令和元年度

第 1 種

理　　　論

（第 1 時限目）

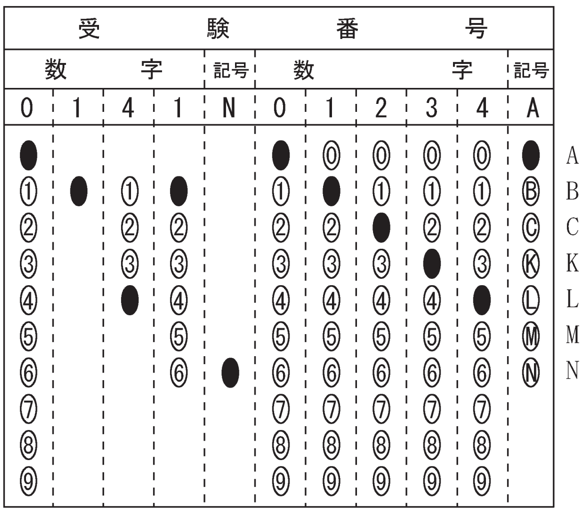
第１種　**理　論**

答案用紙記入上の注意事項等

１．マークシート（答案用紙）は機械で読み取りますので，**濃度ＨＢの鉛筆又はＨＢの芯を用いたシャープペンシルで濃く塗りつぶして**ください。
色鉛筆やボールペンでは機械で読み取ることができません。
　なお，訂正は「プラスチック消しゴム」で**きれいに消し**，消しくずを残さないでください。

２．マークシートには**氏名，生年月日，試験地及び受験番号を記入し，受験番号のマーク欄にはマークシートに印刷されているマーク記入例に従い，正しくマーク**してください。

（**受験番号記入例**：０１４１Ｎ０１２３４Ａの場合）



３．マークシートの余白及び裏面には，何も記入しないでください。

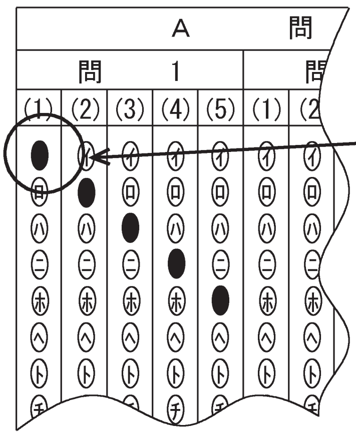
４．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

5．解答は，マークシートの問番号に対応した解答欄にマークしてください。

例えば，問１の $\boxed{\quad(1)\quad}$ と表示のある問に対して(ｲ)と解答する場合は，下の例のように問１の(1)の ⓘ をマークします。

なお，マークは各小問につき一つだけです。二つ以上マークした場合には，採点されません。

（マークシートへの解答記入例）



正解と思われるものの記号の枠内を，マークシートに印刷されているマーク記入例に従い，濃く塗りつぶす方法で示してください。

6．問６と問７は選択問題です。**どちらか１問を選択**してください。選択問題は両方解答すると採点されません。

7．問題文で単位を付す場合は，次のとおり表記します。

①　数字と組み合わせる場合

（例：　350 W　　f=50 Hz　　　670 kV·A）

②　数字以外と組み合わせる場合

（例：　I[A]　　抵抗 R[Ω]　　面積は S[m^2]）

（この問題は持ち帰ってください。また，白紙部分はメモ用紙として使用できます。）

次ページ以降は試験問題になっていますので，試験開始の合図があるまで，開いてはいけません。 試験問題に関する質問にはお答えできません。

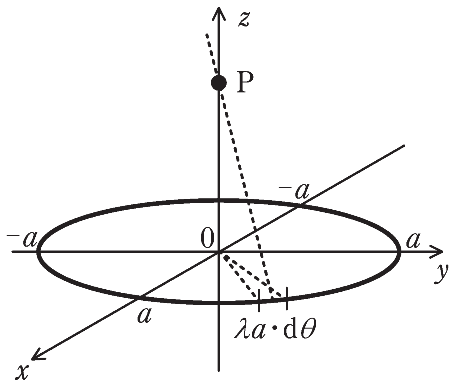
第 1 種　　**理　　論**

A問題（配点は1問題当たり小問各2点，計10点）

問1　次の文章は，真空中のリング状電荷が作る電界に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，xy 平面上に原点を中心とした半径 a のリング状電荷があり，その線電荷密度は λ である。なお，真空中の誘電率を ε_0 とする。

リング状電荷の微小角 $\mathrm{d}\theta$ の円弧の電荷 $\lambda a \cdot \mathrm{d}\theta$ により点 $\mathrm{P}(0,\ 0,\ z)$ に生じる電界の大きさは $\boxed{(1)}$ である。この電界の z 方向成分を θ について積分することで，リング状電荷全体が点 P に作る電界の z 方向成分は $\boxed{(2)}$ と求められる。$z \geqq 0$ において，その大きさが最も大きい点 P の z 座標は $\boxed{(3)}$ である。また，原点の電界は $\boxed{(4)}$ で，無限遠を基準とした原点の電位は $\boxed{(5)}$ である。



〔問１の解答群〕

(イ) $\dfrac{\lambda \cdot \mathrm{d}\theta}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{z^2+a^2}}$	(ロ) $\dfrac{\lambda z^2}{2\varepsilon_0(z^2+a^2)^{\frac{3}{2}}}$	(ハ) $\dfrac{\lambda a}{2\varepsilon_0\sqrt{z^2+a^2}}$
(ニ) $\dfrac{\lambda z \cdot \mathrm{d}\theta}{4\pi\varepsilon_0(z^2+a^2)}$	(ホ) $\dfrac{\lambda}{2\varepsilon_0}$	(ヘ) $\dfrac{\lambda}{2\varepsilon_0 a}$
(ト) $\dfrac{1}{2}a$	(チ) $\dfrac{\lambda a z}{2\varepsilon_0(z^2+a^2)^{\frac{3}{2}}}$	(リ) $\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$
(ヌ) $\dfrac{\lambda}{4\varepsilon_0}$	(ル) a	(ヲ) 0
(ワ) $\dfrac{\lambda a \cdot \mathrm{d}\theta}{4\pi\varepsilon_0(z^2+a^2)}$	(カ) $\dfrac{\sqrt{2}\lambda}{2\varepsilon_0}$	(ヨ) $\dfrac{\lambda}{4\varepsilon_0 a}$

問２　次の文章は，磁界によって生じる力に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。なお，μ_0 は真空の透磁率である。

図に示すような半径 a，長さ b，巻数 N の空心ソレノイドを考える。ただし，$a \ll b$ であり，ソレノイドには一定の電流 I が流れている。ソレノイドの内部には軸方向の磁束密度が一様に形成されており，ソレノイドの外部では磁束密度は零と仮定する。ソレノイド内部の磁束密度の大きさ B は，

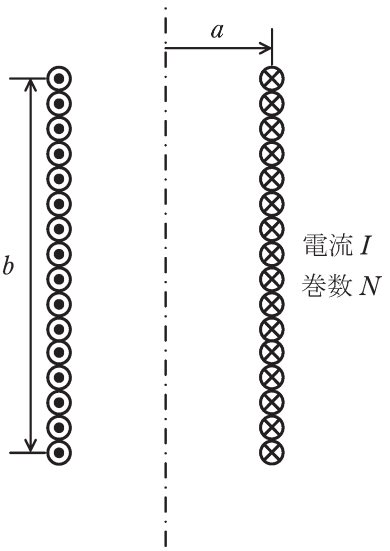
$$B = \boxed{(1)}$$

と表されるので，ソレノイドのインダクタンスは $L = \boxed{(2)}$ となる。

仮想変位の原理を用いて，ソレノイドを流れる電流に働く磁界の力を求める。ソレノイド内部に蓄積された磁界のエネルギーは $W = \boxed{(3)}$ となるので，ソレノイドの軸方向に働く力 F は，電流一定の条件下で磁界のエネルギーを長さ b で偏微分することで求められる。この力は磁束密度 B を用いて，

$$F = \frac{\partial W}{\partial b} = \frac{B^2}{2\mu_0} \times \boxed{(4)}$$

と表され，ソレノイドの $\boxed{(5)}$ 方向に働く。$\dfrac{B^2}{2\mu_0}$ は単位面積あたりに働くマクスウェルの応力とよばれる。



〔問２の解答群〕

(イ) $\dfrac{\mu_0 \pi a^2 N}{b}$　(ロ) $\dfrac{\mu_0 NI}{2b}$　(ハ) $\dfrac{\mu_0 NI}{b}$　(ニ) $\dfrac{\mu_0 \pi a^2 N^2 I^2}{2b^2}$

(ホ) $\dfrac{\mu_0 \pi a^2 NI^2}{2b}$　(ヘ) $\dfrac{\mu_0 \pi a^2 N^2 I^2}{2b}$　(ト) $2\pi ab$　(チ) 径を拡げる

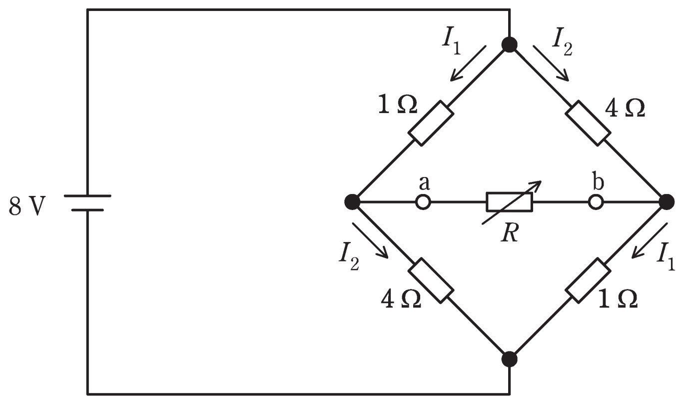
(リ) 長さを伸ばす　(ヌ) $\dfrac{2\mu_0 NI}{b}$　(ル) $\dfrac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{b}$　(ヲ) πa^2

(ワ) 長さを縮める　(カ) $-\pi a^2$　(ヨ) $\dfrac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{b^2}$

問３　次の文章は，直流回路に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図の回路において，テブナンの定理に基づいて端子 a－b から見た等価回路を考えれば，可変抵抗 R の値が $R=$ $\boxed{(1)}$ Ωのとき可変抵抗 R を流れる電流は 0.5 A となり，また，可変抵抗 R の値が $R=$ $\boxed{(2)}$ Ωのとき可変抵抗 R で消費される電力は最大となることがわかる。

図の回路において，電圧源から見た回路の合成抵抗 R_0 は，可変抵抗 R を用いて $R_0=$ $\boxed{(3)}$ ［Ω］と表せる。また，可変抵抗 R の値を $R=$ $\boxed{(4)}$ Ωとすれば，電圧源から見た回路の合成抵抗 R_0 の値は可変抵抗 R の値と同じ値，すなわち $R_0=$ $\boxed{(4)}$ Ωとなる。可変抵抗 R の値を $R=$ $\boxed{(4)}$ Ωとしたとき，図に示す電流 I_1 は，$I_1=$ $\boxed{(5)}$ A となる。



〔問３の解答群〕

(イ) 1	(ロ) $\dfrac{2}{3}$	(ハ) $\dfrac{4}{5}$	(ニ) $\dfrac{5R+1}{R+5}$
(ホ) $\dfrac{8}{5}$	(ヘ) 8	(ト) $\dfrac{4}{3}$	(チ) $\dfrac{2R+9}{R+2}$
(リ) $\dfrac{5R+8}{2R+5}$	(ヌ) $\dfrac{6}{5}$	(ル) 2	(ヲ) $\dfrac{8}{3}$
(ワ) 12	(カ) 3	(ヨ) 10	

問４　次の文章は，半導体 PIN ダイオードに関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

PIN ダイオードは，図 1 のように，n 形半導体(n 層)，真性半導体(i 層)，p 形半導体(p 層)により構成される。半導体中のキャリヤ(電子と正孔)の拡散と再結合により，各層の境界付近には，キャリヤが存在しない空乏層が形成される。n 層の不純物濃度 N_D は場所によらず一定とし，全ての不純物が一価にイオン化していると仮定する。幅 W_n の空乏層の左端を x 座標の原点とする $0 \leqq x \leqq W_n$ の領域の空間電荷密度 ρ は，電気素量を $e\ (>0)$ とすると，$\rho = eN_D$ となる。幅 W_i の真性半導体領域では $\rho = 0$ と仮定し，また，p 層の不純物濃度 N_A は一定とすると，幅 W_p の空乏層領域における空間電荷密度 ρ は，$\rho =$ $\boxed{(1)}$ と表される。

ガウスの法則の一般式は，電界ベクトル $\boldsymbol{E}$ を用いて次式のように表される。

$$\mathrm{div}\boldsymbol{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ①$$

ただし，ε は誘電率である。電界ベクトル $\boldsymbol{E}$ の x 軸方向成分を，座標 x の関数として表した $E(x)$ を用いて，全空間電荷領域 $0 \leqq x \leqq W_n + W_i + W_p$ の電界分布 $E(x)$ を求める。ここで，半導体の誘電率 ε は n，i，p 層で同一とする。①式を 1 次元で表した微分方程式 $\boxed{(2)} = \dfrac{\rho}{\varepsilon}$ を解くと，n 層の空間電荷領域 $0 \leqq x \leqq W_n$ における $E(x)$ は，$E(x) =$ $\boxed{(3)}$ と表される。ただし，両端 $x = 0$ 及び $x = W_n + W_i + W_p$ では，電界 $E(x) = 0$ と仮定し，境界 $x = W_n$ 及び $x = W_n + W_i$ では電界 $E(x)$ が連続となる条件を課すものとする。結果として，i 層の領域 $W_n \leqq x \leqq W_n + W_i$ における $E(x)$ は，$E(x) =$ $\boxed{(4)}$ と表される。全空間電荷領域における電界 $E(x)$ の概略は図 2 の $\boxed{(5)}$ の図で示される。

PIN ダイオードは，i 層による高電界の緩和や，高効率な光キャリヤ生成などの特徴を活かして，高耐圧整流器や高効率な光検出器，太陽電池などに幅広く応用されている。

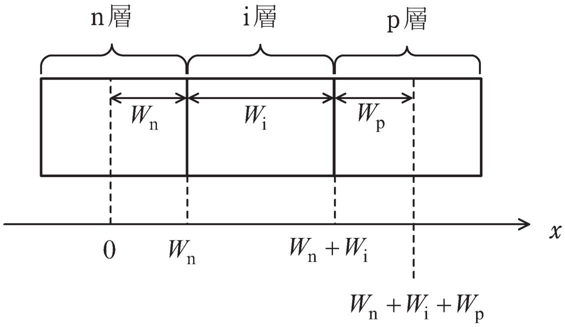


図 1

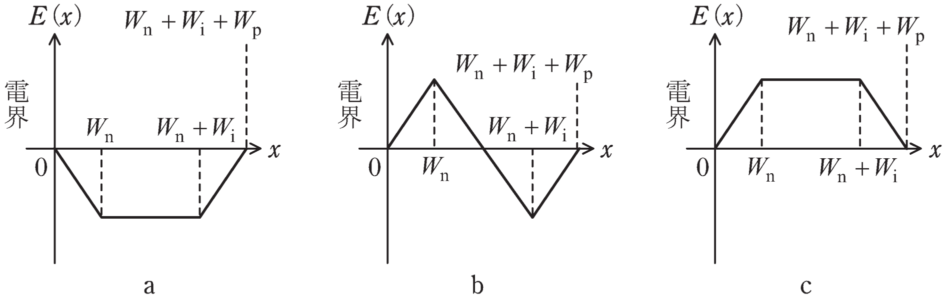


図 2

〔問 4 の解答群〕

(イ) $\dfrac{eN_D}{\varepsilon}W_i$	(ロ) c	(ハ) $\dfrac{eN_D}{\varepsilon}x$	(ニ) a
(ホ) $-\dfrac{eN_D}{\varepsilon}x$	(ヘ) $\dfrac{dE(x)}{dx}$	(ト) $\dfrac{eN_D}{\varepsilon}x^2$	(チ) $\dfrac{d^2E(x)}{dx^2}$
(リ) $-eN_A$	(ヌ) $-e\sqrt{N_AN_D}$	(ル) $\dfrac{eN_D}{\varepsilon}W_n$	(ヲ) b
(ワ) $-\dfrac{dE(x)}{dx}$	(カ) eN_A	(ヨ) $-\dfrac{eN_D}{\varepsilon}W_n$	

●F1－R 011

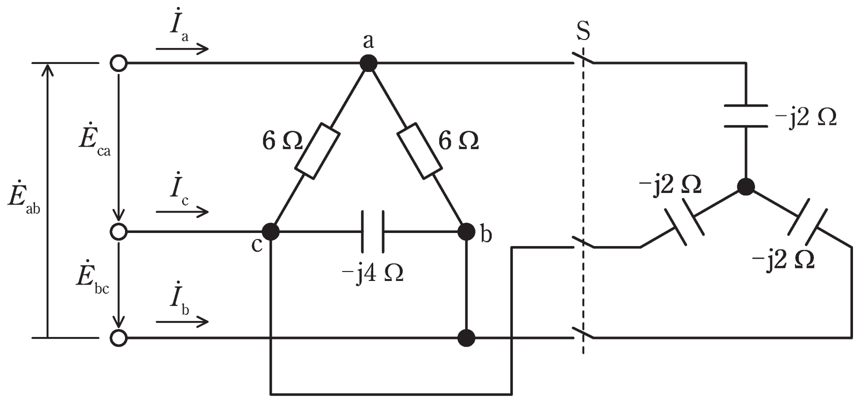
B問題（配点は1問題当たり 20 点）

問５　次の文章は，三相交流回路に関する記述である。文中の $\boxed{\quad}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，実効値が 100 V である対称三相交流電圧がΔ形不平衡負荷とＹ形平衡負荷からなる回路に印加されている。図の各線間電圧は $\dot{E}_{ab}=100\angle 0°$[V]を基準に，$\dot{E}_{bc}=a^2\dot{E}_{ab}$，$\dot{E}_{ca}=a\dot{E}_{ab}$ とする。ただし，a は複素数で $a=e^{j\frac{2\pi}{3}}$ である。

スイッチ S を開き，Ｙ形平衡負荷が接続されていない状態でΔ形不平衡負荷の無効電力の大きさ Q を求めると，$Q=$ $\boxed{(1)}$ kvar となる。

次に，スイッチ S を閉じ，Δ形不平衡負荷にＹ形平衡負荷が接続された場合の線電流を求める。Ｙ形平衡負荷をΔ形に変換して解くと，$\dot{I}_a=$ $\boxed{(2)}$ A，$\dot{I}_b=$ $\boxed{(3)}$ A，$\dot{I}_c=$ $\boxed{(4)}$ A となる。また，回路全体で消費される有効電力 P は $P=$ $\boxed{(5)}$ kW となる。



●F1－R 012

〔問５の解答群〕

(イ) 1.4	(ロ) 4.1－j19.4	(ハ) 39.4＋j10.6	(ニ) 3.7
(ホ) －26.9＋j58.9	(ヘ) 3.3	(ト) 68.3＋j60.6	(チ) －2.3－j58.3
(リ) 2.5	(ヌ) －58.9＋j26.9	(ル) 0.7	(ヲ) 19.4－j37.5
(ワ) －66.0－j2.3	(カ) 22.8－j39.3	(ヨ) 6.6	

問６及び問７は選択問題であり，問６又は問７のどちらかを選んで解答すること。両方解答すると採点されません。

（選択問題）

問６　次の文章は，電気回路の過渡現象に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図の回路は，時刻 $t<0$ ではスイッチ S_1 は閉じており，スイッチ S_2 は開いている。また，回路は定常状態にあり，キャパシタ C_2 の電荷は零である。この回路において，時刻 $t=0$ でスイッチ S_1 を開き，同時にスイッチ S_2 を閉じるものとする。

キャパシタ C_1，C_2 の電荷をそれぞれ $q_1(t)$，$q_2(t)$ とすれば，時刻 $t \geqq 0$ における $q_1(t)$，$q_2(t)$ には次式が成り立つ。

$$q_1(t)+q_2(t)=\boxed{(1)} \quad \cdots\cdots ①$$

抵抗 R_2 の電圧を $v_{R2}(t)$ とし，キャパシタ C_1，C_2 の電圧をそれぞれ $v_{C1}(t)$，$v_{C2}(t)$ とすれば，時刻 $t \geqq 0$ においては，キルヒホッフの電圧則に従う次式が成り立つ。

$$v_{R2}(t)-v_{C1}(t)+v_{C2}(t)=0 \quad \cdots\cdots ②$$

ここで，$v_{C1}(t)=\boxed{(2)}$，$v_{C2}(t)=\boxed{(3)}$，$i(t)=\dfrac{\mathrm{d}q_2(t)}{\mathrm{d}t}$，及び①式より，②式はキャパシタ C_2 の電荷 $q_2(t)$ を用いて次式のように表現できる。

$$R_2\frac{\mathrm{d}q_2(t)}{\mathrm{d}t}+\left(\boxed{(4)}\right)q_2(t)-V=0 \quad \cdots\cdots ③$$

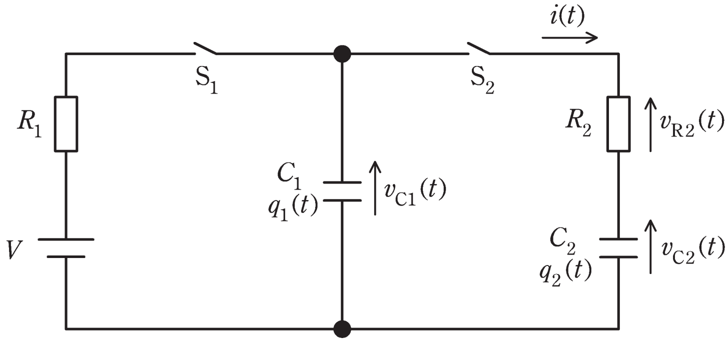
回路の初期条件を考慮して，③式の微分方程式を解けば，

$$q_2(t)=\boxed{(5)}\,(1-\mathrm{e}^{-t/T})$$

を得る。ただし，時定数 $T=\boxed{(6)}$ である。

時刻 $t=\infty$ の定常状態においては，キャパシタ C_1 の電圧 $v_{C1\infty}$ とキャパシタ C_2 の電圧 $v_{C2\infty}$ は等しく，$v_{C1\infty}=v_{C2\infty}=\boxed{(7)}$ となる。

時刻 $t<0$ において，二つのキャパシタ C_1 及び C_2 に蓄積されていた総エネルギーは $\boxed{(8)}$ である。この総エネルギーの一部は時刻 $t \geqq 0$ において回路の $\boxed{(9)}$ で消費され，時刻 $t=\infty$ において二つのキャパシタ C_1 及び C_2 に蓄積されている総エネルギーは，時刻 $t<0$ において蓄積されていた総エネルギーに比べて $\boxed{(10)}$ だけ減少する。



〔問６の解答群〕

(イ) $\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}R_1$　(ロ) $\dfrac{C_1-C_2}{C_1C_2}$　(ハ) C_2V　(ニ) $\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}V$

(ホ) $\dfrac{1}{2}\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}V^2$　(ヘ) R_1　(ト) C_1V　(チ) 0

(リ) $\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}V^2$　(ヌ) $\dfrac{1}{2}C_1V^2$　(ル) R_2　(ヲ) $\dfrac{C_1+C_2}{C_1C_2}V$

(ワ) $\dfrac{C_1}{C_1+C_2}V$　(カ) $\dfrac{1}{2}C_2V^2$　(ヨ) $\dfrac{q_1(t)}{C_1}$　(タ) $\dfrac{C_1+C_2}{C_1C_2}$

(レ) $\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}R_2$　(ソ) $\dfrac{C_2}{C_1+C_2}V$　(ツ) V　(ネ) $\dfrac{q_2(t)}{C_2}$

(選択問題)

問 7　次の文章は，負帰還増幅回路に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図 1 は負帰還増幅回路の原理図である。A は増幅回路の電圧増幅度，β は帰還回路の帰還率，v_{in} は入力電圧，v_{out} は出力電圧を示す。この負帰還増幅回路の電圧増幅度は，

$$A_{\mathrm{F}} = \frac{v_{\mathrm{out}}}{v_{\mathrm{in}}} = \boxed{(1)}$$

と表される。さらに $A\beta$ が 1 に比べ十分に大きいとき，A_{F} は $\boxed{(2)}$ に近似できる。このことから負帰還増幅回路の電圧増幅度は A の変動の影響を受けにくいことが分かる。

次に，A が周波数 f を用いて，

$$A = \frac{A_0}{1 + \mathrm{j}\dfrac{f}{f_{\mathrm{c}}}}$$

で表されるとする。ここで，A_0 は増幅回路の直流における電圧増幅度であり，f_{c} は増幅回路の遮断周波数である。このとき A_{F} は，

$$A_{\mathrm{F}} = \frac{v_{\mathrm{out}}}{v_{\mathrm{in}}} = \boxed{(3)}$$

と表される。これより，直流利得と遮断周波数の積(GB 積)が 1 MHz である増幅回路を用いて，直流利得 100 倍の負帰還増幅回路を構成したときの負帰還増幅回路の遮断周波数は $\boxed{(4)}$ Hz となることが分かる。

また，増幅回路の出力電圧に，ひずみに相当する電圧 v_{d} が図 2 のように加わるとき，v_{out} は A を用いて，

$$v_{\mathrm{out}} = \boxed{(1)}\ v_{\mathrm{in}} + \boxed{(5)}\ v_{\mathrm{d}}$$

と表される。このことから負帰還増幅回路は出力電圧に生じるひずみを $\boxed{(5)}$ 倍にすることが分かる。

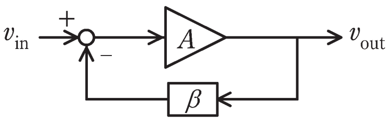


図 1

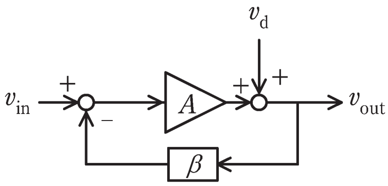


図 2

〔問 7 の解答群〕

(イ) 10^2　(ロ) $-\dfrac{1}{1+A\beta}$　(ハ) $1+A\beta$　(ニ) $\dfrac{1}{1+A\beta}$

(ホ) $-\dfrac{1}{\beta}$　(ヘ) $\dfrac{A_0}{1+\mathrm{j}\dfrac{f}{f_c}}$　(ト) $\dfrac{A}{1+A\beta}$　(チ) $\dfrac{\dfrac{1}{1+A_0\beta}A_0}{1+\mathrm{j}\dfrac{f}{(1+A_0\beta)f_c}}$

(リ) $-\dfrac{A}{1+A\beta}$　(ヌ) β　(ル) 10^6　(ヲ) $\dfrac{\beta}{1+A\beta}$

(ワ) $\dfrac{1}{\beta}$　(カ) 10^4　(ヨ) $\dfrac{(1+A_0\beta)A_0}{1+\mathrm{j}\dfrac{f}{\dfrac{1}{1+A_0\beta}f_c}}$