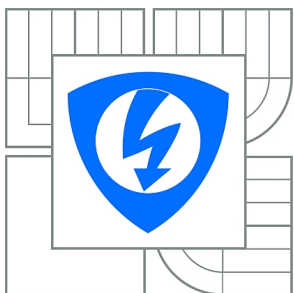


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## **LOKALIZACE RF VYSILAČE**

LOCALIZATION OF RF TRANSMITER

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. JIŘÍ MIKULÁŠTÍK**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. LUKÁŠ KOPEČNÝ, Ph.D.**

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Bc. Jiří Mikuláščík

**ID:** 125546

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2013/2014

**NÁZEV TÉMATU:**

## Lokalizace RF vysílače

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte lavinový vyhledávač - systém pro lokalizaci AM RF vysílače s nosnou vlnou 457kHz.

Postupujte dle následujících bodů:

1. Zpracujte stručnou rešerši týkající se lavinových vyhledávačů.
2. Navrhněte zapojení vysílače RF signálu.
3. Navrhněte způsob detekce směru a vzdálenosti vysílače RF signálu.
4. Navrhněte zapojení detektoru dle bodu 2.
5. Celý systém realizujte alespoň v experimentální podobě.
6. Ověřte funkci celého zařízení a diskutujte výsledky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

HEREFORD,J.; EDGERLY,B. 457 KHz Electromagnetism and the Future of Avalanche Transceiver

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 19.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:** doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce pojednává o možnostech lokalizace jedince či skupiny lidí zasažených lavinou. Převážně se soustředí na použití RF vyhledávače. Hlavním cílem práce je vlastní návrh a konstrukce tohoto zařízení. Velká část je proto věnována popisu navrženého zařízení a dílčích kroků provázejících návrh. Při návrhu je brán zřetel na kompatibilitu s komerčními vyhledávači. Parametry navrženého vyhledávače jsou ověřeny testováním a měřením.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

lavinový vyhledávač, lokalizace, RF vysílač, RF přijímač, lavina

## **ABSTRACT**

The thesis deal with possibility of localization of avalanche victims. Main focus is for RF avalanche beacons. The major objects of this thesis are design and construction of this device. A large part of thesis describes design of avalanche beacon and particular steps of realization. The design take into account the compatibility with commercial beacons. The paramters of designed device are verified by testing and measurement.

## **KEYWORDS**

avalanche beacon, avalanche transceiver, localization, RF transmitter, RF receiver, avalanche

MIKULÁŠTÍK, Jiří *Lokalizace RF vysílače*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2014. 62 s. Vedoucí práce byl Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Lokalizace RF vysílače“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Lukáši Kopečnému, Ph.D. za odborné vedení a panu doc. Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za konzultace a podnětné návrhy k práci. Dále bych chtěl poděkovat rodičům, kteří mě během celého studia podporovali a přítelkyni za trpělivost.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Lavinová vyhledávací zařízení</b>	<b>11</b>
1.1 Lavinový vyhledávač	12
1.1.1 Historie	12
1.1.2 Princip a konstrukce	13
1.2 Recco systém	17
1.2.1 Historie	17
1.2.2 Reflektor	18
1.2.3 Detektor	19
1.3 Porovnání lavinového vyhledávače a Recco	20
<b>2 Návrh Lavinového vyhledávače</b>	<b>21</b>
2.1 Obvodová realizace	21
2.1.1 Anténa	21
2.1.2 Vysílač	22
2.1.3 Vstupní obvody antén	24
2.1.4 Detektor síly signálu	25
2.1.5 Napájecí obvody	28
2.1.6 Mikrokontrolér a I/O periferie	29
2.2 Programové vybavení	31
2.2.1 Stavový automat	31
2.2.2 Časování	32
2.2.3 Elektroakustický měnič	33
2.2.4 LCD displej	34
2.2.5 Digitální teploměr	36
2.2.6 Měření stavu baterie	37
2.2.7 Měření síly signálu	37
<b>3 Realizace a popis</b>	<b>38</b>
3.1 Vysílač	38
3.2 Lavinový vyhledávač	42
3.3 Ladění parametrů	46
3.3.1 Oscilátor vysílače	46
3.3.2 Rezonanční frekvence antén	46

<b>4 Testování</b>	<b>48</b>
4.1 Vysílač . . . . .	48
4.2 Směrová charakteristika . . . . .	49
4.3 Teplotní závislost . . . . .	51
4.4 Simulace reálného použití vyhledávače . . . . .	53
<b>5 Závěr</b>	<b>54</b>
<b>Literatura</b>	<b>55</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>57</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>58</b>
5.1 Příloha č.1: . . . . .	59

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Křivka pravděpodobnosti přežití pod lavinou[14]	11
1.2	Lavinový vyhledávač Skadi [6]	13
1.3	Normalizovaný modulační signál typu ASK[3]	15
1.4	Modulátor ASK[2]	15
1.5	Časový průběh ASK modulace	16
1.6	První prototyp Recco [13]	18
1.7	Pasivní Recco reflektor[7]	18
1.8	Recco detektor[12]	19
2.1	Různé druhy antén	22
2.2	Schéma vysílače	23
2.3	Schéma vstupních obvodů antén	24
2.4	Schéma detektoru síly signálu	26
2.5	Frekvenční charakteristiky filtru S-K	27
2.6	Odezva aktivního filtru S-K na skokový signál	27
2.7	Schéma napájecích obvodů	28
2.8	Schéma řídicí části	30
2.9	Schéma stavového automatu	31
2.10	Časování v režimu CTC[16]	33
2.11	Časování v režimu FAST PWM[16]	34
2.12	Princip adresování displeje s řadičem PCD8544[18]	35
3.1	Fotografie vysílače	39
3.2	Schéma vysílače	40
3.3	DPS vysílače	41
3.4	Osazovací plán vysílače	41
3.5	Fotografie vyhledávače	42
3.6	Grafické uživatelské rozhraní	43
3.7	Blokové schéma lavinového vyhledávače	43
3.8	Schéma lavinového vyhledávače	44
3.9	DPS vyhledávače	45
3.10	Osazovací plán vyhledávače	45
3.11	Blokové schéma ladění rezonančního obvodu antény	47
4.1	Průběh napětí na anténě	48
4.2	Testování s komerčním vyhledávačem	49
4.3	Schéma měřicí soustavy	50
4.4	Směrová charakteristika	50
4.5	Klimatická komora s měřicí aparaturou	51
4.6	Teplotní závislost frekvence	52



## SEZNAM TABULEK

2.1	Převodní tabulka DS18B20[19] . . . . .	36
4.1	Směrová charakteristika antény . . . . .	51
4.2	Teplotní závislost frekvence vysílače . . . . .	52
4.3	Simulace reálného nasazení vyhledávače . . . . .	53
5.2	Vyhledávač: Seznam součástí . . . . .	59
5.1	Vysílač: Seznam součástí . . . . .	62

# ÚVOD

S rostoucí oblibou vysokohorské turistiky, ski-alpinismu a taktéž adrenalinových zimních sportů, například jízda na lyžích a snowboardu ve volném terénu, je důležité brát větší zřetel na možnost lavinového nebezpečí. Nejlépe tomuto neštěstí předejít. Existuje nepřeberné množství zásad, postupů a rad jak identifikovat lavinovou hrozbu, rozpoznat míru rizika daného terénu a případně, jak se v takovém terénu pohybovat. Tyto zásady je nutno dodržovat, ale i jejich dogmatické plnění neeliminuje potenciální hrozbu laviny, pouze ji snižuje. Pokud dojde k utržení laviny, existuje několik zařízení k detekci zavaleného člověka.

V následujících kapitolách budou rozebrány dvě nejpoužívanější: RF lavinový vyhledávač a reflektorový systém Recco. Z důvodu větší užitečnosti a efektivity se tato práce dále zabývá právě RF lavinovým vyhledávačem. Praktická část této práce spočívá v návrhu, realizaci, oživení a testování navrženého zařízení. Jednotlivé části jsou strukturovaně rozdělené do jednotlivých kapitol a detailně zdokumentovány.

První část se soustředí na návrh elektronických obvodů a řídicího programu. V této části jsou popsány jednotlivé funkční celky a dílčí kroky v jejich návrhu.

Druhá část se zabývá fyzickou realizací navrženého vyhledávače. Popisuje externí periferie a princip ovládání. Zabývá se návrhem plošného spoje. Součástí je taktéž popis oživení a odladění jednotlivých funkčních bloků.

Poslední část je věnována ověření správné funkčnosti a kompatibility s komerčními vyhledávači. Součástí této kapitoly jsou taktéž základní měření charakterizující vlastnosti navrženého vyhledávače.

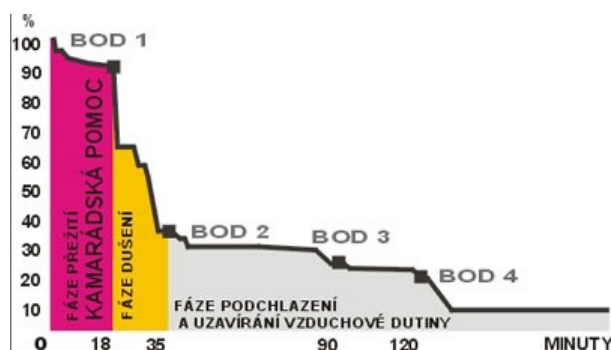
# 1 LAVINOVÁ VYHLEDÁVACÍ ZAŘÍZENÍ

I když samotná sněhová vločka je lehká jako pírko, celková hmotnost laviny se pohybuje od několika desítek po několik tisíc tun. Lavina může dosáhnout rychlosti až kolem 200 *km/h*. Ty menší dokážou servat z člověka svrchní oblečení a sundat mu pevně zavázané boty. Větší dokáží urvat živým tvorům končetiny, zbořit dům, vyvrátit skalní bloky a pokácet i několik hektarů lesa.[8]

Z této věcné a až skoro poetické citace je zřejmé, že lavina je velmi nebezpečný jev, kterému by se měla každá osoba pohybující se v horském terénu vyhnout. Bohužel i přes všechna opatření a přizpůsobení pravidel pohybu v horském terénu se tento jev nedá vyloučit. I uvědomělá osoba nemůže mít zaručeno, že neskončí pod lavinou, ať už kvůli jiným lidem či jen díky rozmarům přírody.

Tuto teorii lze podložit neúprosným faktem, že od října loňského roku do nového roku, což jsou pouze tři měsíce, bylo na území Švýcarských Alp reportováno osm zavalených lidí lavinou. Z toho pouze jeden přeživší. Dalším tragickým příkladem je lavina z dubna roku 2012 v Pakistánu utržená ze Siachenského ledovcového masivu, která zavalila 140 lidí. Po dvouměsíčním pátrání bylo objeveno 133 mrtvých těl. Zbývajících 7 se nenašlo. [11] [10]

Následující graf 1.1 zobrazuje závislost pravděpodobnosti přežití pod lavinou na čase. Právě čas je velmi kritický faktor pro přežití.



Obr. 1.1: Křivka pravděpodobnosti přežití pod lavinou[14]

Popis grafu:

- Bod 1 - do tohoto momentu umírá 8% lidí na těžká zranění neslučitelná se životem
- Bod 2 - neboli fáze dušení, v tomto bodě umírají všichni ti, kteří si během pádu zacpali ústa a nos sněhem nebo zvratky, což je skoro 70%
- Bod 3 - v okolí tohoto bodu začne docházet k podchlazení organismu
- Bod 4 - v tomto momentě dochází k uzavření vzduchové kapsy v okolí hlavy rostoucí vrstvou ledu, která uzavře přívod vzduchu

Z těchto příkladů je patrné, že četnost lavinových tragedií není zanedbatelná a jejich důsledek může být velmi tragický. Proto je třeba udělat maximum pro zajištění bezpečnosti lidského života a nebo alespoň zvýšit šanci pro přežití pod lavinou a zrychlit proces vyhledávání. Jednou z možností jak toho docílit je použití lavinových vyhledávacích zařízení. V tomto kontextu jsou pod tímto pojmem myšleny elektronická zařízení, která usnadňují lokalizaci zavalené osoby a spolu s ostatním lavinovým vybavením (lavinová sonda, lopata) umožňují vyproštění osoby z laviny. V následujících kapitolách budou popsány dva základní typy a to lavinový vyhledávač a Recco systém.

## 1.1 Lavinový vyhledávač

Lavinový vyhledávač je elektronické zařízení sloužící k lokalizaci člověka uvězněného pod lavinou. Toto zařízení nedokáže lavinovému neštěstí předcházet, nebo informovat o blížící se lavinové hrozbě. Pouze zvyšuje šanci na rychlejší dohledání osoby pod lavinou a tudíž zvyšuje šanci na její přežití.

### 1.1.1 Historie

Za první efektivní a prakticky použitelný lavinový vyhledávač je považován přístroj s označením "Skadi". Toto zařízení bylo vyvinuto v roce 1968 výzkumným týmem Johna Lawtona v Cornell Aeronautical Laboratory v Buffalu. Vývojový tým vycházel z rozsáhlých testování vedené Edem Lachapellem, který se zabýval touto problematikou již od šedesátých let. Jeho dosavadní návrh byl sice funkční, ale značných rozměrů a nehodil se pro mobilní použití. Rozměr byl minimalizován především použitím menší drátové antény podobné jako u novodobých vyhledávačů. Tvar vyhledávače odpovídal velikosti párku v rohlíku, a proto se mu často přezdívalo "Hot dog Skadi".

Vyhledávač pracoval na frekvenci  $2,275\text{kHz}$ , což už je akustický signál, který je slyšitelný a proto přijímač obsahoval pouze anténu a nastavitelný zesilovač, který sloužil ke změně rozsahu. Výstup byl zaveden přímo do sluchátek.



Obr. 1.2: Lavinový vyhledávač Skadi [6]

V průběhu následujících dvaceti let se tato technologie stala povědomou. Prodělala značný vývoj a rozsáhlé testy. Roku 1996 byla z důvodů kompatibility normalizována nosná frekvence na  $457\text{kHz}$  a specifikovány přesné parametry lavinového vyhledávače. Tyto parametry a testování popisuje norma ETS 300 718. [3]

Postupem času a rozvojem digitální techniky se tato čistě analogová technologie začala digitalizovat za pomoci mikroprocesorů. Tento rozvoj umožnil lepší možnost zpracování signálu a zvýšení počtu antén, které zvyšují citlivost a dosah při vyhledávání. Dnešní vyhledávače mají typicky dvě nebo tři antény a umožňují grafické zobrazení vzdálenosti a směru na displej. Digitalizace taktéž umožnila aplikaci dalších funkcí pro usnadnění orientace v horském terénu (GPS, kompas).

### 1.1.2 Princip a konstrukce

Lavinový vyhledávač je založen na principu RF komunikace a musí umožňovat dvě základní funkce. Funkci vysílače a funkci přijímače.

Pokud vyrazí skupina (či jednotlivec) do míst, kde hrozí potencionální nebezpečí lavinou, je potřeba uvést lavinový vyhledávač do funkce vysílání.

Pokud dojde k utržení laviny, která zavalí část skupiny, tak nepostížení členové si přepnou vyhledávač do režimu příjmu a začnou systematicky prohledávat lavinové pole. Pokud je zasažena celá skupina, je odkázána na cizí pomoc a příjezd horské služby. V obou případech použití lavinového vyhledávače výrazně zvyšuje šanci na přežití pod lavinou. Toto hledání se provádí v blízkém magnetickém poli. Hranice blízkého a vzdáleného magnetického pole lze vypočítat přímo z vlnové délky,

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{457000} = 656,46 \text{ m} \quad (1.1)$$

$$r = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} = \frac{656,46}{2 \cdot \pi} = 104,48 \text{ m} \quad (1.2)$$

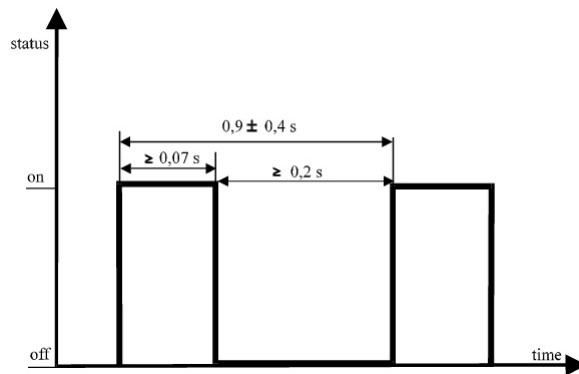
kde  $c$  je rychlost světla,  $\lambda$  udává vlnovou délku kmitočtu  $f$  a  $r$  charakterizuje hranici těchto polí.

Nevýhodou vyhledávání v blízkém poli je fakt, že elektromagnetické siločáry jsou značně zakřiveny a komplikují vyhledávání. Jejich tvar je také závislý na vzájemné poloze přijímače a vysílače. Další nevýhodou je, že intenzita elektromagnetického pole v blízkém poli může klesat až z gradientem  $r^{-3}$  na rozdíl od vzdáleného, které klesá s  $r^{-1}$ . Hledání ve vzdáleném poli by bylo jednodušší, jelikož siločáry jsou rovnoměrně rozložené a bez zakřivení. [1]

Jak již bylo řečeno, lavinový vyhledávač je RF vysílač a přijímač s normalizovanými parametry. Normy ASTM F1491-93(2002)[4] a ETS 300718 [3] specifikují parametry RF signálu takto:

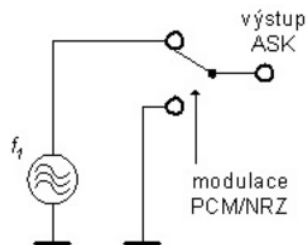
- Nosný kmitočet je  $457 \text{ kHz}$
- Maximální dovolená odchylka  $8 \text{ Hz}$
- Amplitudová modulace typu A1A (ASK)
- Šířka pozitivního pulsu modulačního signálu musí být větší než  $70 \text{ ms}$
- Šířka negativního pulsu modulačního signálu musí být větší než  $200 \text{ ms}$
- Perioda modulačního signálu  $0,5 \text{ s} - 1,3 \text{ s}$

Pro lepší představivost je tento modulační signál ilustrován na obrázku 1.3



Obr. 1.3: Normalizovaný modulační signál typu ASK[3]

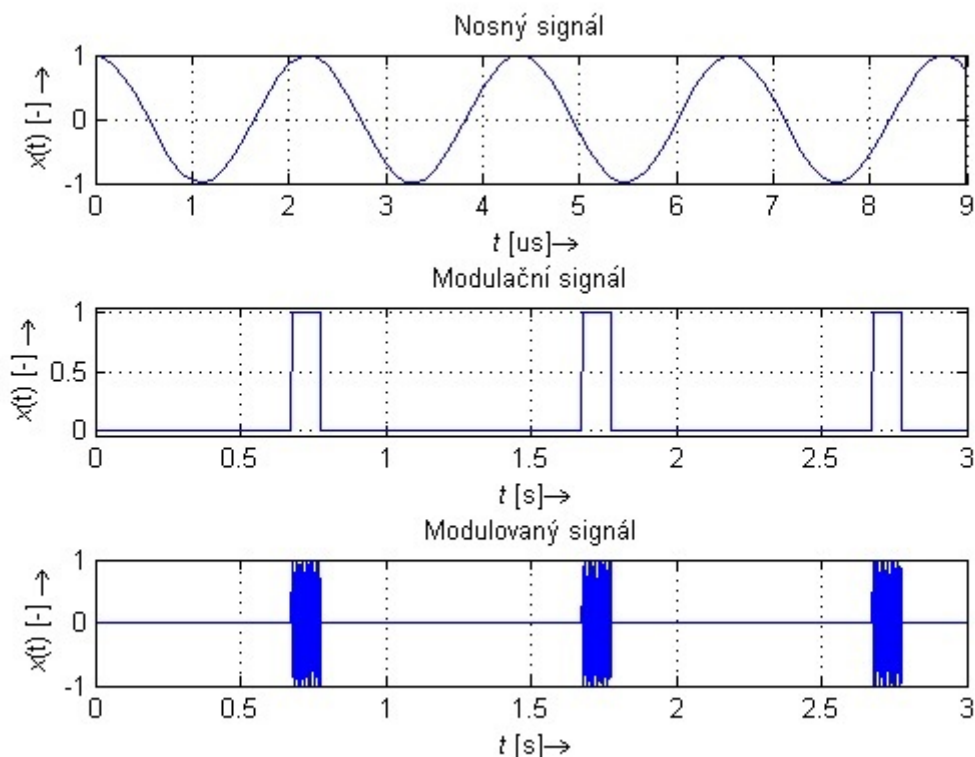
Pro přenos informace se používá amplitudové modulace typu ASK (Amplitude shift keying). Jedná se o nejjednodušší diskretní modulaci. Modulační digitální signál je veden přes filtr, který zajišťuje odstranění nežádoucí vysokofrekvenční složky na vstup modulátoru. Na výstupu modulátoru je v závislosti na modulačním signálu buďto samotný vysokofrekvenční nosný signál, nebo nulová napěťová úroveň. Funkce modulátoru typu ASK je znázorněna na obrázku 1.4. [2]



Obr. 1.4: Modulátor ASK[2]

Pro modulační obdélníkový signál, jenž se opakuje se stejnou periodou, bude tvar amplitudového spektra modulovaného signálu ASK kopírovat amplitudové spektrum tohoto obdélníkového signálu s tím rozdílem, že harmonické složky modulovaného signálu budou posunuty o velikost nosného kmitočtu a budou zrcadleny po obou stranách nosného kmitočtu.

Pokud je kmitočet nosné frekvence v násobku opakovací periody obdélííkového impulzu, bude tvar spektra modulovaného signálu věrně kopírovat spektrum obdélííkového signálu. V opačném případě dochází ke vzniku intermodulačních složek v amplitudovém spektru. Šířka pásma je rovna šířce pásma modulačního signálu.[2]



Obr. 1.5: Časový průběh ASK modulace

Co do konstrukční stránky by mělo zařízení splňovat následující požadavky:[3]

- Zařízení musí být kompaktní a obsahovat přijímač, vysílač, anténu, baterie, akustický měnič nebo sluchátka, vypínač.
- Funkce zařízení by neměla být ovlivněna sněhem, vodou a slunečním zářením.
- Zařízení by mělo být malých rozměrů a mělo obsahovat postroj umožňující pevné přichycení k tělu.
- Váha by neměla překročit 200g.
- Obsahovat indikaci stavu baterie.
- Obsahovat indikaci síly nosného signálu.



## 1.2 Recco systém

Dalším možným, v dnešní době velmi často používaným, prostředkem k detekci lavinové oběti je lavinový vyhledávací systém Recco. Tento systém pracuje na radarovém principu využívající elektromagnetických radiových vln. Jak je patrné z názvu, jedná se o systém sestávající se ze dvou částí: pasivní reflektor a aktivní detektor. Použití tohoto systému je jednoduché a značně usnadňuje dohledání. S rozvojem této technologie se v posledních letech stal velmi častým vybavením záchranných týmů (Švýcarsko, Rakousko, Polsko).

### 1.2.1 Historie

Systém Recco byl vyvinut jakožto reakce na lavinovou tragédii, která postihla vývojáře Magnuse Granhelda ve Švédsku roku 1973. Po tomto incidentu začal spolupracovat s výzkumníky s Royal Institute of Technology ve Stockholmu zabývajícími se již existujícími technologiemi lavinového vyhledávače. Jelikož toto zařízení bylo poměrně nové a stále ve vývoji, pořizovací náklady byly značně vysoké. Další nevýhodou byla nutnost napájení jak přijímače, tak i vysílače. To vedlo část výzkumníků k tomu, aby začali zkoumat možnosti pasivních reflektorů, které by byly finančně dostupnější a odpadla by nutnost jejich napájení.[9]

Vývoj a nasazení Recco systému:

- 1980 – První prototyp RECCO
- 1989 – NATO aplikuje RECCO systém
- 1997 – Snížení váhy detektoru z 16 kg na 1,6 kg
- 2002 – Použití na Zimních olympijských hrách v Salt Lake City (USA)
- 2004 – Swiss Air Rescue instaluje systém do vrtulníků
- 2006 – Celkem 440 záchranných organizací po celém světě používá RECCO

Aktuální situace je taková, že Recco používá více než 700 záchranných organizací po celém světě, z toho je přes 500 v Evropě. [5] [13]

Na následující fotografii je zachycen první prototyp Recco z roku 1980.



Obr. 1.6: První prototyp Recco [13]

### 1.2.2 Reflektor

Konstrukčně je to úzká vodě odolná kapsle, která obsahuje dvě tenké antény a nelineární prvek v podobě rychlé Schottkyho diody. Tvar a velikost antén spolu s diodou tvoří přesně naladěný rezonanční obvod. Jelikož je reflektor pasivní a nepotřebuje napájení, a tím pádem žádnou baterii, jsou rozměry dány jen velikostí antén a celá kapsle váží přibližně 4 gramy. Reflektor se tudíž nemusí nijak zapínat a jeho funkce není závislá na člověku. Tento fakt eliminuje chybu lidského faktoru, která může nastat u klasického lavinového vyhledávače (zapnutí vysílače, vybití baterií a podobně). [5]

Reflektory jsou komerčně dostupné a jsou implementovány do různých částí oblečení nebo výbavy. Z důvodů pohlcení vysílaného signálu lidským tělem je vhodné mít větší počet těchto reflektorů (například helma, obuv, bunda). Velké množství výrobců, specializujících se na zimní oblečení, nabízí širokou škálu produktů, které již tyto reflektory obsahují.



Obr. 1.7: Pasivní Recco reflektor[7]

### 1.2.3 Detektor

Je zařízení, které používají záchranné skupiny pro přesnou lokalizaci reflektorů. Detektor využívá principu harmonického radaru. Detektor se skládá ze dvou částí: vysílač a přijímač. Vysílač generuje radiový signál o frekvenci  $917\text{ MHz}$ . Tato frekvence byla zvolena na základě testování průchodnosti různých frekvencí skrz sníh, vykazovala totiž nejmenší útlum. Druhou částí je citlivý přijímač naladěný na dvojnásobnou frekvenci  $1834\text{ MHz}$ . Dvojnásobnou frekvenci z důvodů použití harmonického radaru. Odražený signál z reflektoru totiž emituje vyšší harmonickou složku dopadajícího signálu, v tomto případě rovnu dvojnásobku. [9]

Princip vyhledávání pomocí tohoto systému je odlišný od klasického vyhledávače. Jedná se o vyhledávání ve vzdáleném poli. Vysílaný signál je značně směrový a závislý na přímé viditelnosti s reflektorem. Pokud je reflektor zastíněn, dochází k podstatnému snížení dosahu detekce. Výrobce udává maximální dosah  $200\text{ m}$  za ideálních podmínek, kdy je přímá viditelnost mezi detektorem a reflektorem (zahrnuta i sněhová vrstva). Výsledek se zobrazuje graficky a zároveň vydává akustický signál (do sluchátek), jehož intenzita je úměrná vzdálenosti od reflektoru. Ruční verze umožňuje nepřetržité vyhledávání po dobu minimálně dvou hodin. Existuje taktéž výkonnější verze, která je namontována přímo na plošinu pátracího vrtulníku. [9][13]



Obr. 1.8: Recco detektor[12]

## 1.3 Porovnání lavinového vyhledávače a Recco

Každé z těchto zařízení má své výhody a nevýhody. U klasického lavinového vyhledávače je jednoznačnou výhodou univerzálnost použití. Toto zařízení umožňuje jak funkci vysílače, tak funkci přijímače. Další výhodou je kompaktnost. Vyhledávač je upevněn pomocí popruhů přímo na těle, a nijak nezatěžuje ani neomezuje pohyblivost. Nevýhodou je však nutnost napájení a tudíž je třeba před každou cestou kontrolovat baterie a uvést zařízení do správného režimu. Další nevýhodou je obtížnější způsob vyhledávání a závislost na orientaci vysílače, která ovlivňuje přesnost a dosah.

Hlavní výhodou Recco systému je pasivní reflektor, který je komerčně dostupnější a eliminuje selhání lidského faktoru. Další výhodou je snadnější použití (pro proškolenou obsluhu) a větší dosah při vyhledávání. Nevýhodou je však fakt, že pořizovací náklady detektoru jsou tak vysoké, že si ho můžou dovolit jen záchranné týmy v okolí velkých lyžařských center.

Pokud by jsme tedy brali v potaz pouze technické parametry a testování těchto zařízení, systém Recco by se jevil jako "lepší". Bohužel kritickým, lépe řečeno smrtelným, parametrem při lavinovém vyhledávání je čas. Z grafu 1.1, který znázorňuje procentuální závislost přežití pod lavinou na čase je patrné, že již po osmnácti minutách se šance na přežití strmě snižuje. Proto je nejdůležitější takzvaná "kamarádská" záchrana ostatními členy skupiny bez čekání na pomoc záchrannářů. Z tohoto hlediska je klasický lavinový vyhledávač užitečnější než Recco.

## 2 NÁVRH LAVINOVÉHO VYHLEDÁVAČE

Tato část diplomové práce se zabývá praktickým návrhem lavinového vyhledávače. Kapitola je rozdělena do dvou hlavních sekcí popisujících obvodovou realizaci a programové vybavení. Jednotlivé sekce jsou strukturovaně děleny dle jednotlivých funkčních bloků vyhledávače.

### 2.1 Obvodová realizace

Prvním krokem při vývoji vyhledávače je návrh elektronických obvodů. Jelikož je vyhledávač zařízení určené do terénu, je třeba brát zřetel na miniaturizaci zařízení. Z tohoto důvodu byly v převážné většině použity elektronické součástky pro povrchovou montáž SMD.

Další nutností je použití bateriového zdroje napájení. Po zohlednění rozměrů, kapacity, potřebného napětí a doby nabíjení byla zvolena baterie typu Li-Ion. Aby odpadla nutnost připojení externích nabíječek, je ve vyhledávači integrován obvod řízení nabíjení.

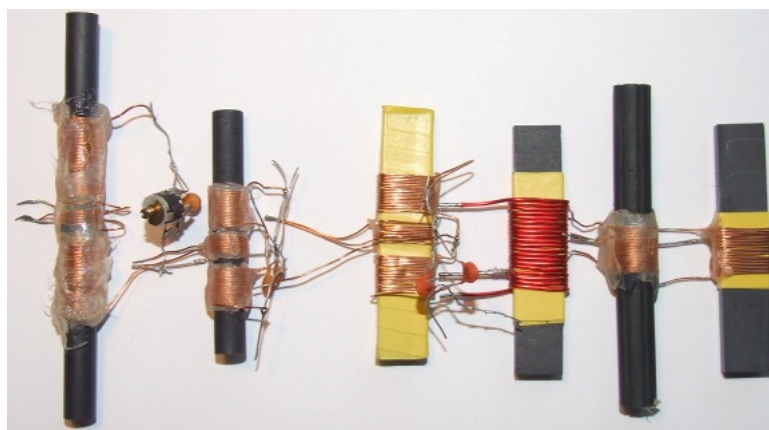
Pro řídicí a výpočetní jednotkou byl zvolen osmibitový mikrokontrolér Atmega32L. K mikrokontroléru jsou připojeny jednotlivé analogové a digitální vstupní a výstupní periferie. Interakce s uživatelem probíhá za pomoci grafického displeje, signalizačních LED, přepínače režimů vysílání/přijímání a tlačítek. V následujících kapitolách jsou detailně popsány principy jednotlivých funkčních obvodových bloků a kroky provádějící jejich návrh.

#### 2.1.1 Anténa

Jedním ze základních "stavebních kamenů" každého RF přijímače či vysílače je anténa. Klasický dipól, jehož rozměr vychází z poloviny vlnové délky, je v tomto případě nepoužitelný. Z rovnice 1.1 je patrné, že tato anténa by měřila kolem 320 *m*, což by nebylo zrovna praktické. Z konstrukčního hlediska byla proto zvolena anténa feritová. Ta je tvořena feritovou tyčinkou, na které je navinuta cívka. Výhodou této antény je fakt, že ferit má značnou permeabilitu, a proto dobře soustřeďuje magnetické pole.

Během testování navrženého vyhledávače byly odzkoušeny různé druhy antén (obrázek 2.1). Na základě těchto testů byla zvolena anténa z kuželového feritového jádra o průměru 9.5 *mm*. Na tomto jádru je vinutí o průměru 0.5 *mm* o dvaceti závitěch s odbočkou ze čtvrtého závitu. Tudíž dvě vinutí o čtyřech a šestnácti závitěch spojená v sérii. Výhodou této antény je kompaktnost obou vinutí a odpadá nutnost doladění antény za pomoci změny vzájemné polohy obou vinutí.

Z důvodů vhodnějších rozměrů bylo ve finální verzi vyhledávače zaměněno kulevitě feritové jádro za ploché ( $63 \times 12 \times 4 \text{ mm}$ ). Poměr vinutí zůstal zachován. Tato anténa slouží nejen pro vysílání, ale i pro příjem signálu. Vinutí o čtyřech závitech slouží k účelům buzení nebo měření signálu. Ladící kondenzátory jsou připojeny paralelně k celému vinutí. Zapojení antény do obvodu je patrné z obrázků 2.2.



Obr. 2.1: Různé druhy antén

### 2.1.2 Vysílač

Jak již bylo řečeno v teoretické části této práce, je nosná frekvence lavinových vyhledávačů  $457 \text{ kHz}$  a používá amplitudovou modulaci v podobě klíčování. Na základě těchto informací byl navrhnout jednoduchý vysílač splňující tyto parametry.

Základním prvkem je integrovaný obvod HCF40106, který obsahuje šest invertujících Schmittových hradel. Pomocí hradla IC1C a keramického rezonátoru je vytvořen nestabilní klopný obvod kmitající s frekvencí  $457 \text{ kHz}$  udávající nosnou frekvenci. Jelikož samotný keramický rezonátor kmitá na frekvenci  $455 \text{ kHz}$  s tolerancí  $2 \text{ kHz}$ , je tento obvod doplněn o kapacitní trimr C54, který slouží k rozladění rezonátoru na požadovanou frekvenci.

Modulační signál je generován procesorem a má obdelníkový průběh s periodou  $1 \text{ s}$  a střídou  $10 \%$ . Výstupní signály obou generátorů jsou spojeny přes diody D3 a D4, tvořící logickou operaci OR. Tímto způsobem je dosaženo amplitudové modulace. Takto modulovaný signál je posílen a zostřen za pomoci hradla IC4E a dále negován hradlem IC4D. Negace je provedena z důvodu zachování správné klidové úrovně na výstupu, který je veden na PNP tranzistor T7.

Jestli je alespon jeden ze vstupů v logické úrovni 1, je na bázi tranzistoru kladné napětí a je tedy rozepnut. Pokud by tato negace nebyla realizována, tranzistor by v klidovém stavu spínal anténu do zkratu mezi zemí a napájením baterie, jelikož výstup z kolektoru PNP tranzistoru T7 je veden přímo na střední vývod antény, která je přes čtyři závity vázaná k zemi.

Kondenzátory C43, C44 a C45 slouží k naladění antény na požadovaný rezonanční kmitočet. Jsou připojeny na krajní vývody antény. Jejich celková hodnota lze vypočítat za pomoci Thomsnova vztahu.

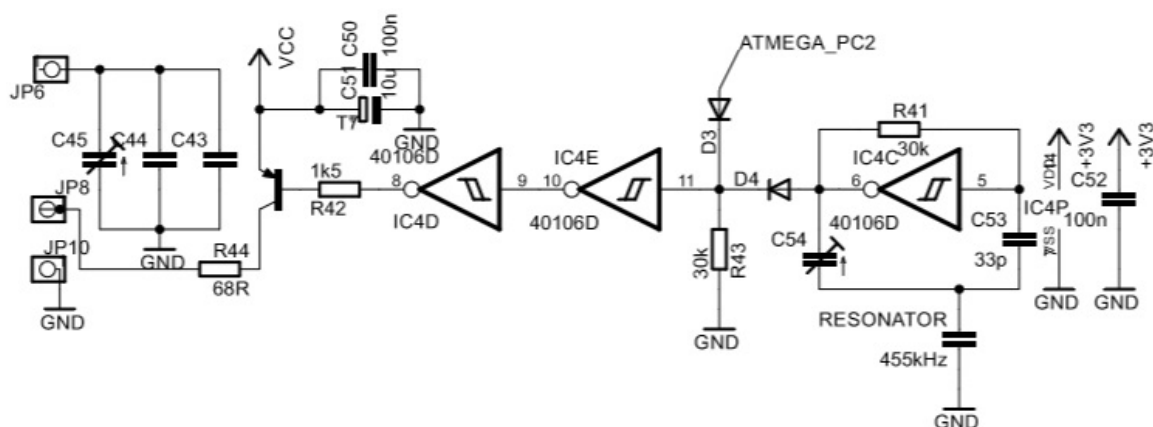
$$X_L = X_C \Rightarrow \omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} \quad (2.1)$$

Po dosazení indukčnosti celého vinutí antény  $L = 30\mu H$  a kmitočtu  $f = 457kHz$  do rovnice 2.1 dostaneme výslednou kapacitu.

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 457000)^2 \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = 4,043 \text{ nF} \quad (2.2)$$

Této kapacity lze dosáhnout například paralelní kombinací  $3,9 \text{ nF}$  a  $120 \text{ pF}$  a přesným doladěním pomocí kapacitního trimru C54.

Zapojení je doplněno o blokovací a filtrovací kondenzátory C50, C51, C52 eliminující potencionální rušivé vlivy způsobené tranzistorem či jiným zdrojem.

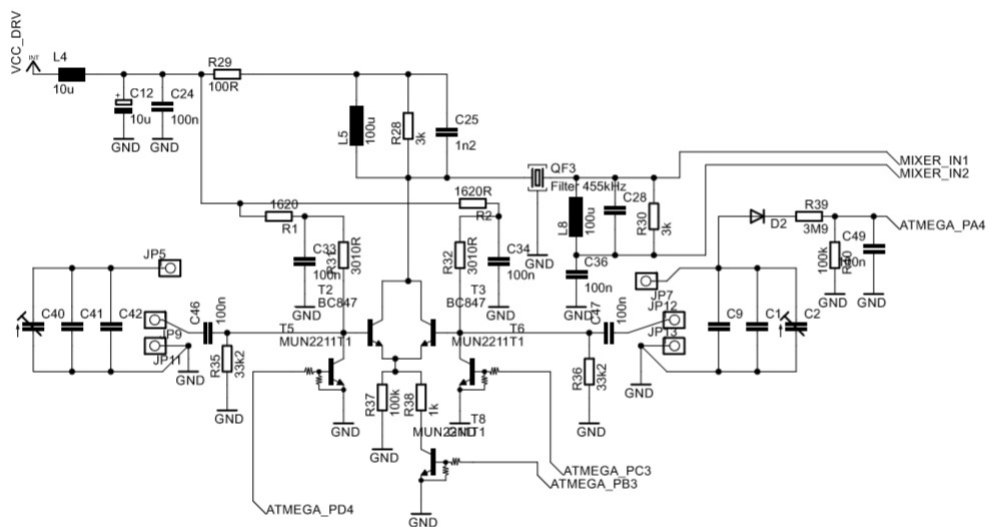


Obr. 2.2: Schéma vysílače

### 2.1.3 Vstupní obvody antén

Dle zadání by zařízení mělo umožňovat detekci vzdálenosti a směru. Přibližnou vzdálenost lze odhadnout na základě síly přijatého signálu z jedné antény. Pokud chceme však detekovat i směr je třeba alespoň dvou nebo více antén. Tento fakt vyplývá ze skutečnosti, že feritové antény mají značnou směrovou charakteristiku a nejsou schopny detekovat signál ve všech směrech. Z tohoto důvodu zařízení obsahuje dvě antény vzájemně natočené o  $90^\circ$ . Tímto způsobem je pokryt prostor ve dvou osách. Na základě měření síly přijatého signálu na jednotlivých anténách lze odhadnout přibližný směr.

Pro obvodovou realizaci tedy přicházejí v úvahu dvě možnosti. Navrhnout dvakrát stejnou analogovou část zpracovávající signál z antény. Tato varianta by měla však za následek výrazné zvětšení rozměrů desky plošného spoje. Nebo použít pouze jednu analogovou část společnou pro obě antény a mechanismus přepínání antén. Toto řešení se jeví jako výhodnější a proto byl navrhnut následující obvod.



Obr. 2.3: Schéma vstupních obvodů antén

Základem tohoto obvodu jsou tranzistory T2 a T3, jejichž emitory a kolektory jsou vzájemně propojeny. Na báze těchto tranzistorů je přes blokovací kondenzátory C46 a C47 přiveden střídavý signál z antén. Pomocí rezistorů R1, R31, R35 je nastaven pracovní bod tranzistoru T1. Kondenzátor C33 společně s rezistorem R1 tvoří dolní propust filtrující potencionální rušení napájecího vedení. Toto zapojení je zrcadlově symetrické pro tranzistor T2. V emitorech těchto tranzistorů je pevně připojen  $100\text{ k}\Omega$  rezistor R37 fungující jakožto atenuátor výstupního signálu.



Pomocí digitálního tranzistoru T8 lze k tomuto rezistoru paralelně připojit  $1\text{ k}\Omega$  rezistor R38 a tím uvést obvod do netlumeného režimu. V kolektorech tranzistorů T2 a T3 je paralelní kombinace RLC sloužící jakožto filtr a impedanční přizpůsobení pro keramický filtr QF3. Pro zvolenou indukčnost  $L5 = 100\ \mu\text{H}$  lze z Thomsnova vztahu 2.1 vyjádřit kapacita C25.

$$C_{25} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 450000)^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 1,21\text{nF} \quad (2.3)$$

Výstup z kolektorů tranzistorů T2 a T3 je veden přes keramický filtr na vstupy integrovaného obvodu SA636[20] zajišťující další analogové zpracování signálu. Digitální tranzistory T5 a T6 slouží k uzemnění bází T2 a T3 a lze pomocí nich volit, která z antén je aktivní.

#### 2.1.4 Detektor síly signálu

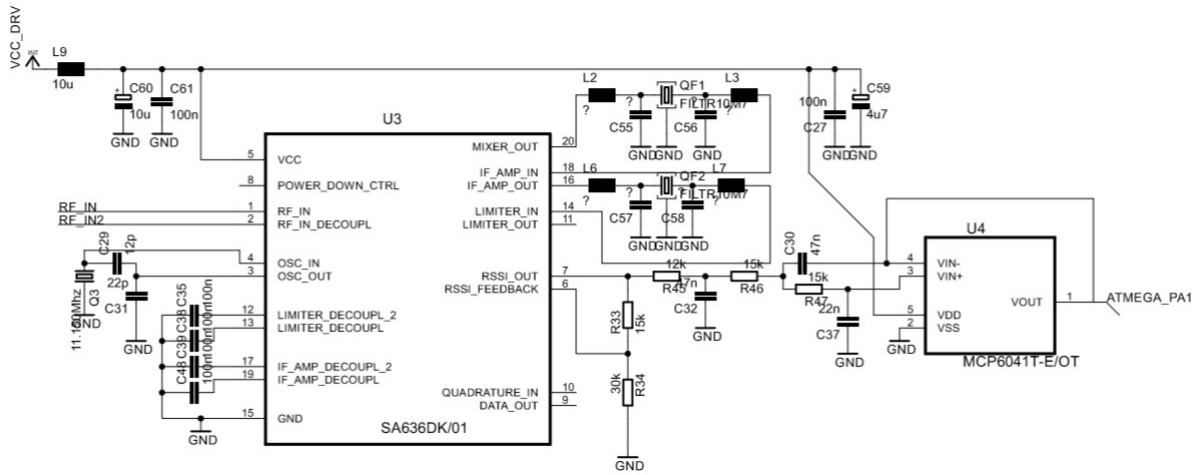
Pro další zpracování analogového signálu ze vstupních obvodů byl zvolen integrovaný obvod SA636[20]. Tento obvod je určen pro zpracování frekvenčně modulovaných širokospektrálních signálů. Výhodou je rovněž nízké napájecí napětí ( $2,7\text{ V}$ ), tudíž je vhodný pro bateriově napájené zařízení. Funkci tohoto obvodu zobrazuje část blokového schématu 3.7.

RF signál je nejprve přiveden na vstup signálového mixéru. Tento vstup je mixován s pevně naladěným oscilátorem o frekvenci  $11,15\text{ MHz}$ . Výsledný signál je roven rozdílu vstupních signálů, což je přibližně  $10,7\text{ MHz}$ . Takto vzniklý signál se nazývá střední frekvence neboli IF (intermediate frequency). Hodnota  $10,7\text{ MHz}$  byla zvolena z důvodů podpory pasivních filtrů pro tuto frekvenci. Taktéž obvod SA636[20] je pro tuto střední frekvenci optimalizován. Výstupní zisk z mixéru je  $11\text{ dB}$ .

Signál je dále veden na pasivní pásmovou propust ( $-3\text{ dB}$ ) a následně na zesilovač ( $38\text{ dB}$ ). Takto zesílený signál je znovu filtrován stejným typem filtru a přiveden na zesilovač s omezením ( $54\text{ dB}$ ). Při standardním použití frekvenčně modulovaného signálu by takto zesílený signál vedl dál na kvadrurní dekodér, jehož výstupem by byly dekodovaná data. Jelikož však vyhledávač pracuje s amplitudovou modulací a vyhodnocuje se pouze síla signálu, tak tyto obvody nebyly do kaskády zapojeny.

Integrovaný obvod dále obsahuje jednotku RSSI, neboli indikátor síly přijatého signálu. Tato hodnota je určena na základě výstupů IF zesilovače a následného zesílení limitujícího zesilovače. Výsledná hodnota je zesílena logaritmickým zesilovačem. Pokud by se jednalo o přijímač ve vzdáleném poli, tak by se tímto logaritmickým zesílením dosáhlo přibližné linearizace síly signálu v závislosti na vzdálenosti.

Následující obrázek zobrazuje schéma zapojení obvodu SA636.



Obr. 2.4: Schéma detektoru síly signálu

Výstupní signál udávající sílu přijatého signálu byl značně zašuměný, proto bylo zapojení doplněno o soustavu filtrů. Rezistor R45 a kondenzátor C32 tvoří pasivní dolní propust. Za tímto filtrem následuje další aktivní dolní propust druhého řádu topologie Sallen-Key s jednotkovým zesílením.

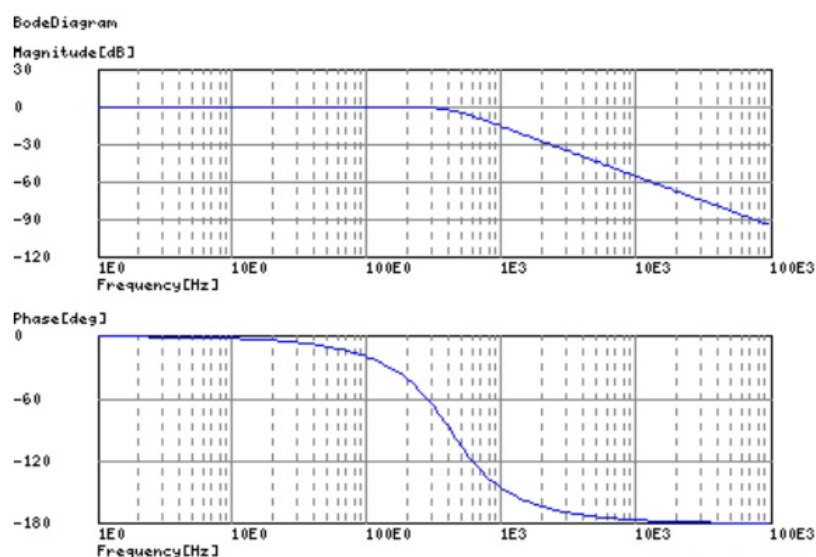
Jelikož je tato část obvodu napájena malým asymetrickým napětím 3,3 V, byl zvolen operační zesilovač MCP6041[17]. Operační napětí tohoto obvodu je již 1,4 V s Rail-to-Rail vstupem i výstupem. Tento obvod je tudíž schopen pracovat v plném rozsahu napájecího napětí. Hodnoty součástek byly určeny pomocí simulace jakožto  $R46 = R47 = 12 \text{ k}\Omega$ ,  $C30 = 47 \text{ nF}$  a  $C37 = 22 \text{ nF}$ .

Mezní frekvenci lze dopočítat z následujících vztahů.

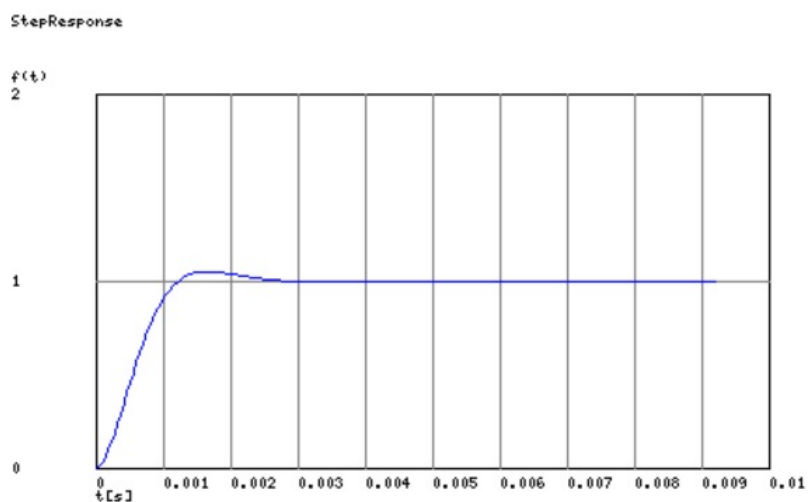
$$C37 = \frac{C30}{2} = \frac{47 \cdot 10^{-9}}{2} = 23,5 \text{ nF} = 22 \text{ nF} \quad (2.4)$$

$$f_0 = \frac{\sqrt{2}}{(2 \cdot \pi \cdot C30)} = \frac{\sqrt{2}}{(2 \cdot \pi \cdot 47 \cdot 10^{-9})} = 400 \text{ Hz} \quad (2.5)$$

Perioda přijímaného signálu je 1 s. Zvolená frekvence 400 Hz se proto může na první pohled jevit jako zbytečně veliká. Vezmeme-li však v úvahu dynamiku filtru, s nižší frekvencí roste hodnota kondenzátorů, a tím pádem se i výrazně zpomaluje odezva filtru. Na obrázcích 2.5 a 2.6 jsou zobrazeny frekvenční charakteristiky filtru a odezva na skokový signál. Z těchto průběhů je patrné, že doba ustálení přechodného děje je přibližně 3 ms. Filtrovaný signál má tvar pulzu o šířce 100 ms. Za tento časový interval je třeba provést měření na obou anténách. Z těchto faktů je již patrnější hodnota zvoleného mezního kmitočtu.



Obr. 2.5: Frekvenční charakteristiky filtru S-K



Obr. 2.6: Odezva aktivního filtru S-K na skokový signál

## 2.1.5 Napájecí obvody

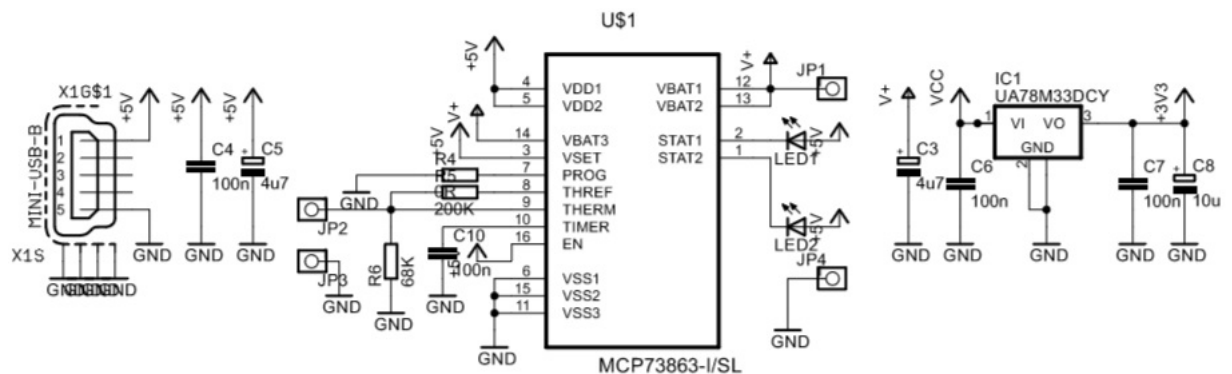
Jelikož je vyhledávač zařízení mobilní a určené do terénu, je třeba použití bateriového napájení. Po zohlednění různých parametrů (rozměr, kapacita, dodávané napětí, doba nabíjení) byla zvolena baterie typu Li-Ion. Pro lepší uživatelskou přítelovost byl do navrhovaného zařízení integrován obvod MCP73863 [21] umožňující hlídání stavu baterie a její nabíjení.

Obvod umožňuje několik základních funkcí[21]:

- Nabíjení baterie nastavitelným proudem (maximálně 1,2 A)
- Nabíjení malým proudem při extrémním vybití baterie
- Pozvolný náběh nabíjení takzvaný SoftStart
- Detekce nízkého napětí baterie
- Ochrana proti přepólování baterie
- Nastavitelné nabíjecí napětí 4,1 V nebo 4,2 V
- Přímé připojení LED signalizující stav nabíjení
- Měření teploty baterie pomocí termistoru

Tento obvod je aktivní pouze pokud má externí napájení. K tomuto účelu slouží konektor USB-Mini typu B.

Baterie je k ostatním obvodům spínána pomocí přepínače SW1. Procesor a většina periférií jsou napájená 3,3V, které jsou distribuovány lineárním regulátorem IC1. Jelikož přijímací část obvodů má značnou proudovou spotřebu, je jejich napájení odděleno od ostatních částí za pomoci P-MOSFET tranzistoru Q2 2.8. Tento tranzistor je sepnut pouze v době, kdy je zapotřebí příjem a zpracování signálu.



Obr. 2.7: Schéma napájecích obvodů

## 2.1.6 Mikrokontrolér a I/O periferie

Jednou z nejdůležitějších částí navrženého zařízení je oblast mikrokontroléru. Ten se dá považovat za křemíkový "mozek" celého zařízení. Jakožto řídicí člen byl zvolen osmibitový mikrokontrolér firmy Atmel Atmega32L[16]. Tento kontrolér obsahuje dostatečné množství paměti a periférií pro požadovanou aplikaci.

Základní vlastnosti a použité periferie Atmega32L[16]:

- Architektura typu RISC, AVR jádro
- Paměť: 32KB FLASH, 2KB SRAM
- Dva osmibitové a jeden šestnáctibitový čítač s podporou PWM
- Komunikační rozhraní SPI, UART, TWI
- Desetibitový analogově digitální převodník

Základním úkolem mikroprocesoru je vytvoření uživatelského rozhraní pro komunikaci s uživatelem. K tomuto účelu slouží grafický display s řadičem PCD8544[18] používaný v telefonech Nokia 3310 a 5110. Displej je připojen přes komunikační rozhraní SPI pomocí konektoru SV1. Tento konektor má i druhotnou funkci. Po odpojení displeje slouží jakožto programovací rozhraní mikrokontroléru.

Dalšími výstupy, které slouží uživateli k detekci vnitřních stavů, jsou LED5 a LED6. Zařízení taktéž obsahuje elektroakustický měnič SG1 sloužící pro akustickou signalizaci v režimu příjmu.

Vstupní rozhraní je tvořeno přepínačem SW1. Tento přepínač je dvou-pólový s třemi polohami. Jeden pól připíná baterii k zařízení, druhý definuje režim. Takto je zařízení schopno rozlišit tři režimy: vysílání, příjem a vypnutí.

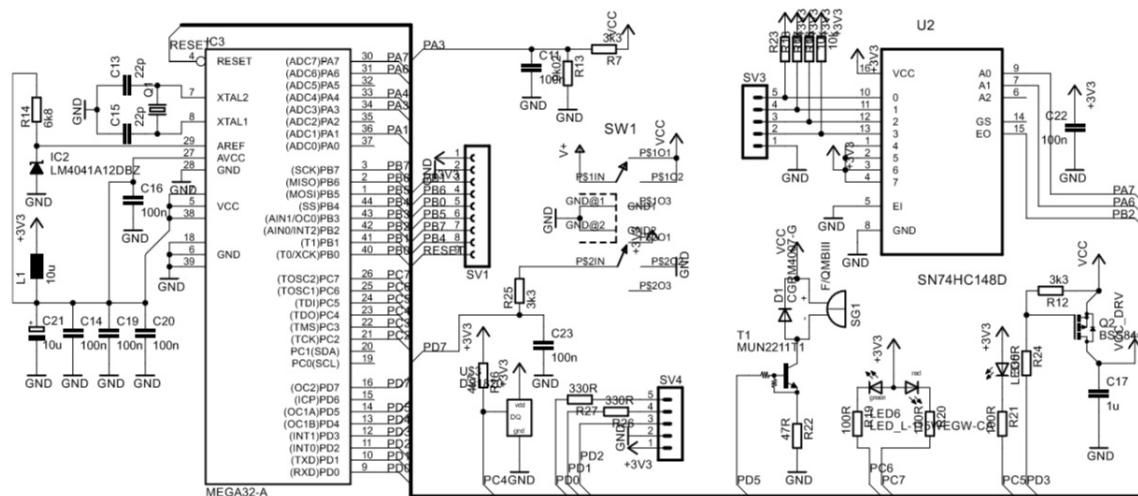
Zařízení umožňuje připojení dalších periférií (například GPS modul) pomocí rozhraní UART, které je vyvedeno na konektor SV4. Konektor SV3 umožňuje připojení až čtyř přídavných tlačítek. Signály z těchto tlačítek jsou vedeny na prioritní dekodér 74HC148 vytvářející BCD kód z kódu 1zN. Dekodér dále generuje aktivní signál EO při stisku kteréhokoliv tlačítka. Tento signál je veden na pin mikrokontroléru umožňující externí přerušení. Toto řešení umožňuje elegantní programové zpracování signálů z tlačítek pomocí asynchroního přerušení bez nutnosti pasivního čekání, nebo opakovaného skenování.

Poslední digitální periferií připojenou k mikrokontroléru je digitální teploměr DS18B20[19]. Tento teploměr komunikuje za pomoci jedno-vodičového rozhraní Dallas. Teploměr slouží především jakožto ukazatel klimatických podmínek. Dalším možným využitím znalosti teploty okolí je kalibrace zařízení.

V režimu vysílání je hlavní funkcí mikrokontroléru zajištění amplitudové modulace generátoru nosné frekvence. To je zajištěno za pomoci vhodného časování (popsáno v kapitole 2.2.3) a digitálního výstupu PC2, který je veden na diodu D3. V tomto režimu je možné měřit napětí nakmitané na vysílací anténě pomocí děliče napětí a špičkového detektoru tvořené pomocí součástek D2,R39,R40 a C49. Signál z detektoru je veden na analogový vstup mikrokontroléru.

V režimu příjmu je třeba zpracovávat filtrovaný signál z detektoru síly. Pro tuto potřebu je využit další analogový vstup mikrokontroléru.

Jelikož je nabíjecí obvod baterie během chodu vyřazen z funkčnosti, je třeba detekce napětí na baterii. K tomuto účelu je použit analogový vstup PA3. Signál je filtrován dolní propustí složenou z děliče napětí R13,R7 a kondenzátorem C11.



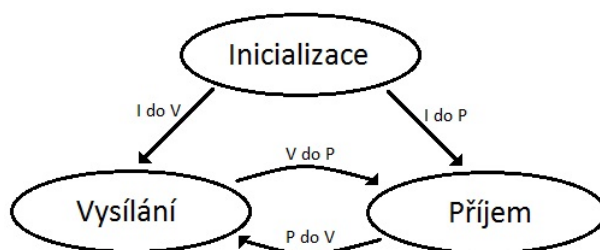
Obr. 2.8: Schéma řídicí části

## 2.2 Programové vybavení

Druhou neméně podstatnou částí při návrhu vyhledávače je návrh řídicího programu mikrokontroléru. Podobně jakožto v předchozí části jsou v následujících kapitolách podrobně popsány jednotlivé části programu. Ty jsou děleny dle periférií a funkcionality. Pro návrh bylo použito vývojové prostředí Atmel Studio 6.2, programovací jazyk C a sada překladačů GCC.

### 2.2.1 Stavový automat

Hlavní rutina je realizována za pomoci takzvané super smyčky. To znamená, že kód je vykonáván periodicky v nekonečné smyčce. V této smyčce je realizován stavový automat o třech stavech 2.9.



Obr. 2.9: Schéma stavového automatu

Po přivedení napájecího napětí se mikrokontrolér automaticky uvede do stavu inicializace. V tomto stavu se vykonají následující činnosti:

- Definování vstupních a výstupních pinů
- Nastavení výstupních pinů do počátečních stavů
- Přiřazení počátečních hodnot globálních proměnných
- Inicializace analogově digitálního převodníku
- Inicializace osmibitového časovače udávající časování
- Inicializace šestnáctibitového časovače pro generování PWM
- Inicializace displeje
- Inicializace modulu externího přerušení

I když jsou periferie inicializovány, všechna maskovatelná přerušení jsou prozatím zakázána pomocí nejvyššího bitu stavového registru SREG. Po těchto úkonech následuje rozhodnutí zda přejít do stavu příjmu či vysílání. Toto rozhodnutí je provedeno na základě vyhodnocení polohy spínače SW1 2.8.

Při přechodech mezi stavy je vždy provedena rutina, která upravuje nastavení periférií pro daný režim. Tudíž by se dalo říct, že tento stavový automat má tři hlavní stavy a další čtyři přechodné stavy vyjádřené v diagramu 2.9 pomocí šipek. V těchto přechodných stavech jsou vykonány úlohy, které je třeba provést pouze jednou a jejich periodické vykonávání ve smyčce by zbytečně zpomalovalo chod zařízení. Jsou to převážně úlohy upravení nastavení použitých periférií a vykreslení statických textů na displej. Po vykonání tohoto přechodného stavu jsou povolena maskovatelná přerušení a zařízení přejde do požadovaného stavu.

Ve stavu vysílání je základní funkcí mikrokontroléru amplitudová modulace nosného signálu. Nosný signál je generován bez přičinění mikrokontroléru pomocí obvodu, který popisuje kapitola 2.1.2. Časování je prováděno za pomoci osmibitového časovače, který periodicky vyvolá přerušení s frekvencí 500 Hz. Na základě počítání těchto přerušení je generován modulační signál o periodě 1 s a střídě 10 %. Ve zbylém neaktivním intervalu jsou vykonávány operace měření napětí baterie, teploty a aktualizování hodnot zobrazených na displeji.

Ve stavu příjmu mikrokontrolér měří přijatý signál, tento signál je programově filtrován pomocí plovoucího průměru. Podobně jako v předchozím případě jsou i v tomto stavu prováděny měření napětí baterie a teploty okolí.

### 2.2.2 Časování

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, většina činností vykonávané procesorem jsou podřízeny časování zajišťující osmibitový časovač. Pro tyto potřeby bylo potřeba uvést časovač do módu CTC (Clear on Timer Compare) [16]. V tomto nastavení čítač v každém kroku inkrementuje svou hodnotu a jakmile dosáhne požadované hodnoty uložené v registru OCR0 vyvolá přerušení a resetuje se. Tato situace je znázorněna na obrázku 2.10.

Hodnota registru OCR0 lze vypočítat na základě následujícího vztahu.

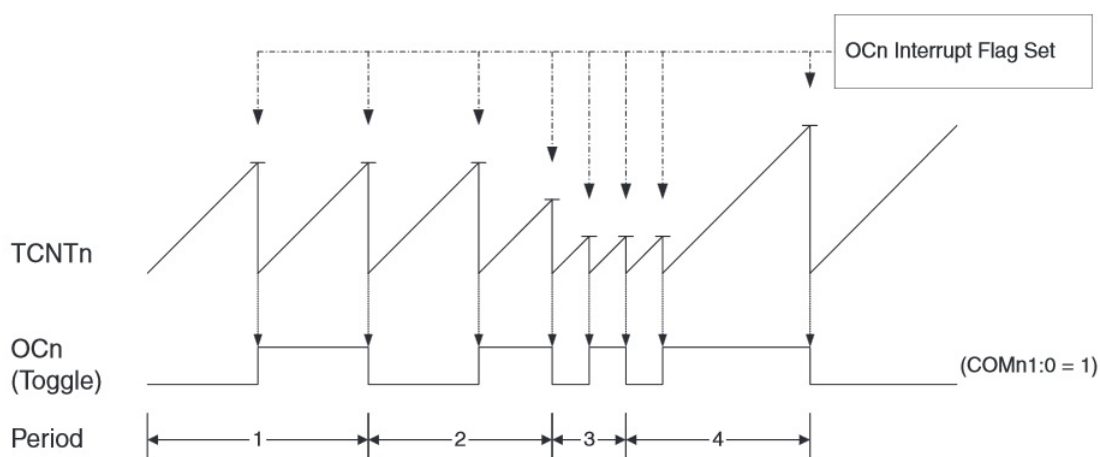
$$OCR0 = \frac{\text{taktovací frekvence}}{\text{dělička kmitočtu} \cdot \text{požadovaná frekvence}} = \frac{8000000}{64 \cdot 500} = 250 \quad (2.6)$$



V registru TCCR0 byl nastaven mód CTC [16] a požadovaná dělička kmitočtu. Povolení daného přerušení je provedeno za pomoci registru TIMSK. Takto nastavený časovač vyvolá periodicky přerušení s frekvencí  $500\text{ Hz}$ .

Časování popsané v této kapitole je například použito pro následující funkce:

- Amplitudová modulace vysílače
- Obnovení zobrazených dat na displeji
- Vzorkování AD převodníku
- Ošetření stisku tlačítek
- Měření teploty
- Blikání LED



Obr. 2.10: Časování v režimu CTC[16]

### 2.2.3 Elektroakustický měnič

Pro akustickou signalizaci byl zvolen magnetodynamický měnič KPB1220 [15]. Tento měnič byl zvolen převážně z důvodů jeho malých rozměrů a nízkého operačního napětí  $1 - 2\text{ V}$ . Při  $1,5\text{ V}$  generuje signál o akustickém tlaku  $85\text{ dB}$  (na vzdálenost  $10\text{ cm}$ ). Rezonanční kmitočet je  $2048\text{ Hz}$  s odchylkou  $500\text{ Hz}$ .

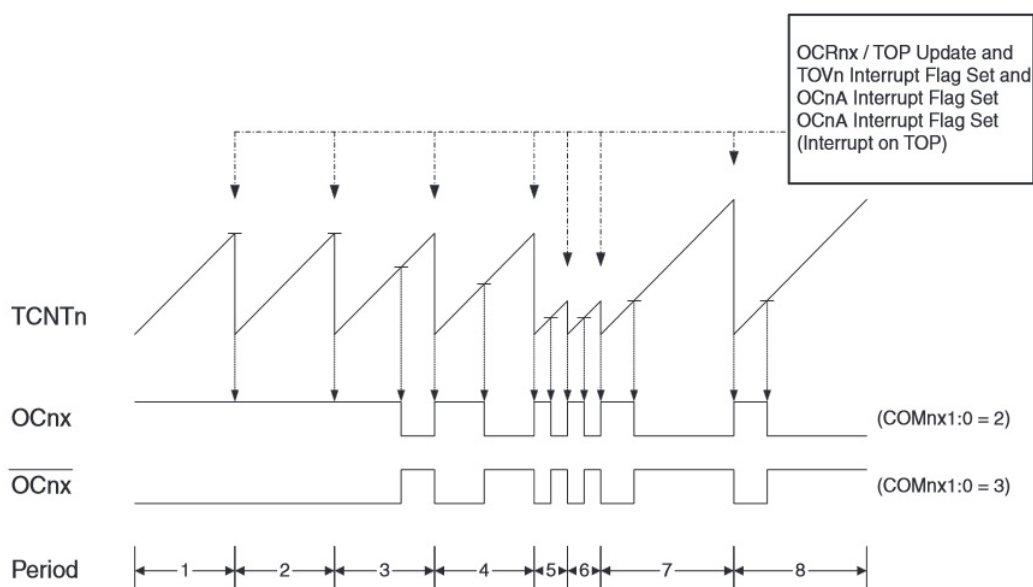
Na základě těchto informací bylo třeba vytvořit signál o této frekvenci. K tomuto účelu posloužil šestnáctibitový časovač umožňující generování PWM signálu. Ten byl nastaven do módu rychlé PWM[16]. Obrázek 2.11 znázorňuje funkci časovače v tomto režimu.

Z obrázku 2.11 je patrné, že časovač se nepřetržitě inkrementuje, jakmile dosáhne úrovně uložené v registru OCR1A, změní logickou úroveň na výstupním pinu OC1A. Oproti ostatním módům je jedna perioda rovna jedné náběžné hraně časovače, potažmo době, za kterou časovač přeteče. Hodnota registru ICR1 udává frekvenci a rozlišení, lze vypočítat z následujícího vzorce.

$$ICR1 = \frac{\text{taktovací frekvence}}{(\text{dělička kmitočtu} \cdot \text{požadovaná frekvence}) - 1} = \frac{8000000}{(1 \cdot 2048) - 1} = 3905 \quad (2.7)$$

Hodnota v registru OCR1A udává střídu PWM signálu.

$$OCR1A = \frac{\text{střída v \%} \cdot ICR1}{100} = \frac{50 \cdot 3905}{100} = 1952 \quad (2.8)$$



Obr. 2.11: Časování v režimu FAST PWM[16]

## 2.2.4 LCD displej

Jelikož je třeba grafické reprezentace naměřených hodnot, součástí vyhledávače je i displej. Pro zobrazovací jednotku byl zvolen grafický displej s rozlišením 84x48 bodů s řadičem PCD8544[18]. Tento displej byl používán ve starších typech mobilních telefonů firmy Nokia. Displej komunikuje s procesorem pomocí rozhraní SPI.

Prvním krokem je nastavení SPI ve stavu inicializace. Tato periferie je uvedena do režimu "Master", což jí umožňuje vybírat, se kterým "Slave" zařízením bude komunikovat za pomoci pinu "Slave Select". Frekvence hodin SPI je nastavena jakožto čtvrtina taktovací frekvence jádra. Nejvíce významný bit MSB je přenášen vždy první.

V druhém kroku je třeba inicializovat displej pro správné zobrazení dat. Pomocí SPI jsou displeji nastaveny následující parametry:

- Rozšířená instrukční sada
- Požadovaný kontrast
- Nastavení bias napětí LCD
- Horizontální adresovací mód
- Volba normálního zobrazovacího režimu

Pod pojmem normální zobrazovací režim je myšleno, že logická úroveň 1 je zobrazena jakožto černý pixel. Řadič umožňuje ještě invertující režim a stavy, kdy jsou všechny pixely displeje smazány nebo aktivovány.

Posledním krokem je již samotné vykreslení dat na displej. Řadič PCD8544 bohužel nemá podporu alfanumerických znaků. Z tohoto důvodu je třeba definovat všechny potřebné znaky programově. V hlavičkovém souboru je tudíž definován slovník všech alfanumerických symbolů o rozměru 8x5 pixelů. Kvůli rozsáhlosti těchto dat jsou data uloženy v programové paměti FLASH. Následující obrázek znázorňuje princip adresování jednotlivých pixelů.



Obr. 2.12: Princip adresování displeje s řadičem PCD8544[18]

Z obrázku 2.12 je patrné, že v horizontálním zobrazovacím režimu je displej rozdělen na šest řádků. Každý řádek má výšku 8 pixelů a délku 84 pixelů. Adresuje se tudíž vždy nejméně sekce o osmi pixelech v jednom řádku, jejichž stav odpovídá hodnotě přijatého osmibitového slova.

## 2.2.5 Digitální teploměr

Vyhledávač je zařízení, které je primárně určeno do zinných podmínek. Informace o teplotě může být velmi důležitá. Ať už z hlediska předcházení lavinové katastrofy, nebo jen jakožto ukazatel klimatických podmínek. Dalším možným využitím znalosti teploty okolí může být auto-kalibrace zařízení.

Pro účel měření teploty byl zvolen digitální snímač DS18B20 [19] od firmy Maxim. Tento obvod má pouze tři piny a je zapouzdřen v TO-92. Dva piny slouží jakožto napájení obvodu, třetí pin je vstupně výstupní a slouží pro komunikaci s procesorem za pomoci jednovodičové sběrnice "Dallas". K této sběrnici lze paralelně připojit více zařízení.

Po zadání požadavku o změření teploty obvod vrátí binární hodnotu. Snímač je schopen měřit teplotu v rozsahu  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$  s rozlišením  $0,0625^{\circ}\text{C}$ . Přesnost měření udávaná výrobcem je  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Následující tabulka zobrazuje závislost mezi tímto binárním číslem a skutečnou teplotou. [19]

Teplota $^{\circ}\text{C}$	Binární výstup	Hex. hodnota
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

Tab. 2.1: Převodní tabulka DS18B20[19]

Výsledná teplota ve stupních Celsia se vypočte pouhým roznásobením přijatého čísla konstantou 0,0625.

## 2.2.6 Měření stavu baterie

Poslední z použitých periférií mikrokontroléru je analogově digitální převodník. Jelikož je zařízení napájeno z baterie, je vhodné měřit její napětí. Díky tomuto údaji lze přibližně odhadnout její zbývající kapacita.

Nastavení ADC probíhá ve stavu inicializace. V tomto kroku jsou nastaveny všechny následující parametry.

- Dělicí faktor 128
- Vnitřní napěťová reference 2,56 V
- Volně běžící mód
- Automatické spouštění
- Povolení přerušování při konverzi

Po těchto krocích je ve stavech vysílání a příjmu možno číst digitální hodnotu z registru ADC. Jelikož napětí baterie převyšuje hodnotu vnitřní reference je třeba toto napětí snížit pomocí odporového děliče s dělicím poměrem 3:1. Skutečné napětí se potom dá vypočítat dle vztahu 2.9.

$$U_{BAT} = \frac{ADC \cdot U_{REF}}{1024} \cdot \text{dělicípoměr} = \frac{ADC \cdot 2,56}{1024} \cdot 3 = ADC \cdot 0,075 \quad (2.9)$$

## 2.2.7 Měření síly signálu

V režimu příjmu je nejdůležitějším úkolem detekce síly přijatého signálu. Podobně jako tomu bylo v předchozím případě, je pro tento účel použito modulu ADC. Nastavení je totožné. Jediný rozdíl je ve volbě kanálu ADC. Tato volba je možná za pomoci registru ADMUX.

Jelikož se u obvodového řešení vyskytly problémy, které zpomalili vývoj zařízení, nezbyl čas na programovou část. Funkce měření přijatého signálu byla značně zjednodušena. Zařízení tak plně nevyužívá možnosti, které mu poskytuje detekce signálu za pomoci dvou antén. V prozatímní verzi mikrokontrolér zpracovává pouze hodnotu z jedné antény. Tato hodnota je vyjádřena pomocí čísla na displeji.

## 3 REALIZACE A POPIS

Navržené zařízení bylo realizováno ve dvou prototypích. První navržené zařízení obsahuje pouze vysílací část sloužící pro potřeby testování. Druhá verze je kompletní zařízení obsahující jak vysílací tak přijímací obvody. Toto zařízení je tudíž plnohodnotným lavinovým vyhledávačem.

Následující kapitoly popisují tato dvě zařízení jakožto funkční celky. Dalo by se říct, že jsou jakousi technickou dokumentací poskytující přehled o jednotlivých funkcích zařízení. Popisují taktéž celkový obvodový návrh a konstrukci desky plošného spoje.

### 3.1 Vysílač

Toto zařízení bylo sestaveno převážně pro potřeby testování přijímacích obvodů lavinového vyhledávače. Jelikož neobsahuje obvody umožňující příjem signálu, nedá se považovat za lavinový vyhledávač. Obvodový návrh byl z důvodů minimalizace omezen pouze na součásti bezpodmínečně nutné pro správnou funkci vysílače.

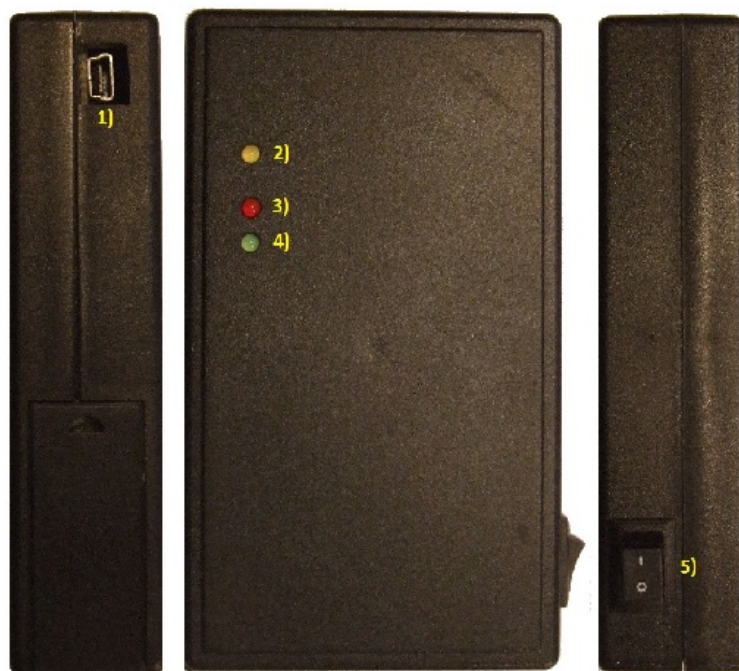
Schéma celkové realizace je vyobrazeno na obrázku 3.2. Návrhy vysílače a nabíječky jsou detailně popsány v kapitolách 2.1.2 a 2.1.5. Jakožto řídicí prvek byl zvolen menší mikrokontrolér Attiny25. Tento obvod má pouze šest vstupně výstupních pinů a pár základních periférií (časovač, ADC, SPI, TWI).

Kontrolér zajišťuje následující funkce:

- Amplitudovou modulaci nosného signálu
- Měření stavu baterie
- Měření napětí na anténě
- Signalizaci stavů pomocí LED

Zapojení bylo realizováno na oboustrannou desku plošného spoje převážně povrchovou montáží typu SMD. Obrázky 3.9 a 3.10 zobrazují navrženou DPS a osazovací plán. DPS společně s anténou a Li-Ion baterií byly uloženy do konstrukční krabičky. Venkovní pohled a popis zobrazuje fotografie 3.1.

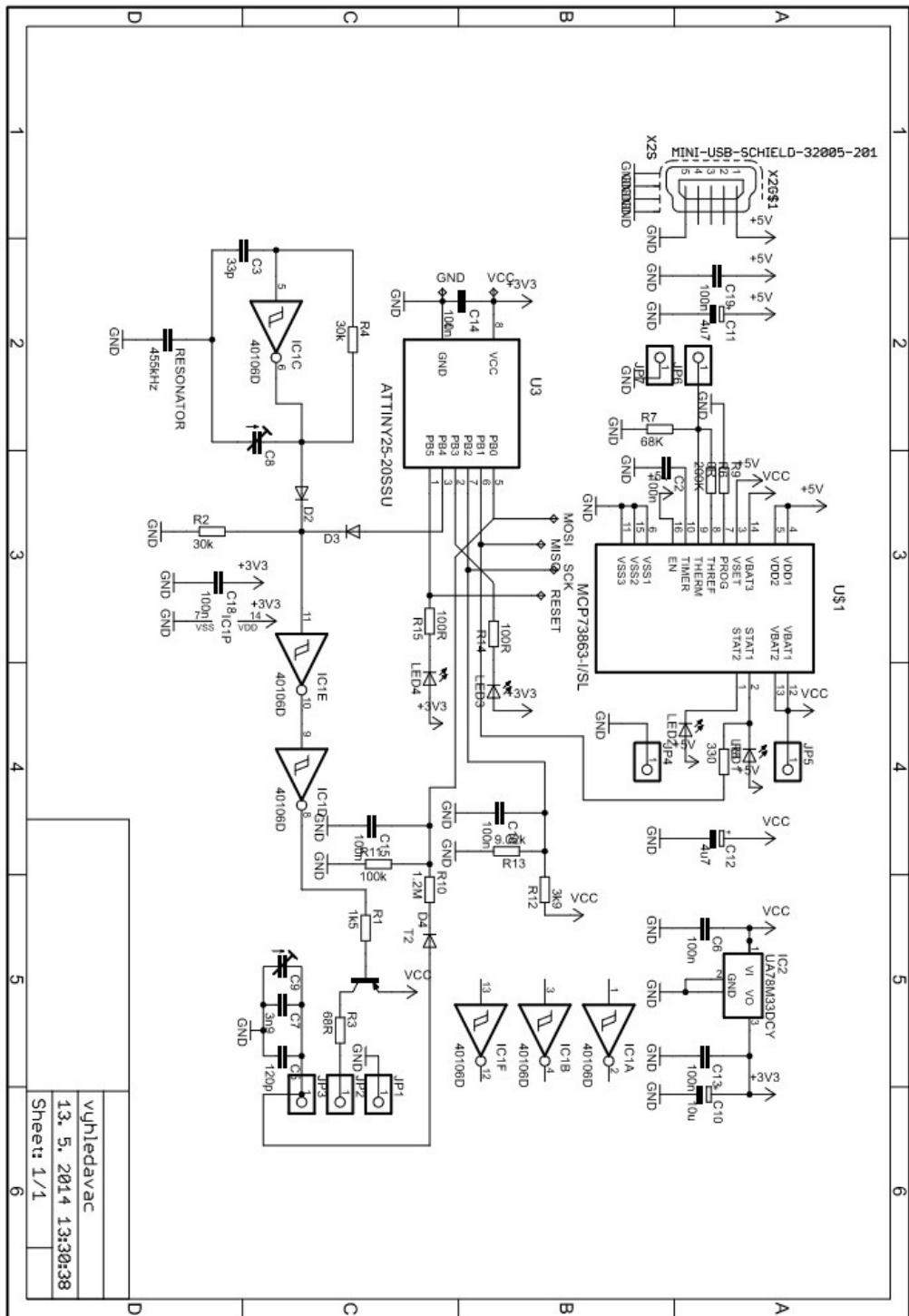
Pohled na přední a boční strany navrženého vysílače:



Obr. 3.1: Fotografie vysílače

### Popis:

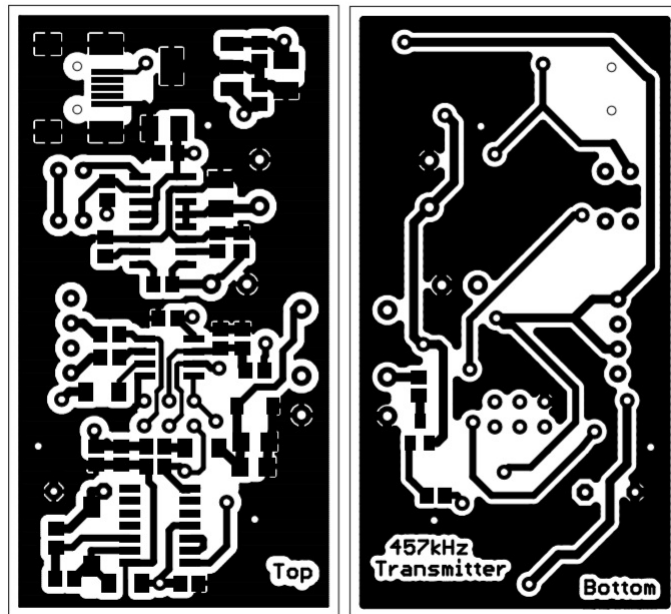
- 1) USB konektor sloužící pro nabíjení Li-Ion baterie. Vstupní napětí připojené na tento konektor nesmí překročit hodnotu  $10\text{ V}$ . Při překročení tohoto napětí by mohlo dojít ke zničení napájecích obvodů. Nabíjecí obvod baterie je nastaven na maximální nabíjecí proud  $700\text{ mA}$ . Teoreticky je potřeba zdroje alespoň s touto proudovou zatížitelností. Prakticky je tento limit spíše ochranou před poškozením baterie a při normálním provozu teče nabíječkou proud výrazně nižší. Bylo ověřeno, že i při úplném vybití baterie, je počítačové rozhraní USB umožňující maximální zatížitelnost  $500\text{ mA}$  dostačující.
- 2) LED signalizující nabíjení baterie. Pokud je na konektor USB připojeno napětí, nabíjecí obvod vyhodnotí stav baterie a případně začne nabíjení. Stav nabíjení je signalizován rozsvícením této LED.
- 3) LED signalizující nízké napětí baterie. Pokud procesor vyhodnotí nízké napětí baterie (menší než  $3,6\text{ V}$ ), rozsvítí tuto LED.
- 4) Kontrolní LED časování mikrokontroléru. Periodické blikání této LED značí správný chod mikrokontroléru. Pokud by tato dioda přestala periodicky blikat, tak je pravděpodobné, že zařízení nefunguje korektně.
- 5) Vypínač připojující baterii k mikroprocesoru a vysílači. Pokud je pomocí USB připojeno napětí, poloha tohoto přepínače nemá vliv na nabíjení. Baterie je k nabíjecímu obvodu připojena trvale.



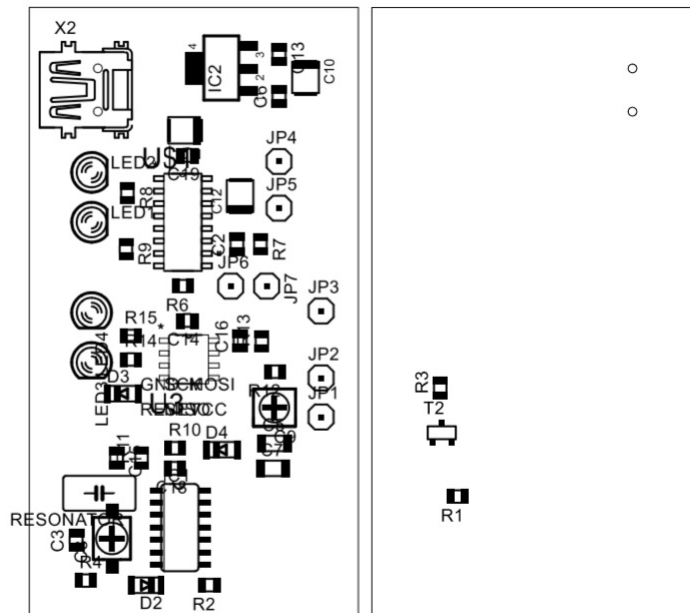
vyhledavac
13. 5. 2014 13:30:38
Sheet: 1/1

Obr. 3.2: Schéma vysílače





Obr. 3.3: DPS vysílače



Obr. 3.4: Osazovací plán vysílače

## 3.2 Lavinový vyhledávač

Druhým realizovaným zařízením je již plnohodnotný lavinový vyhledávač. Zařízení umožňuje volbu dvou režimů: příjem a vysílání. Naměřená data jsou uživateli reprezentována za pomoci grafického displeje.

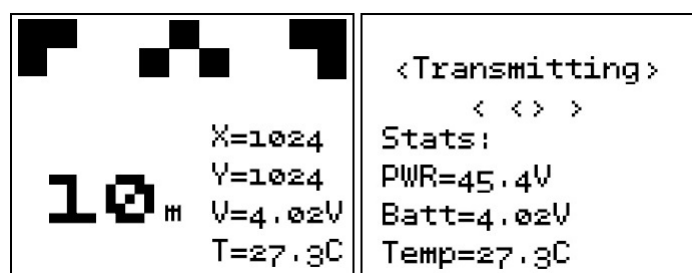
Podobně jako u předchozího zařízení se v této kapitole nachází fotografie navrženého vyhledávače 3.5 a popis vnějších periferií. Na dalších stranách následuje: celkové schéma 3.8, zjednodušený blokový diagram 3.7, oboustranná DPS 3.9 a osazovací plán 3.10.



Obr. 3.5: Fotografie vyhledávače

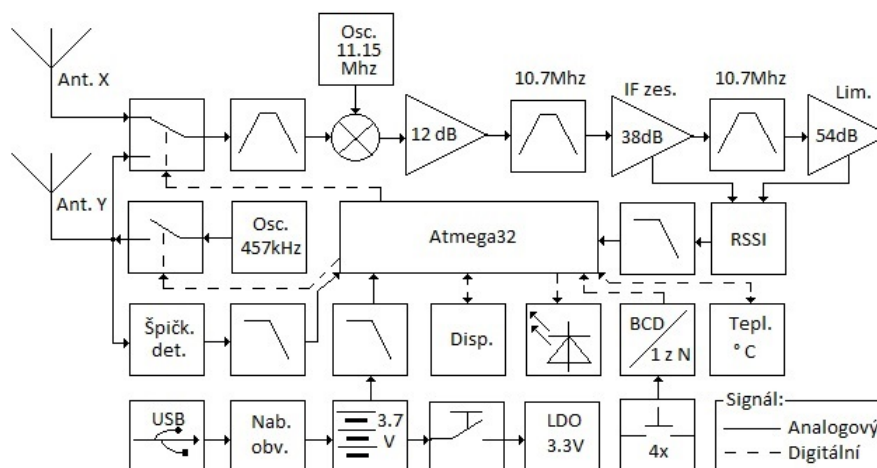
- 1) Grafický displej
- 2) Dvoubarevná LED, červená signalizuje nízké napětí baterie
- 3) Kontrolní LED časování mikrokontroléru
- 4) Elektroakustický měnič pro akustickou signalizaci během vyhledávání
- 5) LED signalizující nabíjení baterie
- 6) USB konektor pro nabíjení Li-Ion baterie
- 7) Přepínač režimů: příjem, vysílání, vypnuto

Navržený lavinový vyhledávač umožňuje dva aktivní režimy. Na obrázku 3.6 vlevo je zobrazeno grafické rozhraní displeje v režimu příjmu. V horní části displeje jsou vykreslovány šipky určující směr hledání. V levé části displeje je zobrazována odhadovaná vzdálenost. Ve zbylém prostoru jsou vypisovány naměřená data o síle signálu na jednotlivých anténách (X,Y), napětí baterie (V) a teplota okolí (T). Obrázek 3.6 vpravo zobrazuje grafické rozhraní displeje v režimu vysílání. V tomto režimu jsou zobrazovány orientační údaje o stavu baterie, teplotě okolí a potenciálně o síle vysílaného signálu.



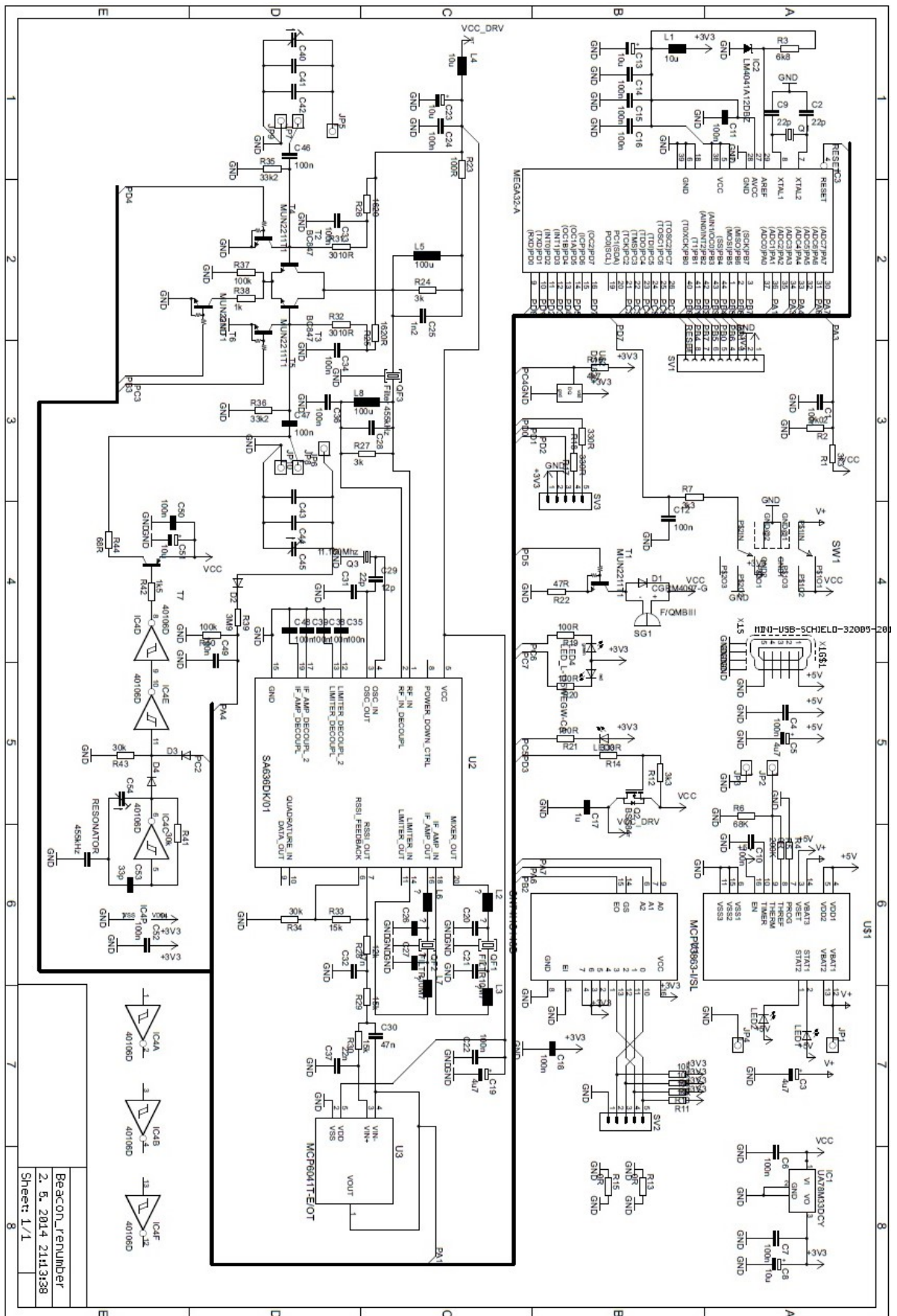
Obr. 3.6: Grafické uživatelské rozhraní

Jelikož je schéma celého zařízení vyobrazené na obrázku 3.8 poměrně obsáhlé, bylo vytvořeno následující zjednodušené blokové schéma.

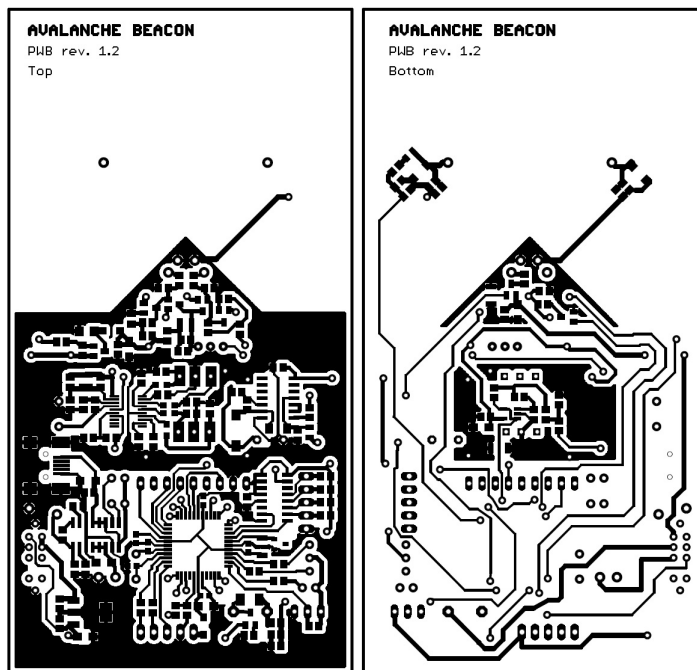


Obr. 3.7: Blokové schéma lavinového vyhledávače

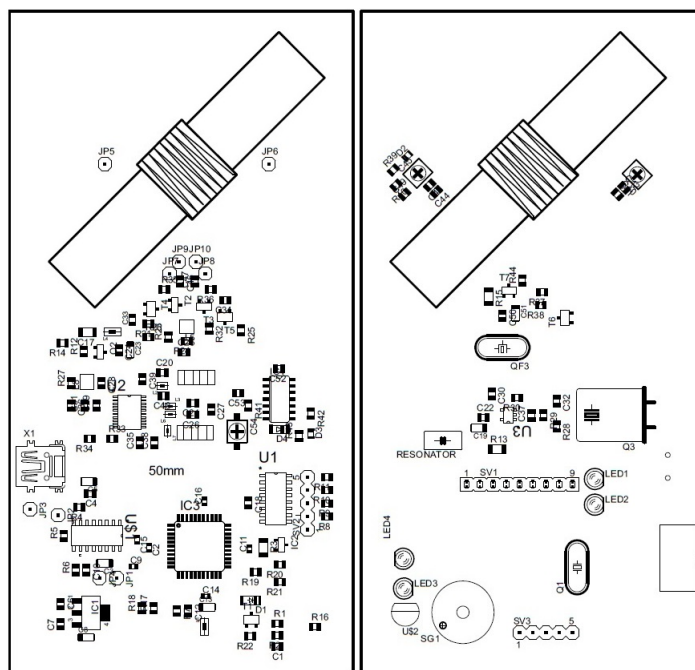
Z diagramu 3.7 je funkce celého zařízení lépe čitelná. Směr toku signálu je znázorněn za pomoci šipek. Jednotlivé bloky představují části elektronických obvodů vykonávající specifickou funkci (například: dolní propust, pásmová propust, signálový mixér, zesilovač apod.). Detailní popis jednotlivých bloků je popsán v kapitole 2.1.



Obr. 3.8: Schéma lavinového vyhledáče



Obr. 3.9: DPS vyhledávače



Obr. 3.10: Osazovací plán vyhledávače

### 3.3 Ladění parametrů

Posledním krokem ke správné funkčnosti vyhledávače je doladění parametrů přístroje. Následující kapitoly popisují ladění dvou kritických parametrů. První z nich je frekvence oscilátoru udávající nosný kmitočet. Druhým je rezonanční frekvence antény. Oba tyto parametry mají značný vliv na funkčnost a dosah zařízení.

#### 3.3.1 Oscilátor vysílače

Pro správnou činnost lavinového vyhledávače je třeba přesného naladění nosné frekvence vysílače na hodnotu  $457\text{ kHz}$ . Povolená odchylka od této frekvence udávaná normou ETS 300718 [3] je pouze  $82\text{ Hz}$ . Toto doladění lze provést rozladěním rezonančního kmitočtu keramického rezonátoru za pomoci kapacitního trimru C54 2.2 a případnou změnou kapacity kondenzátoru C53. Pro tyto účely bylo použito přesného multimetru Keithley 2700, který umožňuje měření frekvence s přesností na šest a půl místa.

Měření a nastavení proběhlo za pokojové teploty  $25^\circ\text{C}$ . Jelikož je nosná frekvence odvozena od keramického rezonátoru, je teplota okolí důležitý parametr. Frekvence tohoto oscilátoru je totiž teplotně závislá. Této problematice se dále věnuje kapitola 4.3 .

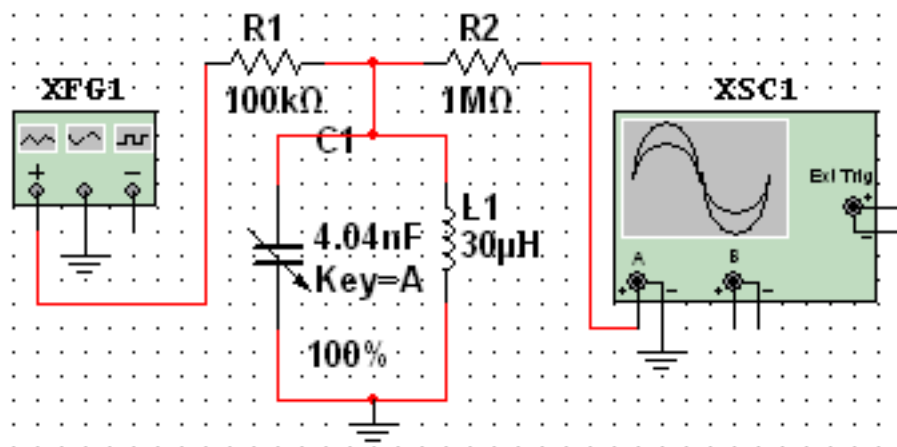
Jelikož se ladící kondenzátory C53 a C54 pohybují v řádech jednotek pikofaradů, bylo přesné doladění dost obtížné. Zařízení obsahující vysílač i přijímač se podařilo naladit na hodnotu  $457\,003\text{ Hz}$ . Druhé navržené zařízení, obsahující pouze vysílač bylo naladěno na  $457\,010\text{ Hz}$ . Obě zařízení tudíž splňují frekvenční požadavky normy ETS 300718 [3].

#### 3.3.2 Rezonanční frekvence antén

Druhým, neméně podstatným krokem bylo ladění rezonančního obvodu antény na kmitočet  $457\text{ kHz}$ . Toto ladění bylo provedeno ve třech krocích.

Prvním krokem bylo změření indukčnosti antény pomocí precizního LRC můstku firmy QuadTech Model 7600. Byly měřeny tři stejné antény o dvaceti závitech namotané na feritu s tvarem plochého kvádrů (obrázek 2.1). Ve všech případech byla změřena hodnota  $30\ \mu\text{H}$  s odchylkou jedné desetiny  $\mu\text{H}$ . Pomocí Thompsnova vztahu a odvozením rovnice 2.1 byla pro požadovanou frekvenci dopočtena hodnota rezonanční kapacity  $4,043\text{ nF}$ .

Druhým krokem bylo praktické ověření tohoto výpočtu a nalezení přesných kondenzátorů. Měření proběhlo za pomoci laboratorního generátoru funkcí a osciloskopu. Tuto situaci znázorňuje obrázek 3.11. Odpory R1 a R2 omezují protékající proud a snižují parazitní vlivy přístrojů.



Obr. 3.11: Blokové schéma ladění rezonančního obvodu antény

Pomocí změny kapacity se měnila amplituda signálu zobrazená na osciloskopu. Tímto způsobem bylo nalezeno maximum, v němž je paralelní LC obvod v rezonanci.

Posledním krokem bylo ukotvení těchto antén na desku plošného spoje a osazení patřičných kondenzátorů. Jelikož touto montáží vznikly další parazitní kapacity, bylo zapotřebí provést finální doladění. Toto doladění proběhlo podobně jako v předchozím kroku, jen na místo laboratorního generátoru byl již použit generátor nosného kmitočtu na DPS. Takto naladěná anténa napájená 3,7 V baterií s poměrem závitů 1:4 dosáhla špičkového napětí 49 V.

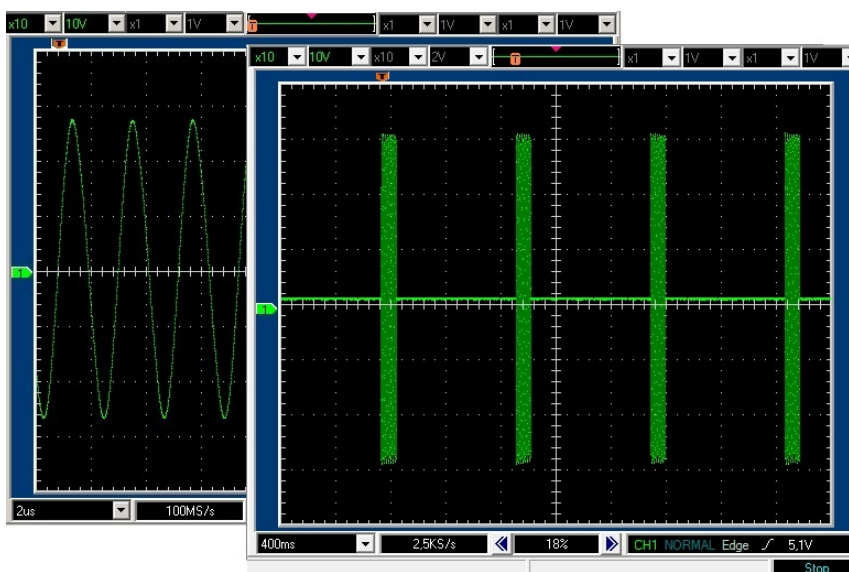


## 4 TESTOVÁNÍ

Poslední část diplomové práce je věnována testování navržených zařízení a ověření jejich správné funkčnosti. Následující kapitoly popisují postup jednotlivých měření a shrnují výsledky.

### 4.1 Vysílač

Pro ověření správné funkčnosti vysílací části byly realizovány dva následující testy. Prvním testem bylo osciloskopické měření průběhu napětí na anténě. Toto měření potvrdilo správnou funkčnost obou oscilátorů. Na obrázku 4.1 je zachycena amplitudová modulace a detailní zobrazení nosného kmitočtu. I když je rezonanční obvod buzen obdelníkovým signálem, na anténě je naměřen harmonický signál. Tento obvod se totiž chová jako ostrá dolní propust a propouští pouze první harmonickou složku signálu. Taktéž byl potvrzen fakt, že LC obvod antény je v rezonanci. Mezi vrcholová hodnota napětí nakmitaná na anténě, byla totiž více než desetinásobná oproti napájecímu napětí.



Obr. 4.1: Průběh napětí na anténě



Druhým testem bylo ověření kompatibility s komerčním lavinovým vyhledávačem. Pro tento účel posloužil dvouantenní digitální vyhledávač DTS Tracker. Ten byl schopen na otevřeném prostranství detekovat tento vysílač na vzdálenost přibližně 30m.



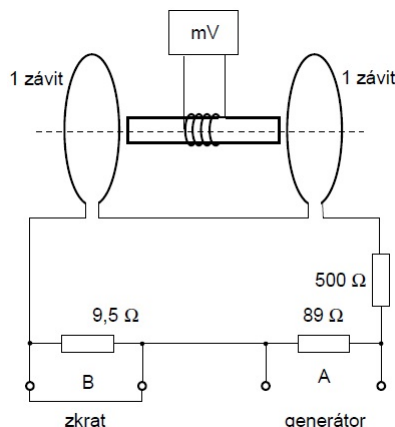
Obr. 4.2: Testování s komerčním vyhledávačem

## 4.2 Směrová charakteristika

Jelikož jsou v zařízení použity feritové antény a vyhledávání probíhá v blízkém elektromagnetickém poli, předpokládá se značná směrovost zařízení. Z tohoto důvodu je vhodné znát směrovou charakteristiku použitých antén. Měření této charakteristiky lze provést více způsoby.

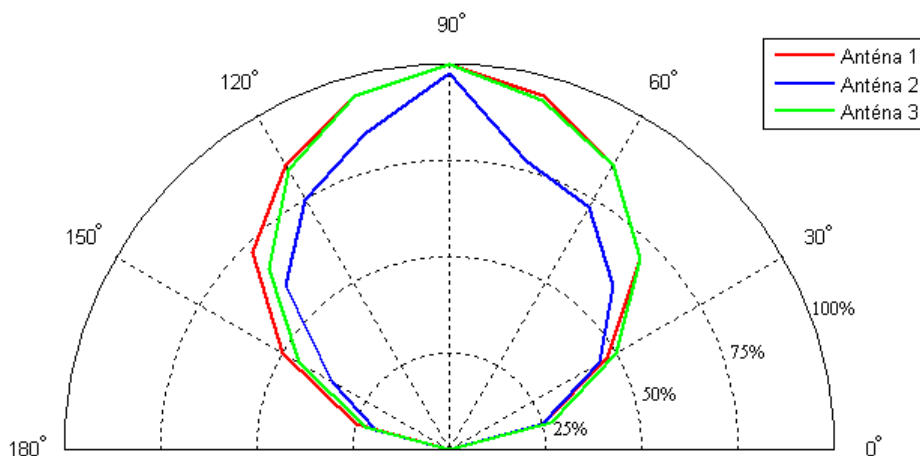
V tomto případě bylo vytvořeno homogenní magnetické pole pomocí Helmholtzových cívek. Jsou to dvě sousední, kruhové a soufázově buzené cívky ve vzdálenosti rovné jejich poloměru. V prostoru mezi těmito cívkami je generováno homogenní magnetické pole s chybou menší než 2 %. Tyto cívky jsou buzeny sinusovým signálem s frekvencí odpovídající rezonančnímu kmitočtu antény. Samotná anténa je umístěna v prostoru mezi cívkami.

Vývody antény jsou připojeny ke střídavému milivoltmetru. Výsledná směrová charakteristika byla získána měřením napětí na anténě v závislosti na natočení antény v generovaném magnetickém poli. Měřicí zapojení znázorňuje obrázek 4.3.



Obr. 4.3: Schéma měřicí soustavy

Pomocí této měřicí soustavy byla změřena směrová charakteristika třech typů antén. Tato charakteristika je zobrazena na obrázku 4.6. Z tohoto grafu je patrné, že charakteristiky antén 1 a 3 jsou téměř totožné. Charakteristika antény číslo 2 vykazuje značnou asymetrii. Tento jev mohl být způsoben rušivými vlivy v laboratoři.



Obr. 4.4: Směrová charakteristika

- Anténa 1: Je finální anténa použitá v navrženém zařízení. Vinutí o dvaceti závitů s měřicí odbočkou ze čtvrtého závitů na plochem feritovém jádru.
- Anténa 2: Stejně vinutí jako v předchozím případě. Feritové jádro má válcovitý tvar s podélným drážkováním.
- Anténa 3: Hlavní vinutí o  $2 \times 36$  závitů. Uprostřed tohoto vinutí se nachází měřicí vinutí o šesti závitů.

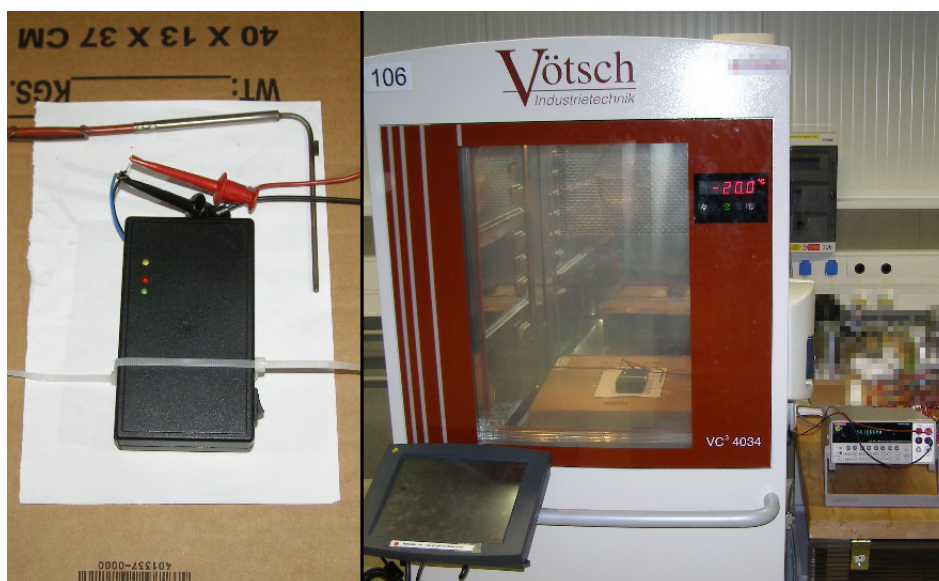
Tab. 4.1: Směrová charakteristika antény

Úhel [ ° ]	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$U_{A1}$ [ mV ]	0	10	20	29	34	38	40	38	34	28	19	10	0
$U_{A2}$ [ mV ]	0	18	36	53	67	76	80	75	68	56	40	22	0
$U_{A3}$ [ mV ]	0	8	14	24	30	34	39	32	31	29	24	18	0

### 4.3 Teplotní závislost

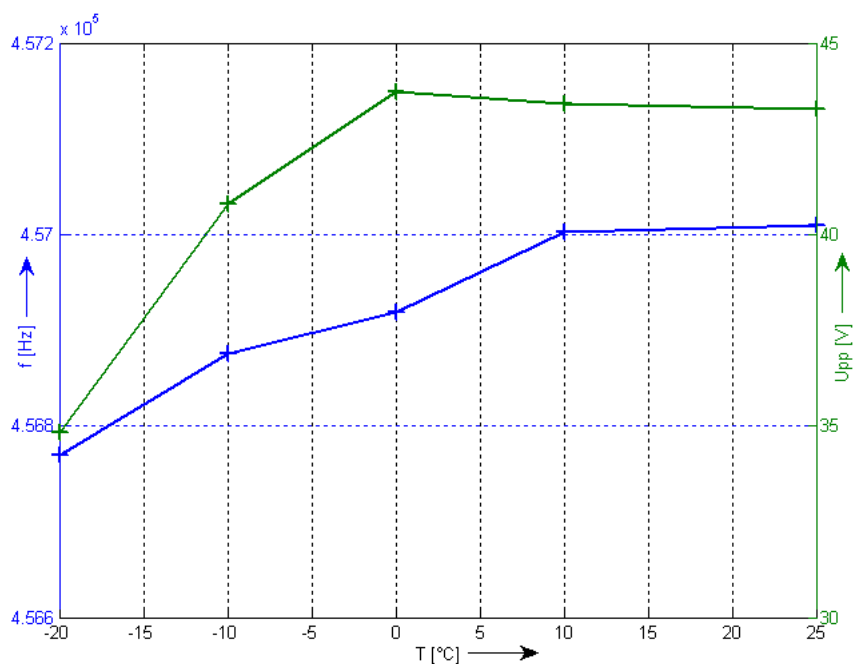
Jelikož je lavinový vyhledávač zařízení určené převážně do zimního prostředí, byl proveden klimatický test. Vyhledávač byl umístěn do klimatické komory Vötsch VC4034. Pomocí multimetru Keithley 2700 bylo měřeno napětí a frekvence na anténě.

Nosný kmitočet vysílaného signálu je odvozen z kmitočtu keramického rezonátoru. Tento rezonátor je pomocí kondenzátorů rozladěn na požadovaný kmitočet. Parametry kondenzátorů a rezonátoru jsou teplotně závislé a tudíž je předpoklad teplotního driftu generované nosné frekvence. Tento předpoklad byl hlavním důvodem následujícího testu.



Obr. 4.5: Klimatická komora s měřící aparaturou

Následující graf zobrazuje teplotní závislost nosného kmitočtu a napětí na anténě. Z grafu je patrné, že zařízení má optimální provozní podmínky v rozmezí teplot  $0 - 25^{\circ}\text{C}$ . Při poklesu teploty pod bod mrazu se začne výrazně měnit frekvence. Tento jev má za následek rozladění rezonančního obvodu a tím pádem pokles napětí na anténě.



Obr. 4.6: Teplotní závislost frekvence

Tab. 4.2: Teplotní závislost frekvence vysílače

$T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-20	-10	0	10	25
$f$ [ $\text{Hz}$ ]	456770	456875	456919	457002	457010
$U_{PP}$ [ $\text{V}$ ]	34.84	40.79	43.72	43.4	43.23

Z naměřených hodnot je patrné, že navržený vysílač je značně teplotně závislý. Tento nežádoucí jev může výrazně ovlivnit kvalitu signálu a dosah zařízení. Na minimalizaci tohoto parazitního jevu byl brán zřetel už při návrhu zařízení. Všechny kondenzátory ovlivňující rezonanční kmitočet antény či frekvenci oscilátoru, byly osazeny v provedení SMD s použitou keramickou hmotou NPO. Tento typ kondenzátorů neoplývá vysokou kapacitou (menší než  $10 \text{ nF}$ ) jako například X7R nebo X5R. Velkou výhodou je však výrazně vyšší přesnost a menší teplotní závislost.

## 4.4 Simulace reálného použití vyhledávače

Posledním z testů byla simulace reálného vyhledávání. Slovo simulace značí fakt, že tento test neproběhl v horském terénu s kompaktní sněhovou vrstvou, ale na okraji Brna v polovině května. Test byl situován na dvou odlišných volných prostranstvích s neupraveným, dostatečně vysokým, travním porostem. Na obou lokacích byla vytyčena plocha o přibližné rozloze  $600m^2$ . V této oblasti byl v bujném porostu ukryt vysílač.

Test spočíval v lokalizaci tohoto vysílače za pomoci navrženého vyhledávače. Pro objektivnost tuto lokalizaci vykonávali tři po sobě jdoucí dobrovolníci. Zvolené osoby neměli žádnou předchozí zkušenost s lavinovým vyhledáváním a toto lokalizační zařízení použili poprvé v životě. Každému byl vysvětlen pouze základní princip vyhledávání. Tabulka 4.3 udává změřené časy jednotlivců, potřebné k lokalizaci vysílače. I přes neznalost metodiky vyhledávání byli všichni schopni správné lokalizace.

Během tohoto testu byl taktéž změřen dosah detekce. S použitím komerčního vyhledávače v režimu vysílání, byl navržený vyhledávač schopen detekce v přímém směru na vzdálenost  $8m$ . Při použití navrženého vysílače byla tato vzdálenost o metr menší.

Tab. 4.3: Simulace reálného nasazení vyhledávače

	Oblast č.1	Oblast č.2
Osoba č.1	1m 11s	2m 29s
Osoba č.2	3m 10s	1m 1s
Osoba č.3	58s	3m 54s

Každý z účastníků měl specifickou metodiku vyhledávání. První dva postupovali systematicky tak, aby postupně prošli celý vytyčený prostor. Třetí z figurantů volil svou trajektorii značně chaoticky. Díky tomuto faktu pravděpodobně dosáhl dosti schizofrenního výsledku v podobě nejlepšího a nejhoršího času.

## 5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo seznámení se s problematikou lavinových vyhledávačů. Na základě těchto poznatků navrhnout vlastní vysílač a lavinový vyhledávač. Při tomto návrhu byl brán zřetel na normu týkající se těchto zařízení tak, aby navržená zařízení byla kompatibilní s komerčními vyhledávači.

Teoretická část této práce se zaměřuje na dva nejpoužívanější typy vyhledávacích zařízení. Popisuje jejich principiální funkci, mechanickou konstrukci a historický vývoj.

Praktická část práce je zaměřena na návrh a konstrukci vysílače a vyhledávače. V této části jsou detailně popsány kroky provádějící návrh elektronických obvodů a řídicího programu. Dále je zde věnován prostor popisu realizovaných zařízení a jejich odladění. Poslední část se zabývá testováním a měřením navržených zařízení.

Výsledkem této práce jsou dvě funkční zařízení dle požadavků zadání. První zařízení je vysílač generující amplitudově modulovaný signál s nosnou frekvencí  $457\text{ kHz}$ . Druhé zařízení je kompletní lavinový vyhledávač. Ten je schopen fungovat jako vysílač nebo jako přijímač. Pro reprezentaci výsledků a vnitřních stavů zařízení slouží grafický displej. Navíc je vyhledávač schopen měřit teplotu okolí, napětí baterie a sílu vysílaného signálu. Zařízení dále umožňuje připojení externích modulů (například GPS nebo kompas) za pomoci rozhraní UART. Algoritmy pro obsluhu těchto modulů nebyly v rámci diplomové práce implementovány. Navržená DPS obsahuje konektor pro připojení až čtyř tlačítek. Z důvodů redundance nejsou prozatím využity. Jejich potencionální uplatnění by bylo při ovládání GPS.

Testování navržených zařízení dokázalo jeho správnou funkčnost ve smyslu normy ETS 300718 [3] a taktéž potvrdilo kompatibilitu s jinými druhy lavinových vyhledávačů. Na základě měření byla stanovena směrová charakteristika použitých antén a závislost nosné frekvence na teplotě okolí. Navržený oscilátor jevil značnou závislost na teplotě. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější zvolit jiný oscilátor odvozený například z kmitočtu krystalu, který má stabilnější teplotní závislost.

Při konstrukci zařízení se nepodařilo plně oživit vstupní obvody antén umožňující jejich přepínání. Z tohoto důvodu je prozatímní verze schopna pracovat pouze s jednou anténou, a tedy není schopna autonomního určování směru vyhledávání.

I přes tento nedostatek je zařízení schopno detekce vysílače, což potvrdil test simulující reálné použití. Všichni zúčastnění figuranti bez předchozích zkušeností a bez znalosti metodiky vyhledávání byly schopni na ploše o rozloze  $600\text{ m}^2$  lokalizovat ukrytý vysílač.

## LITERATURA

- [1] HEREFORD, J.; EDGERLY, B. *457 KHz Electromagnetism and The Future of Avalanche Transceiver*, [online]. [cit. 2. 02. 2014]. Dostupné z URL: <<https://s3.amazonaws.com/BackcountryAccess/content/papers/457andFuture>>.
- [2] FAJKUS, M. *Modulace signálů a jejich vliv na spektrum signálu*, [online]. poslední aktualizace 9. 11. 2009 [cit. 20. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://modulace.imatte.cz/teorie.php>>.
- [3] *ETS 300718*, [online]. 1996, [cit. 11. 2. 2014]. Dostupné z URL: <[http://www.etsi.org/deliver/.../ets\\_300718e01p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/.../ets_300718e01p.pdf)>.
- [4] *ASTM F1491-93(2002)*, [online]. 2002, poslední aktualizace 06. 2007 [cit. 11. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.astm.org/Standards/F1491.htm>>.
- [5] TRSTENSKÝ, T. *Recco lavinový zachranný systém*, [online]. 2007, poslední aktualizace 2. 03. 2007 [cit. 15. 2. 2014]. Dostupné z URL: <[http://skialp.hiking.sk/hk/ar/455/recco\\_lavinovy\\_zachranny\\_system.html](http://skialp.hiking.sk/hk/ar/455/recco_lavinovy_zachranny_system.html)>.
- [6] DAWSON, L. *Skadi — First Avalanche Rescue Transceiver Beacon*, [online]. 2013, poslední aktualizace 9. 08. 2013 [cit. 15. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.wildsnow.com/10527/skadi-history-avalanche-rescue-beacon-transceiver/>>.
- [7] *Learn how to: Perform A Beacon Search*, [online]. [cit. 16. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.fsavalanche.org/...>>.
- [8] *Lavinová statistika*, [online]. [cit. 11. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.tatry.cz/cs/lavinova-statistika>>.
- [9] *Recco*, [online]. 2009, poslední aktualizace 6. 11. 2013 [cit. 15. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/RECCO>>.
- [10] *Avalanche accidents in current year*, [online]. 2013, poslední aktualizace 02.01.2014 [cit. 16. 2. 2014]. Dostupné z URL: <[http://www.slf.ch/praevention/lawinenunfaelle/unfaelle\\_aktuell/index\\_EN](http://www.slf.ch/praevention/lawinenunfaelle/unfaelle_aktuell/index_EN)>.

- [11] *Siachen Glacier avalanche*, [online]. 2012, poslední aktualizace 2. 10. 2013 [cit. 18. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/...>>.
- [12] *Technología: Nuevo detector de Recco para avalanchas*, [online]. 2010, poslední aktualizace 22. 05. 2010 [cit. 18. 2. 2014]. Dostupné z URL: <<http://rescategoer.blogspot.cz/2010/05/tecnologia-nuevo-detector-de-recco.html>>.
- [13] *Recco system*, [online]. [cit. 27. 12. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.recco.com>>.
- [14] *Lavinová záchrana*, [online]. poslední aktualizace 1. 11. 2000 [cit. 20. 02. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.hscr.cz/...>>.
- [15] *Magnetic Transducer*, [online]. poslední aktualizace 4. 1. 2004 [cit. 2. 04. 2014]. Dostupné z URL: <<https://www.gme.cz/.../kpb1220-datasheet-1.pdf>>.
- [16] *ATmega32*, [online]. poslední aktualizace 1. 2. 2011 [cit. 10. 04. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>>.
- [17] *Lavinová záchrana*, [online]. poslední aktualizace 26. 3. 2013 [cit. 12. 4. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.farnell.com/datasheets/1791046.pdf>>.
- [18] *PCD8544*, [online]. poslední aktualizace 12.4 1999 [cit. 20. 4. 2014]. Dostupné z URL: <<https://www.sparkfun.com/.../Nokia5110.pdf>>.
- [19] *DS18B20*, [online]. poslední aktualizace 21. 5. 2008 [cit. 5. 5. 2014]. Dostupné z URL: <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/...>>.
- [20] *SA636*, [online]. poslední aktualizace 5. 12. 2012 [cit. 8. 5. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.farnell.com/datasheets/1759245.pdf>>.
- [21] *MCP73863*, [online]. poslední aktualizace 20. 4. 2011 [cit. 8. 5. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.farnell.com/datasheets/1669399.pdf>>.



## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

*RF* Radiofrekvenční – Radio frequency

*ASK* Amplitudová modulace pomocí klíčování – Amplitude Shift Keying

*ASTM* Americká společnost pro testování a materiály – American Society for Testing and Materials

*ETS* Evropské telekomunikační standardy – European Telecommunications Standards

*GPS* Globální polohovací systém – Global Positioning System

*SMD* Typ povrchové montáže – Surface Mount Technology

*Li – Ion* Lithium iontová – Lithium Ion

*LED* Světelná dioda – Light Emitting Diode

*RSSI* Indikátor síly přijatého signálu – Received Signal Strength Indicator

*UART* Univerzální seriové rozhraní – Universal Asynchronous Receiver and Transmitter

*BCD* Binárně reprezentované dekadické číslo – Binary Coded Decimal

*SPI* Sériové periferní rozhraní – Serial Peripheral Interface

*IF* Střední frekvence – Intermediate Frequency

*CTC* Režim časovače – Clear Timer on Compare

# SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha č.1:** Seznam součástí navržených zařízení.

**Příloha č.2:** CD, které obsahuje:

- Diplomovou práci v elektronické podobě.
- Zdrojový kód navrženého vyhledávače napsaný v prostředí AVR Studio 5.1.
- Schéma a podklady pro výrobu DPS pro program Eagle.

## 5.1 Příloha č.1:

Tab. 5.2: Vyhledávač: Seznam součástek

Počet	Hodnota	Typ	Označení
1	BC857A	BC857A-SOT23-BEC	T7
5	Podle antény	C-EUC0805	C41, C42, C43, C44
3	2-45pF	C-TRIMM3018_12	C54, C40, C45
1	8MHz	CRYSTAL_HC49S	Q1
2	1N4148	DIODE-MICMELF	D2, D3
1	1N4148	DIODE-MINIMELF	D4
1	-	FE09-1	SV1
3	LED	LED_LED3MM	LED1, LED2, LED3
2	PINHEAD	MA05-1	SV2, SV3
10	PINHEAD	PINHEAD-1X1	JP1, JP2, JP3, JP4, JP5, JP6, JP7, JP8, JP9, JP10
1	0R	R-EU_R0805	R4
2	0R	R-EU_R1206	R13, R15
1	1k	R-EU_R0805	R38
1	1k5	R-EU_R0805	R42
2	1n2	C-EUC0805	C25, C28
1	1u	C-EUC1206	C17
1	3M9	R-EU_R0805	R39
2	3k	R-EU_R0805	R24, R27
3	3k3	R-EU_R0805	R1, R7, R12
1	4k7	R-EU_R0805	R16
3	4u7	CPOL-EUSMCA	C3, C5, C19
1	6k8	R-EU_R1206	R3
1	9k02	R-EU_R0805	R2
4	10k	R-EU_R0805	R8, R9, R10, R11
4	10u	CPOL-EUSMCA	C8, C13, C23, C51
2	10u	WE-CBF_1206	L1, L4
1	11.150Mhz	CRYSTAL_HC49U	Q3
1	12k	R-EU_R0805	R28
1	12p	C-EUC0805	C29
3	15k	R-EU_R0805	R29, R30, R33
1	22n	C-EUC0805	C37
Pokračování na následující stránce			

Tab. 5.2 – pokračování z předchozí stránky

Počet	Hodnota	Typ	Označení
2	22p	C-EUC0603	C2, C9
1	22p	C-EUC0805	C31
3	30k	R-EU_R0805	R34, R41, R43
2	33k2	R-EU_R0805	R35, R36
1	33p	C-EUC0805	C53
1	47R	R-EU_R0805	R22
2	47n	C-EUC0805	C30, C32
1	68K	R-EU_R0805	R6
1	68R	R-EU_R0805	R44
4	100R	R-EU_R0805	R19, R20, R21, R23
2	100k	R-EU_R0805	R37, R40
4	100n	C-EUC0603	C11, C14, C15, C16
21	100n	C-EUC0805	C1, C4, C6, C7, C10, C12, C18, C22, C24, C34, C35, C36, C38, C39, C46, C47, C48, C49, C50, C52, C33
2	100u	SM-NE29	L5, L8
1	200K	R-EU_R0805	R5
3	330R	R-EU_R0805	R14, R17, R18
1	455kHz	C5/3.5	RESONATOR
2	1620R	R-EU_R0805	R25,R26
2	3010R	R-EU_R0805	R31, R32
1	40106D	40106D	IC4
4	Podle filtru	C-EUC0805	C20, C21, C26, C27
4	Podle filtru	WE-CBF_0805	L2, L3, L6, L7
2	BC847	BC847	T2, T3
1	BSS84	BSS84	Q2
1	CGRM4007-G	CGRM4007-G	D1
1	DS1820	DS1820	U\$2
1	F/QMBIII	F/QMBIII	SG1
2	FILTR10M7	FILTR10M7	QF1, QF2
1	Filter 455kHz	CRYSTAL_HC49T	QF3
1	LED_L-115WEGW	LED_L-115WEGW	LED4
1	LM4041A12DBZ	LM4041A12DBZ	IC2

Pokračování na následující stránce

Tab. 5.2 – pokračování z předchozí stránky

<b>Počet</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Typ</b>	<b>Označení</b>
1	MCP6041T- E/OT	MCP6041T-E/OT	U3
1	MCP73863-I/SL	MCP73863-I/SL	U\$1
1	MEGA32-A	MEGA32-A	IC3
1	MINI-USB	MINI-USB-SCH	
4	MUN2211T1	MUN2211T1	T1, T4, T5, T6
1	SA636DK/01	SA636DK/01	U2
1	SN74HC148D	SN74HC148D	U1
1	SWITCH2P3P	SWITCH2P3P	SW1
1	UA78M33DCY	UA78M33DCY	IC1

Tab. 5.1: Vysílač: Seznam součástek

Počet	Hodnota	Typ	Označení
1	BC857A	BC857A-SOT23-BEC	T2
2	2-45pF	C-TRIMM3018_12	C8,C9
3	1N4147	DIODE-MINIMELF	D2, D3, D4
4	LED	LED_LED3MM	LED1, LED2, LED3, LED4
7	PINHEAD	PINHEAD-1X1	JP1, JP2, JP3, JP4, JP5, JP6, JP7
1	0R	R-EU_R0805	R9
1	1.2M	R-EU_R0805	R10
1	1k5	R-EU_R0805	R1
1	3k9	R-EU_R0805	R12
1	3n9	C-EUC1206	C7
2	4u7	CPOL-EUSMCB	C11, C12
1	9.02k	R-EU_R0805	R13
1	10u	CPOL-EUSMCB	C10
2	30k	R-EU_R0805	R2, R4
1	33p	C-EUC0805	C3
1	68K	R-EU_R0805	R7
1	68R	R-EU_R0805	R3
2	100R	R-EU_R0805	R14, R15
1	100k	R-EU_R0805	R11
8	100n	C-EUC0805	C2, C6, C13, C14, C15, C16, C18, C19
1	120p	C-EUC1206	C5
1	200K	R-EU_R0805	R6
1	330R	R-EU_R0805	R8
1	455kHz	C5/3.5	RESONATOR
1	40106D	40106D	IC1
1	ATTINY25-20SSU	ATTINY25-20SSU	U3
1	MCP73863-I/SL	MCP73863-I/SL	U\$1
1	MINI-USB	MINI-USB-SCH	X2
6	TESTPAD_TP	TESTPAD_TP	GND, MISO, RESET, SCK, VCC, MOSI
1	UA78M33DCY	UA78M33DCY	IC2 MOSI