2024年度（令和6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。<u>1題につき解答用紙1枚を使用して</u>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　入力を $u(t)$，出力を $y(t)$ とする，あるシステムの時刻 $t \geq 0$ における微分方程式は次式で表せる。ただし，L は正の実数である。このシステムの伝達関数 $G(s)$ を答えよ。

$$\dot{y}(t) + y(t) = u(t-L), \qquad y(0) = 0$$

Ⅱ　図１のフィードバック制御系において，次の（１）～（４）の問いに答えよ。ただし，K と T は実数であり，t は時刻である。

（１）　入力を $r(t)$，出力を $y(t)$ とした伝達関数 $G_{yr}(s)$ と，入力を $r(t)$，出力を $u(t)$ とした伝達関数 $G_{ur}(s)$ をそれぞれ求めよ。

（２）　図１のフィードバック制御系が安定となる K と T の範囲を求めよ。

（３）　$T=0$，$K=12$, $r(t)=\sin 2t$ としたときの定常応答が $y(t)=A\sin(\omega t+\phi)$ となった。A，ω，ϕ をそれぞれ求めよ。

（４）　K と T は図１のフィードバック制御系が安定となる範囲とし，$r(t)$ として以下の信号を入力した。

$$r(t) = \begin{cases} 5t & (0 \leq t \leq 2) \\ 10 & (2 < t) \end{cases}$$

$r(t)$ をラプラス変換せよ。さらに，$y(t)$ の定常値を求めよ。

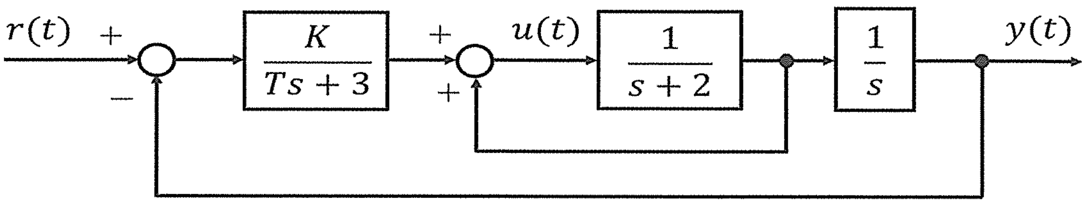

図１

Ⅲ　伝達関数 $G(s)$ は，極を3つ，零点を1つ持つとする。ただし，極および零点はすべて非正の実数であり，極零相殺は存在しないものとする。このとき，伝達関数 $G(s)$ のゲイン線図（折れ線近似）として不適当なものを図２の①〜⑥から2つ選択せよ。なお，横軸は対数目盛であり，図示されていない折れ点周波数は存在しないものとする。

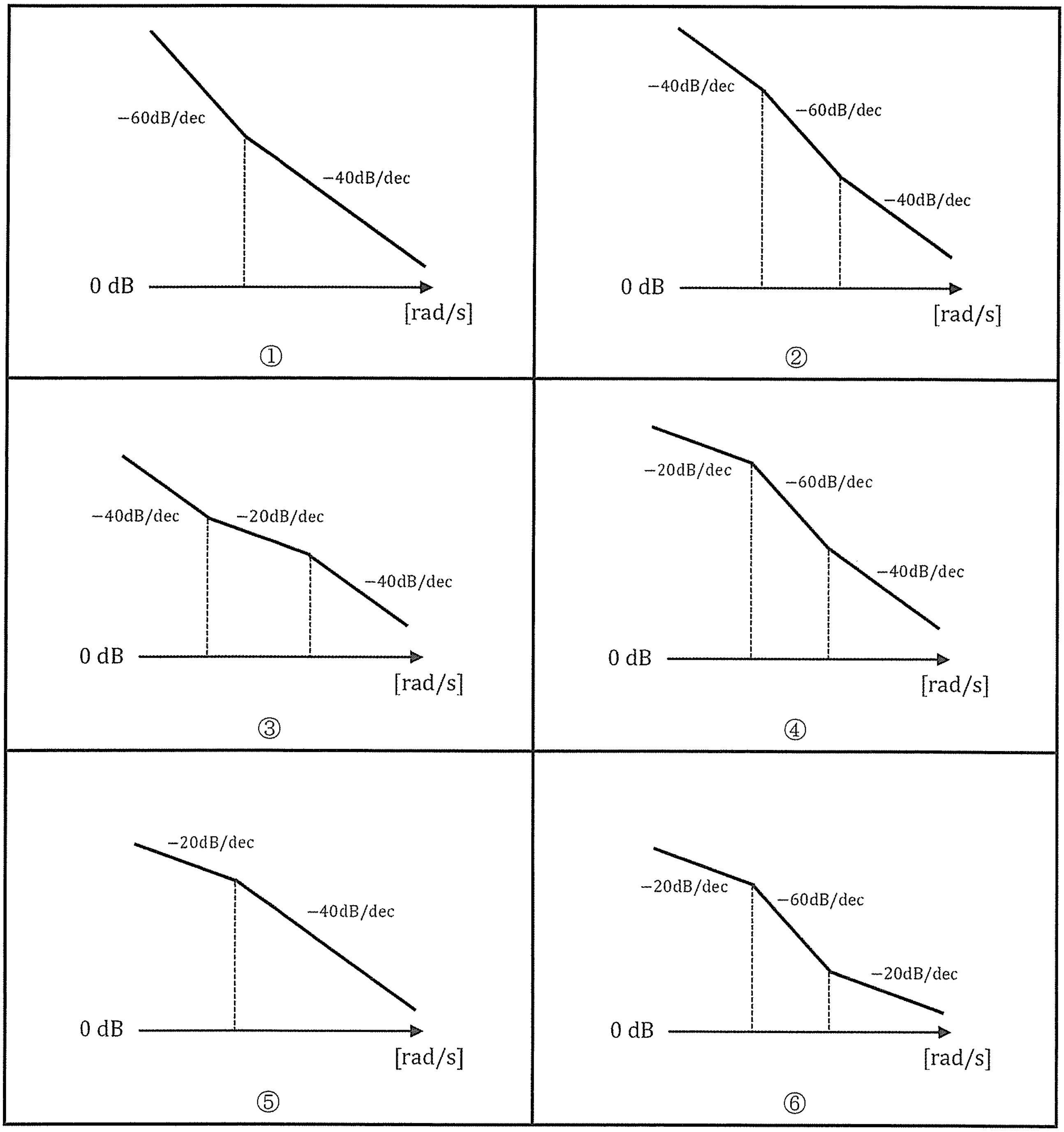

図２

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 は，(A)式のひずみ波交流電圧源 $e(t)$，抵抗 R，インダクタンス L のコイル，静電容量 C のコンデンサとスイッチ S で構成される回路である。

$$e(t)=\sqrt{2}E_1\sin(\omega t+\phi_1)+\sqrt{2}E_5\cos(5\omega t+\phi_5) \qquad \text{(A)}$$

次の（1）～（5）の問いについて，(A)式及び図 1 に含まれる記号を用いて答えよ。

（1）スイッチ S が開かれていて定常状態にあるとする。回路に流れる電流 $i(t)$を求めよ。

（2）電流 $i(t)$のひずみ率 k 及び回路の消費電力 P を求めよ。

以降の設問では，スイッチ S を閉じて定常状態にあるとする。

（3）基本波成分の力率が 1 となるコンデンサの静電容量 C を R, L, ωを用いて示せ。

（4）（3）で求めた静電容量 C の下での電流の第 5 調波成分の位相が(A)式の第 5 調波電圧に対して遅れか進みかを示せ。

（5）抵抗 R とコイルのインダクタンス L による R-L 直列回路の基本波成分に対する力率は 0.8 であった。スイッチ S を閉じる前と，（3）で求めた静電容量 C の下でスイッチ S を閉じた後とで，電流のひずみ率 k は増加するか減少するかを示せ。

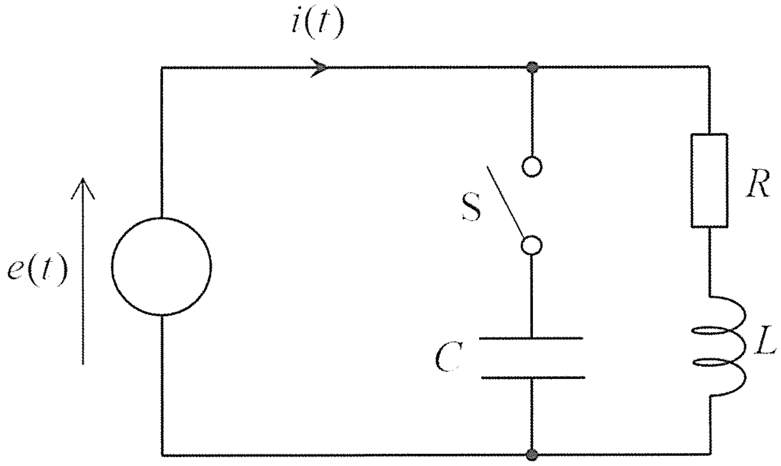

図 1

II　図２の回路は，直流電圧源 E [V]，抵抗 R [Ω]，静電容量 C [F]のコンデンサ，インダクタンス L [H]のコイル，スイッチ S_1 および S_2 から構成されている。図２に示すように，時刻 t [s]における抵抗 R の印加電圧を $v(t)$ [V]とする。スイッチ S_1 及び S_2 は瞬時に切り替えることができる。次の問い（１）～（５）について，図中の記号を用いて答えよ。

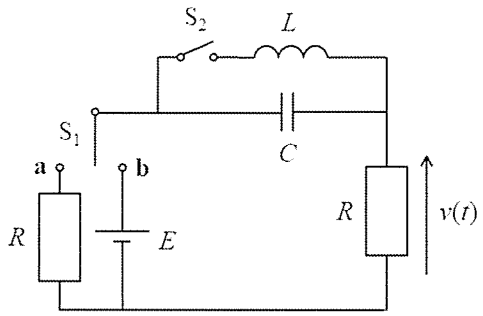

図２

（１）時刻 $t = 0$ [s]以前では，スイッチ S_2 は開放，スイッチ S_1 は端子 **a** に接続されて十分な時間が経っており，コンデンサ C には電荷は蓄えられていない。時刻 $t = 0$ [s]でスイッチ S_1 を端子 **a** から端子 **b** に切り替えたとき，時刻 $t = 0$ [s]における電圧 $v(0)$ [V]及び時刻 $t = T$ [s]における電圧 $v(T)$ [V]を求めよ。

（２）電圧 $v(t)$ [V]の時刻 $t = T$ [s]における電圧低下分を $\Delta v = v(0) - v(T)$ [V]とする。電圧低下割合 $\Delta v/v(0)$ を 4%以上 10%以下とするための時定数 $\tau = RC$ [s]が取り得る範囲を求めよ。ただし，$T =$ 1 [ms]とする。

（３）時刻 $t = T$ [s]でスイッチ S_1 を端子 **b** から端子 **a** に切り替えた。（２）で求めた時定数 $\tau = RC$ [s]の範囲において，時刻 $t = 2T$ [s]での電圧 $v(2T)$ [V]が取り得る範囲を求めよ。

（４）引き続き，スイッチ S_1 は端子 **a** に接続され，コンデンサ C を完全に放電させる。その後スイッチ S_2 を閉じる。時刻 $t = 0$ [s]と改めて設定した時刻において，スイッチ S_1 を端子 **a** から端子 **b** へ切り替えたときの電圧 $v(0)$ [V]を求めよ。

（５）インダクタンス $L = \dfrac{16}{3}R^2C$ [H]のとき，電圧低下割合 $\Delta v/v(0)$ を求めよ。ただし，電圧低下分を $\Delta v = v(0) - v(T)$ [V]とする。

本問いを解くにあたり，表１の数値表の最も近い値及び $\log_{10}2 = 0.30$，$\log_{10}3 = 0.48$，$\log_{10}5 = 0.70$，$\log_{10}7 = 0.85$，$\log_{10}e = 0.43$ を用いてもよい。

表１

x	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
e^{-x}	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.82	0.74	0.67	0.61

問題 21　電磁気学　設問すべてについて解答すること。

I　次の（1）～（8）の問いに答えよ。ただし，電荷はすべて点電荷であり，系全体が真空（誘電率 $=\varepsilon_0$ ）とする。また，電位の基準点は無限遠の点とする。三次元直交座標系とし，それぞれの軸を x, y, z とする。

図１のように，正の電荷（$+q$）を z 軸上の点 $\mathrm{A}(0,0,a)$ に置いた。

（1）空間上の任意の点 $\mathrm{R}(x,y,z)$ の電位 ϕ_1 と電界の大きさ E_1 を q，ε_0，x，y，z，a を用いて表わせ。

次に，図２のように負の電荷（$-q$）を z 軸上の点 $\mathrm{B}(0,0,-a)$ の位置に追加して置いた。

（2）点 $\mathrm{R}(x,y,z)$ の電位 ϕ_2 を q，ε_0，x，y，z，a を用いて表わせ。

以下の（3）から（8）の問いにおいては，点Ａと点Ｂに置かれた２つの電荷を電気双極子として扱うことができ，点Ｒが点Ａ及び点Ｂから十分に離れている場合を考える。また，図３のように，点Ｒの位置ベクトルを $\vec{r}$ と，$\vec{r}$ と z 軸のなす角を θ と置く。$|\vec{r}|=r$ とする。なお，一般に電気双極子においては，負の電荷（$-q$）から正の電荷（$+q$）に向かう位置ベクトルを $\vec{s}$ とすると，電気双極子モーメント $\vec{p}$ は，$\vec{p}=q\vec{s}$ である。

（3）点Ａと点Ｂに置いた２つの電荷によって作られる電気双極子モーメント $\vec{p}$ の x, y, z 成分, p_x，p_y，p_z を q，a を用いて表わせ。

（4）点Ｒと点Ａとの距離 r_{RA} を a，r，θ を用いて表わせ。

（5）一般に $t \ll 1$ のときに $(1+t)^n \approx 1+nt$ が成立することを用いて，${}^{1}/_{r_{\mathrm{RA}}}$ の近似値を a，r，θ を用いて表わせ。

（6）（5）に記した近似式を使って，点Ｒでの電位 ϕ_{R} を q，ε_0，a，r，θ を用いて表わせ。

（7）点Ａと点Ｂに置いた電荷によって作られる電気双極子モーメントを $\vec{p}$ と置いたとき，点Ｒでの電位 ϕ_{R} を $\vec{p}$ ，$\vec{r}$，r，ε_0 を用いて表わせ。但し，解答では内積を用いよ。

（8）点Ｒでの電界の x 方向成分 E_x 及び z 方向成分 E_z を q，ε_0，a，r，x，y，z を適宜用いて表わせ。

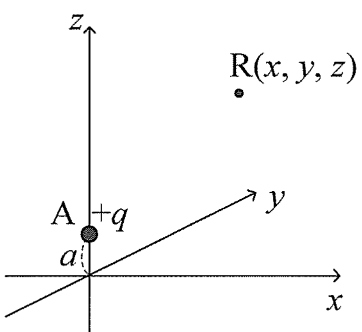

図１

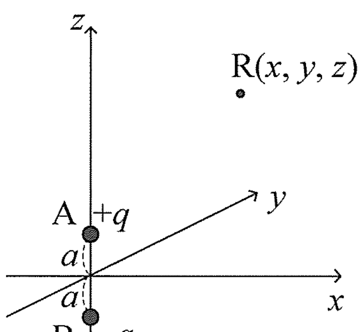

図２

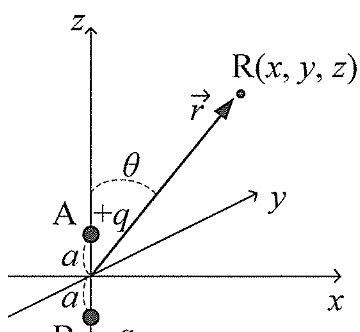

図３

II　図４に示すように，３次元直交座標系において，原点Oを中心とした半径 a の円に接する正六角形導線回路 ABCDEF が $x-y$ 平面上に存在する。空間中の透磁率は μ_0，導線の太さは無視できるものとし，以下の問いに答えよ。

x 軸と平行である線分 AB に電流 I が流れるとして，次の（１）～（３）の問いに答えよ。線分 AB 以外に流れる電流の影響は無視するものとする。

（１）線分 AB から距離 b 離れた位置にある点 P と，線分 AB 上の任意の点 S における電流素片 $Id\vec{x}$ を考える。図４のように，∠PSB を θ としたとき，電流素片 $Id\vec{x}$ によって点 P に生じる微小磁界の大きさ dH_1 を，θ の関数として求めよ。ただし，点 S の微小変位にともなう θ の変化を $d\theta$ とし，$d\theta$ は正の値をとるとする。

（２）線分 AB 上を流れる電流 I によって，点 P に生じる磁界の大きさ H_1 を求めよ。ただし，∠PAB $=\theta_a$，∠PBA $=\theta_b$ とする。

（３）z 軸上の点 Q $(0, 0, \sqrt{3}a/2)$ において，線分 AB 上を流れる電流 I により生じる磁界の大きさ H_2 を求めよ。

回路 ABCDEF に電流 I が流れるとして，次の（４）～（６）の問いに答えよ。

（４）点 Q において，回路 ABCDEF を流れる電流 I により生じる磁界の大きさ H_3 を求めよ。

（５）$+x$ 方向に速度 v で進む点電荷 $+q$ が点 Q を通過する瞬間を考える。このとき，点電荷に作用する力の大きさ F とその向きを求めよ。

（６）$x-z$ 平面上かつ点 Q と z 座標を同じくする点 R $(d, 0, \sqrt{3}a/2)$ がある（ただし，$d>0$）。点 R を通り，y 軸と平行な無限長導線を配置し，$-y$ 方向に電流 I を流す。このとき，点 Q における磁界の大きさが 0 となるような，点 R の x 座標 d を求めよ。

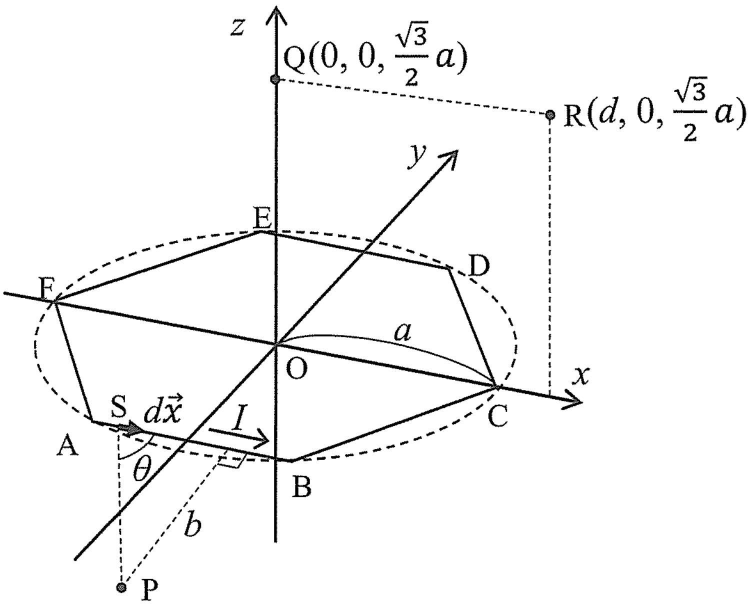

図４

問題 22　電子回路　設問すべてについて解答すること。

直流電流増幅率 h_{FE} を有するトランジスタを用いた回路を考える。このトランジスタは直流電源 E_{CC} により線形領域で動作しているものとする。以下の設問に答えよ。

（1）　図１の回路のコレクタ電流 I_C をベース電流 I_B および h_{FE} で表せ。

（2）　図２の回路の I_C を E_{CC}，ベース－エミッタ間電圧 V_{BE}，R_1 および h_{FE} で表せ。

（3）　図３の回路の I_C を E_{CC}，V_{BE}，R_1，R_E および h_{FE} で表せ。

（4）　図４の回路の I_C を E_{CC}，V_{BE}，R_1，R_2，R_E および h_{FE} で表せ。

（5）　図４の回路を考える。ここで R_2 に流れる電流を I_2 とする。I_2 および I_C と比較して I_B が無視できるほど小さいと仮定した場合，h_{FE} の影響を受けずに I_C を決定することができる。この場合の I_C を E_{CC}，V_{BE}，R_1，R_2 および R_E で表せ。

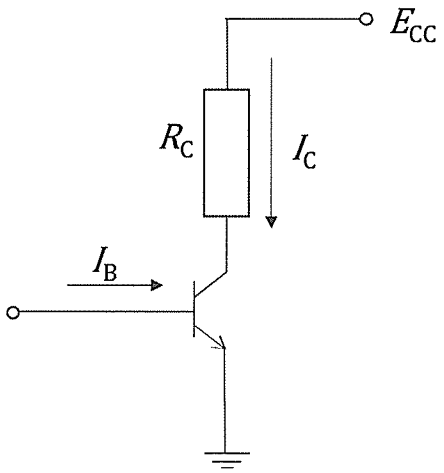

図１

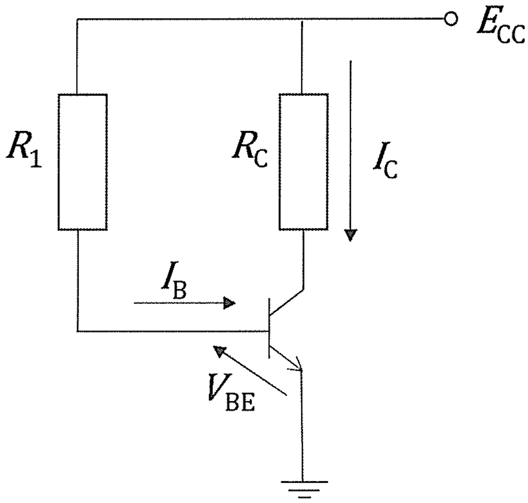

図２

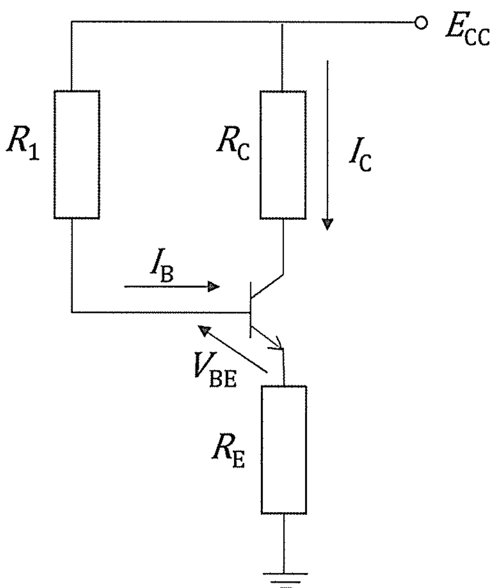

図３

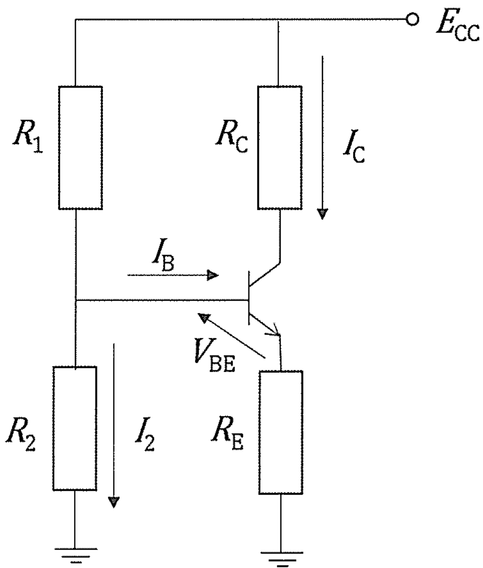

図４