2021 年度（令和 3 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
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　図１に示す質量－バネ－ダッシュポット（ダンパ）系において，質量をM，バネ定数をK，粘性減衰係数（粘性抵抗係数）をDとする。ただし運動は一直線上に拘束されているものとする。壁は固定されており，動かないものとする。外力 $f(t)$ から出力変位 $y(t)$ までの伝達関数を求めよ。

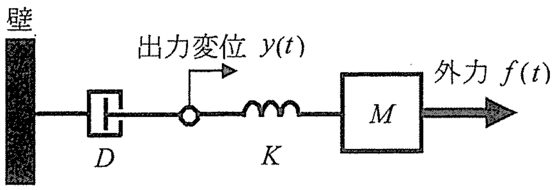

図１

Ⅱ　次の伝達関数$P(s)$で表される２次系を考える。ただし，α, β, γ は正の実数である。

$$P(s)=\frac{\gamma}{s^2+\alpha s+\beta}$$

次の（１）～（２）の問いについて答えよ。

（１）　表１は，この２次系に，入力としていくつかの角周波数ω の正弦波信号を加えたときの，システムのゲインと位相を調べたものである。表からα, β, γ の値を求め，それを基に２次系の伝達関数$P(s)$のゲイン定数Kと減衰係数ζと固有角周波数ω_nの値を求めよ。

表１

角周波数　ω [rad/sec]	0	4	∞
ゲイン　[dB]	0	0	−∞
位相　[°]	0	−90	−180

（２）　図２のフィードバック制御系を考える。$r(t)=1\ (t\geq 0)$が加わったときの$y(t)$の応答が次式と一致するようなコントローラの係数(k_0,k_1,k_2)の値を，α, β, γ を用いて表せ。

$$y(t)=1-2e^{-t}+e^{-2t}\quad (t\geq 0)$$

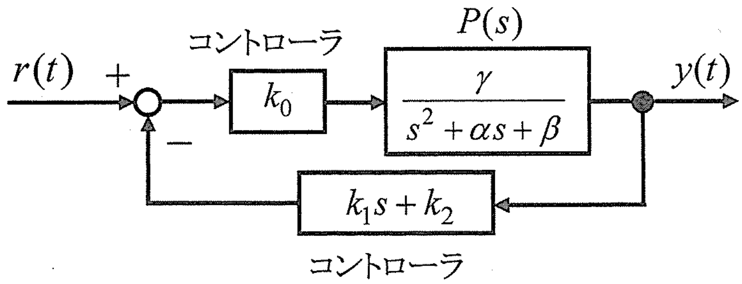

図２

Ⅲ　ある伝達関数$G(s)$で表現されるシステムのインパルス応答$g(t)$が

$$g(t) = 2e^{-2t} \quad (t \geq 0)$$

となった。このシステムの伝達関数$G(s)$を答えよ。また，このシステムのステップ応答$y(t)$を計算せよ。

Ⅳ　次の（1）～（2）の問いについて答えよ。

（1）　図3のフィードバック制御系を等価変換すると図4となる。このとき，$L(s)$を$G(s)$と$F(s)$を用いて表せ。

（2）　図4のフィードバック制御系において，$d(t)=0$，$G(s)H(s)=\frac{K}{0.2s^3+1.2s^2+s}$（$K$は正の実数）とする。ゲイン$K$を0から∞に変化させたときの閉ループ伝達関数の極は，$G(s)H(s)$の極（図5中の×）から出発し，図5の矢印の方向に推移した。図5において，2個の極が虚軸と交差するとき（図5中の●）のKの値を求めよ。

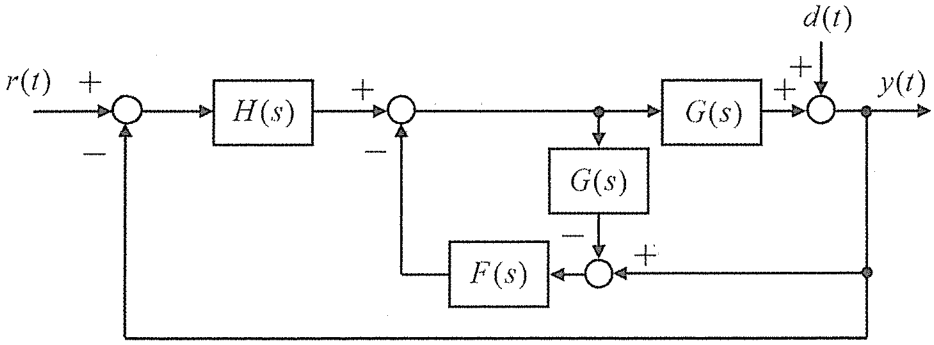

図3

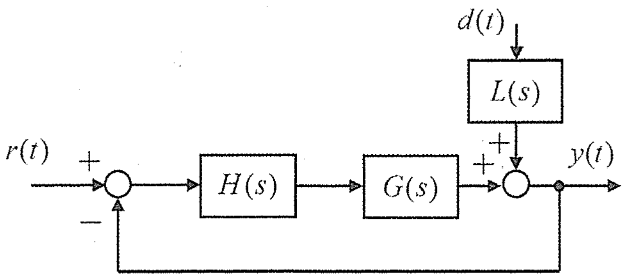

図4

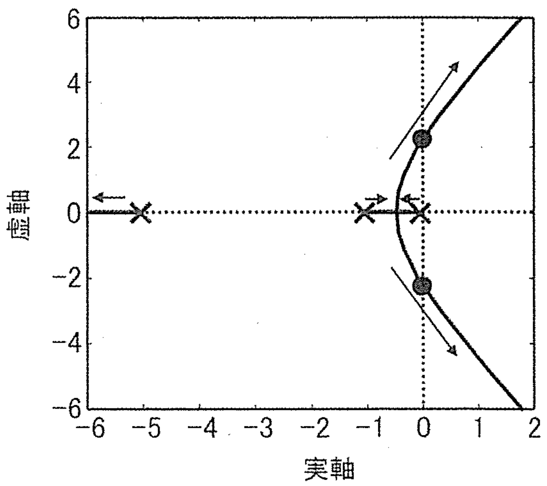

図5

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 は，実効値 100[V]，角周波数 ω の交流電圧源 E，および，抵抗，コイルとコンデンサで構成される回路である。抵抗 $R_1=40[\Omega]$，$R_2=20[\Omega]$，$R_3=10[\Omega]$，$R_4=4[\Omega]$，コイルのインダクタンス $L=40[\mathrm{mH}]$，コンデンサの静電容量 $C=50[\mu\mathrm{F}]$とする。次の（1）～（4）の問いについて単位を付けて答えよ。ただし，解答に根号が含まれる場合には，根号のままでよい。

（1）スイッチ S が開かれていて定常状態にあるとする。電源の角周波数 $\omega=1000[\mathrm{rad/s}]$のとき，電源から供給される有効電力，無効電力を求めよ。

（2）スイッチ S が開かれていて定常状態にあるとする。電源の角周波数 $\omega=1000[\mathrm{rad/s}]$のとき，点 c-d 間の電圧 V_{cd} を求めよ。

（3）次に，スイッチ S を閉じて定常状態にあるとする。電源の角周波数 $\omega=1000[\mathrm{rad/s}]$のとき，抵抗 R_4 に流れる電流を求めよ。ただし，点 c から点 d に向かって流れる方向を正とする。

（4）再び，スイッチ S を開いているとき，端子 a-b から右側を見たときの力率が 1 となる角周波数 ω を求めよ。

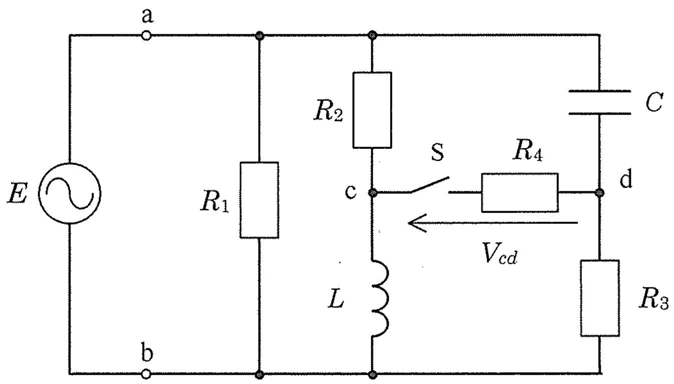

図 1

II　図２に示す直流電圧源 E [V]，抵抗器（抵抗 R [Ω]），コイル（インダクタンス L [H]），コンデンサ（静電容量 C [F]），スイッチ S_1，S_2 から構成される回路について，次の（１）～（４）の問いについて答えよ。

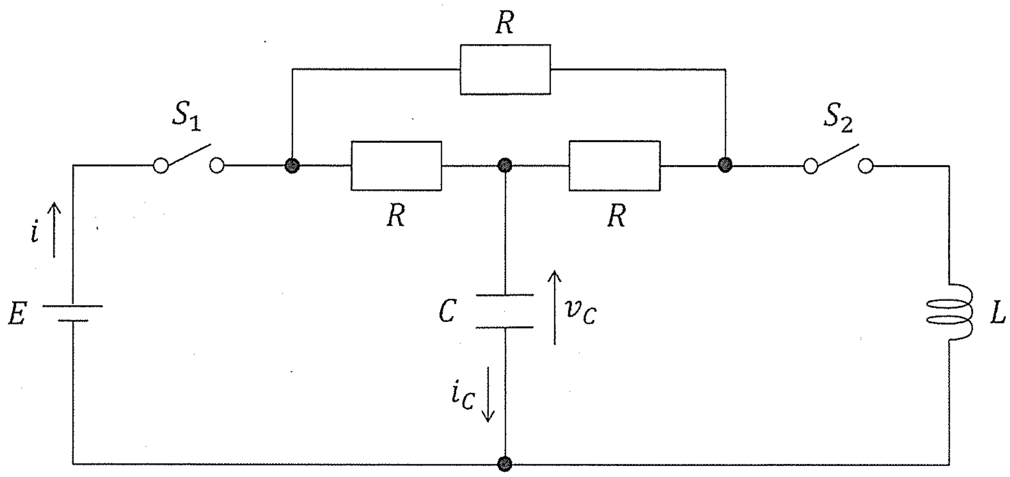

図２

【条件１】スイッチ S_1，S_2 を開いて定常状態にある回路に対し，時刻 $t=0$ でスイッチ S_1 を閉じた。ただし，コンデンサの初期電圧は $E/3$ [V]である。

（１）コンデンサに流れる電流 $i_C(t)$ を求めよ。

（２）コンデンサの電圧 $v_C(t)$ が $2E/3$ [V]になる時間 T [s]を求めよ。

（３）回路が定常状態になるまでに回路で消費されるエネルギー W [J]を求めよ。

【条件２】スイッチ S_1 は開いて，スイッチ S_2 は閉じている回路が定常状態にある。この回路に対し，時刻 $t=0$ でスイッチ S_1 を閉じた。

（４）電源を流れる電流 $i(t)$ が時間によらず一定となる抵抗 R をインダクタンス L と静電容量 C を用いて表せ。

問題 20　電磁気学　設問すべてについて解答すること。

I　自由空間中に，y 方向，z 方向ともに長さ L の正方形の形状をした２枚の完全導体の電極板が，yz 平面に平行に，x 方向へ d だけ隔てて置かれている。両電極板には，スイッチ S と，電圧 V_0 の直流電源 V が直列に接続されている。この電極板間と同一形状の容器を挿入し，この容器に比誘電率 ε_r の液状誘電体を注ぐ。以下の設問（１）－（５）に答えよ。ただし，自由空間の誘電率を ε_0 とし，容器の厚さとその電気特性，および，電極板の端部効果の影響は無視する。

図１に示すように，容器が空の状態でスイッチ S を導通させて，十分に時間がたった後に，スイッチ S を開放した。その後，図２に示すように，電極板間が埋まるまで液状誘電体をゆっくりと満たしていく。誘電体の液面の高さを z とする。

（１）電極板間の静電容量 C_1 を，z の関数 $C_1(z)$ で表せ。

（２）電極板間に誘電体が含まれる部分と中空の部分それぞれにおける，電極表面の電荷面密度 σ_ε と σ_0 を，z の関数 $\sigma_\varepsilon(z), \sigma_0(z)$ で表せ。

容器が完全に誘電体で充填された後，スイッチ S を導通させて，十分に時間がたった後，図３に示すように，スイッチ S を導通させたまま，片方の電極を容器からゆっくり遠ざける。誘電体から電極までの距離を x とする。

（３）電極板間の静電容量 C_2 を，x の関数 $C_2(x)$ で表せ。

（４）電極板間の誘電体内部および中空それぞれにおける，電界の大きさ E_ε，E_0 を，x の関数 $E_\varepsilon(x)$, $E_0(x)$ で表せ。

（５）電極板間に蓄えられる電気エネルギー W_2 を，x の関数 $W_2(x)$ で表せ。

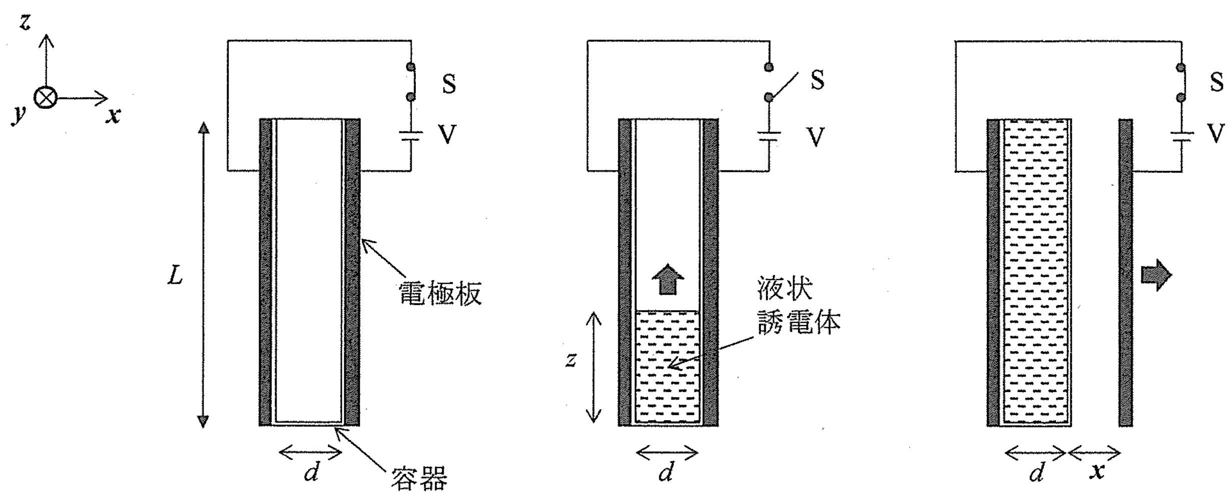

図１　　図２　　図３

II　以下の設問（1）～（4）について答えよ。

（1）　図４のように，直線導体に電流 I が $+z$ 方向に流れている。この導体の部分 AB を流れている電流のみにより，直線から距離 r だけ離れた点 P に生じる磁界の大きさ H_1 が，以下の式で与えられることを示せ。ただし，$\angle \mathrm{PAB}=\theta_1$，　$\angle \mathrm{PBA}=\theta_2$ とする。

$$H_1 = \frac{I}{4\pi r}(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)$$

（2）　図４において，線分 AB が十分に長いとみなせる場合，導体から距離 r だけ離れた点 P に生じる磁界の大きさ H_2 を求めよ。

（3）　図５に示すように，中心軸を同じくする２つの導体からなる同軸線路がある。内導体の半径を a，外導体の内径を b，外径を c とする。電流 I が，それぞれの導体に互いに逆向きに，かつそれぞれの導体断面を一様に流れるものとする。このとき，内導体の中心から r の距離における磁界の大きさ H_3 $(r \le a)$ ，H_4 $(a < r \le b)$，H_5 $(b < r \le c)$，H_6 $(r > c)$ を求めよ。

（4）　図５において，電流 I が，それぞれの導体に互いに逆向きに，かつそれぞれの導体の表面のみを一様に流れるものとする。このとき，同軸線路の単位長さ当たりの自己インダクタンス L を求めよ。ただし，内導体と外導体の間の透磁率を μ_0 とする。

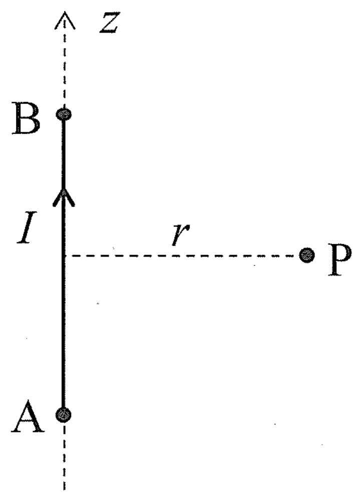

図４

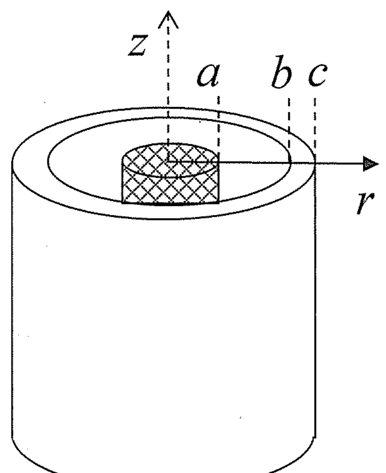

図５

問題 21　電子回路　設問すべてについて解答すること。

図 1 の回路はカレントミラー回路と呼ばれ，定電流 I_L を負荷 R_L に流す回路である。トランジスタ Tr_1, Tr_2, Tr_3 の特性は同一であるとし，それらはベース-エミッタ間電圧 V_{BE} と電流増幅率 h_{fe} のみで特徴づけられるものとする。また，$R_L < R_1$ とする。A, B は節点の名称である。

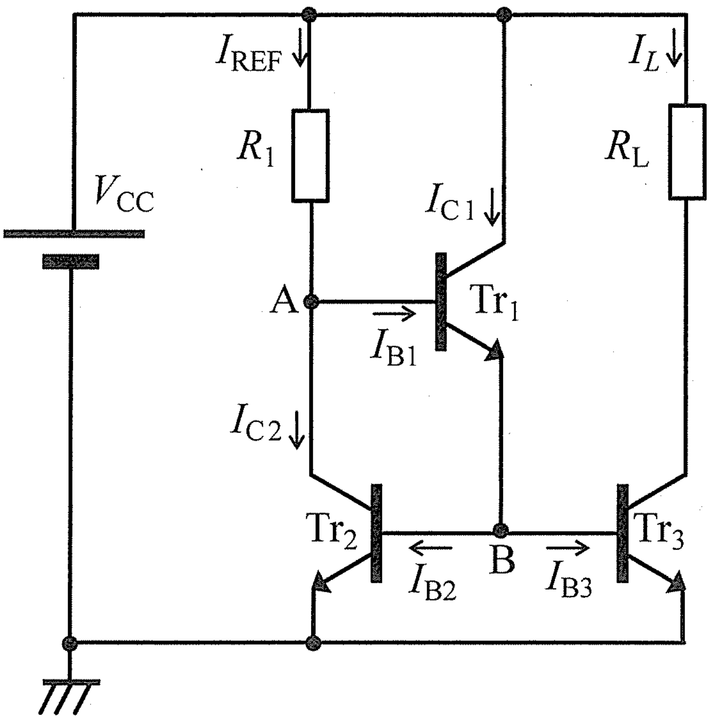

図 1

（1）I_L を，I_{B3} と h_{fe} を用いて表せ。

（2）節点 A における節点方程式を，I_{REF}，I_{B1}，I_{C2} を用いて表せ。

（3）節点 B における節点方程式を，I_{B1}，I_{B2}，I_{B3}，h_{fe} を用いて表せ。

（4）I_{REF} を V_{CC}，R_1，V_{BE} を用いて表せ。

（5）I_L を I_{REF} と h_{fe} を用いて表せ。