



Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Přípravek na měření průměru struny na optickém principu

Cristian Valentin Dicea

Střední průmyslová škola elektrotechnická Ječná

Ječná 30, 120 00, Praha 2



Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Přípravek na měření průměru struny na optickém principu

Cristian Valentin Dicea

Střední průmyslová škola elektrotechnická Ječná

Ječná 30, 120 00, Praha 2

Anotace

Tato dlouhodobá maturitní práce pojednává o konstrukci optického snímače použitého jako měřicí přípravek na měření tloušťky struny. Přípravek je, kromě stabilizátorů a digitálního vyhodnocení, sestaven pouze z diskretních součástek. Zapojení analogové části je proto nezávislé na použití jakýchkoli specializovaných obvodů a umožňuje velmi dobrou demonstraci principu měření. Konkrétním využitím tohoto přípravku je měření filamentu do 3D tiskárny pro následnou regulaci rychlosti navíjení na kotouč. Pro měření bylo využito červených LED diod a fotodiody BPW34.

Annotation

This long-term graduation thesis deals with the construction of an optical sensor used as a measuring device for measuring string thickness. Apart from stabilizers and digital evaluation, the device is made up of discrete components only. The connection of the analog part is therefore independent of the use of any specialized circuits and allows a very good demonstration of the measurement principle. The specific application of this device is the measurement of filament for a 3D printer for subsequent regulation of winding speed onto the spool. Red LED diodes and BPW34 photodiode were used for the measurements.

Obsah

1 Úvod.....	7
2 Teoretický rozbor	7
2.1 Princip měření na optickém principu	7
2.2 Blokové schéma přípravku	8
3 Schéma zapojení	8
3.1 Vysílač	9
3.1.1 LED řada (D2)	9
3.2 Přijímač	10
3.2.1 Fotodioda	10
3.3 Usměřovač	11
3.4 Rozdílový zesilovač	12
3.5 Zdroj	13
4 Popis použitých součástek	13
4.1 Červená LED	13
4.2 Fotodioda BPW 34	14
4.3 Tlumivka	14
4.4 Stabilizátory	15
5 Návrh desek s plošnými spoji	15
6 Rozpis materiálu	18

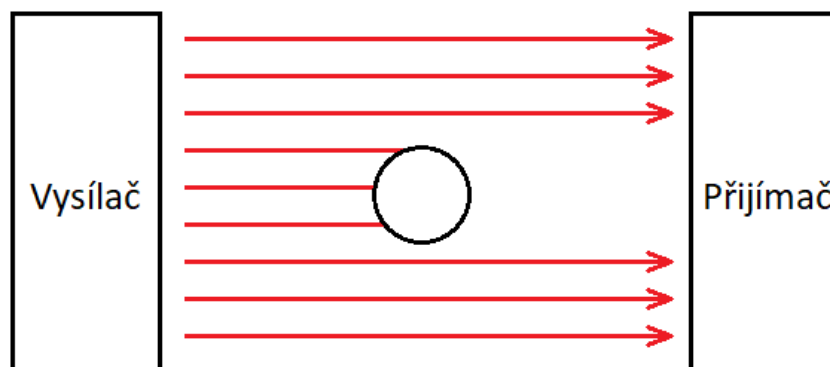
7 Konstrukce prototypu.....	21
8 Konstrukce přípravku.....	24
8.1 Plošné spoje.....	24
8.2 Krabice.....	26
8.3 Finální krabice.....	27
8.4 Arduino.....	27
9 Naměření základních parametrů	28
10 Závěr	30
11 Zdroje	30
12 Seznam obrázků a tabulek.....	30

1 Úvod

Spolužák Martin Rachman se rozhodl vytvořit zařízení na recyklaci neúspěšných 3D tisků z PLA filamentu. PLA je biodegradabilní termoplastický polymer, který je často používán jako materiál pro 3D tisk. Přišel za mnou jestli mu nepomůžu s vyřešením měření tloušťky filamentu na výstupu, před navinutím na kotouč. Zadání znělo velmi zajímavě, zkonstruovat vlastní měřicí přípravek. Ačkoli se nejedná o nic revolučního, viděl jsem v tom potenciál se naučit něco nového a prakticky si to vyzkoušet. Vzhledem k tomu, že filament ve fázi měření ještě není zcela tuhý, bylo nezbytné zvolit bezkontaktní metodu měření, a to na bázi optického měření. Tento přístroj se dá samozřejmě kromě měření filamentu použít také obecně k měření struny z libovolného neprůsvitného materiálu.

2 Teoretický rozbor

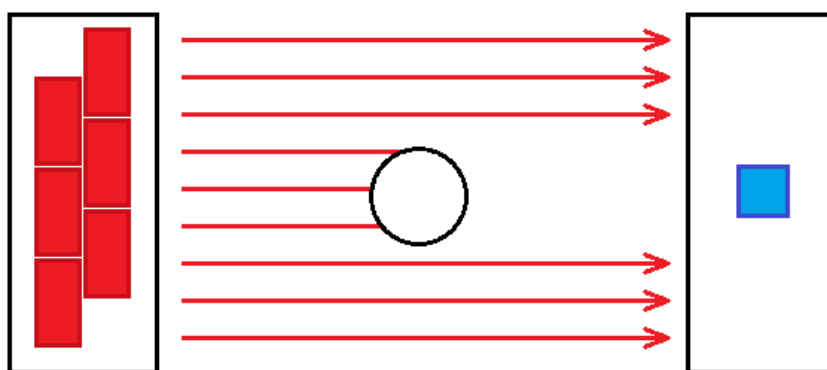
2.1 Princip měření na optickém principu



Obrázek 1: Obecný princip měření

Ve zkratce obecný princip funkce: Vysílač vyzařuje světlo. Na druhé straně je přijímač, které světlo zachytí. Mezi vysílačem a přijímačem je vložen objekt, který zaclání průtok světla. S rostoucím průměrem klesá napětí na přijímači.

Pro můj přípravek: Vysílačem je řada LED diod, aby světlo zářilo rovnoměrně. Měřeným objektem je struna (filament) a přijímačem je fotodioda.

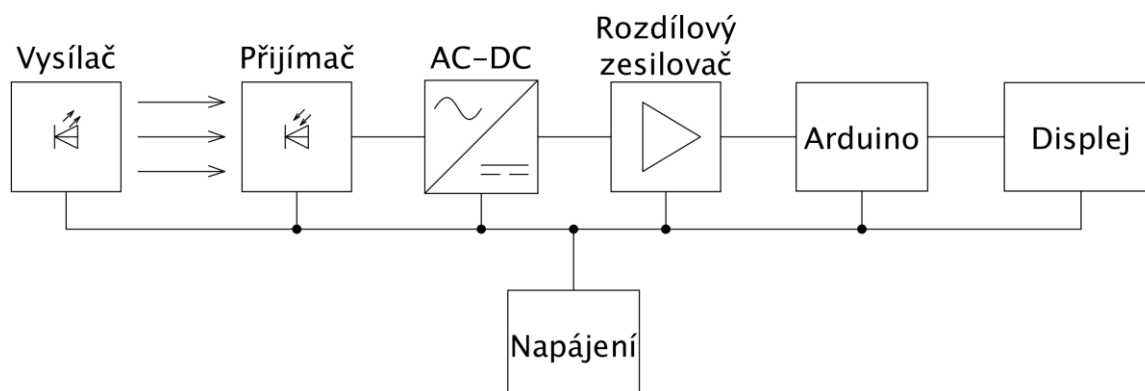


Obrázek 2: Princip měření mého přípravku

Vysílačem nejsou cihly, nýbrž LED diody obdélníkového tvaru ve dvou řadách s „offsetem“, pro ještě lepší rozptýření světla. Modré „okno“ vpravo mělo symbolizovat fotodiodu.

Na fotkách níže v kapitole *konstrukce přípravku* jsou podrobné fotky měřicí krabičky.

2.2 Blokové schéma přípravku



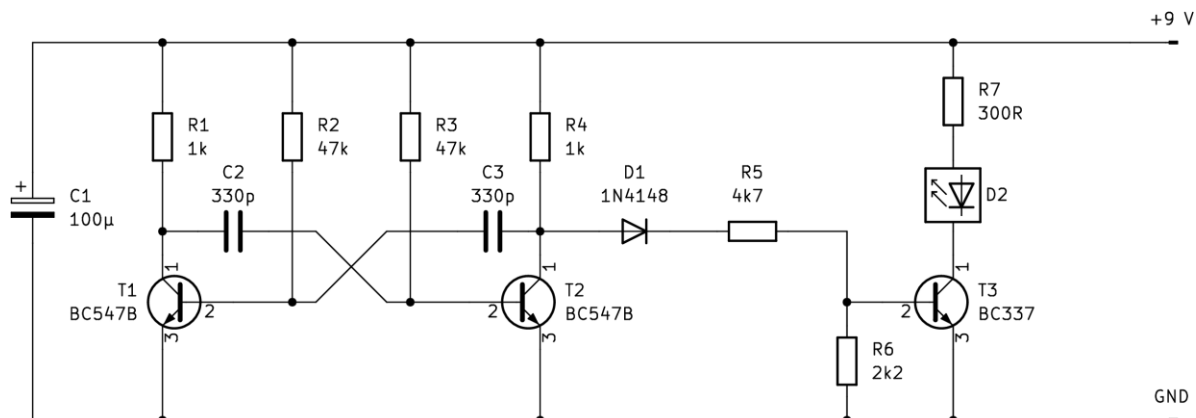
Obrázek 3: Blokové schéma

Struna (filament) je vedena krabičkou černé barvy. Kolmo k ní je na jedné straně řada LED diod, která je součástí vysílače a na druhé straně je fotodioda, tvořící část přijímače. Fotodioda zbylé světlo zachytí a převede na signál úměrný intenzitě světla. Tento signál se zesílí, usměrní a opět zesílí, tentokrát rozdílovým zesilovačem. Výstupní zesílený stejnosměrný signál je poté přiveden do Arduino, kde je přepočítán na průměr struny.

3 Schéma zapojení

Vysílač a přijímač má každý vlastní napájení +9 V. AC-DC (dále jen usměrňovač) a rozdílový zesilovač mají společný plošný spoj a tedy i napájení +8 V, k tomu ještě -8 V pro rozdílový zesilovač. Obvody jsou napájeny ze speciálního zdroje, který jsem udělal pro tento projekt.

3.1 Vysílač



Obrázek 4: Schéma vysílače

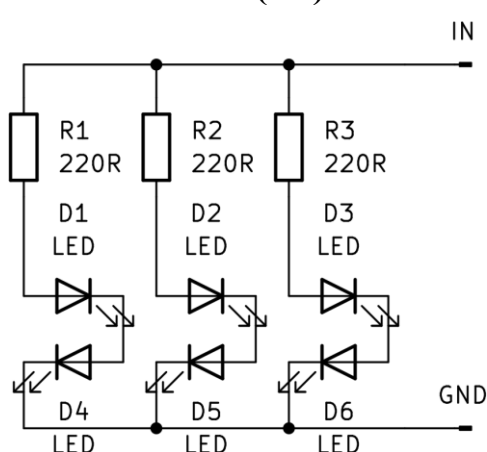
Část obvodu mezi T_1 a T_2 tvoří astabilní klopný obvod (multivibrátor), jenž generuje periodický signál o frekvenci přibližně 50 kHz. Signál z kolektoru T_2 je následně usměrněn diodou D_1 . Usměrnění by teoreticky nemělo příliš ovlivnit funkci obvodu, ale nic se usměrněním nezkazí. Usměrněný signál spíná T_3 , což způsobuje blikání LED řady (ve schématu označeno D_2) LED řada je popsána podrobněji níže.

Výhodou střídavého vysílače oproti stejnosměrnému je, že ačkoli vypadá složitěji, má nižší nároky na součástky. To je způsobeno nižším zatěžováním součástek oproti stejnosměrnému, u kterého je zapotřebí zesilovače s velkým vstupním odporem pro malý proudový odběr. Také je větší požadavek teplotní stability součástek.

Teoretický výpočet frekvence:

$$f = \frac{1}{\ln(2) (R_2 C_3 + R_3 C_2)} = \frac{1}{\ln(2) (2 \cdot R_2 C_3)} = \frac{1}{\ln(2) (2 \cdot 47 \cdot 330 \cdot 10^{-9})} \text{ Hz} \approx 46,5 \text{ kHz}$$

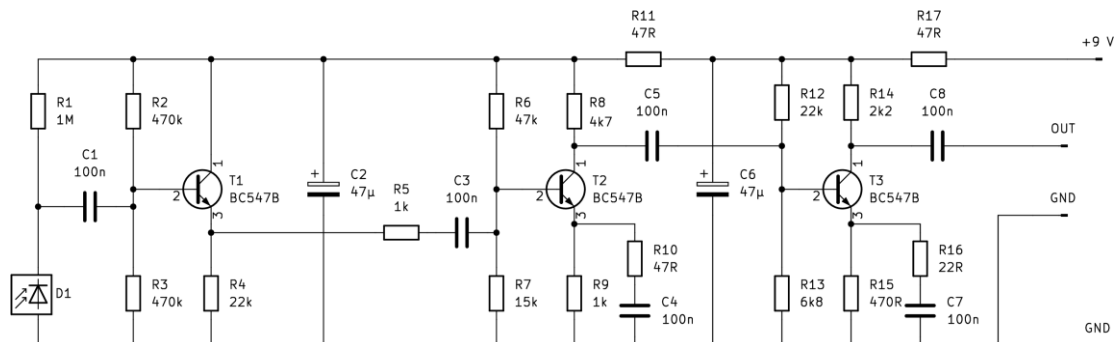
3.1.1 LED řada (D2)



Obrázek 5: Schéma LED řady

IN LED řada, jak už jsem popisoval v teoretickém rozboru je takto navržena pro lepší a rovnoměrné rozprostření světla. Jinak na obvodu nic složitého není. Tři paralelní větve, v každé je sériově zapojen rezistor a dvě LED diody.

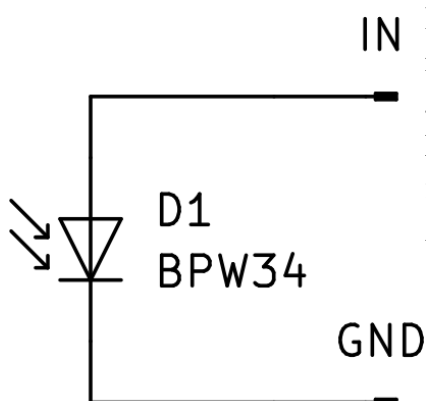
3.2 Přijímač



Obrázek 6: Schéma přijímače

Součástka označená ve schématu D_1 je fotodioda na oddělené desce plošného spoje, podrobněji popsána níže. Část zleva (od D_1) až po T_1 (včetně) je předzesilovač s tranzistorem zapojeným se společným kolektorem. Tato část obvodu, by měla být co nejblíží to je možné k fotodiodě, aby došlo k co nejmenším ztrátám a rušením. Zbylá část obvodu, tedy za T_1 je dvoustupňový zesilovač. T_2 a T_3 jsou tranzistory zapojené se společným emitorem. Filtrační kondenzátory C_4 a C_7 jsem odebral z důvodu nadměrného zesílení.

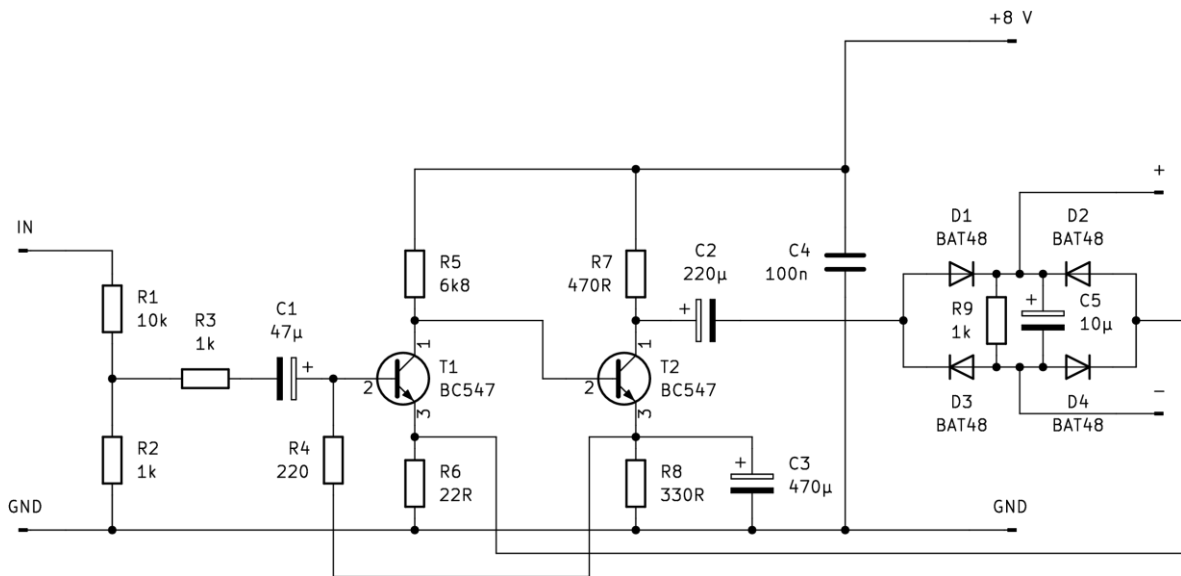
3.2.1 Fotodioda



Obrázek 7: Schéma fotodiody

Pro fotodiodu jsem navrhl malou desku s plošnými spoji, aby bylo možné tuto součástku lépe umístit do krabičky s drážkami. Jasnější to bude z obrázku plošného spoje. Zkrátka jsem navrhl krabičku s drážkami na zasunutí této desky, aby tam byla ta fotodioda pevně vložená a taky abych ji mohl jednoduše vyměnit za jinou v případě potřeby.

3.3 Usměrňovač

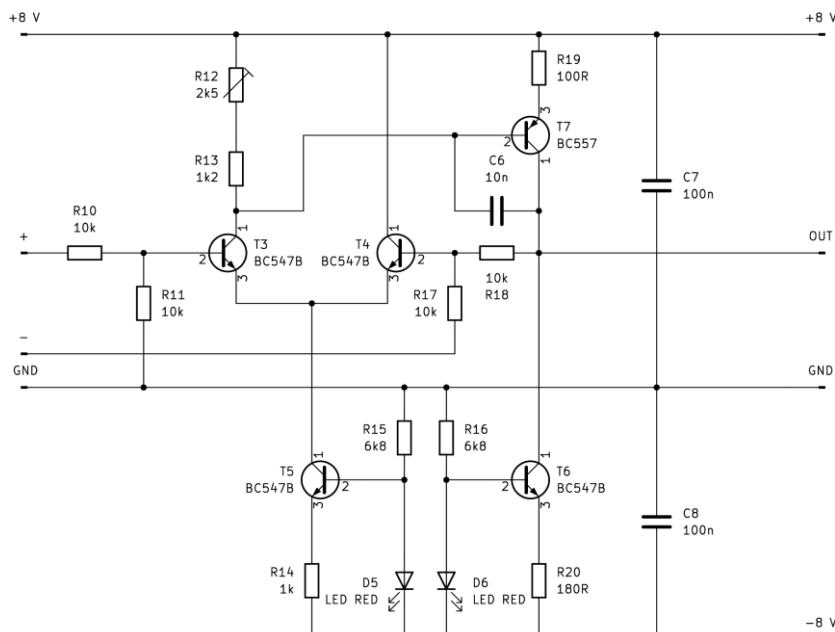


Obrázek 8: Schéma usměrňovače

Usměrňovač slouží k usměrnění střídavého signálu na signál stejnosměrný. Stejnosměrná stabilizace obou stupňů je zajištěna napájením báze tranzistoru T_1 z emitoru T_2 . Zesílené napětí se odebírá z kolektoru T_2 přes kondenzátor a přivádí na můstkový usměrňovač s diodami D_1 až D_4 . Můstkový usměrňovač je zapojen v obvodu střídavé zpětné vazby, vedené z kolektoru T_2 do emitoru T_1 . Tímto způsobem je zvětšena linearita můstkového usměrňovače.[1]

Usměrňovač je napájen ze stabilizovaného zdroje napětí +8 V. Napájení 8 V místo 9 V je zvoleno hlavně kvůli sdílení zdroje napájení s rozdílovým zesilovačem.

3.4 Rozdílový zesilovač

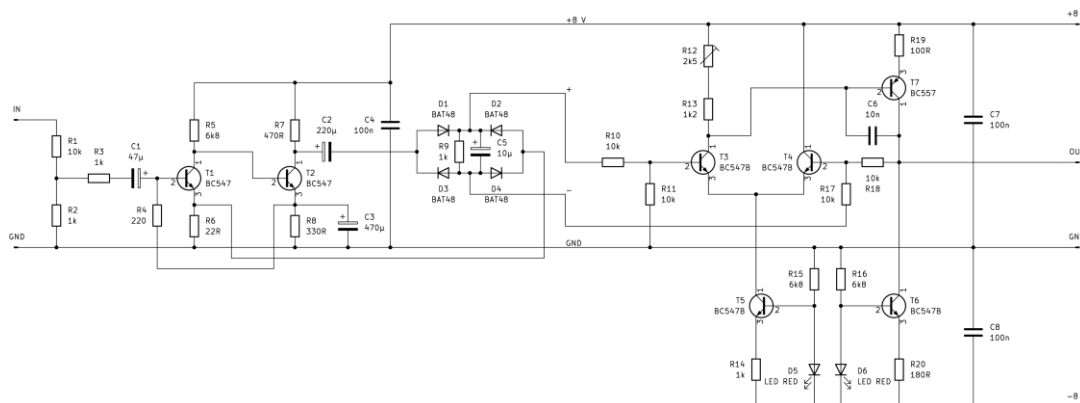


Obrázek 9: Schéma rozdílového zesilovače

Zesilovač výrazně zesiluje rozdíl mezi vstupy označenými ve schématu jako + a -. Toto řeší problém, že výstup z usměrňovače není vztažen k zemi, což je nežádoucí. Výstup ze zesilovače už však k zemi vztažen je. T₃ a T₄ tvoří diferenční stupeň, který zesiluje rozdíl mezi vstupy označenými ve schématu jako + a - a potlačuje souhlasný signál. T₇ je rozkmitový stupeň – zesiluje signál z diferenčního stupně. Oba stupně zvětšují linearitu zapojení. T₅ a T₆ slouží jako jednoduchý konstantní zdroj proudu, T₅ napájí diferenční stupeň a T₆ rozkmitový stupeň.[2][3]

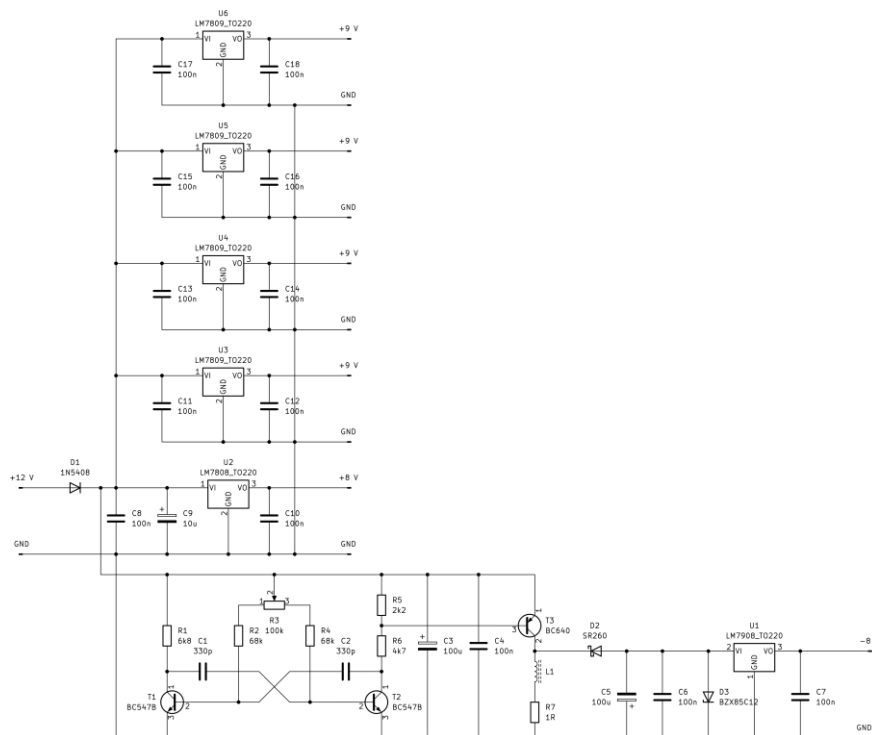
$$U_{OUT} = \frac{R_{18}}{R_{17}} (U_+ - U_-) \quad A_U = \frac{U_{OUT}}{U_+ - U_-} = \frac{\frac{R_{18}}{R_{17}} (U_+ - U_-)}{(U_+ - U_-)} = \frac{R_{18}}{R_{17}} = \frac{10^4}{10^4} = 1 = A_U$$

Je důležité, aby kladné a záporné napájecí napětí měla stejnou velikost a jelikož jsem nenašel stabilizátor na -9 V, tak jsem zvolil +8 V a -8 V.

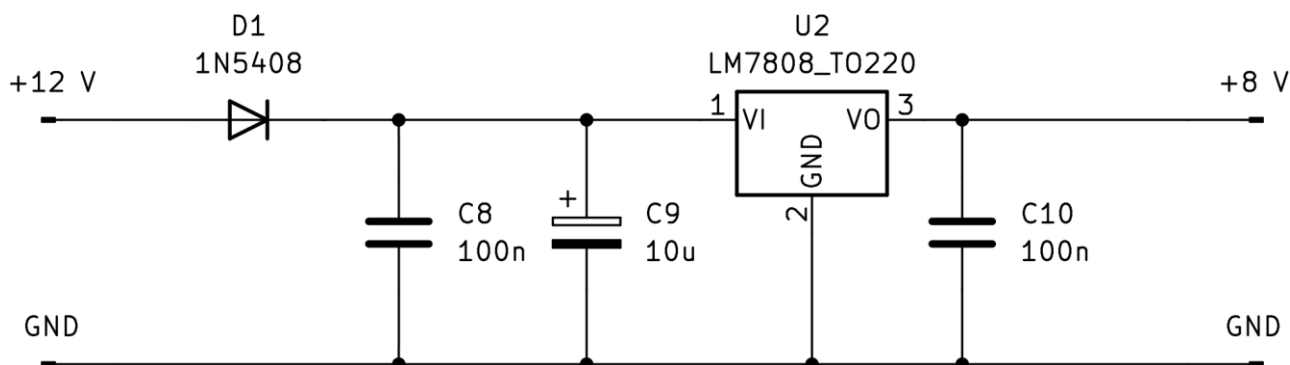


Obrázek 10: Celé schéma usměrňovače a rozdílového zesilovače

3.5 Zdroj



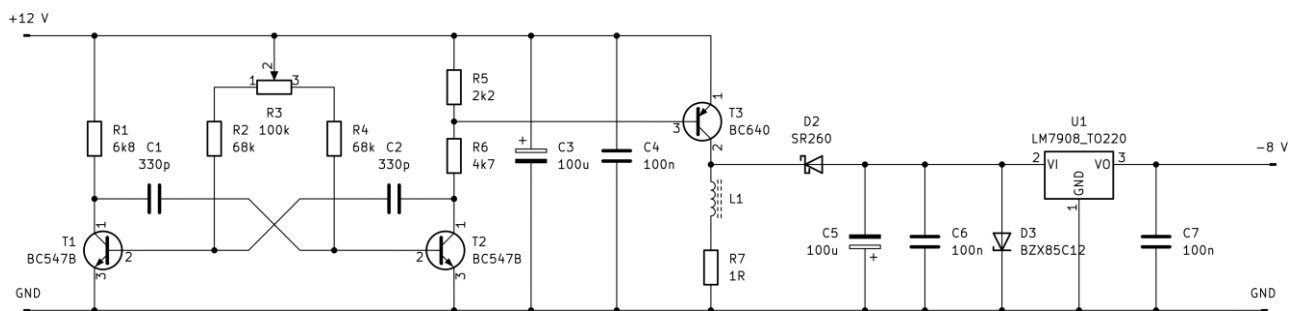
Obrázek 11: Schéma zdroje



Obrázek 12: Přibližný pohled na vstup a jeden ze stabilizátorů na napětí +8 V

Usměrňovací dioda D_1 slouží k zajištění správné polaroty vstupního napětí. Pokud by na vstupu bylo napětí záporné, dioda zajistí ochranu obvodu před poškozením.

Kondenzátory C_8 a C_{10} jsou tzv. blokovací. Používají se pro zmírnění případného zvlnění stejnosměrného napájecího napětí způsobeného rušením, nebo přechodovými jevy v obvodu, na které stabilizátor nestihne reagovat. Blokovací kondenzátor pracuje jako lokální rezervní zdroj. Kondenzátor sice nemůže dlouhodobě poskytovat velký stejnosměrný proud, protože uchovává jen málo energie. Může ale touto energií zahlazovat její krátkodobý nedostatek.[4]



Obrázek 13: Přibližný pohled na zdroj -8 V

V první části obvodu je opět multivibrátor ($f \approx 25 \text{ kHz}$) s nastavitelnou střídou (R_3). Ten řídí DC/DC měnič typu inverter, jehož spínací prvek je T_3 . Invertor nebo taky buck-boost converter (měnič) je tvořen z T_3 , L_1 , D_2 a C_5 . Když je T_3 sepnutý, tak je vstupní zdroj napětí přímo připojen k tlumivce L_1 . To má za následek hromadění energie v L_1 . V této fázi kondenzátor C_5 dodává energii zátěži (stabilizátoru) na výstupu. Když je T_3 rozepnutý, tak je L_1 připojena k výstupní zátěži a kondenzátoru, takže energie je přenášena z L_1 na C_5 a zátěž.[5]

4 Popis použitých součástek

V této kapitole jsou popsány součástky klíčové pro daný přípravek.

4.1 Červená LED

KINGBRIGHT L-113SRDT LED[6]



Obrázek 14: Červená LED

Tvar pouzdra Obdelníkový

Rozměry pouzdra 2x5 mm

Vyzařovací úhel 110°

Jmenovité napětí 1,85 V

Proud I_f 30 mA

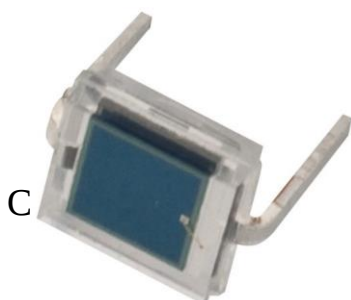
Svítivost 80 mcd

Vlnová délka 640 nm

4.2 Fotodioda BPW 34

VISHAY BPW34[7]

$\varphi \pm 65^\circ$



C

11

Optický snímač průměru struny

Obrázek 15: Fotodioda

λ_{BW} 430 – 1100 nm

U_R 60 V

T - 40 ÷ 100 °C

4.3 Tlumivka



Obrázek 16: Ručně navinutá tlumivka o ~ 210 závitů

Feritové toroidní jádro[8]

Výrobce ARNOLD

Číslo modelu MS-090125-2

Délka (výška) 8,4 mm

Vnitřní průměr 13,4 mm

Vnější průměr 23,6

A_L 90 nH

Výpočet parametrů tlumivky:

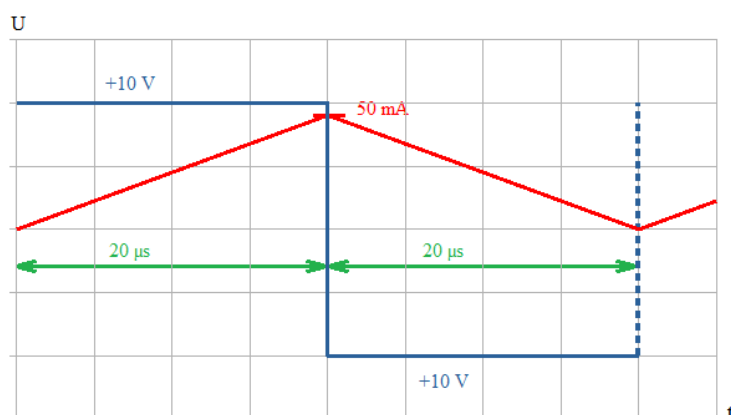
$f \approx 25$ kHz

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{25 \cdot 10^3} \approx 40 \mu s$$

$$L = \frac{U}{\Delta I} \Delta t = \frac{10}{50 \cdot 10^{-3}} 20 \cdot 10^{-6} H = \\ = \frac{200}{50} 10^{-3} H = 4 \cdot 10^{-3} H = 4 mH$$

$$L = A_L \cdot N^2 \rightarrow N^2 = \frac{L}{A_L} \rightarrow N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$N = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3}}{90 \cdot 10^{-9}}} \approx 210 \text{ závitů}$$



Obrázek 17: Graf napětí a proudu na tlumivce

4.4 Stabilizátory

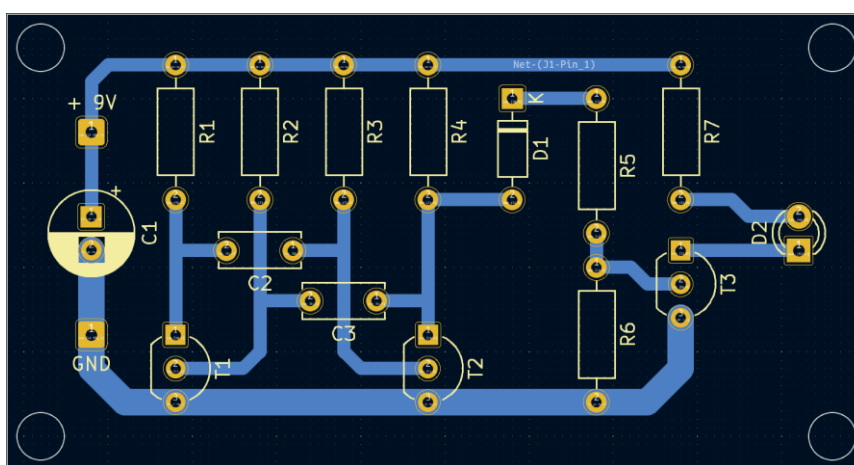
Tabulka 1: Parametry stabilizátorů

Parametr	L7809CV[9]	L7808CV[10]	L7908CV[11]
Výstupní napětí DC	+9 V	+8 V	-8 V
Výstupní proud	1,5 A	1,5 A	1,5 A
Udrop	2 V	2 V	1,1 V
Vstupní napětí max	35 V	35 V	-35 V

I _q	8 mA	8 mA	3 mA
Pracovní teplota min	0 °C	0 °C	0 °C
Pracovní teplota max	125 °C	125 °C	150 °C

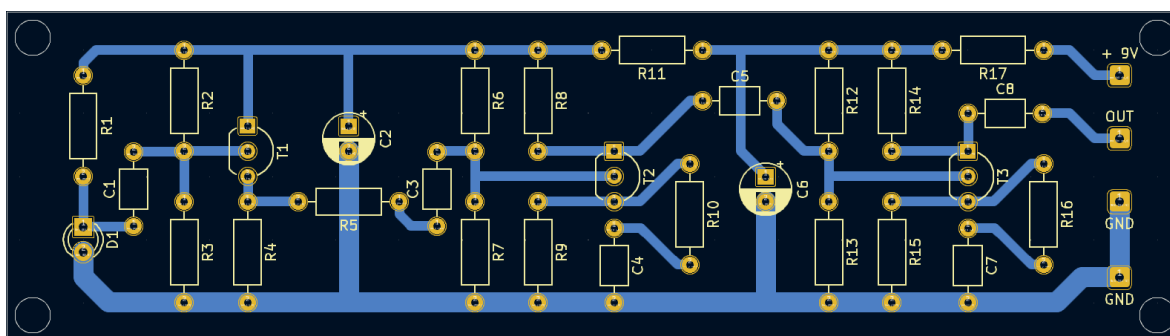
5 Návrh desek s plošnými spoji

Plošné spoje jsem navrhl v programu KiCAD 7.0 a následně nechal vyrobit ve škole. Mezery mezi součástkami jsou větší z důvodu pohodlnějšího pájení a taky pro lehčí výměnu součástek v případě potřeby, čehož jsem nejednou využil. Zem jsem zvětšil, aby lépe vodila a byla lépe rozpoznatelná. Všechny desky jsem se snažil udělat jednovrstvé, pro jednodušší „domácí“ výrobu.



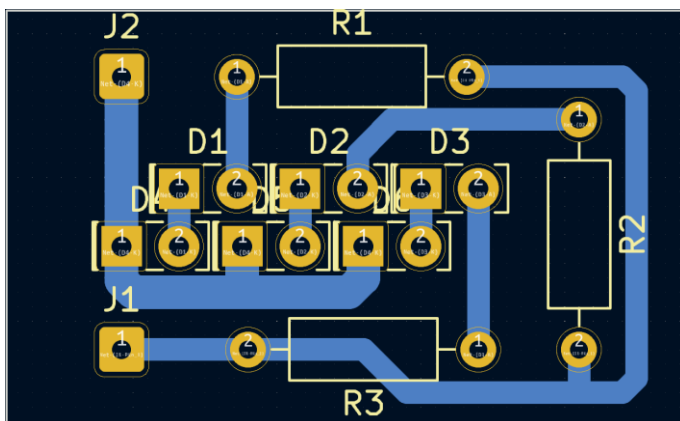
Obrázek 18: Plošný spoj vysílače

Kroužky v rozích jsou díry pro přidání distančních sloupků.



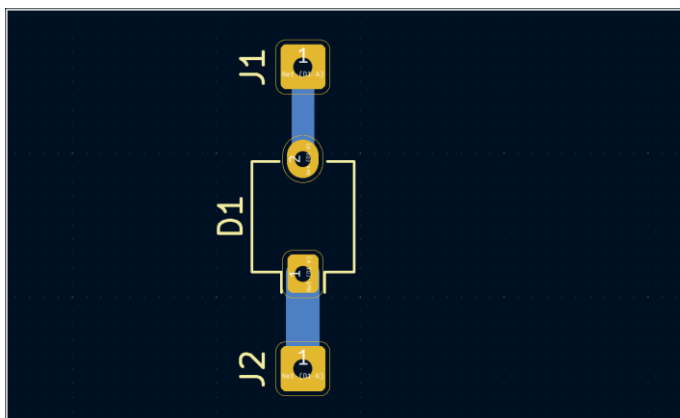
Obrázek 19: Plošný spoj přijímače

Na tomto plošném spoji jsem ponechal C₄ a C₇ i když jsem tam kondenzátor nakonec nepřidal.

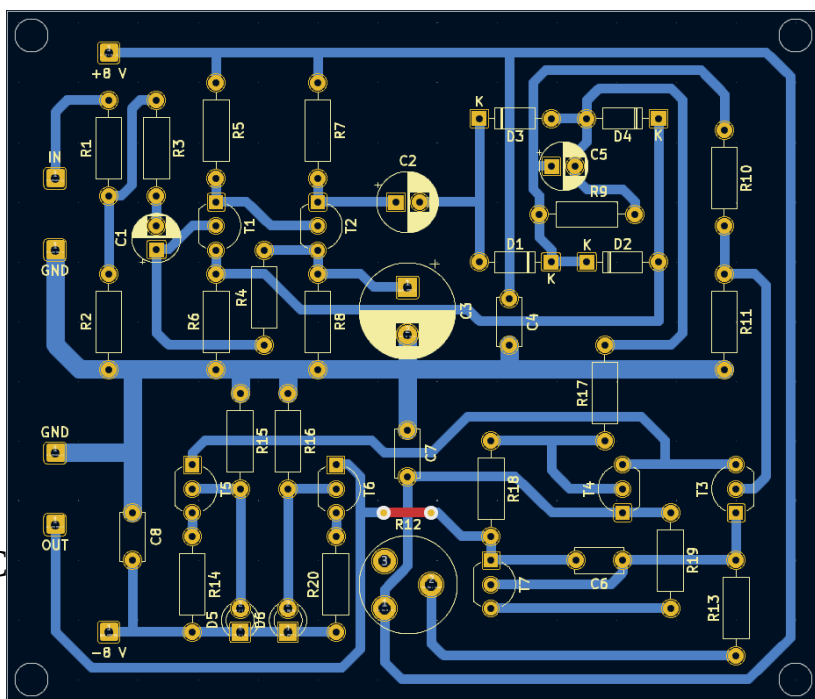


Obrázky LED řady a fotodiody jsem nechal ve stejném měřítku, aby bylo jasně vidět, že obě desky mají stejné rozměry.

Obrázek 20: Plošný spoj LED řady



Tento plošný spoj i přes jeho jednoduchost skvěle plní svůj účel



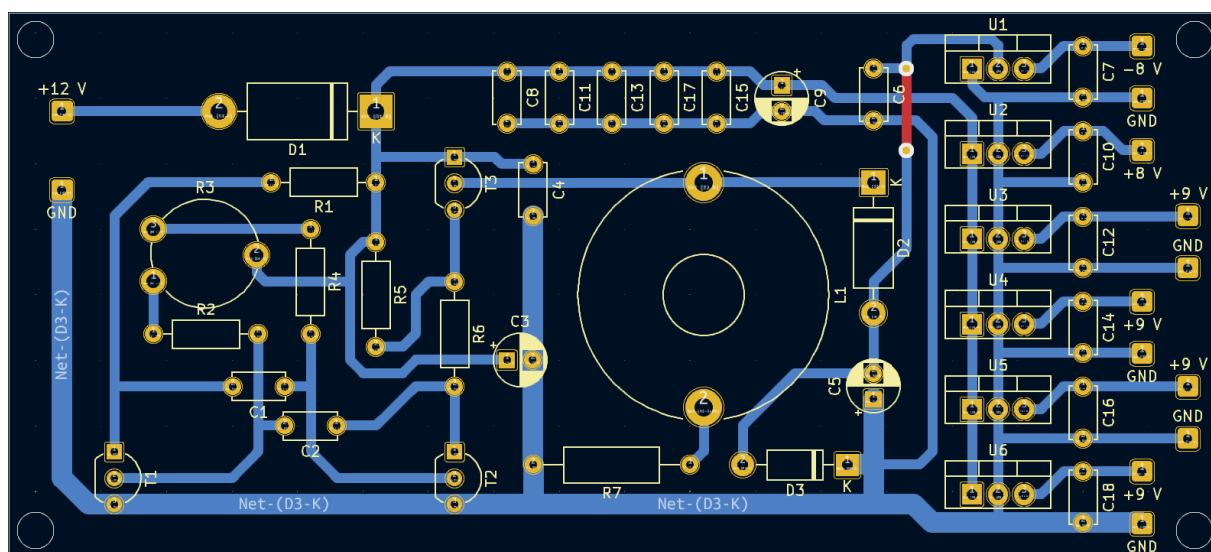
V horní části desky, až po (tučnou) zem je usměrňovač.

Optický snímač průměru struny

Obrázek 22: Plošný spoj usměrňovače + rozdílový zesilovač

V této dolní části je rozdílový zesilovač. Zde je jeden ze dvou spojů, které jsem musel udělat přemostěním.

Usměrňovač a zesilovač jsou pod sebou, aby deska plošných spojů nebyla zbytečně dlouhá. Tato konfigurace zajišťuje kompaktnost a efektivní využití místa.



Obrázek 23: Plošný spoj Zdroje

Na této desce plošných spojů nejvíce upoutá pozornost cívka se svými rozměry. Na této desce jsem podruhé využil přemostění. První dva stabilizátory slouží jako napájení pro rozdílový zesilovač. První stabilizuje na -8 V, druhý na +8 V. Ostatní stabilizátory poskytují napětí +9 V a jsou využívány pro přijímač, vysílač a Arduino. Čtvrtý stabilizátor je rezervován pro případné další periferie, jako například přesnější analogově-digitální převodník.

6 Rozpis materiálu

Tabulka 2: Vysílač

Ozn. ve sch.	Hodnota	Počet
R1, R4	1 k Ω	2
R2, R3	47 k Ω	2
R5	4,7 k Ω	1
R6	2,2 k Ω	1

R7	100 Ω	1
C1	100 μ F	1
C2, C3	330 pF	2
T1, T2	BC547B	2
T3	BC337	1
D1	1N4148	1

Tabulka 3: LED řada

Ozn. ve sch.	Hodnota	Počet
R1, R2, R3	220 Ω	3
D1, D2, D3, D4, D5, D6	Červená LED, obdélníkové pouzdro 2x5 mm	6

Tabulka 4: Přijímač

Ozn. ve sch.	Hodnota	Počet
R1	1 M Ω	1
R2, R3	470 k Ω	2
R4, R12	22 k Ω	2
R5, R9	1 k Ω	2
R6	47 k Ω	1
R7	15 k Ω	1
R8	4,7 k Ω	1
R10, R11, R17	47 Ω	3
R13	6,8 k Ω	1
R14	2,2 k Ω	1
R15	470 Ω	1
R16	22 Ω	1
C1, C3, C4, C5, C7, C8	100 nF	6
C2, C6	47 μ F	2
T1, T2, T3	BC547B	3

Tabulka 5: Fotodioda

Ozn. ve sch.	Hodnota	Počet
D1	BPW34	1

Tabulka 6: AC-DC + rozdílový zesilovač

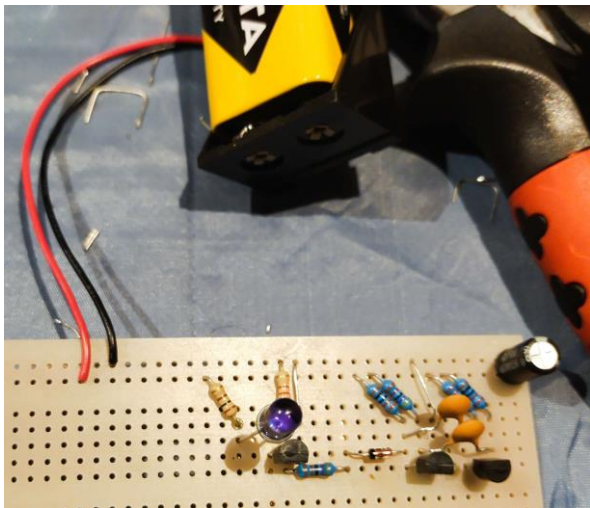
Ozn. ve sch.	Hodnota	Počet
R1, R10, R11, R16, R17	10 k Ω	5
R2, R3, R9, R14	1 k Ω	4
R4	220 Ω	1
R5, R15	6,8 k Ω	2
R6	22 Ω	1
R7	470 Ω	1
R8	330 Ω	1
R12	Potenciometr 2,5 k Ω	1
R13	1,2 k Ω	1
R18	100 Ω	1
R19	180 Ω	1
C1	47 μ F	1
C2	220 μ F	1
C3	470 μ F	1
C4, C7, C8	100 nF	3
C5	10 μ F	1
C6	10 nF	1
T1, T2, T3, T4, T5, T6	BC547B	6
T7	BC557	1
D1, D2, D3, D4	BAT48	4
D5	Červená LED	1

Tabulka 7: Zdroj

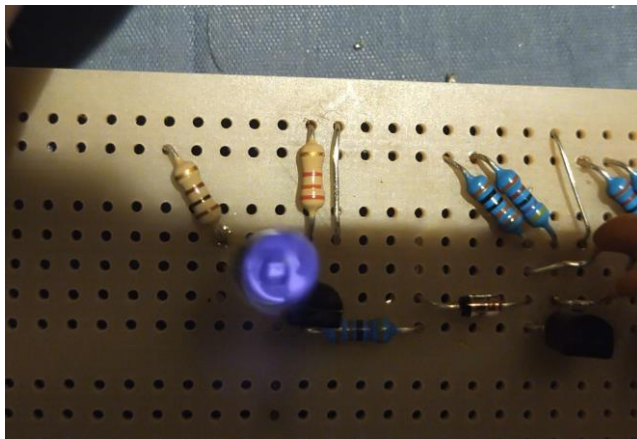
Ozn. ve sch.	Hodnota	Počet
R1	6,8 Ω	1
R2, R4	68 k Ω	2
R3	Trimr 100 k Ω	1
R5	2,2 k Ω	1
R6	4,7 k Ω	1
R7	1 Ω	1
C1, C2	330 pF	2
C3, C5	100 μ F	2
C4, C6, C7, C8, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19	100 nF	14
C9	10 μ F	1
L1	Tlumivka s toroidním jádrem, ~210 závitů	1
T1, T2	BC547B	2
T3	BC640	1
D1	1N5408	1
D2	SR260	1
D3	BZX85C12	1
U1	L7908CV	1
U2	L7808CV	1
U3, U4, U5, U6	L7809CV	4

7 Konstrukce prototypu

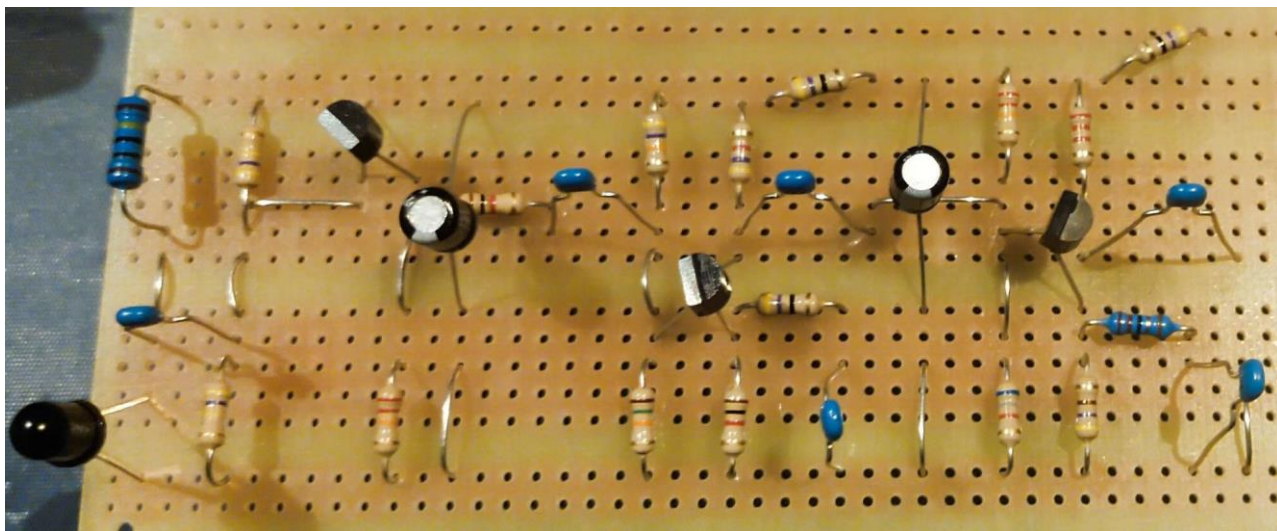
První prototyp jsem vytvořil na univerzálních plošných spojích a napájel je 9V bateriemi. Na začátku jsem používal IR LED a Fotodiodu. To bohužel nefungovalo dle představ a tak se přešlo na



Obrázek 24: Tady to vše začalo, IR vysílač viditelné světlo.

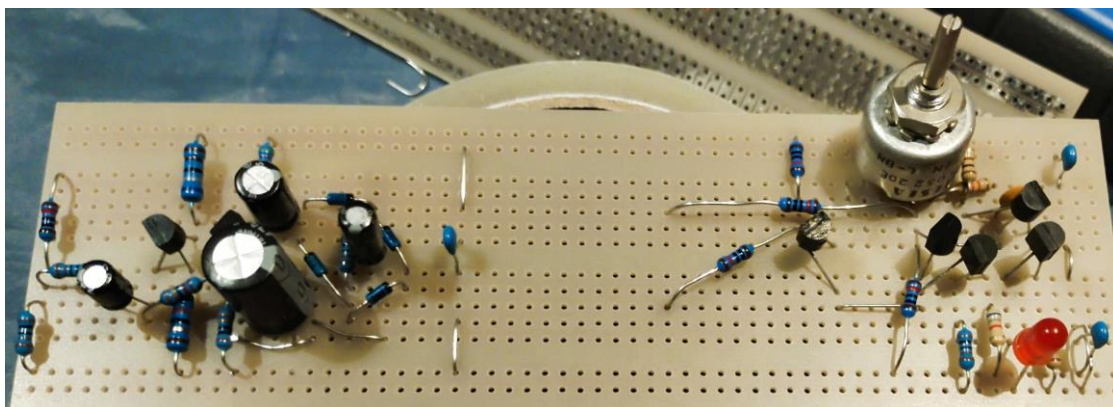


Obrázek 25: ONO TO SVÍTÍ !



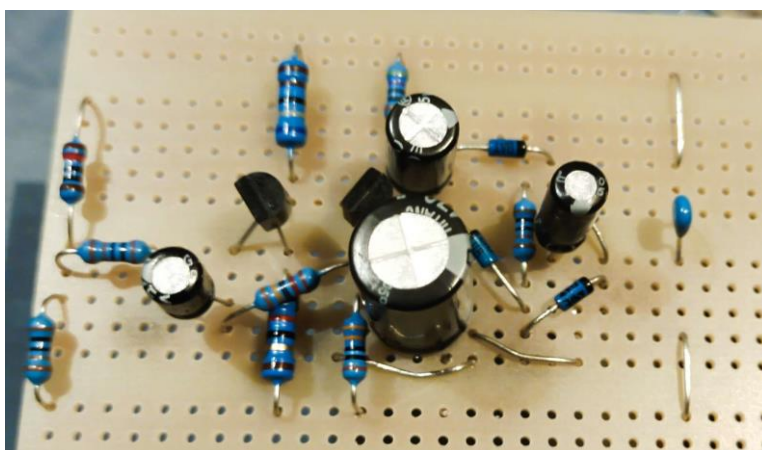
Obrázek 26: Dostal jsem celou desku, tak ji taky celou použiju, IR přijímač

Všechny ostatní obvody, počínaje přijímačem, jsem upravil tak, aby byly přehlednější a více připomínaly schéma. Při návrhu vysílače jsem se snažil dosáhnout co největší kompaktosti, čímž jsem ztratil přehlednost.

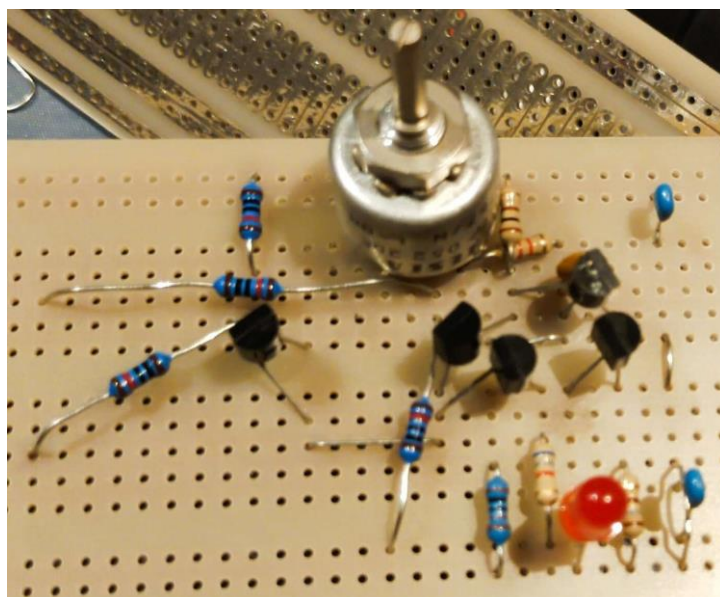


Obrázek 27: Usměrňovač a rozdílový zesilovač

(Na obrázku ještě nejsou obvody spojeny)



Obrázek 28: Chaos zblízka, usměrňovač



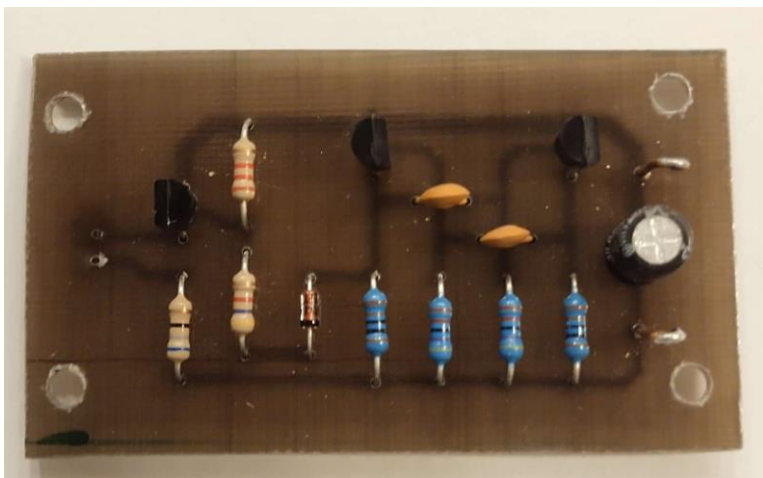
Obrázek 29: Další chaos zblízka, rozdílový zesilovač

Tyto obvody byly spíše určeny k ověření funkčnosti principu měření. V tomto stavu jsem však nebyl schopen naměřit nic použitelného. Za to nemohou obvody, ale spíše okolní podmínky, za kterých jsem se pokoušel provádět měření. Při použití optického snímače je ideální mít uzavřený prostor, například krabičku. Při počátečních testech jsem však měl prostor odkrytý a navíc LED dioda ani fotodioda nebyly stabilně upevněny na jednom místě, což ovlivnilo výsledky. K ověření jednotlivých obvodů to však stačilo.

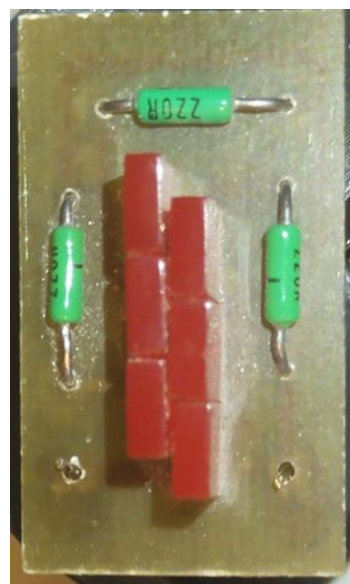
8 Konstrukce přípravku

8.1 Plošné spoje

Některé nedostatky byly doladěny, ne však všechny...

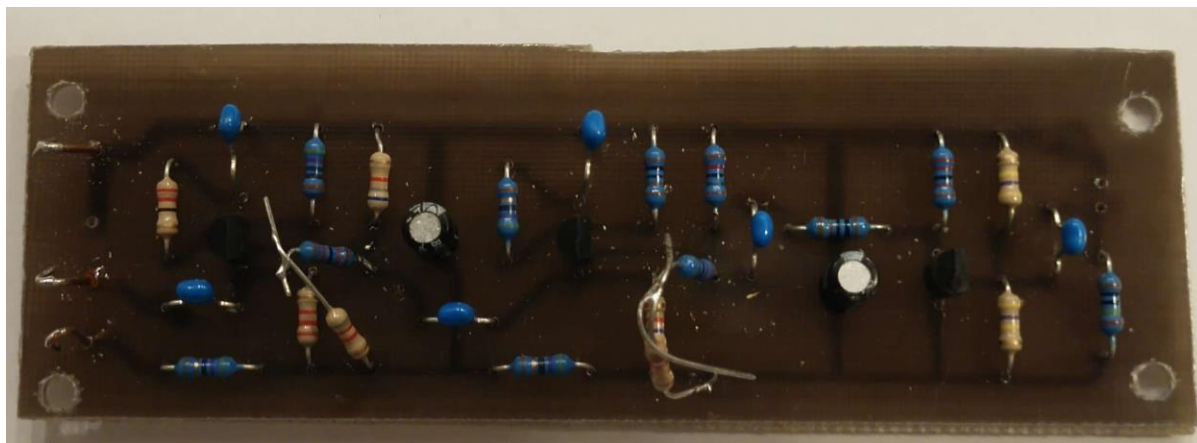


Obrázek 30: Finální plošný spoj vysílače



Obrázek 31: LED řada

Původně bylo plánováno, že vysílač bude mít osazenou diodu přímo na tomto plošném spoji. Avšak poté, co se přešlo od jedné diody k použití řady LED diod, došlo také ke změně zapojení do obvodu. Nyní je řada LED diod umístěna v měřicí krabici a je připojena do obvodu pomocí drátů, které jsou připojeny na původní místo diody.

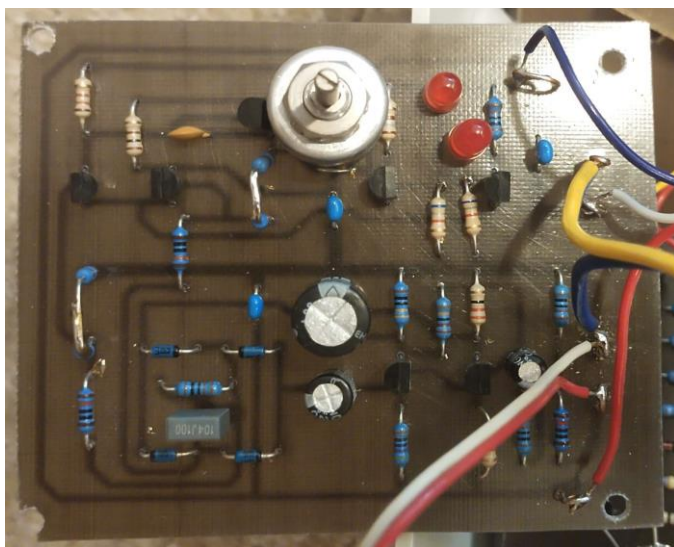


Obrázek 32: Finální plošný spoj přijímače

Tady je vidět další změna oproti původnímu návrhu. Tranzistory T_2 a T_3 neměly pracovní bod uprostřed. Měřil jsem napětí mezi bází a zemí, což odpovídá napětí na rezistoru R_7 a R_{13} . Požadavkem bylo dosáhnout napětí kolem 4,5 V, tedy poloviny napájecího napětí. Napětí na obou rezistorech však bylo nižší, takže jsem zvětšil odpor R_6 a R_{12} , aby se úbytek napětí na nich snížil a zvýšil na R_7 a R_{13} . Samozřejmě bych mohl udělat i opak, tedy zmenšit R_7 a R_{13} .

Původní odpor R_6 jsem ze 47 k Ω zvýšil na 79 k Ω , přidal jsem sériově 32 k Ω

Původní odpor R_{12} jsem ze $22\text{ k}\Omega$ zvýšil na $30,2\text{ k}\Omega$, přidal jsem sériově $8,2\text{ k}\Omega$

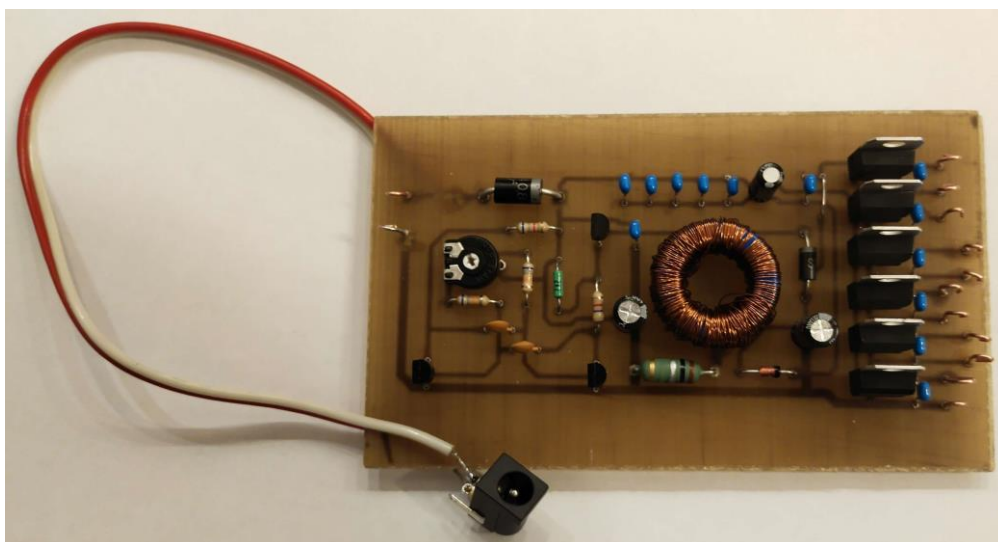


Obrázek 33: Finální plošný spoj usměrňovače s rozdílovým zesilovačem

Oproti původnímu návrhu jsou 2 rozdíly. Prvním je zvětšení odporů R_{11} a R_{18} z $10\text{ k}\Omega$ na $43\text{ k}\Omega$ (přidáním $33\text{ k}\Omega$ sériově). Druhým rozdílem je zmenšení kondenzátoru z $10\text{ }\mu\text{F}$ na 100 nF , pro trochu rychlejší odezvu na změnu napětí na vstupu.

$$A_U = \frac{R_{18}}{R_{17}} = \frac{43 \cdot 10^3}{10^4} = 4,3$$

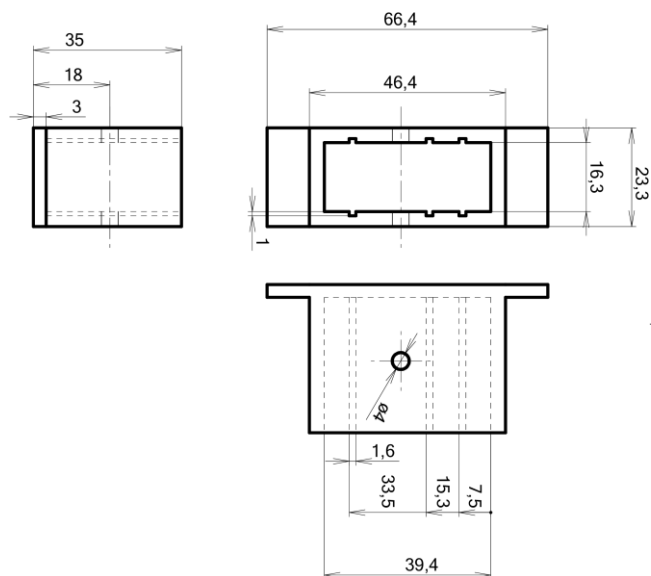
Celkové zesílení lze ještě doladit pomocí děliče tak, aby při měření bez struny byla plně využita rozsahová výchylka A/D převodníku (Arduina).



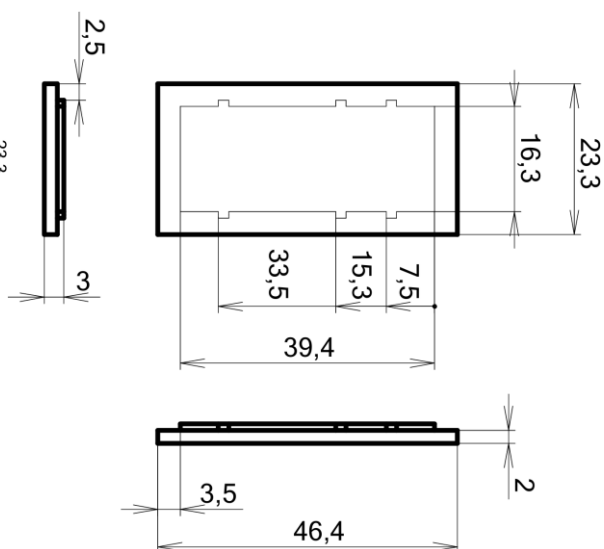
Obrázek 34: Finální plošný spoj zdroje

Zdroj jsem rovnou realizoval na navrženém plošném spoji. Toto je vlastně druhá verze, protože první verze obsahovala několik chyb. Největší dvě chyby byly způsobeny odlišným uspořádáním pinů PNP tranzistoru T_3 a stabilizátoru L7908CV. (Kdo by čekal, že PNP nemá bázi uprostřed...)

8.2 Krabička



Obrázek 35: Náskres krabičky

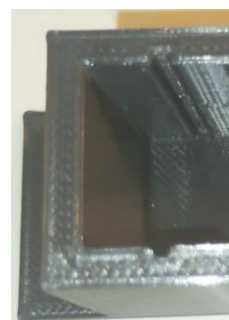


Obrázek 36: Náskres víka

Krabičku jsem navrhl v programu VariCAD a následně jsem si ji nechal vytisknout u spolužáka Martina Rachmana. Na obrázku 38 jsou vidět drážky navržené pro jednoduché zasunutí LED řady a fotodiody.



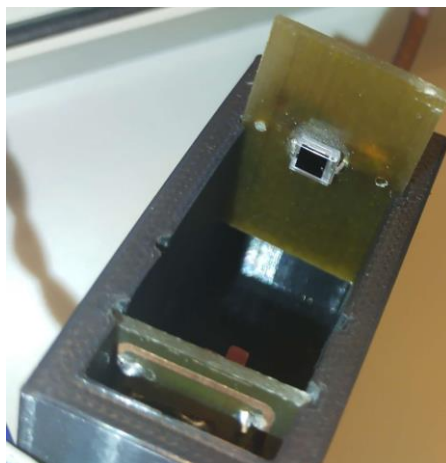
Obrázek 37: Krabička, pohled zvenčí



Obrázek 38: K



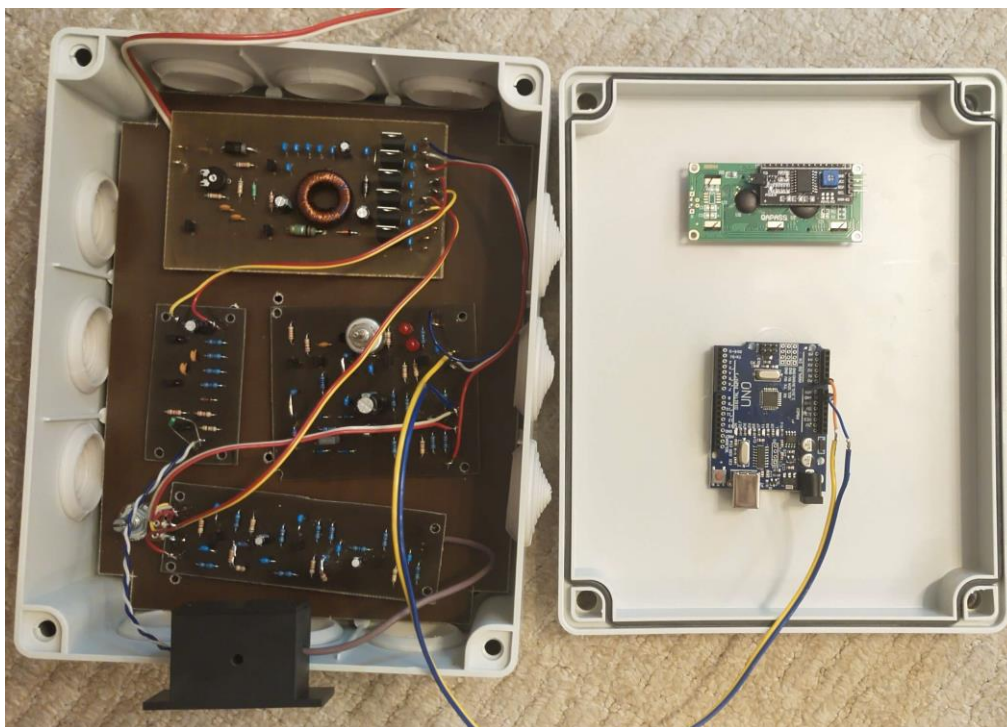
Obrázek 39: Víko krabičky



Obrázek 40: Fotodioda v krabičce

Na obrázku 39 je vidět z poloviny zasunutá deska s fotodiódou. Druhá drážka je na případné přidání stínítka před LED řadu.

8.3 Finální krabice



Obrázek 41: Celá krabice se zapojenými obvody

Krabička zatím není ve finální pozici, která bude na víku. Zároveň ještě není připojen LCD displej k Arduino. Arduino je taktéž napájeno ze stejného zdroje jako zbytek obvodů.



Obrázek 42: Víko krabice s měřicí krabičkou a displejem

8.4 Arduino

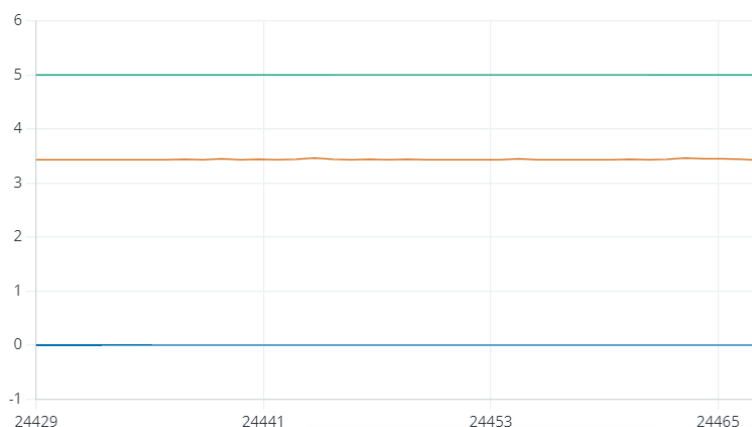
```
1  #include <Wire.h>           //volani knihovny
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h> //volani knihovny
3
4  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); //funkce definujici kanal, na kterem komunikuje, pocet pozic na displeji a pocet radku
5
6  void setup()
7  {
8      Serial.begin(9600);      //inicializace komunikace po seriove lince rychlosti 9600 baudu (bit/s)
9      pinMode(A0, INPUT);      //nastaveni pinu A0 jako vstup
10     lcd.init();               //inicializace LCD displeje
11     lcd.backlight();          //zapnutí podsvícení displeje
12 }
13
14 void loop()
15 {
16     float Uout, tloustka;      //deklarovani promennych
17     int min = 0, max = 5;      //pomocne promenne pro plotter
18     Uout=analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0); //prevod zpet na napeti
19     tloustka= -2.00740484094498 * Uout + 10.0464544590196; //prevod z napeti na tloustku
20     if(tloustka <= 0.00) tloustka = 0.00; //kontrola zapornosti tloustky, pokud je mensi (nebo rovna 0) tak je automaticky prepsana na 0
21     Serial.print(min);        //pomocny vypis konstantni 0 na plotter
22     Serial.print(", ");
23     Serial.print(Uout);        //vypis napeti na monitor i na plotter
24     Serial.print(", ");
25     Serial.println(max);       //pomocny vypis konstantni 5 na plotter
26     lcd.setCursor(1, 0);       //nastaveni kurzoru na displeji na druhou pozici na hornim radku
27     lcd.print("Napeti: ");      //vypis slova "Napeti" na displej
28     lcd.print(Uout);           //vypis hodnoty napeti na displej
29     lcd.print(" V");           //vypis pismene "V" znacici napeti
30     lcd.setCursor(1, 1);       //nastaveni kurzoru na displeji na druhou pozici na dolnim radku
31     lcd.print("Prumer: ");     //vypis slova "Prumer" na displej
32     lcd.print(tloustka);       //vypis hodnoty tloustky na displej
33     lcd.print(" mm");          //vypis pismen "mm" znacici jednotku tloustky
34     delay(100);               //zpozdeni 100 ms
35 }
```

Obrázek 43: Kód Arduina

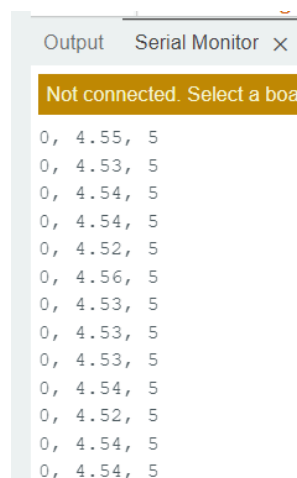
Na začátku inicializují displej, sériový monitor a analogový pin A0.

Na analogovém pinu A0 čtu napětí, které jde z výstupu rozdílového zesilovače. Tato hodnota je kódovaná číslem od 0 do 1023, kde hodnota 1023 odpovídá napětí 5 V. Proto ji převedu zpět na napětí (řádek 18). Poté jsem z naměřených hodnot vytvořil lineární spojnici trendu a výslednou rovnici jsem použil k přepočtu napětí na tloušťku (řádek 19). Na řádce 20 je jednoduchá kontrola záporné tloušťky, která nastane v případě, kdy je na vstupu napětí větší než 5 V. Zbytek kódu slouží k výpisu na LCD displej a také na plotter, který zobrazuje hodnoty v závislosti na čase - takový primitivní osciloskop.

Delay na konci způsobuje zpoždění na 100 ms, aby byla vypisovaná hodnota čitelnější, kdyby se rychle měnila.

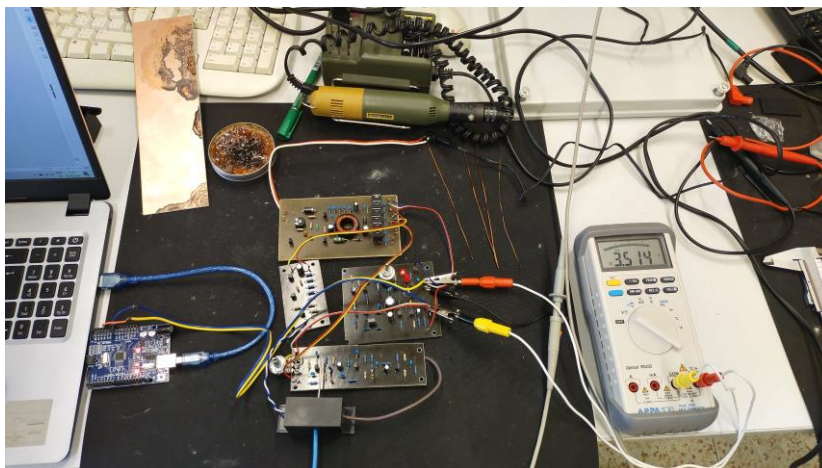


Obrázek 45: Výpis z plotteru

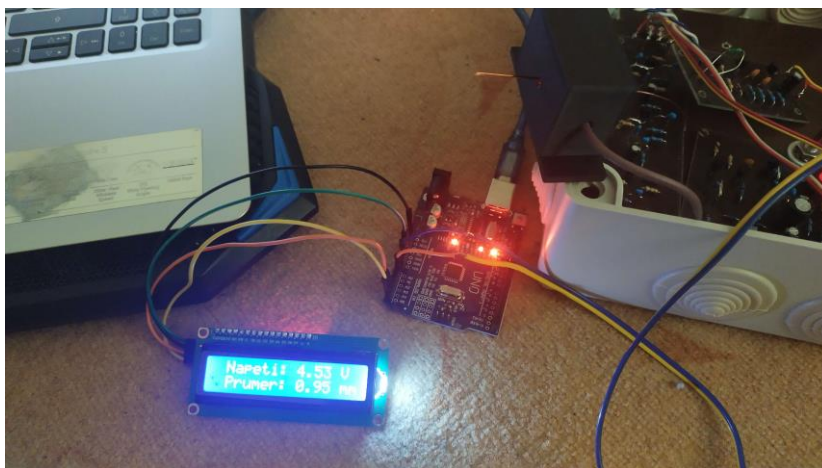


Obrázek 44: Výpis ze sériového monitoru

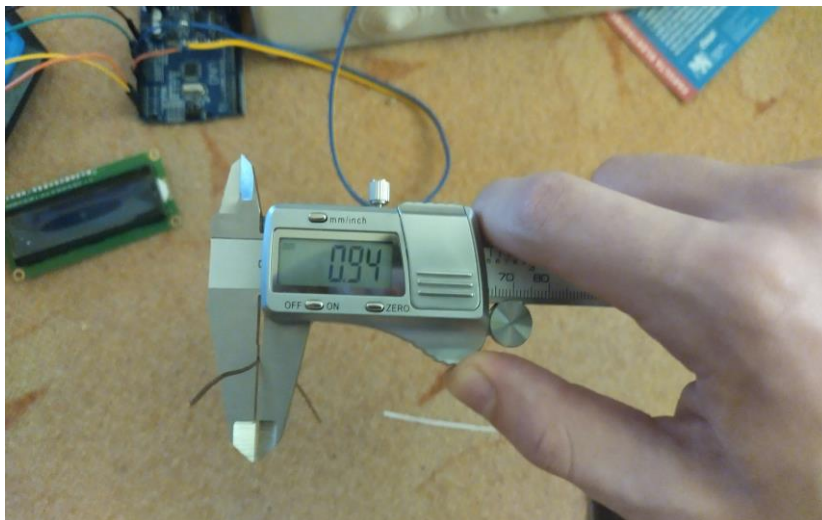
9 Naměření základních parametrů



Obrázek 46: První měření



Obrázek 47: Druhé měření



Obrázek 48: Ověření posuvným měřítkem

Druhé měření proběhlo již doma, za podmínek sice horších než ve škole, ale s dosažením stejných (dobrých) výsledků.

Tabulka 8: Naměřené hodnoty

d/mm	U/V
0,00	4,99
0,37	4,80
0,94	4,56
1,10	4,48
1,38	4,31
2,39	3,83
3,10	3,44

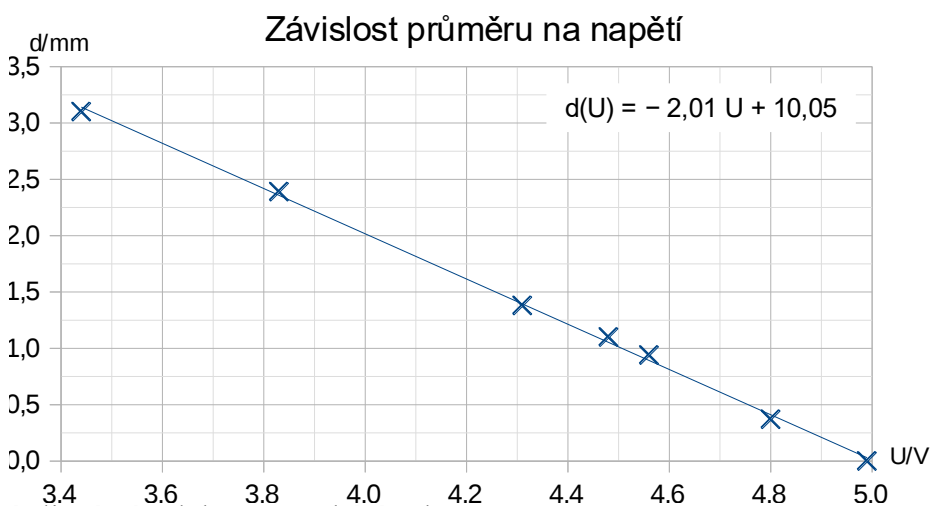
Obrázek
hodnot

49:

Graf

z

naměřených



Závislost průměru je „naštěstí“ lineární a dokonce vychází pěkně.

$$\text{Rozlišení (největší)} = \left| \frac{1,38 - 2,39}{4,31 - 3,83} \right| \text{ mm/V} = \left| \frac{-1,01}{0,48} \right| \text{ mm/V} = 2,10 \text{ mm/V}$$

Z toho vyplývá, že změna napětí o 1 V je úměrná změně tloušťky o přibližně 2 mm. To je vidět i z tabulky, kde 3,10 mm je úměrné 3,44 V a 1,10 mm je úměrné 4,48 V.

10 Závěr

Měří to! A dokonce i pěkně. Když se zpětně podívám na zadání, tak bych řekl, že jsem ho splnil. Dokonce jsem namísto použití baterie nebo externího zdroje nakonec vytvořil vlastní napájecí zdroj.

Do budoucna bych mohl vyzkoušet různé barevné varianty LED diod, převedení na SMD součástky a předělání do ručního měřicího přístroje, například pro měření tloušťek drátů.

Určitě ještě nahradím dočasně sériově spojené rezistory jedním, aby se zjednodušilo zapojení a zlepšila přehlednost, případně aspoň vzhled.

Jinak jsem s výsledkem docela spokojený. Naučil jsem se navrhovat plošné spoje, zlepšil jsem se v pájení a také jsem lépe pochopil jak fungují některé obvody. Za mě to bylo velice přínosné a teď můžu říkat, že jsem si udělal vlastní měřicí přístroj ;)

11 Zdroje

- [1]: Milan Syrovátko, Zapojení s polovodičovými součástkami, 1987
[2]: Paul McGowan, Chips vs. discrete, <https://www.psaudio.com/blogs/pauls-posts/chips-vs-discrete>
[3]: Rod Elliott, Discrete Operational Amplifier, 1999
[4]: Wikipedie, Blokovací kondenzátor, https://cs.wikipedia.org/wiki/Blokovací_kondenzátor
[5]: Wikipedia, Buck–boost converter, https://en.wikipedia.org/wiki/Buck%E2%80%93boost_converter
[6]: GMElectronic, Červená LED, <https://www.gme.cz/v/1491420/kingbright-l-113srdt-led>
[7]: GMElectronic, Fotodioda BPW34, <https://www.gme.cz/v/1489883/vishay-bpw34-fotodioda>
[8]: TME, Feritové jádro, <https://www.tme.eu/cz/en/details/ms-090125-2/ring-ferrites/arnold/>
[9]: GMElectronic, L7809CV, <https://www.gme.cz/v/1488465/stmicroelectronic-l7809cv-lineární-stabilizátor-napětí>
[10]: GMElectronic, L7808CV, <https://www.gme.cz/v/1488465/stmicroelectronic-l7809cv-lineární-stabilizátor-napětí>
[11]: GMElectronic, L7908CV, <https://www.gme.cz/v/1488588/stmicroelectronic-l7908cv>

12 Seznam obrázků a tabulek

Seznam	obrázků
Obrázek 1: Obecný princip měření	7
Obrázek 2: Princip měření mého přípravku	7
Obrázek 3: Blokové schéma	8
Obrázek 4: Schéma vysílače	8
Obrázek 5: Schéma LED řady	9
Obrázek 6: Schéma přijímače	9
Obrázek 7: Schéma fotodiody	10
Obrázek 8: Schéma usměrňovače	10
Obrázek 9: Schéma rozdílového zesilovače	11
Obrázek 10: Celé schéma usměrňovače a rozdílového zesilovače	11
Obrázek 11: Schéma zdroje	12
Obrázek 12: Přiblížený pohled na vstup a jeden ze stabilizátorů na napětí +8 V	12
Obrázek 13: Přiblížený pohled na zdroj -8 V	13
Obrázek 14: Červená LED	13
Obrázek 15: Fotodioda	13
Obrázek 16: Ručně navinutá tlumivka o ~ 210 závitů	14
Obrázek 17: Graf napětí a proudu na tlumivce	14
Obrázek 18: Plošný spoj vysílače	15
Obrázek 19: Plošný spoj přijímače	15
Obrázek 20: Plošný spoj LED řady	16
Obrázek 21: Plošný spoj fotodiody	16
Obrázek 22: Plošný spoj usměrňovače + rozdílový zesilovač	16
Obrázek 23: Plošný spoj Zdroje	17
Obrázek 24: Tady to vše začalo, IR vysílač	21

Obrázek 25: ONO TO SVÍTÍ !.....	21
Obrázek 26: Dostal jsem celou desku, tak ji taky celou použiju, IR přijímač	21
Obrázek 27: Usměřovač a rozdílový zesilovač.....	22
Obrázek 28: Chaos zblízka, usměřovač	22
Obrázek 29: Další chaos zblízka, rozdílový zesilovač.....	22
Obrázek 30: LED řada	23
Obrázek 31: Finální plošný spoj vysílače	23
Obrázek 32: Finální plošný spoj přijímače	24
Obrázek 33: Finální plošný spoj usměřovače s rozdílovým zesilovačem	24
Obrázek 34: Finální plošný spoj zdroje	25
Obrázek 35: Náčrt krabičky.....	25
Obrázek 36: Náčrt víka.....	25
Obrázek 37: Krabička, pohled zvenčí	26
Obrázek 38: Krabička, pohled dovnitř	26
Obrázek 39: Fotodioda v krabičce	26
Obrázek 40: Víko krabičky	26
Obrázek 41: Celá krabice se zapojenými obvody.....	27
Obrázek 42: Víko krabice s měřicí krabičkou a displejem	27
Obrázek 43: Kód Arduina	28
Obrázek 44: Výpis ze sériového monitoru.....	28
Obrázek 45: Výpis z plotteru	28
Obrázek 46: První měření	29
Obrázek 47: Druhé měření	29
Obrázek 48: Ověření posuvným měřítkem	29
Obrázek 49: Graf z naměřených hodnot	30

Seznam

tabulek

Tabulka 1: Parametry stabilizátorů	14
Tabulka 2: Vysílač	17
Tabulka 3: LED řada	18
Tabulka 4: Přijímač	18
Tabulka 5: Fotodioda	18
Tabulka 6: AC-DC + rozdílový zesilovač	19
Tabulka 7: Zdroj.....	20
Tabulka 8: Naměřené hodnoty	30