

Moderné systémy detekcie kovov

Rozdelenie detektorov

Na detekciu kovov sa najčastejšie využíva indukčná metóda, aj keď použitie inej metódy nie je vylúčené (ultrazvuk, röntgenové žiarenie ...). Kov nachádzajúci sa v blízkosti snímačej časti detektora ovplyvňuje magnetické pole vyžarované cievkou. To sa prejaví zmenou indukčnosti a kvality cievky, zmenou vzájomnej väzby dvoch cievok alebo odrazom signálu od kovového predmetu. Podľa toho aký jav sa využíva, je možné detektory rozdeliť do 5-tich základných skupín:

- 1.) *Absorbčné detektory*
- 2.) *Detektory s rozlaďovaným oscilátorom (Beat Frequency Oscillator - BFO)*
- 3.) *Detektory s vyváženou indukčnosťou (Induction Balance - IB)*
- 4.) *Fázové detektory (Phase Detection - PD)*
- 5.) *Impulzové detektory (Pulse Induction - PI)*

Z konštrukčného hľadiska je možné detektory rozdeliť na jednocievkové a dvojcievkové. Jednocievkové detektory sú konštrukčne jednoduchšie a patria medzi lacnejšie typy. Využívajú absorbčnú metódu a metódu založenú na zmene indukčnosti cievky (BFO). Druhú skupinu tvoria dvojcievkové detektory, ktoré obsahujú jednu vysielačiu a druhú prijímaciu cievku. Úlohou vysielačej cievky je vytvárať magnetické pole, harmonické alebo impulzné, a prijímacia cievka sníma pole, ktoré je ovplyvnené kovovým predmetom. Harmonické pole s frekvenciou rádovo 10 kHz využívajú detektory s vyváženou indukčnosťou a fázové detektory. Výhodné je využitie kombinácie snímania zmeny fázy a vzájomnej indukčnosti. Impulzné pole využívajú impulzné detektory, ktoré snímajú odozvu na rýchlu zmenu magnetického poľa. Dvojcievkové detektory sú zložitejšie prístroje a patria medzi vysoko citlivé a drahšie typy.

V literatúre [9] sa udáva, že absorpcia suchej pôdy sa zväčšuje s druhou mocninou frekvencie. Hodnoty tlmenia pre určité frekvencie sú v tab. 2.1.

Frekvencia [Hz]	Tlmenie [dB/m]
10 k	0.3
1 M	3 - 4
300 M	40

Tab. 1

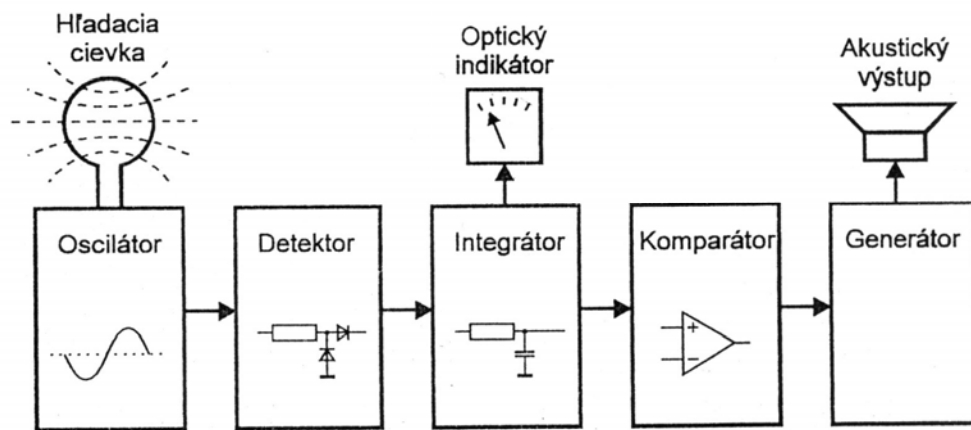
1 Absorbčné detektory

Činnosť absorbčného detektora je založená na skutočnosti, že striedavé magnetické pole generované hľadacou cievkou vyvoláva v blízkom kovovom predmete vírivé prúdy. Tieto prúdy spôsobujú magnetický a elektrický skin efekt. Energia spotrebovaná na vytvorenie týchto prúdov sa odoberá z oscilátora. Pri priblížení hľadacej cievky ku kovovému predmetu dochádza ku zmenšeniu kvality rezonančného obvodu oscilátora, čo sa prejaví zvýšením stratového odporu, ktorý je daný vzťahom (2.1). To má za následok zníženie amplitúdy oscilácií v dôsledku premeny časti energie odoberanej z oscilátora na Joulove teplo vírivými prúdmi.

$$R = \frac{Q}{\omega_0 \cdot C} \quad (2.1)$$

R - stratový odpor rezonančného obvodu
 Q - činiteľ kvality obvodu pri rezonancii
 ω_0 - rezonančná frekvencia
 C - kapacita v rezonančnom obvode

Bloková schéma absorbčného detektora je na obr. 2.1. Základnou časťou je oscilátor, ktorý kmitá na frekvencii rádovo stovky kHz. Cievka vytvára harmonické magnetické pole, ktoré sa vyžaruje do okolia. Najčastejšie sa používa oscilátor v Colpittsovom zapojení. Frekvencia oscilácií je pomerne vysoká, ale vyžaduje to skutočnosť, že veľkosť vírivých prúdov je frekvenčne závislá a narastajúca smerom ku vyšším frekvenciám. Na druhej strane hĺbka vniku do pôdy sa znižuje so stúpajúcou frekvenciou a preto je potrebné pri volbe pracovnej frekvencie nájsť kompromis. Signál z oscilátora sa privádza do amplitúdového detektora, ktorý signál usmerní a následne sa filtruje pomocou integračného článku. Na výstupe integrátora je jednosmerná zložka, ktorá zodpovedá amplitúde signálu oscilátora. Jednosmernú zložku je možné výhodne využiť na indikáciu amplitúdy oscilácií pomocou ručičkového indikátora ako je zobrazené na obr. 2.1.

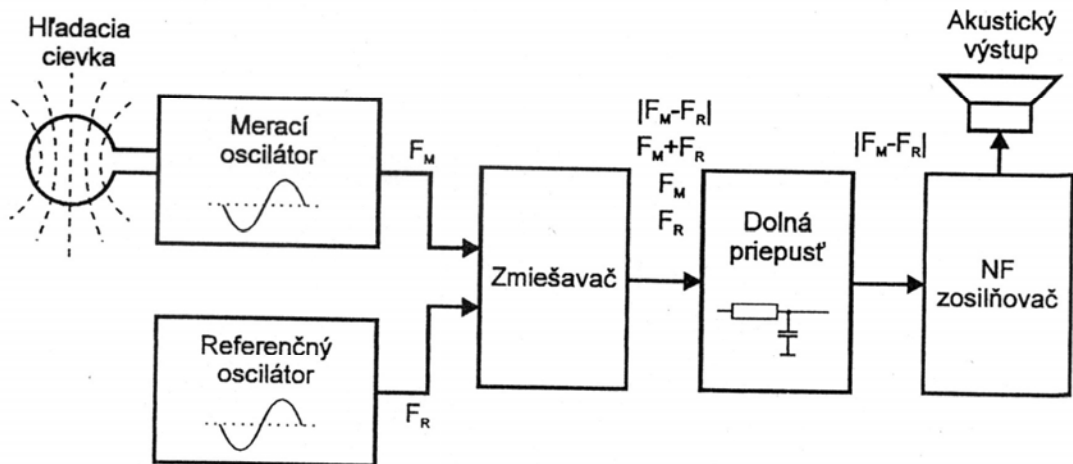


Obr. 2.1

Ďalším spôsobom indikácie prítomnosti kovu v blízkosti hľadacej cievky je akustický signál. Jednou z možností je porovnávanie amplitúdy kmitov s referenčnou hodnotou a v prípade prekročenia tejto hodnoty dôjde ku spusteniu generátora akustického signálu, ktorý bude reproduktor. Pre presnejšiu indikáciu je vhodné využitie napätím riadeného oscilátora, ktorého frekvencia je riadená napätím z integrátora. Približovaním kovu ku hľadacej cievke dochádza ku zmene frekvencie akustického signálu a tak je informovaná obsluha o prítomnosti kovu.

2 Detektory s rozlad'ovaným oscilátorom (BFO)

Detektory s rozlad'ovaným oscilátorom - BFO (Beat Frequency Oscillator) pracujú na princípe zmeny indukčnosti hľadacej cievky vplyvom priblíženia kovu. Najčastejšie pozostávajú z dvoch oscilátorov, referenčného a meracieho. Referenčný oscilátor kmitá na konštantnej frekvencii, ktorá je v kľudovom stave bez prítomnosti kovového predmetu blízka frekvencii meracieho oscilátora. Súčasťou rezonančného LC obvodu meracieho oscilátora je hľadacia cievka, ktorá je budená sinusovým signálom a vplyvom vonkajšieho prostredia sa mení jej indukčnosť a rozlad'uje oscilátor. Tento typ detektora patrí do kategórie jednocievkových prístrojov. Bloková schéma základného zapojenia je na obr. 2.2.



Obr. 2.2

Rezonančný kmitočet meracieho oscilátora je daný parametrami LC obvodu. Priblížením kovu ku hľadacej cievke dochádza ku zmene indukčnosti cievky oscilátora a zmene frekvencie kmitov. Signál z oscilátorov sa privádza na vstupy zmiešavača, ktorý je tvorený nelineárnym prvkom realizujúcim súčin vstupných signálov. Výsledkom zmiešavania sú súčtové a rozdielové zložky, z ktorých sa v nasledujúcej dolnej priepusti vybere len rozdielová zložka. Frekvencia signálu na výstupe dolnej priepuste je daná rozdielom frekvencií oscilátorov a rozladenie meracieho oscilátora sa prejaví zvýšením kmitočtu, ktorým sa budí reproduktor.

Operátor má za úlohu nastaviť v kľudovom stave čo najnižší tón akustického signálu. Dolad'ovanie je možné realizovať v referenčnom alebo meracom oscilátore, záleží na danej koštrukcii. Pri hľadaní kovového predmetu je potrebné nájsť polohu, v ktorej je tón signálu najvyšší a tak sa dá lokalizovať predmet.

Funkčne aj zapojením je tento typ detektora jednoduchý, má však svoje nevýhody. Veľkou nevýhodou je to, že zmeny indukčnosti hľadacej cievky a z nich vyplývajúce zmeny frekvencie oscilátora sú malé a preto aj zmeny kmitočtu na výstupe nízkofrekvenčného zosilňovača sú malé. Vzťah (2.2) vyjadruje závislosť zmeny frekvencie od zmeny indukčnosti hľadacej cievky. Vyplýva z neho, že relatívna zmena frekvencie je rovná polovici relatívnej zmeny indukčnosti. Toto je jedna z nevýhod detektora s rozlad'ovaným oscilátorom, ktorá určuje maximálny dosah. Vysoké nároky sú kladené na stabilitu oscilátorov, čo je v praxi ťažko splniteľné hlavne pre merací oscilátor. Na frekvenciu meracieho oscilátora vplýva nielen indukčnosť hľadacej cievky, ale aj mnoho iných faktorov, ako sú teplota, napájacie napätie, vlhkosť, starnutie, magnetické a elektrostatické polia. Pre funkciu detektora je dôležitá krátkodobá stabilita frekvencie.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

Δf - zmena frekvencie oscilátora

f_0 - stredná frekvencia oscilátora

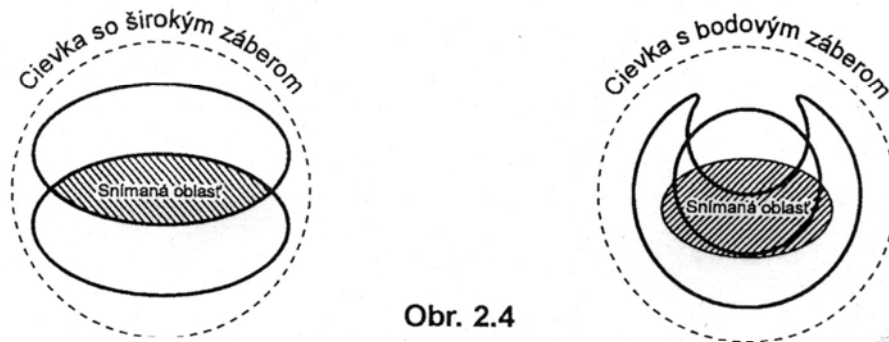
ΔL - zmena indukčnosti hľadacej cievky

L - stredná hodnota indukčnosti hľadacej cievky

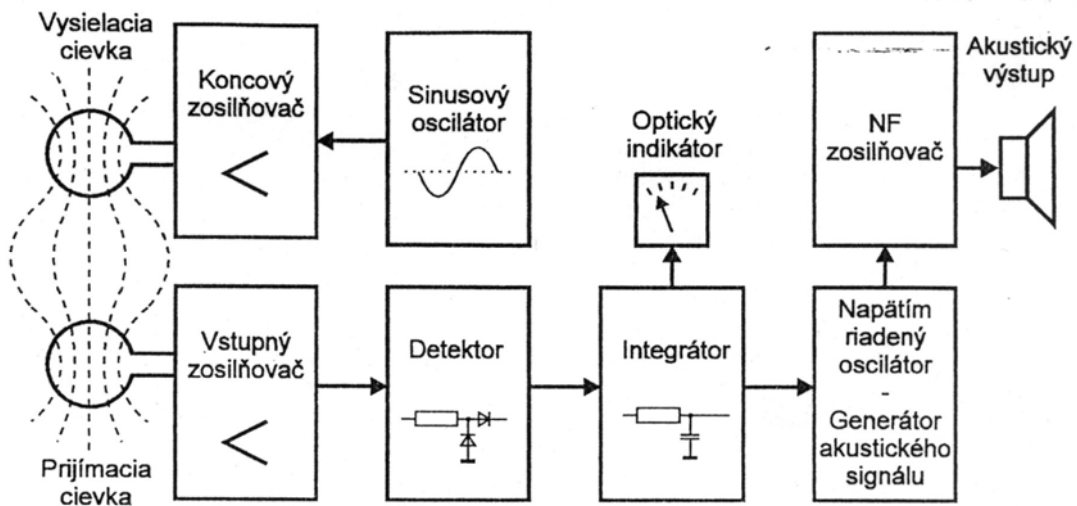
3 Detektory s vyváženou indukčnosťou (IB)

Detektory s vyváženou indukčnosťou sa stali štandardom pre všeobecné použitie a vyznačujú sa veľmi dobrými výsledkami. Patria do kategórie dvojcievkových detektorov. V snímačej časti obsahujú dve cievky, z ktorých jedna je vysielacia a druhá prijímacia. Vysielacia cievka je budená sinusovým prúdom s frekvenciou v oblasti 10 až 20 kHz. Cievky sú tvarované tak, že v neprítomnosti kovového predmetu v ich blízkosti sa z vysielacej cievky neindukuje žiadne napätie do prijímacej cievky. Praktické usporiadania cievok sú na obr. 2.4. Podstata vyváženej indukčnosti je tá, že určitou časťou prijímacej cievky prechádza magnetické pole jedným smerom a druhou časťou smerom opačným. Poloha cievok je nastavená tak, že príspevky sa kompenzujú a vzájomná väzba je blízka nule. Priblížením predmetu k cievkam dochádza ku zmene väzby a k indukovaniu napätia v prijímacej cievke. Niektoré kovy spôsobujú zvýšenie väzby a iné pôsobia opačne ale v každom prípade dochádza ku nerovnováhe.

Bloková schéma základného zapojenia detektora s vyváženou indukčnosťou je na obr. 2.5. Vysielacia cievka je budená sinusovým signálom s frekvenciou v hornej oblasti akustického pásma z výstupu výkonového zosilňovača, ktorý zabezpečuje oddelenie oscilátora od cievky. Cievky sú zostavené podľa obr. 2.4.



Obr. 2.4

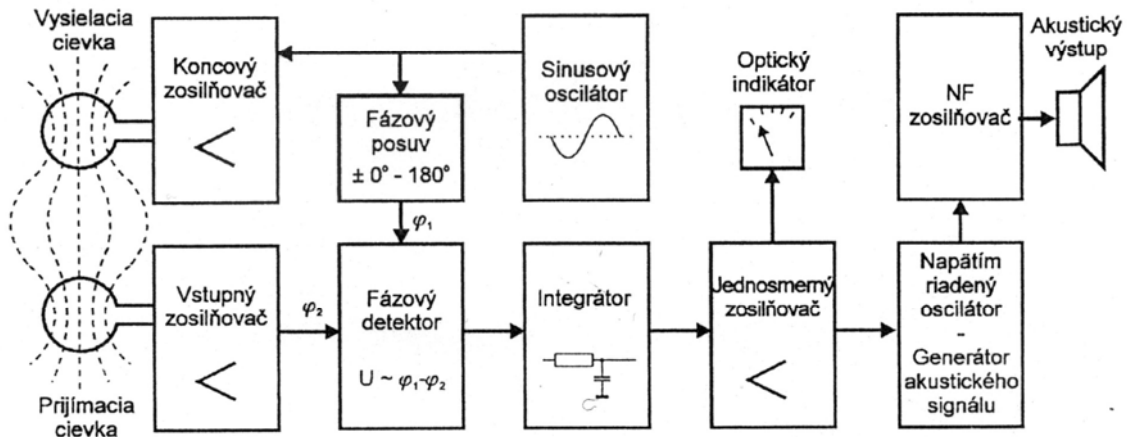


Obr. 2.5

Prijímacia cievka je pripojená na vstup citlivého zosilňovača, ktorý zabezpečuje vysokú citlivosť a je vhodné aby bol selektívny pre vysielaný kmitočet. Tým sa zabezpečí odolnosť voči parazitným vplyvom, napr. rušeniu zo siete 50 Hz, vyžarovaniu rozkladových obvodov TVP a pod. Pri návrhu treba brať do úvahy to, že vplyvom kovu v blízkosti cievok sa mení ich indukčnosť a kvalita. Signál zo vstupného zosilňovača sa privádza do špičkového detektora a ďalej do integrátora, ktorý amplitúdu vstupného signálu prevedie na jednosmernú úroveň. Tá sa využíva na optickú indikáciu a na riadenie generátora akustického signálu. V blokovej schéme sa nachádza napätím riadený oscilátor, pomocou ktorého sa priblíženie kovu k detektoru indikuje zmenou frekvencie akustického signálu. Inou možnosťou akustickej indikácie je zmena amplitúdy akustického signálu s konštantnou frekvenciou.

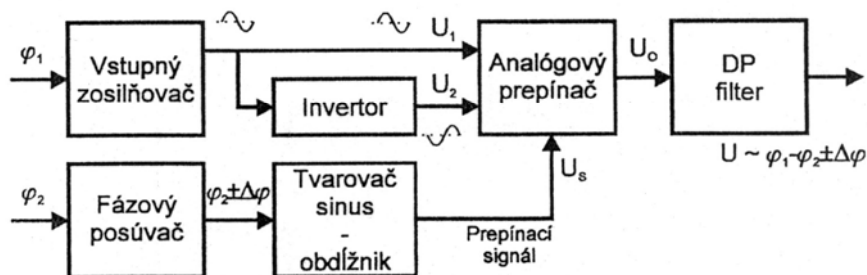
4 Fázové detektory (PD)

Fázové detektory patria do skupiny dvojcievkových detektorov. V snímačej časti obsahujú dve cievky, z ktorých jedna je vysielacia a druhá prijímacia. Ich princíp je založený na detekcii malých zmien fázového posuvu medzi vysielaným a prijímaným signálom v dôsledku priblíženia kovového predmetu. Svojimi parametrami patria do skupiny veľmi kvalitných detektorov s vysokou citlivosťou a možnosťou rozlíšenia typu kovu (diskriminácie).



Obr. 2.6

Bloková schéma zapojenia je na obr. 2.6. Sinusový oscilátor kmitá na frekvencii v oblasti 10 až 20 kHz a budí koncový zosilňovač, ktorý je pripojený na vysielaciu cievku. Malé fázové posuvy medzi vysielaným a prijímaným signálom sú spôsobené vplyvom zeme a inými faktormi a tieto je potrebné vynulovať. Na to slúži fázový posúvač, zapojený do signálovej cesty medzi oscilátor a fázový detektor. Vstupný signál z prijímačej cievky sa spracúva vo vstupnom zosilňovači, ktorý je selektívny pre prijímaný kmitočet. Selektivita zvyšuje odolnosť proti parazitným vplyvom rovnako ako u detektora s vyváženou indukčnosťou. Na vyhodnotenie fázového posuvu medzi vysielaným a prijímaným kmitočtom sa používa fázový detektor, ktorý môže pracovať na rôznych princípoch. Treba si uvedomiť, že veľkosti fázového posuvu sa nachádzajú v oblasti desiatín až jednotiek stupňa. Príklad fázového detektora je na obr. 2.7.



Obr. 2.7

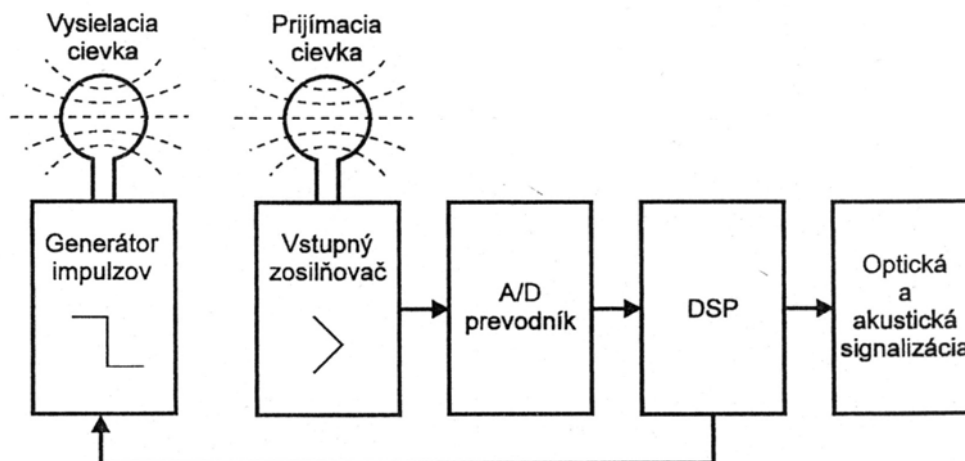
5 Impulzové detektory (PI)

Impulzové detektory sú prístroje s najväčším operačným rozsahom a rozlíšiteľnosťou a patria do kategórie najdrahších detektorov. Konštrukčne a obvodovo sú to zložité prístroje využívajúce analógové a digitálne spracovanie signálov. Z hľadiska usporiadania snímačej časti môžu obsahovať jednu alebo dve cievky. Závisí to od danej konštrukcie a obvodového prevedenia. Na rozdiel od doteraz popisovaných systémov, impulzové detektory nepracujú so sinusovým signálom ale využívajú impulzy s rýchlymi zmenami a veľkou energiou. Bloková schéma impulzového detektora s osobitnou vysielacou a prijímacou cievkou je na obr. 2.9.

Činnosť detektora je založená na meracom cykle, ktorý sa začína pripojením napätia ku vysielacej cievke. V okolí cievky sa vytvorí ustálené magnetické pole, ktoré prechádza cez okolité prostredie a kovové predmety v ňom. Následne sa budenie cievky odpojí a pomocou prijímacej cievky sa zaznamenáva odozva prostredia na zmenu magnetického poľa. Kovové predmety v okolí vytvárajú sekundárne magnetické polia, z ktorých sa v prijímacej cievke indukuje napätie a to sa spracúva pomocou vstupného zosilňovača a ďalších obvodov. Spracovanie vstupného signálu je najvýhodnejšie realizovať v číslicovej forme. Analógový signál zo vstupného zosilňovača sa počas prechodového javu vzorkuje a prevádza na číslicovú formu a ukladá sa do pamäte. Po ukončení vzorkovania sa údaje v pamäti spracujú pomocou

signálneho procesora, ktorý obsahuje programové vybavenie pre vyhodnocovanie amplitúdy a tvaru signálu. Z týchto vlastností prijatého impulzu je možné určiť veľkosť, vzdialenosť a materiál kovového predmetu, ktorý vyvolal odozvu na vyslaný impulz. Merací cyklus sa končí zobrazením nameraného údaje na zobrazovači a akustickou signalizáciou.

Uvedený merací cyklus sa opakuje s frekvenciou 10 až 100 meraní za sekundu, čo zabezpečí rýchlu odozvu detektora. Energia vysielaných impulzov musí byť vysoká, aby bola zabezpečená vysoká citlivosť. Prúd tečúci vysielacou cievkou môže dosahovať hodnotu až 50 A. V dôsledku vysokého budiaceho prúdu a zložitosti obvodov má impulzný detektor pomerne vysoké nároky na napájanie.



Obr. 2.9

Výhodami impulzných detektorov sú vysoká citlivosť (najvyššia zo všetkých uvedených typov), kvalitná rozlíšiteľnosť, odolnosť voči parazitným vplyvom. Nevýhodami sú vysoká energetická náročnosť, zložitosť a cena.

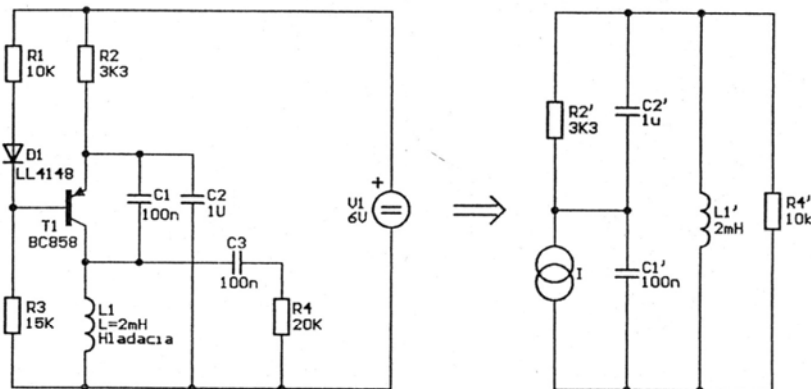
Vysoká citlivosť detektora je výhodnou vlastnosťou v prípade, keď potrebujeme detekovať malé predmety vo veľkej vzdialenosti. V praxi však prostredie obsahuje veľké množstvo kovových odpadov, ktoré spôsobujú výchylky u vysoko citlivých detektorov a znemožňujú kvalitnú detekciu.

Oscilátor

Oscilátor je dôležitou časťou detektora kovov. Je to funkčný blok, ktorý zabezpečuje kontakt zariadenia s okolitým prostredím. Preto je potrebné navrhnuť kvalitný oscilátor s vysokou stabilitou kmitočtu s obmedzením nežiadúcich vplyvov.

Oscilátor je autonómna sústava, ktorá transformuje jednosmernú energiu napájacieho zdroja na energiu harmonického signálu bez vonkajšieho budenia. Periodické kmity vznikajúce bez pripojenia vonkajších signálov sa nazývajú oscilácie. Netlmené harmonické kmity vznikajú vďaka niektorým vlastnostiam autonómnych obvodov. Oscilátor musí obsahovať zdroj elektrickej energie, z ktorého sú udržiavané periodické kmity. Oscilácie môžu vznikať v obvodoch, ktoré obsahujú akumulčné prvky slúžiace ako zásobníky energie. Aby v takýchto obvodoch mohli vzniknúť netlmené kmity, je treba do nich privádzať elektrickú energiu tak, aby tým boli kompenzované straty obvodu. Dávkovanie energie napájacích zdrojov do oscilačného obvodu riadi aktívny prvok.

Schéma zapojenia oscilátora a jeho náhradnej schémy je na obr. 5.2. Obvod predstavuje Collpitsov oscilátor, ktorý má rezonančný obvod zapojený v kolektorovom obvode.



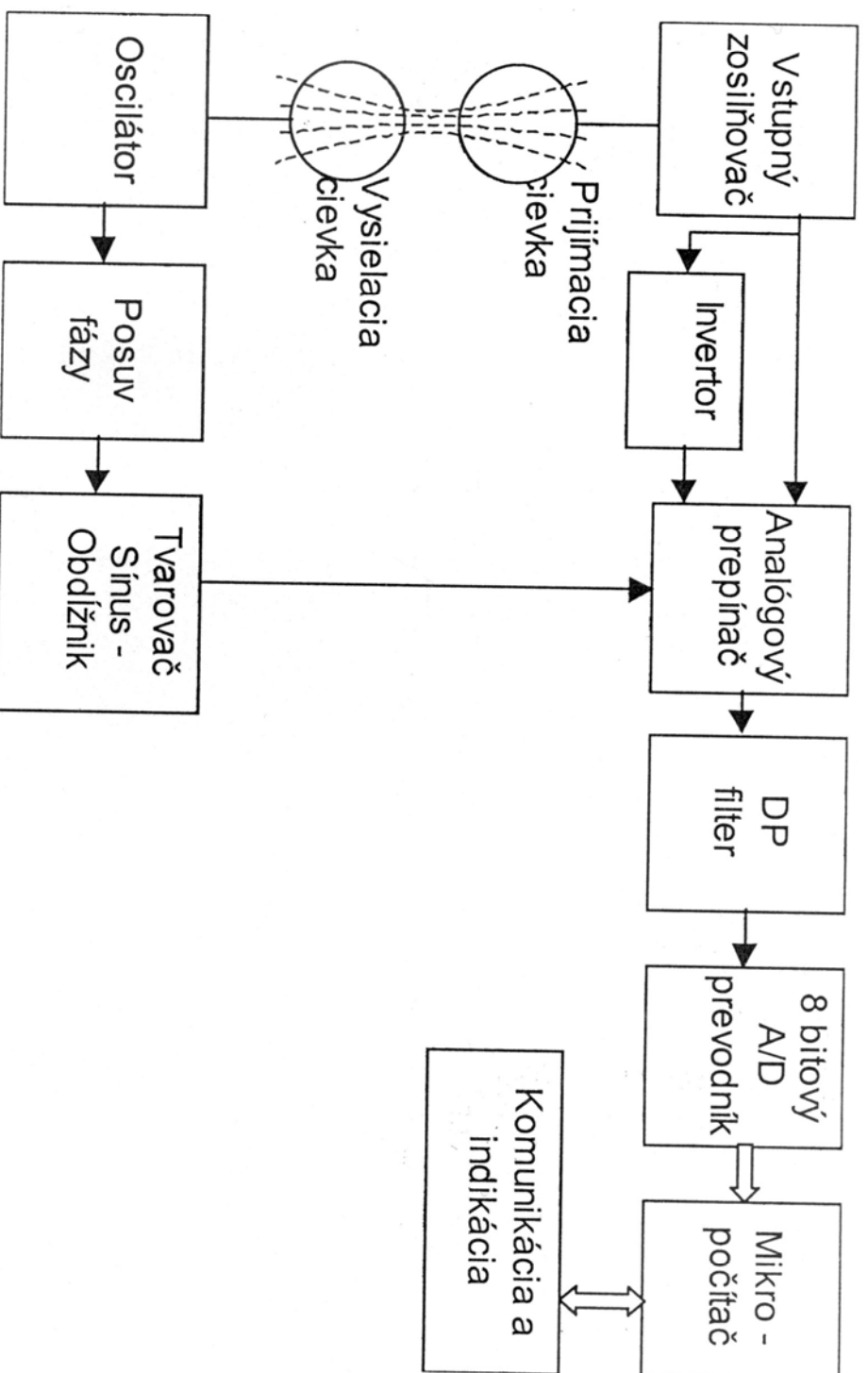
Obr. 5.2

Aktívnym prvkom je bipolárny tranzistor PNP s vysokým prúdovým zosilňovacím činiteľom. V báze je zapojený napäťový zdroj, zložený z odporov R1 a R2 a diódy D1. Ak je tranzistor v oblasti saturácie, je prúd dodávaný do rezonančného obvodu obmedzený na veľkosť saturačného prúdu. Vtedy dochádza ku ustáleniu kmitov. V lineárnom režime tranzistor pracuje ako riadený zdroj a periodicky dávkuje energiu potrebnú na udržanie kmitov. Rezanančný obvod pozostáva z kondenzátorov C1, C2 a cievky L1. Kondenzátory C1 a C2 tvoria kapacitný delič, ktorý je riadený aktívnym prvkom. V náhradnej schéme môžeme napájací zdroj nahradiť skratom a prekreslením obvodu dostaneme schému rezonančného obvodu, z ktorej je možné približne určiť rezonančnú frekvenciu podľa vzťahov (5.1), (5.2). Hodnoty súčastok vo vzťahoch sú zhodné z hodnotami v schéme.

$$C_V = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 90,9 \text{ nF} \quad (5.1)$$

$$f_{\text{REZ}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C_V \cdot L_1}} = 11803,25 \text{ Hz} \quad (5.2)$$

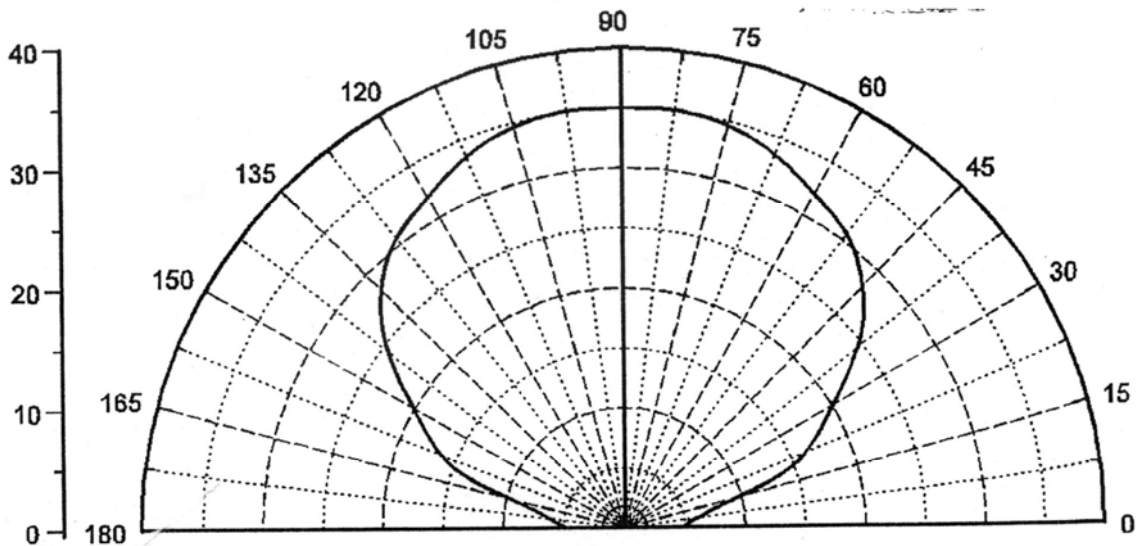
$$\begin{aligned} C_1 &= 100 \text{ nF} \\ C_2 &= 1 \mu\text{F} \quad \rightarrow \text{súčastky v rez. obvode} \\ L_1 &= 2 \text{ mH} \\ C_V &\text{ - sériová kombinácia } C_1 \text{ a } C_2 \\ f_{\text{REZ}} &\text{ - rezonančná frekvencia} \end{aligned}$$



Obrázok č.16.

Za filtrom sa jednosmerný signál privádza do 8 bitového A/D prevodníka, ktorý sníma aktuálnu jednosmernú úroveň v 256-tich krokoch a výstupný stav sa privádza priamo do mikropočítača v ktorom prebieha vyhodnocovanie údajov a generácia výstupných údajov.

5. Návrh mobilného indukčného detektora riadeného mikroprocesorom



Závislosť frekvenčnej odchýlky od uhla natočenia Al platne 100 x 100 x 1.5 mm

Maximálny dosah detektora pre veľké objekty je okolo 60 cm. Veľkými objektami sú kovové predmety, ktorých plocha ďaleko prevyšuje priemer hľadacej cievky. Treba poznamenať, že všetky hodnoty boli namerané vo vzduchu. Pri detekcii kovových predmetov v zemi treba počítať s nižšou citlivosťou, závislou od vlastností pôdy a okolitého prostredia.

Materiál	Rozmery [mm]	Vzdialenosť [cm]
Meď	100 x 100 x 2	40
Meď	100 x 100 x 3	42
Hliník	100 x 100 x 1,5	40
Železo	100 x 100 x 1	36
Mosadz	100 x 100 x 1	40