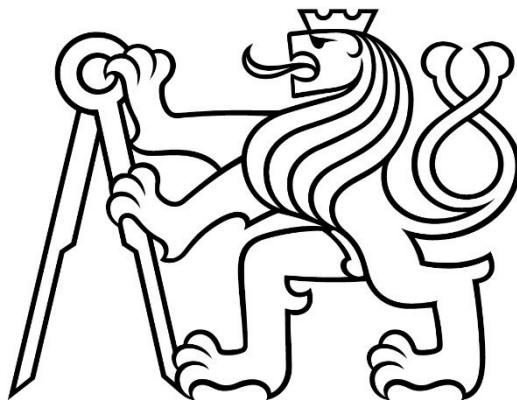


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**MODEL FÁZOVÉHO DÁLKOMĚRU NA PLATFORMĚ
ARDUINO**

PHASE RANGE FINDER BASED ON ARDUINO PLATFORM

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.


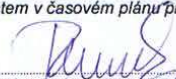


ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

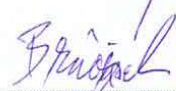
Příjmení: Brňovják	Jméno: Vojtěch	Osobní číslo: 476963
Zadávací katedra: Katedra geomatiky, k155		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Model fázového dálkoměru na platformě Arduino	
Název bakalářské práce anglicky: Phase range finder based on Arduino platform	
Pokyny pro vypracování: 1. Sestavení technologického návrhu modelu fázového dálkoměru 2. Realizace návrhu 3. Testování dálkoměru	
Seznam doporučené literatury: 1. H.Zetsche: Elektronische Entfernungsmessung (EDM), Konrad Wittwer 1979 2. Joeckel/Stober/Huep: Elektronische Entfernungs- und Richtungsmessung, Wichman 2008	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 17.2.2020	Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

18.2.2020	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Model fázového dálkoměru na platformě Arduino“ vypracoval samostatně s odborným vedením pana Ing. Zdeňka Vyskočila, Ph.D. Použitá literatura a další podklady, které byly použity pro tuto bakalářskou práci, jsou uvedeny v seznamu zdrojů.

V Praze dne:

.....

Vojtěch Brňovják

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Zdeňkovi Vyskočilovi, Ph.D. za jeho spolupráci, konzultace a poskytnutí potřebného vybavení a materiálů k vykonání práce.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá sestavením modelu fázového dálkoměru použitím platformy Arduino. Náplň práce spočívala v nalezení vhodných součástek a zapsání kódu do základní desky tak, aby model bylo možné použít jako fázový dálkoměr. Hlavní složkou pro model bylo generovat signál, který by byl po odrazu snímán a mohl být tak zjištěn fázový posun vysílaného a přijímaného signálu.

Klíčová slova

fázový dálkoměr, model, Arduino, součástky, pájení, programování, signál, fázový posun

Abstract

The bachelor thesis deals with the assembly of a model phase range finder using the Arduino platform. The description of work consisted of finding suitable components and writing code on the motherboard so that the model could be used as a phase range finder. The main part for the model was to generate a signal that would be sensed after reflection and the phase shift of the transmitted and received signal could be detected.

Key words

phase range finder, model, Arduino, components, soldering, programming, signal, phase shift

Obsah

ÚVOD	9
1 TEORIE FÁZOVÉHO DÁLKOMĚRU	10
1.1 Princip fázového dálkoměru	10
1.2 EOK 2000.....	11
1.3 Model fázového dálkoměru	12
2 SESTAVENÍ DÁLKOMĚRU POMOCÍ PLATFORMY ARDUINO	14
2.1 Seznámení s platformou Arduino	14
2.1.1 Projekt Arduino	14
2.1.2 Software Arduino	14
2.2 Zapojení LED diody	15
2.2.1 Použité součástky	15
2.2.1.1 Arduino Nano	15
2.2.1.2 LED dioda červená 5 mm.....	16
2.2.2 Účel použití	16
2.2.3 Zapojení a výstup	16
2.3 Generátor sinusového signálu.....	17
2.3.1 Použité součástky	17
2.3.1.1 Arduino UNO	17
2.3.1.2 Arduino generátor signálu	18
2.3.1.3 Digitální osciloskop DS0138 200kHz	19
2.3.2 Účel použití	19
2.3.3 Zapojení a výstup generátoru	20
2.4 Úprava vlnění	20
2.4.1 Použité součástky	20
2.4.1.1 Arduino DUE.....	21
2.4.1.2 Darlingtonův tranzistor BC517 TO92 ammo	21
2.4.2 Šum vlnění.....	21
2.4.3 Absolutní hodnota sinusoidy	22
2.4.4 Výstupní napětí generátoru.....	22
2.4.4.1 Tranzistor.....	22
2.4.4.2 Baterie v sériovém zapojení	23
2.4.4.3 Využitím analogového pinu.....	23
2.5 Demodulátor-senzor osvětlení.....	24
2.5.1 Použité součástky	24
2.5.1.1 Světelný senzor TEMT6000.....	24
2.5.2 Účel použití	25
2.5.3 Zapojení a výstup	25

2.6	Demodulátor-snímač intenzity světla	25
2.6.1	Použité součástky	25
2.6.1.1	Snímač intenzity světla OPT101	25
2.6.1.2	IR LED	26
2.6.2	Účel použití	26
2.6.3	Zapojení a výstup	27
2.7	Rozdělení do dvou obvodů	28
2.7.1	Použité součástky	28
2.7.1.1	Arduino MEGA	28
2.7.2	Účel použití	28
2.7.3	Zapojení a výstup	29
2.8	Vysílací, odrazný a přijímací systém	29
2.8.1	Použité komponenty	29
2.8.1.1	Teodolit Meopta Th30	29
2.8.1.2	Odrazný hranol Leica	29
2.8.2	Účel použití	30
2.8.3	Zařazení systémů a výstup	30
2.9	Demodulátor-fotodioda	30
2.9.1	Použité součástky	30
2.9.1.1	Lavinová fotodioda	30
2.9.2	Účel použití	31
2.9.3	Zapojení a výstup	31
2.10	Teoretické dokončení modelu	31
2.10.1	Zapojení lavinové fotodiody	31
2.10.2	Transformátor	31
2.10.3	Amplitudový zesilovač RF/IF AD8302	32
2.10.4	Displej	33
3	ZÁVĚR	34
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	35
	SEZNAM OBRÁZKŮ	38
	SEZNAM TABULEK	39



ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá sestavením modelu fázového dálkoměru prostřednictvím platformy Arduino. Cílem práce bylo sestavit model fázového dálkoměru za použití moderních digitálních součástek, které by nahradili analogové komponenty obyčejného fázového dálkoměru.

První kapitola práce pojednává o principu fungování fázového dálkoměru, z jakých komponentů se skládá a jak fungují. Dále je zmíněn fázový dálkoměr, který sloužil jako inspirace pro vyhotovení modelu. V práci je vyhotoven i stručný postup měření s tímto inspirovaným dálkoměrem pro seznámení čtenáře o tom, jak funguje měření vzdálenosti v praxi. V poslední části kapitoly je zobrazeno schéma sestaveného modelu.

Druhá kapitola seznamuje čtenáře o společnosti Arduino, o součástkách, které firma vyrábí a o vývojovém prostředí, ve kterém lze upravit funkce součástek zapsáním kódu a jeho nahráním na součástky. V další části kapitoly je probrána problematika ohledně vybrání jednotlivých součástek, proč byly použity, jak byly zapojeny a jejich výstupy po zapojení. U součástek je uveden jejich obrázek a tabulka s parametry, aby si čtenář mohl udělat představu o součástkách. Součástí kapitoly je i výskyt různých problémů, které se vyskytli během práce a je u nich popsáno, jak byly vyřešeny.

V závěru je popsáno, co se autor práce naučil během sestavování modelu, jakých bylo dosaženo výsledků a zda byly veškeré cíle splněny.

1 TEORIE FÁZOVÉHO DÁLKOMĚRU

1.1 Princip fázového dálkoměru

Fázový dálkoměr je typ elektronického dálkoměru, který měří určenou vzdálenost podle zpracovaného signálu, který je amplitudově modulován.

Modulace je plynulá změna parametru vlnění kolem střední hodnoty vlnění. Modulace vychází z rovnice harmonického pohybu:

$$y = A * \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

kde A je amplituda, ω je úhlová frekvence v čase t a φ_0 je počáteční fáze. U amplitudové modulace je měněným parametrem amplituda A . Změna amplitudy lze vyjádřit podle:

$$A = A_0 * (1 + m * \sin \Omega t) \quad (2)$$

kde A_0 je počáteční amplituda, Ω je úhlová frekvence nosné vlny v čase t a m je hloubka modulace. Výsledná rovnice pro amplitudovou modulaci je po dosazení:

$$y = A_0 * (1 + m * \sin \Omega t) * \sin \omega t \quad (3)$$

Signál může mít také konstantní či měnitelnou modulační frekvenci. Pro tuto práci jsme se inspirovali dálkoměrem EOK 2000, který má konstantní frekvenci.

Tento typ pracuje na principu vysílání signálu nosných vln. Nosné vlny vyzařované zdrojem záření jsou modulovány pomocí modulátoru s frekvencí f oscilátoru. Frekvence f je vypočtena podle potřebné vzdálenosti. Obecně se používají frekvence pro 10, 100 a 1000-metrovou vlnu. Hodnota frekvence lze vypočítat podle vzorce:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (4)$$

kde c je rychlost šíření světla ($\sim 3 \cdot 10^8$ m/s) a λ je určená vlnová délka. Tedy frekvence pro 10-metrovou vlnu odpovídá 3 MHz-30MHz, pro 100-metrovou vlnu 300kHz-3MHz a pro 1000-metrovou vlnu (30 kHz-300kHz). Tyto vlny jsou poté zalomeny do rovnoběžných svazků pomocí vysílacího systému (spojka) a vedou do odrazného systému (reflektor). Po odrazu na reflektoru vlny prochází přijímacím systémem (spojka) do fotodetektoru (demodulátor), kde dochází k jejich demodulaci (převod intenzity světla na intenzitu fotoproudu) a dále jsou přiváděny do fázovacího článku (Obr. 1). Fázovací článek určuje fázový posun $\Delta\varphi$ mezi vysílaným a odeslaným signálem. [1]

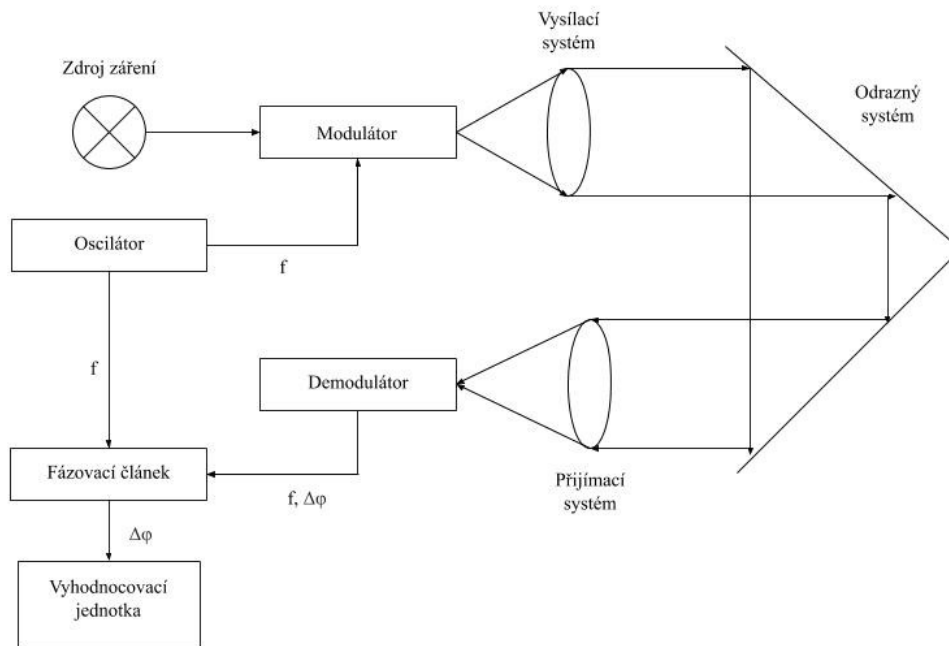
Pomocí zjištěného fázového posunu $\Delta\varphi$ se vypočte fázový doměrek l podle:

$$l = L * \frac{\Delta\varphi}{4\pi} \quad (5)$$

kde L je modulační vlnová délka. Výsledná délka se poté vypočte jako:

$$D = N * U + l \quad (6)$$

kde N je počet vlnových modulů a U je velikost vlnového modulu.



Obr. 1: Schéma fázového dálkoměru [1]

1.2 EOK 2000

EOK 2000 je fázový dálkoměr (Obr. 2) od firmy Carl Zeiss Jena s parametry uvedenými v tabulce 1.



Obr. 2: EOK 2000 [3]



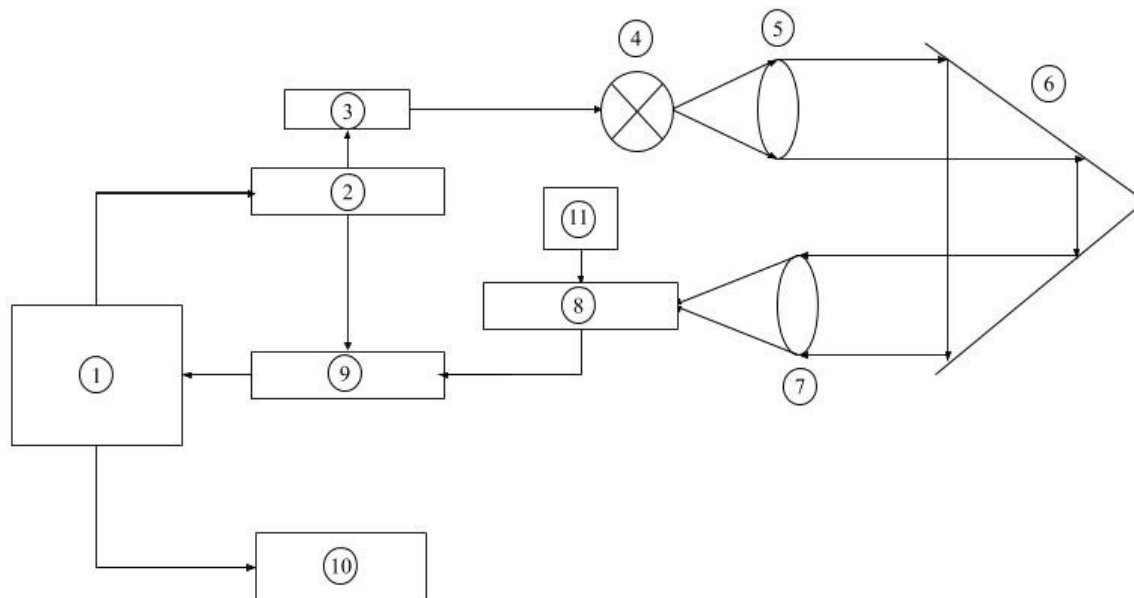
Typ dálkoměru:	Fázový s konstantní frekvencí
Dosah:	1-2.5 km
Přesnost jednoho měření:	10 mm
Vlnová délka zdroje:	900 nm
Zvětšení dalekohledu:	Až 17.5x
Napájecí napětí:	12 V
Hmotnost:	12 kg
Rozměry:	30 x 35 x 29 cm
Výrobce:	Carl Zeiss Jena

Tabulka 1: Parametry dálkoměru EOK 2000 [2]

EOK 2000 obsahuje dalekohled s nitkovým křížem a na přesné zaměření slouží jemné ustanovky. Dostatečnost síly ozvěnového signálu se posuzuje podle výchylky ručičky kompenzačního mikroampérmetru. Výchylka se nejprve musí vykompenzovat otáčením goniometru točítkem. Tím se ručička mikroampérmetru vychýlí nejvíce. Otáčením jemnými šrouby se výchylka zvětšuje/zmenšuje a tím se najde správné místo na odrazném systému pro navrácení největší síly signálu. Pro větší záměry a malou dohlednost je potřeba zvýšit napětí na fotonásobiči a postup opakovat. Následně se točí točítkem šedého klínu pro nastavení síly signálu (ručička na kontrolním přístroji v zeleném poli) a točítkem fázovacího článku se vykompenzuje fázový rozdíl ve fázi I. Stiskne se π -tlačítko, tím dojde ke změně fáze o hodnotu π a opět se musí odstranit výběh ručičky mikroampérmetru. Následně se vynuluje registr nulovacím tlačítkem a tímto postupem byla provedena kalibrace. Pro měření vzdálenosti se opět nastaví síla signálu točítkem šedého klínu, tím dojde k vykompenzování fázového rozdílu ve fázi I, stiskne se π -tlačítko, výběh ručičky se z poloviny odstraní točítkem a zaznamená se údaj registru, který se poté vynuluje. Takto je měřeno pro frekvenci f_1 (10-metrová vlna), f_2 (100-metrová vlna) a pro f_3 (1000-metrová vlna). Každý údaj registru se skládá ze tří číslic a pro zjištění výsledné délky se tato čísla sečtou pod sebou tak, že údaj zjištěný frekvencí f_2 je posunut o jedno místo doleva než údaj z frekvence f_1 a údaj z frekvence f_3 je opět posunut o jedno místo doleva než údaj z frekvence f_2 . [2]

1.3 Model fázového dálkoměru

K sestavení modelu byly komponenty fázového dálkoměru nahrazeny moderními součástkami od společnosti Arduino (Obr. 3).



Legenda:

- | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| ① Arduino DUE (viz 21) | ⑥ Odrazný hranol (viz 29) | ⑪ Arduino MEGA (viz 28) |
| ② Arduino generátor signálu (viz 18) | ⑦ Lupa (viz 29) | |
| ③ Transformátor (viz 31) | ⑧ Lavinová fotodioda (viz 30) | |
| ④ IR dioda (viz 26) | ⑨ Amplitudový zesilovač (viz 32) | |
| ⑤ Dalekohled teodolitu (viz 29) | ⑩ Displej (viz 33) | |

Obr. 3: Schéma modelu fázového dálkoměru na platformě Arduino

Naším záměrem bylo sestavit dálkoměr fungující jako dálkoměr EOK 2000, ale na digitální bázi, cenově dostupný a jednoduše programovatelný se stejnými funkcemi.

Hlavní součástí schématu je generátor signálu, který signál generuje a zároveň je modulován. Generátor se tedy stává oscilátorem a zároveň modulátorem. Signál je vyslán pomocí infračervené diody přes dalekohled, následně je odražen od odrazného hranolu, přijímán lavinovou fotodiódou a zaznamenán na amplitudovém zesilovači. Zesilovač zpracuje oba signály (vyslaný a přijímaný) a určí jejich fázový posun. Tato hodnota je dále vyslána do základní desky, deska hodnotu zpracuje a vypočte výslednou vzdálenost, která je vidět na obrazovce displeje.

2 SESTAVENÍ DÁLKOMĚRU POMOCÍ PLATFORMY ARDUINO

2.1 Seznámení s platformou Arduino

2.1.1 Projekt Arduino

Projekt Arduino byl založen v roce 2005 v Institutu Interaktivního Designu ve městě Ivrea vývojáři Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino a David Mellis. Byl pojmenován po historické postavě města Arduinovi Ivrejském. Výsledkem projektu byl vznik volně dostupného (open-source) vývojového prostředí Arduino IDE (Integrated Development Environment) s cílem vytvoření jednoduché platformy pro studenty. [4]

Tímto projektem bylo umožněno lidem nemající zkušenosti s elektronikou vytvořit fungující prototypy obvodů. Volná dostupnost software Arduino IDE byla hlavním důvodem vzniku velké komunity lidí, kteří sdílejí své nápady, poskytují tutoriály nebo zakládají nové knihovny do software. Důvodem nárustu komunity byla nízkonákladovost, multiplatformnost, jednoduché programovací prostředí a možnost volné dostupnosti. [5]

Projekt byl následně určen i k vytvoření základních desek Arduino, které mohli být různě naprogramovány prostřednictvím software. Základní desky byly vydávány pod licencí Creative Commons a jejich procesory byly založeny na základech mikrokontrolerů od firmy Atmel. Později byly provedeny i klony k těmto základním deskám. Klon základní desky představuje levnou a zároveň spolehlivou variantu desky. K základním deskám byly navíc vyrobeny součástky s různou funkcí (označované jako moduly) a řada dalších potřebných věcí k zapojení jednotlivých komponentů do obvodu. [6]

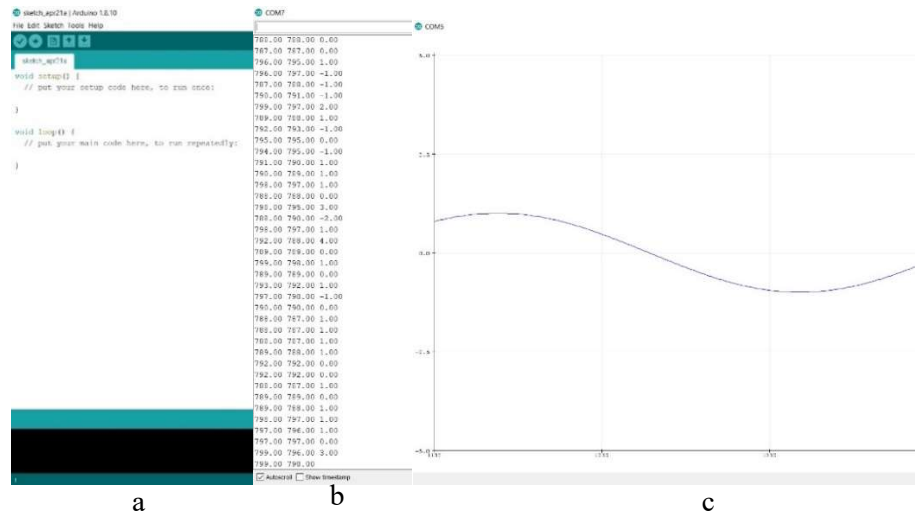
2.1.2 Software Arduino

Pro zapsání kódu na základovou desku Arduino lze použít software Arduino IDE, který je možné zdarma stáhnout na oficiálních stránkách Arduino nebo lze použít Arduino Web Editor a mít tak rozpracované projekty uložené online prostřednictvím Arduino IoT Cloud. Pro tuto práci bylo provedeno stažení software Arduino IDE a všechny kódy byly sepsány v jeho prostředí. [5]

Software Arduino IDE byl založen na prostředí Processing (interaktivní prostředí pro programování sepsané v jazyce Java) s využitím jazyka Wiring, sestaveného na základech jazyků C a C++. Kromě jazyka Wiring umožňuje i Arduino IDE podporu jazyků Python a JavaScript. [4]

Arduino IDE obsahuje textový editor pro zapsání kódu, konzoli pro hlášení chyb a lištu nástrojů (Obr. 4 a). Lišta nástrojů obsahuje možnosti pro práci s projektem (založení nového, otevření nebo uložení), možnost ověření kódu a funkci Serial Monitor. Funkce Serial Monitor ukazuje výstupy základové desky a to numerickým (Obr. 4 b), či grafickým způsobem (Obr. 4 c). V liště nástrojů je

také zapotřebí vždy po připojení základní desky nastavit správné jméno desky a v jakém portu je zapojena, pro konektivitu desky a software. Software Arduino IDE slouží tedy k zapsání kódu do textového editoru společně s využitím volně dostupných knihoven (k nalezení na webu GitHub) a následně nahráním na desku.



Obr. 4: Software Arduino IDE (a), numerický (b) a grafický (c) výstup Serial Monitoru

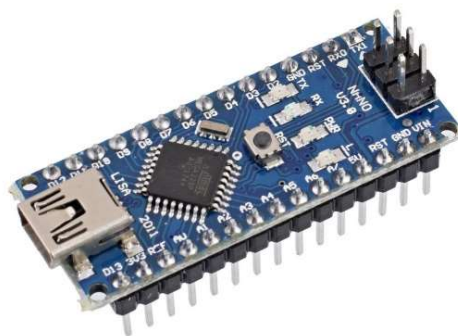
2.2 Zapojení LED diody

Spojením slov LED (Light-Emitting Diode) a dioda je podle doslovného překladu „světlo-vyzařující dioda dioda“. Uznávám, že toto spojení je komické a nemělo by být takto používáno. Nadpis je zvolen z důvodu pojmenování diody obchodem Arduino-shop jako LED dioda červená 5 mm a je to tedy obchodní název součástky.

2.2.1 Použité součástky

2.2.1.1 Arduino Nano

Arduino Nano je vývojová deska založená na procesoru ATmega328. Ze všech vývojových desek Arduina je Nano ta nejmenší a nejjednodušší (Obr. 5). Deska umožňuje připojení přes USB, napájecí konektor, ICSP rozhraní a resetovací tlačítko. Parametry jsou uvedené v tabulce 2. [7]



Obr. 5: Arduino Nano [7]

Typ:	Precizní klon
Procesor:	ATmega328
Verze desky:	V3.0
Provozní frekvence	16MHz
Pracovní napětí:	5 V
Vstupní napětí:	7-12 V
Digitálních portů:	14
Analogových portů:	8
Maximální proud 5V portu:	40 mA
Maximální proud 3.3V portu:	50 mA
Cena:	269,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 2: Parametry Arduino Nano [7]

2.2.1.2 LED dioda červená 5 mm

Jednoduchá dioda s průměrem 5 mm a červenou barvou. Samotná dioda je v pouzdře Dual in-line (DIL) s maximálním proudem 20 mA. [8]

2.2.2 Účel použití

Zapojení bylo provedeno, aby byl pochopen princip fungování červené diody spolu s deskou Arduino a princip zapsání kódu do desky. Výhodou LED je schopnost měnit svoji svítivost v závislosti na změně napětí a také že ji lze amplitudově modulovat. Pochopení těchto znalostí bylo nutné pro sestavení modelu fázového dálkoměru prostřednictvím platformy Arduino.

2.2.3 Zapojení a výstup

Digitální pin D13 z desky Arduino Nano byl propojen s pozitivní anodou diody a pin GND byl propojen s negativní anodou pro uzemnění. Mezi propojení D13 pinu a pozitivní anody byl následně vložen rezistor s kapacitou 220 Ω . Rezistor byl připojen z důvodů redukce napětí. Po zapojení obvodu bylo Arduino Nano připojeno USB kabelem k počítači. Počítač byl použit jako zdroj napětí a následně bylo možno i změnit základní kód desky Arduino Nano využitím software Arduino IDE pro pozdější účely. Po zapojení zdroje byla dioda rozsvícena. [9]

Následně bylo požadováno, aby dioda blikala v nepřetržitém intervalu. Aby byl tento výsledek umožněn, musel být příslušný kód nahrán do desky Arduino Nano. Byl tedy otevřen software Arduino IDE v počítači a bylo zkontrolováno, že software rozpoznává připojení desky. Pro tento účel byl použit výchozí kód software Arduino IDE s názvem Blink (Obr. 6). Po nahrání kódu do desky, dioda začala blikat.


```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Obr. 6 Příklad kódu Blink [9]

2.3 Generátor sinusového signálu

2.3.1 Použité součástky

2.3.1.1 Arduino UNO

Arduino UNO je mikrokontrolérová vývojová deska založená na ATmega328. Deska obsahuje podobné funkce jako Arduino Nano. Od Arduino Nano se deska liší typem konektoru, velikostí a větším výkonem (Obr. 7). Parametry desky jsou uvedené v tabulce 3. [10]



Obr. 7: Arduino UNO [10]

Typ:	Klon
Procesor:	ATmega328
Provozní frekvence	16MHz
Pracovní napětí:	5 V
Vstupní napětí:	7-12 V
Vstupní napětí max.:	6-20 V
Digitálních portů:	14
Analogových portů:	6
Maximální proud 5V portů:	40 mA
Cena:	149,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 3: Parametry Arduino UNO [10]

2.3.1.2 Arduino generátor signálu

Arduino generátor signálu představuje doplňkový modul pro Arduinu obsahující integrovaný čip AD9850 s výstupy pro sinusový a obdélníkový signál (Obr. 8). Pro tuto práci byla využita možnost sinusového signálu. Parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 4. Při práci s generátorem bylo důležité hlídat jeho proudový odběr s maximální hodnotou 47 mA, aby nedošlo k jeho přepětí. [11]



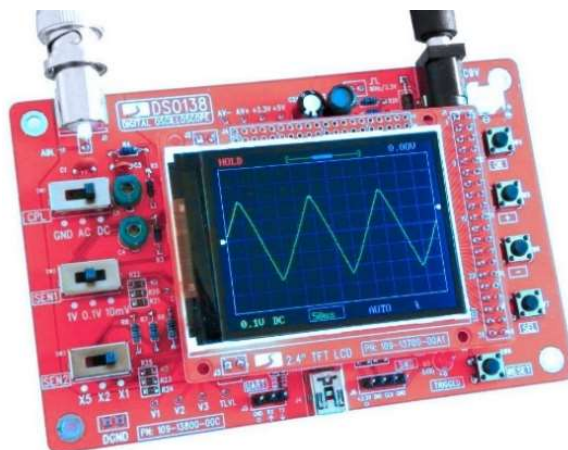
Obr. 8: Arduino generátor signálu [11]

Typ:	Originál
Verze čipu:	AD9850
Napájení:	3.3 V / 5 V
Frekvence oscilátoru (3,3 V / 5 V):	110 / 125 MHz
Frekvence sinusových vln:	0-40 MHz
Frekvence obdélníkových vln:	0-1 MHz
Max. příkon:	380 mW
Typ. příkon:	150 mW
Rozměry:	45 x 26 mm
Cena:	899,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 4: Parametry Arduino generátoru [11]

2.3.1.3 Digitální osciloskop DS0138 200kHz

Digitální osciloskop DS0138 byl navržen jako jednoduchý osciloskop s šířkou pásma 0 až 200 kHz (Obr. 9). Parametry osciloskopu uvedeny v tabulce 5. Osciloskop má tři stupně volby připojení (GND, AC, DC) a tři stupně volby citlivosti (1V, 0.1V, 10mV). Pro zobrazení signálu slouží integrovaný LCD displej. [12]



Obr. 9: Digitální osciloskop DS0138 [12]

Typ:	Originál
Procesor:	ARM Cortex-M3
Displej:	2.4-palcový TFT LCD (320 x 240)
Šířka analogového pásma:	0-200 kHz
Rozsah citlivosti:	10mV/div-5V/div
Rozlišení:	12 bitů
Napájení:	9 V DC
Běžná spotřeba:	120 mA
Rozměry:	117 x 76 x 15 mm
Cena:	1190,- Kč
Prodejce:	GM Electronic

Tabulka 5: Parametry osciloskopu DS0138 [12]

2.3.2 Účel použití

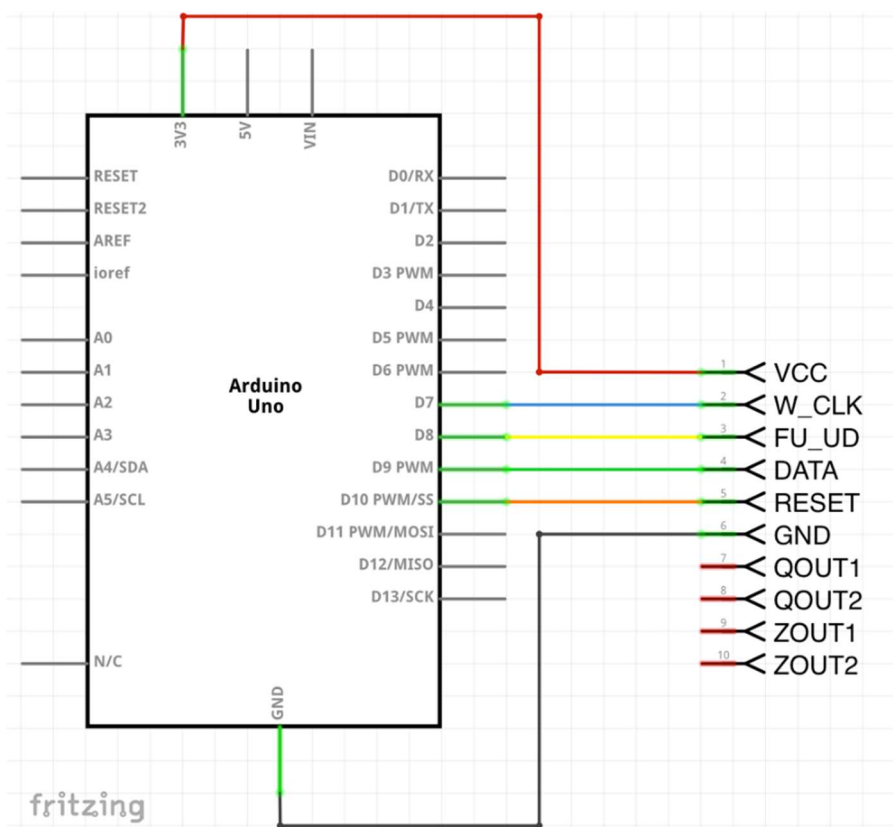
Arduino generátor signálu byl nejlepším způsobem pro generování vln z důvodu možného frekvenčního rozsahu a nastavitelnosti parametrů signálu. Hlavním důvodem vybrání součástky byl nastavitelný rozsah frekvence (0-40 MHz), který byl požadován pro vysílání 10, 100 a 1000-metrových vln. Digitální osciloskop byl použit jako obraz generovaného vlnění, aby bylo zřetelné, jak sinusová vlna vypadá. Pro účely práce by bylo vhodné použít výkonnější osciloskop (s šířkou pásma v hodnotách desítek MHz), ale s výkonem stoupá i cena samotného osciloskopu. Osciloskopy s větší šířkou pásma se obvykle prodávají kolem několika tisíců až desetitisíců korun, proto byl tento

osciloskop DS0138 použit především pro kontrolu, zda je signál vyslán a zobrazení šumu pro frekvenci do 200 kHz.

2.3.3 Zapojení a výstup generátoru

Byly propojeny piny VCC s 3.3V generátoru, W_CLK s pinem D7, FU_UD s D8, DATA s D9, RESET s D10 a GND s GND generátoru (Obr. 10). Následně bylo nutné nahrát kód na desku UNO. Výchozí kód pro práci s generátorem byl převzat ze stránky www.arduino-shop.cz [13]

Po nahrání kódu bylo provedeno testování přes digitální osciloskop pro ověření správnosti kódu. Po ověření přes osciloskop byl zaznamenán značný šum vlnění. Následně byl propojen pin ZOUT1 generátoru s pozitivní anodou diody a pin ZOUT2 s negativní anodou. Dioda po tomto zapojení nebyla rozsvícena. Důvodem byla nedostatečná výstupní velikost napětí generátoru.



Obr. 10: Schéma zapojení Arduino generátoru sinusového signálu [13]

2.4 Úprava vlnění

Generovaný signál byl upraven tak, aby dioda měnila svítivost vzhledem ke generované sinusoidě

2.4.1 Použité součástky

2.4.1.1 Arduino DUE

Arduino DUE je základní deska založená na procesoru Atmel SAM3X8E Arm Cortex-M3 (Obr. 11). Jedná se o první desku založenou na 32-bit jádru ARM. Parametry desky jsou uvedeny v tabulce 6. [14]



Obr. 11: Arduino DUE [14]

Typ:	Originál
Procesor:	AT91SAM3X8E
Vstupní napětí:	7-12 V
Vstupní napětí max:	6-16 V
Digitálních portů:	54
Analogových portů:	12
Celkový proud na pinech:	130 mA
Rychlost:	84 MHz
Rozměry:	102 x 53 mm
Cena:	749,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 6: Parametry Arduino DUE [14]

2.4.1.2 Darlingtonův tranzistor BC517 TO92 ammo

Darlingtonův tranzistor je bipolární tranzistor typu NPN. Obsahuje tři elektrody s názvy kolektor (C), báze (B) a emitor (E). [15]

2.4.2 Šum vlnění

Šum byl rozpoznán na digitálním osciloskopu a blíže i na grafickém výstupu Seriál Monitoru po zapojení výstupních hodnot pinů ZOUT1 a ZOUT2 generátoru do základní desky Arduino UNO. Tento problém byl vyřešen výměnou desky UNO za desku DUE. Výkonnější procesor desky Arduino DUE s frekvencí 84 MHz umožnil větší citlivost a šum vlnění tak byl snížen na přijatelnou hodnotu.

2.4.3 Absolutní hodnota sinusoidy

Pro úspěšné zobrazení sinusového vlnění pomocí diody bylo nutné upravit interval vlny. Základní interval generované vlny byl od -1 V do 1 V. Při tomto případě by dioda postupně zvyšovala svoji svítivost pouze v hodnotách od 0 V do 1 V a v záporných hodnotách by nesvítila vůbec. Bylo tedy nutné opravit výchozí kód tak, aby hodnota 0 V byla nejmenší hodnotou intervalu. Převedením sinusové vlny do absolutní hodnoty byl tento problém vyřešen a výsledný interval vlnění byl tedy od 0 V do 1 V.

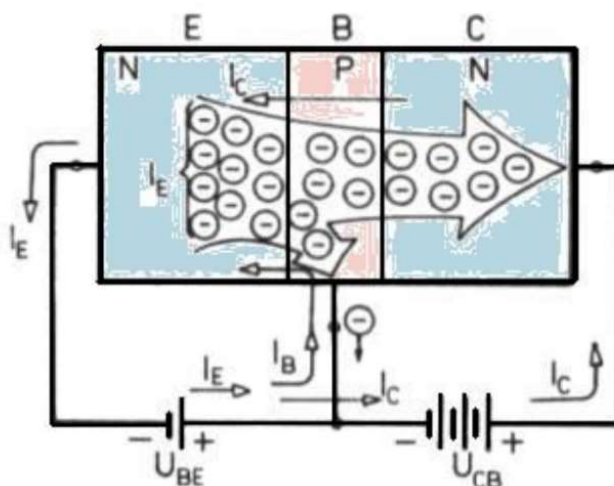
2.4.4 Výstupní napětí generátoru

Po připojení diody ke generátoru bylo zjištěno, že generátor neposkytuje dostatečně vysoké napětí na rozsvícení diody. Minimální vstupní napětí pro diodu bylo 1.8 V a generátor poskytoval výstupní napětí 0.9 V. Bylo tedy zapotřebí najít způsob, jak napětí zvýšit na požadovanou hodnotu.

2.4.4.1 Tranzistor

Tranzistor je polovodičová součástka schopná zesilovat napětí nebo proud. Tranzistory mohou být bipolární nebo unipolární. Rozdíl je, že u bipolárního tranzistoru dochází ke zvýšení napětí přes PN přechody (polovodiče typu P a N) a unipolární tranzistor využívá elektrické pole. Bipolární tranzistor se ještě dělí podle typu přechodu na PNP a NPN. Rozdíl mezi typem PNP a NPN je pouze ve struktuře polovodičů uvnitř tranzistoru. Pro naši práci byl použit bipolární tranzistor typu NPN. [15]

Princip tranzistoru typu NPN spočívá v polarizaci přechodů. Na emitor je připojeno záporné napětí, báze slouží ke zvýšení velikosti napětí a kolektor odvádí zvýšené napětí polarizované v kladném směru. Podmínkou pro zvýšení napětí je tedy určitá velikost napětí na bázi, způsobující otevření přechodu B-E. Nosiče náboje přechodu B-E následně procházejí k vývodu kolektoru (Obr. 12). [16]



Obr. 12: Zapojení tranzistoru typu NPN [16]


Po připojení tranzistoru k pinům ZOUT1 a ZOUT2 generátoru napětí nebylo zvýšeno. Důvodem byl typ proudu z výstupu generátoru. Arduino generátor sinusového signálu produkuje střídavý proud. Tranzistory umožňují zvyšovat velikost napětí pouze pro stejnosměrný proud.

2.4.4.2 Baterie v sériovém zapojení

Dalším způsobem bylo přidání alkalické baterie AAA s napětím 1.5 V sériovým zapojením. Tímto způsobem byla výsledná hodnota napětí opravdu 2.4 V (0.9 V + 1.5 V), ale výsledný proud byl převeden ze střídavého na stejnosměrný. Bylo požadováno, aby byla zvětšena pouze hodnota napětí, nikoliv aby došlo ke změně proudu.

2.4.4.3 Využitím analogového pinu

Hodnota napětí byla vedena z pinu generátoru do analogového pinu A11 Arduino DUE. Následně byl v software Arduino IDE otevřen skript s nahraným kódem v desce a byl upraven. Pomocí funkce `analogRead()` byly hodnoty z generátoru zaznamenány a upraveny podle vzorce (Obr. 13).



```
// LEDka | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help

LEDka §

// Infračervene detekovane svetlo
//Serial.println(apinA3);

//LED svetlo if prikaz

analogHodnota = analogRead(analogPin11);
val = analogHodnota; // read the input pin
if (val > 127)
{
    valplus = round((val-80)/13.2)+216;
    valplus = val;
    Serial.print(val);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(valplus);
}

analogWrite(analogPin10, valplus);
```

Obr. 13: Kód pro zvýšení výstupního napětí generátoru

Funkce `analogRead()` vrátila hodnoty v intervalu 0-255 (8-bit). Hodnoty byly zaznamenány do proměnné `val`. Příkazem `if` byla sinová vlna převedena do kladných hodnot. Tyto hodnoty představovaly výstupní napětí generátoru (0.8-4.1 V), postup byl tedy takový, že nejprve byla od

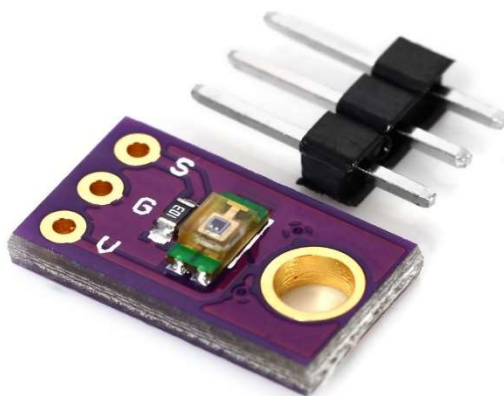
proměnné val odečtena hodnota 80 (abychom se dostali na hodnotu 0) dále byla hodnota vydělena číslem 13.2 (330/25), kde hodnota 330 představovala celkový interval napětí generátoru a hodnota 25 představovala celkový interval výsledného požadovaného napětí (2.16-2.41 V). Výsledný interval byl určen podle minimálního a maximálního napětí pro diodu. Posledním krokem bylo tedy přičíst hodnotu 216, aby se tedy první výsledná hodnota rovnala minimálnímu potřebnému napětí pro diodu a poslední hodnota rovnala maximálnímu potřebnému napětí. Tyto hodnoty byly zapsány na analogový pin A10 základní desky Arduino DUE pomocí funkce analogWrite().

2.5 Demodulátor-senzor osvětlení

2.5.1 Použité součástky

2.5.1.1 Světelný senzor TEMT6000

TEMT6000 obsahuje senzor osvětlení (Obr. 14). Se vzrůstajícím množstvím světla dopadajícího na senzor se začne zvedat napětí na výstupu senzoru. Senzor je nejvíce citlivý na záření, které má vlnovou délku 570 nm. Parametry senzoru uvedeny v tabulce 7. [17]



Obr. 14: TEMT6000 [17]

Typ:	Originál
Verze senzoru:	TEMT6000
Výstupní napětí:	5 V
Proud:	50 mA
Rozměry:	21 x 16 mm
Hmotnost:	4 g
Cena:	58,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 7: Parametry TEMT6000 [17]

2.5.2 Účel použití

Po potřebných úpravách dioda měnila svoji svítivost vzhledem k výstupním hodnotám generátoru. Následně bylo potřeba snímat světlo produkované červenou diodou. Pro tuto potřebu byl zvolen světelný senzor TEMA6000. Nevýhodou senzoru byla nízká citlivost na světlo a rušení okolních vlivů (Slunce, světlo v místnosti).

2.5.3 Zapojení a výstup

Pro propojení senzoru TEMA6000 a základní desky Arduino DUE bylo nutné zapojit tři vodiče. Byl propojen pin S senzoru TEMA6000 s analogovým pinem A0 desky DUE, dále pin V s pinem 5V desky DUE a posledním propojením byl pin G s pinem GND desky. Získané hodnoty ze senzoru byly zobrazeny v Seriál Monitoru pomocí funkce analogRead(). [18]

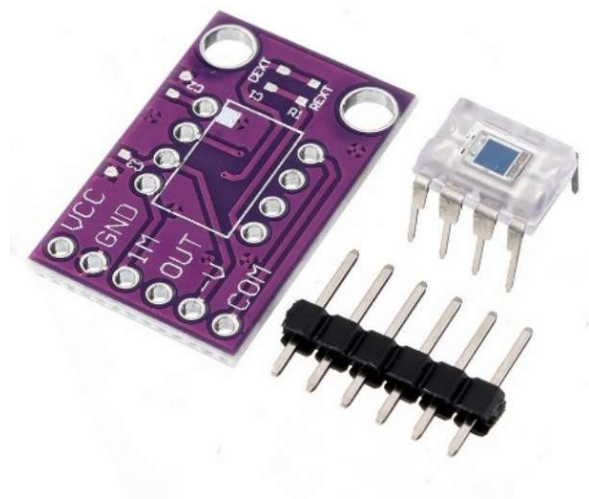
2.6 Demodulátor-snímač intenzity světla

Senzor osvětlení nahrazen za citlivější a červená dioda byla nahrazena za IR (infrared-infračervená) diodu.

2.6.1 Použité součástky

2.6.1.1 Snímač intenzity světla OPT101

OPT101 je fotosenzor osvětlení s integrovanou fotodiodou (Obr. 15). Fotodioda je zasazena do průhledného balení a tím má větší snímací povrch, vyšší citlivost a široký rozsah barevného spektra. Parametry součástky uvedeny v tabulce 8. [19]



Obr. 15: OPT101 [19]

Typ:	Originál
Pracovní napětí:	2.7-36 V
Pracovní teplota:	0-70 °C
Oblast ozařování světlem:	5.2mm ²
Fotoproud:	0.45 A/W
Poměr výstupního napětí:	0.45 V/μW
Šířka pásma:	14 kHz
Statická spotřeba energie:	120 μA
Cena:	US \$0,90 (23,-Kč)
Prodejce:	AliExpress

Tabulka 8: Parametry OPT101 [19] [20]

2.6.1.2 IR LED

Dioda poskytující infračervené světlo (Obr. 16) s parametry uvedenými v tabulce 9.



Obr. 16: IR LED [21]

Typ vyzařovaného světla:	IR (infračervené)
Napětí v propustném směru:	1.2-1.5 V
Max. proud:	20 mA
Vlnová délka:	940 nm
Průměr:	5 mm
Vyzařovací úhel:	30 °
Cena:	US \$0.047 (1,- Kč)
Výrobce:	Chanzon
Prodejce:	AliExpress
Typ vyzařovaného světla:	IR (infračervené)

Tabulka 9: Parametry IR diody [21]

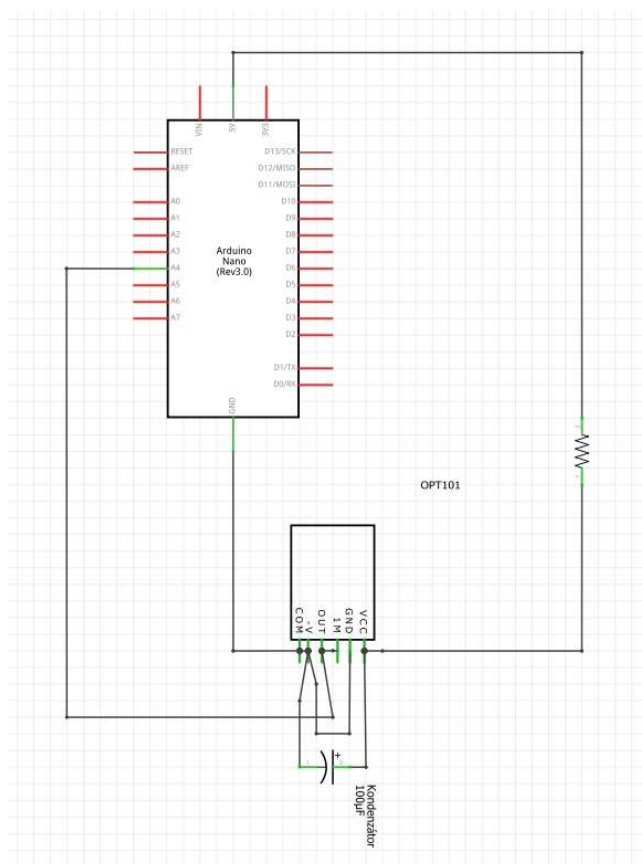
2.6.2 Účel použití

Fotosenzor OPT101 byl použit místo senzoru TEMA6000 pro získání vyšší citlivosti snímání vyzařovaného světla diodou (největší citlivost na infračervené světlo). Následně byla nahrazena

červená dioda diodou poskytující IR světlo pro získání větší vzdálenosti snímání světla (vlnová délka infračerveného světla je větší než obyčejného světla) a využití citlivosti OPT101.

2.6.3 Zapojení a výstup

Červená dioda byla vyměněna za IR diodu a pro zapojení fotosenzoru OPT101 byla použita deska Arduino Nano z důvodu vyčerpání kapacity napětí desky Arduino DUE. Zapojení bylo komplikované a bylo využito fóra forum.allaboutcircuits.com. Pin COM fotosenzoru OPT101 byl připojen na GND desky Nano a zároveň na pin -V fotosenzoru. Pin -V byl dále propojen se zápornou elektrodou kondenzátoru a kladná elektroda byla vedena do pinu VCC fotosenzoru. Pin OUT fotosenzoru byl propojen s pinem 1M fotosenzoru a s analogovým pinem A4 desky Nano. Dále byl pin GND fotosenzoru propojen s pinem GND desky Nano a posledním propojením byl pin VCC s pinem 5V desky Nano s vložením rezistoru s kapacitou $100\ \Omega$ mezi piny VCC a 5V (Obr. 17). [22]



Obr. 17: Zapojení fotosenzoru OPT101

Pomocí funkce `analogRead()` byl zjištěn výstup fotosenzoru na analogovém pinu A4 desky Nano. Na grafickém výstupu Seriál Monitoru bylo prokázáno, že výměnou senzoru osvětlení a diody bylo dosaženo vyšší přesnosti snímání světla.

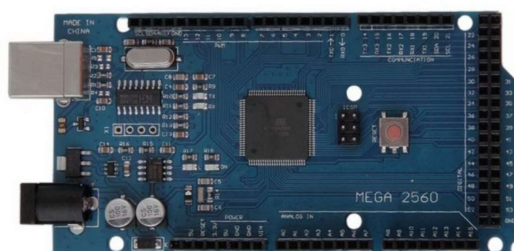
2.7 Rozdělení do dvou obvodů

Bylo nutné přidat novou základní desku pro oddělení fotosenzoru a získat tak samostatný obvod.

2.7.1 Použité součástky

2.7.1.1 Arduino MEGA

Arduino MEGA je základní deska s procesorem ATmega2560-16AU. Podobá se desce Arduino UNO, ale výkoností se vyrovná desce Arduino DUE (Obr. 18). Parametry desky jsou uvedeny v tabulce 10. [23]



Obr. 18: Arduino MEGA [23]

Typ:	Klon
Procesor:	ATmega2560
Provozní napětí:	5 V
Vstupní napětí:	7-12 V
Digitálních portů:	54
Analogových portů:	16
Frekvence procesoru:	16 MHz
Max. proud I/O pinem:	20 mA
Max. proud 3,3V pinem:	50 mA
Rozměry:	100 x 55 mm
Cena:	379,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 10: Parametry Arduino MEGA [23]

2.7.2 Účel použití

Na základní desku Arduino MEGA byl připojen fotosenzor OPT101 a byl tak oddělen od Arduino DUE. Tím byly založeny dva nezávislé obvody, první signál vysílal a druhý signál přijímal. Rozdělení bylo také provedeno z důvodu vysokého nároku na požadované napětí, kdy samostatné Arduino DUE již neposkytovalo dostatečné napětí k napájení potřebných součástek, a proto byla přidána nová deska fungující jako další zdroj napětí. Důvodem použití desky MEGA místo dřívější desky Nano bylo dosažení vyšší citlivosti u snímání vyzařovaného světla IR diodou.

2.7.3 Zapojení a výstup

Zapojení bylo provedeno stejným způsobem jako pro desku Nano jen s využitím nově přidané desky MEGA. Výstupem byly dva obvody. První obsahoval desku Arduino DUE, generátor a diodu a druhý obsahoval pouze desku MEGA s fotosenzorem OPT101.

2.8 Vysílací, odrazný a přijímací systém

2.8.1 Použité komponenty

2.8.1.1 Teodolit Meopta Th30



Obr. 19: Teodolit Meopta Th30 [24]

2.8.1.2 Odrazný hranol Leica



Obr. 20: Odrazný hranol Leica [25]

2.8.2 Účel použití

Na vysílací systém byl použit dalekohled teodolitu Meopta Th30 s výrobním číslem 504349. Dalekohled byl nejvhodnější volbou pro vyřešení rozptýlenosti paprsků vysílaného signálu a použitím dalekohledu na teodolitu bylo umožněno přesnější zacílení na odrazný systém. Pro odrazný systém byl použit odrazný hranol od společnosti Leica. Byla zvážena možnost použití odrazné fólie, ale odrazný hranol s vlastností koutového odražeče byl lepší variantou. Přijímacím systémem byla provizorně použita jednoduchá lupa, která představovala spojnou čočku. Odražený svazek paprsků signálu od hranolu byl po průchodu lupy sbíhán do středu fotosenzoru OPT101.

2.8.3 Zařazení systémů a výstup

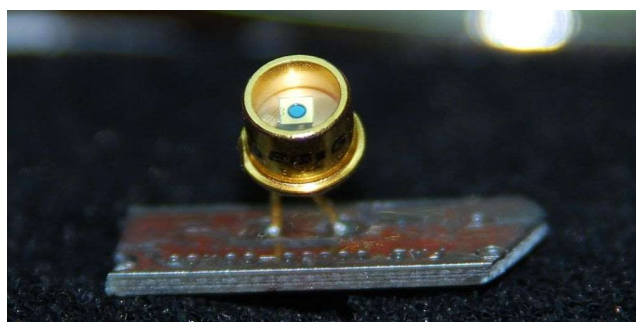
U teodolitu Meopta Th30 byla provedena centrace a horizontace a bylo zacíleno na odrazný hranol Leica. Pomocí hrubých a jemných ustanovek bylo přesně zacíleno a ustanovky byly utáhnuty. V dalekohledu teodolitu byl vyšroubován okulár, místo něj byla vložena IR dioda a následně byla dioda připevněna k dalekohledu. V blízkosti dalekohledu byl postaven fotosenzor OPT101 s připevněnou lupou. Pro maximální možnou přesnost bylo měřeno za tmy z důvodu potlačení šumu z okolních světél. Signál odražený od hranolu nebyl zaznamenán fotosenzorem.

2.9 Demodulátor-fotodioda

2.9.1 Použité součástky

2.9.1.1 Lavinová fotodioda

Lavinová fotodioda je citlivý polovodičový fotodetektor (Obr. 21). K vysoké citlivosti vyžaduje i vysoké napětí. Parametry fotodiody jsou uvedeny v tabulce 11. [26]



Obr. 21: Lavinová fotodioda [26]

Typ diody:	Fotodioda
Velikost povrchu diody:	230 μm
Šířka pásma:	400-1100 nm
Temný proud:	0.2 nA
Čas vzestupu signálu:	0.4 ns
Cena:	US \$31.95 (802,- Kč)
Prodejce:	AliExpress

Tabulka 11: Parametry lavinové fotodiody [27] [28]

Fotodiody sestává ze čtyř vrstev: N+, P, čistého polovodiče a P+. Okolo vrstev N+ a P, mezi nimiž vzniká lavinový jev, se nachází ochranný prstenec z polovodiče typu N, který zvyšuje odolnost fotodiody proti povrchovému napěťovému průrazu. [26]

K lavinovému jevu dochází na silnějších přechodech PN. Působením silného zpětného napětí se vytvoří elektrostatické pole, které dodá elektronům značnou kinetickou energii. Letící elektron poté narazí na jiný elektron a uvolní ho z vazby, oba elektrony jsou dále urychlovány a vyrazí další elektrony. [29]

2.9.2 Účel použití

Lavinová fotodiody byla použita místo fotosenzoru OPT101 kvůli vyšší citlivosti a vyšší šířce pásma. Fotosenzor OPT101 poskytoval šířku pásma 14 kHz, která pro naše účely byla velice limitující (požadavek na desítky MHz). Lavinová fotodiody poskytuje šířku pásma až 40 MHz a proto byla zvolena jako demodulátor pro model dálkoměru.

2.9.3 Zapojení a výstup

Zapojení lavinové fotodiody nebylo doděláno kvůli momentální situaci ohledně COVID-19. Jsme přesvědčeni, že kdyby fotodiody byla správně zapojena do obvodu signál by snímala. Avšak vysílaný signál měl stále nízké napětí, jelikož byl limitován výkoností analogového pinu Arduino DUE a bylo potřeba napětí zvýšit jiným způsobem, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot pro úplné snímání fotodiody.

2.10 Teoretické dokončení modelu

Následující postup je čistě teoretický a nebyl vyzkoušen z důvodu uzavření škol během situace COVID-19.

2.10.1 Zapojení lavinové fotodiody

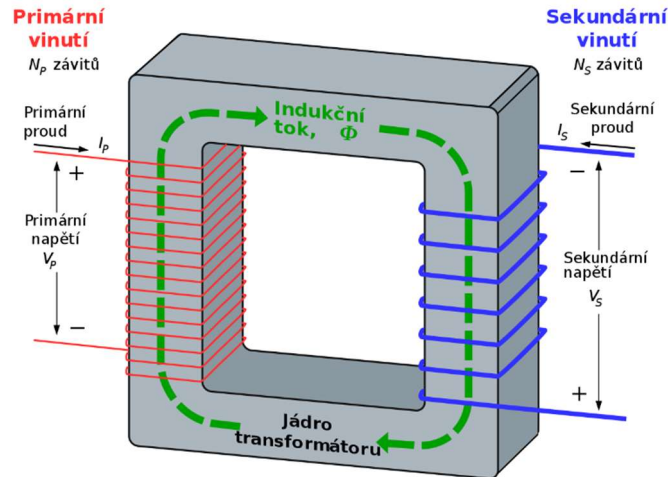
Lavinová fotodiody by nahradila fotosenzor OPT101. Zapojení by proběhlo stejným způsobem jako zapojení IR diody s rozdílem, že fotodiody obsahuje navíc ještě třetí anodu (společná anoda), která by zde nebyla použita. Pro potřebné vysoké napětí fotodiody by zde byl místo Arduino MEGA použit jiný zdroj napětí.

2.10.2 Transformátor

K získání větší hodnoty výstupního napětí generátoru signálu by stačilo zapojit transformátor mezi IR diodu a generátor. Zapojením transformátoru do obvodu by získaný signál nebyl zatížen základní deskou Arduino DUE a měl by přitom požadované výstupní napětí.

Transformátor slouží pro přeměnu střídavého (primárního) napětí na střídavé napětí jiné hodnoty (sekundární napětí). Primární a sekundární napětí nejsou propojené vodivě, ale galvanicky

(prostřednictvím elektromagnetické indukce). Nejjednodušší transformátor se skládá z primární a sekundární cívky, jež jsou navinuté na feromagnetickém jádru. Každá cívka je pak tvořena měděným drátem, který je na svém povrchu opatřen elektroizolačním lakem (Obr. 22). [30]



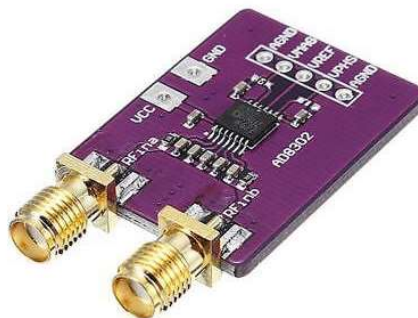
Obr. 22: Princip transformátoru [31]

Hodnota výstupního napětí je přitom určena poměrem otáček (počtem závitů) drátu mezi primární a sekundární cívkou. Jaký elektrický výkon může transformátor přenášet, vždy závisí na průřezu použitého měděného drátu v cívkách. [30]

2.10.3 Amplitudový zesilovač RF/IF AD8302

Jako fázovací článek by byl použit amplitudový zesilovač RF/IF AD8302, který by po správném zapojení do obvodu určil fázový posun vysílaného a přijímaného signálu.

Amplitudový zesilovač používá modul fázové detekce (Obr. 23). Čip AD8302 je využíván pro RF/IF (radio frequency / intermediate frequency) amplitudové a fázové měření monolitických obvodů. Může současně měřit poměr amplitudy a fázový rozdíl mezi dvěma vstupními signály. Parametry zesilovače uvedeny v tabulce 12. [32]



Obr. 23: Amplitudový zesilovač RF/IF AD8302 [32]

Typ:	Originál
Verze čipu:	AD8302
Pásmo:	LF-2.7 GHz
Výstupní proud:	8 mA
Poměr konverze:	25 V/ μ s
Přesnost měření fáze:	$< 1^\circ$
Napájení:	5 V (proud 20 mA)
Cena:	329,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 12: Parametry Amplitudového zesilovače RF/IF AD8302 [32]

2.10.4 Displej

Hodnota fázového posunu by byla zaznamenána základní deskou Arduino DUE. Následně by byl zapsán program podle vzorců (5) a (6) a výsledná hodnota délky by byla zobrazena na displeji.

Pro displej by byla použita součástka Arduino display modrý 16x2 znaků (Obr. 24). Parametry displeje uvedeny v tabulce 13. [33]



Obr. 24: Arduino display modrý 16x2 znaků [33]

Rozměry:	80 x 35 x 11 mm
Velikost informační plochy:	64.5 x 16 mm
Počet znaků:	16
Počet řádků:	2
Napájení:	5 V
Cena:	117,- Kč
Prodejce:	Arduino-shop

Tabulka 13: Parametry součástky Arduino display [33]

3 ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo sestavení modelu fázového dálkoměru prostřednictvím platformy Arduino. Pro sestavení modelu jsme se inspirovali fázovým dálkoměrem EOK 2000. Záměrem práce bylo sestavit dálkoměr, který na rozdíl od analogových komponentů dálkoměru EOK 2000 obsahuje digitální součástky, které jsou cenově dostupné a jednoduše naprogramovatelné. Digitální součástky byly vybrány tak, aby měly stejné funkce jako analogové komponenty dálkoměru EOK 2000.

Během práce se autor textu naučil pájet, prakticky si vyzkoušel zapojení složitějších obvodů pomocí návodů jednotlivých součástek, naučil se jednoduché programování jazyka Wiring, pochopil, jaké okolní vlivy mohou narušit signál, který se šíří vzduchem a jak moc mohou tyto vlivy ovlivnit přesnost zaznamenání signálu fotosenzorem.

Výsledkem práce je generovaný a modulovaný signál, který je přijímán fotosenzorem. Vysílaný signál je možné modifikovat úpravou kódu základní desky, ale je limitován šířkou pásma fotosenzoru a může dosahovat maximální frekvence 14 kHz. Pro dosažení maximální přesnosti je nutné izolovat fotosenzor od okolních rušivých vlivů. Zbýlé výsledky, včetně navýšení limitu frekvence až na 40 MHz, určení fázového posunu nebo zobrazení výsledné hodnoty vzdálenosti, byly probrány teoreticky a jsou obsaženy v práci.

Všechny cíle práce byly splněny z praktického či teoretického hlediska. Byly vybrány digitální součástky, které nahradili analogové komponenty fázového dálkoměru. Generovaný a modulovaný signál byl vysílán Arduino generátorem signálu za pomoci infračervené diody, paprsky se podařilo usměrnit po vložení diody místo okuláru dalekohledu a následně by byly odraženy od odrazného hranolu Leica. Tyto paprsky byly sbíhány spojnou čočkou do fotosenzoru, který je zaznamenal. Zbytek cílů byl vyřešen teoreticky z důvodu nemožného přístupu do areálu fakulty během situace COVID-19. Výstupní hodnota napětí generátoru by byla zvětšena pomocí transformátoru, odražený signál by byl zaznamenán lavinovou fotodiodou a z vysílaného a přijímaného signálu by Amplitudový zesilovač RF/IF AD8302 zjistil jejich fázový posun. Hodnota fázového posunu by byla zapsána do základní desky Arduino DUE a byla by vypočtena výsledná hodnota vzdálenosti, která by mohla být zobrazena na displeji.



SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JOECKEL, R, M STOBER a W HUEP. *Elektronische Entfernungs – und Richtungsmessung und ihre Integration in aktuelle Positionierungsverfahren*. 5. Berlín: Helbert Wichmann Verlag, 2008. ISBN 978-3-87907-443-3.
- [2] *Návod k obsluze: Světelný dálkoměr EOK 2000*. NDR: VEB Carl Zeiss Jena.
- [3] *Měřicí nástroje virtuálního muzea: Elektrooptické zařízení pro měření vzdálenosti EOK 2000* [online]. Německo [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <http://www.bau-popp.de/pages/carl-zeiss-jena/tachymeter/eok-2000.php>
- [4] *Wikipedie: Arduino* [online]. San Francisco [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [5] *Arduino: About Us* [online]. Ivrea [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>
- [6] *Arduino.cz: CO JE TO ARDUINO?* [online]. Ivrea [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino.cz/co-je-to-arduino/>
- [7] *Arduino-shop: Arduino nano V3.0 ATmega328 precizní klon* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/823-arduino-nano-v3.0-atmega328-precizni-klon.html>
- [8] *Arduino-shop: LED dioda červená 5mm* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/1031-led-dioda-cervena-5mm.html?gclid=CjwKCAjwte71BRBCEiwAU_V9h1f4d2q4Qphw4pngLrJeorS3G5RKFReiakbHe6QsbZjE57B644CKBoCpQAQAvD_BwE
- [9] *Arduino: Blink* [online]. Ivrea [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/tutorial/blink>
- [10] *Arduino-shop: Klon Arduino UNO R3 ATmega328P CH340 mini USB* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1353-klon-arduino-uno-r3-atmega328p-ch340-mini-usb.html>
- [11] *Arduino-shop: Arduino generátor signálu* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/895-arduino-generator-signalu.html?gclid=CjwKCAjwte71BRBCEiwAU_V9hwL8MkgquWm8O0Psh01UbCw4dahOPgaUFXxVT1abTEx-mH4gbi3NmBoCVUMQAvD_BwE
- [12] *GM electronic: Modul Digitální Osciloskop DS0138 200khz* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/hotovy-modul-digitalni-osciloskop-ds0138-200khz>
- [13] *Arduino-shop: Návod* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-generator-signalu-ad9850.html>
- [14] *Arduino-shop: Arduino DUE R3 SAM3X8E 32-bit ARM Cortex-M3* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1129-arduino-due-r3-sam3x8e-32-bit-arm-cortex-m3.html>
- [15] *TME: BC517 CDIL* [online]. Ostrava [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/bc517-cdi/transistory-darlington-npn-tht/cdil/bc517/>
- [16] BEŠTA, M. *SeStopkou: TRANZISTORY* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <http://sestopkou.eu/dilny/wp-content/uploads/2016/10/T1.5-Tranzistor.pdf>
- [17] *Arduino-shop: Světelný senzor TEMT6000* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1737-svetelny-senzor-temt6000.html>

- [18] *Arduino-shop: Návod* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/svetelny-senzor-temt6000.html>
- [19] *Banggood: 20ks OPT101 Senzor osvětlení snímače intenzity světla Monolitická fotodioda* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.banggood.com/cs/20pcs-OPT101-Illumination-Sensor-Light-Intensity-Sensor-Module-Monolithic-Photodiode-p-1607605.html?gpla=1&gmcCountry=CZ&cy=CZK&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=lijing&utm_campaign=ssc-cz-usw-all-0313&ad_id=425206122393&gclid=Cj0KCQjwzN71BRCOARIsAF8pjfj_rAfhLWDZpPQHsf_N-cN-MhbugPY1T3eC_SoOKmINy5GxZA0ooEaAoeEALw_wcB&cur_warehouse=CN
- [20] *AliExpress: Original OPT101 Analog Light Sensor Module Photosensitive Optical Light Intensity Detection Module Monolithic Photodiode* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32805193545.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.27424c4dxMf0dY>
- [21] *AliExpress: 100pcs 5mm Infrared IR LED 940nm Light Emitting Diode Lamp 20mA* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32371513701.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3e965880oz1x1o&s=p&ad_pvid=2020051304010515055536803560820017800570_2&algo_pvid=d504af8d-50ad-4607-b25d-cd6763faf2a2&algo_expid=d504af8d-50ad-4607-b25d-cd6763faf2a2-1&btsid=0ab6f83a15893676657043570e45e6&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_
- [22] *All about circuits: Opt101* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://forum.allaboutcircuits.com/threads/opt101.98154/>
- [23] *Arduino-shop: Klon Arduino MEGA CH340* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1313-eses-klon-arduino-mega-ch340.html>
- [24] *IGDM: Teodolit Meopta Th30 – 400g* [online]. Ostrava [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <http://www.igdm.cz/?product=teodolit-meopta-th30-400g>
- [25] *Gefos: 641617 - GPR121 Profesionální kompaktní hranol s držákem a cílovou deskou* [online]. Praha 8 - Libeň [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/e-shop/prislušenstvi-geodeticke/odrazne-hranoly-a-stitky/gpr121-profesionalni-kompaktni-hranol-s-drzakem-a-cilovou-deskou__641617
- [26] *Wikipedie: Lavinová fotodioda* [online]. San Francisco [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lavinov%C3%A1_fotodioda
- [27] *Amazon: 905nm Silicon 230um Avalanche Photodiode Peak Response @ 900nm with TO-46 Package* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Silicon-Avalanche-Photodiode-Response-Package/dp/B07DNMLYWY>
- [28] *AliExpress: 905nm Silicon 230um Avalanche Photodiode Peak response @ 900nm with TO-46 Package* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32836538468.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.648a4c4dGt9ZCf>
- [29] *Dlabos: 10 - Zenerova, tunelová a kapacitní dioda* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: http://dlabos.wz.cz/en/10-Zenerova,_lavinova_a_kapacitni_dioda.html
- [30] *Conrad: Vše, co byste měli vědět o transformátorech* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://blog.conrad.cz/vse-co-byste-meli-vedet-o-transformatorech/>
- [31] *Wikipedie: Transformátor* [online]. San Francisco [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A1tor>



- [32] *Arduino-shop: Amplitudový zesilovač RF/IF AD8302* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/2176-amplitudovy-zesilovac-rf-if-ad8302.html>
- [33] *Arduino-shop: Arduino display modrý 16x2 znaků* [online]. Havlíčkův Brod [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/836-arduino-display-modry-16x2-znaku.html?gclid=CjwKCAjw8J32BRBCEiwApQEKgdtMGEVDeb-tmtPSAqHdXdqrm59BDzFxfmoTAysX1Ts3ojHpYO3NhoCpfcQAvD_BwE



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma fázového dálkoměru	11
Obr. 2: EOK 2000	11
Obr. 3: Schéma modelu fázového dálkoměru na platformě Arduino	13
Obr. 4: Software Arduino IDE (a), numerický (b) a grafický (c) výstup Serial Monitoru	15
Obr. 5: Arduino Nano	15
Obr. 6: Příklad kódu Blink	17
Obr. 7: Arduino UNO	17
Obr. 8: Arduino generátor signálu	18
Obr. 9: Digitální osciloskop DS0138	19
Obr. 10: Schéma zapojení Arduino generátoru sinusového signálu	20
Obr. 11: Arduino DUE	21
Obr. 12: Zapojení tranzistoru typu NPN	22
Obr. 13: Kód pro zvýšení výstupního napětí generátoru	23
Obr. 14: TEMT6000	24
Obr. 15: OPT101	25
Obr. 16: IR LED	26
Obr. 17: Zapojení fotosenzoru OPT101	27
Obr. 18: Arduino MEGA	28
Obr. 19: Teodolit Meopta Th30	29
Obr. 20: Odrazný hranol Leica	29
Obr. 21: Lavinová fotodioda	30
Obr. 22: Princip transformátoru	32
Obr. 23: Amplitudový zesilovač RF/IF AD8302	32
Obr. 24: Arduino display modrý 16x2 znaků	33



SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Parametry dálkoměru EOK 2000.....	12
Tabulka 2: Parametry Arduino Nano	16
Tabulka 3: Parametry Arduino UNO	18
Tabulka 4: Parametry Arduino generátoru.....	18
Tabulka 5: Parametry osciloskopu DS0138.....	19
Tabulka 6: Parametry Arduino DUE.....	21
Tabulka 7: Parametry TEMT6000	24
Tabulka 8: Parametry OPT101.....	26
Tabulka 9: Parametry IR diody	26
Tabulka 10: Parametry Arduino MEGA	28
Tabulka 11: Parametry lavinové fotodiody.....	30
Tabulka 12: Parametry Amplitudového zesilovače RF/IF AD8302.....	33
Tabulka 13: Parametry součástky Arduino display	33