

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Mobilní řešení s analyzátozem BK PULSE

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan TRUBAČ**
Osobní číslo: **E15B0283P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Mobilní řešení s analyzátozem BK PULSE**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte možnosti mobilního řešení měřicích metod s analyzátozem BK PULSE.
2. Vyhledejte optimální vybavení pro řešení mobilního měření s analyzátozem.
3. Realizujte mobilní řešení nejčastěji používaných měřicích metod s analyzátozem PULSE.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Návod k použití systému Bruel & Kjaer Pulse

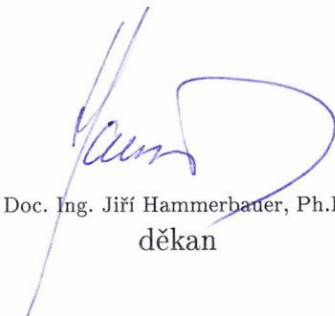
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Stanislav Bouzek

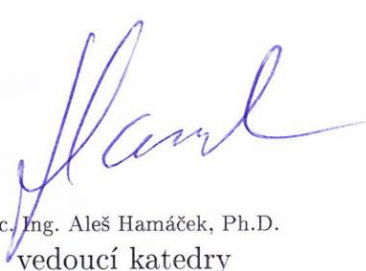
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je najít a zrealizovat optimální řešení pro měření zvuku a vibrací v terénu pomocí analyzátoru BK Pulse 3560-C.

Klíčová slova

Analyzátor BK Pulse, terénní kufr, baterie, flight case, rack, indikátor stavu nabití baterie, ...

Abstract

The main topic of this bachelor thesis is finding and realization of optimal solution for outdoor measurement of sound and vibration using the BK Pulse 3560-C analyzer.

Key words

Analyzer BK Pulse, outdoor case, batteries, flight case, rack, battery status indicator, ...

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2018

Jan Trubač

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 7 |
| ÚVOD | 8 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 9 |
| 1 MĚŘÍCÍ METODY S ANALYZÁTOREM BK PULSE | 10 |
| 1.1 MĚŘENÍ S ANALYZÁTOREM PULSE | 10 |
| 1.2 ŘÍDÍCÍ SOFTWARE PULSE LABSHOP..... | 11 |
| 1.3 SNÍMAČE VIBRACÍ A ZVUKU | 11 |
| 1.4 ANALYZÁTOR PULSE 3560-C | 12 |
| 1.5 MOBILNÍ ŘEŠENÍ OD BRÜEL & KJÆR..... | 13 |
| 2 VYBAVENÍ PRO ŘEŠENÍ MOBILNÍHO MĚŘENÍ | 14 |
| 2.1 OCHRANNÁ POUZDRA..... | 14 |
| 2.1.1 <i>Plastové kufry</i> | 14 |
| 2.1.2 <i>Flight Case</i> | 15 |
| 2.1.3 <i>Skříně (Rack)</i> | 16 |
| 2.1.4 <i>Vnitřní vybavení ochranných pouzder</i> | 17 |
| 2.2 AKUMULÁTOROVÉ BATERIE | 18 |
| 2.2.1 <i>Základní pojmy:</i> | 18 |
| 2.2.2 <i>Olověné akumulátory</i> | 19 |
| 2.2.3 <i>Niklové akumulátory</i> | 22 |
| 2.2.4 <i>Lithiové akumulátory</i> | 23 |
| 2.3 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ AKUMULÁTORŮ | 26 |
| 2.3.1 <i>Prizmatický článek</i> | 27 |
| 2.3.2 <i>Válcový článek</i> | 28 |
| 2.3.3 <i>Knoflíkový článek</i> | 28 |
| 2.3.4 <i>Volné sestavy</i> | 28 |
| 2.3.5 <i>Baterie v plastových pouzdrech (akupacky)</i> | 29 |
| 2.3.6 <i>Bezpečnostní a monitorovací prvky akumulátorů</i> | 29 |
| 2.3.7 <i>Indikace kapacity nabití</i> | 30 |
| 3 REALIZACE MOBILNÍHO ŘEŠENÍ | 31 |
| 3.1 VÝBĚR AKUMULÁTORU | 32 |
| 3.2 ELEKTRICKÉ ZAPOJENÍ | 34 |
| 3.3 VÝBĚR ROUTERU..... | 37 |
| 3.4 VÝBĚR POUZDRA..... | 37 |
| 3.5 SESTAVENÍ | 38 |
| 3.6 MĚŘENÍ..... | 39 |
| ZÁVĚR | 43 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 44 |
| PŘÍLOHY | 1 |

Úvod

Účelem předkládané práce je prostudovat možnosti mobilního řešení měřících metod s analyzátozem BK PULSE, vyhledat optimální vybavení k tomuto řešení a následně ho realizovat. Přínosem výsledné práce má být snadnější realizace speciálních úloh, které jsou prováděny v terénu a venkovním prostředí, či prostorech bez přívodu elektrické energie. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně analyzátoru, v řádech milionů korun, je zapotřebí i ochrana analyzátoru a jeho snadnější manipulace. Dalším cílem je vymyslet napájecí systém, který bude analyzátor zásobovat elektrickou energií mimo dosah rozvodné sítě. Tento systém má být součástí pouzdra a tvořen vhodnou akumulátorovou baterií s ochranným a indikačním elektrickým obvodem.

Text je rozdělen do tří částí, které představují jednotlivé body zadání: první část se zabývá měřícími metodami prováděnými analyzátozem PULSE a jeho popisem, druhá popisuje možnosti a teoretický rozbor součástek, ze kterých lze vybírat v praktické části a třetí praktická část obsahuje postup jednotlivých kroků k sestavení a realizaci výsledné práce.

Seznam symbolů a zkratk

| | |
|-------------------|---|
| <i>BK</i> | Brüel & Kjær |
| <i>ABS</i> | Akrylonitrilbutadienstyren |
| <i>PC</i> | Polykarbonát |
| <i>PET</i> | Polyethylentereftalát |
| <i>PE</i> | Polyethylen |
| <i>PP</i> | Polypropylen |
| <i>PVC</i> | Polyvinylchlorid |
| <i>PUR</i> | Polyuretan |
| <i>UPS</i> | Uninterruptible Power Supply (zdroj nepřerušovaného napájení) |
| <i>FFT</i> | Fast Fourier transform (rychlá Fourierova transformace) |
| <i>CPB</i> | Constant Percentage Bandwidth (konstantní relativní šířka pásma) |
| <i>TEDS</i> | Transducer Electronic Data Sheet (elektronické informace o snímači) |
| <i>CCCV</i> | Constant Current followed by Constant Voltage |
| <i>SBS</i> | Side by Side (bok po boku, vedle sebe) |
| <i>BMS</i> | Battery Managment System (systém řízení baterie) |
| <i>CAD</i> | Computer-Aided Design (počítačem podporované projektování) |
| U_{REF} | Refereční napětí |
| U_H | Šířka hystereze |
| U_{LED} | Úbytek napětí LED diody |

1 Měřicí metody s analyzátozem BK PULSE

Brüel & Kjær je nadnárodní inženýrská společnost se sídlem v Nærum nedaleko Kodaně, je největším světovým výrobcem a dodavatelem zařízení, systémů a řešení pro měření zvuku a vibrací. Byla založena 28. listopadu 1942 zakladateli Per Vilhelm Brüelem a Viggo Kjærem. [1]

Pulse je všestranný systém zaměřený na analýzu zvuků a vibrací od společnosti Brüel & Kjær. Poskytuje platformu pro řadu řešení, kde získaná data jsou exportována pomocí síťového kabelu do počítače s operačním systémem Windows. Kompaktní a robustní pouzdro měřicího zařízení Pulse má podobnou funkci jako racková skříň viz kapitola 2.1.3, do které se instalují jednotlivé vstupní a výstupní moduly. V příloze 1 je ukázka struktury systému Pulse, kde jsou vyobrazeny skříňe a jednotlivé moduly, kterými mohou být osazeny. [2]

1.1 Měření s analyzátozem PULSE

V této kapitole je několik příkladů měření, které lze provést s analyzátozem BK Pulse.

Měření v bezodrazové komoře:

- Měření hluku a vibrací
- Měření parametrů reproduktorů a mikrofonů
- Měření frekvenčních a směrových charakteristik zdrojů zvuku
- Mapování akustické intenzity

Měření v dozvukové komoře:

- Měření činitele pohltivosti alfa pohltivých materiálů

Měření v terénu:

- Měření hluku a vibrací transformátorů
- Měření hluku a vibrací točivých strojů
- Měření akustického výkonu a hladin akustického tlaku

Z měření v terénu lze zjistit parametry mobilního řešení, které je cílem této bakalářské práce. Veškerá tato měření se odehrávají na nejrůznějších místech, která jsou náročná při

klasické sestavě, tedy samotný analyzátor PULSE s notebookem a příslušenstvím v podobě mikrofonů, akcelerometrů atd. Venkovní prostředí s sebou nese určité riziko poškození analyzátoru. Je zapotřebí počítat s klimatickými podmínkami, jako jsou střídání ročních období a s tím spojené výkyvy teplot, deště, vlhko a vítr, který s sebou může přinést částice prachu, jež by mohly snižovat životnost analyzátoru, nebo způsobit jeho poškození.

1.2 Řídící software PULSE LabShop

Prostředí PULSE LabShop slouží jako vyhodnocovací zařízení v podobě programu, který umožňuje pracovat v reálném čase, sledovat výsledky měření a analýzy hned po změření, podporuje multianalýzu, tedy zpracování dat několika způsoby najednou. V softwaru lze nastavit frekvenční analýzu FFT, která využívá upravenou Fourierovu transformaci časového signálu a CPB analýzu, jinak označovanou jako zlomko-oktávovou (nejčastěji třetinooktávovou). Výpočty a zobrazení výsledků jsou často vyexportovány do šablon v programu MS Excel. [3–5]

1.3 Snímače vibrací a zvuku

Snímač vibrací je senzor, který snímá mechanický pohyb na měřeném objektu, ke kterému je připevněn a generuje elektrický signál, který je v souladu s tímto pohybem. Schopnost přenosu pohybu na snímač (ve formě vibrací nebo rázů) závisí na způsobu upevnění snímače. [6]

Aby bylo dosaženo nejlepší přesnosti, je nutné, aby byl snímač pevně spojen se zkušebním povrchem tak, aby se zabránilo zdvojení pohybu, zejména na vyšších frekvencích. Nejčastěji používané způsoby montáže jsou použití včelího vosku, lepidla, magnetu, nebo upevnění šroubovým spojem. Existují i způsoby jako například oboustranná lepicí páska nebo použití speciálních nalepovacích klipů. [6]

Příslušenství k měření vibrací [7]:

- Akcelerometry
- Snímače síly
- Rázová kladívka
- Vibrační kalibrátory
- Otáčkové sondy

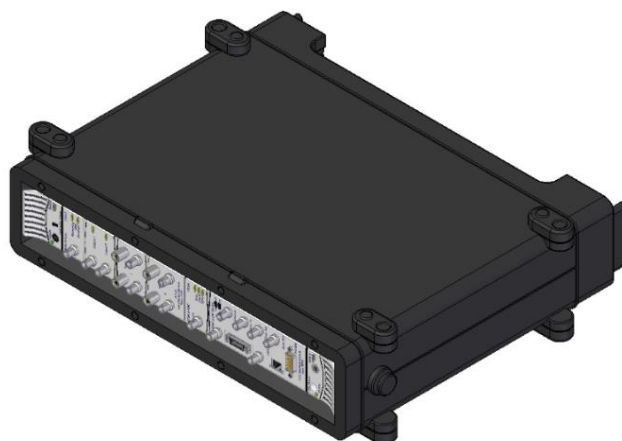
Snímač zvuku je zařízení na přeměnu akustického signálu na elektrický signál. U všech snímačů je kladen důraz hlavně na přesnost a spolehlivost.

Příslušenství k měření zvuku [7]:

- Mikrofony
- Hydrofony
- Akustické kalibrátory
- Mikrofonní pole
- Akustické zdroje
- Intenzitní sondy
- Akustické simulátory uší

1.4 Analyzátor PULSE 3560-C

Typ 3560-C je přenosný systém pro sběr dat, který může obsahovat libovolnou kombinaci jednoho modulu řídicí jednotky a jednoho vstupního/výstupního modulu. Řídicí modul zpracovává komunikaci s počítačem. Vstupy umožňují připojení již zmíněných snímačů a výstupy je možné využít jako nastavitelný signálový generátor, který generuje běžný sinusový, šumový nebo rozmítaný harmonický signál a uživatelem definovaný signál importovaný v audio formátu. Tento typ analyzátoru může být napájen stejnosměrným napětím v rozmezí 10 - 32 V a je vybaven i akumulátorovými bateriemi. Dále je vybaven aktivním chlazením pomocí ventilátoru, které může být vypnuto v případě potřeby měření, kde se vyžaduje naprosté ticho. [2, 5]



Obr. 1.1 Analyzátor BK Pulse 3560-C

Výhodou tohoto analyzátoru je přítomnost pěti vstupních konektorů, které lze použít současně pro jedno měření. Tím lze měřit úlohy, kde je zapotřebí rozmístit například více mikrofonů najednou. Analyzátor je vybaven funkcí rozpoznávání TEDS (Transducer Electronic Data Sheet), která načítá data z elektroniky připojené k analyzátoru. Tím dochází k automatizaci zdlouhavého nastavování, snadnější kalibraci přístroje a jeho použití. [8]

1.5 Mobilní řešení od Brüel & Kjær

Společnost Brüel & Kjær nabízí originální mobilní řešení s analyzátozem. Jedná se o kompaktní a přenosné pouzdro typ 9727, které obsahuje kompletní sadu nástrojů potřebných k provádění diagnostik strojů, testování a analýzu v terénu. Pouzdro je určeno pro menší analyzátor PULSE typ 3560-B vybavený pěti vstupy a jedním výstupem. Stejně jako typ 3560-C je vybaven dvěma bateriemi viz kapitola 3.1. Konektory jsou vyvedené do panelu včetně napájecího konektoru, který zásobuje analyzátor a notebook elektrickou energií a současně nabíjí baterie jak v analyzátoru, tak v notebooku. Všechny komponenty včetně notebooku jsou součástí pevného a voděodolného plastového kufru. Tímto řešením se inspirované zamýšlená realizace pouzdra. [9]



Obr. 1.2 Mobilní řešení od společnosti Brüel & Kjær typ 9727 (převzato z [9])

2 Vybavení pro řešení mobilního měření

2.1 Ochranná pouzdra

Nedílnou součástí zařízení používaných v terénu jsou přepravní pouzdra. Usnadňují manipulaci a slouží jako ochrana různých technických zařízení nebo předmětů, při přepravě či skladování. Ve většině případů je vnitřek pouzdra vyplněn molitanovou pěnou, která tlumí nárazy a vibrace a poskytuje jistou ochranu proti rychlým změnám teploty. Vnější část přepravního pouzdra poskytuje první úroveň ochrany před mechanickým poškozením, odolnost proti vlhkosti a prachu a zabránění přístupu různým živočichům. [10]

Využití přepravních a ochranných pouzder se uplatňuje zvláště pro elektroniku (měřicí technika, audio technika, fotoaparáty, kamery atd.), ale i pro bezpečnou přepravu dražších a citlivých věcí (hudební nástroje, zbraně, nářadí atd.).

2.1.1 Plastové kufry

Plastové kufry jsou pevná pouzdra vyznačující se především svojí robustní konstrukcí. Vyrábí se vyfukováním tvrdých plastů do formy. Tím se získá hladký rovnoměrný tvar, který je odolný vůči změnám teplot, vodě a mnoha dalším látkám včetně většiny toxinů a kyselin. Jako materiál pro výrobu těchto kufrů se používá ABS, PC nebo PET. Přidáváním barviv do těchto plastů je možné libovolně modifikovat jejich barevné odstíny. [11, 12]

Hlavní výhodou plastových kufrů je jejich pevnost. U některých výrobců je nabízena i voděodolnost, která je zajištěna díky perodrážkové konstrukci s polymerovým těsnicím O-kroužkem, který působí jako voděodolné těsnění. Voděodolností se zabývá norma ČSN EN 60 529, která udává různé stupně ochrany proti vniknutí vody, např. stupeň IP67 znamená, že je kufr zcela prachotěsný a chrání obsah proti ponoření do vody v hloubce jednoho metru po dobu 30 minut. Moderní plastové kufry jsou vybaveny i ventilem pro automatické vyrovnávání tlaku, který uvolňuje nahromaděný tlak vzduchu z kufru. Mezi nevýhody patří vyšší cena a hmotnost, oproti třeba textilním kufrům. [13, 14]



Obr. 2.1 *Plastový kufr Pelican Storm Case iM2700 (převzato z [15])*

2.1.2 Flight Case

Další typ pevných pouzder je především známý pod anglickým názvem „Flight Case“ někdy „Road Case“. Charakteristickou vlastností těchto pouzder je jejich rozmanitost, tedy ve většině případů se jedná o pouzdra, která jsou přímo uzpůsobena svými rozměry a vlastnostmi pro dané zařízení. Hojně využití těchto pouzder je například v oblasti audiotechniky, kde slouží jako ochrana hudebních nástrojů, zesilovačů a dalšího vybavení. Hlavní konstrukci tvoří rám složený z hliníkových nebo plastových profilů, který je osazen deskami z různých materiálů. Desky nebo také překližky jsou vyrobeny z plastů (PE, PP, PVC atd.), hliníku a mnoha druhů dřevin, které jsou chráněny vrstvou PVC nebo impregnovány různými pryskyřicemi. K rámu se připevňují pomocí nýtů nebo šroubů. Pro tento typ pouzder se vyrábí univerzální příslušenství, pomocí kterého lze uzpůsobit pouzdro k daným účelům. Mezi tato příslušenství patří například držadla, panty a rohy z různých materiálů a profilů, kolečka pro snadnější manipulaci, nebo nožičky pro lepší stabilitu. Nevýhodou je menší odolnost proti otřesům, prachu a vodě. [16]

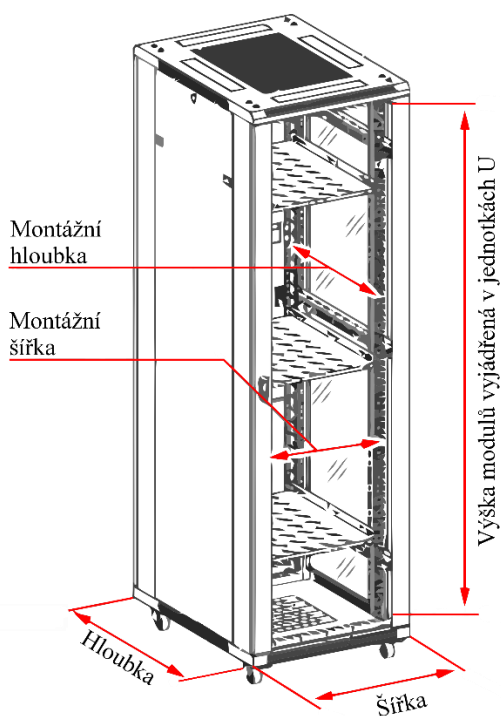


Obr. 2.2 *Flight Case (převzato z [17])*

2.1.3 Skříně (Rack)

Jedná se o standardizovaný systém umožňující upevnění různých elektronických zařízení (např. počítačové servery, zesilovače, prvky telefonních a počítačových sítí atd.) formou modulů ve skříních a stojanech. [18, 19]

První parametr těchto skříní je montážní šířka, která je vyjádřena v palcích, vyskytuje se ve formátu 19" nebo méně využívaným 10", který je určený pro menší instalace. Druhý je instalační výška modulů, která je pro usnadnění definovaná v jednotkách U (1 U = 1,75 palce = 44,45 mm), typické rozměry modulů jsou od 1 U do 4 U. Třetí montážní hloubka, která se připisuje danému modelu skříně a je uvedena v jeho popisu. Celkové rozměry (hloubka a šířka) nejsou definované normou a existuje několik variant. Charakteristické šířky jsou 600 mm, které představují základní typ a 800 mm, kde dostatečná šířka umožňuje snazší vedení hrubých kabelových svazků. Skříně mají pro dané účely různou hloubku kvůli posunutí kolejničky, do které se zasouvají moduly. Dále lze vybírat mezi několika typy dveří, buď prosklenými, plnými plechovými nebo perforovanými. Existuje řada barevných odstínů, ve veřejných prostorech se však využívá spíše šedá barva. Skříně se dále dělí na závěsné a stojací. [18]



Obr. 2.3 Skříně (Rack) a její rozměrové parametry (překresleno z [18])

- **Závěsné skříně**

Závěsné skříně jsou zavěšeny na zdi a slouží převážně pro instalaci lehčího vybavení, jako jsou telekomunikační nebo monitorovací zařízení. V praxi jsou nejčastěji používané skříně ve velikostech od 6U do 12U, avšak tyto skříně nejsou vhodné na osazování těžších vybavení, například UPS zdroje. Závěsné skříně se dále rozdělují na jednodílné a dvoudílné. V případě, že není přístup k zadní straně skříně, využívá se konstrukce se dvěma částmi, která umožňuje odpojit přední část od zadní pomocí závěsů. [18]

- **Stojací skříně**

Stojací skříně mají oproti závěsným skříním mnohem větší přípustnou nosnost, mohou být vybaveny transportními kolečky, které slouží k přepravě skříně například během montáže a nožičkami, které jsou určeny na dlouhodobé stání. [18]

2.1.4 Vnitřní vybavení ochranných pouzder

Prostory kufrů se vyplňují pěny, které jsou přímo vytvarované pro dané vybavení. Pěna zabraňuje samovolnému pohybu obsahu kufru při přepravě, čímž předměty chrání, tlumí otřesy a vibrace a do jisté míry stabilizuje výkyvy teplot. Pěny jsou vyráběny z několika druhů plastů, například PE, PUR, nebo PP. Technologické postupy při výrobě pěny jsou 3D frézování, sekání, plotrování nebo řezání vodním paprskem. Setkat se můžeme i s předřezanými pěny „Pick N Pluck“, které se dají vytrhat podle individuálních potřeb uživatele a dále s univerzálními pěny, které mají pyramidový, nebo plochy tvar a lze je nařezat či nastříhat. Podobnou funkci jako pěna plní i separátory (proložky) z plastu nebo kartonu. [20]



Obr. 2.4 Předřezaná pěna „Pick N Pluck“ (převzato z [21])

2.2 Akumulátorové baterie

Aktuálním tématem dnešní doby jsou akumulátory vyskytující se v mnoha elektrických zařízeních, mezi které patří například mobilní telefony, elektrické automobily a další spotřebiče, jež jsou závislé na elektrické energii i mimo dosah přenosové soustavy.

Historie elektrochemických zdrojů začala r. 1800, kdy Ital A. Volta sestavil první článek, tzv. Voltův sloup. Po něm následovali další vynálezci, např. Sinstenden a Platné s principem olověného akumulátoru v polovině 19. století. Jedinými praktickými zdroji elektrického proudu byly do této doby elektrochemické zdroje. Změna nastala až po vynálezu elektromagnetického generátoru, který umožnil rozvoj stacionárních elektrických sítí a rozšířil použití elektrické energie v průmyslu a pro každodenní život. [22]

2.2.1 Základní pojmy:

Akumulátor je sekundární elektrochemický zdroj elektrické energie, ve kterém dochází k přímé přeměně chemické energie na energii elektrickou. Tento proces je oproti primárním článkům vratný a lze jej opakovat po opětovném nabití. Bohužel životnost akumulátoru není nekonečná a s postupem času tento děj ztrácí na účinnosti, což se primárně projevuje postupným snižováním kapacity akumulátoru. [22]

Základní nejmenší jednotka akumulátoru je *akumulátorový článek*, který je složen vždy z jedné sady kladných (anodových) a záporných (katodových) elektrod. Pro zvětšení kapacity je sada článků spojena paralelně, sériovým spojením se napětí jednotlivých článků sčítá. Sestava těchto článků tvoří akumulátorovou baterii (akumulátor). [23]

Kapacita článku je veličina určující vydaný elektrický náboj Q_v odebraný z akumulátoru, který prochází vnějším obvodem. Při vybíjení po čas t je roven součinu $I_v t$ při konstantním proudu I_v nebo je dán vztahem: [23]

$$Q_v = \int_0^t I_v dt \quad (3.1)$$

Tento náboj se nevyjadřuje v coulombech, ale v ampérhodinách (Ah) nebo miliampérhodinách (mAh). Elektrická energie získaná při vybíjení je rovna [23, 24]:

$$W_v = \int_0^t U_v \cdot I_v dt \approx \overline{U}_v \cdot Q_v \quad (3.2)$$

Jmenovitá kapacita odpovídá kapacitě, kterou je článek nebo celá akumulátorová baterie schopna dodat při pokojové teplotě a daném proudu, než se napětí vybíjením sníží na konečné napětí. Tuto hodnotu udává výrobce. [24]

Je zapotřebí rozlišovat *napětí akumulátoru*, které je jmenovité a které skutečné. Jmenovité napětí akumulátoru udává norma a bývá uváděno na výrobku. Za standardních podmínek se jeho velikost přibližně rovná průměrnému napětí při vybíjení. Skutečné napětí je napětí naměřené na svorkách akumulátoru, jeho velikost je proměnná v závislosti na teplotě, stavu nabití akumulátoru, na směru a velikosti protékajícího proudu a na řadě dalších faktorů. [25]

Elektrolyt je látka schopná se štěpit v roztoku na nabitě částice (ionty) – kationty s kladným znaménkem a anionty se záporným znaménkem, tyto ionty umožňují vedení proudu v článku. [22]

Separátor zabraňuje elektrickému zkratování elektrod opačné polarity, jedná se o porézni izolátor ve formě tkaniny, desky, fólie, který je chemicky stálý vůči elektrolytu a všem složkám elektrod a článku. Musí být mechanicky pevný a případně schopný zadržovat některé ionty vyskytující se v systému. [22]

2.2.2 Olověné akumulátory

Jedná se stále o nejpoužívanější akumulátor dnešní doby. Hlavní výhodou tohoto akumulátoru je přijatelná cena, spolehlivost, dobrý výkon a schopnost dodání vysokých proudů, proto se hodí například na startování automobilů, motocyklů, nebo jako záložní zdroje. Oproti výhodám jsou zde i značné nevýhody, a to v podobě velké hmotnosti, postupné samovybíjení a velké změny napětí při odebíraném proudu. Je-li olověný

akumulátor skladován ve vybitém stavu, popřípadě je nedostatečně nabíjen, dojde k nežádoucímu procesu, k tzv. sulfataci elektrod, při které dochází k přeměně jemně zrnitého síranu olovnatého v tvrdou hutnou vrstvu hrubozrnného síranu, což může mít za následek obtížnější nabíjení. [23]

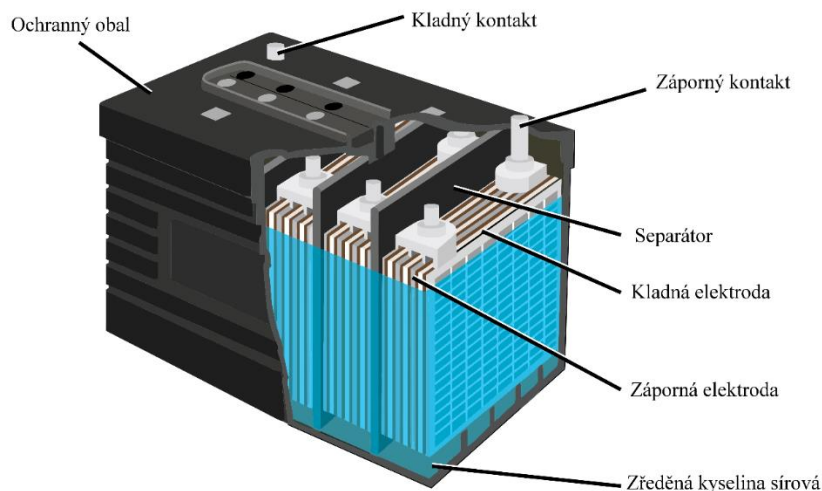
Olověný akumulátor tvoří olověné desky (elektrody), které jsou ponořené v zředěné kyselině sírové s přebytkem iontů SO_4^{2-} . Jeden článek akumulátoru je tvořen právě dvěma olověnými deskami, hodnota napětí naprázdno nabitého článku se pohybuje v rozmezí 2,06V až 2,15V. Například 12 V autobaterii tvoří šest článků spojených do série. [22, 23]

Konstrukce olověného akumulátoru

V dnešní době se lze setkat se dvěma typy olověných akumulátorů: klasickými se zaplavenými deskami a hermetickými, které jsou často označovány jako bezúdržbové. Konstrukční materiály pro tyto typy musí být odolné proti dlouhodobému účinku kyseliny sírové, to splňuje olovo nebo olověné slitiny, proto jsou z něho vyrobeny všechny části vedoucí proud. Elektrodová soustava je umístěna v nádobě z izolačního materiálu, nejčastěji je používán ABS, který je odolný vůči mechanickému poškození a odolává i požáru. Mezi kladnými a zápornými deskami jsou umístěny separátory a zespod se desky opírají o speciální hranoly vyčnívající ze dna nádoby, které tvoří kalový prostor pro shromažďování aktivní hmoty spadlé z elektrod, aby nedošlo ke zkratu elektrod. U klasických akumulátorů je víko tvořeno dvěma otvory pro proudové vývody a ventilační zátkou, která umožňuje únik plynů během samovybíjení a malém přebíjení, dále slouží k dolití elektrolytu a zároveň zabraňuje vylití elektrolytu při nevelkých sklonech. [22, 23, 26]

Na obr. 2.5 je vyobrazena konstrukce hermetických akumulátorů. Nejdůležitějším prvkem pro kvalitu akumulátorů je konstrukce elektrod. Vysokou pevnost a jejich odolnost proti korozi zajišťuje použití malého množství kalcia. Separátory v některých hermetických akumulátorech jsou současně také absorberem elektrolytu, který tvoří kyselina sírová, ale někteří výrobci používají i gelový elektrolyt, který nevyžaduje separátory. Dojde-li za provozu akumulátoru ke značnému přebíjení, může kvůli zvýšenému vyvíjení plynu vzrůst tlak v akumulátoru, z bezpečnostních důvodů je tedy akumulátor vybaven ventilem na každém

článku. Při zvýšeném tlaku se ventil otevře a vypustí přebytečné plyny. Pólové vývody akumulátoru jsou buď kuželové, nebo ploché. [22, 23]



Obr. 2.5 Konstrukce olověného akumulátoru (překresleno z [27])

Výhody hermeticky uzavřených akumulátorů [23]:

- *Uzavřená konstrukce* - Tato konstrukce je speciálně navržena pro práci v libovolné poloze, nehrozí tak při přepravě únik elektrolytu, čímž se snižuje riziko ekologických havárií.
- *Nulové požadavky na údržbu* - Akumulátory po celou dobu své životnosti nevyžadují doplnění elektrolytu, jelikož plyny, které vznikají při dobíjení, jsou speciální reakcí zpětně absorbovány.
- *Jednoduchá manipulace* - Tyto akumulátory jsou zcela uzavřeny, lze je tedy přepravovat v libovolné poloze a na přepravu nejsou kladeny žádné speciální požadavky.
- *Dlouhá životnost* - Při běžných provozních podmínkách (například jako záložní zdroj) je doba životnosti podle typu 5 až 15 let.
- *Odolná konstrukce* - Jak již bylo zmíněno, obal je vyroben z velice odolného nevodivého plastu ABS, který odolává rázům, vibracím, chemikáliím a změnám teploty.
- *Široký rozsah teplot* - Akumulátory lze provozovat při teplotách od $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ podle daného typu.

2.2.3 Niklové akumulátory

NiCd akumulátory

V bývalém Československu byly první hermetické akumulátory vyvinuty a vyráběny na počátku šedesátých let minulého století v podniku Bateria Slaný. Jednalo se o nikl-kadmiové (NiCd) akumulátory s lisovanými elektrodami, aktivní hmoty byly baleny do niklové tkaniny, která měla funkci jako proudový kolektor a současně zpevňovala celou elektrodu. [25]

Tyto akumulátory obsahují elektrody s aktivními hmotami, které podléhají oxidaci bez fyzikálních změn. Elektrody mají dlouhou životnost, jelikož jsou tvořeny materiálem nerozpustným v alkalickém roztoku elektrolytu a nedochází k úbytku aktivní hmoty. Elektrolytem je ve většině případů hydroxid draselný (KOH) rozpuštěný ve vodě. [23, 25]

Výhody NiCd akumulátorů [25]:

- *Vysoká spolehlivost a životnost* - NiCd akumulátory lze používat i pro kosmickou, leteckou, vojenskou a zdravotnickou techniku.
- *Možnost odběru velmi vysokých proudů* - Jedná se o jeden z nejlepších zdrojů pro napájení profesionálního akumulátorového nářadí a obdobné aplikace.
- *Další výhody* - Mezi další výhody patří schopnost rychlého a velmi rychlého nabíjení, velký rozsah pracovních teplot pro vybíjení (-40 °C až +70 °C), univerzálnost v podobě uplatnění v řadě aplikací a výborné mechanické vlastnosti.

Nevýhody NiCd akumulátorů [25]:

- *Menší měrná energie vztážená na hmotnost nebo objem*
- *Náhlý pokles napětí na konci vybíjení* - Podle napětí se nedá určit zbytková kapacita akumulátoru. Trpí paměťovým efektem.
- *Obsah kadmia* - Kadmium je klasifikováno jako látka škodlivá životnímu prostředí.

NiMN akumulátory

Intenzivní vývoj a průzkum Nikl-metal hydridového akumulátoru (NiMH) byl zahájen v osmdesátých letech minulého století. Hlavním důvodem byly požadavky ekologů na nahrazení škodlivého kadmia jiným vhodnějším materiálem. Ke komerčnímu využití došlo v druhé polovině devadesátých let. [25]

Kladná elektroda NiMH akumulátoru je konstrukčně řešena jako NiCD akumulátor a mají stejné složení aktivní hmoty, to znamená, že rovněž elektrochemické změny probíhající při nabíjení a vybíjení jsou shodné. [25]

Výhody NiMH akumulátoru:

Hlavní předností NiMH akumulátorů ve srovnání s NiCd je větší kapacita získaná z článků shodných rozměrů a menší zátěž pro životní prostředí. [25]

Nevýhody NiMH akumulátorů [25]:

- *Menší rozsah klimatických a mechanických odolností*
- *Větší vnitřní impedance* - Tyto akumulátory nejsou vhodné pro velmi rychlé nabíjení a extrémně velké vybíjecí proudy.
- *Větší samovybíjení a vyšší cena*

2.2.4 Lithiové akumulátory

Nejmodernějšími akumulátory dnešní doby jsou akumulátory lithiové. Setkáváme se s několika typy komerčně vyráběných lithiových článků. Akumulátory na bázi lithia se vyskytují ve většině moderních zařízení, zejména v oblasti přenosných zařízení jako jsou chytré mobilní telefony, notebooky, tablety, ale velkou roli hrají i v napájení elektrických automobilů, kde jsou na výrobce akumulátorů kladeny vysoké nároky. [28]

Lithiové akumulátory nabízí hustotu energie až 330 Wh/kg, to je skoro trojnásobek hustoty rtuti a stříbra a čtyřnásobek hustoty alkalické manganové baterie. Vyšší energetická hustota je do značné míry způsobena provozním napětím většiny elektrochemických párů na

bázi lithia. Lithium, které má nejvyšší elektromotorické napětí ze všech kovů, poskytuje provozní napětí přibližně dvojnásobné oproti tradičním systémům. Typické napětí pro lithiové články je 3,6 V, to se mění podle typu použitého materiálu kladné elektrody. Například u NiCd a NiMH akumulátorů je toto napětí 1,2 V. [28, 29]

Dalším významným přínosem lithiových článků je jejich potenciál pro dlouhé skladování elektrické energie, články jsou hermeticky uzavřené a navrženy tak, aby během vybíjení nevytvářely plyny, tím se chrání vnitřek článku od nečistot z okolního prostředí a zabraňuje se úniku elektrolytu, takový článek má životnost 5 až 10 let bez toho, aby vyžadoval zvláštní údržbu a opatření při skladování. Během této doby je článek schopný dodat až 75% své původní kapacity. Tato výhoda však přináší i zvýšené nároky během dobíjení a vybíjení těchto článků, proto bývají vybaveny speciální ochranou elektronikou. [28]

Výhody lithiových akumulátorů [28, 29]:

- *Vysoká životnost* - Způsobuje snížení nákladů na údržbu spojené s výměnou akumulátoru, zvláště ve vzdálených lokalitách, nebo v jiných aplikacích, kde je pracovně náročná výměna. Tím bude i pravidelná výměna akumulátorů výrazně snížena nebo dokonce úplně vyloučena.
- *Nižší hmotnost* - Lithiové akumulátory jsou oproti například olověným akumulátorům výrazně lehčí, pokud porovnáme oba typy se stejnou kapacitou elektrické energie.
- *Nízké samovybíjení* - Oproti ostatním typům akumulátorů.
- *Netrpí tzv. paměťovým efektem* - Ten se projevuje vznikem druhého vybíjecího stupně, který má za následek náhlý pokles napětí. S tímto efektem se lze setkat například u NiCd akumulátorů.

Nevýhody lithiových akumulátorů [25, 29]:

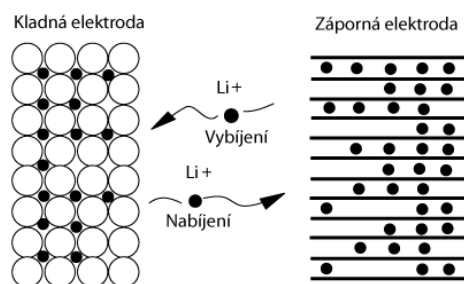
- *Náchylnost na přebíjení a podbíjení* - Většina těchto akumulátorů musí obsahovat řídicí elektronické obvody. Při poklesu napětí při vybíjení pod povolenou hranici dochází k trvalému zničení akumulátoru.
- *Vyšší prodejní cena* - Lithiové akumulátory jsou obecně dražší, navíc nabíječe a zmíněné ochranné obvody stojí až v řádu desetitisíc korun.
- *Nabíjecí proud je ve většině případů omezen na $1,5 I_t$* - Lithiové akumulátory se nabíjí konstantním napětím, plně je akumulátor nabitý přibližně za 2 až 3 hodiny oproti NiCd akumulátorům, které lze nabít i za 15 minut, je tato doba mnohem větší.
- *Velký vnitřní odpor* - Odpor je až 10x větší než u NiCd nebo NiMH akumulátorů

Nabíjení lithiových akumulátorů

Při nabíjení lithiových akumulátorů se používá napět'ové nabíjení, které se v zahraniční literatuře označuje jako CCCV (z anglického Constant Current followed by Constant Voltage). Princip tohoto nabíjení je, že se akumulátor z počátku nabíjí konstantním proudem a po dosažení předem stanoveného napětí proces dokončí nabíjením konstantním napětím. Pokud nabíjecí proud klesne na předem stanovenou hodnotu, dojde k ukončení nabíjení. [30]

Li-ion akumulátory

Za názvem Li-ion akumulátorů stojí výkonný ředitel firmy SONY Energytec pan K. Tozawa, název „Ion“ je používán kvůli iontům Li^+ , které putují při nabíjení z kladné elektrody na zápornou a při vybíjení opačně viz obr 2.6. [25]



Obr. 2.6: Pohyb iontu Li^+ při nabíjení a vybití (převzato z [25])

V normách se lze setkat s označením lithiový akumulátor, akumulátor Li nebo Li-Ion akumulátor, do této kategorie patří i akumulátory Lithium-polymer, známé pod označením Li-Pol. [25]

Dalším typem li-ion akumulátorů je akumulátor postavený na lithium železo fosfátu (LiFePO_4), který tvoří katodu z tohoto materiálu. Anoda je tvořena uhlíkem stejně jako u ostatních li-ion baterií. Tato technologie vznikla na texaské univerzitě v roce 1997 a zaujala hlavně díky svým benefitům jako jsou nižší výrobní náklady, teplotní stabilita, dobrý elektrochemický výkon a je zcela netoxická oproti klasickým li-ion. [31]

Mezi hlavní výhodu těchto akumulátorů patří schopnost dodat vyšší proud a větší bezpečnost, která je zaručená právě železo-fosfátem, který není v extrémních podmínkách výbušný. Netrpí paměťovým efektem a samovybitím, mají při správném zacházení velmi vysokou životnost a vysoký teplotní rozsah přibližně od $-20\text{ }^\circ\text{C}$ do $+70\text{ }^\circ\text{C}$, na druhou stranu mají o něco menší napětí zhruba 3,2 V. [31]

Rozdělení hermetických lithiových akumulátorů

Li-ion akumulátory obsahují alkalický, nebo jiný nekyselý elektrolyt a lze je rozdělit podle složení kladné elektrody (kobalt, nikl, mangan, vandan, železo-fosfát atd.) a podle typu elektrolytu a jeho složení (kapalný, gelový, polymerový). [25]

2.3 Konstrukční provedení a příslušenství akumulátorů

Existuje celá řada norem, které popisují, jak se jednotlivé články akumulátoru značí, jaké mají mít rozměry, bezpečnostní požadavky a elektrické a fyzikální specifikace. Články lze rozdělit do tří kategorií a lze se s nimi setkat u lithiových i NiCd a NiMH akumulátorů.

2.3.1 Prizmatický článek

Jedná se o článek ve tvaru pravidelného rovnoběžnostěnu, nejčastěji kvádrovitého tvaru. V této oblasti dochází každoročně k vývoji dalších rozměrových typů. Vše je způsobeno hlavně vývojem telekomunikační techniky, která má stále nové požadavky na akumulátory pro mobilní telefony. V minulých letech, kdy začaly staré klasické telefony nahrazovat nové chytré, byl tento rozvoj nejpatrnější. Stále je požadavek, aby měl akumulátor co nejvyšší kapacitu a co nejmenší rozměry a hmotnost, klasické tekuté nebo gelové elektrolyty nasáklé v separátorech se nahrazují polymery, ty se označují jako polymerový Li-Ionový článek, nebo známější název je již Li-Pol článek. [25]

Hlavní výhodou Li-Pol akumulátorů je jejich nižší hmotnost, oproti klasickým prizmatickým lithiovým akumulátorům, protože nemají kovový obal (dýnko), ale záporná elektroda je vyvedena ven pomocí pásu podobně jako elektroda kladná, tím lze Li-Polymery i do určité míry mechanicky formovat (ohýbat). Akumulátory nejsou vybaveny bezpečnostním ventilem, nehrozí zde nebezpečí úrazu při roztržení nebo deformace akumulátoru, protože ten je zabalen pouze v jednoduché odizolované hliníkové fólii. [25]



Obr. 2.7 Li-Polymerový prizmatický článek (převzato z [32])

2.3.2 Válcový článek

Válcový článek je článek kruhového průřezu a jeho celková výška je menší než jeho celkový průměr. [25]

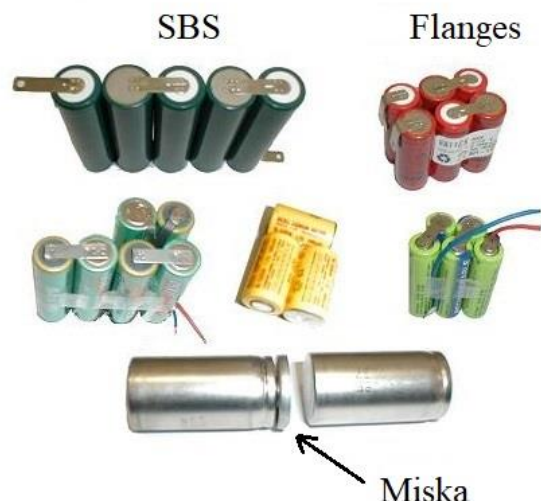
Existuje celá řada značení těchto válcových článků, nejpoužívanější je v současné době značení podle normy ANSI. Lze se také setkat se značením písmeny „KR“, po kterých následuje písmeno, které značí, jak je článek navržen na vybíjecí proudy, pro nízké (L), střední (M), vysoké (H), nebo velmi vysoké (X). Pokud je článek určen k trvalému nabíjení, při vyšší teplotě, označuje se písmenem (T), které se vloží mezi písmena L, M, H, nebo X a dvě skupiny číslic, které vyjadřují maximální průměr a výšku článku. Často se dá setkat i se článkem válcového tvaru s označením například 18650, kde čísla představují průměr 18 mm a délku 65 milimetrů. [25, 33]

2.3.3 Knoflíkový článek

Knoflíkový článek je kruhového průřezu. Rozdíl mezi ním a článkem válcovým je ten, že jeho celková výška je menší, než jeho celkový průměr. Značí se podobně jako válcové články, ale nesou písemné označení „KB“. Tento typ článků se používá převážně pro napájení paměťových elektronických obvodů nebo tam, kde jsou potřeba malé rozměry článků například hodinky, či jiná drobná elektronika. [25]

2.3.4 Volné sestavy

Tyto akumulátorové baterie jsou vytvářeny sériovým propojováním akumulátorových článků pomocí bodově přivařených kovových pásků, misek, nebo pérových kontaktů. Na obr. 2.8 jsou vyobrazeny nejčastější druhy sestav: SBS (z anglického Side-by-Side) a Flanges. K sestavám baterií musí být použity shodné články vždy z jedné výrobní série. Mechanická pevnost celku je zajištěna pomocí propojovacích prvků a jednotlivé články mohou být k sobě spojeny vteřinovým lepidlem, tavným lepidlem nebo tmelem. Povrch baterie bývá chráněn plastovou teplem smrštitelnou fólií popřípadě hadicí. Některé druhy baterií jsou opatřeny plastovými čely, které mají za funkci pevnější mechanické spojení s přístrojem, často je tomu například u baterií pro medicínskou techniku. Baterie jsou vybaveny vývody ve formě kovových pásků, kablíků, různých typů konektorů a bezpečnostními prvky. [25]



Obr. 2.8 Prostorové uspořádání válcových akumulátorů (převzato z [34])

2.3.5 Baterie v plastových pouzdrech (akupacky)

Jedná se o nejběžnější typ hermeticky uzavřených akumulátorů, které jsou součástí mobilních telefonů, notebooků, radiostatnic, videokamer, ručního akumulátorového nářadí a mnoha dalších výrobků. Vnitřní struktura odpovídá již zmíněné volné sestavě a navíc obsahuje celou řadu elektronických prvků, jejichž účelem je v prvé řadě zajistit bezpečnost obsluhy a slouží též pro řízení nabíjecího procesu. Celek je zapouzdřen do plastového pouzdra potřebných tvarů. [25]

2.3.6 Bezpečnostní a monitorovací prvky akumulátorů

Tyto prvky jsou známy pod názvem BMS (z anglického Battery Management System), jde o elektroniku ochraňující akumulátor před překračováním mezních parametrů daných výrobcem, které by způsobily následné poškození jednotlivých článků. Mezi tyto ochrany patří ochrana nadproudu, aby z akumulátoru nebylo možné odebrat větší proud, než na jaký jsou články a ostatní části konstruovány, dále ochrana proti podbití, aby se akumulátor odpojil dříve, než by se články vybily pod danou mez a ochrana proti přebití. Tyto nežádoucí faktory by způsobily trvalé poškození a případnou nepoužitelnost akumulátoru. Další funkce BMS modulů jsou ochrany proti zkratu, teplotní ochrany a některé dále poskytují funkci tzv. soft startu, kdy lze akumulátor signálově zapínat nebo vypínat například pomocí tlačítka. Důležitou součástí BMS modulů jsou i balanční obvody, které se snaží vyrovnat, napěťově rozdíly na jednotlivých člancích při nabíjení, popřípadě vybíjení. [35–37]

Pasivní balancování je jednodušší a tím i levnější, v provozu je však pouze při nabíjení článků, kde vyrovnává napěťové rozdíly na jednotlivých sériových člancích. Na konci nabíjení by tedy měly mít všechny články stejnou hodnotu napětí. Pasivní balancování lze použít i bez obvodu BMS, pokud máme nabíječku, která nabíjí pouze na hodnotu napětí celého akumulátoru a nemá zpětnou vazbu. Balanční obvod je nastavený na dané napětí článku a po dosažení tohoto napětí se nabíjecí proud přesměruje do odporu, kde se přemění v teplo. Obvod by měl být navržen na maximální proud nabíječky. Pokud by byl dimenzován na menší, nabíjení by pokračovalo a mohlo by dojít ke zničení článků. [37]

Aktivní balancování je finančně náročnější a složitější obvod, který funguje při nabíjení i vybíjení. Obvod musí být opět dimenzován na plný pracovní proud. Tímto balancováním lze přesouvat energii ze sériového článku s větší kapacitou do sériového článku s menší kapacitou. Tím narůstá kapacita celého akumulátorů. [37]

2.3.7 Indikace kapacity nabití

Jedná se o metody sledující stav nabití baterie světelnou nebo akustickou signalizací, popřípadě zobrazení číselných hodnot pomocí displeje. Lze je rozdělit do tří kategorií [35]:

- *Sledování aktuálního napětí* – Jedná se spíše o orientační, nepřesnou nelineární metodu silně závislou na aktuální zátěži a na vybíjecí charakteristice akumulátoru, u které se měří aktuální napětí, kde se vychází z rozsahu maximálního a minimálního napětí akumulátoru.
- *Sledování kapacity z elektrolytu* – Jedná se o nejpřesnější, ale nejhůře realizovatelnou možnost. Jelikož jsou lithiové články hermeticky uzavřené, není elektrolyt možné změřit tak snadno, jako například u olověných akumulátorů.
- *Sledování náboje dodaného z/do baterie* – Tato možnost je dobře realizovatelná a celkem přesná, ale chybu do ní zanáší parazitní vlastnosti akumulátorů, například vnitřní odpor. Při nabíjení a vybíjení se část energie přeměňuje v teplo a nedojde k jejímu efektivnímu využití. Tento nežádoucí jev se však dá stanovit podle účinnosti akumulátoru a kompenzovat podle něho naměřené výsledky.

3 Realizace mobilního řešení

Zadáním této bakalářské práce je vyhledat optimální vybavení a řešení pro mobilní měření s analyzátozem BK Pulse typ 3560-C. Cílem práce má být robustní přenosné pouzdro, osazené jednotlivými komponenty, které mají tvořit funkční mobilní celek, jež lze používat pro dané měřicí účely. Tím se ulehčí manipulace s komponenty při převozu, jelikož budou na jednom místě a po ruce. Mobilní pouzdro bude obsahovat následující komponenty:

Analyzátor BK Pulse typ 3560-C – Tento analyzátor viz kapitola 1.4. bude zabírat většinou prostoru v pouzdru. Je třeba vymyslet vhodné upevnění a místo, aby byl dobrý přístup k vstupním a výstupním konektorům. Dále je třeba myslet na chladicí průduchy, které tento přístroj vyžaduje, aby nedošlo k jeho přehřátí.

Akumulátorová baterie – Dalším požadavkem je vymyslet napájecí systém, který bude celé pouzdro zásobovat elektrickou energií i mimo dosah přenosové soustavy. Systém má být navržen tak, aby dokázal dodávat elektrickou energii po dobu minimálně 8 hodin nepřetržitého provozu. Hodnota napětí baterie musí být v souladu s provozním napětím analyzátoru, které je v rozmezí 10 V – 32 V. Na toto napětí musí být navržena i zbylá elektronika, která bude součástí pouzdra. K akumulátoru je třeba vybrat vhodný nabíječ, který se zároveň bude chovat jako zdroj stejnosměrného proudu, opět v rozmezí 10 V – 32 V, aby mohl v případě vybitého akumulátoru samostatně napájet zbylou elektroniku včetně analyzátoru.

Indikátor stavu nabití a ochranný obvod akumulátorové baterie – U akumulátoru nesmí chybět elektronika pro indikátor stavu nabití. Má být tedy součástí napájecího systému a zabudovaný přímo v pouzdře.

Wifi router – Za normálních okolností bývá analyzátor Pulse propojen s PC pomocí síťového LAN kabelu, existuje však řešení propojit analyzátor s wifi routerem a komunikovat s počítačem bezdrátově. Tím se zde naskytuje možnost používat analyzátor i mimo jeho dosah, například ve vedlejší místnosti.

Příslušenství – Výhodou by bylo, kdyby v pouzdru mohlo být místo i na příslušenství v podobě kabelů a dalších zařízení, která jsou zapotřebí k měření, například kalibrátor mikrofónů, kabely nebo náhradní baterie pro notebook.

V následujících kapitolách budou rozepsané jednotlivé dílčí kroky, při sestavování mobilního pouzdra.

3.1 Výběr akumulátoru

Analyzátor je v originálním řešení vybaven dvěma NiMH bateriemi NI1030CT. Kapacita jedné baterie činí 3,85 Ah. Pokud jsou obě baterie plně nabitě, dokáží napájet analyzátor až 2,5 hod. Tato doba je však pro používání v terénu nedostatečná, a proto je zapotřebí vybrat akumulátor s větší kapacitou.



Obr. 3.1 NiMH baterie NI1030CT

Při výběru akumulátoru bylo vybíráno z možností, které jsou popsány v kapitole 2.2. Prvním krokem je výpočet kapacity, kterou musí splňovat, aby dokázal zásobovat systém elektrickou energií po zadanou dobu provozu 8 hodin. Tato doba se odvíjí od aktuální spotřeby zátěže, kterou v tomto případě tvoří analyzátor, wifi router a navržený indikační a ochranný obvod.

Požadavkem analyzátoru je napájecí napětí v rozmezí 10 V – 32 V, tedy i akumulátor bylo nutné vybrat v tomto rozmezí tak, že se muselo dbát na možnost rozdílu napětí nabitého a vybitého akumulátoru, jenž může činit i několik voltů.

Jelikož se kapacita akumulátorů udává převážně v ampérhodinách, musí se nejdříve vypočítat maximální proud baterie, který zjistíme z maximální zátěže podle vztahu:

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U_{aku}} = \frac{50}{12,8} = 3,9 \text{ A} \quad (3.1)$$

V katalogu spotřebičů lze dohledat maximální výkon, který je u analyzátoru PULSE 3560-C 42 W a wifi routeru 7 W. Zaokrouhleně se počítalo s maximálním výkonem 50 W a napětí akumulátoru 12,8 V. Po dosazení do vztahu 3.1 vyšel proud 3,9 A, ze kterého lze vypočítat kapacitu akumulátoru podle vztahu 3.2, která vyšla 31,25 Ah. Nutno podotknout, že maximální hodnota výkonu nastane pouze v extrémních případech. Jmenovitá hodnota výkonu je zhruba 40 W, tím zde vzniká rezerva doby provozu až 11 hodin.

$$C = I_{max} \cdot t = 3,9 \cdot 8 = 31,25 \text{ Ah} \quad (3.2)$$

Vybrán byl LiFePO₄ akumulátor PBQ LF 30-12, který má provozní napětí již zmíněných 12,8 V a kapacitu 30 Ah. Hlavní předností tohoto akumulátoru je oproti všem ostatním vysoká životnost (přes 4000 nabíjecích cyklů) a bezpečnost, instalace v libovolném směru, provozní teplota od -30 °C až do +60 °C a na rozdíl od olověného akumulátoru mnohem nižší hmotnost, konkrétně 5,4 kg.

Dále je akumulátor vybaven BMS modulem obsahující balanční obvod, který hlídá jednotlivé články proti přebíání a vybití a je zabudovaný uvnitř plastového obalu společně s jednotlivými články. Akumulátor je tedy oproti volné sestavě mnohem robustnější a vhodnější k použití. Mezní hranice vybitého akumulátoru je v BMS nastavena podle prodejce na 10 V.

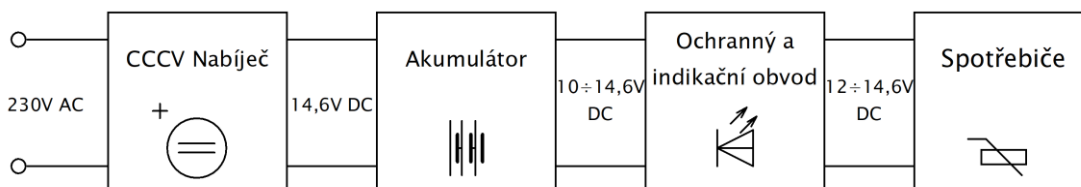
Nevýhoda tohoto akumulátoru je vyšší pořizovací cena a nutnost koupit speciální nabíječ určený pro tento typ akumulátorů, kterým je v tomto případě PBQ LF 12050.

Volná sestava z cylindrických nebo prizmatických článků nebyla zvolena z důvodu menší mechanické odolnosti a složitější realizace, kde je zapotřebí systém osadit BMS modulem, balančními obvody a použít různý spojovací materiál.



Obr. 3.2 Akumulátor PBQ LF 30-12 (převzato z [38])

3.2 Elektrické zapojení

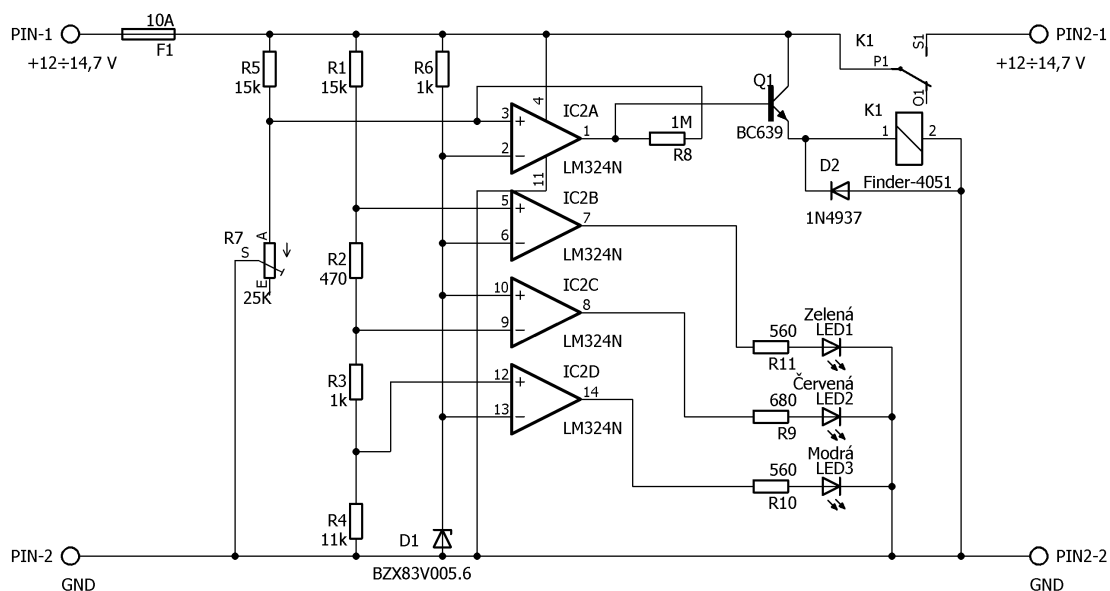


Obr. 3.3 Blokové schéma ochranného a indikačního obvodu

CCCV Nabíječ viz kapitola 2.2.4 má dvojí funkci. V případě, že je akumulátor nabitý nebo se nabíjí či chybí, chová se nabíječ jako stejnosměrný zdroj 14,7 V napětí. Tímto řešením se docílilo, že v případě vybitého akumulátoru není zapotřebí, aby každý spotřebič měl svůj vlastní originální adaptér, který by celý napájecí systém zkomplikoval. Například v případě, že by měl nabíječ pulzní charakter nabíjení, nebylo by možné z něho napájet spotřebiče. Na výběr bylo ze dvou nabíječů, první s maximálním proudem 10 A a druhý s 5 A. Lepší by byl 10 A nabíječ, který by akumulátor nabil rychleji, tento požadavek však nebyl primární a z důvodu ušetření místa a hmotnosti byl zvolen 5 A nabíječ, který postačuje k úplnému nabití například přes noc, kdy se analyzátor nepoužívá.

Akumulátor viz kapitola 3.1 je připojen na nabíječ a zároveň na ochranný a indikační obvod. Pokud je připojen nabíječ, v celém systému se objeví napětí nabíječe, tedy 14,7 V. Když se systém napájí z baterie, pohybuje se toto napětí v rozmezí 10 V – 14 V dle aktuálního nabití. Akumulátor je složen z 3,2 V článků, které se nedoporučuje vybitet pod 2,8 V, tedy v celkovém zapojení 11,2 V. Aby nedošlo k poškození článků vlivem podbíjení, byl navrhnout a realizován následující obvod.

Ochranný a indikační obvod byl navrhnout a vyroben, jelikož vybraný akumulátor není vybaven žádnou indikací stavu nabití a je doporučeno od prodejce využívat funkci BMS modulu ochrany proti vybití pouze v kritickém případě. Tímto řešením ochrany by měla být výrazně prodloužena životnost akumulátoru.



Obr. 3.4 Elektrické schéma ochranného a indikačního obvodu

Hlavní součástí v obvodu je integrovaný obvod LM324N, který tvoří 4 operační zesilovače. Tyto operační zesilovače mají společné napájení a jsou zapojeny jako komparátory. Referenční napětí je $U_{REF} = 5,6 V$ a vytváří jej Zenerova dioda D₁.

Jednotlivé napěťové hladiny byly zvoleny z vybíjecí charakteristiky akumulátoru PBQ LF 30-12 viz příloha 2. Jmenovitý odběr proudu je přibližně 3 A, to odpovídá vybíjecí křivce 0,1 C. První napěťová hladina je > 14,1 V. Ta představuje připojený nabíječ a pomocí RGB diody je namíchaná podle RGB spektra světlé modrá barva, tedy svítí zelená a modrá dioda.

Druhá napěťová hladina je 12,9 V – 14 V. Svítí zelená barva, která představuje, že kapacita akumulátoru je v rozmezí 40 % – 100 %. Následuje hladina 12,4 V – 12,8 V pro kapacitu 20 % – 40 % s oranžovou indikací a hladina < 12,3 V pro kapacitu < 20 % s červenou indikací. Mezní hranice překlápěcích hladin jsou vytvořeny pomocí odporů $R_1 - R_5$, které mají funkci napěťových děličů. Odporů R_1 a R_5 byly zvoleny s hodnotou 15 k Ω a zbylé dopočítány podle vztahu 3.3. Například pro odpor R_7 platí:

$$U_{REF} = U_{SAT} \cdot \frac{R_7}{R_7 + R_1} \rightarrow 5,6 = 12 \cdot \frac{R_7}{R_7 + 15000} \rightarrow R_7 \cong 13k\Omega \quad (3.3)$$

Jeden komparátor slouží jako ochrana proti vybití. Napěťová saturační hladina je nastavena na 12 V, lze však měnit pomocí trimru R_7 . Když akumulátor dosáhne této hodnoty, operační zesilovač změní svůj výstupní stav na 0 V, čímž dojde k uzavření báze tranzistoru Q_1 a odepnutí relé K_1 , přes které jsou připojeny spotřebiče. Aby nedocházelo k překlápění operačního zesilovače v blízkosti rozhodovací úrovně, byla zde vytvořena zpětná vazba pomocí hystereze, kterou zajišťuje odpor R_8 . Opětovné probuzení výstupu operačního zesilovače lze provést až po připojení nabíječe. Pro šířku pásu hystereze platí vztah:

$$U_H = 2 \cdot U_{SAT} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_8} = U_H = 2 \cdot 12 \cdot \frac{15000}{15000 + 1000000} \cong 0,35 V \quad (3.4)$$

Dioda D_2 slouží jako ochrana obvodu LM324N. Když dojde k odepnutí kotvy, respektive kontaktu, může vzniknout na cívce špičkové napětí, které by integrovaný obvod mohlo poškodit. Zbylé rezistory R_9 , R_{10} a R_{11} vytváří předřadný odpor k LED diodám, například úbytek napětí na červené diodě je $U_{LED} = 1,95 V$ a provozní proud diody je $I_{LED} = 20 mA$. Z těchto hodnot lze vypočítat předřadný odpor R_9 jako:

$$R_9 = \frac{U_{cc} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{14 - 1,95}{20 \cdot 10^{-3}} = 602,5 \Omega \rightarrow 680 \Omega \quad (3.5)$$

Všechny hodnoty odporů byly přiřazeny k nejbližším výrobním hodnotám z řady E24. Schéma a motiv plošného spoje byl navržen ve volné verzi programu Autodesk EAGLE viz příloha 3.

Spotřebiče se připojují za ochranný a indikační obvod pomocí šroubovacích svorek a celý systém chrání 10 A pojistka F_1 v obvodu a další 10 A pojistka na euro napájecím

jednotlivé konstrukci prakticky nezničitelný a navíc obsahuje minimum kovových částí, takže u něho nedochází ke korozím. Díky těmto vlastnostem byl zvolen kufr plastový.

Výběr plastového kufru probíhal tak, že byly nejdříve vybrány všechny komponenty, které bude obsahovat. Největší část zde tvoří analyzátor a akumulátor, dále nabíječ, wifi router, plošný spoj a nemalou část zabírají konektory a propojovací kabely. Jednotlivé komponenty byly namodelovány ve studentské verzi programu Solid Edge ST10 a vhodně rozmístěny. Podle výsledného rozmístění byl vybrán kufr. V příloze 4 je ukázka nakresleného analyzátoru PULSE a jeho 3D model je na obr.1.1.

Zakoupen byl kufr Pelican Storm Case iM2700 viz obr.2.1, který splňuje finální vnitřní rozměrové požadavky. Tento kufr má lehkou a pevnou konstrukci, bytelné panty a je vybaven otvory pro visací zámky. Hmotnost kufru je 5,03 kg. Například hmotnost flight case s podobnými rozměry je zhruba 11 kg.

3.5 Sestavení

Než se došlo k finálnímu mobilnímu řešení, bylo navrženo několik variant. První varianta byla, že se do kufru vyřízne otvor, z něhož by byl přístup k přední straně analyzátoru, kde jsou konektory a ovládací prvky. Z této varianty však sešlo kvůli špatnému přístupu ke konektorům. Tento problém se vyřešil navržením panelu, do kterého jsou konektory vyvedeny.

Po několika návrzích byl vyroben prototyp panelu z plastu, který se dobře opracovává a je za přijatelnou cenu. Funkcí tohoto panelu je vytvoření pracovní plochy, na kterou lze umístit notebook a další příslušenství a vytvořit prostor pro vyvedení konektorů. Do panelu byly vyvrtány otvory pro nejvíce používané konektory. Mezi ty patří 4× LEMO 7-pin typ FGG.1B.307 a 5× BNC zapojené jako vstupy pro připojení snímačů, 2× BNC pro výstupy analyzátoru, 2× BNC pro synchronizaci během propojení s dalším analyzátozem, 2× RJ-45 pro připojení dalšího analyzátoru a propojení s PC a sériový konektor RS-232. BNC konektory byly vybrány izolované, aby panel fungoval pouze jako propojení kabelů. Dále byly vytvořeny otvory pro spínač, LED diodu a šrouby. Součástí panelu není napájecí konektor, který je vyveden do boku kufru pro nabíjení bez nutnosti otevření kufru.

Celé konstrukční řešení je realizované tak, že je panel spojen se spodní (základní) deskou, ke které je přimontován analyzátor s baterií a dalšími komponenty. Tím vzniká konstrukce, kterou lze vyndat z kufru se všemi součástkami. Aby nedošlo k samovolnému pohybu příslušenství v kufru, je zapotřebí vyplnit víko pěnou viz kapitola 2.1.4.

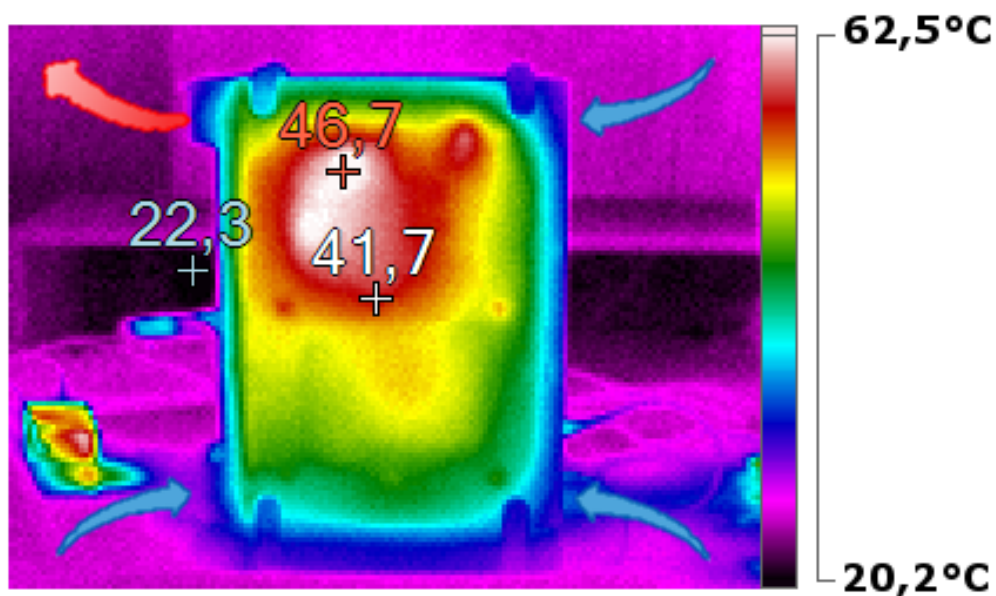


Obr. 3.6 Výsledný prototyp mobilního řešení

Z výsledného prototypu viz obr. 3.6 je vidět, že je panel v místě konektorů sníženy. To je z toho důvodu, aby šel kufr přivřít i se zapojenými kabelem do konektorů.

3.6 Měření

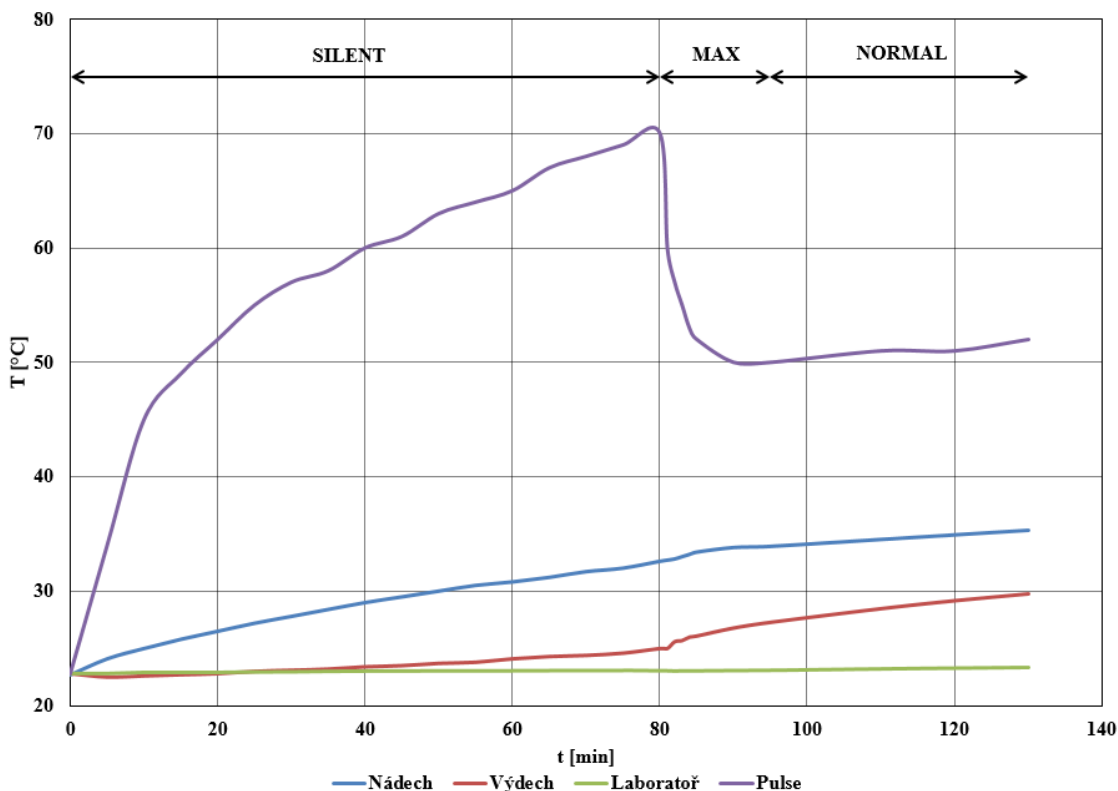
Před samotným sestavením bylo zapotřebí zjistit, jak probíhá chlazení analyzátoru a s tím následně pracovat. Analyzátor je vybaven čtyřmi hlavními chladícími průduchy. Tři z nich nasávají studený vzduch z okolí a jeden, který je z druhé strany analyzátoru, vypouští ohřátý vzduch ven. Na obr. 3.7 je vyfocený snímek pomocí termokamery doplněný o šipky ukazující směr cirkulace vzduchu.



Obr. 3.7 Snímek analyzátoru z termokamery (převzato od pracovníků KET)

Na výsledném prototypu byl proveden test oteplení v laboratoři. K analyzátoru byl připojen tříosý akcelerometr a nastavena FFT a CPB analýza, která představuje běžné podmínky měření. Analyzátor má tři možnosti chodu ventilátoru. První je tichý mód „SILENT“ s vypnutým ventilátorem. Tento mód se používá, když je zapotřebí ticho během měření. Druhý mód „NORMAL“ se používá, pokud při měření nevadí hlučnost ventilátoru. Třetí mód „MAX“ lze zapnout manuálně v případě potřeby rychlého ochlazení analyzátoru před dalším použitím v tichém módu. Nastane-li situace, že se analyzátor začne přehřívat, zapne se tento mód automaticky.

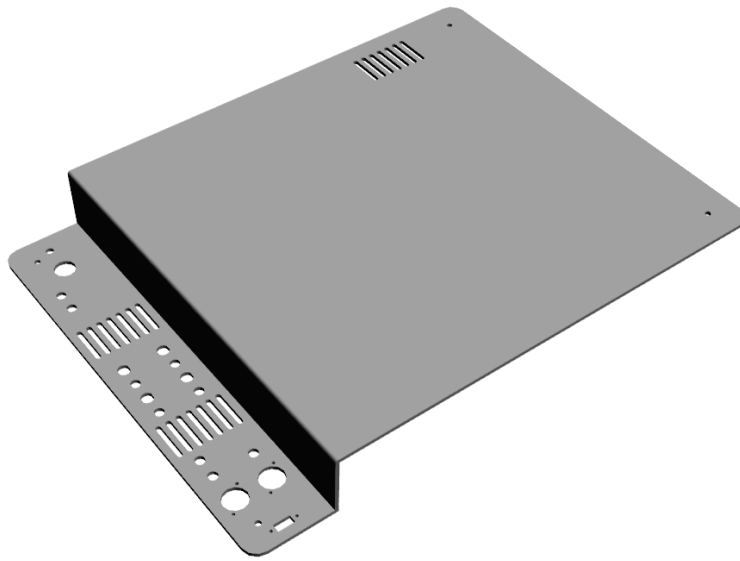
Na obr. 3.8 je graf z měření, které probíhalo 2 hodiny při přivřeném víku. Teplota byla měřena pomocí multifunkčního měřícího zařízení ALMEMO 2390-5. K tomuto zařízení byly připojeny tři termočlánky. První byl umístěn v přední části analyzátoru u nádechů, kde jsou připojené kabely ke konektorům. Druhý u výdechu analyzátoru a poslední mimo kufr k měření teploty v laboratoři, která byla v průběhu měření přibližně 23 °C. Teplotním senzorem je vybaven i samotný analyzátor a teplotu lze odečítat v programu LabShop. V grafu jsou vyznačené naměřené teploty jednotlivých čidel a režim chodu ventilátoru, který byl z počátku nastaven na „SILENT“.



Obr. 3.8 Měření oteplení analyzátoru PULSE v uzavřeném kufru

V příloze 5 je ukázka prostředí programu Labshop Pulse s nastavenou FFT a CPB analýzou. Výsledkem měření jsou jednotlivé křivky představující oteplení v daném místě. Při teplotě 70 °C došlo k automatickému přepnutí módu „SILENT“ na mód „MAX“, aby nedošlo k přehřátí analyzátoru. Po ochlazení na 57 °C se analyzátor automaticky přepnul do režimu „NORMAL“, byl však manuálně přepnut zpět do módu „MAX“, aby došlo k co nejrychlejšímu ochlazení analyzátoru. Průběh fialové křivky Pulse by se nejspíš opakoval do té doby, dokud by v kufru nevzniklo takové teplo, že by se analyzátor nedokázal samostatně ochlazovat.

Navržen byl proto upravený panel s větracími průduchy a byla připravena všechna data pro výrobu z hliníkového plechu, aby byla celá konstrukce robustnější a estetičtější.



Obr. 3.9 Návrh hliníkového panelu s větracími průduchy

V příloze 6 je vyobrazeno jednotlivé rozmístění součástek pod panelem. Analyzátor a akumulátor je shora vypodložen podložkami, aby došlo ke zpevnění celku a nedocházelo k prohybu panelu v pracovní oblasti. Volný prostor vyplňuje kabeláž, hlavně v části pod konektory.

Závěr

Na základě měření v terénu jsem stanovil důležité parametry, podle kterých bylo navrženo mobilní řešení. Velkou část práce tvoří bateriový systém sloužící k napájení všech komponentů mimo dosah elektrické sítě. Pro budoucí použití by bylo vhodné nahradit referenční zdroj napětí pro operační zesilovače, kterým je momentálně Zenerova dioda, integrovaným obvodem například TL431. Ten má lepší teplotní koeficient a je vhodnější k použití v tomto případě. Díky složitosti realizace mobilního pouzdra se stihl vyrobit pouze prototyp panelu z plastu. Byly však zpracovány veškeré poznatky ze stavby prototypu a provedených měření, z čehož vznikl výsledný hliníkový panel, který je navrhnutý a exportovaný v elektronické příloze do různých formátů podporovaných CAD systémy.

Při testování výsledného prototypu mobilního pouzdra byla nejdříve provedena zkouška propojení analyzátoru s PC. To je možné buď pomocí síťového kabelu, nebo přes wifi. Dosah signálu routeru odpovídá běžnému použití v okolí desítek metrů od zdroje. Závěrem měření teploty analyzátoru bylo vytvoření chladících průduchů ve výsledném hliníkovém panelu. Konektory LEMO nejsou izolované a bylo by vhodné je na hliníkovém panelu vypořadit izolační podložkou.

Do takto sestaveného celku lze vložit minimálně čtyři mikrofony nebo akcelerometry v přepravních obalech, čtyři kabely, notebook, myš a případně další drobné příslušenství.

Seznam literatury a informačních zdrojů

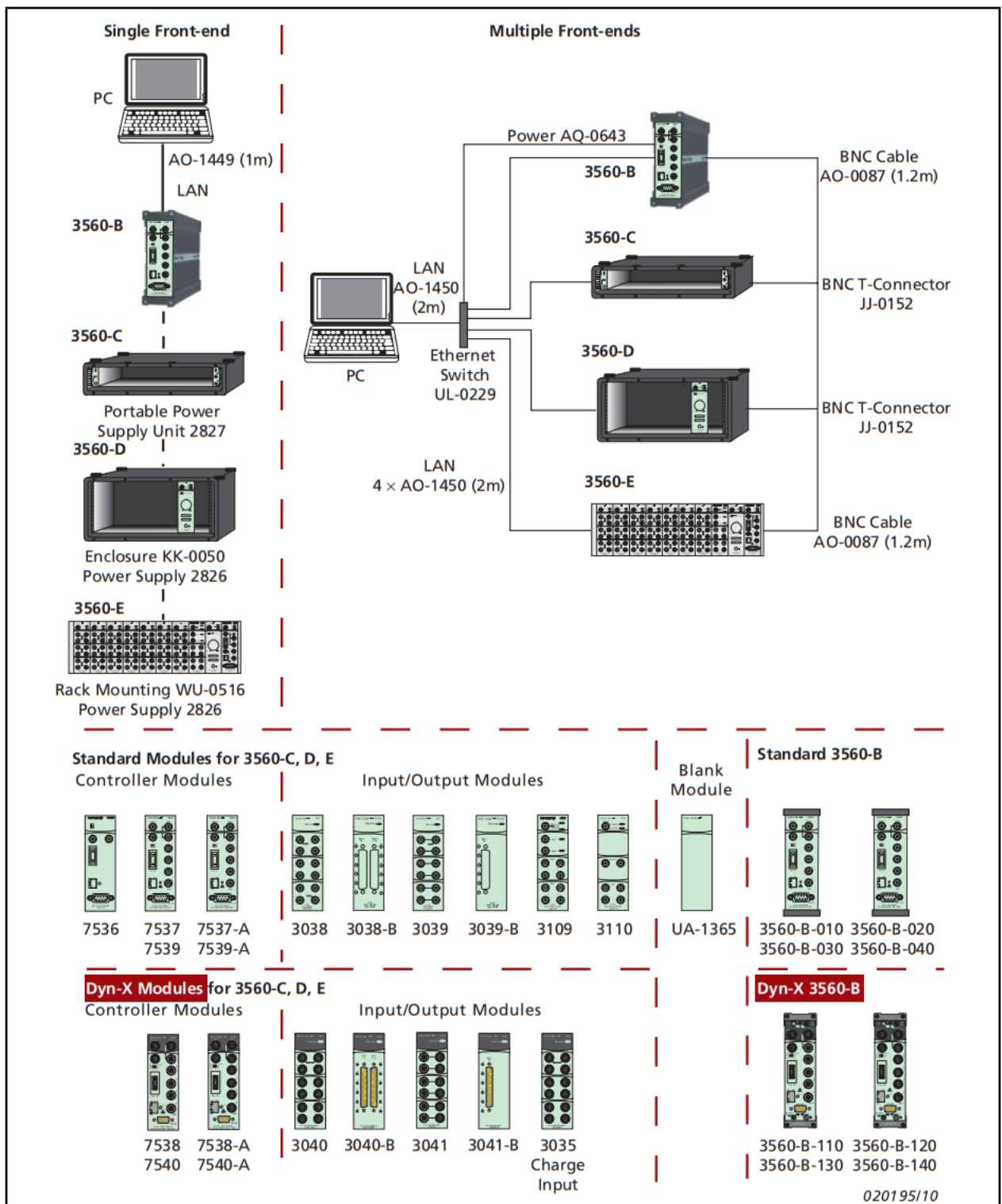
- [1] *Brüel & Kjær* [online]. [vid. 2018-05-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Brüel_%26_Kjær#cite_note-2
- [2] *Hardware Configurations for PULSE — Types 3560-B, 3560-C, 3560-D and 3560-E* [online]. [vid. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/media/doc/bu0228.pdf>
- [3] *Frekvenční analýza* [online]. [vid. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.ekosoftware.cz/frekvencni-analyza>
- [4] PORT, Martin. *Spektrální analýza zvuků v prostorové akustice*. B.m., 2011. b.n.
- [5] FRÁNOVÁ, Lenka. *Tvorba metodických návodů pro akustická měření v akustických laboratořích FEL*. B.m., 2017. b.n.
- [6] *Způsoby upevnění snímačů vibrací - 1.díl* [online]. [vid. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.svmtech.cz/cz/zpusoby-upevneni-snimacu-vibraci-1-dil>
- [7] *Snímače hluku a vibrací* [online]. [vid. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.svmtech.cz/cz/snimace-hluku-a-vibraci>
- [8] VACEK, Vladimír. *Přehled senzorů pro měření vibrací*. B.m., 2012. b.n.
- [9] *Machine Diagnostics Toolbox — Type 9727* [online]. [vid. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/media/doc/bp2197.pdf>
- [10] *Transit case* [online]. [vid. 2017-12-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Transit_case
- [11] *Plastic Hard Cases* [online]. [vid. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.ameripack.com/landing/plastic-hard-cases-hard-cases/>
- [12] *Materiály kufrů* [online]. [vid. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://kufry-march.cz/pouzivane-materialy/>
- [13] *Popis produktu Peli Case* [online]. [vid. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.oehling.cz/peli-case-1770-nahradni-pena-4-dily>
- [14] *Tabulka krytí IP* [online]. [vid. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/krip030918/view>
- [15] *Plastový kufr Pelican Storm Case iM2700* [online]. [vid. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.top-armyshop.cz/wareImages/vodotesny-kufr-pelican-storm-case-im2700-bez-peny-cerny-031667_or.jpg
- [16] *Příslušenství k Flight Case* [online]. [vid. 2017-12-11]. Dostupné z: <https://www.adamhall.com/shop/gb-en/flight-case/>
- [17] *Flight case* [online]. [vid. 2017-12-08]. Dostupné

- z: <https://www.theflightcasecompany.com/fireproof-cable-road-trunk-flight-case-80cm>
- [18] *Skříně Rack* [online]. [vid. 2017-12-15]. Dostupné z: <http://www.linkbasic.eu/cs/skrine-rack-jakou-zvolit-ktere-parametry-jsou-dulezite-na-co-se-zamerit>
- [19] *Rack* [online]. [vid. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rack>
- [20] *Pěnové výplně* [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <http://www.smart-box.cz/penove-fixace-vyplne>
- [21] *Pěna „Pick N Pluck“* [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://ssli.ebayimg.com/images/g/sU0AAOSw10NZwn7V/s-l640.jpg>
- [22] CENEK, Miroslav, Václav HODINÁŘ, Jiří JINDRA, Josef KOZUMPLÍK a Antonín SVOBODA. *Akumulátory a baterie*. 1996.
- [23] HAMMERBAUER, Jiří. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. 1998. ISBN 80-7082-411-5.
- [24] KRATOCHVÍLA, Lukáš. *Systém pro správu Li-ion baterie*. B.m., 2017. Vysoké učení technické v Brně.
- [25] MAREK, Jiří a Lukáš STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. 2004. ISBN 80-86230-34-1.
- [26] *Konstrukce, provoz a údržba akumulátorů* [online]. [vid. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/konstrukce-provoz-a-udrzba-akumulatoru-aneb-prodluzte-zivotnost-vasi-baterie>
- [27] *Olověný akumulátor schéma* [online]. [vid. 2018-05-16]. Dostupné z: https://opentextbc.ca/chemistry/wp-content/uploads/sites/150/2016/05/CNX_Chem_17_05_Lead.jpg
- [28] CROMPTON, T. R. *Battery Reference Book*. 3. vyd. 2000. ISBN 07506 4625 X.
- [29] *Li-ion baterie: principy, provoz, rady* [online]. [vid. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- [30] HRUBEC, Michal. *Nabíjecí technika a nabíjecí algoritmy*. B.m., 2011. b.n.
- [31] *Bezpečné li-ion akumulátory na bázi LiFePO4* [online]. [vid. 2018-05-04]. Dostupné z: <https://www.fotonmag.cz/svitilny/baterie/bezpecne-li-ion-akumulatory-na-bazi-lifepo4/>
- [32] *Li-Polymerový článek* [online]. [vid. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.hdp-power.com/rechargeable-batteries/lithium-polymer>
- [33] *Moderní li-ion 18650 akumulátory* [online]. [vid. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.ledmania.cz/moderni-li-ion-18650-akumulatory/>

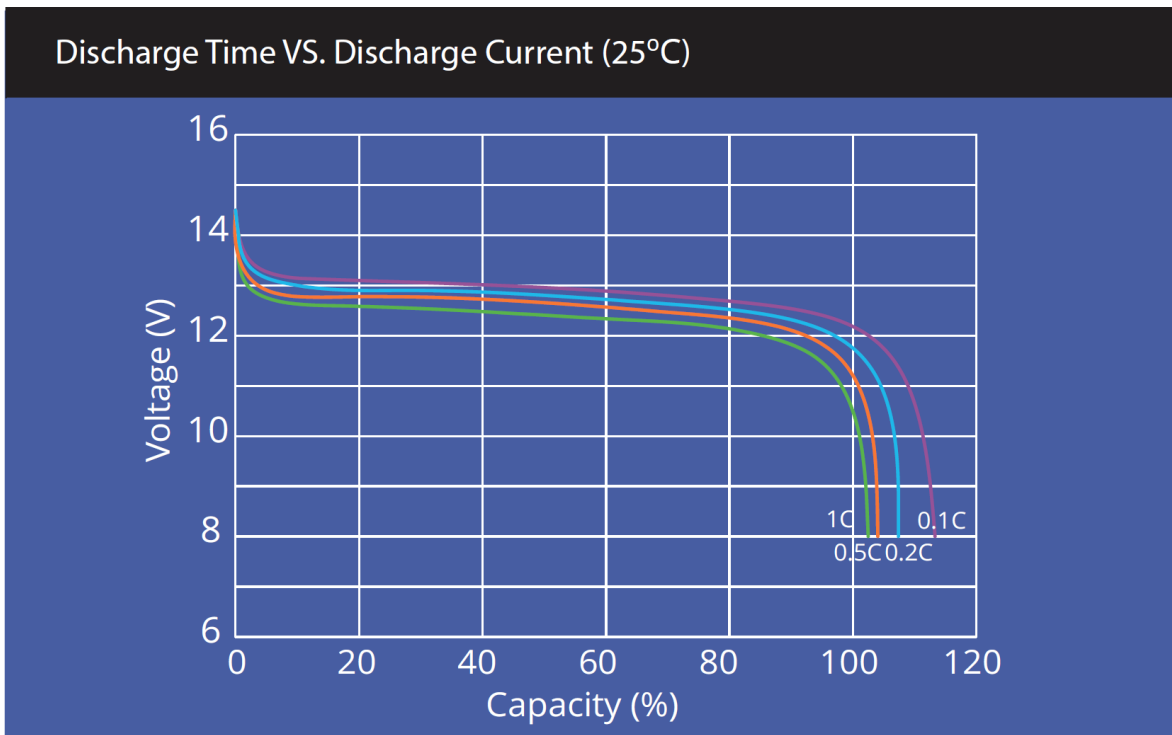
- [34] *Volné sestavy* [online]. [vid. 2018-06-06]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/baterie-sestavene-z-hermetickych-akumulatoru-nejcastejsi-zapojeni/viceclankove-nicd-a-nimh-baterie/volne-sestavy>
- [35] SEJKORA, Petr. *Obvody zajišťující správné nabíjení a vybíjení akumulátorů LiFePo4*. B.m., 2013. b.n.
- [36] *Li-ion vs. LiFePO4 aneb proč vyrábíme Li-ion baterie* [online]. [vid. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.e-pohon.cz/e-pohon/13-Proc-vyrabime-Li-ion-baterie>
- [37] BARTOŠEK, Martin. *Li-ion trakční akumulátor 28V/40Ah pro elektrokolo*. B.m., 2016. b.n.
- [38] *PBQ LF 30-12 Datasheet* [online]. [vid. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://shop.battex.cz/pdf/PBQLF30-12.pdf>
- [39] *MikroTik RB951Ui-2nD* [online]. [vid. 2018-06-07]. Dostupné z: <https://www.mimovrste.com/i/39998336/1000/1000>

Přílohy

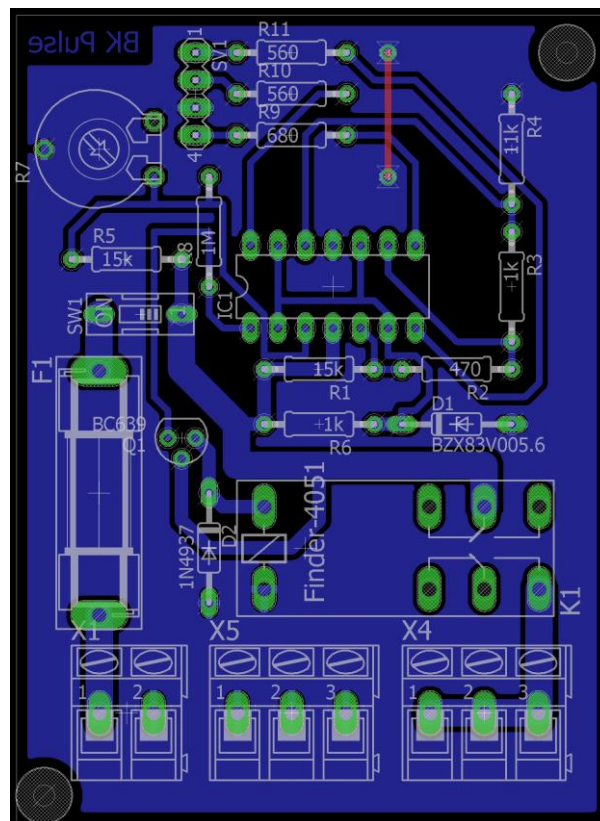
Příloha 1 – Struktura systému Pulse (převzato z [2])



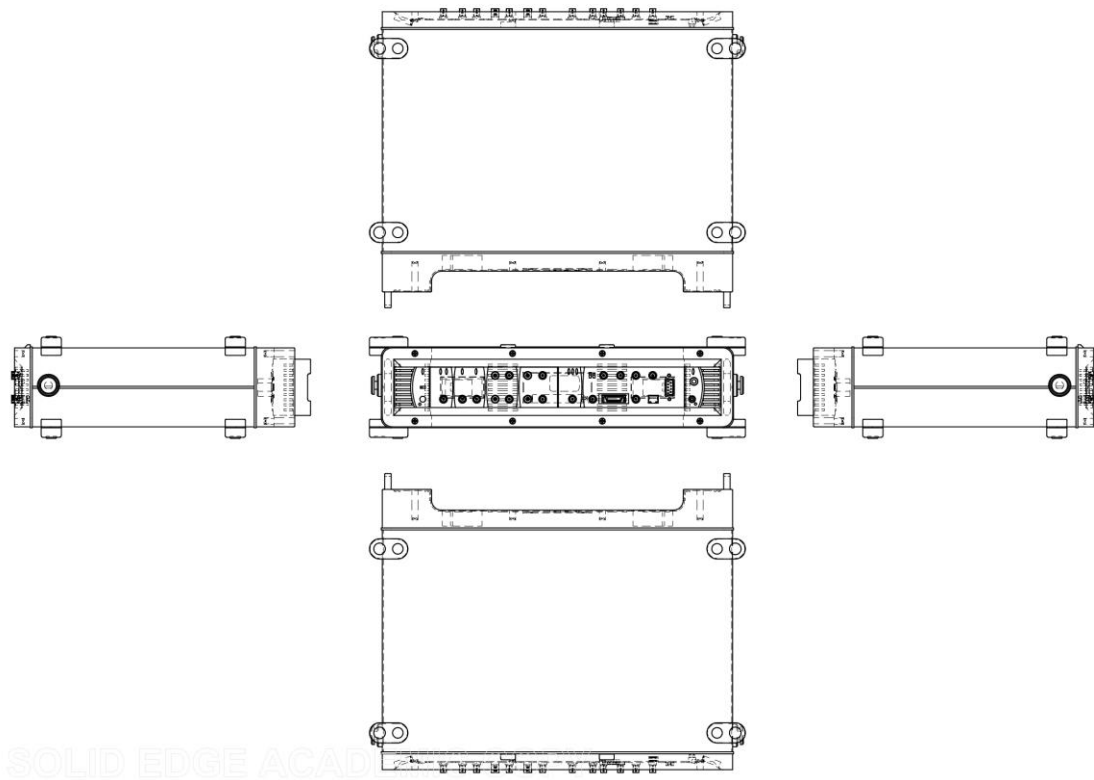
Příloha 2 – Vybíjecí charakteristika akumulátoru PBQ LF 30-12 (převzato z [38])



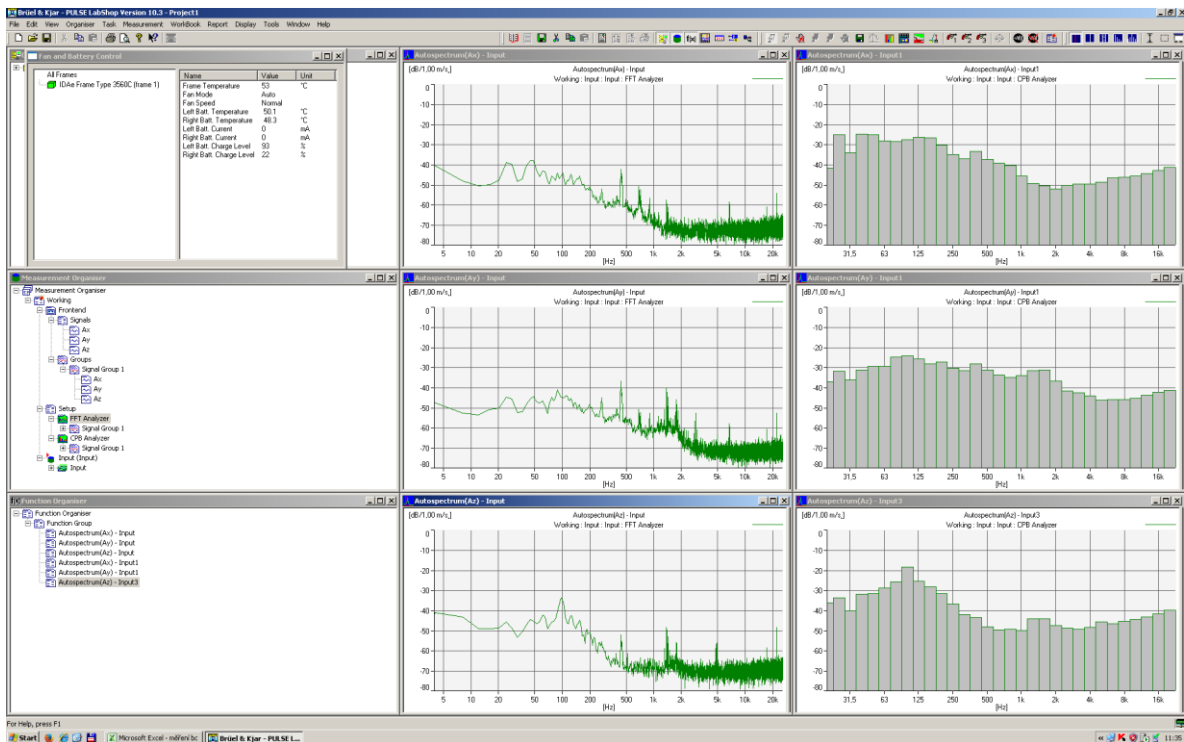
Příloha 3 – Plošný spoj s osazovacím plánem



Příloha 4 – Nákres analyzátoru PULSE



Příloha 5 – Ukázka prostředí programu Labshop Pulse - FFT a CPB analýza



Příloha 6 – Rozvržení součástek v kufru

