

次の文章《Ⅰ》～《Ⅱ》を読んで、後の問に答えよ。なお、数値は整数あるいは分数で答えること。

《Ⅰ》 昨今、消費電力が小さい「LED 電球」が普及している。これは「発光ダイオード」を利用した電球であり、それは図 1 に示す方向にのみ電流を流す性質を有している。ある発光ダイオードにかかる電圧 V [V] および、電流 I [mA] の関係を図 2 に示す。以下、回路に用いる発光ダイオードはすべて図 2 の性質をもつとする。

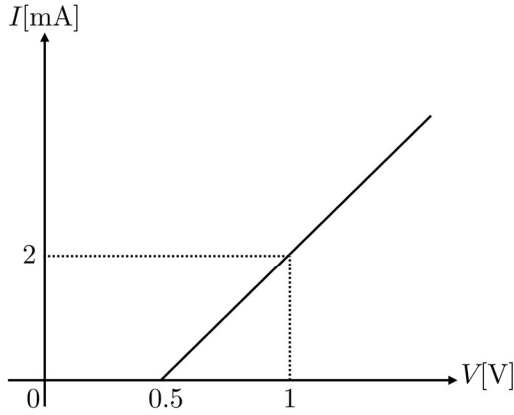
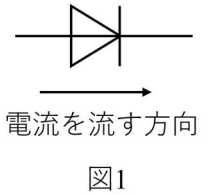


図2

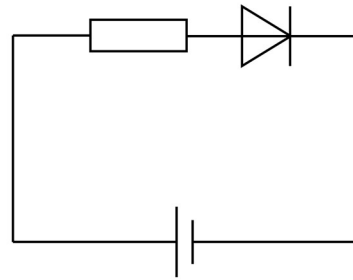


図3

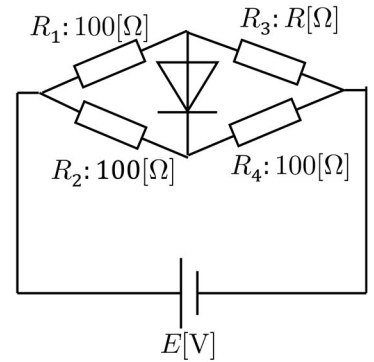


図4

問 1 図 2 に示す発光ダイオードの性質として、正しい記述を以下のうちから 1 つ選べ。

- (イ) 発光ダイオードに大きな電圧をかければかけるほど、その抵抗の大きさは大きくなる。
- (ロ) 発光ダイオードに大きな電圧をかければかけるほど、その抵抗の大きさは小さくなる。
- (ハ) 発光ダイオードの抵抗の大きさはかかる電圧に関係なく一定である。

問 2 図 3 に示すような、電源・ $100[\Omega]$ の抵抗・発光ダイオードからなる回路を作る。このとき、電源の電圧が $10[V]$ であるとき回路に流れる電流の大きさは何[mA]か求めよ。

問 3 図 3 に示す回路に電流が流れるとき、電源の電圧は何[V]より大きくなければならぬか求めよ。

問 4 図 4 に示す回路を作製し、電源の電圧 $E[V]$ および抵抗 R_3 の大きさ $R[\Omega]$ を操作し、発光ダイオードに電流を流したい。このとき、以下の文の空所に適する数値や数式を答えよ。なお、⑦に関しては適するものを各選択肢から 1 つ選ぶこと。

抵抗 R_3 、抵抗 R_4 それぞれに流れる電流の大きさを $i_1[A]$ 、 $i_2[A]$ とおく。発光ダイオードに流れる電流の方向を考えれば、発光ダイオードにかかる電圧の大きさ $V[V]$ は i_1, i_2, R を用いて ① と表される。

また、発光ダイオードに流れる電流の大きさを $I[mA]$ とすれば、抵抗 R_1 に流れる電流の大きさは ② [A] となる。ここで、「閉ループにおける各素子でかかる電圧の総和が電源の電圧と等しくなる」ことを利用すれば、電源→抵抗 R_1 →抵抗 R_3 →電源からなる閉ループでは関係式として ③ が成り立つ。また、電源→抵抗 R_2 →抵抗 R_4 →電源からなる閉ループでは関係式として ④ が成り立つ。以上から、 V, I, E, R_4 の間で、 $I =$ ⑤ という関係式が成立することが分かる。

よって、 $R > 100$ のとき、 E の値が ⑥ (R を含む数式で答えること) より {⑦:a 小さければ, b.大きければ} 発光ダイオードに電流が流れることが分かる。

《Ⅱ》 コイルに棒磁石を近づけたり，遠ざけたりすることによってそれに電圧が発生することが知られている．その他，コイルに電圧を発生させる方法として「自己誘導」と呼ばれるものがある．これらに関して，以下では考えてみよう．

問5 右の図5のように，コイルと抵抗を接続して回路を作製する．

このとき，N極を下にして棒磁石を落下させ，コイル内部にそれを通過させる．以下の場合に関して，電流が流れる向きはa,bのうちどちらになるか．ただし，電流が流れないときはcと答えること．

- (イ) 棒磁石のN極がコイル上部に進入する直前．
- (ロ) 棒磁石の中心とコイルの中心が一致する瞬間．
- (ハ) 棒磁石のS極がコイル下部を通り抜けた直後．

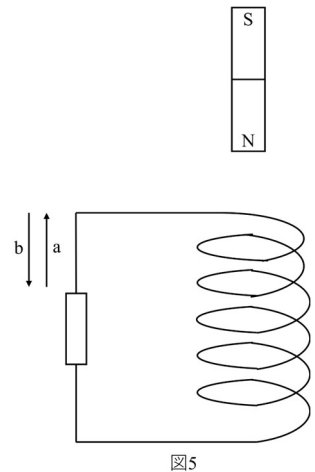


図5

右の図6に示すように，鉄心にコイルを巻きつけ，その両端を電圧の大きさを調整できる電源装置を接続する．以下に示す実験においてはコイルの長さは常に一定である．また，図中に示す矢印の向きに電流が流れるとき，この向きを「プラス」とする．例えば，この回路に「+1[A]の電流が流れる」という表記は，「図中の矢印の向きに大きさが1[A]の電流が流れる」ことを意味する．これらを踏まえ，以下の実験を行う．

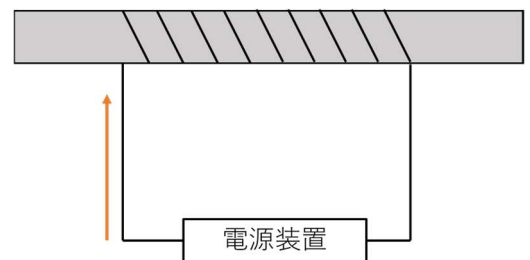


図6

【実験1】 コイルの巻き数を一定にして，コイルに流れる電流

を1秒間に0[A]から常に一定の割合で増やしてゆく．このとき，その「変化の割合」(=「電流の変化量」÷「時間」)を1,2,3と変化させると，コイルに生じる電圧の大きさは図7のようになった．

【実験2】 【実験1】 でのコイルの巻き数を N とする．コイルの巻き数が $2N, 3N, 4N$ である各場合に対して，コイルに流れる電流を1秒間に0[A]から1[A]まで一定の割合で変化させる．このとき，各場合においてコイルに生じる電圧の大きさは図8のようになった．

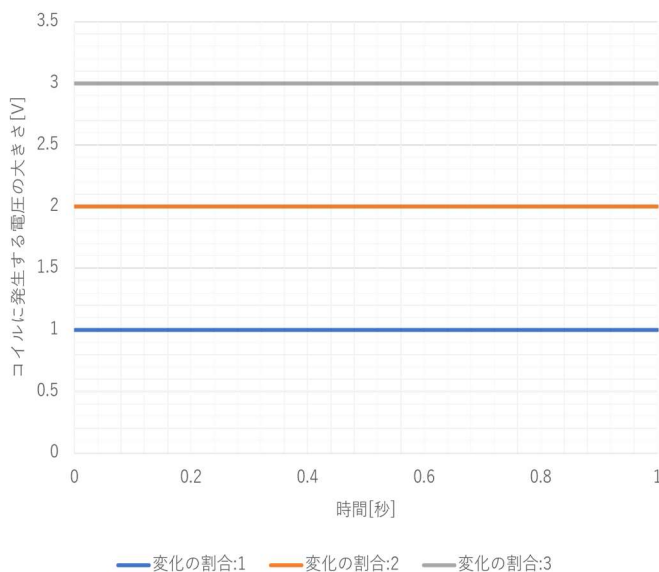


図7

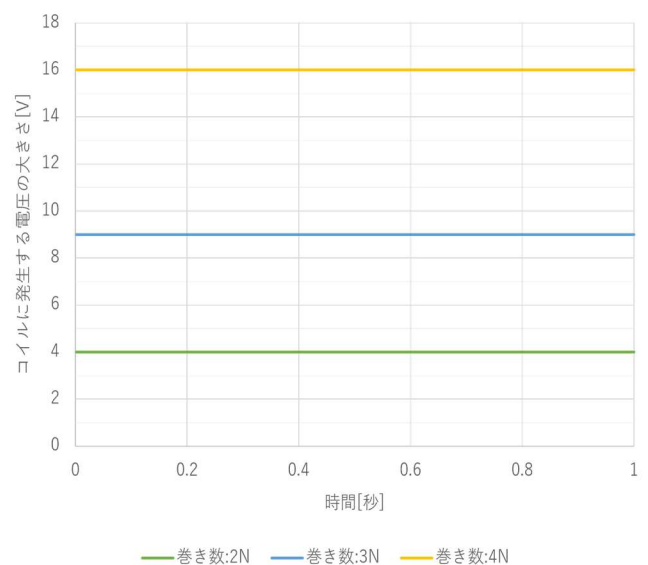


図8

上記の実験において、コイルに流れる電流を変化させて電圧が発生することを「自己誘導」と呼ぶ。なお、解答にあたって根号が含まれる場合はそのまま残しておくこと。

問6 コイルの巻き数を $5N$ にして、コイルに流れる電流を1秒間に $0[A]$ から $-2[A]$ まで一定の割合で変化させる。このとき、コイルに生じる電圧の大きさ $[V]$ および向きを求めよ。なお、図6の矢印の方向に電流を流そうとするときの電圧の向きを「プラス」と定義することとする。

問7 巻き数が不明であるコイルに流れる電流を1秒間に $0[A]$ から $+0.5[A]$ まで一定の割合で変化させる。このとき、コイルに生じた電圧の大きさは【実験2】におけるコイルの巻き数が $2N$ のときの実験結果の5倍となった。この実験に用いたコイルの巻き数を N を用いて表せ。

最後に、これまで用いてきたコイルを用いて、それに流す電流を「非直線的に」変化させ、それに発生する電圧を考える。なお、コイルの長さは【実験1】および【実験2】で用いたものと同一であり、その巻き数は N とする。その他の諸条件は【実験1】および【実験2】と同じである。

ここでは、回路に流れる電流を $I[A]$ 、実験開始からの経過時間を t 秒とするとき、 $I = t^2$ という関係式が成立するものとする。この状況において、コイルに発生する電圧はどうなるであろうか。

$I = t^2$ をグラフにすると図9のようになるが、これを折れ線のグラフで近似し、その概形は図10のようになる。なお、 $P_k \left(\frac{k}{n}, \left(\frac{k}{n} \right)^2 \right)$ ($k = 1, 2, 3, \dots, n$)と表される。

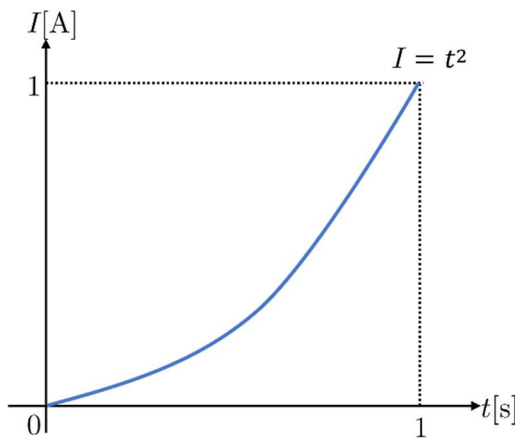


図9

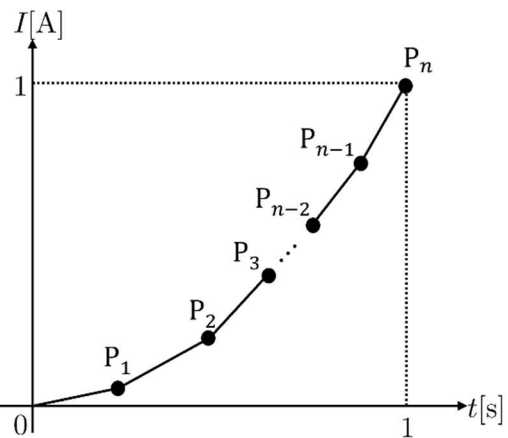


図10

このとき、 OP_1 の傾きは、となるため、実験開始から $1/n$ 秒が経過するまでは、電流に関する「変化の割合」はで一定であるとみなせる。そのため、この間でコイルに発生する電圧の大きさはとなる。

同様に考えると、 $k = 0, 1, \dots, n-1$ として、実験開始から $\frac{k}{n}$ 秒から $\frac{k+1}{n}$ 秒の間においてコイルに発生する電圧の大きさはとなる。そのため、時間経過とともにコイルに発生する電圧の大きさは{エ:1. 変化しない, 2. 大きくなってゆく, 3. 小さくなってゆく}ことが分かる。

問8 上記の文の空所ア～エに適する数式や語句を答えよ。なお、エに関しては、適するものを各選択肢から1つ選ぶこと。