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，同軸円筒導体間の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 1 のように，内部導体の外半径を a，外部導体の内半径を b とする同軸円筒導体を想定する。外部導体を接地し，内部導体に電圧 V を印加するとき，内部導体に蓄えられる単位長さ当たりの電荷を Q とする。

内外導体間の誘電体の誘電率が ε_1 の場合，半径 r における電界 $E(r)$ は①式のように表される。

$$E(r) = \boxed{(1)} \quad \cdots\cdots ①$$

このときの $E(r)$ の最小値を E_{min}，最大値を E_{max} とする。なお，$E(r)$ を r について a から b まで積分した値が内外円筒間の電位差 V に等しいことから，この同軸円筒導体の単位長さ当たりの静電容量 C は②式のようになる。

$$C = \boxed{(2)} \quad \cdots\cdots ②$$

次に，図 2 のように内外導体間の誘電体の誘電率が r の一次関数 $\varepsilon(r)$ として $\varepsilon(a)=\varepsilon_2$ から $\varepsilon(b)=\varepsilon_1$ まで変化する同軸円筒導体を考える。この場合，$\varepsilon(r)$ は③式のように表される。

$$\varepsilon(r) = \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{b-a}r + \boxed{(3)} \quad \cdots\cdots ③$$

この場合に，内部導体に図 1 と同じ電荷 Q を与える場合の内外導体間の電界を $E_1(r)$ と表記する。①式で E_{max} となる $r=r_{\mathrm{max}}$ において，$E_1(r_{\mathrm{max}}) \leqq E_{\mathrm{min}}$ となるための ε_2 の条件は，①式の ε_1 を $\varepsilon(r)$ に置き換えることにより，$\varepsilon_2 \geqq \boxed{(4)}$ と算出される。$\varepsilon_2 = \boxed{(4)}$ のとき，$E_1(r)$ は $r = \boxed{(5)}$ において最小となる。

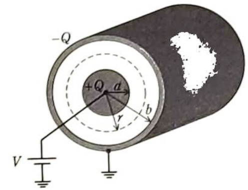


図 1

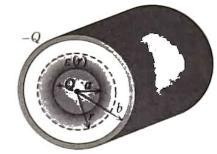


図 2

〔問 1 の解答群〕

(イ) $\dfrac{\varepsilon_2 b-\varepsilon_1 a}{b-a}$	(ロ) $\varepsilon_1-\varepsilon_2$	(ハ) $\dfrac{\varepsilon_1 b-\varepsilon_2 a}{b-a}$
(ニ) $\dfrac{2\pi\varepsilon_1}{\ln\dfrac{b}{a}}$	(ホ) $\dfrac{a+b}{2}$	(ヘ) $\dfrac{Q}{4\pi r\varepsilon_1}$
(ト) $\dfrac{a}{b}\varepsilon_1$	(チ) $\dfrac{Q}{2\pi r\varepsilon_1}$	(リ) $\dfrac{Q}{2\pi r^2\varepsilon_1}$
(ヌ) $\dfrac{2\pi\varepsilon_1}{b-a}$	(ル) $\dfrac{2\pi\varepsilon_1}{\ln\dfrac{a}{b}}$	(ヲ) b
(ワ) ε_1	(カ) $\dfrac{b}{a}\varepsilon_1$	(ヨ) a

問２　次の文章は，無限長の直線電流が作る磁束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。ただし，真空中の透磁率を μ_0 とする。

真空中に無限長の直線電流 I が流れている。このとき，直線電流から距離 $r\,(r>0)$ 離れた場所の磁束密度の大きさ $B(r)$ は，①式である。

$B(r)=\boxed{(1)}$ ……………………………… ①

次に，直線電流と同一平面上に，図１のような巻数１の長方形コイルを置く。ただし，コイルの導体は十分細く，コイルに流れる電流は十分小さいものとする。直線電流が作り出す磁束のうち，直線電流から距離 l 離れた長方形コイルに鎖交する磁束を $\Phi(l)$ とする。ただし，紙面の手前から奥に鎖交する磁束の向きを正とする。

ここで，図２のように，長方形コイルを $\mathrm{d}l$ だけ直線電流から微小に遠ざけたときの鎖交磁束の変化 $\mathrm{d}\Phi(l)$ を考える。図２において，ハッチングした領域の磁束の増減を考えれば良いので，B を用いて $\mathrm{d}\Phi(l)=\boxed{(2)}\,b\,\mathrm{d}l$ と表せる。これより，②式が成り立つ。

$\dfrac{\mathrm{d}\Phi(l)}{\mathrm{d}l}=\boxed{(2)}\,b$ ……………………………… ②

ここで，t を時間とする。コイルが速度 v で直線電流から遠ざかっているとき③式が成り立つ。

$v=\boxed{(3)}$ ……………………………… ③

ファラデーの法則により，コイルに誘起される電圧 $V(l)$ は④式で表せる。

$V(l)=\boxed{(4)}$ ……………………………… ④

④式に①式，②式及び③式を代入すると，$V(l)$ は⑤式のように計算できる。

$V(l)=\boxed{(5)}$ ……………………………… ⑤

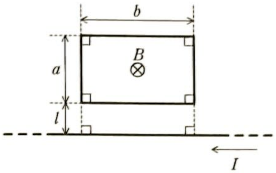


図１

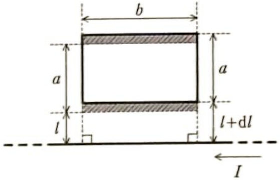


図２

〔問２の解答群〕

(イ) $\left[B(l+a)-B(l)\right]$　(ロ) $-\dfrac{\mathrm{d}\Phi(l)}{\mathrm{d}t}$　(ハ) $\dfrac{\mu_0 I}{2r}$

(ニ) $\dfrac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t}$　(ホ) $\dfrac{\mu_0 I}{\pi r^2}$　(ヘ) $-\dfrac{\mathrm{d}\Phi(l)}{\mathrm{d}a}$

(ト) $\dfrac{\mu_0 abvI}{\pi l^2(l+a)}$　(チ) $\dfrac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}t}$　(リ) $\dfrac{\mathrm{d}b}{\mathrm{d}t}$

(ヌ) $\left[B(l+\mathrm{d}l)-B(l)\right]$　(ル) $\dfrac{\mu_0 abvI}{2l(l+a)}$　(ヲ) $-\dfrac{\mathrm{d}\Phi(l)}{\mathrm{d}l}$

(ワ) $\dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$　(カ) $\left[B(l+b)-B(l)\right]$　(ヨ) $\dfrac{\mu_0 abvI}{2\pi l(l+a)}$

問3　次の文章は，二端子対抵抗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1に示すように，二次側が抵抗 R_1 で終端された 3Ω，6Ω，5Ωの抵抗からなるT形二端子対回路を考える。端子対 a–b 間の電圧を V_0，端子対 c–d 間の電圧を V_1，6Ωの抵抗に掛かる電圧を V_m とする。$R_1=7\,\Omega$ のとき，端子対 a–b から二次側を見たときのインピーダンスを Z_1 とすると，$Z_1=$ $\boxed{(1)}$，$\dfrac{V_m}{V_0}=$ $\boxed{(2)}$，

$\dfrac{V_1}{V_m}=$ $\boxed{(3)}$ となる。

次に，図2に示すように，図1のT形二端子対回路を二段縦続接続して図1と同じ抵抗 R_1 で終端した回路を考える。$R_1=7\,\Omega$ のとき，R_1 に掛かる電圧を V_2 とすると，図2の回路の端子対 a–b 並びに端子対 c–d から二次側を見たときのインピーダンスはいずれも図1の Z_1 と等しいので $\dfrac{V_1}{V_0}=\dfrac{V_2}{V_1}$ が成立し，$\dfrac{V_2}{V_0}=$ $\boxed{(4)}$ となる。このとき，図2の抵抗 $R_1=7\,\Omega$ で消費する電力は V_0 を使って表すと $\boxed{(5)}$ [W]となる。

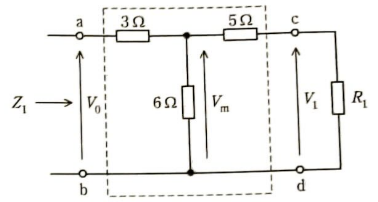


図1

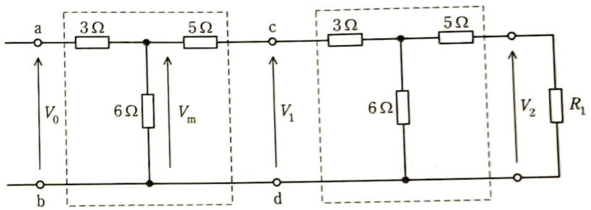


図2

〔問3の解答群〕

(イ) $\dfrac{7}{12}$　(ロ) $\dfrac{4}{7}$　(ハ) $\dfrac{V_0^2}{163}$

(ニ) $\dfrac{1}{3^2}$　(ホ) $\dfrac{1}{2^2}$　(ヘ) $\dfrac{1}{4^2}$

(ト) $\dfrac{V_0^2}{567}$　(チ) $\dfrac{V_0^2}{112}$　(リ) $\dfrac{3}{7}$

(ヌ) $\dfrac{5}{7}$　(ル) 4Ω　(ヲ) 5Ω

(ワ) $\dfrac{11}{12}$　(カ) $\dfrac{5}{12}$　(ヨ) 7Ω

問４　次の文章は，正弦波交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 1 の回路において，電源電圧 $\dot{V}=10\angle 0=10\,\mathrm{V}$ であり，各素子のインピーダンスは図 1 に示すとおりである。図 1 の回路において，電流 $\dot{I}=$ $\boxed{(1)}$ A である。

図 1 の回路の端子 a–b に負荷 $\dot{Z}_L=5+\mathrm{j}5\,\Omega$ を接続したときに，負荷 $\dot{Z}_L$ を流れる電流 $\dot{I}_L$ と負荷 $\dot{Z}_L$ で消費される有効電力 P_L を，以下の手順に従って求める。

端子 a–b から見込んだ図 1 の等価回路は図 2 となる。ただし，図 2 の等価回路において $\dot{V}_0=$ $\boxed{(2)}$ V，$\dot{Z}_0=$ $\boxed{(3)}$ Ω である。

したがって，求める電流 $\dot{I}_L$ と有効電力 P_L は，図 2 の等価回路の端子 a–b に負荷 $\dot{Z}_L$ を接続したときに，負荷 $\dot{Z}_L$ を流れる電流，及び負荷 $\dot{Z}_L$ で消費される有効電力として，$\dot{I}_L=$ $\boxed{(4)}$ A，及び $P_L=$ $\boxed{(5)}$ W と求められる。

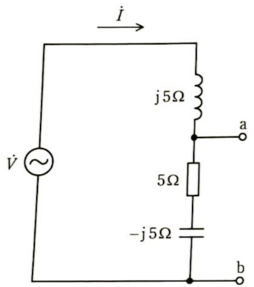


図 1

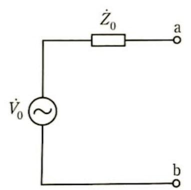


図 2

〔問４の解答群〕

(イ) −j	(ロ) 5 + j5	(ハ) 10 + j10
(ニ) 2 − j2	(ホ) 5	(ヘ) j
(ト) 2	(チ) −10 − j10	(リ) 5 − j5
(ヌ) 10 − j10	(ル) 1 + j	(ヲ) j5
(ワ) 2 + j2	(カ) 20	(ヨ) 10

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 $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

時刻 $t<0$ では，図の回路のスイッチSはa側にあり，回路は定常状態にある。この回路において，$t=0$ でスイッチSをb側に切り替えるものとする。

図に示すように回路の電流を $i(t)$ とすれば，$t \geqq 0$ では，次式の回路方程式が成り立つ。

$$\boxed{(1)} = 0$$

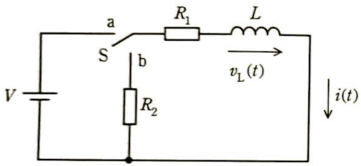
$t=0$ で $i(0)=\boxed{(2)}$ であることに注意して，この回路方程式を解けば，

$$i(t)=\boxed{(3)}$$

を得る。このとき時定数は $\boxed{(4)}$ である。

また，$t \geqq 0$ において，コイル L に発生する起電力 $v_L(t)$ は次式で与えられる。

$$v_L(t) = -L\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = \boxed{(5)}$$



〔問5の解答群〕

(イ) $\dfrac{R_1+R_2}{R_1}V\ \mathrm{e}^{-\left(\frac{R_1+R_2}{L}\right)t}$　(ロ) $\dfrac{L}{R_1}$　(ハ) $L\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}+R_1 i(t)$

(ニ) $\dfrac{R_2}{R_1}V\ \mathrm{e}^{-\left(\frac{R_1}{L}\right)t}$　(ホ) $L\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}+(R_1+R_2)i(t)$　(ヘ) $\dfrac{L}{R_1+R_2}$

(ト) $L\dfrac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}+R_2 i(t)$　(チ) $\dfrac{V}{R_1}\ \mathrm{e}^{-\left(\frac{L}{R_1+R_2}\right)t}$　(リ) $\dfrac{R_1+R_2}{R_1}V\ \mathrm{e}^{-\left(\frac{L}{R_1+R_2}\right)t}$

(ヌ) $\dfrac{V}{R_1}\ \mathrm{e}^{-\left(\frac{R_1+R_2}{L}\right)t}$　(ル) $\dfrac{R_1+R_2}{L}$　(ヲ) $\dfrac{V}{R_1+R_2}$

(ワ) $\dfrac{V}{R_1+R_2}\ \mathrm{e}^{-\left(\frac{R_1}{L}\right)t}$　(カ) $\dfrac{V}{R_1}$　(ヨ) $\dfrac{V}{R_2}$

問６　次の文章は，真空中における交流電界中の電子の運動に関する記述である。文中の [　　] に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

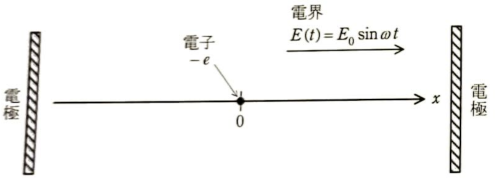
図のように x 軸を定め，原点から十分離れた平行平板電極が作る一様な交流電界 $E(t)$ を，振幅 $E_0(>0)$，角周波数 ω として，$E(t)=E_0\sin\omega t$ とする。時刻 $t=0$ で原点 $(x=0)$ に電子が一つ存在する状況を考える。なお，電子の質量を m，電荷量を $-e\ (e>0)$ とし，電子の速度は x 軸に沿った方向のみを考えるものとし，質量の変化が無視できる範囲とする。電子は電界から力 F を受けて運動する。F の正の方向を x 軸の正の方向にとると，$F=$ [(1)] $\times\sin\omega t$ と表される。電子の速度を v とし，v の正の方向を x 軸の正の方向にとると，運動の第２法則より，次の微分方程式が得られる。

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\boxed{(2)}\times\sin\omega t$$

$t=0$ における電子の速度を $v_0\ (>0)$ とすると，時刻 $t\ (>0)$ における電子の速度 $v(t)$ は，上の微分方程式を t で積分することにより，

$$v(t)=v_0-\boxed{(3)}(1-\cos\omega t)$$

と表される。さらに，時刻 t における電子の位置 $x(t)$ は，$x(t)=$ [(4)] となる。このことから，電子が原点を中心に同じ区間を往復運動し続けるためには，角周波数が $\omega=$ [(5)] でなければならないことがわかる。



〔問６の解答群〕

(イ) $-emE_0$

(ロ) $-\dfrac{eE_0}{m}$

(ハ) $-\dfrac{E_0}{em}$

(ニ) $\dfrac{eE_0}{mv_0}$

(ホ) $\dfrac{mE_0}{e\omega}$

(ヘ) $-eE_0$

(ト) $v_0t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$

(チ) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega}\sin\omega t$

(リ) $\dfrac{mE_0}{ev_0}$

(ヌ) $-mE_0$

(ル) $-\dfrac{m}{eE_0}$

(ヲ) $\dfrac{eE_0\omega}{m}$

(ワ) $\dfrac{eE_0}{m\omega}$

(カ) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$

(ヨ) $\dfrac{ev_0}{mE_0}$

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。

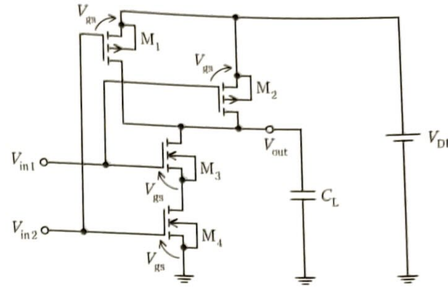
（選択問題）

問７　次の文章は，MOSFET を用いた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。

図に n チャネル MOSFET 及び p チャネル MOSFET からなる回路を示す。本問では，MOSFET のゲート-ソース間電圧 V_{gs}[V]は図中に示す向きを正とし，n チャネル MOSFET 及び p チャネル MOSFET はいずれも V_{gs} により制御される理想的なスイッチとみなせるとする。$V_{gs}>V_{T}$ を満たすときにスイッチは導通し，ドレイン-ソース間は短絡（ショート）となる。一方，$V_{gs}\leqq V_{T}$ のときスイッチは非導通となり，ドレイン-ソース間は開放(オープン)になる。ただし，V_{T}[V] は正の定数であり，電源電圧 V_{DD}[V] は V_{T} より十分に大きいとする。また，回路には C_{L}[F] の負荷容量が接続されている。

まず，図の回路に入力電圧として V_{in1} と V_{in2} のいずれにも 0 V を加える。このとき各 MOSFET の状態は $\boxed{(1)}$ となるため，出力電圧 V_{out} [V]は $\boxed{(2)}$ となる。次に，V_{in1} と V_{in2} を V_{DD} 又は 0 V として回路の入出力電圧の関係を調べると，表 $\boxed{(3)}$ が得られる。V_{DD} に 1(真)，0 V に 0(偽)をそれぞれ割り当てると，回路の出力の論理式は $\boxed{(4)}$ となる。

図の回路にはいずれの状態でも定常的な電流は流れない。回路には負荷容量 C_{L} を充放電する電流のみが流れる。回路の出力が 0 V と V_{DD} を f [Hz] で繰り返しているとき，電源から回路に流れ込む平均電流は $\boxed{(5)}$ [A]となる。



表(A)

V_{in1}	V_{in2}	V_{out}
0	0	V_{DD}
V_{DD}	0	0
0	V_{DD}	0
V_{DD}	V_{DD}	0

表(B)

V_{in1}	V_{in2}	V_{out}
0	0	V_{DD}
V_{DD}	0	V_{DD}
0	V_{DD}	V_{DD}
V_{DD}	V_{DD}	0

表(C)

V_{in1}	V_{in2}	V_{out}
0	0	0
V_{DD}	0	0
0	V_{DD}	0
V_{DD}	V_{DD}	V_{DD}

〔問７の解答群〕

(イ)　$V_{in1}\cdot V_{in2}$　　(ロ)　0　　(ハ)　$\dfrac{1}{2}C_{L}V_{DD}^{2}$　　(ニ)　$\overline{V_{in1}+V_{in2}}$

(ホ)　$fC_{L}V_{DD}$　　(ヘ)　$\overline{V_{in1}\cdot V_{in2}}$　　(ト)　V_{DD}　　(チ)　$\dfrac{V_{DD}}{2}$

(リ)　$fC_{L}V_{DD}^{2}$　　(ヌ)　(A)　　(ル)　(B)　　(ヲ)　(C)

(ワ)　M_1 と M_2 がオンとなり M_3 と M_4 がオフ

(カ)　M_1 と M_3 がオンとなり M_2 と M_4 がオフ

(ヨ)　M_3 と M_4 がオンとなり M_1 と M_2 がオフ

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，熱電形の交流電力計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。

図示した交流電力計は，理想変圧器，理想変流器，抵抗値がともに R である二つの抵抗，二つの熱電対及び直流電圧計で構成されている。なお，変圧器の一次巻線に流れる電流 Δi は十分小さい。また，節点 a は変圧器の二次巻線の中点である。

時刻 t における負荷への入力電圧 $u(t)$ 及び電流 $i(t)$ を次式で表すものとする。なお，電圧に対する電流の位相角を θ，角周波数及び周期をそれぞれ ω 及び T で表す。

$$u(t)=\sqrt{2}U\sin\omega t$$

$$i(t)=\sqrt{2}I\sin(\omega t-\theta)$$

熱電対とは，異種の金属同士を接続し，その接点に温度差を与えたときに熱起電力が生じる $\boxed{(1)}$ 効果を応用した温度センサである。本回路では，抵抗のジュール熱によって生じる温度上昇に比例した直流電圧に変換している。なお，二つの熱電対は同形式であり，図中の「熱電対 1」「熱電対 2」の下に記した矢印の向きに起電力が生じるように接続されている。

$i_1(t)$ は，時刻 t における理想変圧器の二次電圧と抵抗から定まる電流であり，$u(t)$ すなわち理想変圧器の一次電圧に比例する。また，$2i_2(t)$ は，時刻 t における理想変流器の二次電流であり，$i(t)$ すなわち理想変流器の一次電流に比例する。

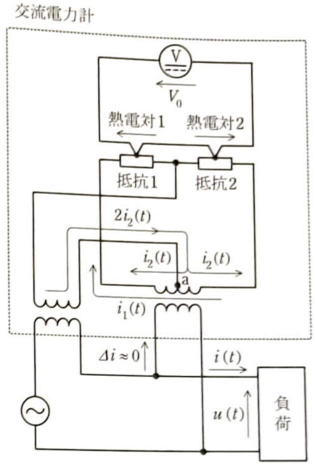
まず，$i_1(t)$ 及び $i_2(t)$ を用いて抵抗 1 及び抵抗 2 で消費する電力を求めると，それぞれ $\boxed{(2)}$ 及び $\boxed{(3)}$ となる。各抵抗では電力消費に伴い温度が上昇することから，熱電対 1 及び熱電対 2 に起電力が生じ，直流電圧計は次式に示す V_0 を指示する。

$$V_0 \propto \boxed{(2)} - \boxed{(3)} = \boxed{(4)}$$

$u(t)$ と $i_1(t)$，$i(t)$ と $i_2(t)$ が比例関係にあることを考慮すると，V_0 は次式に示したとおり負荷の消費電力に比例する。

$$V_0 \propto \frac{1}{T}\int_0^T \boxed{(5)}\,\mathrm{d}t = UI\cos\theta$$

以上が，熱電形の交流電力計の測定原理である。



〔問８の解答群〕

(イ)　ペルチェ　　(ロ)　ホール　　(ハ)　ゼーベック

(ニ)　$\frac{R}{T}\int_0^T\left[i_1(t)-i_2(t)\right]\mathrm{d}t$　　(ホ)　$\frac{1}{RT}\int_0^T\left[i_1(t)-i_2(t)\right]^2\mathrm{d}t$　　(ヘ)　$\frac{4}{RT}\int_0^T i_1(t)\,i_2(t)\,\mathrm{d}t$

(ト)　$\frac{R}{T}\int_0^T\left[i_1(t)+i_2(t)\right]\mathrm{d}t$　　(チ)　$\frac{4R}{T}\int_0^T i_1(t)\,i_2(t)\,\mathrm{d}t$　　(リ)　$\frac{R}{T}\int_0^T\left[i_1(t)+i_2(t)\right]^2\mathrm{d}t$

(ヌ)　$\frac{2R}{T}\int_0^T i_2(t)\,\mathrm{d}t$　　(ル)　$\frac{R}{T}\int_0^T\left[i_1(t)-i_2(t)\right]^2\mathrm{d}t$　　(ヲ)　$\frac{1}{RT}\int_0^T\left[i_1(t)+i_2(t)\right]^2\mathrm{d}t$

(ワ)　$u(t)\,i(t)$　　(カ)　$i_2{}^2(t)$　　(ヨ)　$i_1{}^2(t)$