



11 磁気学の基礎 ②

馬場 清太郎
Seitaro Baba

今回は、コイルとトランスのインダクタンスおよび磁束密度の求め方を紹介し、実際の部品の動作と特性について説明します。コイルとトランスは、電源回路から計測回路までさまざまなアナログ回路に使われている重要な部品です。これらの部品の使い方の善し悪しによって、回路の性能が決まるといっても過言ではありません。

コイルとトランスのインダクタンスを求める

■ インダクタンスの計算

● 磁束と総磁束の算出式

図11-1に、自己インダクタンスと相互インダクタンスの定義を示します。式(11-1)に示すように、インダクタンスは磁束と電流の比例定数として定義されます。

インダクタンスは電磁誘導によるものであり、自己インダクタンスを発生させる作用を**自己誘導**、相互インダクタンスを発生させる作用を**相互誘導**と呼びます。

ϕ_L は**漏洩磁束**と呼び、コア内を通らずコア外に出る磁束です。これが大きいと式(11-4)の近似度が下がり、 $\phi \gg \phi_{12}$ となって相互インダクタンス M が小さくなります。トランスの設計では、できるだけ漏洩磁束が小さくなるような構造を採用します。

式(11-4)に示すように、自己インダクタンスは巻き数の2乗に比例します。例えば、巻き数を2倍にするとインダクタンスは約4倍になります。

図11-1において、コア内の磁束を ϕ [Wb]、磁束密度を B [T]、コアの断面積を A_e [m²] とすると、
 $\phi = A_e B$ (11-7)
 になります。

この磁束とコイルが鎖交しますから、 N 回巻きのコイルに鎖交する全磁束 Φ [Wb] は、

$\Phi = N\phi = NA_e B$ (11-8)
 になります。

コア内の磁束 ϕ (小文字) に対し、コイルに鎖交する

全磁束を特に**総磁束**と呼び記号 Φ (大文字) で表します。

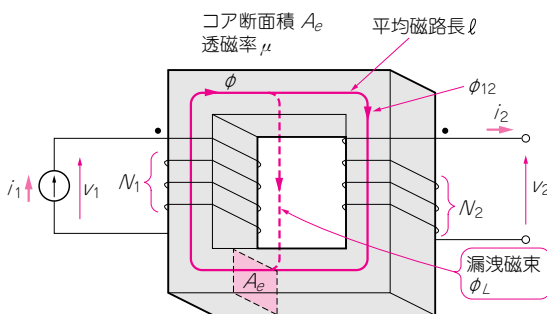
● 巻き線の方法によってトランスのインダクタンスはぜんぜん違う

▶ 相互インダクタンスは負の値をとる

図11-2と図11-3に示すように、**相互インダクタンス**はコイルの巻き付け方によって、正と負の極性をもちます⁽⁵⁾。

図11-2(a)と図11-3(a)は、コアにコイルを巻き

〈図11-1〉 自己インダクタンスと相互インダクタンスの定義



● 自己インダクタンス

巻き線が N_1 のとき、磁束 ϕ は i_1 に比例し、
 $\phi = L i_1$ (11-1)
 となる。この比例定数 L を自己インダクタンスという。ファラデーの法則から、

$$v_1 = \frac{d\phi}{dt} = L \frac{di_1}{dt} \text{ (11-2)}$$

という逆起電力 v_1 が i_1 の変化を妨げる方向に発生する。
 $\phi_L \approx 0$ のときは、

$$H \approx \frac{N_1 i_1}{l}, B = \mu H, \phi = A_e N_1 B \text{ (11-3)}$$

から、自己インダクタンス L [H] は、

$$L \approx \frac{\mu A_e}{l} N_1^2 \text{ (11-4)}$$

となる。

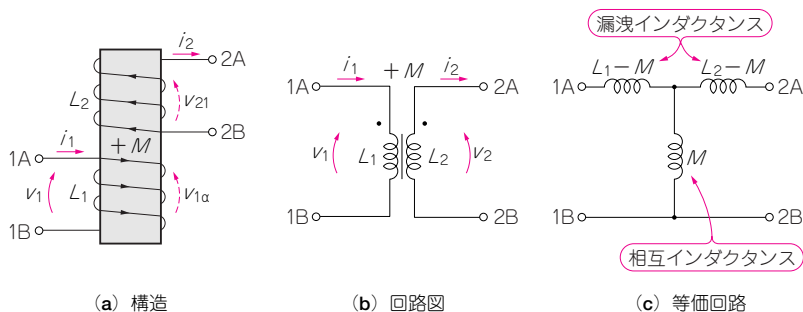
● 相互インダクタンス

i_1 による磁束の N_2 に鎖交する成分 ϕ_{12} は、
 $\phi_{12} = \pm M i_1$ (11-5)
 となる。この M を相互インダクタンスという。ファラデーの法則から、

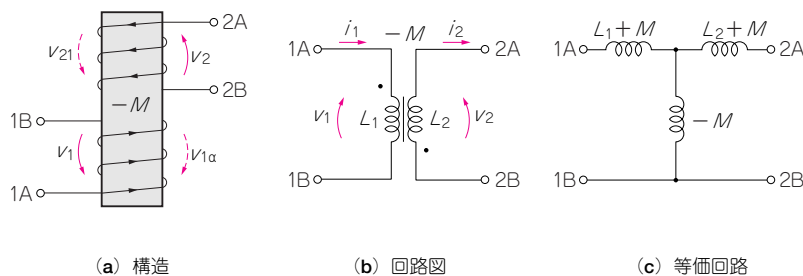
$$v_2 = \frac{d\phi_{12}}{dt} = \pm M \frac{di_1}{dt} \text{ (11-6)}$$

となる。 M の符号は図10-9による

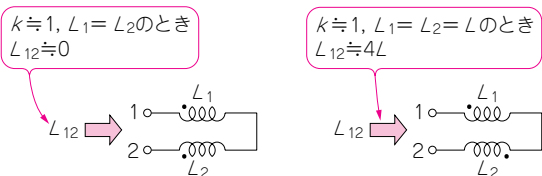
〈図 11-2〉⁽⁵⁾ 相互インダクタンスの極性が正になる巻き方



〈図 11-3〉⁽⁵⁾ 相互インダクタンスの極性が負になる巻き方



〈図 11-4〉⁽⁵⁾ 内部接続とトランスのインダクタンスの違い



L_1 と L_2 は磁気的には結合しているが、電気的には絶縁されているため、 L_1 と L_2 の接続方法によって M は正負の符号をもつ。●は M が正の方向を示す。 L_1 と L_2 の結合度を表す結合係数 k は、

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \cdots (11-9)$$

で定義される。磁性体のコアを使ったトランスでは、 $k=1$ であり、密結合トランスと呼ばれる。

つけた2種類のトランスの模式図、図 11-2(b) と図 11-3(b) は、それらを回路記号で表したものです。図 11-2(c) と図 11-3(c) は、コイルの自己インダクタンス L_1, L_2 に相互インダクタンス M を組み合わせたトランスの等価回路で、回路設計のとき使います。

図 11-4 は、コイルの巻き数などが等しくても、内部接続によってトランスのインダクタンスが異なることを表しています。結合係数 k を 1 とすると、 $L_1 = L_2 = L \div M$ となり、内部接続によって打ち消し合ったり、強め合ったりします。強め合う場合、倍ではなく 4 倍になるのは、 L_1 または L_2 の巻き数が倍になっ

たのと同じだからです。これらの値は、図 11-2 と図 11-3 の等価回路からも求められます。

抵抗、容量、インダクタンスは負の極性になることはありませんが、相互インダクタンスには負の極性があるというのは面白い性質です。

トランスは、この相互誘導を利用したものです。 $k=1, M=\infty$ というのが理想状態です。図 11-1 のように N_1 と N_2 をコアの両側に巻くと、漏洩磁束が大きく $k < 1$ になります。 $k=1$ に近づけるための手法については、稿末の参考文献(2)、(3)、(8)、(9)を参照してください。

■ 磁路が分岐するコイルのインダクタンスを求める

● 磁気回路を利用しよう

磁気回路とは、電圧を起磁力、電流を磁束、抵抗を磁気抵抗に置き換えて、オームの法則を適用し、磁束を簡単に求められるようにしたものです。

磁気回路を使うと、磁路が分岐しているコアでも、分流した磁束を簡単に計算できます。また、空隙のあるコアに巻いたコイルでも磁束を簡単に計算できます。

コイルを製作する場合、磁性体のコアに空隙を設けて実効透磁率を低下させます。空隙がない場合、透磁率は磁界や磁束密度によって大幅に変動します。しかし、空隙を付与するとその変動は抑えられます。その結果、透磁率はほぼ一定になり、自己インダクタンスもほぼ一定になります。

