

Škoda Auto Vysoká škola o.p.s.

Studijní program: B0413P050002 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Logistika a management kvality

Hodnocení kvality článků bateriových modulů v automobilové výrobě Bakalářská práce

Ondřej SVOBODA

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří David, Ph.D.



Škoda Auto Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Ondřej Svoboda**
Studijní program: Ekonomika a management
Specializace: Logistika a management kvality

Název tématu: **Hodnocení kvality článků bateriových modulů
v automobilové výrobě**

Cíl: Cílem této bakalářské práce je navrhnout prototyp měřícího přístroje pro měření OCV bateriových modulů v automobilové výrobě za použití hardwaru Arduino. Při zpracovávání této práce očekávám, že se pomocí tohoto prototypu podaří zjišťovat napětí jednotlivých článků modulů a tím tak eliminovat nebezpečí, že modul bude obsahovat NOK (chybné) bateriové články. Tímto dojde k výrazné finanční úspoře z důvodu, že nebude nutné likvidovat celé bateriové moduly, ale pouze vyměňovat chybné články. Dále na základě měření OCV navrhnout hodnocení kvality bateriových modulů.

Rámcový obsah:

1. Úvod a cíl práce
2. Popis a typy bateriových modulů v automobilové výrobě
3. Kvalita bateriových modulů
4. Návrh metodiky měření kvality bateriových modulů
5. Návrh hodnocení kvality bateriových modulů na základě měření OCV
6. Zhodnocení a závěr

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. DENTON, Tom. *Electric and Hybrid Vehicles*. New York, Abingdon, Oxon: Routledge, 2016. 197 s. ISBN 978-1-315-73161-2.
2. DENTON, Tom. *Automobile Electrical and Electronic Systems*. London: Routledge, 2017. 674 s. ISBN 978-0-415-72577-4.
3. GAO, Yimin; EHSANI, Mehrdad. *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles.: Fundamentals, Theory and Design*. USA: CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4200-5398-2.

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2022

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2023

L. S.

Elektronicky schváleno dne 31. 5. 2023

Ondřej Svoboda

Autor práce

Elektronicky schváleno dne 31. 5. 2023

doc. Ing. Jiří David, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 1. 6. 2023

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 1. 6. 2023

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem Škoda Auto Vysoké školy o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 5. 12. 2023

Děkuji doc. Ing. Jiřímu Davidovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Rád bych také poděkoval všem kolegům ze společnosti Škoda Auto a.s., kteří mi byli ochotní poskytnout cenné informace, které jsem mohl následně využít při vypracování této závěrečné práce. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu a trpělivost během celého studia.

Obsah

Úvod.....	7
1 Bateriové systémy v elektromobilech.....	9
1.1 Druhy vozidel dle stupně elektrifikace	10
1.2 Hnací ústrojí hybridních a elektrických vozidel.....	13
1.3 Typy Li-ion baterií.....	16
1.4 Význam měření Open Circuit Voltage modulů trakčních baterií	19
1.5 Kvalita bateriových modulů	25
2 Návrh prototypového zařízení měření kvality bateriových modulů.....	28
2.1 Testovací zařízení	28
2.2 Komunikace po rozhraní I ² C (Inter-Integrated Circuit) mezi deskami Arduino	34
2.3 Průběh montáže a testování prototypového zařízení	35
3 Návrh metodiky hodnocení kvality bateriových modulů na základě měření OCV	40
Závěr	43
Seznam literatury	44
Seznam obrázků a tabulek	48
Seznam příloh	50

Seznam použitých zkratk a symbolů

BMCe	Battery Management Control (řídící jednotka bateriového systému)
BTM	Battery Thermal Management (tepelné řízení baterie)
CMC	Cell Management Control (řídící jednotka článků)
DOD	Depth of Discharge (míra vybití)
EV	Electric Vehicle
GND	Ground
HEV	Hybrid Electric Vehicle
I ² C	Inter-Integrated Circuit
LFP	Lithium iron phosphate battery (Lithium-Železo-Fosfátový akumulátor)
Li-ion	Lithium-iontový akumulátor
LTO	Lithium Titanate cell (Lithium Titanátový článek)
MEB	Modulare E-Antriebs Baukasten (Platforma pro elektrické vozy)
NiCd	Nikl-Kadmium (Nikl-kadmiový akumulátor)
NiMH	Nikl-Methal-Hydríd (Nikl-metal hydridový akumulátor)
NMC	Nickel-Manganese-Cobalt type Lithium cell (Nikl-Mangan-Kobalt)
OCV	Open Circuit Voltage
Pb	Lead cell (olověný článek)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
SCL	Serial clock
SDA	Serial data
SIG	Signal (signální pin)
SOC	State of Charge (Stav nabití)
SOH	State of Health (Stav opotřebení)
TFT	Thin Film Transistor
VCC	Voltage Common Collector (kladný napájecí pin)

Úvod

S legislativními změnami v celé Evropě a s transformujícím se trhem je elektromobilita jedním z hlavních řešených témat automobilového průmyslu. Důraz a hlavní pozornost u elektromobility je zaměřena na kapacitu baterií, respektive na co možná nejdelší dojezd elektromobilu, jakož i cenu a bezpečnost baterií. Rychlost přechodu výrobních kapacit od spalovacích motorů k elektromobilům je dána přípravou emisní normy Euro 7, která dle původního plánu měla vejít v platnost už v roce 2025. Vývoj a produkce bateriových systémů jsou tak v plném proudu a probíhá ve znamení soutěže mezi dalšími světovými výrobci, jako je čínský MG, americká Tesla, korejský Hyundai a další.

Významným prvkem pro zachování konkurenceschopnosti podniku v oblasti ceny a kvality je mimo jiné zajištění kvality při výrobě. Proto hlavním cílem této závěrečné práce je navrhnout prototyp měřícího přístroje pro měření Open-circuit Voltage (OCV) bateriových článků v automobilové výrobě za použití hardwaru Arduino. Při zpracovávání této práce očekávám, že se pomocí tohoto prototypu podaří zjišťovat napětí jednotlivých článků modulů a tím tak eliminovat nebezpečí, že modul bude obsahovat chybné bateriové články. Tímto by mělo dojít k výrazné finanční úspoře z důvodu, že nebude nutné likvidovat celé bateriové moduly, ale pouze vyměňovat chybné články. Dále na základě měření Open-circuit Voltage navrhnout hodnocení kvality bateriových modulů.

Důvodem pro výběr řešení tématu o měření Open-circuit Voltage článků bateriových modulů je ten, že v současné době ve skladu bateriových modulů ve Škoda Auto a.s. dochází pouze ke kontrolnímu měření celkového napětí modulů.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části, na část teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá základy bateriových systémů, kdy jsou vysvětleny nejběžnější známé druhy vozidel dle stupně elektrifikace a také znázorněny konstrukce hnacího ústrojí jednotlivých druhů vozidel. Další podkapitola se věnuje popisu tří typů bateriových článků využívaných v automobilové výrobě. Následují jednotlivé způsoby zapojení bateriových článků a je vysvětlen vliv zapojení na kapacitu a napětí bateriového modulu. Závěr teoretické části je věnován významu měření Open-circuit Voltage modulů trakčních baterií. Druhá kapitola je zaměřena na návrh měřícího zařízení pro hodnocení kvality bateriových modulů. V první řadě poskytuje

náhled na jednotlivé součástky použité pro tvorbu měřicího zařízení. Dále je nastíněn princip komunikace mezi součástkami. Na to je návázáno samotným návrhem zařízení a průběhu zkoušky, kde nechybí ani obrázky displeje s navrhovaným zobrazováním naměřených hodnot.

Ve třetí kapitole je navržena metodika pro měření a hodnocení kvality bateriových modulů.

Přestože jsou v teoretické části popisovány všechny nejznámější typy elektrifikace, je práce zaměřena pouze na baterie elektromobilů. Takové baterie jsou ve Škoda Auto a.s. postaveny na platformě MEB (Modulare E-Antriebs Baukasten) vyvinutou společností Volkswagen Group.

Tato práce obsahuje množství anglických pojmů. Je to z toho důvodu, že se jedná o ustálené a všeobecně známé termíny. Jejich přeložení do českého jazyka by mohlo ve výsledku vést k nepřesnému výkladu pojmů.

1 Bateriové systémy v elektromobilech

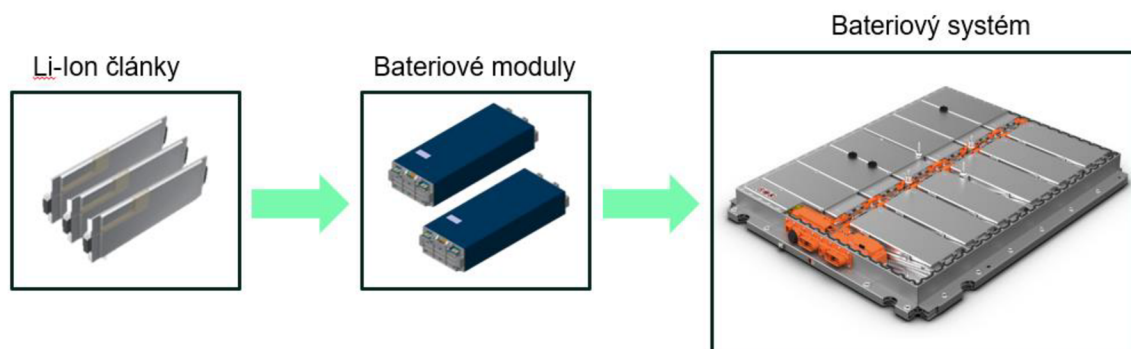
Zážehové a vznětové motory jsou v užívání více než století. A není divu, když automobily s takovým pohonem byly vnímány za výkonější, efektivnější a prostornější než automobily s pohonem elektrickým, který byl paradoxně vynalezen ještě o půl století dříve. Elektrické vozy byly ještě před dvaceti lety v porovnání s vozy se spalovacími motory považovány za pomalé a s malým dojezdem. V dnešní době se však oba typy pohonů dostávají téměř na srovnatelnou úroveň a výhod výkonnových charakteristik elektrického pohonu si všímá čím dál tím více lidí.

Vozidla na elektrický pohon by nám do budoucna měla přinést udržitelný způsob dopravy, který představuje co možná největší efektivnost pohonu při co nejmenší stopě na životním prostředí ve formě emisí. Poměr elektrického a celkového výkonu se označuje jako stupeň elektrifikace. Vozidla jsou poté s 0% stupněm elektrifikace (vozidla plně na spalovací motor bez elektrického systému) až se 100% stupněm elektrifikace (vozidla na plně elektrický pohon bez spalovacího motoru) (Emadi, 2015).

Architektura trakční baterie je znázorněna na Obr. 1, ze kterého je patrné, že se trakční baterie užívané v automobilech skládají z několika dílčích částí. Základním prvkem, a tedy nejmenší částí je bateriový článek, který má dle výrobců a účelu různé podoby. Každý bateriový článek obsahuje několik vrstev. Tím je anoda, což je kladná elektroda, na které dochází k oxidaci, katoda (záporná elektroda, na které dochází k redukci) a elektrolyt (chemická látka umožňující pohyb iontů mezi anodou a katodou, v lithium-iontových bateriích slouží zároveň jako separátor bránící vzniku zkratu mezi anodou a katodou při zachování propustnosti pro pohyb iontů mezi vrstvami).

Druhou částí je bateriový modul, který se skládá z několika bateriových článků umístěných v robustním odolném pouzdře. Tato vnější část bateriového modulu má ochrannou a informační funkci.

Na Obr. 1 je vyobrazeno složení bateriového systému z modulů, článků a dalších uvedených komponent.








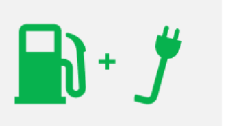











Obr. 1 Složení bateriového systému

Trakční baterie někdy označována také jako bateriový systém se skládá z několika modulů a z dalších částí, jako je BMCE (Battery management control), CMCE jednotka (Cell management control) a systém chlazení. Veškeré komponenty jsou uloženy v hliníkové bateriové vaně. Tento celek představuje největší a nejtěžší součást podvozku, kdy je spojen s karoserií a tvoří podlahu automobilu. Zároveň je tak zvýšená pevnost konstrukce automobilu. Škoda Auto a.s. používá dva rozměry bateriové vany, menší pro 8 či 9 bateriových modulů a větší pro 12 modulů.

1.1 Druhy vozidel dle stupně elektrifikace

V dnešní době už trh nabízí větší množství typů elektrifikovaných vozů, jako jsou hybridní vozidla (Hybrid electric vehicles-HEV), Plug-in hybridní vozidla (Plug-In Hybrid Electric Vehicles-PHEV) a elektromobily (Electric Vehicles-EV). Jednotlivé vozy se od sebe odlišují právě stupněm elektrifikace v podobě velikosti baterie, která ovlivňuje dojezd vozu (Emadi, 2015). Obr. 2 přehledně znázorňuje všechny druhy automobilů od těch konvenčních až po ty plně elektrické včetně jejich zdroje energie, spotřeby a emisí.

	 KONVENČNÍ	 HYBRID	 PLUG-IN HYBRID	 ELEKTRICKÉ
ZDROJ ENERGIE				
SPOTŘEBA				
EMISE				 ŽÁDNÉ EMISE

Zdroj: (Škoda Storyboard, 2019)

Obr. 2 Druhy elektromobilů

1.1.1 Hybrid Electric Vehicles (HEV)

Dle Denton 2016, HEV představuje takové hybridní vozidlo, které obsahuje jak konvenční spalovací motor, tak také motor elektrický. Jedná se tedy o kombinaci obou zmíněných typů pohonů. Vozidlo si během jízdy v závislosti na rychlosti a stavu baterie samo volí, jaký způsob pohonu zrovna využije. Takové vozidlo je kromě elektromotoru vybaveno také baterií, resp. akumulátorem. Baterie slouží k pohánění elektromotoru(ů). Jelikož baterii HEV vozidla není možné externě nabíjet, energie je do ní doplňována rekuperací při brzdění (přeměna kinetické energie zpět na elektrickou energii). Rekuperace je zajišťována elektromotorem, který dokáže nejen pohánět vozidlo, ale slouží také právě jako generátor elektrické energie (Denton, 2016).

Dle Martina Wagenknechta pro fDrive.cz, HEV představuje 3 typy vozidel, a to micro hybrid, mild hybrid a full hybrid.

Micro hybrid

Základní typ elektrifikovaného vozu je Micro hybrid se spalovacím motorem, vybavený systémem Start/Stop a funkcí rekuperace brzděné energie pro dobíjení malého akumulátoru. Systémem Start/Stop je dnes vybaveno téměř každé nově vyrobené vozidlo. Řídící jednotka, která zhasíná motor, sleduje teplotu motoru a

stav nabití baterie, umožňuje nepatrně snižovat spotřebu paliva automobilu. Pro snížení spotřeby má také místo startéru generátor, který pro napájení příslušenství generuje elektrickou energii (Auto.cz, 2018).

Mild hybrid

Dalším představitelem už pokročilejšího stupně elektrifikace je tzv. Mild hybrid, u kterého elektromotor při rozjezdech podporuje ten spalovací. Pro spalovací motor to znamená snížení práce, kterou musí vynaložit, což výrazně zvyšuje akceleraci a zároveň snižuje spotřebu paliva. To se hodí nejvíce ve městech, kde dochází k častému brzdění a rozjíždění (Evans Halshaw, 2021).

Full hybrid

Třetí stupeň hybridních elektrických vozidel je Full hybrid. Full hybrid vozidla už jsou schopna urazit krátkou vzdálenost čistě na elektrický pohon. Elektromotor je uložen přímo na nápravě a tu může roztáčet buď samostatně elektromotor, spalovací motor či kombinací obou najednou. Na základě způsobu jízdy je jízdní režim volen systémem automaticky. Pro úsporu paliva se v okamžiku prudkého zrychlování, zpomalování a stání spalovací motor vypne a celý systém začne běžet na pohon elektrický. Z toho vyplývá, že hlavní pohonnou jednotkou je spalovací motor doplněný o motor elektrický (Evans Halshaw, 2021).

1.1.2 Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)

Pod pojmem Plug-in hybrid se v podstatě skrývá HEV vybaven více výkonným elektrickým motorem a baterií s podstatně větší kapacitou. Od obyčejného hybridu se PHEV liší tím, že obsahuje zásuvku pro dobíjení baterie ze sítě. Nabíjení ze sítě však není vždy nutností, jelikož se baterie během jízdy dobíjí rekuperací. Baterie pro vozidla PHEV jsou určeny pro vybíjení a maximálně tak využívaly efektivní elektrickou energii. Plně nabitá může vystačit až na 50-60 km, což šetří palivo a tudíž peníze. Takový dojezd je dostatečný a vhodný na pojíždění po městě a při rychlejších a delších jízdách přechází opět na konvenční palivo. Právě na delší cestě na spalovací motor PHEV dojede úplně stejně jako běžný automobil se spalovacím motorem, a tak se není třeba obávat relativně krátkého dojezdu na elektrickou energii (Garáž.cz, 2019).

1.1.3 Electric vehicles (EV)

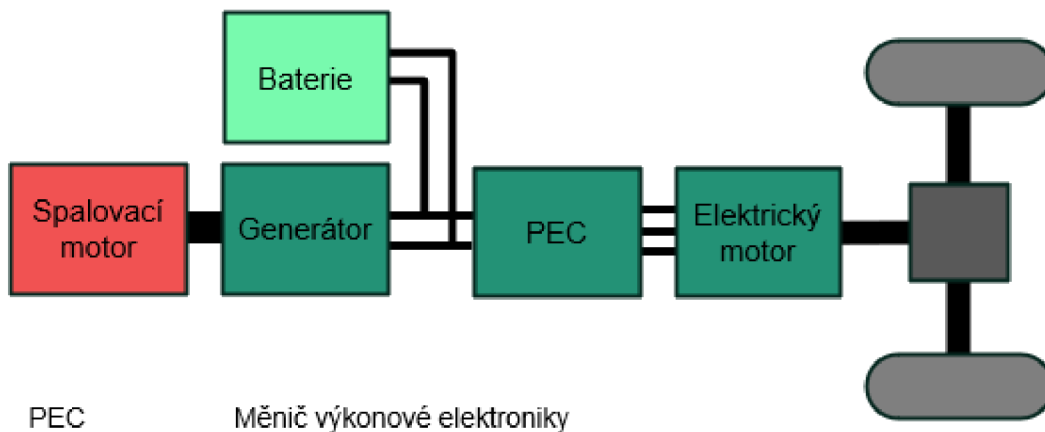
Posledním typem je Electric vehicle, tedy vozidlo čistě na elektrickou energii, kterému se říká elektromobil. Koncept elektromobilu je vcelku jednoduchý. Takové vozidlo obsahuje trakční baterii jako úložiště elektrické energie, elektromotor, řídicí jednotku a automatickou převodovku. Na rozdíl od všech typů hybridních vozidel už nemá palivovou nádrž a spalovací motor. Elektrická energie je do baterie doplňována hlavně ze zásuvky pomocí nabíjecího kabelu. Dalším možným způsobem dobíjení je rekuperací brzděné energie. To zajišťuje elektromotor, který je schopen fungovat dvěma způsoby. Jedním z nich je schopnost měnit elektrickou energii na mechanickou a pohánět tak vozidlo vpřed či vzad. Druhým je pak fungování při brzdění jako generátor a vracení tak elektrické energie zpět do baterie. Řídicí jednotka pak ve vozidle zajišťuje dodávání správného množství energie do elektromotoru (Larminie 2012). Velká výhoda elektromotoru je v účinnosti. U běžných spalovacích motorů je efektivita do 25 %, u motorů přepřínovaných dosahuje maximálně 35 %. U elektromotoru se tato hodnota pohybuje kolem 90 %. (Špaček, 2018).

1.2 Hnací ústrojí hybridních a elektrických vozidel

Vozidla s hybridním pohonem se obecně rozlišují dle formy použitého pohonu na sériové, paralelní a sériově-paralelní. Hnací ústrojí hybridních vozidel se skládá z baterie, elektromotoru/ů, spalovacího motoru, převodovky a měniče výkonové elektroniky. V konstrukci elektromobilu je pak spalovací motor vynechán (David, 2023).

1.2.1 Konstrukce hybridních a Plug-in hybridních vozidel

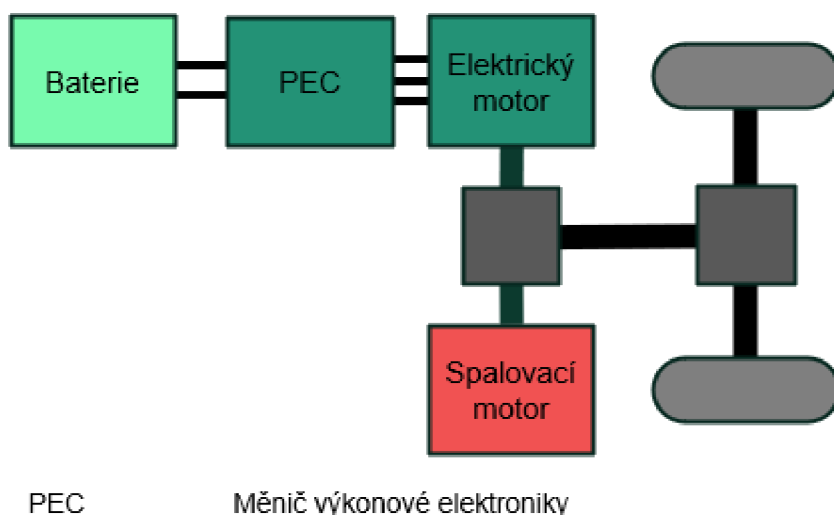
Prvním způsobem, jakým mohou být hybridní a plug-in hybridní vozidla zkonstruována, je sériové zapojení. Jak je znázorněno na Obr. 3, sériové zapojení znamená, že všechny zmíněné komponenty jsou zapojeny za sebou. U sériového hybridu jsou elektromotory hlavní pohonnou jednotkou. Spalovací motor slouží spíše jen jako generátor elektrické energie pro pohon elektromotorů a popřípadě k dobíjení baterie. V tom případě není spalovací motor přímo spojen s nápravou a jedná se tak o jednoduchý způsob zapojení (Dusil, 2018).



Zdroj: Upraveno dle: (Andrew Beard's Blog, 2009)

Obr. 3 Sériové zapojení

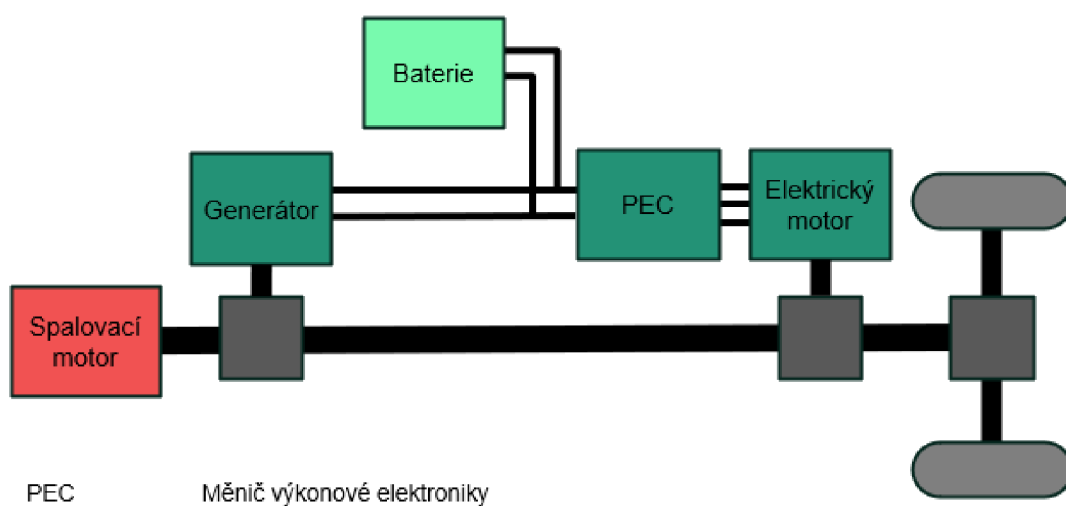
Oproti tomu paralelní zapojení na Obr. 4, které patří k nejpoužívanějšímu typu zapojení, se vyznačuje tím, že baterie a spalovací motor jsou umístěny vedle sebe. Do paralelního hybridu se montuje jeden elektromotor, který je společně se spalovacím motorem propojen s převodovkou automatickými spojkami. Vozidlo tak automaticky dokáže volit jízdní režim tak, že motory fungují každý samostatně či dohromady. Nevýhodou může být, že spalovací motor je v hlavní roli a nedochází k tak velké úspoře paliva (Švamberk, 2018).



Zdroj: Upraveno dle (Andrew Beard's Blog, 2009)

Obr. 4 Paralelní zapojení

Třetím typem je sériově-paralelní zapojení vyobrazené na Obr. 5. Vzniká kombinací obou předchozích zmíněných forem pohonu, a proto se mu také říká kombinovaný hybrid. Z hlediska konstrukce je nejsložitější, jelikož se zde nacházejí dva elektromotory, které jsou schopny fungovat sériově i paralelně. Konstrukce vyžaduje také speciální převodovku, která všechny komponenty sloučí do jednoho celku (David, 2023).

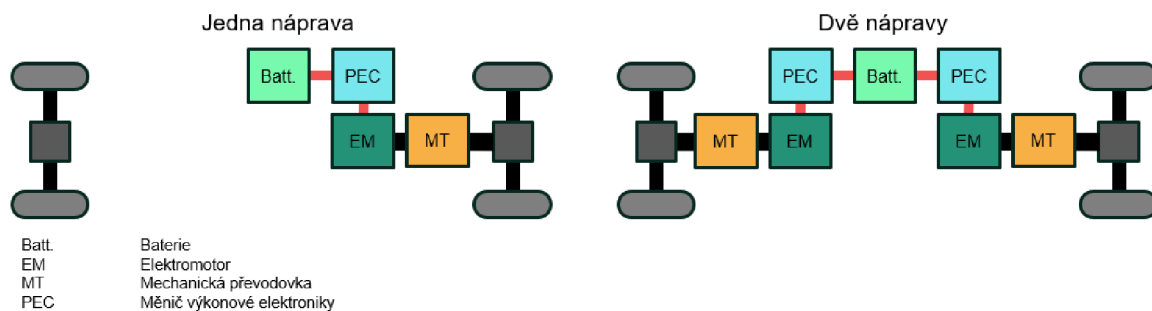


Zdroj: (Andrew Beard's Blog, 2009)

Obr. 5 Sériově-paralelní hybridní zapojení

1.2.2 Konstrukce elektrických vozidel

Konstrukce elektrických vozidel je výrazně jednodušší než u běžných konvenčních vozidel. Nepoužívá se rozdělení na sériové či paralelní zapojení jako je tomu u hybridních vozidel. Hlavním a zároveň jediným zdrojem pohonu je elektromotor. Uspořádání hnacího ústrojí v konstrukci elektromobilu může být soustředěno na jednu nápravu či rozděleno na dvě a více náprav, což ukazuje pro příklad Obr. 6. Pohonem více náprav se zlepšuje ovladatelnost a trakce vozidla.



Zdroj: (Domingues, 2018)

Obr. 6 Hnací ústrojí elektrických vozidel

1.3 Typy Li-ion baterií

V praxi se využívají tři hlavní typy Lithium-iontových trakčních baterií, respektive bateriových článků. Z hlediska vzhledu či tvaru balení jsou bateriové články rozděleny na pouch (váčkové), prismatic (hranolové) a cylindrical (válcové). Každý z typů s sebou přináší určité výhody, zároveň ale také nevýhody. Články se liší například v provedení a stavbě článků, v tvorbě či přenosu tepla a v ceně. Každá baterie obsahuje battery thermal management (BTM). Battery thermal management se skládá z chladících a topných systémů, které umožňují udržovat teplotu v požadovaných mezích. Proto, aby bylo možné navrhnout a sestavit kvalitní a účinný systém BTM, je důležité dobře rozumět způsobu vzniku a přenosu tepla baterie (Arar, 2020).

1.3.1 Pouch battery cells

Pouch battery cells jsou zajímavé tím, že nemají pevný obal, nýbrž obalem článků je pružná uzavřená fólie. Jelikož je obal článků měkký, článek vyžaduje dodatečnou konstrukci a neměly by být umístěny v okolí ostrých hran. Tento minimalistický přístup snižuje celkovou hmotnost a znamená flexibilitu článků, které se pak snadno zvládnou přizpůsobit vnitřnímu prostoru daného výrobku.

Vrstvy kladných a záporných elektrod a separátoru jsou v těchto článcích poskládány na sebe. Z toho důvodu, že při nabíjení a vybití dochází uvnitř článků k tvorbě plynu, mohou články nabobtnat. S tím je nutno počítat při vytváření konečných produktů.

Na Obr. 7 níže je vyobrazen samostatný bateriový pouch článěk a na Obr. 8 poté příklad ze společnosti Škoda Auto a.s., kdy je množství pouch článků zapojeno a uloženo do modulu.



Zdroj: (Arar, 2020)

Obr. 7 Pouch bateriový článěk



Zdroj: (Materiály Škoda Auto a.s., 2023)

Obr. 8 Bateriový modul složený z pouch článků

1.3.2 Prismatic battery cells

Prismatic battery cells zobrazené na Obr. 9, jsou sestaveny z vrstev stlačených a srolovaných plátů kladných a záporných elektrod a seperátorů, které jsou vloženy do kovového či tvrdého plastového pouzdra. Na pláty elektrod a seperátorů v rozích pouzdra působí větší síly, kdy v důsledku může dojít k poškození povlaku elektrody a uvnitř tedy k nerovnoměrnému rozložení elektrolytu.

Zapojením více prismatických článků do sestavy je dosaženo ideálního vyplnění využitelného prostoru v modulu. Toto vyplnění prostoru s sebou však přináší vyšší nároky na systém tepelného managementu, jelikož jsou jednotlivé články přímo nalepeny na sebe a není mezi nimi žádný prostor.

Přestože prismatické články nejsou tak náchylné na bobtnání, nedosahují tak dobrých funkčních vlastností jako články válcové, které jsou popsány níže.



Zdroj: (Materiály Škoda Auto a.s., 2023)

Obr. 9 Prismatické bateriové články

1.3.3 Cylindrical battery cells

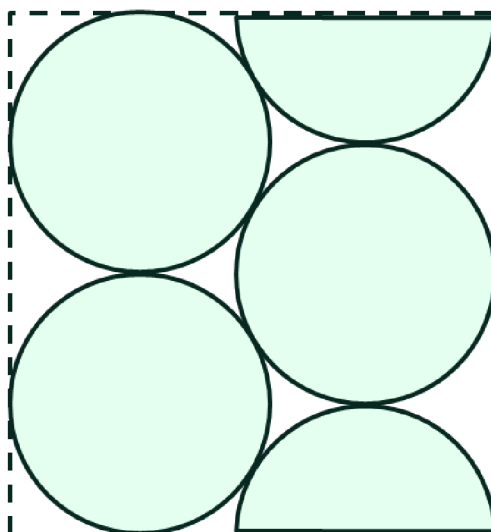
Cylindrical cell (válcový bateriový článek viz Obr. 10) je všeobecně nejběžnějším typem bateriových článků, ovšem v automobilovém průmyslu je využíván pouze výjimečně. Sestává se z plátů kladných a záporných elektrod a seperátorů srolovaných do pouzdra ve tvaru válce. Výhodou válcového tvaru článků je odolnost proti vnějším tlakům, který umožňuje tlak rovnoměrně rozložit po obvodu článku.



Zdroj: (Williams, 2023)

Obr. 10 Tesla cylindrical cells

Jak je možné vidět na Obr. 11, že pokud tyto články zapojíme dohromady a vytváříme modul, mezi jednotlivými články zůstává nevyužitá místa a neumožňují nám prostor vyplnit na maximum. Tento volný prostor mezi články s sebou však přináší také velkou výhodu, kterou je odolnost vůči bobtnání článků (Melançon, 2022).



Zdroj: (Arar, 2020)

Obr. 11 Cylindrical cells-průřez

1.4 Význam měření Open Circuit Voltage modulů trakčních baterií

Každý bateriový článek má určenou základní sadu hodnot napětí vycházejících z chemické povahy zdroje. Tyto hodnoty zahrnují nominální napětí, minimální vybíjecí napětí a maximální nabíjecí napětí. Výrobci dále stanovují doporučená napětí. Zde jsou tyto parametry podrobněji popsány:

Nominální napětí

Nominální neboli jmenovité napětí je napětí určené výrobcem bateriového článku. Je specifické pro každý typ článku a představuje průměrnou hodnotu napětí při vybíjení.

Minimální vybíjecí napětí

Představuje bezpečnou hodnotu napětí pro vybíjení článku, které nezpůsobí jeho trvalé poškození, i když vybíjení při tomto napětí může snížit cyklickou životnost článku (s výjimkou NiCd).

Doporučené vybíjecí napětí

Výrobci bateriových článků často doporučují vyšší hodnoty vybíjecího napětí, než je minimální hodnota, aby byla zaručena cyklická životnost článku. Tato hodnota nemusí být vždy uvedena v datovém listu (soupis parametrů, technické zapojení bezpečnost práce), protože ovlivňuje velikost uložené energie, tedy kapacitu článku.

Maximální nabíjecí napětí

Jedná se o napětí, kterého lze dosáhnout při nabíjení článku bez jeho poškození nebo urychlené degradace kapacity.

Doporučené nabíjecí napětí

Stejně jako při vybíjení baterie, je doporučeno výrobcem nabíjet baterii na trochu nižší napětí, aby se prodloužila její životnost. Tento fakt však v datovém listu často není přímo uveden. Avšak u spolehlivého výrobce baterií je obvyklé uvádět tyto hodnoty i včetně výpočtu skutečné kapacity baterie, která je pak označena jako "využitelná kapacita baterie" (Hrzina, 2020a).

Z analýzy vyplynulo, že je nejlepší používat článek v rámci definovaných mezí doporučeného vybíjecího napětí a doporučeného nabíjecího napětí.

V Tab. 1 jsou uvedena různá napětí pro jednotlivé běžné typy bateriových článků.

- Nikl-Kadmium (NiCd)
- Nikl-Methal-Hydrid (NiMH)

- Lithium-Železo-Fosfát (LFP)
- Lithiový článek typu Nikl-Mangan-Kobalt (NMC)
- Lithium-Titanátový článek (LTO)
- Olověný článek (Pb)

Tab. 1 Přehled napětí jednotlivých článků

	Typ článku	NiCd	NiMh	Li			Pb
				LFP	NMC	LTO	
1 článek	Jmenovité napětí (V)	1,2	1,2	3,2	3,7	2,4	2,0
	Minimální vybíjecí napětí (V)	0,9	1	2,5	2,5	1,7	1,75
	Maximální nabíjecí napětí (V)	1,4	1,4	4	4,2	2,8	2,35
Baterie	Baterie 12 V (počet článků)	10	10	4	4	5	6
	Jmenovité napětí (V)	12	12	12,8	14,8	12	12
	Minimální vybíjecí napětí (V)	9	10	10	10	8,5	10,5
	Maximální nabíjecí napětí (V)	14	14	16	16,8	14	14,1
	Minimum (v % jmenovitého napětí)	75	83	78	68	71	88
	Maximum (v % jmenovitého napětí)	117	117	125	114	117	118
	Změna napětí během provozu (%)	42	33	47	46	46	30

Zdroj: (Hrzina, 2020a)

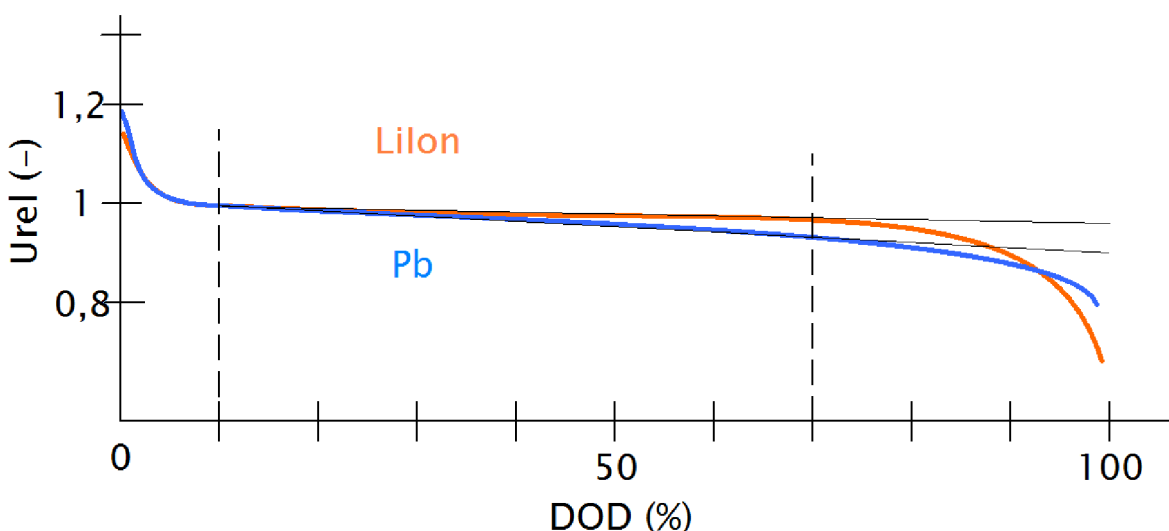
Dosahované napěťové hladiny

Různé úrovně napětí článku se pohybují v různém rozmezí, které je doporučeno výrobcem. Například, napětí olověné baterie 12 V, která je vybíjena malým proudem, by mělo být mezi 10,5 V a 14,1 V. Pokud použijeme baterie LiFePO₄ (s jmenovitým napětím 12,8 V), mělo by se pohybovat mezi 10 V a 16 V.

Podrobnější příklady pro různé druhy článků s celkovým napětím 12 V v bateriovém packu lze nalézt v Tab. 1.

Z Tab. 1 lze také vyčíst, o jaký procentuální podíl se mění napětí při nabíjení nebo vybíjení článku. Při návrhu bateriových systémů je důležité zohlednit tyto parametry. U olověných systémů byl tento parametr cca 30 %, zatímco u moderních lithiových systémů dosahuje tento parametr až 50 %. Tato různorodost parametrů bateriových článků může způsobit potíže při návrhu napájecího systému a v případě zátěže "konstantního výkonu" může dojít k přetížení baterie nebo střídače.

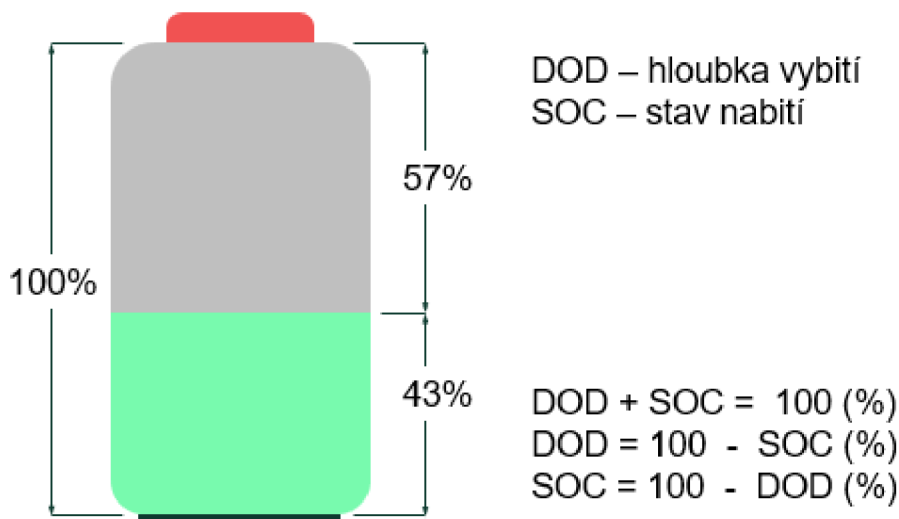
Lithiové systémy jsou v porovnání s olověnými články charakterizovány plošší vybíjecí křivkou a tím pádem je zajištěna jejich delší životnost. Pro lepší názornost jsou tyto vybíjecí křivky na Obr. 12.



Zdroj: (Hrzina, 2020a)

Obr. 12 Porovnání vybíjení Lithiové baterie s olověnou baterií

Graf na Obr. 12 ukazuje srovnání výkonu lithiové baterie s olověnou baterií. Srovnání se týká stejného zatížení baterií a stejného stavu životnosti (SOH). Na vertikální ose je zobrazena relativní změna napětí. Z grafu je patrný stabilní úsek charakteristiky v pracovním rozsahu baterie (mezi čárkovanou linií). Vysvětlení DOD a SOH je uvedeno dále a vyobrazeno na Obr. 13 (Hrzina, 2020a).



Zdroj: (Hrzina, 2020a)

Obr. 13 Definice SOC a DOD

V následující části jsou popsány nejběžnější pojmy používané pro stanovení kapacity baterií.

SOC – State of Charge – Stav nabití

State of Charge představuje v procentech aktuální zbývající množství energie dostupné v baterii, vztahené k celkové energii baterie (Hrzina, 2020b).

DOD – Depth of Discharge – Hloubka (míra) vybití

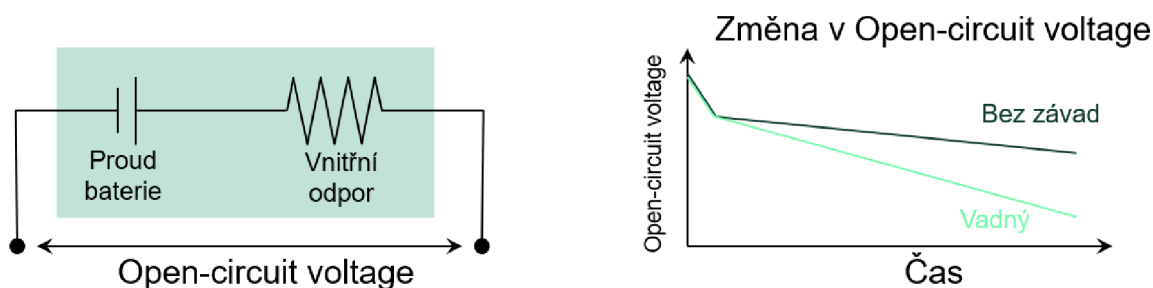
Depth of Discharge nám říká, kolik energie bylo již z baterie odebráno. Hodnota DOD se taktéž udává v procentech z celkové energie baterie (Hrzina, 2020b).

SOH – State of Health – Stav opotřebení

Jedná se o hodnotu představující dosavadní opotřebení bateriového článku. State of Health představuje poměr aktuální kapacity článku a celkové tabulkové kapacity článku (Hrzina, 2020b).

Zásadním parametrem testování závad článků Lithium-iontových baterií je testování Open Circuit Voltage (OCV). OCV je napětí bateriových článků v případě, když nejsou připojeny k žádné zátěži. Hodnota OCV bateriových článků je dána rozdílem mezi kladnou a zápornou elektrodou v okamžiku, kdy je článek v klidu, odpojen od obvodu a neprotéká jím tak žádný proud. Ještě před tím, než dojde k měření rozdílu potenciálů, je klidový stav zásadní pro dosažení rovnovážného stavu článku.

Na Obr. 14 níže je na levé straně znázorněna ukázka schématu zapojení. Na pravé straně je poté možné vidět chování OCV v čase v případě zdravého (bez závad) a nezdravého (vadného) bateriového článku.



Zdroj: (Hioki, 2021)

Obr. 14 Princip fungování OCV

OCV je ukazatelem State of Charge (SOC) a celkového stavu baterie. SOC představuje aktuální stav nabití baterie, respektive kolik energie v baterii zbývá. OCV je potřeba definovat právě v závislosti na stavu nabití článku SOC od 0 % do 100 %. To znamená, že bateriové články je třeba vybíjet ve stanovených krocích dle určeného SOC (Battery Design, 2023).

OCV baterií je silně závislé na teplotě. Změna teploty i o pouhý 1°C při měření může vyvolat změnu hodnoty OCV až o několik milivoltů. Proto je důležité během měření a následném analyzování výsledků brát teplotu v úvahu. Naměřené hodnoty OCV mohou poskytnout informace o nadměrném samovybíjení bateriového článku, a tudíž informovat o samotném stavu baterie (Hioki, 2021)

Testování OCV je v podstatě třídící zkouška, která určuje, zda jsou moduly vhodné pro použití, a tedy bez jakýchkoliv defektů a závad. Obecně platí, že k prvnímu měření dochází u výrobce a následně ještě průměrně dvakrát před samotnou montáží vozu. Každý výrobce vozů, a tedy i Škoda Auto a.s. si frekvenci a průběh testování OCV určuje na základě svých vnitřních předpisů, nicméně platí, že za stav a kvalitu jsou zodpovědní výrobci bateriových modulů.

1.5 Kvalita bateriových modulů

Jak již bylo řečeno v kapitole 1 a znázorněno na Obr. 1, dnešní baterie jsou složeny z bateriových modulů a článků. Při vytváření sestav je bateriový článek nejmenším prvkem. Ty jsou zapojeny sériově nebo paralelně v závislosti na tom, aby bylo možné dosáhnout požadovaného výstupního napětí, proudu a celkové kapacity. Takovýmto zapojením jednotlivých článků vzniká podskupina, a to bateriový modul. Modul je prostředním prvkem v sestavě. Moduly jsou zapojené sériově a vytváří tak baterii. OCV představuje energii uloženou v modulu nebo baterii. Toho se využívá k ověření chování ve vozidle při nabíjení a vybíjení, ke sledování samovybíjení nebo chování v různých podmínkách.

Důležité může být, navíc kromě měření celé baterie, měření OCV jednotlivých článků. Pomocí toho je možné odhalit případné vadné články. Hlavní rozdíl mezi měřeními jednotlivých článků a baterie je ten, že každý z článků má napětí nižší než 6 V, kdežto při měření baterie se pracuje se stovkami voltů a je tak složité každý z článků izolovat (Tektronix, 2023).

1.5.1 Zapojení bateriových článků

Jednotlivé bateriové články vykazují napětí v jednotkách voltů a určitou kapacitu. Spojováním bateriových článků je možné dosáhnout požadovaného výstupního napětí a kapacity. Zapojení článků rozlišujeme sériové, paralelní či sériově-paralelní. Při zapojování by se mělo doržet několik pravidel.

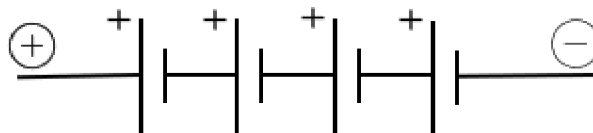
- Stáří článků se nemůže lišit
- Stav nabití článků musí být totožný
- Propojovací kabely co nejkratší a s dostatečně velkou kapacitou

V případě nedodržení těchto aspektů dochází v důsledku různých odporů k nesprávnému rozložení napětí a rovněž i nesymetrickému zatížení ve fázi nabíjení a vybíjení.

1.5.2 Sériové zapojení článků

O sériovém zapojení článků se mluví v případě, kdy jsou články zapojeny za sebou. Při skládání článků se pracuje s napětím a kapacitou. V sériovém zapojení se napětí sčítá a kapacita je stálá, zůstává neměnná. Např. dva články s napětím 4 V a

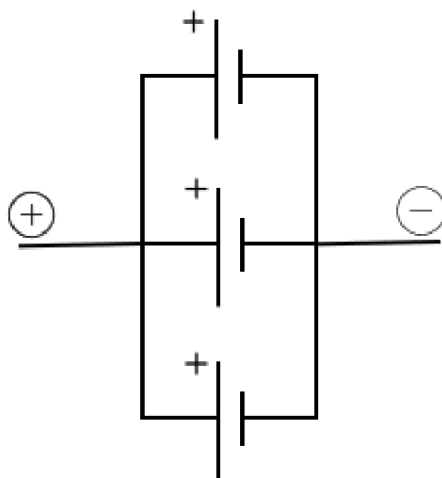
kapacitou 10 Ah zapojené sériově ve výsledku přinesou jeden celek s napětím 8 V a kapacitou 10 Ah. Na Obr. 15 je znázorněn princip sériového zapojení, kdy je vždy záporný pól jednoho článku propojen s kladným pólem článku následujícího (Bannerbatterien, 2023).



Obr. 15 Sériové zapojení článků

1.5.3 Paralelní zapojení článků

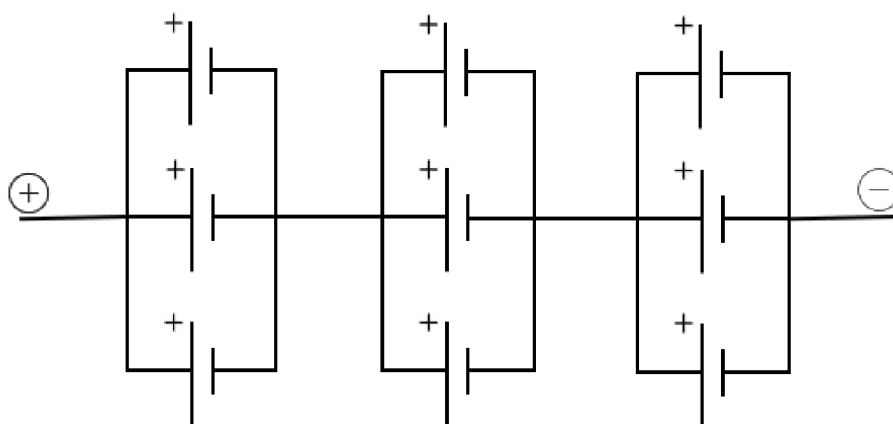
U paralelního zapojení znázorněného na Obr. 16, jsou jednotlivé články zapojeny vedle sebe. Jedná se o způsob, kdy články pracují společně. V paralelním zapojení napětí zůstává konstantní a kapacita se sčítá. To prodlužuje dobu provozu vozu. Principem je spojit kladný pól s kladným a záporný pól se záporným pólem bateriových článků, což je znázorněné na Obr. 16. Například v případě, kdy dva články, každý s napětím 4 V a kapacitou 10 Ah, zapojíme paralelně, výsledný komplet bude vykazovat stále stejné napětí 4 V, avšak kapacita bude dvojnásobná, tedy 20 Ah (Electrical Technology, 2023).



Obr. 16 Paralelní zapojení článků

1.5.4 Sériově-paralelní zapojení článků

V automobilovém průmyslu je jediným způsobem, jak dosáhnout požadované kapacity a napětí, sériově-paralelní zapojení bateriových článků, které je možné vidět na Obr. 17. Tato kombinace představuje články zapojené jak za sebou, tak zároveň i vedle sebe. Dochází tak současně ke sčítání kapacity i napětí. Ačkoliv sériově-paralelní zapojení umožňuje dosáhnout kýžených hodnot, takový systém je nezbytné a poměrně náročné v procesu nabíjení a vybíjení správně řídit. K tomu slouží jednotka BMCE.



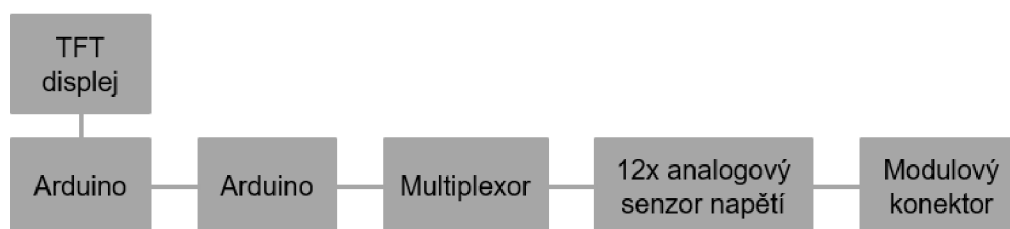
Obr. 17 Sériově paralelní zapojení článků

2 Návrh prototypového zařízení měření kvality bateriových modulů

Tato kapitola je zaměřena na metodiku měření kvality bateriových modulů. Nejprve je stručně popsána architektura navrženého testovacího zařízení a následně je proveden popis jednotlivých komponent navrhovaného testovacího zařízení. V další části je popsána, pro tento experiment použitá komunikace Inter integrated circuit (I²C) zajišťující komunikaci mezi dvěma Arduino deskami a montáž a testování navrženého prototypového zařízení.

2.1 Testovací zařízení

Testování vyžaduje určité elektronické součástky, s jejichž pomocí by po zapojení mělo dojít ke spolehlivému přenosu signálu a zaručen tak přesný výsledek. Ten je zásadní pro efektivní vyhodnocování Li-Ion baterií. Přehled materiálů a testovacího vybavení poskytuje pohled na jednotlivé využití součásti měřícího zařízení navrženého pro měření OCV bateriových modulů. Obr. 18 znázorňuje blokové schéma zapojení použitých součástek pro vytvoření měřícího zařízení OCV. Ty jsou dále podrobněji představeny.



Obr. 18 Blokové schéma měřícího zařízení OCV

Vývojová platforma Arduino

Získávání a analýza dat je důležitou součástí měření OCV. K tomu je použitý hardware Arduino UNO na Obr. 19 a stejnojmenný software Arduino IDE (integrated development environment, integrované vývojové prostředí). Arduino je malá vývojová platforma. Jedná se o jednodeskový počítač, který je založen na MCU (Microcontroller Unit-Mikrokontrolér). Ten představuje jádro Arduino desky, které řídí veškeré operace a mají na starosti zpracování a kontrolu vstupních a výstupních signálů. Arduino UNO má 14 digitálních pinů pro připojení digitálních zařízení a 6 analogových pinů pro připojení analogových senzorů a jiných zařízení (pin je malý

kovový kolík sloužící k propojení více součástek pomocí vodičů). Další důležitou součástí Arduino desky je ADC (Analog-to-Digital Converter), který má na starosti přeměnu analogového signálu na digitální signál. Je využit pro čtení signálů z analogových senzorů. Arduino je díky tomu všestranný a výkonný nástroj pro vytváření elektronických projektů, jelikož umožňuje ovládat a komunikovat s dalšími zařízeními a senzory.

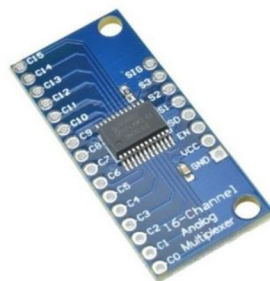


Zdroj: (LaskaKit.cz, 2023)

Obr. 19 Arduino deska

Multiplexor a multiplexování

Při vyčítání hodnot napětí jednotlivých článků dochází k tvorbě mnoha signálů. K tomu, aby bylo možné se signály snadněji pracovat, slouží multiplexor na Obr. 20. Jedná se o elektronické zařízení umožňující připojení a přenos dat z několika vstupů na jediný výstup. Tento proces se nazývá multiplexování. Využitý analogový multiplexor CD74HC4067 umožňuje připojení 16 vstupních signálů a konkrétní vstup převést na jeden výstup. Opakem multiplexoru je demultiplexor, který převádí signál zpět na jednotlivé signály.



Zdroj: (LaskaKit.cz, 2023)

Obr. 20 Analogový multiplexor

V tomto případě je pro projekt využito 12 vstupních pinů vycházející z maximálního počtu bateriových článků zapojených sériově. K přepínání mezi vstupy jsou určeny čtyři ovládací piny označené S0-S3. V programu jsou tyto ovládací piny nastaveny. Zároveň jsou nastaveny vstupní piny tím způsobem, že je každému z nich přiřazena hodnota binárního soustavy (číselná soustava skládající se pouze z číslic 0 a 1). Jako ukázka fungování tohoto nastavení slouží výtah z kódu na Obr. 21.

```
// pomocné pole s ovládacími piny pro jejich nastavení
int ovladaciPiny[] = {pinS0, pinS1, pinS2, pinS3};
// tabulka všech možných kombinací ovládacích pinů
int kanaly[16][4]={
  {0,0,0,0}, // kanál 0
  {1,0,0,0}, // kanál 1
  {0,1,0,0}, // kanál 2
  {1,1,0,0}, // kanál 3
  {0,0,1,0}, // kanál 4
  {1,0,1,0}, // kanál 5
  {0,1,1,0}, // kanál 6
  {1,1,1,0}, // kanál 7
  {0,0,0,1}, // kanál 8
  {1,0,0,1}, // kanál 9
  {0,1,0,1}, // kanál 10
  {1,1,0,1}, // kanál 11
  {0,0,1,1}, // kanál 12
}
```

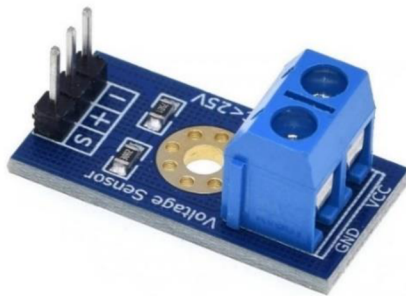
Zdroj: (Drátek návody, 2023)

Obr. 21 Ukázka binárního nastavení vstupních pinů

Analogové senzory napětí

Samotné vyčítání hodnot napětí článků je uskutečněno prostřednictvím 12 senzorů stejnosměrného napětí, který je možné vidět na Obr. 22. Jedná se v podstatě o dělič napětí skládající se ze dvou rezistorů o odporech 30 k Ω a 7,5 k Ω , tedy dělič napětí 5:1. Vstupní napětí je tak sníženo na jednu pětinu. Sensor je tak schopen detekovat napětí v rozmezí 0-25 V, převede to na 0-5 V a Arduino si hodnoty opět přepočítá na 0-25 V. Samotné měření by bylo možné provést přímo na desce Arduina, ale architektura návrhu měřícího a testovacího zařízení je navržena tak, aby byla univerzální a umožňovala rozšíření na větší počet měřících míst a zároveň princip činnosti použitých senzorů napětí představuje bezpečnostní ochranu proti napěťovému přetížení desky Arduina. Napětí na konkrétním článku se změří připojením se na elektrodu před článkem a za článkem, tedy např. napětí na článku 3 změříme připojením 11 a 12 vodiče k GND a VCC. GND je záporný pól externího zdroje napětí, který zde slouží jako referenční bod, ke kterému se vztahuje měřená hodnota na druhé svorce označená VCC. Druhá je VCC, do které se připojuje

kladný pól zdroje napětí, tedy ten vodič, který odkazuje na článek, který se má změřit. Jelikož má ale každý článek pouze jeden svůj signální vodič, není možné ho tak využít vícekrát pro vyčtení článku 4 atd. Proto, aby to možné bylo, je vždy druhý ze signálních vodičů nutné propojit do následujícího senzoru, kdy signální vodič u jednoho článku slouží jako referenční bod (hodnota) pro následující článek.



Zdroj: (LaskaKit.cz, 2023)

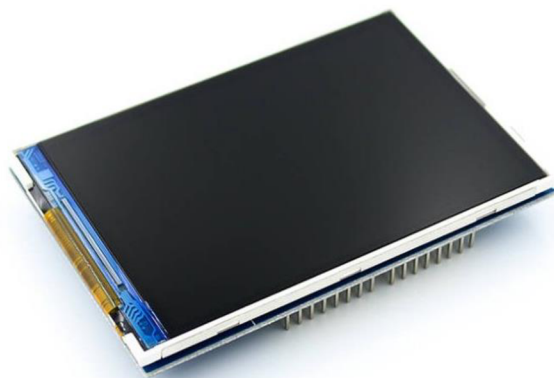
Obr. 22 Analogový senzor stejnosměrného napětí

Signální pin na výstupu označený S je analogový pin, který slouží pro připojení senzoru k analogovým pinům na vstupu multiplexoru. Druhý pin označený plusem (+) není zapojený. Poslední pin označený mínusem (-) je uzemňovací pin, který se zapojuje k zemnímu pinu arduina.

3,5“ LCD TFT displej

Hodnocení měření by nebylo možné bez kvalitního zobrazení naměřených hodnot. 3,5“ LCD TFT displej na Obr. 23 je barevný displej s rozlišením 320x480 bodů. Poskytuje tak dostatečnou kvalitu zobrazení. Díky němu jsou data ihned k dispozici, čitelná a díky barevnému rozlišení na první pohled jasně viditelná.

Displej je určený pro přímé nasazení na desku Arduino UNO. K tomu je využita většina pinů na Arduinu kromě dvou pinů SDA (serial data) a SCL (serial clock), které jsou potřebné pro připojení druhého Arduina a následnou komunikaci po I²C. Komunikace I²C a k ní určené piny SDA a SCL jsou dále přiblíženy v podkapitole 2.2.

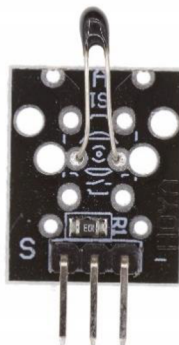


Zdroj: (LaskaKit.cz 2023)

Obr. 23 3,5" LCD TFT Displej

Senzor teploty KY-013

Teplota negativně ovlivňuje stav a chování lithium-iontových baterií a tedy součástí navrhovaného měřicího zařízení je i teplotní senzor. Využitý je teplotní snímač KY 013 na Obr. 24, který je připojen k desce Arduina Uno a jehož senzor NTC měří teplotu v rozsahu od -55°C do 125°C . Výstupem ze senzoru je odporový signál, který je funkcí teploty, tzn. čím vyšší teplota, tím nižší odpor. Například odpor při teplotě 25°C je $5\text{ k}\Omega$.



Zdroj: (Amazon, 2023)

Obr. 24 KY-013 Analog Temperature Sensor Module

Čtení teploty pak probíhá prostřednictvím následujícího programového kódu:

```
Serial.print(nactiTermistor(analogRead(0)));
```

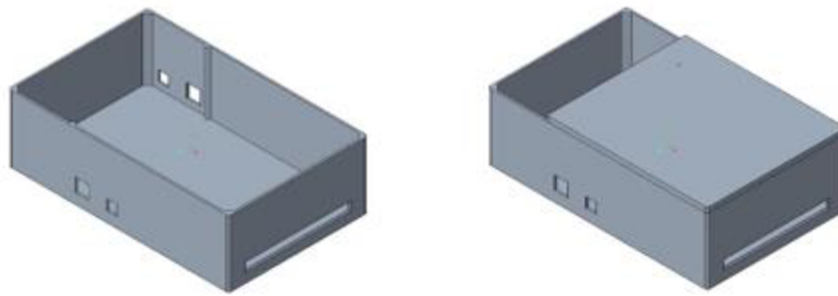
```
double nactiTermistor(int hodnota) {  
    double teplota;  
    teplota = log(((10240000 / hodnota) - 10000));  
    teplota = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 +  
(0.0000000876741 * teplota * teplota)) * teplota);  
    teplota = teplota - 273.15; // konverze z Kelvina na Celsia  
    return teplota;  
}  
https://pajenicko.cz/ntc-teplotni-senzor-ky-013
```

Vnější box zařízení

Podstatné je zajistit stabilní a bezpečné umístění jednotlivých součástí. K tomu je využito technologie 3D tisku. Nejprve došlo k načrtnutí návrhu vlastního modelu krabičky na papír.

Samotný návrh vnějšího boxu probíhal na základě prvotního náčrtu návrhu na papír, na základě optimálního rozmístění jednotlivých dílčích komponent zařízení. Následně byly navrženy rozměry boxu s využitím rozměrů dílčích komponent a celý návrh byl vymodelován v programu Creo Parametric (pokročilý 3D software pro modelování).

Vytvořený počítačový model na Obr. 25 byl převeden do programu PrusaSlicer, který umožňuje finální úpravy, nastavení množství použitého filamentu (materiálu) a celkovou optimalizaci modelu před samotným tiskem. Model je zmenšen na poloviční velikost a je vytisknutý na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+. Použitý je PLA (Polyaktid) filament. Výhodou PLA materiálu je nízká cena, výrobek má hezký povrch a je biologicky rozložitelný. Vytisknutí trvá přibližně dvě hodiny. Spodní část krabičky slouží jako platforma, ke které mohou být připevněny arduino desky, multiplexor a analogové senzory napětí. Umožňuje jejich flexibilní a modulární uspořádání. Pevné uchycení součástí poskytuje především ochranu při pádu a celkově před vnějším poškozením. Umožňuje také snadnější manipulaci bez obav z poškození. V neposlední řadě celé zařízení působí uspořádaným a estetickým dojmem.



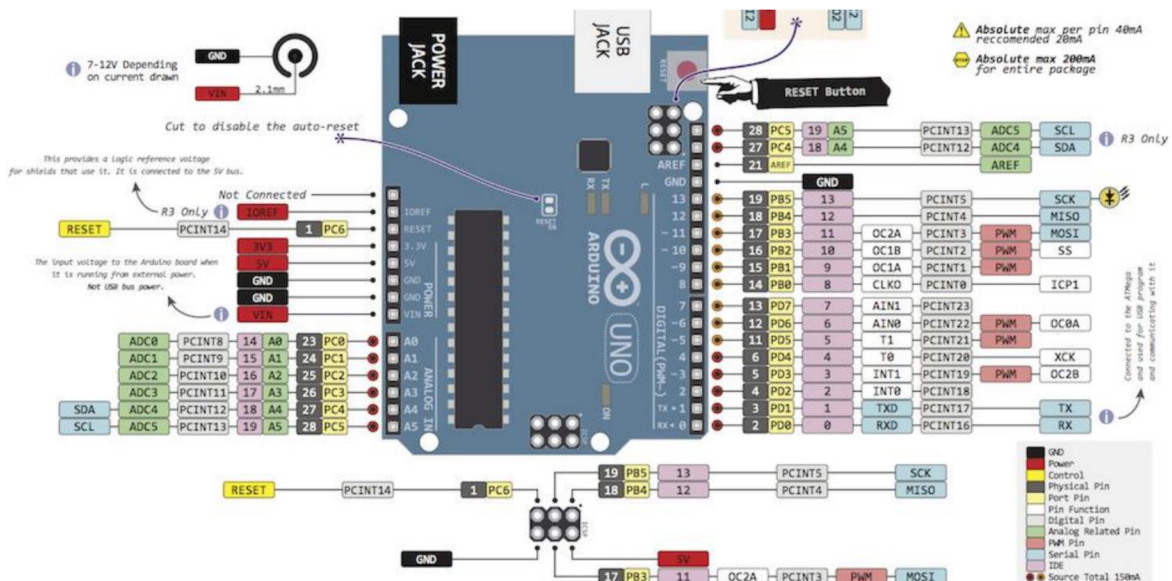
Obr. 25 Model vnějšího boxu

Další součástí, která je využita při tvorbě měřicího zařízení, je potenciometr. Potenciometr je elektronická součástka fungující jako proměnný odpor, kdy otáčením šroubku uprostřed měníme hodnotu odporu. To nám umožňuje testovat vyčítání a zobrazování hodnot napětí na displeji. Potenciometr je připojen třemi vodiči k Arduino a to k pinům A0, GND a 3,3 V.

2.2 Komunikace po rozhraní I²C (Inter-Integrated Circuit) mezi deskami Arduino

V navrhovaném měřicím zařízení jsou zapojeny dva moduly Arduina Uno – funkcí jednoho je zajišťování samotných měření prostřednictvím senzorů napětí a senzoru teploty, druhé Arduino Uno pak zajišťuje zobrazování výsledků na displeji. Komunikace mezi dvěma a více spojenými Arduino deskami probíhá díky sběrnici I²C (funkcí sběrnice je zajištění přenosu dat a slouží ke snadnější komunikaci). K propojení a následné komunikaci Arduino desek jsou využity tři vodiče. Propojení je provedeno tak, že pin SDA jednoho Arduina je připojen k SDA pinu Arduina druhého. Stejně tak jsou vzájemně propojeny SCL a GND piny. SDA hraje zásadní roli, jelikož signální vodič k SDA pinu připojený zajišťuje obousměrný přenos dat. Pomocí druhého vodiče připojeného k SCL pinu, Arduino „master“ (hlavní Arduino, zahajuje komunikaci a následně ovládá tok dat) odesílá směrem k Arduino „slave“ (druhé vedlejší Arduino, provádí úkony nařazené master Arduinem) hodinové signály hlídající správné načasování přenosu dat. GND piny slouží k referenci, což je důležité k zajištění spolehlivé komunikace. SDA a SCL mají vyhrazené piny A4 a A5. K porozumění, které piny to jsou, je určeno schéma Arduino pinů na Obr. 26. Na signálních vodičích mezi arduino deskami je ještě možnost napojit dva odpory o

velikostech 2 kΩ a 4 kΩ. Ty mohou sloužit jako filtr šumových signálů pro zajištění přesnějšího přenosu dat na delší vzdálenosti (Ježek, 2023).



Zdroj: (Dratek.cz, 2023)

Obr. 26 Schéma Arduino pinů

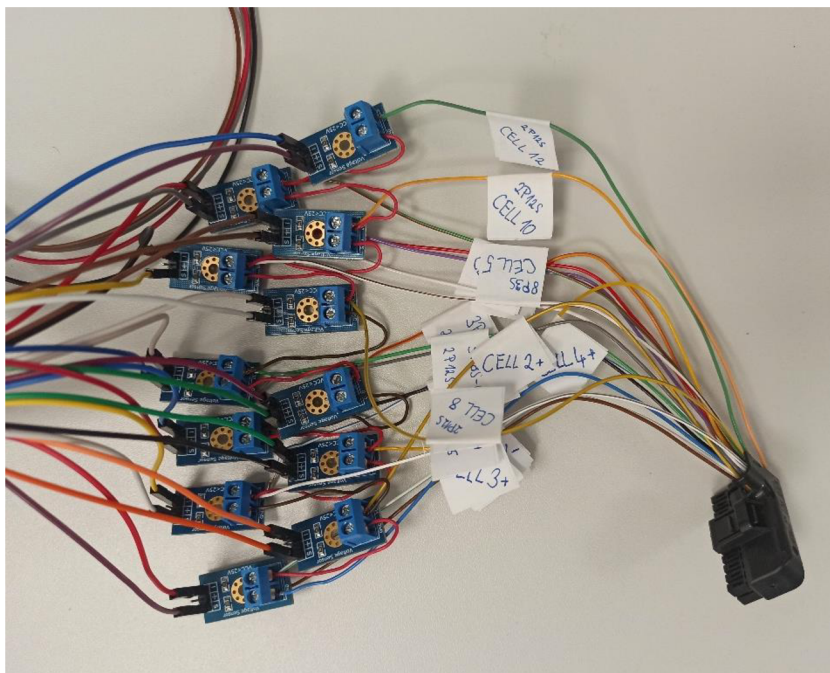
Samotná komunikace probíhá prostřednictvím nastavení kódu v programu Arduino. Tento kód pro I²C komunikaci má dvě verze, z nichž jedna je určená pro Arduino master a druhá pro Arduino slave.

2.3 Průběh montáže a testování prototypového zařízení

V první řadě bylo potřeba mít k dispozici komunikační nízkonapěťový kabel propojující CMC jednotku a modul. Na obou koncích kabelu se nachází identický připojovací konektor. Tento kabel byl následně zbaven izolace. Pod izolací se nachází 22 vodičů z nichž každý je připojen na jeden pin v konektoru. Pomocí výkresu byly jednotlivé vodiče pro lepší orientaci označeny. Konektor patřící do CMC jednotky byl odebrán a na této straně kabelu tak zůstaly volné vodiče. Nyní nezbývalo nic jiného než opět dle výkresu připojit volné vodiče k Analogovým senzorům stejnosměrného napětí.

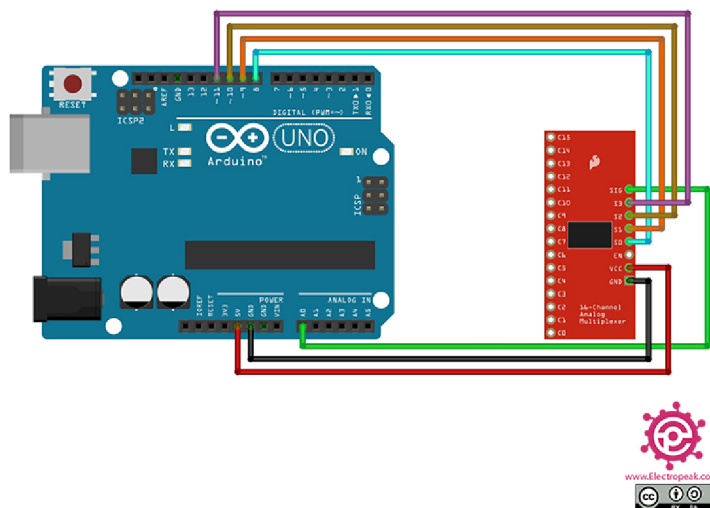
Analogové senzory mají dvě vstupní svorky s označením GND a VCC. Do GND svorky, sloužící jako reference, se připojí vodič předcházející měřenému článku. Následně se vezme vodič pro daný článek a připojí se na svorku VCC. Vodič pro daný článek je poté ještě propojkou svedený do GND svorky následujícího

analogového senzoru a slouží tak jako referenční hodnota pro další článek. Výstupní piny analogového senzoru jsou označeny S, plus (+) a minus (-). Každý ze signálních pinů S je naveden do jednoho pinu na multiplexoru. Plusové (+) piny zůstávají nezapojené. Mínusové (-) piny analogových senzorů jsou mezi sebou propojeny a z posledního analogového senzoru je tento pin připojen k GND na arduinu. Tím je docíleno toho, že veškeré mínusové piny jsou svedeny na jednu zem. Pro lepší pochopení je toto propojení na Obr. 27.



Obr. 27 Propojení analogových senzorů napětí

Následuje propojení analogových senzorů s multiplexorem. Signální vodiče (S) vedoucí z analogových senzorů byly připájeny ke vstupním pinům na multiplexoru. Připájeno bylo 12 vstupních pinů označených C0-C11 a zbývající jsou nevyužité. Na výstupu se na multiplexoru nachází 8 pinů, které je pro zajištění správného a bezpečného přenosu dat potřeba zapojit. První je signální pin SIG a je připojen k A0 na Arduino. Jelikož další čtyři piny (S3, S2, S1 a S0) slouží k přenášení signálů (slouží ke komunikaci), jsou spojeny s digitálními piny D7, D6, D5 a D4 na Arduino. Následuje propojení EN a GND se zemí. VCC je připojeno k pinu 5 V. Tím je dokončeno propojení mezi multiplexorem a Arduinem, které je na Obr. 28. Následně bylo potřeba do slave Arduina nahrát kód pro multiplexování. V něm jsou nejprve nastaveny ovládací piny S0-S3 a výstupní pin SIG. Pomocí funkce nactiKanal jsou načteny informace z jednotlivých kanálů (C0-C15), která k jejich načtení využívá binární soustavu. Kód pro multiplexování je součástí celkové kódu v Příloze 1.



Zdroj: (Maleki, 2023)

Obr. 28 Propojení multiplexoru s Arduinem

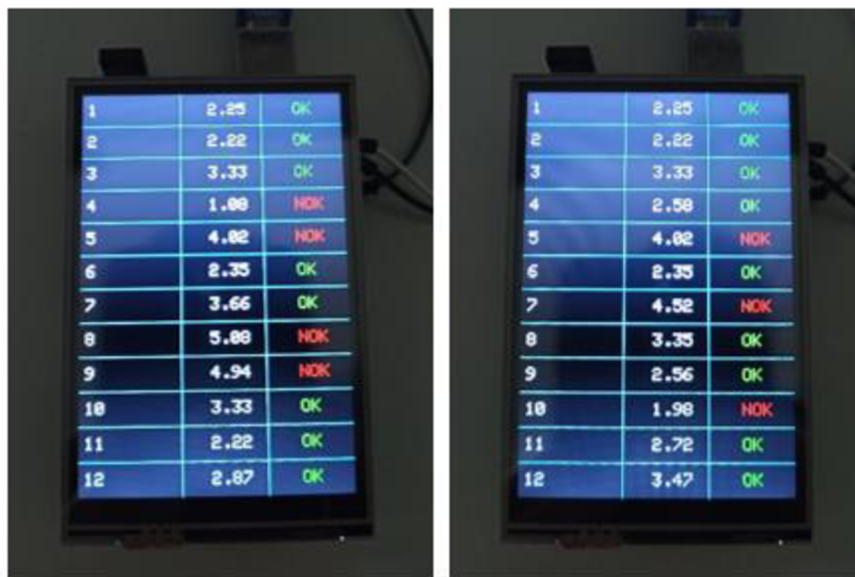
Jako poslední je součástí měřícího zařízení teplotní senzor pro snímání teploty. Tento senzor má tři komunikační piny. VCC je připojen k pinu 5 V na Arduino, OUT k jednomu z analogových pinů a GND je propojen s GND.

Pro tento projekt byl použit HardWare Arudino a k němu příslušný program Arduino. Nejprve byl vyzkoušen vzorový kód pro displej pro zobrazování hodnot měření. Ikdyž byl tento kód upraven dle konkrétních požadavků na projekt, byl kompatibilní

pouze s velikostmi displejů 2,4“ a 2,8“. Přišlo se tak s novým kódem určeným přesně pro použitý 3,5“ TFT displej. Pod zkratkou TFT se skrývá Thin Film Transistor, tedy tenkofilmový tranzistor sloužící ke zlepšení kvality obrazu. Tranzistor je poté polovodičová součástka-základní aktivní součástka používaná v elektrotechnice. Aktivní součástka znamená, že se dá na rozdíl od odporu ovládat a regulovat.

Aby kód správně fungoval, bylo potřeba nejprve do programu nahrát knihovny Adafruit_GFX.h a MCUFRIEND_kbv.h. Pod pojmem knihovna je možné představit si složku, která obsahuje množství souborů se zdrojovými kódy. Tyto knihovny zpřehledňují a zjednodušují náš program, pokud jsou k Arduinu připojeny další přidané součástky, jako je např. v tomto případě displej, multiplexor a analogové senzory napětí. Knihovna Adafruit_GFX.h je vytvořena pouze pro ovládání TFT displejů menších než 3,5“. Pro ovládání tohoto 3,5“ displeje proto musela být nainportována knihovna MCUFRIEND_kbv.h

Pro nastavení displeje na Obr. 29 byla vytvořena mřížka určená pro přehledné zobrazování jednotlivých hodnot. Kód pro zobrazování na displeji obsahuje také nastavení barev a písma a nejdůležitější část, kterou je podmínka pro automatické vyhodnocení, zda je daný bateriový článek v pořádku či nikoliv. Tato podmínka je pro ilustraci znázorněna na Obr. 30.



Obr. 29 Zobrazení na displeji

```
tft.setCursor(260,12+(i-1)*40); //Set cursor:
if (hodnota[i-1]>2 && hodnota[i-1]<4)
{
  tft.setTextColor(GREEN); //Set text color:
  tft.println("OK");
}
else
{
  tft.setTextColor(RED); //Set text color:
  tft.println("NOK");
}
```

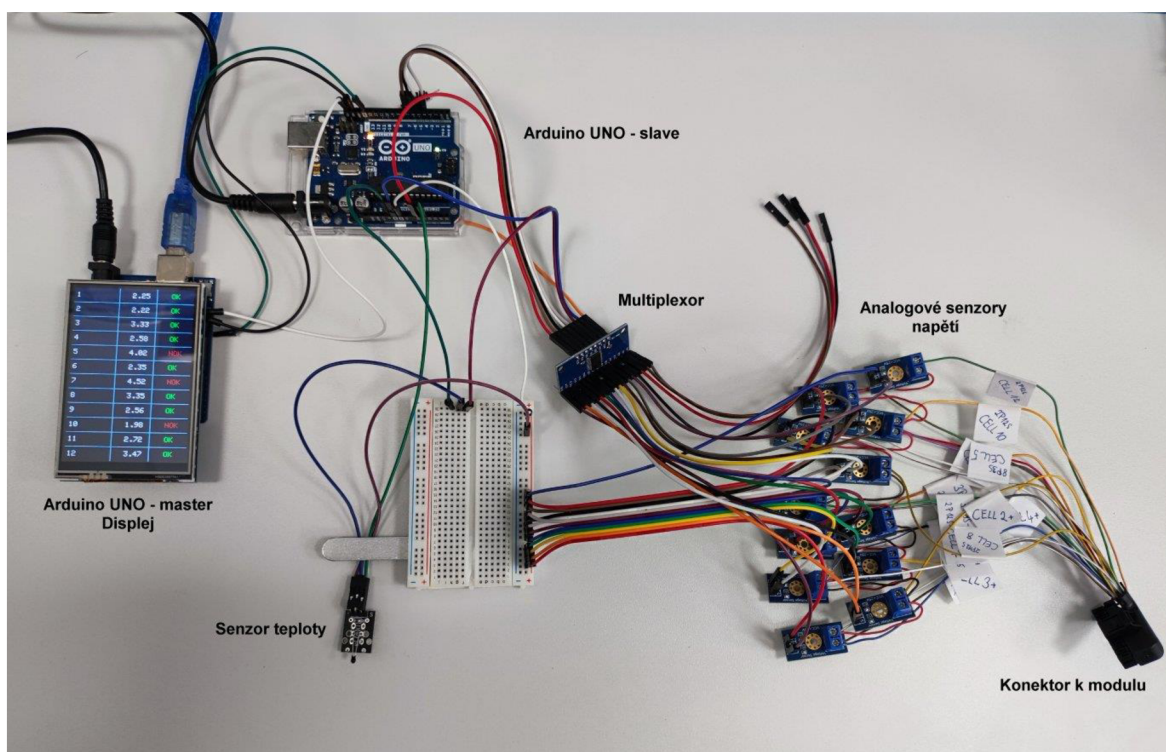
Obr. 30 Podmínka pro vyhodnocení

Kompletní kódy jsou poté vloženy v příloze, kdy Příloha 1 obsahuje naprogramovanou část Arduino master kódu pro vizualizaci hodnot na displeji a část pro přenos dat pro I²C komunikaci. Příloha 2 zahrnuje nastavení analogových senzorů napětí, multiplexoru a teplotního senzoru.

3 Návrh metodiky hodnocení kvality bateriových modulů na základě měření OCV

Ve Škoda Auto a.s. na hale M6 probíhá výroba (montáž) bateriových systémů. Tyto bateriové systémy se skládají dohromady z mnoha komponentů, jako je jednotka BMCE (Battery Management Control), CMCE jednotky pro řízení bateriových článků a v neposlední řadě samotné bateriové moduly. Příchozí moduly jsou určitou dobu uskladněny v automatickém skladu. Při potřebě modulů na montážní lince je na moduly automaticky vytvořena odvolávka. V tu dobu moduly odchází ze skladu, kde v současné době dochází k měření stavu OCV celých modulů, proto je toto měření nazýváno jako falešné měření OCV.

Proto vznikl tento projekt, který si klade za cíl navrhnout měřicí zařízení (vytvořený návrh měřicího zařízení je na Obr. 31), pomocí kterého by bylo možné měřit napětí OCV jednotlivých bateriových článků, a dále navrhnout metodiku pro jeho uplatnění v provozních podmínkách.



Obr. 31 Kompletní návrh měřicího zařízení

Výstupem z navrhované metodiky je ohodnocení stavu (kvality) jednotlivých článků před montáží bateriového packu do automobilu.

Testování bude probíhat na nově vytvořeném provozním stanovišti (ideálně ve skladu nebo přímo na výrobní lince), kde bude zajištěn rovnoměrný automatizovaný přísun jednotlivých bateriových modulů. Na tomto stanovišti pracovník nebo robotický systém propojí konektory testovacího zařízení a bateriového packu.

Následně testovací zařízení provede samotné měření a na displeji se zobrazí výsledky. Samotné měření je uskutečněno během pár sekund.

Vstupní hodnotou při měření je jednak identifikační číslo bateriového modulu, resp. bateriového článku, datum posledního měření a aktuální datum, měřící zařízení pak doplní údaj o aktuální teplotě.

Ze vstupních hodnot je stanovena doba mezi měřeními a modifikovány meze dle aktuální teploty – Hodnota($f(\text{Teploty})$).

Jako mezní hodnota pro testování bateriových článků je stanovena na 2 % úbytku napětí/měsíc. Procentuální hodnota je zvolena z důvodu univerzálnosti vyhodnocení. DM představuje dolní toleranční mez a HM horní toleranční mez, které jsou použity ve výpočtu pro vyhodnocení bateriových článků, zda vyhovují technologickým podmínkám či nikoliv.

$DM = \text{Hodnota}(f(\text{Teploty})) - 0,02 * ((\text{Aktuální datum} - \text{Datum posledního měření}) / 30)$

$HM = \text{Hodnota}(f(\text{Teploty})) + 0,02 * ((\text{Aktuální datum} - \text{Datum posledního měření}) / 30)$

Hodnocení probíhá dle následující podmínky:

JESTLIŽE $DM \leq \text{Naměřená_hodnota} \leq HM$

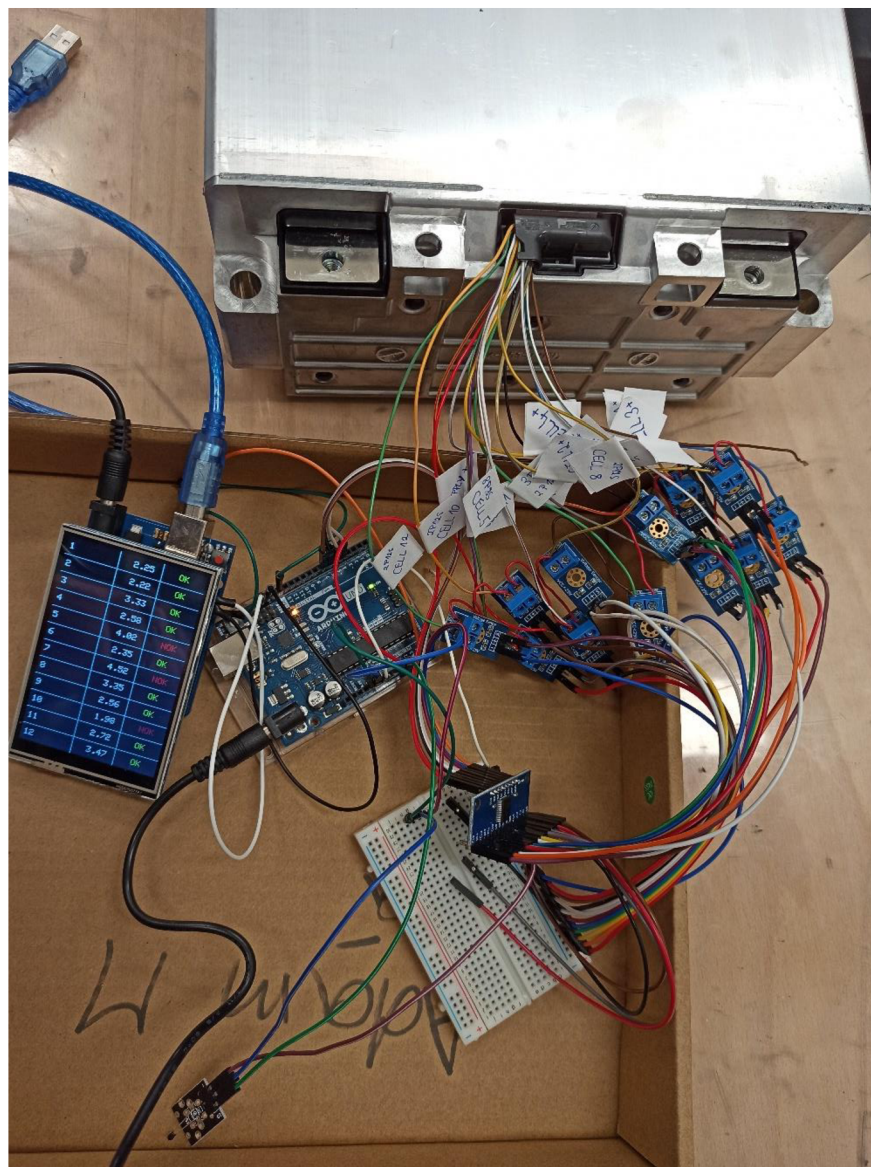
PAK **OK** (bateriový článek **vyhovuje** technologickým podmínkám)

JINAK **NOK** (bateriový článek **nevyhovuje** technologickým podmínkám)

Následně pracovník (nebo automatický systém) zaznamená údaje do informačního systému a uvolní měřenou baterii. Ta putuje dále do výrobního procesu nebo repasujícího pracoviště, kde bude provedena výměna nestandardního článku/článků. V případě výměny modulů by byl vystavován protokol o výměně, kde budou zaznamenány veškeré hodnoty a informace o těchto modulech.

Ve výjimečných případech může dojít k naměření hodnot, které se výrazně liší od tolerančních mezí. Takové moduly budou znovu přeměřeny, zkontrolovány a pokud stále budou vykazovat nevyhovující stav, budou reklamovány u výrobce.

Testování tohoto prvního prototypu proběhlo na dvou modulech od dvou různých výrobců. Došlo k přípravě zařízení a jak je naznačeno na Obr. 32, bylo připojeno k bateriovému modulu pomocí modulového konektoru. Displej zobrazil hodnoty nepřesně a z toho důvodu jsou plánovány následné úpravy, které by měly vést k dalšímu otestování počátkem roku 2024.



Obr. 32 Připojení k bateriovému modulu

Závěr

Hlavním cílem předložené bakalářské práce bylo navrhnout měřicí zařízení, pomocí kterého by bylo možné měřit napětí OCV jednotlivých bateriových článků a navrhnout metodiku pro jeho uplatnění v provozních podmínkách. Sledování stavu baterií je důležité zejména proto, aby byli výrobci automobilů schopni garantovat kvalitu výsledných produktů a nedocházelo k nežádoucím reklamacím ze strany zákazníků.

Pro návrh a následnou prototypovou realizaci byla zvolena vývojová platforma Arduino Uno a analogové snímače napětí. Tyto komponenty tvoří základ návrhu. Měřicí zařízení je doplněno TFT displejem pro zobrazování výsledků, snímačem okolní teploty a multiplexorem, pro možné rozšíření měřících kanálů.

Pro navržené zařízení byl vytvořen kód, avšak z důvodu časové a technické náročnosti nedošlo k reálnému otestování navrženého testovacího zařízení.

Pro měřicí zařízení byla dále navržena metodika hodnocení kvality bateriových modulů. Metodika předpokládá vznik nového pracovního stanoviště, obsluhovaného člověkem nebo plně automatizovaným robotickým systémem, kde bude probíhat samotné testování a třídění bateriových packů.

Vstupními údaji budou identifikační číslo bateriového modulu, datum posledního měření, aktuální datum a teplota. Výstupem z navrhované metodiky je ohodnocení stavu (kvality) jednotlivých článků před montáží bateriového packu do automobilu a provedení třídění bateriových packů s nestandardními bateriovými moduly, které budou repasovány a na standardní bateriové packy, které budou dále určeny pro montáž do elektromobilů.

Po realizaci měřicího zařízení a testovacího stanoviště lze předpokládat zvýšení kvality výsledných elektromobilů minimalizací poruch a reklamací z důvodů nestandardních bateriových článků. Zároveň následná analýza nestandardních bateriových článků může ukázat na příčiny těchto problémů, a tedy opět zvýšení kvality. Předkládaná práce a její výsledky, tak mohou být jedním z prvních počínů při řešení dané problematiky.

Seznam literatury

Andrew Beard's Blog, 2009. In: Technology – Power-split or series-parallel hybrid [online]. [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://andrewbeard.wordpress.com/2009/05/06/technology-power-split-or-series-parallel-hybrid/>

ARAR, Steve. The Three Major Li-ion Battery Form Factors: Cylindrical, Prismatic, and Pouch. All About Circuits [online]. 2020 [cit. 2023-07-11]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/news/three-major-lithium-ion-battery-form-factors-cylindrical-prismatic-pouch/>

Bannerbatterien, 2023. In: SÉRIOVÉ ZAPOJENÍ A PARALELNÍ ZAPOJENÍ - V TOMTO SPOČÍVÁ ROZDÍL [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.bannerbatterien.com/cz/Znalosti/5-S%C3%A9riov%C3%A9-a-paraleln%C3%AD-zapojen%C3%AD>

Battery Design, 2023. In: Open Circuit Voltage [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.batterydesign.net/electrical/open-circuit-voltage/>

DALE, Nathan. The Difference Between Full Hybrid, Mild Hybrid and Plug-in Hybrid Car. In: Evans Halshaw [online]. 2021 [cit. 2023-09-08]. Dostupné z: <https://www.evanshalshaw.com/blog/difference-between-full-mild-and-plug-in-hybrid/>

DAVID, Jiří. Elektromobilita I. - Historie, současnost a klasifikace elektrovozidel (pokračování). Praktická elektronika. 2023, 2023(5), 34-37. ISSN 1804-7173.

DENTON, Tom. Electric and Hybrid Vehicles [online]. London and New York: Routledge, 2016 [cit. 2023-06-22]. ISBN 978-1-315-73161-2. Dostupné z: <https://anyflip.com/ufiik/ufkc/basic>

DOMINGUES, Gabriel, 2018. Modeling, Optimization and Analysis of Electromobility Systems [online]. Lund University, Sweden [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: https://lucris.lub.lu.se/ws/files/53514836/Gabriel_Domingues_webb.pdf. Doctoral Dissertation. Lund University.

DUSIL, Tomáš. Hybridní pohony aneb není hybrid jako hybrid: Čím se liší plug-in hybrid od mild hybridu a full hybridu? In: Auto.cz [online]. 2018 [cit. 2023-09-08]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/hybridni-pohony-aneb-neni-hybrid-jako-hybrid-cim-se-lisi-plug-in-hybrid-od-mild-hybridu-a-full-hybridu-123123>

Electrical Technology, 2023. In: Series, Parallel and Series-Parallel Connection of Batteries [online]. [cit. 2023-11-02]. Dostupné z: <https://www.electricaltechnology.org/2013/11/series-parallel-and-series-parallel-connection-of-batteries.html>

EMADI, Ali. Advanced Electric Drive Vehicles [online]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2015 [cit. 2023-08-13]. ISBN 978-1-4665-9770-9. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=e2sBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=advanced+electric+drive+vehicles&ots=nx85e5UhhM&sig=4iuzPBa9iM_LR2bIYKWcUJaxtE&redir_esc=y#v=onepage&q=advanced%20electric%20drive%20vehicles&f=false

Hioki: What is open-circuit voltage (OCV) testing of lithium-ion batteries?, 2021. In: Lithium-ion Battery Open-circuit Voltage (OCV) Testing [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.hioki.com/us-en/industries-solutions/manufacturing/liion-ocv-test.html>

HRZINA, Pavel, 2020b. Akumulace elektřiny v budovách: základní parametry a technologie. In: TZB-info [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20292-akumulace-elektriny-v-budovach-zakladni-parametry-a-technologie#vysvetlenipojmu>

HRZINA, Pavel, 2020a. Napětí akumulátorů – od článků k napěťovým systémům bateriových úložišť. In: TZB-info [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20416-napeti-akumulatoru-od-clanku-k-napetovym-systemum-bateriovych-ulozist>

JÁNSKÝ, Martin. Hybridy, plug-in hybridy, elektromobily: Pomůžeme vám vyznat se v moderních pohonech. In: Garáž.cz [online]. 2019 [cit. 2023-09-08]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/pomuzeme-vam-vyznat-se-v-modernich-pohonech-21002303>

JEŽEK, Adam, 2023. Lekce 19 - Arduino – Využití I2C sběrnice Zdroj: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/hardware/arduino-a-i2c-sbernice>. In: Itnetwork.cz [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/hardware/arduino-a-i2c-sbernice>

KY-013 Analog Temperature Sensor Module, 2023. Amazon [online]. [cit. 2023-11-22]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/KY-013-Analog-Temperature-Sensor-Arduino/dp/B07869PKKF>

LARMINIE, James a John LOWRY. Electric Vehicle Technology Explained [online]. 2nd Edition. John Wiley, 2012 [cit. 2023-09-09]. ISBN 978-1-119-94273-3. Dostupné z: https://books.google.de/books?hl=cs&lr=&id=6aWSaJUzuOEC&oi=fnd&pg=PP10&dq=Electric+Vehicle+Technology+Explained&ots=oIRNgAiG8v&sig=w5ilUjPt-8KeFLtGpX9oCg3Gb-w&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Laskakit, 2023. Laskakit.cz [online]. [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/?gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMIqMqv77rnggMV5ZaDBx0EhQCWEAAYASAAEgL7hPD_BwE

M, Luboš, 2023. Analogový multiplexer CD74HC4067. Drátek návody [online]. [cit. 2023-11-22]. Dostupné z: <https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/analogovy-multiplexer-cd74hc4067.html>

MALEKI, Mehran. Interfacing CD74HC4067 16-Channel Multiplexer with Arduino. Online. Electropeak. 2023. [cit. 2023-11-22]. Dostupné z: <https://electropeak.com/learn/interfacing-cd74hc4067-16-channel-analog-digital-multiplexer-with-arduino/>

MELANÇON, Stéphane. Prismatic cells vs. cylindrical cells: What is the difference? In: Laserax [online]. 2022 [cit. 2023-09-08]. Dostupné z: <https://www.laserax.com/blog/prismatic-vs-cylindrical-cells>

Škoda Storyboard, 2019. In: Druhy elektromobilů – znáte je všechny? [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>

ŠPAČEK, Jakub. Jak funguje elektromobil? Technika se vyvíjí, ale moc nemění. In: FDrive.cz [online]. 2018 [cit. 2023-09-18]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-funguje-elektromobil-technika-se-vyviji-ale-moc-nemeni-2399>

ŠVAMBERK, Jiří. Vyznáte se v záplavě moderních hybridů? Pro jistotu nabízíme tahák... In: Deník.cz [online]. 2018 [cit. 2023-09-24]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/auto/vyznate-se-v-zaplave-modernich-hybridu-pro-jistotu-nabizime-tahak-20180709.html>

Tektronix, 2023. In: Methods to Measure Open Circuit Voltage on a Battery Pack [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.tek.com/en/documents/application-note/methods-to-measure-open-circuit-voltage-on-a-battery-pack>

WAGENKNECHT, Martin. Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl? In: FDrive.cz [online]. 2018 [cit. 2023-09-08]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>

WILLIAMS, Nate, 2023. 4680 Battery: Everything You Need to Know About These New Cells. In: History-Computer [online]. [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <https://history-computer.com/4680-battery-cells/>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Složení bateriového systému	10
Obr. 2 Druhy elektromobilů.....	11
Obr. 3 Sériové zapojení.....	14
Obr. 4 Paralelní zapojení.....	14
Obr. 5 Sériově-paralelní hybridní zapojení	15
Obr. 6 Hnací ústrojí elektrických vozidel	16
Obr. 7 Pouch bateriový článek	17
Obr. 8 Bateriový modul složený z pouch článků.....	17
Obr. 9 Prismatické bateriové články	18
Obr. 10 Tesla cylindrical cells.....	19
Obr. 11 Cylindrical cells-průřez	19
Obr. 12 Porovnání vybíjení Lithiové baterie s olověnou baterií	22
Obr. 13 Definice SOC a DOD.....	23
Obr. 14 Princip fungování OCV	24
Obr. 15 Sériové zapojení článků	26
Obr. 16 Paralelní zapojení článků	26
Obr. 17 Sériově paralelní zapojení článků.....	27
Obr. 18 Blokové schéma měřícího zařízení OCV.....	28
Obr. 19 Arduino deska	29
Obr. 20 Analogový multiplexor	29
Obr. 21 Ukázka binárního nastavení vstupních pinů	30
Obr. 22 Analogový senzor stejnosměrného napětí.....	31
Obr. 23 3,5" LCD TFT Displej.....	32
Obr. 24 KY-013 Analog Temperature Sensor Module.....	32

Obr. 25 Model vnějšího boxu.....	34
Obr. 26 Schéma Arduino pinů	35
Obr. 27 Propojení analogových senzorů napětí	36
Obr. 28 Propojení multiplexoru s Arduinem	37
Obr. 29 Zobrazení na displeji	38
Obr. 30 Podmínka pro vyhodnocení	39
Obr. 31 Kompletní návrh měřícího zařízení.....	40
Obr. 32 Připojení k bateriovému modulu	42

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled napětí jednotlivých článků	21
---	----

Seznam příloh

Příloha 1 Kód pro Arduino master	51
Příloha 2 Kód pro Arduino slave	54

Příloha 1 Kód pro Arduino master

Vizualizace na displeji

```
// I2C komunikace mezi Arduiny, master
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <MCUFRIEND_kbv.h>
// připojení potřebné knihovny
#include <Wire.h>

#define BLACK 0x0000
#define BLUE 0x001F
#define RED 0xF800
#define GREEN 0x07E0
#define CYAN 0x07FF
#define MAGENTA 0xF81F
#define YELLOW 0xFFE0
#define WHITE 0xFFFF

MCUFRIEND_kbv tft;

// proměnná pro uložení posílaného čísla
int senzor=0;
int mereni=0;
float hodnota[12] = {2.25, 2.22, 3.33, 2.58, 4.02, 2.35, 4.52, 3.35, 2.56,
1.98, 2.72, 3.47};
byte mb[2];

void setup() {
// Reading TFT ID:
uint16_t ID=tft.readID();
Serial.begin(9600);
Serial.println(ID);
//Initializing TFT display:
tft.begin(ID);

// zahájení komunikace po I2C, adresa 0x01
//Wire.begin(0x01);
Wire.begin();
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
// Fill TFT Screen with a color:
tft.fillScreen(BLACK);
delay(500);

//Set cursor:
```



```

tft.setCursor(120,25);

//Set text color:
tft.setTextColor(WHITE);

//Set text size:
tft.setTextSize(2);

//Draw Line
tft.drawLine(0,40,320,40,CYAN);
tft.drawLine(0,80,320,80,CYAN);
tft.drawLine(0,120,320,120,CYAN);
tft.drawLine(0,160,320,160,CYAN);
tft.drawLine(0,200,320,200,CYAN);
tft.drawLine(0,240,320,240,CYAN);
tft.drawLine(0,280,320,280,CYAN);
tft.drawLine(0,320,320,320,CYAN);
tft.drawLine(0,360,320,360,CYAN);
tft.drawLine(0,400,320,400,CYAN);
tft.drawLine(0,440,320,440,CYAN);

tft.drawLine(120,0,120,480,CYAN);
tft.drawLine(220,0,220,480,CYAN);
delay(500);

// zahájení přenosu dat na I2C adresu "0x02"
Wire.requestFrom(100,2);
for (int i=1; i<13; i++)
{
// posláni proměnné x
while(Wire.available() > 0){
mb[0]=Wire.read();
mb[1]=Wire.read();
hod=mb[0] + mb[1]*256;
Serial.println(hod);
Hodnota[i]=hod;
// ukončení aktuálního přenosu
// Wire.endTransmission();
}
}
for (int i=1; i<13; i++)
{
senzor=i;
tft.setCursor(7,12+(i-1)*40); //Set cursor:
tft.setTextColor(WHITE); //Set text color:
tft.setTextSize(2); //Set text size:
tft.println(senzor);
}

```

```
tft.setCursor(155,12+(i-1)*40); //Set cursor:
tft.setTextColor(WHITE); //Set text color:
tft.println(hodnota[i-1]);
tft.setTextSize(2); //Set text size:

tft.setCursor(260,12+(i-1)*40); //Set cursor:
if (hodnota[i-1]>2 && hodnota[i-1]<4)
{
  tft.setTextColor(GREEN); //Set text color:
  tft.println("OK");
}
else
{
  tft.setTextColor(RED); //Set text color:
  tft.println("NOK");
}

delay(200);
}
```

Příloha 2 Kód pro Arduino slave

```
#include <math.h>

double nactiTermistor(int hodnota) {
    double teplota;
    teplota = log(((10240000 / hodnota) - 10000));
    teplota = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 *
teplota * teplota)) * teplota);
    teplota = teplota - 273.15; // konverze z Kelvina na Celsia
    return teplota;
}

#define SENSOR_COEFICIENT 0.024414f
//int aVal;
float voltage;
float hodtepl;
// nastavení ovládacích pinů S0-S3
int pinS0 = 4;
int pinS1 = 5;
int pinS2 = 6;
int pinS3 = 7;

// nastavení výstupního pinu SIG
int pinSIG = A0;
int pinSIG_T = A1;

void setup()
{
    pinMode(A0, INPUT);
    pinMode(A1, INPUT);

// nastavení ovládacích pinů jako výstupních
    pinMode(pinS0, OUTPUT);
    pinMode(pinS1, OUTPUT);
    pinMode(pinS2, OUTPUT);
    pinMode(pinS3, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
// pomocná proměnná pro načtení analogové hodnoty
    int analogSIG;
    // postupné načtení a vytištění informací ze všech 16
    // kanálů, pro načtení je použita funkce nactiKanal
    for(int i = 0; i < 12; i ++){
        analogSIG = nactiKanal(i);
    }
}
```

```

    voltage = analogSIG *(5000.0/1023.0) * SENSOR_COEFICIENT; //aVal =
    analogRead(A1);
    hodnota[i] = voltage; //uložení naměřeného napětového signálu do datového pole
    delay(50); // časová prodleva mezi měřeními
}
hodntep1=nactiTermistor(analogRead(0))
delay(1000);
}

```

```

int nactiKanal(int kanal){
    // pomocné pole s ovládacími piny pro jejich nastavení
    int ovladaciPiny[] = {pinS0, pinS1, pinS2, pinS3};
    // tabulka všech možných kombinací ovládacích pinů
    int kanaly[12][4]={
        {0,0,0,0}, // kanál 0
        {1,0,0,0}, // kanál 1
        {0,1,0,0}, // kanál 2
        {1,1,0,0}, // kanál 3
        {0,0,1,0}, // kanál 4
        {1,0,1,0}, // kanál 5
        {0,1,1,0}, // kanál 6
        {1,1,1,0}, // kanál 7
        {0,0,0,1}, // kanál 8
        {1,0,0,1}, // kanál 9
        {0,1,0,1}, // kanál 10
        {1,1,0,1}, // kanál 11
    };
    // nastavení kombinace ovládacích pinů
    // pomocí smyčky for
    for(int i = 0; i < 4; i ++){
        digitalWrite(ovladaciPiny[i], kanaly[kanal][i]);
    }
    // načtení analogové hodnoty z pinu SIG
    int napetiSIG = analogRead(pinSIG);
    // vrácení načtené hodnoty
    return napetiSIG;
}

```

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Ondřej Svoboda		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Logistika a management kvality		
NÁZEV PRÁCE	Hodnocení kvality článků bateriových modulů v automobilové výrobě		
VEDOUcí PRÁCE	doc. Ing. Jiří David, Ph.D.		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2023
POČET STRAN	57		
POČET OBRÁZKŮ	32		
POČET TABULEK	1		
POČET PŘÍLOH	2		
STRUČNÝ POPIS	<p>Práce se zabývá problematikou hodnocení kvality článků bateriových modulů pro elektromobily. Hlavním cílem této bakalářské práce je navrhnout prototyp měřicího zařízení pro měření Open-Circuit Voltage (OCV) bateriových článků za použití hardware Arduino. Prototyp měřicího zařízení byl zhotoven společně i s modelem vnějšího boxu vytisknutého pomocí 3D technologie. Následně byl vytvořen programovací kód pro vyčítání hodnot napětí článků. Také byla navržena metodika pro hodnocení kvality bateriových modulů (článků) v automobilové výrobě.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	elektromobilita, baterie, článek, napětí, kvalita, měření, diagnostika, Arduino		

ANNOTATION

AUTHOR	Ondřej Svoboda		
FIELD	Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Quality evaluation of battery module cells in automotive production		
SUPERVISOR	doc. Ing. Jiří David, Ph.D.		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2023
NUMBER OF PAGES	57		
NUMBER OF PICTURES	32		
NUMBER OF TABLES	1		
NUMBER OF APPENDICES	2		
SUMMARY	<p>The thesis deals with the issue of cell quality assessment of battery modules for electric vehicles.</p> <p>The main objective of this bachelor thesis is to design a prototype measurement device for measuring Open-Circuit Voltage (OCV) of battery cells using Arduino hardware. The prototype of the measuring device was designed together with a model of the external box printed using 3D technology. Subsequently, the programming code for reading the cell voltage values was set up. Also, a methodology for evaluating the quality of battery modules (cells) in automotive manufacturing was proposed.</p>		
KEY WORDS	electromobility, battery, cell, voltage, quality, measurement, diagnostics, Arduino		