

2023 年度（令和 5 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

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 7 ページまであります。解答用紙は、4 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
19	制御工学
20	電気回路
21	電磁気学
22	電子回路

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 4 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 19 制御工学 設問すべてについて解答すること。

I 図 1 に示すように、摩擦を無視できる床上で質量 M_1 の物体 I と質量 M_2 の物体 II がバネ定数 K_2 のバネで接続され、さらに物体 I はバネ定数 K_1 のバネで壁に接続されている。物体 I に加える力を $u(t)$ 、物体 I の変位を $x_1(t)$ 、物体 II の変位を $x_2(t)$ とするとき、次の (1) ~ (2) の問いについて答えよ。

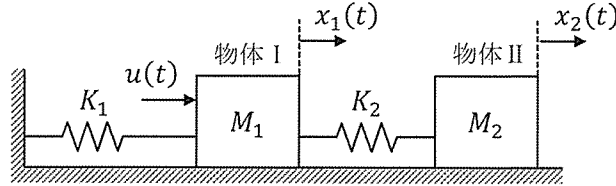


図 1

- (1) 物体 I と物体 II の運動方程式はそれぞれ次式となる。式中の係数 (a, b, c, d, e) を、 M_1, M_2, K_1, K_2 を適宜用いて表せ。

$$M_1 \ddot{x}_1(t) = au(t) + bx_1(t) + cx_2(t)$$

$$M_2 \ddot{x}_2(t) = dx_1(t) + ex_2(t)$$

- (2) 物体 I に加える力 $u(t)$ を入力、2 つの物体の相対変位 $x(t) = x_1(t) - x_2(t)$ を出力とするとき、 $u(t)$ から $x(t)$ までの伝達関数 $G(s)$ は次式となる。式中の係数 (f, g, h, i, j) を、 M_1, M_2, K_1, K_2 を適宜用いて表せ。

$$G(s) = \frac{M_2 s^2}{fs^4 + gs^3 + hs^2 + is + j}$$

II 次の (1) ~ (2) の問いについて答えよ。

- (1) 一次遅れ系 $P(s) = \frac{b}{1+as}$ の単位ステップ応答が図 2 に示す波形 $y(t)$ となった。このときの a と b を求めよ。

- (2) 一次遅れ系 $P(s) = \frac{1}{1+4s}$ に PID 制御を施したフィードバック制御系を図 3 に示す。目標値 $r(t)$ として単位ステップ入力を加えた時の出力が $y(t) = 1 - e^{-t}$ となった。このときの PID 制御のゲイン K_p, K_i, K_d を求めよ。

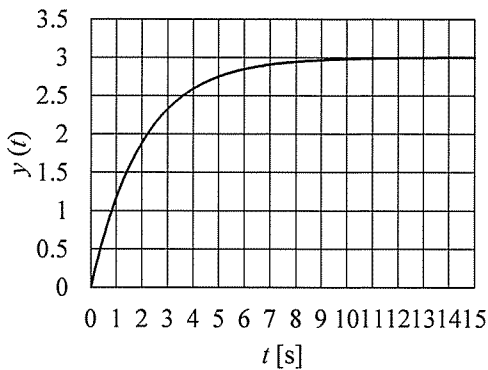


図 2

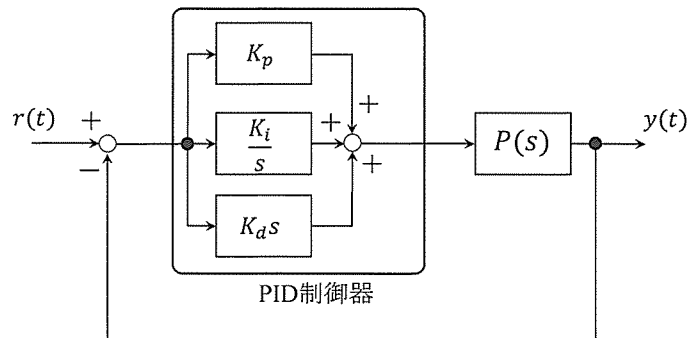


図 3

III 次の伝達関数 $G(s)$ で表されるシステムを考える。 K は実数とする。

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + 5s^2 + 8s + K}$$

このシステムの全ての極の実部が -1 より小さくなる K の範囲を求めよ。

IV 図4のフィードバック制御系を考える。また、横軸を対数目盛とした $L(s)$ のボード線図が図5の実線、ボード線図の概形図(折れ線近似)が図5の点線で与えられるとする。ただし、 ω_1 と ω_2 以外の折れ点角周波数は存在せず、角周波数が ω_1 から ω_2 の区間におけるゲイン線図の概形図の値は 0 dBであるとする。このとき、目標値 $r(t)$ を

$$r(t) = \begin{cases} t & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases}$$

とした際の定常偏差 $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$ を、 ω_1 と ω_2 を適宜用いて求めよ。

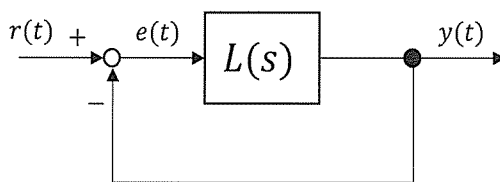


図4

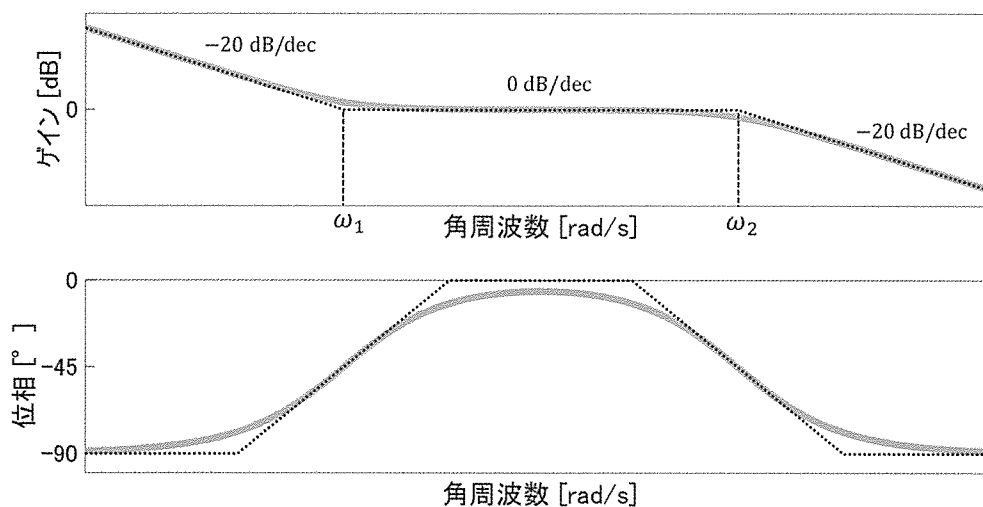


図5

問題 20 電気回路 設問すべてについて解答すること。

I 図 1 に示す回路は、交流電源 E_1 、 E_2 、可変抵抗 R 、容量性リアクタンス X_C 、誘導性リアクタンス X_L 、スイッチ S で構成される。次の (1) ~ (4) の問いについて、単位を付けて答えよ。ただし、交流電源の電圧を、 $E_1 = 100 + j0$ [V]、 $E_2 = 100 - j50$ [V]、容量性リアクタンスの値を、 $X_C = 10$ [Ω]、誘導性リアクタンスの値を、 $X_L = 20$ [Ω] とする。

- (1) スイッチ S が開かれているとき、端子 a-b 間の電圧 V_{ab} を求めよ。
- (2) スイッチ S を閉じて、可変抵抗を $R = 10$ [Ω] としたとき、端子 a-b 間の電圧 V_{ab} を求めよ。
- (3) スイッチ S を閉じて、可変抵抗を $R = 10$ [Ω] としたとき、電流 I_1 と電流 I_2 を求めよ。また、図 1 の破線部に示す回路で消費される電力(有効電力)と無効電力を求めよ。
- (4) スイッチ S を閉じて、回路の消費電力が最大となるように可変抵抗 R を調整した。このとき、可変抵抗 R の値と回路の消費電力を求めよ。

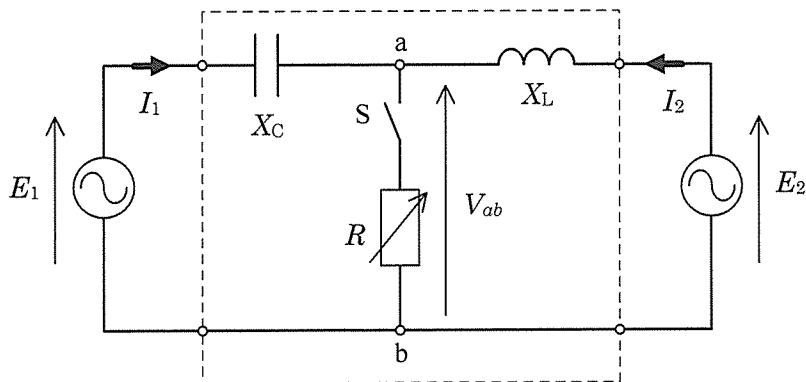


図 1

II 図2に示す，電圧 E [V]の直流電圧源，スイッチ S_0, S_1 ，抵抗 R_1, R_2 [Ω]の抵抗器，静電容量 C_1, C_2 [F]のコンデンサから構成される回路について，次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

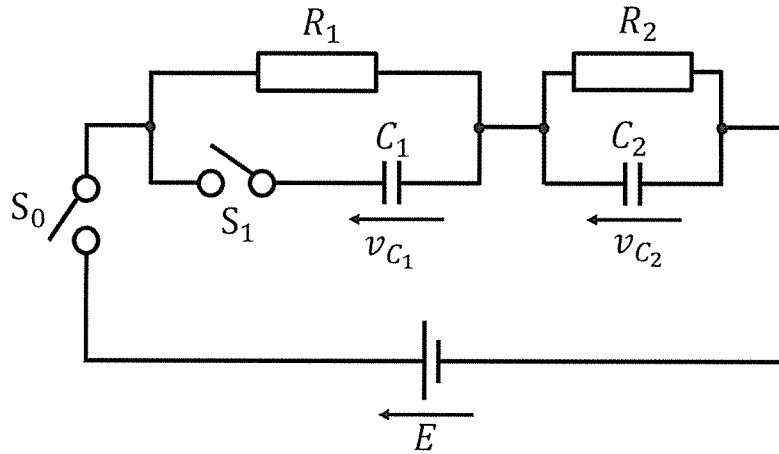


図2

【状態1】スイッチ S_0 を閉じて，スイッチ S_1 は開放されている回路が定常状態にある。時刻 $t = 0$ でスイッチ S_0 を開いた。

- (1) 静電容量 C_2 のコンデンサの電圧 $v_{C_2}(t)$ を求めよ。
- (2) 抵抗 R_2 の抵抗器で消費される電力 $p_{R_2}(t)$ を求めよ。

【状態2】スイッチ S_0 は開放，スイッチ S_1 は閉じている回路が定常状態にある。時刻 $t = 0$ でスイッチ S_0 を閉じた。

(3) 時刻 $t = 0$ でスイッチ S_0 を閉じたときの静電容量 C_1, C_2 のコンデンサのそれぞれの電圧 $v_{C_1}(0), v_{C_2}(0)$ ，および十分に時間がたった時刻 $t = \infty$ における静電容量 C_1, C_2 のコンデンサのそれぞれの電圧 $v_{C_1}(\infty), v_{C_2}(\infty)$ を求めよ。

(4) 静電容量 C_1, C_2 のコンデンサの電荷を $q_1(t), q_2(t)$ とするととき， $q(t) = q_1(t) - q_2(t)$ を求めよ。

但し，係数 $A = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 (C_1 + C_2)}$ ， $B = \frac{C_1 R_1 - C_2 R_2}{R_1 + R_2}$ を用いて表せ。

(5) $q(t) = 0$ になる条件を抵抗 R_1, R_2 および静電容量 C_1, C_2 を用いて示せ。

問題 21 電磁気学 設問すべてについて解答すること。

- I 真空中に置かれた半径 R ，誘電率 ϵ の球に，体積電荷密度 ρ で自由電荷（真電荷）が一様に分布していると仮定する。真空の誘電率は ϵ_0 である。
- (1) 球の中心 O から距離 r における電界強度を， $r > R$ 及び $r < R$ についてそれぞれ求めよ。
 - (2) 球の中心 O から距離 r における電位を， $r > R$ 及び $r < R$ についてそれぞれ求めよ。なお， $r = \infty$ での電位は 0 とする。
 - (3) 横軸を r ，縦軸を電界強度とし，電界強度の r に対する概形を描け。このとき，球と真空の境界面 ($r = R$) での電界強度について，境界条件を用いて説明せよ。
 - (4) 真空中に置かれた半径 R の球の誘電率を ϵ_0 とする。図 1 に示すように，球体の内部に半径 a ($a < R - s$) の球形の空洞（誘電率 ϵ_0 ）があげられ，空洞以外の球体の部分に体積電荷密度 ρ で自由電荷が一様に分布していると仮定する。ここで， s は空洞の中心 O' と球体の中心 O との間の距離である。空洞の中心 O' における電界強度を求めよ。

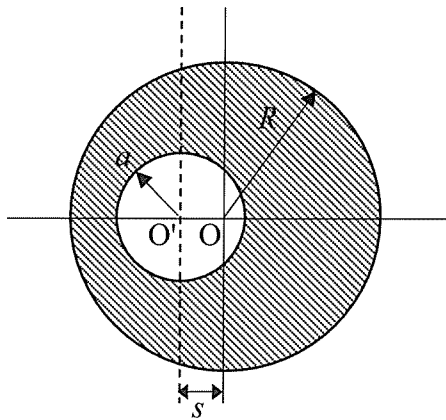


図 1

II 図2に示すように、原点 O を中心として太さの無視できる半径 a の1回巻き円形コイルが xy 平面に置かれており、電流 I が流れている。透磁率を μ_0 として、次の問いに答えよ。

- (1) 円形コイル上の微小幅 ds の電流素片が点 $P(0, 0, z)$ につくる微小磁束密度 $d\mathbf{B}$ の大きさおよび z 成分 dB_z を求めよ。
- (2) 円形電流 I によって点 P に生じる磁束密度 \mathbf{B} を求めよ。また、円形コイルの中心 O に生じる磁束密度 \mathbf{B}_0 の大きさを示せ。

図3のように円形コイルを多数つなげたものはソレノイドと呼ばれ、無限に長いソレノイドの中心軸上の磁束密度は、各円形コイルによる磁束密度を重ね合わせたものと考えることができる。図3の無限長ソレノイドの中心軸は z 軸に一致しており、半径は a 、単位長さ当たりの巻き数は n である。このソレノイドに電流 I が流れているとき、ソレノイド内の透磁率を μ_0 として、次の問いに答えよ。

- (3) z 軸上の点 O から距離 z にある点 P から微小幅 Δz 内にある円形コイルの数を求めよ。また、これらのコイルが点 O につくる磁束密度 $d\mathbf{B}$ の大きさを求めよ。ただし、 Δz 内にある円形コイルは全て同じ磁束密度をつくるものとする。
- (4) (3) の $d\mathbf{B}$ について、 z を Δz ずつ変化させた際の $d\mathbf{B}$ の足し合わせを考え、これを積分とみなすことにより、中心軸上の点 O における磁束密度 \mathbf{B} を求めることができる。 \mathbf{B} の大きさを求めよ。
- (5) ソレノイド内に、図に示したように点 O が円形コイルの中心となるように、太さの無視できる半径 b 、 N 回巻きの円形コイルを中心軸同士のなす角が θ となるように設置した。ソレノイドとコイルとの間の相互インダクタンス M を求めよ。

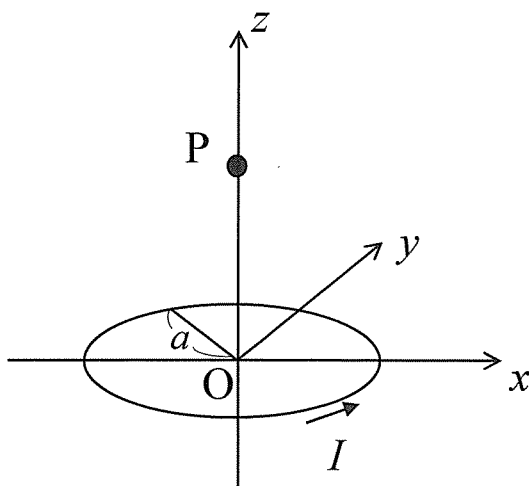


図2

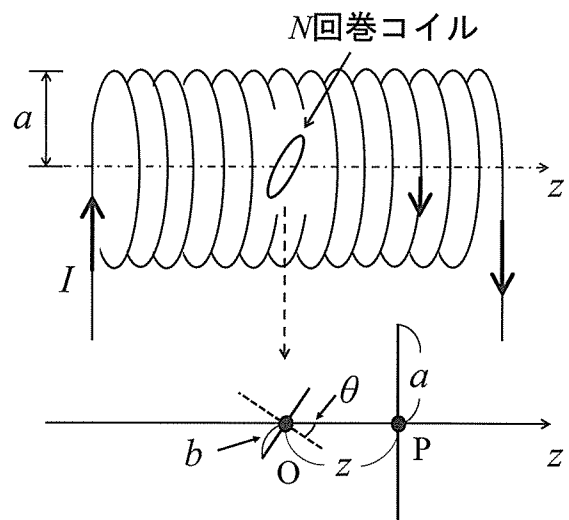


図3

問題 22 電子回路 設問すべてについて解答すること。

図1の回路を考える。トランジスタ Tr_1 , Tr_2 の特性は同一であるとし、それらは h パラメータ h_{ie} , h_{fe} , h_{re} , h_{oe} で特徴づけられるものとする。ただし、 h_{re} , h_{oe} は十分に小さく、無視できるものとする。それぞれのトランジスタのコレクタ側に接続された抵抗 R_C の値は同一であるとする。

直流電源 V_{CC} , V_{EE} によりこの回路は線形動作しており、小信号等価回路で表現できるものとする。 i_{B1} , i_{B2} はそれぞれ Tr_1 , Tr_2 のベースに流れ込む小信号成分の電流、 i_{C1} , i_{C2} はそれぞれ Tr_1 , Tr_2 のコレクタに流れ込む小信号成分の電流である。 v_E は Tr_1 , Tr_2 の小信号成分のエミッタ電位である。2個の入力端子の小信号成分の電圧を v_{in1} , v_{in2} , 2個の出力端子の小信号成分の電圧を v_{out1} , v_{out2} とする。 v_{in1} , v_{in2} , v_{out1} , v_{out2} は全てグラウンドに対する電圧である。

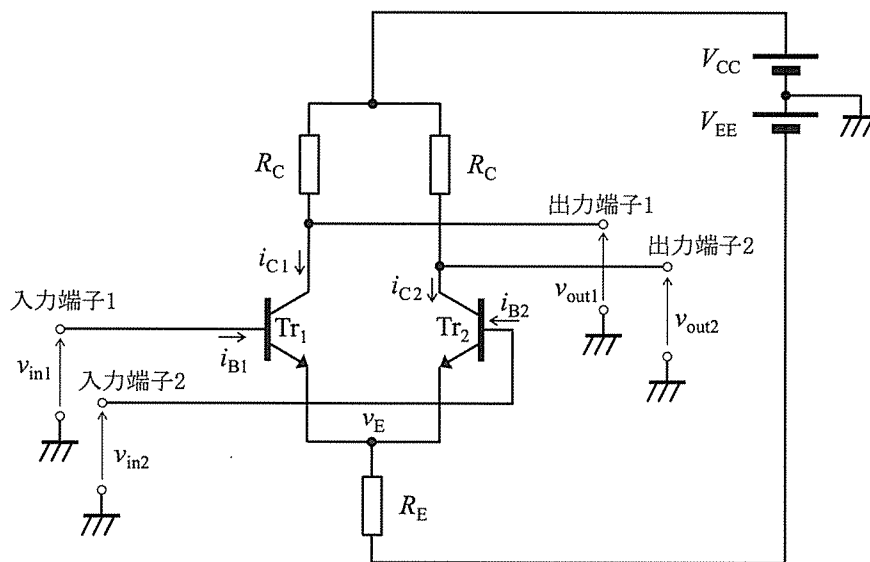


図1

A 以下の問いに答えよ。

- (1) i_{B1} を, v_{in1} , v_E , h_{ie} を用いて表せ。
- (2) i_{C1} を, v_{in1} , v_E , h_{ie} , h_{fe} を用いて表せ。

B 以下の問題(3)～(6)において、 h_{fe} は十分に大きく、 $1 + h_{fe} \approx h_{fe}$ が成立するものとする。

- (3) v_E を, i_{B1} , i_{B2} , h_{fe} , R_E を用いて表せ。

C 以下の問題(4)～(6)に、 h_{ie} , h_{fe} , R_C , R_E のうち必要な記号を用いて解答せよ。

- (4) 入力端子2をグラウンドに接続したとき、入力端子1に対する出力端子2の電圧増幅率 $A_{21} = v_{out2}/v_{in1}$ を求めよ。
- (5) 差動入力電圧を v_{Din} と定義する。入力端子1に $v_{in1} = v_{Din}$, 入力端子2に $v_{in2} = -v_{Din}$ を印加する。このとき、差動入力電圧に対する出力端子2の電圧増幅率 $A_{2D} = v_{out2}/v_{Din}$ を求めよ。
- (6) 同相入力電圧を v_{Cin} と定義する。入力端子1と入力端子2に $v_{in1} = v_{in2} = v_{Cin}$ を印加する。このとき、同相入力電圧に対する出力端子2の電圧増幅率 $A_{2C} = v_{out2}/v_{Cin}$ を求めよ。