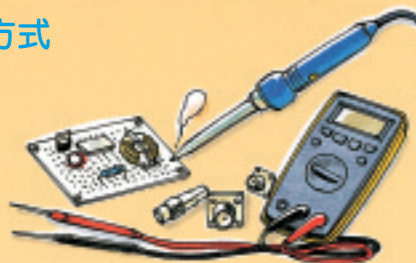


# 作りながら学ぶ初めての高周波回路〈第4回〉

## 小型メータの振れで金属の種類もわかる PLL 方式

### 金属探知機の製作

渡辺 明禎  
Akiyoshi Watanabe



今回は金属探知機を製作します。金属探知機には超音波や放射線などを使った大掛かりな装置もありますが、ここでは製作が比較的簡単な、電磁波を利用した構成とします。製作した金属探知機を写真4-1に示します。

#### 金属探知の原理

##### ● 銅などの金属を探知する場合

図4-1(a)に示します。コイルを使用したLC発振回路では、検知コイルから矢印の方向に磁束が発生しています。そのとき、この磁束内に銅などの金属があると、電磁誘導作用によってうず電流が金属内に流れます。

すると、このうず電流が磁束を作りますが、その向きはコイルの磁束とは逆方向になります。したがって、コイル内の磁束は減少するため、コイルのインダクタンスは減少し、発振周波数は高くなります。

##### ● フェライトなど比透磁率の大きい物体を探知する場合

図4-1(b)に示すように、検知コイルにフェライトなどを近づけた場合、フェライト内に多くの磁束が流れ、コイル内の磁束が増えます。

コイルのインダクタンスは増大するため、発振周波数は低くなります。ちょうどコア入りポビン・コイル内のコアの位置を調整して、インダクタンスを可変するのと同じ原理です。

##### ● そのほかの金属を探知する場合

例えば、鉄などの比透磁率と導電率がともに大きい金属では、測定周波数によって発振周波数が高くなったり、低くなったりします。これは、前述の二つの現象のどちらがより大きく検知コイル内の磁束に影響を与えているかによって決まるようです。

#### 製作した金属探知機の構成

図4-2にブロック図を示します。

##### ■ 動作原理

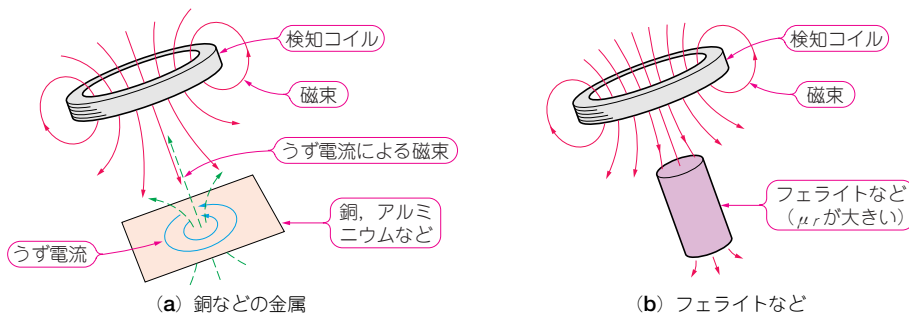
検知コイルによるLC発振器の発振周波数を $f_{LC}$ 、VCOの発振周波数を $f_{VCO}$ とします。

金属などがいない場合のLC発振器の発振周波数を $f_0$

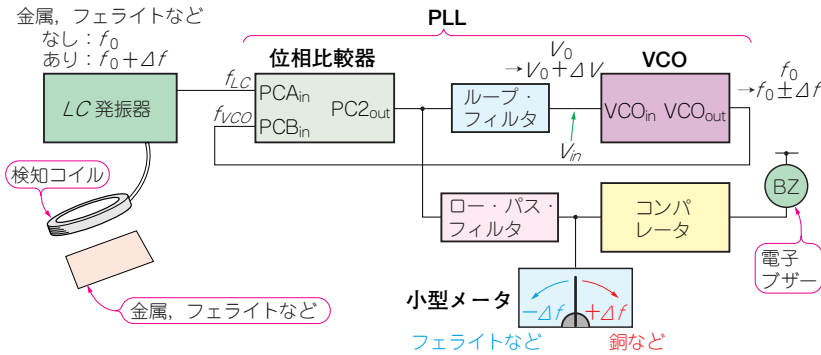


〈写真4-1〉製作した金属探知機の外観

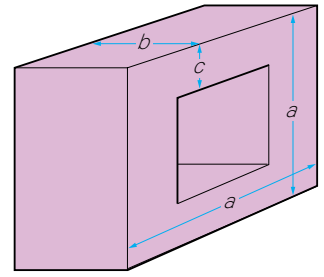
〈図4-1〉金属探知の原理



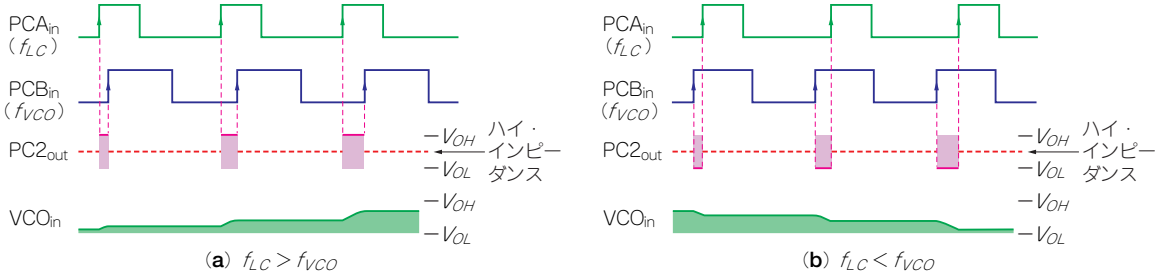
〈図4-2〉 製作した金属探知機のブロック図



〈図4-3〉 正方形の枠に巻いた多層コイル



〈図4-4〉 PLLの各端子の波形



とすると、 $f_{VCO}$ はPLL回路によって $f_{LC}$ と等しくなるので $f_0$ です。そのときのVCOの制御電圧 $V_{in}$ を $V_0$ とします。

ここで検知コイルに金属を近づけると、 $f_{LC}$ は $\Delta f$ 高くなります。このとき、 $f_{VCO}$ は $f_{LC}$ すなわち $f_0 + \Delta f$ となるようにPLL制御されます。そのために、 $f_{VCO}$ が $\Delta f$ だけ周波数が高くなるように、 $V_{in}$ は $\Delta V$ 大きくなります。

したがって、小型メータの針が $\Delta V$ だけ右側に振れます。この振れをコンパレータで判定して、ある設定値以上の大きさになったらブザーを鳴らします。

また検知コイルにフェライトを近づけると、 $f_{LC}$ は $\Delta f$ 低くなります。したがって、 $V_{in}$ は $\Delta V$ 小さくなります。つまり、小型メータの針が $\Delta V$ だけ左側に振れます。この振れをコンパレータで判定して、ある設定値以上の大きさになったらブザーを鳴らします。

## ■ 検知コイル

検知したい金属の種類や大きさ、検知範囲などでコイルの種類や形状が異なります。大ざっぱにいうと、

- 小さなコイル：検出範囲は小さいが、クリップのような小さなものも検出できる。
- 大きなコイル：検出範囲は大きいですが、小さなものは検出できない。

となります。

また小さなコイルの場合、市販の高周波チョーク・コイルがそのまま使えるので製作容易ですが、大きな

コイルは自作が必要です。

## ● コイルのインダクタンス

今回製作したのは長方形のコイルです。まず同じ面積をもつ正方形の枠として、インダクタンスを求めました。図4-3に形状を示します。インダクタンスは次の近似式で求めます。

$$L \doteq \frac{2a}{\pi} \mu_0 \mu_r N^2 \left( \log_e \frac{a}{b+c} + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right)$$

ただし $\mu_0$ ：真空中の透磁率( $4\pi \times 10^{-7}$ ) [H/m]、 $\mu_r$ ：媒質の比透磁率、 $N$ ：総巻き数、 $a$ ：平均一辺長 [m]、 $b$ ：軸長 [m]、 $c$ ：厚さ [m]

## ■ PLL(Phase Locked Loop)

図4-2に示すように、位相比較器、ループ・フィルタ、VCOで構成されています。PLLは、 $PCA_{in}$ と $PCB_{in}$ の入力波形の位相が常に同じになるように、言い換えるならば周波数が同じになるように制御します。

### ● 位相比較器

二つの入力信号の位相差に比例した信号を出力する回路です。PLL ICの4046Bは、ExORゲートを使った位相比較器と、ポジティブ・エッジ・トリガ型の3ステート出力位相比較器を装備しています。今回は後者の位相比較器を使用します。

位相比較器の動作波形を図4-4に示します。まず $f_{LC} > f_{VCO}$ のとき、 $PCA_{in}$ ( $f_{LC}$ 入力)の立ち上がりタイミングは $PCB_{in}$ ( $f_{VCO}$ 入力)より早いので、その早い期間だけ $PC2_{out}$ の出力は $V_{OH}$ ( $= V_{DD}$ )となります。そ