

無方向性磁束計の試作

Non-Directional Magnetic Flux Meter

沢井善三郎・森 浩一・上村昌司

1. 緒 言

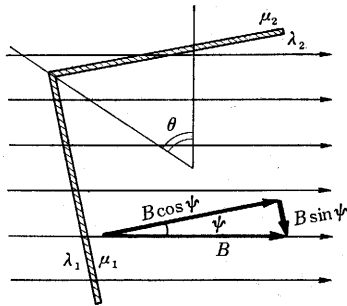
磁束計は一般にプローブを磁界に対し直角に置かねば正確な磁束密度の測定ができない。ここでは筆者らの考えた Vector 和の絶対値を得る簡易回路を用い、空間的に 90° に置かれた二つのホール素子を有する二次元的に無方向性の磁束計を試作したので、概略を報告する。

2. 原 理

周知のようにホール起電力 V_H は制御電流を I 、素子の直角方向の磁束密度を B_{\perp} とすると

$$V_H = RIB_{\perp} \quad (R \text{ は定数}) \quad (1)$$

第 1 図のように二つのホール素子を空間的に 90° に置いてそれをプローブとすると、両者の特性ならびに制御電流が等しいとき両出力の vector 和の絶対値が得られれば、プローブの磁束に対する角度と出力は無関係になる。

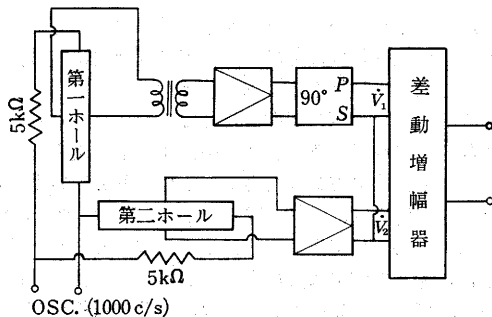


第 1 図 プ ロ ー ブ

たとえば両者を各平方回路に通し、その和を平方根回路に通せばよいが、回路があまりに複雑である。筆者らは I を交流とし、一方の出力を電気的に 90° 位相をずらせて和をとると、その p-p が vector 和の絶対値を示すことに着目した。すなわち両出力を \dot{V}_1, \dot{V}_2 とすると

$$|\dot{V}_1 + j\dot{V}_2| \propto |B \sin \Psi + jB \cos \Psi| = B \quad (2)$$

(2) は移相器と差動増幅器によりきわめて容易に実

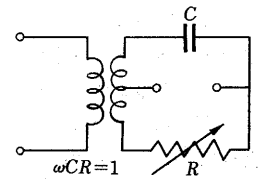


第 2 図 回 路 構 成 図

現されるので同種の問題に対して有効と思われる。

3. 実 験 回 路

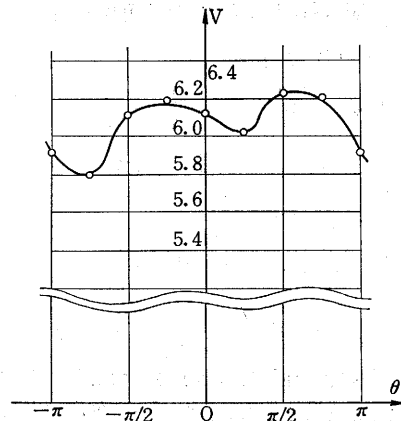
回路構成は第 2 図のようにになっている。ホール素子は Ge の N 型のもので、温度特性もよく $2V/(A \cdot KG)$ の特性を有する。制御電流は定電流性を与えるために 1kc の発振器から高抵抗を介して別々に供給した。増幅器はホール出力が mV のオーダーであるので必要とした。移相器は第 3 図の型の通常のもので 90° を中心に後に述べる調整のために可変にした。和回路の代わりに差動増幅器を用いたが、(2) を見るまでもなくこれは妥当である。



第 3 図 移 相 器

4. 調整ならびに特性

まず両 channel のゲインを合わせ、同時に差動増幅器のバランスをとった後、プローブを磁界中で二次元的にさまざまに動かしたとき、最も方向性が小さくなるように移相器を調整した。方向性に関する測定は 3.7 KG においてプローブを一回転させてその出力電圧を見た。方向性に関しては磁界の強弱に対し相似性を有すると思われるのでこれで十分である。



第 4 図 方 向 性 の 測 定 結 果

この結果 $\pm 3\%$ 程度の方向性誤差が見られたが、磁束測定に関する要求からいえばこの程度で十分である。なお磁束密度測定範囲は 0.2~10 KG である。

5. 考 察

実験の結果得た方向性誤差に関し、いろいろな方面からその原因を考察してみる。

研究速報

a. 二つのホール素子の角度が 90° より φ だけ大きかったとする。このときわざと移相量を 90° より α だけ多くしたとすれば、

$$\dot{V}_1 = k_1 B \sin(\theta + \varphi) \cdot e^{j\omega t} \dots (3)$$

$$\dot{V}_2 = k_2 B \cos \theta \cdot e^{j\omega t} \dots (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_0 &= \dot{V}_1 + \dot{V}_2 e^{j\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)} \\ &= k_1 B \{ \sin(\theta + \varphi) - \cos \theta \sin \alpha \\ &\quad + j \cos \theta \cos \alpha \} e^{j\omega t} \dots (5) \end{aligned}$$

いま α = -φ に調整したとすると

$$\begin{aligned} |\dot{V}_0| &= k_1 B |(\sin \theta + j \cos \theta) \cos \varphi| \\ &= k_1 B \cos \varphi \dots (6) \end{aligned}$$

したがって角度誤差による方向性は電氣的に完全に補償しうることがわかる。

b. 二つの channel のゲインが違っている場合も方向性を与える。さらに実際のホール素子は磁界の向きにより、出力電圧が 1~3% 違う(筆者らの実験結果に基づく)。プローブのホール素子の四つの面を第 1 図のように λ₁, μ₁, λ₂, μ₂ とし、おのおのの面から B なる磁束が入りこんだときの channel 出力電圧を k₁B, k₁(1+x₁)B, k₂B, k₂(1+x₂)B とすれば -π/4 < θ < π/4 では磁束は λ₁, λ₂ から入るから、

$$\begin{aligned} |\dot{V}_0| &= k_1 B \{ \cos^2(\theta - \pi/4) \\ &\quad + (1+\gamma)^2 \sin^2(\theta - \pi/4) \}^{1/2} \\ &\cong k_1 B \{ 1 + \gamma \sin^2(\theta - \pi/4) \} \dots (7) \end{aligned}$$

ここで γ ≡ k₂/k₁ - 1

同様に

π/4 < θ < 3π/4 に対し

$$|\dot{V}_0| \cong k_1 B \left\{ 1 + (x_1 + \gamma) \sin^2\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \right\} \dots (8)$$

3π/4 < θ < 5π/4 に対し

$$\begin{aligned} |\dot{V}_0| &\cong k_1 B \left\{ 1 + x_2 \cos^2\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \right. \\ &\quad \left. + (x_1 + \gamma) \sin^2\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \right\} \dots (9) \end{aligned}$$

5π/4 < θ < 7π/4 に対し

$$\begin{aligned} |\dot{V}_0| &\cong k_1 B \left\{ 1 + x_2 \cos^2\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \right. \\ &\quad \left. + \gamma \sin^2\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \right\} \dots (10) \end{aligned}$$

c. 磁束計が理想的に作製されたとしてもプローブはある大きさを有するため、測定点付近の磁束密度が勾配を有するときには精度が落ちる。第 5 図で y 方向一定, x 方向に

$$B = B_0(1 - \alpha x) \dots (11)$$

にしたがって磁束密度が変わるとすれば

$$\dot{V}_1 = k_1 B_0(1 + \alpha d \cos \theta / \sqrt{2}) \cos(\pi/4 - \theta) \cdot e^{j\omega t} \dots (12)$$

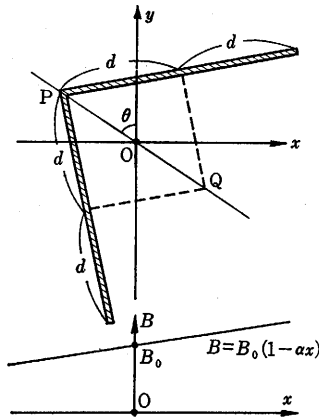
$$\dot{V}_2 = k_2 B_0(1 - \alpha d \cos \theta / \sqrt{2}) \sin(\pi/4 - \theta) \cdot e^{j\omega t} \dots (13)$$

$$\therefore |\dot{V}_0| \cong k_2 B_0 \left\{ 1 + \frac{\alpha d}{2\sqrt{2}} (\sin \theta + \sin 3\theta) \right\} \dots (14) \quad (\alpha d \ll 1)$$

ここで d は二つのホール素子の継目から素子の中心までの距離である。

x 軸, y 軸を入れかえた場合も同様の結果をうる。

(14) はプローブを第 5 図において点 O を中心に回転した



第 5 図 大きさによる誤差に関する検討図

場合を考えたが、P ないしは Q を中心に回転した場合は誤差は (14) より大きくなる。これらの場合も相対誤差は αd に比例する。したがって αd はプローブの空間の大きさによる誤差を示す良い目安となる。

以上一応考えられる誤差原因が列挙されたが、つぎに測定

結果の方向性誤差が、どれに該当するかを考えてみる。

まず位相は 90° の近辺の最適の所を探したのだから a. による誤差は考えなくてよい。また測定に用いた磁界を調べてみると αd は 2 × 10⁻³ 以下であることがわかったので、これによる誤差も考えなくてよい。実験時には γ は 0.5% 以下になるようゲイン調整を行なっているが、x₁, x₂ に関する補償法がない。しかるに x₁, x₂ は前述のように 1~3% の値を有する。したがって特性測定で得た方向性誤差は b. のうちの x₁, x₂ に起因するものと結論される。

6. 結 言

得られた磁束計はトランジスタ増幅器を用いているがこれの特性変動を十分におさえないと精度がはなはだ悪くなると思われる(普通のホール磁束計は増幅部をもたない)。また一般に被測定磁界は狭い空隙が多いが、このためには筆者らの用いたような市販の素子は大きすぎて実用に適さないが、専用の素子を用いれば十分小さくしうる。以上えられたものは、一応二次元的に無方向性だが、三次元に拡張するには整流出力と第三のホールにつき変調, 移相, 加算の手順を施せばよいが、プローブの工作ならびに電子回路の変動の観点からやや困難と思われる。磁束計が無方向性であることは、移動磁界や回転磁界の絶対値測定に特に有効と思われる。また vector 和を求めるような工学的問題は少なくないと思われるが本小論の考え方が常に応用されると考える。終わりにご討論いただいた第 3 部 山口助教ならびに沢井研究室各位に感謝の意を表す。(1965 年 3 月 30 日受理)