

2024 年度（令和 6 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

私費外国人留学生

専門試験問題

（電気・機械工学系プログラム 電気電子）

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、1 ページから 4 ページまであります。解答用紙は、2 枚あります。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせてください。
3. 下記表の問題番号 7 から 8 の問題を全て解答してください。1 題につき解答用紙 1 枚を使用して解答してください。解答用紙の追加配付はありません。

問題番号	出題科目
7	電気回路 Electric circuit
8	電磁気学 Electromagnetics

4. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 2 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
5. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
6. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
7. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外の物を置くことはできません。
8. コンパス及び定規等は、使用できません。
9. 時計のアラーム（計時機能以外の機能を含む。）は、使用しないでください。
10. スマートフォン、携帯電話、ウェアラブル端末等の音の出る機器を全て机の上に出し、それらの機器のアラームを解除してから、電源を切り、かばん等に入れてください。
11. 試験終了まで退室できません。試験時間中に用がある場合は、手をあげてください。
12. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。

問題7 電気回路 設問すべてについて解答すること。

I 図1は、(A)式のひずみ波交流電圧源  $e(t)$ 、抵抗  $R$ 、インダクタンス  $L$  のコイル、静電容量  $C$  のコンデンサとスイッチ  $S$  で構成される回路である。

$$e(t) = \sqrt{2}E_1 \sin(\omega t + \phi_1) + \sqrt{2}E_5 \cos(5\omega t + \phi_5) \quad (\text{A})$$

次の(1)～(5)の問いについて、(A)式及び図1に含まれる記号を用いて答えよ。

- (1) スイッチ  $S$  が開かれていて定常状態にあるとする。回路に流れる電流  $i(t)$  を求めよ。
- (2) 電流  $i(t)$  のひずみ率  $k$  及び回路の消費電力  $P$  を求めよ。

以降の設問では、スイッチ  $S$  を閉じて定常状態にあるとする。

- (3) 基本波成分の力率が1となるコンデンサの静電容量  $C$  を  $R, L, \omega$  を用いて示せ。
- (4) (3) で求めた静電容量  $C$  の下での電流の第5調波成分の位相が(A)式の第5調波電圧に対して遅れか進みかを示せ。
- (5) 抵抗  $R$  とコイルのインダクタンス  $L$  による  $R$ - $L$  直列回路の基本波成分に対する力率は0.8であった。スイッチ  $S$  を閉じる前と、(3) で求めた静電容量  $C$  の下でスイッチ  $S$  を閉じた後とで、電流のひずみ率  $k$  は増加するか減少するかを示せ。

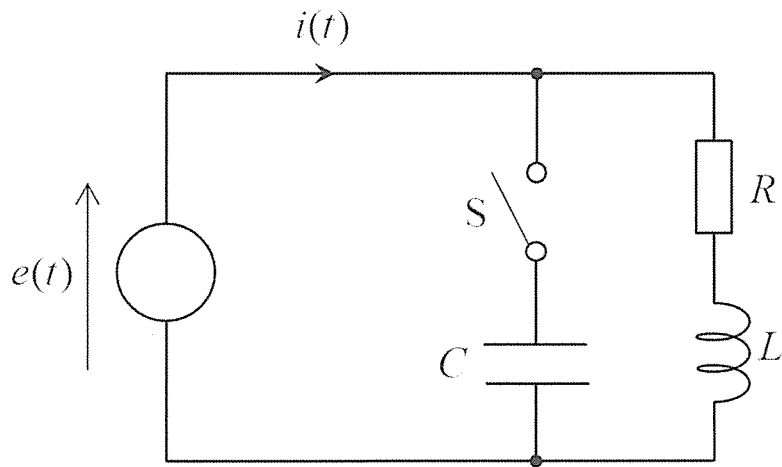


図1

II 図2の回路は、直流電圧源  $E$  [V], 抵抗  $R$  [ $\Omega$ ], 静電容量  $C$  [F]のコンデンサ, インダクタンス  $L$  [H]のコイル, スイッチ  $S_1$  および  $S_2$  から構成されている。図2に示すように, 時刻  $t$  [s]における抵抗  $R$ の印加電圧を  $v(t)$  [V]とする。スイッチ  $S_1$  及び  $S_2$  は瞬時に切り替えることができる。次の問い(1)～(5)について, 図中の記号を用いて答えよ。

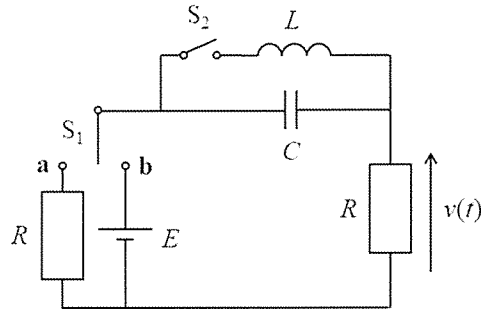


図2

- (1) 時刻  $t=0$  [s]以前では, スイッチ  $S_2$  は開放, スイッチ  $S_1$  は端子 **a** に接続されて十分な時間が経っており, コンデンサ  $C$  には電荷は蓄えられていない。時刻  $t=0$  [s]でスイッチ  $S_1$  を端子 **a** から端子 **b** に切り替えたとき, 時刻  $t=0$  [s]における電圧  $v(0)$  [V]及び時刻  $t=T$  [s]における電圧  $v(T)$  [V]を求めよ。
- (2) 電圧  $v(t)$  [V]の時刻  $t=T$  [s]における電圧低下分を  $\Delta v = v(0) - v(T)$  [V]とする。電圧低下割合  $\Delta v/v(0)$  を4%以上 10%以下とするための時定数  $\tau = RC$  [s]が取り得る範囲を求めよ。ただし,  $T = 1$  [ms]とする。
- (3) 時刻  $t=T$  [s]でスイッチ  $S_1$  を端子 **b** から端子 **a** に切り替えた。(2)で求めた時定数  $\tau = RC$  [s]の範囲において, 時刻  $t=2T$  [s]での電圧  $v(2T)$  [V]が取り得る範囲を求めよ。
- (4) 引き続き, スイッチ  $S_1$  は端子 **a** に接続され, コンデンサ  $C$  を完全に放電させる。その後スイッチ  $S_2$  を閉じる。時刻  $t=0$  [s]と改めて設定した時刻において, スイッチ  $S_1$  を端子 **a** から端子 **b** へ切り替えたときの電圧  $v(0)$  [V]を求めよ。
- (5) インダクタンス  $L = \frac{16}{3} R^2 C$  [H]のとき, 電圧低下割合  $\Delta v/v(0)$  を求めよ。ただし, 電圧低下分を  $\Delta v = v(0) - v(T)$  [V]とする。

本問いを解くにあたり, 表1の数値表の最も近い値及び  $\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$ ,  $\log_{10}5 = 0.70$ ,  $\log_{10}7 = 0.85$ ,  $\log_{10}e = 0.43$  を用いてもよい。

表1

$x$	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$e^{-x}$	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.82	0.74	0.67	0.61

**問題 8 電磁気学** 設問すべてについて解答すること。

I 次の (1) ~ (8) の問いに答えよ。ただし、電荷はすべて点電荷であり、系全体が真空 (誘電率  $= \epsilon_0$ ) とする。また、電位の基準点は無限遠の点とする。三次元直交座標系とし、それぞれの軸を  $x$ ,  $y$ ,  $z$  とする。

図 1 のように、正の電荷 ( $+q$ ) を  $z$  軸上の点  $A(0, 0, a)$  に置いた。

(1) 空間上の任意の点  $R(x, y, z)$  の電位  $\phi_1$  と電界の大きさ  $E_1$  を  $q$ ,  $\epsilon_0$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $a$  を用いて表わせ。

次に、図 2 のように負の電荷 ( $-q$ ) を  $z$  軸上の点  $B(0, 0, -a)$  の位置に追加して置いた。

(2) 点  $R(x, y, z)$  の電位  $\phi_2$  を  $q$ ,  $\epsilon_0$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $a$  を用いて表わせ。

以下の (3) から (8) の問いにおいては、点  $A$  と点  $B$  に置かれた 2 つの電荷を電気双極子として扱うことができ、点  $R$  が点  $A$  及び点  $B$  から十分に離れている場合を考える。また、図 3 のように、点  $R$  の位置ベクトルを  $\vec{r}$  と、 $\vec{r}$  と  $z$  軸のなす角を  $\theta$  と置く。 $|\vec{r}| = r$  とする。なお、一般に電気双極子においては、負の電荷 ( $-q$ ) から正の電荷 ( $+q$ ) に向かう位置ベクトルを  $\vec{s}$  とすると、電気双極子モーメント  $\vec{p}$  は、 $\vec{p} = q\vec{s}$  である。

(3) 点  $A$  と点  $B$  に置いた 2 つの電荷によって作られる電気双極子モーメント  $\vec{p}$  の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  成分,

$p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  を  $q$ ,  $a$  を用いて表わせ。

(4) 点  $R$  と点  $A$  との距離  $r_{RA}$  を  $a$ ,  $r$ ,  $\theta$  を用いて表わせ。

(5) 一般に  $t \ll 1$  のときに  $(1+t)^n \approx 1+nt$  が成立することを用いて、 $1/r_{RA}$  の近似値を  $a$ ,  $r$ ,  $\theta$  を用いて表わせ。

(6) (5) に記した近似式を使って、点  $R$  での電位  $\phi_R$  を  $q$ ,  $\epsilon_0$ ,  $a$ ,  $r$ ,  $\theta$  を用いて表わせ。

(7) 点  $A$  と点  $B$  に置いた電荷によって作られる電気双極子モーメントを  $\vec{p}$  と置いたとき、点  $R$  での電位  $\phi_R$  を  $\vec{p}$ ,  $\vec{r}$ ,  $r$ ,  $\epsilon_0$  を用いて表わせ。但し、解答では内積を用いよ。

(8) 点  $R$  での電界の  $x$  方向成分  $E_x$  及び  $z$  方向成分  $E_z$  を  $q$ ,  $\epsilon_0$ ,  $a$ ,  $r$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  を適宜用いて表わせ。

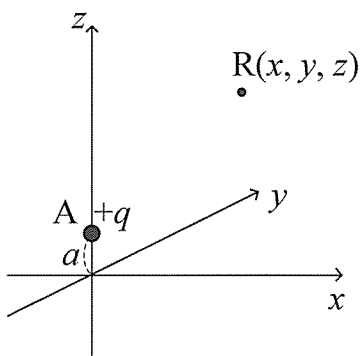


図 1

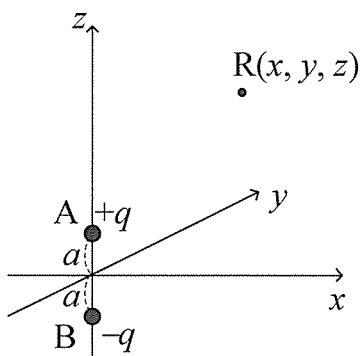


図 2

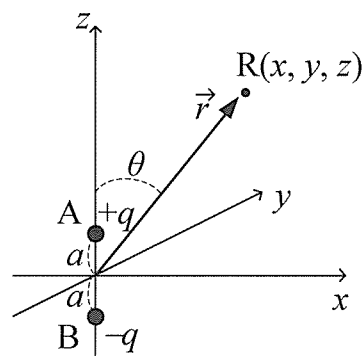


図 3

II 図4に示すように、3次元直交座標系において、原点  $O$  を中心とした半径  $a$  の円に接する正六角形導線回路  $ABCDEF$  が  $x-y$  平面上に存在する。空間中の透磁率は  $\mu_0$ 、導線の太さは無視できるものとし、以下の問いに答えよ。

$x$  軸と平行である線分  $AB$  に電流  $I$  が流れるとして、次の (1) ~ (3) の問いに答えよ。線分  $AB$  以外に流れる電流の影響は無視するものとする。

- (1) 線分  $AB$  から距離  $b$  離れた位置にある点  $P$  と、線分  $AB$  上の任意の点  $S$  における電流素片  $I d\vec{x}$  を考える。図4のように、 $\angle PSB$  を  $\theta$  としたとき、電流素片  $I d\vec{x}$  によって点  $P$  に生じる微小磁界の大きさ  $dH_1$  を、 $\theta$  の関数として求めよ。ただし、点  $S$  の微小変位にともなう  $\theta$  の変化を  $d\theta$  とし、 $d\theta$  は正の値をとるとする。
- (2) 線分  $AB$  上を流れる電流  $I$  によって、点  $P$  に生じる磁界の大きさ  $H_1$  を求めよ。ただし、 $\angle PAB = \theta_a$ 、 $\angle PBA = \theta_b$  とする。
- (3)  $z$  軸上の点  $Q(0, 0, \sqrt{3}a/2)$  において、線分  $AB$  上を流れる電流  $I$  により生じる磁界の大きさ  $H_2$  を求めよ。

回路  $ABCDEF$  に電流  $I$  が流れるとして、次の (4) ~ (6) の問いに答えよ。

- (4) 点  $Q$  において、回路  $ABCDEF$  を流れる電流  $I$  により生じる磁界の大きさ  $H_3$  を求めよ。
- (5)  $+x$  方向に速度  $v$  で進む点電荷  $+q$  が点  $Q$  を通過する瞬間を考える。このとき、点電荷に作用する力の大きさ  $F$  とその向きを求めよ。
- (6)  $x-z$  平面上かつ点  $Q$  と  $z$  座標を同じくする点  $R(d, 0, \sqrt{3}a/2)$  がある (ただし、 $d > 0$ )。点  $R$  を通り、 $y$  軸と平行な無限長導線を配置し、 $-y$  方向に電流  $I$  を流す。このとき、点  $Q$  における磁界の大きさが  $0$  となるような、点  $R$  の  $x$  座標  $d$  を求めよ。

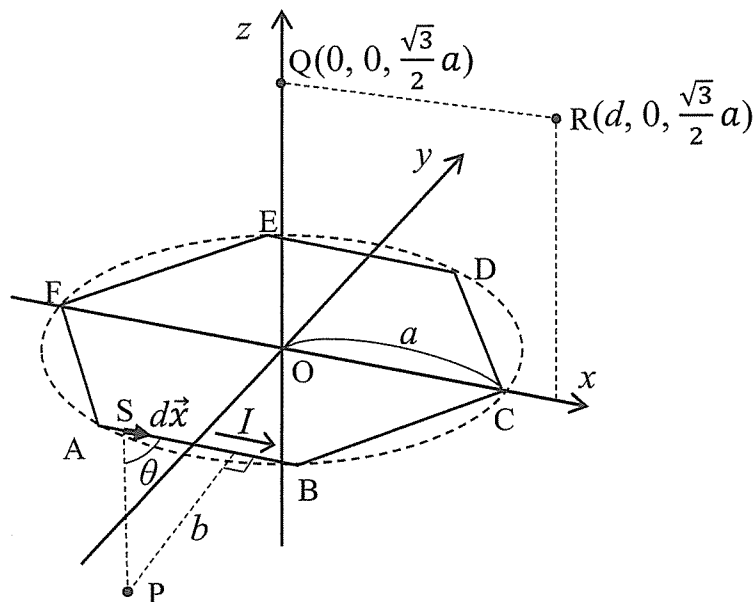


図4