問題Ⅰ

真空中で孤立している半径 a の絶縁体球に電荷 Q を与えたとき、中心から距離 r の点の電界 E の大きさを求めよ。

問１．絶縁体球外（$r>a$）において電界 E の大きさを求めるガウスの法則の右辺（半径 r の球内の電荷／ε_0）を以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① $\dfrac{Qa}{4\pi r^3}$　② $\dfrac{Qa^3}{\varepsilon_0 r^3}$　③ $\dfrac{Q}{\varepsilon_0}$　④ $\dfrac{Qr^3}{\varepsilon_0 a^3}$

⑤ $\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$　⑥ $\dfrac{Qr}{4\pi\varepsilon_0 a^3}$

問２．絶縁体球外の電界 E の大きさを、以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① $\dfrac{Qa}{4\pi r^3}$　② $\dfrac{Qa}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$　③ $\dfrac{Q(r-a)}{2\pi\varepsilon_0 r^2}$　④ $\dfrac{Qr}{4\pi\varepsilon_0 a^3}$

⑤ $\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$　⑥ $\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon_0 r}$

問３．絶縁体球内（$r<a$）において電界 E の大きさを求めるガウスの法則の右辺（半径 r の球内の電荷／ε_0）を以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① $\dfrac{Qa}{4\pi r^3}$　② $\dfrac{Qa^3}{\varepsilon_0 r^3}$　③ $\dfrac{Q}{\varepsilon_0}$　④ $\dfrac{Qr^3}{\varepsilon_0 a^3}$

⑤ $\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$　⑥ $\dfrac{Qr}{4\pi\varepsilon_0 a^3}$

問４．絶縁体球内の電界 E の大きさを、以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① $\dfrac{Q}{2\pi\varepsilon_0 r}$　② $\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$　③ $\dfrac{Qr}{4\pi\varepsilon_0 a^3}$　④ $\dfrac{Q(r-a)}{2\pi\varepsilon_0 r^2}$

⑤ $\dfrac{Qa}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$　⑥ $\dfrac{aQ}{4\pi r^3}$

問題Ⅱ

図 2.1 (a) に示すような２つの平行板コンデンサ C_1 と C_2 を考える。全ての電極板の面積は等しく、その面積は S である。電極 b と電極 c は伸び縮みしない導体棒で接続されており、電極 b と電極 c を平行に保ったまま滑らかに動かすことができる。C_1、C_2 の電極板間の距離はそれぞれ d, $3d$ である。初期状態において、C_1、C_2 には電荷は蓄えられていないものとする。真空の誘電率を ε_0 として、以下の問いに答えよ。ただし、電極の端効果は無視できるとする。

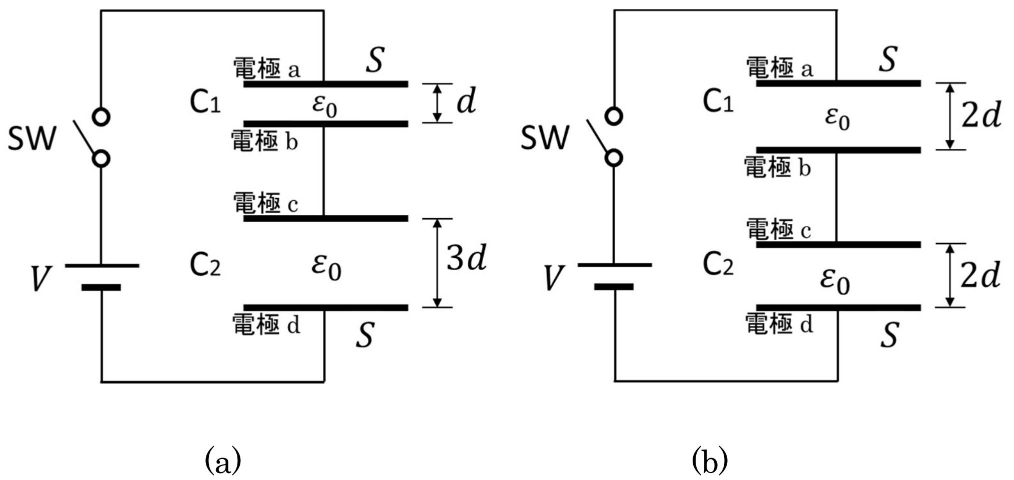


図 2.1 ２つの平行板コンデンサ

問５．２つの平行板コンデンサ C_1、C_2 の合成静電容量を、以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① $\dfrac{3\varepsilon_0 S}{2d}$　② $\dfrac{\varepsilon_0 d}{2S}$　③ $\dfrac{4\varepsilon_0 S}{3d}$　④ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{4d}$

⑤ $\dfrac{3\varepsilon_0 d}{2S}$　⑥ $\dfrac{2\varepsilon_0 S}{3d}$

問６．図 2.1(a) において、SW を閉じて電圧 V を印加したときに２つのコンデンサに蓄えられる静電エネルギーの総和 U_0 を、以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① $\dfrac{\varepsilon_0 S}{8d}V^2$　② $\dfrac{3\varepsilon_0 d}{8S}V^2$　③ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{2d}V^2$　④ $\dfrac{9\varepsilon_0 S}{16d}V^2$

⑤ $\dfrac{3d}{8S\varepsilon_0}V^2$　⑥ $\dfrac{4d}{9S\varepsilon_0}V^2$

問７．次に、SW を開き、導体棒を手で持って電極 b および電極 c を移動させ、図 2.1 (b) のように C_1、C_2 の電極板間の距離をともに $2d$ とした。このとき手がした仕事の大きさを U_0 を用いて表すといくらになるか、以下の選択肢より選びなさい。

選択肢

① 0　② $3U_0$　③ $\frac{3}{8}U_0$　④ $\frac{3}{4}U_0$

⑤ $\frac{9}{16}U_0$　⑥ $\frac{1}{2}U_0$

問題Ⅲ

問８．比誘電率 ε_r の誘電体が挿入された平行平板コンデンサがある。平行平板の電界の大きさが E であるとき、コンデンサ中の分極 P の大きさはいくらになるか、以下の選択肢より選びなさい。ただし、真空中の誘電率を ε_0 とする。

選択肢

① $\varepsilon_0 E$　② $\varepsilon_0 \varepsilon_r E$　③ $\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$　④ $\dfrac{\varepsilon_r}{\varepsilon_0}E$

⑤ $\dfrac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r - 1}E$　⑥ $\dfrac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_0}E$

問９．図のような一辺が a の正三角形の電流回路において、電流 I が流れているとき、中心点 O における磁界の大きさ H はいくらになるか、以下の選択肢より選びなさい。

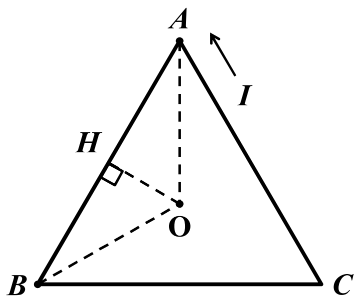


図 3.1 正三角形の電流回路

選択肢

① $\dfrac{9\pi}{2a}I$　② $\dfrac{3\pi}{2a}I$　③ $\dfrac{9a}{2\pi}I$　④ $\dfrac{3a}{2\pi}I$

⑤ $\dfrac{9}{2\pi a}I$　⑥ $\dfrac{3}{2\pi a}I$

問１０．図のような半径 r の導体リングを考える。この導体は空間的に一様な磁界に置かれている。磁界の磁束密度の大きさはBで、その方向はリングの縁（ふち）とする平面に垂直である。磁界が時間とともに変化するとして、リング内に生じる電界 E はいくらになるか、以下の選択肢より選びなさい。

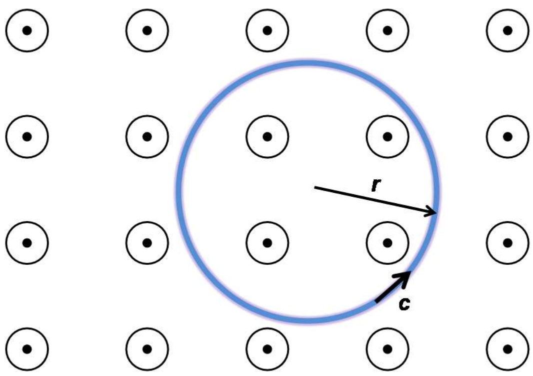


図 3.2 磁界中のリング

選択肢

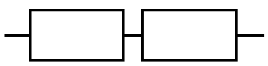
① $-\frac{r}{2}\cdot\frac{dB}{dt}$　② $-\frac{r}{4}\cdot\frac{dB}{dt}$　③ $-\frac{r}{2\pi}\cdot\frac{dB}{dt}$　④ $-\frac{r}{4\pi}\cdot\frac{dB}{dt}$

⑤ $-\frac{r^2}{2}\cdot\frac{dB}{dt}$　⑥ $-\frac{r^2}{4}\cdot\frac{dB}{dt}$

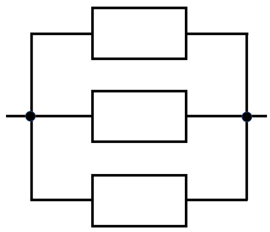
第 2 回　達成度確認テスト　電気回路

1.　$R = \omega L = 1/(\omega C) = 12\Omega$とする．以下の合成インピーダンスの大きさを求め, 最も適切な番号を①から⓪の中から選べ．ただし同じ番号を何度選んでもよい．((1), (2) は 1 点，他 2 点)

(1)

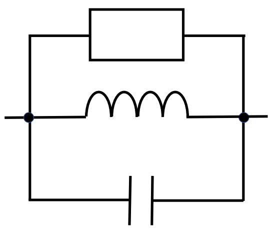


(2)

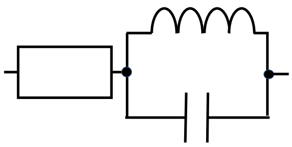


(3)

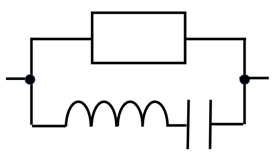
(4)



(5)



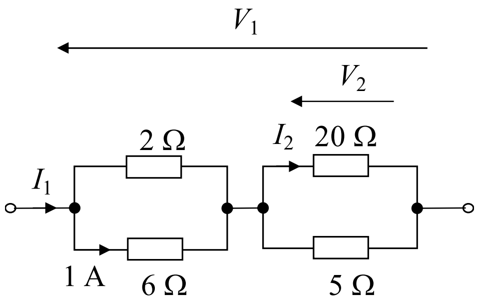
(6)



①　0　②　3　③　4　④　6　⑤　8　⑥　12

⑦　$12\sqrt{5}$　⑧　24　⑨　36　⓪　∞

2.　図の回路に示すように 6 Ωの抵抗に 1 A の電流が流れている時，以下の電流，電圧，電力はいくらになるか．最も近い値を①から⓪の中から選べ. ただし同じ番号を何度選んでも良い．(各 2 点)



(1)　I_1

(2)　I_2

(3)　V_1

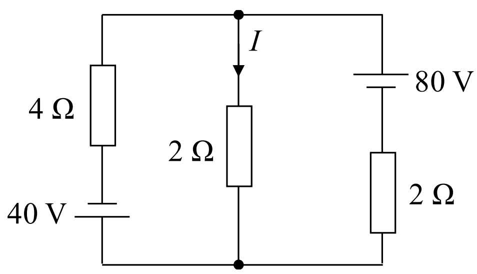
(4)　V_2

(5)　2 Ωの抵抗での消費電力 P

①　0.5　②　0.8　③　1　④　3　⑤　4

⑥　6　⑦　16　⑧　18　⑨　20　⓪　22

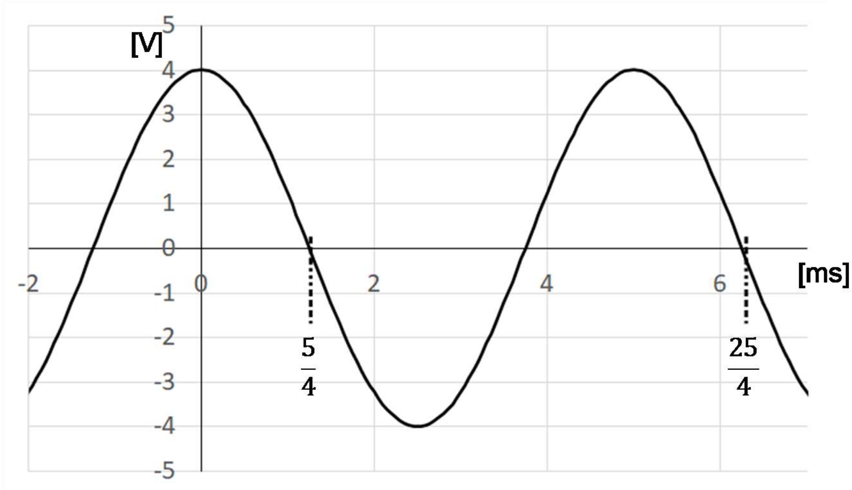
3.　図の回路の電流 I[A]として最も適切なものはどれか. (10 点)



①　1　②　4　③　12　④　15　⑤　20

4.　下記のグラフを正弦波（$v(t) = A\sin(\omega t + \phi)$）の式で表したい．以下の要素を答えよ．要素(1)(2)は選択肢 A，要素(3)(4)は選択肢 B，要素(5)は選択肢 C から選べ．

（各 2 点）



(1)　振幅［V］

(2)　実効値［V］

(3)　周期［s］

(4)　周波数［Hz］

(5)　初期位相（時刻 0 のときの位相）[rad]

選択肢 A

① $\frac{5}{4}$　② $2\sqrt{2}$　③ 4　④ $4\sqrt{2}$　⑤ 8　⑥ 16

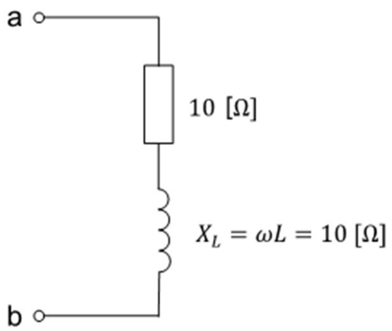
選択肢 B

① 0.005　② 0.2　③ $\frac{1}{4}$　④ $\frac{4}{5}$　⑤ $\frac{5}{4}$　⑥ 4　⑦ 5　⑧ 200

選択肢 C

① $-\frac{\pi}{2}$　② $-\frac{\pi}{3}$　③ $-\frac{\pi}{6}$　④ 0　⑤ $\frac{\pi}{6}$　⑥ $\frac{\pi}{3}$　⑦ $\frac{\pi}{2}$　⑧ $\frac{5}{4}$　⑨ 4.0

5.　以下の回路について空所に最も適当な解答を(1), (2)は選択肢 A，(3), (4), (5) は選択肢 B から選べ．選択肢は必要であれば何度選んでもよい（各 2 点）



a − b 間に直流電圧 $E = 20$ [V]を加えたとき，流れる電流 I は $\boxed{(1)}$ [A]である．

a − b 間に交流電圧 $\dot{E} = 20\angle\left(\frac{\pi}{5}\right)$ [V] を加えたとき，流れる電流 $\dot{I}$ は $\boxed{(2)}$ [A]，この回路全体の複素電力 $\dot{P}$ は $\boxed{(3)}$ [VA]，有効電力は $\boxed{(4)}$ [W]，無効電力は $\boxed{(5)}$ [var] である．

ただし，複素電力 $\dot{P}$ の定義は $\dot{P} = \bar{\dot{E}} \cdot \dot{I}$ とする．

選択肢 A：

① $\sqrt{2}\angle\left(\frac{\pi}{20}\right)$　② $\sqrt{2}\angle\left(-\frac{\pi}{20}\right)$　③ $200\sqrt{2}\angle\left(\frac{\pi^2}{20}\right)$

④ $\frac{1}{\sqrt{2}}\angle\left(\frac{\pi}{20}\right)$　⑤ $\frac{1}{\sqrt{2}}\angle\left(-\frac{\pi}{20}\right)$　⑥ 0　⑦ 1

⑧ 2　⑨ $\frac{1}{\sqrt{2}}$　⓪ $\sqrt{2}$

選択肢 B：

① $10\sqrt{2}\angle\left(\frac{\pi}{4}\right)$　② $10\sqrt{2}\angle\left(-\frac{\pi}{4}\right)$　③ $20\sqrt{2}\angle\left(\frac{\pi}{4}\right)$

④ $20\sqrt{2}\angle\left(-\frac{\pi}{4}\right)$　⑤ $20\sqrt{2}\angle\left(\frac{3\pi}{20}\right)$　⑥ $10\sqrt{2}\angle\left(\frac{3\pi}{20}\right)$

⑦ 10　⑧ − 10　⑨ 20　⓪ − 20

1 図 1 の帰還増幅回路について次の問いに答えよ。ただし、増幅回路単体の電圧増幅度を A_v、入力インピーダンスを Z_i、出力インピーダンスを 0 とし、さらに βA_v は 1 よりも非常に大きいとする。

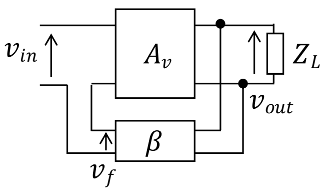


図 1 並列帰還－直列注入（電圧－電圧帰還）

(1) 帰還率 β の単位を以下から答えよ。
① [Ω] ② [S] ③ [V] ④ なし

(2) この回路の βA_v は何と呼ばれるのか、以下から答えよ。
① ループゲイン ② 帰還率 ③ 正帰還 ④ 負帰還

(3) 回路全体の電圧増幅度 (v_{out}/v_{in}) を以下から答えよ。
① A_v ② $1/\beta$ ③ βA_v ④ A_v/β

(4) 回路全体の入力インピーダンスを以下から答えよ。
① Z_i ② Z_i/β ③ $\beta A_v Z_i$ ④ $Z_i A_v/\beta$

2 演算増幅器を用いた回路（図 2）に小信号 v_{in} を入力し、そのときの出力が v_{out} であるとする。次の問いに答えよ。ここで、演算増幅器の電圧増幅度と入力インピーダンスは非常に大きいとする。

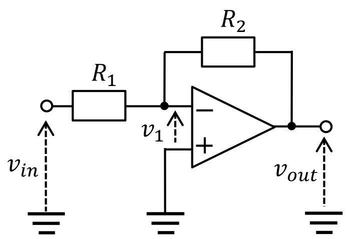


図 2 演算増幅器を用いた回路

(1) 回路全体の電圧増幅度 (v_{out}/v_{in}) を以下から答えよ。
① R_1/R_2 ② $-R_1/R_2$ ③ R_2/R_1 ④ $-R_2/R_1$

(2) 増幅器の電圧利得が非常に大きいとき、その入力電圧 v_1 は 0 になる。この現象の名称を以下から答えよ。
①反転増幅 ②非反転増幅 ③仮想開放 ④仮想短絡

(3) この回路の入力インピーダンスを以下から答えよ。
① R_1 ② R_2 ③ R_1+R_2 ④ R_1-R_2

(4) この回路の名称（～回路）を以下から答えよ。
①反転増幅 ②非反転増幅 ③仮想開放 ④仮想短絡

3 エッジトリガ形 D フリップフロップ（DFF）は、クロック信号 CLK（周期 T_s）の立ち上がり時における入力 D が出力 Q となる。図 3 のように 2 つの DFF を 2 つの NOT ゲート（1 つあたりの遅延は $T_s/4$）を介して接続し、入力信号を D_1 に与えたとき、以下の問いに答えよ。

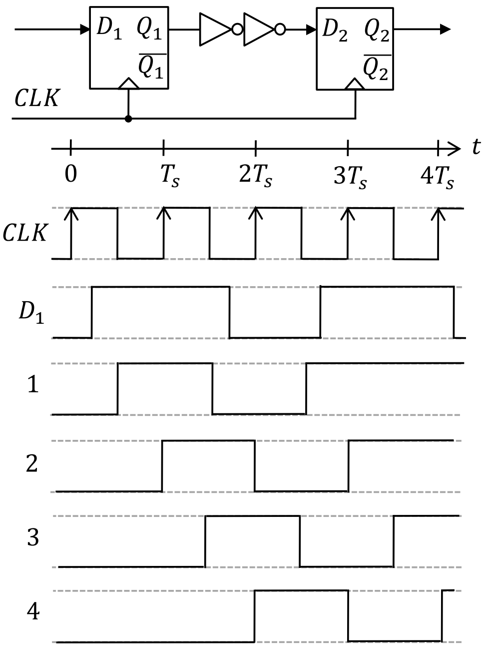


図 3 DFF を用いた回路とタイミングチャート

(1) 出力端子 Q_1 の波形を図 3 の 1 ～ 4 から答えよ。

(2) 出力端子 Q_2 の波形を図 3 の 1 ～ 4 から答えよ。

4 図 4 の回路に小信号 v_{in} を入力し、その出力が v_{out} であるとき、次の問いに答えよ。ただし、トランジスタの h パラメータを h_{ie}、h_{fe}、h_{oe} とし、さらに $1/h_{oe} \gg R_C$ とする。

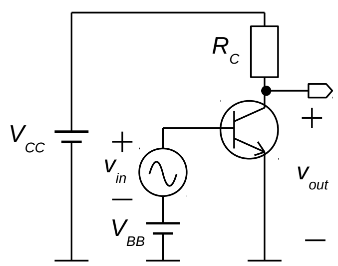


図 4 増幅回路

(1) 図 4 の名称（～接地増幅回路）を以下から答えよ。
①ベース ②コレクタ ③エミッタ ④ソース

(2) 出力電流の大きさを以下から答えよ。
① v_{in}/h_{ie} ② $v_{in}h_{fe}/h_{ie}$ ③ v_{in}/R_C ④ $v_{in}h_{oe}$

(3) 回路の出力インピーダンスを以下から答えよ。
① h_{ie} ② $h_{fe}R_C$ ③ R_C ④ $1/h_{oe}$

1. 空欄に適する数式を ①〜④ より選び、マークせよ。

(a) $\dfrac{dx^2t^3}{dt} = ($　ア　$)$

① $2xt^3$　② $3x^2t^2$　③ $2xt^3+3x^2t^3$　④ $xt^3/2$

(b) $\dfrac{d\cos at}{dt} = ($　イ　$)$

① $\sin at$　② $-\sin at$　③ $a\sin at$　④ $-a\sin at$

(c) $\dfrac{d\log t}{dt} = ($　ウ　$)$ $(t>0)$

① t　② $1/t$　③ $-t$　④ $-1/t$

(d) $\dfrac{de^{at}\sin t}{dt} = ($　エ　$)$

① $e^{at}(a\sin t+\cos t)$　② $e^{at}(\sin t+a\cos t)$　③ $e^{at}(a\sin t-\cos t)$　④ $e^{at}(\sin t-a\cos t)$

(e) $\dfrac{d\tan t}{dt} = ($　オ　$)$

① $1/\cos^2 t$　② $1/\sin^2 t$　③ $-1/\cos^2 t$　④ $-1/\sin^2 t$

2. 空欄に適する語句等を ①〜④ より選び、マークせよ。

(a) 実効値は rms に等しい。この rms という用語は実効値の算出方法を示唆しており、(　カ　) の略である。

① reverse mean source　② root mean square　③ rapid mean solution　④ random mean speed

(b) $v(t) = V_m \sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$ の rms は (　キ　) である。

① $\dfrac{1}{T}\left\{\displaystyle\int_0^T V_m\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)dt\right\}^2$　② $\dfrac{1}{T}\left\{\displaystyle\int_0^T \sqrt{V_m\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)}dt\right\}^2$

③ $\left\{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T \sqrt{V_m\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)}dt\right\}^2$　④ $\sqrt{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T \left\{V_m\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)\right\}^2 dt}$

(c) (　キ　) の計算結果は (　ク　) である。

① $\frac{1}{\sqrt{2}}V_m$　② $\sqrt{2}V_m$　③ $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}V_m$　④ $\frac{1}{2}V_m$

(d) $v(t) = V_m \sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)$ の平均値は $\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T \left|V_m\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t\right)\right| dt = ($　ケ　$)$ である。

① $\frac{1}{T}\frac{2}{\pi}V_m$　② $\frac{1}{T}\frac{\pi}{2}V_m$　③ $\frac{\pi}{2}V_m$　④ $\frac{2}{\pi}V_m$

(e) 以下の文章の中で、誤っているのは (　コ　) である。

① 電流と電圧のそれぞれの平均値を掛け合わせたものは、瞬時電力を表す。

② 電流と電圧のそれぞれの実効値を掛け合わせたものは、皮相電力を表す。

③ 平均値も実効値も被積分関数の最大振幅を超えない。

④ 周期は平均値や実効値に影響を与えない。

3. 空欄に適する数値等を ①〜④ より選び、マークせよ。

(a) $3+j4$ の大きさは（　サ　）である。

① $\sqrt{5}$　② 5　③ 7　④ 25

(b) $\dfrac{1}{j}$ は（　シ　）である。

① $1\angle 0$　② $1\angle\left(\dfrac{\pi}{2}\right)$　③ $1\angle\pi$　④ $1\angle\left(-\dfrac{\pi}{2}\right)$

(c) $2\angle(\pi/6)$ の共役複素数は（　ス　）である。

① $1-j\sqrt{3}$　② $-1+j\sqrt{3}$　③ $\sqrt{3}-j$　④ $-\sqrt{3}+j$

(d) $50\sqrt{2}\sin(60\pi t+\pi/2)$ をフェーザで表すと
（　セ　）となる。

① $50\angle(\pi/2)$　② $50\sqrt{2}\angle(\pi/2)$　③ $50\angle(60\pi)$　④ $50\sqrt{2}\angle(60\pi)$

(e) $50\sqrt{2}\sin(60\pi t+\pi/2)$ の角周波数は（　ソ　）である。

① $\dfrac{1}{60\pi}$　② $\dfrac{1}{30}$　③ 30　④ 60π

4. 以下の微分方程式を満たす関数 $x(t)$ を①〜④より選び、マークせよ。

(a) $\dfrac{dx(t)}{dt}+2x(t)=0,\ \ x(t)=$（　タ　）

① $e^{-0.5t}$　② e^{-t}　③ e^{-2t}　④ $e^{0.5t}$

(b) $\dfrac{dx(t)}{dt}+2x(t)=1,\ \ x(t)=$（　チ　）

① t　② e^{-t}　③ 0.5　④ e^{-2t}

(c) $\dfrac{d^2x(t)}{dt^2}+x(t)=0,\ \ x(t)=$（　ツ　）

① $\sin t$　② $\sin^2 t$　③ $\tan t$　④ $\sinh t$

(d) $\dfrac{dx(t)}{dt}=x(t)\{1-x(t)\},\ x(t)=$（　テ　）

① $\dfrac{e^t}{1-e^t}$　② $\dfrac{e^t}{1+e^t}$　③ $\dfrac{-e^t}{1+e^t}$　④ $\dfrac{-e^t}{1-e^t}$

(e) $\dfrac{dx(t)}{dt}+\{x(t)\}^2=0,\ x(t)=$（　ト　）

① $\sin 2t$　② $\sin\sqrt{t}$　③ $1/t^2$　④ $1/t$

5. $\boldsymbol{A}=\boldsymbol{i}-\boldsymbol{j},\ \boldsymbol{B}=2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k}$ に対して、以下の量を①〜④より選び、マークせよ。ただし、$\boldsymbol{i},\ \boldsymbol{j},\ \boldsymbol{k}$ はそれぞれ $x,\ y,\ z$ 軸正方向の単位ベクトルである。

(a) $\boldsymbol{A}$ の大きさ $=$（　ナ　）

① 1 ② 2 ③ $\sqrt{2}$ ④ $\sqrt{3}$

(b) $\boldsymbol{B}$ 方向の単位ベクトル $=$（　ニ　）

① $(2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k})/\sqrt{2}$ ② $(2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k})/\sqrt{3}$ ③ $(2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k})/2$ ④ $(2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k})/\sqrt{5}$

(c) 内積 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=$（　ヌ　）

① 1 ② 2 ③ -1 ④ -2

(d) 外積 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=$（　ネ　）

① $-\boldsymbol{i}-\boldsymbol{j}+2\boldsymbol{k}$ ② $-\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k}$ ③ $-2\boldsymbol{i}-\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k}$ ④ $\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}+\boldsymbol{k}$

(e) $\boldsymbol{A}$ と $\boldsymbol{B}$ が作る角 θ に対して $\cos\theta=$（　ノ　）

① $-2/\sqrt{5}$ ② $-2/\sqrt{6}$ ③ $-2/\sqrt{7}$ ④ $-2/\sqrt{10}$