

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

PODPOVRCHOVÝ DETEKTOR KOVŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

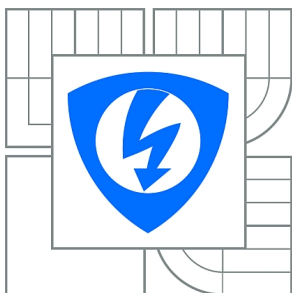
ONDŘEJ JELEČEK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

PODPOVRCHOVÝ DETEKTOR KOVŮ

GROUND PENETRATING METAL DETECTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

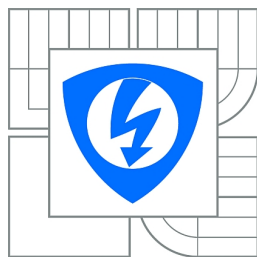
ONDŘEJ JELEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ŠEBESTA, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Ondřej Jeleček

ID: 119305

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Podpovrchový detektor kovů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rozbor řešení detektorů kovů. Navrhněte detektor s Lorenzovou cívkou a násobnou integrací pro detekci kovů s vysokou citlivostí. Proces násobné integrace bude řízen mikrokontrolérem. Navrhněte obvodové schéma a desku plošných spojů detektoru. Osadte desku plošných spojů a oživte analogový subsystém detektoru. Sestavte firmware pro řídicí systém detektoru. Proveďte podrobné měření parametrů detektoru.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HÁJEK, J., JARCHOVSKÝ, Z. Detektory kovů - návod na stavbu. Praha: BEN - technická literatura, 2010.

[2] WILHELM, R. Hledače kovů. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2003.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Tato bakalářská práce se zabývá rozbořem řešení detektorů kovů. Vzhledem k tomu, že v této oblasti se jen těžko předpokládá závratný objev, byl rozbor realizován především s pomocí uvedené literatury. Další část práce popisuje koncept detektoru kovu s Lorenzovou cívkou a násobnou integrací. Závěrečná část práce se zabývá tématem Lorenzovy cívky a funkčním oživením detektoru.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Detektor kovu, Lorenzova cívka, Násobná integrace

ABSTRACT

This thesis deals with the analysis of solutions of metal detectors. Given that this area is hardly expected giddy discovery, the analysis was carried out primarily with the literature. Next part describes the concept of a metal detector with multiple integration and Lorenz coil. The final part deals with Lorenz coil and functional recovery of metal detector.

KEY WORDS:

Metal detektor, Lorenz coil, Multiple integration

JELEČEK, O. *Podpovrchový detektor kovů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 29 s., 12 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Podpovrchový detektor kovů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.

V Třebíči dne 21. května 2011

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Třebíči dne 21. května 2011

.....
podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Úvod	1
1 Fyzikální základy detektorů kovu.....	2
1.1 Magnetické pole cívky	2
1.2 Vířivé proudy	3
2 Dělení detektorů kovů	4
2.1 Pasivní detektory kovů	4
2.2 Aktivní detektory kovů	4
2.2.1 Kmitočtové detektory kovu	5
2.2.2 Impulzní detektory kovu.....	9
3 Impulzní detektor kovů s násobnou integrací.....	11
3.1 Popis zapojení	11
3.2 Fyzikální princip funkce	12
3.3 Zdroj magnetických impulzů	12
3.4 Vysílač.....	13
3.5 Příjem a zpracování signálu	14
3.5.1 Integrátor	15
3.6 Lorenzova cívka	16
3.6.1 Konstrukce hledací cívky	17
3.7 Konstrukce detektoru	19
3.8 Oživení	20
3.9 Řídící Firmware.....	21
3.9.1 Vývojové prostředí AVR Studio	21
3.9.2 Mikrokontrolér ATmega16.....	23
3.9.3 Popis řídicího firmware	24
4 závěr	27
Literatura	28
SEZNAM PŘÍLOH	31

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Znázornění magnetického pole pomocí siločar [1]	2
Obr. 1.2	Deformace magnetického pole hledací cívky magnetickým kovem [1]	3
Obr. 1.3	Důkaz, že deformace magnetického pole magnetickým kovem je ve středu největší [1]	3
Obr. 2.1	Zjednodušené schéma balančního detektoru [1]	7
Obr. 2.2:	Princip tvorby sekundárního magnetického pole [1].....	7
Obr. 2.3	Blokové schéma záznějového detektoru [1].....	8
Obr. 2.4	Blokové schéma impulzního detektoru se společnou hledací cívkou [1].....	9
Obr. 3.1	Blokové schéma impulzního detektoru [7].....	12
Obr. 3.2	Zapojení generátoru magnetických impulzů [8].....	13
Obr. 3.3	Průběh napětí na kolektoru tranzistoru [1]	13
Obr. 3.4:	Zjednodušené zapojení spínaného integrátoru	15
Obr. 3.5:	Náhradní schéma cívky detektoru [11].....	16
Obr. 3.6	Příklady vinutí Lorenzovy cívky [11]	17
Obr. 3.7	Deska s vyvrtanými otvory a hřebíky	17
Obr. 3.8	Zde už je celá forma připravena k navinutí cívky	18
Obr. 3.9	Navinutí prvního závitu a následné 2 závity vinutí se střídáním.....	18
Obr. 3.10	Hotová cívka.....	19
Obr. 3.11	Krabička	19
Obr. 3.12	Znázornění vzniku dynamického offsetu [7].....	20
Obr. 3.13	Úvodní obrazovka vývojového prostředí AVR Studio	21
Obr. 3.14	Okno založení nového projektu.....	22
Obr. 3.15	Výběr ladící platformy a použitého mikrokontroléru.....	22
Obr. 3.16	Vzhled prostředí AVR Studia pro vývoj aplikací	23
Obr. 3.17	Zjednodušené blokové schéma mikrokontroléru AVR [13]	24
Obr. 3.18	Diagram časových sledů z(do) IC ₁ upravený pro tento projekt [7]	26

ÚVOD

Detektory kovů mají v dnešním světě mnoho způsobů využití. Používají se k vyhledávání starých relikvií. Zejména mincí, odznaků, bronzových, zlatých či stříbrných starožitností, ale také k hledání militárií, pozůstatků z nedávných válek, ale i z podstatně starších období. Využití najdou ve vojenství, ve stavebnictví a v neposlední řadě jde také o netradiční koníček.

Při rozboru řešení a funkce detektorů je v této práci uveden základní popis fyzikálních veličin pro správnou funkci detektorů, neboť je nedílnou součástí celé teorie týkající se jak výroby, tak i práce s detektory. Práce obsahuje základní dělení detektorů dle typu zpracování signálu a obsahuje zjednodušený popis nejpoužívanějších detektorů a samozřejmě i návrh Impulsního detektoru kovů s násobnou integrací s Lorenzovou cívkou. Tento projekt prakticky vychází ze zapojení zveřejněného v časopise Praktická elektronika A Radio 2003 č.8. Proces násobné integrace bude řízen mikrokontrolérem Atmel AVR ATmega16.

Detektory kovů sloužící k hledání kovů, které jsou „uloženy“ pod povrchem země, ať už z dávné historie nebo blízké minulosti, jsou většinou stejné mechanické konstrukce. Tu tvoří tělo detektoru, vysílací, resp. přijímací cívka (bude vysvětleno v následujících kapitolách), vysílací a přijímací část, kterou tvoří vyhodnocovací obvody. V případě navrhovaného PI detektoru (viz. kap. 3) ještě také vzorkovací obvody, integrátor, součtový obvod a další. Podrobný popis jednotlivých částí PI detektoru nalezneme v kap. 3.

Ve vysílači probíhají první z cyklů detektoru. Nejprve je sycena cívka proudem z baterií, kolem ní se vytváří magnetické pole. Proud procházející cívkou je značně velký, díky malému odporu a teplotě. Na této části detektoru se vytváří kladné napětí 9V pro symetrické napájení operačních zesilovačů pomocí měniče a stabilizátoru. Záporná větev napájení se vytváří na desce přijímače pomocí stabilizátoru. Srdcem vysílače je uvedený procesor Atmel AVR ATmega16, který společně s krystalem tvoří pevnou časovou základnu pro ostatní obvody (vzorkovač, atd.). Obecně platí, že při nižší frekvenci spínání je přístroj schopen detekovat kov ve větší hloubce, toto tvrzení je ovšem poměrně relativní. Záleží na mnoha dalších aspektech, jako například: velikost cívky, na chemickém složení hledaných kovů a samozřejmě na typu zeminy a také na hloubce v níž se hledaný předmět nachází.

Vstup do přijímače je tvořen zesilovačem s velkým zesílením. Na jeho vstupu jsou antiparalelně zapojené diody, které chrání zesilovač proti napětovým špičkám a zároveň pomáhají zrychlit doznívání signálu při jeho poklesu pod určitou mez. Následující obvod – Integrátor je detailně popsán v kap. 3.5.1. Hodnoty uložené ve vzorkovačích se poté sčítají v sumátoru, jehož výstup je přiveden na A/D převodník mikrokontroléru. Zde je signál „porovnán“ s nastaveným prahem detekce a odeslán k vizuální resp. akustické signalizaci.

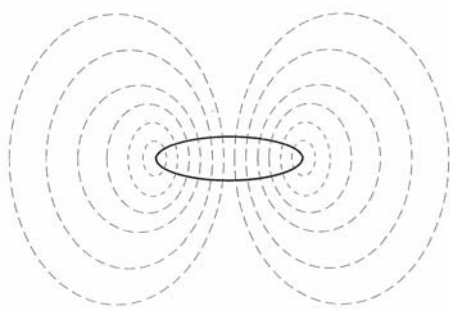
1 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY DETEKTORŮ KOVU

Tato kapitola je sama o sobě velmi obsáhlá a pravděpodobně by vydala na jednu knížku, proto zde budou rozebrány jen ty nejdůležitější a všeobecně nejznámější části.

Proto, aby detektory vůbec fungovaly, je zapotřebí fyzikální veličina, která mění svoji hodnotu vlivem kovu nebo nějaký jev, u kterého dochází ke změně právě přítomností kovu, kde tyto změny poté měříme a indikujeme $\Rightarrow$ odhalíme kovový předmět. Využít můžeme odrazu, rezonance, odezvy nebo ovlivnění magnetického pole[1].

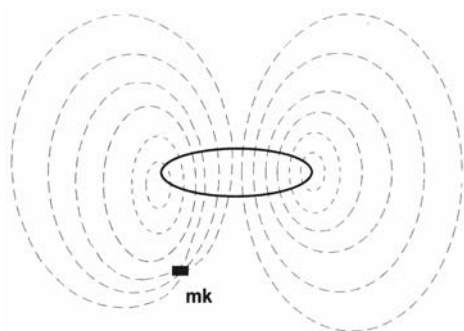
1.1 Magnetické pole cívky

Detektory kovu, které spadají do kategorie kmitočtových (viz kap. 2.2.1) tvoří kolem hledací cívky střídavé magnetické pole, schematicky znázorněné uzavřenými magnetickými siločárami na Obr. 1.1 [1]. Objeví-li se v tomto poli předmět feromagnetického materiálu, magnetické pole se začne deformovat, z čehož vyplývá, že vznikne signál "nový", díky kterému po vyhodnocení detektor indikuje přítomnost kovu.



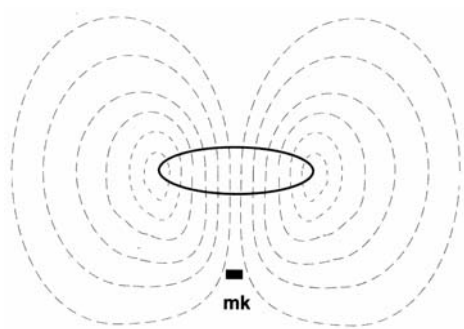
Obr. 1.1 Znázornění magnetického pole pomocí siločar [1]

Jelikož feromagnetický materiál má velkou vodivost pro magnetické siločáry, soustředí se magnetické pole maximálně do osy tělesa, v němž dochází ke zhuštění magnetického pole a následné deformaci celkového magnetického pole(viz Obr. 1.2)[1].



Obr. 1.2 Deformace magnetického pole hledací cívky magnetickým kovem [1]

Poloha předmětu hraje samozřejmě také velkou roli. K největší deformaci magnetického pole dochází, když se předmět nachází v ose cívky Obr. 1.3 [1]. Jenže tato deformace je velmi malá a pokud narazíme při hledání na malý nebo poněkud vzdálenější předmět nemusí být tato změna vůbec zaznamenána nebo je zapotřebí výkonné a citlivé elektroniky, aby tato deformace byla vyhodnocena správně.



Obr. 1.3 Důkaz, že deformace magnetického pole magnetickým kovem je ve středu největší [1]

1.2 Vířivé proudy

Díky elektrické vodivosti dochází v kovových předmětech nejen k soustředování magnetických siločar, ale v předmětu se indukují i vířivé proudy. Tyto proudy mají vlastní magnetické pole, které zeslabuje původní magnetické pole a způsobuje jeho deformaci. Z tohoto tvrzení vyplývá, že celková deformace magnetického pole je pak závislá na magnetické a elektrické vodivosti kovu [1].

Vystavení libovolného předmětu magnetickému poli znamená zvětšení jeho energetické úrovně. Od přírody má však každý předmět nebo energetická soustava snahu zaujmout stav s energií co nejmenší [1].

2 DĚLENÍ DETEKTORŮ KOVŮ

2.1 Pasivní detektory kovů

Tyto detektory pracují na principu měření statického geomagnetického pole a jeho kolísání. Pokud vložíme do dosahu detektoru předmět z feromagnetického materiálu, projeví se to kolísáním nebo změnami v odchylkách jeho svislé nebo vodorovné osy. Odborně se tyto přístroje řadí mezi magnetometry. Jejich hlavní použití se nyní upíná hlavně k archeologii. V dnešní době se využívají především pro vyhledávání železných předmětů, které se nachází ve velkých hloubkách, jako jsou například zapadlé pumy a další válečná munice, atd. [1].

Tento typ detektorů je nejrozmanitějším typem dle používaných přístrojů. Dále můžeme připomenout indukční a rotační pasivní detektory, které pracují na principu měření elektromotorického napětí (vznikající z práce neelektrických sil při přemísťování částic s elektrickým nábojem proti síle elektrického pole uvnitř zdroje [4]) vyvolaného v cívce jejím pohybem v magnetickém poli. Tyto dva jmenované jsou absolutně energeticky nezávislé, tudíž nepotřebují dodávat žádnou energii pro jejich chod a funkčnost.

Další přístroje spadající do této kategorie detektorů, pracují na základě měření vnějšího magnetického pole a jsou závislé na energii pro svoji detekční část, nikoli však pro vyzařování. Do této kategorie pasivních detektorů spadají např. Hallovy sondy. Samozřejmě existuje ještě řada dalších typů a druhů detektorů spadající do skupiny pasivních detektorů, ale ty jsou funkčně mnohem náročnější a popis jejich funkce lze najít v různých odborných literaturách.

Jmenovitě pro připomenutí [1]:

- Feritové
- Permaloyové magnetometry

2.2 Aktivní detektory kovů

Všechny detektory patřící do této skupiny mají jednu společnou vlastnost a to, že jsou tvořeny vysílací částí, což znamená, že při práci vysílají do svého okolí energii, která reaguje na prostředí do něhož je vysílána a přijímací částí, ve které se měří změny této energie. Základní funkce těchto detektorů tedy spočívá v tom, že detektor vytváří energetické pole a díky jeho ovlivňování hledanými předměty signalizují jejich přítomnost. Tyto detektory dělíme podle toho jakým způsobem vysílají energii a podle způsobu jakým změny zpracovávají a vyhodnocují.

Při pohledu ze strany principu funkce elektronické hledače kovů dělíme do dvou hlavních skupin:

- Detektory pracující se spojitým sinusovým signálem v rezonančním nebo kmotočtovém režimu
- Detektory používající nespojitý impulsový signál, jehož změny se vyhodnocují v čase

Do první kategorie aktivních detektorů spadají detektory trvale vyzařující střídavé elektromagnetické pole, jejichž systém detekce a vyhodnocení neustále sleduje změny elektromagnetického pole při přiblížení ke kovovému předmětu. U těchto detektorů se jako vysílací prvek vytvářející elektromagnetické pole používá většinou cívka pro vhodný pracovní kmitočet [1].

V druhé kategorii aktivních detektorů nalezneme přístroje vyzařující energii formou krátkých impulzů a reagují na jejich odraz nebo vyhodnocují elektromagnetické pole v kovovém předmětu indukovaných vířivých proudů, kde tento princip je základem funkce impulsních detektorů kovů (viz kap. 4.3) [2].

Téměř naprostá většina fyzikálních principů detektorů pro vyhledávání kovů patří do první skupiny, která využívá ovlivňování magnetického pole hledaným kovem. Všechny aktivní detektory kovů mají společný bod v tom, že používají aktivní cívku, pomocí které je do okolí vyzařováno elektromagnetické pole se silnou magnetickou složkou. Tyto hledače se pak odlišují ve způsobu vyhodnocení přítomnosti kovu, zpracováním signálu a jestli hledač používá jednu nebo více cívek.

Zde je uvedeno podrobnější rozdělení přístrojů [5]:

- ❖ Detektory s posuvem kmitočtu
 - Záznamové detektory BFO (Beat Frequency Oscillator)
 - Detektory s fázovým závěsem PLL (Phase-Locked Loop)
 - Mezurezonanční detektory (Off-Resonance)
- ❖ Balanční detektory
 - Přístroje s vysílačem a přijímačem TR (Transmitter-Receiver)
 - Nízkofrekvenční detektory VLF (Very Low Frequency)
 - Rádiové detektory RF (Radio-Frequency)
- ❖ Impulsní detektory PI (Puls Induction)

2.2.1 Kmitočtové detektory kovů

Jak již bylo uvedeno v předešlé kapitole, tyto hledače pracují na principu trvale vysílaného spojitého sinusového signálu, který se zpracovává v téměř naprosté většině analogově. Při podrobnějším pohledu na funkce těchto detektorů zjistíme, že jsou pro ně stěžejní dva fyzikální principy:

- o Vznik vířivých proudů
- o Zhuštění magnetických siločar u feromagnetických předmětů

Deformace magnetického pole cívky způsobí změnu indukčnosti hledací cívky nebo změnu vzájemné vazby vyvážených cívek hledací sondy (viz. kap. 2.2.1.1)[1].

Například u záznějových detektorů (viz kap. 2.2.1.2) se změna tvaru magnetického pole projevuje ve změně indukčnosti cívky, jež je součástí oscilačního obvodu, který je naladěn na určitý rezonanční kmitočet, který se porovnává s frekvencí referenčního oscilátoru.

Jako vysílací prvek se používá nejčastěji vzduchová cívka. Existuje ještě řada daleko podrobnějších dělení těchto detektorů, jako příklad:

- Zážnějové detektory
- Detektory s vysazením kmitů
- Absorpční detektory
- Můstkové detektory
- Balanční detektory
- Detektory s vyhodnocením pomocí filtru
- Detektory s vyhodnocením pomocí fázového závěsu

Atd.

Pro názornost je zde uvedeno přiblížení funkce pouze dvou nejznámějších a nejpoužívanějších detektorů z této skupiny, a to Balanční detektor TR a Zážnějový detektor BFO.

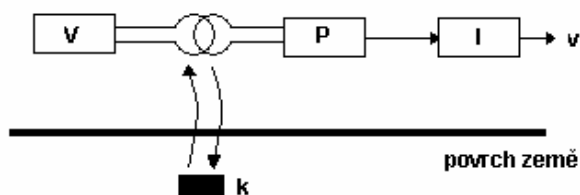
2.2.1.1 Balanční detektory TR-IB

(Transmitter-Receiver – Induction Balance)

Tyto hledače patří do podskupiny kmitočtových detektorů, která spadá do hlavní kategorie aktivních detektorů. Z tohoto tvrzení vyplývá, že balanční detektory jsou tvořeny vysílací a přijímací částí (jak napovídá anglický název). Část detektoru která se při práci nachází nejbližší zemi se nazývá „měřicí sonda“. U balančních detektorů tuto sondu tvoří dvojice cívek, a to: cívka vysílací a cívka přijímací. Tyto cívky jsou navrženy a uspořádány způsobem takovým, že mezi cívkami není žádná společná vazba a jsou tzv. „vybalancovány“.

Na Obr. 2.1 rozpoznáme 3 nejdůležitější části tvořící tento detektor. Prvním a nejdůležitějším blokem je vysílací část **V**, ke kterému je připojena – z něj i napájena vysílací cívka, která vytváří elektromagnetické pole kolem hledací sondy. Dalším stavebním prvkem TR-IB detektoru je přijímací část detektoru **P**. Tato část je tvořena vyhodnocovacím systémem, jehož součástí je indikace **I**. K přijímači je připojena přijímací cívka, která společně s vysílací cívkou spojena do hledací cívky **HC**.

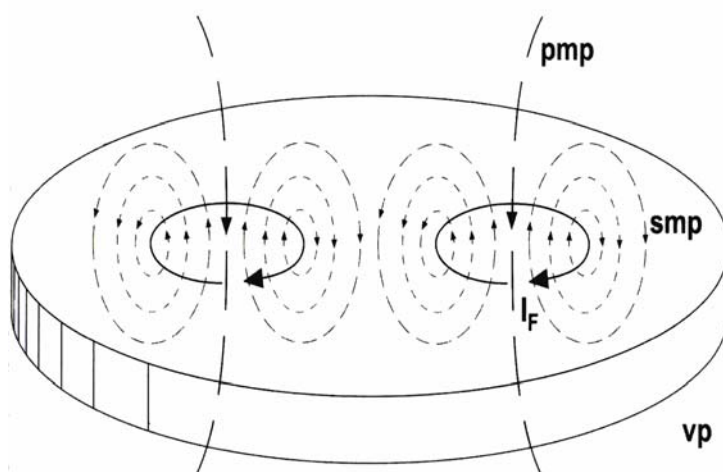
Vstup do přijímače je tvořen zesilovačem, kde je přijímaný signál zesílen a odeslán k vyhodnocení a následné indikaci [1].



Obr. 2.1 Zjednodušené schéma balančního detektoru [1]

Společná vazba mezi cívkami je na nulové hodnotě, protože jsou uspořádány způsobem takovým, že bez přítomnosti kovu mezi nimi nedochází k přenosu energie [1]. Přiblížíme-li cívkou ke kovovému předmětu, deformujeme tím magnetické pole, které nám vytváří vysílací cívka. Touto deformací se mění i vyvážení mezi cívkami - změní se mezi nimi vazba a do přijímací cívky se naindukuje napětí z vysílací cívky a toto napětí je zesíleno, vyhodnoceno a odesláno k indikaci.

Deformace vzniká soustředěním magnetických siločar do feromagnetického kovu viz. Obr. 1.2 nebo vznikem vířivých proudů v kovových předmětech a z toho vyplývající sekundární magnetické pole Obr. 2.2 nebo jejich kombinací. Deformace magnetického pole je přímo závislá na změnách střídavě se měnícího proudu ve vysílací cívkě [1].



Obr. 2.2: Princip tvorby sekundárního magnetického pole [1]

Vznik signálu v přijímací cívkě by se dal popsat tak, že je přenesen deformovaným polem z cívkou vysílací, ale zároveň přijímá odezvy magnetického pole z vířivých proudů. Z vysílací cívky je trvale vysíláno střídavé magnetické pole, které má sinusový průběh a bývá většinou na jednom kmotočtu v rozsahu 1kHz až 60kHz. Všechny kovové předměty, jež se nacházejí v magnetickém poli cívky působí na fázi i amplitudu přijímaného signálu a mění ji vzhledem k signálu, který je vyslán z vysílací cívky. Toto všechno se odehrává díky tomu, že jen malá část signálu vysílaného oscilátorem na vysílači se přenesou na přijímací cívku vlivem induktivní vazby. Je tedy celkem smysluplné, že čím víc bude mít předmět podílu železa, tím větší změny se budou odehrávat. Z těchto všech tvrzení lze usuzovat, že v rovnovážném stavu je napětí na cívkách téměř nulové.

2.2.1.2 Zázňejové detektory (BFO)

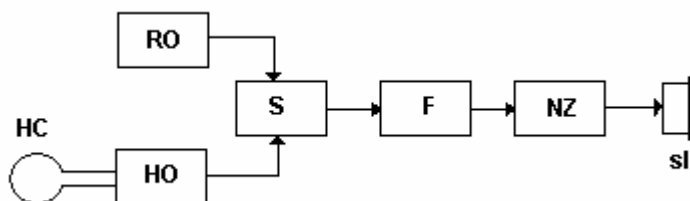
(Beat Frequency Oscillator)

V knize Detektory kovů – návod na stavbu [1] je základní popis zázňejových detektorů zapsán následovně: „Hledače na principu zázňej (interference) jsou nejrozšířenějšími elektronickými detektory, zejména v oblasti amatérské. Patří mezi detektory kmitočtové (frekvenční), vyhodnocující změnu indukčnosti hledací cívky zázňejovou metodou. Jsou jednoduché, dostatečně citlivé a konstrukčně nenáročné.“

Ještě než bude uveden popis detektoru, je vhodné připomenout co vlastně „zázňej“ jsou. Dobré vysvětlení je možné najít na stránkách Encyklopedie Fyziky, kde jsou zázňej popsány následovně: „Rázy neboli zázňej jsou výsledkem skládání dvou kmitání, jejichž frekvence jsou téměř stejné. Rozdílem frekvencí obou kmitání je dána frekvence rázů, které můžeme slyšet resp. vyčíst z grafu“ [6].

Jelikož je potřeba nějakým způsobem vyhodnotit změny kmitočtu hlavního oscilátoru, musíme nejdříve přiblížit hledací cívku ke kovovému předmětu, čímž máme zaručenu onu změnu kmitočtu hlavního oscilátoru. K tomuto vyhodnocení je zapotřebí stabilní referenční oscilátor. Pokud zpracováváme signál analogově, je třeba vložit do obvodu nelineární prvek, jenž je nepostradatelným článkem pro vznik součtových a rozdílových frekvencí [1].

Na Obr. 2.3 je vidět blokové zapojení BFO detektoru, které z důvodů jednoduchosti a názornosti opět převzato z knihy [1] kap. 2.2.1.



Obr. 2.3 Blokové schéma zázňejového detektoru [1]

Pomocí tohoto obrázku jsou popsány jednotlivé bloky BFO detektoru. Hledací obvod **HO** má v sobě oscilátor naladěný na určitý kmitočet, který je porovnáván s kmitočtem referenčního oscilátoru **RO** v obvodu směšovače **S**. Pro funkčnost detektoru jsou důležité jen rozdílové kmitočty (ve směšovači **S** vznikají ještě součtové) neboli výše popsané zázňej. Součtové kmitočty jsou odfiltrovány nízkofrekvenčním filtrem **F** zpravidla RC článek. Rozdílové kmitočty po zesílení **NZ** a zpracování vedeme do indikace.

Velmi důležitou roli pro správnou funkci BFO detektoru je správná volba kmitočtu hledacího obvodu, neboli rezonanční kmitočet f_0 jež se určuje z indukčnosti cívky L a paralelně připojenou kapacitou C . Resonanční kmitočet se spočítá dle Thomsonova vztahu, který je odvozen v [1] (kap. 6.6.1.):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Jelikož není cílem této práce detailně popisovat všechny typy detektorů, je doporučeno případným zájemcům přečíst si knihu [1], kde jsou tyto principy velmi dobře vysvětleny.

2.2.2 Impulzní detektory kovu

V knize [1] jsou popsány takto: „Hledače s časovým rozlišením (z angl. time domain) – vysílají impulzní nespojitý signál a zpracovávají jej v časových posloupnostech.“ Dělení těchto detektorů je následující:

- Radarové detektory – fungují na bázi mikrovln
- Impulzní detektory kovu – popis v následující kapitole

2.2.2.1 Radarové detektory

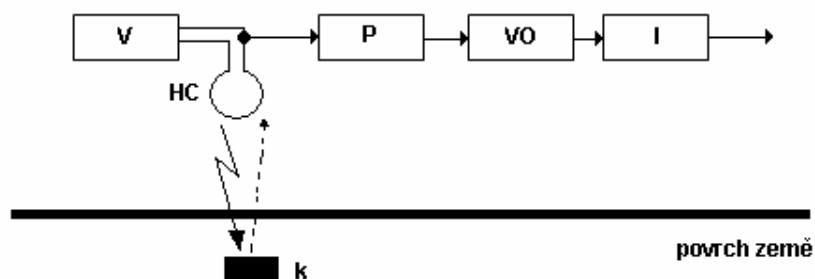
Radarový detektor pracuje, jak bylo zmíněno na principu mikrovlnných signálů. Vysílá určitou energii o vysoké frekvenci prostorem, a díky tomu neproniká do předmětů, ale odráží se od jejich povrchu. Tuto odraženou energii detektor přijme a vyhodnocuje její amplitudu a zpoždění.

2.2.2.2 Impulzní detektory PI

(Puls Induction)

Tyto detektory vysílají na rozdíl od kmitočtových detektorů nespojitý signál formou krátkých impulzů, které jsou však delší než impulzy vysílané radarovými detektory. Vlivem magnetického pole, které proniká dovnitř předmětů, jsou i zde vytvářeny vířivé proudy, které jsou detekovány v čase a z tohoto plyne, že jsou to hledače s časovým rozlišením. Vířivé proudy vznikají stejně jako u detektorů se stálým vysíláním magnetického pole.

Čas, po který se vysílá energie, tedy doba trvání impulzu, kdy vířivé proudy shromažďují energii musí být dostatečně dlouhý, aby mohlo dojít k rovnovážnému stavu. Z energie nashromážděné v předmětu během budícího impulsu ve vířivých proudech je vytvořeno sekundární magnetické pole. Sekundární magnetické pole je přijímáno hledací cívkou a vyhodnoceno.



Obr. 2.4 Blokové schéma impulzního detektoru se společnou hledací cívkou [1]

Blokové zapojení na obr. 2.4 bylo převzato z [1]. Jako i v jiných detektorech i zde je základním stavebním kamenem celého detektoru vysílač **V** odkud pocházejí ony „impulzy“, které jsou posílány do hledací cívky **HC** (tedy pokud detektor disponuje pouze jednou cívkou, jinak jsou pulzy vysílány do vysílací cívky). Pulzy vytvářejí v okolí sondy impulzní magnetické pole a to se indukuje v předmětu **k**, zde vytváří vířivé proudy. Toto pole je detekováno pomocí **HC** a signál jde do přijímače **P** ke zpracování a je odeslán k indikace **I**.

3 IMPULZNÍ DETEKTOR KOVŮ S NÁSOBNOU INTEGRACÍ

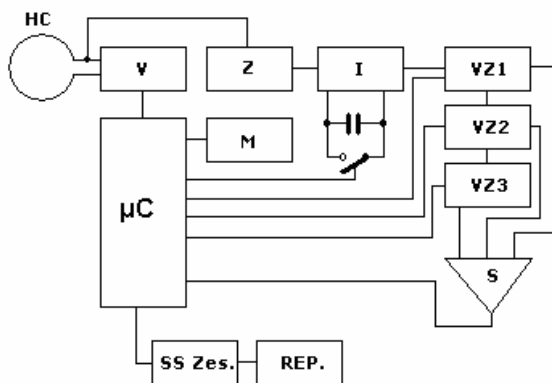
Základním prvkem detektoru je vysílač, který dodává proudové impulzy do cívky. Takto vyslané impulzní magnetické pole indukuje v hledaném kovovém předmětu vířivé proudy, které kolem sebe vytvářejí sekundární magnetické pole přijímané hledací cívkou viz Obr. 2.2. Signál z cívky je zpracován pomocí vyhodnocovacích obvodů, je zesílen a odeslán k indikaci.

V době kdy skončí budící impuls a ještě po určitý čas po jeho skončení, tečou v hledaném předmětu indukované vířivé proudy a magnetické pole vzniklé těmito proudy indukuje v cívce elektrické napětí. Díky tomu, že doba po kterou se vysílají proudové impulzy a doba, kdy se zpracovává signál je časově oddělena, lze použít pouze jednu hledací cívku.

3.1 Popis zapojení

Pro napájení je použit zdroj stabilizovaného napětí pro zápornou větev analogových obvodů, se symetrickým napájením $\pm 9V$, což je hranice, kterou je schopen analogový přepínač 4066 snést [7].

Na Obr. 3.1 je blokové schéma detektoru použité z [7]. Hlavní částí celého zapojení je vysílač **V**, který je tvořen blokem zdroje magnetických impulzů, jenž bude detailněji popsán v kapitole 3.3 a je k němu připojena hledací cívka. Díky tomu, že je vysílání a přijímání signálu časově odděleno, je možné použít pouze jednu hledací cívku **HC**. Další blok tohoto schématu je mikrokontrolér **μC** Atmel AVR ATmega16, který spolu s krystalem tvoří časovou základnu pro ostatní prvky – vzorkovače **VZ1**, **VZ2**, **VZ3**, analogový spínač, atd. Na tomto bloku je také situován měnič **M**, do kterého jsou z mikrokontroléru přes diodu přiváděny kladné úzké pulzy kvůli omezení rušení během měření – hlavně v ”koleně” relaxačního pulzu, kde se může objevovat nejvíce rušení. Měnič slouží k vytvoření kladného napětí. Je tvořen zvyšujícím DC-DC měničem dle katalogového zapojení. Na desce přijímače se nachází vstupní zesilovač **Z**, který je tvořen dvojicí **OZ**, z nichž první musí být nízkošumový s velkou rychlostí přeběhu a u druhého je důležitá vysoká stabilita s výstupem nastaveným co nejblíže k nule, jelikož za ním následuje galvanicky vázaný integrátor **I**. Ten je detailně popsán v kapitole 3.5.1. Hodnoty získané integrací jsou uloženy v trojici sériově zapojených vzorkovačů, které tvoří analogový registr. Po každém impulsu získáváme tři hodnoty integrovaného signálu, jež vyhodnocujeme analogovým sumátorem **S**. Výstup ze sumátoru je přiveden na A/D převodník v **μC**, kde je hodnota porovnána s hodnotou nastavenou pro práh detekce a odeslána k indikaci.



Obr. 3.1 Blokové schéma impulzního detektoru [7]

3.2 Fyzikální princip funkce

Impulzy z vysílací cívky se šíří oběma směry – nahoru i dolů, tedy k hledanému předmětu. Tento typ detektorů pracuje tak, že přijímá magnetické pole pomocí hledací cívky. Toto magnetické pole je indukováno vířivými proudy v hledaném kovovém předmětu.

Vířivé proudy jsou důsledkem proudového impulsu vyslaného do cívky, kolem které vzniká magnetické pole, po jehož vypnutí vznikají ony vířivé proudy. Vznik magnetických impulsů je popsán v následující kapitole.

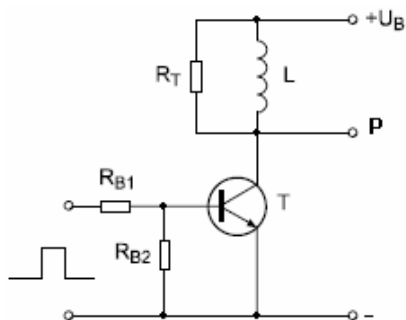
V článku Impulzní hledače kovů [8] je princip funkce popsán následujícími slovy: „Impulzní hledače kovových předmětů pracují na základě příjmu magnetického pole hledací cívkou, přičemž detekované pole je způsobeno vířivými proudy v hledaném kovu. Vířivé proudy vznikají ve vodivém prostředí vystaveném změnám procházejícího magnetického pole. Jejich velikost je úměrná vodivosti prostředí, intenzitě budícího magnetického pole a rychlosti jeho změny. Průchodem proudového impulsu cívkou vzniká kolem ní silné magnetické pole, jehož změny generují vířivé proudy ve vodivých předmětech, nalézajících se v tomto poli. Nárůst proudového impulsu trvá stovky mikrosekund, ale jeho vypnutí je mnohem rychlejší a trvá zhruba mikrosekundu. Proto mají vířivé proudy těsně po vypnutí největší amplitudu a doznívají exponenciálně, přičemž exponenciální konstanta závisí na elektrické vodivosti materiálu hledaného předmětu a na jeho objemu“.

3.3 Zdroj magnetických impulsů

Vznik proudových impulsů je popsán na Obr. 3.2.

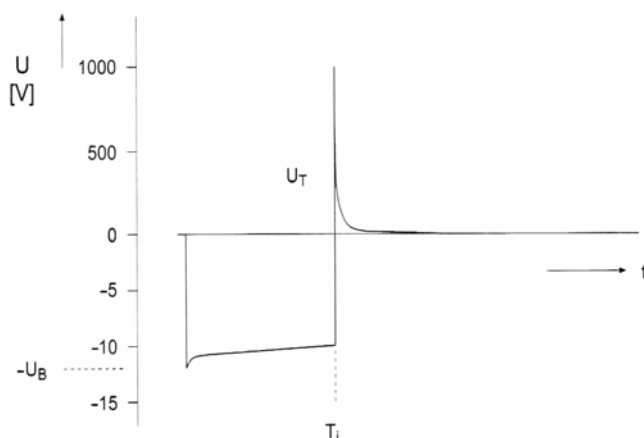
Jako spínač byl použit unipolární tranzistor MOS-FET, na který jsou přiváděny pravoúhlé impulzy z generátoru. Tranzistor je zapojen do série s hledací cívkou. Princip funkce spočívá v tom, že pokud přivedeme napětí do GATE tranzistoru – zhruba kolem 5V, tranzistor se otevře. Otevírá se přes kolektorový odpor budícího tranzistoru a vypíná se daleko rychleji než bipolární tranzistory. Vypnutí probíhá opět přes budící tranzistor proti zemi, čímž generuje na cínce napětovou špičku okolo jednoho kV viz. Obr. 3.3, která budí vířivé proudy v hledaných kovových předmětech.

U tohoto tranzistoru je v sepnutém stavu menší úbytek napětí než na bipolárním tranzistoru. Je odolnější proti přepětí při vypnutí – omezuje ho podobným principem jako zenerova dioda.



Obr. 3.2 Zapojení generátoru magnetických impulzů [8]

Kapacita rezonančního obvodu by měla být co nejmenší (např. u samotné cívky lze kapacitu minimalizovat vinutím s co největšími vzdálenostmi mezi závity [8]). Kvůli ochraně tranzistoru proti průrazu je důležité dbát na to, aby opakovací frekvence byla maximálně 500Hz. Do DRAIN tranzistoru je paralelně k hledací cívce zapojen tlumící odpor, který je třeba k co nejlepšímu dozínání impulzu. Ten se skládá z rezistorů R_1 - R_3 a R_4 - R_6 . V bodě P odebíráme signál ke zpracování.



Obr. 3.3 Průběh napětí na kolektoru tranzistoru [1]

3.4 Vysílač

Hlavní obvod této části detektoru je mikrokontrolér IO₁ – Atmel AVR ATmega16, který je řízen krystalem a tvoří tak spolu přesnou časovou základnu. Jeho napájení je obstaráno monolitickým stabilizátorem IO₂.

Výkonová část vysílače je popsána v kap. 3.3. Jako společný zemnicí vodič pro unipolární tranzistor T_3 a budící tranzistor T_2 je použita kladná svorka baterie a díky tomu máme k dispozici záporné napájecí napětí pro symetrické napájení operačních zesilovačů.

Kladné napětí je třeba vytvořit měničem napětí. Zde je oproti originálu v [7] velká změna. Byly odstraněny spínací tranzistory, které byly řízeny mikrokontrolérem. Dále také násobí napětí C_7 - C_{10} a D_3 - D_6 . Toto celé zapojení bylo nahrazeno zvyšujícím DC-DC měničem napětí IO_4 . Pro zvyšující měnič bylo použito katalogové zapojení. Blokování měniče během měření se provádí viz. kap. 3.1.

Přijímaný signál je vyveden na konektor pin č.3. a antiparalelně zapojené diody D_6 a D_7 chrání vstup zesilovače na přijímací části detektoru před napětovými špičkami, ale zároveň pokud napětí poklesne pod tzv. "koleno" pomáhají zrychlit doznívání cívky, protože přijímaný signál je zapojen na invertující vstup operačního zesilovače a přes zpětnovazební odpor je přivedeno napětí opačné polarity.

3.5 Příjem a zpracování signálu

Vstup do přijímače je tvořen ze dvou operačních zesilovačů. Je zapotřebí, aby vstupní část měla velké zesílení, protože signál odezvy kovového předmětu nacházejícího se v blízkosti cívky nepřesahuje 1mV, dále maximální stabilitu a nulový šum. Takovýto zesilovač ale bohužel neexistuje, což je důvod použití dvou. První z dvojce zesilovačů - IO_5 má velmi malou úroveň šumu a velkou rychlost přeběhu. Druhý - IO_6 musí mít hlavně dobrou stabilitu. Ostatní parametry tohoto zesilovače nejsou tak kritické.

Výstup z IO_6 musí být nastaven co nejbližší k nule, jelikož za ním následuje přímo vázaný integrátor IO_7 , který v principu potlačuje šum na vyšších frekvencích. Dále se v něm sčítají změny signálu, které probíhají v relativně dlouhém časovém intervalu, a tím je možné získat další zesílení [7]. Funkce integrátoru je detailně popsána v následující podkapitole.

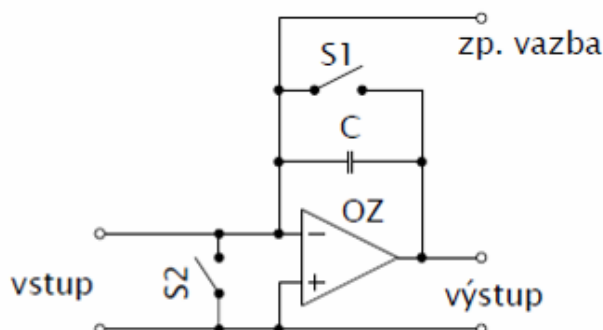
Hodnoty získané integrací odpovídají jednotlivým periodám a jsou poté uloženy v sériově zapojených vzorkovacích obvodech IO_8 , IO_9 , IO_{10} . Po každém pulzu vyslaném na cívku získáme 3 hodnoty integrovaného signálu, které jsou uloženy do vzorkovacích obvodů. Takto uložené signály se vyhodnocují pomocí sumátoru IO_{11} .

Výstup ze sumátoru je přiveden na A/D převodník v mikrokontroléru, kam je přiveden i „digitální potenciometr“ pro nastavení prahu detekce na desce vysílače. Tyto dvě hodnoty napětí se musí matematicky korigovat, což znamená v principu je porovnat. Pokud bude výsledná hodnota porovnávání vycházet kladně, což znamená, že přijímaný signál má vyšší úroveň než hodnota nastavená pro práh detekce, odešle mikrokontrolér signál na spínací tranzistor T_6 , na jehož výstupu je reproduktor nebo sluchátka.

Pokud bychom chtěli nějakým způsobem omezit parazitní signály, jež vznikají díky vzájemným záznějím ve vstupním zesilovači, je nutné zavést synchronní režim pro všechny funkční obvody a pokud bude dostatečně potlačen vlastní šum zesilovačů, je pak zvětšeno zesílení a tím i celková citlivost hledače. Jediným omezujícím faktorem je šum, který je přijímán hledací cívkou[8].

3.5.1 Integrátor

Integrátor je nejdůležitějším obvodem celého přijímače, a proto je zde jeho funkce popsána velmi detailně. Schéma integrátoru uvedené na obr. 3.4 je převzaté z [1].



Obr. 3.4: Zjednodušené zapojení spínaného integrátoru

V knize Detektory kovů – návod na stavbu [1] je funkce integrátoru vysvětlena následujícím způsobem: „Na vstup přichází signál z předzesilovače. Jako první sepne spínač S1 a přes něj se vybije integrační kapacita, čímž je „vynulován“ integrátor. Před ukončením první integrační fáze je příslušná hodnota přenesena z výstupu integrátoru do vzorkovacího zesilovače, který je součástí zpětné vazby. Po celou dobu integrace je spínač S2 otevřen a zpětná vazba je přerušena. Po skočení první integrace je znovu vybit integrační kondenzátor sepnutím spínače S1 a začíná druhá fáze integrace - měřicí. Zároveň je sepnut S2 s zpětnou vazbou je na invertující vstup integrátoru přiveden referenční signál. Integrátor jeho hodnotu invertuje a referenční signál je tak odečítán od vstupního signálu. Tímto způsobem je realizována predikce snímání referenční hodnoty parazitních a chybových signálů. Změna hodnoty užitečného signálu je změřena až za budícím impulzem a obě hodnoty jsou porovnány přímo spínaným integrátorem.“

Tato metoda dvojí integrace se vypořádá se šumem i stejnosměrným posuvem, ale pomalé změny intenzity vnějšího pole tato metoda neeliminuje a nedovoluje další zvětšení odstupu signálu od šumu. Proto je u tohoto zapojení vynechán invertující stupeň a integraci lze neomezeně opakovat, čímž lze dosáhnout dokonalejší eliminace rušivých signálů. Jelikož není možné pracovat synchronně s rušivým polem, náhodně se přičítají k amplitudě měřených vířivých proudů i amplitudy rušivého signálu. Tento jev se na výstupu detektoru projevuje jako silný šum.

Abychom tento šum eliminovali, je pro toto zapojení použita matematická operace srovnání tří výsledků integračních intervalů:

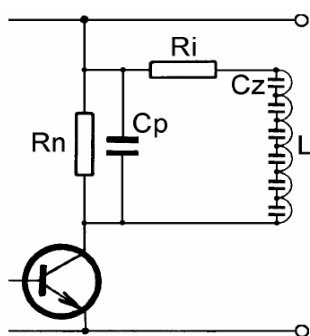
- A indikuje přítomnost kovu
- B slouží jako referenční hodnota pro eliminaci offsetu
- C je rozdíl druhého a třetího integrálu a představuje velikost korekce vzniklou gradientem rušivého pole

Takto získané hodnoty integrálů jsou odeslány do vzorkovačů a odečteny podle vzorce: $S=A-2B+C$ [7].

Spínače S1 a S2 jsou řízeny pomocí vhodně časovaných signálů – KA, KB z procesoru. Důvod předřazených kondenzátorů v bázích tranzistorů T_4 , T_5 a vybíjecích rezistorů spočívá v ochraně analogového spínače IO₁₂ při použití vyššího napájecího napětí, které můžeme použít díky zavedení stabilizovaného záporného napětí monolitickým stabilizátorem IO₁₃.

3.6 Lorenzova cívka

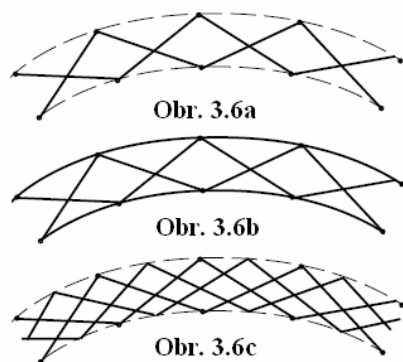
Pro navrhovaný projekt bude použita tzv. Lorenzova cívka. Toto vinutí se používá kvůli snížení kapacity mezi závity u vinutí cívky a také proto, že tento typ cívek má poměrně dobrou citlivost. Z teorie je známo, že cívka má pouze jedinou vlastnost, a to indukčnost, avšak po navinutí „reálné“ cívky je možné změřit také její vnitřní odpor a parazitní kapacity mezi závity. Na obrázku 3.5 je uvedeno náhradní schéma cívky detektoru, kde je možné vidět patrný vliv parazitních kapacit mezi závity na vlastnosti cívky, hlavně tedy na její citlivost.



Obr. 3.5: Náhradní schéma cívky detektoru [11]

Při práci detektor pracuje v podstatě ve dvou stupních. Během první fáze, kdy do cívky teče budící proud a prostor kolem ní je sycen magnetickým polem se uplatňuje hlavně vnitřní odpor cívky R_i , který omezuje maximální proud jež cívkou protéká. Při druhé fázi, kdy je šířka špičky vysokého napětí závislá na vlastní rezonanční frekvenci cívky a právě na parazitních kapacitách mezi závity (musí se počítat ještě s kapacitou přívodů) a to vše ovlivňuje velikost neutralizačního odporu R_N . Právě zmenšení parazitních kapacit C_Z přispívá ke zrychlení cyklu neutralizace přechodových procesů a díky tomuto jevu lze měřit silnější signál s menší časovou prodlevou. Z tohoto důvodu se nedoporučuje používat koaxiální kabel nebo stínění cívky [11].

Při použití Lorenzovy cívky se minimalizuje parazitní kapacita mezi závity a to díky křížení vodičů. V teorii se udává, že minimální kapacita je podmíněna úhlem křížení 90° ovšem i zde platí, že realita se od teorie liší. Při takto navinuté cívce se vodič prodlouží asi 1,14 krát a tudíž se zvýší hmotnost. Na obrázku 3.6 jsou vidět možnosti vinutí cívky. nejjednodušší je meandr na obr 3.6a, při použití prostřídání s obvodovými vodiči vzdálíme vrstvy a tím zlepšíme vlastnosti cívky (zmenšení parazitních kapacit) viz. obr. 3.6b a při prostřídání dvou meandrů posunutých o půl periody vznikne ještě dokonalejší provedení, což můžeme vidět na obr. 3.6c. Při navíjení se musí dát pozor na to, aby počet meandrů byl vždy lichý.



Obr. 3.6 Příklady vinutí Lorenzovy cívky [11]

3.6.1 Konstrukce hledací cívky

Pro navinutí cívky byla zhotovena forma, kterou tvoří dřevěná podložka. Do této podložky jsou vyvrtány díry podle předem předkresleného rozložení děr (zde bylo použito rozložení 2x19, pozor! vždy musí být lichý počet) s venkovním průměrem 24cm a vnitřním 17cm. Před vyvrtáním je třeba si rozmyslet, jak silným drátem, popř. lankem (obě varianty Cu) bude cívka vinuta a dle toho odvodit délku např. hřebíků, které zastrčíme do připravených děr. Kvůli snadnějšímu sejmutí cívky je vhodné přetáhnout přes hřebíky bužírku, která se stane součástí cívky, jak je vidět na Obr. 3.7 a Obr. 3.8.



Obr. 3.7 Deska s vyvrtanými otvory a hřebíky



Obr. 3.8 Zde už je celá forma připravena k navinutí cívky

Na Obr. 3.7 a Obr. 3.8 je vidět polotovar, který je připravený k navinutí Lorenzovy cívky. Pro vinutí bylo použito měděné lanko s průřezem 0.1mm^2 . Vinutí cívky bylo provedeno kombinovanou metodou vinutí na Obr. 3.6a a Obr. 3.6b. To znamená, že první dva závity byly provedeny bez křížení mezi hřebíky, jak ukazuje Obr. 3.9.



Obr. 3.9 Navinutí prvního závitu a následné 2 závity vinutí se střídáním

Další závity byly zhotoveny klasickou metodou střídání hřebíků bez prokládání závitů kolem venkovního nebo vnitřního obvodu formy, kromě posledních dvou „ukončovacích“ závitů. Na vinutí byla potřeba přibližně 30 metrů lanka, což bylo dostačující pro vytvoření celkem 27 závitů. Na Obr. 3.10 lze vidět finální verze hotové cívky, zalité polyuretanovou pěnou, omotané černou izolační páskou, kvůli ochraně cívky proti slunečním paprskům. Polyuretanová pěna má na slunci tendenci se drolit.



Obr. 3.10 Hotová cívka

3.7 Konstrukce detektoru

Na venkovní konstrukci detektoru byla použita francouzská hůl. Z důvodů ovlivňování pole hledací cívky hliníkovou konstrukcí hole bylo nutné francouzskou hůl zkrátit a nastavit ji plastovou trubkou, která se používá na vodovodní rozvody. Tato trubka musí mít délku minimálně 60cm, aby bylo zajištěno, že hledací cívka nebude ovlivňována. Z jedné strany bylo potřeba upravit průměr trubky na soustruhu, aby bylo možné ji zasunout do zkrácené hole.

Takto upravená hůl je připevněna k hledací cívce, jejíž výroba je popsána v kapitole 3.6.1. Nyní už jen zbývá připevnit krabičku obsahující řídicí a vyhodnocovací hardware k upravené holi. Jako krycí část osazených desek plošných spojů byla zvolena plastová krabička o rozměrech 70 x 150 x 180 mm viz. Obr. 3.11. Pro zjednodušení konstrukce byl zvolen zdroj napájení vestavěný v krabičce viz. příloha D.3 . Je to hlavně z důvodů odstranění nutnosti dávat pozor na napájecí kabel od externího zdroje napájení, i když na úkor zvýšení celkové hmotnosti detektoru o přibližně 0,6kg.



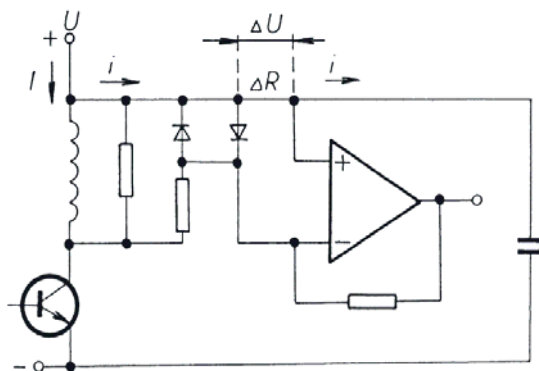
Obr. 3.11 Krabička

3.8 Oživení

Jak je uvedeno v [7] je velmi vhodné oživovat postupně, což znamená nevložit všechny IO do desek a připnout napájení. Pro oživení je vhodné použít osciloskop. Na desce vysílače žádné velké problémy, díky značnému zjednodušení měniče napětí a zdroje impulzů. O to složitější je oživení přijímací části detektoru.

Důležitý je proces doznívání cívky, kde si musíme dát pozor hlavně na vhodný výběr přesných tlumících rezistorů. Pro tento projekt byly použity metal-oxidové rezistory do 2W. Dále je vhodné použít tranzistor pro spínání cívky s ochrannou diodou, kvůli ochraně při případném překmitu špatně utlumeného LC obvodu

Impulzem na jeden z výstupů procesoru se přes spínací tranzistor T_2 sepne tranzistor T_3 a vyše se impuls do hledací cívky, která by měla mít minimální odpor (cívka navinutá pro tento projekt má $1,5\Omega$). Cívka poté vytvoří dynamický ofset vstupního signálu právě v době nejdůležitější pro měření, jak je znázorněno na Obr. 3.12



Obr. 3.12 Znázornění vzniku dynamického ofsetu [7]

Tento ofset je ovlivněn například odporem přívodního kabelu k cívce a parazitními odpory na kondenzátorech C_1 a C_2 , které jsou využity pro blokování stabilizátoru napětí 7805 pro napájení mikrokontroléru a pro spínací tranzistor audio indikace.

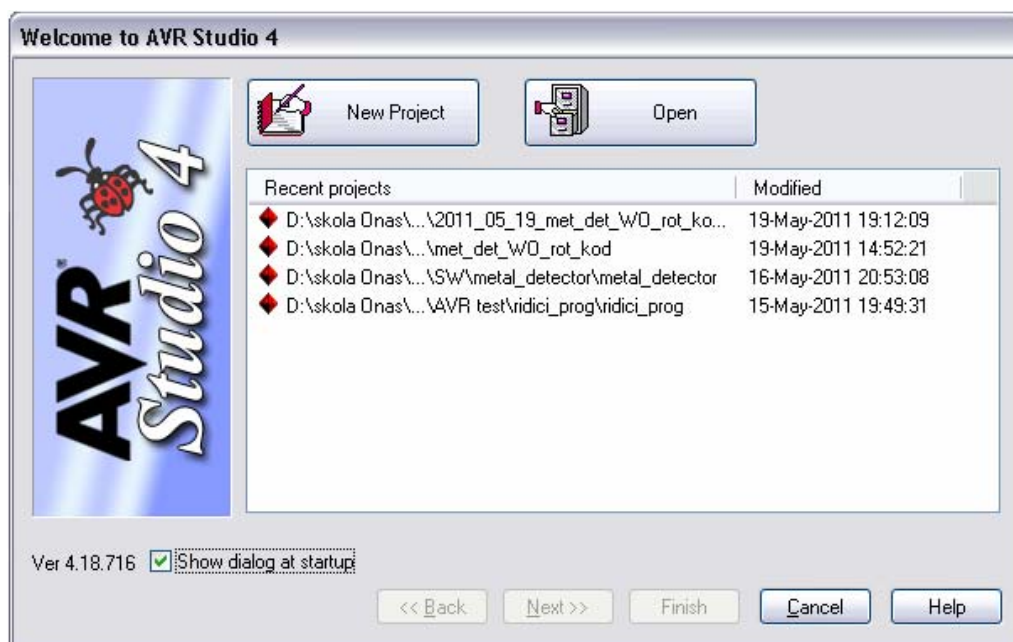
Velmi dobrý pozor je třeba dát na kondenzátor C_{20} , který je připojený ve zpětné vazbě na obvodu IO_5 . Je to kvůli tomu, že tento vstupní zesilovač musí mít co největší rychlost přeběhu a pokud možno bez překmitů. Proto je důležitá pečlivě vybraná velikost tohoto kondenzátoru. Popřípadě je nutné mít v zásobě i jiné velikosti kondenzátorů pro případnou výměnu. IO_6 je od IO_5 galvanicky oddělen, bohužel ale vznikne mírný ofset, který je možno kompenzovat případnou výměnou R_{24} [7].

3.9 Řídící Firmware

Tato část bude věnována informacím o použitém vývojovém prostředí firmy Atmel, základnímu popisu mikrokontroléru ATmega16 a popisu řídicího firmware.

3.9.1 Vývojové prostředí AVR Studio

Toto vývojové prostředí je volně šiřitelný vývojový nástroj od firmy Atmel, který slouží k programování a testování mikrokontrolérů pomocí jazyka symbolických adres(dále jen JSA neboli assembler, ale umožňuje však i programování ve vyšším jazyce „C“). Tento software je možné nalézt přímo na stránkách [Atmelu](http://www.atmel.com).



Obr. 3.13 Úvodní obrazovka vývojového prostředí AVR Studio

Při spuštění vývojového prostředí se zobrazí úvodní obrazovka, jak ukazuje Obr. 3.13. Jak je vidět, je možné si vybrat ze tří variant. Pro vytvoření nové aplikace je nutné vždy založit nový projekt nebo použít nabízené projekty, které jsou AVR Studiu známe, jež lze nalézt v seznamu *Recent projects*. Jako poslední je možnost otevřít pro prostředí neznámý projekt přes tlačítko *Open*.

Pokud je potřeba vytvořit nový projekt a je dáno, že aplikace bude napsána v JSA je nutné vybrat možnost *Atmel AVR Assembler* a zadat název nového projektu, popřípadě se rozhodnout zda nechat nástroj aby vytvořil i složku se stejným názvem, jak ukazuje Obr. 3.14. A kliknout na tlačítko *Next*.



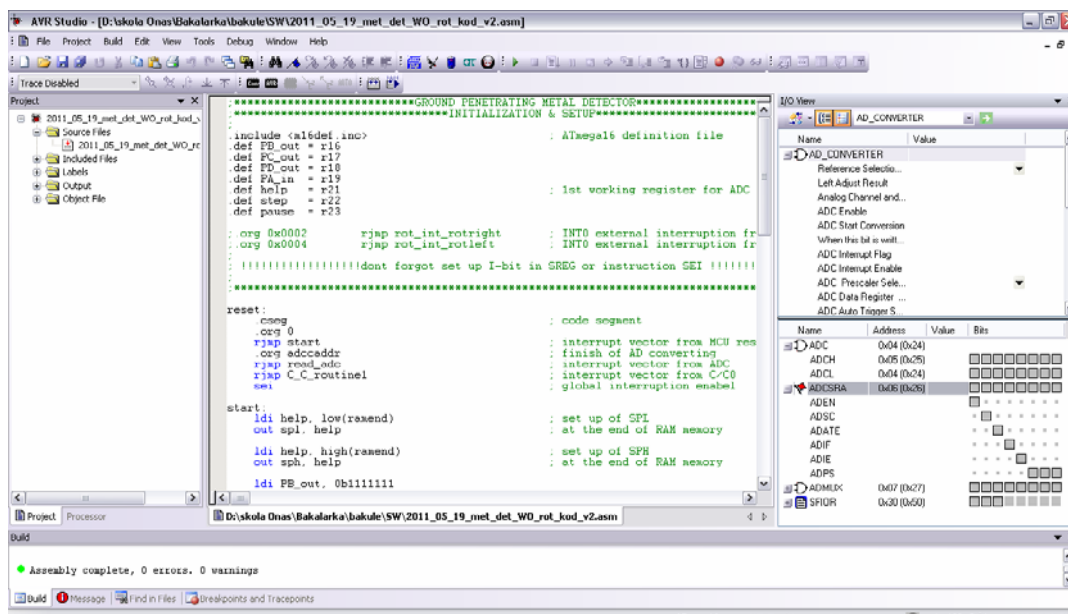
Obr. 3.14 Okno založení nového projektu

Poslední a nejdůležitější krok pro vytvoření nového projektu je výběr ladící platformy typ použitého mikrokontroléru, jak lze vidět na Obr. 3.15a. Pro tento projekt je vybrána platforma *AVR Simulator* a typ mikrokontroléru *ATmega16*.



Obr. 3.15 Výběr ladící platformy a použitého mikrokontroléru

Poté už stačí stisk tlačítka *Finish* a dostaneme se do prostředí pro vývoj nových nebo upravování stávajících aplikací. Vzhled vývojového prostředí je znázorněn na Obr. 3.16.



Obr. 3.16 Vzhled prostředí AVR Studia pro vývoj aplikací

Podrobné informace k jednotlivým funkcím jsou k nalezení v *Helpu* (klávesa F1) nebo na internetu.

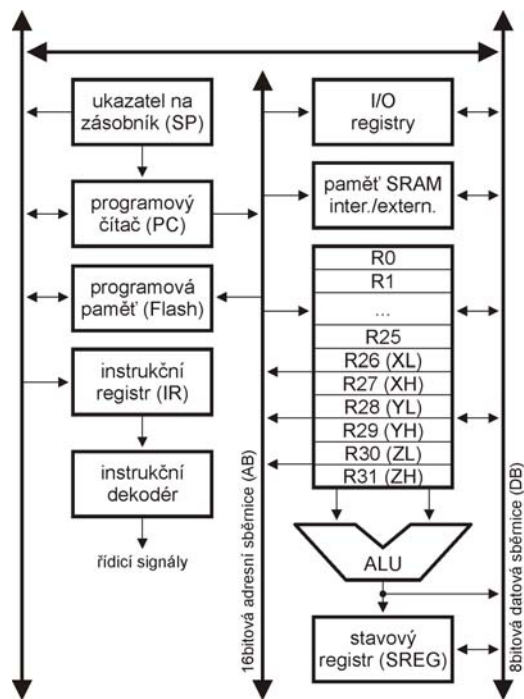
3.9.2 Mikrokontrolér ATmega16

Mikrokontrolér vznikne sdružením všech částí mikropočítače (řídící jednotka, paměti ROM, RAM, I/O porty, Č/C, atd.) na jediný čip [14].

Na Obr. 3.17 je zobrazeno zjednodušené blokové schéma mikrokontroléru AVR s Harvardskou architekturou, která vychází z architektury von Neumannovy. Základní rozdíl těchto dvou architektur je, že tento typ mikrokontroléru má oproti von Neumannově oddělenou paměť programu a paměť dat, dále má sběrnice pro program i data. Instrukce v programové paměti jsou vykonávány s jedno-úrovňovým zřetěžením. To znamená, že zatímco jedna instrukce se vykonává, příští instrukce se načítá. Proto většina instrukcí může být vykonána v jediném hodinovém cyklu. Programová paměť je typu flash a datová paměť je SRAM.

Základním blokem mikrokontroléru je jednotka CPU (*Central Processing Unit*), která v sobě sdružuje aritmeticko-logickou (*Arithmetic/Logic Unit* neboli ALU) a řídící jednotku. ALU jednotka provádí aritmetické a logické operace (sčítání, odčítání, násobení, log. operace, atd.). Blok vstupně-výstupních portů slouží pro komunikaci mikrokontroléru s vnějšími periferiemi (klávesnice, LED diody, atd.). Pracovní registry mikrokontroléru ATmega16 čítají 32 x 8-bitové registry, se kterými pracuje ALU. Šest z nich (obvykle ty nejvyšší) mohou být používány jako 16-bitové ukazatele nebo k nepřímému adresování. Dalším důležitým blokem je programový čítač, který se po vykonání instrukce vždy zvýší o 1. Dále obsahují vstupní obvody pro analogově-digitální převodník, vstupy pro čítače/časovače, které se musí nastavit pomocí řídících registrů.

Jelikož zde jde jen o úvodní seznámení s mikrokontrolérem tohoto typu, není možné popisovat všechny bloky a periferie. Detailní popis jednotlivých bloků a vnitřních funkčních obvodů lze nalézt v katalogovém listě mikrokontroléru ATmega16 na stránkách Atmel [12].



Obr. 3.17 Zjednodušené blokové schéma mikrokontroléru AVR [13]

3.9.3 Popis řídicího firmware

Na začátku řídicího firmware(dále jen FW) je potřebná inicializace, která zaručuje že vývojové prostředí bude pracovat se správným typem mikrokontroléru.

```
.include <m16def.inc>           ; ATmega16 definition file
```

Tato syntaxe zaručí, že pracujeme s mikrokontrolérem ATmega16. Jako další jsou nadefinovány názvy jednotlivých portů a pracovních registrů(tento postup není nutný, ale je výhodný pro orientaci ve zdrojovém kódu).

```
.def PB_out  = r16
.def PC_out  = r17
.
.
atd.
```

Za definicí jednotlivých pracovních registrů se nachází hlavní program, ve kterém je nastavena adresa, odkud se má začít vykonávat program, povolení přerušení a skoky na jednotlivé návěští, je-li splněna podmínka pro přerušení na začátku běhu programu.

Dále je důležité nastavit porty A, B, C a D mikrokontroléru, aby bylo jasné, jak se mají „chovat“.

```
ldi PA_in, 0b00000010
out DDRA, PA_in           ; port A is input for ADC,
                           except PA.1(to be use for
                           blocking of DC-DC converter)
```

Takto provedené nastavení říká, že všechny piny na portu A budou vstupní kromě pinu č.2(v bitovém zápisu je to bit č.1). Na schématu pak je možné najít tento pin s označením PA.1.

Jako poslední jsou nadefinovány velmi důležité řídicí 8-mi bitové registry pro práci s analogově-digitálním převodníkem (dále jen A/D) a pro řízení a nastavení správné funkce čítače/časovače_0(dále jen Č/C), který je v tomto projektu využit. Pro správné nastavení funkce A/D převodníku jsou důležité řídicí registry ADMUX, ADCSRA a registr SFIOR. Pro Č/C jsou to potom TCCR0, OCR0, TIMSK a TIFR. Nastavení jednotlivých bitů v registrech je velmi dobře a detailně popsáno v knize Práce s mikrokontroléry ATMEL ATmega16 [15]. Zde je jen pro ukázkou zobrazen postup nastavení a popis jednotlivých bitů pro řídicí registr ADMUX.

```
ldi help, 0b01111000
out admux, help
```

V popisu je postupováno od nejvyššího bitu k nejnižšímu. Bit číslo 7 a 6, tedy bity s názvem RESF1 a RESF0 slouží pro výběr referenčního napětí pro A/D převodník. Pro tento projekt byla vybrána externí reference +5V, což odpovídá kombinaci těchto bitů 0 a 1. Toto napětí je přivedeno na pin mikrokontroléru s názvem AREF. Následující bit s názvem ADLAR. Nastavením tohoto bitu je možno uvést na kterou stranu se má výsledek zarovnat v registrovém páru ACDH:L. Zde je použito zarovnání doleva, čímž jsou sice ztraceny dva nejméně významné bity, ale při čtení výsledku je možné pracovat pouze s registrem ADCH. Dalších 5 bitů a označením MUX4 – MUX0 jsou pro určení se kterými vstupy jen nutné pracovat. Například pro použití diferenčních vstupů z portů PA.0 a PA.2 je kombinace 11000. Výsledek může nabývat i negativní hodnoty, tudíž je uveden pomocí dvojkového doplňku.

Na obrázku Obr. 3.18 je zobrazen sled časových impulsů vysílaných z mikrokontroléru IC₁, kterým jsou řízeny jednotlivé obvody na desce přijímače, jež jsou určeny ke zpracování a poté je výstupní signál ze sumátoru přiveden zpět k vyhodnocení. Popis funkce je převzat a modifikován pro tento projekt z [7].

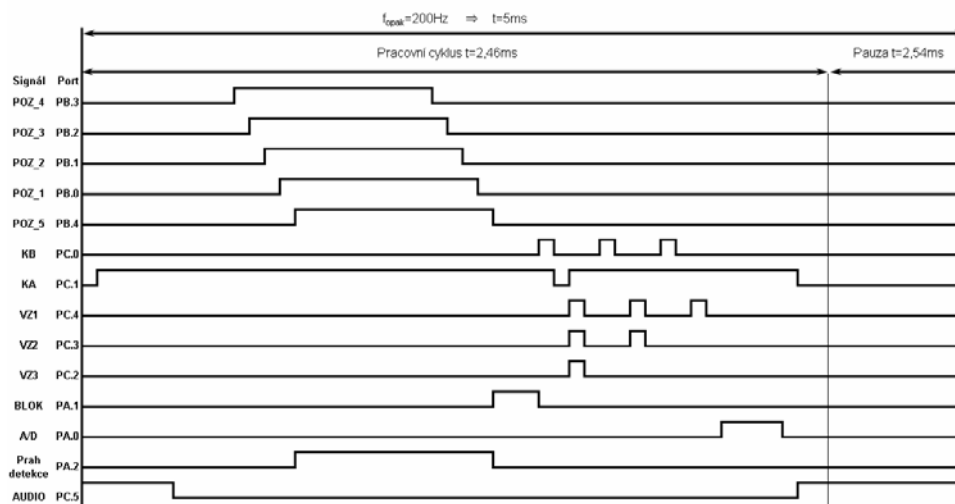
Dalším krokem řídicího FW je nastavení časovače. Po dosažení 10μs je nastaven port PC.1, který otvírá spínač předpětí nastaveného pomocí R₃₉ pomocí trimru TR₃ a zároveň je na dobu 500μs sepnut výstup PC.5, který řídí audio výstup a spíná přes tranzistor T₆ piezo sirénku. Poté je třeba sečkat do napočítání 790μs, kdy je sepnut port PB.4. ze kterého je přiveden impuls dlouhý 500μs na spínací tranzistor T₃ jehož funkce je popsána v kapitole 3.3.

Po 500μs se PB.4 nastaví do vypnutého stavu a nyní se opět běh programu vrací a čeká než je napočtena hodnota 20μs, kdy je impulzem trvajícím 10μs na port PC.0 přiveden signál jež nuluje integrátor. Toto nulování probíhá celkem třikrát, vždy po 30μs. Integrátor začíná

pracovat až po dokončení exponenciálního průběhu dozívání napětíové špičky na hledací cívice, vybitím kondenzátoru C_{24} . Poté začíná obvod integrovat.

Po prvním vynulování integrátoru je na $10\mu s$ vypnut spínač předpětí, který je zapnut ve stejném čase jako jsou přivedeny řídicí impulzy na vzorkovací obvody. To znamená, že těsně před ukončením integrace a její hodnota je přivedena třemi vzorkovacími impulzy délky $10\mu s$. Pro uložení do IO_{10} slouží sled tří impulzů vzdálených o $50\mu s$ vyslaných z portu PC.4. Ty jsou následované dvěma impulzy se stejným charakterem jako předchozí, vyslaných z portu PC.3. Ty převedou hodnotu druhého integrálu do obvodu IO_9 . Po dokončení integrace je ještě poslední vzorek integrálu převeden do IO_8 impulzem z portu PC.2. Celý tento proces trvá $130\mu s$.

Nyní je třeba získat výsledek integračního procesu. Tento proces se provádí podle vzorce v uvedeného v kap. 3.5.1. Sumátor, který je tvořen obvodem IO_{11} nejprve sečte hodnoty prvního a třetího integrálu a poté odečte dvojnásobek velikosti druhého integrálu. Proto je velikost odporu R_{32} dvakrát menší než odpor rezistoru R_{30} a R_{35} . Díky tomu, že se nejprve ukládá integrál do třetího vzorkovacího obvodu, tudíž prochází všemi třemi vzorkovacími obvody a proto je v době snímání na vstupu IO_{11} stejná velikost signálu, mělo by zákonitě být na jeho výstupu nulové napětí až do příchodu druhého integrálu do vzorkovacího obvodu. Výstup ze sumátoru je přiveden na port PA.0 což je A/D převodník. Jelikož v saturaci může být na výstupu sumátoru až téměř velikost napájecího napětí, je kvůli ochraně procesoru přiveden tento signál přes odporový dělič R_{13} , R_{14} . V mikrokontroléru bude tento signál navzorkován a porovnán s hodnotou nastavenou jako práh detekce. Toto vzorkování probíhá po dobu $500\mu s$ v době mezi přesunem posledního vzorku a sepnutím audio signalizace. Nastavení prahu detekce se provede signálem přivedeným na port PA.2 z jakéhosi „digitálního potenciometru“. Je to klasický potenciometr ($10k\Omega$) připojený mezi $+5V$ a $-12V$. Vzorkování tohoto signálu začíná $800\mu s$ od začátku a trvá též $500\mu s$. Výsledek takto porovnaných hodnot je signál z portu PC.5 přiveden na spínací tranzistor T_6 jež sepne připojený reproduktor či piezo-sirénu. Tento signál je posunut v časovém diagramu do doby pauzy programu. Poslední neméně důležitý je signál pro blokování DC-DC měniče přiveden z portu PA.1, a který má za úkol zablokovat jeho funkci v době zpracování signálu. Celý proces(vysílání i zpracování) trvá $2,46ms$. K této hodnotě přidáme $2,54ms$ pauzy pro „odpočínutí“ jednotlivých obvodů a celá akce se opakuje znovu. Časový interval tedy odpovídá hodnotě $5ms$ a opakovací frekvence je $200Hz$, čímž je splněna podmínka z kap. 3.3.



Obr. 3.18 Diagram časových sledů z(do) IC_1 upravený pro tento projekt [7]

4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést rozbor řešení detektorů kovu a navrhnout detektor s násobnou integrací. Tato problematika už jen stěží přinese nějakou novinku v oblasti základní funkce nebo typu zpracování signálu, a proto bylo dělení detektorů do jednotlivých skupin přímo převzato z uvedených publikací.

Neoddělitelnou součástí teorie detektorů je samozřejmě fyzikální podstata jejich funkčnosti, kterou můžeme nalézt v kap. 1. Zde jsou popsány principy tvorby magnetického pole cívky a vzniku vířivých proudů v hledaných předmětech.

Základním stavebním kamenem pro návrh detektoru s násobnou integrací byl detektor zveřejněn v časopise Praktická elektronika A Radio 2003 č.8. Základní funkční obvody musely být pro správnou funkci detektoru ponechány. Ovšem některé bloky zapojení, jako je výkonová část vysílače, měnič napětí a část přijímače s operačním zesilovačem pro akustickou indikaci, byly kompletně zjednodušeny a předělány. Celý měnič napětí byl nahrazen jediným obvodem a to zvyšujícím DC-DC měničem MC34063 dle katalogového zapojení. Dále byl implementován LCD displej pro vizuální indikaci nalezeného předmětu. Práce dále obsahuje předělaná schémata zapojení a přepracované desky plošných spojů, jak bylo požadováno v zadání projektu.

Další část bakalářské práce tvoří popis jednotlivých funkčních bloků pro zpracování signálu, nacházejících se na desce přijímače. Zde byla provedena změna formy vyhodnocení, zda může být vyslán impuls k audio indikaci či nikoliv. Oproti originálnímu zapojení byla vynechána analogová část zpracování. Tato zodpovědnost byla přenesena na mikrokontrolér. Ze sumátoru je přiveden signál na analogově-digitální převodník v mikrokontroléru spolu s hodnotou nastavenou pro práh detekce. Je tedy zřejmé, že mikrokontrolér provede porovnání těchto dvou navzorkovaných hodnot a pokud je hodnota přijatá ze sumátoru větší než hodnota nastavená pro práh detekce, je odeslán signál pro indikaci na piezo sirénku. V této části je také věnována pozornost oživení celého zapojení spolu s popisem vývojového prostředí AVR Studio, základních bloků mikrokontroléru Atmel AVR ATmega16, časových průběhů, a také popis řídicího firmware. Nicméně je nutné konstatovat, že všechny informace ohledně řídicího firmware jsou pouze teoretické, popřípadě odvozené. Poslední dva body zadání se nepodařilo ve stanoveném termínu splnit. Jedná se hlavně o řídicí firmware. Zde uvedený popis je pouze teoretický předpoklad funkce. Jelikož nebylo dosaženo naprogramování mikrokontroléru, nebylo tedy možné ověřit a proměřit důležité parametry detektoru.

Řešení ověření správné funkčnosti jednotlivých bloků přijímače by mohlo nabídnou použití laboratorního generátoru impulsů a nasimulovat jednotlivé impulzy. Jako další možné řešení problému s nefunkčností je podrobné nastudování programování mikrokontrolérů a poté odzkoušení funkčnosti.

Tento projekt přinesl autorovi mnoho nových znalostí a zkušeností z oblasti elektroniky, teorie vyhledávání kovů schovaných pod povrchem země a v neposlední řadě i zkušenost s dlouhodobým plánováním jednotlivých úkolů. Je jisté, že takto nabyté zkušenosti jsou pro autora velkým přínosem do budoucna.

LITERATURA

- [1] Hájek, J., Jarchovský, Z.: Detektory kovů - návod na stavbu. Praha: BEN – technická literatura 2010, ISBN 3-80-85230-31-3
- [2] Hájek, Jan: Elektronické Hledače (svazek 1) AA, Praha 2000, ISBN 80-852330-27-5
- [3] Novák, Vladimír(Hodonín): Zařízení ke zjišťování a lokalizaci kovových těles. Patentní spis č. 90066 z 16.11. 1956
- [4] Internetová encyklopedie Wikipedia.org [online]. [cit. 12.11.2010], Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotorick%C3%A9_nap%C4%9Bt%C3%AD>
- [5] Geotech Technology for Treasure Hunting [online]. [cit.12.11.2010], Dostupný z WWW: <<http://www.geotech1.com/cgi-bin/pages/common/index.pl?page=metdet&file=main.dat>>
- [6] Reichl, J., Všeticka, M.: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 19.11.2010], Dostupný z WWW: <[http://fyzika.jreichl.com/data_multimedia/\[+\]MECHANICKE_KMITANI_A_VLNENI/razy/zazneje.pdf](http://fyzika.jreichl.com/data_multimedia/[+]MECHANICKE_KMITANI_A_VLNENI/razy/zazneje.pdf)>
- [7] Jarchovský, Zdeněk: Impulzní detektor kovů s trojnásobnou integrací. Praktické elektronika A Radio 2003 č.8, str. 8-13
- [8] Hájek, J., Jarchovský, Z.: Impulzní hledače kovů. Praktická elektronika A Radio 2001 č.4, str. 7-11
- [9] Hájek, J., Jarchovský, Z.: Impulzní hledače kovů. Praktická elektronika A Radio 2001 č.5, str. 18-20
- [10] Hájek, J., Jarchovský, Z.: Impulzní hledače kovů. Praktická elektronika A Radio 2001 č.6, str. 20-23
- [11] Jarchovský, Z., Sochář, P.: Renesance Lorenzovy cívky pro detektory kovů. Praktická elektronika A Radio 2001 č.9, str. 12-13

- [12] Atmel Corporation - datasheet [online]. [cit.17.5.2011], Dostupný z WWW:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf>
- [13] Frýza, T.: Mikroprocesorová technika a embedded systémy[online]. [cit. 20.5.2011],
Dostupný z WWW: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/mpt_prednasky.pdf>
- [14] Frýza, T.: Přednáška 1: Bloková struktura mikrokontrolérů [online]. [cit. 20.5.2011],
Dostupný z WWW: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/mpt_pred_01.pdf>
- [15] Matoušek, D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16. Praha: BEN –
technická literatura 2006, ISBN 80-7300-174-8

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

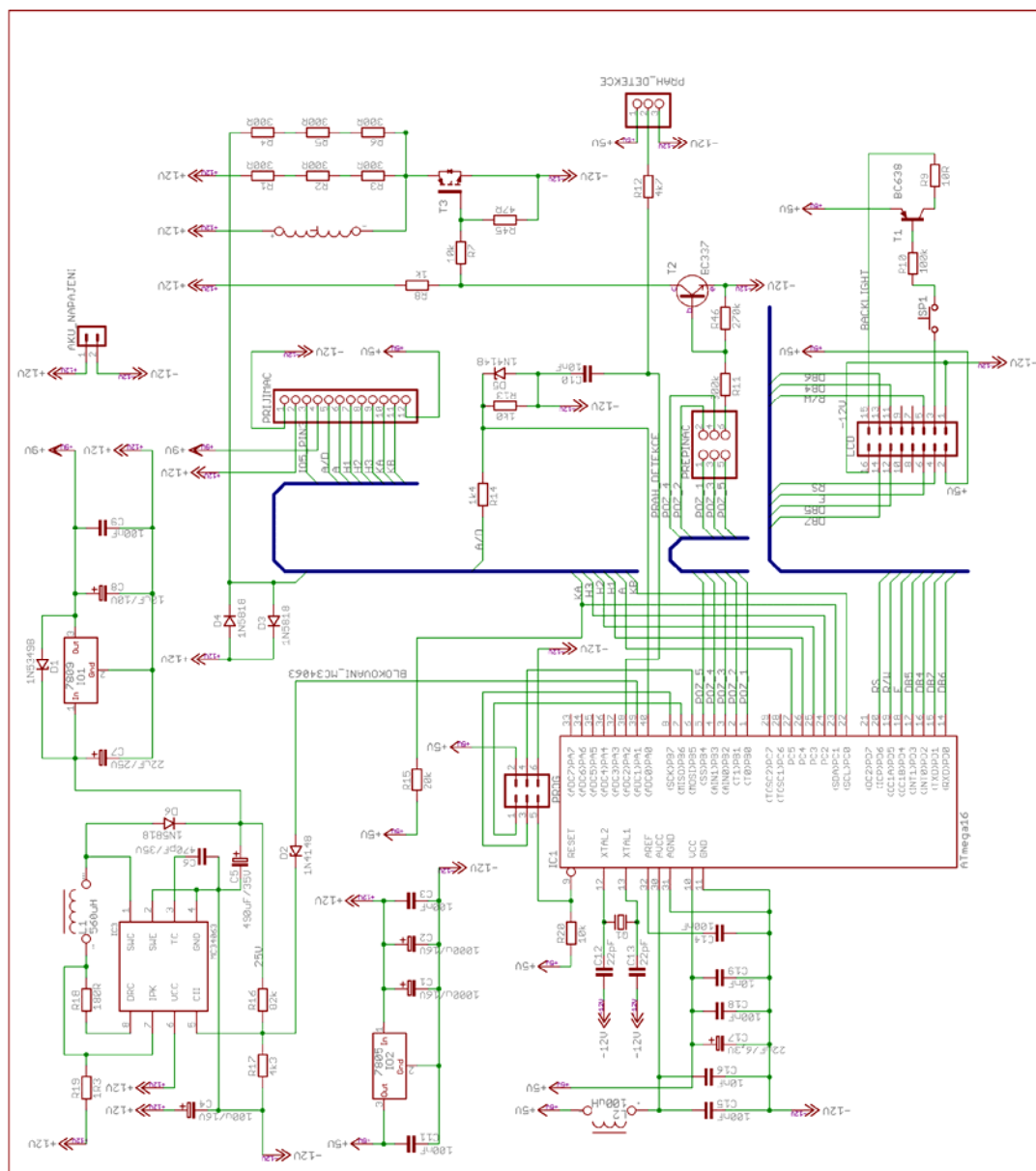
f_0	Rezonanční kmitočet
L	Indukčnost rezonančního obvodu
C	Kapacita rezonančního obvodu

SEZNAM PŘÍLOH

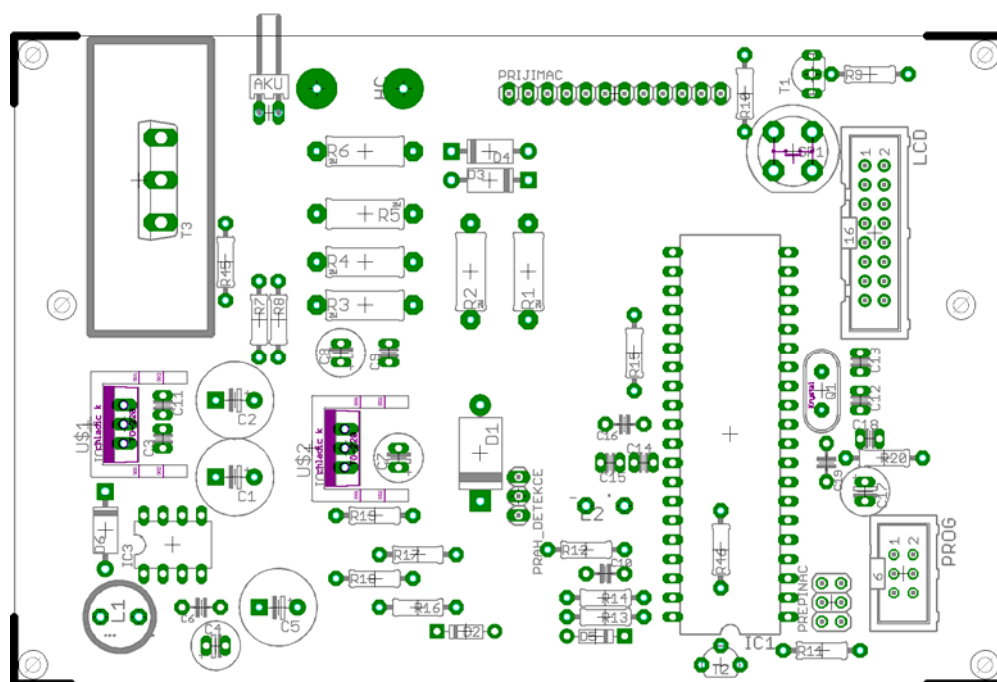
A	NÁVRH ZAŘÍZENÍ	32
A.1	Obvodové zapojení vysílače	32
A.2	Deska plošného spoje vysílače – strana součástek	33
A.3	Deska plošného spoje vysílače – strana spojů TOP	33
A.4	Deska plošného spoje vysílače – strana spojů BOTTOM	34
A.5	Obvodové zapojení přijímače	35
A.6	Deska plošného spoje přijímače – strana součástek	36
A.7	Deska plošného spoje přijímače – strana spojů TOP	36
A.8	Deska plošného spoje přijímače – strana spojů BOTTOM	37
B	Seznam součástek	38
B.1	Deska vysílače	38
B.2	Deska přijímače	39
C	Návrh řídicího firmware	40
C.1	Vývojový diagram	40
D	Obrázky detektoru kovu	41
D.1	Vzhled konstrukce	41
D.2	Pohled obsluhy	41
D.3	Detail A	42
D.4	Detail B	42

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení vysílače

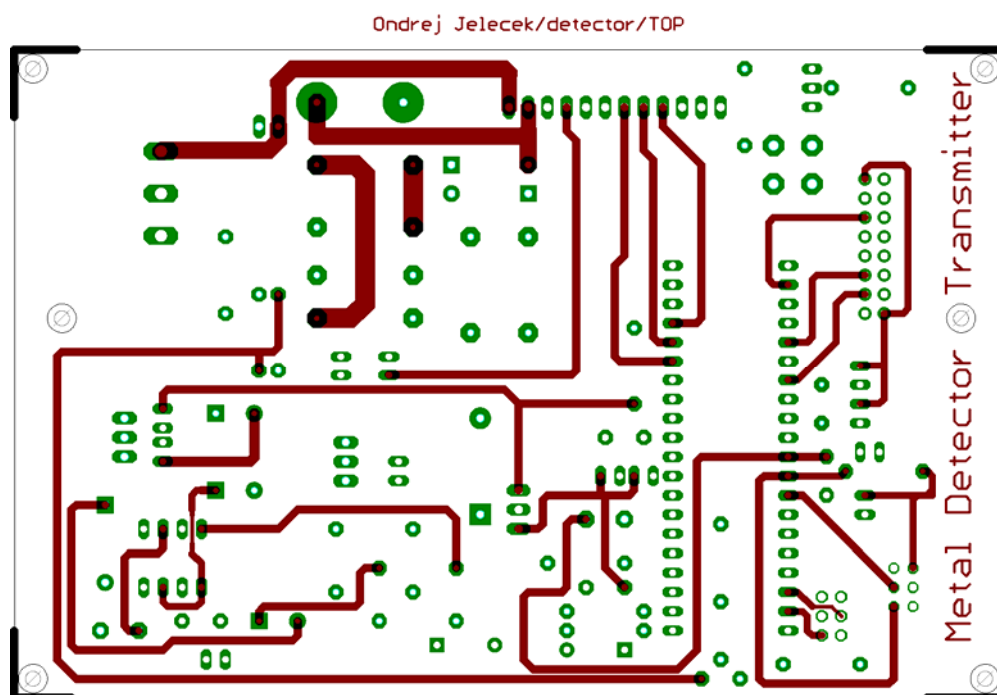


A.2 Deska plošného spoje vysílače – strana součástek

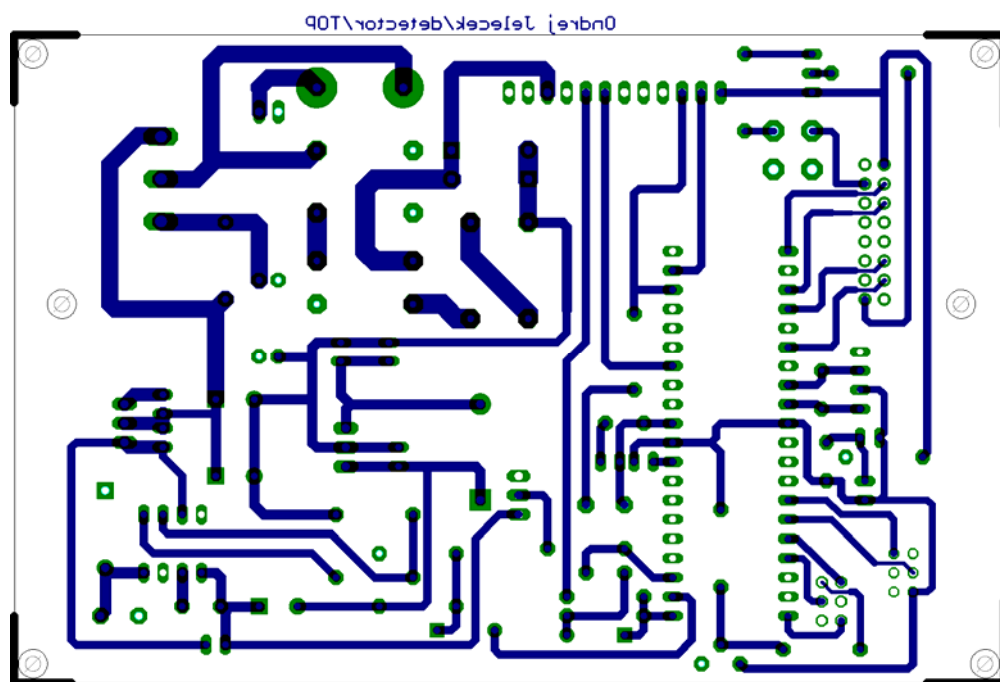


Rozměry desky 130 x 85[mm], měřítko M1:1

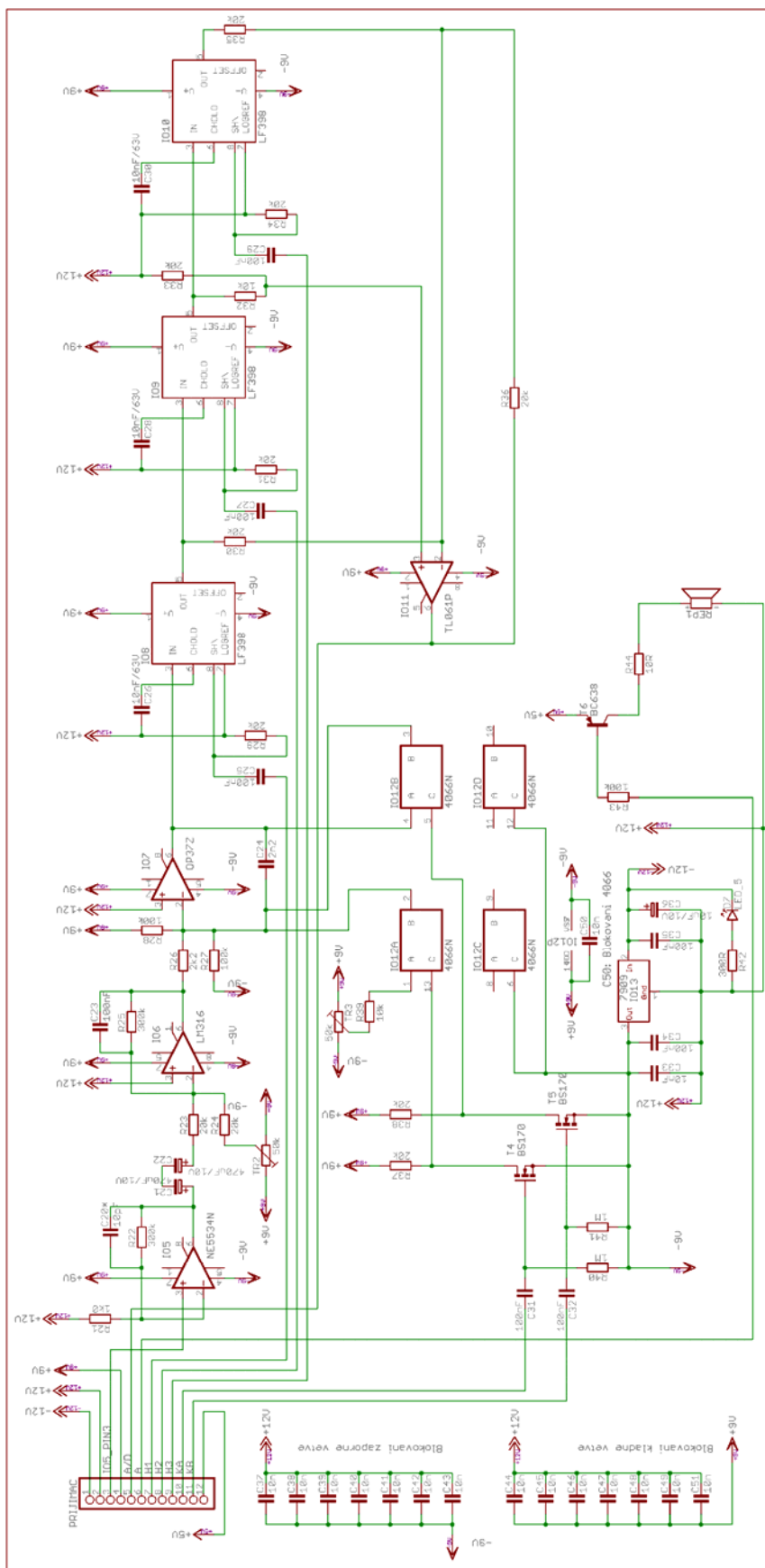
A.3 Deska plošného spoje vysílače – strana spojů TOP



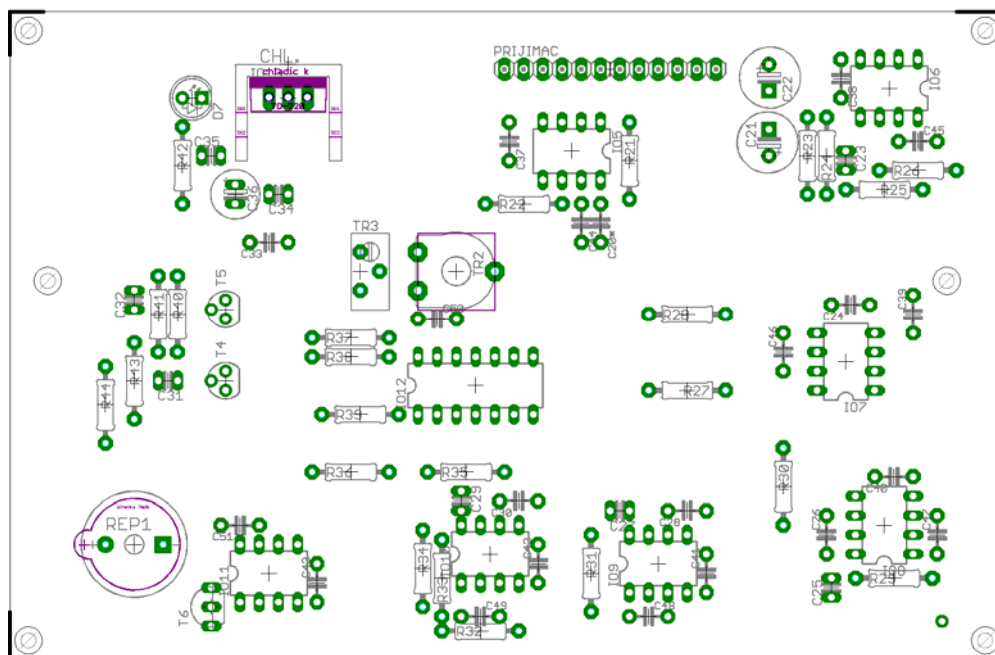
A.4 Deska plošného spoje vysílače – strana spojů BOTTOM



A.5 Obvodové zapojení přijímače

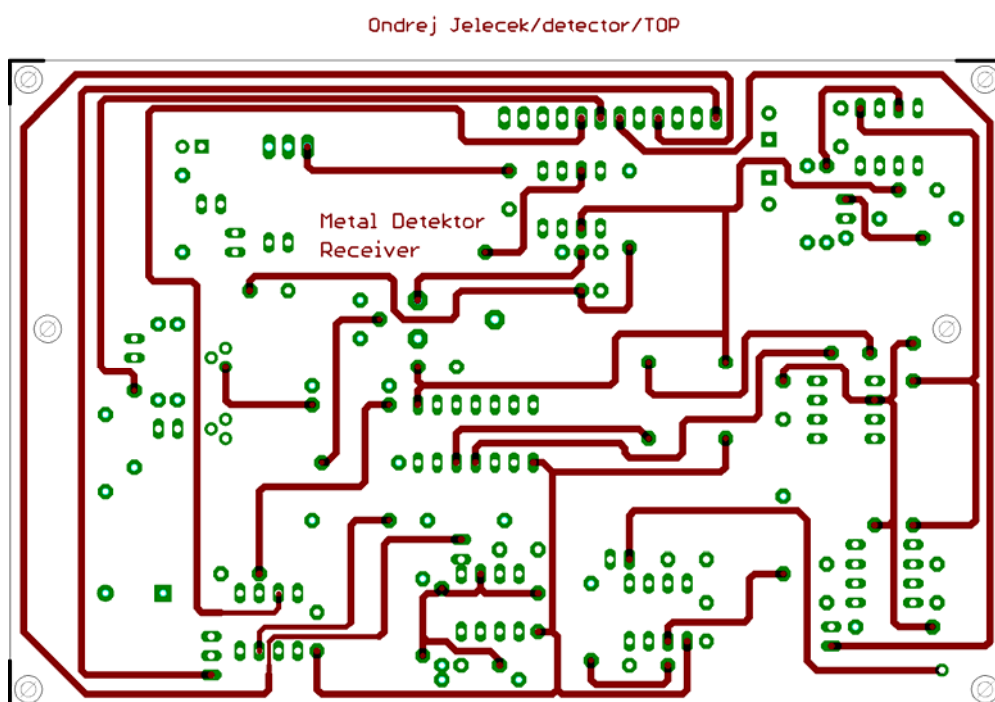


A.6 Deska plošného spoje přijímače – strana součástek

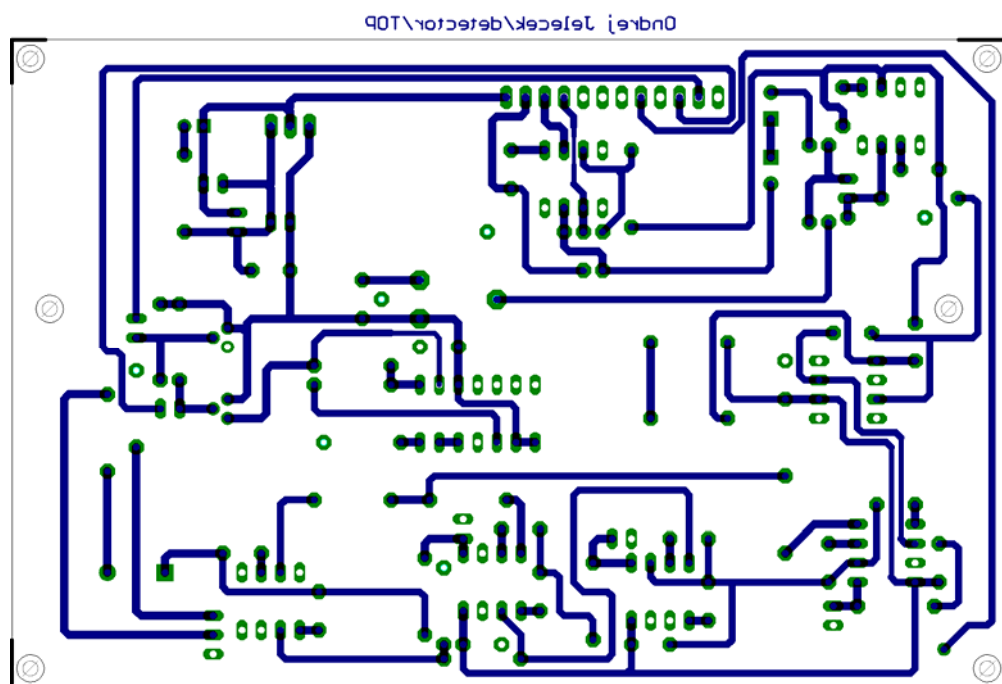


Rozměry desky 130 x 85[mm], měřítko M1:1

A.7 Deska plošného spoje přijímače – strana spojů TOP



A.8 Deska plošného spoje přijímače – strana spojů BOTTOM



B SEZNAM SOUČÁSTEK

B.1 Deska vysílače

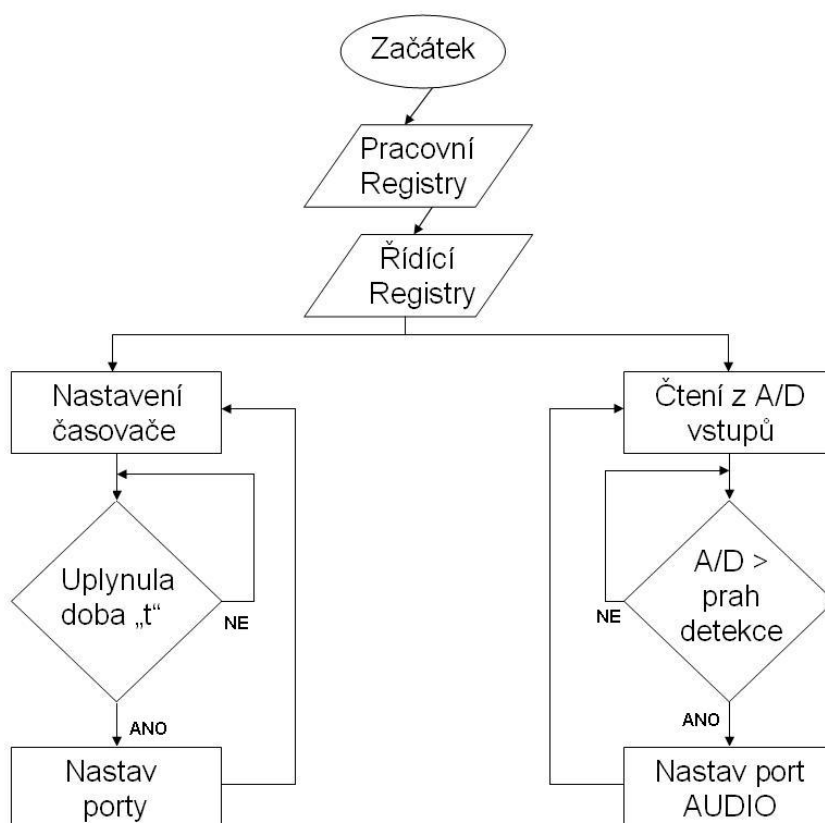
Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1, R2, R3, R4, R5, R6	300R	0414	Metal-oxidový rezistor
R7, R20	10k	0207	
R8, R13	1k0		
R9	10R		
R10	100k		
R11	300k		
R12	4k7		
R14, R19	1k4		
R15	20k		
R16	82k		
R17	4k3		
R18	180R		
R45	47R		
R46	270k		
POT1	10k		
C1, C2	1000uF/16V		Práh detekce
C3, C9, C11, C14, C15, C18,	100nF		Elektrolytický kondenzátor
C4	100uF/16V		Keramický kondenzátor
C5	490uF/35V		Elektrolytický kondenzátor
C6	470pF		Elektrolytický kondenzátor
C7	22uF/25V		Keramický kondenzátor
C8	10uF/10V		Tantalový kondenzátor
C10, C16, C19	10nF		Elektrolytický kondenzátor
C12, C13	22pF		Keramický kondenzátor
C17	22uF/6,3V		Elektrolytický kondenzátor
D1	1N5349B	DO-201	Tantalový kondenzátor
D2, D5	1N4148	DO-35	Zenerova dioda
D3, D4, D6	1N5818	DO-41	Zenerova dioda
IC1	ATmega16	DIL40	Shottkyho dioda
IC3	MC34063	DIL8	Mikrokontrolér
IO1	7809	TO-220	DC-DC Měnič
IO2	7805	TO-220	Stabilizátor napětí
Q1	6MHz	HC49U	Stabilizátor napětí
T1	BC638	TO-92	Krystal
T2	BC337	TO-92	Bipolární PNP
T3	IRG4PH40KDPBF	TO-247	Bipolární NPN
			IGBT Tranzistor

B.2 Deska přijímače

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R21	1k0	0207	Metalizovaný rezistor
R22, R25	300k		
R23, R24, R29, R30, R31, R33, R34, R35, R36, R37, R38	20k		
R26	2k2		
R27, R28, R43	100k		
R39	10k		
R40, R41	1M		
R42	300R		
R44	10R		
TR2	50k	PT10V	Trimr
TR3	50k	64Y	Víceotáčkový trimr
C20	10p		Keramický kondenzátor
C21, C22	470uF/10V		Elektrolytický kondenzátor
C23, C25, C27, C29, C31, C32, C34, C35,	100nF		Keramický kondenzátor
C25	2n2		Keramický kondenzátor
C26, C28, C30	10nF/63V		Fóliový kondenzátor
C33, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51	10nF		Keramický kondenzátor
C36	10uF/10V		Elektrolytický kondenzátor
D7	Zelená LED	LED-5mm	LED dioda
IO5	NE5534	DIL8	Nízkošumový operační zesilovač
IO6	LM316		Operační zesilovač
IO7	OP37		JFET-monolitický sample&hold
IO8, IO9, IO10	LF398		Operační zesilovač JFET
IO11	TL061		
IO12	4066	DIL14	4x oboustranný spínač
IO13	7909	TO-220	Stabilizátor napětí
T4, T5	BS170	TO-92	Unipolární tranzistor
T6	BC638	TO-92	Bipolární PNP

C NÁVRH ŘÍDÍCÍHO FIRMWARE

C.1 Vývojový diagram



D OBRÁZKY DETEKTORU KOVU

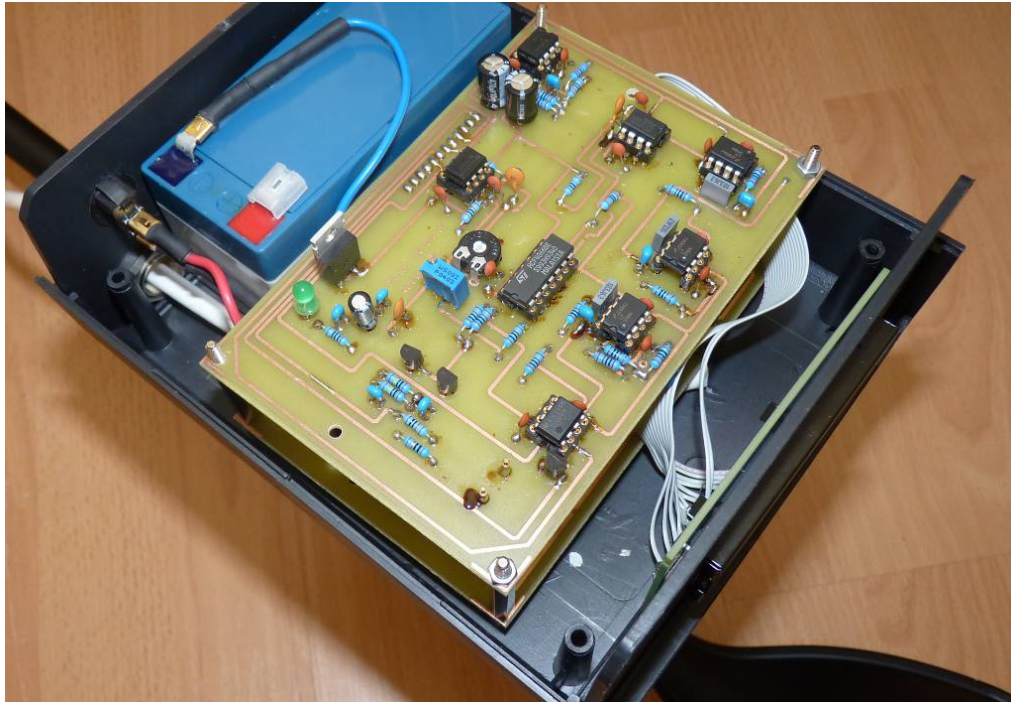
D.1 Vzhled konstrukce



D.2 Pohled obsluhy



D.3 Detail A



D.4 Detail B

