

2020 年度（令和 2 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 電気電子分野）

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。

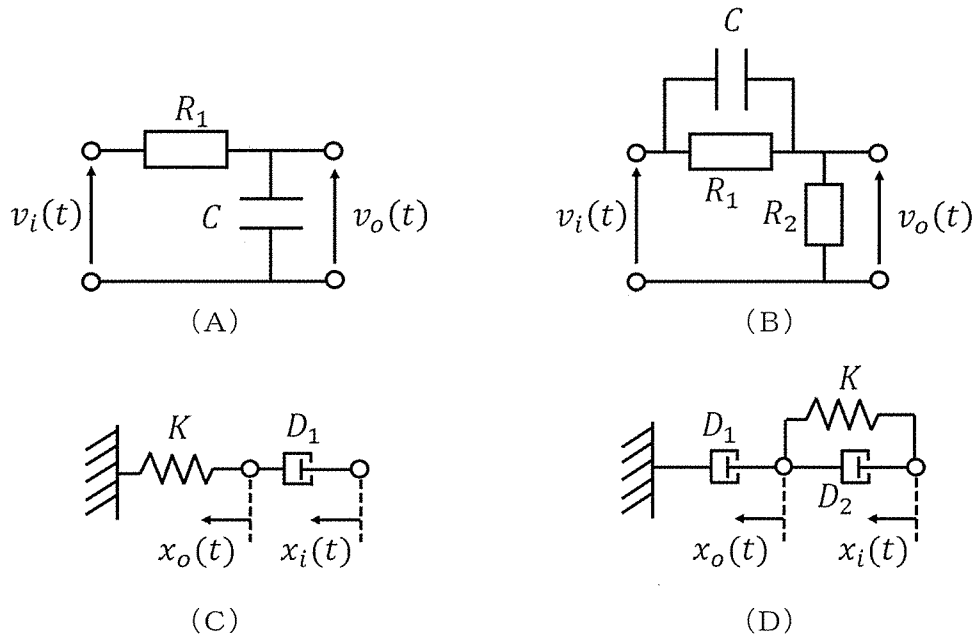
問題番号	出題科目
18	制御工学
19	電気回路
20	電磁気学
21	電子回路

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 18 制御工学 設問すべてについて解答すること。

I 次の (1), (2) の問いについて答えよ。

- (1) (A) ~ (D) に示す電気回路および直線運動系において、入力から出力までの伝達関数をそれぞれ求めよ。図中、 R_1 , R_2 は抵抗値、 C は静電容量、 $v_i(t)$ は入力電圧、 $v_o(t)$ は出力電圧、 K はバネ定数、 D_1 , D_2 は粘性減衰係数 (粘性抵抗係数)、 $x_i(t)$ は入力変位、 $x_o(t)$ は出力変位である。



- (2) (A) ~ (D) の伝達関数に該当するゲイン線図 (折れ線近似) を図 1 中 (I) ~ (VI) から選択せよ。なお、縦軸はゲインで目盛りの間隔は 20 dB, 横軸は角周波数で目盛りの間隔は 1 デカード (decade) である。該当するものがない場合は該当なしと記入すること。

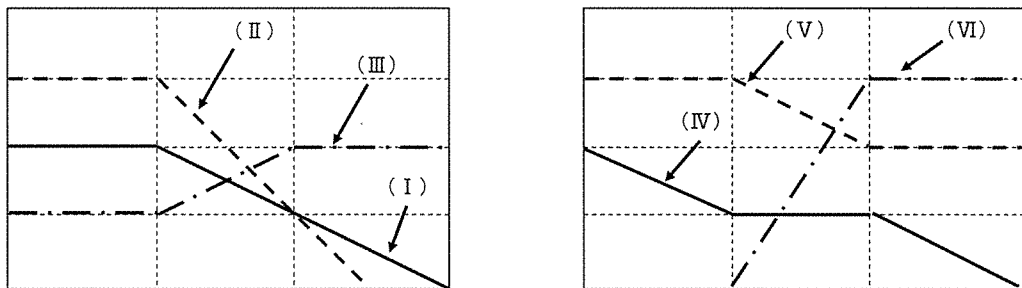


図 1

II 図2のフィードバック制御系において、次の(1)～(4)の問いについて答えよ。

- (1) $G(s) = 1$, $K = 1$ とする。 $r(t) = 0$, $d(t) = \sin t$ ($t \geq 0$) が加わった時の $y(t)$ の定常応答を求めよ。
- (2) $G(s) = 1$, $K = 1$ とする。 $r(t) = t$ ($t \geq 0$), $d(t) = 0$ が加わった時の定常偏差 $e(t)$ を求めよ。
- (3) $G(s) = \frac{1}{s+1}$, $K = 1$ とする。一巡伝達関数の位相交差角周波数 [rad/s] を求めよ。
- (4) $G(s) = \frac{1}{s+1}$ とする。安定限界となる K の値を求めよ。

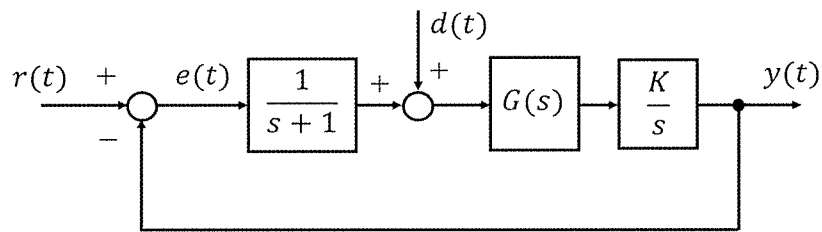


図2

問題 19 電気回路 設問すべてについて解答すること。

I 図 1 に示すように、ふたつの交流電圧源 E_A および E_B 、抵抗器（抵抗 R ）およびインダクタ（リアクタンス X ）が直列接続された回路がある。 E_A および E_B の大きさは、それぞれ $|E_A|$ および $|E_B|$ であり、 E_B は E_A より位相が θ ($0 < \theta \leq \pi$) 遅れている。 $E_A = |E_A|$ として、(1) ～ (5) の問いについて答えよ。

- (1) E_B を $|E_B|$ および θ を用いて表せ。
- (2) 回路に流れる電流 I を $|E_A|$ 、 $|E_B|$ 、 θ 、 R および X を用いて表せ。
- (3) 抵抗 R で消費される電力 P を求めよ。
- (4) 抵抗 R で消費される電力 P を最小とする θ およびそのときの電力 P_{min} を求めよ。
- (5) 交流電圧源 E_A の無効電力が零となるとき、 $\frac{|E_A|}{|E_B|}$ を θ 、 R および X を用いて表せ。

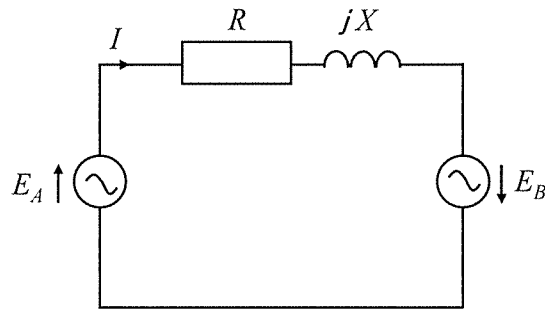


図 1

Ⅱ 図2の回路は、直流電圧源 $V_{DC}=10\text{ V}$ 、交流電圧源 e_s 、抵抗 $R=10\ \Omega$ 、キャパシタ $C=100\ \mu\text{F}$ 、インダクタ $L=10\text{ mH}$ 、スイッチ S_1 、 S_2 から構成されている。ただし、自然対数の底 e の指数関数 $e^x = \exp(x)$ において、 $\exp(-0.5)=0.61$ 、 $\exp(-1)=0.37$ 、 $\exp(-3)=0.05$ とする。次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

- (1) スイッチ S_1 、 S_2 が共に開放され、キャパシタ C の初期電圧 $v_c(0) = 0\text{ V}$ である。時刻 $t=0\text{ s}$ でスイッチ S_1 を端子 a に接続したときのキャパシタ C の電流 $i_c(t)$ 、電圧 $v_c(t)$ の式を導出せよ。また、図3のグラフを解答用紙に写し、電流 $i_c(t)$ 、電圧 $v_c(t)$ の波形を記入せよ。このとき、縦軸の目盛も記入しなさい。
- (2) スイッチ S_1 が端子 a に接続され、スイッチ S_2 が開放されている。十分時間が経った後、時刻 $t=0\text{ s}$ でスイッチ S_1 を端子 a から端子 b に切り替える。このときのキャパシタ C の電流 $i_c(t)$ の式を導出せよ。また、図4のグラフを解答用紙に写し、電流 $i_c(t)$ の波形を記入せよ。このとき、縦軸と横軸の目盛も記入しなさい。
- (3) スイッチ S_1 が端子 b に接続され、スイッチ S_2 が開放されている。問(2)で求めた電流 $i_c(t)$ が流れているときに、スイッチ S_2 を閉じる。このとき、交流電圧源 e_s から流れる電流は $i_e(t) = 0\text{ A}$ であった。交流電圧源を $e_s(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \varphi)$ としたときの E 、 ω 、 φ を求めよ。

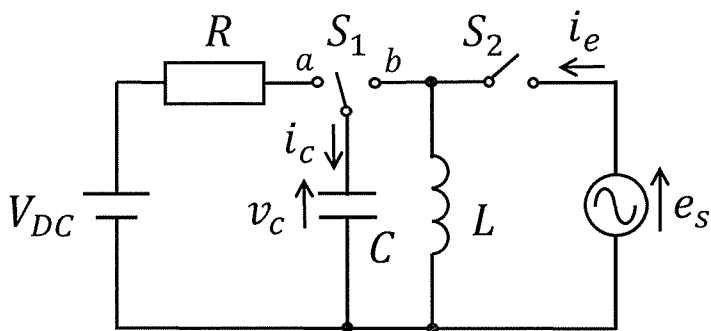


図 2

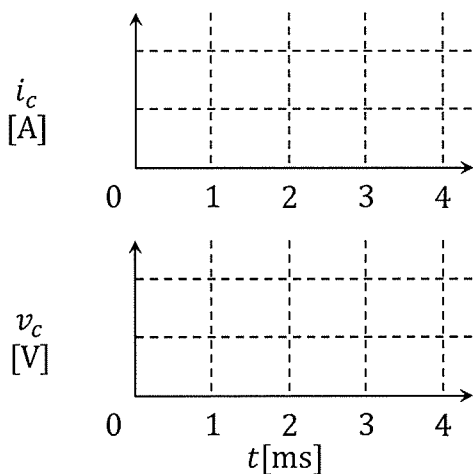


図 3

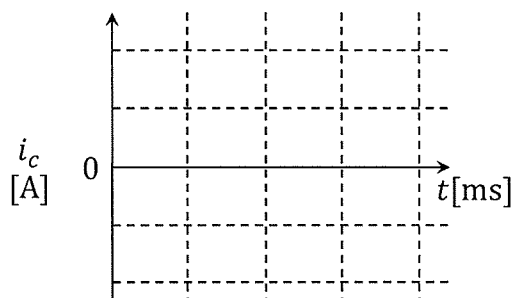


図 4

問題 20 電磁気学 設問すべてについて解答すること。

- I 図1に示すように、原点 O を中心とし、半径 a の内導体球#1 と、内半径 b 、外半径 c の外導体球殻#2 から構成される2導体系が真空中にある。真空の誘電率は ϵ_0 、無限遠の電位は0とする。

内導体球#1 にのみ単位電荷を与えたとき、 r を原点 O からの距離とし、

- (1) $r < a$, $a < r < b$, $b < r < c$, $r > c$ 各領域の電界 $E(r)$ を求めよ。
- (2) 外導体球殻#2 の電位 p_{21} を求めよ。
- (3) 内導体球#1 の電位 p_{11} を求めよ。

外導体球殻#2 にのみ単位電荷を与えたとき、

- (4) $r < a$, $a < r < b$, $b < r < c$, $r > c$ 各領域の電界 $E(r)$ を求めよ。
- (5) 外導体球殻#2 の電位 p_{22} を求めよ。
- (6) 内導体球#1 の電位 p_{12} を求めよ。

内導体球#1 と外導体球殻#2 の電荷をそれぞれ Q_1 , Q_2 、電位をそれぞれ V_1 , V_2 とする。

- (7) V_1 , V_2 と Q_1 , Q_2 間の関係を p_{11} , p_{12} , p_{21} , p_{22} を用いて表せ。
- (8) この内導体球#1 と外導体球殻#2 からなる2導体系が球形コンデンサを形成する。コンデンサの容量を p_{11} , p_{12} , p_{21} , p_{22} を用いて表せ。

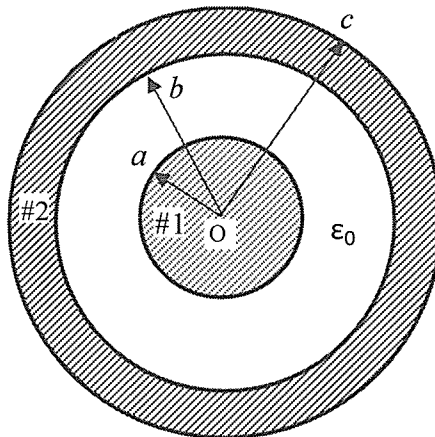


図 1

II 図2のように、断面半径 a 、長さ $2l$ の2本の円筒導体 C_1 、 C_2 が、真空中、間隔 d で平行におかれている。導体 C_1 の中心軸を z 軸とし、両導体とも $z = -l$ から $z = l$ に位置している。また、 C_1 から C_2 への垂直方向を x 軸とする。この導体 C_1 と C_2 に、それぞれ電流 I_1 、 I_2 が $+z$ 軸方向に流れている。真空の透磁率を μ_0 とし、 x 軸、 y 軸、 z 軸の単位ベクトルをそれぞれ \mathbf{a}_x 、 \mathbf{a}_y 、 \mathbf{a}_z とし、以下の問いに答えよ。

[A] 導体 C_1 と C_2 に流れる電流が $I_1 = I$ 、 $I_2 = -I$ (往復電流) である場合を考える。 $2l \gg d \gg a$ で、両導体の長さが無限長であるとして、次の (1) ~ (2) の問いに答えよ。

(1) 両導体間 ($a \leq x \leq d - a$) の磁界ベクトル \mathbf{H} を x の関数で示せ。

(2) 単位長当たりの両導体間を通過する磁束 Φ を求めよ。

[B] 図2に描かれているように、有限長導体 C_1 と C_2 にそれぞれ電流 I_1 、 I_2 が共に $+z$ 軸方向に流れている場合を考える。両導体の太さを無視できるものとして、次の (3) ~ (4) の問いに答えよ。

(3) 導体 C_1 の電流 I_1 によって導体 C_2 の中心軸上の任意の点 $(d, 0, z)$ につくられる磁界ベクトル \mathbf{H}_1 が次式で表されることを示せ。

$$\mathbf{H}_1 = \frac{I_1}{4\pi d} \left[\frac{l-z}{\sqrt{(l-z)^2 + d^2}} + \frac{l+z}{\sqrt{(l+z)^2 + d^2}} \right] \mathbf{a}_y$$

(4) 磁界 \mathbf{H}_1 によって導体 C_2 に働く電磁力ベクトル \mathbf{F} を求めよ。

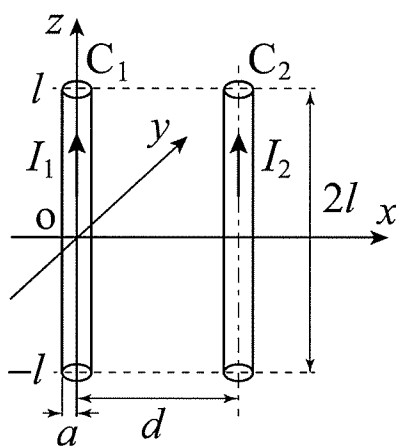


図2

問題 21 電子回路 設問すべてについて解答すること。

トランジスタを用いたエミッタ接地回路における電流 i_1, i_2 および電圧 v_1, v_2 を図 1 のように定義する。また、図 1 で用いたものと同じトランジスタで、図 2 のコレクタ接地回路および図 3 のベース接地回路を作り、図 2 および図 3 のように電流 i_1', i_2', i_1'', i_2'' および電圧 v_1', v_2', v_1'', v_2'' を定義する。これらの回路の h パラメータは相互に変換可能である。なお、図中 V_{BE} はトランジスタのベース－エミッタ間電圧、 V_{CE} はコレクタ－エミッタ間電圧を表し、エミッタ接地回路においては $v_1 = V_{BE}$ 、 $v_2 = V_{CE}$ となる。

A. コレクタ接地回路の電流・電圧を、エミッタ接地回路における電流・電圧により表す。

- (1) v_1' および v_2' を v_1, v_2 を用いて表わせ。
- (2) i_1' および i_2' を i_1, i_2 を用いて表わせ。

B. h パラメータを用いて、下記のようにエミッタ接地回路の電流・電圧の関係を与える。

$$v_1 = h_{ie} i_1 + h_{re} v_2$$

$$i_2 = h_{fe} i_1 + h_{oe} v_2$$

同様に、コレクタ接地回路においても下記のように h パラメータにより電流・電圧の関係を与えることができる。

$$v_1' = h_{ic} i_1' + h_{rc} v_2'$$

$$i_2' = h_{fc} i_1' + h_{oc} v_2'$$

- (3) コレクタ接地回路の h パラメータ h_{ic}, h_{rc}, h_{fc} および h_{oc} を、エミッタ接地回路の h パラメータ $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$ を用いて表わせ。

C. ベース接地回路において、 h パラメータにより電流・電圧の関係を下記のように与える。

$$v_1'' = h_{ib} i_1'' + h_{rb} v_2''$$

$$i_2'' = h_{fb} i_1'' + h_{ob} v_2''$$

- (4) ベース接地回路の h パラメータ h_{ib}, h_{rb}, h_{fb} および h_{ob} を、エミッタ接地回路の h パラメータ $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$ を用いて表わせ。

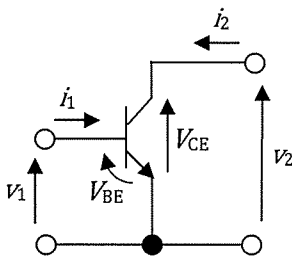


図 1

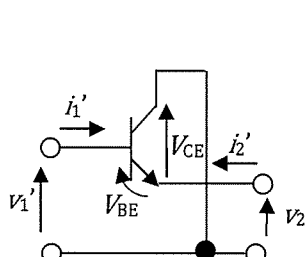


図 2

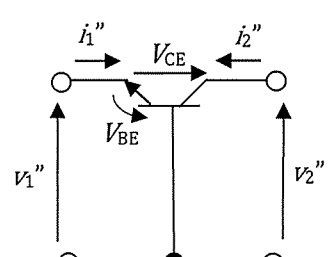


図 3