Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh stabilizovaného napájecího zdroje s PV článkem pro napájení teplotního senzoru

Bakalářská práce

2024 **Ondřej Lebduška**

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Ondřej Lebduška**
Osobní číslo:	**D21348**
Studijní program:	**B0788A040001 Dopravní technika**
Specializace:	**Elektrická trakce a elektromobilita**
Téma práce:	**Návrh stabilizovaného napájecího zdroje s PV článkem pro napájení teplotního senzoru**
Zadávající katedra:	**Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je navrhnout napájení teplotního čidla využívající fotovoltaiký článek pro aplikaci v dopravních prostředcích. Bude nutné navrhnout koncepci zapojení pro stabilizaci napětí z fotovoltaického článku pro teplotní senzor. Ověřte vliv přesnosti stabilizace na přesnost teplotního čidla. Bude nutné ověřit funkčnost zařízení při různých světelných podmínkách a navrhnout způsob řešení v případech nízké intenzity světla. Analyzujte možnosti použití vašeho řešení teplotního čidla v prostředí dopravy.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-91-0.
2. KREJČIŘÍK, Alexandr. *Spínané zdroje s časovačem 555*. 555. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-76-7.
3. MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří a TOMEŠ, Milan. *Fotovoltaika: elektrická energie ze slunce*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-01-3.
4. KRIEG, Bernhard. *Elektřina ze Slunce: fotovoltaika v teorii a praxi*. Přeložil Miroslav HRDINA. Ostrava: HEL, 1993.
5. HERCÍK, Radim a KVÍČALA, Miroslav. *Senzory v automobilovém průmyslu: (studijní opory)*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2019. ISBN 978-80-248-4317-9.
6. RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04696-8.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jan Leuchter, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **6. května 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. srpna 2024**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Vítězslav Krčmář, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. května 2024

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Práci s názvem návrh stabilizovaného napájecího zdroje s PV článkem pro napájení teplotního senzoru jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 5.8.2024

Ondřej Lebduška v. r.

Poděkování

Děkuji profesoru Leuchterovi za vedení této práce a za jeho rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům KEEZ, kteří mi poskytli cenné rady při zhotovení praktické části této práce.

Další poděkování patří mé rodině, která mě po celou dobu mého studia podporovala.

Anotace

Bakalářské práce se zabývá návrhem napájení teplotního čidla využívajícího fotovoltaický článek pro aplikaci v dopravních prostředcích. V práci se řeší návrh koncepce zapojení pro stabilizaci napětí z fotovoltaického článku pro teplotní senzor. Dále se ověřuje funkčnost zařízení při různých světelných podmínkách a navržení způsobu řešení v případech nízké intenzity světla. Nakonec se práce zabývá možným použitím v dopravě.

Klíčová slova

Fotovoltaický článek, teplotní senzor, akumulátor, stabilizované napětí, měnič

Title

Design of a stabilized power supply with a PV cell for powering the temperature sensor

Annotation

The bachelor thesis deals with the design of a power supply for a temperature sensor using a photovoltaic cell for application in vehicles. The thesis deals with the design of the circuit concept for voltage stabilization from the photovoltaic cell for the temperature sensor. Furthermore, the performance of the device is verified under different lighting conditions and a solution is proposed for low light intensity cases. Finally, the thesis discusses possible applications in transportation.

Keywords

Photovoltaic cell, temperature sensor, accumulator, stabilized voltage, converter

Obsah

Seznam obrázků **9**

1 Úvod **13**

2 Použití teplotních senzorů v automobilové technice **14**

2.1 Dilatační snímače 15

2.2 Termoelektrické snímače 16

2.3 Odporové snímače 17

2.4 Porovnání technologií 19

3 Možnosti napájení teplotních senzorů **20**

4 Využití PV článků pro napájení **21**

4.1 Fotovoltaický jev 21

4.2 Fotovoltaické články 21

4.2.1 Vliv teploty na výrobu energie fotovoltaického článku 22

4.3 Konstrukce fotovoltaického panelu 23

5 Způsoby napájení při nízké intenzitě slunečního svitu **24**

5.1 Superkapacitory 24

5.2 Elektrochemické akumulátory 24

5.3 Druhy elektrochemických akumulátorů podle technologie 25

5.4 Olověné akumulátory 26

6 Návrh systému stabilizovaného zdroje s PV článkem pro teplotní senzor **28**

6.1 Teplotní senzor 29

6.2 Fotovoltaický panel 31

6.2.1 VA charakteristika fotovoltaického panelu 32

6.3 Akumulátor 32

6.3.1 Výpočet doby vybití akumulátoru 33

6.4 DC-DC měnič 34

6.4.1 Návrh DC-DC měniče 35

6.4.2 Výroba DPS 39
6.4.3 Naměřené průběhy a hodnoty 41
6.5 Fyzická realizace návrhu celého systému 45
7 Závěr 47
Literatura 48
Seznam příloh 52

Seznam obrázků

Obr. 1 - Přehled teplotních senzorů a jejich umístění v osobním automobilu [1] 14
Obr. 2 - Tabulka průmyslově používaných termočlánků [1] 16
Obr. 3 - Obvod termočlánku 17
Obr. 4 - Závislost odporu na teplotě pro různé materiály [3] 18
Obr. 5 - Elektromobil Toyota Prius se solárními panely [9] 20
Obr. 6 - Vliv teploty na výrobu fotovoltaické energie [13] 23
Obr. 7 - Blokové schéma zapojení stabilizovaného zdroje s PV článkem pro teplotní senzor 28
Obr. 8 - Teplotní snímač DS18B20 29
Obr. 9 - Zapojení DS18B20 k Arduinu UNO 29
Obr. 10 - Arduino UNO 30
Obr. 11 . VA charakteristika PV panelu SZ-20-36M 32
Obr. 12 - Podpěťová ochrana modul YX-X801 na 12V 33
Obr. 13 - Uzavírání toku proudu při různých stavech spínacího prvku [29] 35
Obr. 14 - LM2679 v pouzdře TO220-7 s popsanými výstupními piny [29] 36
Obr. 15 - Charakteristika pro určení indukčnosti cívky [29] 37
Obr. 16 - Návrh obvodu DC-DC měniče s LM2679 a nastavitelným výstupním napětím 39
Obr. 17 - Návrh desky DC-DC měniče s LM2679 a nastavitelným výstupním napětím 40
Obr. 18 - DC-DC měnič s LM2679 (strana součástek) 40
Obr. 19 - DC-DC měnič s LM2679 (strana spojů) 41
Obr. 20 - Zvlnění výstupního napětí 42
Obr. 21 – Spínání obvodu LM2679 při vstupním napětí 16V 43
Obr. 22 - Spínání obvodu LM2679 při vstupním napětí 18V 43
Obr. 23 - Spínání obvodu LM2679 při vstupním napětí 20V 44
Obr. 24 - a) Termofotografie DC-DC měniče (boční pohled) b) Fotografie DC-DC měniče (boční pohled) 44
Obr. 25 - a) Termofotografie DC-DC měniče (strana součástek) b) Fotografie DC-DC měniče (strana součástek) 45

Obr. 26 – Celkové zapojení návrhu systému stabilizovaného zdroje s PV článkem pro teplotní senzor 45
Obr. 27 - LCD s vypsanými hodnotami proudu a napětí 46
Obr. 28 - LCD s vypsanou hodnotou výkonu 46
Obr. 29 - LCD s vypsanou hodnotou teploty 46

Seznam značek a zkratek

Latinská písmena

T_1	[K]	teplota materiálu 1
T_2	[K]	teplota materiálu 2
R	[Ω]	elektrický odpor
R_0	[Ω]	počáteční odpor
R_1	[Ω]	elektrický odpor 1
R_2	[Ω]	elektrický odpor 2
R_3	[Ω]	elektrický odpor 3
R_4	[Ω]	elektrický odpor 4
R_{ADJ1}	[Ω]	elektrický odpor nastavující omezení proudu měniče 1
R_{ADJ2}	[Ω]	elektrický odpor nastavující omezení proudu měniče 2
R_{DS}	[Ω]	odpor sepnutí spínače
U	[V]	napětí obecně
U_n	[V]	napětí měřené
U_{pin}	[V]	napětí pinu
U_{IN}	[V]	vstupní napětí
U_{OUT}	[V]	výstupní napětí
U_{FB}	[V]	zpětnovazební napětí
U_{SAT}	[V]	úbytek napětí na výkonovém spínači
$U_{IN(MAX)}$	[V]	maximální vnitřní napětí
U_D	[V]	úbytek napětí na diodě
I_{LOAD}	[A]	zatěžovací proud
I_{OMEZ}	[A]	omezovací proud
I_{ODEB}	[A]	odebíraný proud
t_{VYB}	[s]	doba vybití akumulátoru
t_A	[s]	doba sepnutí
t_B	[s]	doba jedné periody
C	[Ah]	kapacita akumulátoru

Řecká písmena

α_{12} [VK^{-1}] Seebeckův koeficient

α [K^{-1}] teplotní koeficient

1 Úvod

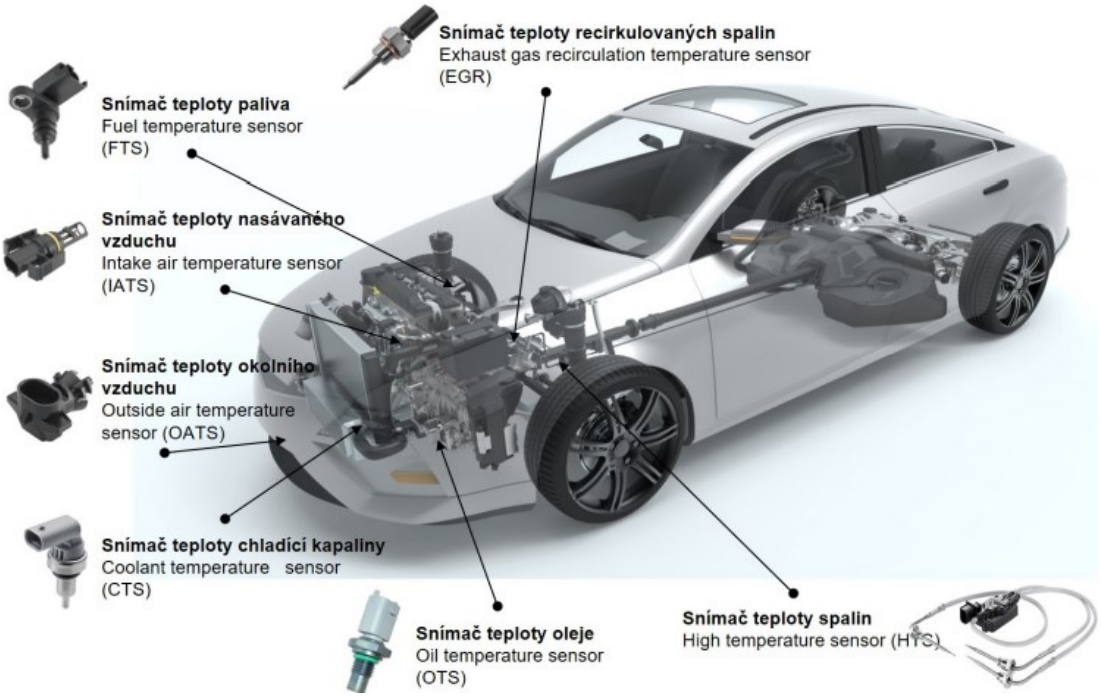
Bakalářská práce s názvem „Návrh stabilizovaného napájecího zdroje s PV článkem pro napájení teplotního senzoru“ se zabývá návrhem a zhotovením napájecího systému pro teplotní senzor využívající fotovoltaický článek.

V první části se práce věnuje teplotním senzorům v automobilovém vozidle. Jsou zde uvedeny různé druhy a princip fungování. Následně je řešeno možné napájení teplotních senzorů, kde je uvedeno napájení senzorů v automobilovém vozidle, poté napájení z fotovoltaického článku a akumulace energie pomocí superkapacitorů a akumulátorů. Poslední část je praktická, ve které je uvedeno navržené řešení napájecího systému a výběr jednotlivých komponent. Dále je tato část zaměřena na návrh a zhotovení stejnosměrného měniče a jsou zde uvedeny výpočty jednotlivých komponent, návrh DPS a naměřené průběhy tohoto zařízení.

Práce si klade za cíl navrhnout soběstačný systém, který by se obešel bez nutnosti připojení na veřejnou elektrickou síť a který by řešil stálé napájení teplotního senzoru bez ohledu na nedostatek sluneční energie.

2 Použití teplotních senzorů v automobilové technice

Měření teploty je dnes jedna z nedílných součástí pro správné fungování dopravních prostředků ať už v silniční, vlakové či letecké dopravě. V automobilech se výskyt teplotních senzorů vyvíjel s vývojem elektroniky. Dnes teplotní čidla v automobilech předávají data řídicí jednotce, která pomocí nich řídí jednotlivá zařízení. Pro předávání dat se využívají datové sběrnice jako CAN, LIN či SENT. Ve vozidlech se měří například teplota nasávaného vzduchu a teplota paliva pro správné spalování motoru, teplota oleje pro regulaci výkonu motoru, teplota výfukových plynů pro regulaci tvorby emisí nebo teplota vzduchu vnějšího okolí pro správné fungování klimatizace a informování řidiče o teplotě vně a uvnitř vozu. [1]



Obr. 1 - Přehled teplotních senzorů a jejich umístění v osobním automobilu [1]

Výběr vhodného senzoru závisí na kritériích jako je rozsah, přesnost, rozlišení, odolnost proti různým druhům rušení, cena či druh aplikace. Jak je vidět v Tab. 1, při měření spalin motoru je například speciální požadavek na rozsah do vysokých hodnot. Pro měření kapalných médií je zase nezbytná vodotěsnost.

Tab. 1 - Rozdělení senzorů podle aplikace, podle rozsahu teplot a podle měřeného média [1]

Aplikace	Rozsah teplot	Médium
Snímač teploty okolního vzduchu	-40 až 85°C	Vzduch
Snímač teploty nasávaného vzduchu	-40 až 150°C	Vzduch
Snímač teploty chladící kapaliny	-40 až 140°C	Chladící kapalina
Snímač teploty paliva	-40 až 150°C	Nafta / Benzín
Snímač teploty oleje	-40 až 150°C	Olej
Snímač teploty recirkulovaných spalin	-40 až 300°C (existují i 500°C nebo 650°C varianty)	Spaliny (směr plynů vzniklých spalovacím procesem)
Snímač teploty spalin	-40 až 1050°C	Spaliny (směr plynů vzniklých spalovacím procesem)

Rozlišujeme snímače buď pasivní, nebo aktivní. Pasivní snímače jsou připojeny na elektrické napětí a působením elektrických veličin jako odpor, kapacita či indukčnost mění úroveň napětí či proudu. Oproti tomu aktivní snímače působením snímané veličiny samy vytváří elektrickou energii.

Teplotní senzory rozlišujeme mimo jiné podle fyzikálního principu:

- Dilatační senzory
- Termoelektrické senzory
- Odporové senzory
- Optické senzory

2.1 Dilatační snímače

Využívají délkové a objemové roztažnosti měronosné látky. Ta může být v plynném, kapalném či pevném skupenství.

Plynové snímače využívají při stálém objemu přímé úměry mezi tlakem plynu a rostoucí teplotou. Jako plyn bývá použit dusík nebo helium. Díky netoxikaci měronosné látky se využívají v potravinářství a v chemickém průmyslu.

Kapalné snímače využívají změny objemu při změně teploty. Nejčastěji se vyskytují ve skleněné podobě plněné rtutí či obarveným lihem. Pro provozní použití je kapalina v uzavřené

válcové nádobce. Při změně objemu kapaliny se mění tlak v nádobce, který působí na deformační čidlo tlakoměru. Nevýhodou je toxicita rtuti.

Snímače s pevnou látkou fungují na principu teplotní roztažnosti pevných látek. Existují jako bimetalické snímače, které jsou tvořeny dvěma pásovinami z různých materiálů s různým součinitelem roztažnosti a při působení tepla se bimetal prohne a vytvoří se výchylka. Dalšími příklady jsou tyčové a bimateriálové snímače, které také pracují s odlišnou roztažností dvou materiálů. Tyto snímače mají vysoký teplotní rozsah, například tyčový snímač má použití až do 1000˚C [3] [5]

2.2 Termoelektrické snímače

Tyto snímače využívají termoelektrický neboli Seebeckův jev na termoelektrickém článku. Pokud jsou dva vodiče z různých materiálů na obou koncích spojeny a pokud je na jednom konci rozdílná teplota nežli na konci druhém, vznikne termoelektrické napětí. Napětí mezi konci vodičů je přímo úměrné rozdílu teplot:

$$\boldsymbol{U = \alpha_{12} \cdot (T_1 - T_2)} \tag{1}$$

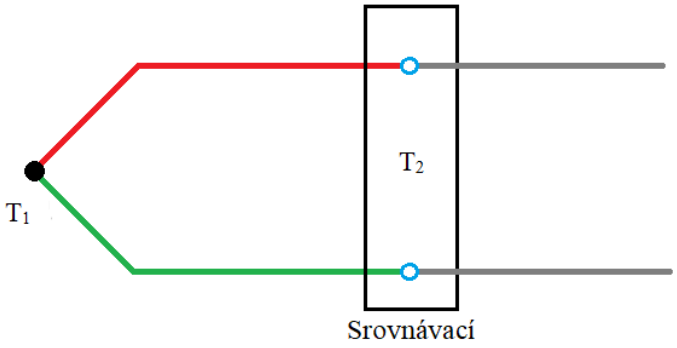
Jako termoelektrické články se používají různé kombinace materiálů, podle požadavků na rozsah a termoelektrické napětí.

Typ	materiálové složení		barevné označení		měřicí rozsah krátkodobý	měřicí rozsah trvalý
	+ pól	- pól	+ pól	- pól	Δϑ (°C)	Δϑ (°C)
B	Pt - 30% Rh	Pt - 6% Rh	šedá	bílá	200 až 1820	0 až 1700
E	Ni-Cr	Cu-Ni	fialová	bílá	-40 až 900	0 až 800
J	Fe	Cu-Ni	černá	bílá	-180 až 800	0 až 750
K	Ni-Cr	Ni-Al	zelená	bílá	-180 až 1300	0 až 1100
N	Ni-Cr-Si	Ni-Si	růžová	bílá	-270 až 1300	0 až 1100
R	Pt - 13% Rh	Pt	oranžová	bílá	-50 až 1700	0 až 1600
S	Pt - 10% Rh	Pt	oranžová	bílá	-50 až 1750	0 až 1600
T	Cu	Cu-Ni	hnědá	bílá	-250 až 400	-185 až 300
C*	W - 5% Re	W - 26% Re	není definováno		0 až 2320	
G*	W	W - 26% Re				
D*	W - 3% Re	W - 25% Re				
* uvedené typy termočlánků nejsou definovány v příslušných normách						

Obr. 2 - Tabulka průmyslově používaných termočlánků [1]

Obvod snímače má měřicí bod a srovnávací spoj. Teplota měřicího bodu je proměnná podle teploty měřeného média. Srovnávací spoj má konstantní teplotu a je chráněn proti vlhkosti a degradaci. Termoelektrické snímače jsou buď drátové, kdy jsou termoelektrické články uloženy

v keramických izolačních trubkách, anebo jsou plášťové, kdy jsou termoelektrické vodiče uloženy v kovovém plášti o trubkovém tvaru. [4] [5]



Obr. 3 - Obvod termočlánku

2.3 Odporové snímače

Odporové snímače využívají změnu odporu materiálů při změně teploty. Data jsou přenášena ve formě úbytku napětí na odporu díky procházejícímu proudu. Jako odpor se využívají polovodiče a kovy.

Kovové snímače jsou stabilní a přesné. S ohledem na rozsah a přesnost měření se jako odporový materiál používají různé kovy jako např. platina, nikl či měď s různými hodnotami odporu: 100, 200, 500, 1000, 2000 Ω. Platina se užívá s čistotou 99,999%, je chemicky netečná, má vysokou teplotu tání a je časově stálá. Niklové snímače jsou vysoce citlivé a mají rychlou odezvu. Měděné snímače nejsou tolik běžné kvůli nízké rezistivitě a snadné oxidaci. Co se týče konstrukce, je měřicí čidlo provedeno buď jako vinuté, nebo vrstvové. Vinuté čidlo je tvořeno spirálově navinutým tenkým kovovým drátkem na keramickém či skleněném tělesu. Vrstvové čidlo je vyráběno tenkou kovovou vrstvou naleptanou na keramické podložce. [5]

Tab. 2 - Vlastnosti materiálů pro odporový snímač [3]

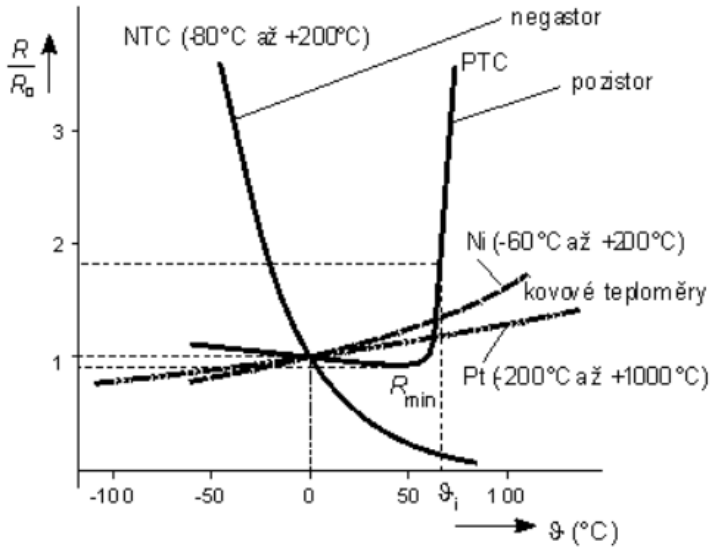
Materiál	**$\alpha \cdot 10^{-3}$ [K^{-1}]**	**Rozsah použití [°C]**
Pt	3,85 až 3,93	-200 až 850
Ni	6,17 až 6,70	-60 až 200
Cu	4,26 až 4,33	-50 až 150

Vztah pro výpočet odporu v závislosti na teplotě:

$$\boldsymbol{R = R_0[1 + \alpha \cdot (T_1 - T_2)]} \quad (2)$$

Polovodičové snímače jsou buď monokrystalické nebo polykrystalické. Mezi polykrystalické snímače patří termistory NTC a PTC. NTC neboli negastory jsou vyráběny spékáním oxidů Fe_2O_3, TiO_2, CuO, MnO atd. U NTC odpor s vzrůstající teplotou klesá a mají nelineární závislost. Tyto termistory mají vysokou citlivost, malou hmotnost a rozsah od -60˚C do 200˚C. PTC neboli pozistory jsou vyráběny z polykrystalické feroelektrické keramiky. Charakteristika pozistoru je s počáteční stoupající teplotou mírně klesající a po překročení určité teploty odpor prudce vzrůstá. Tyto termistory se používají pro přesné měření v malých rozsazích. Monokrystalické snímače jsou vyráběny z germania, india nebo nejčastěji z křemíku. U těchto snímačů se s rostoucí teplotou odpor snižuje. Jsou stabilní, téměř lineární a používají se v rozsahu od -50˚C do 150˚C. NTC a PTC termistory se v automobilových vozidlech objevují nejčastěji. [3] [4]

Dalším druhem polovodičových snímačů jsou diodové snímače, jež fungují na principu změny vlastností PN přechodu při změně teploty. Pro realizaci se využívají germaniové nebo křemíkové diody a tranzistory. Germaniové jsou vhodné pro měření nízkých teplot a křemíkové pro měření těch vyšších. Tyto snímače mají velmi dobré dynamické vlastnosti a jsou časově stálé. Přesnost těchto snímačů se udává 0,5% v celém měřícím rozsahu. [3]



Obr. 4 - Závislost odporu na teplotě pro různé materiály [3]

2.4 Porovnání technologií

Termoelektrické snímače jsou levné, odolné a mají široký teplotní rozsah. Jejich nevýhodou je ovšem nízká citlivost, nelinearita a nízká úroveň výstupního signálu, která se řeší připojeným zesilovačem.

Platinové snímače jsou časově stálé, lineární, přesné, s možností použití ve vysokých teplotách a jejich výstupní signál má vysokou úroveň. Jejich nevýhodou je vysoká cena.

Niklové snímače jsou přesné, malé a mají také vysokou úroveň výstupního signálu. Jejich nevýhodou je menší stálost a horší linearita oproti platinovým senzorům.

PTC termistory jsou citlivé, malé a mají rychlou odezvu. Jejich nevýhodou je menší stálost. Díky své charakteristice závislosti odporu jsou vhodné pro signalizaci překročení teploty.

NTC termistory mají vysokou citlivost a rychlou odezvu. Nevýhodou je křehkost, menší stálost a nelinearita jejich výstupu, která se dá ovšem vyřešit pomocí paralelně či sériově připojeného odporu. [7]

3 Možnosti napájení teplotních senzorů

Teplotní senzory jako takové nejsou nijak napájeny. V automobilových vozidlech se nejčastěji používají senzory NTC a PTC, které jsou součástí napěťového děliče v elektronické jednotce a díky změně odporu senzoru se mění poměr děliče. U odporových děličů je tedy napájena elektronická jednotka. Dalšími, ne tak častými, jsou senzory termoelektrické. Tyto senzory jsou senzory aktivními a nepotřebují tedy napájet. U těchto prvků je ovšem používán zesilovač pro zesílení slabého signálu ze senzoru, který ovšem už napájení vyžaduje.

Co se týče napájení jednotek a zesilovačů, tak u spalovacích vozidel jsou napájeny z baterie či alternátoru. U elektromobilů by se jednalo o napájení přes snižovací DC-DC měnič, který snižuje úroveň napětí z trakčních akumulátorů na hodnotu palubní sítě, na kterou jsou jednotky a zesilovače připojeny.

Existují také speciální elektromobilová vozidla využívající elektrickou energii vytvořenou solárními panely, které jsou umístěny na povrchu automobilu. Solární panely dodávají elektrickou energii do elektromobilu dvěma způsoby. První způsob je dodávání do palubní sítě, ze které jsou přímo napájeny jednotky a případně zesilovače. Druhou možností je dodávání elektrické energie do trakčního akumulátoru a napájení jednotek a snímačů by bylo totožné jako u klasických elektromobilů. [8]

Obr. 5 - Elektromobil Toyota Prius se solárními panely [9]

4 Využití PV článků pro napájení

Fotovoltaický článek přeměňuje solární energii na energii elektrickou. Výroba elektřiny ze solární energie je běžně využívána pro napájení malých zařízení jako například kalkulaček, pro distribuci do elektrické sítě v podobě solárních polí či pro spotřebu energie rodinného domu v podobě střešní fotovoltaiky. Díky snaze přejít z fosilních paliv na obnovitelné zdroje a díky poklesům pořizovacích nákladů se fotovoltaické panely dočkaly velkého rozmachu využití jak velkými elektrárnami, tak vlastníky rodinných domů.

4.1 Fotovoltaický jev

Při dopadu světla na PN přechod přenášejí fotony svoji energii atomům v krystalové mřížce a uvolňují z ní elektrony. Díky PN přechodu se elektrony uvolněné ve vrstvě N nedostanou do vrstvy P. Ovšem elektrony z vrstvy P přechodem projdou a navyšují tak množství elektronů ve vrstvě P. Díky tomuto nahromadění elektronů na jedné vrstvě vznikne mezi vrstvami elektrické napětí.

4.2 Fotovoltaické články

Fotovoltaické články mají na svém povrchu PN přechod a využívají tedy fotovoltaického jevu pro přeměnu sluneční energie na energii elektrickou. Protože jeden fotovoltaický článek sám o sobě nevyrábí dostatek energie, zapojují se články různými sérioparalelními kombinacemi podle potřeby proudu a napětí. Počet článků v panelu závisí na potřebném výkonu celého panelu. Platí, že s větším počtem ozářených článků roste výkon celého panelu.

Fotovoltaické články dokážou přeměnit na elektrickou energii jenom určitou část sluneční energie, která na ně dopadá. Mají tedy vlastní účinnost. Účinnost článků se liší podle struktury materiálu a způsobu výroby. Pro výrobu fotovoltaických článků se používají tři druhy křemíkových materiálů s různou účinností (viz. Tab. 3). Se stářím článků klesá jejich účinnost vlivem jejich degradace. [11]

Tab. 3 - Účinnosti fotovoltaických článků

Křemíkový materiál	Průmyslová výroba [%]
Monokrystalický	19 až 22
Polykrystalický	16 až 18
Amorfní	11

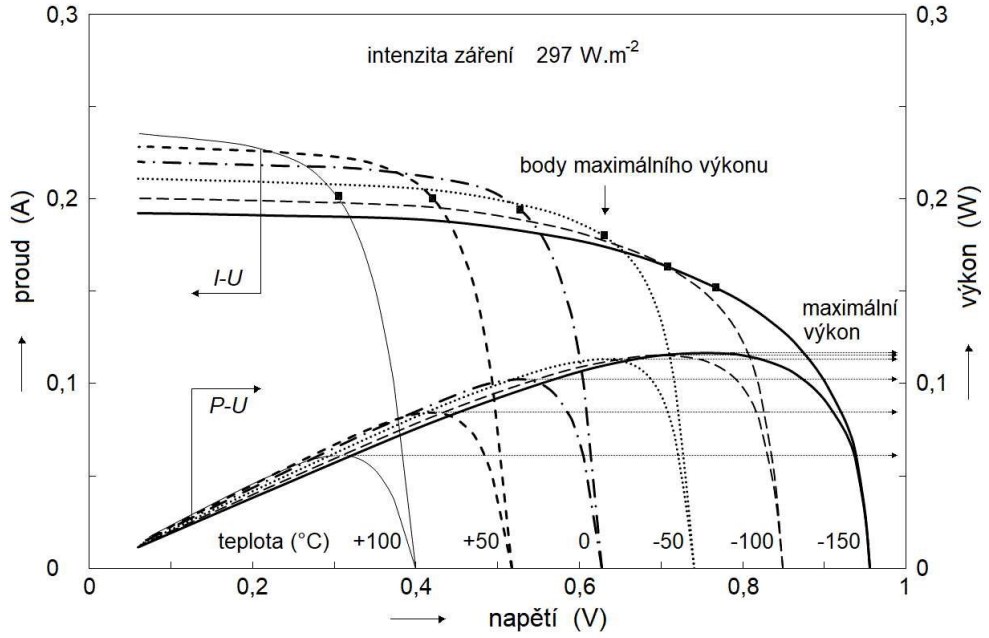
Vliv na vyrobenou energii má také intenzita dopadajícího slunečního světla, která se mění s ročním obdobím, sklon, pod kterým sluneční světlo na fotovoltaický článek dopadá, teplota, při které je článek provozován, a nečistoty či objekty, které snižují možnost průchodu světla nebo jej zcela znemožňují.

4.2.1 Vliv teploty na výrobu energie fotovoltaického článku

Teplota, při které fotovoltaické články pracují, ovlivňuje napětí, proud a tím pádem i celý výkon článků. To, jakým způsobem jsou tyto veličiny ovlivněny, ukazuje jejich teplotní koeficient.

Teplotní koeficient napětí otevřeného obvodu (V_{OC}) mívá negativní nárůst, což znamená, že s klesající hodnotou napětí narůstá. Tato hodnota se pohybuje mezi 0,3-0,5 %/ºC. Teplotní koeficient proudu nakrátko I_{CS} mívá pozitivní nárůst, tedy že s klesající teplotou klesá i proud. Tato hodnota bývá o řád nižší než teplotní koeficient V_{OC}. Teplotní koeficient maximálního výkonu P_{MAX} ukazuje celkový dopad teploty na výrobu energie. Mívá negativní nárůst a pohybuje se mezi 0,2-0,5 %/ºC. [14]

Jak je tedy vidět, letní období i přes velké množství slunečního svitu nemusí být pro provoz fotovoltaických článků tím nejlepším obdobím kvůli klesajícímu maximálnímu výkonu. Během zimních dnů je zase potřeba si dát pozor na zvyšující se napětí, které by mohlo mít negativní vliv na připojená zařízení, která nejsou na tuto skutečnost dimenzována.



Obr. 6 - Vliv teploty na výrobu fotovoltaické energie [13]

4.3 Konstrukce fotovoltaického panelu

Jak bylo zmíněno v přechozí kapitole, kvůli nízké schopnosti výroby energie se články zapojují sérioparalelně k sobě. Tím vznikne fotovoltaický panel. Pokud je potřeba ještě více navýšit výkon, připojí se jednotlivé panely k sobě, čímž vznikne fotovoltaické pole. To se používá např. při instalaci na střechy budov.

Konstrukce panelu je následovná: na přední straně je ochranné sklo proti nárazům, fotovoltaické články jsou zality v EVA fólii a zadní strana je tvořena laminátovou kompozicí PVF-PET-PVF. Kolem dokola je panel zatmelen do hliníkového rámu a je opatřen krabicí s výstupními kontakty. Panel je tak zatěsněn proti nečistotám a vodě. [12]

5 Způsoby napájení při nízké intenzitě slunečního svitu

Vzhledem k proměnlivosti počasí nejsou fotovoltaické články stabilními zdroji. Při nedostatku slunečního záření zapříčiněného zataženou oblohou či při provozu během noci je potřeba dobíjet zařízení náhradním zdrojem. Nejčastěji se pro tento účel používají zařízení, která využívají naakumulovanou energii z fotovoltaického článku.

5.1 Superkapacitory

Superkapacitor, nebo také ultrakapacitor je zařízení schopné uchovávat elektrickou energii pomocí statického náboje. Na rozdíl od tradičních kapacitorů má superkapacitor výrazně vyšší kapacitu, což mu umožňuje uchovávat mnohem více energie.

Co se týče konstrukce, jsou elektrody z grafenu a elektrolyt má formu kapaliny, gelu či tuhé látky.

V porovnání s akumulátory mají nízkou energetickou hustotu energie, velkou rychlost nabíjení a vybíjení, velkou životnost, která může činit až milión cyklů, vysokou rychlost samovybíjení, velký teplotní rozsah použití a jsou téměř bezúdržbové.

Co se týče použití, jsou superkapacitory určeny pro krátkodobé výpadky energie v řádech maximálně několika málo minut. Pro delší výpadky elektrické energie jsou určeny elektrochemické akumulátory. [16]

5.2 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátory fungují na principu chemické reakce mezi elektrolytem a elektrodami, kdy přeměňují elektrickou energii na energii chemickou. Akumulátory se mohou různě spojovat. Buď sériově pro zvětšení napětí, paralelně pro zvětšení kapacity nebo kombinací obou způsobů, tedy sérioparalelně.

Při výběru akumulátoru je třeba hledět na charakter oblasti použití (životnost, údržba, objemové / hmotnostní nároky, výkonnostní nároky, cena …) a na parametry akumulátoru (jmenovité napětí, kapacita, vnitřní odpor, počet nabíjecích cyklů, hmotnost, hmotnostní / objemová hustota energie, rozměry, pracovní teplota).

5.3 Druhy elektrochemických akumulátorů podle technologie

Olověné (kyselé)

Jako elektrolyt se používá kyselina sírová zředěná destilovanou vodou a elektrody jsou z různých sloučenin olova. Jmenovité napětí na článek je přibližně 2V. Jsou levné, mají malou hustotu energie a oproti lithiovým akumulátorům mají nižší životnost. Při opakovaně nízkém vybíjení a ponechání v dlouhodobém vybitém stavu nastává sulfatace, která akumulátory poškozuje. Jsou hojně využívány například jako startovací baterie v automobilech. Podrobněji budou Pb akumulátory charakterizovány v kapitole 5.4.

Alkalické

Elektrolytem je hydroxid draselný s příměsí hydroxidu lithného pro zlepšení nabití. Elektrody jsou z různých směsí, např. z nikl-kadmia, nikl-železa, nikl-metal hydrátu atd. Jmenovité napětí na článek je 1,2V. Při neúplném vybíjení se objevuje paměťový efekt, který zmenšuje kapacitu. Při plném nabití trpí velkým samovybíjením, které se postupně zmenšuje. Výhodou je možnost ponechání akumulátorů ve vybitém stavu na delší dobu bez závažných poškození. Dnes jsou tyto typy vytlačovány lithiovými akumulátory.

Lithiové

Elektrolyt je v tuhém stavu (Li-pol) nebo jako nasáklá lithná sůl do separátu (Li-ion). Co se týče složení elektrod, tak ve většině případů je anoda z uhlíku a katoda z různých sloučenin, např. lithium kobalt oxid, lithium železo fosfát, nikl kobalt hliník atd. Jmenovité napětí na článek může být od 2,3V do 3,7V dle použitých materiálů. Jsou hojně využívané pro své výhody, jako jsou dlouhá životnost, velká energetická hustota, malé samovybíjení, vysoké vybíjecí i nabíjecí proudy a jmenovité napětí na článek. Nevyskytuje se u nich paměťový efekt ani sulfatace. Při poškození či přebití se ale mohou vznítit či explodovat. Při nabíjení je nutný Battery management system (BMS), který hlídá napětí a teploty článků. Lithiové akumulátory jsou velmi rozšířené a mají využití jak u spotřební elektroniky, tak u elektromobilů.

Tab. 4 - Porovnání konkrétních Lithiových a olověných akumulátorů různých technologií [20][21][22][23]

Označení	FC8603	ER2/3A	174-8855	NP0,8-12
Výrobce	Philips	Sanyo	RSpro	YUASA
Typ	Li-Fe	LMO	AGM	AGM
Kapacita [Ah]	1,5	1,8	1	0,8
Energie [Wh]	19,2	5,4	6	9,6
Jmen. napětí [V]	12,8	3	6	12
Hmotnost [kg]	0,169	0,018	0,25	0,35
Objem [cm^3]	96,2	11,9	109	147,6
Hmot. hustota energie [Wh/kg]	113,6	300	55	27,4
Objem. hustota energie [Wh/l]	199,6	453,8	85	65

5.4 Olověné akumulátory

Vzhledem k použití olověného akumulátoru v praktické časti této práce, bude v této kapitole charakterizován podrobněji.

Co se týče konstrukce, je akumulátor tvořen plastovou nádobou s pólovými vývody a popřípadě dolévacím otvorem. V nádobě jsou uloženy elektrody se separátory a s elektrolytem. Elektrody jsou buď velkoplošné z čistého olova, mřížkové z legovaného olova, trubkové či tyčové. Jako separátory se používá papír, PVC či skleněná vlákna a pro elektrolyt se používá kyselina sírová zředěná destilovanou vodou. Elektrolyt může být ve formě tekutém, gelovém či nasáklém v separátoru. Počet článků v nádobě se mění podle požadovaného jmenovitého napětí akumulátoru. Nádoba pro 12V akumulátor obsahuje 6 článků, pro 6V pouze 3 články. [17]

Akumulátory mají určitou kapacitu, která se udává v ampérhodinách (Ah). Kapacita je schopnost dodávat z akumulátoru určitou elektrickou energii v požadované době do poklesu napětí na minimální přípustnou hodnotu. Na kapacitu akumulátoru má vliv teplota a vybíjecí proud. S velkými vybíjecími proudy vzniká na elektrodách větší vrstva sulfátu, která zkracuje dobu pro vybíjení akumulátoru. Co se týče tepla, tak při teplotách nad 20˚C kapacita mírně stoupá, ale velmi se zkracuje životnost a zvětšuje se samovybíjení. Při nízkých teplotách se kapacita zmenšuje nelineárně zhruba okolo 1% na 1˚C. [17]

Při vybíjení akumulátoru se spotřebovává kyselina sírová a vzniká voda. Na elektrodách se objevuje sulfát neboli síran olovnatý. Napětí článku klesá až na 1,75V (10,5V pro 12V akumulátor) a klesá hustota elektrolytu. Při hlubokém vybíjení, dlouhodobém vybití či

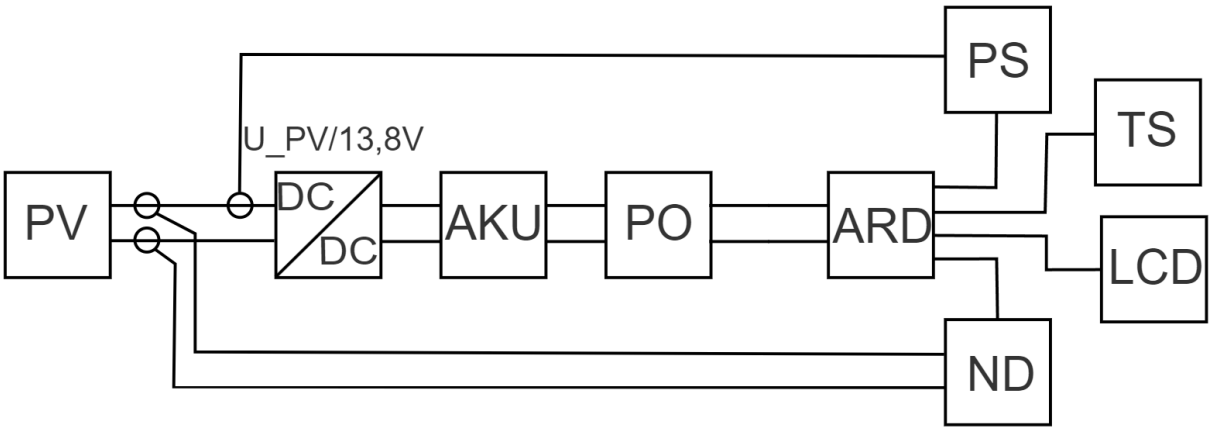
opakovaném úplném nedobití vznikne nevratná sulfatace, která zhoršuje parametry akumulátoru, především zvýší vnitřní odpor a zhorší kapacitu. Velikost vybíjecího proudu udává výrobce. [17]

Při nabíjení je chemický proces opačný než u vybíjení. Napětí článku naroste až na 2,4 až 2,7V. Při dosažení 14,4V začíná akumulátor plynovat a některé druhy akumulátorů toto napětí nesmějí překročit. Při normálním nabíjení je akumulátor nabíjen velikostí proudu 0,1C, tedy velikostí odpovídající číselně 10% své kapacity. Při rychlém nabíjení je velikost nabíjecího proudu až 0,8C a akumulátor může být tímto proudem nabíjen pouze do 80% své kapacity. Při udržovacím nabíjení je akumulátor připojen na napětí 13,6 až 13,8V a teče do něj proud v desítkách mA. [17]

U akumulátorů rozlišujeme různé druhy. Mohou být údržbové s tekutým elektrolytem. U nich se musí hlídat hladina elektrolytu a případně vzniká potřeba ji dolít destilovanou vodou. Bezúdržbové akumulátory mají utěsněný kryt a do nich se destilovaná voda nedolívá. Kryt zabraňuje vytečení, ovšem nelze je provozovat v každé poloze. Obsahují indikátor vybití. VRLA jsou akumulátory fungující na bázi kyslíkové rekombinace. Nemají tekutý elektrolyt a mohou se provozovat v jakékoli poloze. Mezi VRLA spadají akumulátory gelové a AGM. AGM mají elektrolyt nasáknutý ve skleněných mikrovláknech separátoru. Mají menší vnitřní odpor a dají se zatěžovat většími vybíjecími proudy. Gelové akumulátory mají elektrolyt ve formě ztuženého gelu. Mají delší životnost, ale oproti AGM větší vnitřní odpor. [17]

6 Návrh systému stabilizovaného zdroje s PV článkem pro teplotní senzor

Návrh je řešen pomocí baterie, která převezme napájení při nedostatku slunečního svitu. Dále je v obvodu podpěťová ochrana pro baterii a snižující DC-DC měnič, který je určen pro udržení stabilního nabíjejícího napětí baterie. Přes Arduino je do obvodu připojen teplotní snímač, proudový senzor měřící procházející proud z fotovoltaiky, napěťový dělič pro snímání napětí na fotovoltaice a LCD displej, na který se budou vypisovat hodnoty z připojených senzorů a napěťového děliče.



Obr. 7 - Blokové schéma zapojení stabilizovaného zdroje s PV článkem pro teplotní senzor

PV – fotovoltaický zdroj

DC/DC – stejnosměrný měnič

AKU – akumulátor

PO – podpěťová ochrana

ARD – Arduino

PS – proudový senzor

TS – teplotní snímač

LCD – LCD displej

ND – napěťový dělič

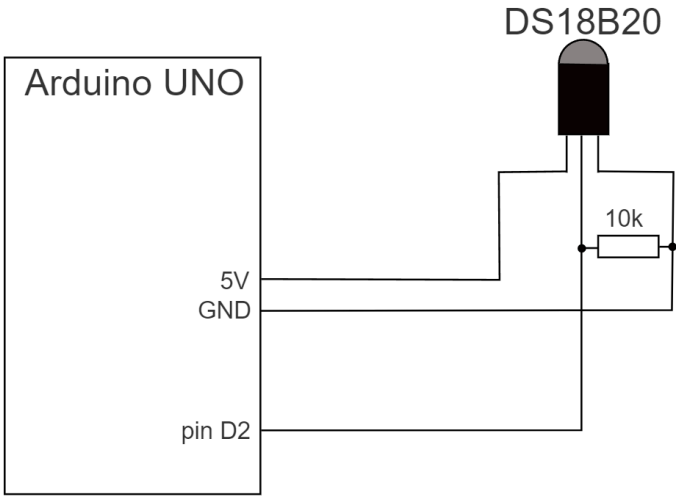
Alternativou tohoto řešení by bylo použití UPS systému, který by umožňoval přímé napájení Arduina přes stejnosměrný měnič napětí. Při nedostatku sluneční energie by se obvod přepnul na napájení z akumulátoru.

6.1 Teplotní senzor

Je zvolen polovodičový voděodolný snímač DS18B20 od firmy Dallas. Lze jej napájet 3 až 5,5V. Rozsah použití je od -55˚C do 125˚C. Mezi teplotami -10˚C a 85°C je přesnost měření ±0,5°C. Rozlišení je volitelné uživatelem od 9 do 12 bitů. Svými parametry je vhodný pro běžné použití. Pro měření ve vyšších teplotách či s větší přesností je nutné zvolit jiný senzor. Komunikace probíhá po sběrnici 1Wire bus, jež je podobná sběrnici I2S. [25]

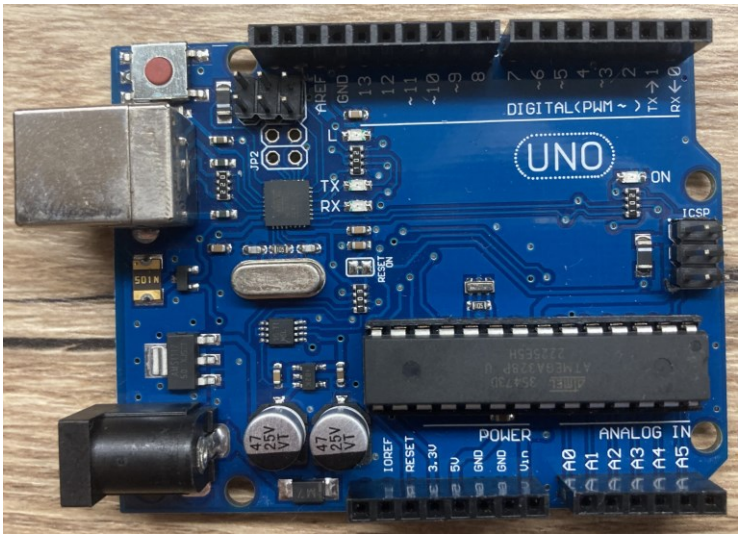
Obr. 8 - Teplotní snímač DS18B20

Senzor je připojen na Arduino UNO, ze kterého je napájen 5V. Pro správné fungování senzoru je potřeba zapojit mezi kladné napájení a datový vodič tzv. Pull-up rezistor, jehož hodnota byla zvolena na 10Ω.



Obr. 9 - Zapojení DS18B20 k Arduinu UNO

Arduino UNO je nejrozšířenější model z rodiny Arduino. Díky své jednoduchosti a dostupnosti je hojně využíván mezi studenty i nadšenci. Arduino UNO používá mikrokontroler ATmega328 od firmy Atmel. Má mnoho vstupních i výstupních pinů, díky čemuž je možné připojit velké množství komponent. Programovací jazyk pro Arduino nese název WIRING, jenž je podobný oblíbenému programovacímu jazyku C++. Kromě Arduino UNO existují i další druhy jako např. Mini, Nano, Leonardo, Mega, Yún atd. Napájení Arduina může být řešeno třemi způsoby. Buď přes USB port, jenž má rozsah napájecího napětí 4,75-5,25V, nebo přes souosý konektor, jehož rozsah napětí je 6-15V, nebo napájením přes piny Vin a GND, které jsou schopny napájet Arduino napětím v rozmezí 5,8-14,8V. Pro tuto práci bylo zvoleno napájení přes souosý konektor. [28]



Obr. 10 - Arduino UNO

Kromě Teplotního senzoru je k Arduinu připojen také LCD displej, proudový senzor a napěťový dělič pro snímání napětí.

Pro snímání proudu z fotovoltaického zdroje je použit model INA219 od firmy Texas Instruments. Tento model měří proud pomocí měření úbytku napětí na bočníku, jenž má velikost 0,1Ω. Komunikace s Arduinem probíhá po sběrnici I2C. Modul lze nastavit na různý rozsah měření s různým rozlišením. Pro tuto práci byl zvolen rozsah 1A. Senzor je připojen na napájecí piny 5V a pin GND. Pro komunikace po I2C sběrnici je modul připojen na datové piny SCL a SDA. Na výstupní svorku Vin+ je připojen kladný výstupní vodič z fotovoltaického zdroje. Na svorku Vin- je připojen kladný vstupní vodič pro měnič napětí. [27]

Jako způsob měření napětí je určeno měření přes analogové piny Arduina, které mají maximální rozsah 5V, proto je nutné měřené napětí zmenšit pomocí napěťového děliče. Určení hodnot rezistorů vychází ze vztahu (3). Po dosazení měřené hodnoty 24V, napětí určené pro analogové piny 5V a zvolené velikosti odporu R_2 1kΩ vyšlo, že R_1 se rovná 3,8kΩ. V reálném provedení je R_1 realizován dvěma rezistory o hodnotě 3,3kΩ a 560Ω.

$$\boldsymbol{U_{\mathrm{pin}} = U_{\mathrm{n}} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}} \tag{3}$$

LCD displej je zvolen 16x2 s modrým podsvícením a bílými písmeny, tedy displej pro zobrazení šestnácti znaků po dvou řádcích. Jedná se o běžný typ LCD displeje, který je hojně využívaný pro práci s Arduinem. Pro jednodušší zapojení displeje je použit převodník pro I2C sběrnici, která zredukuje počet vodičů na čtyři. Způsob zapojení do Arduina je totožný se zapojením proudového senzoru INA 219. Na displej je vypisována teplota z teplotního snímače. Dále je vypisován proud z proudového senzoru, napětí z napěťového děliče a výkon, který je součinem naměřeného napětí a proudu.

6.2 Fotovoltaický panel

Pro tuto práci byl vybrán fotovoltaický panel SZ-20-36M z monokrystalického křemíku, osazený v duralovém rámu s krycím sklem od firmy Solafram s parametry uvedenými v Tab. 5. Tento fotovoltaický panel má dostatečné napětí pro 12V akumulátor a proud, kterým je schopný nabíjet akumulátory o kapacitě vyšších jednotek ampérhodin.

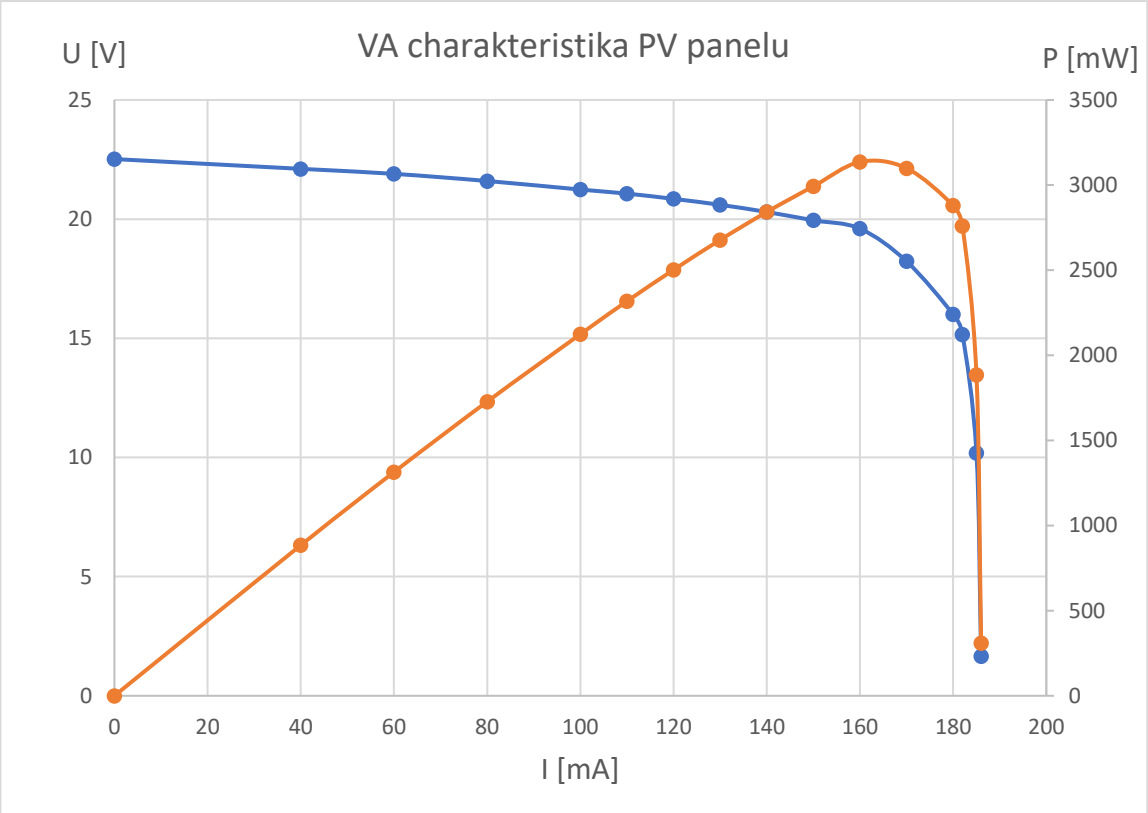
Tab. 5 - Parametry fotovoltaického panelu od firmy Solafram [26]

Rozměry	540 x 240 x 25 mm
Max. výkon	20W
Max. proud	0,98A
Max. napětí při zátěži	20,42V
Max. napětí naprázdno	24,27V
Max. zkratový proud	1,04A
Pracovní teplota	-40 až 85°C

Z daných informací o vybraném fotovoltaickém panelu je zřejmé, že pro nabíjení akumulátoru je potřeba použít prvek, jenž by dokázal snížit a stabilizovat kolísavé napětí.

6.2.1 VA charakteristika fotovoltaického panelu

Měření panelu proběhlo 2.7.2024 za zataženého počasí a teploty vzduchu 25°C. Panel byl namířen kolmo ke slunečnímu svitu se sklonem cca 60˚. Naměřené hodnoty jsou vykresleny v grafu na Obr. 11.



Obr. 11 . VA charakteristika PV panelu SZ-20-36M

6.3 Akumulátor

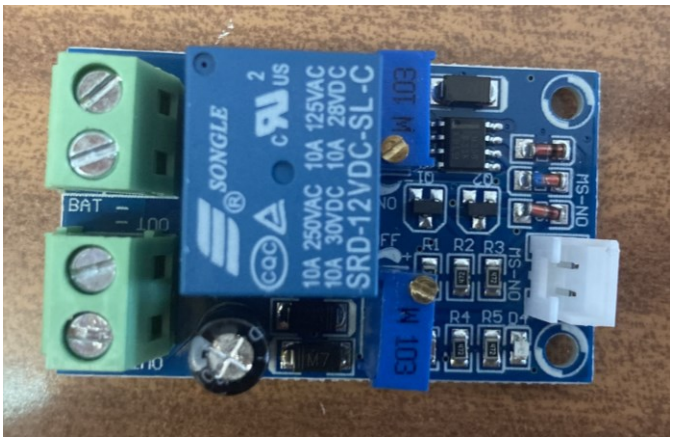
Akumulátor byl do tohoto obvodu zařazen, aby napájel Arduino při nedostatku slunečního svitu. Pokud by v obvodu byl pouze fotovoltaický panel se snižujícím měničem, nastalo by při nedostatku světla dopadajícího na fotovoltaický panel k přerušení napájení Arduina, a tím i teplotního senzoru.

Vzhledem k nízkému odběru napájeného zařízení není kladen vysoký nárok na kapacitu akumulátoru. Co se týče jmenovitého napětí, bylo by vhodné, aby se akumulátor svým napětím vešel do napájecího rozsahu Arduina přes souosý konektor. Pokud by byl zvolen akumulátor, jehož napětí se pohybuje mimo tento rozsah, bylo by do obvodu nutné zařadit snižující či zvyšující měnič, který by převedl napětí z baterie na hodnotu vhodnou pro napájení Arduina.

Pro tuto práci byl vybrán bezúdržbový olověný 12V akumulátor CARSPA MHPower MS9-12 s kapacitou 9Ah. Tato hodnota kapacity je vzhledem k nízkému odběru až přehnaná, ovšem poskytuje výhodu toho, že se akumulátor může nabíjet bez použití proudového omezení. Pokud by byl zvolen akumulátor o nízké kapacitě, musel by být obvod doplněn o prvek omezující nabíjecí proud, který by tuto hodnotu omezil na 0,1C, tedy proudu číselně rovnému 10% celkové kapacity akumulátoru. Díky statickému použití není problémem jeho větší hmotnost ani rozměry. Správné nabíjení nám bude zajišťovat snižovací měnič napětí, který bude držet napětí na udržovacím napětí 13,8V. Tím se docílí toho, že baterie nezačne plynovat. Jako ochrana proti opakovanému hlubokému vybití bude použita podpěťová ochrana.

Pro ochranu proti hlubokému vybití byl zvolen reléový modul YX-X801 pro 12V napětí a max. proud 10A. Na modulu je možné nastavit pomocí potenciometru dolní hranici napětí, při které se relé sepne a přeruší nabíjení. Dá se nastavit i horní hranice, při které se relé rozepne a obvod se otevře. Modul obsahuje také LED diodu, která indikuje sepnutí a rozepnutí relé.

Pro tento návrh se nastaví hranice napětí pro přerušení napájení akumulátoru na nejnižší bezpečnou hodnotu napětí, tedy 10,5V. Bohužel potenciometr nastavující horní hranici pro rozepnutí relé je v pořízeném modulu poškozen a nejde nastavit. Obvod se tedy otevírá a přerušuje při stejné hodnotě.



Obr. 12 - Podpěťová ochrana modul YX-X801 na 12V

6.3.1 Výpočet doby vybití akumulátoru

Výpočet doby vybití akumulátoru je důležitý pro odhadnutí, jak dlouho zařízení vydrží pracovat na jedno nabití. Tento výpočet závisí na dvou základních údajích: kapacitě akumulátoru a spotřebě zařízení. Je důležité si uvědomit, že tento výpočet je teoretický a skutečná doba vybití

může být ovlivněna různými faktory, jako je účinnost akumulátoru, teplota, stárnutí akumulátoru a další.

$$t_{VYB} = \frac{C}{I_{ODEB}} \tag{4}$$

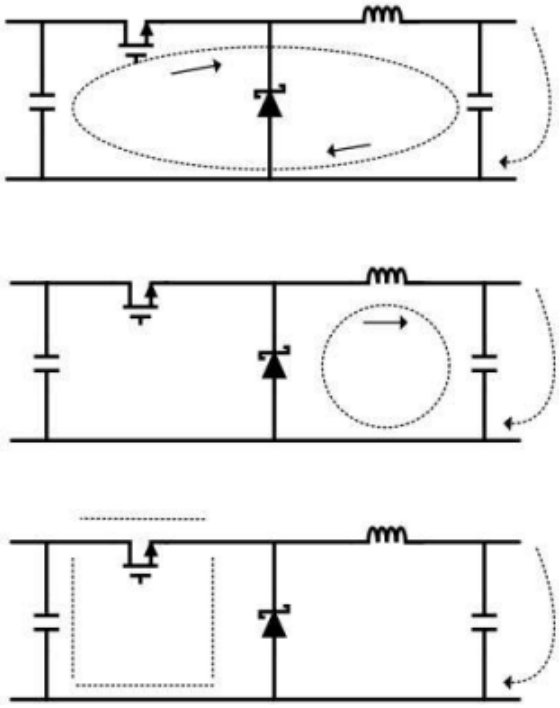
Při dosazení kapacity 9Ah a odběru připojených zařízení 24mA do (4) vychází doba vybití 375 hodin. Vzhledem k této hodnotě se akumulátor nemá šanci zcela vybít a fotovoltaický článek nedokáže plně využít svůj výkon. Pro tento návrh by bylo tedy vhodnější použít akumulátor s kapacitou v řádech stovek mA.

6.4 DC-DC měnič

DC-DC měniče jsou elektronická zařízení, která přeměňují vstupní stejnosměrnou hodnotu napětí na požadovanou výstupní hodnotu. Tyto měniče se dělí do dvou hlavních kategorií: lineární a spínané. Obě technologie mají své specifické vlastnosti, výhody, nevýhody, a jsou používány v různých aplikacích na základě požadavků na účinnost, velikost, šum a další parametry.

Pro toto řešení by bylo jednou z možností použití lineárního stabilizátoru. Ten dokáže stabilizovat výstupní napětí či proud bez ohledu na změny vstupního napětí, teploty okolí či zatěžovacího proudu. Kromě stabilizace funguje jako filtr proti zvlnění výstupního napětí. Obecně jsou lineární stabilizátory oproti spínaným měničům, co se týče konstrukce, jednodušší, jsou levnější a mají výrazně nižší účinnost. Lineární stabilizátory existují jako zpětnovazební nebo parametrické. Parametrické využívají voltampérových charakteristik např. diod či doutnavky. Zpětnovazební fungují na principu řízení tranzistoru pomocí odchylky mezi referenčním a žádaným napětím. [31]

Další možností by bylo použití snižujícího neboli step-down měniče, který konvertuje vyšší vstupní napětí na nižší výstupní pomocí spínání spínacího prvku a přechodných stavů na cívce. V obvodu se také využívají kondenzátor a dioda, přes kterou se uzavírá obvod při rozepnutí spínacího prvku. Při sepnutí spínače se nabíjí kondenzátor a roste proud tekoucí cívkou. Až napětí dosáhne potřebné výstupní úrovně, spínač se rozepne. Proud tekoucí cívkou se začne uzavírat přes rekuperační diodu. Proud procházející cívkou klesá, kondenzátor se vybíjí do zátěže. Až výstupní napětí klesne, řídicí logika opět sepne spínač a celý cyklus se opakuje. Uzavírání proudového toku je znázorněno na Obr. 13. [30]



Obr. 13 - Uzavírání toku proudu při různých stavech spínacího prvku [29]

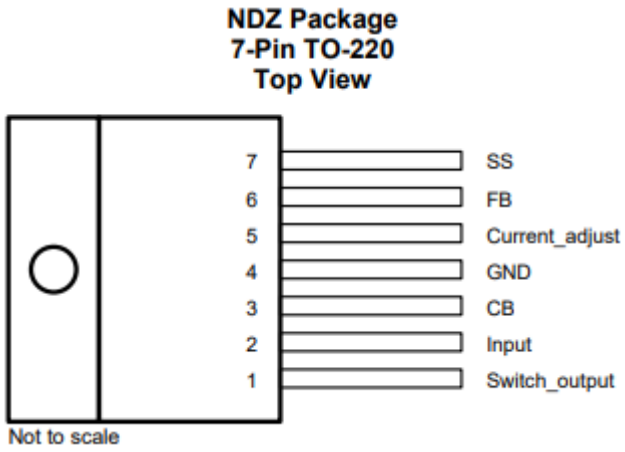
Poměr sepnutí ku periodě se nazývá střídou a může nabývat hodnot od nuly do jedné a reguluje se tím výstupní napětí.

$$U_{OUT} = U_{IN} \cdot \frac{t_A}{t_C} \tag{5}$$

Pro tuto práci byl zvolen spínaný snižující stejnosměrný měnič s integrovaným obvodem LM2679. Tento integrovaný obvod je přímo určen pro snižovací stejnosměrné měniče napětí v aplikaci pro nabíjení baterií. Jedná se o obvod s vysokou účinností až 92%, jednoduchým navržením komponent, nastavitelným proudovým omezením od 3A do 7A, konstantní frekvencí spínání 260kHz. Jsou zde různé verze s danou výstupní hodnotou napětí 3,3V, 5V, 12V a nebo s nastavitelnou hodnotou napětí v rozsahu 1,2V až 37V. Vstupní napětí těchto obvodů se pohybuje v rozmezí 8V až 40V. [29]

6.4.1 Návrh DC-DC měniče

Všechny vybrané součástky pro tuto práci součástky jsou typ THT, kvůli snazší montáži. Pro integrovaný obvod LM2679 bylo zvoleno pouzdro TO220 -7. Z parametrů fotovoltaického panelu víme, že maximální vstupní napětí, které by mohlo být na svorkách měniče, je 24,27V. Maximální proud protékající měničem je 1,04A.



Obr. 14 - LM2679 v pouzdře TO220-7 s popsanými výstupními piny [29]

Vzhledem k tomu, že akumulátor má být napájen udržovacím napětím 13,8V, je nutné zvolit obvod s nastavitelným výstupním napětím. To zajišťuje odporový dělič realizovaný odpory R1, R2, R3, R4 připojený na vývod zvaný Feedback. Výpočet hodnot rezistorů odporového děliče vychází ze vztahu (6).

$$\boldsymbol{U_{OUT} = U_{FB} \cdot (1 + \frac{R_4}{R_{123}})} \tag{6}$$

U_{FB} se dle datasheetu rovná 1,21V. U_{OUT} je výstupní hodnota měniče, která byla stanovena na již míněných 13,8V. A hodnota odporu R_4 byla zvolena na 10kΩ. Odpor R_{123} se vypočítá ze vztahu (7), který vychází ze vztahu (6). R_{123} se tedy rovná 960Ω.

$$\boldsymbol{R_{123} = \frac{R_4}{\frac{U_{OUT}}{U_{FB}} - 1}} \tag{7}$$

Vzhledem k tomu, že rezistory o hodnotě 960Ω nejsou tolik dostupné, bylo zvoleno řešení spojit sériově tři odpory pro dosažení potřebné hodnoty. Konkrétně tedy spojení odporu R_1 o hodnotě 820Ω, R_2 o hodnotě 120Ω a R_3 o hodnotě 22Ω. Při sečtení těchto hodnot dostaneme celkovou hodnotu 962Ω, která se od požadované hodnoty liší o 2Ω, což je vzhledem k toleranci rezistorů zanedbatelná odchylka.

$$\boldsymbol{R_{123} = R_1 + R_2 + R_3} \tag{8}$$

Na svorce Switch_output je připojena cívka, která má klíčovou roli pro spínací regulátor. Během sepnutí je do cívky ukládána energie, která se následně předává do zátěže během doby rozepnutí spínače. Velikost indukčnosti cívky by měla být taková, aby zvlnění proudu nepřesáhlo 30% maximálního zatěžovacího proudu. Pro určení hodnoty indukčnosti cívky se

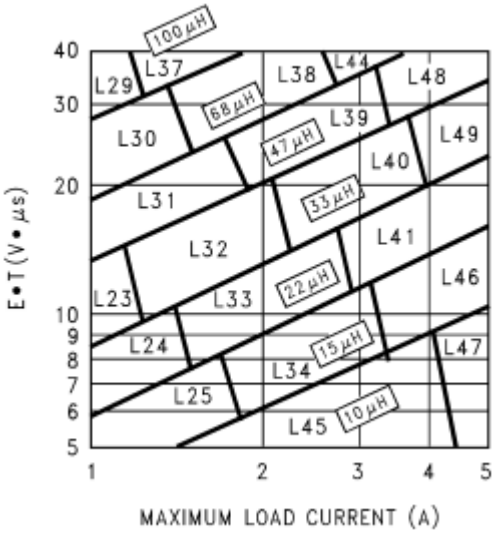
vychází ze vztahu (9), z kterého vyjde číselná hodnota E·T. Tuto hodnotu použijeme pro určení indukčnosti z Obr. 15. [29]

$$\boldsymbol{E \cdot T = \left(U_{IN(MAX)} - U_{OUT} - U_{SAT}\right) \cdot \frac{U_{OUT} + U_D}{U_{IN(MAX)} - U_{SAT} - U_D} \cdot \frac{1000}{260}} \tag{9}$$

$$\boldsymbol{U_{SAT} = R_{DS} \cdot I_{LOAD}} \tag{10}$$

Pro výpočet U_{SAT} je třeba znát odpor sepnutí spínače R_{DS}, jenž byl datasheetem stanoven na 0,12Ω, a zatěžovací proud, jenž byl určen na hodnotu 1A. Ze vztahu (10) tedy vyšlo, že se U_{SAT} rovná 0,12V. Do vztahu (9) dosadíme již zmíněnou hodnotu U_{SAT}, hodnotu $U_{IN(MAX)}$, která je 24,27V, U_D jakožto úbytek na Schottkyho diodě, která je dle datasheetu obvykle 0,5V, a U_{OUT}, které je rovno 13,8V. Ze vztahu (9) tedy vyšlo, že hodnota E·T je 11,47V·µs

Z Obr. 15 byla zvolena cívka s indukčností 33µH.



Obr. 15 - Charakteristika pro určení indukčnosti cívky [29]

Na výstupu obvodu, mezi tzv. plusem a GND, je připojen výstupní kondenzátor, který slouží k vyhlazení výstupního signálu. Je požadavkem, aby výstupní kondenzátor měl nízkou hodnotu ESR, která ovlivňuje velikost zvlnění a stabilitu regulační smyčky. Proto je pro tuto práci použit elektrolytický kondenzátor UPM1E221MPD6 od firmy NICHICON s hodnotou 220µF, napětím 25V a s označením low ESR. [29]

Na vstupu rovněž mezi plusem a GND je připojený vstupní kondenzátor, který pomáhá vyhlazovat kolísání vstupního napětí. Vstupní kondenzátor musí být dostatečně dimenzován na

pracovní proud i napětí, neboť efektivní proud protékající kondenzátorem je rovný polovině proudu do zátěže a jmenovité napětí kondenzátoru musí být přibližně o 30% větší než maximální vstupní napětí. Jako vstupní kondenzátor je použit polymerový kondenzátor 35SEK47M od firmy PANASONIC s hodnotou 47μF a napětím 35V. Pro menší proudové zatížení kondenzátoru je použito paralelní zapojení dvou kondenzátorů, které mezi sebe rozdělí protékající proud. [29]

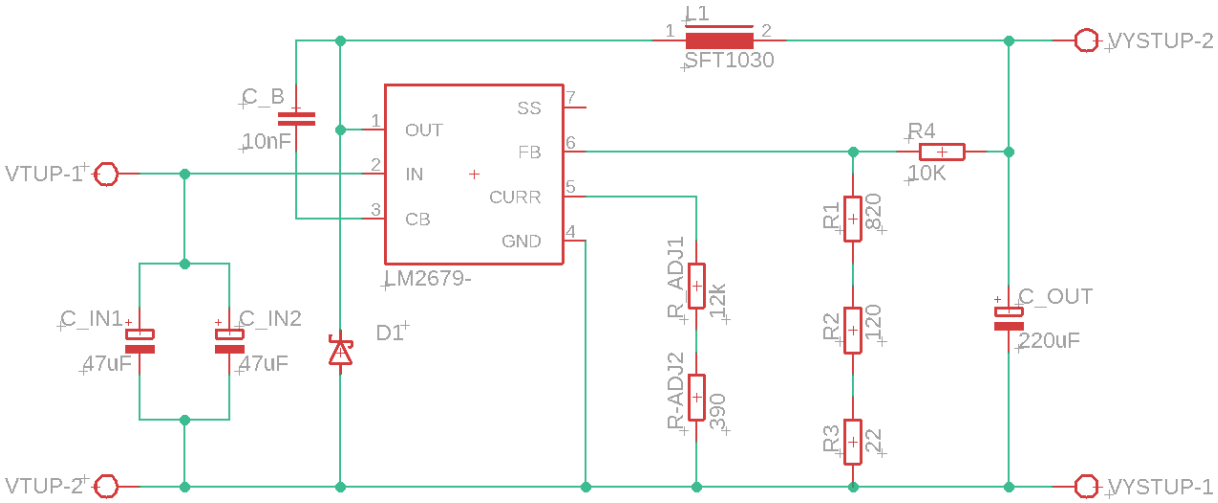
Mezi vstupem cívky a výstupním pinem integrovaného obvodu zvaným Switch_output je připojena dioda, jež má za úkol uzavírat proud tekoucí z cívky v době rozepnutí spínače. Kvůli tomu je v obvodu použita Schottkyho dioda, konkrétně model 1N5820-DIO, kvůli menšímu úbytku napětí a rychlejšímu spínání, než jakými disponuj klasická dioda. Je použita v pouzdře TO220AC, které umožňuje montáž chladiče. [29]

Zesilovací kondenzátor se zapojuje mezi piny integrovaného obvodu Switch-output a CB. Má za úkol zlepšovat účinnost minimalizací spínacího odporu. V datasheetu je doporučen keramický kondenzátor o 10nF. [29]

Obvod LM2679 má také schopnost řídit špičkový spínací proud pomocí odporu R_{ADJ} připojenému na pinu Current_adjust a GND. Díky této schopnosti lze v obvodu použít méně výkonnou cívku a diodu. Hodnota odporu se určí ze vztahu (11), kde hodnota 37,125 je dána datasheetem a I_{OMEZ} je nejnižší doporučené omezení 3A. R_{ADJ} je tedy rovna 12,4kΩ. V návrhu je tato hodnota realizována dvěma rezistory R_{ADJ1} o hodnotě 12kΩ a R_{ADJ2} o hodnotě 390Ω.

$$\boldsymbol{R_{ADJ} = \frac{37,125}{I_{OMEZ}}} \tag{11}$$

Pin SS, tedy soft start, který je určen pro zamezení skokových změn při spínání, zůstává otevřený.

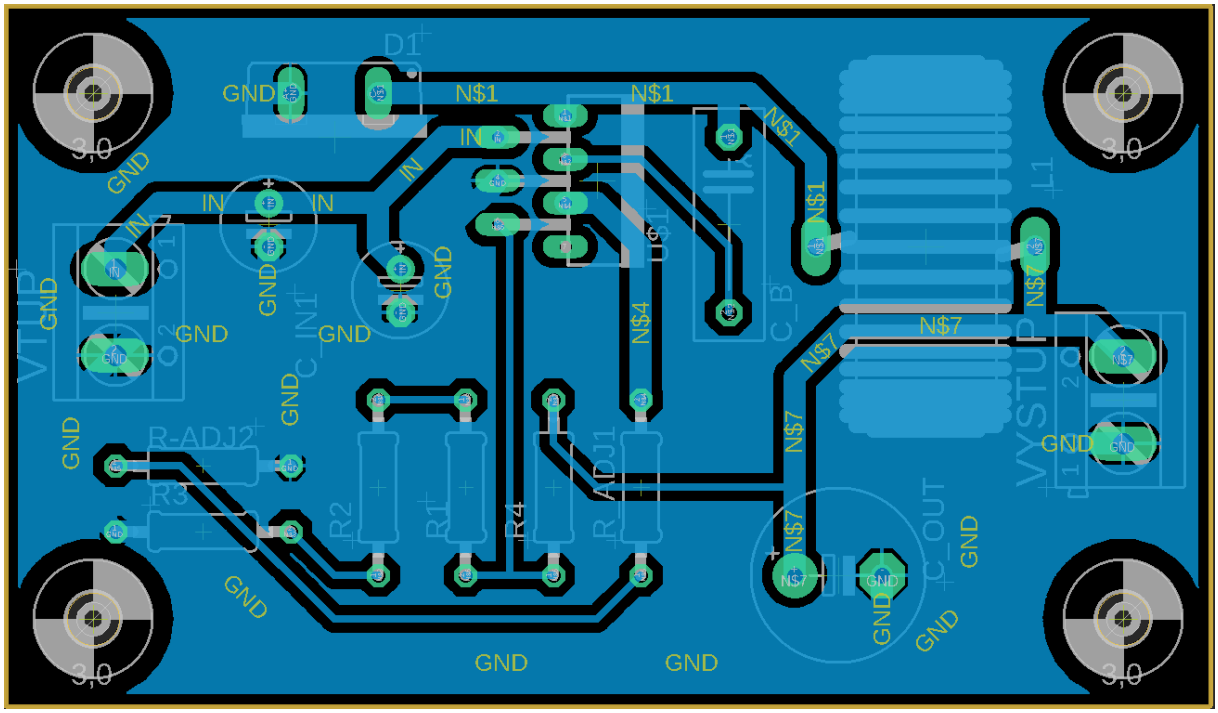


Obr. 16 - Návrh obvodu DC-DC měniče s LM2679 a nastavitelným výstupním napětím

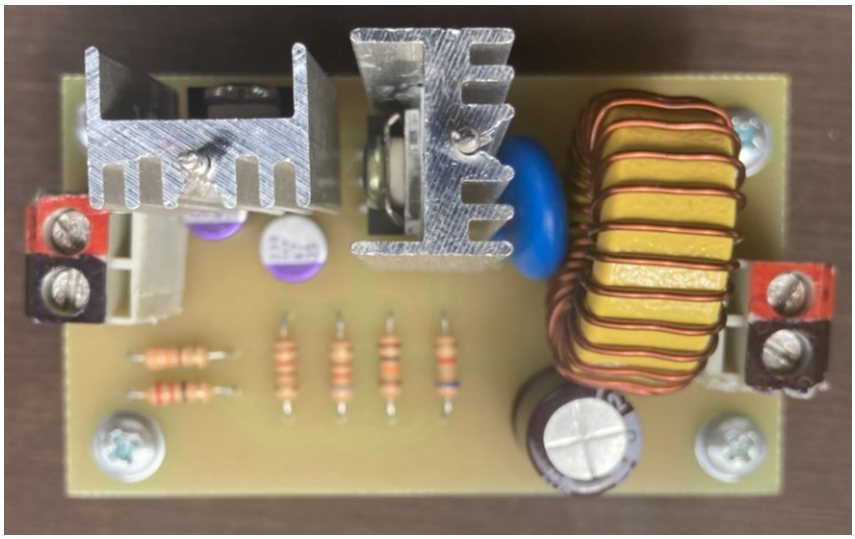
6.4.2 Výroba DPS

Deska plošného spoje byla navržena v programu EAGLE od firmy Autodesk. Jedná se o program, který je velmi rozšířený mezi návrháři plošných spojů, a tak je ve světě dostupné velké množství knihoven s nejrůznějšími druhy součástek.

Navržená deska vychází z Obr. 16. Jedná se o jednostrannou desku, kde na horní straně (straně součástek) jsou usazeny součástky a na spodní straně (straně spojů) jsou měděné spoje a napájené vývody součástek. Deska také obsahuje vyvrtané otvory pro distanční sloupky, na kterých deska stojí. Polovodičové součástky jsou také doplněny o chladiče, které z nich pomáhají odvádět teplo. Vstup a výstup je realizován svorkovnicí.

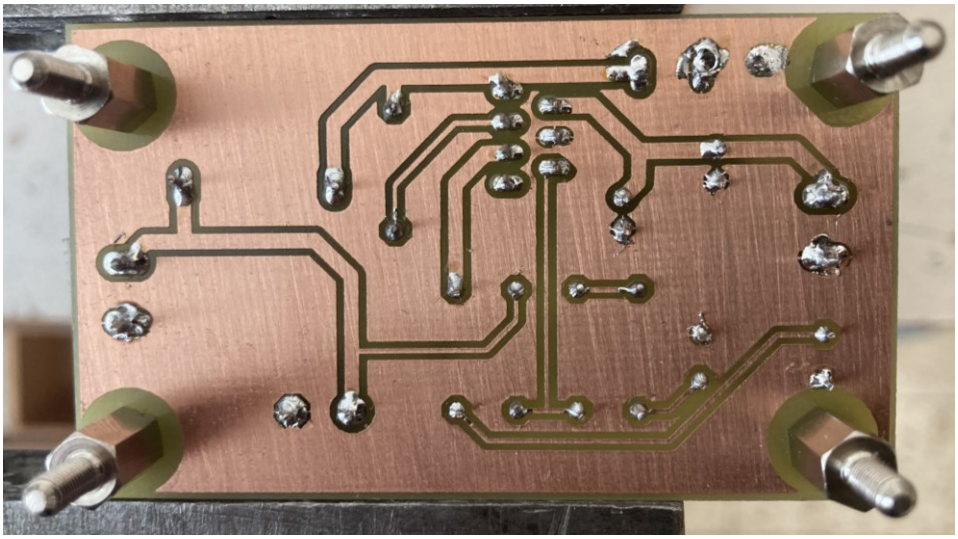


Obr. 17 - Návrh desky DC-DC měniče s LM2679 a nastavitelným výstupním napětím



Obr. 18 - DC-DC měnič s LM2679 (strana součástek)

Na povrch strany spojů je nanesený vysokoteplotní bezoplachový flux Kester 186, jenž je voděodolný a plísniodolný, nemění odpor měděného povrch a není korozivní pro měď.



Obr. 19 - DC-DC měnič s LM2679 (strana spojů)

6.4.3 Naměřené průběhy a hodnoty

V Tab. 6 jsou uvedené hodnoty z měření závislosti výstupního napětí na vstupním napětí. Z této tabulky je patrné, že měnič začal reagovat až při vstupním napětí 4V. Dále je patrné, že maximální hodnoty výstupního napětí bylo dosaženo při vstupním napětí 15V. Maximální hodnota výstupního napětí byla navržena na 13,8V. Nicméně vlivem tolerance přesnosti u použitých rezistorů se tato hodnota změnila na 13,7V. Z naměřených hodnot také vyplynulo, že při vstupním napětí 14V se na výstupu měniče objevila nestabilní hodnota, která měla rozptyl 0,6V.

Tab. 6 - závislost výstupního napětí na vstupním napětí

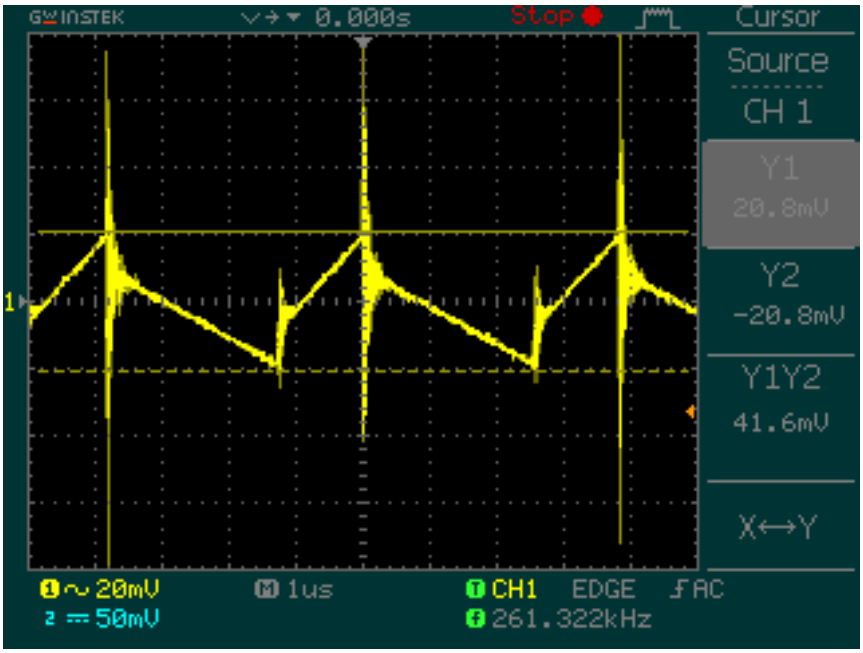
U_{in} [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{out} [V]	0	0	0	0	2,3	3,48	4,55	5,58	6,56	7,57	8,55
U_{in} [V]	11	12	13	14		15	16	17	18	19	20
U_{out} [V]	9,54	10,55	11,56	12,7 – 13,3		13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7

V Tab. 7 jsou uvedeny hodnoty měření účinnosti a ztrátového výkonu. Uvedená hodnota účinnosti je velmi vysoká oproti uvedené hodnotě v datasheetu, jenž uvádí 84% při procházejícím proudu 5A a vstupním napětím 12V.

Tab. 7 - Naměřené výkonové ztráty a účinnost při různém zatížení a různém vstupním napětí

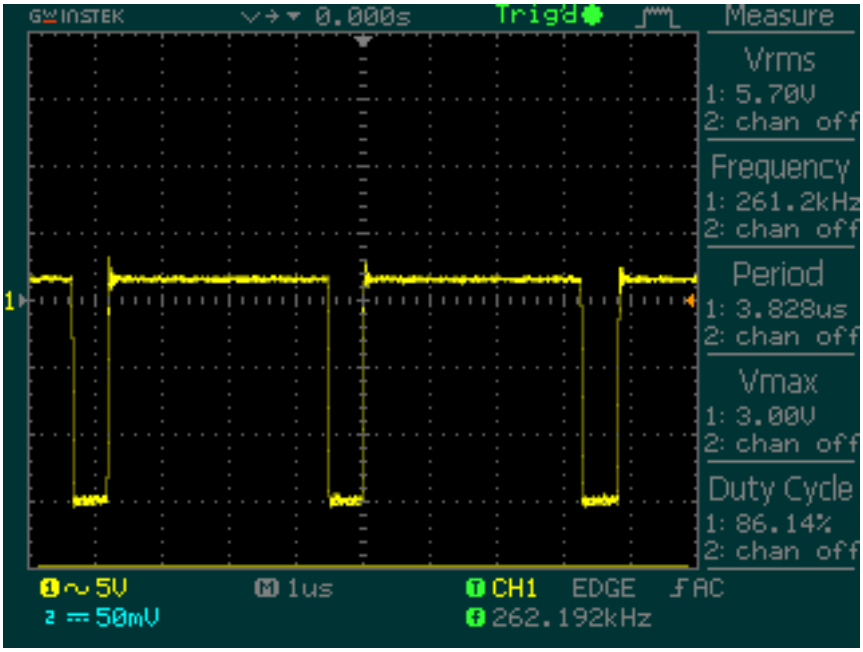
U_{in} [V]	I_{in} [A]	U_{out} [V]	I_{out} [A]	P_{in} [W]	P_{out} [W]	$P_{ztrát}$ [W]	η [%]
18	0,4	13,72	0,5	7,2	6,86	0,34	95
18	0,58	13,7	0,75	10,44	10,275	0,165	98
18	0,78	13,68	1	14,04	13,68	0,36	97
20	0,37	13,72	0,5	7,4	6,86	0,54	93
20	0,53	13,7	0,75	10,6	10,275	0,325	97
20	0,71	13,68	1	14,2	13,68	0,52	96

Na Obr. 20 - Zvlnění výstupního napětí je zobrazeno výstupní napětí při zatížení měniče. Z tohoto obrázku je patrné, že výstupní napětí je ovlivněno spínáním a rozpínáním obvodu LM2679, které se projevuje zvlněním. Při tomto měření byla hodnota zvlnění 41,6mV, která by neměla být pro nabíjení akumulátoru škodlivá. Z průběhu napětí je také pozorovatelný zákmit, který způsobuje rozepnutí LM2679. Velikost zvlnění a zákmitů ukazuje stabilitu postaveného měniče.

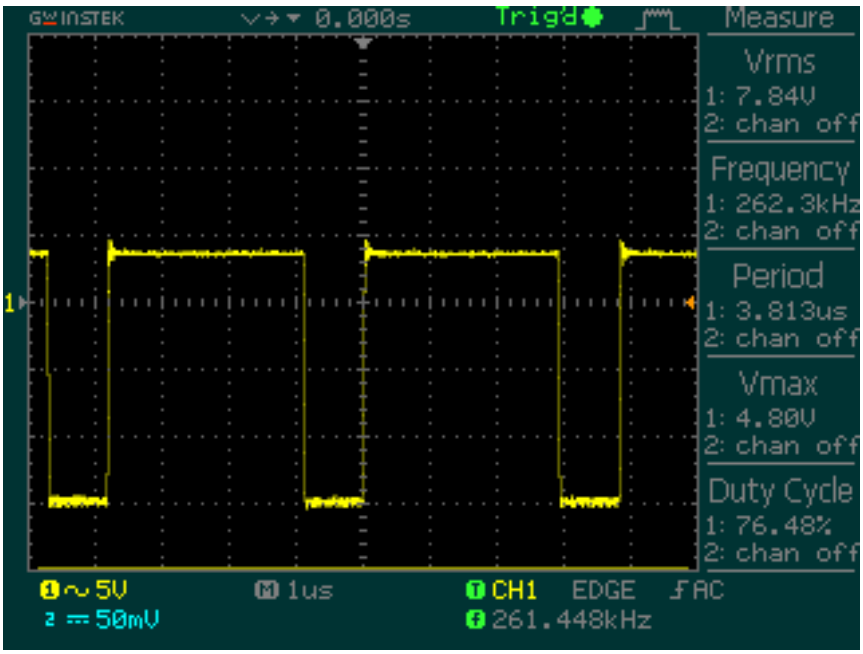


Obr. 20 - Zvlnění výstupního napětí

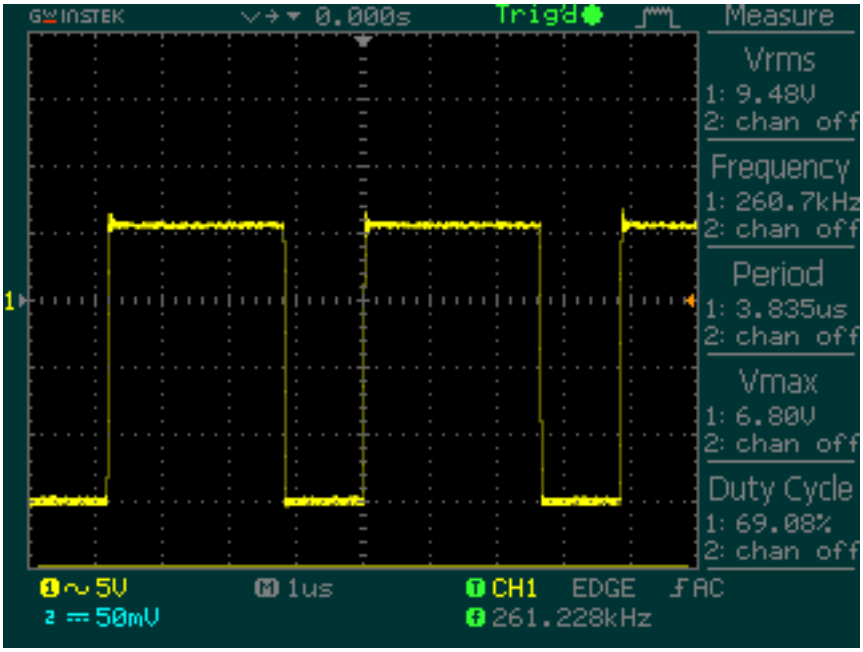
Na Obr. 21, Obr. 22 a Obr. 23 jsou zaznamenány průběhy spínání obvodu LM2679. Při nižším vstupním napětí je střída spínání vyšší. Se vzrůstajícím vstupním napětí se střída snižuje. Tato změna střídy spínání má následně vliv na střídu výstupního napětí.



Obr. 21 – Spínání obvodu LM2679 při vstupním napětí 16V

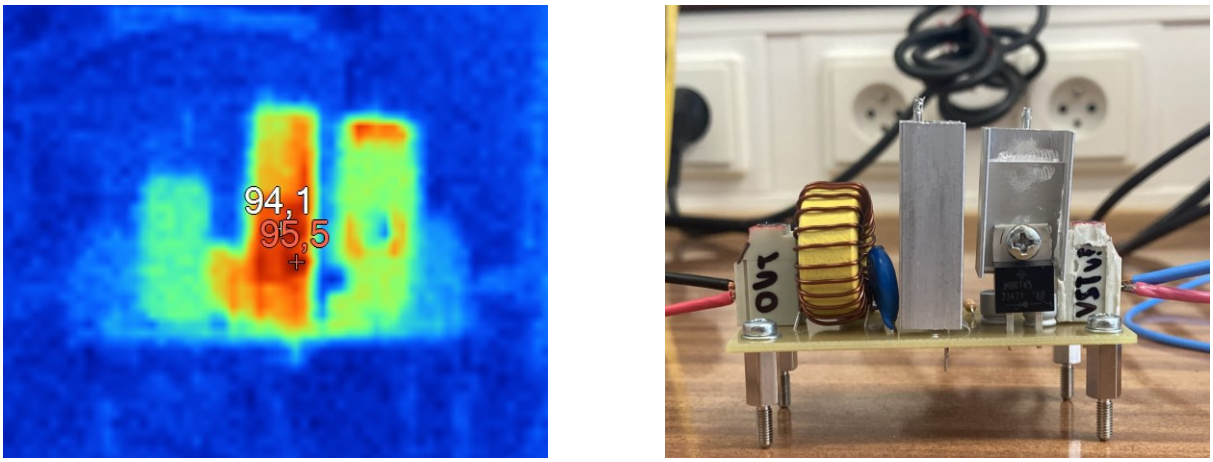


Obr. 22 - Spínání obvodu LM2679 při vstupním napětí 18V



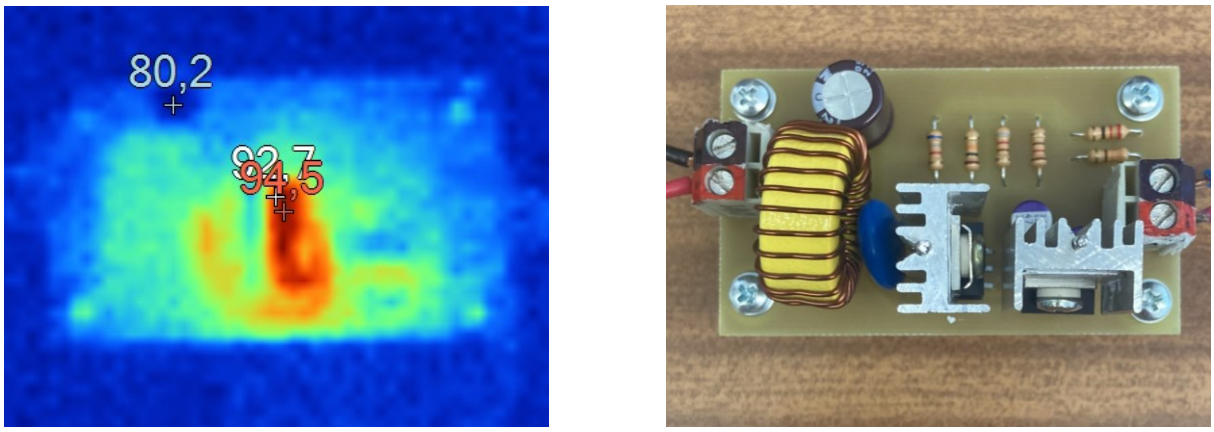
Obr. 23 - Spínání obvodu LM2679 při vstupním napětí 20V

Na Obr. 24 a) a Obr. 25 a) jsou pořízené fotografie pomocí termokamery Fluke TiS20 při teplotě okolního vzduchu 27˚C. Na obrázcích je zachyceno zahřívání navrženého stejnosměrného měniče zatěžovacím proudem 1A. Z bočního pohledu je na chladicím prvku obvodu LM2679 naměřena teplota 35,3˚C a na Schottkyho diodě a jejím chladicím prvku teplota 33,5˚C. Také je z Obr. 24 a) patrné, že ohřívající se chladicí prvek obvodu LM2679 předává část svého tepla keramickému kondenzátoru kvůli nezamýšlenému kontaktu těchto dvou prvků, který vznikl nedostatečně velkým navrženým prostorem pro chladič.



Obr. 24 - a) Termofotografie DC-DC měniče (boční pohled) b) Fotografie DC-DC měniče (boční pohled)

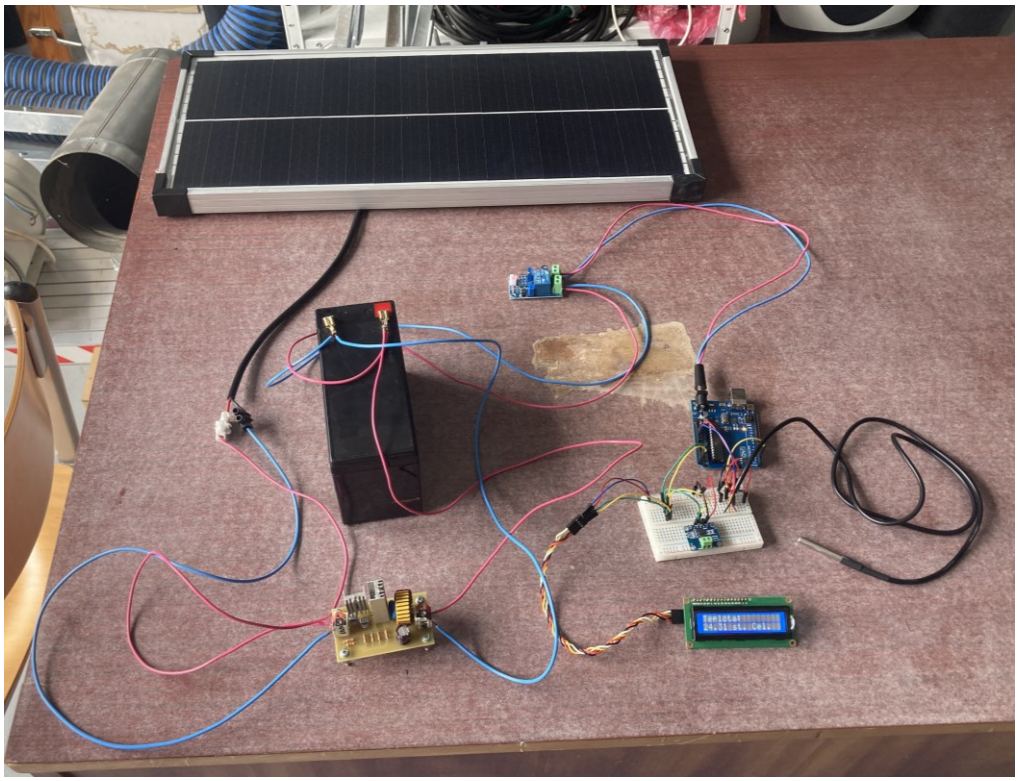
Z pohledu ze strany součástek byly u obou prvků naměřeny nepatrně nižší hodnoty než při pořizování boční fotografie. Konkrétně na Schottkyho diodě a jejím chladicím prvku byla teplota 31,3 ˚C a na obvodu LM2679 a jejím chladicím prvku byla teplota 34,7 ˚C.



Obr. 25 - a) Termofotografie DC-DC měniče (strana součástek) b) Fotografie DC-DC měniče (strana součástek)

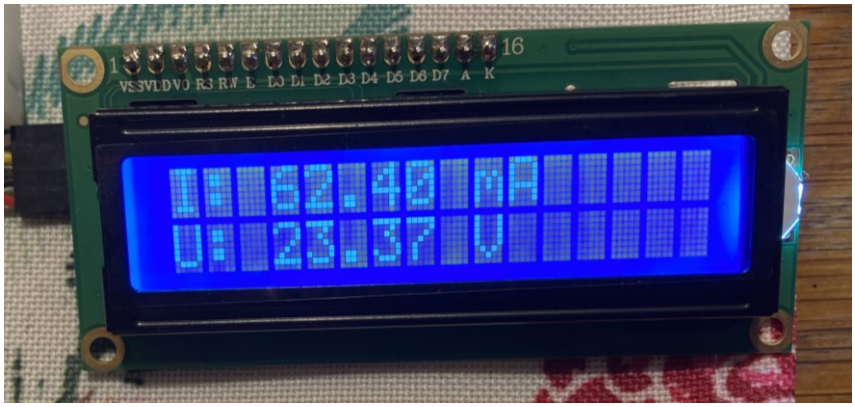
6.5 Fyzická realizace návrhu celého systému

Spojení jednotlivých zařízení bylo provedeno pomocí lankových vodičů 1,5mm^2 a spojení arduinovských komponent bylo provedeno skrz nepájivé pole.

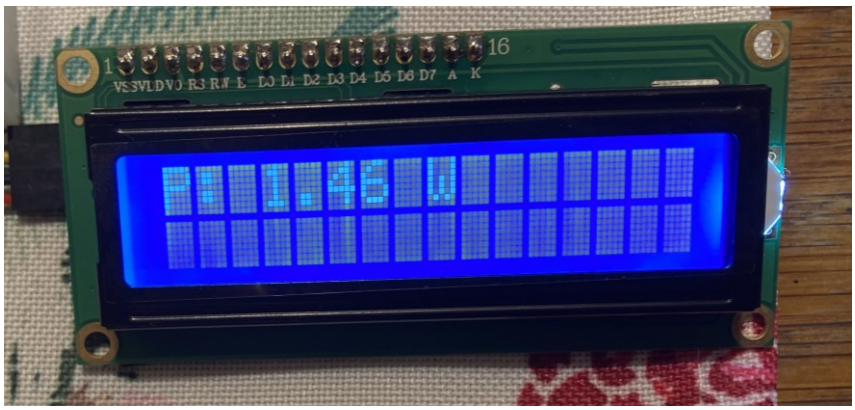


Obr. 26 – Celkové zapojení návrhu systému stabilizovaného zdroje s PV článkem pro teplotní senzor

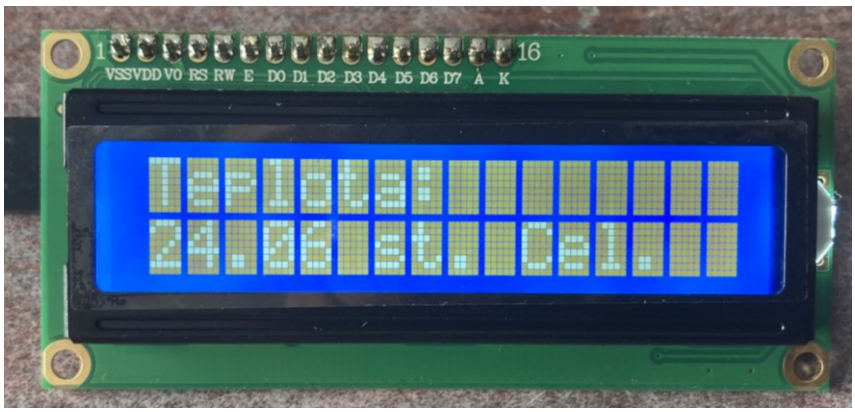
Na následujících obrázcích jsou pořízené fotografie vypisující hodnoty proudu, napětí, výkonu a teploty.



Obr. 27 - LCD s vypsanými hodnotami proudu a napětí



Obr. 28 - LCD s vypsanou hodnotou výkonu



Obr. 29 - LCD s vypsanou hodnotou teploty

7 Závěr

V poslední době nastal velký boom tzv. zelené energie, kterou vyrábí obnovitelné zdroje. Největší rozmach v této oblasti nastal u fotovoltaických panelů, které se díky dotacím rozšířily mezi širokou veřejnost, a stávají se tak velmi důležitým zdrojem obnovitelné energie. Tato bakalářská práce, která nese název „Návrh stabilizovaného napájecího zdroje s PV článkem pro napájení teplotního senzoru“ se zabývá návrhem nezávislého systému, který by byl schopen napájet senzor pro měření teploty.

V první části jsou uvedeny různé aplikace teplotních senzorů v automobilu, princip fungování jednotlivých druhů a jejich výhody a nevýhody. Ve druhé části jsou uvedeny způsoby napájení senzorů. Jsou zde uvedeny způsoby napájení pro spalovací automobily, klasické elektromobily i elektromobily s fotovoltaickými panely. Ve třetí části je popsána funkce fotovoltaického článku, konstrukce panelu a vlivy teplot na výrobu elektrické energie. Další část práce se zabývá možnými způsoby napájení při nedostatku slunečního světla. Zde se uvádí charakteristika superkapacitoru a elektrochemických akumulátorů, u kterých se hlouběji popisují olověné akumulátory.

V poslední části práce přichází na řadu již samotný návrh. Zde je uvedeno blokové schéma řešení a následný výběr komponent. Jako teplotní senzor byl zvolen polovodičový senzor DS18B20 zapojený na Arduino UNO společně s dalšími vedlejšími komponenty. Jako fotovoltaický zdroj byl použit článek o výkonu 20W. Jako akumulátor byl určen 12V olověný akumulátor s kapacitou 9Ah. Jak se ukázalo při výpočtu doby vybití, tato hodnota je vzhledem k velikosti odebíraného proudu přehnaně veliká. Poté se práce zabývá návrhem DC-DC měniče. Zde je proveden návrh, kde je popsán výběr součástek. Poté je zde popsána samotná výroba, kde je uvedený návrh DPS a obrázky zhotoveného měniče. Dále jsou zde uvedeny naměřené hodnoty a průběhy. Na závěr je v této práci popsána celková realizace celého návrhu.

Pokud jde o aplikaci tohoto návrhu u automobilových vozidel, tak tento typ teplotního senzoru se v automobilech nevyskytuje. Spíše bychom zde našli senzory PTC a NTC, popřípadě termoelektrické. Nicméně tento návrh napájení by při jistých úpravách mohl sloužit pro napájení palubní desky elektromobilů využívající fotovoltaické panely.

Literatura

[1] HERCÍK, Radim a KVÍČALA, Miroslav. Senzory v automobilovém průmyslu: (studijní opory). Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2019. ISBN 978-80-248-4317-9.

[2] Snímače teploty. [Online]. [cit. 2024-06-23]. Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/959.

[3] Měření teploty. [Online]. [cit. 2024-06-23]. Dostupné z: https://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k43-tepl.htm#k43.

[4] REICHL, Jaroslav a VŠETIČKA, Martin. Seebeckův jev. [Online]. [cit. 2024-06-23]. Encyklopedie fyziky. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev.

[5] KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. Senzory neelektrických veličin, 1. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-145-4.

[6] SMUTNÝ, prof. Dr. RNDr. Lubomír. Snímače teploty – současný stav a směry vývoje. [Online]. [cit. 2024-06-23]. AUTOMA. Roč. 2007, č. 05. Dostupné z: https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-teploty-soucasny-stav-a-smery-vyvoje-2007_05_34041_2168/.

[7] CHALOUPKA, Roman. SROVNÁNÍ SENZORŮ PRO MĚŘENÍ TEPLOTY. [Online], [cit. 2024-07-01]. Bakalářská práce, vedoucí Ing. et Ing. MARTIN BILÍK. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. Dostupné z: https://matlab.fei.tuke.sk/prs/subory/literatura_5/30293248-1.pdf.

[8] SCHEER, Zdeněk Adrian. Návrh energetických toků v elektromobilu s fotovoltaickým nabíjením. [Online], [cit. 2024-07-09]. Diplomová práce, vedoucí Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2021. Dostupné z: file:///C:/Users/elile/AppData/Local/Temp/7c174cc4-0588-4387-a68f-1de0ffd89e19_!Snimace%20teploty%20v%20autech.zip.e19/!Snimace%20teploty%20v%20autech/ScheerZ_NavrhEnergetickych_ZM_2021.pdf.

[9] Toyota představila elektromobil se solárními panely, doplní až 16 tisíc km ročně. [Online]. [cit. 2024-07-09]. CDR. 2019. Dostupné z: https://cdr.cz/clanek/toyota-predstavila-elektromobil-se-solarnimi-panely-doplni-az-16-tisic-km-rocne.

[10] ČEZ - fotovoltaický jev. [Online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm.

[11] ČEZ - solární (fotovoltaické) články. [Online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm.

[12] POULEK CSC., Ing. Vladislav a LIBRA CSC., prof. Ing. Martin. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. [Online]. ELEKTRO. 2010, roč. 2010, č. 3. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310.

[13] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav a KOUŘÍM, Pavel. Obnovitelné zdroje. [Online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/2821-teplota-vyznamne-ovlivnuje-ucinnost-fotovoltaicke-elektrarny.

[14] Teplotní koeficient a solární panely: Průvodce pro rok 2023. [Online]. [cit. 2024-06-23]. Dostupné z: https://www.solarpanelscz.com/blog/teplotnikoeficient-a-solarni-panely-pruvodce-pro-rok-2023.

[15] Základní charakteristiky fotovoltaického modulu. [Online]. ve formátu PDF [cit. 2024-06-30]. FAKULTA STAVEBNÍ ÚSTAV FYZIKY. 2020. Dostupné z: https://fyz.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/21/2020/08/11_10.pdf.

[16] ŠRUBAŘOVÁ, Petra; Battery University a ŠRUBAŘOVÁ. Jak funguje superkapacitor? A jak může vylepšit baterie? [Online]. [cit. 2024-07-09] Tzbinfo. 2018. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16916-jak-funguje-superkapacitor.

[17] CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

[18] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3., přeprac. vyd. Přeložil Iva MICHŇOVÁ, přeložil Zdeněk MICHŇA, přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.

[19] Datasheet NP0.8-12. [Online]. [cit. 2024-07-1]. Dostupné z: https://www.himalaj.cz/files/prod_files/tech.listnp0_8-12.pdf

[20] Datasheet 174-8855 [Online]. [cit. 2024-07-1]. Dostupné z: https://docs.rs-online.com/9900/A700000009435512.pdf

[21] Akumulátor pro robotický vysavač Philips FC8603. [Online]. [cit. 2024-07-01]. AKU-SHOP.cz. Dostupné z: https://www.aku-shop.cz/aku-roboticke-vysavace/akumulator-pro-roboticky-vysavac-philips-fc8603/d1.76.PHI.8.2?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwp4m0BhBAEiwAsdc4aBFSQTTExlRK5cFyojNFsybpC5FLCb5yoNIBmX4aqzi3BPwNbwdBeRoCjQ4QAvD_BwE.

[22] Akumulátor pro robotický vysavač Philips FC8603. [Online]. [cit. 2024-07-01]. Baterie24.cz. Dostupné z: https://www.baterie24.cz/prumyslove-baterie/sps-litiova-baterie-kompatibilni-s-sanyo-er2-3a/d3.60.SAN.1.2?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwp4m0BhBAEiwAsdc4aAQQu7lIp67fRkIOEJmg-8rWJOHldg3n7iKJuY0aEdbcjRTRTtdLgRoCQ24QAvD_BwE.

[23] Datasheet MS9-12. [online]. [cit. 2024-06-26]. Dostupné z: https://www.abctech.cz/img.asp?attid=92947.

[24] VŠETIČKA, Martin. Lithiové akumulátory Přehled základních typů a jejich vlastností. [Online]. [cit. 2024-06-24]. Tzbinfo. 2019. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory.

[25] Datasheet DS18B20 [online]. [cit. 2024-07-02]. Dostupné z: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html

[26] Fotovoltaický solární panel 12V/20W SZ-20-36M, 540x240x25mm, shingle. [Online]. [cit. 2024-07-02]. Hadec.cz. Dostupné z: https://www.hadex.cz/g945a-fotovoltaicky-solarni-panel-12v20w-sz-20-36m-540x240x25mm-shingle/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=17937749015&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyo60BhBiEiwAHmVLJQiOyZiIeeKNrYO5YrvnotCiVePTWMQSQqLs2nnLu9kFVBBJ-2u_oBoCYfAQAvD_BwE.

[27] Proudový snímač INA219. [Online]. [cit. 2024-06-30]. Drátek návody. Dostupné z: https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/proudovy-snimac-ina219.html.

[28] ŠRÁMEK, Petr. Co je Arduino UNO a jak s ním začít. [Online]. [cit. 2024-06-30]. Laskakit blog. 2022. Dostupné z: https://blog.laskakit.cz/co-je-arduino-uno-a-jak-s-nim-zacit/.

[29] Datasheet LM2679 SIMPLE SWITCHER. [Online]. [cit. 2024-06-30]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2679.pdf?ts=1713015991787&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM2679.

[30] VLČEK, Ing. Jiří. Měniče napětí a spínané zdroje - teoretická základna. [Online]. [cit. 2024-06-30]. Tzbinfo. 2007. Dostupné z: https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4263-menice-napeti-a-spinane-zdroje-teoreticka-zakladna.

[31] PARAMETRICKÉ STABILIZÁTORY NAPĚTÍ A PROUDU [online]. [cit. 2024-06-30]. Dostupné z: http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elt&id=36

Seznam příloh

příloha 1 kód programu

příloha 2 doplňující fotografie použitých komponent

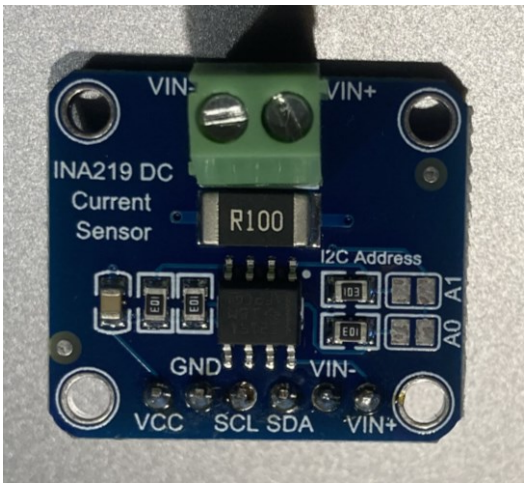
příloha 3 termofotografie DC-DC měniče

Příloha 1

```
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define pin 2
#define ADDR 0x40
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
Adafruit_INA219 ina219(ADDR);
OneWire oneWire(pin);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
float R1 = 3860.0;
float R2 = 1000.0;
void setup(void)
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  sensors.begin();
  ina219.begin();
  ina219.setCalibration_32V_1A();
}
void loop(void)
{
  float napetiMerene = 0;
  int hodnotaNapeti = 0;
  hodnotaNapeti = analogRead(A0);
  napetiMerene = hodnotaNapeti * (5.0/1024)*((R1 + R2)/R2);
  float proud = 0;
  float napetiVstup = 0;
  proud = ina219.getCurrent_mA();
  napetiVstup = ina219.getBusVoltage_V();
  float vykon = napetiMerene*(proud/1000);
  sensors.requestTemperatures();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("I: ");
  lcd.print(proud);
  lcd.println(" mA      ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("U: ");
  lcd.print(napetiMerene);
  lcd.print(" V         ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("P: ");
  lcd.print(vykon);
  lcd.println(" W       ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Teplota: ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
  lcd.println(" st. Cel.      ");
  delay(2000);
}
```

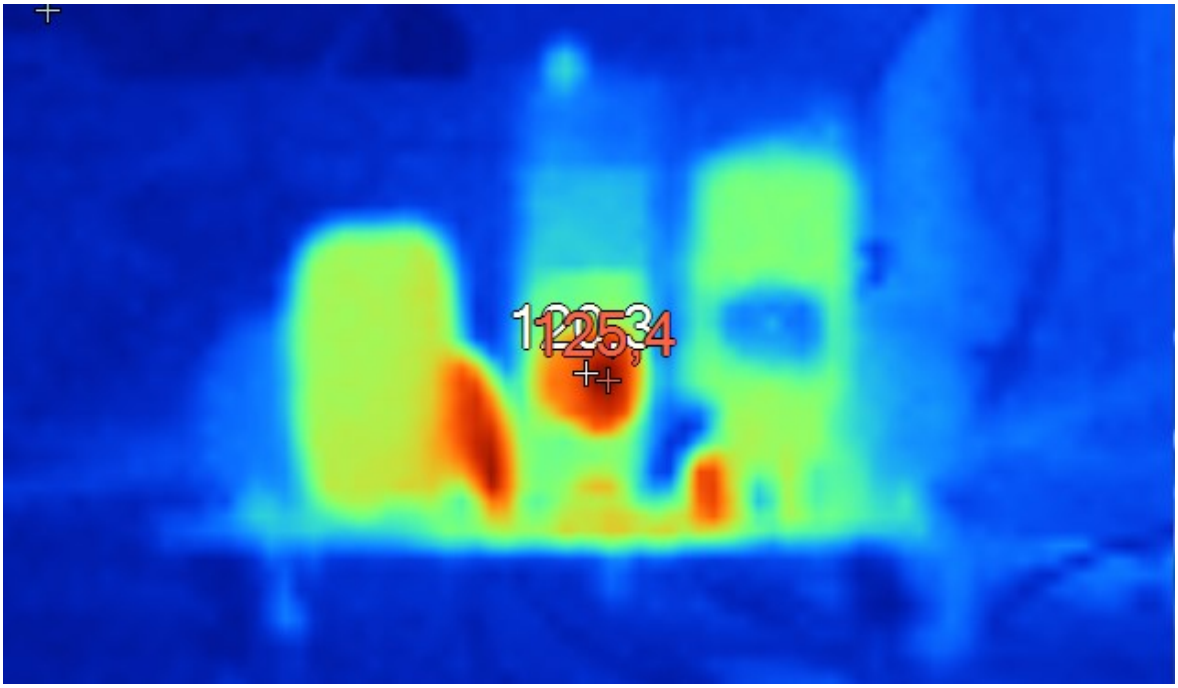
Obr. přílohy 1 - kód programu

Příloha 2

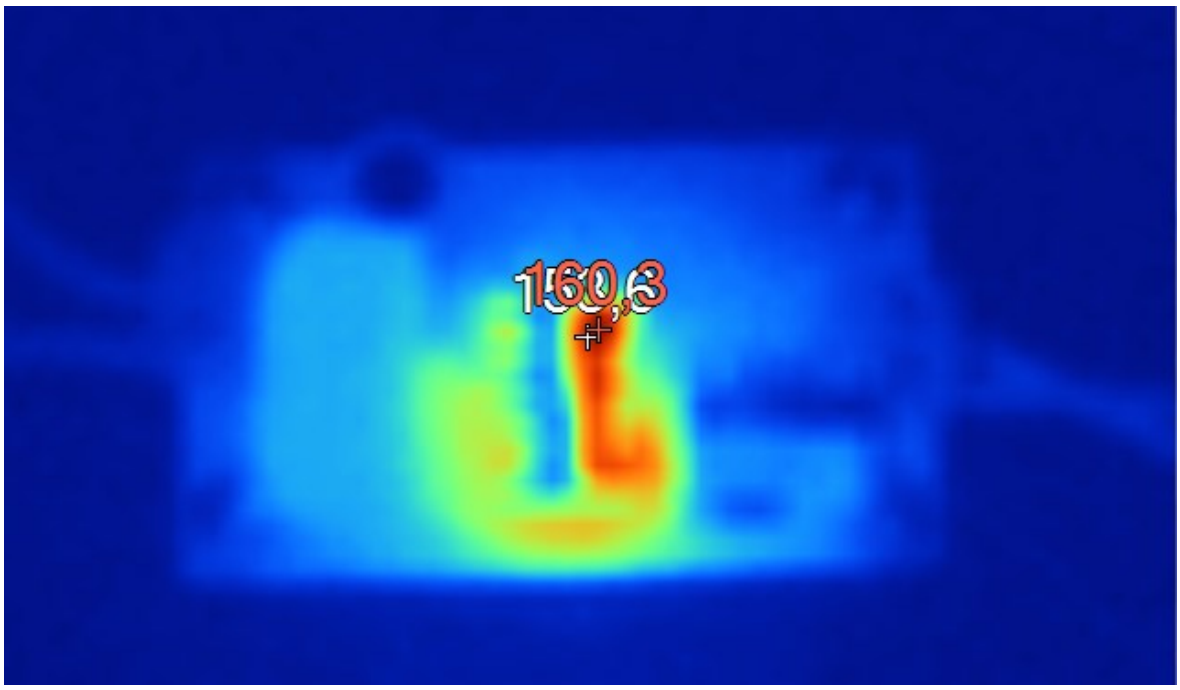


Obr. přílohy 2 - INA 219

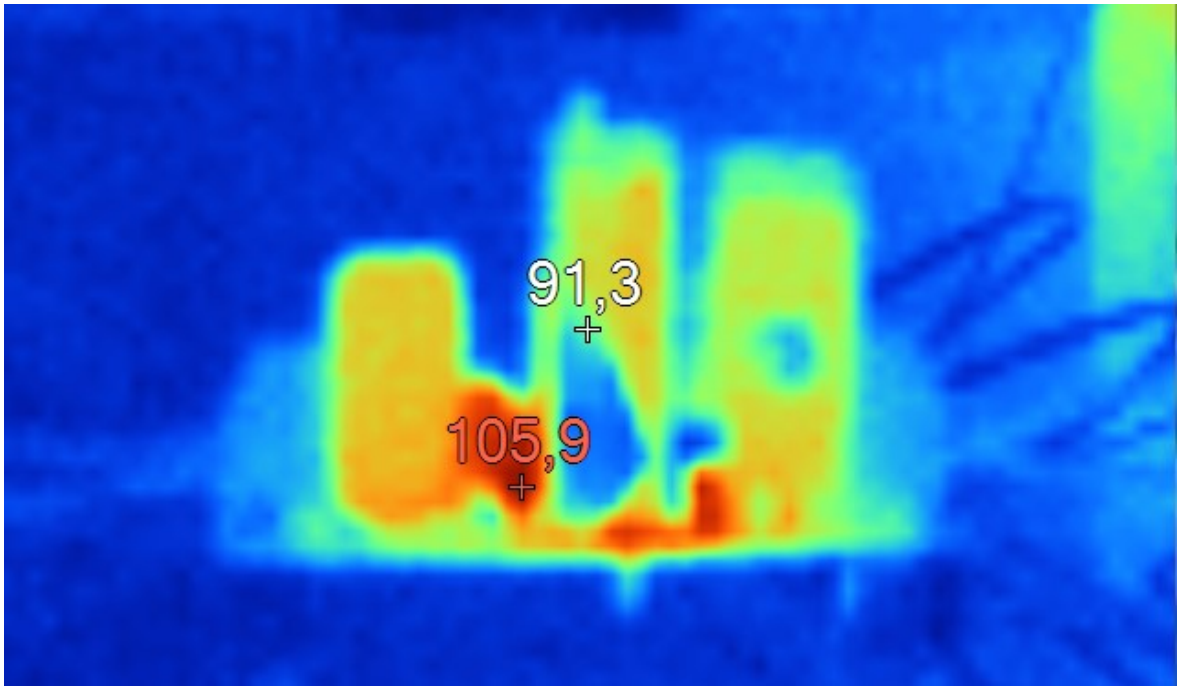
Obr. přílohy 3 - 12V Pb akumulátor MS9-12



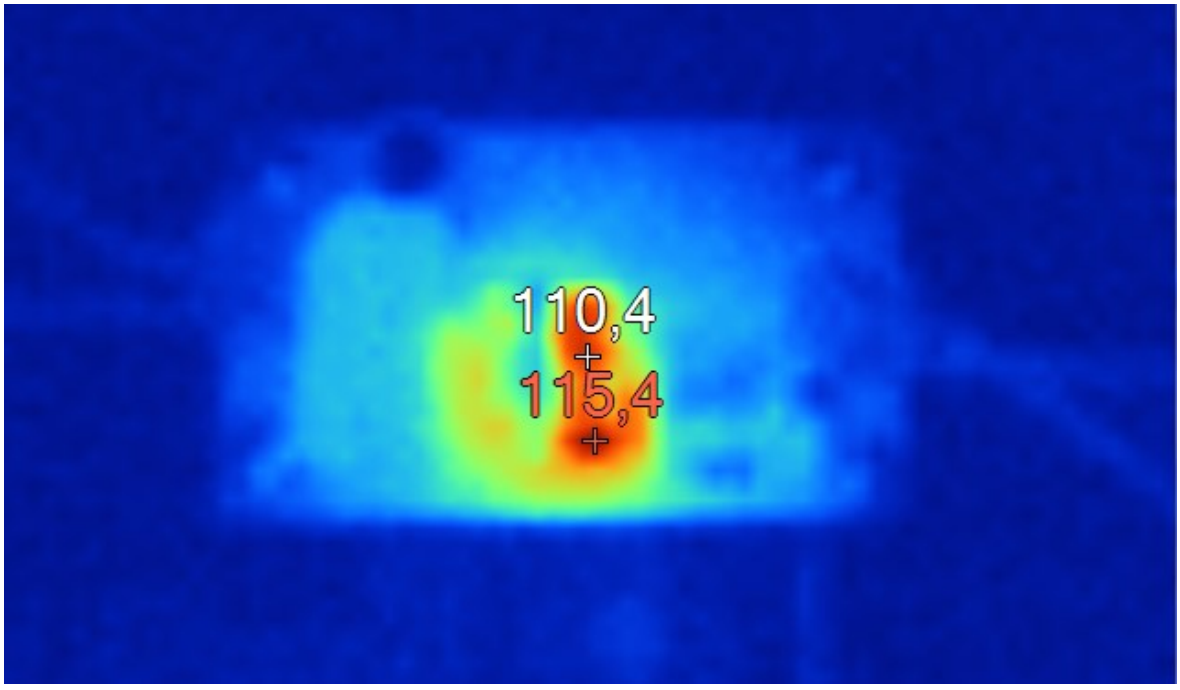
Obr. přílohy 4 - Termofotografie DC-DC měniče (boční pohled) při zatížení 3A



Obr. přílohy 5 - Termofotografie DC-DC měniče (strana součástek) při zatížení 3A



Obr. přílohy 6 - Termofotografie DC-DC měniče (boční pohled) při zatížení 2A



Obr. přílohy 7 - Termofotografie DC-DC měniče (strana součástek) při zatížení 3A