



**Západočeská Univerzita**

**Katedra elektromechaniky a výkonové  
elektrotechniky**

**Bakalářská Práce**

Detektor kovů s diskriminací a dvoutónový  
rozlišením kovů

**Školní rok: 2014/2015**

**Vypracoval: Petr Zuklín**

**Vedoucí práce: Ing. Richard Linhart Ph.D.**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ZUKLÍN, DiS.**  
Osobní číslo: **E12B0423P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Detektor kovu s diskriminací a dvoutónovým rozlišením kovů**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

## Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte používané principy detektorů kovů a srovnajte jejich vlastnosti a praktickou použitelnost v různých aplikacích.
2. Vyberte nejvhodnější metodu pro realizaci a detailně popište její princip.
3. Navrhněte a realizujte detektor založený na vybraném principu. Postup zdokumentujte.
4. Otestujte funkční vlastnosti a srovnajte s komerčními výrobky stejné kategorie. V případě nutnosti doporučte vhodná vylepšení.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Richard Linhart, Ph.D.  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014  
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan  
V Plzni dne 15. října 2014



  
Prof. Ing. Václav Kás, CSc.  
vedoucí katedry

## **Čestné prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.“

V Plzni dne:

podpis

## **Abstract**

Bakalářská práce se zabývá jednotlivými známými metodami detekce kovů a metodami řešení hledacích sond a jejich specifickými vlastnosti pro použití v různých případech. Dále pak výrobou a návrhem desky plošných spojů podle návrhových způsobů a sestrojením funkčního detektoru na vybraném principu v domácích podmínkách.

## **Klíčová slova:**

Detektor kovů, hledací sonda, indukčně balanční detektor, diskriminace, tónové rozlišení

## **Abstract**

This thesis deals with the various methods known for metal detection methods and solving the metal detector probes and their specific properties for use in different cases. Furthermore, the design and manufacture of printed circuit boards according to the design methods and building functional detector at selected principle in domestic conditions.

## **Keywords**

**Metal detector, searching probe, induction balance metal detector, discrimination, tone identification**

## Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Technické principy hledačů kovových předmětů.....	2
2.1	BFO detektory kovů.....	2
2.2	Pulzně indukční detektor.....	2
2.3	Indukčně balanční detektor.....	3
3.	Základní pojmy v oblasti detektoru kovů.....	5
3.1	Maximální dosah detektoru.....	5
3.2	Citlivost detektoru.....	5
3.3	Separace.....	6
3.4	Pracovní frekvence.....	7
3.5	Diskriminace.....	7
3.6	Odladění země.....	8
3.7	Rychlost odezvy.....	8
4.	Druhy a systémy hledacích sond.....	8
4.1	Koncentrické cívky.....	9
4.2	DD cívky.....	10
4.3	Ostatní systémy hledacích sond.....	11
4.4	Cívky pro pulzně indukční detektory.....	12
5.	Stavba detektoru.....	12
5.1	Zdrojový blok.....	13
5.2	Oscilátor – vysílací cívka.....	14
5.3	Přijímací cívka.....	14
6.	Mechanická konstrukce detektoru.....	15
6.1	Postup stavby detektoru.....	15
6.2	Soupiska součástí.....	18
6.3	DPS ze strany spojů.....	20
6.4	DPS ze strany součástí TOP.....	20
6.5	DPS ze strany součástí BOT.....	21
7.	Návod k použití detektoru.....	16
7.1	Popis ovládacích prvků detektoru.....	16
7.2	Potenciometr citlivosti.....	16
7.3	Potenciometr treshold.....	16
7.4	Potenciometr a diskriminace.....	17
7.5	Potenciometr odladění země.....	17
7.6	Přepínač režimu.....	17
8.	Závěr.....	18
9.	Seznam použité literatury a zdrojů informací.....	19
10.	Přílohy.....	20

# 1. Úvod

Mnou vyrobený detektor kovu pracuje na indukčně balančním principu s frekvencí 12Khz. Tento detektor může pomocí fázového posunu identifikovat druh kovu nalézající se pod hledací sondou a tónově ho rozlišit.

Cílem mé bakalářské práce bylo prostudovat dostupné metody pro vyhledávání kovových předmětů a pomocí jedné metody zrealizovat funkční detektor kovu.

Od detektoru očekávám zejména stabilitu a velkou citlivost na malé předměty jako jsou např. mince, na jejichž hledání byl detektor navržen.



## **2. Technické principy hledačů kovových předmětů**

V současnosti se používají celkem tři základní principy funkce detektorů kovů. Jednotlivé principy mají mezi sebou celou řadu výhod a nevýhod. Zejména v hloubce dosahu, schopnosti detekce malých předmětů, možnostech rozlišení druhů detekovaných kovů a způsobem použití.

### **2.1 BFO detektory ( Beat Frequency Oscillator )**

Hlavní princip tohoto detektoru se skládá ze dvou oscilátorů, z nichž jeden slouží jako referenční a druhý oscilátor (LC) je tvořen hledací sondou, aby se uplatnila změna indukčnosti cívky. Oba oscilátory kmitají v klidovém stavu na blízkém kmitočtu, přičemž přiblížení kovového předmětu se oscilátor tvořený hledací cívkou rozladí a vznikne frekvenční změna oproti referenčnímu oscilátoru, který kmitá stále na stejné frekvenci. Jedná se o nejjednodušší způsob detekce kovů. Hlavní nevýhody tohoto zapojení jsou ve velmi slabé citlivosti, zejména u menších kovových předmětů a velké teplotní závislosti oscilátorů. Jedná se o zastaralé zapojení, které se dnes již nepoužívá. Detektor ke svojí obsluze vyžaduje určité zkušenosti, zejména citlivý sluch schopný poznat i malou změnu frekvence.

### **2.2 Pulzně indukční detektor**

Tento detektor na rozdíl od ostatních detektorů nepracuje na principu buzení cívky oscilátorem, nýbrž hledací cívku budí velmi krátkými stejnosměrnými pulzy. Hledací sonda může být tvořena jednou nebo dvěma cívkami, z nichž při zapojení se jednou cívku, cívka pracuje zároveň jako vysílač i přijímač. U zapojení s dvěma cívkami plní každá z cívek jednu funkci. Nejprve je cívka v režimu vysílače, kdy se do ní pustí velmi krátký stejnosměrný impuls. Poté se cívka přepne do režimu přijímače, kde se zkoumá doba přechodového děje na cívce. V případě, že se v elektromagnetickém poli cívky nevyskytuje kov, je doba odezvy cívky velmi krátká. V případě jestliže se v elektromagnetickém poli kov nachází, je doba odezvy cívky delší. Toto vyhodnocovací jednotka vyhodnotí jako přítomnost kovu. Celý děj se periodicky opakuje zhruba 5 000 x za vteřinu.

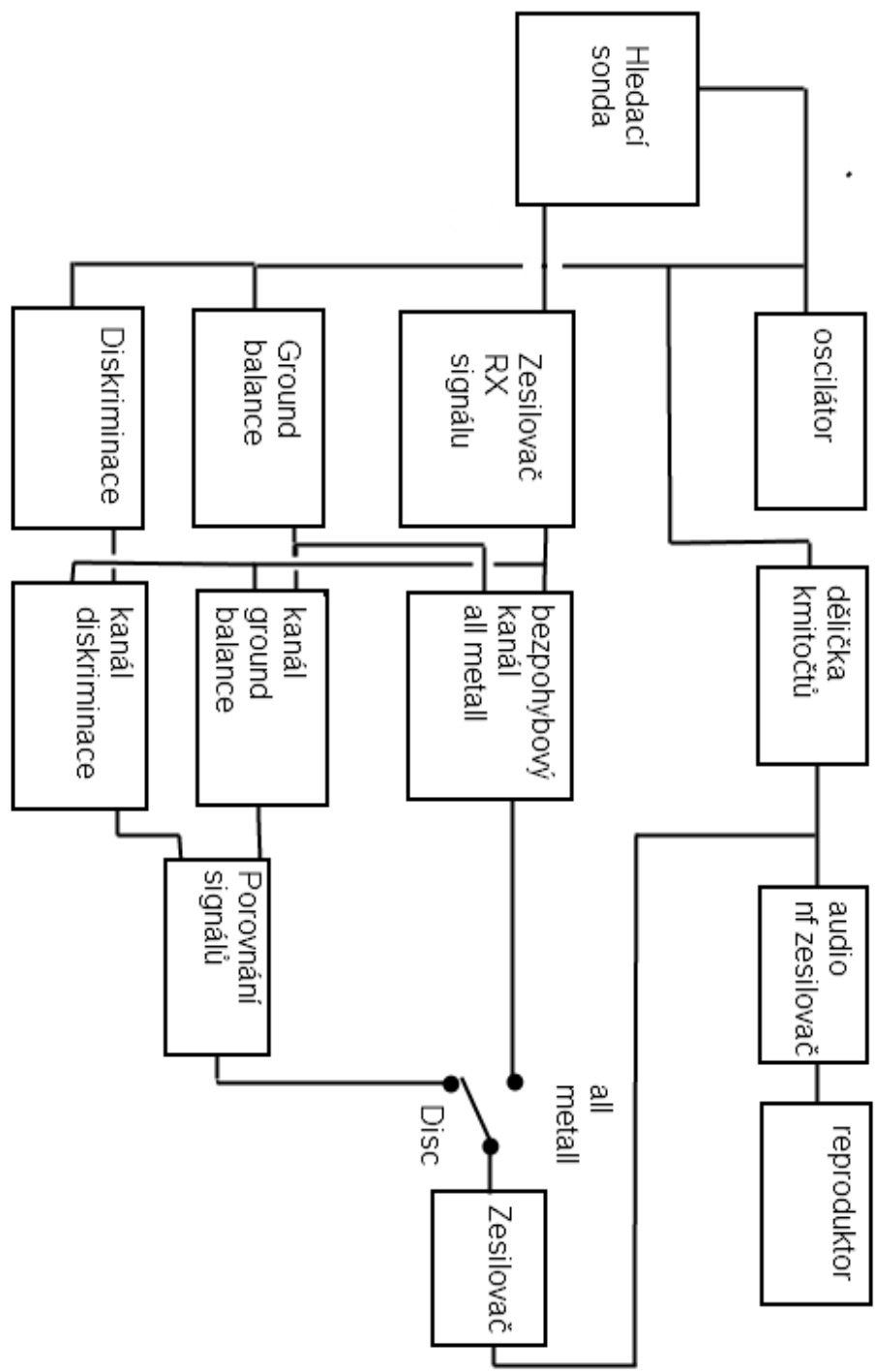
Hlavní výhodou tohoto detektoru je schopnost detekovat předměty ve větší hloubce. Odolnost vůči rušení schopnost detekovat předměty v náročných půdních podmínkách jako např. ve vysoce mineralizované půdě a slanou vodou nasáklých mořských pláží.

Nevýhody: špatně proveditelné rozlišování kovů, detektory pracují výhradně v pohybovém režimu.

### **2.3 Indukčně balanční detektor**

Tento detektor jsem se rozhodl postavit ve své práci hlavně z důvodu dobrého rozlišení kovů a kvůli výbornému dosahu. Jedná se dnes o nejpoužívanější systém detekce kovů. Tento systém detekce kovu se vyznačuje vysokou stabilitou a díky dobrému rozlišení kovů se pro mou aplikaci nejvíce hodí. Detektor pracuje za pomoci dvou cívek, z nichž jedna je vysílací a druhá přijímací, které jsou vzájemně kompenzovány, tak že mají nulovou indukčnost. Vysílací cívka je v mém případě součástí jednoduchého oscilátoru, který produkuje sinusový signál o co možná největší amplitudě. Přijímací cívka je s vysílací cívkou vyvážena přesně tak, že cívky mají vůči sobě nulovou indukčnost, tudíž na přijímací cívce není v klidovém stavu žádné indukované napětí. Přítomností kovu v elektromagnetickém poli cívek se rovnováha (balance) poruší a detektor tuto změnu vyhodnotí jako signál. Podle posunu fáze na přijímací cívce lze určit i druh detekovaného kovu. Tyto detektory mají vysokou citlivost i na velmi drobné předměty a velice přesné rozlišení kovů s možností detekce jenom některých kovových předmětů.

Nevýhodou je velice složité vzájemné nastavení soustavy cívek, tak aby bylo mechanicky a teplotně odolné. Vyhotovená cívka je velmi mechanicky náchylná na nárazy. Jakákoliv deformace vynutí jedné z cívek má za následek porušení jejich vzájemné rovnováhy a tím rozkompenzování cívky, který má negativní vliv na dosah a celkovou funkci detektoru. Dosah detektoru je velice závislý na přesném vyvážení soustavy cívek.[6]



Obr.1-Blokové schéma indukčně balančního detektoru

### **3. Základní pojmy v oblasti detektoru kovů**

#### **3.1 Maximální dosah detektoru**

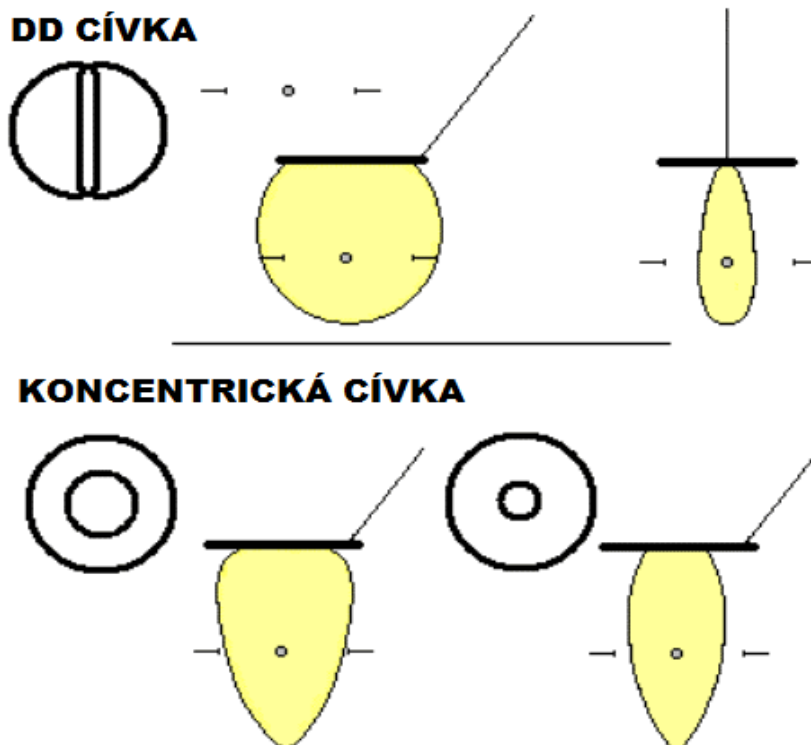
Znamená na jakou maximální vzdálenost je schopný detektor identifikovat kovový předmět. Většinou se uvádí v parametrech jako maximální dosah detektoru, na který je schopen detektor podat přesvědčivou odpověď. Dosah detektoru se liší podle toho, jestli je měření provedeno na vzduchu nebo na ukázkovém předmětu zakopaném v půdě, kde se citlivost snižuje. Po většinou se jako směrodatný údaj uvádí tzv. air test, který znamená maximální dosažitelnou vzdálenost na vzduchu. Maximální dosah detektoru z velké části závisí na použitém principu detektoru a na velikosti hledací sondy. Obecně platí, že větší cívka lépe detekuje větší kovové předměty a zároveň pokrývá větší plochu. Největší dosah lze očekávat u hledačů pracujících na principu pulzní indukce, kde se pro vyhledávání větších kovových předmětů používají tzv. rámové cívky o rozměrech od 1x1m výš. Nevýhodou těchto cívek je slabá separace a nepřesné zaměření cíle z důvodu velké detekční plochy. Tyto přístroje jsou určeny pro hledání velkých předmětů klidně i do hloubky několika metrů pod zemí.

#### **3.2 Citlivost detektoru**

Citlivost detektoru je údaj na jak velkou vzdálenost je schopný detektor zachytit předmět určité velikosti. Na rozdíl od dosahu musí být tato hodnota vázána na určitý přesně daný předmět. Citlivost také závisí na typu detekovaného kovu na ploše a hmotnosti. Někdy se uvádí i tzv. graf citlivosti. Graf citlivosti, který značí velikost dosahu ku velikosti předmětu. Detektory s vysokou citlivostí se většinou používají při hledání starých mincí v Americe a v Austrálii při hledání velmi malých valounků přírodního zlata. Zde se nejvíc osvědčili indukčně balanční detektory s malými cívkami pracujících na vysokých frekvencích řádově okolo 15Khz. Obecně platí čím větší frekvence, tím lepší citlivost na malé předměty, ale horší průnik signálu půdou. Tyto detektory mají oproti pulzně indukčním detektorům menší dosah, ale díky použití malých cívek i dobrou separaci.

### 3.3 Separace

Separace je schopnost detektoru odlišit od sebe dva různé kovové předměty, které se nachází v blízkosti. Tato schopnost silně závisí zejména na použité cívce a na principu, na kterém detektor pracuje. Schopnost je velmi důležitá při hledání v zamořených lokalitách s velkým množstvím nechtěných cílů. Separace silně ovlivňuje i funkci diskriminace, která má za úkol nedetekovat nežádoucí předměty. Pokud detektor nemá dobrou separaci a do detekčního pole cívky se dostanou dva různé kovové předměty. Může se stát, že detektor vyhodnotí tento signál jako jediný cíl, který bude značně ovlivněn nechtěným předmětem a jako celkový cíl ho detektor zamítne. U indukčně balančních detektorů platí, že lepší separaci mají cívky tvořené systémem 2D, kde je citlivá plocha v místě, kde se protínají dvě vinutí tvaru D oproti jednodušším koncentrickým cívkám, kde je citlivá plocha rovná v kruhu o průměru přijímací cívky.



Obr.2-Detekční plocha koncentrické a DD cívky

### **3.4 Pracovní frekvence**

Pracovní frekvence znamená, jak velké frekvenci kmitá oscilátor vysílací cívky u indukčně balančního detektoru. U pulzního detektoru pracovní frekvence znamená, kolikrát za sekundu se přehodí detektor z vysílacího do přijímacího režimu. Vysílací frekvence má vliv na mnoho parametrů detektoru, zejména na citlivosti na drobné předměty a na diskriminaci. Většina prodávaných detektorů má frekvenci od 4 – 25Khz., podle způsobu použití. Platí, že detektory pracující na frekvenci okolo 5Khz jsou detektory určené na hledání artefaktů a větších kovových předmětů určené zejména pro hledače válečné historie. Ostatní detektory do 14Khz jsou univerzální detektory pro hledání všech druhů mincí. Tyto detektory jsou u nás nejpoužívanější. Speciální skupinu detektorů tvoří tzv. gold detektory, které pracují na velmi vysokých frekvencích od 15 – 25Khz. Tyto detektory jsou určeny pro hledání přírodního zlata. Zejména v Americe a v Austrálii.

### **3.5 Diskriminace**

Jedná se o schopnost detektoru nehlásit nechtěné předměty podle jejich materiálu a velikosti. Slouží k tomu, aby detektor v zamořených lokalitách nehlásil zbytečně nechtěné cíle. Diskriminace umožňuje celkem úspěšně odladit veškeré druhy železných předmětů a různých malých zbytků alobalů. Diskriminace funguje na principu fázového posunu vyvolaného na přijímací cívce. Každý rozličný materiál vyvolává různý posun fáze signálu na přijímací cívce. Fázový posun závisí také na tvaru daného předmětu. Platí, že i hřebík ohnutý do kruhu se spojenými konci detektor signalizuje jako barevný kov. Podle toho jestli se jedná o feromagnetický (železo, nikl) nebo paramagnetický (měď, hliník, zlato, stříbro a další barevné kovy) se fáze přijímaného signálu bude posouvat na jednu nebo na druhou stranu. Používání diskriminace slabě snižuje dosah i u žádoucích cílů, kde na konci dosahu už je fázový posun nepatrný a diskriminační jednotka ho odmítne. Obecně platí, že čím blíže je daný předmět k cívce, tím vyvolává větší fázový posun.

### **3.6 Odladění země**

Odladění země slouží k potlačení změny fáze přijímaného signálu vzniklým přiblížením sondy hledače k zemi. Samotná zem je také slabě vodivá a proto vyvolává změnu fáze na přijímaném signálu. Z toho odladění země funguje na podobném způsobu jako diskriminace a pro diskriminaci slouží jako referenční bod, od jakého se má velikost změny fáze vyhodnotit jako správný signál. Nesprávné nastavení země může mít i za vliv přecházení chtěných cílů. Proto je dobré během hledání nastavení země občas kontrolovat. Nastavení země se provádí tzv. pumpováním, což je rychlé přibližování cívky k zemi, do té doby dokud detektor nepřestane vydávat signál. Díky této funkci lze odladit i značně mineralizovanou půdu jako třeba čedič nebo slanou vodou nasáklý písek na mořských plážích.

### **3.7 Rychlost odezvy**

Rychlost odezvy je doba za jakou detektor vyhodnotí signál přijímaný z přijímací cívky. Většinu detektorů lze rozdělit obvykle do dvou kategorií. Jako digitální a analogové. Občas se u digitálních detektorů stává, že signál do audio výstupu dorazí s menším zpožděním. To bývá většinou zapříčiněno procesorem, který zpracovává signál z přijímací cívky a informace o něm zobrazuje na displej. Proto ty nejlepší detektory jsou kombinací zároveň digitálního a analogového přístroje, kde mají analogový audio výstup a digitální výstup na displeji.

## **4. Druhy a systémy hledacích sond**

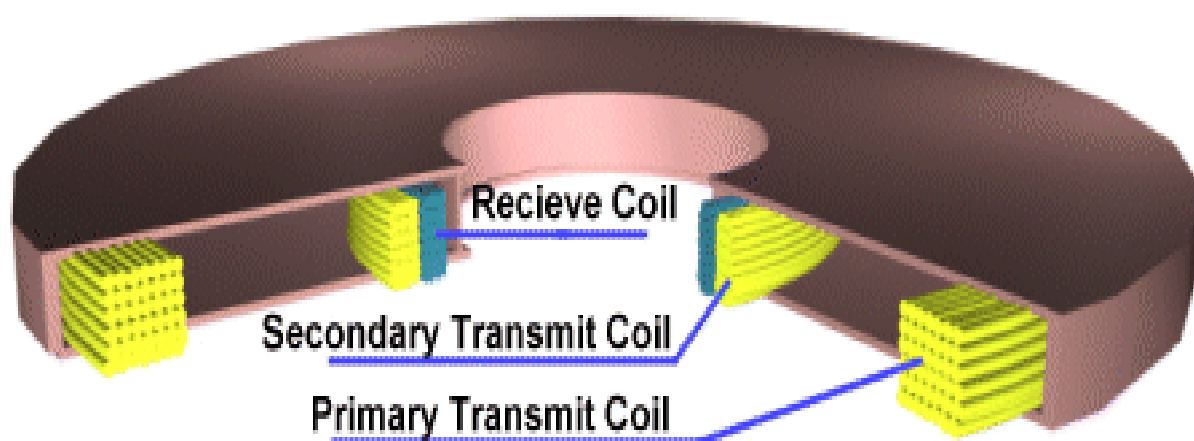
Existuje celkem mnoho druhů provedení hledacích sond. Z nichž každý má své výhody a nevýhody v porovnání s ostatními. Mezi dvě hlavní varianty můžeme rozlišit koncentrické a DD cívky. Vzájemně se bude porovnávat hlavně dosah, separace a citlivá plocha. Podle způsobu a vhodnosti použití. Dále u pulzně indukčních detektorů a BFO detektorů se používá tzv. mono cívka, kde celá hledací sonda obsahuje pouze jedno vinutí. Výroba hledacích sond, hlavně pro indukčně balanční detektory je velice složitou fází výroby, protože i přes malé

odchylky při vinutí cívek nelze výrobu plně zautomatizovat a je potřeba, aby cívky vyvažoval odborný pracovník. Hlavní fáze průmyslové výroby hledacích sond spočívá v namotání dvou nebo více vinutí cívek, uložení do skořepiny z tvrdého a teplotně odolného plastu. Poté se cívky vykompenzují a zalijí tvrdou epoxidovou pryskyřicí. Tímto systémem vyrobené cívky jsou také vodotěsné. Při výrobě sond je dbáno hlavně na mechanickou odolnost celé konstrukce, kdy náraz o tvrdý předmět může deformovat vinutí nebo jinak poškodit kompenzaci cívky. Dále na teplotní stálost, kdy vlivem tepelné roztažnosti materiálů může docházet k malé změně vzájemné polohy cívek a tím porušením kompenzace.[5]

#### **4.1 Koncentrické cívky**

Používají se výhradně u indukčně balančních detektorů, kde základem sondy jsou dvě nebo tři vinutí, z nichž jedno vinutí slouží jako kompenzační a je navinuto v opačném směru k přijímací cívce. Tento systém se pro svou jednoduchost osvědčil a je součástí většiny levnějších detektorů. Kompenzování této cívky se provádí obmotáváním nebo přimotáváním závitů na kompenzační cívce. Nespornou výhodou je, že se cívka kompenzuje, když už jsou ostatní vinutí pevně zafixovány. Tento systém představuje nejjednodušší výrobní řešení, proto je využívá naprostá většina výrobců detektorů. Výhodou je poměrně velký dosah na opravdu malé předměty, ale nevýhodou je malá detekční plocha, která má velikost průměru menší cívky. Aby výrobci tuto vadu kompenzovali, vznikla eliptická koncentrická cívka, kde se detekční plocha podstatně zvětšuje.





*Cross section of a typical Concentric Coil*

Obr.1-Řez koncentrickou cívkou [1]



Obr.2-koncentrická cívka od firmy GARRETT [2]

## 4.2 DD cívky

V současné době asi nejdokonalejší systém cívek pro indukčně balanční detektory. Jejich základ tvoří dvě vinutí ve tvaru písmen DD, tak že tvoří kruh, kde citlivá plocha je v místě překřížení dvou vinutí. Tyto cívky jsou pro výrobu nejtěžší, neboť kompenzace cívky se provádí posouváním jednotlivých vinutí vůči sobě. Dokud se nedosáhne na výstupu přijímací cívky nulového signálu. Tyto cívky nemají tak dobrý dosah na menší předměty, ale nabízí detekční plochu ve velké šířce celé cívky. Cívky se většinou používají u detektorů vyšší třídy pro jejich složitou konstrukci. Tyto cívky mají v porovnání s koncentrickými daleko lepší separaci, ale jsou náchylnější k mechanickému poškození.



Obr.3-DD cívka od firmy Minelab [3]

### 4.3 Ostatní systémy hledacích sond

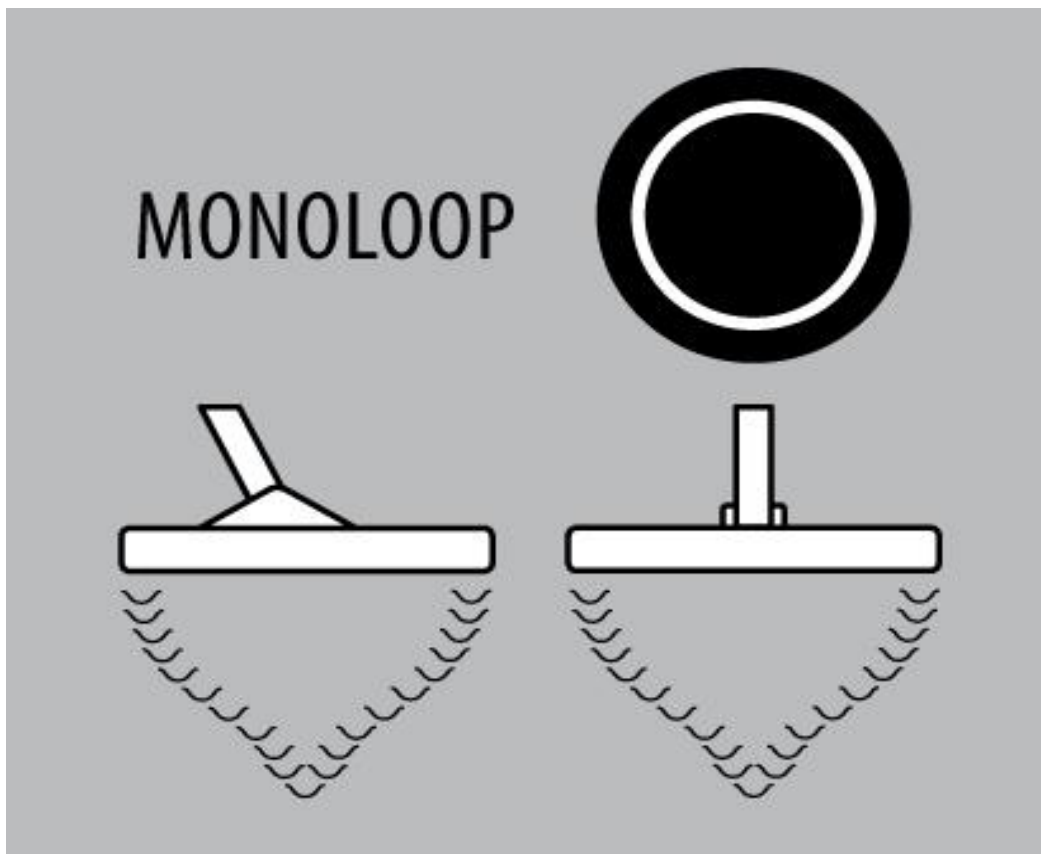
Ostatní systémy většinou fungují na podobné bázi jako cívky DD. Mezi tyto systémy patří např. systém dvou přes sebe položených kruhových cívek nebo dvou oválu. Cívky se vyznačují symetrickým elektromagnetickým polem. Cívky mají smíšené vlastnosti koncentrických a DD cívek.



Obr.3-00 cívka od firmy Detech [4]

### 4.4 Cívky pro pulzně indukční detektory

Většinou se jedná o tzv. mono cívky, jež obsahují pouze jedno vinutí. Výroba cívky je velmi jednoduchá a není jí potřeba nijak kompenzovat. Z hlediska jakosti cívek se používá tzv. Lorenzova cívka, kde je drát vinut důmyslným způsobem křížením závitů, tak, abychom dosáhli nejmenší mezi závitové kapacity. Detekční pole cívky je úměrné jejímu průměru, kde nejcitlivější část leží ve středu.



Obr.4-rozložení citlivosti mono cívky [5]

## 5. Stavba detektoru kovu

Zpočátku jsem se rozhodoval, jaký systém funkce detektoru pro stavbu vybrat. Problematikou detekce kovu se zabývám již delší dobu. Za tuto dobu se mi povedlo získat mnoho praktických i teoretických zkušeností, které mi výrazně pomohli při stavbě a výběru správné varianty detektoru. V minulosti jsem vyrobil BFO detektor, bohužel byl kvůli nestabilitě, špatnému dosahu a bez diskriminace nedostačující. Rozhodoval jsem se mezi indukčně balančním a pulzně indukčním detektorem. Zkušenosti jsem měl také s pulzně indukčním detektorem, kde byl nespornou výhodou slušný dosah, jednoduchost zapojení, ale bez možnosti diskriminace. Bohužel tento detektor má také díky pulzům vysílaným do hledací cívky velkou proudovou spotřebu. Tudíž se tento detektor na provoz s běžnými bateriemi moc nehodí. Tyto vlastnosti mě přesvědčili k výběru indukčně balančního způsobu, který je dnes nejpoužívanější systém u prodávaných

detektorů. Nevýhodou je poměrně složitá konstrukce hledací sondy která přináší značné problémy do automatizované výroby hledacích cívek. Rozdíl mezi správnou funkční a nefunkční sondou je ovlivňován opravdu malou změnou parametrů.

Častý problém je změnění vazby po zalití cívky epoxidovou pryskyřicí, která se po vytvrnutí může slabě deformovat tento rozdíl je okem skoro neznatelný, ale významně se projeví spolu se změnou kapacity na vazbě cívek. Proto se ceny vyhotovených cívek pohybují okolo 3500,-kč až 8000,-kč. Odměnou je stabilní detektor s dobrým dosahem a velkou citlivostí na malé předměty s možností odladit skoro jakýkoliv nežádoucí cíl. Jako železo a tenké hliníkové folie. Detektor je schopen díky fázovému posuvu, který vyvolá cíl rozeznat od sebe klidně i dvě různé mince s možností jednu z nich nedetekovat. Což velice usnadní hledání na velice zamořených lokalitách, nebo když chcete najít určitý cíl. Zapojení detektoru vychází ze zapojení průmyslově vyráběných detektorů značky Tesoro a Minelab. Protože jsem detektor chtěl sám používat, tak jsem dbal na celkovou užitnou hodnotu. Vybral jsem si sice již starší, ale osvědčená zapojení, která jsem upravil z původního jednotónového detektoru na dvoutónový a přizpůsobil českým podmínkám a častým cílům v naší oblasti. Jedná se o analogové zapojení, které na svou dobu vzniku patřilo mezi špičku v oblasti detektoru kovů. Celé zapojení se dá rozdělit do několika funkčních bloků.

## 5.1 Zdrojový blok

Detektor kovu je velice citlivé zařízení, které pro svou správnou funkci potřebuje pečlivě stabilizované konstantní napětí. Proto jsem se celé zapojení detektoru rozhodl napájet z 10 kusů 1,5 V AA baterií. Místo deklarovaných 8 kusů. K tomuto kroku jsem se rozhodl hlavně z důvodu budoucího využití nabíjecích baterií, které dosahují napětí pouze 1,2 V. Vzhledem k použitému stabilizátoru LM 7809, který pro svou správnou funkci potřebuje zhruba o 2V vyšší napětí, než je napětí stabilizační. Což znamená, že detektor funguje v rozmezí 10,7 V do 18 V. Touto úpravou lze využít větší část kapacity nabíjecích akumulátorů. Z důvodu zvětšení odběru detektoru jsem zvětšil vyhlazovací kapacitu z 220 uF na 470 uF za výstupem stabilizátorů. Dále bylo potřeba vyrobit speciální symetrické napájení

(+9 V) pro napájení operačních zesilovačů. Tento problém se v původním zapojení řešen jednoduchým, ale ne příliš efektivním tranzistorovým DC/DC měničem. V mém zapojení se o vytvoření opačné polarity napětí stará integrovaný obvod – měnič napětí E – MOS, ICL 7660. Odběr měniče poté klesl a výstupní napětí bylo více vyhlazené.

## 6.2 Oscilátor – vysílací cívka

Jedná se o srdce celého zapojení, na kterém závisí správná funkce detektoru kovu. Je tvořen jednoduchým Colpittsovým oscilátorem, který pracuje na frekvenci 12Khz. Podle Thompsonona vzorce.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [6]$$

Původní zapojení pracovalo na frekvenci 10Khz, ale protože se mi povedlo získat hledací cívku a konstrukci z jiného detektoru, rozhodl jsem se svůj detektor postavit také na frekvenci 12Khz. To vyžadovalo změnu její rezonanční kapacity z deklarovaných 47nF na 33nF. Zároveň také došlo ke změně audio frekvence nahrazením audio generátoru obvodem NE555. Signál je poté jasný a ohraničený a pro mě lépe slyšitelný. Pro správnou funkci detektoru je totiž dobré mít na oscilátoru co největší amplitudu výstupního napětí, které dále slouží jako vstup pro komparátory tvořené z integrovaných obvodů LM 393. Těmito obvody se poté nastaví správné odladění země a diskriminace. Výstupem z komparátorů jsou pak obdélníkové pulzy, které lze posouvat ve fázi pomocí potenciometru. Tím se ovládá, jak velkou změnu fáze vyvolanou kovovým předmětem detektor vyhodnotí jako žádoucí signál a jakou detektor odmítne.

### **6.3 Přijímací cívka**

Pro správný chod detektoru a funkci diskriminace je velice důležité, nejen správné vykompenzování přijímací a vysílací cívky, ale také dodržení správné fáze na přijímací cívce. Poté by se mohlo stát, že detektor nebude detekovat některé chtěné předměty. Detektor při režimu diskriminace by měl správně brát fázový posuv v mezích 90 stupňů. Z toho vyplývá, že detektor při režimu diskriminace nedetekuje železné předměty. Na všechny kovy má detektor režim allmetall. Diskriminaci se dále nastaví odrušení nechtěných cílů z barevných kovů, jako jsou tenké hliníkové folie apod. Kde ideální ferit způsobuje 0° fázovou změnu a slouží jako referenční cíl pro správné nastavení odladění země. Cívku je třeba nastavit, tak aby detektor nedetekoval ferit, tím se nastaví referenční fázový posuv 0°.

## **6. Mechanická konstrukce detektoru**

Základním požadavkem pro detektory je hlavně jejich váha, mechanická odolnost, možnost snadného složení a rozložení detektoru. Další důležitou vlastností je vyvážení celého detektoru. Většina firem používá pro nosné konstrukce duralové nebo hliníkové tyče. Mnou navržený detektor jsem navrhl na starší ocelovou kovovou konstrukci, z tohoto důvodu detektor dosahuje o trochu větší hmotnosti než detektor s hliníkovou konstrukcí. Přesto jsem musel udělat několik zásadních úprav. To závisí na hmotnosti cívky a celé konstrukce. Takový detektor se pak velice snadno drží a po delším hledání z něho nebolí ruka. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl umístit bateriové pouzdro za loketní opěrku. Je třeba dbát na to, aby uchycení cívky a spodní úchyt cívky byla vyrobena z plastu nebo jiného nevodivého materiálu, a především aby neovlivňovala hledací sondu.

## 6.1 Postup stavby detektoru

Stavba a návrh DPS detektoru bylo samo o sobě celkem obtížné. Při návrhu jsem se snažil dodržet všechny obecně známé návrhové kritéria pro DPS. Proto jsem zvolil rozvod napájení do tzv. hvězdy s centrem uprostřed. Obě polarity napájení jsem se rozhodl vést kolejnicovým systémem pod jednotlivými integrovanými obvody, kde jsem se snažil bloky s největším odběrem napojit jako první. A zároveň pro snadnou výrobu a její reprodukovatelnost jsem chtěl navrhnout pouze jednovrstvou DPS s co nejmenším počtem drátových průpojek.

Za další požadavek jsem si kladl vyměnitelnost jednotlivých integrovaných obvodů pro budoucí experimenty pomocí patič, proto jsem se rozhodl zkombinovat technologii SMD s klasickými DHT součástkami. Plošný spoj jsem se nakonec rozhodl zhotovit fotocitlivou metodou, zejména pro budoucí snadnou reprodukovatelnost. Metoda je velice jednoduchá a s trochou zkušeností lze s ní dosáhnout velice dobrých výsledků. Po osazení a zkompletování desky plošného spoje přišlo na řadu náročné měření, abych zjistil, zda jednotlivé části detektoru pracují správně. Jako první jsem musel ověřit odběr detektoru, zda se někde v zapojení nevyskytuje zkrat. Po té jsem zkontroloval správnou funkci zdrojových obvodů. Další měření se nadále neobešlo bez hledací cívky. Pak jsem se pustil na měření velikosti a frekvence střídavého napětí z oscilátoru, kde hodnota dosahuje přibližně 16V PP napětí. Napětí na přijímací cívce závisí hlavně na tom, jestli je cívka kompenzovaná či nikoliv. Úkolem kompenzace je docílit stavu, kdy bude na přijímací cívce co nejmenší napětí. Metody jak lze toho dosáhnout jsou různé a liší se hlavně podle toho, jestli je cívka koncentrická nebo DD.

## 7. Návod k použití detektoru

### 7.1 Popis ovládacích prvků detektoru

K ovládání detektoru slouží celkem 4 potenciometry, 2 přepínače umístěné v hlavní hledací jednotce. Vlevo dole se nachází potenciometr citlivosti, nad ním potenciometr zesílení slabých signálů threshold. V pravé části dole se nachází potenciometr diskriminace a nahoře potenciometr odladění země. Mezi



potenciometry jsou 2 dva přepínače, z toho první přepínač zprava slouží k přepínání módu allmetal a diskriminace. Druhým přepínačem se detektor zapíná.

## **7.2 Potenciometr citlivosti**

Po zapnutí detektoru je nutné pečlivě nastavit citlivost podle prostředí, ve kterém chceme hledat. A také podle hloubky, ve které očekáváme cíl. Pokud víme, že by se měl cíl vyskytovat nízko nad zemí, je zbytečné díky vysoké citlivosti detekovat i předměty pod ním, které mohou zkreslit signál předmětu až do té míry, že ho diskriminace může odmítnout.

## **7.3 Potenciometr threshold**

Slouží k nastavení zesilovače signálu, lze s ním měnit audio charakteristiku detektoru. Funguje jako zesilovač slabých signálů na konci dosahu, aby byly lépe slyšitelné. Pomocí této funkce lze ovlivnit charakteristiku detektoru, jak bude detekovat cíle různé velikosti. Obecně platí, že čím větší cíl, tím větší signál. Z toho vyplývá, že pomocí této funkce lze buď menší, nebo větší cíle částečně potlačit.

## **7.4 Potenciometr a diskriminace**

Tato funkce má za úkol vynechat některé cíle, které jsou zrovna nežádoucí. Diskriminace sama detektoru nastavuje zleva doprava od méně vodivého materiálu k více vodivému. Ne vždy toto platí u diskriminace, jelikož také závisí na tvaru a velikosti předmětu. Platí, že předměty prstencového průměru se detekují lépe např. ohnutý železný hřebík. Může být detekován jako barevný cíl.

## **7.5 Potenciometr odladění země**

Slouží ke kompenzování fázového posuvu signálu na přijímací cívce, které vyvolávají různé druhy půdy. V terénu se po zapnutí detektoru nastavuje, tzv. pumpováním, což je rychlé přibližování a oddalování hledací sondy od země, až do doby, kdy detektor nebude vydávat žádný tón. Během delšího používání v terénu je zapotřebí toto nastavení občas zkontrolovat, protože má velký vliv na dosah a vyhodnocování detektoru.

## 7.6 Přepínač režimu

Tento detektor je vybaven dvěma režimy, ve kterých je možné pracovat. Režimy allmetal a diskriminace. V režimu allmetal detektor reaguje na všechny kovy a funkce diskriminace v tomto režimu zajišťuje dvoutónová identifikace, kde nižší tón je přiřazen železným předmětům a vyšší tón předmětům z barevných kovů. Tento režim se většinou více hodí do lokalit s menším výskytem cílů. Druhý režim je režim diskriminace, v tomto režimu má detektor pouze jednotónovou odezvu a pro české poměry je navržen tak, že v tomto režimu je citlivý pouze na barevné cíle, kde potenciometrem diskriminace lze ještě nechtěné barevné cíle úspěšně eliminovat jako třeba folie.

## 8. Závěr

Při stavbě detektoru jsem se snažil především starší schéma modernizovat a přizpůsobit českým podmínkám a to hlavně v závislosti na půdních podmínkách a často vyskytujícím se cílům na našem území. Při konstrukci jsem se snažil jednotlivé funkční bloky co nejvíce nahradit monolitickými integrovanými obvody zejména pro budoucí snadnou reprodukovatelnost a ekonomickou rentabilitu.

Největší změnou prošel asi celý zdrojový blok a audio část detektoru, kde bylo zapotřebí vytvořit ještě jeden tón pro předměty z barevných kovů. Z počátku se vyskytli menší problémy s dostupností a náhradou starších již nevyráběných součástek. I navzdory těmto komplikacím se mi podařilo detektor částečně zmodernizovat. Tento detektor se tak stal konkurence schopný s právě prodávanými přístroji.

## Použitá literatura dle ISO 690-2

[1] – *Geotech-Technology for treasure hunting* [online]. © 2015 [cit. 2015-6-1].

URL: <<http://www.geotech1.com/forums/forum.php> >

[2] *garrett-detektory kovů* [online]. © 2009 [cit. 2015-5-26]. URL:

<<http://www.garrett.cz/civka-9-x-12-proformance/d-69384/> >

[3]-*Minelab metal detectors* [online]. © 2015 [cit. 2015-5-8]. URL:

< <http://www.minelab.com/emea/products/consumer/accessories/coils/10-round-double-d-18-75-khz-coil>>

[4]-*Detech/coils for metal detectors* [online]. © 2005 [cit. 2015-5-8]. URL:

<<http://www.dotech-metaldetectors.com/products/52-15-x-12q-sef-search-coil.html> >

[5]-*Thunting-treasure hunting forum* [cit. 2015-5-8]. URL:

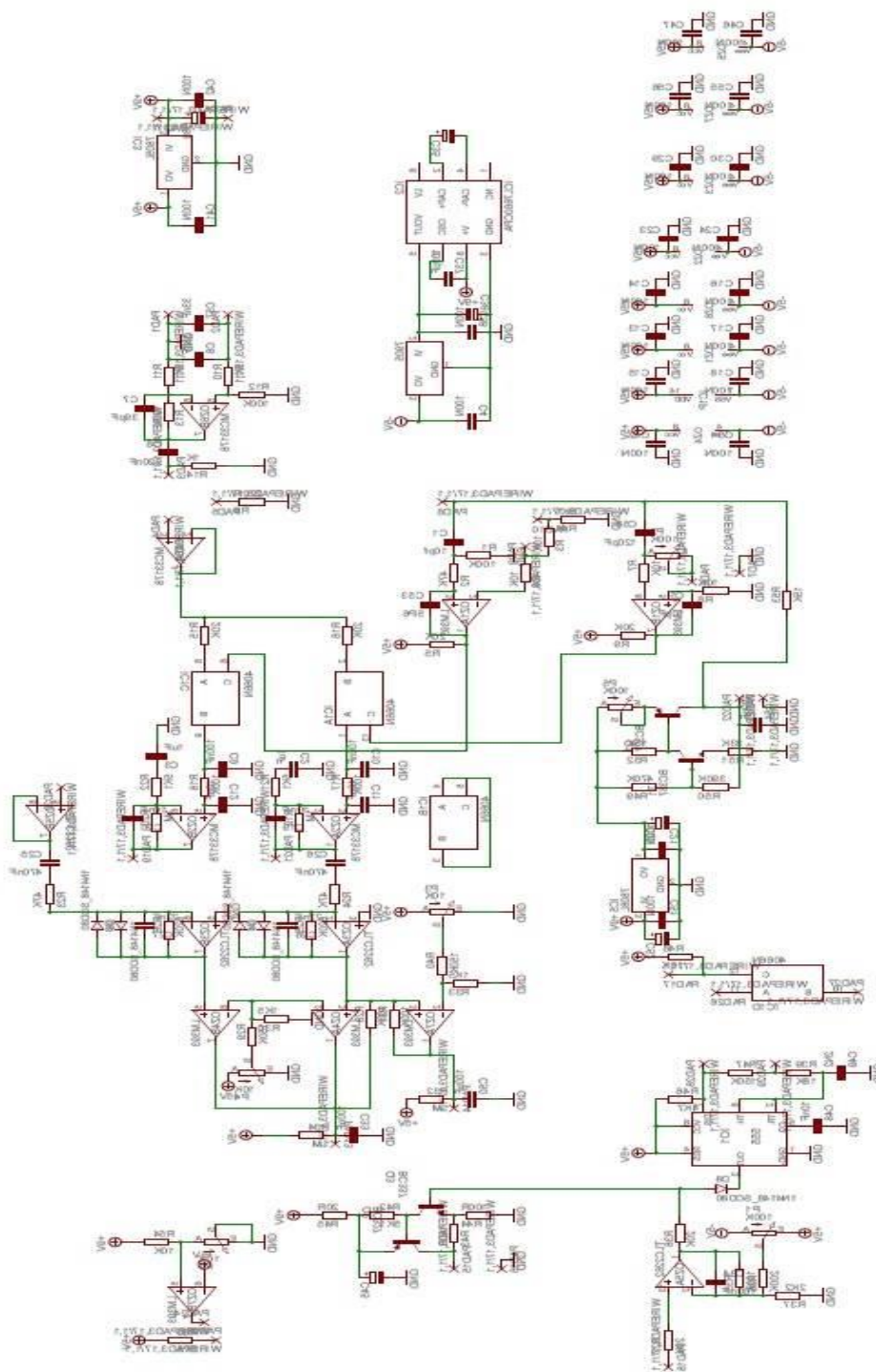
<[thunting.com](http://thunting.com) />

[6] HÁJEK, Jan a Zdeněk JARCHOVSKÝ. *Detektory kovů - návod na stavbu:*

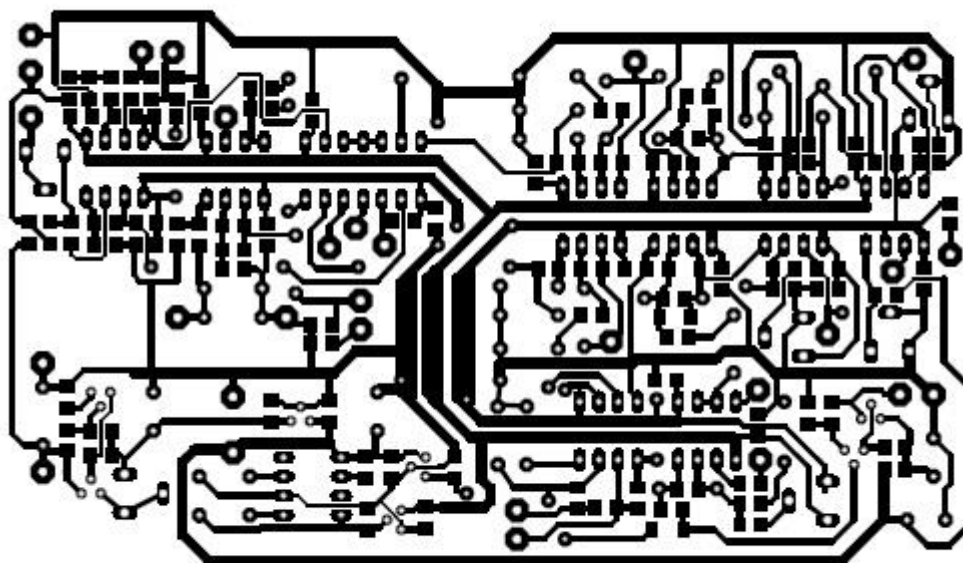
*princip zapojení a praktické návody na tři konstrukce*. 1. vyd. Praha: BEN -

technická literatura, 2010, 250 s. Elektronické hledače. ISBN 978-80-7300-220-6.

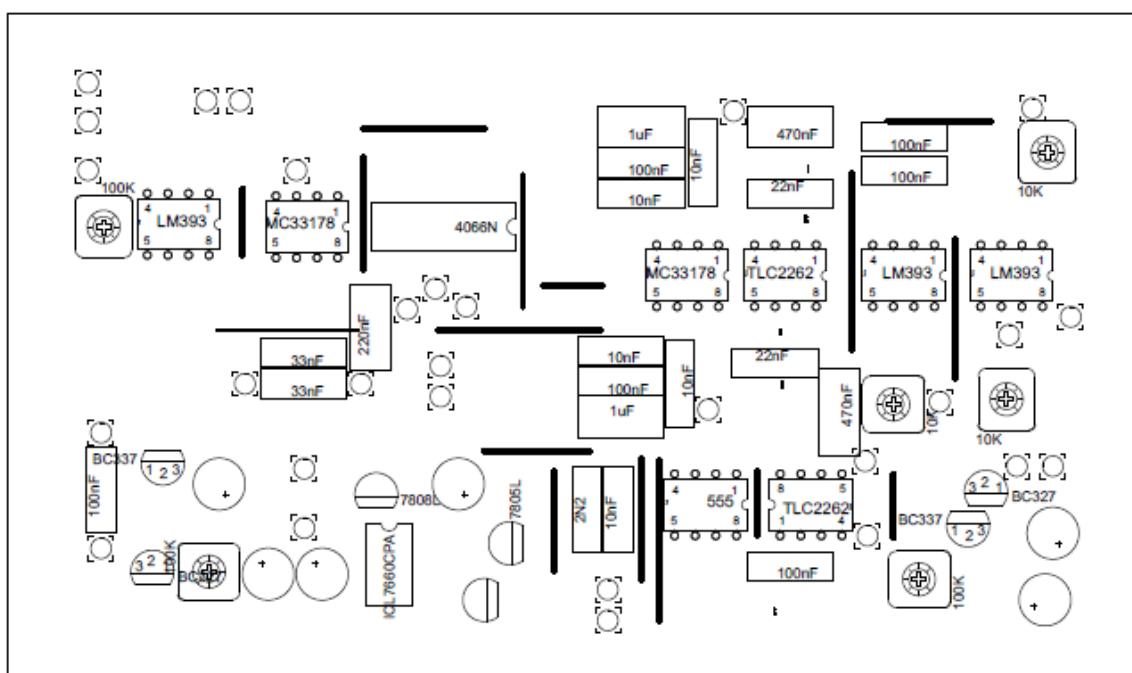
## Přílohy:



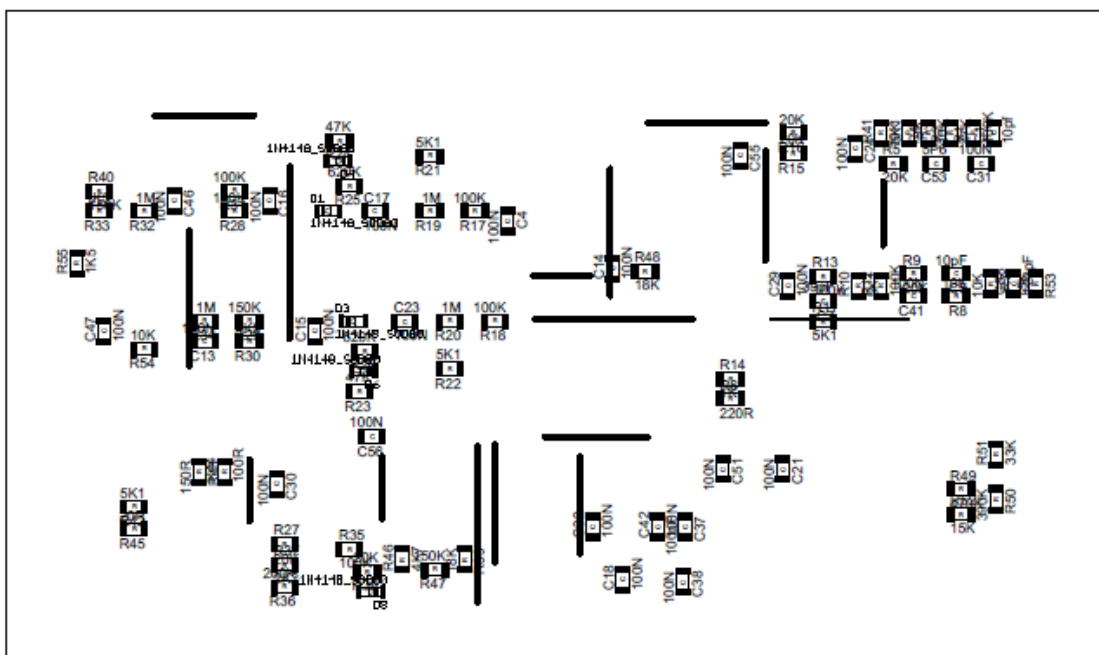
Příloha A: Schéma zapojení



Příloha B: Deska plošných spojů



Příloha C: Osazovací plán vývodových součástek



Příloha D: Osazovací plán SMD součástek ze spodní strany DPS

<b>NÁZEV</b>	<b>OZNAČENÍ</b>	<b>KUSY</b>
<b>DIODY</b>		
1n4148	D1,D2,D3,D4	4
<b>DIODY SMD</b>		
1n4148	D5,D6,D7,D8	4
<b>KONDENZÁTORY MKT</b>		
22nF	C24,C25,C26	3
33nF	C6	1
47nF	C2	1
100nF	C5,C14,C18,C19,C27,C30	6
220nF	C7,C8,C13,C17,C20	5
470nF	C1,C15,C16,C21,C22,C23	6
<b>KONDENZÁTORY ELEKTROLITICKÉ 100V</b>		
100uF	C3	1
220uF	C4,C28,C29	3
<b>KONDENZÁTORY KERAMICKÉ</b>		
5pF	C12	1
15pF	C10	1
47pF	C11	1
100pF	C9,C31	2
<b>REZISTORY SMD</b>		
47	R7	1
100	R9,R10	2
1K	R6,R15,R17,R28,R31,R40,R41,R52	8
2K	R1,R57,RW3	3
5,1K	R11,R12,R25	3
5,6K	R8,RW1,RW2	3
10K	R23,R24,R33,R35,R45,R58	6
20K	R16,R18,R19,R20,R26,R27	6
24K	R2	1
47K	R3,R5,R22,R47,R48	5
100K	R4,R13,R21,R29,R37,R39,R42,R43,R50	9
200K	R14	1
220K	R53	1
330K	R30,R38,R46	3
1M	R49,R51	2
2,7M	R32,R34,R36,R44	4
<b>INTEGROVANÉ</b>		



<b>OBVODY</b>		
TL081	U1	1
LM393	U2,U7	1
TL062	U3	2
LF444	U4,U6	1
LM358	U5,U8	2
LM7809	U9	1
HC4066	U10	1
ICL7660	U11	1
NE555	U12	1
<b>TRANZISTORY</b>		
BC327	T1,T9	2
BC337	T2,T8	2

Příloha E:soupiska součástek