

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Zuzana Almášyová

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatik
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství**

**Využití alternativních zdrojů energie pro
napájení biotelemetrických čidel**

**Using Alternative Energy Sources to Power the
Biotelemetry Sensors**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zuzana Almášyová**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství
Téma: **Využití alternativních zdrojů energie pro napájení biotelemetrických čidel**
Using Alternative Energy Sources to Power the Biotelemetry Sensors
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou alternativních zdrojů energie pro napájení biotelemetrických čidel.
2. Seznámení se s problematikou měření a přenosu dat z mobilních zařízení.
3. Seznámení se s problematikou Bluetooth Low Energy (Bluetooth Smart).
4. Návrh měření a vizualizace bezbateriových zdrojů pro napájení senzorů.
5. Experimentální ověření navrženého řešení.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] SPIES, Peter. *Handbook of energy harvesting power supplies and applications*. Singapore London: Pan Stanford Eurospan distributor, 2011. ISBN 978-9814241861.
- [2] LAI, D.T., R. BEGG a M. PALANISWAMI. *Healthcare sensor networks : challenges toward practical implementation*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2012. 448 s. ISBN 978-1439821817.
- [3] DARGIE, Walteneus a Christian POELLABAUER. *Fundamentals of wireless sensor networks theory and practice*. Chichester, West Sussex, U.K. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. 311 s. ISBN 978-0470997659.

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


Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Jirí Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Datum: 28. 4. 2017 v Ostravě

Podpis: *Zuzana Almajová*

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Valovi za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky při zpracování a tvorbě diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu při studiu.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá jednou z možností využití alternativních zdrojů energie pro napájení biotelemetrických čidel a to s malým příkonem. K získání energie pro napájení cílového zařízení bylo využito z dostupných obnovitelných zdrojů právě fotovoltaického jevu. Prakticky je využito technologie „Energy Harvesting“ neboli „sklizení energie“. V práci byl sestaven měřící řetězec, na jehož začátku dochází k měření a vyhodnocování hodnot napětí a proudu, hodnoty jsou přes I²C rozhraní zasílány do kontroléru, ze kterého jsou již zpracovaná data bezdrátově posílána do mobilního zařízení. Mobilní zařízení koncentruje a ukládá dat buď do paměti, nebo do databáze. Další část práce se zabývá experimentálním ověřením „Energy Harvesting“ systému s využitím Peltierova jevu. Nejprve v kalibrační vaně, kdy docházelo k ohřevu vody a na základě různých teplotních diferencí mezi chladnou a teplou stranou Peltierova článku docházelo ke vzniku napětí. Vytvořený prototyp obsahující Peltierův článek byl experimentálně ověřen také na lidské kůži, přesněji na zádech a to jak v klidovém režimu, tak při zátěži. V poslední řadě bylo měření zařízení experimentálně testováno i na dvou psech.

Klíčová slova

Alternativní zdroje energie, sklizeň energie, solární energie, BQ25570, INA230, CC2640, Peltierův článek

Abstract

Diploma thesis deals with possibility of using alternative source of energy to power low consumption biotelemetric sensors. To obtain energy for powering desired device was used photovoltaic phenomenon as a most suitable type of alternative source of energy. Practically is used technology of „Energy Harvesting“. At the beginning of the measuring chain voltage and current values are measured and evaluated, in the next step measured values are sent via the I2C interface to the controller, from which the already processed data is wirelessly sent to the mobile device. Mobile device concentrates and stores data to the memory or to the database. In the second part of the thesis is experimentally verified „Energy Harvesting“ by using the Peltier's phenomenon. First, heated water in the calibration bath was used to make thermal gradient between warm and cold side of Peltier module, which led to the generation of voltage. In the next step the created prototype containing the Peltier module was experimentally verified also on human skin, specifically on backs. Finally, the device was experimentally tested on two dogs.

Key Words

Alternative Sources, Energy Harvesting, Solar Energy, BQ25570, INA230, CC2640, Peltier cell

Obsah

1. ÚVOD	12
2. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE	14
2.1. Systémy energy harvesting kolem člověka	15
2.1.1. Fotovoltaika.....	15
2.1.2. Peltierův termoelektrický článek.....	18
2.1.3. Piezoelektrické senzory.....	19
2.1.4. Výroba elektřiny z chůze.....	20
2.1.5. Nabíjecí boty	21
2.1.6. Elektrárna v batohu	23
3. MĚŘENÍ A PŘENOS DAT	24
3.1. Měření malých napětí a proudů.....	24
3.1.1. Stálé zdroje napětí	24
3.1.2. Proudové měřicí obvody	25
3.1.3. Odporový okruh	26
3.1.4. Transimpedanční zesilovač	27
3.2. Měření pozice – Inerciální snímače.....	28
3.2.1. Akcelerometry	29
3.2.2. Gyroskopy	29
3.2.3. Magnetometry	31
3.3. Globální měření pozice	32
3.3.1. Global Positioning System – (GPS).....	32
3.3.2. Galileo	34
3.3.3. Kinematika v reálném čase (RTK).....	34
4. KOMUNIKAČNÍ STANDARD BLUETOOTH	36
4.1. Standardní specifikace Bluetooth.....	37
4.2. Bluetooth Low energy (BLE).....	37
4.2.1. Specifikace BLE.....	38
4.3. GATT „Generic Attribute Profile“	39
4.3.1. GATT konfigurace	39
4.3.2. GATT funkce a profily.....	40
5. NÁVRH ŘEŠENÍ	43

5.1.	A/D převodník INA230.....	44
5.1.1.	Režimy a registry A/D převodníku INA230	45
5.1.2.	Komunikace INA230 přes I ² C	48
5.2.	DC/DC měnič BQ25570	48
5.2.1.	Tok energie.....	49
5.2.2.	Použité vzorce	50
5.3.	Měření výkonových charakteristik solárního článku	52
5.3.1.	Měření v laboratorním prostředí	52
5.3.2.	Měření v terénním prostředí	54
6.	REALIZACE SOFTWARE ČÁSTI	55
6.1.	Měření VA charakteristiky	56
6.2.	Využití operačního systému reálného času	57
6.2.1.	Úlohy v RTOS.....	58
6.2.2.	Režim spánku	59
6.2.3.	Zprávy mezi procesy	59
6.3.	Struktura programu	60
6.4.	Databáze	62
7.	MĚŘENÍ SYSTÉMU ENERGY HARVESTING S PELTIEROVÝM ČLÁNKEM	64
7.1.	Mechanická konstrukce.....	64
7.2.	Měření ve vodní lázni.....	65
7.3.	Terénní měření	67
7.3.1.	Měření Peltierových článků na lidské kůži	67
7.3.2.	Měření Peltierových článků na psech.....	68
8.	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	70
8.1.	Statistické údaje z měření EH s Peltierovými články.....	73
9.	ZÁVĚR	74
	Literatura.....	76
	Přílohy	80

Seznam použitých zkratk a symbolů

%	Procento
A/D převodník	Analogový/digitální převodník
AES	Advanced Encryption Standard
aj.	A jiné
apod.	A podobně
BLE	Bluetooth Low Energy
DC	Stejnosměrný proud
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
EH	Energy Harvesting
FET	Field-Effect Transistors
FIFO	First In, First Out,
GAP	Generic Access Profile
GATT	Generic Attribute Protocol
GPS	Global Positioning System
GΩ	Gigaohm
JRT	Jack Russell Terrier – psí rasa
kg	Kilogram
LSB	Least Significant Bit
m ²	Metr čtvereční
mA	Miliampér
Mbit/s	Mega bit za sekundu
mm	Milimetr
MSB	Most Significant Bit
mV	Milivolt
MW	Megawatt

MΩ	Megaohm
např.	Například
NiCd	Nikl-kadmium
pA	Pikoampér
Rth	Teplotní odpor
RTK	Real time kinematic
RTOS	Real-time operating system
SAR	Search and Rescue
SCL	Synchronous Data
SDA	Synchronous Clock
TI	Texas Instruments
tj.	To je
tzv.	Takzvaný
UUID	Universal Unique Identifier
V	Volt
W	Watt
We	Výstupní práce
W/mK	Watt metr na Kelvin
μA	Mikroampér
μm	Mikrometr
μW	Mikro Watt

Seznam ilustrací

Obrázek 1: Graficky znázorněné ztráty ve struktuře fotovoltaického článku. [9]	16
Obrázek 2: Postupné sestavení fotovoltaického pole.[10]	17
Obrázek 3: Složení Peltierova článku.[12]	18
Obrázek 4: Schéma piezoelektrického senzoru [13].....	19
Obrázek 5: Sensory umístěné na těsném obleku. [14].....	20
Obrázek 6: Prototyp Biomechanical Energy Harvester [17]	21
Obrázek 7: Prototyp nabíjecí boty. [15].....	22
Obrázek 8: Schematicky naznačená elektrárna v batohu. [18]	23
Obrázek 9: a) ideální zdroj, b) polovodičový zdroj, c) odporový zdroj[21]	25
Obrázek 10: a)odporová, b) transimpedanční, c) integrátor [21].....	25
Obrázek 11: a) modifikovaný odporový, b) modifikovaný transimpedanční zesilovač. [21].	26
Obrázek 12: Popis znázorněného gyroskopu. [25]	30
Obrázek 13: Ukázka precesního a nutačního pohybu, vzhledem k ose rotace. [25].....	30
Obrázek 14: Ukázka magnetometru. [27].....	31
Obrázek 15: Síť satelitů zajišťující GPS. [30]	32
Obrázek 16: Komponenty umožňující komunikaci přes Bluetooth [35]	36
Obrázek 17: Charakteristika GATT profilu	41
Obrázek 18: Sestavený měřicí řetězec. (vlastní).....	43
Obrázek 19: Návrh obvodu s A/D převodníkem INA230 (vlastní)	45
Obrázek 20: Vytvořená deska s A/D převodníkem INA230.	45
Obrázek 21: Blokové schéma mikrokontroléru INA. [38].....	47
Obrázek 22: Blokové schéma čipu BQ25570. [40]	49
Obrázek 23: Realizovaný obvod s čipem BQ25570.	49
Obrázek 24: Znázornění vybíjení superkapacitoru na osciloskopu.	51
Obrázek 25: Simulace spotřeby senzoru u obvodu BQ25570.	52
Obrázek 26: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku pod laboratorní lampou.	53
Obrázek 27: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku bez laboratorní lampy.....	53
Obrázek 28: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku na přímém slunci.....	54
Obrázek 29: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku ve stínu.	54
Obrázek 30: Struktura zařízení CC2650. [41 upraveno].....	55
Obrázek 31: Vývojový diagram měření VA charakteristiky. (vlastní).....	56
Obrázek 32: RTOS provedení v blocích [41]	57
Obrázek 33: Způsob zasílání zpráv do fronty [41]	59
Obrázek 34: Vývojový diagram měřicího řetězce. (vlastní)	60
Obrázek 35: Relační model databáze. (vlastní).	62
Obrázek 36: Pohled do struktury tabulky měření.	63
Obrázek 37: Pohled do struktury tabulky experiment..	63
Obrázek 38: Pohled do struktury tabulky operátor..	63
Obrázek 39: Pohled do struktury tabulky teploty	63
Obrázek 40: Pohled do struktury tabulky osvit.....	63
Obrázek 41: Pohled do struktury tabulky generátor.	63

Obrázek 42: Schematicky znázorněné měření s Peltierovým článkem. (vlastní)	64
Obrázek 43: Nákres vybraného Peltierova článku a chladiče.....	65
Obrázek 44: Mechanická konstrukce (vlastní).	65
Obrázek 45: Měření Peltierových článků pomocí kalibrační vany, snímek termokamerou. ..	66
Obrázek 46: Graf výkonových charakteristik měření v kalibrační vaně.....	66
Obrázek 47: Upravená sportovní podprsenka pro udržení mechanické konstrukce.	67
Obrázek 48: Snímek termokamerou u měřené osoby.	68
Obrázek 49: Snímek termokamerou měřeného psa.	68
Obrázek 50: Snímek termokamerou měřené fený.....	69
Obrázek 51: Náhradní schéma EH měření s Peltierovým článkem. (vlastní).....	70
Obrázek 52: Graf výkonových charakteristik u kategorie (0 – 11 let).....	71
Obrázek 53: Graf výkonových charakteristik u kategorie (11 - 30 let)	71
Obrázek 54: Graf výkonových charakteristik u kategorie (30 – 50 let).....	71
Obrázek 55: Graf výkonových charakteristik u kategorie (50 – 79 let).....	72
Obrázek 56: Graf výkonových charakteristik u osob po fyzické zátěži.....	72
Obrázek 57: Graf výkonové charakteristiky měřených psů.....	72

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty odporu pro získání měření napětí 50mV [21].....	27
Tabulka 2: Hodnoty rezistorů jmenovitých vstupních proudů $V_{OUT} = 1V$. [21]	28
Tabulka 3: Naměřené hodnoty solárních článků v laboratorním prostředí.....	53
Tabulka 4: Naměřené hodnoty solárního článku v terénním prostředí.	54
Tabulka 5: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (0 – 11 let).....	73
Tabulka 6: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (11 – 30 let).....	73
Tabulka 7: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (30 - 50 let)	73
Tabulka 8: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (50 - 79 let)	73

1. Úvod

Diplomová práce se zabývá využitím alternativních zdrojů energie pro napájení biotelemetrických čidel. Využití alternativních zdrojů energie je v současnosti velice diskutovaným tématem, neboť se jedná o populární trend dnešní uspěchané doby. Tato technologie není v oblasti biotelemetrických čidel v současné době příliš rozvinutá, ale je zřejmé, že díky jejím výhodám a zvyšující se účinnosti lze předpokládat její značné rozšíření již v blízké budoucnosti. Mezi největší výhody alternativních zdrojů patří šetrnost k životnímu prostředí, protože nejsou závislé na chemických zdrojích. Další výhodou je absence napájecích kabelů, a také jsou téměř nevyčerpatelné. Pokud dojde k jejich vyčerpání, dokáží se během krátkého časového intervalu znovu obnovit. Největší část obnovitelných zdrojů vzniká činností Slunce, která se na Zemi projevuje formou dopadajícího slunečního záření. Obecně se sluneční energie zařazuje do skupiny obnovitelných zdrojů, které mají nevyčerpatelný potenciál, i když i činnost Slunce jednou ve vzdálené budoucnosti ustane.

Proces „Energy Harvesting“, který je v práci popsán je vhodný zejména tam, kde je potřeba dlouhodobého autonomního provozu senzoru bez údržby. Jedná se o proces, kterým je získána a následně uložena energie, kterou je možno v době bez možnosti napájení využít.

V teoretické části diplomové práce je podrobně rozebrána problematika alternativních zdrojů energie a popsány jednotlivé druhy. Následně je popsán již zmíněný proces „Energy Harvesting“ neboli „sklizení energie“ a systémy „Energy Harvesting“ kolem člověka. Jsou zde popsány již vytvořené aplikace, jejichž základem je právě zmíněná technologie. Následně navazuje vysvětlení problematiky Peltierových článků, které jsou součástí experimentálního měření v praktické části. V poslední kapitole teoretické části je popsána problematika bezdrátové technologie přesněji problematika Bluetooth Low Energy.

V praktické části diplomové práce jsou provedeny realizace měniče pro napájení biotelemetrických senzorů a realizace A/D převodníku. Byl proveden průzkum trhu a z dostupných čipů pro výrobu měniče byl vybrán čip s označením BQ25570 jehož výhodou je nízké vstupní napětí, díky kterému je obvod schopný při aplikaci se solárními články začít pracovat i při malém osvětlení. Jako nejvhodnější A/D převodník pro účely diplomové práce byl vybrán A/D převodník INA230, který je ideální pro měření napětí a proudu, má I²C rozhraní. Oba čipy byly vybrány s ohledem na podmínky, které musely splňovat. Následně byly změřeny výkonové charakteristiky solárních článků a to nejprve v laboratorním prostředí a následně v terénu.

Po praktickém vytvoření obou obvodů na desce plošného spoje byly oba vytvořené obvody připojeny k vývojovému kitu od společnosti Texas Instruments SmartRF06 + CC2650EM - 7ID a byl sestaven měřicí řetězec. Na jehož začátku byl „Energy Harvesting“ systém a to buď fotovoltaický článek, nebo Peltierův článek. Principem měření bylo vyhodnocování hodnot napětí a proudu, které jsou přes I²C rozhraní posílány do kontroléru, kde dochází ke zpracování dat. Kontrolér se také stará o bezdrátový přenos dat do mobilního zařízení. Mobilní zařízení koncentruje a ukládá data a to buď do paměti, nebo přes internet online do databáze. Vizualizace je realizována nad databází. Vytvořené zařízení je primárně navrženo pro solární články, při využití jiných „Energy Harvesting“ systémů je nutné upravit měřicí obsah vstupů.

Poslední část diplomové práce se zabývá měřením systému „Energy Harvesting“ s Peltierovými články. Nejprve byla vytvořena mechanická konstrukce obsahující Peltierův článek a následně upravena sportovní podprsenka, tak aby udržela mechanickou konstrukci v kolmé poloze na lidském těle. Měření probíhalo na zádech měřených subjektů a výsledná data byla analyzována pomocí statistických metod.

2. Obnovitelné zdroje energie

Označení obnovitelné zdroje energie, nebo také „Alternativní zdroje energie“ je pojmenování vybraných forem energie, které se vyskytují na Zemi. Jsou získány primárně zvláště z jaderných přeměn v nitru Slunce. Mezi další zdroje se řadí teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země – Měsíc. Obnovitelné zdroje jsou čerpány např. ze slunečního záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a dalších. V legislativě jsou obnovitelné zdroje definovány podle Českého zákona o obnovitelných zdrojích: „*Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.*“ [1]

Obnovitelné zdroje energie vytváří v celosvětovém měřítku značný ekologický potenciál. Mohlo by se jej dát využít k pokrytí současné celosvětové spotřeby energie. Jejich využívání je ovšem ovlivněno několika faktory. Jsou jimi proměnlivá intenzita v průběhu dne i roku, velké investiční náklady, nestejně rozložené územní rozložení, malá plošná koncentrace. K posouzení energetického potenciálu u obnovitelných zdrojů používá instalovaný výkon (značený P_i) zařízení, které je určeno k transformaci energie. Dále jsou k dispozici druhotné zdroje energie. Ty vznikají v důsledku spotřeby paliv a energie v technologických procesech. Jedná se o chemické, tlakové a tepelné zdroje energie. Nejvíce perspektivní jsou tepelné zdroje energie, tlakové zdroje energie se používají jen zřídka a chemické zdroje energie závisí na místě výskytu a množství. [2]

Dá se konstatovat, že obnovitelné zdroje energie na rozdíl od neobnovitelných zdrojů nelze vyčerpat. Pokud dojde k jejich vyčerpání, mají schopnost se během krátkého časového intervalu za pomoci přírodních procesů znovu obnovit. [3]

V praxi jsou nejčastěji využívány následující druhy obnovitelných zdrojů:

- **Solární energie** – Je zařazena jako základní obnovitelný zdroj, neboť velké množství obnovitelných zdrojů má svůj původ právě ze sluneční energie. K přeměně solární energie na teplo nebo elektřinu dochází za pomoci fotovoltaických a termických konektorů.
- **Větrná energie** – K jejímu vzniku dochází při nerovnoměrném ohřívání Země, přičemž dochází k rozdílným tlakům v atmosféře a to má za následek vyrovnávání proudění vzduchu. Při výrobě větrné energie je nejdůležitějším faktorem rychlost větru. V místě rekonstrukce větrné elektrárny, by mělo v průměru docházet k rychlosti větru přibližně 5 m/s.
- **Vodní energie** – Ve vodních elektrárnách vzniká vodní energie za pomoci potřebného proudění vody a tlaku, nebo kombinace zmíněných veličin. Ve většině případů se jedná o sezonní zdroje. Jednou z hlavních výhod vodních elektráren je šetrnost k ovzduší, neznečišťují je a jsou bezodpadové.
- **Energie biomasy** – Pod pojmem biomasa je zařazena hmota živočišného a rostlinného původu. Původ její energie je ze slunečního záření. Nejčastěji jde o dřevo a jeho odpad, slámu, exkrementy.[4][5]

2.1. Systémy energy harvesting kolem člověka

Systémy energy harvesting, neboli „laicky“ řečeno systémy sklizně energie zajišťují proces, jež je řízen samostatně a umožňuje zachycovat a ukládat energii. Jedná se o způsob využívání energie, která je získána z okolního prostředí pro drobná elektronická či elektrická autonomní zařízení. V současnosti není technologie ještě plně vyspělá, jejím cílem do budoucna je nahrazení mobilních napájecích zdrojů, technologie má velký potenciál do budoucna a to díky své obnovitelnosti, šetrnosti k životnímu prostředí a snadné údržbě. Systémy energy harvesting jsou využívány v aplikacích při sledování nepřítelů, ve zdravotnictví se využívají při home care (dohled a sledování na velkou vzdálenost). V oboru biomedicínského inženýrství je technologie vhodná tam, kde je možnost napájení senzorů pohybem.

Velký důraz je kladen na výkon a účinnost, ta musí být co nejvyšší, proto musí být spotřeba energie v těchto případech řízená. Velký důraz musí být také kladen na výkyvy proudu, napětí a přepětí, aby se zamezilo vzniku nepříjemných a nečekaných situací. Energie musí být akumulována a následně uchována a to po co nejdelší možnou dobu.[6][7]

2.1.1. Fotovoltaika

Jednou z nejdůležitějších věcí na Zemi je energie, většina činností je podmíněna působením energie z jedné formy do druhé (pohyb, vývoj). Na rozdíl od kovů, či vody se energie nedá zcela recyklovat. K funkčnosti systému je zapotřebí stálý přísun energie.

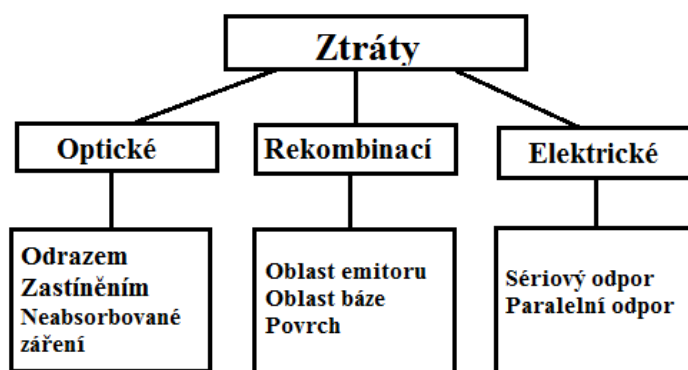
Fotovoltaické systémy umožňují bez mechanických součástí přeměnu energie ze slunečního záření na elektrickou energii. Základem fotovoltaického systému je fotovoltaický článek, mezi sebou je několik fotovoltaických článků propojeno do modulů, další částí systému jsou konstrukce pro upevnění modulu, následně musí být systém opatřen zařízením pro uskladňování vzniklé elektrické energie, pomocí měničů střídavého proudu je zajištěna přeměna na stejnosměrný proud a nakonec zapojení do rozvodné sítě.

Fotovoltaický článek je polovodičový prvek o velké ploše, na němž vzniká při dopadu slunečního záření (energie proudu fotonů) fotovoltaické napětí. Je to vlastně velkoplošná dioda a jeho funkce je způsobena vytvořením pn - přechodu v tenkém plátu křemíku, který je z každé strany opatřen vhodnými kovovými kontakty. K přeměně energií jsou zpravidla potřeba jen dvě základní části: volné elektrony a elektrický potenciál (el pole), který volné elektrony rozkmitá a uvede do pohybu. Dochází k předání energie dopadajících fotonů, intenzita záření klesá v závislosti na vzdálenosti od povrchu. Pokud v průběhu děje dochází k absorpci fotonů kmitou mřížky nebo volnými elektrony, tak to má za následek zvýšení teploty a zvyšování střední kinetické energie částic. Pod pojmem absorpce fotonu si lze představit předání energie částicím materiálu. V polovodičovém krystalu pouto mezi atomy zajišťují elektrony z obalu atomu, ty spolu s elektrony dalších atomů vytváří pevnou vazbu. Musí být využito velké energie k uvolnění elektronu z vazby. Při uvolnění elektronu zůstane po jeho působení díra, která je neosazená sousední elektrony vázané v kovalentní vazbě do ní mohou přeskochit. Pokud dojde k absorbování fotonu s větší energií než šířka zakázaného pásu, pak se nadbytečná energie

vzájemným působením s mřížkou přemění na teplo. Pokud se volný elektron vrátí zpět do neobsazené díry, jedná se o rekombinaci elektronu a díry. Velikost proudu procházejícího elektrickým obvodem je závislá na intenzitě záření, na účinnosti článku a na ploše článku. V závislosti na energii fotonů je spjata hloubka vniku světla, při nárůstu energie hloubka vniku klesá. Účinnost článku zajišťuje vzdálenost p-n přechodu (elektron – díra), čím jsou k sobě blíže, tím je účinnost lepší. Nejlepší situace nastává, když je p-n přechod realizován v těsné blízkosti povrchu, na který dopadá světlo.

Fotovoltaické články se rozdělují do 4 generací. V první generaci jsou zahrnuty fotovoltaické články, jež jsou vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, a je v nich vytvořen velkoplošný p-n přechod. Jedná se o nejvyužívanější typ fotovoltaického článku především u velkých instalací, vyznačuje se stabilitou výkonu a dobrou účinností. Druhá generace má na rozdíl od první snahu snížit množství potřebného křemíku, čímž dochází ke snížení ceny výroby. K nejčastějším článkům druhé generace se řadí polykrystalické, mikrokrystalické či amorfni články křemíku. Mají však nižší stabilitu výkonu a menší účinnost, proto dochází k používání jiných materiálů než křemíku. Nejčastější uplatnění se nachází tam, kde je potřeba pružnosti a ohebnosti. Do třetí generace se řadí fotogalvanické články a polymerní články, u jichž se k oddělení nábojů používají jiné techniky než p-n přechod. K výhodám patří možnost ovlivňovat optické a elektrické vlastnosti. Do poslední čtvrté generace jsou řazeny fotovoltaické články, které jsou schopné efektivně využívat širokou část slunečního spektra.

Ztráty vznikají, protože se část dopadajícího záření odrazí a další část povrchu je zastíněna mřížkou sběrnice kontaktu katody. Určitá část záření, které dopadá, se neabsorbuje. Z generovaných nosičů část zrekombinuje před dosažením oblasti přechodu. K dalším ztrátám dochází na odporu sběrnic a na odporu jednotlivých vrstev struktury, při průchodu proudu. Aby bylo dosaženo, co nejvyšší účinnosti článku je konstrukce optimalizovaná z hlediska celkových ztrát tj. vzdálenost kontaktů sběrnice, čistota materiálu, způsob metalizace, tloušťka a rezistivita jednotlivých vrstev aj.



Obrázek 1: Graficky znázorněné ztráty ve struktuře fotovoltaického článku. [9]

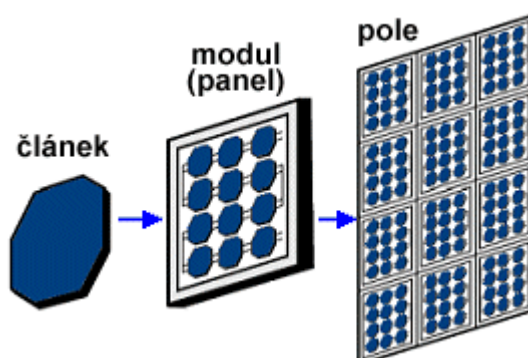
Konstrukce fotovoltaického článku je závislá na vlastnostech materiálu. Pokud je fotovoltaický článek sestaven přímou pásovou strukturou, docílí se rychlého růstu absorpčního koeficientu s energií, tloušťka materiálu musí být v jednotkách μm . Pokud je fotovoltaický článek sestaven nepřímou pásovou

strukturou, docílí se postupného růstu absorpčního koeficientu s energií, tloušťka materiálu musí být ve stovkách μm . [8][9]

Druhy fotovoltaických článků:

Do skupiny nejvíce nákladných panelů jsou zařazeny panely monokrystalické, a to protože jsou opatřeny jedním dokonalým krystalem křemíku, ten je rozložen na tenké vrstvy. Nejvíce propagované panely C-Si pracují s maximální účinností 22,9%, v praxi je převážně dostupná účinnost panelu v rozmezí 14 – 17 %. Levnější variantou jsou polykrystalické panely. Ty jsou složeny z početnějšího množství menších krystalů, složení zhoršuje elektrické a optické vlastnosti. Účinnost dosahuje 15,5 %, v praxi 10- 14%. [1]

Fotovoltaické pole, na které dopadá sluneční záření dodává stejnosměrný elektrický proud úměrný ozáření. Kolísání svitu slunečního záření se projevuje ve změně výkonu. Systémy nevytvářejí energii při dešti a v noci. Pokud je nutnost mít elektrickou energii k dispozici i v době nepříznivých slunečních podmínek, je potřeba vyrobenou energii při příznivých slunečních podmínkách akumulovat a ukládat do zásoby na dobu, kdy to nebudou sluneční podmínky dovolovat. [9]



Obrázek 2: Postupné sestavení fotovoltaického pole.[10]

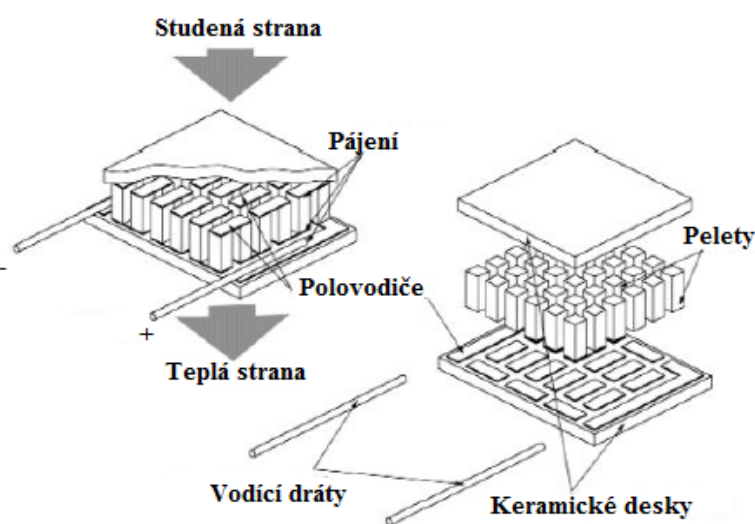
Autonomní fotovoltaické systémy jsou složeny z pole fotovoltaických modulů a akumulátoru energie, jsou zdrojem elektrické energie nezávislé na rozvodové síti. Nejvíce jsou rozšířené olovené baterie.

Fotovoltaické články, moduly a pole mají v současnosti široké využití. Využívají se ve foto buňkách, světelných závorách, na některých dálnicích v telefonních buňkách na zavolání pomoci v nebezpečí, na radarech o přehledu rychlosti vozidla apod. [9]

2.1.2. Peltierův termoelektrický článek

Termoelektrické generátory jsou všechna polovodičová zařízení, které převádí teplo na elektrickou energii. Na rozdíl od tradičních dynamických tepelných motorů neobsahují pohyblivé díly. Při srovnání s velkými motory mají termoelektrické generátory nižší účinnost, ta je ale pro malé aplikace dostačující, navíc velké dynamické systémy jsou drahé a špatně vyrobitelné pro malé aplikace. K velkým výhodám termoelektrických článků patří jejich jednoduchost, cenová dostupnost a kompatibilita. Termoelektrický článek sklízí tělesné teplo pro napájení náramkových hodinek.

Termoelektrický článek provádí stejnou práci jako tepelné čerpadlo, které na jedné (chladné) straně teplo odbírá a na druhé (teplé) straně teplo poskytuje. Napětí, které se na článku vytváří, je závislé na rozdílu teplot a dosahuje malých hodnot, jsou to desetiny, až jednotky V. Článek se vyznačuje malým vstupním odporem. [11]



Obrázek 3: Složení Peltierova článku.[12]

Principiálně se dá Peltierův jev popsat následovně. Z materiálu s vyšší výstupní prací W_e přecházejí elektrony s menší výstupní prací, v místě kontaktu je jejich vzájemnému pohybu kladem menší odpor. K uvolnění energie dojde tím, že elektrony právě v místě kontaktu mají přebytek kinetické energie. Jak již bylo uvedeno výše termoelektrický článek má dvě strany, kdy jedna strana chladí a druhá vydává teplo.

Na trhu jsou dostupné články různých velikostí a s různými chladicími kritérii. Po konstrukční stránce se jedná od dvě keramické destičky, které jsou od sebe odděleny jak chladícím, tak hřejícím kovem, na kterých dochází ke vzniku termoelektrického napětí. Rozměry termoelektrických článků jsou v rozmezí 10x10 mm až 60x60 mm, při tloušťkách článku 3 – 6 mm. Výkon chlazení si udržuje hodnotu od desetin wattu až po stovky wattů.[12]

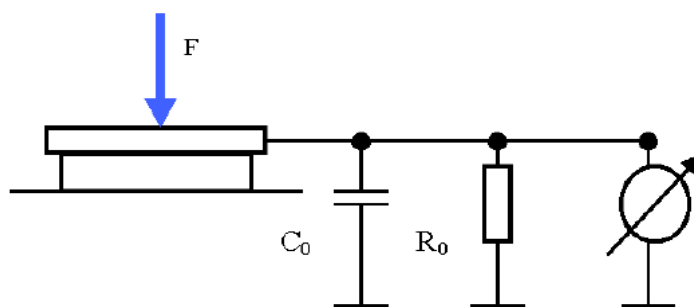
Mezi hlavní výhody Peltierových článků patří jeho malé rozměry, snadné regulování výkonu, okamžité chlazení či ohřívání, možnost dosažení teplot hluboko pod stupeň mrazu (až -20°C), aj. K hlavním nevýhodám patří jejich velká spotřeba proudu, pokud je potřeba velkého chladicího výkonu, tak s tím roste i cena, rozdíl mezi teplou a studenou stranou, přehřívání. Navzdory nevýhodám jsou Peltierovy články rozšířeny v průmyslu, vědě a lékařství. Jejich využití se uplatňuje také v kamerách či fotoaparátech s chlazeným snímačem, v počítačové technice, elektrotechnice, autochladičkách, aj.

Výkony Peltierových článků jsou na trhu dostupné v řádu jednotek μW , až stovek W. Články jsou vyráběny metodou ukládání tenkých vrstev. V současnosti je zmíněná metoda ukládání tenkých vrstev velmi výdělečná a články, které jsou vyrobeny stejnou metodou, mají na trhu stále větší využití. Pro svoji konstrukci používají křemíkové wafery, což je v podstatě stejný materiál, který je v procesorech stolních počítačů.

Využití Peltierových článků je mnohostranné od zdravotnictví, vědy, průmyslu, armády po uplatnění při chlazení potravin či nápojů v přenosných chladicích boxech, nebo dokonce nachází využití i u raket a vesmírných objektů. Dokáží regulovat teplotu s velkou přesností. K nejčastější aplikacím Peltierových článků jsou řazeny např. chlazení mikroprocesorů a chlazení vybavení pro noční vidění, infračervené zdroje, kalorimetry, odvlhčovače, infračervené detektory, krevní a DNA analyzátoři, preparace a skladování tkání, ledničky u letadel, lodí, automobilů, ledničky na chlazení vína. [12]

2.1.3. Piezoelektrické senzory

Založení piezoelektrických senzorů je podmíněno přímému piezoelektrickému jevu, kdy mechanická deformace krystalu má za vznik dipólový elektrický moment objemového elementu. Polarizace krystalu se stává k okamžiku, kdy všechny elektrické momenty všech objemových elementů zapůsobí. Vektor polarizace je kolmý k vázanému náboji na jednotkové ploše povrchu. Dojde-li k přiložení elektrod na povrch krystalu, dochází ke vzniku volného náboje. Probíhající jev je vratný. V okamžiku kdy přestane mechanické napětí působit, dojde k návratu dielektrika do původního stavu. Piezoelektrický krystal má tři osy, ve kterých může být mechanicky zatěžován. Ke vzniku elektrického náboje dochází pouze na stěnách, které jsou kolmé k elektrické ose krystalu. [13]

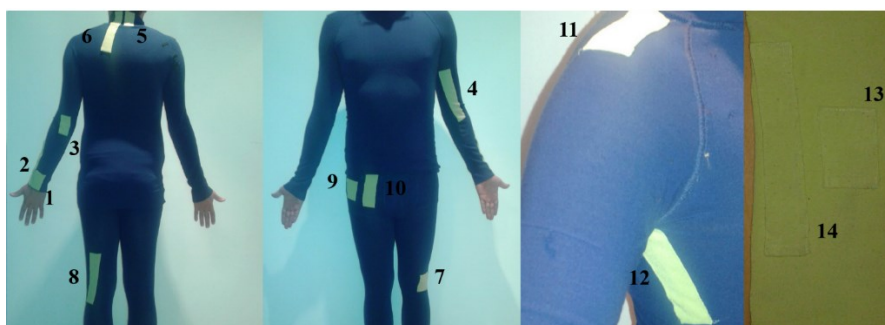


Obrázek 4: Schéma piezoelektrického senzoru [13]

Italský student doktorského studia na Vysoké škole Báňské Antonino Proto, provedl měření pomocí senzorů, které jsou nositelné na těle. Antonino umístil na těle dva piezoelektrické měniče, které pohybem lidského těla sklízely energii. Oba senzory byly umístěny do obleku, který těsně přiléhal k tělu. Snímače byly umístěny na krku, rameni, loktu, zápěstí, kyčli, kolenu a kotníku a bylo provedeno měření napětí, proudu a výkonu.

Sklízení energie z pohybu těla je podkategorií sklízení energie, která je součástí hlavní kategorie získávání energie z životního prostředí. Jedná se o poměrně novou oblast výzkumu pro vědce. Nejběžnějšími typy piezoelektrických materiálů pro jejich měniče jsou zirkoničitan – titaničitan olova a polyvinylidenfluorid. Mezi ostatní piezoelektrické materiály jsou zařazeny titaničitan barnatý, kompozity mikro-vláken a aktivních vláknových kompozitu. Piezoelektrické měniče se chovají jako generátory náboje a napětí, pokud jsou vystaveny namáhání a deformaci.

Experiment byl prováděn při pěti aktivitách. Jimiž byly procházka, chůze do schodů, chůze ze schodů, jogging a běh. Měniče musely být umístěny v těsném kontaktu s kůží měřené osoby, aby byl pohyb kloubů co nejefektivnější. Proto bylo zapotřebí obléknout měřenou osobu do těsného obleku z elastické bavlny, díky kterému senzory přesně doléhaly na kůži. [14]



Obrázek 5: Senzory umístěné na těsném obleku. [14]

Při zkoumání výstupní síly měřené během pěti výše uvedených aktivit, dosahovaly hodnoty výstupních sil v rozmezí od $2,8 \mu\text{W}$ ÷ $46 \mu\text{W}$ pro jeden snímač na kloubu, při použití obou snímačů dosahovaly hodnoty výstupních sil v rozmezí $6,37 \mu\text{W}$ ÷ $75,15 \mu\text{W}$. Uvedená technologie není finančně náročná, kombinéza je pohodlná a lehká. [14]

2.1.4. Výroba elektřiny z chůze

Vědecký tým v Kanadském městě Bumaby předvedl ve vědeckém týdeníku Science zařízení, které je schopno převodu mechanické energie chůze člověka na elektrickou energii. Příkladem jsou setrvačnický, jež při pohybu ruky nabíjí hodinky, dále jsou to boty, které při stlačení podrážky generují elektrickou energii. Poslední novinkou ve výrobě elektrické energie při chůzi je batoh, pohybující se při chůzi na pružinách závěsné závaží, dochází k výrobě elektrické energie o hodnotě 7 wattů.

Zařízení dostalo název „Biomechanical Energy Harvester“ a je připnuto ke kolenu. Výroba elektrické energie vzniká ohýbáním kloubu při chůzi. Z pokusů vyplynulo, že člověk z jednoho kolene, na kterém má připnuté zařízení vyprodukuje přibližně 5 wattů energie, což by stačilo na nabití 10 mobilních telefonů. Zařízení váží 1,6 kg, ale v dohledné budoucnosti je lehčí a menší verze přístroje. O produkci elektrické energie se stará generátor, pouze v druhé části kroku, když noha brzdí svůj pohyb. Zařízení tedy nepůsobí proti pohybu nohy, právě naopak.



Obrázek 6: Prototyp Biomechanical Energy Harvester [17]

Princip výroby elektrické energie je podobný jako u hybridních automobilů při sešlápnutí brzdy. Při měření dobrovolníků bylo zjištěno, že při chůzi s připnutým zařízením nestoupá markantně spotřeba kyslíku. Dle předpokladů by měli být prvními držiteli zařízení lidé, kteří jsou odkázáni na slabší zdroje elektrické energie. Těmi jsou zejména diabetici, další využití by mohlo být uplatněno při dodávání energie do elektrod, kterými jsou drážděny daná centra v mozku u Parkinsonovy choroby. Kromě zdravotnického odvětví by mohlo být zařízení využito u vojáků, záchranářů či turistů. [17]

2.1.5. Nabíjecí boty

Další aplikací, která je v dohledné budoucnosti, jsou nabíjecí boty, které by byly schopny při chůzi generovat množství energie, a následně by bylo umožněno malých zařízení. Společnost University of Wisconsin-Madison strojních inženýrů vyvinula inovativní sklizení a skladování energie a tím by mohl být vyřešen problém s nabíjením mobilních zařízení, bez ohledu na to jak vzdáleně by se nacházel zdroj elektrické energie.

Nová technologie by mohla umožnit v obuvi „kombajn“ energie, který zachycuje energii vyrobenou osobami při chůzi a ukládá ji pro pozdější používání. Využití by bylo užitečné především v armádě, kdy vojáci s sebou v dnešní době musí nést těžké baterie pro napájení GPS a brýlí pro noční vidění. Další využití by mohlo být v odlehlých oblastech, kde chybí adekvátní přísun elektrické energie. Lidská chůze nese spoustu energie, dle vědce Krupenkina a jeho teoretických odhadů bylo zjištěno,

že při chůzi může být produkováno až 20 wattů z procházky a to v porovnání s požadavky na napájení většiny moderních mobilních zařízení je k uvážení.



Obrázek 7: Prototyp nabíjecí boty. [15]

Dle Krupenkina by proniknutí i do malého množství této energie stačilo pro napájení mobilních zařízení, včetně laptopů, tabletů, chytrých telefonů i baterií. Klasický chytrý telefon vyžaduje energii menší než 2 wattů. Technologie využívá „reverzní electro wetting“, jev který Krupenkin a Taylor propagovali v roce 2011.

Vodivá kapalina interaguje s povrchem, který je s nanofilmovým povlakem, mechanická energie se přímo přeměňuje na elektrickou energii. Zpětný „electro wetting“ může generovat užitečný výkon, což ale vyžaduje zdroj energie s vysokou frekvencí. Z tohoto důvodu museli vědci vyvinout metodu, kterou nazvali „Bubbler“. Zařízení neobsahuje žádné mechanické části, skládá se ze dvou plochých desek oddělených malou mezerou naplněné vodivou kapalinou. Kdy spodní deska je pokryta drobnými otvory, které tvoří tlakové, plynové bubliny. Bubliny rostou, v okamžiku kdy svou velikostí omezí horní desku a tím způsobí kolaps, celý děj se opakuje a vytváří se elektrický náboj. Vysoká frekvence, která jak již bylo napsáno výše, potřebná pro efektivní přeměny energie tedy nepřichází z mechanického zdroje energie, ale jedná se o vnitřní vlastnost. Výzkumníci tvrdí, že metoda probublávání může potencionálně vytvářet vysoké výkonové hustoty, umožňuje menší a lehčí zařízení pro sklizeň energie, které je možno připojit k široké škále zdrojů energie.

Zařízení je generované přibližně na 10 wattů na m^2 , dle předběžných pokusů a teoretických odhadů, že reálné by bylo 10 kW na m^2 . Zařízení by bylo možno napájet různá mobilní zařízení prostřednictvím nabíjecího kabelu, nebo může být sjednocován s celou řadou elektronických zařízení vložených v obuvi, čímž je Wi-Fi hot spot, ten funguje jako prostředník mezi mobilními zařízeními a bezdrátovou sítí, nevyžaduje žádné nabíjecí kabely.[15][16]

2.1.6. Elektrárna v batohu

Vědecký tým z Filadelfské University of Pennsylvania pod vedením vědce Lawrence Romeema sestavil především pro americkou armádu tzv. elektrárnu v batohu, která by byla nápomocná při dobíjení GPS, vysílaček a brýlí pro noční vidění.

Elektrárna v batohu je schopna vyrábět až 7,4 wattů elektrické energie, což je dostačující pro napájení „čelovky“, či činnost GPS. Hmotnost batohu je závislá na výkonu, avšak se pohybuje od 20kg – 38 kg.



Obrázek 8: Schematicky naznačená elektrárna v batohu. [18]

Princip elektrárny není složitý. Ve středu je velké závaží, které se pohybuje nahoru a dolů. Za pomoci ozubeného mechanismu se válec (viz. Obrázek 8) přivádí do otočného pohybu a tím dochází k pohánění elektrického generátoru. Bylo provedeno několik testů, ve kterých se zjistilo, že se uživatel může i přes vysokou hmotnost batohu pohybovat s malým výdejem energie. Důvodem je fakt, že pohyb závaží uvnitř batohu je synchronizováno s tempem chůze. Při odrazu člověka před dalším krokem jde závaží batohu nahoru, tím závaží uživateli pomáhá v pohybu a tím mu šetří energii. Podle biomechanika z Univerzity of Michigan Arthura Kua, jde o velký vědecký průlom a domnívá se, že elektrárna v batohu má před sebou slibnou budoucnost.[18] [19]

3. Měření a přenos dat

Systém „Energy Harvesting“ je nutné měřit z několika pohledů. Jednak musí dojít k samotnému měření elektrických vlastností EH, těmi jsou napětí, proud, spotřeba a výkon. Následně pak u mobilního využívání EH systému je nutné měřit více informací. Jako jsou informace o poloze systému EH ať už inerciálních nebo vztažných navigačních systémů. Dále jsou důležité k vyhodnocení informací okolního prostředí EH systému, jako například teplota, osvit.

3.1. Měření malých napětí a proudů

Při měření malých napětí a proudů se mohou vyskytovat problémy, ale řešení ke správnému výsledku měření existují. K měření malých proudů a napětí je k dispozici mnoho zařízení. Mezi konkrétní zařízení je zařazeno Phidgets (Jedná se o systém elektronických součástek a senzorů „low-cost“, které jsou ovládány pomocí počítače, základem je USB). 1048 a 1051, což jsou senzory, které mohou k desce připojit až čtyři termočlánky k měření teploty až čtyř různých předmětů, připojení je provedeno přímo do USB portu. Termočlánky jsou široce využívány pro měření extrémních teplot, které nejsou schopné měřit jinými typy čidel. Dalším senzorem, jež dokáže přečíst jakékoliv malé napětí má označení Phidgets 1046 – most, senzor je konstruován na desce, která má potřebné rozhraní pro měření výstupu siloměrem. Je možno k ní připojit čtyři dynamometry, tenzometry, či wheatsonovy můstky.

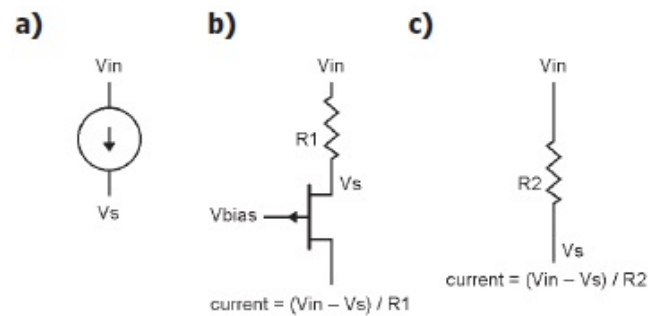
Při měření napětí v řádech mikrovoltů až desítek mikrovoltů existují dva problémy. První problém je v nutnosti zesílení obvodů, druhým problémem je v uzemnění, měřicí obvod musí mít svou vlastní zem.

Mnoho současných senzorů měří práci magnetického pole vytvořeného proudem. Malé proudy vytváří malé magnetické pole, které senzory neměří správně. Proudové senzory, které používají techniku magnetického pole mají rozlišení pouhých 10mA. Místo měření malého magnetického pole může být měřen pokles napětí přes odpor malé hodnoty a k hodnotě proudu dojít výpočtem z napětí. Výsledné napětí bude malé, ale měřitelné. [20]

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.1)$$

3.1.1. Stálé zdroje napětí

Nejlevnější ruční multimetry se schopností aktuálního měření, jejichž rozsah sahá od několika ampérů dolů na jednotky mA někdy i μ A. Tato schopnost měření je dostatečná pro mnoho aplikací, při kterých je vyžadováno citlivější měření proudu. Existují i multimetry, které měří mnohem nižší hodnoty proudu, ale přístroje jsou výrazně dražší. [21]

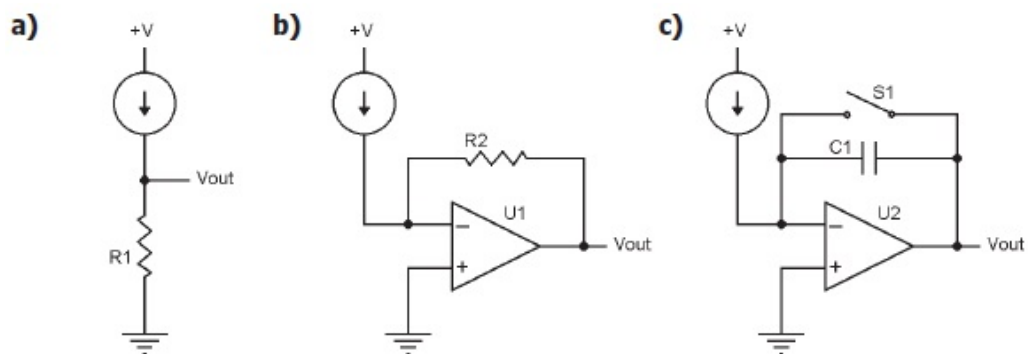


Obrázek 9: a) ideální zdroj, b) polovodičový zdroj, c) odporový zdroj[21]

Na předešlém obrázku je vidno několik typů zdrojů proudu. Zleva je vyznačen ideální zdroj proudu. Nemusí mít žádnou hodnotu proudu na výstupu a výstupní impedance je nekonečná. Ve výsledku není výstupní proud ovlivněn vlastnostmi měřícího obvodu. Na dalším obrázku je znázorněn zdroj proudu využívající polovodičových tranzistorů, ty mohou být bipolární nebo FET. V obvodu není nekonečná impedance, ale může být poměrně vysoká, řády $M\Omega$. To znamená, že různá napětí na kolektoru bipolárního tranzistoru, či obvod s FET tranzistorem mají malý vliv na výstupní proud, pokud není napětí dostatečně velké k ovlivnění provozu tranzistoru. Na posledním obrázku je znázorněn nejméně ideální zdroj napětí. Proud je generován na základě rozdílu napětí na odporu R2. Napětí měřícího obvodu má přímý vliv na rozdíl napětí na zdroji odporu. Tím dojde ke změně proudu, který je měřen, to může mít na následek chybu měření.

3.1.2. Proudové měřící obvody

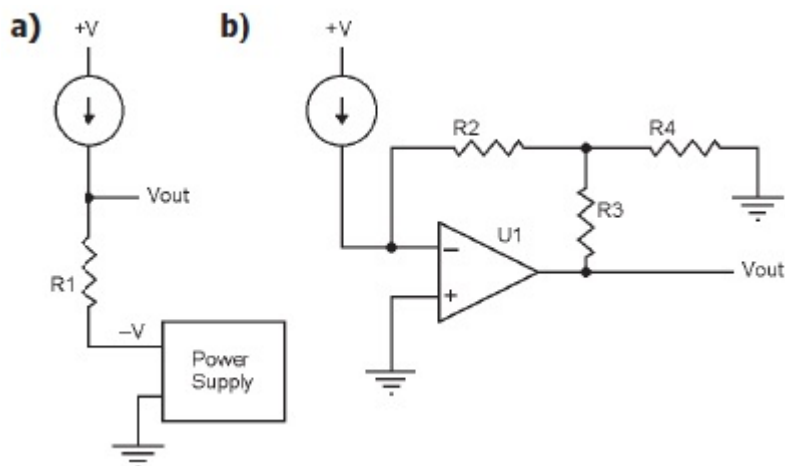
Pomocí polovodičové technologie, je napětí parametr, který se měří přímo. Proud, který má být měřen se nejprve převede na napětí tekoucí přes odpor zátěže. Výsledná napětí jsou pak měřena spolu s odporem zatížení a jsou použita k výpočtu vstupního proudu. [21]



Obrázek 10: a) odporová, b) transimpedanční, c) integrátor [21]

Na obrázcích 10, 11 jsou k vidění některé obvodové techniky, které jsou používány pro převod proudu na napětí. Konkrétněji obrázek 10 zobrazuje základní techniky, načež obrázek 11 zobrazuje na dva z těchto základních okruhů, ty dávají přesnější výsledky a rozšířenější rozsah měření. Symbol vstupního proudu používaný v těchto obvodech je stejný jako symbol pro ideální zdroj proudu

z obrázku 9a. Ovšem v tomto případě je zobrazení použito tam, kde se vstupní proud připojí k měření obvodu a je zde možnost představovat některé z dříve popsaných stálých zdrojů. [21]



Obrázek 11: a) modifikovaný odporový, b) modifikovaný transimpedanční zesilovač. [21]

3.1.3. Odporový okruh

Na obrázku 11 a je zobrazen nejjednodušší měřicí obvod. Zdroj proudu je zde připojen k jednomu konci zatěžovacího rezistoru R1 a druhý konec rezistoru je připojen k zemi, nebo k jinému referenčnímu bodu. Napětí vyvíjené na tento odpor je měřeno voltmetrem a k výpočtu je využit vstupní proud. Napětí, které je vyvinuto přes odpor zátěže bývá označováno jako zátěž napětí. Na zdroj proudu, který je téměř ideální, má zátěž napětí relativně malý účinek. Pro odporové zdroje proudu, může zátěž napětí komunikovat se zdrojem a dávat chybné aktuální hodnoty. Dochází k tomu z důvodu, že se zatěžovací obvod stává součástí běžného odporu generátoru, který snižuje proud. Za účelem minimalizace této interakce by měl být zatěžovací odpor mnohem menší, než vstupní odpor zdroje proudu. Odpovídající zátěž pak bude malá.

Je-li použit jednoduchý ruční voltmetr, měřené napětí nemůže být příliš malé, protože přístroj pouze zřídka měří méně než 1mV proto je zapotřebí kompromisu mezi přesností měření a zátěží nízkého napětí. Většina ručních voltmetrů má impedanci 10MW. Impedanci je třeba vhodně zvolit, tím dojde k získání žádaného ekvivalentního odporu měření.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty odporu pro získání měření napětí 50mV pro dané proudy. Tato poměrně nízká hodnota napětí významně snižuje zátěž napětí, zatímco současně poskytuje dostatek napětí. [21]

Tabulka 1: Hodnoty odporu pro získání měření napětí 50mV [21]

Měřený proud (μA)	Efektivní měření odpor (Ω)	Odpor zátěže (Ω)
1,000	50	50
100	500	500
10	5.000	5.000
1	50.000	50,251
0,1	500.000	526,316
0,01	5.000.000	10.000.000

Při měření proudu s odporovou zátěží je dobré si vyzkoušet několik odporů různých hodnot a vidět výsledky napětí. Pokud by došlo ke změně hodnoty odporu o určitou hodnotu a o stejnou hodnotu se změnil i napětí, pak zdroj napětí není ovlivněn napětím ze zátěže. Pokud se tomu tak stane, je možnost použít vyšší hodnotu odporu, tím získat vyšší výstupní napětí a lepší přesnost měření. Naopak v případě, že odpovídající napětí se zvyšuje a jeho hodnota je menší než hodnota odporu, pak zdroj napětí je ovlivněn měřícím obvodem a měla by být použita menší hodnota odporu.

Z předešlého obrázku 11a, malými úpravami dojde k poskytnutí lepšího výkonu, tím dojde k odstranění zatěžovacího napětí na úkor přidání variabilního napájení. To může být zvláště užitečné jako rychlý měřicí nástroj. Napájení je upraveno tak, že hodnota $V_{\text{OUT}} = 0 \text{ V}$. Hodnota proudu je získána vydělením naměřené hodnoty napětí odporem R_1 . Tím dojde k odstranění zátěže napětí a zatěžující odpor může být zvýšen, tak aby se dosáhlo vyššího napájecího napětí než je 50 mV, tím bude docíleno větší přesnosti v měření. Konečná vstupní impedance ($10 \text{ M}\Omega$) nemá vliv na měření při $V_{\text{OUT}} = 0 \text{ V}$, impedance nemá vliv ani v případě, že V_{OUT} není přesně 0 V, unikající proud bude stále malý. Například $V_{\text{OUT}} < 5 \text{ mV}$, unikající proud bude menší než 500pA.

3.1.4. Transimpedanční zesilovač

Obvod pro transimpedanční zesilovač je znázorněn na obrázku 11b. Dá se říct, že se jedná o nejuniverzálnější ze současných měřících obvodů, kvůli jeho možnosti pokrytí velkého současného rozsahu měření pomocí jednoduchého obvodu. V obvodu je výstup z aktuálního zdroje připojen na záporný vstup operačního zesilovače, kladný vstup zesilovače je připojen na referenční napětí. Vstupy operačního zesilovače mají velmi vysokou vstupní impedanci (vyšší než $1 \text{ G}\Omega$), aby malý proud šel do zesilovače. Vstupní proud pohání negativní vstup napětí ze sítě v závislosti na polaritě vstupního proudu. Výstupní napětí na zesilovači se pohybuje v takovém směru, aby proud přešel přes odpor R_2 , který je opačný ke vstupnímu proudu. Rovnováha je dosažena, když vstupní napětí na zesilovači je takové, že proud procházející přes R_2 je stejný jako velikost vstupního napětí. Výstupní napětí

je omezeno napájením sítě, ale v zásadě neexistují žádná omezení, na hodnotě odporu zpětné vazby. Následující tabulka znázorňuje hodnoty odporu R_2 pro několik jmenovitých vstupních proudů na výstupním napětí (V_{OUT}). [21]

Tabulka 2: Hodnoty rezistorů jmenovitých vstupních proudů $V_{OUT} = 1V$. [21]

Vstupní proud	Hodnota odporu
1mA	$10^3\Omega$
1 μ A	$10^6\Omega$
1nA	$10^9\Omega$
1pA	$10^{12}\Omega$

Z tabulky je zřejmé, že hodnoty odporu jsou příliš vysoké pro malé proudy. Tyto velké odpory jsou drahé a často i fyzicky velké. Existují dva způsoby jak snížit hodnotu odporu, která je potřebná pro konkrétní proud. Jednou z možností je mít výstupní napětí menší než 1 V. Řešení je přijatelné v případě, že jsou všechna anomální napětí v obvodu kalibrována ven. Tato kalibrace může být fyzická pomocí potenciometru. Alternativně kalibrační data mohou být použita pro měření výstupního napětí bez vstupního proudu a následně odečtením těchto dat z výstupního napětí se vstupním proudem. V případě snížení vstupního proudu a odpovídajícího výstupního napětí, dojde k tomu, že měřící napětí bude mít stále dostatečnou přesnost. Druhým způsobem měření nižších hodnot proudu s nižší hodnotou odporu je použití modifikovaného transimpedančního zesilovače (obrázek 11b). Kde se výstupní napětí sníží o dělič stávající se z R_3 a R_4 . Před Zpětnovazebním rezistorem R_2 . V případě shody mezi zpětnovazebním odporem a odporem zpětné vazby bez děliče bude proud, který teče k záporné vstupní svorce nižší než dříve. Vnitřní napětí v zesilovači bude více kompenzovat výstupní napětí. [21]

3.2. Měření pozice – Inerciální snímače

Novodobé navigační nebo lokalizační systémy o zjišťování polohy, jsou ve většině případů založeny na technologii navigování přes GPS. Systémy ovšem nejsou vhodné pro zjišťování polohy uvnitř objektů, či v místech, kde je signál GPS slabý.

S vyřešením problému souvisí inerciální snímače – IMU. Mezi inerciální snímače jsou zařazeny akcelerometry, gyroskopy a magnetometry. Do snímače je přivedena informace o úhlové rychlosti, velikosti zrychlení a směru pak je umožněno přesně určit polohu daného objektu. [22][23]

3.2.1. Akcelerometry

Akcelerometry jsou elektromechanická zařízení, které jsou používána k měření dynamického nebo statického zrychlení. Jejich využití je vhodné jak pro měření odstředivých a setrvačných sil, pak k určení pozice tělesa, či vibrace nebo naklonění. V moderní elektronice našly akcelerometry uplatnění pro detekci orientace při překlápění obrazu v mobilních zařízeních, dále pak v herních ovladačích, aby byla zjištěna přesná pozice ovladače aj.

Akcelerometry jsou použity u měření dynamických zrychlení a tím analyzovat směr, u mnoha měření statického gravitačního zrychlení, kdy může dojít k zjištění úhlu vychýlení vzhledem k povrchu Země. [24]

Akcelerometry rozlišujeme na čtyři základní typy, těmi jsou piezoelektrické akcelerometry ty využívají piezoelektrický krystal, ten produkuje náboj vyrovnaný působící síle, která při akceleraci působí na každý předmět. Další jsou piezoresistivní akcelerometry, ty využívají mikro křemíkovou mechanickou strukturu, akcelerace je shodná se změnou odporu. Následně jsou akcelerometry s proměnnou kapacitou, využívající mikro křemíkovou mechanickou strukturu, akcelerace je shodná se změnou napětí. Poslední jsou tepelné akcelerometry. [22][23]

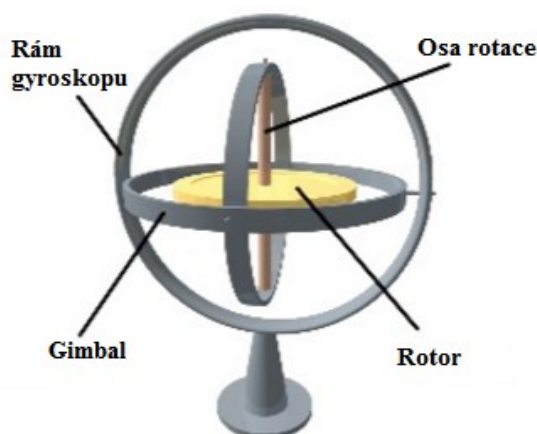
Zrychlení je přirozeně vnímáno ve třech osách a to: dopředu – dozadu, vpravo – vlevo, nahoru – dolů. Pro příklad se uvádí jízda na sedadle osobního automobilu, které jede po klikaté a kopcovité komunikaci. Kdy vjem dopředného – zpětného zrychlení je způsoben právě akcelerací a zpomalením. Zrychlení vpravo – vlevo vzniká při zatáčení a nahoru – dolů je vjem při jízdě do a z kopce.

Některé akcelerometry obsahují mikroskopické krystalové struktury, které při zatížení způsobené zrychlením začnou vytvářet napětí. K dalšímu způsobu patří i snímání kapacitance, probíhá u dvou mikrostruktur ležících vedle sebe, mezi nimi je zřetelná kapacitance, pokud se zrychlovací síla pohybuje jednou z těchto struktur, dochází ke změně kapacitance.[24]

3.2.2. Gyroskopy

Principiálně je gyroskop druh volného setrvačníku, které zachovává polohu osy své rotace v inerciálním prostoru. Zařízení se skládá z kola nebo disku namontovaného tak, aby se mohlo rychle otáčet kolem osy, která sama o sobě nezmění směr. Orientace osy není ovlivněna naklápěním a způsobem uložení, takže gyroskopy mohou být použity k zajištění stability nebo udržovat referenční směr v navigačních systémech.

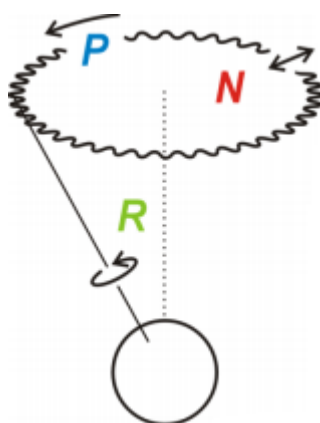
Při roztočení setrvačníku je kladen odpor, aby došlo ke změně osy rotace. Setrvačník má při otáčení moment hybnosti, tudíž osa si zachovává stále stejný směr, bez ohledu na působení vnějších sil, dá se tedy označit za zařízení, jež dokáže stanovit svoji orientaci v prostoru. Díky této vlastnosti je čteně používán jako gyromouse, spaceball a především v letectví, dále pak kolo od bicyklu, motorky či jiného dopravního prostředku. Na stejném principu funguje i hračka pod známým názvem „káča“, k ustálení pohybující se kamery, periskopu, dalekohledu. Gyroskopický jev je velmi rozšířený. [25]



Obrázek 12: Popis znázorněného gyroskopu. [25]

Není podmínkou, aby bylo jako gyroskop označováno pouze složitě zařízené, z pravidla gyroskopem může být nazýváno kterékoli těleso, které má snahu udržet svou osu rotace a to díky právě svému momentu setrvačnosti. Jev bývá označován jako gyroskopický efekt, k němuž se dochází převážně v situacích, když je hmotnost setrvačnicku soustředěná po obvodě. Gyroskopický efekt nabývá svého efektu v případě zvyšování průměru rotoru a s narůstajícími otáčkami rotoru. [25]

Osa rotace se posunuje okolo nepohyblivého směru v prostoru, z čehož vyplývá, že rotační pohyb není zcela dokonalý. Planeta Země se také potýká s těmito odchylkami. Osa rotace opisuje pohyb kužele, tento typ pohybu je nazýván precesním. Dalším typem pohybu je nutace (kývat, kolísat), při nutačním pohybu vznikají odchylky od pohybu kuželové dráhy precesního pohybu. Bude-li gyroskop zavěšen na lanku v gravitačním poli a roztočí se, dojde ke změně osy otáčení do pravého úhlu a gyroskop se začne otáčet kolem osy totožné se směrem působení gravitační síly. [26]



Obrázek 13: Ukázka precesního a nutačního pohybu, vzhledem k ose rotace. [25]

3.2.3. Magnetometry

Všichni lidé jsou obklopeni magnetickými poli. Magnetická pole jsou generována prostřednictvím proudění elektrického proudu v různých elektrických či elektronických zařízeních (televize, počítač atd.). Země má své vlastní magnetické pole, i když je relativně malé. Magnetické pole Země je největší na pólech a nejmenší je na rovníku. [27]

Magnetometry, které jsou zařazeny mezi inerciální snímače, jsou široce využívány pro odhad orientace. Jsou to zařízení, která měří magnetická pole. Jedná se o přístroj s čidlem, které měří magnetické indukce B [Tesla, m^2]. Magnetometry odkazují na snímače používané pro snímání magnetických polí nebo na systémy, které magnetické pole měří pomocí jednoho či více senzorů. Hustota magnetického toku ve vzduchu je přímo úměrná síle magnetického pole, magnetometr je schopen detekovat výkyvy v poli Země. Materiály narušující čáry magnetického toku jsou známé jako magnetické, takové materiály vedou k narušení zemského magnetického toku, který proudí kolem nich a právě magnetometry objeví tyto nesoulady. Magnetometr měří hustotu magnetického toku v místě a prostoru, kde je umístěn snímač. [27][28]



Obrázek 14: Ukázka magnetometru. [27]

Magnetometry jsou rozděleny do dvou kategorií, kterými jsou vektorové magnetometry a skalární magnetometry. Vektorové magnetometry, jež měří hodnotu hustoty toku v určitém směru ve trojrozměrném prostoru. Skalární magnetometry, měří pouze velikost vektoru procházející snímačem bez ohledu na směr.

Využití magnetometrů je často problematické, protože jsou náchylné na okolní magnetické rušení. Měkké železo nenarušuje pouze magnetické pole, ale také rám senzoru magnetometru. Magnetometry jsou značně používány v různých průmyslových odvětvích. V bezpečnostním průmyslu se používá k detekci určitých druhů kovů ve střelných zbraních. [27]

3.3. Globální měření pozice

Mezi globální měření pozice je zařazeno GPS, Galileo a kinematika reálného času. Ze všech vyjmenovaných metod je možno určit pozici snímače či dané osoby. Nejrozšířenější je GPS, ta je dostupná na všech místech, kde není problém se silou signálu. Systém Galileo je kompatibilní s GPS, jedná se o vlastní družicový navigační systém. Posledním systémem je RTK neboli kinematika reálného času. Všechny systémy jsou v následujících kapitolách podrobněji popsány.

3.3.1. Global Positioning System – (GPS)

Náš svět je závislý na GPS, s ní jsou naši vojáci bezpečnější, záchranáři jsou rychlejší, bankovníctví a investování je okamžité, průmysl je efektivnější, každodenní život je s GPS prostě jednodušší. Technologie GPS se nachází od mobilních telefonů, náramkových hodinek do přepravných kontejnerů a bankomatů. Systém zvyšuje produktivitu téměř v každém aspektu společnosti a v širokém záběru ekonomiky tak, aby zahrnoval zemědělství, stavebnictví, hornictví, průzkum, řízení dodavatelského řetězce a další. Dále jsou závislé na GPS hlavní komunikační sítě, bankovní systémy, finanční trhy a rozvodové sítě, technologie je také součástí v každé z amerických vojenských operací. [30][31]



Obrázek 15:Sít' satelitů zajišťující GPS. [30]

GPS je satelitní systém, který může být použit k nalezení polohy kdekoli na světě. Systém je provozovaný americkým ministerstvem obrany a umožňuje nepřetržité určování 3 – dimenzionální polohy v reálném čase na celém světě. Každé osobě s GPS přijímačem signálu se může dostat do systému a může jej používat pro jakoukoliv aplikaci, která vyžaduje umístění souřadnic. GPS systém se skládá ze tří částí: kosmický segment, řídicí segment, uživatelský segment. [29]

Kosmický segment – První GPS satelit byl vypuštěn US Air Force na počátku roku 1978. V současnosti existuje nejméně 24 satelitů obíhajících Zemi na výšce asi 11.000 námořních mil. Vysoká nadmořská výška zajišťuje, že družicové dráhy jsou stabilní, přesné, předvídané, těchto 24 satelitů tvoří plnou GPS konstelaci. Satelity GPS jsou poháněny především solárními panely s NiCd akumulátory poskytující střední výkon. Na palubě každé družice GPS jsou čtyři atomové hodiny, z nichž pouze jeden

je používám najednou. Tyto vysoce přesné atomové hodiny umožňují GPS poskytovat co nejpřesnější načasování systému, který existuje. K dispozici jsou čtyři satelity, v každé z 6 oběžných dráhách. Satelity jsou přes rovník nakloněny pod úhlem 55 °. GPS satelity doplňují dráhu přibližně co 12 hodin. GPS satelity nepřetržitě vysílají informace o polohových a časových dat satelitu, pomocí rádiových signálů ve dvou frekvencích. Rádiové signály se šíří rychlostí světla 186,000 mil za sekundu a trvají přibližně 6 / 100 ths. Satelitní signály vyžadují přímou linku do GPS přijímačů. Pokud před anténu GPS dáme ruku, dojde k přerušení GPS signálu.

Řídící segment – Americké ministerstvo obrany udržuje řídicí stanici na Falcon Air Force Base v Colorado Springs, CO. Existují další čtyři monitorovací stanice, ty jsou umístěny na Hawaii, Ascension, Diego Garcia a Kwajalein. Ministerstvo obrany měří oběžné dráhy satelitů přesně. Rozpory mezi v rozdílech předpokládaných a skutečných oběžných dráhách jsou přenášeny zpět do satelitů. Satelity pak mohou vysílat tyto opravy spolu s ostatními polohovými a časovými daty, tudíž GPS přijímač na Zemi lze přesně určit umístění každého sledovaného satelitu.

Uživatelský segment (vojenští i civilní GPS uživatelé) – armáda používá GPS pro navigaci průzkumných a raketových naváděcích systémů. Civilní použití GPS vyvinuté ve stejné době jako vojenské, se rozšířily daleko za jejich původní očekávání. Civilní aplikace pro GPS jsou téměř ve všech oblastech. Většina civilních použití GPS spadá do jedné z kategorií: navigace, zeměměřičtví a načasování.

GPS aplikace funguje tak, že nejprve si přijímač GPS vypočítá svou pozici. Rozsah nebo vzdálenost se měří jako tranzitní uplynulý čas. Postavení každého satelitu je znám a satelity vysílají své pozice jako součást zprávy, které posílají prostřednictvím radiových vln. Přijímač GPS na Zemi je neznámý bod a musí vypočítat svou pozici na základě informací, které dostane ze satelitů. Prvním krokem při měření vzdálenosti mezi přijímačem GPS a satelitem vyžaduje čas potřebný pro signál, jež cestuje ze satelitu k přijímači. Jakmile přijímač zaznamená kolik času uplynulo vynásobí čas cesty z času signálu rychlostí světla pro výpočet vzdálenosti. Aby bylo možné měřit čas cesty družicového signálu, musí přijímač vědět, kdy signál levého satelitu dosáhne přijímače. Všechny přijímače GPS jsou synchronizovány se satelity, vytvářejí stejný digitální kód ve stejnou dobu.

Možnosti použití GPS aplikace jsou nekonečné. V zemědělství v dnešní době stále více výrobců využívá GPS pro aplikaci hnojiv, pesticidů a dalším pouze tam kde, jsou žádané. Zařízení naváděné GPS je možno použít i pro rozvoj referenční mapy, dále pak k nalezení škůdců, plevele, či nemoci.

GPS aplikace je využívána pro řešení mimořádných situací, jako jsou požáry, rychlé záchranné služby, vyhledávání a záchrana osob. Správu vozového parku nákladních i osobních vozidel. Rekreační použití GPS zahrnuje pěší turistiku, myslivost, nebo lyžování. Ve vzduchu je GPS signál používán k navigaci helikoptér, letounů, horkovzdušného balónu, přistání letadla. Existuje mnoho dalších současných využití pro GPS. Jakákoliv aplikace, kde je nutná informace o poloze je možný kandidát na GPS.

Existuje mnoho zdrojů možných chyb, které zhoršují přesnost poloh vypočtených přijímačem GPS. Prochází-li signál GPS ionosférou a troposférou, tak se láme, což způsobuje rychlost signálu, která má být odlišná od rychlosti GPS signálu v kosmickém prostoru. Sluneční aktivity také způsobují rušení

signálů GPS. Dalším zdrojem chyb je měření hluku, nebo zkreslení signálu způsobené elektrickým rušením, nebo chyby, kterou způsobil GPS přijímač sám.. [29]

3.3.2. Galileo

Galileo je v Evropě vlastní globální družicový navigační systém, který poskytuje vysoce přesné a zaručené globální služby určování polohy pod civilní kontrolou. Je kompatibilní s GPS a GLONASS, Spojených států amerických a ruských globálních družicových navigačních systémů. Nabízí dvojí frekvence standard Galileo, který je schopný určit polohu v reálném čase až do rozsahu jednoho metru.

Galileo se skládá z 24 funkčních družic plus šest na oběžné dráze při 23.222 km výšky nad Zemí, a při sklonu oběžných drah o 56°. Počáteční služby jsou k dispozici od konce roku 2016. Jako další rys poskytuje Galileo globální vyhledávání a funkci záchrany (SAR) založený na operačním systému Cospas-Sarsat. Satelity jsou proto vybaveny transportérem, který je schopen přenášet signály ze signálu uživatelských vysílačů na regionální záchranné koordinační centra, které potom iniciují záchranné operace. Ve stejné době systém pošle signál odezvy pro uživatele a informuje jej, že jeho stav byl zjištěn a že pomoc je na cestě. Tato vlastnost je nová a je považována za významné vylepšení oproti stávajícímu systému, který neposkytuje zpětné vazby od uživatelů.

Kontrolní střediska Galileo byly realizovány v jedné z evropských zemí s cílem umožnit kontrolu družic a provádět správu navigace mise. Údaje poskytnuté prostřednictvím celosvětové sítě Galileo stanic jsou odeslány do dispečinků přes redundantní komunikační sítě. Údaje jsou využity k výpočtu informace o integritě a synchronizaci časového signálu ze všech satelitů s hodinami podzemních stanic. Výměna dat mezi řídicími středisky a satelity je prováděna prostřednictvím up-link stanic.

Experimentální družice GIOVE-A a GIOVE-B byly zahájeny v roce 2005 a 2008, slouží k testování kritických technologií pro systém Galileo a zároveň zjišťování kmitočtů v rámci mezinárodní telekomunikační unie. V průběhu zkušební obdoby zkouší vědecké přístroje měřit různé aspekty vesmírného prostředí kolem okružního letadla, zejména úroveň radiace. Starty funkčních družic programu Galileo začaly v roce 2011. [31]

3.3.3. Kinematika v reálném čase (RTK)

Původ se datuje od poloviny roku 1990, jedná se o diferenciální metodu, která poskytuje vysoký výkon polohy v blízkosti základové stanice. Technika je založena na využití měření nosiče a přenos korekcí ze základové stanice, jehož poloha je dobře známá, takže chyby, které řídí samostatné polohování se vyruší. RTK základová stanice pokrývá plochu šířící se asi 10 nebo 20 kilometrů v reálném čase. Technika je běžně využívána v mapování aplikací.

Skládá se ze základové stanice, z jednoho nebo více vozítek a komunikačního kanálu, kterým vysílá informace pro uživatele v reálném čase. [32]

Technika je založena na následujících principech vysoké úrovně. Nutností je mít jasné nebe, hlavní chyby v zpracování signálu jsou konstantní, a proto se vyruší při použití zpracování diferenciálu. To zahrnuje chybu v satelitních hodinách, orbitální chyby satelitním příjmem, ionosférické a troposférické zpoždění. Hluk měření nosiče je mnohem menší, než je jedna z měření pseudo – kódu. Zpracování měření nosiče je předmětem tzv. nosič fází dvojznačnosti. Ta může být stanovena pro diferenciální měření dvojité frekvence po dobu dvou blízkých přijímačů. Základová stanice vysílá svoji známou polohu spolu s měřením kódu a nosiče na frekvencích L1 a L2 pro všechny satelity. Na základě těchto informací, je vozítko zařízení schopné stanovit fáze nejasnosti a stanovit jeho polohu vzhledem k základně s vysokou přesností. Sečtením umístění základny je vozítko umístěno v globálním rámci souřadnic.[33]

RTK technika může být použita pro vzdálenosti až do 10 nebo 20 kilometrů, je značně používána v řadě mapovacích aplikacích. K hlavním omezením patří potřeba komunikačního kanálu pro aplikace v reálném čase, omezený rozsah s ohledem na základní polohy. Potřeba určitého času konvergence opravit fáze nejasnosti, tato doba závisí na algoritmu pro zpracování a vzdálenosti mezi základnou a rover, pohybuje se od několika sekund do několika minut. Aby se zabránilo opětovné inicializace zpracování, má vozítko sledovat signály nepřetržitě. Díky tomu systém RTK není vhodný pro městské aplikace.

Sít' RTK je založena na použití několika široce rozmístěných permanentních stanic. V závislosti na implementaci, data o poloze z permanentních stanic jsou pravidelně sdělovány centrální zpravodajské stanici. V závislosti na impedanci, mohou být přenášena data v mobilních rádiových spojích nebo jiných bezdrátových médiích. [33]

4. Komunikační standard Bluetooth

Bluetooth je základem pro transformační bezdrátové připojení. Zařízení Bluetooth® místo drátů nebo kabelů využívá rádiové vlny pro připojení k telefonu počítače. Bluetooth produkty jako jsou sluchátka s mikrofonom nebo hodinky obsahují počítačový čip se software, který umožňuje snadné připojení. Když spolu chtějí komunikovat dvě Bluetooth zařízení, musí se nejprve spárovat. Komunikace mezi zařízeními Bluetooth se stane v průběhu krátkého dosahu sítě, ad hoc známé jako piconets. Piconet je síť zařízení připojených pomocí technologie Bluetooth. Je-li vytvořena síť, jedno zařízení převezme roli velitele – master, zatímco všechno ostatní zařízení jsou pod velitelem – slave. Piconets jsou stanoveny dynamicky a automaticky.

Technologie Bluetooth může zjednodušit úkoly, které byly dříve spojeny s mnoha dráty roztroušené mezi periferními zařízeními. Například s podporou technologie Bluetooth u tiskárny, lze bezdrátově připojit pomocí počítače, notebooku, nebo mobilního zařízení a tisknout dokumenty. Mobilní operační systémy umožňují uživatelům streamovat média (filmy, pořady, hudbu) do kompatibilních televizorů, reproduktorů a přehrávačů médií přes Bluetooth. [34]



Obrázek 16: Komponenty umožňující komunikaci přes Bluetooth [35]

Technologie Bluetooth vyžaduje, aby low – cost transceiver (vysílač a přijímač v jednom) čip byl zahrnut v každém zařízení. Transceiver vysílá a přijímá v dosud nepoužitém frekvenčním pásmu 2.45 GHz, které je dispozici po celém světě, s určitou variací šířky pásma v různých zemích. Každé zařízení má jedinečnou 48 – bitovou adresu od IEEE standardu 802. Maximální dosah Bluetooth je 10 metrů. Data mohou být vyměněna v poměru 1 Mbit/s – 2 Mbps

Dne 6. prosince 2016 udělala technologie Bluetooth obrovský skok vpřed. Zlepšila své schopnosti na lokalizaci domova, podnikání a průmyslová prostředí. Bluetooth 5 má čtyřnásobně větší rozsah, zdvojnásobňuje rychlost a zvyšuje kapacitu vysílání zpráv o 800%. [35]

4.1. Standardní specifikace Bluetooth

Frekvenční pásmo pro techniku Bluetooth je od 2400 do 2483,5 MHz. Pásmo je rozděleno do 79 kanálů o šířce 1MHz. Dále na okrajích Bluetooth frekvence jsou nepoužité frekvenční intervaly, kompletní ochranné pásmo je „mimo provoz“, nařízeno pro každou Zemi. Bluetooth technologie podporuje používat více zařízení najednou. Způsob jak to udělat je založen na rychlém přeskakování mezi těsnými frekvenčními kanály pomocí náhodného vzorku, který má být známý přijímačem a vysílačem. Při přenosu po jednom náhodném kanálu na krátkou dobu a pak skokem do jiného vylučuje riziko rušení přenosu. U standardního Bluetooth FHSS je 1600 skoků za sekundu. Maximální teoretická rychlost přenosu je 1 Mbit/s, skutečná rychlost závisí na rychlosti použité vysílače a přijímače. Produkty Bluetooth řadíme do několika kategorií. První populárně diskutovaná kategorie je rozdíl mezi klasickým Bluetooth a Bluetooth Smart.

Bluetooth Classic je první technologií vyvinutou společností Bluetooth. V praxi je možné se setkat s mnoha finálními výrobky, které využívají technologie, např. sluchátka, chytré telefony, notebooky. Častou chybou je zaměnění Bluetooth Smart za technologii Bluetooth Low Energy. Bluetooth Smart obsahuje Bluetooth Classic s malou energetickou náročností. [34]

4.2. Bluetooth Low energy (BLE)

BLE je výkonová verze, která byla sestavena pro „internet věcí“. Účinnost BLE je ideální pro zařízení, která běží po delší dobu na zdroji energie, jako je například knoflíková baterie, nebo energeticky sklizňová zařízení. Nativní podpora technologie Bluetooth v každém operačním systému umožňuje vývoj pro širokou škálu připojených zařízení z domácích spotřebičů a bezpečnostních systémů do fitness monitorů a čidel.

BLE dostal právem uplatnění pro „internet věcí“. Při běhu chytré hodinky snímají tepovou frekvenci sportovce, při sprchování lze přes sprchovou hlavici poslouchat hudbu, odemknout dveře, nastavovat teplotu místnosti, zapínání světel, televizor to vše ovládat pomocí smartphonu či tabletu. Všechny tyto bezdrátově připojená zařízení dělají lidem bohatší, pohodlnější a svobodnější život.

Bluetooth usnadňuje vývojářům vytvářet nové inovativní produkty, které komunikují s miliardami zařízení s technologií Bluetooth. BLE je levná a vývojářsky přátelská s pružnou architekturou vývoje, což znamená, že uživatel je omezen pouze jeho vlastní fantazií.

Klíčové vlastnosti zahrnují průmyslový standardní bezdrátový protokol, který umožňuje schopnost systémů vzájemně spolupracovat, dosáhnout vzájemné součinnosti s různými platformami. Standardizovaný vývoj aplikací architektury usnadňuje vývoj a nasazení času a nákladů, umožňuje přehled o bezpečnosti vládního stupně s 128 bitovým AES šifrováním dat. [35]

BLE vytváří příležitosti k zisku o rychle se rozvíjejících inovativních bezdrátových zařízeních. Specifikace zahrnují všechny předchozí verze, včetně Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR / EDR) a verze 3.0, nebo technologii vysokorychlostního Bluetooth.

Vývojáři jsou nyní schopni vytvořit malé senzory, mnohé z těchto senzorů s technologií Bluetooth využívají tak málo energie, že vývojáři začínají hledat způsoby, jak využívat uchovanou energii jako je solární a kinetická. BLE technologie se od technologie BR / EDR zásadně liší, je postavena na zcela novém rámci rozvoje pomocí obecných schopností, nebo GATT. GATT je z pohledu vývojáře velmi flexibilní a může být použit pro téměř jakýkoli scénář.

BLE dává kontext pro životní prostředí kolem nás. Bluetooth a BLE navzdory prezentace pod stejným jménem jsou to zcela odlišné technologie. Bluetooth spotřebuje více energie a přenáší data na delší vzdálenosti. Je vhodný pro streamování médií viz výše. Naproti tomu BLE přenáší méně dat na kratší vzdálenosti za použití mnohem méně energie než klasické Bluetooth. Je určeno pro pravidelné převody s velmi malým množstvím dat například u zdravotnického prostředku poskytující měření hladiny glukózy na tabletu lékaře nebo patientského monitoru. [35]

4.2.1. Specifikace BLE

Některé BLE specifikace se liší od specifikací Bluetooth Classic. Důraz je kladem na mnohem nižší přenos dat, proto není potřeba používat tolik kanálů pro skákání frekvence. Frekvenční pásmo je rozděleno pouze na 40 kanálů, z toho je 37 kanálů používáno pro přenos dat a 3 kanály se používají pro reklamu, což je nutné pro navigaci při hledání zařízení. BLE zařízení z pohledu na linkové vrstvě lze popsat jako stavový stroj s následujícími stavy: pohotovostní, reklamní, skenovací a zahajovací spojení.

Jedno zařízení může pouze skenovat (master), nebo postupovat (slave) v jednom čase. V pohotovostním stavu je zařízení když neodesílá či nepřímá všechny pakety, pohotovostní stav může nastat kdykoliv. V reklamním stavu zařízení (tzv. inzerent) je zasílání informací v případě, že master je nastaven do režimu aktivního skenování. Může také odeslat odpovědi na některé další informace pokud master odešle požadavek. Reklamní stav se obvykle zahaluje nastavením podřízením zařízením „zjistitelný, propojený“.

Reklamní pakety jsou zaslány tři. Latence mezi nimi je nastavena na 150 μ s a latence mezi skupinami po třech je náhodný interval od 20 do 1240ms. Stav skenování, je stav ve kterém se nachází základní příjem reklamních paketů ze zařízení. V aktivním režimu skenování se skener podřizuje a ptá se tzv. inzertů pro více informací (popisný název zařízení, podporované služby, aplikační data atd.. Spojení jsou stanovena masterem, poté co odešle požadavek připojení paket s vhodnými parametry. V tomto stavu se master nazývá iniciátor, protože iniciuje spojení. Spojení je požadováno za zahájené, pokud obě zařízení pokračují v odesílání paketů. Slave má za úkol vždy poslat určitou reakci, kterou přijme od mastera. [35]

4.3. GATT „Generic Attribute Profile“

Generické atributy definují hierarchickou strukturu dat, která je vystavena připojených BLE. GATT profily umožňují rozsáhlé inovace při zachování plné interoperability (tedy schopnosti různých systémů vzájemně spolupracovat, poskytovat vzájemně služby a dosáhnout vzájemné součinnosti) s jinými zařízeními Bluetooth®. Profil popisuje vlákno užívání a obecné chování založené na funkčnosti GATT. Funkce jsou soubory vlastností a vztahů k dalším funkcím. To rovněž zahrnuje hierarchii funkcí, parametrů a atributů použitých v serveru.

GATT je postaven na vrcholu (ATT) protokolu, který využívá údaje GATT definovat tak, že dvě zařízení BLE odesílají a přijímají standardní zprávy. GATT není použito v implementacích Bluetooth BR/EDR, ty používají pouze přijaté profily.

GATT definují tvar dat a možné operace s nimi, obsahuje identifikační údaje, popis, oprávnění pro správu dat a data, která byla předána. GATT definuje role pro zařízení zvané klient a server. Klient je obvykle master a jeho úkolem je odesílání požadavků na server, který obsahuje data. Server, který je obvykle slave obsahuje data, která jsou uložena v databázi GATT, a poskytuje se klientovi na vyžádání. Základní části GATT jsou funkce, parametry a atributy. Atribut zůstane na konci GATT. Pomocí „handle“ - ukazatele (ty nabývají 16bit hodnoty) se hledají atributy v protokolu, jsou generována automaticky po vytvoření GATT profilu. Informace o typu atributu a hodnotě jsou zapsána v UUID. Což je fyzikální hodnota dat uložených v GATT. Parametry mohou být popsány jako jiný pohled na atributy, ale obsahují větší množství dat. Proto jsou parametry vyšší v protokolu GATT. 16 bit identifikátory jsou definovány jako standard Bluetooth a lze nalézt jejich vývojáře portálu. UUID může být také 128bit, ty mají volitelnou hodnotu pro uživatele, zatímco identifikátory 16 bit by měla být respektována a neměly by se využívat k jiným úkolům, než vymezila společnost Bluetooth. Část oprávnění obsahuje informace o přístupu k atributu dat. K dispozici jsou 4 možnosti: zápis, čtení, označování, oznámení. Oprávnění zápisu a čtení z pohledu klienta jsou definovány tak, že master může číst nebo zapisovat do vzdáleného serveru. Zatímco postup čtení nebo zápis je řízen klientem, postup oznamování umožňuje sám serveru přenos hodnot. Což je užitečné pro měření v reálném čase. V horní části atributu jsou funkce, parametry jsou řazeny do funkcí a jedna funkce může mít více parametrů. Funkce má také svůj vlastní UUID. Uvedením v rámci GATT profilu lze vidět více UUID, ty se nazývají prohlášení. Prohlášení se používají k rozlišení parametrů funkce a dalších částí GATT. [36]

4.3.1. GATT konfigurace

BLE používá ke třídění dat atributy, proto jediná možnost přenosu dat je jejich začlenění do GATT databáze. GATT nastavení je napsáno v gatt.xlm souboru a po kompilaci programu Bluegiga BLE SW Update Tool data vytvoří textový soubor se seznamem nakonfigurovaných atributů a jejich automaticky generovaných identifikátorů. Identifikátor je 16Mbit číslo, které identifikuje atribut. Před konfigurací musíme vědět, jaký typ dat bude přenášen pomocí BLE. Technologie BLE není vyvinuta, aby přenášela velké množství dat s vysokou rychlostí. Z tohoto důvodu komunikace pracuje speciálně pro úsporu energie. Nicméně BLE může pracovat ve třech módech v závislosti na záměru použití

modulu. Označení těchto tří modů je “Performance, Balanced a Power“. Power mód optimalizuje spotřebu energie, takže posílá pouze jeden paket během připojovacího intervalu. I když nastavení minimalizuje spotřebu, zmenšuje propustnost. Performance mód maximalizuje propustnost, takže nahrává nové pakety do přenosové vyrovnávací paměti a odesláním těchto paketů okamžitě po úspěšném odeslání předchozích paketů. Nastavení zvyšuje spotřebu energie. Balanced mód je navržen, tak aby dosahoval nejlepší propustnosti a zároveň šetřil energii tím, že posílá jen pakety, které se vlezou pouze do 128 bitové přenosové vyrovnávací paměti. Nejen toto nastavení ovlivňuje spotřebu energie. Moduly spotřebovávají většinu energie k přenosu dat, takže záleží hlavně na tom, jak často modul přenáší data, podle toho jak často modul vysílá je nastaven interval připojení a další připojovací parametry. Účelem ActivPlatform, je dosáhnout nejvyšší možné rychlosti k přenosu dat z nejvíce možných senzorů s dostatečnou vzorkovací frekvencí a rozlišením, ale také umožnit možnost limitovat datový přenos a ušetřit energii. Takže během vývoje vysokorychlostního přenosového firmwaru je schopnost nízké spotřeby modu energie zapamatována. Nízká spotřeba závisí na použitém hardware. Z tohoto důvodu je hardware navržen, aby posílal data v intervalech a čas mezi intervaly využil k úspoře energie. Stejná technika může být aplikována na MCU, ale nejdříve je nutností vyvinout pracovní firmware. Myšlenkou BLE je mít data uloženy v atributové databázi, jsou přehledně tříděny a přístupné, ale skutečný přístup k datům v GATT potřebuje čas. To znamená, že pokud chceme poslat více různých datových hodnot uspořádaných v různých vlastnostech potřebujeme čas k jejich přístupu. To je velmi neefektivní pro naše řešení protože Aktiv Platform měří mnoho různých dat, které by měly být uloženy v různých vlastnostech a služeb. Například akcelerometr by měl mít službu z jeho vlastnosti pro každou osu, stejně jako barometr nebo teploměr. Přístup (čtení/zápis) ke všem těmto vlastnostem trvá příliš mnoho času a je nemožné psát více než tři vlastnosti během jednoho připojovacího intervalu pokud používáme nejkratší spojovací interval 7,5ms. Když developer není schopen nastavit UUID z hodnot v databázi BT, musí být vybrán. Přesné pokyny jak nakonfigurovat GATT je napsáno v dokumentu „Bluetooth low energy Software Developer’s“

4.3.2. GATT funkce a profily

Funkce GATT jsou označovány jako soubor parametrů, kde například funkce tepová frekvence obsahuje informaci o parametrech tepové frekvence a jejich umístění na těle. Funkce je možné spojit dohromady, tím dojde k vytvoření profilu. Mnoho profilu je schopno realizovat pouze jednu funkci, tudíž dvě funkce jsou vzájemně zaměnitelné. U jednoduché BLE obvodové aplikace jsou použity následující čtyři GATT profily.

Mezi první profil GATT jsou zařazeny povinné GAP funkce. Tato služba obsahuje zařízení a přístup k informacím, tím je například jméno zařízení, identifikace dodavatele a identifikace výrobku. Služba je součástí BLE zásobníku protokolu a je požadována pro každé BLE zařízení. Zdrojový kód k této funkci není k dispozici, ale je integrován do knihovny zásobníku. Druhým GATT profilem jsou povinné GATT funkce, kde jsou uloženy informace o serveru GATT a je součástí BLE zásobníku v protokolu. Tato funkce je vyžadována pro každý server zařízení GATT BLE specifikace. Zdrojový kód není k dispozici, ale je integrován do knihovny zásobníku. Třetím GATT profilem jsou přístrojové funkční informace, kdy tato funkce zpřístupňuje informace o zařízení, jako je hardware, software,

firmware, informace o předpisech, informace o kapacitě a jméno výrobce. Profil je součástí BLE zásobníku protokolu a je nakonfigurován aplikací. Posledním GATT profilem je jednoduchá GATT profilová funkce, tato funkce je ukázkový profil pro testování a demonstraci. Úplný zdrojový kód je v souborech simpleGATTProfile.c a simpleGATTProfile.h.

Následující obrázek ukazuje a popisuje části atributů v projektu SimpleBLEPeripheral odpovídající funkci simpleGATTProfile.

Handle	Uuid	Uuid Description	Value	Properties
0x001F	0x2800	GATT Primary Service Declaration	F0:FF	
0x0020	0x2803	GATT Characteristic Declaration	0A:21:00:F1:FF	
0x0021	0xFFF1	Simple Profile Char 1	01	Rd Wr 0x0A
0x0022	0x2901	Characteristic User Description	Characteristic 1	
0x0023	0x2803	GATT Characteristic Declaration	02:24:00:F2:FF	
0x0024	0xFFF2	Simple Profile Char 2	02	Rd 0x02
0x0025	0x2901	Characteristic User Description	Characteristic 2	
0x0026	0x2803	GATT Characteristic Declaration	08:27:00:F3:FF	
0x0027	0xFFF3	Simple Profile Char 3		Wr 0x08
0x0028	0x2901	Characteristic User Description	Characteristic 3	
0x0029	0x2803	GATT Characteristic Declaration	10:2A:00:F4:FF	
0x002A	0xFFF4	Simple Profile Char 4		Nfy 0x10
0x002B	0x2902	Client Characteristic Configuration	00:00	
0x002C	0x2901	Characteristic User Description	Characteristic 4	
0x002D	0x2803	GATT Characteristic Declaration	02:2E:00:F5:FF	
0x002E	0xFFF5	Simple Profile Char 5		Rd 0x02
0x002F	0x2901	Characteristic User Description	Characteristic 5	

Obrázek 17: Charakteristika GATT profilu

Na obrázku číslo 17 je zobrazen jednoduchý GATT profil –SimpleGATTProfile, ten obsahuje pět následujících parametrů.

- SIMPLEPROFILE_CHAR1 – A 1 bitovou hodnotu, kterou lze číst a zapisovat z GATT klientského zařízení.
- SIMPLEPROFILE_CHAR2 – A 1 bitovou hodnotu, kterou lze pouze číst z GATT klientského zařízení.
- SIMPLEPROFILE_CHAR3 – A 1 bitovou hodnotu, která může pouze zapisovat z GATT klientského zařízení.
- SIMPLEPROFILE_CHAR4 – A 1 bitová hodnota, která nemůže přímo číst ani zapisovat z GATT klientského zařízení. Tato hodnota je hlášením a může být konfigurována pro oznámení, které bude odesláno na GATT klientské zařízení.
- SIMPLEPROFILE_CHAR5 – A 5 bitová hodnota, kterou lze číst, ale není zapsaná v GATT klientském zařízení.

Následně jsou v tabulce popsány atributy.

- 0x001F: tento atribut je funkcí prohlášení jednoduchého GATT profilu. Prohlášení má UUID 0x2800 Bluetooth definované GATT_PRIMARY_SERVICE_UUID, hodnota prohlášení je vlastní, definována TI.
- 0x0020: Tento atribut je SIMPLEPROFILE_CHAR1 charakteristická prohlášení. Prohlášení je definováno jako ukazatel na hodnotě SIMPLEPROFILE_CHAR1. Prohlášení má UUID 0x2803 Bluetooth definované GATT_CHARACTER_UUID. Hodnoty a všechna ostatní prohlášení jsou vysvětleny jako hodnota pěti bajtů od MSB do LSB. 0 byte vlastnosti SIMPLEPROFILE_CHAR1 jsou definovány ve specifikacích systému s technologií Bluetooth. Následně jsou uvedeny některé důležité vlastnosti.
- 0x02: Umožňuje čtení parametru hodnoty.
- 0x04: Umožňuje zápis parametru hodnoty bez odpovědi.
- 0x08: Umožňuje zápis parametru hodnoty s odpovědí.
- 0x10: Umožňuje oznámení o parametru hodnoty bez potvrzení.
- 0x20: Umožňuje oznámení o parametru hodnoty s potvrzením.

Hodnota 0x0A znamená, že je parametr čitelný (0x02) a zapisovatelný (0x08).

- 0x0021: Tento atribut je hodnota SIMPLEPROFILE_CHAR1. Atribut má UUID 0xFFF1 (Vlastní definované). Jeho hodnota je skutečná, indikována jeho parametrem prohlášení (handle 0x0020), tato hodnota je čitelná a zapisovatelná.
- 0x0022: Následující atribut pracuje jako uživatelský popis SIMPLEPROFILE_CHAR1. Má UUID 0x2901 (definované Bluetooth) jeho hodnota je uživatelsky čitelná a řetězově popisuje charakteristiku.
- 0x0023 - 0x002F: oba atributy mají stejnou strukturu jako SIMPLEPROFILE_CHAR1 s ohledem na zbývající čtyři parametry.
- 0x002B: Tento atribut je klientsky parametrická konfigurace SIMPLEPROFILE_CHAR4. Konfigurace má UUID 0x2902 (definované Bluetooth). Zápisem tohoto atributu může server GATT sestavit SIMPLEPROFILE_CHAR4 pro oznámení zápisu 0x0001 nebo označení zápisu 0x0002. Zápis 0x0000 do tohoto atributu zakazuje oznámení či označení. [36]

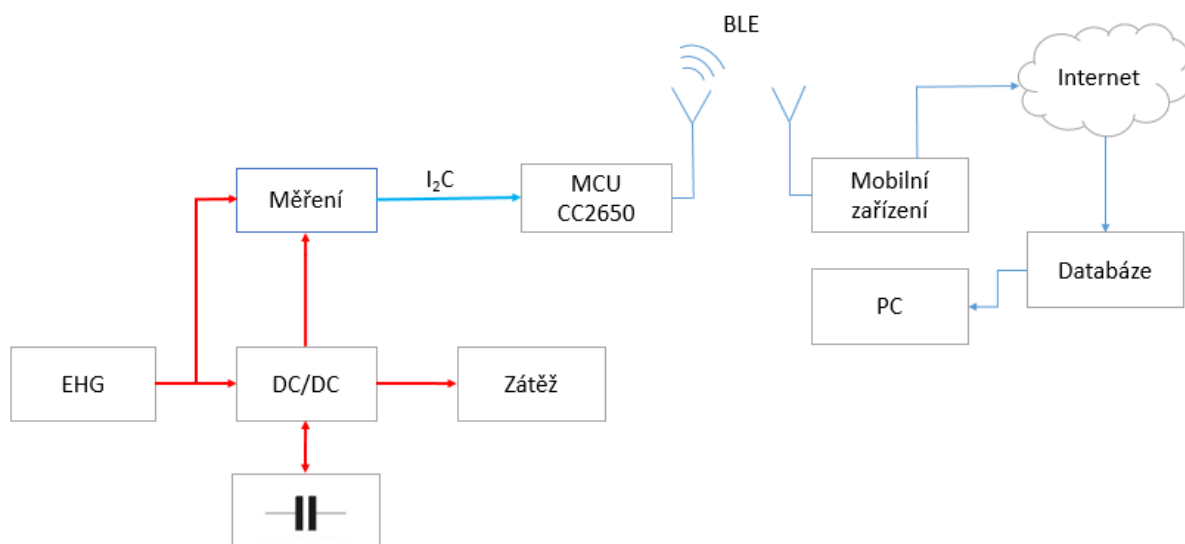
5. Návrh řešení

V praktické části diplomové práce je nejprve měření zaměřeno na hodnoty napětí a proudu v obvodu, který je biotelemetrickým senzorem a to ze solární energie. Vytvořeným měřicím obvodem je možné zjistit množství energie, které je sesbíráno ze solárních článků, které musí být dostatečně malé, aby bylo dosaženo mobility.

Celý měřicí řetězec je složen s následujícími částmi: systém „Energy Harvesting“, DC/DC měnič, MCU CC2640, BLE, mobilní zařízení, internet, databáze.

Principem měření je vyhodnocování hodnot napětí a proudu, které jsou přes I²C posílány do kontroléru z něj přes rozhraní BLE do mobilního zařízení a následně jsou přes internet ukládány do databáze. Zařízení pro „Energy Harvesting“ je připojené přes měnič k zátěži. Měnič zároveň umožňuje ukládání energie pro vykrývání výkonových špiček zátěže, nebo pro práci v pulsním režimu zátěže. Nad měničem je nasazené měření systému „Energy Harvesting“, které měří napětí a proudy pro všechny vstupy a výstupy z obvodů, Vytvořený měřicí obvod je schopen příslušné zařízení nezávisle na zátěži zatěžovat v případě, že by zátěž nebyla připojena. Data z měření z A/D převodníku INA230 jsou předána přes I²C do kontroléru. V něm dochází ke zpracování dat a má na starost řízení měření a bezdrátově přes BLE data posílá do mobilního zařízení, které data koncentruje a ukládá data do svojí paměti, nebo je posílá přes internet online do databáze. Vizualizace je realizovaná nad databází.

Zařízení je optimalizováno pro solární články, při využití dalších „Energy Harvesting“ systémů je nutné upravit rozsah měřicích vstupů.



Obrázek 18: Sestavený měřicí řetězec. (vlastní)

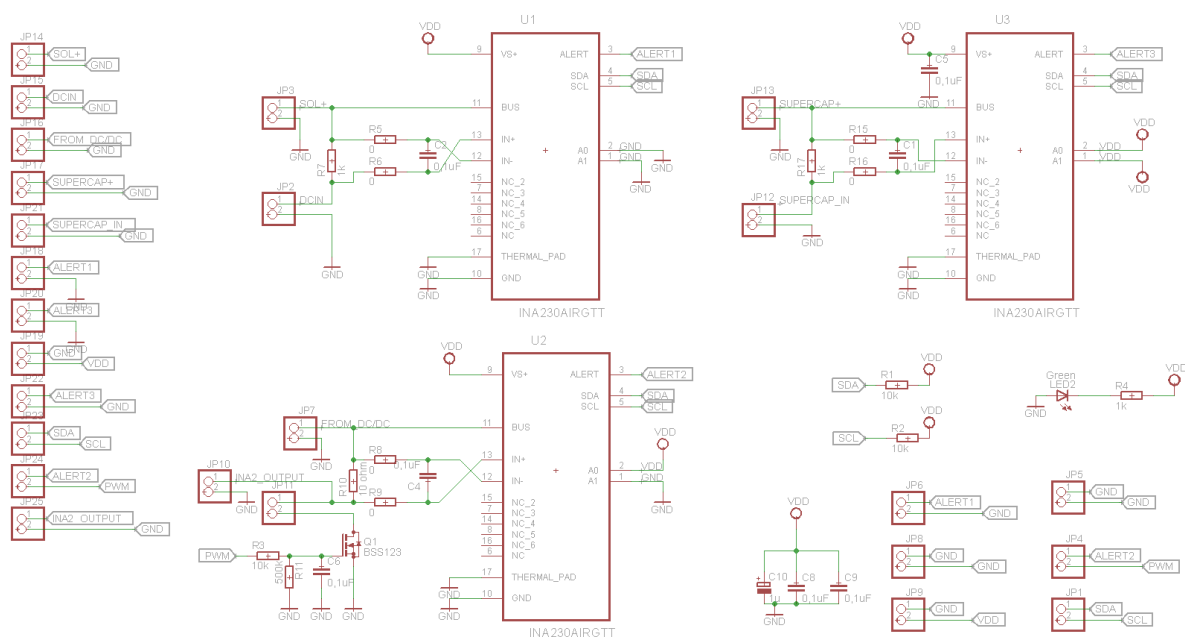
5.1. A/D převodník INA230

Byl navržen obvod, který je rozdělen na tři části, základem každé třetiny je A/D převodník INA230, který umí současně měřit napětí a proud na bočníku. Z naměřených hodnot (napětí, proud) vypočítává výkon. V jednom obvodu jsou prakticky sestaveny tři ampérmetry a tři voltmetry. Přes I²C komunikaci obvod vyčítá informace ven.

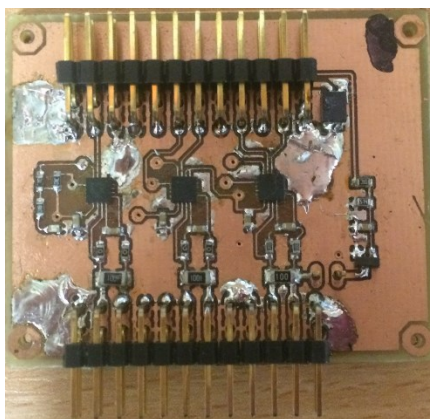
Po průzkumu trhu bylo zjištěno, že A/D převodník INA230 je ideálním převodníkem pro kontinuální měření napětí a proudu. Je od americké společnosti Texas Instruments. Převodník INA230 je digitální a monitorovací zařízení s rozhraním I²C pro propracovaně řešené systémy, jejichž podstatou je nejčastěji Energy Harvesting. Má 16 programovatelných adres. Programovatelná kalibrační hodnota, doba konverze, průměrné hodnoty v kombinaci s vnitřním multiplikátorem umožňuje přímé odečítání proudu v ampérech a výkonu ve wattech. Provozní teploty jsou od -40°C do +125°C.

Převodník umožňuje měřit napětí v rozmezí 0 – 28 V a vysoké nebo nízké boční snímání. Především díky těmto vlastnostem byl převodník vybrán, neboť jsou pro měření komunikaci důležité. Registry, které jsou programovatelné umožňují přizpůsobivou konfiguraci naměřených veličin, nebo plynulý či přerušovaný provoz, který kladně ovlivňuje spotřebu. Po připojení napětí k pinu s označením BUS je možno změřit napájecí napětí sběrnice.

Principem převodníku je provádění plynulého měření napájecího napětí a proudu. Napětí, které je úměrné proudu, který protéká přes bočník obvodem vytváří bočníkový napěťový signál. Je měřen na vstupech pinu IN+ a pinu IN-. Rozdíly napětí na bočníku je měřeno vzhledem k pinu IN-, napětí na BUS je měřeno vzhledem k zemi. A/D převodník INA230 je napájen z nezávislého zdroje, jehož hodnota se pohybuje v rozmezí 2,7 – 5,5 V. Napětí na vstupu, které je měřeno dosahuje až 28 V, tuto hodnotu by při reálném měření nemělo překročit. [38][39]



Obrázek 19: Návrh obvodu s A/D převodníkem INA230 (vlastní)



Obrázek 20: Vytvořená deska s A/D převodníkem INA230.

5.1.1. Režimy a registry A/D převodníku INA230

Pomocí A/D převodníku INA230 jsou provedena dvě měření, a to napětí na bočníku a na sběrnici. V kalibračním registru se naměřené hodnoty převádí na proud na základě hodnoty, která v něm bude nastavena, následně se z hodnot napětí a proudu vypočítá výkon. INA230 pracuje ve dvou režimech: kontinuální (plynulý) a Trigger. V kontinuálním režimu se provádí nepřetržitě měření, v režimu Trigger se měření spustí jen v dobu, kdy dochází k měření. Při nastavení INA230 do kontinuálního režimu je MODE bit v konfiguračním registru nastaven na „111“, kdy dochází k neustále změně při čtení hodnot napětí na sběrnici a bočníku. [38][39]

Jakmile se načtou data o hodnotě napětí na bočníku, ze základní rovnice se vypočte hodnota proudu na bočníku.

$$I_{LBS} = \frac{I_{MAX}}{2^{15}} \quad (5.1)$$

Kde: I_{LBS} - rozlišení proudu

I_{MAX} – maximální reálný proud

Výsledná hodnota bude dosazena do následujícího vzorce, aby byla vypočtena hodnota výsledného výkonu:

$$P = \frac{I_{průměr} \times U_{vstupní}}{20000} \quad (5.2)$$

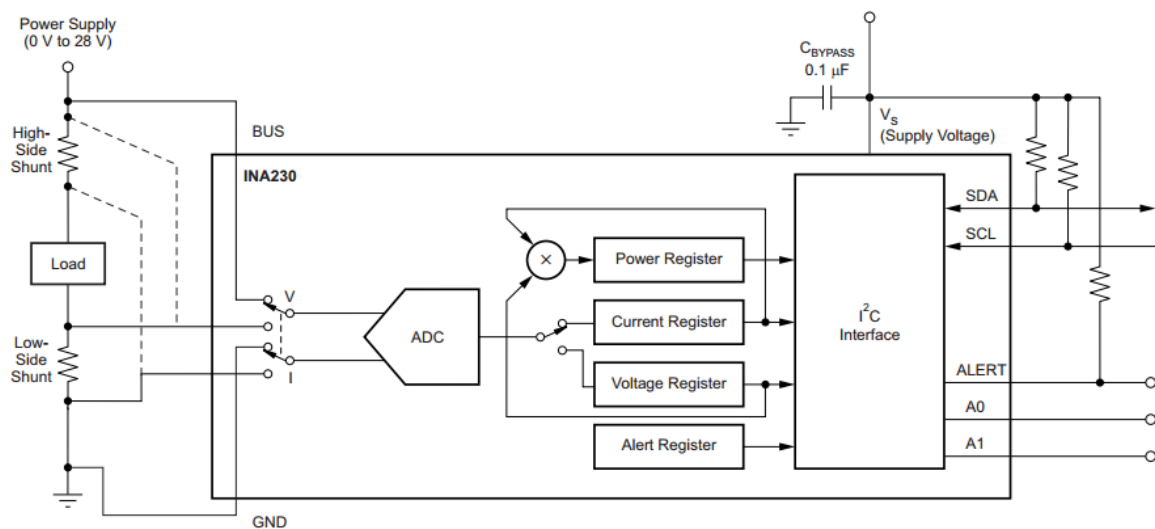
Kde: $I_{průměr}$ – průměrný protékající proud

$U_{vstupní}$ – vstupní napětí

Výsledné hodnoty jsou uloženy do akumulátoru, měření se opakuje podle nastavení v konfiguračním registru. Vypočítané hodnoty proudu a výkonu jsou založeny na předem naprogramované hodnotě v kalibračním registru. Po každém opakování měření jsou výsledné hodnoty připojeny k předešlým hodnotám. Všechny nashromážděné hodnoty se zprůměrují a všechny získané konečné hodnoty pro napětí na bočníku, napětí na sběrnici, proudu a výkonu aktualizovány v daných registrech a následně mohou být načteny. Hodnoty setrvávají ve vstupních datech registrů, do té doby než budou nahrazeny aktuálními daty.

V konfiguračním registru je možnost nastavení, které umožňuje převod buď napětí na bočníku, nebo napětí na sběrnici.

V režimu Trigger musí být registr nastaven na některý z módu – „001“, „010“, či „011“, ty spouští jednorázový přepočít. Kromě dvou popsáných režimů může také INA230 přejít do režimu spánku, v tomto režimu dochází ke snížení spotřeby energie. Následné zotavení z režimu spánku trvá přibližně 40 ms. Zapisovat a číst lze z registrů i v případě, že je zařízení právě v režimu spánku. [38][39]



Obrázek 21: Blokové schéma mikrokontroléru INA. [38]

Aby bylo možno převodník INA230 programovat, je nutno nastavit pomocí výpočtů z následujících vzorců registry.

$$R_B = \frac{U_{MAX}}{I_{MAX}} = \frac{0,08}{0,65} = 1,23\Omega \quad (5.3)$$

Kde: R_B – Odpor bočnicku

U_{MAX} – Maximální napětí na bočnicku

I_{MAX} – Minimální proud - předpokládaný

$$CAL = \frac{0,00512}{I_{LBS} \times R_B} = \frac{0,00512}{2 \times 10^{-6} \times 1,23} = 2081,301 \quad (5.4)$$

Kde: I_{LBS} – rozlišení proudu

R_B – odpor bočnicku

$$I_{LBS} = \frac{I_{MAX}}{2^{15}} = \frac{0,65}{2^{15}} = 2\mu A \quad (5.5)$$

Kde: I_{MAX} – Maximální proud – předpokládaný

$$P = \frac{I_{PRŮMĚR} \times U_{VSTUPNÍ}}{20000} = \frac{0,42 \times 10^{-3} \times 1}{20000} = 0,021\mu W \quad (5.6)$$

5.1.2. Komunikace INA230 přes I²C

Převodník INA230 je sloučen s I²C rozhraním. I²C je multi - masterová počítačová sběrnice za kterou stojí firma Philips. Ta rozhraní používá k připojování nízko rychlostních periférií k základní desce např. mobilního telefonu.

Sběrnice rozdělí zařízení, která jsou připojena na master a slave. Master se stará o generování hodinového signálu, o zahájení a ukončení komunikace. Slave je podmíněno rozkazům mastera. Pomocí dvou obousměrných vodičů umožňuje rozhraní připojení maximálního počtu až různých zařízení. Jeden z vodičů se stará o tvorbu hodinového signálu SCL (Synchronous Clock), druhý vodič vytváří datový kanál SDA (Synchronous Data). Maximální délka vodičů je určena jejich nejvyšší možnou kapacitou, což je 400 pF. Každý z jednotlivých vodičů musí být připojen jedním pull-up rezistorem ke kladnému napětí.

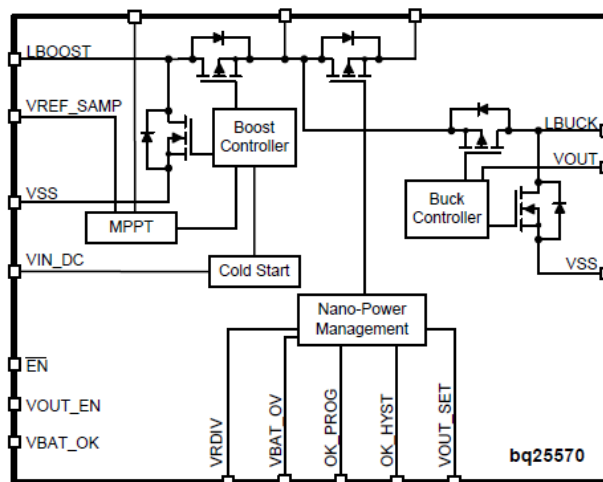
K zahájení přenosu dat dochází START bitem, když je SDA nízké a SCL zůstává vysoké. Při tomto stavu SDA nastaví přenášený bit, SCL odebere vzorky dat, které jsou přijaté při stoupajícím SCL. K ukončení přenosu se použije STOP bit pro uvolnění datové linky změnou SDA na vysokou, přičemž SCL je vysoká permanentně.

Po zahájení každého přenosu START bitem je vyslána 7 bitová adresa příjemce a jeden bit R/W, ten detekuje operaci čtení, nebo zapisování. Další bit ACK je vyslán s úrovní H (high) jehož funkcí je potvrzování stanice o připravenosti přijímat. Po ukončení je vyslán STOP bit. [38][39]

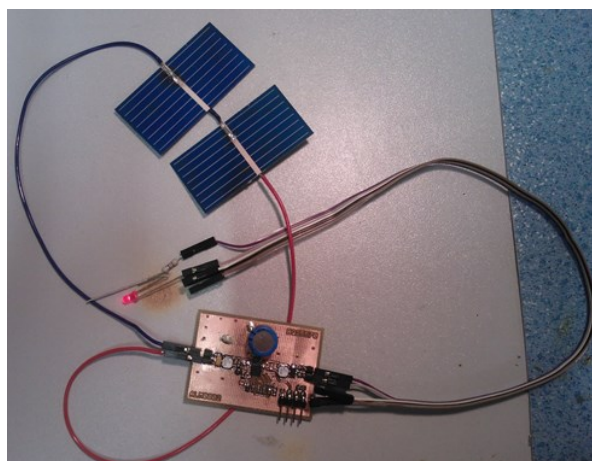
5.2. DC/DC měnič BQ25570

Byl sestaven generátor pro bio-telemetrické senzory, čip s označením BQ25570 od společnosti Texas Instruments disponuje s velmi malým vstupním napětím cca 0,33V a tudíž začíná pracovat i při malém osvětlení, hodnota napětí na výstupu je 2,25 V. Úkolem obvodu je s maximální možnou účinností zacházet s μ W a mW výkony, které jsou získány z okolního prostředí. Čip vytváří při své práci minimální úrovně klidových proudů a tím umožňují provoz bez potřebných baterií u mobilního příslušenství, běžně nositelných zdravotnických zařízení, monitorovacích systémů a dalších aplikací s omezenou možností napájení ze sítě. Účinnost čipu je nad 90%, je tedy schopen pracovat i při špatném osvětlení. Velký důraz je kladen na funkci pinu MPPT (Maximum Power Point Traching). Ve speciálním režimu je možné dlouhodobě odebírat méně než 5nA.

Ukládání energie je způsobeno akumulací v bloku Power Management viz. blokové schéma obrázek 22, dochází zde k nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Dále je podle blokového schématu znázorněny tři bloky, do kterých se dá čip rozdělit. První blok je dle originálního blokového schéma pojmenován Boost Controller, ten reguluje napájecí napětí a aby nedocházelo ke zkratům ve zdroji. Další blok je dle originálního blokového schématu označován jak Buck Controller, díky jemuž dochází k úpravě napětí na výstupu. Poslední blok Power Management je již popsán výše. [40]



Obrázek 22: Blokové schéma čipu BQ25570. [40]



Obrázek 23: Realizovaný obvod s čipem BQ25570.

5.2.1. Tok energie

Energie, která se pomocí solárního článku podaří načerpat z vnitřního prostředí je díky velké impedanci převedena do Boost Controller, napájecí napětí V_{IN_DC} je v něm regulováno, aby nedošlo ke zkratu ve zdroji. Dále také dochází k monitorování výstupního napětí (VSTOR), jakmile odpor dosáhne naprogramované úrovně dojde k zastavení. Vše je založeno na spínacím regulátoru, ten maximalizuje účinnost a minimalizuje Start-up a provozní výkon.

Energie, která se získá je uložena do bloku s označením Power Management, ten se stará a řídí nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Obvod uvnitř je aktivní pouze určitou dobu, následně se vypne. Kondenzátor o velikosti 0,1F shromažďuje energii z něj je možné po určitou dobu obvod řídit. Energie se přesouvá do bloku s označením Buck Controller, v něm dochází k úpravě výstupního napětí, blok je napájen pinem s označením VSTOR. [40]

5.2.2. Použité vzorce

Prvním ze série nezbytně nutných vzorců je vzorec na ochranu přepětí baterie, který se používá k zabránění neúměrnému nabíjení napětí.

Při rostoucím napětí je hranice VBAT_OV dána rovnicí, dle datasheetu by neměl být součet odporů nižší než 13MΩ.

$$VBAT_{OV} = \frac{3}{2} VBIAS \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (5.7)$$

Další vzorec určuje přijatelnost napětí na VSTOR. Při jeho klesání z hodnoty, která je nastavená se použije:

$$VBAT_{OK_{PROG}} = VBIAS \left(1 + \frac{R_7}{R_8}\right) \quad (5.8)$$

Při stoupání napětí je použije vzorec:

$$VBAT_{OK_{HYST}} = VBIAS \left(1 + \frac{R_7 + R_6}{R_8}\right) \quad (5.9)$$

Pro regulaci výstupního napětí V_{OUT} je použit vzorec:

$$V_{OUT} = VBIAS \left(\frac{R_9 + R_{10}}{R_{10}}\right) \quad (5.10)$$

Hodnota VBIAS je nastavena na 1,21 V, dle datasheetu je doporučen součet odporů menší než 13MΩ. Pokud by nebyla dodržena hodnota nižší než již zmíněných 13MΩ mohlo by docházet k nepřesným hodnotám na výstupu.

Výpočty více uvedených vzorců:

Hodnota napětí VBAT_OV:

$$VBAT_{OV} = \frac{3}{2} \times 1,21 \times \left(1 + \frac{3M}{2M}\right) = 4,54V \quad (5.11)$$

Napětí na pinu VSTOR:

$$VBAT_{OK_{PROG}} = 1,21 \times \left(1 + \frac{6,8M}{5,6M}\right) = 2,67V \quad (5.12)$$

Výpočet k nastavení při stoupání napětí:

$$VBAT_{OK_{HYST}} = 1,21 \left(1 + \frac{6,8M + 2M}{5,36M}\right) = 3,19V \quad (5.13)$$

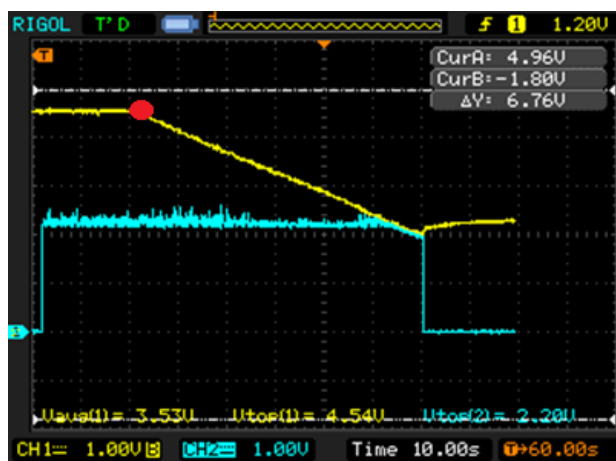
Regulace výstupního napětí V_{OUT}:

$$V_{OUT} = 1,21 \times \left(\frac{2,7M + 3,3M}{3,3M}\right) = 2,2V \quad (5.14)$$

Výpočet energie superkapacitoru, který má maximální hodnotu napětí 5,5V, je potřeba uložení 0,2Ws.

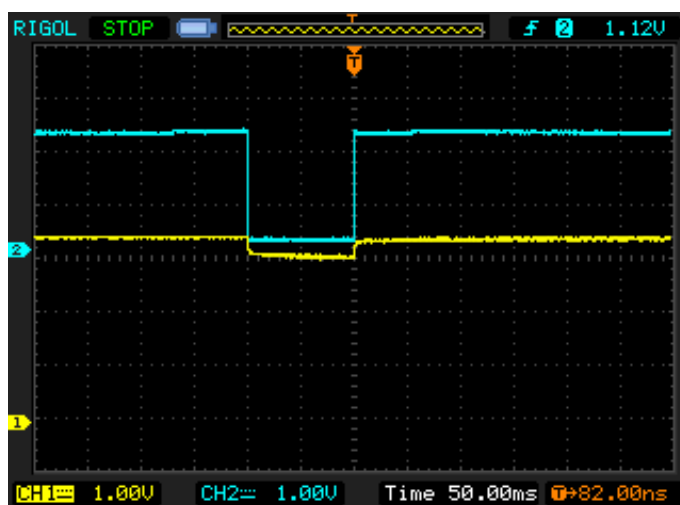
$$E = \frac{1}{2} \times C \times U^2 ; 0,2 = \frac{1}{2} \times C \times 25 ; C = 16mF \quad (5.15)$$

Na následujícím obrázku číslo 24 je znázorněn průběh vybíjení superkapacitoru na digitálním osciloskopu. Kde žlutá křivka znázorňuje průběh vybíjení superkapacitoru, který byl plně nabit přes pevný zdroj na 4,54 V. V místě, kde je vyznačené červené kolečko byl obvod odpojen od pevného zdroje. Po odpojení je vidět, jak křivka klesá. Modrou křivkou je znázorněno napětí obvodu na výstupu. Pokud dojde k poklesu hodnoty superkapacitoru na hodnotu výstupního napětí, tak dojde k poklesu napětí na výstupu a superkapacitor se postupně začíná nabíjet znovu na hodnotu 4,54 V.



Obrázek 24: Znázornění vybíjení superkapacitoru na osciloskopu.

Dalším měřením byla provedena simulace spotřeby senzoru. Byl vytvořen periodický signál, jehož jedna část vyjadřuje aktivní část senzoru a druhá představuje stav, kdy obvod v úsporném režimu. K simulaci bylo zapotřebí nepájivého pole, byl zapojen tranzistor s označením IRLZ34N, jehož první nožička byla připojena na zátěž o velikosti 1k, druhá nožička byla připojena na odporovou dekádu a třetí na zem. Generátor byl nastaven na generování pulsního signálu. Průběh měření bylo zaznamenáno opět na osciloskopu viz. Obrázek 25. Žlutou křivkou je zobrazena hodnota napětí na výstupu a modrou křivkou průběh signálu ze záporného pólu zátěže.



Obrázek 25: Simulace spotřeby senzoru u obvodu BQ25570.

5.3. Měření výkonových charakteristik solárního článku

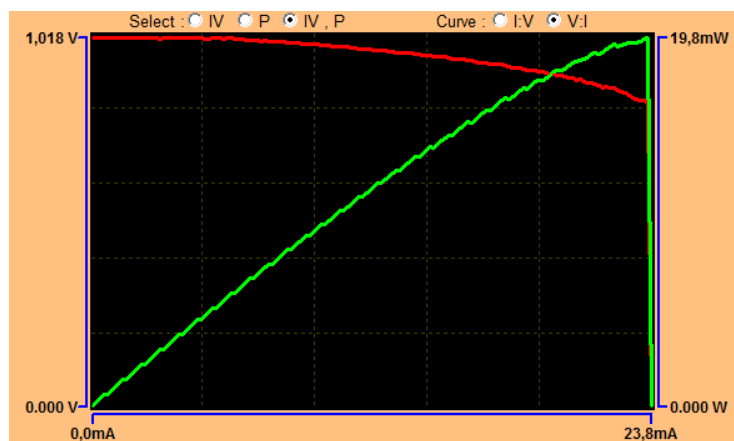
Bylo provedeno měření výkonových charakteristik solárního článku v laboratorním prostředí a následně v terénním prostředí. Obě měření jsou zaznamenány níže v tabulkách a obrázcích výkonových charakteristik ze solárního analyzáru PROVA 210. Byly změřeny dva články zapojené do série, jejichž plocha byla 13 cm².

5.3.1. Měření v laboratorním prostředí

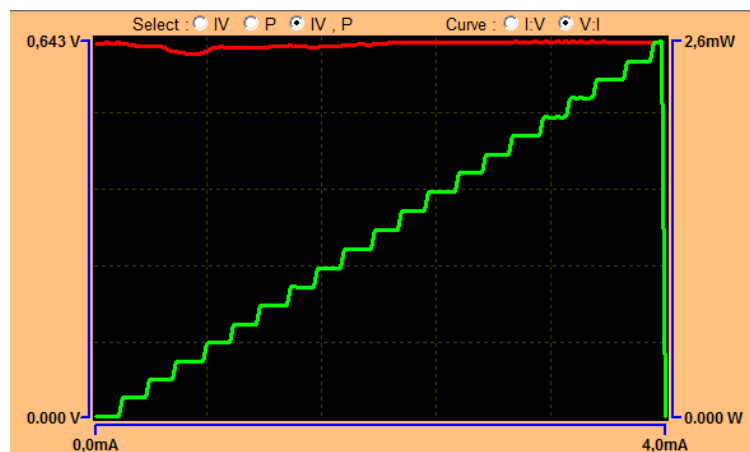
Měření v laboratorním prostředí bylo provedeno ve dvou fázích. Nejprve byl solární článek změřen pod laboratorní lampou, doba ustálení do maximální hodnoty změřeného napětí trvala 15 sekund. Maximální výkon pod laboratorní lampou byl naměřen 19,8 mW. Následně byla lampa přesunuta a solární články byly změřeny bez ní. Maximální hodnota výkonu byla naměřena 2,572 mW. Rozdíl naměřených hodnot výkonu mezi solárními články změřenými pod lampou a bez lampy je 17,228 mW. V tabulce číslo 3, jsou znázorněna všechna naměřená data pomocí solárního analyzáru. Na obrázcích 26 a 27 jsou graficky znázorněny průběhy výkonové charakteristiky solárních článků. Zelenou křivkou je znázorněn výkon solárního článku, červenou křivkou je naznačen vstupní proud, který je přivedený do solárního článku.

Tabulka 3: Naměřené hodnoty solárních článků v laboratorním prostředí

	$U_{\text{vstupni}} [\text{V}]$	$I_{\text{Snort}} [\text{mA}]$	$P_{\text{max}} [\text{mW}]$	$V_{\text{maxp}} [\text{V}]$	$I_{\text{maxp}} [\text{mA}]$	FF
Pod lampou	1,018	23,8	19,8	0,841	24	0,817
Bez lampy	0,64	4	2,572	0,643	4	1,004



Obrázek 26: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku pod laboratorní lampou.



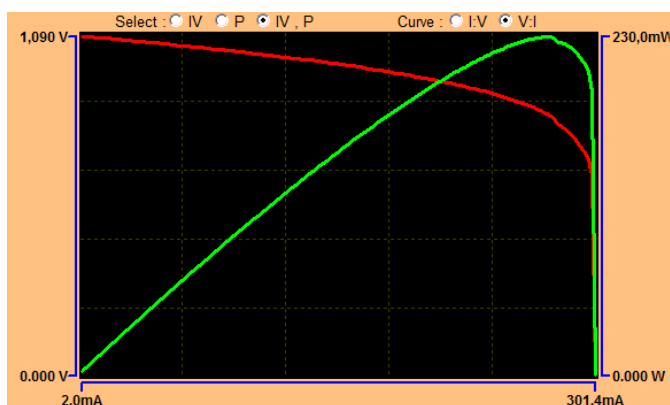
Obrázek 27: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku bez laboratorní lampy.

5.3.2. Měření v terénním prostředí

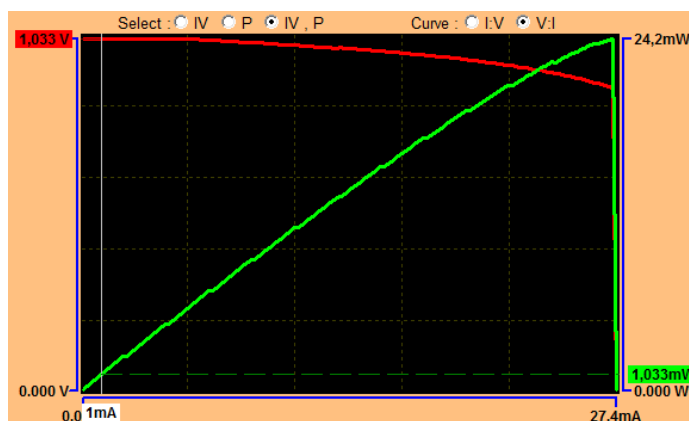
Měření v terénním prostředí bylo také změřeno ve dvou fázích. První bylo měření na přímém slunci, kde měl solární článek maximální výkon 230 mW. V druhé fázi měření byl solární článek změřen ve stínu, kde byl jeho maximální výkon. Ve stínu byl naměřen maximální výkon solárních článků na 24,2 mW. Rozdíl naměřených hodnot výkonu mezi solárními články změřenými na slunci a ve stínu je 205,8 mW. V tabulce číslo 4, jsou znázorněna všechna naměřená data pomocí solárního analyzáru. Na obrázcích 28 a 29 jsou graficky znázorněny průběhy výkonové charakteristiky solárních článků. Zelenou křivkou je znázorněn výkon solárního článku, červenou křivkou je naznačen vstupní proud, který je přivedený do solárního článku.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty solárního článku v terénním prostředí.

	$U_{\text{vstupní}} [\text{V}]$	$I_{\text{Snort}} [\text{mA}]$	$P_{\text{max}} [\text{mW}]$	$V_{\text{maxp}} [\text{V}]$	$I_{\text{maxp}} [\text{mA}]$	FF
Světlo	1,089	301	230	0,842	273	0,7
Stín	1,033	27	24,2	0,89	27	0,882



Obrázek 28: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku na přímém slunci

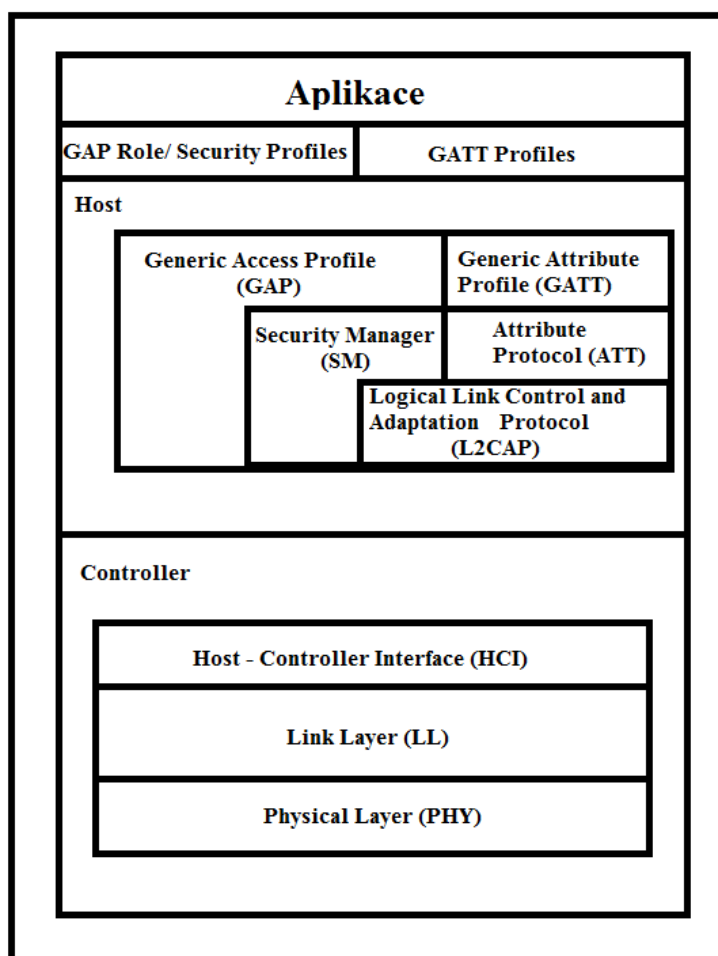


Obrázek 29: Průběh výkonové charakteristiky solárního článku ve stínu.

6. Realizace softwarové části

Při tvorbě aplikace s funkcí BLE bylo využito prostředí Code Composer Studio (verze 7) a CCS cloudu od společnosti Texas Instruments a vývojového kitu SmartRF06 + CC2650EM - 7ID. Při realizaci byly plně dodržovány postupy, zásady a pokyny z manuálu od společnosti Texas Instruments viz odkaz [36] [41].

Základním požadavkem je, aby vysílací zařízení mělo plnou podporu BLE. Aplikace funguje na RTOS. K přístupu k perifériím jsou použity „haly“ – Hardware Abstraction Layer.

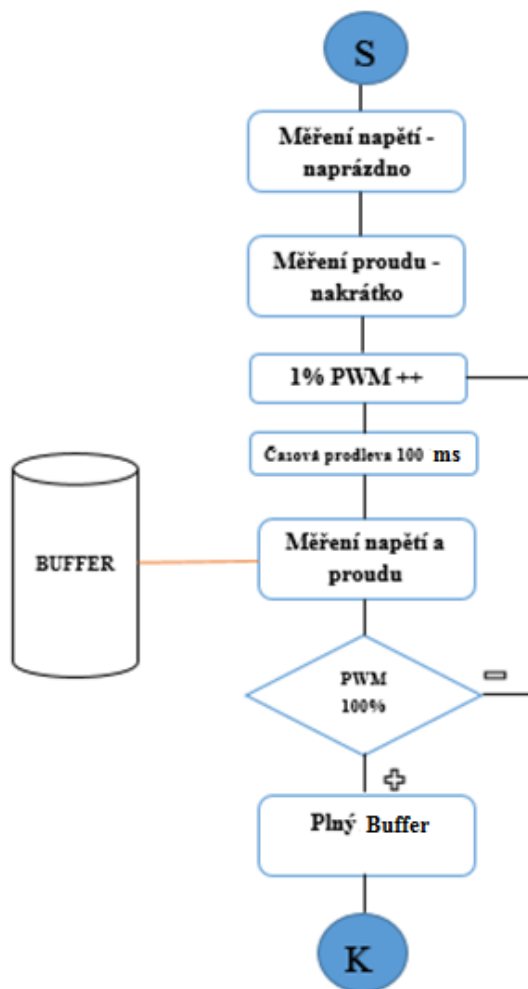


Obrázek 30: Struktura zařízení CC2650. [41 upraveno]

6.1. Měření VA charakteristiky

Jednoduše řečeno je VA charakteristika závislost mezi elektrickým napětím (Volt) a proudem (Ampér) doplněno o grafické znázornění v grafu. V případě diplomové práce se jedná o závislost proudu, který protéká obvodem a napětí na jeho svorkách. Ze získaných hodnot napětí a proudu je vypočítán výkon.

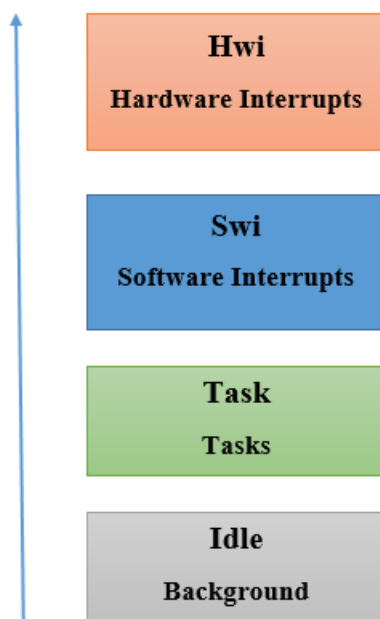
Na následujícím vývojovém diagramu je znázorněn krok po kroku průběh měření VA charakteristiky v diplomové práci. Nejprve bude obvod rozpojen a je změřeno napětí naprázdno, následně dojde ke zkratu a je změřen proud nakrátko. Pulzně šířkovou modulací (PWM) je řízeno naplňování bufferu, mezi měřeními je časová prodleva o délce 100 ms. Naměřené hodnoty proudu a napětí jsou přesouvány do bufferu, jakmile dojde k naplnění bufferu je smyčka u konce.



Obrázek 31: Vývojový diagram měření VA charakteristiky. (vlastní)

6.2. Využití operačního systému reálného času

TI – RTOS je operační prostředí systém reálného času určený pro běh na většině platform TI, v našem případě speciálně pro mikrokontrolér CC2640. Jádro pracuje v reálném čase a systém podporuje vícevláknové preemptivní zpracování úloh. Aplikace mohou běžet na čtyřech úrovních, viz obrázek 30.



Obrázek 32: RTOS provedení v blocích [41]

Úrovně jsou sestaveny vertikálně dle priority, dole je úroveň s nejnižší prioritou (nečinné úlohy) a ta stoupá k úrovni s prioritou nejvyšší (hardwarové ovladače přerušení). Úroveň s nejnižší prioritou běží v nekonečné smyčce `while(1)`. V další úrovni je možné paralelně spouštět úlohy, obvyklé řízené semaforem, je možné využít až 32 úrovní priority. Následující blok Swi, provádí softwarovou obsluhu přerušení, čili zpracovává data. Má také až 32 úrovní priority. Posledním a také nejvýše prioritním blokem je úroveň zpracující hardwarové přerušení. Hardwarová smyčka spouští Hwi. Jádro řídí přepnutí a uložení/obnovení kontextu, Hwi řídí navazující zpracování, priority jsou pevně stanovené. [41]

6.2.1. Úlohy v RTOS

V rámci RTOS běží úlohy jako nezávislá vlákna, které koncepčně provádí funkce paralelně uvnitř jednoho programu v jazyku C. Ve skutečnosti je souběžného zpracování dosaženo přepínáním procesoru z jednoho úkolu na další. Každá úloha se nachází vždy v jednom z následujících stavů:

1. Běžící – úloha právě běží.
2. Připravena - vykonávání úlohy je naplánováno.
3. Blokována – vykonávání úlohy je pozastaveno.
4. Ukončena – úloha je vyřazena ze seznamu úloh.
5. Neaktivní – úloha je zařazena do seznamu neaktivních úloh.

V reálném čase běží vždy pouze jedna úloha, i kdyby měla být v nečinném módu. Vykonávání právě běžícího programu může být blokováno vyvoláním určitého systémového volání, případně semaforu. Současná úloha se může taktéž ukončit sama, v obou případech je procesor přepnut na úkol s vyšší prioritou, který je připraven ke spuštění.

K úlohám (taskům) jsou přiřazeny číselné priority a vícenásobné tasky tak mohou mít stejnou prioritu. Úlohy jsou zařazeny ve frontě připravených úloh od nejvyšší priority k nejnižší. Úlohy se stejnou prioritou jsou naplánovány v pořadí, v jakém přišly (FIFO). Priorita právě běžícího úlohy není nikdy nižší než priorita úlohy z fronty připravených úloh. Právě běžící úloha je dočasně přerušena a odložena na pozdější k vykonání v případě, že je v zásobníku nachystána úloha s vyšší prioritou. Každá RTOS úloha má inicializační funkci přiřazeného procesoru a jednu nebo více `callback` funkcí.

Když je úloha vytvořena, má vlastní činný zásobník pro ukládání lokálních proměnných stejně jakož i další úložiště příkazů k vyvolání funkcí. Všechny úlohy vykonávané během jednoho programu sdílí společný soubor globálních proměnných. Tato část paměti tvoří kontext úlohy.

Vytvoření úlohy je provedeno ve funkci `main()`, před tím než je spuštěn plánovač RTOS.

```
BIOS_start();    /* spustění aplikace */
```

Pokud je přidána další úloha do aplikačního projektu, musí být přiřazena úloze priorita v rámci rozsahu úrovní priority RTOS definované v konfiguraci RTOS. Není možno přiřadit úkol se stejnou nebo vyšší prioritou, než je protokol podporující komunikaci přes bluetooth a souvisejících podpůrných úkolů. Je zajištěno minimálně 512 bajtů pro každou úlohu v předdefinované paměti. Přinejmenším každý zásobník musí být dostatečně veliký, aby umožnil normální funkci a jeden přerušovací kontext. Ten je uložen v případě vyvolání úlohy s vyšší prioritou. [41]

6.2.2. Režim spánku

Režim spánku je funkce, která může být naplánována po určitém časovém okamžiku. Je možné aby se režim spánku spustil pouze jednou, nebo se může několikrát opakovat, může být periodický. Tyto instance se spouštějí okamžitě po vytvoření a jsou nastaveny ke spuštění po určitém časovém zpoždění. Taktéž mohou být kdykoliv zastaveny. Všechny hodinové instance jsou vykonávány, když vyprší v kontextu softwarových přerušení. Každý „tick“, který je odvozen z RTC, zahajuje hodinový Swi, který porovnává uběhlý časový úsek s periodou hodin, aby určil, jestli má být přiřazená funkce spuštěna. TI doporučuje používání 16 - bitového časovače.

```
/* Po bodu 5 sekund dojde k uspání */  
Task_sleep(5000000 / Clock_tickPeriod);
```

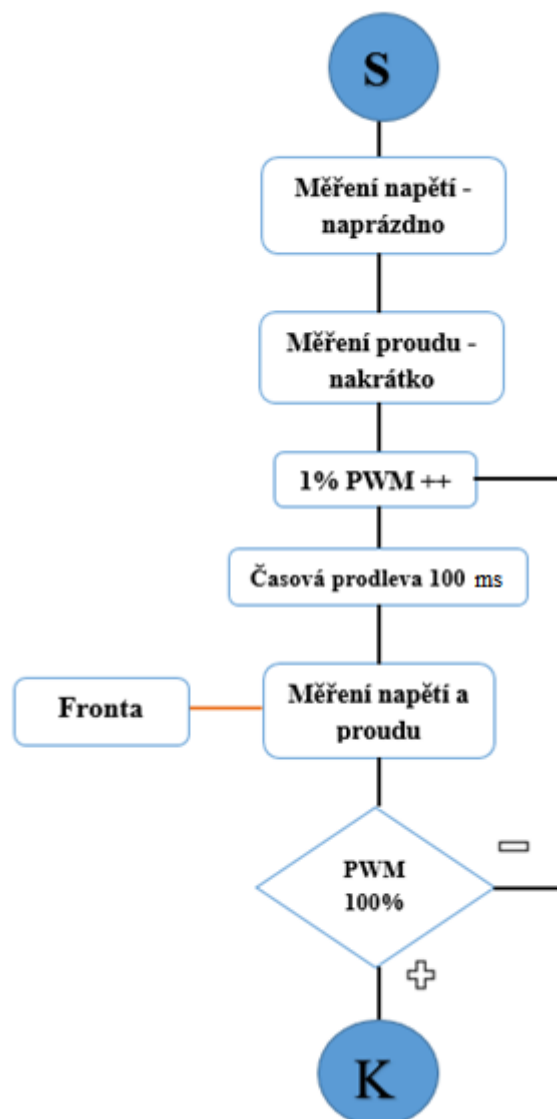
6.2.3. Zprávy mezi procesy

Zprávy je možné předávat pomocí fronty zpráv. Fronty umožňují zaslání zpráv mezi vlákny pomocí FIFO pro zpracování příchozích událostí. Projekt může používat frontu k řízení interních událostí přiřazených z okolních událostí nebo dalších úkolů. K využití musí být použity systémové hodiny, pokud je událost zpracována v časově kritickém úseku. Fronty jsou více užitečné pro události, které musí být zpracovány v předem určeném pořadí.

Fronta zpráv je poskytována nepřímou metodu posílání zpráv mezi úkoly za použití FIFO. Z následujícího obrázku je patrné že je konfigurována fronta z tasku A do tasku B. Task A vkládá zprávy do fronty a task B čte data z řady v pořadí dle FIFO. Obrázek 31 tuto skutečnost ilustruje a tato metoda je rovněž využita v realizaci diplomové práce. [41]



Obrázek 33: Způsob zasílání zpráv do fronty [41]



Obrázek 34: Vývojový diagram měřícího řetězce. (vlastní)

6.3. Struktura programu

Fronty nadefinované v `ti.sysbios.knl.Queue` podporují vytváření seznamu objektů. V programu jsou implementovány fronty jako seznam s dvojitou vazbou, to znamená, že prvky mohou být vloženy nebo odstraněny z libovolného místa v seznamu. Před samotným spuštěním programu musí být fronta inicializovaná a musí být nadefinovaná struktura dat, ze které se budou data přenášet.

```

typedef struct
{
ti_sysbios_knl_Queue_Elem elem // element fronty
unsigned int U1; //napětí na vstupu
unsigned int I1; //proud na vstupu
}
  
```

```

unsigned int U2;           //Hodnoty napětí pro supercap (uložiště)
unsigned int I2;           //Hodnoty proudu pro supercap (uložiště)
unsigned int U3;           //napětí na výstupu
unsigned int I3;           //proud na výstupu
unsigned int PWM;         //řízení zátěže (pokud je použita)
    } VAMereni ;

```

Před přidáním struktury do fronty musí být první pole typu Queue_Elem, jedná se o elementy fronty. K vytvoření každé fronty je zapotřebí nadefinování ukazatele (Handle).

```
//vytvoření fronty, fronta potřebuje Queue_Handle
```

```
ti_sysbios_knl_Queue_Handle fronta;
```

Nadefinovaný buffer obsahuje 100 položek

```
static VAMereni MBuf[100];
```

V průběhu nastavení aplikace je vytvořena prázdná fronta

```
fronta = Queue_create(NULL, NULL); //vytvoření fronty
```

Do níž se zapisuje pomocí enqueue. Funkce dequeue je posledním elementem fronty. Společně tyto funkce podporují přirozený front FIFO.

```
Queue_enqueue(fronta, &(MBuf[index].elem) );//příjem z fronty
```

```
VAMereni *VycetFronty
```

```
VycetFronty = Queue_dequeue(fronta); //vyčítání z fronty
```

Mezi funkcemi je možno použít následující příkaz, který znamená, že dokud je fronta prázdná, tak se nic neděje. Data se vyčítají tak dlouho dokud Queue není empty. Jakmile se fronta naplní, dojde k vyčítání dat.

```
while (!Queue_empty(fronta))
```

Funkce pro vytvoření měřícího „tasku“.

```
EH_measurement_createTask(); //vytvoření „tasku“ měření
```

Inicializace programu:

```
int main()
```

```
{
```

```
/* Registrace zpětného volání */
```

```
RegisterAssertCback(AssertHandler);
```

```
PIN_init(BoardGpioInitTable);
```

```

#ifdef ICALL_JT
  /* Inicializace užívatelě, konfigurace zásobníku */
  user0Cfg.appServiceInfo->timerTickPeriod = Clock_tickPeriod;
  user0Cfg.appServiceInfo->timerMaxMillisecond = ICall_getMaxMSecs();
#endif /* ICALL_JT */
  /* Inicializace volání */
  ICall_init();

  /* Spuštění úkolu externích snímků - Priorita 5 */
  ICall_createRemoteTasks();

  /* vytvoření GAPRole - Priorita 3 */
  GAPRole_createTask();

  /* Vytvoření aplikace měření - Priorita 1 */
  EH_measurement_createTask(); //vytvoření tasku (fronty)

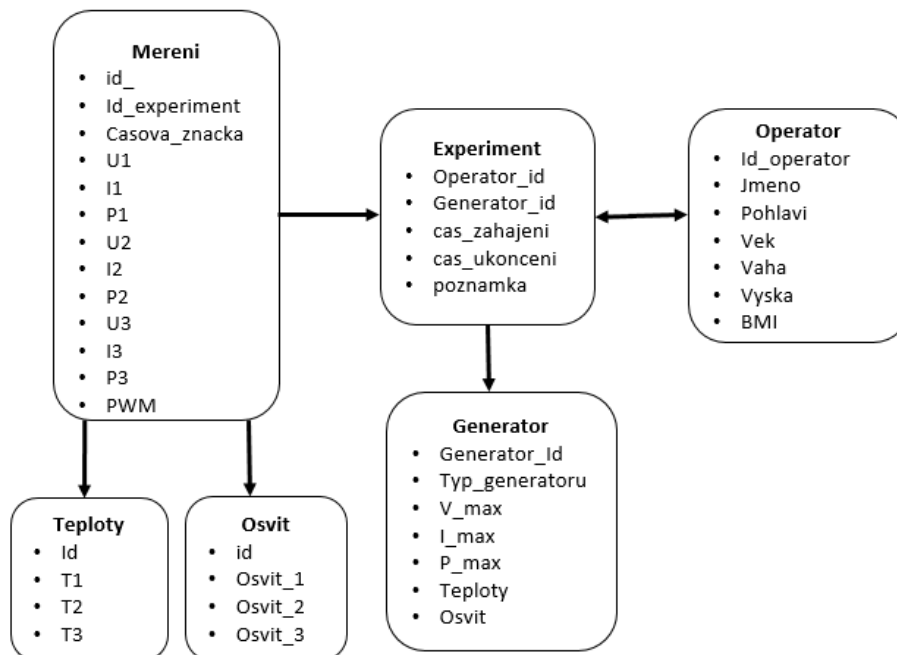
  BIOS_start(); /* spuštění aplikace */

  return 0;
}

```

6.4. Databáze

K ukládání a vyhodnocování dat byla data v intervalech odesílána do databáze. Z komerčně dostupných druhů databází byla vybrána MySQL databáze. Databáze je velmi stabilní, rychlá, rozšířená, podporuje přístup z několika programovacích jazyků. K vyhledávání dat se používají SQL dotazy.



Obrázek 35: Relační model databáze. (vlastní).

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	id	int(10)		UNSIGNED	Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
2	id_experiment	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
3	casova_znacka	timestamp		on update CURRENT_TIMESTAMP	Ne	CURRENT_TIMESTAMP ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP		Změnit Odstranit Více
4	U1	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
5	I1	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
6	P1	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
7	U2	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
8	I2	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
9	P2	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
10	U3	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
11	I3	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
12	P3	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více
13	PWM	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Více

Obrázek 36: Pohled do struktury tabulky měření.

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	id_experiment	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
2	operator_id	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
3	generator_id	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
4	Cas_zahajeni	datetime			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
5	Cas_ukoncení	datetime			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
6	Poznamka	varchar(50) utf8_czech_ci			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více

Obrázek 37: Pohled do struktury tabulky experiment..

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	id_operator	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
2	Jmeno	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
3	Pohlavi	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
4	Vek	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
5	Vaha	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
6	Vyska	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
7	BMI	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty

Obrázek 38: Pohled do struktury tabulky operátor..

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	id	int(10)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
2	T1	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
3	T2	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
4	T3	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty

Obrázek 39: Pohled do struktury tabulky teploty

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	id	int(10)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
2	Osvit_1	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
3	Osvit_2	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty
4	Osvit_3	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Odlišné hodnoty

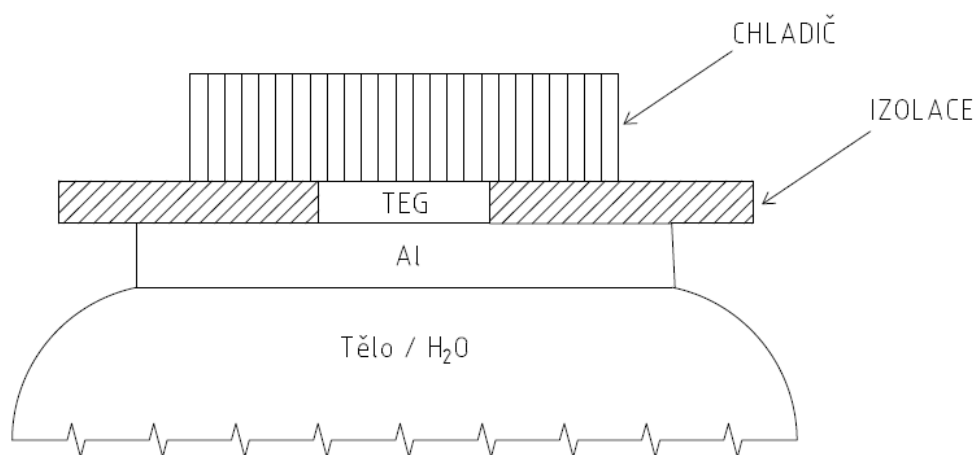
Obrázek 40: Pohled do struktury tabulky osvit.

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Další	Operace
1	generator_id	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
2	Typ_generatoru	text		utf8_czech_ci	Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
3	V_max	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
4	I_max	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
5	P_max	int(11)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
6	Teploty	tinyint(1)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více
7	Osvit	tinyint(1)			Ne	Žádná		Změnit Odstranit Primární Unikátní Klíč Prostorový Fulltext Více

Obrázek 41: Pohled do struktury tabulky generátor.

7. Měření systému Energy Harvesting s Peltierovým článkem

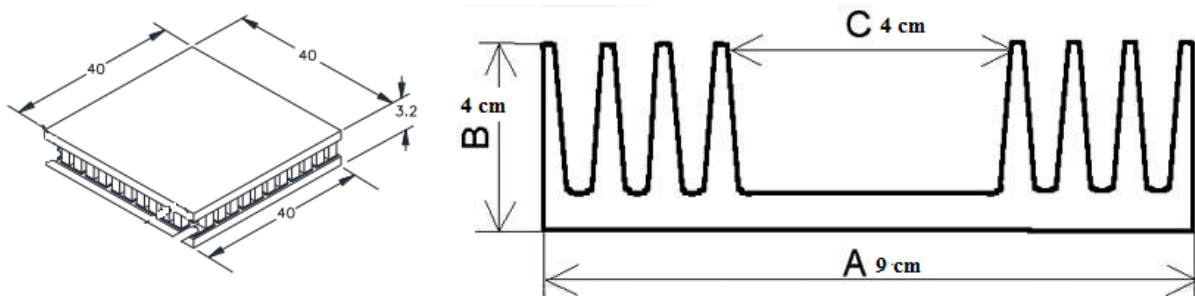
Měření Peltierových článků bylo provedeno v několika fázích. Nejprve byly Peltierovy články měřeny v laboratorním prostředí, přesněji v kalibrační vaně pro přesné měření teploty. Následně pak bylo provedeno terénní měření u různých věkových skupin, v různém prostředí a při různé zátěži. Jako poslední bylo provedeno měření na psech.



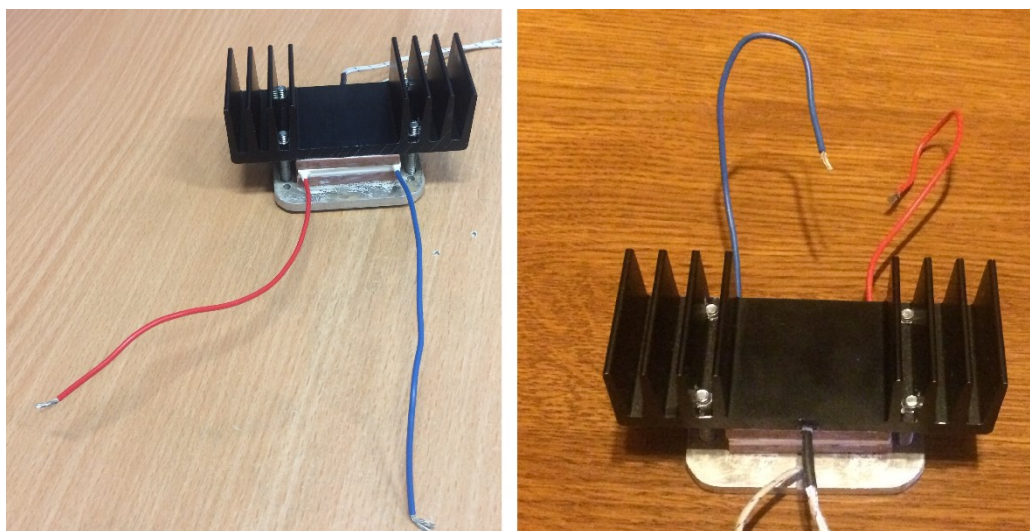
Obrázek 42: Schematicky znázorněné měření s Peltierovým článkem. (vlastní)

7.1. Mechanická konstrukce

K tomu, aby bylo možné Peltierův termoelektrický článek měřit, musela být vytvořena mechanická konstrukce. Základem mechanické konstrukce je hliníkový čtverec o délce 6 x 6 cm v něm je vyřezaná drážka na teploměr, aby bylo možno změřit teplotu na jedné straně Peltierova článku. Další vrstva mechanické konstrukce je měděný čtverec 4 x 4 cm, na něm je Peltierův článek TEC1-127140S o rozměrech 4 x 4 cm. Článek funguje na principu tepelného čerpadla, kde na jedné straně (studené) teplo odbírá a na straně druhé (teplé) teplo přijímá. Článek tohoto typu obsahuje 127 párů PN přechodů. Jeho maximální výdrž teplot je až 90°C, chladičový výkon je až 132 W při ΔT 75°C, uvedený parametr vyjadřuje rozdíl teplot mezi studenou a teplou stranou Peltierova článku. Článek může být napájen maximálně napětím 16,4 V a proudem 14 A, kolem obvodu článku je silikon, ten zajišťuje vodotěsnost článku. Aby nedošlo k nenávratnému poškození článku, musí být použit chladič, který tvoří vrchní stranu vytvořené mechanické konstrukce. Byl vybrán hliníkový chladič o rozměrech 9 x 2,5 x 4 cm a R_{th} 4,4 (K/W). V chladiči je vyřezaná drážka pro měření teploty na druhé straně Peltierova článku. Mezi každou zmíněnou vrstvou je nanášena teplo vodivá pasta Dow Corning TC4499 CV s tepelnou vodivostí 1,7 W/mK. Teplo vodivá pasta obsahuje vysoké množství tepelně vodivých oxidů, tím je zajištěna vysoká tepelná vodivost, Teplo vodivá pasta se stará o zlepšení přenosu tepla z Peltierova článku na chladič, tím dochází k celkovému zvýšení účinnosti přístroje.



Obrázek 43: Nákres vybraného Peltierova článku a chladiče.



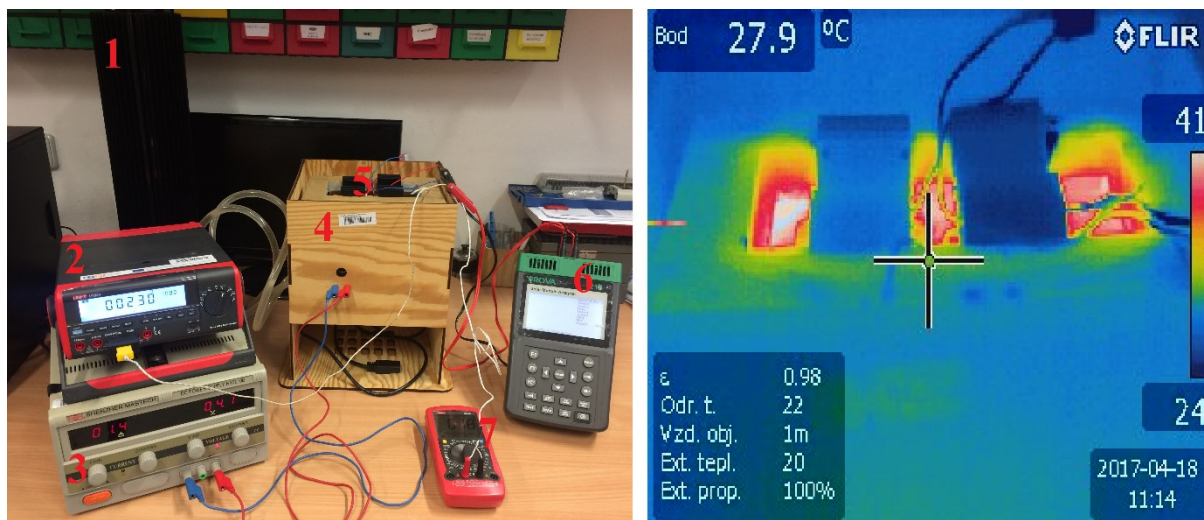
Obrázek 44: Mechanická konstrukce (vlastní).

7.2. Měření ve vodní lázni

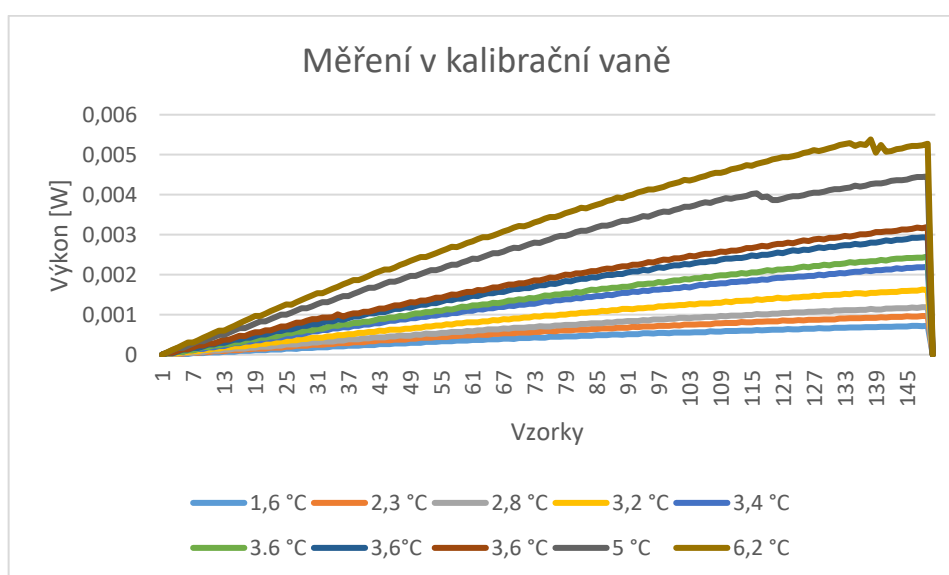
První měření Peltierových článků, které bylo testováno se konalo v laboratorních podmínkách. K měření bylo potřeba pevného zdroje, kterým byly nastaveny hodnoty proudu a napětí, kalibrační vana pro přesné měření teploty, vodní chladič, který je napojen na kalibrační vanu, aby nedošlo k přehřátí vany. Dále pak dva multimetry, které jsou schopny měřit teplotu v °C, aby bylo možno změřit teplotu na studené a teplé straně a vytvořená mechanická konstrukce. Měření vyhodnocoval solární analyzátor.

Dle následujícího obrázku: 1. Vodní chladič, 2. multimetr pro měření teploty, 3. pevný zdroj, 4. kalibrační vana pro přesné měření teploty, 5. mechanická konstrukce, 6. solární analyzátor, 7. multimetr pro měření teploty.

Na obrázku vedle je snímek mechanické konstrukce pořízený termokamerou. Mechanická konstrukce je lehce ponořena v kalibrační vaně pro přesné určování teploty. Teplota vody v kalibrační vaně se pohybuje kolem 40 °C, teplota na chladiči je kolem 25 °C.



Obrázek 45: Měření Peltierových článků pomocí kalibrační vany, snímek termokamerou.



Obrázek 46: Graf výkonových charakteristik měření v kalibrační vaně.

Měření probíhalo, tak, že první součást (hliníkový čtverec) mechanické konstrukce byl ponořen ve vodní lázni, přes pevný zdroj docházelo k ohřívání vody ve vodní lázni. Jak se začala voda ve vodní lázni ohřívát, docházelo k vzrůstu napětí na Peltierovu článku a stoupala naměřená teplota mezi

studenou a teplou stranou. Bylo provedeno několik měření s různými teplotními diferencemi. Pomocí solárního analyzátoru byly přesně měřeny a vyhodnoceny výsledky.

7.3. Terénní měření

Terénní měření bylo provedeno nejprve na lidech a následně na dvou psech, jeden pes rasy Jack Russel Terrier, druhý kříženec bigla a kokršpaněla. Prvním problémem, který se musel přes začátkem měření vyřešit, bylo udržení mechanické konstrukce na zádech v kolmé poloze. Pro tyto účely byla upravena sportovní podprsenka, která je elastická, tím bylo zajištěno těsné přilnutí k tělu. Ze přední strany má upravená podprsenka klipsnu na zapínání a nastavení šířky testované osoby. Pro psí odvážlivce byl vytvořen stejný model, podprsenka byla upravena stejným způsobem.



Obrázek 47: Upravená sportovní podprsenka pro udržení mechanické konstrukce.

7.3.1. Měření Peltierových článků na lidské kůži

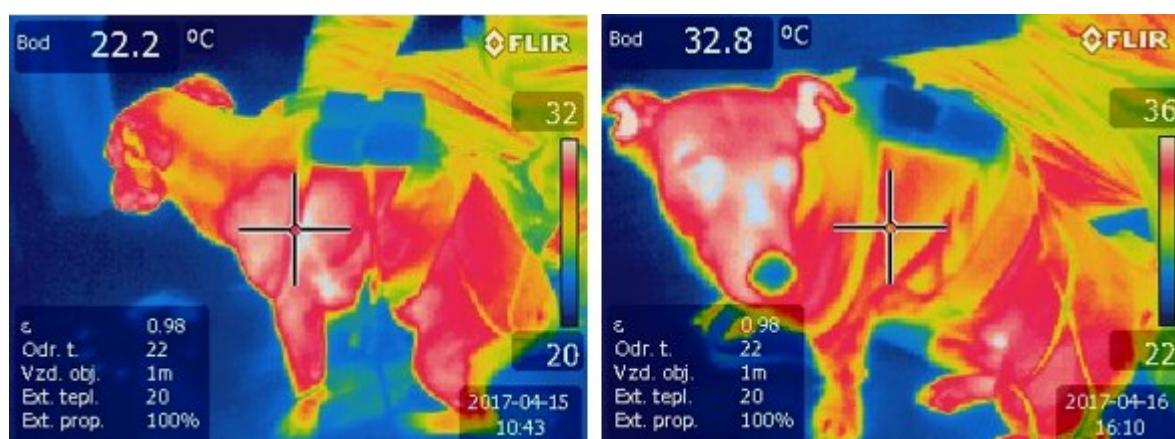
Nejprve bylo provedeno měření Peltierových článků na lidské kůži. K měření bylo vybráno prostor zad, to z důvodu velké plochy, při pohybu člověka nezpůsobuje mechanická konstrukce žádná omezení. Měření bylo provedeno na lidech různých věkových kategorií v rozmezí 7 - 79 let, každé měření bylo zapsáno do tabulky (příloha 18), ve které byly zapsány další informace o měřené osobě (pohlaví, věk, výška, váha, BMI). Dalšími měřenými parametry byla teplota místnosti, teplota na horní straně Peltierova článku a teplota na dolní straně Peltierova článku. Poslední fází měření Peltierových článků na lidech bylo měření v posilovně, kdy byly vybrány 3 osoby, které byly po cvičení. Cvičení v posilovně bylo provedeno z důvodu rozdílů hodnot výkonů mezi člověkem, který byl v klidovém režimu a mezi člověkem, který podstoupil určitou fyzickou zátěž.



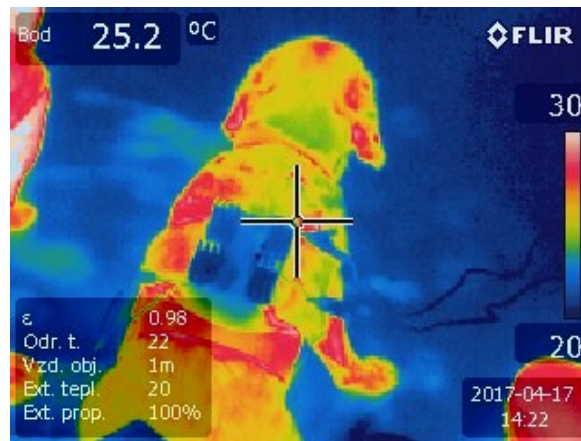
Obrázek 48: Snímek termokamerou u měřené osoby.

7.3.2. Měření Peltierových článků na psech

Posledním experimentálním měřením Peltierových článků bylo měření na psech. Přes započítím měření bylo jasné, že psi budou mít hodnoty nižší než lidé, jelikož u měření na lidech se mechanická konstrukce přikládala přímo na kůži, u psů se mechanická konstrukce přikládala na srst. Byly vybrány dvě rasy psů. První byl pes rasy Jack Russell Terier, který byl krátkosrstý. U rasy JRT bylo provedeno měření v místnosti a následně také venkovním prostředí. Druhým testovaným psem byla fena křížence bigla a kokršpaněla, která byla dlouhosrstá, u této feny bylo provedeno pouze vnitřní měření. Z dosažených výsledků je vidět jak délka srsti a měřené prostředí ovlivňuje hodnoty měření.



Obrázek 49: Snímek termokamerou měřeného psa.

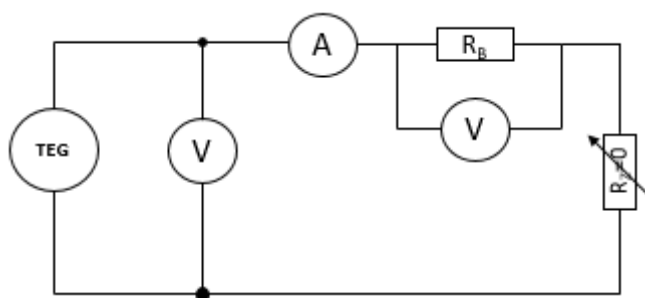


Obrázek 50: Snímek termokamerou měřené feny.

8. Vyhodnocení výsledků

Před vyhodnocením výsledků byly testované osoby rozděleny do čtyř skupin podle věku. Nejvyšší výkon se při experimentálním ověření s mechanickou konstrukcí projevil u osob, které byly změřeny v posilovně po určité fyzické zátěži. Ze skupiny sportovců dosáhla nejvyššího výkonu žena ve věku 23 let, jejíž výkon dosáhl hodnoty 5,366 mW. Nejvyšších výsledků ze skupiny, která nepodstoupila žádnou fyzickou zátěž dosáhla věková kategorie 50 – 79 let. Nejvyšší výkon v této kategorii dosáhl hodnoty 4,168 mW. Osoba, která dosáhla nejvyšší hodnoty výkonu je po operaci štítné žlázy, trpí na návaly horka a mívá vysoký tlak.

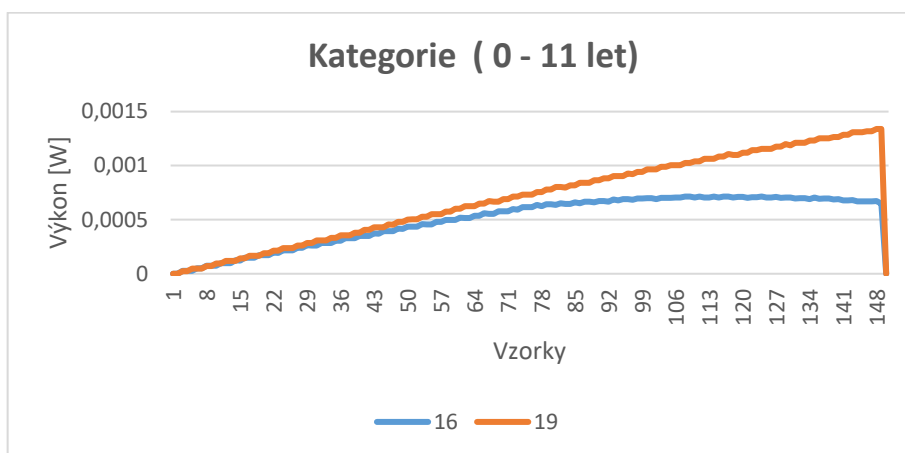
Jak je vidět ze všech grafů, hodnoty výkonu nejsou dle očekávání velké. A/D převodník INA230 neměří s dostačující přesností při malých hodnotách proudu, řešením by bylo před první INA230 ve schématu dát předzesilovač. Z důvodu velmi nízkých proudů, takovéto měření jednotlivého Peltierového článku při malém teplotním spádu není ideální. Peltierovy články by fungovaly dobře, kdyby byly zapojené do série.



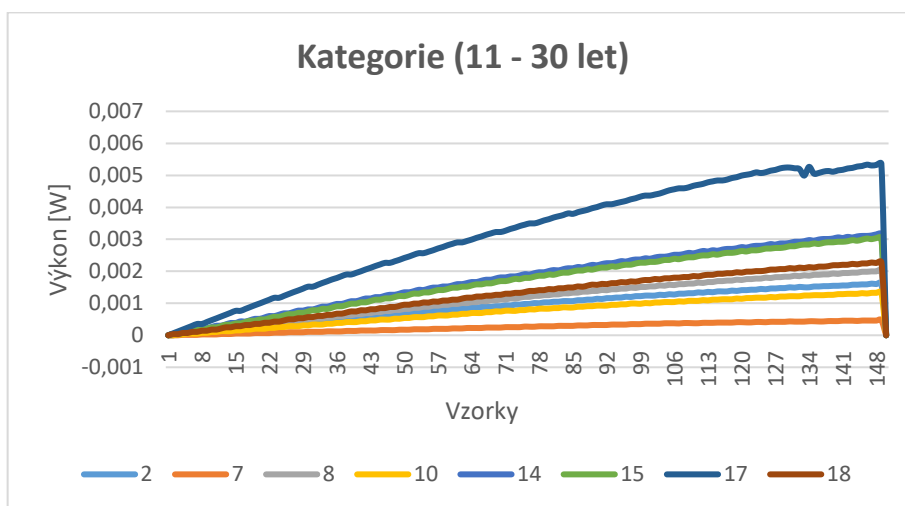
Obrázek 51: Náhradní schéma EH měření s Peltierovým článkem. (vlastní)

A/D převodník INA230 je připojen k bočníku R_B , tam by pro další přesnější měření bylo zapotřebí před bočník vložit diferenciální zesilovač. Následně by převodník měřil s dostatečně správně i malé hodnoty napětí a proudu. R_Z – proměnný odpor musí být výrazně vyšší než R_B – odpor bočníku. Tohoto stavu by se dalo dosáhnout v případě sériového zapojení Peltierových článků.

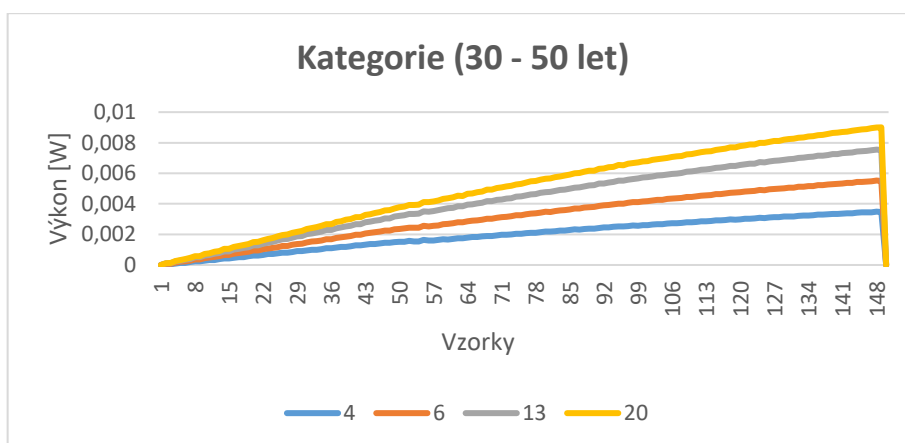
V následujících grafech jsou zaznačeny hodnoty výkonu jednotlivých měření provedených na lidské kůži a na psím hřbetu.



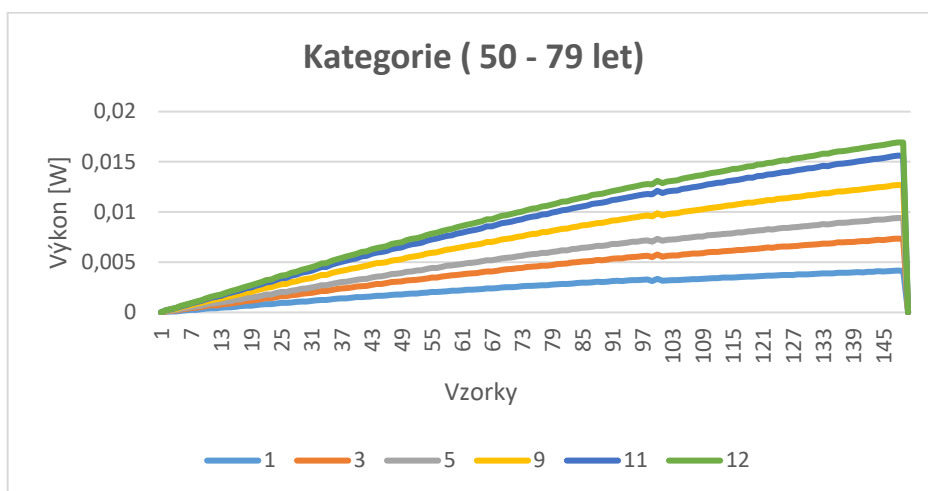
Obrázek 52: Graf výkonových charakteristik u kategorie (0 – 11 let).



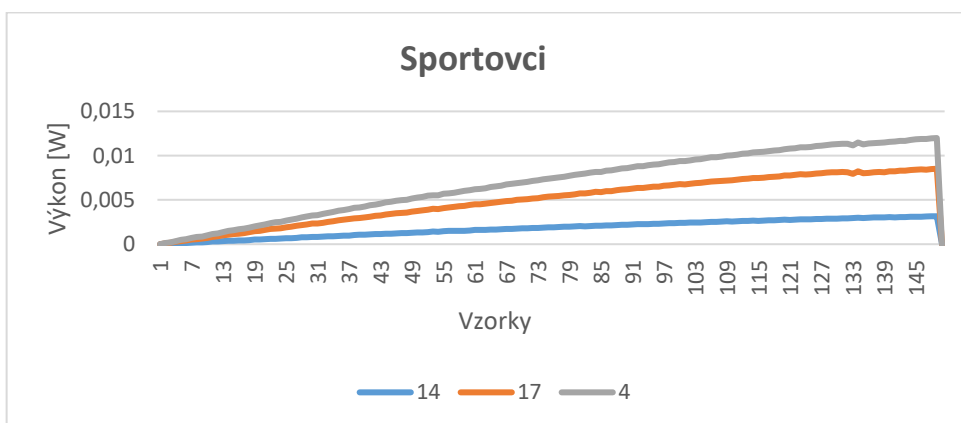
Obrázek 53: Graf výkonových charakteristik u kategorie (11 - 30 let)



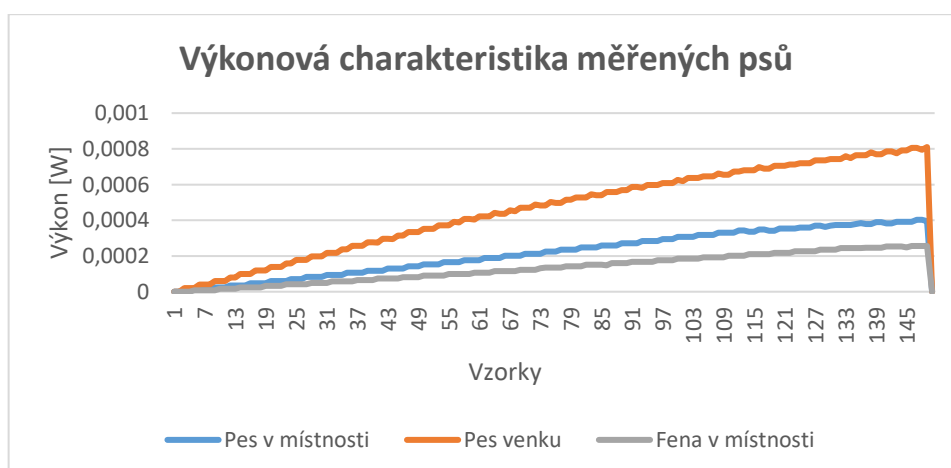
Obrázek 54: Graf výkonových charakteristik u kategorie (30 – 50 let).



Obrázek 55: Graf výkonových charakteristik u kategorie (50 – 79 let).



Obrázek 56: Graf výkonových charakteristik u osob po fyzické zátěži.



Obrázek 57: Graf výkonové charakteristiky měřených psů.

8.1. Statistické údaje z měření EH s Peltierovými články

Naměřené hodnoty byly dále statisticky zpracovány. Každá kategorie byla rozdělena podle věku měřených osob: (0 - 11 let), (11 – 30 let), (30 - 50 let), (50 - 79 let). Z každé vybrané věkové kategorie byla vypracována z hodnot napětí, proudu a výkonu tabulka, která v závěru obsahovala statistické údaje o mediánu, aritmetickém průměru, o hodnotě minima, maxima a rozptylu.

Tabulka 5: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (0 – 11 let)

Kategorie (0 - 11 let)	Napětí [V]	Proud [mA]	Výkon [mW]
Medián	0,127	12	1,025
Aritmetický průměr	0,127	12	1,025
Minimum	0,122	11	0,711
Maximum	0,132	13	1,339
Rozptyl	$2,5 \times 10^{-5}$	1	0,1159

Tabulka 6: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (11 – 30 let)

Kategorie (11 - 30 let)	Napětí [V]	Proud [mA]	Výkon [mW]
Medián	0,174	15,5	2,157
Aritmetický průměr	0,1816	16,1	2,411
Minimum	0,07	8	0,472
Maximum	0,308	26	5,366
Rozptyl	$4,481 \times 10^{-3}$	23,86	1,925

Tabulka 7: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (30 - 50 let)

Kategorie (30 -50 let)	Napětí [V]	Proud [mA]	Výkon [mW]
Medián	0,1725	15,5	2,028
Aritmetický průměr	0,179	16	2,253
Minimum	0,131	13	1,465
Maximum	0,24	20	3,488
Rozptyl	0,0158	2	0,561

Tabulka 8: Statistické údaje napětí, proudu a výkonu u kategorie (50 - 79 let)

Kategorie (50 - 79 let)	Napětí [V]	Proud [mA]	Výkon [mW]
Medián	0,21	18,5	3,056
Aritmetický průměr	0,205	18	2,826
Minimum	0,129	13	1,31
Maximum	0,263	22	4,168
Rozptyl	$2,038 \times 10^{-3}$	8,33	0,696

9. Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabývala využitím alternativních zdrojů energie pro napájení biotelemetrických čidel. V teoretické části diplomové práce jsem se zabývala problematikou alternativních zdrojů energie, následně procesem „Energy Harvesting“ neboli „sklizení energie“, který je využit dále v praktické části práce. Dále jsem se v teoretické části diplomové práce zabývala problematikou Peltierova jevu a Peltierových článků, jeho částmi, funkcí a využitím. Před realizací diplomové práce bylo nutné se seznámit s funkcí Bluetooth Low Energy, jehož problematika je rozepsána v posledním bodě teoretické části.

Cílem diplomové práce bylo sestavení měřicího řetězce, jehož principem bylo vyhodnocování hodnot napětí a proudu. Na začátku měření byla testována dvě zařízení pro „Energy Harvesting“ (fotovoltaický článek a Peltierův článek). Vybrané zařízení je připojeno k měniči s čipem BQ25570 k zátěži. Měnič umožňuje ukládání energie do superkapacitoru pro vykrývání výkonových špiček zátěže, nebo pro práci v pulsním režimu. Při měření systému „Energy Harvesting“, jsou zaznamenány hodnoty napětí a proudu pro všechny vstupy a výstupy z obvodů. Naměřená data z A/D převodníku INA230 jsou přes I²C předána do kontroléru. V kontroléru dochází k řízení měření a zpracování naměřených dat, které jsou bezdrátově přes BLE posílána do mobilního zařízení, které data koncentruje. Koncentrovaná data jsou online posílána do databáze. Vizualizace je realizována nad databází.

Zařízení je primárně optimalizováno pro solární články, při využití dalších „Energy Harvesting“ systémů je nutné upravit rozsah měřících vstupů přidáním diferenciálního zesilovače. V případě měření s Peltierovými články se objevily omezení v příliš nízkých hodnotách napětí, proudu a malém teplotním spádu, tím dochází k problému se stanovením zátěže. Při měření bylo použito pouze jednoho Peltierova článku, měření sice proběhne, ale výsledné hodnoty napětí a proudu nejsou uspokojivé. V případě sestavení Peltierových článků do sériového zapojení zhotovené zařízení funguje dobře.

Poslední část diplomové práce je zaměřena na samotné měření systému „Energy Harvesting“ s Peltierovými články. Nejprve byla vytvořena mechanická konstrukce obsahující Peltierův článek, následně k tomuto účelu byla upravena sportovní podprsenka z elastického materiálu, tak aby udržela mechanickou konstrukci v kolmé poloze na lidském těle. Měření bylo složeno ze dvou částí, nejprve bylo provedeno laboratorní měření v kalibrační vaně pro přesné určení teploty a následně bylo provedeno terénní měření na lidech a psech. Z každého měření byl proveden snímek termokamerou, všechny snímky jsou přiloženy v příloze 19. Testované osoby byly rozděleny podle věku do čtyř skupin, kdy první skupina byla od 0 – 11 let, druhá byla 11 – 30 let, třetí skupina byla 30 – 50 a poslední čtvrtá skupina byla 50 – 79 let. Hodnoty z každé skupiny byly statisticky zpracovány.

Experimentální ověření Peltierova článku bylo provedeno pouze na jednom článku, proto jsou naměřené hodnoty nízké. V případě, že by v budoucím měřeném experimentu byly Peltierovy články sériově zapojeny a celkový počet takto spojených článků byl dostatečný, tak by výsledné hodnoty napětí a proudu byly mnohem vyšší a získaný výkon by byl schopen napájet biotelemetrické čidla.

Všechny změřené hodnoty a výsledky jsou zaznamenány do tabulek, grafů a obrázků, jež jsou umístěny v samotné práci, nebo v přílohách práce.

Jádro diplomové práce již bylo publikováno v rámci 14. Mezinárodní studentské konference Obnovitelné zdroje energie v teorii a praxi, CZ/PL. Dále jsou přijaty články k publikaci na téma diplomové práce na 4. International Scientific Conference New Trends in Management and Production Engineering – regional, cross-border and global perspective. PL a 41. XL-th IEEE-SPIE Joint Symposium on Photonics, Web Engineering, Electronics for Astronomy and High Energy Physics Experiments, Wilga 2017, PL.

Literatura

- [1] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 1998, 96 s. ISBN 80-7078-445-8.
- [3] HOLUB, Petr. *Obnovitelné zdroje energie, decentralizace společnosti a komunitní život, diplomová práce*. Brno, Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, 2007. 74 l., 11 l. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Zbyněk Ulčák, Ph.D. [online]. 2007 2011 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/22769/fss_m_b1/diplomova_prace.pdf.
- [4] Obnovitelné zdroje energie. *Druhy obnovitelných zdrojů energie* [online]. 2008 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/obnovitelne-zdroje-energie.dic>.
- [5] Obnovitelné zdroje energie. *Alternativní zdroje energie*. [online]. [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/>
- [6] Energy harvesting for No-Power Embedded Systems. Prezentace Texas Instruments [online]. 2008 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: http://focus.ti.com/graphics/mcu/ulp/energy_harvesting_embedded_systems_using_msp430.pdf.
- [7] Návrh systému Energy Harvesting. *Pandatron*. [online]. 26. 1. 2010 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?1215&navrh_systemu_energy_harvesting
- [8] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektřina ze slunce*. Praha: EkoWATT ; Brno, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [9] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [10] *FOTOVOLTAIKA: Solární (fotovoltaické) články* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [11] *Small Thermoelectric Generators* [online]. 2008 [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.electrochem.org/dl/interface/fal/fal08/fal08_p54-56.pdf
- [12] BRÁZDIL, Marian. Peltierův článek pro chlazení malých výkonů [online]. Brno. 2009. 57 s. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9794/BP_Brazdil_Marian.pdf?se. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] *Piezoelektrické senzory* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_6_1.htm

- [14] Measurements of Generated Energy/Electrical Quantities from Locomotion Activities Using Piezoelectric Wearable Sensors for Body Motion Energy Harvesting. *Mdpi: sensors* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/4/524>
- [15] Footsteps for charging devices. *Energy Harvesting Journal* [online]. University of Wisconsin-Madison, 2016 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/9103/footsteps-for-charging-devices>
- [16] Walking Charger™. *Energy Harvesters LLC* [online]. Boston, 2016 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.energyharvesters.com/walking-chargertrade.html>
- [17] Biomechanical Energy Harvester – elektřina z chůze. *Objective Source E-Learning* [online]. Telč: Osel, s.r.o. Havlíčkova 4, 2008 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/3297-biomechanical-energy-harvester-elektrina-z-chuze.html>
- [18] Elektrárna v batohu. *Objective Source E-Learning* [online]. Telč: Osel, s.r.o. Havlíčkova 4, 2005 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/1450-elektrarna-v-batohu.html>
- [19] Energy harvesting backpack. *Energy Harvesting Journal* [online]. University of Wisconsin-Madison: 2009 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/1289/energy-harvesting-backpack>
- [20] How to Measure Very Small Currents (Without Current Sensors). *Phidgets: Make your ideas real* [online]. Calgary, Alberta, 2014 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <https://phidgets.wordpress.com/2014/07/15/how-to-measure-very-small-currents-without-current-sensors/>
- [21] Tips for Measuring Small Currents. *Circuit Cellar* [online]. 2014 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://circuitcellar.com/cc-blog/tips-for-measuring-small-currents/>
- [22] NOVÁK, Petr. *Experimentální metody v mechatronice* [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1631-9.
- [23] MIKOLAJKOVÁ, Šárka. Měření orientace končetin a přenosu sil v aplikacích pro dopravní prostředky [online]. Ostrava. 2016. 62 s. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/116226>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava.
- [24] Prostředky automatického řízení: Průvodce akcelerometry pro začátečníky. *Homel.vsb* [online]. Ostrava [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~jur286/prostredky_aut_rizeni/preklad.htm
- [25] Gyroskopy. *Gyroskopy.cz* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2010-2011/Zima10/proc/gyroskopy.pdf>
- [26] Gyroscope. *Wolfram Demonstrations Project* [online]. 2007 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://demonstrations.wolfram.com/Gyroscope/>
- [27] Magnetometers. *Engineers Garage* [online]. Indie, 2012 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/articles/magnetometer>

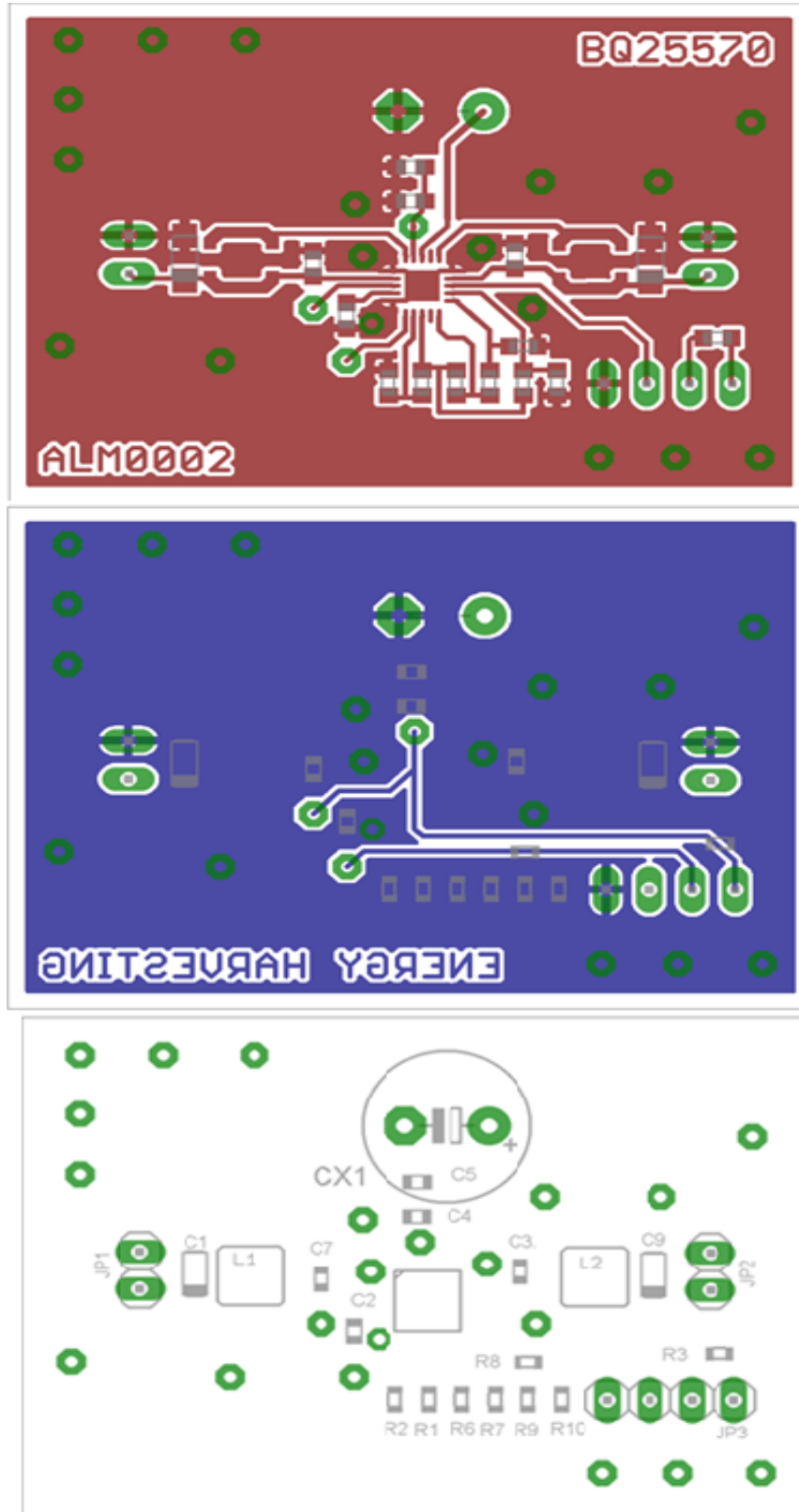
- [28] WU, Yuanxin, Danping ZOU, Peilin LIU a Wenxian YU. Dynamic Magnetometer Calibration and Alignment to Inertial Sensors by Kalman Filtering. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* [online]. , 1-8 [cit. 2017-03-04]. DOI: 10.1109/TCST.2017.2670527. ISSN 1063-6536. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7866868/>
- [29] CPS: Vědci vytvořili efektivní systém pro běžné GPS s centimetrovou přesností. *Zive* [online]. Brno, 2016 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/cps-vedci-vytvorili-efektivni-system-pro-bezne-gps-s-centimetrovou-presnosti/sc-3-a-181396/default.aspx>
- [30] Global Positioning System (GPS). *Lockheed Martin* [online]. 2017 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.lockheedmartin.com/us/products/gps.html>
- [31] Galileo Navigation: Galileo. *Esa* [online]. 2016 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo
- [32] Real Time Kinematics. *Esa Navipedia* [online]. 2011 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/Real_Time_Kinematics
- [33] Chapter 5 - Resolving Errors: Real-Time Kinematic (RTK). *Novatel* [online]. Calgary, Alberta, Canada [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/real-time-kinematic-rtk/>
- [34] Bluetooth. *Techtarget* [online]. 2011 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/Bluetooth>
- [35] Qualify your product: develop with Bluetooth. *Bluetooth* [online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/>
- [36] CC2540 and CC2541 Bluetooth® low energy Software Developer's: Reference Guide. *TI: cc2540, cc2541* [online]. Texas, 2015 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/swru271g/swru271g.pdf>
- [37] FOLTÝN, Jan. Multipurpose Sensor for Human Movement Analysis [online]. Ostrava. 2016. 55 s. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/115955>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava.
- [38] Texas Instruments. *High- or Low-Side Measurement: Bidirectional CURRENT/POWER MONITOR with I 2C™ Interface* [online]. 01. 02. 2012 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina230.pdf>
- [39] PAVELKOVÁ, Radka. Využití alternativních zdrojů energie pro napájení senzorů [online]. Ostrava. 2015. 52s. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/108793>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita ostrava.
- [40] BQ25570: Nano Power Boost Charger and Buck Converter for Energy Harvester Powered Applications. *Texas Instruments* [online]. Texas, 2013 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq25570.pdf>

[41] *CC2640 and CC2650 SimpleLink™ Bluetooth® low energy Software Stack 2.2.1: Developer's Guide* [online]. Texas, 2016 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/swru393d/swru393d.pdf>

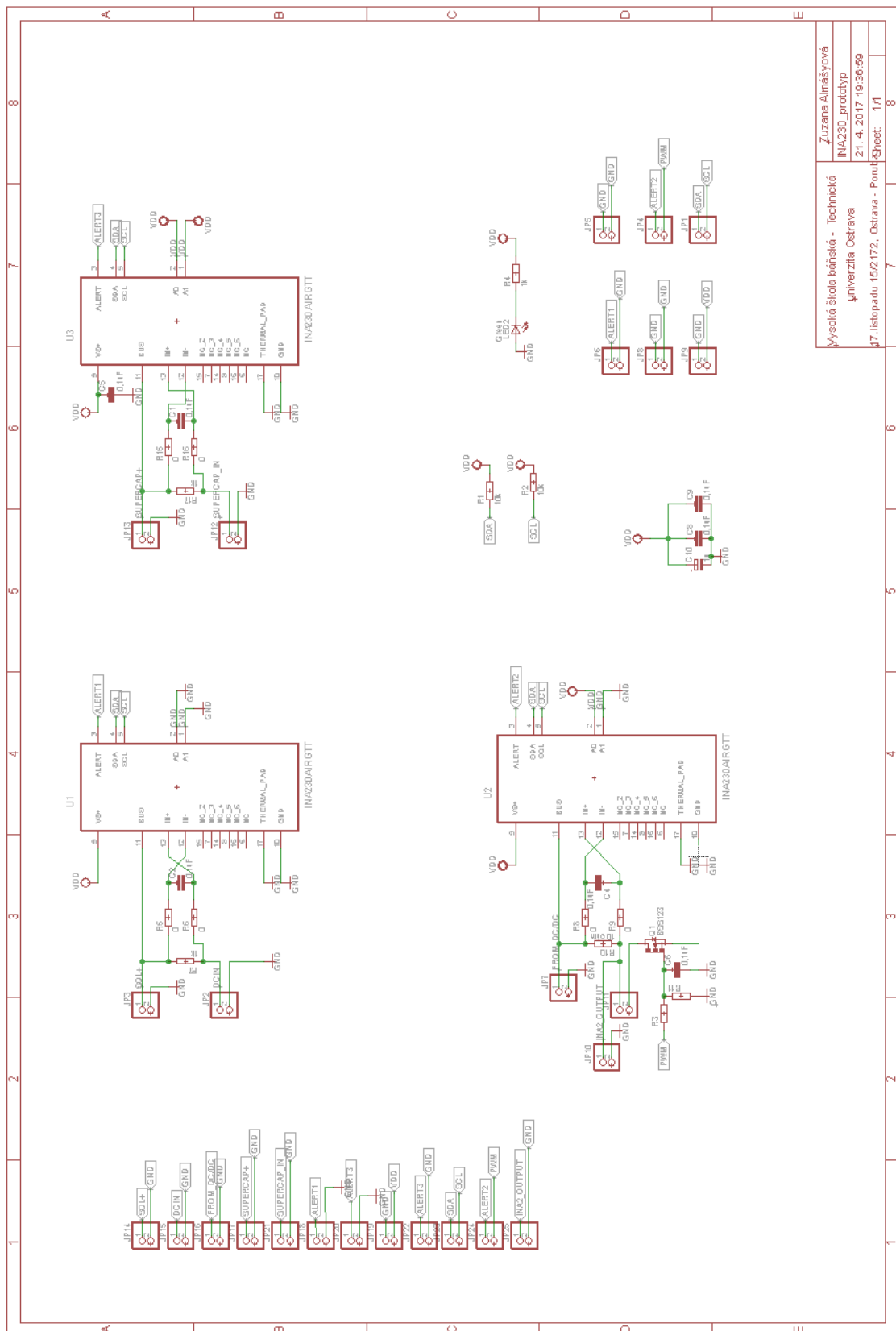
Přílohy

Příloha 1: Schéma obvodu BQ25570.....	1
Příloha 2: DPS pro čip BQ25570.....	2
Příloha 3: Schéma obvodu s A/D převodníkem INA230.....	3
Příloha 4: DPS pro A/D převodník INA230.....	4
Příloha 5: Sestavený měřicí řetězec s EH generátorem (solárním článkem).	5
Příloha 6: Sestavený měřicí řetězec s EH generátorem (Peltierovým článkem).	6
Příloha 7: Mechanická konstrukce v kolmé poloze na kůži pod elasticou podprsenkou.	7
Příloha 8: Měření psa systémem EH s Peltierovým článkem.	8
Příloha 9: Schéma obvodu BQ25570 v programu Eagle..	(CD)
Příloha 10: Schéma A/D převodníku INA230 v programu Eagle.....	(CD)
Příloha 11: Komunikační program.....	(CD)
Příloha 12: Datasheet obvodu s A/D převodníkem INA230.....	(CD)
Příloha 13: Datasheet obvodu s A/D převodníkem INA230....	(CD)
Příloha 14: Návod k vytvoření komunikace s čipem CC2640 a CC2650.....	(CD)
Příloha 15: Měření s obvodem BQ25570.	(CD)
Příloha 16: Pomocná tabulka pro určení hodnot odporů.....	(CD)
Příloha 17: Laboratorní měření systému EH s Peltierovým článkem.	(CD)
Příloha 18: Terénní měření systému EH s Peltierovým článkem.....	(CD)
Příloha 19: Snímky z termokamery měřených osob.....	(CD)

Příloha 2: DPS pro čip BQ25570.

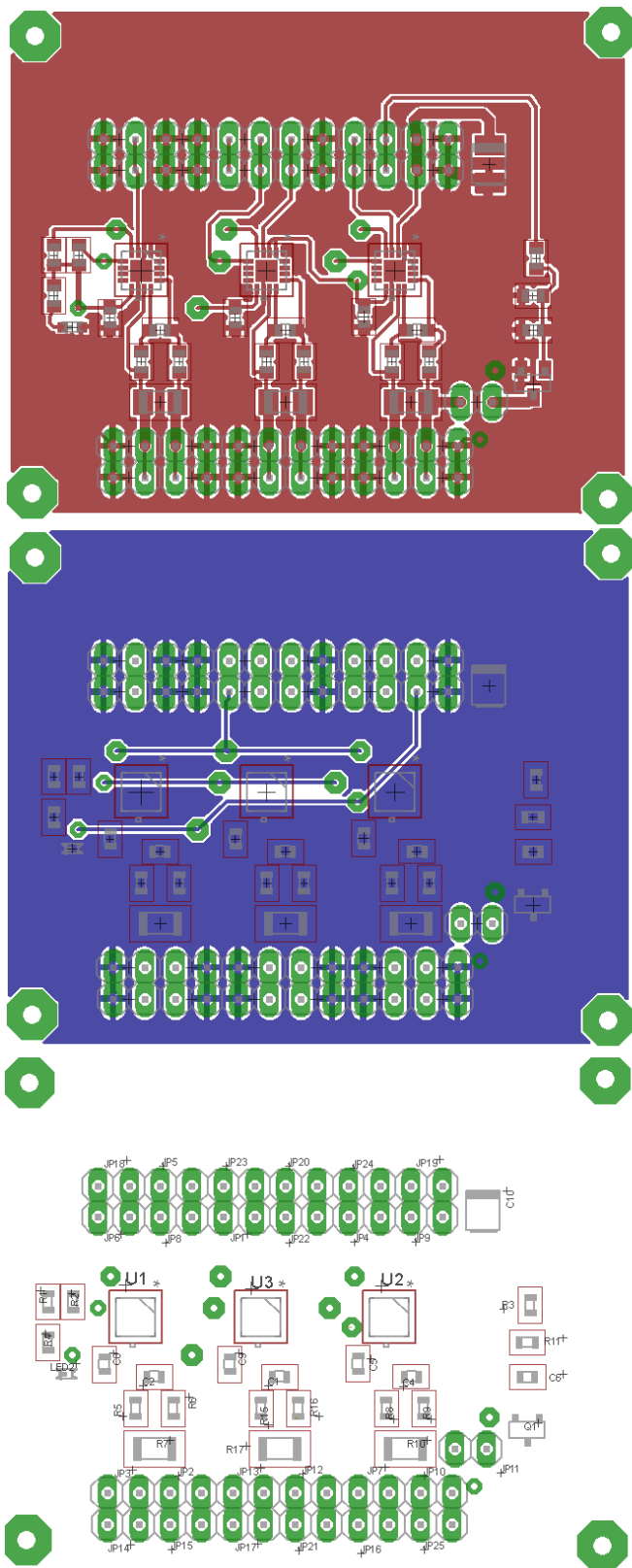


Příloha 3: Schéma obvodu s A/D převodníkem INA230

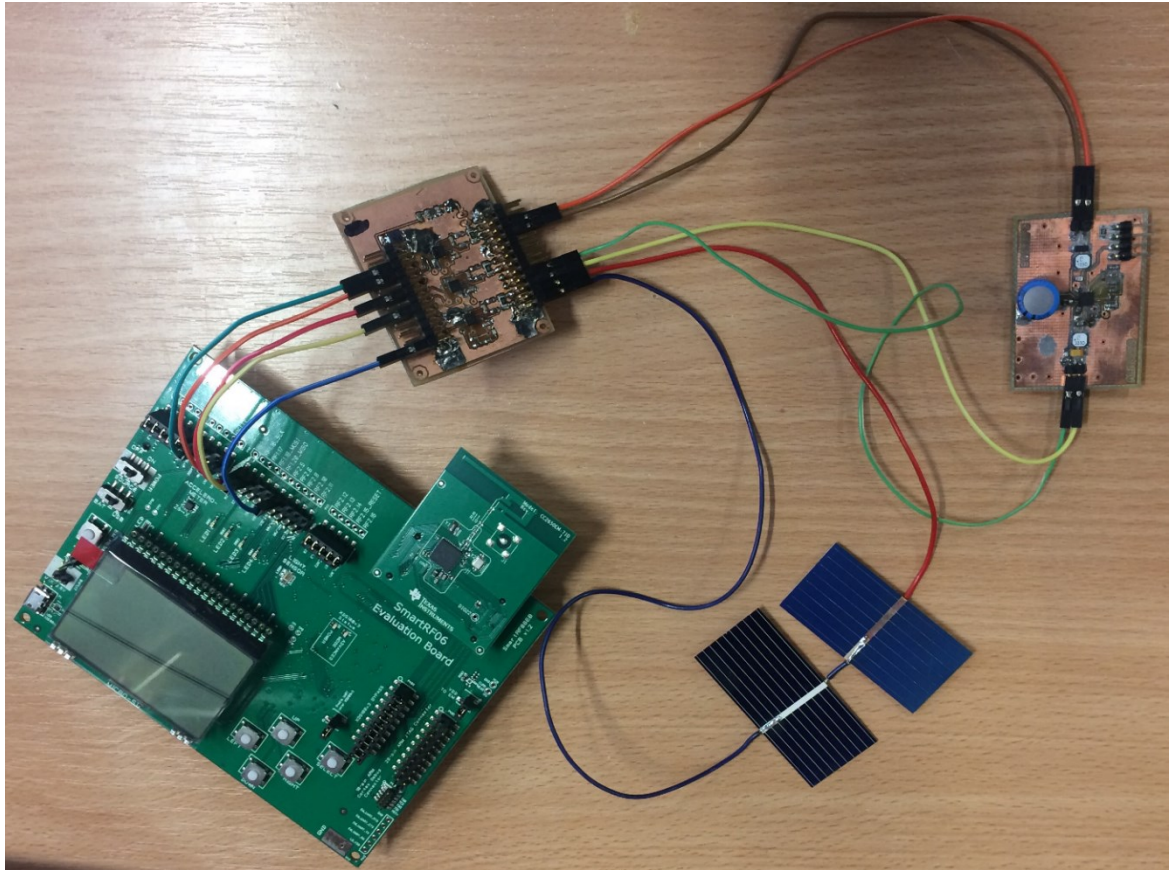


Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava 17. listopadu 152/172, Ostrava - Pouch 702 03	Zuzana Aimašyová INA230_prototyp 21. 4. 2017 19:36:59 1/1
---	--

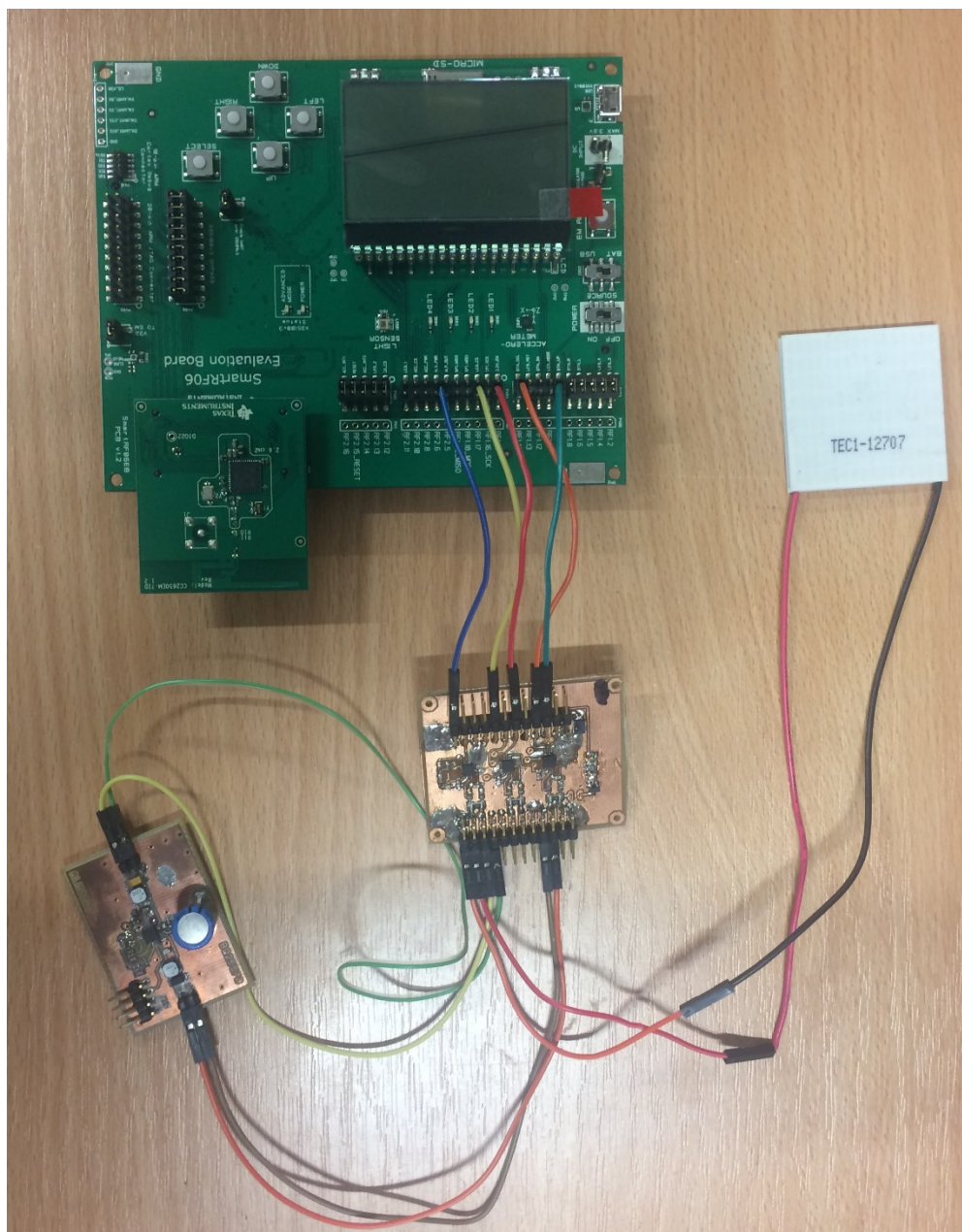
Příloha 4: DPS pro A/D převodník IN230.



Příloha 5: Sestavený měřicí řetězec s EH generátorem (solárním článkem).



Příloha 6: Sestavený měřicí řetězec s EH generátorem (Peltierovým článkem).



Příloha 7: Mechanická konstrukce v kolmé poloze na kůži pod elastickou podprsenkou.



Příloha 8: Měření psa systémem EH s Peltierovým článkem.

