

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]

(1) 限界比速度は、 $n_s = \frac{23\,000}{H+30} + 40$ となることから、 H ：有効落差[m]に 162 m を代入して、計算すると、この発電所における水車の限界比速度は 159.8 となる。

また、有効落差 H [m]、定格回転速度 N [min^{-1}]、定格出力 P [kW]のランナの比速度 n_s は、

$$n_s = \frac{N \times P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

で表されることから、適用可能上限となる回転速度 N_{\max} [min^{-1}]は、

$$N_{\max} = \frac{159.8 \times H^{\frac{5}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}} = \frac{159.8 \times H \times H^{\frac{1}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}}$$

となるので、

$$\begin{aligned} N_{\max} &= \frac{159.8 \times 577.95}{200} \\ &= 461.78 \end{aligned}$$

したがって、 $N_{\max} = 461 \text{ min}^{-1}$ となる。・・・(答)

(2) 450 min^{-1} ・・・(答)

周波数が 60 Hz という条件下で、選定できる定格回転速度は、低い順に 400 min^{-1} 、 450 min^{-1} 、 514 min^{-1} 、・・・となるが適用可能な回転速度の上限値が 461 min^{-1} のため、 450 min^{-1} となる。

〔選定理由〕

フランス水車の比速度としては、180 程度で最も高い効率が得られること、また、水車及び発電機は高速化することでの小型化によるコスト低減が図れることから、できるだけ適用限界の回転速度に近い定格回転速度を選定することが望ましい。

(3) 周波数 f と定格回転速度 N と発電機の極数 p の関係は、

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{N}{60} \text{ で表されることから、}$$

各値を代入して、

$$p = \frac{60 \times 60 \times 2}{450} = 16$$

よって、発電機の極数は 16・・・(答)

〔問 2 の標準解答〕

(1)

- ・役割：計器用変成器は、保護リレーや計器を高圧回路から絶縁し、電流や電圧を適当な大きさに小さく変成して継電器や計器に与えること。
- ・最も代表的な変成器：CT(変流器)，VT(計器用変圧器)。
- ・比誤差 ε は次式で表される。

$$\varepsilon = \frac{K_n - K}{K} \times 100 [\%]$$

(2)

- ・保護区間内部の事故に対してのみ正動作し、誤不動作をしないこと。
- ・保護区間外部の事故に対しては正不動作し、誤動作をしないこと。
- ・点検や自動監視を行うこと。
- ・故障率が低いこと。
- ・冗長化されていること。

(3)

- ・5サイクル及び3サイクル。
- ・引外しコイル。(トリップコイル, TCも可)
- ・引外しコイルと投入コイルが同時に付勢されたとしても, 投入動作と無関係に自由に引外される機能のこと。投入操作と事故が同時に発生した場合に開放を優先し, 投入・開放を繰り返さないことにより遮断器の損傷・大事故を防ぐ目的で用いられる。

[問3の標準解答]

(1)

$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ として,

$$\dot{I}_a = \dot{I}_g = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \dots\dots\dots ①$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = 0 \dots\dots\dots ②$$

$$\dot{I}_c = \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 = 0 \dots\dots\dots ③$$

②式, ③式から,

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 \dots\dots\dots ④$$

そのため, $\dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2$ から,

$$\dot{V}_a = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 + \dot{E}_a - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{I}_g R_f \dots\dots\dots ⑤$$

から,

$$\dot{I}_g = 3\dot{I}_0 = \frac{3\dot{E}_a}{3R_f + \dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dots\dots\dots ⑥$$

... (答)

(2)

$j\omega C = j \times 2 \times \pi \times 50 \times 0.005 \times 10^{-6} \times 20 = j31.416 \times 10^{-6}$ から, 零相インピーダンス \dot{Z}_0 は,

$$\begin{aligned}\dot{Z}_0 &= \frac{1}{\frac{1}{2000} + \frac{1}{2000} + j31.416 \times 10^{-6}} \\ &= \frac{1}{0.001 + j31.416 \times 10^{-6}} \\ &= 999.01 - j31.385 \\ &\therefore 999 - j31.4 \text{ } \Omega \dots \text{ (答)}\end{aligned}$$

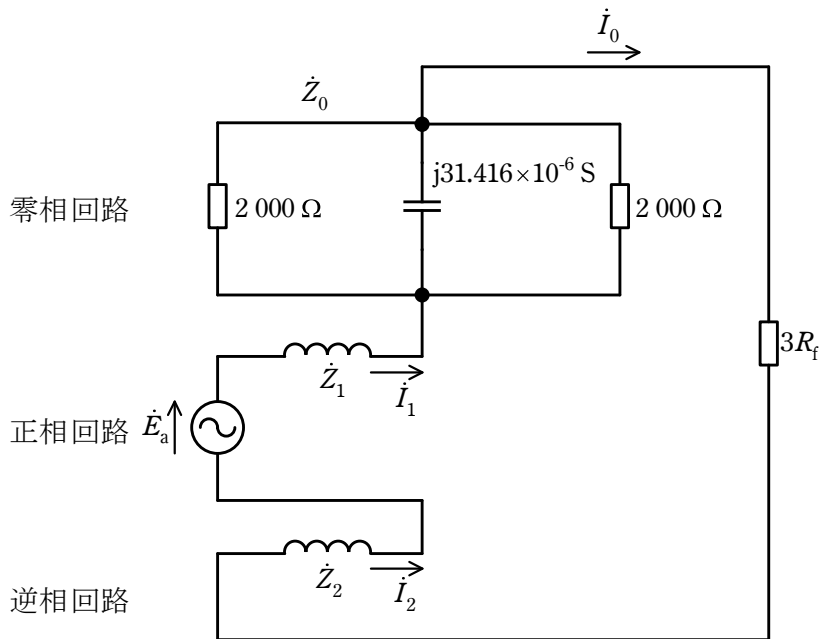
また、対地静電容量以外のインピーダンスは無視できるため、正相インピーダンス \dot{Z}_1 、逆相インピーダンス \dot{Z}_2 は、

$$\dot{Z}_1 = 0 \text{ } \Omega \dots \text{ (答)}$$

$$\dot{Z}_2 = 0 \text{ } \Omega \dots \text{ (答)}$$

(3)

各対称分インピーダンスは以下の等価回路となる。



地絡電流の大きさ $|\dot{I}_g|$ [A] は、

$$|\dot{I}_g| = \left| \frac{3 \times \frac{66\,000}{\sqrt{3}}}{3 \times 10 + 999.01 - j31.385} \right|$$

$$= 111.04$$

∴ 111 A …… (答)

[問 4 の標準解答]

(1) 単相 2 線式(200 V と 100 V)と単相 3 線式を図 1 に示す。単相 3 線式では、図 1 に示すように電源の単相変圧器の中性点から中性線を引き出し、両外側の電圧線とともに 3 線で負荷に電力供給を行う。以下の特徴を持つ。

利便性：一つの系統から単相の 100 V と 200 V を取り出すことができ、100 V と 200 V のどちらの機器も使用できる。

安全性：中性線が接地されているので、200 V 回路の対地電位は 100 V となることから、200 V 回路の安全性が高い。

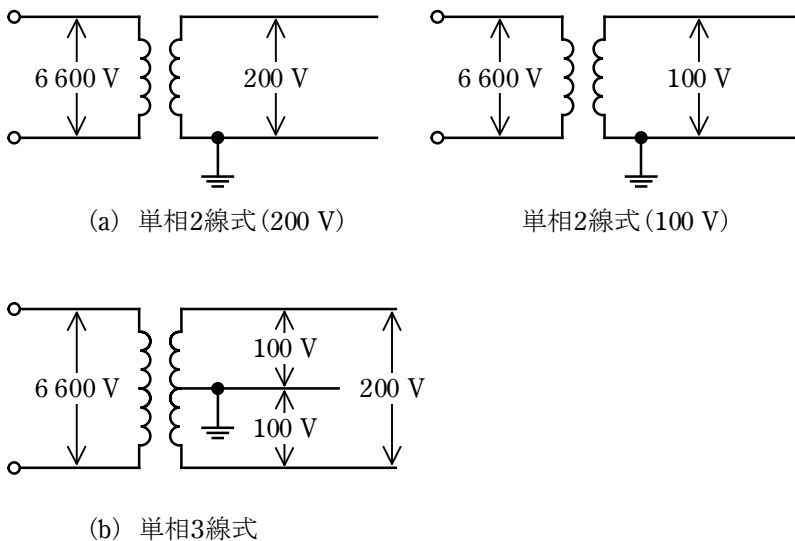


図 1 低圧電気方式(単相式)

(2) 電圧降下

単相 2 線式, 単相 3 線式の電線 1 条当たりの抵抗を $R[\Omega]$, 負荷の力率を $\cos\theta$ (θ は非常に小さいものとする) とし, それぞれの電流を $I_2, I_3[A]$, 100 V 負荷端で

の電圧降下を ΔV_2 , ΔV_3 [V] とする。題意より単相 3 線式は中性線に電流が流れないので、電圧降下は 1 線分のみとなる(図 2)。よって、各電圧降下は、

$$\Delta V_2 = 2I_2 R \cos \theta$$

$$\Delta V_3 = I_3 R \cos \theta$$

ΔV_3 と ΔV_2 の比をとり、負荷電力が等しい条件 $I_2 = 2I_3$ を代入すると、

$$\frac{\Delta V_3}{\Delta V_2} = \frac{I_3}{2I_2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

となる。すなわち、単相 3 線式の電圧降下は単相 2 線式の $\frac{1}{4}$ となる。

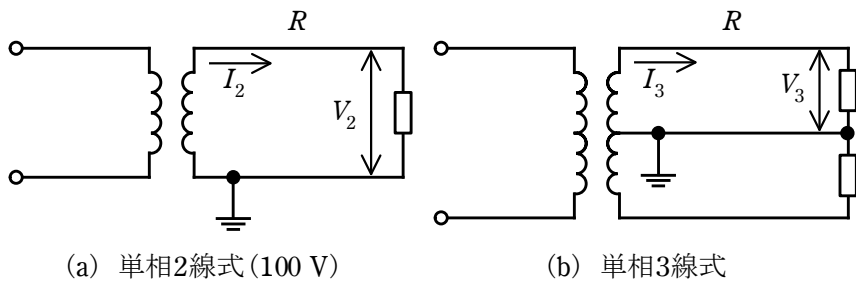


図 2 単相 2 線式と単相 3 線式

(3) 中性線の欠相により発生する障害

二つの 100 V 回路の負荷が不平衡である時は、中性線が断線していると回路ごとの電圧に不平衡が生じることから、一方の 100 V 回路で過電圧が生じ、他の回路では電圧が低下して、機器類の損傷・焼損及び誤動作などの障害を起こす恐れがある。

中性線欠相の発生原因

中性線欠相の主な発生原因は、分電盤内の開閉器の端子等において接触が不完全になるものである。この接触不良は、工事施工不良によるねじ締め不完全や、導体温度変化による導体の膨張・収縮や振動等により経年的な接触不完全への発展が考えられる。

防止対策(以下の具体的対策例の中から二つ記載されていればよい)

①開閉器類端子部の構造の改善

2 ねじ方式，圧着端子方式等で長時間使用してもねじのゆるみが生じにくい構造とする。

②欠相保護機能付き漏電遮断器の採用

中性線欠相による過電圧発生時に回路を遮断する機能を持たせた漏電遮断器を使用する。

③開閉器類設置時の対策

高温・多湿の場所，振動やじん埃のある場所への設置を極力避ける。また，端子締め付けに適した工具を用い，確実に施工・確認をする。

④既設開閉器類に対する対策

端子部の点検のほか，異臭，テレビ・ラジオの雑音，機器類の運転の異常，照明器具の明るさの異常などから，不良個所の早期発見に努め，処置する。

⑤バランサの採用

低圧線の末端にバランサ(単巻変圧器)を設置することで，中性線断線時の電圧不平衡を大幅に軽減する。

[問5の標準解答]

(1) 以下から二つ記載されていればよい。

(電圧の種類)

- ①異常時誘導電圧
- ②常時誘導電圧
- ③誘導雑音電圧

(発生原理)

- ①異常時誘導電圧：送電線に一線地絡事故が発生した場合に地絡電流が大地帰路電流となって流れることにより，隣接する通信線路と大地間に誘起される電圧
- ②常時誘導電圧：送電線の常時運転時に，各相の負荷電流の不均衡や各相導体と通信線の離隔の不整合によって誘起される電圧

③誘導雑音電圧：送電線に流れる常時の高調波電流に起因して生じる電圧

(2) 以下の主な対策から二つ記載されていればよい。

- ①架空地線の条数を増やす。
- ②架空地線に導電率のよい鋼心イ号アルミより線やアルミ被鋼より線を使用する。
- ③送電線をねん架する。
- ④送電系統の保護継電方式に高速遮断方式を採用する。
- ⑤遮へい線を設置する。
- ⑥送電線のルートを変更し、お互いの離隔距離を大きくする。
- ⑦中性点抵抗接地方式の抵抗値を大きくする。
- ⑧中性点接地方式に消弧リアクトル接地方式を採用する。

[問6の標準解答]

(1)

負荷容量 P_1 の遅れ無効電力は、

$$Q_{L1} = P_1 \times \tan \theta_1 = P_1 \times \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} = 6\,000 \times \frac{0.6}{0.8} = 4\,500 \text{ kvar}$$

増設負荷 P_2 の遅れ無効電力は、

$$Q_{L2} = P_2 \times \tan \theta_2 = P_2 \times \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} = 4\,500 \times \frac{0.8}{0.6} = 6\,000 \text{ kvar}$$

力率改善用コンデンサ Q_1 は投入されているので、遅れ無効電力の合計は、

$$Q_L = 4\,500 + 6\,000 - 2\,000 = 8\,500 \text{ kvar}$$

したがって、合成された負荷の皮相電力は、

$$S_L = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + Q_L^2} = \sqrt{(6\,000 + 4\,500)^2 + 8\,500^2} = 13\,509 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

これは、変圧器の容量を超えているので過負荷となる。

変圧器を過負荷にしないためには、負荷の皮相電力を変圧器容量以下とすればよい。

そのために必要な力率改善用コンデンサ容量を Q_2 [kvar]とすると、次式が成

立する。

$$\sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (Q_L - Q_2)^2} \leq P_T$$

よって、

$$\begin{aligned} Q_2 &\geq Q_L - \sqrt{P_T^2 - (P_1 + P_2)^2} \\ &= 8\,500 - \sqrt{12\,000^2 - (6\,000 + 4\,500)^2} = 8\,500 - 5\,809.5 = 2\,690.5 \text{ kvar} \end{aligned}$$

変圧器を過負荷にしないためには、

$$Q_2 = 2.70 \times 10^3 \text{ kvar 必要} \dots (\text{答})$$

このとき、負荷の有効電力の合計は、

$$P_1 + P_2 = 6\,000 + 4\,500 = 10\,500 \text{ kW}$$

負荷の皮相電力の合計は、変圧器容量と同じで、

$$P_T = 12\,000 \text{ kV}\cdot\text{A}$$

よって、総合力率は、

$$\cos\theta_S = \frac{P_1 + P_2}{P_T} = \frac{10\,500}{12\,000} = 0.875 \dots (\text{答})$$

(2) 図2に P_2 [kW], Q_2 [kvar] のベクトル図と、力率角 θ_2 を追記する。

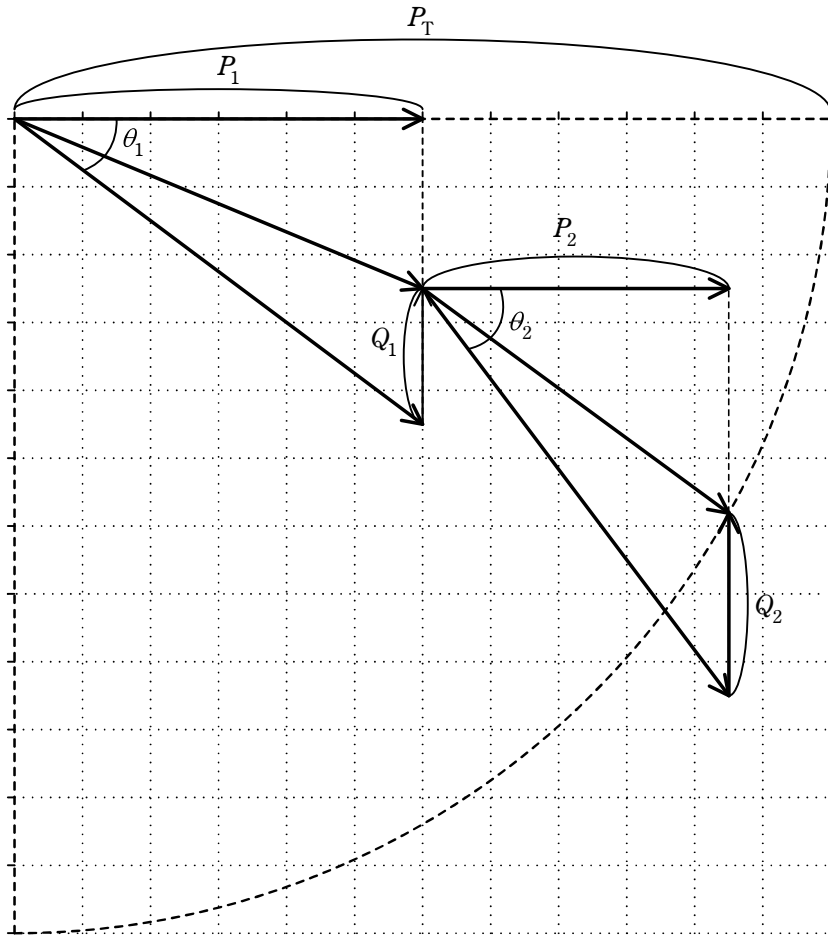


図2 [追記をした図]

(3) 総合力率 $\cos\theta_s = 0.95$ にするために必要な力率改善用コンデンサ容量を Q_2 [kvar] とすると、次式が成立する。

$$\tan\theta_s = \frac{Q_L - Q_2}{P_1 + P_2}$$

よって、

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_L - (P_1 + P_2) \times \tan \theta_S = Q_L - (P_1 + P_2) \times \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \theta_S}}{\cos \theta_S} \\ &= 8\,500 - (6\,000 + 4\,500) \times \frac{\sqrt{1 - 0.95^2}}{0.95} = 8\,500 - 3\,451.2 = 5\,048.8 \text{ kvar} \end{aligned}$$

$$Q_2 = 5.05 \times 10^3 \text{ kvar} \quad \text{必要} \cdot \cdot \cdot \quad (\text{答})$$

<機械・制御科目>

[問1の標準解答]

- (1) 固定子巻線電流による回転磁界と固定子との相対速度の大きさ N_0 とは、いわゆる同期速度である。

$$N_0 = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ min}^{-1} \quad \dots (\text{答})$$

- (2) 回転子と固定子との相対速度の大きさ N_m とは、いわゆる回転子の機械的速度である。

$$N_m = N_0(1-s) = 1800 \times (1-0.05) = 1710 \text{ min}^{-1} \quad \dots (\text{答})$$

- (3) 固定子巻線電流による回転磁界と回転子との相対速度とは、滑り s を速度の単位で表すことである。

$$N_s = N_0 - N_m = 1800 - 1710 = 90 \text{ min}^{-1} \quad \dots (\text{答})$$

- (4) 回転子巻線を通る電流の周波数 f_2 は滑り周波数である。

$$f_2 = sf = 0.05 \times 60 = 3 \text{ Hz} \quad \dots (\text{答})$$

- (5) 回転子巻線電流による回転磁界と回転子との相対速度 N_r とは、回転子巻線電流による回転磁界を回転子から見た速度である。

$$N_r = \frac{120f_2}{p} = \frac{120 \times 3}{4} = 90 \text{ min}^{-1} \quad \dots (\text{答})$$

- (6) 回転子巻線電流による回転磁界と固定子との相対速度 N_R とは、固定子から見た回転子巻線電流による回転磁界の速度である。

$$N_R = N_m + N_r = 1710 + 90 = 1800 \text{ min}^{-1} \quad \dots (\text{答})$$

- (7) 回転子巻線電流による回転磁界と固定子巻線電流による回転磁界との相対速度 N_{sr} を求めるためには、それぞれの固定子から見た速度の差を求めればよい。

固定子から見た回転子巻線電流による回転磁界の速度 N_R は(6)で求めており、 1800 min^{-1} である。

固定子から見た固定子の回転磁界の速度 N_0 は(1)で求めており、 1800 min^{-1} である。

したがって、回転子巻線電流による回転磁界と固定子巻線電流による回転磁界との相対速度 N_{sr} は両者の差である。

$$N_{sr} = N_0 - N_R = 1800 - 1800 = 0 \text{ min}^{-1} \quad \dots (\text{答})$$

[問2の標準解答]

(1) 鉄損 W_i

$$W_i = 6600 \times 0.173 \times 0.35 = 399.63 = 400 \text{ W} \quad \dots (\text{答})$$

(2) 定格負荷で運転しているときの変圧器の銅損 W_c

$$\text{一次定格電流 } I_1 = \frac{100 \times 10^3}{6600} = 15.152 \text{ A}, \text{ 一次換算抵抗 } R = 2.72 \Omega \text{ から,}$$

$$\therefore W_c = RI_1^2 = 2.72 \times 15.152^2 = 624.47 = 624 \text{ W} \quad \dots (\text{答})$$

(3) 負荷率 x [%], 力率 $\cos\theta$ における効率 η [%] は, 変圧器定格容量を P [V·A] とすると次式で示される。

$$\eta = \frac{P \times \frac{x}{100} \cos\theta}{P \times \frac{x}{100} \cos\theta + W_i + \left(\frac{x}{100}\right)^2 \times W_c} \times 100$$

η が最大となる条件は, 鉄損と銅損の値が同じとなる場合なので, 次式を解いて x が求まる。

$$W_i = \left(\frac{x}{100}\right)^2 \times W_c$$

$$\frac{x}{100} = \sqrt{\frac{W_i}{W_c}} = \sqrt{\frac{399.63}{624.47}} = 0.79997$$

$$\therefore \text{負荷率 } x = 79.997 = 80.0 \% \quad \dots (\text{答})$$

題意より力率は 100% ($\cos\theta = 1$) であるので, 効率は次式で求められる。

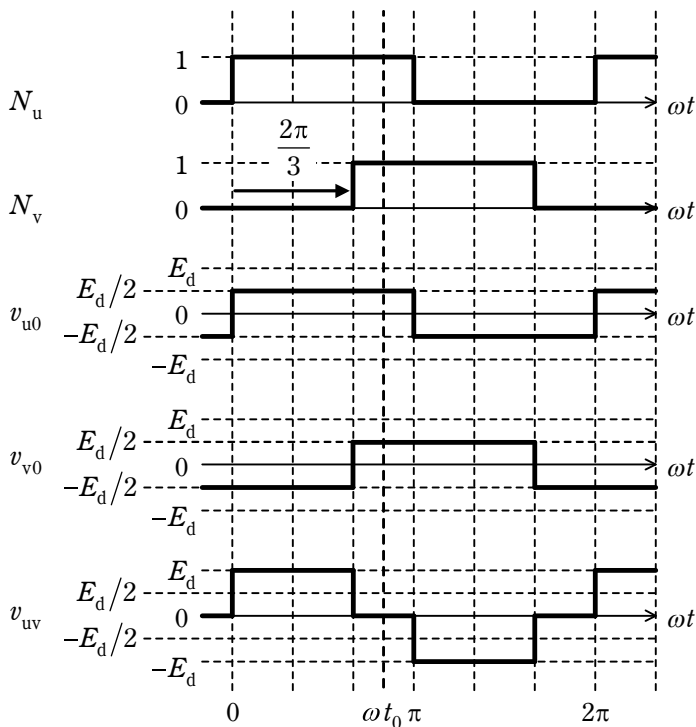
$$\eta = \frac{100000 \times 0.8}{100000 \times 0.8 + 399.63 + 0.8^2 \times 624.47} \times 100 = 99.011 \rightarrow 99.0 \% \quad \dots (\text{答})$$

(4) 力率 60%, 負荷率 30% における効率は, 変圧器定格容量 P [V·A], 変圧器の定格運転時における鉄損 W_i [W] と銅損 W_c [W] に対して次式で示される。

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P \times 0.3 \times 0.6}{P \times 0.3 \times 0.6 + W_1 + 0.3^2 \times W_c} \times 100 \\
 &= \frac{100000 \times 0.3 \times 0.6}{100000 \times 0.3 \times 0.6 + 399.63 + 0.3^2 \times 624.47} \times 100 \\
 &= \frac{18000}{18000 + 399.63 + 56.202} \times 100 \\
 &= 97.530 \rightarrow 97.5 \% \quad \dots (\text{答})
 \end{aligned}$$

[問3の標準解答]

- (1) 位相 ωt_0 において、スイッチングデバイス Q_1 にはオン信号、 Q_2 にはオフ信号、 Q_3 にはオン信号、及び Q_4 にはオフ信号が与えられているので、解答は Q_1 、 Q_3 である。
- (2) 上から4段目には v 相電圧 v_{v0} を、最下段には負荷電圧 v_{uv} の波形を示す。



…(答)

(3) $i_0 > 0$ の場合は、 $L-D_3-Q_1-R-L$ となる。

また、 $i_0 < 0$ の場合には、 $L-R-Q_2-D_4-L$ となる。

(4) u 相電圧 v_{u0} の基本波成分の瞬時値 v_{u0f} は、

$$v_{u0f} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{E_d}{2} \sin \omega t = \frac{2E_d}{\pi} \sin \omega t \quad \dots (\text{答})$$

(5) 負荷電圧 v_{uv} の基本波成分の瞬時値 v_{uvf} は、 $\frac{2\pi}{3}$ だけ位相がずれた二つの交流

電圧の線間電圧なので、 v_{u0} に対して大きさが $\sqrt{3}$ 倍、位相が $\frac{\pi}{6}$ 進んだ交流電圧

となる。

$$v_{uvf} = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{E_d}{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) = \frac{2\sqrt{3}E_d}{\pi} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \quad \dots (\text{答})$$

その実効値 V_{uvf} は、次の式となる。

$$V_{uvf} = \left(\frac{4\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{E_d}{2}\right) \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot E_d$$

となり、 E_d の $\frac{\sqrt{6}}{\pi}$ 倍となる。 $\dots (\text{答})$

[問 4 の標準解答]

(1) 図のブロック線図から次式が成り立つ。

$$E(s) = -\left[\frac{K}{s(s+1)}E(s) + D(s)\right]$$

これを $E(s)$ について解いて、

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

となる。定常速度偏差は次のように求められる。

$$e_v = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{-s(s+1)}{s^2+s+K} \cdot \frac{2}{s^2} = -\frac{2}{K} \quad \dots (\text{答})$$

(2) $R(s)$ から $Y(s)$ までの閉ループ伝達関数を求める。

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{K}{s(s+1)}}{1 + \frac{K}{s(s+1)}} = \frac{K}{s^2+s+K} \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

また、2次遅れ系の標準形は、

$$\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2} \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

なので、①式と②式を比較することで、

$$\omega_n = \sqrt{K} \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$$\zeta = \frac{1}{2\omega_n} = \frac{1}{2\sqrt{K}} \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

を得る。④式から、 $\zeta = 0.8$ を与える K は、

$$K = \frac{1}{(2\zeta)^2} = \frac{1}{1.6^2} = \frac{1}{2.56} = 0.39063 \rightarrow 0.391 \quad \dots (\text{答})$$

となる。

(3) $D(s)$ から $E(s)$ までの伝達関数は、

$$\frac{E(s)}{D(s)} = \frac{-1}{1 + \frac{A}{s(0.1s+1)}} = \frac{-s(0.1s+1)}{0.1s^2+s+A} = \frac{-s(s+10)}{s^2+10s+10A}$$

となるので、定常速度偏差は次のように求められる。

$$e_v = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{-s(s+10)}{s^2+10s+10A} \cdot \frac{2}{s^2} = -\frac{2}{A} \quad \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

(4) $R(s)$ から $Y(s)$ までの閉ループ伝達関数を求める。

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{A}{s(0.1s+1)}}{1 + \frac{A}{s(0.1s+1)}} = \frac{A}{0.1s^2+s+A} = \frac{10A}{s^2+10s+10A} \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

②式と⑥式を比較して、

$$\omega_n = \sqrt{10A} \quad \dots\dots\dots ⑦$$

$$\zeta = \frac{10}{2\omega_n} = \frac{5}{\sqrt{10A}} \quad \dots\dots\dots ⑧$$

を得る。⑧式から、 $\zeta = 0.8$ を与える A は、

$$A = \frac{5^2}{10 \times \zeta^2} = \frac{25}{10 \times 0.8^2} = \frac{25}{6.4} = 3.9063 \rightarrow 3.91 \quad \dots (\text{答})$$

となる。

(5) 上記(2)のときの固有角周波数は、

$$\omega_n = \sqrt{K} = \sqrt{0.39063} = 0.62500 \rightarrow 0.625 \text{ rad/s} \quad \dots (\text{答})$$

となり、また、上記(4)のときの固有角周波数は、

$$\omega_n = \sqrt{10A} = \sqrt{10 \times 3.9063} = 6.2500 \rightarrow 6.25 \text{ rad/s} \quad \dots (\text{答})$$

となる。したがって、同じ減衰特性のもとで 10 倍速くなる。

…(答)

(6) 上記(2)のときの定常速度偏差は、

$$e_v = -\frac{2}{K} = -\frac{2}{0.39063} = -5.1199 \rightarrow -5.12 \quad \dots (\text{答})$$

となり、また、上記(4)のときの定常速度偏差は、

$$e_v = -\frac{2}{A} = -\frac{2}{3.9063} = -0.51199 \rightarrow -0.512 \quad \dots (\text{答})$$

となる。したがって、同じ減衰特性のもとで定常速度偏差は $\frac{1}{10}$ 倍になる。

…(答)