●**平成19年度第二種電気主任技術者二次試験標準解答**

配点：一題当たり 30 点

電力・管理科目　4 題× 30 点＝ 120 点

機械・制御科目　2 題× 30 点＝　60 点

＜電力・管理科目＞

〔問１の標準解答〕

図中 A，B，C 各点で三相完全短絡事故が発生した場合の対称短絡電流実効値 I_A，I_B 及び I_C は，

$$I_A = \frac{100\times 480\,000\times 10^{-3}}{\sqrt{3}\times 20\times 12} = 115.47〔\mathrm{kA}〕\qquad 答\ 115〔\mathrm{kA}〕$$

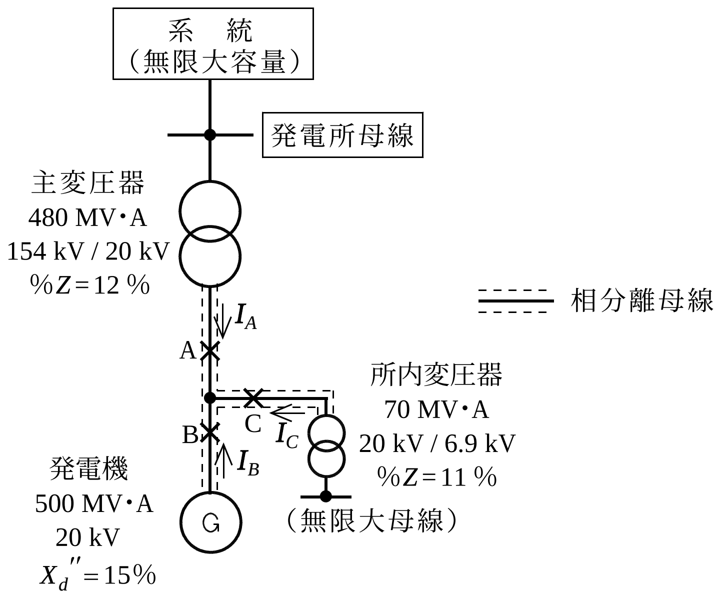
$$I_B = \frac{100\times 500\,000\times 10^{-3}}{\sqrt{3}\times 20\times 15} = 96.225〔\mathrm{kA}〕\qquad 答\ 96.2〔\mathrm{kA}〕$$

$$I_C = \frac{100\times 70\,000\times 10^{-3}}{\sqrt{3}\times 20\times 11} = 18.37〔\mathrm{kA}〕\qquad 答\ 18.4〔\mathrm{kA}〕$$

A 点に発電機及び所内変圧器側から流入する電流は，（$I_B + I_C$）であり，

B 点に所内変圧器及び主変圧器側から流入する電流は，（$I_C + I_A$）であり，

C 点に主変圧器及び発電機側から流入する電流は，（$I_A + I_B$）である。



以上から，各点（A，B，C）に流入する対称短絡電流実効値は，

A 点では次の式が成り立ち，大きい電流を採用する。

$I_B + I_C < I_A$　　∴　$I_A = 115.5$〔kA〕

B 点では次の式が成り立ち，大きい電流を採用する。

$I_C + I_A > I_B$　　∴　$I_C + I_A = 133.8$〔kA〕

C 点では次の式が成り立ち，大きい電流を採用する。

$I_A + I_B > I_C$　　∴　$I_A + I_B = 211.7$〔kA〕

したがって，各相分離母線の短絡電流強度（非対称短絡電流実効値）は，

主回路用相分離母線(a)（A 点＜ B 点）

$= 133.8 \times 1.6 = 214.1$〔kA〕　　答 214〔kA〕

所内回路用相分離母線(b)

$= 211.7 \times 1.6 = 338.7$〔kA〕　　答 339〔kA〕

〔問２の標準解答〕

（1）変圧器の二次側回路の電圧，電流に関しては次の式が成り立つ。

$$\frac{\dot{V}_1}{n_a} - \dot{Z}_a \dot{I}_a = \frac{\dot{V}_1}{n_b} - \dot{Z}_b \dot{I}_b$$

$$\dot{I}_L = \dot{I}_a + \dot{I}_b$$

上式より $\dot{I}_a$，$\dot{I}_b$ を求めると次のようになる。

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{Z}_b}{\dot{Z}_a + \dot{Z}_b}\dot{I}_L + \frac{\dfrac{\dot{V}_1}{n_a} - \dfrac{\dot{V}_1}{n_b}}{\dot{Z}_a + \dot{Z}_b}$$

$$\dot{I}_b = \frac{\dot{Z}_a}{\dot{Z}_a + \dot{Z}_b}\dot{I}_L + \frac{\dfrac{\dot{V}_1}{n_b} - \dfrac{\dot{V}_1}{n_a}}{\dot{Z}_a + \dot{Z}_b}$$

（2）上式の右辺第 1 項は各変圧器によって分担される負荷電流，右辺第 2 項は両変圧器間を流れる循環電流を表す。

題意より，各変圧器で分担される負荷電流 $\left|\dot{I}_{aL}\right|$，$\left|\dot{I}_{bL}\right|$ とすると

$$\left|\dot{I}_{aL}\right| : \left|\dot{I}_{bL}\right| = \left|\frac{\dot{Z}_b}{\dot{Z}_a + \dot{Z}_b}\dot{I}_L\right| : \left|\frac{\dot{Z}_a}{\dot{Z}_a + \dot{Z}_b}\dot{I}_L\right| = \left|\frac{1}{\dot{Z}_a}\right| : \left|\frac{1}{\dot{Z}_b}\right|$$

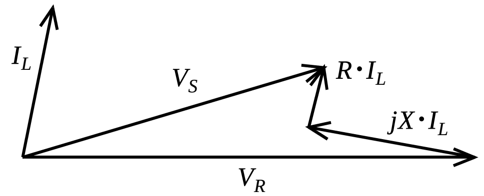
となることから，各変圧器の容量に比例した電流を負担するためには，短絡インピーダンスが容量に逆比例することが条件であり，また，循環電流が流れないためには右辺第 2 項より $n_a = n_b$，すなわち巻数比が等しいことが条件である。

〔問３の標準解答〕

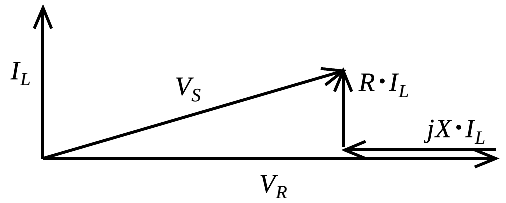
（受電端が送電端より高くなる理由）

送電線のインピーダンスが $R+jX$ で表されるとすると，受電端に進み力率の電流 I_L が流れる場合，下記のようなベクトルが描け，送電端に対して受電端電圧が上昇することを説明できる。

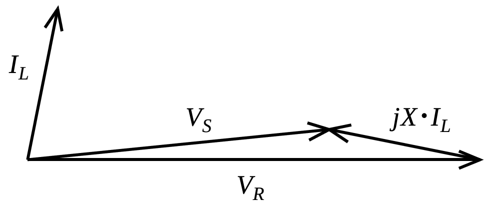
ただし，V_S：送電端電圧，V_R：受電端電圧とする。



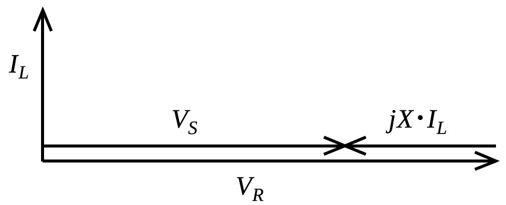
a）進み力率負荷，送電線抵抗 R を考慮



b）進み無効電力負荷，送電線抵抗 R を考慮



c）進み力率負荷，送電線抵抗 R を無視



d）進み無効電力負荷，送電線抵抗 R を無視

（軽負荷時における受電端の電圧上昇の原因）

①送電線の対地容量（フェランチ効果）

送電線のこう長が長く軽負荷又は無負荷の場合，送電線に流れ込む電流が進み電流となって起こるもの。

②受電端に接続されたケーブルの静電容量

送電線にある程度長いケーブルが接続されていると，ケーブルの静電容量により，軽負荷又は無負荷の場合，同様に送電線に流れ込む電流が進み電流となって起こるもの。

③自家用受電端における調相容量の過補償

夜間において，需要家の力率改善のための進相用コンデンサを，負荷が軽くなったにもかかわらず進相用コンデンサを切り離さない場合，負荷電流が進み電流となって起こるもの。過補償といえる。

（上記の対策）

●上記①及び②の場合には，中間開閉所又は送電線の受電側に補償用リアクトル(分路リアクトル)を設置して，進み電流を遅れ電流に変える。分路リアクトルの代わりに SVC を使用してもよい。

●上記③の場合には，需要家の受電設備にコンデンサが閉入されているためであるので，力率改善用コンデンサを解列する。

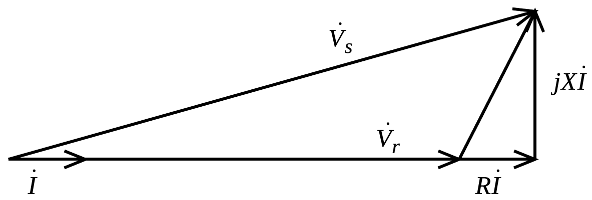
●中間開閉所又は受電用変電所の変圧器にタップ付き変圧器を設置して，電圧を操作する。

●送電端電圧を低減する。

●系統を変更し，受電端の負荷を増やす。

〔問４の標準解答〕

（1）ベクトル図



$\dot{V}_s$：変電所相電圧，$\dot{V}_r$：需要家端相電圧

ベクトル図より

$$V_s{}^2 = (V_r + RI)^2 + (XI)^2 \quad \cdots\cdots ①$$

$$P = 3V_r I,\quad I = \frac{P}{3V_r} \quad \cdots\cdots ②$$

①及び②式より次の方程式を得る。

$$V_s{}^2 = \left(V_r + R\frac{P}{3V_r}\right)^2 + \left(X\frac{P}{3V_r}\right)^2$$

$$0 = V_r{}^2 - V_s{}^2 + \frac{2PR}{3} + \frac{P^2(R^2 + X^2)}{9V_r{}^2} \quad \cdots\cdots ③$$

③式に P = 600 000〔W〕，R = 6〔Ω〕，X = 8〔Ω〕，$V_s = \frac{6\,600}{\sqrt{3}} = 3\,810.5$〔V〕を代入すると

$$0 = V_r{}^2 - 1.212\times10^7 + \frac{4.000\times10^{12}}{V_r{}^2}$$

これより

$$0 = V_r{}^4 - 1.212\times10^7 V_r{}^2 + 4.000\times10^{12} \quad \cdots\cdots ④$$

$V_r{}^2$ に関する二次方程式④を解いて V_r を求めると

V_r = ± 3 432，± 582.7　　　題意より V_r = 3 432

線間電圧に換算すると $\sqrt{3}V_r = \sqrt{3}\times3\,432 = 5\,944.9$〔V〕

答　5.94 × 10^3〔V〕

(2)

夜間はディーゼル発電のみとなるが，最低電圧を維持するために最低限必要なディーゼル発電の出力を求めればよい。需要家端の受電電力を P とすると

R = 6〔Ω〕，X = 8〔Ω〕，　$V_s=\dfrac{6600}{\sqrt{3}}=3810.5$〔V〕，　$V_r=\dfrac{6270}{\sqrt{3}}=3620$〔V〕

を③式に代入して次式を得る。

$$0=-1.416\times10^6+4.000\times P+8.479\times10^{-7}\times P^2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑤$$

これを解いて

$P=3.307\times10^5,\ -5.048\times10^6$

題意より　$P=3.307\times10^5$〔W〕

ディーゼル発電機の出力 $=6.000\times10^5-3.307\times10^5=2.693\times10^5$〔W〕

答 269〔kW〕

次に昼間は太陽光発電装置により電圧が上昇するが，上限値となるときの太陽光発電装置の発電力を求めればよい。需要家端の受電電力を P とすると

R = 6〔Ω〕，X = 8〔Ω〕，　$V_s=\dfrac{6600}{\sqrt{3}}=3810.5$〔V〕，　$V_r=\dfrac{6930}{\sqrt{3}}=4001$〔V〕

を③式に代入して次式を得る。

$$0=1.488\times10^6+4.000\times P+6.941\times10^{-7}\times P^2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑥$$

これを解いて

$P=-3.998\times10^5,\ -5.363\times10^6$

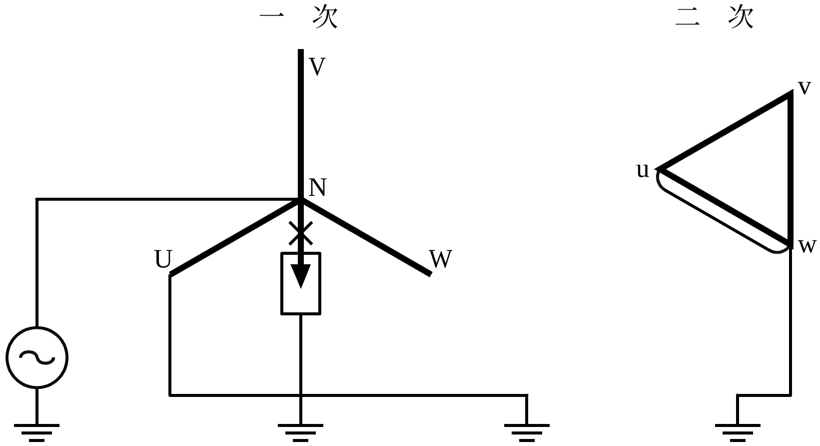
題意より　$P=-3.998\times10^5$〔W〕

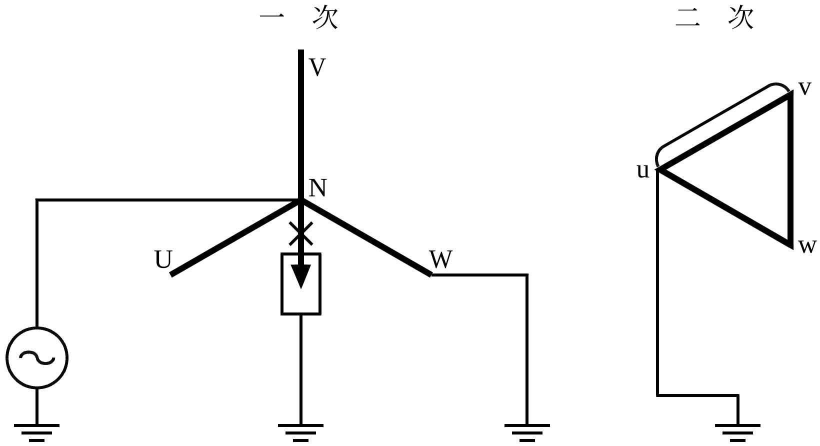
太陽光発電装置の出力 $=-P+6.000\times10^5-2.692\times10^5=7.306\times10^5$〔W〕

答 731〔kW〕

〔問５の標準解答〕

ａ．一次側Ｖ相の絶縁耐力試験方法回路図（下図の何れか）



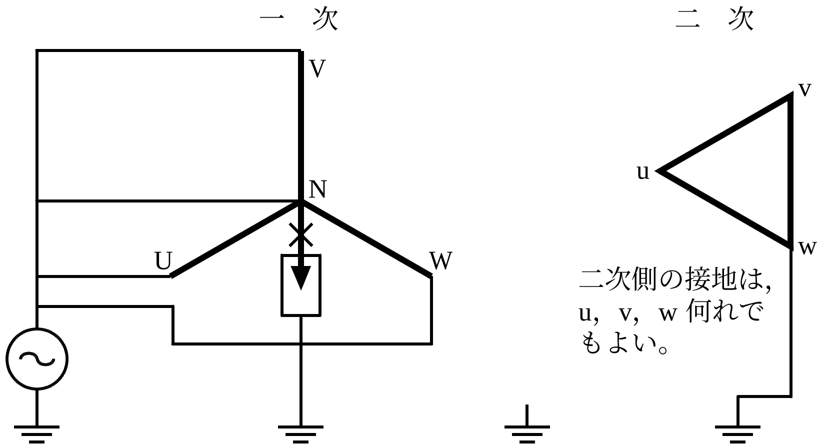


最大使用電圧　$154000 \times \dfrac{1.15}{1.1} = 161000$〔V〕

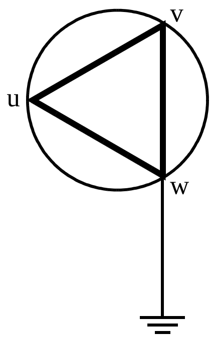
試験電圧　161 000 × 1.1 ＝ 177 100〔V〕

印加電圧　177 100 ÷ 2 ＝ 88 550〔V〕

b．一次側中性点 N の絶縁耐力試験方法回路図



※二次巻線の短絡について



最大使用電圧　$154000\times\frac{1.15}{1.1}=161000$〔V〕

試験電圧　161 000 × 0.64 ＝ 103 040〔V〕

印加電圧　103 040〔V〕

c．語句の記入

(1) 絶縁抵抗計

(2) 商用周波数

(3) 規定電圧

(4) 指針（「表示」でも可）

(5) 接地

〔問６の標準解答〕

(1) 送電系統の設備，運用面からみた電力系統の短絡容量増大の主な原因

① 電力会社の送電系統間で広域連系することにより電力系統が拡大し，並列発電機数が増加して，電力系統の短絡容量が増大する。

② 送電系統において上位電圧を採用することにより，線路リアクタンスが低下し，需要側からみた短絡容量が増大する。

③ 送電系統をループ運用することにより，発電機並列リアクタンスが低下し，需要側からみた短絡容量が増大する。

(2) 短絡容量の増大により生じる問題

① 事故時の短絡電流が増大することにより，既設遮断器の遮断容量が不足する。

② 事故時の短絡電流が増大することにより，電力線に近接する弱電流電線路への電磁誘導障害の問題が顕著になる場合がある。

③ 事故時の短絡電流が増大することにより，電線溶断の制約から短時間に遮断する必要が生じた場合には，過電流リレーの時限協調に不具合をもたらす問題が発生する。

(3) わが国で一般的に行われている，特別高圧需要設備における短絡容量増大に対する対策

① 遮断容量が不足となった遮断器を取り替える。

② 需要設備において短絡電流を抑制するには，受電点に限流リアクトルを挿入することにより，需要側からみた短絡リアクタンスを増加させる対策が有効である。

③ 受電用変圧器に高インピーダンス変圧器を採用することにより，変圧器二次側からみた短絡リアクタンスが増大し，変圧器二次側系統の短絡電流を抑制することができる。

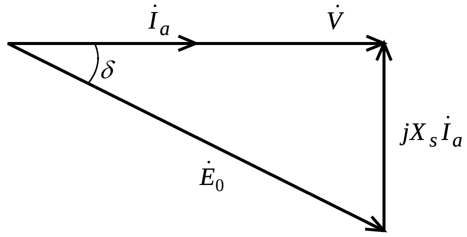
＜機械・制御科目＞

〔問１の標準解答〕

（1） 無負荷誘導起電力及び出力

同期リアクタンス X_s は

$$X_s = \frac{1}{0.8} = 1.25 \text{〔p.u.〕}$$



力率１で運転している場合の E_0 は

ベクトル(フェーザ)図より，

$$E_0 = \sqrt{V^2 + (I_a X_s)^2} = \sqrt{1 + (0.5 \times 1.25)^2} = 1.1792 \text{〔p.u.〕}$$

ただし，端子電圧 $V = 1$〔p.u.〕，電機子電流 $I_a = 0.5$〔p.u.〕。

出力は，入力力率が 1 で，電機子抵抗を無視しているので「入力＝出力」つまり，

$$P = VI_a = 1 \times 0.5 = 0.5 \text{〔p.u.〕}$$

（2）

端子電圧を V とすると，電動機の出力は $P = \frac{VE_0}{X_s}\sin\delta$ で表せる。

したがって，$E_0 \sin\delta = \frac{X_s P}{V}$ となり，題意より，$V(=1)$，P，X_s が一定であるから，左辺は一定である。

$$E_0 \sin\delta = \frac{1.25 \times 0.5}{1} = 0.625 \text{〔p.u.〕}$$

(3)

ａ．入力電流

端子電圧 V を基準とする E_{01} は，負荷角を δ_1 とすると電動機であるから $\dot{E}_{01}=E_{01}e^{-j\delta_1}$ となるので，

$$\dot{I}_{a1}=\frac{V-E_{01}e^{-j\delta_1}}{jX_s}=\frac{1}{X_s}\left[E_{01}\sin\delta_1-j(V-E_{01}\cos\delta_1)\right]$$

または，

$$\dot{I}_{a1}=0.8\times\left[0.625-j(1-E_{01}\cos\delta_1)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{①}$$

となる。

ｂ．無負荷誘導起電力

このときの無負荷誘導起電力 E_{01} は鉄心の飽和を無視しているので，界磁電流に比例する。

$$E_{01}=1.5\times E_0=1.5\times1.1792=1.7688 \quad\rightarrow\quad 1.77〔\text{p.u.}〕$$

ｃ．入力電流の大きさ及び力率

I_{a1} の大きさを求めるには，上記ａで求めた①式から，その虚部は

$$Im(\dot{I}_{a1})=-0.8\times(1-E_{01}\cos\delta_1)$$

となる。$\cos\delta_1$ は

$$\sin\delta_1=\frac{0.625}{1.7688}=0.35334 \quad \text{であるから，} \quad \cos\delta_1=\sqrt{1-\sin^2\delta_1}=0.93549$$

$$\dot{I}_{a1}=0.8\times\left[0.625-j(1-1.7688\times0.93549)\right]=0.5+j0.52375$$

$$I_{a1}=\sqrt{0.5^2+0.52375^2}=0.72409 \quad\rightarrow\quad 0.724〔\text{p.u.}〕$$

力率は，

$$\cos\phi_1=\frac{0.5}{I_{a1}}=\frac{0.5}{0.72409}=0.69052 \quad\rightarrow\quad 0.691（\text{進み}）$$

〔問２の標準解答〕

（1）鉄損

無負荷試験の定格一次電圧を V_1〔V〕，電流 I_1〔A〕，力率 $\cos\phi$ とすれば，鉄損 P_i〔kW〕は，

$$P_i = V_1 I_1 \cos\phi = 6\,600 \times 0.638 \times 0.254 = 1\,069.5 \quad \rightarrow \quad 1.070\text{〔kW〕}$$

（2）銅損

この変圧器の定格一次電流 I_1〔A〕は，定格容量を P〔kV･A〕とすれば，

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{500 \times 10^3}{6\,600} = 75.757\text{〔A〕}$$

一次側に換算した合成抵抗 R_{eq1}〔Ω〕は，一次巻線の抵抗を r_1〔Ω〕，二次巻線の抵抗を r_2〔Ω〕，変圧比を a とすれば，

$$R_{eq1} = r_1 + a^2 r_2 = 0.625 + \left(\frac{6\,600}{440}\right)^2 \times 0.00224 = 1.129\text{〔Ω〕}$$

したがって，定格負荷での銅損 P_c〔kW〕は，

$$P_c = {I_1}^2 R_{eq1} = 75.757^2 \times 1.129 = 6\,479.4 \quad \rightarrow \quad 6.479\text{〔kW〕}$$

（3）効率

この変圧器を定格負荷で運転しているときの全損失 P〔kW〕は，

$$P = P_i + P_c = 1.0695 + 6.4794 = 7.5489\text{〔kW〕}$$

したがって，効率 η〔%〕は，

$$\eta = \left(1 - \frac{\text{全損失}}{\text{出力} + \text{全損失}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{7.5489}{500 + 7.5489}\right) \times 100$$

$$= 98.512 \quad \rightarrow \quad 98.51\text{〔%〕}$$

（4）最大効率

単位負荷電流 I_{up} が

$$I_{\mathrm{up}} = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}} \text{〔A〕}$$

のとき変圧器の効率は最大となるので，このときの出力 P_m は，

$$P_m = P \cdot \sqrt{\frac{P_i}{P_c}} = 500 \times \sqrt{\frac{1.0695}{6.4794}} = 203.13 \text{〔kW〕}$$

よって，最大効率 $\eta_{\max}$〔%〕は，

$$\eta_{\max} = \left(1 - \frac{1.0695 \times 2}{203.13 + 1.0695 \times 2}\right) \times 100 = 98.957 \quad \rightarrow \quad 98.96 \text{〔%〕}$$

〔問３の標準解答〕

（1）パワーデバイスのジャンクション温度

温度上昇は $P \times R_{th}$ であるので，ジャンクション温度 T_j は，以下のように表される。

$$T_j = P \times R_{th} + T_a \text{〔℃〕}$$

（2）トランジスタのオン損失

トランジスタ電流 i_{Tr}，導通比率を α とすると，トランジスタ Tr のオン損失 $W_{CON(\mathrm{Tr})}$は，次のようになる。

$$W_{CON(\mathrm{Tr})} = i_{\mathrm{Tr}} \times V_{CE} = i_R \times V_{CE} \times \alpha = 50 \times 3 \times 0.6 = 90 \text{〔W〕}$$

（3）トランジスタのジャンクション温度

トランジスタ Tr の損失 $P_{LOSS(\mathrm{Tr})}$はオン損失 $W_{CON(\mathrm{Tr})}$とスイッチング損失 $W_{SW(\mathrm{Tr})}$の和であるが，与えられた条件より，

$$W_{SW(\mathrm{Tr})} = 0 \text{〔W〕}$$

である。したがって

$$P_{LOSS(\mathrm{Tr})} = W_{CON(\mathrm{Tr})} + W_{SW(\mathrm{Tr})} = 90 + 0 = 90 \text{〔W〕}$$

トランジスタ Tr の温度上昇 $\varDelta T$ は，損失 $P_{LOSS(\mathrm{Tr})}$及び熱抵抗 R_{th} より次のようになる。

$$\varDelta T = P_{LOSS(\mathrm{Tr})} \times R_{th} = 90 \times 0.5 = 45 \text{〔℃〕}$$

したがって，トランジスタ Tr の接合温度 $T_{j(\mathrm{Tr})}$は周囲温度 T_a と温度上昇 $\varDelta T$ との和として，

$$T_{j(\mathrm{Tr})} = T_a + \varDelta T = 40 + 45 = 85 \text{〔℃〕}$$

となる。

(4) 周囲温度 50〔℃〕における熱抵抗の低減率 γ

周囲温度 50〔℃〕のときに同じジャンクション温度で使用するとすれば，そのときの温度上昇 $\varDelta T_{(50)}$は，

$$\varDelta T_{(50)} = 85 - 50 = 35 \text{〔℃〕}$$

となる。したがって，同じ損失で温度上昇を抑えるためには，熱抵抗の低減率を

$$\gamma = \frac{35}{45} \times 100 = 77.777 \quad \rightarrow \quad 77.8 \text{〔\%〕}$$

としなければならない。

〔問４の標準解答〕

（1）定常速度偏差

図のブロック線図より

$$E(s)=\frac{-1}{1+\dfrac{K}{s(s+1)}}\cdot D(s)=\frac{-1}{1+\dfrac{K}{s(s+1)}}\cdot\frac{2}{s^2}=\frac{-s(s+1)}{s^2+s+K}\cdot\frac{2}{s^2} \qquad \cdots\cdots\cdots \text{①}$$

となるので，定常速度偏差は，

$$e_v\equiv\lim_{t\to\infty}e(t)=\lim_{s\to 0}sE(s)=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{-s(s+1)}{s^2+s+K}\cdot\frac{2}{s^2}=-\frac{2}{K} \qquad \cdots\cdots\cdots \text{②}$$

で求められる。

（2）減衰定数 ζ を 0.8 に設定するための K の値

ブロック線図より，

$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{\dfrac{K}{s(s+1)}}{1+\dfrac{K}{s(s+1)}}=\frac{K}{s^2+s+K} \qquad \cdots\cdots\cdots \text{③}$$

となり，これと２次系の標準形 $\dfrac{{\omega_n}^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+{\omega_n}^2}$ と比較することにより，$\omega_n=\sqrt{K}$ 及び $\zeta=\dfrac{1}{2\omega_n}=\dfrac{1}{2\sqrt{K}}$ が得られる。これより，ζ= 0.8 を与える K は，

$$K=\frac{1}{2.56}=0.39062 \quad\rightarrow\quad 0.39$$

（3）閉ループ伝達関数

ブロック線図より，

$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{\dfrac{A}{s(0.1s+1)}}{1+\dfrac{A}{s(0.1s+1)}}=\frac{A}{0.1s^2+s+A}=\frac{10A}{s^2+10s+10A} \qquad \cdots\cdots\cdots \text{④}$$

(4) 減衰定数 ζが 0.8 になるように A の値。速応性の変化の説明

④式において，$2\zeta\omega_n = 10$，$\zeta = 0.8$，$\omega_n = \sqrt{10A}$ の関係から，

$A = 3.9062 \rightarrow 3.91$ となる。

また，上記(2)のときの固有角周波数は

$\omega_n = \sqrt{K} = \sqrt{0.39062} = 0.62499 \;\rightarrow\; 0.62$〔rad / s〕，(4)のときの固有角周波数は

$\omega_n = \sqrt{10A} = \sqrt{10 \times 3.9062} = 6.2499 \;\rightarrow\; 6.25$〔rad / s〕となり，10 倍となっており，同じ安定性(減衰特性)のもとで速応性は 10 倍改善されている。