

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky



Hledačka skrytých vodičů

Diplomová práce

Autor:

Bc. Patrik Desenský

Vedoucí práce:

prof. Ing. Pavel Zahradník, CSc.

V Praze, 9. května 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací zpracoval samostatně s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenu. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze, dne 9. května 2014

.....
podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Pavlu Zahradníkovi, CSc., za jeho odborné vedení, vstřícnost, trpělivost a čas, který mi při tvorbě této práce věnoval.

V Praze, dne 9. května 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Desenský Patrik**

Studijní program:
Obor: Sítě elektronických komunikací

Název tématu: **Hledačka skrytých vodičů**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte funkční vzorek zobrazující hledačky skrytých vodičů. Uvažujete vzdálenost do 10cm. Intenzitu a tvar pole zobrazujte na grafickém displeji.

Seznam odborné literatury:

- [1] www.parallax.com
- [2] www.mathworks.com

Vedoucí: prof. Ing. Pavel Zahradník, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2014/2015



prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 20. 11. 2013

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací hledačky skrytých vodičů (dále jen hledačka) řízené mikroprocesorem. Cílem této práce bylo zkonstruovat zařízení schopné trasovat vedení skryté například pod omítkou a na displeji zobrazovat sklon a případné ohyby na aktuálně sledované části vedení. Pro řízení tohoto detektoru byl využit mikroprocesor Propeller P8X32A společnosti Parallax naprogramovaný pomocí jazyka Spin. Jako zobrazovací zařízení byl vybrán displej s VGA vstupem.

Klíčová slova: Hledačka skrytých vodičů, mikroprocesor, Propeller P8X32A, jazyk Spin, displej, VGA

Summary

This thesis describes the design and implementation of hidden wires finder controlled by microprocessor. The basic target of this work was to create the cable finder, which would be able to find wires for example under the plaster, and on the display shows slope and points of bending of actually monitored part of conduction. For control of this detector was used microprocessor Propeller P8X32A programmed in Spin Language. For displaying was chosen display with VGA input.

Index terms: Hidden wires finder, microprocessor, Propeller P8X32A, Spin language, display, VGA

Obsah

1	Úvod	8
2	Senzory	9
2.1	Detektory kovů	9
2.2	Snímače pole vyzářeného vodičem	9
2.3	Průběh signálu ze senzorů	9
3	Zpracování signálu	11
3.1	Demultiplexování	11
3.1.1	Výběr demultiplexerů	11
3.2	Impedanční oddělení	13
3.2.1	Sledovač napětí	13
3.3	Filtrování	14
3.3.1	Derivační článek	14
3.3.2	Integrační článek	15
3.3.3	Aplikace	15
3.4	Digitalizace signálu	17
3.4.1	Vzorkování	17
3.4.2	Kvantování	19
3.5	A/D převodník	20
3.5.1	Rozdělení převodníků podle způsobu převodu	20
3.5.2	Výběr A/D převodníků	21
3.6	Návrh DPS	22
4	Řízení a kalibrování	24
4.1	Mikroprocesor	24
4.1.1	Propeller P8X32A	24
4.1.2	Propeller Proto Board	26
4.2	Řízení	28
4.2.1	Demultiplexery	28
4.2.2	A/D převodníky	28
4.3	Kalibrace	29
4.3.1	Odstranění SS složky	29
4.3.2	Kalibrace výstupních hodnot	29
4.3.3	Adaptace na prostředí	31

5	Zobrazování	32
5.1	Matlab	32
5.2	Interpolace	34
5.2.1	Lineární interpolace	34
5.2.2	Kosinová interpolace	35
5.2.3	Kubická interpolace	36
5.2.4	Použití interpolace v hledačce	37
5.3	Rozhraní VGA	38
5.3.1	Vykreslování a časování	38
5.3.2	Propeller Video Generator	41
5.3.3	Modul pro VGA rozhraní	41
5.4	Korekce obrazu	44
5.4.1	Gamma korekce	44
5.4.2	Získaný obraz	45
6	Závěr	48

Úvod

Hledačů (trasovačů) elektrického vedení je na trhu velké množství, vzájemně se liší způsobem indikování skrytého vodiče, cenou, ale i kvalitou zpracování. Všechny tyto hledače však mají jednu společnou vlastnost, disponují jedním senzorem a na základě úrovně jeho signálu je indikována pouze přítomnost či nepřítomnost vodiče.

Cílem této diplomové práce je navrhnout hledačku skrytého vedení schopnou, na rozdíl od konvenčních zařízení, přítomnost vodiče ve stěně nejen indikovat pouhým pípnutím, případně rozsvícením LED, ale na displeji vyobrazit obrys určité oblasti vedení.

Zařízení bude sloužit k trasování skrytého vedení. Důvodem pro hledání skrytých vodičů může být například mapování elektrických rozvodů ve starém domě, nebo stavební úpravy při modernizování bydlení. V těchto případech mapování větší části vedení, než jednoho jediného bodu, práci značně urychlí a zjednoduší.

Text této práce je dělen do několika kapitol a podkapitol. V první části tato práce pojednává o možnostech indikace skrytých vodičů, dále je popsán způsob úpravy signálu ze senzorů a jeho následný převod do digitální podoby. Druhá polovina práce se zabývá především způsobem řízení jednotlivých bloků hledačky a následným vyhodnocováním signálu. V poslední části je popsán mechanismus zobrazování získaných dat na displeji a jejich grafické úpravy.

Senzory

Senzor, neboli snímač, je technické zařízení, které snímá určitou fyzikální veličinu a převádí ji na signál, který můžeme dále využít v měřících a vyhodnocovacích zařízeních. Hledačka skrytých vodičů tedy musí obsahovat senzory, které dokáží na určitou vzdálenost detekovat některou ze složek vyzařovaných vodičem. Možností jak získat informaci o přítomnosti vodiče je více, dvěma základními jsou detekce kovů a snímání pole vyzařovaného vodičem.

2.1 Detektory kovů

Detektor kovů je zařízení reagující na přiblížení kovového materiálu, z tohoto důvodu ho lze použít i pro detekci skrytého vedení. Nevýhodou použití detektoru kovů je, že detekuje nejen vodiče, ale i další kovy pod omítkou nebo v zemi, jako je například rozvod plynu nebo vody. Tyto detektory se nejčastěji používají pro hledání min, archeologické účely, nebo pro hledání cenných předmětů.

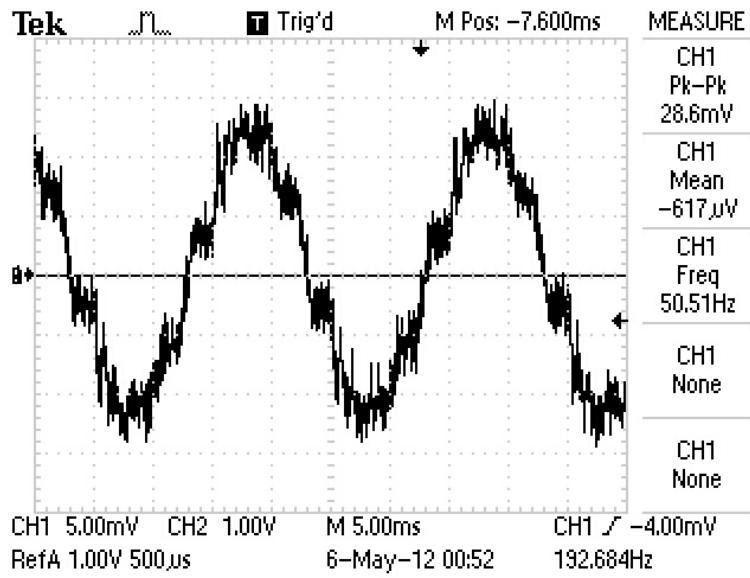
2.2 Snímače pole vyzářeného vodičem

Tyto snímače fungují jako velice citlivé nízkofrekvenční zesilovače. Mohou tak zesílit elektromagnetické pole vyzářené vodičem do okolí. Tento typ detektoru je možné použít jen na vedení, které je stále pod napětím. Vodič odpojený od sítě tyto senzory nedetekují, takovéto vedení však není nebezpečné a při jeho porušení nemůže dojít k úrazu.

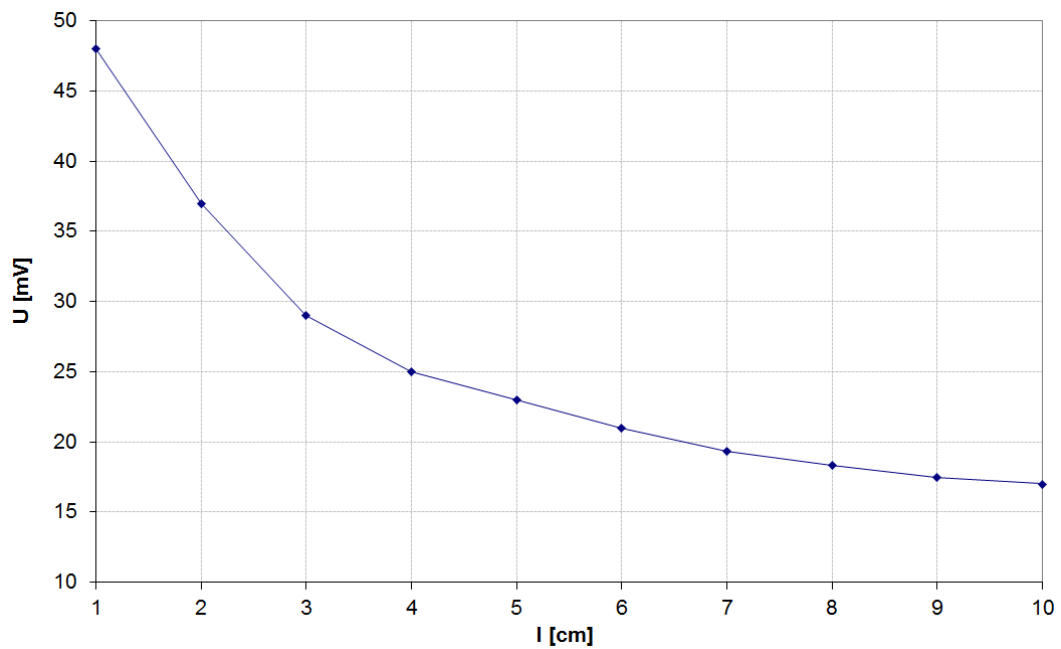
2.3 Průběh signálu ze sensorů

Použité senzory využívají elektromagnetického pole vyzářeného vodičem do okolí. Signál ze sensorů, který bude dále zpracováván, má sinusový průběh o frekvenci 50 Hz. Tento signál je vázán na stejnosměrnou složku napětí, která se v závislosti na senzoru pohybuje od 5,5 V do 6,5 V. Na obrázku 2.1 vidíme průběh signálu získaný ze senzoru při vzdálenosti vodiče přibližně 4 centimetry. Průběh signálu byl měřen na digitálním dvoukanálovém osciloskopu Tektronix TDS1001B.

Detekční vzdálenost sensorů je 15 centimetrů, do vzdálenosti 10 centimetrů je možné signál považovat za vhodný k dalšímu zpracování. Na obrázku 2.2 vidíme průběh napětí v závislosti na vzdálenosti vodiče od senzoru.



Obrázek 2.1: Průběh signálu při vzdálenosti vodiče 4 cm



Obrázek 2.2: Průběh napětí na senzoru v závislosti na vzdálenosti vodiče

Zpracování signálu

Zpracování signálu ze sensorů je prováděno samostatnou deskou plošných spojů, která mimo to také zajišťuje distribuci napájení pro jednotlivé senzory. Ze sensorů získáváme rušený signál. Úkolem tohoto bloku je získaný signál ze sensorů upravit tak, aby následná digitalizace a vyhodnocování mikroprocesorem byly co nejsnazší a nejpřesnější. V následujících podkapitolách si uvedeme způsob a důvod přípravy signálu na digitalizaci.

3.1 Demultiplexování

Demultiplexer je kombinační logický obvod, který má 2^n analogových vstupů, n řídicích vstupů a ve většině případů jeden výstup. Na výstup je pak přepínán jeden z analogových vstupů v závislosti na nastavení řídicích vstupů (viz Tabulka 3.1).

3.1.1 Výběr demultiplexerů

Při realizaci hledače byly použity osmivstupové demultiplexery MAX4051 v pouzdře DIP16. Tyto obvody mohou být napájeny nesymetrickým napětím od 2,7 do 16 V a na rozdíl od obvodů typu 74HC4051 podporují ovládání řídicích vstupů TTL/CMOS logikou (maximálně 0,8 V pro logickou „0“ a minimálně 2,4 V pro logickou „1“). Toto bylo nutnou podmínkou pro použití procesoru Propeller P8X32A, který na svých výstupních pinech generuje 3,3 V pro logickou „1“. Toto napětí by pro nastavení logické „1“ obvodu 74HC4051 při napájení 9 V nebylo dostatečné.

INH	ADDC	ADDB	ADDA	Kanál na výstupu
0	0	0	0	N00
0	0	0	1	N01
0	0	1	0	N02
0	0	1	1	N03
0	1	0	0	N04
0	1	0	1	N05
0	1	1	0	N06
0	1	1	1	N07
1	X	X	X	všechny vypnuty

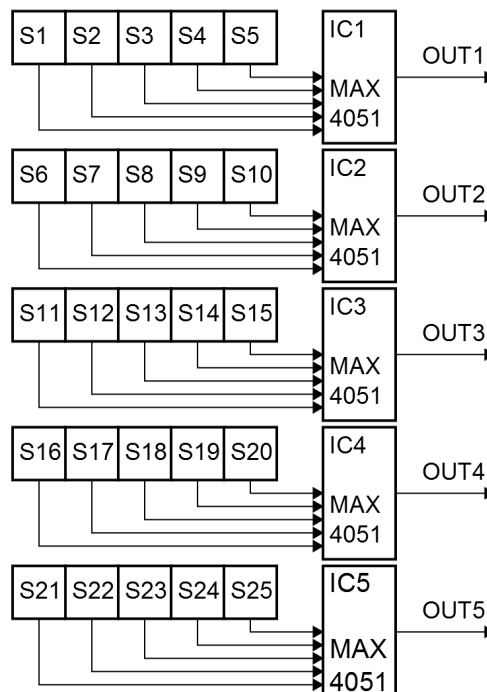
Tabulka 3.1: Pravdivostní tabulka

V pravdivostní tabulce 3.1 vidíme, jakým způsobem je nutné ovládat řídicí vstupy demultiplexeru, tak abychom na výstup přiřadili námi požadovaný vstupní signál. Pokud na vstup INH přivedeme logickou „1“, na ostatních řídicích vstupech již nezáleží a demultiplexer se dostává do stavu vysoké impedance, kdy se na výstupu neobjeví žádný signál.

Na obrázku 3.1 je blokově znázorněn způsob zapojení demultiplexerů. Demultiplexování bylo nutné z důvodu nízké frekvence vyhodnocovaného signálu. Abychom mohli s jistotou určit hodnotu napětí špička - špička sinusového signálu, musíme sledovat minimálně jednu celou periodu tohoto signálu T_s . Pro větší stabilitu a přesnost naměřených hodnot jsou však vzorkovány dvě periody signálu.

$$\begin{aligned} f_s &= 50 \text{ Hz}, \\ T_s &= \frac{1}{f_s}, \\ T_s &= 20 \text{ ms}. \end{aligned} \tag{3.1}$$

Každý senzor je tedy sledován 40 ms, při počtu 25 senzorů by tak v ideálním případě byla doba obnovení obrazu 1000 ms, což je vzhledem k dalšímu zpracovávání dat nepříjemně dlouhá doba. Řešením je rozdělení matice senzorů do pěti paralelních větví, které budou vyhodnocovány současně. Tímto řešením se teoretická délka načítání dat ze senzorů sníží na 200 ms.



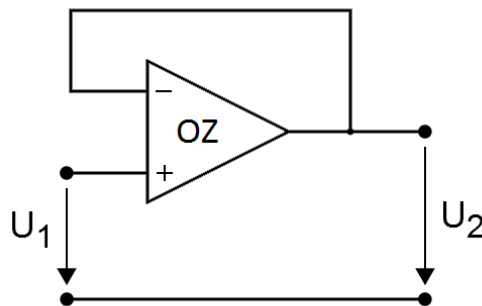
Obrázek 3.1: Blokové zapojení demultiplexerů

3.2 Impedanční oddělení

Impedanční oddělení se provádí tam, kde je nutné vysokoimpedanční výstup přizpůsobit na nízkoimpedanční. Vzhledem k tomu, že výstupní impedance senzorů je v řádu jednotek kiloohmů a vstupní impedance vybraného převodníku je v použitém režimu pouze $26,7 \text{ k}\Omega$, bylo nutné do řetězce před A/D převodník zařadit obvod, který zajistí impedanční oddělení senzorů od převodníku. V jiném případě by výstupy senzorů byly převodníkem neúměrně zatěžovány a jejich výstupní signál by tak mohl být zkreslen.

3.2.1 Sledovač napětí

Nejjednodušším impedančním oddělovačem je napěťový sledovač s operačním zesilovačem, viz zapojení na následujícím obrázku. Pro sledovač napětí byl vybrán operační zesilovač TLC271 v pouzdře DIP8. Tento OZ byl zvolen především kvůli možnosti použití nesymetrického napájení, což je pro hledačku výhodné vzhledem k plánovanému použití bateriového napájení. Obvod TLC271 využívá *LinCMOSTM* technologii od společnosti Texas Instruments. Může být napájen stejnosměrným napětím v rozsahu 3 - 16 V, vyznačuje se nízkým šumem (25 nV/Hz), možností nastavení zkreslení a vysokou vstupní impedancí (typicky $10^{12} \Omega$). Součástí jeho vnitřního zapojení je také ochrana proti elektrostatickému výboji (ESD). Na obrázku 3.2 je znázorněno zapojení nejjednoduššího sledovače napětí, které bylo použito v hledačce.



Obrázek 3.2: Sledovač napětí

3.3 Filtrování

Signál, který získáme ze senzorů, je rušen různými okolními vlivy. Tento šum, který je na vyšších frekvencích než signál užitečný, je nutné před číslicovým vyhodnocením odstranit. Pokud bychom tento šum neodstranili, byla by do vyhodnocování vnesena chyba, závislá na vlastnostech okolního prostředí. K tomuto účelu se používají tzv. korekční obvody (filtry), čímž rozumíme v nejjednodušším případě spojení několika pasivních součástek (odpor, cívka, kondenzátor), které určitým způsobem ovlivňují kmitočtovou charakteristiku signálu. Pro naše použití bude stačit nejjednodušší korekční obvod složený pouze ze dvou součástek (odpor a kondenzátor, nebo odpor a cívka).

3.3.1 Derivační článek

Tento druh korekčního obvodu má kmitočtovou charakteristiku hornopustního filtru, nízké frekvence tedy tlumí a vysoké propouští. Do mezního kmitočtu f_m (určuje místo, kde má zisk hodnotu -3 dB) stoupá přenos o 20 db/dekádu, za tímto kmitočtem se zisk již prakticky nezvyšuje.

Mezní kmitočet:

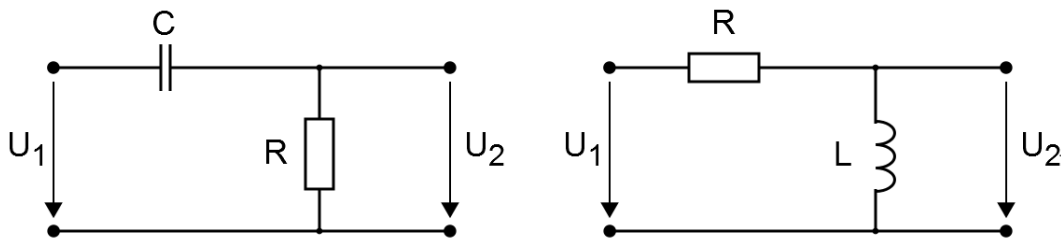
$$f_m = \frac{1}{2\pi K_d}. \quad (3.2)$$

Přenos derivačního článku:

$$F(j\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{j\omega K_d}{1 + j\omega K_d}, \quad (3.3)$$

kde K_d je derivační konstanta, kterou lze spočítat pro článek CR ze vztahu $K_d = RC$ a pro článek RL ze vztahu $K_d = \frac{L}{R}$.

Schémata zapojení jednoduchého derivačního článku:



Obrázek 3.3: Derivační článek CR a RL

3.3.2 Integrační člunek

Kmitočtová charakteristika integračního člunku má naopak charakter dolní propusti. Stejnsměrný signál a nízké frekvence propouští dobře, vysoké zadržuje. Rozhodující je opět mezní kmitočet f_m . V tomto případě však kmitočtová charakteristika zůstává takřka neměnná od stejnosměrného signálu až do mezního kmitočtu a dále klesá se strmostí 20 dB/dekádu.

Mezní kmitočet se spočítá ze vztahu:

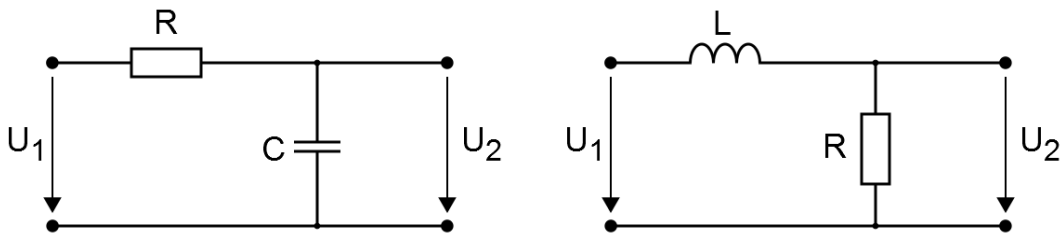
$$f_m = \frac{1}{2\pi K_i}, \quad (3.4)$$

kde K_i je integrační konstanta, pro RC člen platí $K_i = RC$ a pro LR člen $K_i = \frac{L}{R}$.

Přenos integračního člunku vypočteme ze vztahu:

$$F(j\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 + j\omega K_i}. \quad (3.5)$$

Schémata zapojení jednoduchého integračního člunku:



Obrázek 3.4: Integrační člunek RC a LR

3.3.3 Aplikace

Pro odstranění šumu na vyšších frekvencích byl v hledačce použit integrační RC člunek o mezní frekvenci 60 Hz.

Výpočet integrační konstanty:

$$\begin{aligned} f_m &= 60 \text{ Hz}, \\ f_m &= \frac{1}{2\pi K_i}, \\ K_i &= \frac{1}{2\pi f_m}, \\ K_i &= \frac{1}{120\pi}, \\ K_i &= 2,653 \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

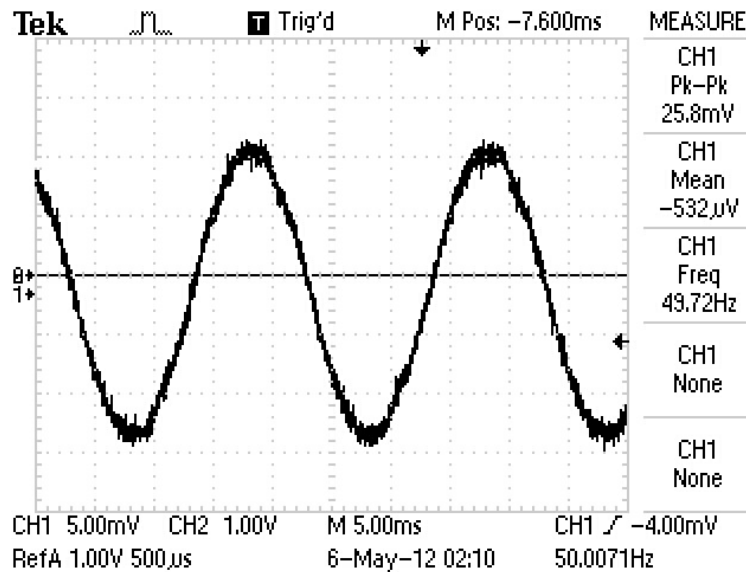
Po vypočtení integrační konstanty je nutné jeden ze dvou prvků zvolit, druhý člen je pak dopočten z následujících rovnic. Velikost kondenzátoru byla zvolena $1 \mu F$.

Výpočet hodnoty rezistoru RC členu:

$$\begin{aligned}
 C &= 1 \mu F, \\
 K_i &= RC, \\
 R &= \frac{K_i}{C}, \\
 R &= \frac{2,653 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}}, \\
 R &= 2653 \Omega.
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Z řady E12 byl zvolen odpor o hodnotě $2,7 k\Omega$.

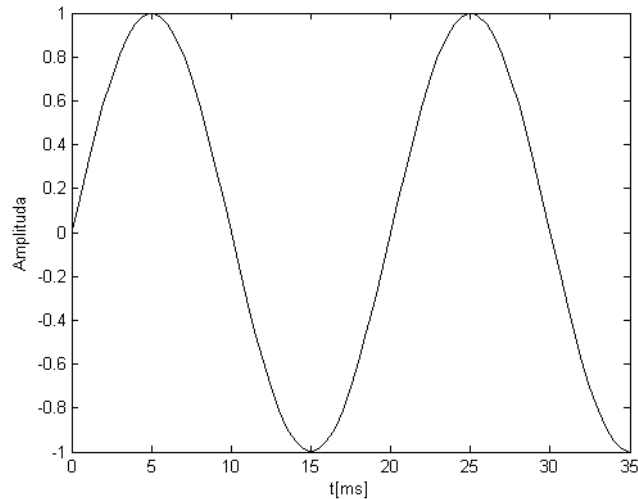
Hodnoty součástek RC členu tedy jsou $R = 2,7 k\Omega$ a $C = 1 \mu F$. Po průchodu tímto RC členem má signál ze senzoru (Obrázek 3.5) takřka sinusový tvar nenarušený vyššími harmonickými.



Obrázek 3.5: Průběh signálu při vzdálenosti vodiče 4 cm (vyhlazený)

3.4 Digitalizace signálu

Ze senzorů získáváme spojitý (analogový) signál. Ten můžeme definovat jako proměnnou veličinu s nekonečným oborem hodnot a nekonečně velkým časovým rozlišením. Zpracování takového množství informací je velice obtížné, proto pro potřeby vyhodnocení a dalšího zpracování je nutné tento analogový signál převést do digitální podoby, se kterou již můžeme lépe pracovat. Tento převod probíhá ve dvou krocích, kterými jsou vzorkování a kvantování.

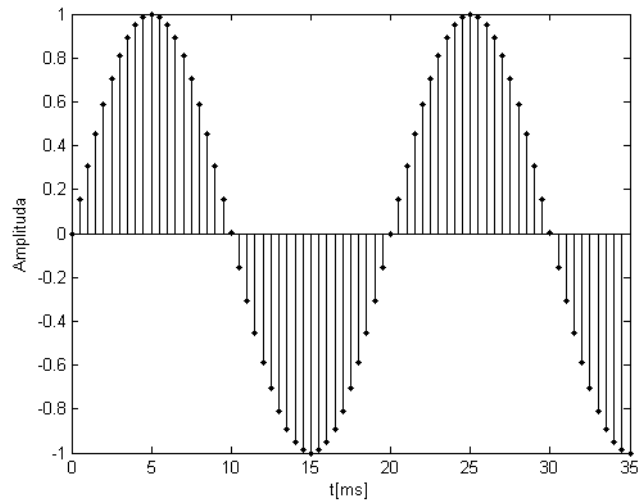


Obrázek 3.6: Spojitý signál

3.4.1 Vzorkování

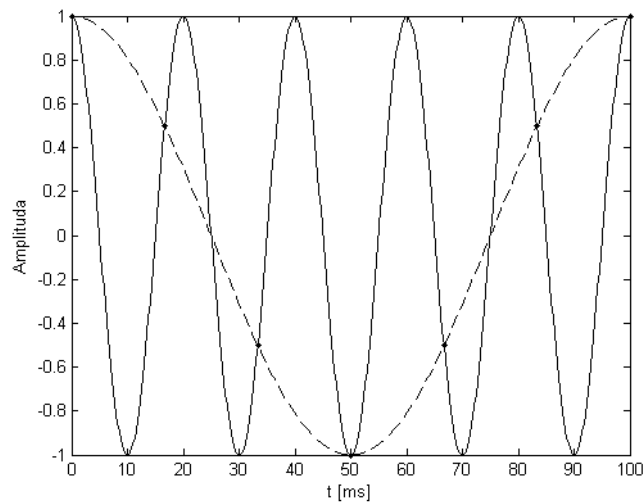
Vzorkování je proces, při kterém periodicky zaznamenáváme po uplynutí zvoleného časového intervalu T_v okamžitou hodnotu měřeného signálu (Obrázek 3.7). Vzorkovací frekvence f_v udává počet vzorků, které jsou odebrány za jednu sekundu a je možné spočítat ji ze vztahu:

$$f_v = \frac{1}{T_v}. \quad (3.8)$$



Obrázek 3.7: Vzorkovaný signál

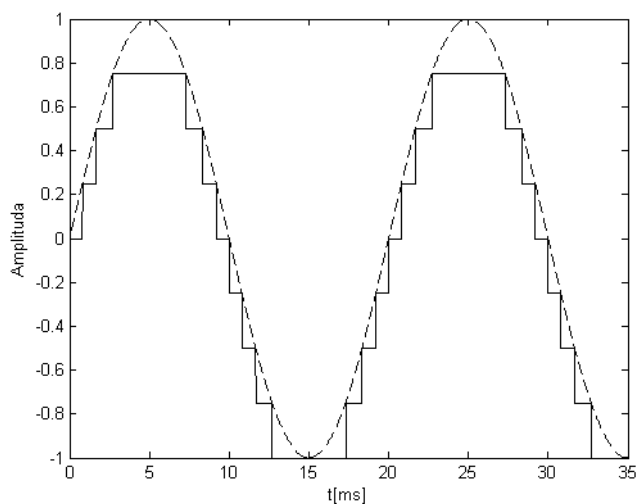
Základní poučkou pro vzorkování je vzorkovací teorém, též Nyquistův teorém, který udává vztah mezi maximální frekvencí signálu a vzorkovací frekvencí obvodu. Signál před průchodem vzorkovacím obvodem nesmí obsahovat vyšší frekvence než $\frac{f_v}{2}$, pokud tato podmínka není splněna, dochází k překrytí frekvenčních spekter, tzv. aliasingu (Obrázek 3.8). Informace o frekvenci původního signálu je ztracena a ten nelze ze vzorkovaného rekonstruovat. Jako ochrana proti aliasingu se používají tzv. antialiasingové filtry, které odstraní frekvence vyšší než $\frac{f_v}{2}$ a tím zajistí, aby vzorkovaný signál nebyl ovlivněn aliasingem.



Obrázek 3.8: Aliasing

3.4.2 Kvantování

Kvantování je proces, při kterém diskretizujeme obor hodnot signálu (zakrouhlováním nebo ořezáváním). Nejmenší možný skok kvantovaného signálu nazýváme kvantizační krok. Při kvantování tedy dochází k nevratné ztrátě informace. Rozlišovací schopnost změny okamžité hodnoty vstupního signálu se nazývá kvantizační chyba a je rovna $\pm \frac{1}{2} LSB$ (nejméně významný bit). Na obrázku 3.9 máme kvantovaný spojitý sinusový signál, kde bylo použito 8 kvantizačních kroků. Následně by každé úrovni bylo přiděleno 3 bitové binární číslo reprezentující danou hladinu.



Obrázek 3.9: Kvantovaný signál

3.5 A/D převodník

A/D převodník, nebo také ADC (Analog to digital converter), je zařízení, které realizuje digitalizaci signálu popsanou výše. Způsobů, jak lze převod analogového signálu na číslicový provést, je více. Několik základních provedení A/D převodníků si popíšeme.

3.5.1 Rozdělení převodníků podle způsobu převodu

Paralelní převodníky

Tyto převodníky používají přímý typ převodu. Referenční napětí se rozdělí na odporovém děliči na 2^N částí, kde N udává bitové rozlišení převodníku. Tato referenční napětí jsou následně porovnávána v napěťových komparátorech se vstupním signálem a vyhodnocována. Tento typ převodníků patří mezi nejrychlejší (vzorkovací kmitočet až v GHz), nevýhodou je větší plocha čipu při vyšším bitovém rozlišení a vysoká spotřeba.

Převodníky s postupnou aproximací

Princip tohoto typu převodníku spočívá v metodě půlení intervalů a následném zjištění, ve které části se měřený signál nachází. Při každém dalším rozpůlení intervalu získáme další bit. Tímto způsobem postupujeme dokud není určena nejbližší hodnota měřeného signálu. Tento typ převodníku je v dnešní době jedním z nejpoužívanějších, jeho výhodou je jednoduchá konstrukce, nevýhodou nestejná doba převodu.

Převodníky $\Sigma\Delta$

Převodníky typu $\Sigma\Delta$ (sigma-delta) jsou moderní převodníky s poměrně jednoduchým hardware, který se skládá ze $\Sigma\Delta$ modulátoru a číslicového filtru. O to více je složitý ovládací software těchto převodníků, fungující jako signálový procesor. Hardware pracuje na principu vyrovnání náboje se vzorkovanou zpětnou vazbou. Výhodou těchto převodníků je vysoká rozlišovací schopnost (až 24 bitů), nevýhodou je nižší rychlost převodu.

Integrační převodníky s dvoutaktní integrací

U převodníků s dvoutaktní integrací probíhá nepřímá konverze, nejprve je signál transformován na časový údaj, který je následně převeden na číslicovou hodnotu. Základním obvodem je integrátor, na který je přiveden analogový signál na dobu t , poté je na tento integrátor přivedeno referenční napětí opačné polarity. Komparátor určí, kdy je napětí na výstupu integrátoru rovno nule a z těchto časových údajů je vyhodnoceno digitální číslo. Integrační převodníky s dvoutaktní integrací jsou velice přesné, jejich nevýhodou je však délka převodu.

3.5.2 Výběr A/D převodníků

Signál získaný ze senzorů je vázán na stejnosměrnou složku napětí o velikosti 5,5 - 6,5 V, důležitým faktorem pro výběr převodníků tedy byl vstupní rozsah minimálně 9 V. Z tohoto parametru vyplynul další požadavek a tím byla bitová hloubka převodníků. Vzhledem k tomu, že užitečná informace získávaná ze senzorů je v řádech jednotek až desítek milivoltů, bylo nutné pro dostatečnou přesnost použít nejméně 16 bitové převodníky, které by zajistily při vstupním rozsahu 9 V rozlišení 0,137 milivoltu na bit. Dalším důležitým faktorem pak byla dostatečná vzorkovací frekvence. Zpracovávaný signál ze senzorů má nosnou frekvenci 50 Hz, pomocí mikroprocesoru je nutné detekovat v každé periodě získaného signálu jeho maximální a minimální hodnotu. Z tohoto důvodu je nutné, aby vzorkovací frekvence převodníků byla nejméně 10 KSPS. Tato vzorkovací frekvence zaručí určení minimálního a maximálního napětí vzorku signálu s dostatečnou přesností. Další nutnou funkcí převodníků je provoz na nesymetrické napájení. Vzhledem k tomu, že v žádném jiném bloku není symetrické napájecí napětí nutné, nebylo v hledačce navrženo.

Podle požadovaných parametrů byl vybrán převodník ADS7813 společnosti Texas Instruments, který splňuje všechny potřebné požadavky. Jedná se o 16 bitový převodník s převodem typu SAR (převodník s postupnou aproximací). Napájen může být nesymetrickým stejnosměrným napětím 5 V, což plně vyhovuje aplikaci v hledačce. Vstupní rozsah tohoto převodníku může být nastavován nezávisle na napájecím napětí v několika režimech, viz tabulka na obrázku 3.10. Vzorkovací frekvence tohoto převodníku je 40 KSPS. Další výhodou je kompatibilita s jednoduchou SPI sběrnicí.

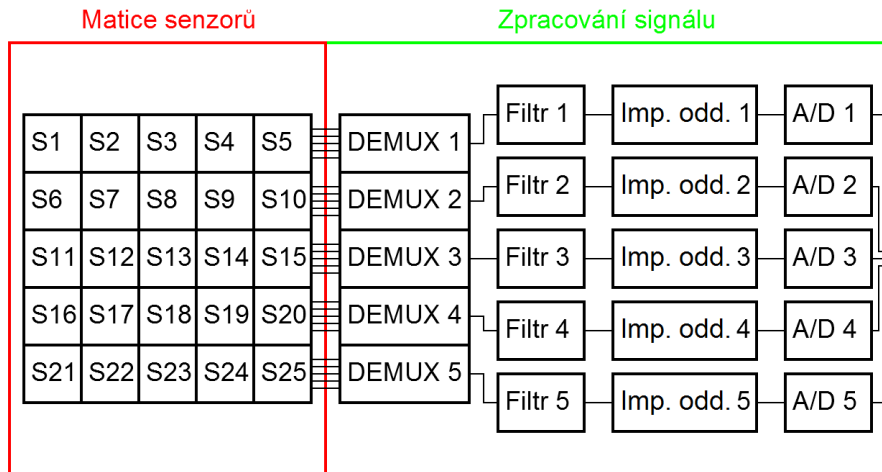
ANALOG INPUT RANGE (V)	CONNECT R1 _{IN} TO	CONNECT R2 _{IN} TO	CONNECT R3 _{IN} TO	INPUT IMPEDANCE (k Ω)
$\pm 10V$	V _{IN}	BUF	GND	45.7
0.3125V to 2.8125V	V _{IN}	V _{IN}	V _{IN}	> 10,000
$\pm 5V$	GND	BUF	V _{IN}	26.7
0V to 10V	BUF	GND	V _{IN}	26.7
0V to 4V	BUF	V _{IN}	GND	21.3
$\pm 3.33V$	V _{IN}	BUF	V _{IN}	21.3
0.5V to 4.5V	GND	V _{IN}	GND	21.3

Obrázek 3.10: Nastavení vstupního rozsahu převodníku ADS7813 [8]

Pro realizaci hledače byl použit čip v pouzdře DIP16, rozsah vstupních hodnot byl nastaven na 0 - 10 V dle tabulky. Při rozsahu 10 V lze snadno vypočíst citlivost použitého zapojení, která činí 0,153 milivoltu na bit.

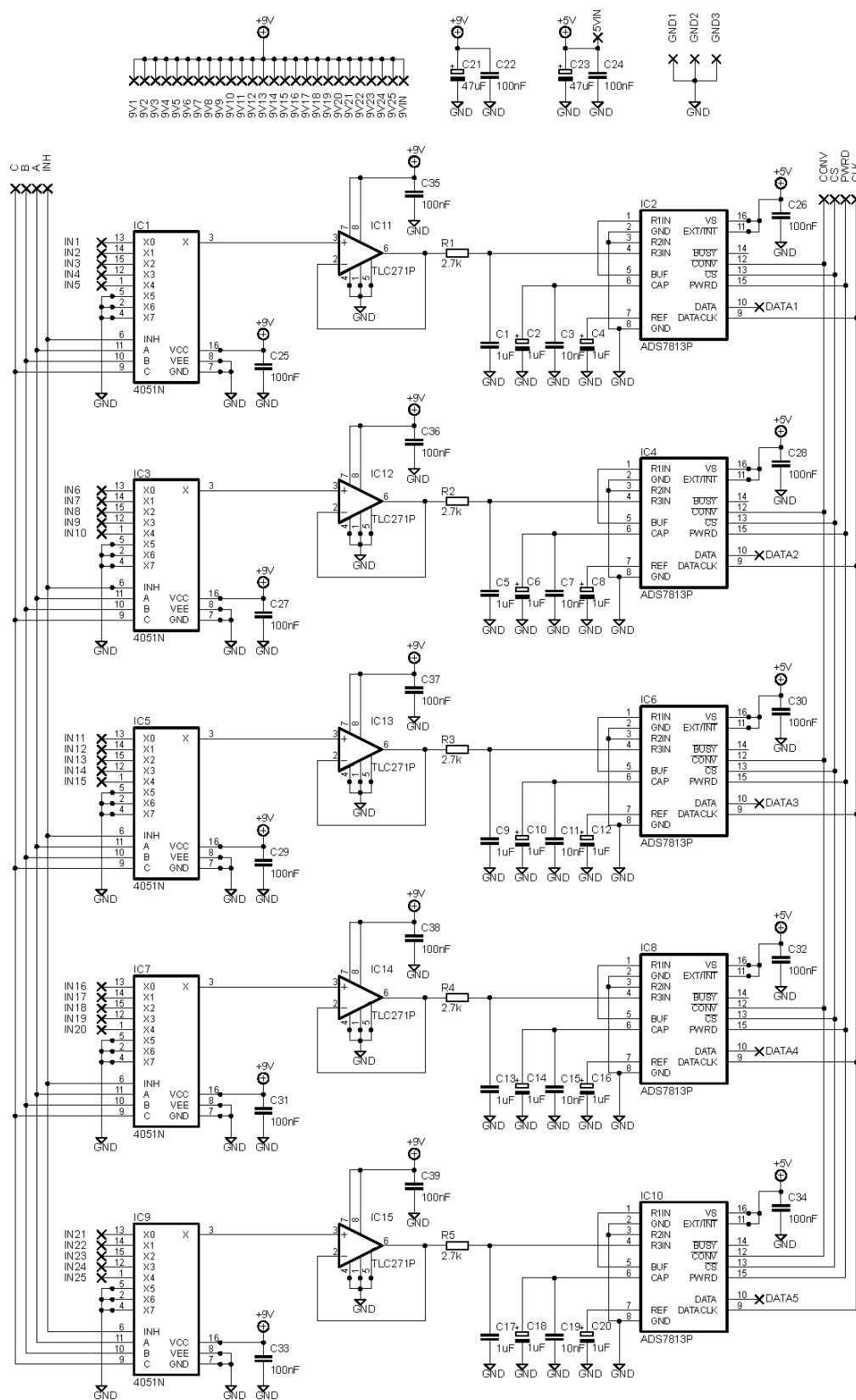
3.6 Návrh DPS

Deska na zpracování signálu ze senzorů byla navržena v návrhovém prostředí Eagle společnosti CadSoft. Na následujícím obrázku je blokově znázorněno připojení desky na matici senzorů. Jak již bylo zmíněno výše, zpracování signálu ze senzorů probíhá v pěti paralelních větvích tak, aby bylo možné minimalizovat dobu potřebnou pro vyčtení dat ze senzorů.



Obrázek 3.11: Blokové schéma matice senzorů a desky pro zpracování signálu

DPS na zpracování signálu ze senzorů byla navržena a realizována již v rámci méj bakalářské práce. Při vytváření obslužného software se však projevil původní návrh jako neoptimální a bylo tedy nutné desku plošných spojů znovu navrhout, za použití výše popsaných principů. Použitý způsob zpracování signálu je v porovnání s předešlým návrhem schopný rychleji dodávat potřebná data procesoru ke zpracování. Na obrázku 3.12 je znázorněno schéma zapojení DPS.



Obrázek 3.12: Schéma zapojení desky na zpracování signálu ze senzorů

Řízení a kalibrování

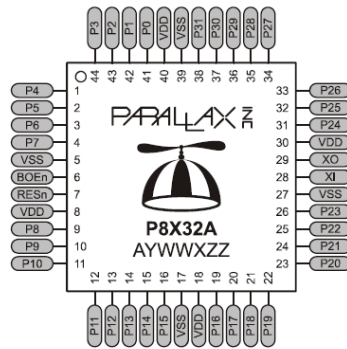
4.1 Mikroprocesor

Mikroprocesor je miniaturní elektronické programovatelné zařízení. Mikroprocesory dnes nacházejí široké uplatnění v jednoúčelových aplikacích. Používají se snad ve všech odvětvích průmyslu, ale i v běžném životě každého z nás (mikrovlákná trouba, inteligentní lednice, digitální hodiny, kalkulačka, atd.). Mikroprocesor je řídicí jednotka, která se chová podle zadaného programu. Ke své funkci potřebuje mikroprocesor určité periferie, jako je například paměť programu, paměť dat, vstupní a výstupní obvody. Integrovaním těchto částí na jediný čip vznikne integrovaný jednočipový mikropočítač.

4.1.1 Propeller P8X32A

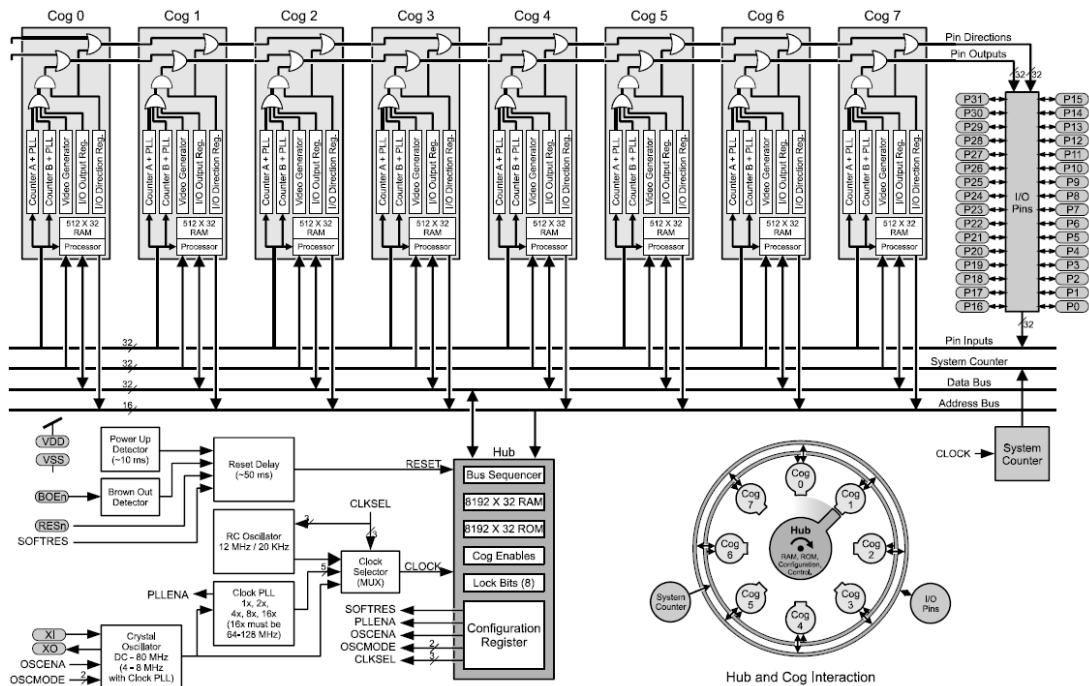
Hledačka je realizována za použití mikroprocesoru Propeller společnosti Parallax Inc. Propeller P8X32A (obrázek 4.1) je osmijádrový 32 bitový mikroprocesor určený k vysokorychlostnímu zpracování dat pro vestavěné systémy při zachování nízké spotřeby proudu. Propeller poskytuje vysokou flexibilitu prostřednictvím svých osmi jader, nazývaných „cogs“ (zuby ozubeného soukolí), díky kterým lze provádět úkoly současně zcela nezávisle na sobě, nebo ve vzájemné spolupráci. K dispozici jsou dva programovací jazyky vyvinuté přímo pro čip Propeller. Jedná se o objektově založený programovací jazyk Spin a jazyk symbolických instrukcí Propeller Assembly [9].

Napájecí napětí mikroprocesoru je 3,3 V, jeho vnitřní oscilátor může fungovat na frekvenci 12 MHz, nebo 20 kHz. Mikroprocesor má celkem 64 kB vlastní paměti, z čehož je 32 kB paměti RAM a 32 kB paměti ROM a disponuje 32 I/O piny. Každý z osmi cogů má přiřazené 2 kB vlastní paměti RAM, čítače a registry, tak aby mohl pracovat zcela nezávisle na ostatních jádrech. Časování je pro všechny jádra společné.



Obrázek 4.1: Rozložení pinů Propeller P8X32A-M44 [9]

Z blokového schématu (obrázek 4.2) vidíme, že cogy jsou uspořádány do kruhové sběrnice. Díky osmijádrovému provedení je programování asynchronních událostí jednodušší než u mikroprocesorů, které používají přerušování. Stačí individuálně přiřadit danému ději některý volný cog. Zbytek procesoru tak zůstane nezatížený a připravený pro další použití. Výsledkem jsou spolehlivější aplikace jednodušší na údržbu.

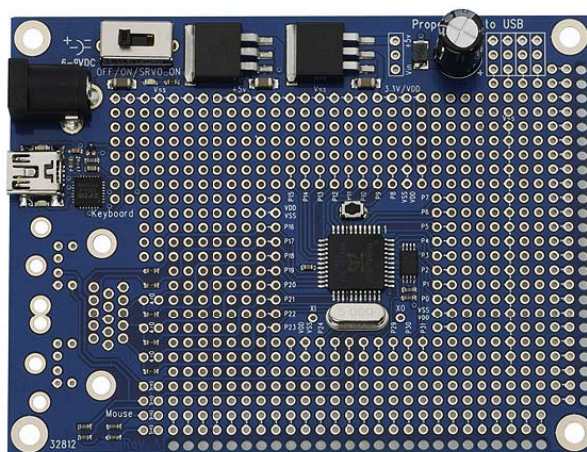


Obrázek 4.2: Blokové schéma Propeller P8X32A [9]

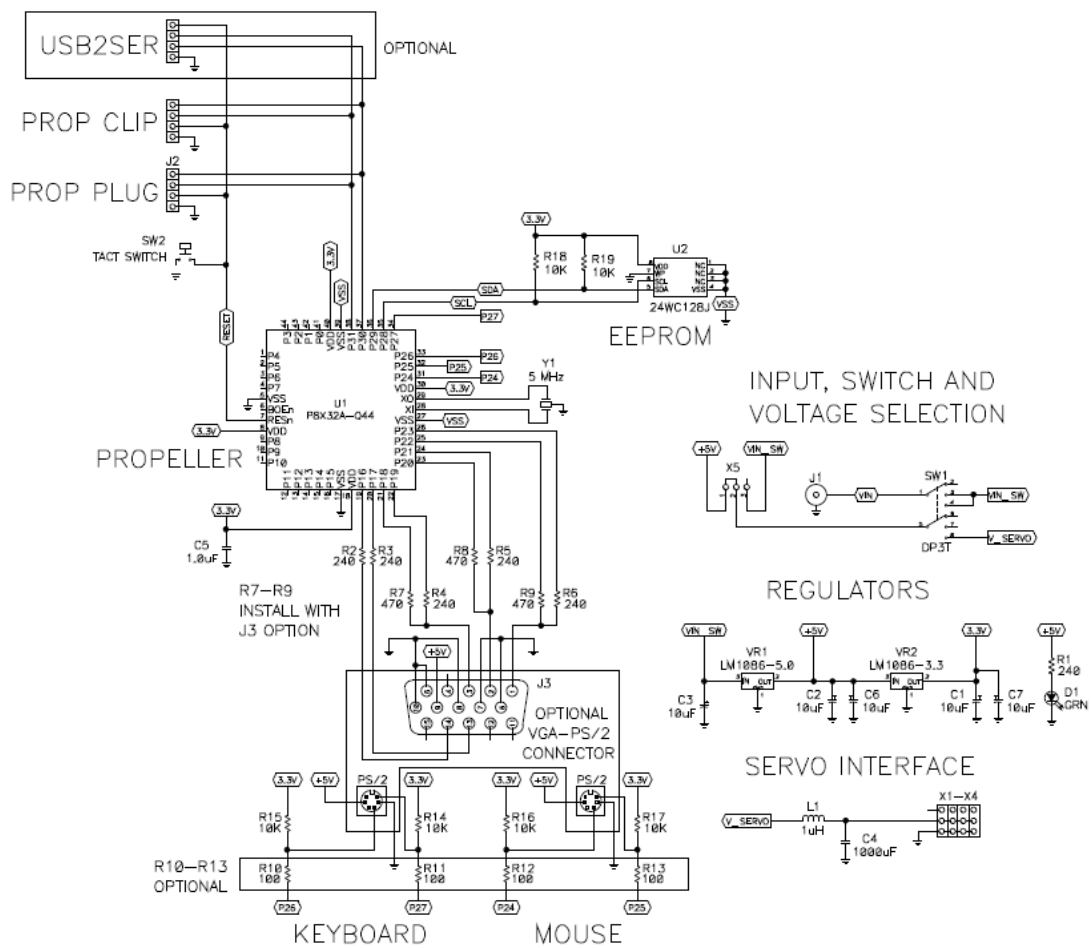
4.1.2 Propeller Proto Board

Při programování mikroprocesoru byl použit vývojový kit Propeller Proto Board (Obrázek 4.3), společnosti Parallax. Tento vývojový kit je osazen čipem P8X32A-Q44, USB rozhraním, externí paměť EEPROM o velikosti 64 kB pro ukládání a sdílení dat, 5 a 3,3 V stabilizátory napětí a vyměnitelným krystalem o frekvenci 5 MHz. Propeller Proto Board je připraven na použití dalšího příslušenství z portfolia Parallaxu, jako je například VGA modul s rozhraním pro myš a klávesnici. Propeller Proto Board umožňuje přístup ke všem 32 programovatelným I/O pinům a nabízí sloty pro 4 serva, napájen může být stejnosměrným napětím v rozsahu 6 - 9 V.

Výrobce podporuje použití produktů Propeller svým projektem, tzv. „Propeller Object Exchange“, kde je volně k dispozici ke stažení velké množství driverů a aplikací naprogramovaných právě pro mikroprocesor Propeller v jazyku Spin. Tyto zdrojové kódy dobře slouží jako výuková průprava pro používání programovacího jazyka Spin.



Obrázek 4.3: Propeller Proto Board [10]



Obrázek 4.4: Schématické zapojení Propeller Proto Board [10]

4.2 Řízení

Prvním krokem, který bylo nutné při programování software obsluhujícím hledačku vyřešit, bylo ovládání řídicích vstupů demultiplexerů a A/D převodníků. Teprve tento krok zajistí relevantní data, která budou dále upravována.

4.2.1 Demultiplexery

Deska plošných spojů zpracovávající signál ze senzorů byla navržena tak, aby bylo možné řídit všechny demultiplexery současně. Toto řešení zajišťuje velkou úsporu volných pinů mikroprocesoru. Pokud by bylo nutné každý demultiplexer řídit samostatně, tak by pouhé řízení demultiplexerů obsadilo většinu volných pinů mikroprocesoru, což bylo z hlediska nutnosti řízení mnoha dalších prvků nepřijatelné. Sjednocení řízení demultiplexerů snížilo počet potřebných pinů mikroprocesoru na pouhé 4. Na demultiplexerech jsou tak v každém cyklu běhu programu nastavovány jejich adresní vstupy společně a to dle tabulky 3.1.

4.2.2 A/D převodníky

Stejně jako u demultiplexerů i řízení všech pěti A/D převodníků probíhá souběžně. Díky použití osmijádrového procesoru je všech 5 větví signálu vyhodnocováno zároveň. Ovládání ADS7813 si vyžádalo oddělený driver, který se stará o inicializaci A/D převodu a následné načítání získaných hodnot, to vše probíhá s vysokou obnovovací frekvencí. Z tohoto důvodu byl ovladač pro převodníky napsán v PASM (Propeller Assembly Language). Tento jazyk je v mnoha ohledech velice podobný klasickému assembleru, který známe z jazyka C, avšak jeho sada příkazů a struktura byla vytvořena přímo pro procesory Propeller a navazuje na programovací jazyk Spin. Jeho hlavní výhodou oproti vyššímu jazyku Spin je především jeho rychlost.

Ovladač byl navržen tak, aby u každého z 25 senzorů (vzorkování probíhá vždy na 5 senzorech současně) bylo odebráno 800 vzorků v časovém intervalu 40 ms, což při frekvenci 50 Hz signálu získávaného ze senzorů zaručuje, že vzorkování proběhne vždy na dvou celých periodách signálu s hustotou vzorkování 400 vzorků na periodu. Tato vzorkovací frekvence již zaručí dostatečně jemné rozlišení při následném zpracování.

4.3 Kalibrace

Dalším krokem, který bylo nutné provést, abychom získali z hledačky relevantní data, byla její kalibrace. Kalibrací senzorů byla zajištěna možnost použití hledačky v různých prostředích a za různých pracovních podmínek, vždy s kvalitním a realitě odpovídajícím výstupem. Pokud by kalibrace senzorů nebyla provedena, získali bychom soubor dat, ze kterého by nebylo možné vytěžit potřebnou informaci o uložení vodiče skrytého například ve stěně.

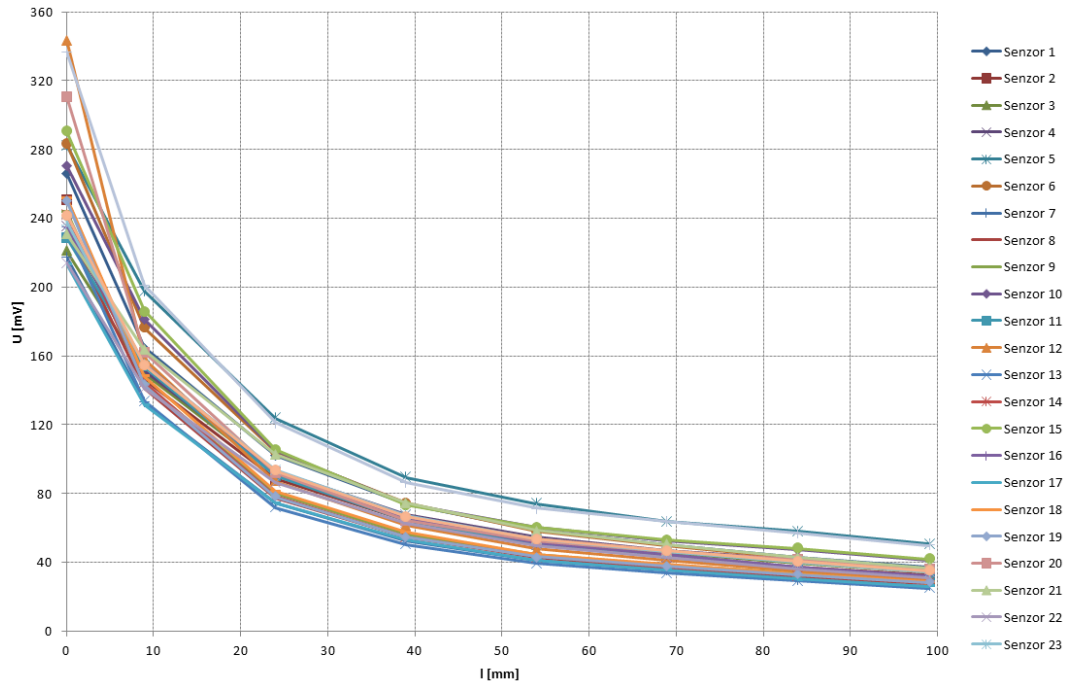
4.3.1 Odstranění SS složky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3, výstupní signál ze senzorů je vázán na stejnosměrnou složku napětí, která se pohybuje v rozmezí 5,5 V - 6,5 V. Tato složka je dána konstrukčním řešením senzorů, nemá však spojitost s úrovní získávaného signálu, je tedy nutné ji softwarově odstranit. Situace je komplikována nejen různými velikostmi této složky u jednotlivých senzorů, ale také tím, že se v průběhu času a se změnou vzdálenosti snímaného vedení může její velikost měnit. Nejjednodušším způsobem, jak získat ze senzorů užitečný signál neovlivněný SS složkou, je vyhledání minimálního a maximálního vzorku v rámci jedné periody, po jejichž odečtení dostaneme hodnotu, která odpovídá napětí špička - špička užitečného signálu. Tato hodnota je již přímo úměrná vzdálenosti snímaného vedení a je používána v dalších krocích. Vyhodnocení probíhá ještě v rámci ovladače převodníku, takže jeho výstupem je pro každý senzor jediná hodnota reprezentující úroveň signálu, se kterou již lze snadno pracovat a dále ji upravovat.

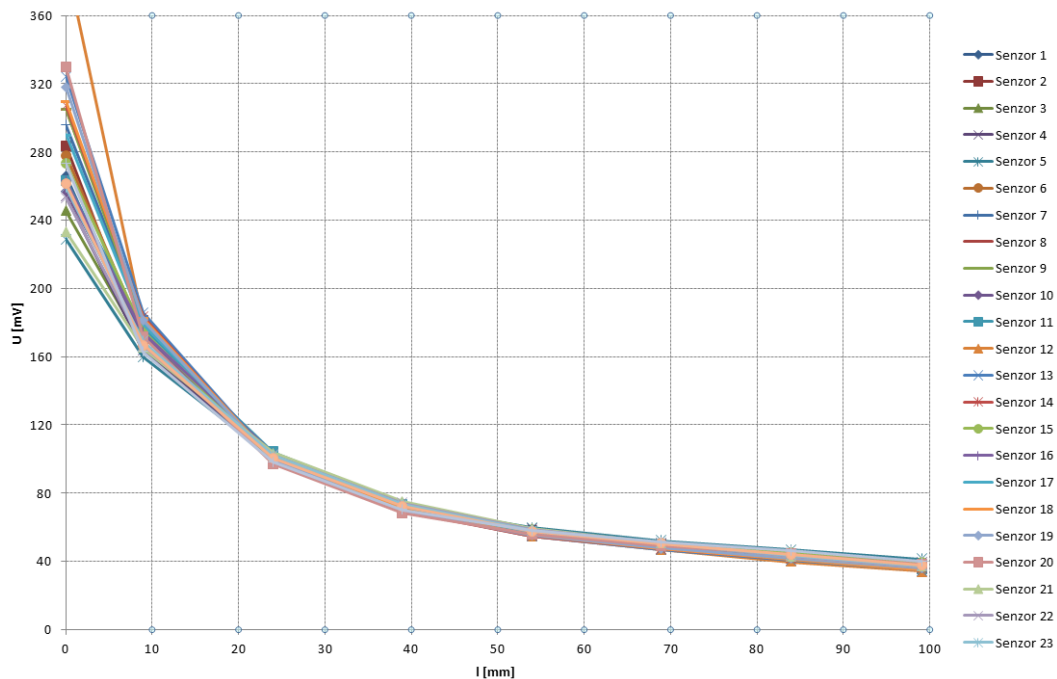
4.3.2 Kalibrace výstupních hodnot

Stejně tak jako různou SS složku mají senzory odlišnou i odezvu na elektromagnetické pole. Výstupy jednotlivých senzorů jsou si vzájemně velice podobné, ne však stejné, což je důsledkem tříd přesnosti součástek použitých v senzorech. Každá ze součástek má určitou toleranci parametrů a v rámci těchto tolerancí se liší výstupní hodnoty získávané ze senzorů. Úkolem tohoto bodu kalibrace je tedy zajistit stejnou odezvu senzorů na elektromagnetické pole určité velikosti. Pro tuto kalibraci bylo nutné zajistit stejnoměrné vybudování všech senzorů elektromagnetickým polem, tak abychom mohli určit jejich odezvu na dané pole současně. K tomuto účelu byla použita čtvercová deska z cuprexitu o délce strany 40 centimetrů, na kterou byla za dodržení všech bezpečnostních předpisů připojena fáze z elektrického rozvodu 230V/50Hz. Hledačka byla umístěna v dostatečné vzdálenosti od všech potencionálních zářičů elektromagnetického pole, které by mohly získané výsledky ovlivňovat. Po zajištění vhodného měřicího prostředí bylo provedeno 8 měření ve vzdálenostech od 0 do 10 centimetrů. Na obrázku 4.5 jsou vyneseny závislosti změřeného napětí na vzdálenosti měřicí desky. Z obrázku je patrné, že trend křivek je téměř stejný, pouze jsou křivky vzájemně posunuty. Jako referenční senzor byl určen senzor 1, pro ostatní senzory byly vypočteny koeficienty, které zajistí posun křivek na referenční hodnoty. Výsledek této kalibrace

je znázorněn na obrázku 4.6, z tohoto obrázku můžeme vyčíst, že trend křivek pro jednotlivé senzory není zcela totožný, avšak rozdíly mezi trendy jsou znatelné až při vysokém vybuzení sensorů. Takového vybuzení nelze v běžných podmínkách při hledání vodiče dosáhnout, zároveň je hledačka opatřena ochranným mechanismem, který zajistí i v případě neúměrně vyššího vybuzení několika sensorů správné zobrazení výsledků.



Obrázek 4.5: Průběh napětí na senzorech před kalibrací



Obrázek 4.6: Průběh napětí na senzorech po kalibraci

4.3.3 Adaptace na prostředí

Třetí fáze kalibrace spočívá v přizpůsobení jednotlivých senzorů na prostředí, ve kterém se budou vodiče vyhledávat. V dnešní době jsme obklopeni velkým množstvím elektronických zařízení, která do svého okolí vyzařují elektromagnetické pole. Toto pole je měřenou veličinou senzorů, z čehož vyplývá, že jeho okolní úroveň ovlivňuje přesnost měření. Síla vyzařovaného elektromagnetického pole je ovšem v různých prostorech velice rozdílná, závisí na mnoha faktorech jako je například množství zapnutých spotřebičů v místnosti, zda bude hledání probíhat ve venkovském domě, nebo městském bytě a mnoho dalších. Tyto rozdíly je nutné kompenzovat, v případě nastavení pevné hladiny základního šumu by se mohlo stát, že v prostředí s velkým množstvím elektrosmogu by hledačka byla vybudena okolním zářením natolik, že by její vyhodnocovací schopnost klesla téměř k nule. Tomuto stavu je předcházeno softwarovým opatřením, hledačka po každém zapnutí provede pět kontrolních měření volného prostranství a dle těchto měření je nastavena referenční hodnota prostředí, ve kterém bude hledání prováděno. Z tohoto důvodu je velice vhodné hledačku několik vteřin po zapnutí nechat volně ležet na místě, kde nebude ovlivněna žádným vodičem pod napětím, pro správnou kalibraci dostačuje, aby se vodič nenacházel v okolí 50 centimetrů od hledačky, kde už je vyzařované pole izolovaného vodiče zanedbatelné. Kalibraci je vhodné provádět i v případě přechodu do vedlejší místnosti, z praktického hlediska toto není nutné, avšak je tímto způsobem pozitivně ovlivňována kvalita podaných výsledků.

Zobrazování

Důležitou součástí zařízení tohoto typu je vhodné, přehledné a intuitivně pochopitelné zobrazení naměřených dat. U nejjednodušších hledaček bohatě dostačuje indikace svítivou diodou, případně zvukový signál v okamžiku, kdy hledačka zaznamená vodič. V našem případě však tento druh indikace není vhodný. Jedním ze základních cílů této práce bylo právě vytvoření hledačky disponující displejem, na kterém by bylo možné zobrazit větší část vedení než jeden jediný bod a to pokud možno takovým způsobem, aby z výsledného obrazu bylo možné určit úhel vodiče pod omítkou a případně i ohyby na něm.

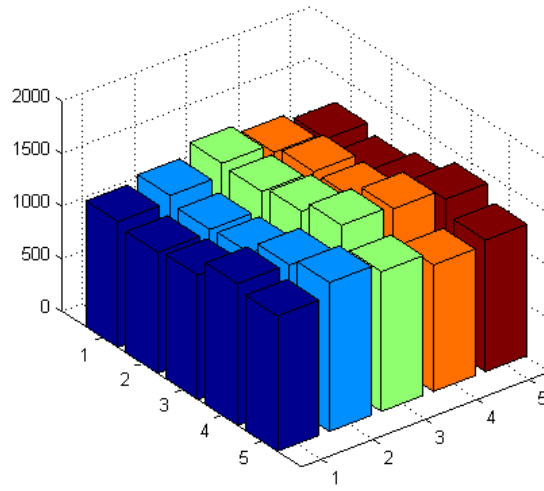
Jako nejvhodnější způsob prezentace signálu ze sensorů bylo zvoleno zobrazování intenzity pole pomocí stupňů šedi na displeji, kde největší intenzita odpovídá bílé barvě a nejmenší intenzita pak barvě černé.

5.1 Matlab

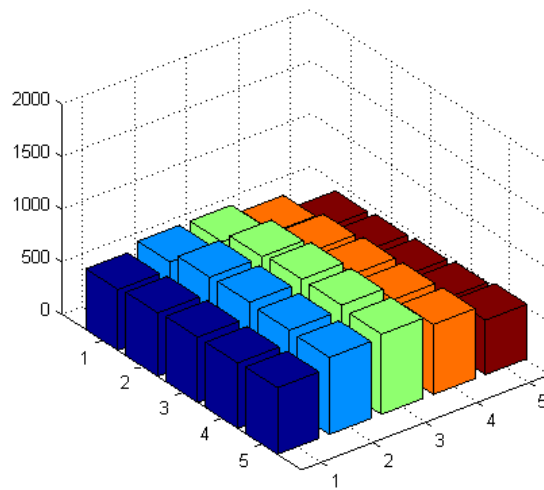
Software Matlab byl při vývoji hledačky používán především pro snadnou implementaci matematických metod a grafických výstupů. Pro jeho propojení s hledačkou byla použita funkce *serial*, která umožňuje Matlabu snadným způsobem načítat data posílaná do počítače přes USB port. V této části vývoje tedy procesor Propeller zajišťoval řízení hledačky a získaná data následně pomocí funkce *FullDuplexSerialPlus.spin* posílal přes sériovou linku do PC. Aby data pro Matlab byla spolehlivě přenášena, bylo nutné vyřešit synchronizaci mezi hledačkou a Matlabem. Toto bylo provedeno synchronizačním pulsem. V okamžiku, kdy byl Matlab připraven přijímat nová data z hledačky, byl vyslán přes sériovou linku synchronizační puls a hledačka spustila nový cyklus načítání a odesílání dat.

Data načtená do Matlabu bylo nutné převést na čísla v desítkové soustavě a uložit do matice o rozměru 5 x 5, tak aby jednotlivé hodnoty odpovídaly příslušným sensorům. Následně již bylo možné s hodnotami snadno pracovat. Pro první představu o vzájemné úrovni hodnot získaných ze sensorů byl použit sloupcový 3D graf, ze kterého byla patrná nutnost kalibrovat senzory. Na obrázku 5.1 jsou senzory vybuzené vodičem umístěným 3 centimetry nad třetím sloupcem sensorů. Za stejných podmínek byl pořízen i obrázek 5.2, kde jsou již pomocí Matlabu senzory kalibrované.

Matlabu bylo s výhodou používáno také pro testování zobrazovacích metod, například implementace interpolace je v matlabu díky funkci *interp2* velice snadná a bylo tak možné rychlým a efektivním způsobem testovat nejvhodnější variantu pro výsledné zobrazování dat hledačkou.



Obrázek 5.1: Matlab - sloupcový graf před kalibrací senzorů



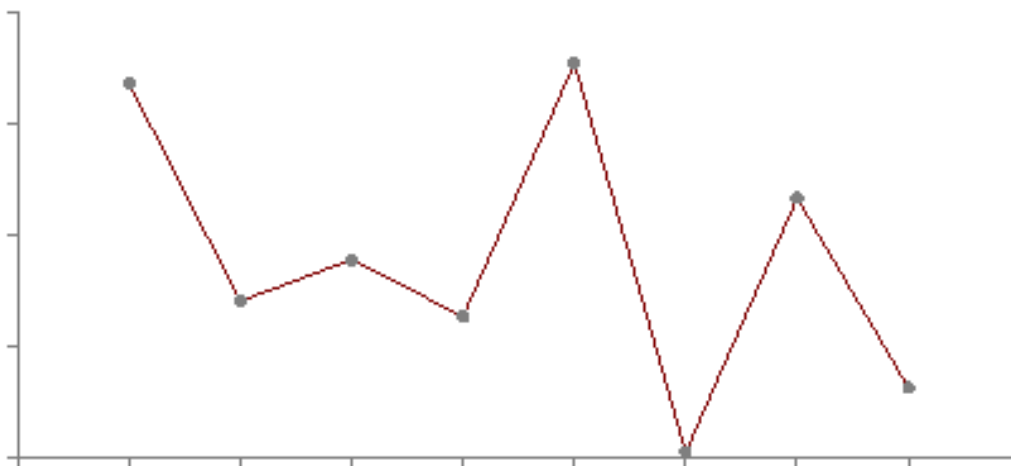
Obrázek 5.2: Matlab - sloupcový graf po kalibraci senzorů

5.2 Interpolace

Interpolace je proces odhadování střední hodnoty spojité funkce ze známých vzorků [15]. Interpolace je používána v digitálním zpracování obrazu ke zvětšení, nebo úpravě obrazu. Interpoláčnících algoritmů existuje velké množství, v následujících kapitolách si uvedeme několik základních metod, jejich výhody a nevýhody.

5.2.1 Lineární interpolace

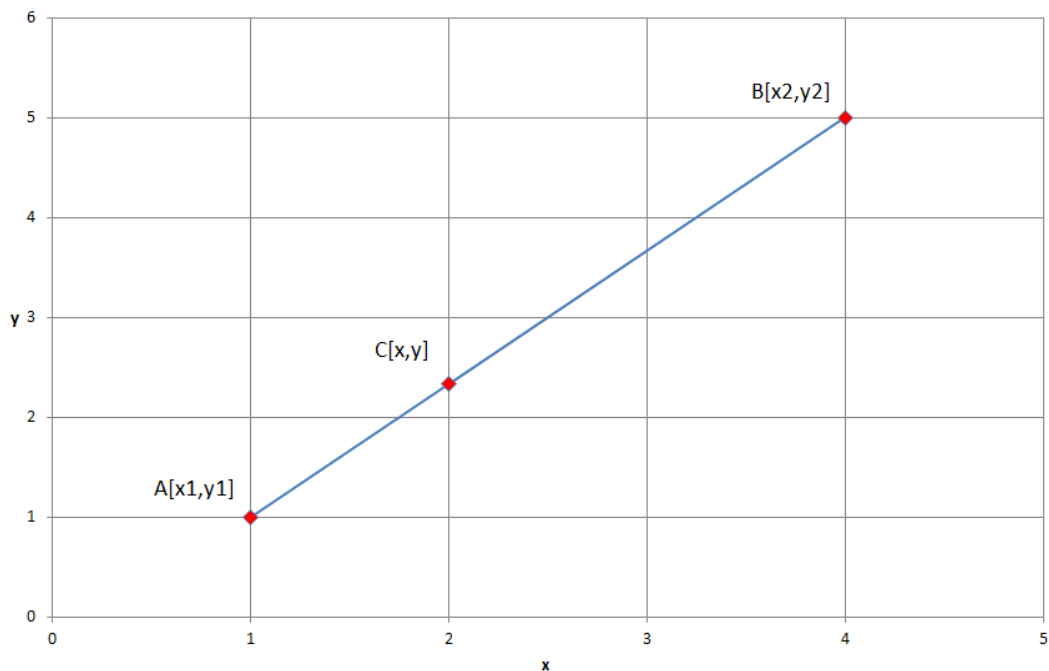
Lineární interpolace je nejjednodušší metodou, jak získat mezi dvěma známými body nové hodnoty. Nejčastěji se s ní můžeme setkat v matematických aplikacích, kde je používána pro její jednoduchost. Jako příklad si uvedme doplnění tabulek měřených hodnot, kde nám schází některé naměřené hodnoty, jejichž trend je v určitých úsecích patrně lineární. Hojného použití se lineární interpolaci dostává také v počítačové grafice a to opět pro časovou nenáročnost jejího výpočtu. Lineární interpolace spočívá v principu propojení dvou bodů přímkou. Na obrázku 5.3 vidíme křivku vytvořenou lineární interpolací.



Obrázek 5.3: Lineární interpolace [14]

Kterýkoliv bod interpolované křivky tak můžeme vypočítat dle vztahu 5.1. Na obrázku 5.4 je znázorněna situace, kde máme známé body A a B, bod C získaný lineární interpolací.

$$y = y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} (y_2 - y_1). \quad (5.1)$$

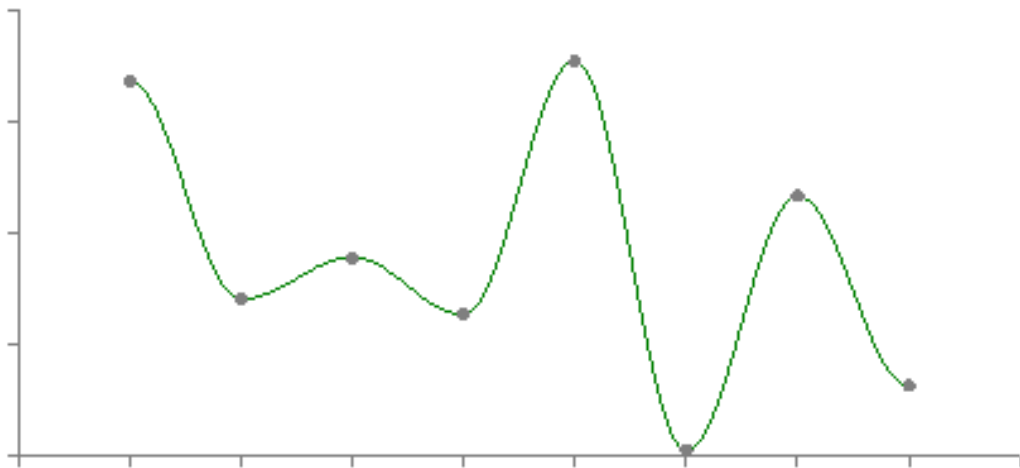


Obrázek 5.4: Bod získaný lineární interpolací

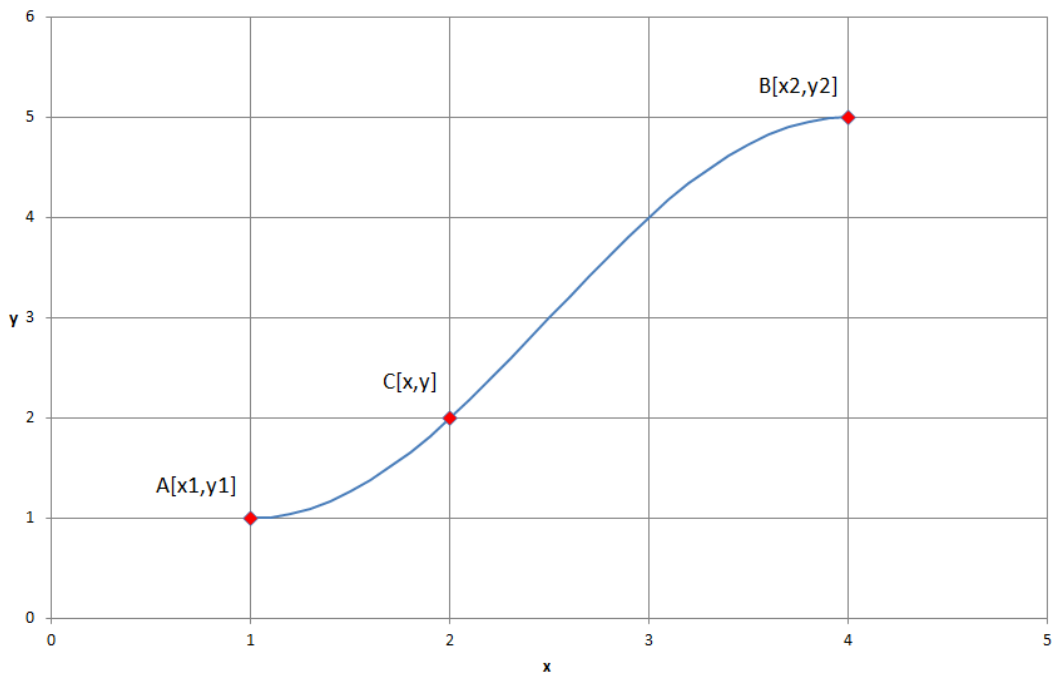
5.2.2 Kosinová interpolace

U kosinové interpolace se stejně jako u interpolace lineární pro výpočet nových bodů křivky používají pouze dva krajní známé body. Ovšem zatímco u lineární interpolace se body prokládají přímkou, v případě kosinové interpolace, jak již napovídá její název, se mezi dva známé body vkládá úsek funkce kosinus. Z prokládání úseky funkce kosinus vyplývá hlavní výhoda této interpolace a tou je větší spojitost interpolovaných křivek, na rozdíl od kubické interpolace se však nejedná o skutečnou spojitost, žádný bod nikdy nepřesáhne hodnoty referenčních bodů. Na obrázku 5.5 vidíme pro srovnání body A a B se stejnými souřadnicemi jako na obrázku 5.3, avšak proložené kosinovou interpolací. Body získané kosinovou interpolací můžeme dopočítat z rovnice 5.2.

$$y = y_1 + \left(1 - \cos\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \cdot \pi\right) \cdot 0,5\right) (y_2 - y_1). \quad (5.2)$$



Obrázek 5.5: Kosinová interpolace [14]

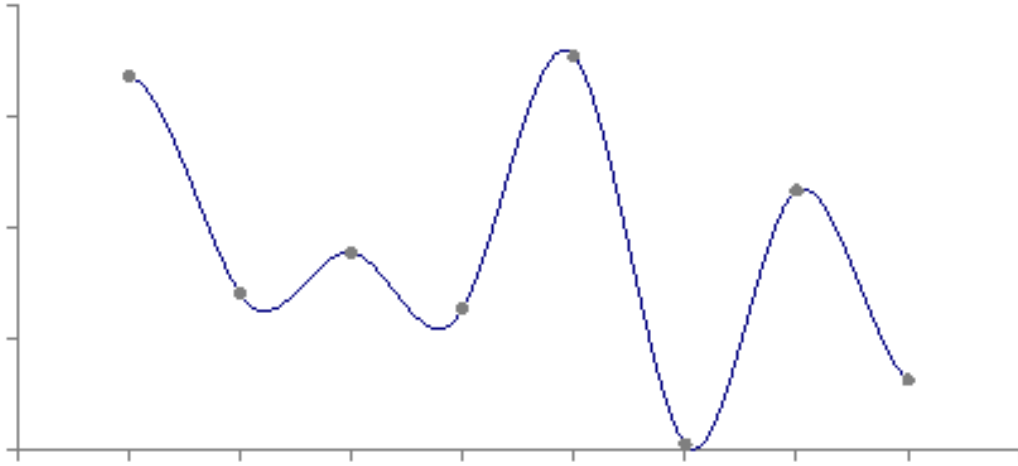


Obrázek 5.6: Bod získaný kosinovou interpolací

5.2.3 Kubická interpolace

Kubická interpolace je první z uvedených interpolací, která nabízí opravdovou spojitost bodů. Aby však této spojitosti mohlo být dosaženo, jsou potřeba k její realizaci více než 2 krajní body. Abychom mohli vypočítat kterýkoliv bod křivky, potřebujeme u kubické interpolace znát 4 body. Kubická interpolace se používá v počítačové grafice tam, kde není kladen tak velký důraz na rychlost vyhodnocování obrazu. Odměnou za větší výpočetní náročnost a tím pádem pomalejší

vyhodnocování jsou pak v porovnání s předchozími interpolacemi mnohem lépe vypadající křivky. Pro výpočet kubické interpolace existuje několik různých metod a algoritmů, jako například konvoluční a Hermitova metoda.



Obrázek 5.7: Kubická interpolace [14]

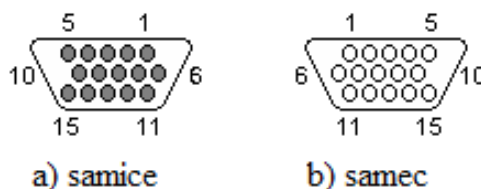
5.2.4 Použití interpolace v hledačce

Jako nejlepší způsob zobrazování bylo zvoleno interpolování dat ze senzorů. Interpolováním je možné přes nízký počet senzorů docílit obrazu o podstatně vyšším rozlišení než je 25 obrazových bodů, kterými by hledačka disponovala bez použití interpolace. Vhodným barevným schématem je pak vzhledem k citlivosti oka na jas zobrazování ve stupních šedi. Největší intenzita signálu je zobrazována jako bílá barva a naopak místa s nízkou intenzitou jsou černá. Výsledný obraz je tedy podobný například rentgenovému snímku. V kapitolách výše jsou uvedeny příklady základních typů interpolací, z těchto byla přes svoji vysokou výpočetní náročnost pro hledačku vybrána interpolace kubická. Procesor Propeller P8X32A díky své osmijádrové architektuře poskytuje pro použití kubické interpolace dostatečný výpočetní výkon. Pro interpolaci obrazu je nutné použití dvourozměrné interpolace, označované jako bikubická interpolace. Při vytváření algoritmů na výpočet bikubické interpolace bylo vycházeno především z principů popsaných v [15], [16] a [17], které doporučuji k přečtení pro doplnění textů této práce, jejíž rozsah nedovoluje plně a celistvě tuto problematiku rozebrat.

V hledačce byl pro výpočet interpolovaných bodů použit algoritmus Catmull-Rom-Spline vyvinutý pro použití v počítačové grafice. Odvození tohoto algoritmu můžeme najít v [16].

5.3 Rozhraní VGA

VGA (Video Graphic Array) je počítačové grafické rozhraní, které se stalo průmyslovým standardem roku 1987, kdy společnost IBM uvedla na trh grafickou kartu VGA, po které rozhraní získalo svůj název. Rozhraní používá konektor označovaný D-SUB, který má 15 pinů ve třech řadách (Obrázek 5.8).



Obrázek 5.8: Rozložení pinů konektoru D-SUB [18]

Pin	Název	Směr	Popis	Impedance/Napětí
1	RED	OUT	Červená složka	75 Ω ; 0,7 V p-p
2	GREEN	OUT	Zelená složka	75 Ω ; 0,7 V p-p
3	BLUE	OUT	Modrá složka	75 Ω ; 0,7 V p-p
4	RES	-	Nepoužívaný port	
5	GND	GND	Zem	
6	RGND	GND	Zem červené složky	
7	GGND	GND	Zem zelené složky	
8	BGND	GND	Zem modré složky	
9	+5V	OUT	Napětí 5 V SS	
10	SGND	GND	Zem synchronizace	
11	ID0	IN	ID bit 0 monitoru	
12	SDA	IN/OUT	Sériová datová linka	
13	HSYNC	OUT	Horizontální synchronizace	
14	VSYNC	OUT	Vertikální synchronizace	
15	SCL	IN/OUT	Sériové datové hodiny	

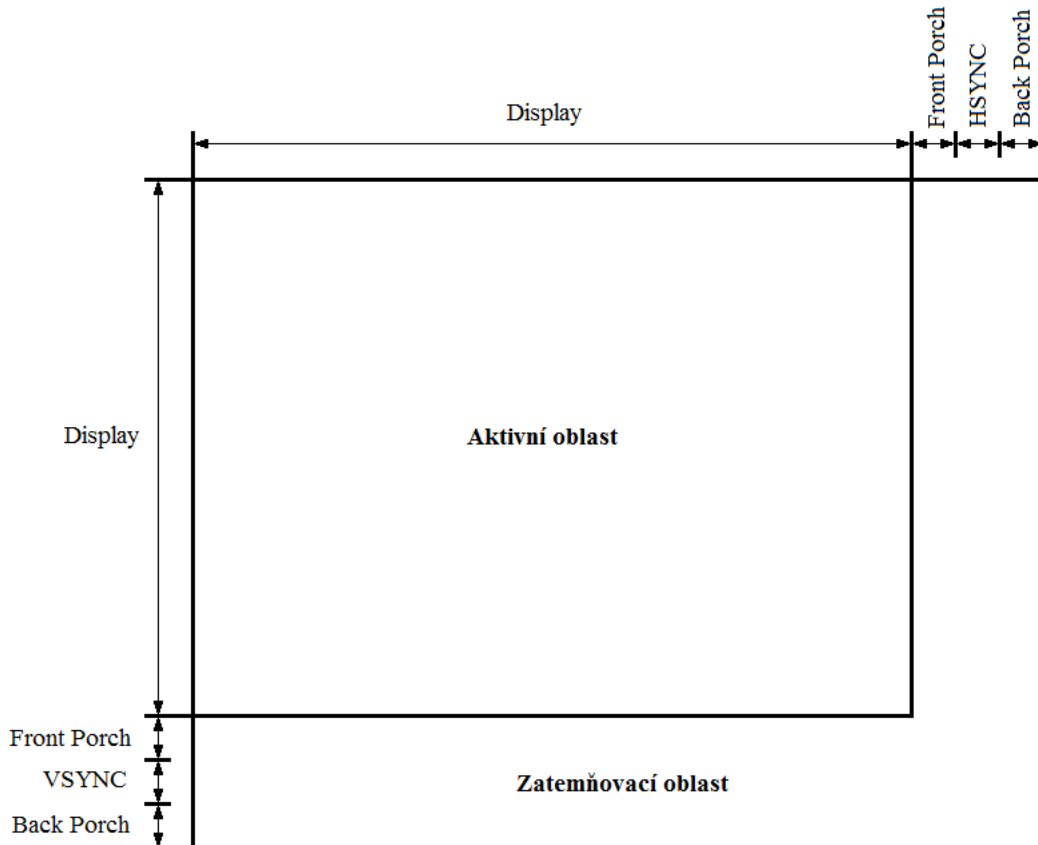
Tabulka 5.1: Popis pinů konektoru D-SUB [18]

VGA je standard pro analogová zobrazovací zařízení. Barevné složky, ze kterých se výsledný obraz skládá, mají amplitudu 0,7 V, kde napětí 0 V odpovídá zatemnění a napětí 0,7 V odpovídá maximálnímu jasů dané složky obrazového pixelu. Formát obrazu pro tento standard je 640 x 480 / 60 Hz, což znamená překreslování obrazu 60x za sekundu při rozlišení 640 x 480 obrazových bodů.

5.3.1 Vykreslování a časování

U standardu VGA je obraz na monitor vykreslován po řádcích. Na začátku řádku je vždy odeslán impuls horizontální synchronizace a následně dochází k vy-

kreslení řádku, po vykreslení všech řádků je vygenerován impuls vertikální synchronizace a přejde se na vykreslování dalšího snímku. Mezi jednotlivými řádky a snímky se nacházejí zatemňovací intervaly, které dávají dostatek času pro odeslání synchronizačních pulsů a přípravu pro další vykreslování.



Obrázek 5.9: Složení VGA obrazu

Aktivní oblast na obrázku 5.9 odpovídá skutečným rozměrům obrazu, v našem případě 640 x 480 pixelů. Zatemňovací oblast se skládá z několika částí, kterými jsou Front Porch, Back Porch a synchronizační pulsy. Během zatemňovací oblasti není na obrazovce vykreslován žádný obraz, délkami dob trvání impulsů Front Porch a Back Porch je možné posunovat obraz po obrazovce. V tabulce 5.2 jsou uvedeny délky trvání jednotlivých intervalů aktivní i zatemňovací oblasti.

Vertikální synchronizace

Signál vertikální synchronizace na obrázku 5.9 označený jako VSYNC určuje obnovovací frekvenci obrazu, náběžná hrana tohoto signálu označuje začátek nového snímku. V našem případě má tento signál frekvenci 60 Hz, existují však různé varianty VGA, kde tento signál může dosahovat až frekvence 120 Hz.

Horizontální synchronizace

Signál horizontální synchronizace označovaný jako HSYNC určuje frekvenci

Řádek				
Front Porch	8	bodů	0,32	μs
HSYNC	96	bodů	3,81	μs
Back Porch	40	bodů	1,59	μs
Levý okraj	8	bodů	0,32	μs
Video	640	bodů	25,42	μs
Pravý okraj	8	bodů	0,32	μs
Celkem	800	bodů	31,77	μs

Obraz				
Front Porch	2	řádky	63,56	μs
VSYNC	2	řádky	63,56	μs
Back Porch	25	řádků	794,44	μs
Levý okraj	8	řádků	254,22	μs
Video	480	řádků	15,25	ms
Pravý okraj	8	řádků	254,22	μs
Celkem	525	řádků	16,7	ms

Tabulka 5.2: Časování VGA signálu

pro vykreslování jednotlivých řádků. Signál funguje podobným způsobem jako signál VSYNC, jeho frekvence je však o několik řádů vyšší.

RGB signál

Obraz v aktivní oblasti je vykreslován pomocí RGB signálu (barvy Red, Green, Blue). Výsledná barva zobrazovaného pixelu je dána aditivním mícháním, neboli optickým součtem barev. VGA může disponovat různou barevnou hloubkou v závislosti na tom, kolika bity je každá ze tří základních barev reprezentována. V následující tabulce je uvedeno 8 základních barev.

Red (červená)	Green (zelená)	Blue (modrá)	Získaná barva
0	0	0	černá
0	0	1	modrá
0	1	0	zelená
0	1	1	azurová
1	0	0	červená
1	0	1	purpurová
1	1	0	žlutá
1	1	1	bílá

Tabulka 5.3: Základní barvy VGA

RGB signál je přenášen u rozhraní VGA pro každý obrazový bod zvlášť a jeho frekvence je v našem případě 25,175 MHz. V tabulce 5.4 jsou shrnuty základní charakteristiky VGA.

Obrazová frekvence	59,94 Hz
Řádková frekvence	31,469 kHz
Bodová frekvence	25,175 MHz
Doba trvání snímku	16,68 ms
Doba trvání řádku	31,77 μs
Doba trvání bodu	39,72 ns

Tabulka 5.4: Charakteristiky VGA

5.3.2 Propeller Video Generator

Processor Propeller je dobře připraven pro práci s VGA rozhraním. Každé jádro procesoru je vybaveno modulem Video Generator, který umožňuje přenos video signálu konstantní rychlostí. Pro práci s video signálem jsou k dispozici dva registry (VCFG a VSCL) a jedna instrukce (WAITVID), umožňující kontrolu a přístup k video generátoru. [19]

VCFG (Video Configuration Register)

VCFG je 32 bitový registr umožňující nastavení parametrů video generátoru. Tento registr je rozdělen do několika částí, které zadávají potřebné parametry video generátoru. Nastavit je možné, zda bude generován VGA, nebo kompozitní signál, barevný mód a také skupinu 8 pinů, na které bude konektor připojen.

VSCL(Video Scale Register)

Pomocí VSCL registru je možné nastavit frekvenci, jakou bude video signál generován. Registr je rozdělen do dvou částí PixelClocks a FrameClocks. 8 bitové pole PixelClocks určuje, kolik taktů má uplynout v době, než bude video generátorem odeslán další pixel na výstup. 12 bitové pole FrameClocks pak analogicky určuje frekvenci odesílání celého snímku.

WAITVID

Instrukce WAITVID funguje jako doručovací mechanismus dat pro video generátor. Video generátor každého jádra pracuje nezávisle na jádře samotném a je tedy nutné před každým odesláním dat zobrazovacímu zařízení tyto dva elementy synchronizovat. Instrukce WAITVID pozdrží činnost jádra, dokud není video generátor připraven přijmout další obrazová data.

Díky tomuto integrovanému řešení je procesor Propeller schopen snadno a bez dalších periférií vytvářet videosignál pro VGA či kompozitní výstup, čehož bylo využito pro zobrazování dat získaných hledačkou.

5.3.3 Modul pro VGA rozhraní

Barevné složky RGB jsou v případě procesoru Propeller zastoupeny 6 piny procesoru (dva pro každou barvu), ze kterých je možné pomocí VGA Adapter Board Kitu získat 64 barevných kombinací. Při použití tohoto kitu bychom měli

k dispozici pouze 4 stupně šedi, což je vzhledem k rozhodnutí zobrazovat signál v odstínech šedi pro naše účely nedostatečné. Bylo tedy nutné vytvořit modul, umožňující použití všech 6 pinů vymezených pro přenos barev VGA obrazu pouze pro zobrazování odstínů šedi. Jak již bylo zmíněno výše, VGA rozhraní pracuje s aditivním mícháním barev, pro získání odstínů šedi je tedy nutné na všechny tři barevné složky přivádět stejný signál. Tento problém je u modulu vyřešen spojením RGB pinů do jednoho uzlu (viz zapojení modulu na obr. 5.10), na který je přiváděno napětí od 0 do 0,7 V. Modul pro převod barevného obrazu na černobílý tedy spočívá ve vytvoření odporové sítě, která by při spínání jednotlivých výstupů poskytovala napětí od 0 do 0,7 V v 64 krocích. Tohoto řešení je možné dosáhnout pomocí odporových děličů se správně volenými velikostmi odporů. Můžeme vycházet z předpokladu, že piny ve stavu logické „1“ jsou všechny připojeny na potenciál 3,3 V a všechny piny ve stavu logické „0“ jsou uzemněné. Pro výpočet potřebných odporů pak můžeme použít známou rovnici:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_{req}}, \quad (5.3)$$

kde U_2 je žádané napětí, U_1 výstupní napětí pinů procesoru, R_1 typická impedance VGA rozhraní (vzhledem ke spojení pinů RGB je třetinová) a R_{req} hledaný odpor. Dosazením do rovnice získáme:

$$\begin{aligned} 0,7 &= 3,3 \cdot \frac{25}{25 + R_{req}}, \\ 0,7 \cdot (25 + R_{req}) &= 3,3 \cdot 25, \\ 25 + R_{req} &= \frac{(3,3 \cdot 25)}{0,7}, \\ R_{req} &= 92,86\Omega. \end{aligned}$$

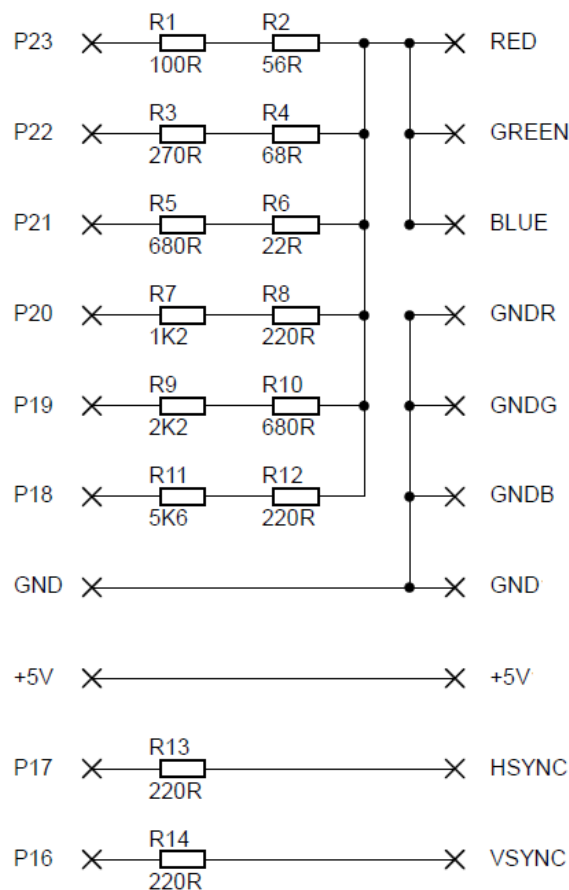
Po vypočtení odporu potřebného pro získání napětí 0,7 V reprezentujícím u rozhraní VGA bílou barvu je v dalším kroku nutné vypočítat odpory jednotlivých větví takovým způsobem, aby jejich kombinace odpovídaly lineárnímu růstu napětí od 0 do 0,7 V. Takového zapojení je možné docílit zdvojnásobováním odporů se zvyšující se váhou bitu, můžeme tedy napsat:

$$\begin{aligned} R_{req} &= \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{4R} + \frac{1}{8R} + \frac{1}{16R} + \frac{1}{32R}}, \\ R_{req} &= \frac{32R}{63}, \\ R &= \frac{63R_{req}}{32}, \\ R &= 182,8125\Omega. \end{aligned} \quad (5.4)$$

Z vypočteného jednotkového odporu R již lze snadno dopočítat jednotlivé odpory pro větve VGA modulu. Při realizaci modulu byla zohledněna výstupní impedance pinů procesoru, která je 27Ω . V následující tabulce 5.5 jsou uvedeny hodnoty použitých součástek.

Pin	Vypočtený odpor [Ω]	Použitý rezistor 1 [Ω]	Použitý rezistor 2 [Ω]	Výsledný odpor [Ω]	Odchylka [Ω]
18	182,8	100	56	183	-0,2
19	365,6	270	68	365	0,6
20	731,3	680	22	729	1,3
21	1462,5	1200	220	1447	15,5
22	2925	2200	680	2907	18
23	5850	5600	220	5847	3

Tabulka 5.5: Vypočtené parametry VGA modulu



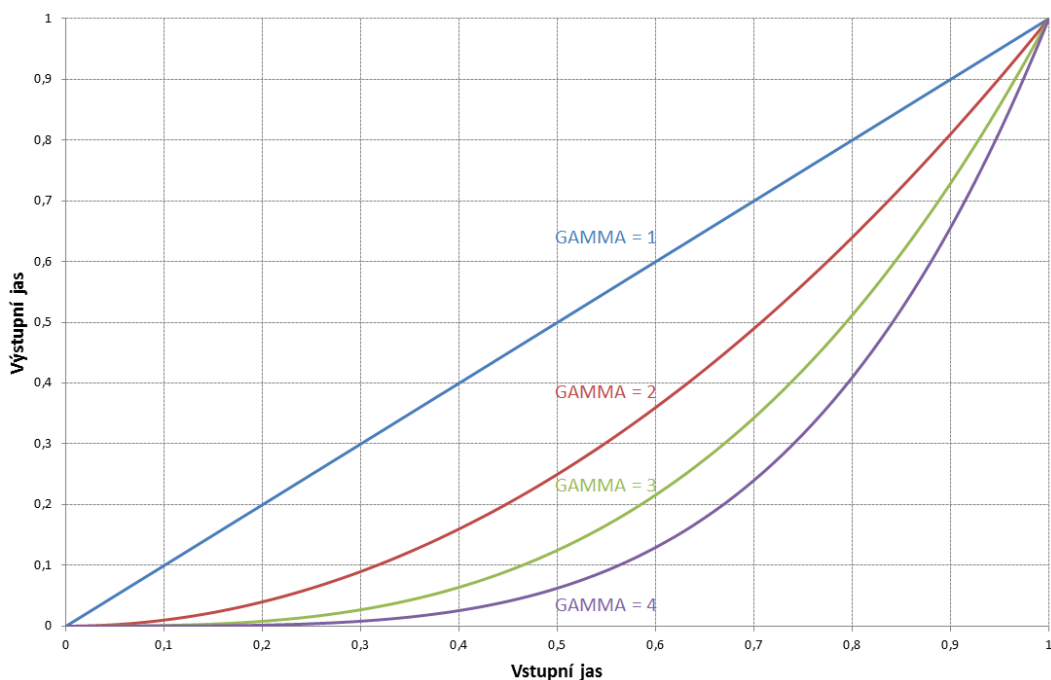
Obrázek 5.10: Zapojení VGA modulu

5.4 Korekce obrazu

Poslední částí, kterou bylo nutné pro správné zobrazování dat z hledačky vyřešit, byla korekce obrazu. Data z hledačky jsou zobrazována ve čtvercovém poli o rozlišení 80 x 80 pixelů s 6 bitovou hloubkou černobílého obrazu, což znamená 64 odstínů šedi. Výsledný obraz bez korekce je však přexponovaný a při větší vzdálenosti hledaného vodiče neposkytuje dostatečně přesné informace o jeho poloze. S touto variantou zobrazování by bylo možné hledání vodiče pouze na minimální vzdálenost a tak bylo nutné expozici obrazu korigovat.

5.4.1 Gamma korekce

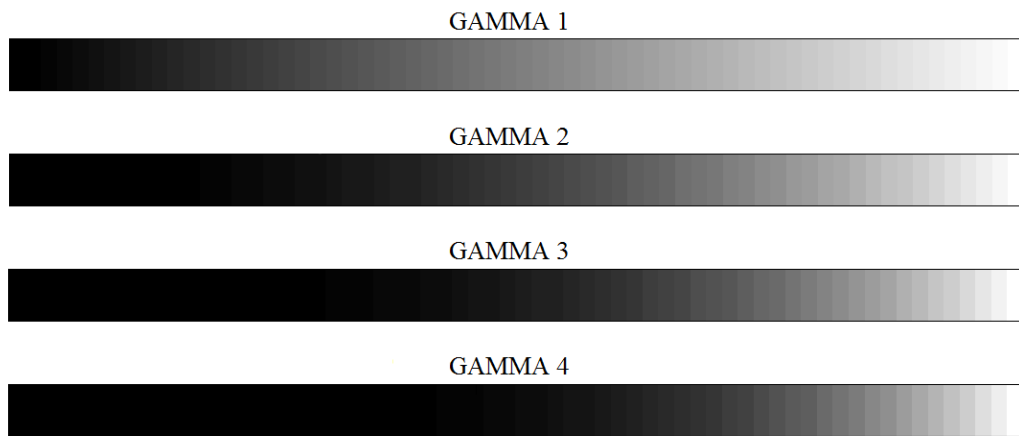
Gamma korekce se v obrazové technice používá ke korekci jasu obrazu. Gamma korekce nemění nejsvětější a nejtmaší bod obrazu, avšak mění rozložení jasu v jeho rozsahu. K snazšímu pochopení významu gamma korekce pomůžte obrázek. Na obrázku 3.1 jsou znázorněny gamma křivky pro koeficienty 1, 2, 3 a 4. Při koeficientu 1 je převod jasu lineární, tedy vstupnímu jasu o hodnotě 0,5 odpovídá výstupní jas stejné hodnoty. Při vyšších koeficientech již převod lineární není a vstupnímu jasu odpovídají nižší hodnoty jasu výstupního.



Obrázek 5.11: Gamma křivky

Elektromagnetické pole vyzařované vodičem je kruhové, se zvětšující vzdáleností vodiče od hledačky se tedy zvětšuje počet vybuzených senzorů a tím znesnadňuje určení přesné polohy vodiče. Při použití gamma korekčních křivek je při volbě vhodných koeficientů možné tento jev částečně kompenzovat a umožnit tak efektivní použití hledačky na větší vzdálenosti. Gamma křivky jsou u hledačky

volitelné ve čtyřech stupních (1, 2, 3, 4). Pro běžné použití hledačky byl zvolen jako výchozí koeficient 2.



Obrázek 5.12: Rozložení jasu obrazu po gamma korekci

Na obrázku 5.12 vidíme, jakým způsobem zvolené koeficienty gamma korekce ovlivňují rozložení jasu ve výsledném obrazu. Nastavení koeficientů gamma ve čtyřech stupních umožňuje výběr nejvhodnějšího zobrazení za různých podmínek, jako je větší hloubka uložení vodiče ve stěně, nebo větší intenzita vyzařování elektromagnetického pole.

5.4.2 Získaný obraz

V následujících obrázcích jsou zachyceny rozdíly zobrazení při detekci 3 centimetry vzdáleného vodiče za použití jednotlivých gamma křivek. Zároveň obrázky slouží pro prezentaci výsledného obrazu, který hledačka poskytuje.



Obrázek 5.13: Gamma 1



Obrázek 5.14: Gamma 2



Obrázek 5.15: Gamma 3



Obrázek 5.16: Gamma 4

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat hledačku skrytého vedení řízenou mikroprocesorem a vybavenou vhodným zobrazovacím zařízením. Tato hledačka měla disponovat větším počtem detekčních senzorů uspořádaných tak, aby bylo možné určit případné ohyby na hledaném vedení a celkově tak zjednodušit jeho trasování. Detekční vzdálenost hledačky měla být 10 centimetrů.

V první fázi práce bylo nutné navrhnout a realizovat matici senzorů s dostatečnou citlivostí. Navržená matice disponuje 25 oddělenými senzory zabírajícími plochu 8 x 9 centimetrů, detekční vzdálenost senzorů je 15 centimetrů. Dalším krokem byl návrh a realizace desky zajišťující zpracování a digitalizaci signálu ze senzorů. Po vytvoření ovladačů pro řízení desky již bylo možné získat digitalizovaný a upravený signál ze senzorů, který byl připraven k vyhodnocování. Pro návrh vyhodnocování a zobrazování dat ze senzorů byl zpočátku využíván výpočetní software Matlab, který umožnil díky svým snadným implementacím nalézt optimální řešení všech nastalých problémů a velice tak usnadnil vývoj celého zařízení. Po navržení struktury vyhodnocování signálu bylo možné začít s implementací v jazyku Spin a PASM pro procesor Propeller P8X32A. Dalším krokem bylo vytvoření modulu, který by umožňoval pomocí desky Propeller Proto Board zobrazovat na VGA displeji obraz v 64 stupních šedi. Následně bylo nutné implementovat zobrazovací algoritmy přímo v jazyce Spin, tak aby výsledný obraz na VGA displeji odpovídal původnímu návrhu v prostředí Matlab. Posledním krokem vývoje byla optimalizace použitých algoritmů, optimalizací bylo dosaženo využití všech 8 cogů procesoru po celou dobu běhu programu. Doba potřebná k zobrazení jednoho obrazu na displeji tak byla snížena z původních 1554 ms na 641 ms, z čehož načítání hodnot trvá 310 ms, interpolace 164 ms, gamma korekce 46 ms a zobrazování na displeji 121 ms. Ostatní procesy vykonávané hledačkou jsou řazeny paralelně k výše uvedeným dějům, takže se jejich délka do celkové doby zobrazování neprojeví. Obslužný program zabírá 31 kB z celkových 32 kB paměti RAM, potenciál procesoru Propeller P8X32A byl tedy využit v maximální míře.

Při vypracovávání této diplomové práce bylo systematickým postupem hledáno nejvhodnější řešení, které by plně vyhovovalo reálnému použití zařízení v praxi. Návrhem, realizací a zpracováním této diplomové práce jsem nabyl mnoho nových informací z různých odvětví elektroniky a elektrotechniky a získal velké množství praktických zkušeností s návrhem a následnou realizací zařízení.

Literatura

- [1] Punčochář, J.: *Operační zesilovače v elektronice*, 5. vydání, BEN - technická literatura, Praha 2002, ISBN 80-7300-059-8
- [2] Vobecký, J.; Záhlava, V.: *Elektronika - součástky a obvody, principy a příklady*, Vydavatelství GRADA, Praha 2000, ISBN 80-247-9062-9
- [3] Malina, V.: *Poznáváme elektroniku III*, Vydavatelství KOPP, České Budějovice 1997, ISBN 80-85828-87-1
- [4] Nobilis, J.: *Teorie elektronických obvodů IV. (SS zesilovače)*, Školní nakladatelství a vydavatelství SPŠE Pardubice, Pardubice 1997
- [5] Maxim-IC [online]: *MAX4051 datasheet*, Maxim Integrated Products, 2005, [cit.2014-03-26], dostupné z WWW:
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX4051-MAX4053A.pdf>
- [6] TI [online]: *TLC271 datasheet*, Texas Instruments, 2001, [cit.2014-03-26], dostupné z WWW:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc271.pdf>
- [7] Černocký, J.: *Vzorkování*, ÚPGM FIT VUT Brno, 2006, [cit.2014-03-26], dostupné z WWW:
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/ISS/public/pred/vzork/vzork.pdf>
- [8] TI [online]: *ADS7813 datasheet*, Texas Instruments, 2012, [cit.2014-03-26], dostupné z WWW:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads7813.pdf>
- [9] Parallax [online]: *Propeller P8X32A datasheet*, Parallax Inc., 2011, [cit.2014-04-03], dostupné z WWW:
<http://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/P8X32A-Propeller-Datasheet-v1.4.0-0.pdf>
- [10] Parallax [online]: *Propeller ProtoBoard documentation*, Parallax Inc., 2010, [cit.2014-04-03], dostupné z WWW:
<http://parallax.com/sites/default/files/downloads/32212-Propeller-ProtoBoard-Documentation-v1.3.pdf>

- [11] Parallax [online]: *Propeller manual*, Parallax Inc., 2012, [cit.2014-04-03], dostupné z WWW:
<http://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/P8X32A-Web-PropellerManual-v1.2.pdf>
- [12] MathWorks [online]: *Matlab online documentation*, The MathWorks, Inc., 2014, [cit.2014-04-03], dostupné z WWW:
<http://www.mathworks.com/help/matlab/index.html>
- [13] Dušek, F.: *MATLAB a SIMULINK úvod do používání*, Univerzita Pardubice, Pardubice 2000, ISBN 80-7194-273-1
- [14] Paulbourke.net [online]: *Interpolation methods*, Paul Bourke, 1999, [cit.2014-04-12], dostupné z WWW:
<http://paulbourke.net/miscellaneous/interpolation/>
- [15] Keys, R. G.: *Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing*, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1981, vol. 29, no. 6, s. 1153 - 1160, ISSN: 0096-3518
- [16] Graphics.cs.ucdavis.edu [online]: *Catmull-Rom Splines*, Kenneth I. Joy, 2002, [cit.2014-04-15], dostupné z WWW:
<http://graphics.cs.ucdavis.edu/joy/ecs278/notes/Catmull-Rom-Spline.pdf>
- [17] Paulinternet.nl [online]: *Cubic interpolation*, Paul Breeuwsma, [cit.2014-04-12], dostupné z WWW:
<http://www.paulinternet.nl/?page=bicubic>
- [18] Martin.hinner.info [online]: *VGA Interface and video signal documents*, Martin Hinner, 2007, [cit.2014-04-15], dostupné z WWW:
<http://martin.hinner.info/vga/>
- [19] Propeller.wikispaces.com [online]: *Video Generator*, 2010, [cit.2014-04-15], dostupné z WWW:
<http://propeller.wikispaces.com/Video+Generator>

Seznam obrázků

2.1	Průběh signálu při vzdálenosti vodiče 4 cm	10
2.2	Průběh napětí na senzoru v závislosti na vzdálenosti vodiče	10
3.1	Blokové zapojení demultiplexerů	12
3.2	Sledovač napětí	13
3.3	Derivační článek CR a RL	14
3.4	Integrační článek RC a LR	15
3.5	Průběh signálu při vzdálenosti vodiče 4 cm (vyhlazený)	16
3.6	Spojité signál	17
3.7	Vzorkovaný signál	18
3.8	Aliasing	18
3.9	Kvantovaný signál	19
3.10	Nastavení vstupního rozsahu převodníku ADS7813 [8]	21
3.11	Blokové schéma matice senzorů a desky pro zpracování signálu	22
3.12	Schéma zapojení desky na zpracování signálu ze senzorů	23
4.1	Rozložení pinů Propeller P8X32A-M44 [9]	25
4.2	Blokové schéma Propeller P8X32A [9]	25
4.3	Propeller Proto Board [10]	26
4.4	Schématické zapojení Propeller Proto Board [10]	27
4.5	Průběh napětí na senzorech před kalibrací	30
4.6	Průběh napětí na senzorech po kalibraci	31
5.1	Matlab - sloupcový graf před kalibrací senzorů	33
5.2	Matlab - sloupcový graf po kalibraci senzorů	33
5.3	Lineární interpolace [14]	34
5.4	Bod získaný lineární interpolací	35
5.5	Kosinová interpolace [14]	36
5.6	Bod získaný kosinovou interpolací	36
5.7	Kubická interpolace [14]	37
5.8	Rozložení pinů konektoru D-SUB [18]	38
5.9	Složení VGA obrazu	39
5.10	Zapojení VGA modulu	43
5.11	Gamma křivky	44
5.12	Rozložení jasu obrazu po gamma korekci	45
5.13	Gamma 1	46
5.14	Gamma 2	46
5.15	Gamma 3	47

5.16 Gamma 4 47