

2022 年度（令和 4 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の回路は電圧 E と角周波数 ω の交流電源，スイッチ S_1 ， S_2 ，可変コンデンサ C ，抵抗 R ，インダクタ L_1 ， L_2 から構成される。回路に流れる電流を I とし， L_1 および L_2 間の相互インダクタンスを M とする。以下では状態1または2の定常状態にあると仮定し，設問(1)から(4)について答えよ。

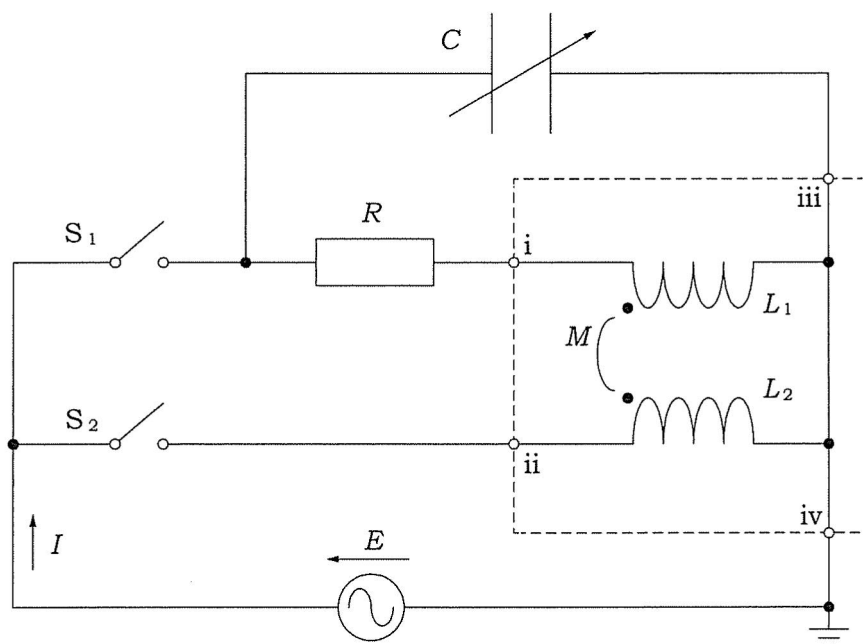


図1

【状態1】スイッチ S_1 は閉じ，スイッチ S_2 は開いているものとする。

- (1) 回路のアドミタンスを求めよ。
- (2) E と I が同位相となる ω を求めよ。ただし， $L_1/R > RC$ とする。

【状態2】スイッチ S_1 は開き，スイッチ S_2 は閉じているものとする。

- (3) L_1 および L_2 間の相互インダクタンスをインダクタ M で表すことで，図1の点線内は M を含めた3つのインダクタから構成される回路に置き換えることができる。この回路を解答用紙に描け。ただし，回路図には必ず3つのインダクタのインダクタンスと端子 i ， ii ， iii ， iv を記せ。
- (4) $L_1 = L_2 = M/a$ ($1 > a > 0$) と仮定する。ここで， C を調節することで， R に流れる電流の実効値が最大となった。このときの C を a ， L_1 ， ω のみを用いて表わせ。

II 図2の回路は、直流電圧源 $E = 22 \text{ V}$ 、抵抗 $R = 5.5 \Omega$ 、インダクタ $L = 5.0 \text{ mH}$ 、スイッチS から構成されている。図2に示すように、時刻 t を用いて電流を $i(t)$ と表している。図3は、スイッチSの端子aとbの切り換え時刻を示している。スイッチSは、瞬時に切り換えることができ、切換時の時刻 t_n の電流 $i(t_n)$ は連続する。また、表1は、ネイピア数 e を底とする変数 x の指数関数 e^{-x} の近似値を示しており、この近似値を用いて解答を導出しなさい。次の問い(1)～(5)について答えよ。

- (1) 時刻 $t = 0$ 以前では、スイッチSは端子aに接続されており、十分な時間が経っている。このときの電流 $i(t)$ 、インダクタ L の電圧 v_L 、抵抗 R で消費される電力 P_R をそれぞれ導出せよ。
- (2) 時刻 $t = 0$ において、スイッチSを端子aからbに切り換えた。時刻 $t = t_1$ において、電流 $i(t_1) = 1.0 \text{ A}$ となった。時刻 t_1 を求めなさい。
- (3) 電流 $i(t_1) = 1.0 \text{ A}$ の時刻 $t = t_1$ において、スイッチSを端子bからaに切り換えた。時刻 t_1 から 1.0 ms 後の時刻 t_2 ($t_2 = t_1 + 1.0 \text{ ms}$) における電流 $i(t_2)$ を導出せよ。
- (4) 問い(3)の時刻 $t = t_2$ において、スイッチSを端子aからbに切り換えた。時刻 t_2 から 1.0 ms 後の時刻 t_3 ($t_3 = t_2 + 1.0 \text{ ms}$) における電流 $i(t_3)$ を導出せよ。
- (5) 時刻 $t = t_3$ 以降、時間 1.0 ms ごとにスイッチSの端子aとbへの接続を交互に切り換え続けた。このとき、電流 $i(t)$ の直流成分(平均電流) I_0 を導出せよ。

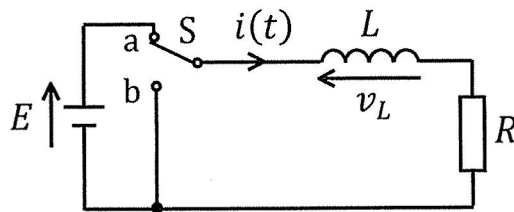


図2

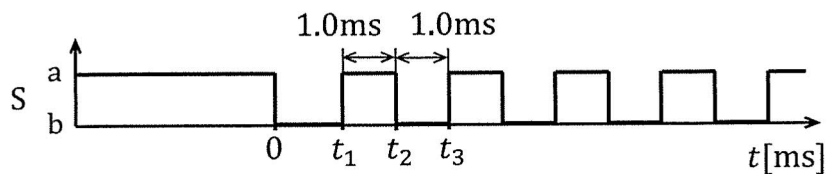


図3

表1

x	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
e^{-x}	0.55	0.50	0.45	0.41	0.37	$\frac{1}{3}$ (= 0.33)	0.30	0.27	0.25	0.22	0.18

問題 8 電磁気学 設問すべてについて解答すること。

I 真空中 (誘電率 ϵ_0) に、無限に広い接地された導体板がある。導体板表面に y 軸および z 軸を、導体板に垂直に x 軸をとり、 $x=0$ を導体板表面、 $x>0$ を導体板の外側とする。点 $(a, 0, 0)$ に点電荷 q を置いた (図 1)。以下の問いに答えよ。

- (1) 導体板の外側の点 (x, y, z) における電位 V を求めよ。ただし、 (x, y, z) は $(a, 0, 0)$ 以外とする。
- (2) 導体板の外側の点 (x, y, z) における電場の x, y および z 成分 (E_x, E_y, E_z) を求めよ。ただし、 (x, y, z) は $(a, 0, 0)$ 以外とする。

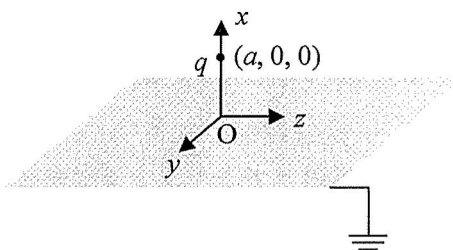


図 1

点電荷と導体板を取り除き、細い無限長の導線 (半径 R の円柱導体) を導線の中心軸が点 $(a, 0, 0)$ を通るように z 軸と平行に置いた ($a \gg R$)。また、導線には、単位長さ当たりの電荷密度 λ で電荷が一樣に分布している。

- (3) 導線の外側の点 (x, y, z) における電場の強さ E を求めよ。

導体板を元に戻し、図 2 の状態にした。このとき、導線の電荷分布は変化しなかったとする。

- (4) 導体板および導線の外側の点 (x, y, z) における電場の x, y および z 成分 (E'_x, E'_y, E'_z) を求めよ。
- (5) 導線の電位 V' を求めよ。
- (6) 単位長さ当たりの導線の電気容量 C を求めよ。

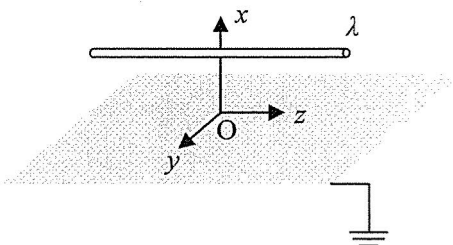


図 2

II 図3のように、自由空間中、 z 軸上に無限長の直線状導線があり、 xz 面内に、2 辺の長さが a 、 b の長方形ループ導線 ABCD がある。長方形ループ導線は、辺 AB、CD の中点を通る直線が x 軸と一致し、辺 BC、DA の中点を通る直線が直線状導線から距離 d の位置にある。なお、両導線の太さは無視できるものとする。この直線状導線と長方形ループ導線に、それぞれ電流 I_1 、 I_2 が図3のように流れている。自由空間の透磁率を μ_0 とし、 x 軸、 y 軸、 z 軸の単位ベクトルを、それぞれ a_x 、 a_y 、 a_z として、以下の問いに答えよ。

[A] 長方形ループ導線に働く電磁力を求める。次の (1) ~ (4) の問いに答えよ。

- (1) 直線状導線を流れる電流 I_1 が点 $(x, 0, 0)$ ($x > 0$) につくる磁界 H をベクトルで表せ。
- (2) 長方形ループ導線の辺 AB に働く電磁力 F_1 をベクトルで表せ。
- (3) 長方形ループ導線の辺 BC に働く電磁力 F_2 をベクトルで表せ。
- (4) 長方形ループ導線全体に働く電磁力 F をベクトルで表せ。

[B] 無限長直線状導線のみ電流 I_1 を流して、直線状導線と長方形ループ導線との間の相互インダクタンスを求める。次の (5) ~ (6) の問いに答えよ。

- (5) 長方形ループ導線 ABCD に鎖交する磁束 Φ を求めよ。
- (6) 直線状導線と長方形ループ導線との間の相互インダクタンス M を導け。

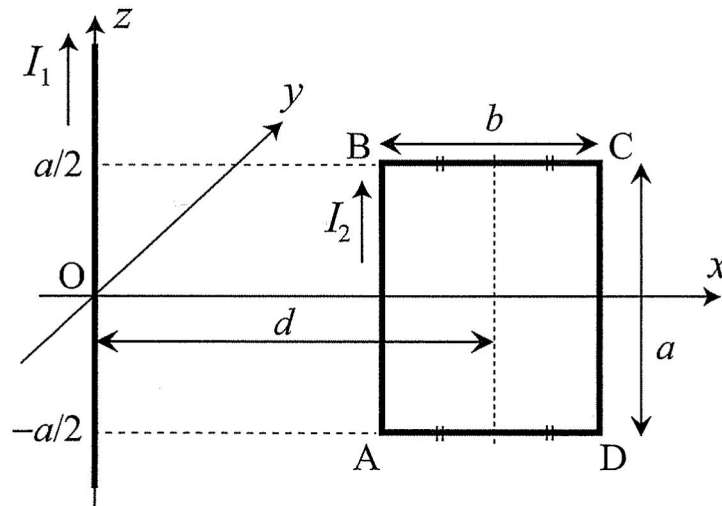


図3