令 和 3 年 度

# 第 2 種

# 理　　論

（第 1 時限目）

| 第 2 種 |
|---|

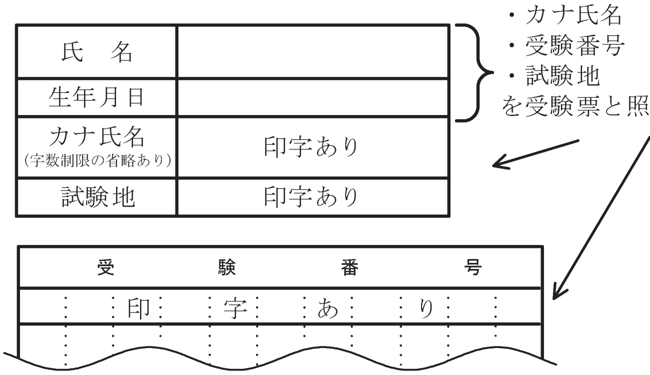
# 理　　　論

## 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，カナ氏名，受験番号，試験地が印字されています。受験票と照合の上，**氏名，生年月日を記入**してください。

マークシートに印字してある
・カナ氏名
・受験番号
・試験地
を受験票と照合の上，記入してください。




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。

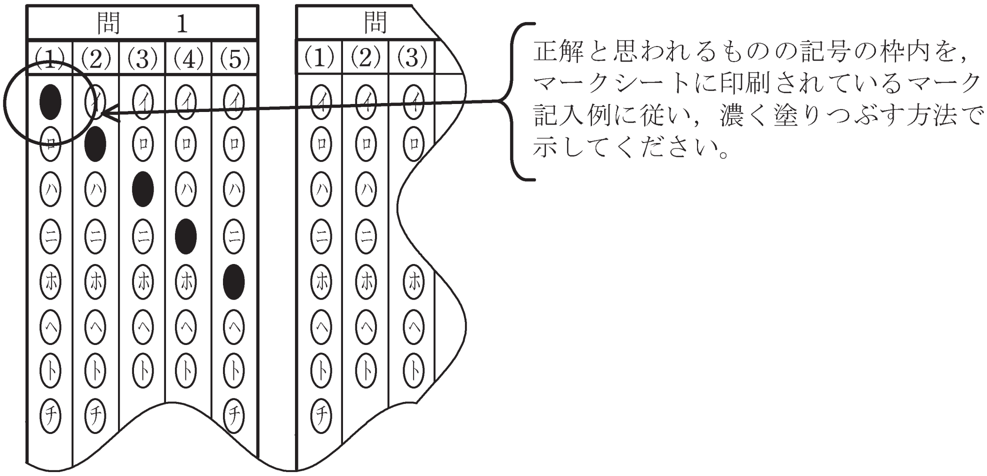
4．マークシートは，折り曲げたり汚したりしないでください。

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 $\boxed{(1)}$ 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 ㋑ 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）**




6．問７と問８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 2 種 |
|---|

# 理　　　論

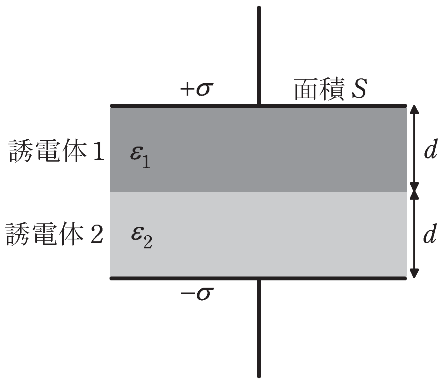
**A 問題**（配点は 1 問題当たり小問各 3 点，計 15 点）

問 1　次の文章は，平行平板コンデンサ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，平行平板コンデンサの極板間に二種類の誘電体 1，誘電体 2 が挿入されている。各誘電体の誘電率は $\varepsilon_1$，$\varepsilon_2$ であり，厚さはともに $d$ である。極板の面積は $S$ であり，端効果は無視できるものとする。

コンデンサの極板間には直流電圧が印加されており，各極板に単位面積あたり $\pm\sigma$ の電荷が図に示すように現れている。このときの誘電体 1 中の電束密度の大きさは $\boxed{(1)}$ ，電界の大きさは $\boxed{(2)}$ と表される。同様に誘電体 2 中の電界の大きさを求めると，コンデンサの極板間に印加された電圧は $\boxed{(3)}$ と表すことができる。

コンデンサ全体に蓄えられた電界のエネルギーは $\boxed{(4)}$ と表される。誘電体 1 の領域に蓄えられた電界のエネルギーが誘電体 2 の領域に蓄えられた電界のエネルギーよりも大きい場合，誘電率 $\varepsilon_1$ と $\varepsilon_2$ の間には $\boxed{(5)}$ の関係が成立する。



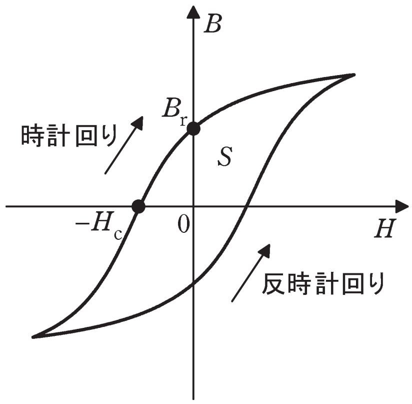
〔問１の解答群〕

| | | | |
|---|---|---|---|
| (イ) $\dfrac{\varepsilon_1\sigma}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$ | (ロ) $\dfrac{(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\sigma d}{\varepsilon_1\varepsilon_2}$ | (ハ) $\dfrac{\sigma}{\varepsilon_1}$ | (ニ) $\varepsilon_1>\varepsilon_2$ |
| (ホ) $\varepsilon_1\varepsilon_2=0$ | (ヘ) $\varepsilon_1<\varepsilon_2$ | (ト) $\dfrac{\sigma}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$ | (チ) $\dfrac{(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\sigma^2 S}{2d}$ |
| (リ) $\dfrac{\varepsilon_1\varepsilon_2\sigma d}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$ | (ヌ) $\dfrac{(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\sigma^2 dS}{2\varepsilon_1\varepsilon_2}$ | (ル) $2\sigma$ | (ヲ) $\dfrac{(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\sigma}{d}$ |
| (ワ) $\dfrac{\varepsilon_1\varepsilon_2\sigma^2 dS}{2(\varepsilon_1+\varepsilon_2)}$ | (カ) $\sigma$ | (ヨ) $\varepsilon_1\sigma$ | |

問２　次の文章は，強磁性体の磁気特性に関する記述である。文中の $\boxed{\phantom{(1)}}$ 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，ここでは，強磁性体に流れる渦電流は無視する。

強磁性体に一様な交番磁界を印加すると，強磁性体内の磁束密度 $B$ [T]は磁界 $H$ [A/m]に比例せず，定常状態において図に示すような $\boxed{(1)}$ の軌跡を描く。これをヒステリシスループと呼ぶ。図中の $B_r$ [T]と $H_c$ [A/m]は，それぞれ $\boxed{(2)}$ と保磁力と呼ばれる。強磁性体を永久磁石として用いる場合，$\boxed{(3)}$ 材料が望ましい。

この特性により生じる損失をヒステリシス損と呼び，それは印加する交番磁界の $\boxed{(4)}$ に比例する。ヒステリシスループで囲まれた部分の面積 $S$ [J/m$^3$]は，交番磁界１周期における強磁性体内で消費される単位体積当たりのエネルギーを表す。ここで，体積 $1.5\times10^{-3}$ m$^3$ の強磁性体に 60 Hz の一様な交番磁界を与えたところ，$S = 5.0\times10^2$ J/m$^3$ であったとする。このときのヒステリシス損は $\boxed{(5)}$ W である。






●S1－R 006

〔問２の解答群〕

| | | |
|---|---|---|
| (ｲ) 減磁力 | (ﾛ) 時計回り | (ﾊ) 反時計回り |
| (ﾆ) $B_r$ が大きく $H_c$ が小さい | (ﾎ) 90 | (ﾍ) 周波数の２乗 |
| (ﾄ) 最大磁束密度 | (ﾁ) 周波数 | (ﾘ) 6 |
| (ﾇ) $B_r$ と $H_c$ の両方が大きい | (ﾙ) 0.75 | (ｦ) 周波数の 1.6 乗 |
| (ﾜ) $B_r$ が小さく $H_c$ が大きい | (ｶ) 45 | (ﾖ) 残留磁束密度 |

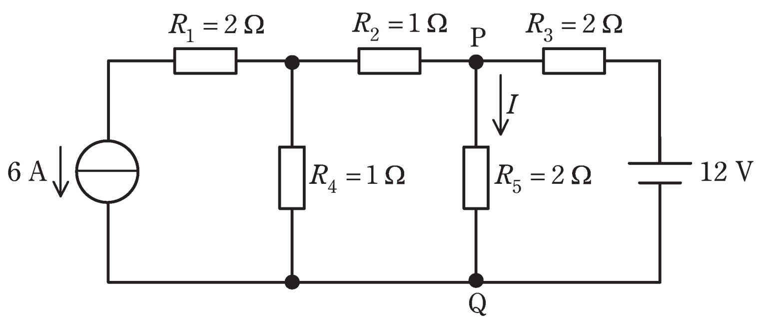
問３　次の文章は，直流回路に関する記述である。文中の $\boxed{\phantom{(1)}}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図の直流回路において，重ね合わせの理を用いて抵抗 $R_5$ を流れる電流 $I$ について解析する。ただし，抵抗 $R_5$ に流れる電流の正方向を図中の節点 P から Q の向きとする。

重ね合わせの理は， $\boxed{(1)}$ 回路において成立する定理である。図の回路において，電圧源を残して電流源を取り除いた回路を考え，抵抗 $R_5$ に流れる電流 $I_a$ を求めれば， $I_a =$ $\boxed{(2)}$ A となる。このとき，電流源は $\boxed{(3)}$ 除去されている。

次に，図の回路において，電流源を残して電圧源を取り除いた回路を考え，抵抗 $R_5$ に流れる電流 $I_b$ を求めた上で，電流 $I_a$ と $I_b$ を重ね合わせれば，抵抗 $R_5$ に流れる電流は $I =$ $\boxed{(4)}$ A と求められる。

また，図の回路において，電圧源の電圧を $\boxed{(5)}$ V とすれば，抵抗 $R_5$ に流れる電流は $I = 0$ A となる。



〔問３の解答群〕

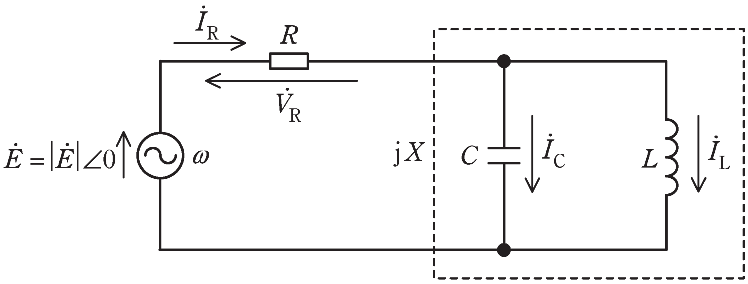
| | | | |
|---|---|---|---|
| (イ) 短絡 | (ロ) −1 | (ハ) 8 | (ニ) 6 |
| (ホ) 線形 | (ヘ) −2 | (ト) 1 | (チ) 2 |
| (リ) 能動 | (ヌ) 非線形 | (ル) 接地 | (ヲ) −3 |
| (ワ) 開放 | (カ) 3 | (ヨ) 4 | |

問４　次の文章は，正弦波交流電源に接続された回路に関する記述である。文中の $\boxed{\phantom{(1)}}$ 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，電源から見た回路の合成リアクタンスを $X$ と置く。ただし，正弦波交流電源の角周波数は $\omega$ とする。

(a)　$|\dot{I}_{\mathrm{L}}| = |\dot{I}_{\mathrm{C}}|$ が成立するのは $\omega =$ $\boxed{(1)}$ のときである。$\omega$ が $\boxed{(1)}$ のときの回路の合成インピーダンス $R + \mathrm{j}X$ 及び電流 $\dot{I}_{\mathrm{R}}$ を計算すると，$|\dot{V}_{\mathrm{R}}| =$ $\boxed{(2)}$ となる。

(b)　$\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \dfrac{R}{\mathrm{j}}$，　$\mathrm{j}\omega L = \mathrm{j}\dfrac{R}{2}$ のときは，$\mathrm{j}X =$ $\boxed{(3)}$ であり，電流 $\dot{I}_{\mathrm{R}}$ は $\dot{I}_{\mathrm{R}} =$ $\boxed{(4)}$ となる。$\dot{I}_{\mathrm{R}}$ が $\boxed{(4)}$ のときの回路が消費する有効電力は $\boxed{(5)}$ となる。






●S1－R 010

〔問４の解答群〕

(イ)　$\mathrm{j}R$　　(ロ)　$\sqrt{LC}$　　(ハ)　$0$

(ニ)　$\dfrac{|\dot{E}|^2}{2R}$　　(ホ)　$\mathrm{j}\dfrac{R}{2}$　　(ヘ)　$\dfrac{|\dot{E}|^2}{3R}$

(ト)　$|\dot{E}|$　　(チ)　$\dfrac{\dot{E}}{\sqrt{3}R}\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\pi}{3}}$　　(リ)　$\dfrac{\dot{E}}{\sqrt{2}R}\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\pi}{4}}$

(ヌ)　$\dfrac{|\dot{E}|^2}{5R}$　　(ル)　$\dfrac{\dot{E}}{\sqrt{5}R}\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{\pi}{6}}$　　(ヲ)　$\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

(ワ)　$\dfrac{1}{LC}$　　(カ)　$\dfrac{|\dot{E}|}{2}$　　(ヨ)　$\mathrm{j}2R$

**B問題**(配点は1問題当たり小問各2点，計10点)

問5　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 $\boxed{\phantom{(1)}}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図に示す直流電圧源 $E$ に接続された RLC 回路のスイッチ SW を a 側に接続し，回路が定常状態に到達したあと，時刻 $t=0$ でスイッチ SW を b 側に接続した。

$t≧0$ での回路方程式は，

$$L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}+Ri(t)+v(t)=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

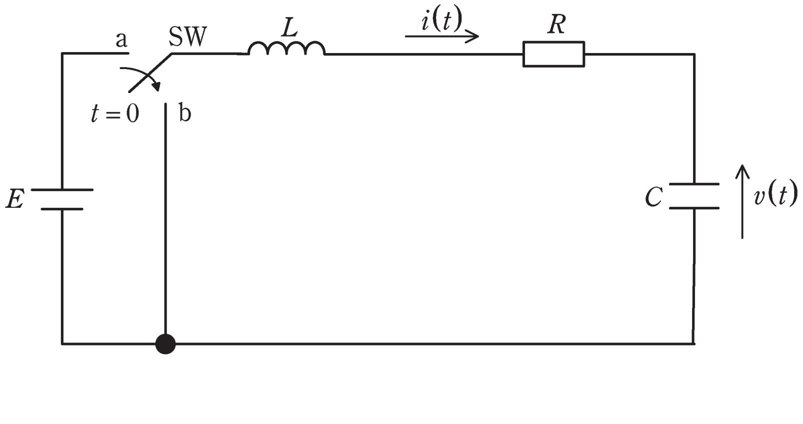
となる。ここで，①式において，$t=0$ のとき $v(t)=$ $\boxed{(1)}$ ，$i(t)=$ $\boxed{(2)}$ である。したがって，①式において，$t=0$ のとき $\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}=$ $\boxed{(3)}$ であることが分かる。①式の両辺に $i(t)$ を掛けて $t=0$ から $t=\infty$ まで積分すると，

$$\int_0^{\infty} Ri(t)^2\,\mathrm{d}t=-\int_0^{\infty} L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}i(t)\,\mathrm{d}t-\int_0^{\infty} v(t)i(t)\,\mathrm{d}t \quad \cdots\cdots\cdots ②$$

となる。②式に図の回路の $v(t)$ と $i(t)$ の関係式 $\boxed{(4)}$ を代入すると，積分の結果は次のようになる。

$$\int_0^{\infty} Ri(t)^2\,\mathrm{d}t=-\frac{1}{2}L\left[i(\infty)^2-i(0)^2\right]-\frac{1}{2}C\left[v(\infty)^2-v(0)^2\right]$$

したがって，$i(\infty)$ 及び $v(\infty)$ の値に注意すると，$\int_0^{\infty} Ri(t)^2\,\mathrm{d}t=$ $\boxed{(5)}$ を得る。





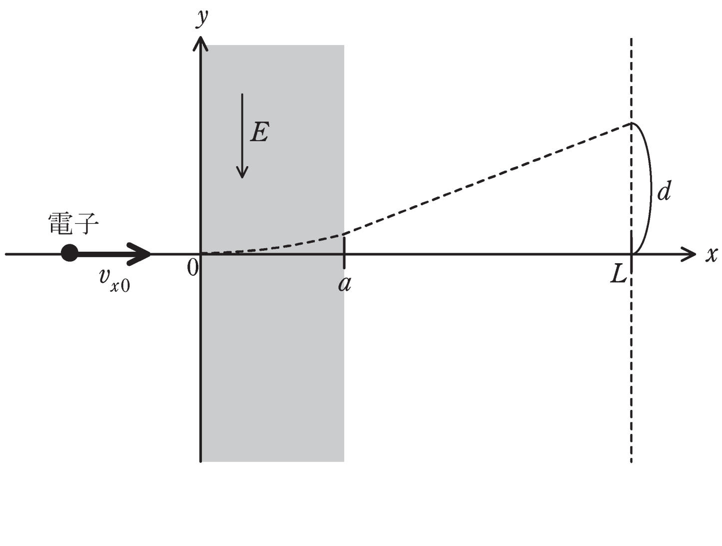

●S1－R 012

〔問５の解答群〕

| | | |
|---|---|---|
| (イ) $\dfrac{E}{2}$ | (ロ) $-\dfrac{CE}{L}$ | (ハ) $i(t)=C\dfrac{\mathrm{d}v(t)}{\mathrm{d}t}$ |
| (ニ) $\dfrac{E}{R}$ | (ホ) $E$ | (ヘ) $v(t)=C\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$ |
| (ト) $\dfrac{1}{2}CE^2$ | (チ) $\dfrac{RE}{L}$ | (リ) $v(t)=L\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$ |
| (ヌ) $-\dfrac{E}{L}$ | (ル) $0$ | (ヲ) $CE^2-\dfrac{1}{2}L\dfrac{E^2}{R^2}$ |
| (ワ) $\dfrac{1}{2}L\dfrac{E^2}{R^2}$ | (カ) $-E$ | (ヨ) $-\dfrac{E}{R}$ |

問６　次の文章は，静電界による電子の運動に関する記述である。文中の $\boxed{\phantom{(1)}}$ 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，真空中を電子（質量 $m$，電荷量 $-e$，$e>0$）が $x$ 軸上を $x<0$ の領域から一定速度 $v_{x0}(>0)$ で運動している。領域 $0 \leqq x \leqq a$ には，図に示すように $y$ 軸の負の方向に均一な電界 $E\ (>0)$ がかかっており，それ以外の領域では電界がないものとする。電子の $x$ 座標が $x=0$ から $x=a$ に達するまでにかかる時間は $\boxed{(1)}$ である。領域 $0 \leqq x \leqq a$ では，電子は電界から力 $F=\boxed{(2)}$ を受けて $y$ 方向に偏向する。運動の第２法則から $y$ 方向の運動方程式は $m\dfrac{\mathrm{d}v_{\mathrm{y}}}{\mathrm{d}t}=\boxed{(2)}$ と表される。ただし，$v_{\mathrm{y}}$ は速度の $y$ 方向成分を表す。微分方程式を解くことにより，電子の $x$ 座標が $x=a$ に到達したときの $v_{\mathrm{y}}$ は $\boxed{(3)}$ となり，そのときの電子の $y$ 座標は $\boxed{(4)}$ となる。領域 $x>a$ では，電子の運動は $x,y$ 方向共に等速度運動となることから，電子が $x=L(>a)$ に到達した際の $y$ 座標を $d$ とすると，$d=\boxed{(5)}$ となる。






●S１－R 014

〔問６の解答群〕

| | | |
|---|---|---|
| (イ) $\dfrac{eE}{m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$ | (ロ) $\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(2L-a)}{{v_{x0}}^2}$ | (ハ) $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a}{v_{x0}}$ |
| (ニ) $\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(L-a)}{{v_{x0}}^2}$ | (ホ) $\dfrac{m}{eE}\dfrac{L-a}{v_{x0}}$ | (ヘ) $eE$ |
| (ト) $\dfrac{eE}{m}\dfrac{v_{x0}}{a}$ | (チ) $\dfrac{eE}{m}$ | (リ) $\dfrac{a}{v_{x0}}$ |
| (ヌ) $\dfrac{L}{v_{x0}}$ | (ル) $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$ | (ヲ) $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a(2L-a)}{{v_{x0}}^2}$ |
| (ワ) $aE$ | (カ) $\dfrac{L-a}{v_{x0}}$ | (ヨ) $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{L}{v_{x0}}\right)^2$ |

**問７及び問８は選択問題であり，問７又は問８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７　次の文章は，発光ダイオード（LED）の点灯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。ただし，LED の明るさは LED を流れる電流に比例するとする。

点灯時の LED の順方向電圧 $V_D$ はほぼ一定値となる。このため点灯時の LED の解析は，LED を図１のように大きさ $V_D$ の直流電圧源で置き換えて考えると簡略化できる。

まず，図２の回路を用いて LED を点灯させた。LED に直列に接続する抵抗 $R$ の役割は $\boxed{(1)}$ である。LED を流れる電流は LED を直流電圧源 $V_D$ に置き換えることで $\boxed{(2)}$ と求められる。

次に，２個の LED を点灯させるために図３及び図４の回路を作製した。このとき図３及び図４で用いた全ての LED の特性は等しく，$V_D$ は全て 2 V とする。図３の $V_{in}$ が 5 V であるとき図３の LED を流れる電流を 50 mA とするためには図３の抵抗 $R$ を $\boxed{(3)}$ Ωとすればよい。図３と図４の抵抗 $R$ を $\boxed{(3)}$ Ωとし，図３と図４の全ての LED の明るさが等しくなるように図４の $V_{in}$ を調整した。このとき図４の回路の消費電力は $\boxed{(4)}$ mW である。

図３及び図４の２個の LED のうち片方の LED が破損し断線したときにも，もう一方の LED が点灯し続けるのは $\boxed{(5)}$ である。

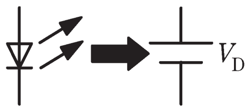



図1

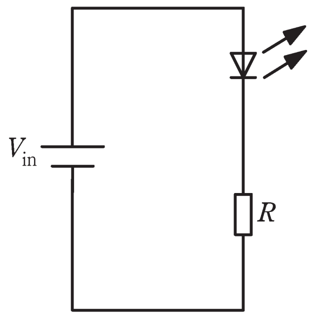



図2



●S1－R 016

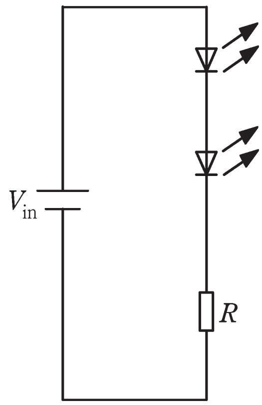


図3

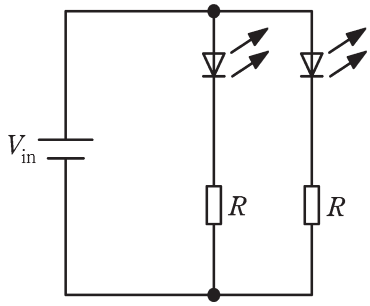


図4

〔問7の解答群〕

(イ) 300　　(ロ) 500　　(ハ) LEDの破損防止

(ニ) 250　　(ホ) 図3　　(ヘ) 60

(ト) 20　　(チ) $\dfrac{V_{in}+V_D}{R}$　　(リ) 図3と図4の両方

(ヌ) 50　　(ル) LEDの保温　　(ヲ) LEDの明るさの向上

(ワ) $\dfrac{V_{in}}{R}$　　(カ) 図4　　(ヨ) $\dfrac{V_{in}-V_D}{R}$

**問７及び問８は選択問題であり，問７又は問８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８　次の文章は，交流ブリッジによるコンデンサの測定に関する記述である。文中の $\boxed{\phantom{(0)}}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図の破線で囲んだ部分は測定対象のコンデンサで，その等価回路は静電容量 $C_1$ と抵抗 $R_1$ の直列回路である。図の $R_2$，$R_3$ 及び $R_4$ は既知の抵抗，$C_2$ は既知の静電容量，Dは検出器である。また，交流電源の電圧を $\dot{E}$，その角周波数を $\omega$ とする。

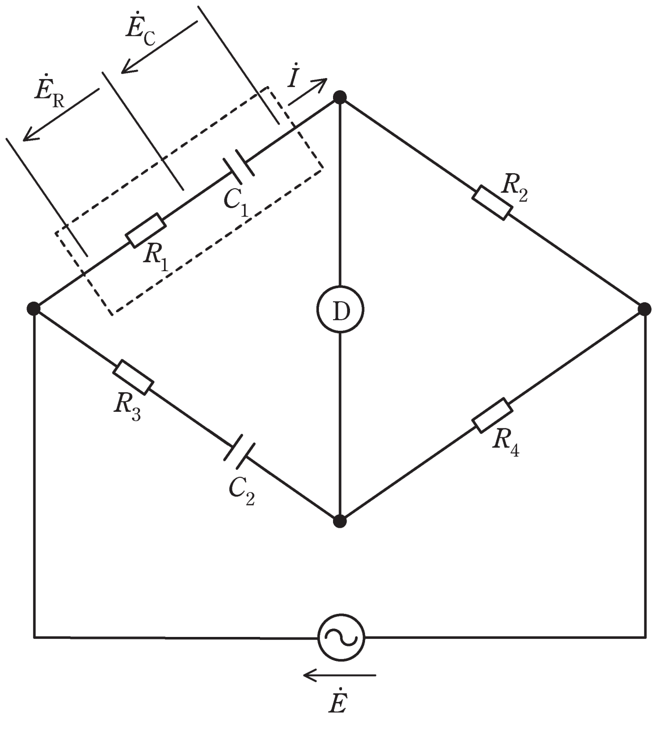
今，検出器の指示が零となりブリッジが平衡したとすると，次式が成り立つ。

$\boxed{(1)}$

上式から，$R_1 = \boxed{(2)}$，$C_1 = \boxed{(3)}$ が求められる。

電圧 $\dot{E}_R$，電圧 $\dot{E}_C$ 及び電流 $\dot{I}$ をフェーザ図で表すと $\boxed{(4)}$ となる。

フェーザ図に記した $\delta$ の正接である $\tan\delta = \boxed{(5)}$ は誘電正接と呼ばれ，コンデンサの性能を表す指標の一つである。なお，理想的なコンデンサの誘電正接は零となる。






●S1－R 018

〔問８の解答群〕

(イ) $\dfrac{R_4}{R_2R_3}$　　(ロ) $\omega C_2R_3$　　(ハ) $\dfrac{C_2R_2}{R_4}$

(ニ) $\dfrac{R_3R_4}{R_2}$　　(ホ) $\dfrac{R_3}{\omega C_2}$　　(ヘ) $\dfrac{C_2R_4}{R_2}$

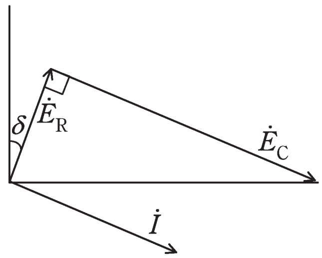
(ト) $\dfrac{R_2R_3}{R_4}$　　(チ) $\dfrac{1}{\omega C_2R_3}$　　(リ) $\dfrac{R_2}{C_2R_4}$

(ヌ) $\left(R_1+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_1}\right)R_4=\left(R_3+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_2}\right)R_2$

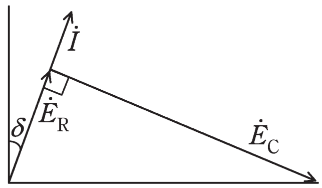
(ル) $R_1+R_2+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_1}=R_3+R_4+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_2}$

(ヲ) $\left(R_1+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_1}\right)R_2=\left(R_3+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C_2}\right)R_4$

(ワ)




(カ)




(ヨ)