

2027 年度（令和 9 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 電気電子プログラム ）

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 9, 10 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
9	電気回路 Electric circuit
10	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 9 電気回路 設問すべてについて解答すること。

I 図 1 の回路は、実効値 E の電圧で角周波数 ω の交流電圧源、抵抗 R 、インダクタ L_1 および L_2 、可変コンデンサ C 、スイッチ S から構成される。コンデンサ C と抵抗 R およびインダクタ L_1 の直列部は、電源に対して並列に接続されている。インダクタ L_2 はスイッチ S と閉ループ（二次ループ）を構成するように接続されている。 L_1 と L_2 の間には相互インダクタンス M がある。電源から流れる電流は I とする。以下では、【状態 1】または【状態 2】の定常状態にあると仮定し、設問 (1) ～ (6) について答えよ。

【状態 1】スイッチ S は開いているものとする。

- (1) R と L_1 の合成インピーダンス Z_{RL1} を、実部と虚部に分けて求めよ。
- (2) 電源から見た回路のアドミタンス Y を、実部と虚部に分けて求めよ。
- (3) 電源の電圧と電流 I が同位相となる角周波数 ω_1 を求めよ。ただし、 $L_1 > R^2C$ とする。

【状態 2】スイッチ S は閉じているものとする。

- (4) 状態 2 では、二次ループ内の L_2 には相互誘導により電流が流れる。このとき、図 1 の回路は、相互誘導を加味したインダクタ L_3 を含む図 2 の回路とみなすことができる。この L_3 を L_1 、 L_2 、 M を用いて表せ。

次に $L_1 = L_2 = L$ 、 $M = kL$ (ただし $0 < k < 1$)、 $\omega = \omega_2$ と仮定する。

- (5) C を調節することで電源の電圧と電流が同位相となった。このときの C を、 R 、 L 、 k 、 ω_2 を用いて表せ。
- (6) 抵抗 R で消費される電力 P を、 E 、 R 、 L 、 k 、 ω_2 を用いて表せ。

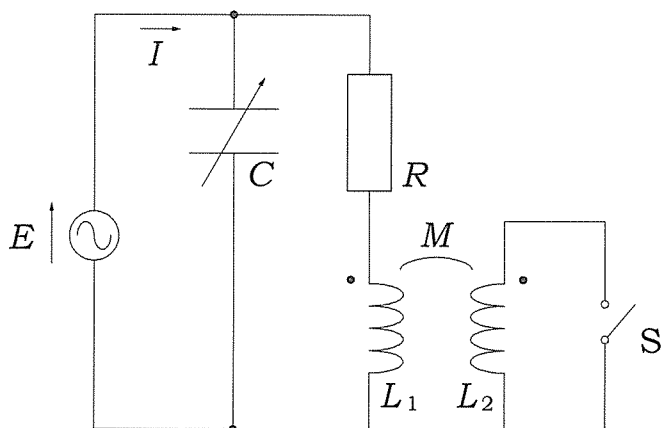


図 1

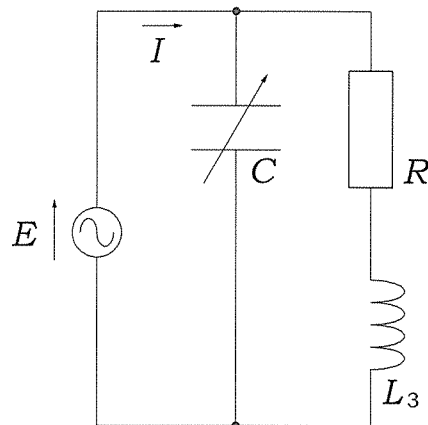


図 2

Ⅱ 次の図 3 の回路について考える。図 3 の回路はスイッチ S_1 , S_2 , S_3 , 抵抗 R_1 , R_2 , インダクタ L , コンデンサ C から構成されるものとする。下記の設問 (1) ~ (9) について答えよ。

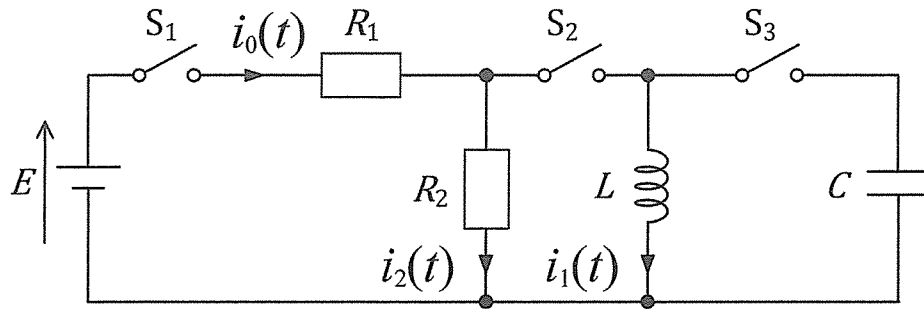


図 3

【状態 1】 スイッチ S_1 および スイッチ S_2 は閉じ、スイッチ S_3 は開いた状態にあり、十分に時間が経過して定常状態に達しているものとする。

(1) 回路に流れる電流 i_0 を求めよ。

【状態 2】 状態 1 からスイッチ S_1 を開いた。この時の時刻を $t = 0$ として定義する。

(2) インダクタ L に流れる電流の時間変化 $i_1(t)$ を求めよ。

(3) 定常状態に達するまでに抵抗 R_2 で消費された電力量 W を求めよ。

【状態 3】 状態 2 から十分に時間がたった後にスイッチ S_1 を再び閉じた。また、この時の時刻を再び $t = 0$ と定義する。

(4) インダクタ L に流れる電流の時間変化 $i_1(t)$ を求めよ。

(5) 抵抗 R_2 に流れる電流の時間変化 $i_2(t)$ を求めよ。

(6) 電流 $i_1(t)$ と電流 $i_2(t)$ が同一となる時刻 T を求めよ。

【状態 4】 状態 1 に戻す。ただし、コンデンサ C には電荷が蓄えられていない。その後、スイッチ S_2 を開くと同時にスイッチ S_3 を閉じた。このとき、インダクタ L に流れる電流 $i_1(t)$ は固有周波数 f で振動した。

(7) インダクタ L に流れる電流 $i_1(t)$ の固有周波数 f を求めよ。

(8) インダクタ L の端子間に発生する電圧の最大値 $E_{L,max}$ を求めよ。

(9) コンデンサ C の端子間に発生する電圧の最大値 $E_{C,max}$ を求めよ。

問題 10 電磁気学

設問すべてについて解答すること。

I 図 1 のように誘電率 ϵ_0 の真空中に半径 a の太さ、 z 方向に無限長の円柱完全導体 A がある。以下では円筒座標系を用いる。円柱は z 軸対称であり、 z 方向に一様に単位長あたり λ の電荷が分布している。以下の問いに答えよ。

- (1) 円柱の中心 O から $r_1 > a$ の点における電界強度の大きさ E を求めよ。
- (2) $r > 0$ なる r に対する E の概形図を描け。解答用紙に図 2 を書き写したうえでグラフを描くこと。

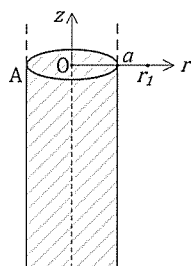


図 1

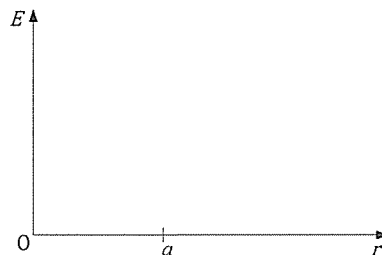


図 2

次に図 3 に示すように、外径 b ($b > a$) の厚さを無視できる完全導体 B で A を覆い、半径 a から b 間を導電率が σ の様な導電性媒質で満たした。B を接地し電位 0 とし、A に直流電源を接続して A の電位を V_0 に保ったとき A から B に定常電流が流れた。このとき以下の問いに答えよ。

- (3) 媒質内の領域 $a < r < b$ における電位 $V(r)$ を求めよ。
- (4) z 軸方向単位長あたりの、 r 方向の電流 I の大きさを求めよ。

前問の A の直流電源を外して放電し、B の接地は保持した。そして図 4 のように導体 AB 間の領域を、 $a < c < b$ なる c に対し、半径 a から c までは誘電率 ϵ_1 、半径 c から b までは ϵ_2 の誘電体で満たした。それぞれの領域を誘電体 1, 2 と呼ぶ。A に z 軸方向に単位長あたり λ の電荷を再度分布させた。このとき以下の問いに答えよ。

- (5) AB 間の、 z 軸方向単位長あたりの静電容量 C を求めよ。
- (6) $\epsilon_1 = k\epsilon_2$ であり (k は定数)、誘電体 1, 2 が絶縁に耐えうる最大の電界強度の大きさがどちらも E_m であるとする。このとき c を変数とし、誘電体 1, 2 の z 軸方向単位長あたりの最大電界強度を $E_{1\max} = E_{2\max} = E_m$ と置くことにより、導体 AB 間が耐えうる最大の電位差 $V_{\max}$ を求めよ。

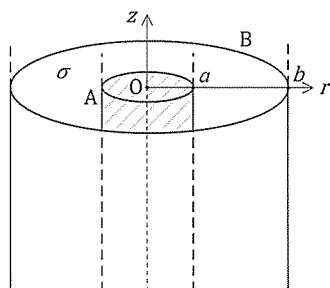


図 3

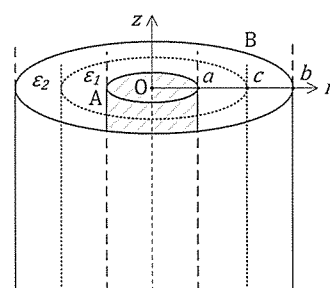


図 4

II 図5のように、 z 軸の正の向きに磁束密度の大きさ B の磁界が印加されている。 $x-y$ 面内には、 y 軸上の点 E および F を結ぶ導線（長さ $2a$ ）と、点 E および F から x 軸の正の方向へ無限に伸びる 2 本の導線が一体となった U 字型の固定導線が配置されている。導体棒は、はじめ導線の区間 EF の上に置かれているが、時刻 $t = 0$ において y 軸と平行なまま x 軸の正の方向へ一定の速さ v で移動し始める。導線と導体棒は点 G および H において電氣的に接触しており、閉回路 $EFGH$ を形成している。点 G, H 間の導体棒の電気抵抗は R とし、導線の電気抵抗、導線と導体棒の太さ、導線と導体棒の間の接触抵抗は無視できるとする。

磁束密度が $B = B_0$ ($B_0 > 0$) で空間的に一様な場合について、以下の問いに答えよ。

- (1) 時刻 t において閉回路 $EFGH$ 内を貫く磁束 Φ_1 を a, v, R, B_0, t のうちから必要な記号を用いて表せ。
- (2) 時刻 t において閉回路 $EFGH$ に発生している誘導起電力 V_1 の大きさを a, v, R, B_0, t のうちから必要な記号を用いて表せ。
- (3) $t = t_0$ ($t_0 > 0$) において、 B を B_0 から 0 にした。 $t \geq t_0$ において閉回路 $EFGH$ 内を移動する電荷の大きさ Q を a, v, R, B_0, t_0 のうちから必要な記号を用いて表せ。

次に、磁束密度が $B = B_0 x$ と x の関数となる場合について考える。以下の問いに答えよ。

- (4) 導体棒が位置 x にあるとき、 x 軸方向の微小距離 Δx を幅とする領域を貫く微小磁束 $\Delta\Phi$ を $a, x, R, B_0, \Delta x$ のうちから必要な記号を用いて表せ。
- (5) 時刻 t において閉回路 $EFGH$ に発生している誘導起電力 V_2 の大きさを a, v, R, B_0, t のうちから必要な記号を用いて表せ。

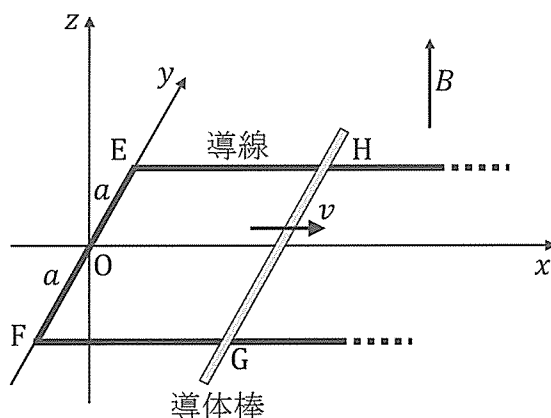


図 5