

# 物理 直前3 V

YQAFXK-21A2-01

2

真空中に、図2-1のように、 $N$  巻きで、長さ  $l$ 、断面が半径  $R$  の円のソレノイドコイル A と、半径が十分に大きい円形の 2 巻きのコイル B がある。コイル B は、その中心軸がコイル A の中心軸と一致したまま、図2-1の上下方向に移動することができる。コイル A の中心軸の中央の点(これをコイル A の中心とよぶ)を  $o$  とし、点  $o$  から下方に、ある距離だけ離れた点を  $p$  とする。図2-1のように、コイル A, B の各端点  $a, b, c, d$  は、それぞれ端子 W-X, Y-Z に切り替えることのできるスイッチ  $S_1, S_2$  につながれており、内部抵抗が  $r$ 、起電力が  $E$  で一定の直流電源と、内部抵抗の無視できる電流計からなる回路に接続することができる。また、図2-1の点 G は接地されており、点 G の電位を 0 とする。電流計を流れる電流  $i$  は、図2-1の矢印で示した向きを正とする。ただし、直流電源の内部抵抗以外の電気抵抗、および両コイル以外の部分を通る電流の作る磁場は無視できるものとし、問 I ~ V では、コイル B の中心は点  $o$  に一致しているものとする。

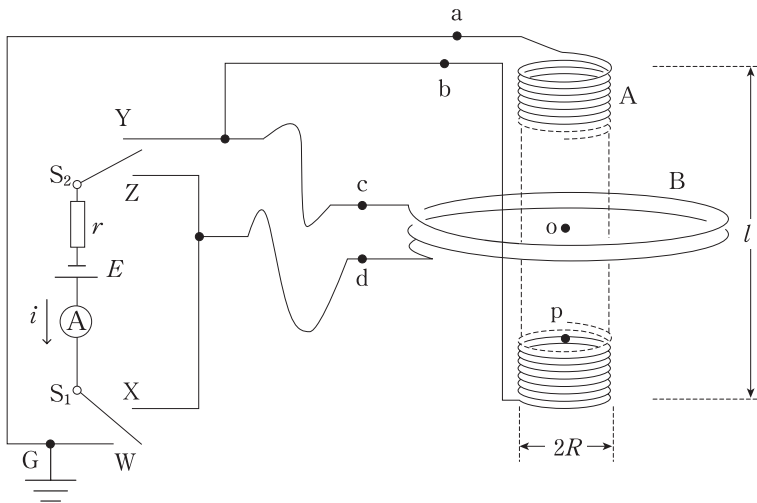


図2-1

最初、スイッチ  $S_1, S_2$  はいずれも各端子には接続されていないものとする。まずは、この状態から、スイッチ  $S_2$  を Y 側に接続した後、スイッチ  $S_1$  を W 側に接続した場合について考える。 $S_1$  を W 側に接続した瞬間を時刻  $t=0$  とすると、電流計を流れる電流  $i$  は、時刻  $t$  とともに図2-2のように変化し、十分に時間が経過したときの電流  $i$  は、一定値  $I_0$  であった。

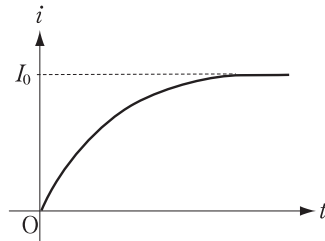


図 2-2

I  $I_0$  の値を求めよ。

II 真空の透磁率を  $\mu_0$  として、コイル A の自己インダクタンスに関する次の文章中の  に入る適切な式を書け。ただし、コイル A の長さ  $l$  は、断面の半径  $R$  に比べて十分に大きく、コイル A に電流が流れているとき、コイル A 内には一様な磁場が生じるものとし、コイル A の側面から外部に漏れ出す磁束は無視できるものとする。

電流計を流れる電流が  $i$  の瞬間、A 内に生じている磁場の磁束密度の大きさは  ア  であるから、このとき A (の一巻き) を貫く磁束は  イ  である。

ところで、 $S_1$  を W 側に接続した瞬間 ( $t=0$ ) から微小時間  $\Delta t$  だけ経過する間に、電流計を流れる電流が  $\Delta i$  だけ増加したとし、 $S_1$  を W 側に接続した直後に、コイル A に生じる誘導起電力を  $V$  (コイル A を a→b 向き、すなわち  $i$  の正の向きに電流を流そうとする向きを正とする) とすると、 $V = -$   ウ   $\times \frac{\Delta i}{\Delta t}$  と表される。ここで、 $L =$   エ  とおくと、 $V$  は、 $V = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$  と表される。この  $L$  を、コイル A の自己インダクタンスという。

実際には、コイル A 内に生じる磁場は一様ではなく、外部に漏れ出す磁束も無視できないので、コイル A の自己インダクタンスは、問 II で得た  $L$  とは異なる。以下では、このことを考慮した A の自己インダクタンスを  $L_1$  として、 $L_1$  を用いて答えよ。

III  $S_1$  を W 側に接続した直後の電流の時間変化率  $\Delta i / \Delta t$  を、 $L_1$ 、 $E$  を用いて表せ。

$S_1$  を W 側に接続した直後の点 d の電位は  $V_0$  であった。

IV コイル A を流れる電流が変化すると、コイル B を貫く磁束も変化するため、コイル B にも誘導起電力 (相互誘導起電力) が生じる。そこで、コイル A、B の巻き方に注意し、 $S_1$  を W 側に接続した直後の回路の電位について成り立つ式を考えることにより、A、B 間の相互インダクタンス  $M_1$  を、 $V_0$ 、 $L_1$ 、 $E$  を用いて表せ。

次に、スイッチ  $S_1$  を開いて、電流  $i$  が 0 になったことを確認した後、 $S_2$  を Y 側に接続したまま、 $S_1$  を X 側に接続した。 $S_1$  を X 側に接続した瞬間を改めて時刻  $t=0$  とすると、時刻  $t$  と電流計を流れる電流  $i$  の関係を表すグラフは、図 2—2 と類似した曲線になった。また、 $S_1$  を X 側に接続した直後の点 b の電位は  $-V_1 (<0)$  であった。

V コイル B の自己インダクタンス  $L_2$  を、 $V_0$ 、 $V_1$ 、 $L_1$ 、 $E$  を用いて表せ。

今度は、スイッチ  $S_1$ 、 $S_2$  を開いて、電流  $i$  が 0 になったことを確認した後、コイル B の中心を図 2—1 の点 p に移す。さらに、スイッチ  $S_2$  を Z 側に接続した後、 $S_1$  を W 側に接続したところ、電流計を流れる電流  $i$  は、やはり図 2—2 と同じような時間変化をし、十分に時間が経過したとき、電流  $i$  は一定値  $I_0$  であった。コイル B の中心が点 p にあるときの A、B 間の相互インダクタンスを  $M_2$  とする。

VI 次の文章中の  に入る適切な式を書け。ただし、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $I_0$  のうちから必要なものを用いて答えよ。

$S_1$  を W 側に接続した瞬間から微小時間  $\Delta t$  だけ経過する間に、電流計を流れる電流が  $\Delta i'$  だけ増加したとする。このとき、A、B にはそれぞれ自己誘導起電力と相互誘導起電力が生じていることに注意すると、回路の電圧について、 $E - (\text{エ}) \times \frac{\Delta i'}{\Delta t} = 0$  が成り立つ。ここで、 $V' = -(\text{エ}) \times \frac{\Delta i'}{\Delta t}$  とおくと、 $E + V' = 0$  と表されることから、 $V'$  をコイル A、B に生じる合成誘導起電力とみなせば、 は、コイル A、B による合成インダクタンスとみなせる。したがって、 $S_1$  を W 側に接続してから十分に時間が経過したとき、コイル A、B に蓄えられている磁場のエネルギーの和は  と表されることがわかる。さらに、この状態から、スイッチ  $S_1$  を W 側に、 $S_2$  を Z 側に接続したまま、外力を加えることにより、コイル B の中心を点 p から点 o までゆっくりと戻す場合について考える。この間、電流の強さは  $I_0$  で一定であるとする、この間に外力のした仕事は  と表される。ただし、重力の影響は無視できるものとする。