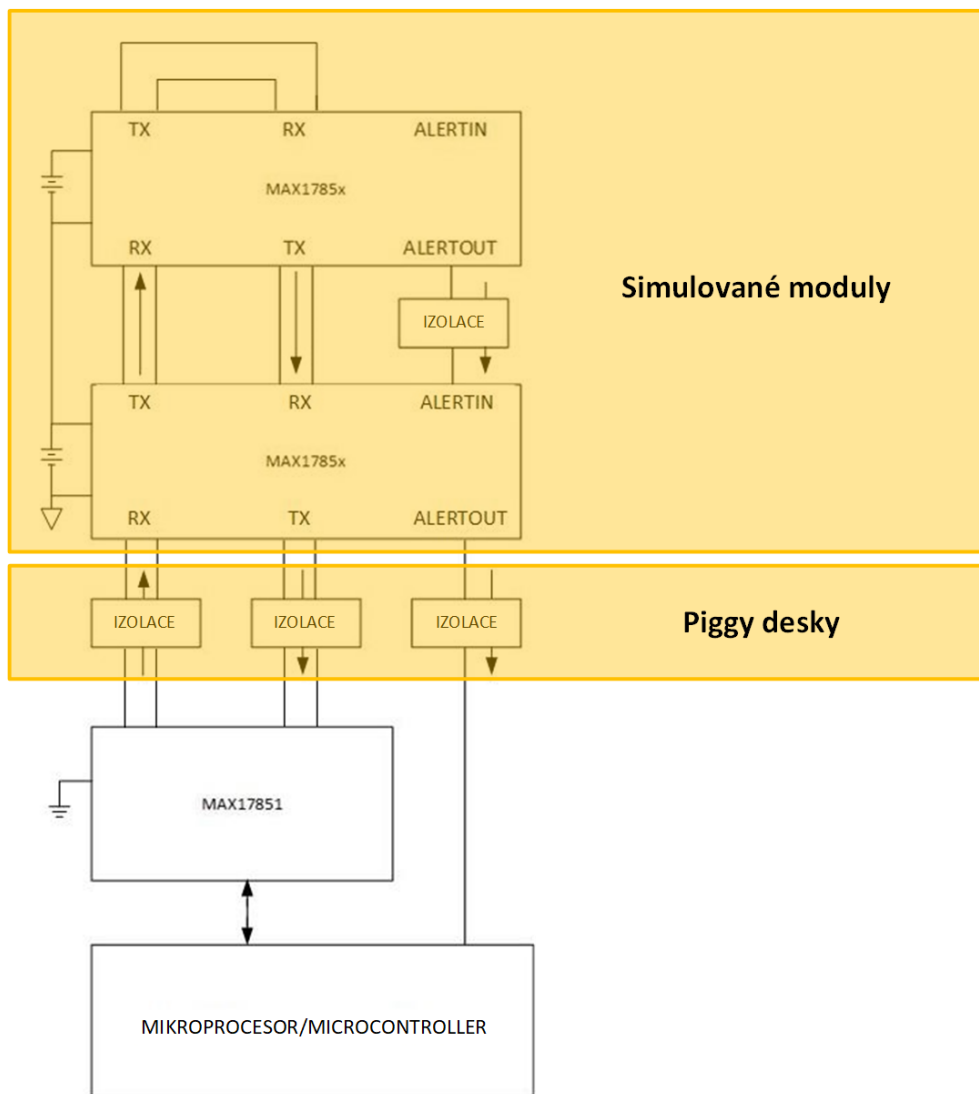
„Vývojový prostředek MAX17851 převádí komunikaci z formátu SPI na univerzální formát asynchronního přijímače/vysílače (UART). Umožňuje robustní komunikaci se zvyšující se přenosovou rychlostí až 4 Mb/s v architektuře jednocestného i dvoucestného řetězového systému „Daisy-chain“. UART je v souladu s ISO26262 pro automobilovou bezpečnost, úroveň integrity (ASIL) D zajišťující detekci poškození zpráv, zpoždění, ztrát a vložení přes vestavěný komunikační „lock step safety measure state machine“. Evaluační kit MAX17851 ověřuje sám veškerou komunikaci v rámci užitečného zatížení zprávy pro zjednodušení vývoje softwaru na hostitelském mikrokontroléru. Kromě toho MAX17851 monitoruje komunikaci hostitelského mikrokontroléru, aby detekoval jakékoli selhání. V případě selhání komunikace s hostitelem MAX17851 nejprve se pokusí automaticky obnovit komunikaci. V případě neúspěchu převezme kontrolu. Pak může MAX17851 volitelně překonfigurovat řetězovou síť, která umožňuje stav baterie nadále sledovat. To dovoluje nepřetržitý bezpečný provoz systému. MAX17851 zajišťuje také signalizaci v případě, že stav baterie je mimo naprogramovaný rozsah dosah, čímž se celý systém uvede do „bezpečného stavu“ proti selhání.“ [33]



Obrázek 14 – schéma zapojení BMS MAX17851 [33]

3.3. Popis simulačního kitu bateriových článků NovaCart

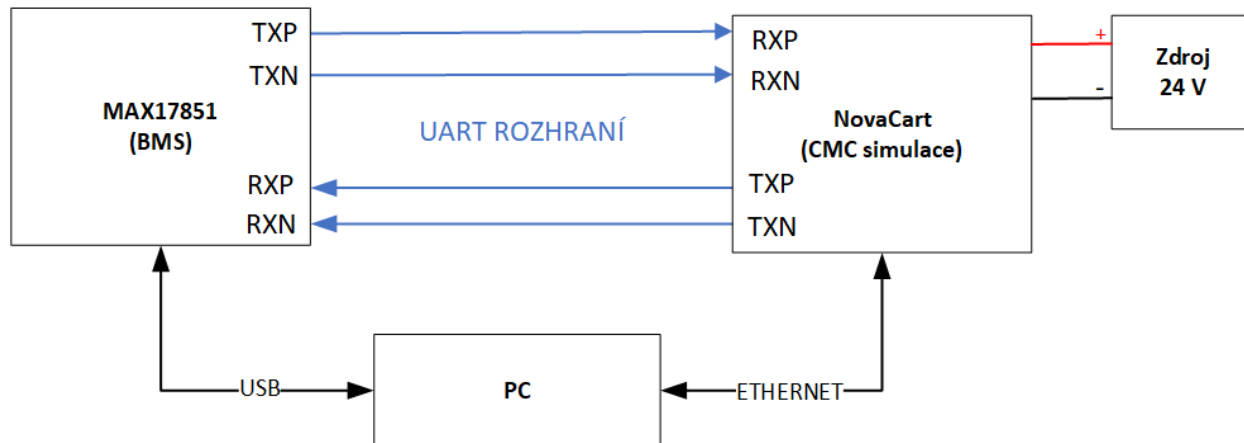
NovaCart CMC Simulace umožňuje simulaci více sledovacích modulů baterie. Je postaven na hardwarovém řešení založeném na FPGA, které lze použít jak na systému HiL, tak jako desktopovou aplikaci. To umožňuje spustit ověřovací testy pro BMS brzké fázi vývoje, protože nejsou vyžadovány žádné skutečné komponenty CMC. Kromě toho lze CMC, od různých výrobců, snadno testovat v kombinaci s BMS – bez významných změn nebo nákladů na přestavbu. Skutečnost, že simulaci CMC lze snadno kombinovat se skutečnými CMC, snižuje náklady na HiL simulaci. Výsledkem je, že řešení představuje ideální rozšíření testovacích HiL systémů správy baterií.[32] Pro účely této práce simuluje NovaCart CMC moduly, které jsou osazeny čipy od Maxim Integrated. Tyto moduly jsou zapojeny řetězově pomocí UART protokolu simulace je oddělena „piggy desky“, na které se připojí do tohoto „řetězu“ BMS.



Obrázek 15 – schéma zapojení simulovaných modulů NovaCart

4. Sestavení a oživení navrženého kitu

4.1. Schéma zapojení navrženého obvodu



Obrázek 16 – schéma zapojení navrženého HiLu

4.2. Komunikace

4.2.1. UART komunikace mezi BMS a NovaCart

BMS komunikuje s NovaCart pomocí protokolu UART. Komunikace zde probíhá formátem master – slave, BMS tedy vysílá požadavky a NovaCart na ně pouze odpovídá. Při inicializaci vyšle BMS sérii „preamble znaků“, na které NovaCart odpovídá, výsledkem je synchronizace přenosové rychlosti mezi deskami. Následně BMS vyčte počet simulovaných zařízení, v momentě, kdy BMS zná tento parametr, posílá do NovaCart předdefinovanou délku zprávy právě na základě podle počtu simulovaných zařízení. Zpráva se skládá z hlavičky a předem vymezených míst (podle počtu článků), do kterých pak při jejím přijetí NovaCart vkládá příslušné informace. Tato zpráva takto řetězově projde všemi simulovanými zařízeními až zpět k BMS.

4.2.2. Komunikace mezi uživatelem a obvodem

Obě desky jsou ovládány z počítače pomocí grafických rozhraní. BMS je připojena skrze sériové USB, které slouží zároveň jako napájení. NovaCart je napájena zvlášť z 24 V zdroje a s počítačem komunikuje pomocí ethernetu. Aby mohla komunikace s NovaCart probíhat, nesmíme zapomenout přiřadit počítači přednastavenou síťovou adresu.

4.3. Správa BMS kitu MAX17851

Správa MAX17851 probíhá pomocí rozhraní od vydavatele Maxim Integrated. Snímky všech záložek rozhraní jsou obsaženy v IS EDISON pod názvem příloha A „Ukázka rozhraní BMS a NovaCart“. Pro účely bakalářské práce, byly použity následující funkce:

- **Communication**

Pro úspěšně spuštění simulace, je potřeba před jejím začátkem správně nastavit komunikaci. V sekci „communication“ se zvolí, která BMS bude používána (MAX17851) a typ zapojení HiLu (Single UART interface with external loop back). Ve spodní části rozhraní lze vidět zda – li je BMS připojená k počítači a komunikuje s baterií.

- **Initialization**

V sekci inicializace se navazuje komunikace s NovaCart. Před samotnou inicializací se zvolí požadovaná UART konfiguraci (v tomto případě Single). Pomocí tlačítka „Wake Up“ se synchronizuje přenosová rychlost a pomocí „Hello All“ čte BMS hodnoty z registrů. V této sekci je obsažen také event log, ve kterém můžeme sledovat, zda jednotlivé operace proběhly úspěšně či nikoliv.

- **Thresholds**

Zde se nastavují limity přepětí a podpětí. Pokud některý z článků se dostane nad/pod limit, v záložce „Voltage Measurments“ uvidíme v poli daného článku blikající obrazec (legenda je k dispozici v záložce), který signalizuje přepětí či podpětí. Pro spuštění upozornění je potřeba kliknout na tlačítko „Alert Enables“ a povolit požadovaná upozornění.

- **Voltage Measurments**

Zde sledujeme napětí a teploty na jednotlivých zařízeních, respektive na jejich člancích. Na výběr máme ze tří druhů skenování:

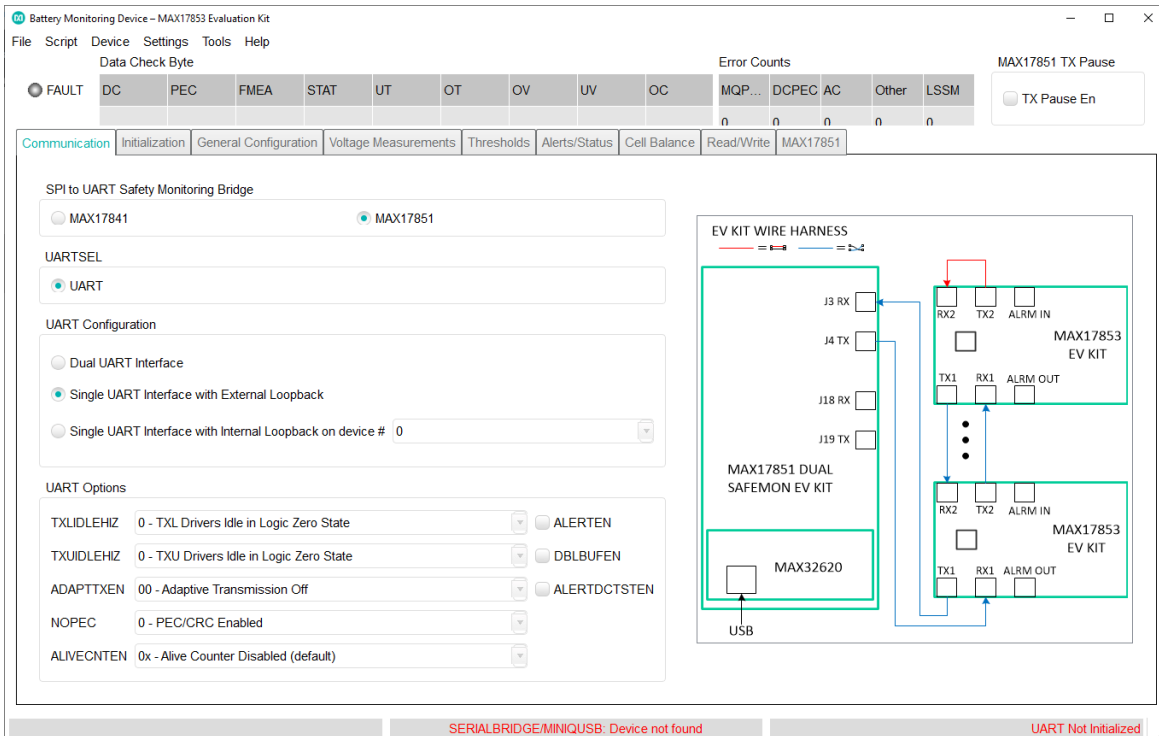
1. Single scan – provede jedno měření
2. N scan – provede zadaný počet měření
3. Scan continuously – měří cyklicky

- **Read/Write**

V této záložce je možnost zapsat nebo vyčíst hodnotu konkrétního BMS. Funkce se může využít například pro kontrolu, zdali se zapisují nastavené hodnoty článků do registrů BMS nebo také v případě chybového chování BMS.

- **Logování**

Rozhraní umožňuje zaznamenávat hodnoty a následně je také vyexportovat do souboru pro další práci, např. vykreslení grafu.



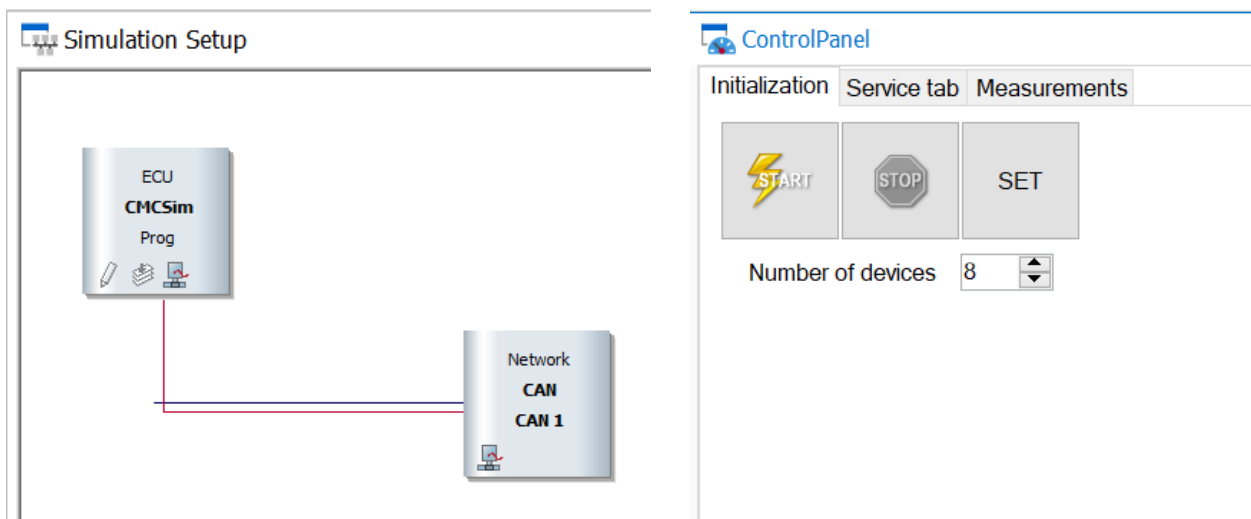
Obrázek 17 – ukázka grafického rozhraní pro ovládání BMS MAX17851

4.4. Vývojové prostředí CANoe

CANoe je vývojový a testovací softwarový nástroj od společnosti Vector Informatik GmbH. Software je primárně používán výrobcí automobilů a dodavateli elektronických řídicích jednotek (ECU) pro vývoj, analýzu, simulaci, testování, diagnostiku a spouštění sítí ECU a jednotlivých ECU. Díky širokému použití a velkému počtu podporovaných sběrniceových systémů je zvláště vhodný pro vývoj ECU v konvenčních vozidlech, stejně jako hybridních vozidlech a elektrických vozidlech. Simulační a testovací zařízení v CANoe se provádějí pomocí CAPL, programovacího jazyka. CANoe dokáže také simulovat celou komunikaci ve vozidle, obsahuje sadu testovacích funkcí pro vytváření automatických testovacích sekvencí. Tyto automatizované testovací sekvence lze řídit plně automatizovaně pomocí běžných nástrojů CI (Jenkins apod.) Testy mohou být buď ručně naprogramovány, nebo generovány automaticky různými generátory. CANoe podporuje simulaci více uzlů, dokáže tedy simulovat celý distribuovaný systém, který má více uzlů propojených a interagujících v prostředí CAN. Velkou výhodou je pak možnost tvorby grafických panelů, je zde možnost vytvářet tlačítka, posuvníky, zaškrtačkové políčka, v případě přiřazení systémových proměnných a napsání kódu je pak možno panel ovládat.[34]

4.5. Správa CMC simulace

NovaCart je ovládána skrze soubor funkcí napsaných v programovacím jazyce C#. Vydavatel karty poskytnul programovací rozhraní API, ve kterém jsou obsaženy funkce, které konají základní obecné operace jako jsou například zápis hodnot, čtení hodnot apod. Zápis do konkrétního parametru se provádí přidáním cesty, kde je uložen registr tohoto parametru, do zapisovací nebo čtecí funkce. Tímto způsobem je pak přístupováno ke všem parametrům. Za využití API a poskytnutých cest k registrům parametrů byl vytvořen kód, pomocí kterého jsou prováděny konkrétní operace (např. zápis hodnoty do článku 1). Toto ovládání je však velice omezené, jelikož při každé změně hodnoty parametru se musí ručně zapsat a kód zkompileovat. Pro jednodušší a intuitivní ovládání NovaCart v čase je tato simulace realizována ve vývojovém prostředí CANoe. Pro implementaci je využívána dynamická knihovna simulace, která se vygeneruje po každé kompilaci kódu. Knihovna je přidána do vytvořeného uzlu a po spuštění simulace CANoe využívá funkce tohoto kódu. Pro volání příslušných funkcí jsou využity systémové proměnné různých datových typů jako je například array, int, float, string. Systémové proměnné jsou pak rozmístěny do konkrétních prvků na grafickém panelu. Pomocí grafického panelu je pak celá simulace ovládána v čase.

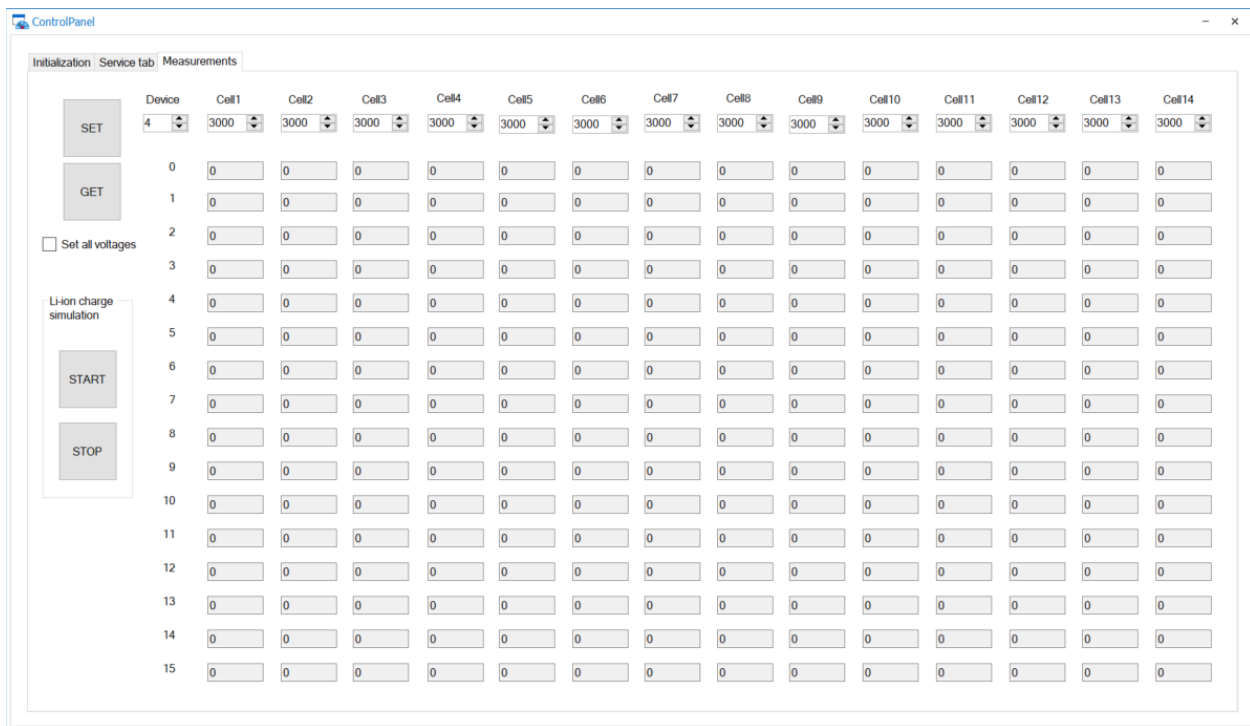


Obrázek 18 – ukázka části simulace NovaCart vytvořené v CANoe

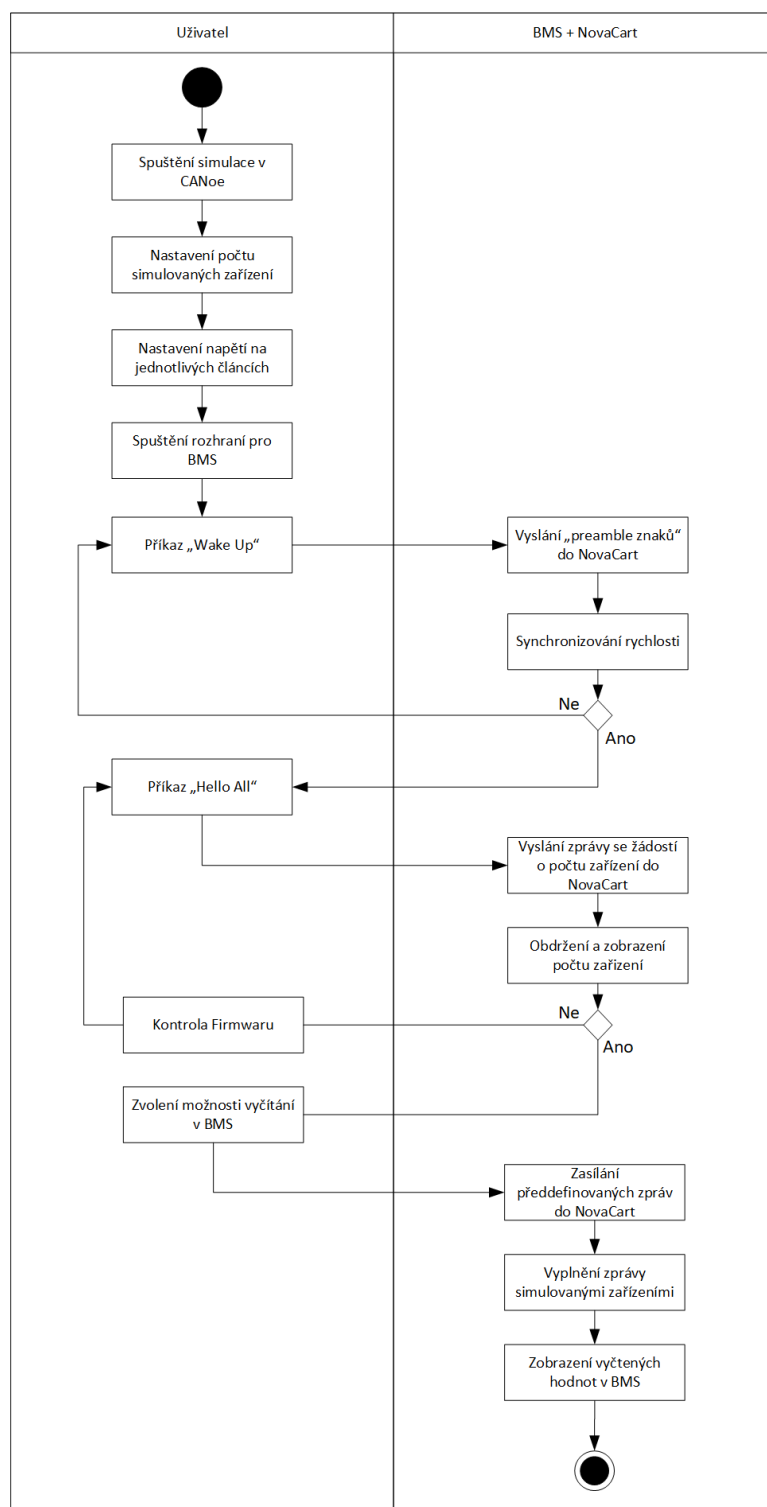
4.6. Ověření funkčnosti navrženého obvodu

Spuštěním CANoe simulace se naváže komunikace s NovaCart, v ovládacím panelu se přepnutím do záložky inicializace zvolí počet zařízení (modulů), které bude deska simulovat, počet modulů se nastaví po zmáčknutí tlačítka „SET“. Přepnutím do záložky „Measurements“ se nastavuje napětí na požadovaném zařízení a článcích. Pro kontrolu, zda jsou v registru NovaCart hodnoty správně uloženy je na panelu k dispozici tlačítka „GET“, které způsobí kompletní výpis hodnot všech zařízení a jejich článků. V rozhraní pro ovládání BMS se nastaví deska požadovaným způsobem (obrázek x v příloze). Použitím příkazu „WakeUp“ a „Hello All“ se naváže komunikace mezi BMS a NovaCart. V event logu lze vidět, zda BMS správně vyčetla počet nastavených zařízení. Dále v záložce „Voltage Measurements“ zvolíme způsob cyklení výčtu hodnot. Hodnoty nastavené v CANoe pak odpovídají výčtu BMS (Maxim přidává zařízení od spodu, tudíž zařízení „1“ je zde jako zařízení „2“ a zařízení „3“ jako „0“).

Snímky z grafických rozhraní jsou uvedeny v IS EDISON pod názvem příloha B „Ověření funkčnosti“. Níže je postup popsán také aktivitním diagramem, ve kterém je zahrnuta kromě ovládání z pohledu uživatele také pohled na komunikaci mezi BMS a NovaCart.



Obrázek 19 – nastavení požadovaných hodnot napětí článků na zařízení 4 v CANoe

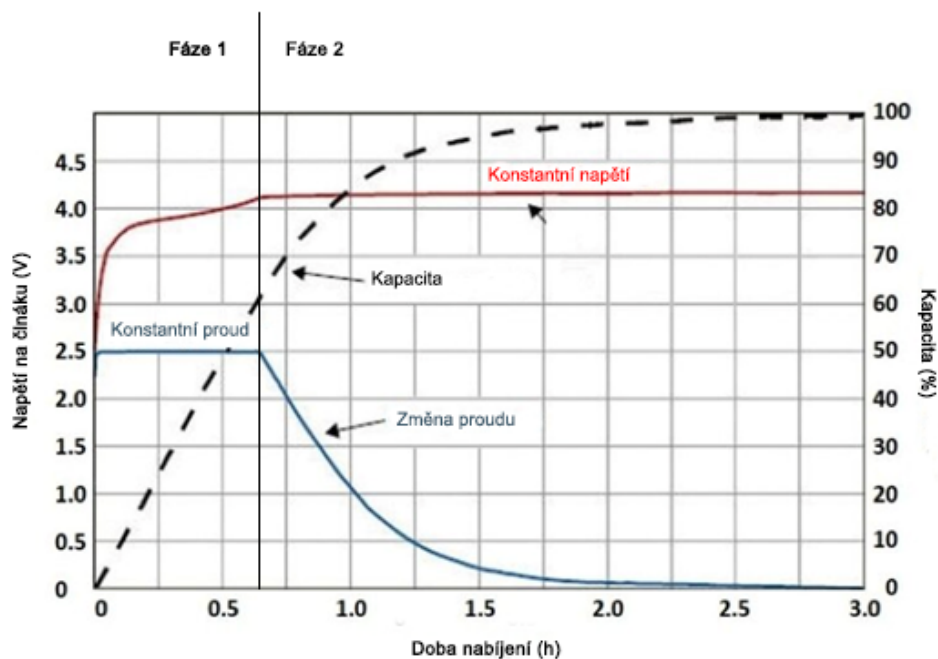


Obrázek 20 – aktivní diagram popisující postup zprovoznění simulace a chování mezi BMS a NovaCart

5. Výsledky z měření simulovaného nabíjení Li-ion článku pomocí vývojového kitu

5.1. Návrh a popis simulačního modelu

Jako konkrétní aplikace byla vybrána simulace nabíjení Li-ion článku pomocí NovaCart. Pro co nejpřesnější vytvoření simulace byla jako podklad použita reálná křivka nabíjení Li-ion článku. Na obrázku 19 je vidět červená křivka, znázorňující napětí na článku, která ukazuje reálný průběh nabíjení Li-ion článku. Článek má minimální napětí okolo 2,6 V, v první fázi protéká článkem konstantní proud a nabíjí se velmi rychle (přibližně do 3,8 V), poté pomaleji stoupá k hodnotě 4 V. V druhé fázi, tedy překročení hodnoty 4 V, zdroj přestane dodávat konstantní proud a začne klesat postupně k nule, mezitím se na článku drží konstantní napětí, které nepřesáhne hodnotu 4,2 V (záleží na typu článku). [34]



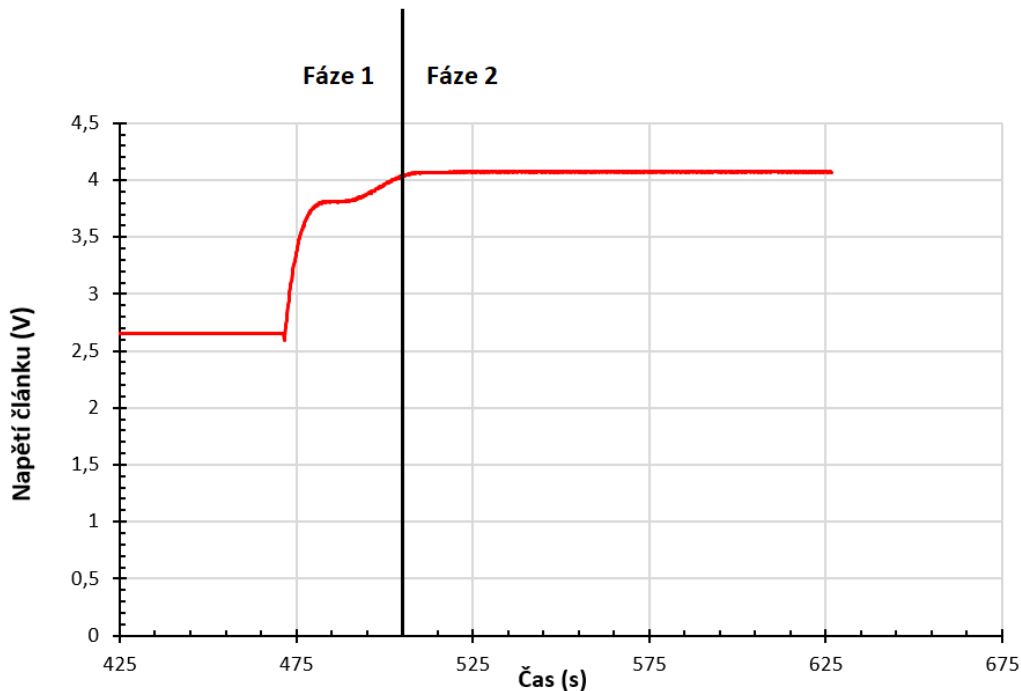
Obrázek 21 – nabíjení Li-ion článku [34]

Pro získání matematického vyjádření této křivky, byl použit program Microsoft Excel. V něm byl ručně vytvořen graf, podle grafu nabíjení Li-ion článků, pomocí polynomické spojnice trendu 6. řádu. Výsledná funkce pro vykreslení této křivky má tvar:

$$y = -123,84x^6 + 420,93x^5 - 558,98x^4 + 365,07x^3 - 121,33x^2 + 19,649x + 2,5761 \quad (1)$$

5.2. Postup a výsledky měření

K měření a ověření simulace byla využita reálná BMS komponenta. Simulace je časově zkrácena oproti reálnému průběhu nabíjení. Pomocí tlačítka „START“, na ovládacím panelu CANoe simulace NovaCart, se spustí simulace nabíjení Li-ion článku. Vytvořený kód, z výpočtu implementované rovnice, zapisuje hodnoty do článku 1. Simulace končí „nabitím“ článku do maximální možné hodnoty 4,1 V. Pomocí reálné BMS se, cyklicky vyčítala hodnota článku 1 z diagnostiky v CANoe simulaci. Průběh byl vyexportován do soubor CSV. (dostupný v IS EDISON pod názvem příloha C „Výsledky z měření“), ze kterého se následně vykreslil graf. Na obrázku 20 vidíme výsledný graf z měření. Vykreslený graf nabití, stejně jako ten reálný, je rozdělený do fází. Před první fází je článek „vybitý“ a má hodnotu 2,5 V, poté přejde do první fáze, kdy se začne „nabíjet“ a jeho hodnota rychle narůstá až k +- 3,8 V, v druhé fázi se dobíjí pozvolna až do 4,1 V, následně již drží konstantní napětí. Simulovaný model má tedy velmi podobnou křivku nabíjení jako reálný proces.



Obrázek 22 – změřený průběh simulovaného nabíjení Li-ion článku

5.3. Návrh možných dalších způsobů využití

Obvod by mohl být použit jako úloha laboratorního měření. Úloha by mohla být vykonstruována například pro porovnání vadného a správně fungujícího článku. Simulace by tedy uměla vykreslit křivky obou článků. Úloha by se pak dala rozšířit následujícími způsoby, simulování cyklu různých typů článků, simulování cyklu jednoho modulu baterie, simulování cyklu celé baterie, kdy do nabíjení a vybíjení se zapojí všechny články a moduly. Poslední dvě rozšíření by pak byla na tvorbu komplexnější vzhledem k tomu, že články nemají stejná napětí, výsledné měření by pak ale obsahovalo výčet jednotlivých křivek všech článků.

6. Závěr

První část praktické části se zabývá návrhem HiLu pro vývoj a testování battery management systému. Pro tento účel byla zvolena evaluační deska od Maxim Integrated osazena řídicím čipem MAX17851, který díky převodu komunikace z formátu SPI na UART, umožňuje robustní komunikaci s vysokou přenosovou rychlostí na architektuře jednocestného a dvoucestného řetězového systému „Daisy-chain“. Místo skutečné HV baterie byla zvolena deska simulující články baterie od MicroNovy, NovaCart. Tato karta komunikuje s BMS pomocí již výše zmíněného UART protokolu.

Druhá část popisuje správu obou desek. Ovládání MAX17851 (BMS) bylo realizováno za pomoci grafického rozhraní přímo od vydavatele. V rozhraní se nastavuje typ čipu, který máme připojený k počítači a způsob, jakým bude komunikovat (Single UART nebo Double UART). Při správném zapojení fyzické vrstvy je BMS schopna vysílat a přijímat vyžádané informace. Ovládání desky NovaCart je pak realizováno pomocí vytvořeného kódu v programovacím jazyce C# implementovaného do simulačního prostředí CANoe, odkud je ovládán pomocí grafického panelu. NovaCart poskytla rozhraní pro programování aplikací (zkráceně API), které je možné využít v programovacích jazycích C, C++ a C#. S využitím toho API byl vytvořen kód, který prováděl požadované operace. Jednalo se především o manuální nastavení počtu simulovaných modulů, napětí na člancích, výčet napětí z článků apod.

Třetí část obsahuje měření simulovaného nabíjení Li-ion článku pomocí reálné BMS komponenty. Tvorba modelu vychází z křivky nabíjení, kdy v programu Microsoft Excel byla ručně vytvořena křivka odpovídající právě křivce nabíjení Li-ion článku. Vytvořená křivka má polynomickou spojnicí trendu 6. řádu, kterou lze vyjádřit jako matematickou rovnici obsaženou v bodě 5.1., rovnice pak byla implementována do samotného kódu. V CANoe simulaci pro NovaCart se spustila simulace, která podle implementované rovnice zapisovala hodnoty do simulovaného článku v NovaCart. Tímto způsobem tak byla nahrazena reálná baterie. Pro výčet těchto zapisovaných hodnot pak byla využita reálná BMS, která cyklicky vyčítala hodnotu článku pomocí diagnostiky v CANoe. Celý proces byl během měření zaznamenáván a následně ze zaznamenaných hodnot také vykreslen graf, který se velmi podobá reálné křivce nabíjení. Poslední část pomocí sestaveného HiLu, úspěšně provedla navrženou konkrétní aplikaci. Tento funkční HiL, jak je uvedeno v bodě 5.2., by mohlo být využito jako úloha laboratorního měření pro výuku.

Použitá literatura

- [1] Víte, jak funguje baterie? [online]. Česká republika: redakce Proelektrotechniky.cz, 2013 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/17.php>
- [2] Elektrická baterie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_baterie
- [3] Olověný akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [4] Nikl-kadmiový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [5] Úvod do Školy baterií. *Nano power* [online]. Česká republika: František Šťastný, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://nanopower.eu/cs/uvod-do-skoly-baterii/>
- [6] Nikl-metal hybridový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-metal_hybridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [7] Nikl-metal hybridový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.fw.wiki/wiki/accumulateur_nickel-hydrure_m%C3%A9tallique
- [8] Lithium-iontový akumulátor. *Wikipedia: the free encyclopedia*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [9] Lithium-ion vs lithium-polymer: What's the difference? In: *Android authority* [online]. Robert Triggs, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.androidauthority.com/lithium-ion-vs-lithium-polymer-whats-the-difference-27608/>
- [10] Proč lithium-iontové baterie? In: *Apple* [online]. Apple [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.apple.com/cz/batteries/why-lithium-ion/>
- [11] Lithium-polymerový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [12] Bude budoucnost baterií solidní? In: *Nano Power* [online]. Česká republika: František Šťastný, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://nanopower.eu/cs/bude-budoucnost-baterii-solidni/>
- [13] Solid-State Batteries. In: *Future Bridge* [online]. Future Bridge, 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.futurebridge.com/blog/solid-state-batteries/>

- [14] Traction battery review. In: *Engineers edge* [online]. Engineers edge [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://www.engineersedge.com/battery/traction_battery.htm
- [15] Trakční baterie. In: *Svět karavanu* [online]. Česká republika: Svět karavanu, 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.svetkaravanu.cz/magazin/trakcni-baterie>
- [16] Electric vehicle batteries. In: *Evfiresafe* [online]. Evfiresafe, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.evfiresafe.com/what-is-an-ev-traction-battery>
- [17] Diffusion Induced Stresses in Cylindrical Lithium-Ion Batteries: Analytical Solutions and Design Insights. In: *ResearchGate* [online]. Yicheng Song, 2012 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Coiled-layered-structure-of-cylindrical-Li-ion-battery-This-picture-is-from-reference_fig1_274445444
- [18] The Three Major Li-ion Battery Form Factors: Cylindrical, Prismatic, and Pouch. In: *All about circuits* [online]. Dr. Steve Arar, 2020 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/news/three-major-lithium-ion-battery-form-factors-cylindrical-prismatic-pouch/>
- [19] PRISMATIC & POUCH BATTERY PACKS. In: *Epectec* [online]. Epectec [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.epectec.com/batteries/prismatic-pouch-packs.html>
- [20] Advantages of pouch cell battery, trend and opportunities. In: *Grepow* [online]. Grepow, 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.grepow.com/blog/pouch-cell-battery-advantages-trend-opportunities/>
- [21] ÚVOD DO SVĚTA BATERIÍ. In: *Škoda Auto* [online]. Česká republika: Škoda Auto, 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/uvod-do-sveta-baterii/>
- [22] The Difference Between Full Hybrid, Mild Hybrid and Plug-in Hybrid Cars. In: *Evans Halsaw* [online]. Nathan Dale, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.evanshalsaw.com/blog/difference-between-full-mild-and-plug-in-hybrid/>
- [23] TECHNIKA: Jak fungují plug-in hybridy – jeden cíl, několik cest. In: *Hybrid* [online]. Česká republika: Jan Majurník, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/technika-jak-funguji-plug-hybridy-jeden-cil-nekolik-cest/>
- [24] Pomůžeme vám vyznat se v moderních pohonech. In: *Garáž* [online]. Česká republika: Martin Jánský, 2019 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/pomuzeme-vam-vyznat-se-v-modernich-pohonech-21002303>
- [25] Electric Vehicles Powering Australia's Future. In: *Pikto chart* [online]. Pikto chart [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://create.piktochart.com/embed/38884229-electric-vehicles-australia>
- [26] What is a Battery Management System?. In: *Synopsys* [online]. Synopsys [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-a-battery-management-system.html>

- [27] BMS (battery management system). In: *Velo Fiala* [online]. Česká republika: Velo Fiala [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.velofiala.cz/n/bms-battery-management-system>
- [28] Why is a Battery Management System needed in Electric Vehicles?. In: *EVreporter* [online]. EVreporter, 2020 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://evreporter.com/battery-management-system-for-electric-vehicles/>
- [29] Battery Management System (BMS) simulation environment for electric vehicles. In: *Semantic Scholar* [online]. Luca Buccolini, 2016 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: [https://www.semanticscholar.org/paper/Battery-Management-System-\(BMS\)-simulation-for-Buccolini-Ricci/a5c9663c8439453fb27b2417bcbe7ca48d3061b4/figure/0](https://www.semanticscholar.org/paper/Battery-Management-System-(BMS)-simulation-for-Buccolini-Ricci/a5c9663c8439453fb27b2417bcbe7ca48d3061b4/figure/0)
- [30] BATTERY THERMAL MANAGEMENT SYSTEMS (BTMS) FOR MOBILITY APPLICATIONS. In: *Cicenergigune* [online]. Iñigo Ortega [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://cicenergigune.com/en/blog/battery-thermal-management-system-btms-electric-vehicle>
- [31] MAX17851EVKIT. *Maxim Integrated* [online]. Maxim Integrated, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/products/power/battery-management/MAX17851EVKIT.html>
- [32] NovaCarts CMC Simulation. *Micronova* [online]. Micronova [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.micronova.de/testing/novacarts-hil-simulation/novacarts-individualloesungen.html>
- [33] INTERACTIVE Data Sheet. *Maxim Integrated* [online]. Maxim Integrated, 2021 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/products/power/battery-management/MAX17851.html#online-ds>
- [34] CANoe. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/CANoe>
- [35] Understanding Charge-discharge Curves of Li-ion Cells. *EVreporter* [online]. EVreporter, 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://evreporter.com/understanding-charge-discharge-curves-of-li-ion-cells/>

Seznam použitých příloh

Příloha A – Ukázka rozhraní BMS a NovaCart

Příloha B – Ukázka funkčnosti

Příloha C – Výsledky z měření