

問1 三相円筒形同期発電機を無限大母線に接続して運転する場合に関して、次の問いに答えよ。(以下略)

- (1) この発電機を遅れ力率で運転したとき、端子電圧(相電圧)を V [p.u.]、無負荷誘導起電力を E [p.u.]、電流を I [p.u.]、負荷角を δ [rad]、力率角を θ [rad]、として、端子電圧のフェーザ \dot{V} を基準にしたフェーザ図は以下のようになった。(省略)このフェーザ図中の(a),(b),(c),(d),(e)に当てはまる記号を答えよ。

<解答>

$$(a) : \dot{E}, (b) : jX_s I, (c) : \delta, (d) : \theta, (e) : I$$

- (2) フェーザ図から無負荷誘導起電力 E [p.u.]を V 、 I 、 θ 及び X_s で表す式を導出し、定格運転時における無負荷誘導起電力を E_n [p.u.]として、その値を求めよ。

<解答>

フェーザ図より、

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{(V \cos \theta)^2 + (V \sin \theta + X_s I)^2} \\ &= \sqrt{V^2 + (X_s I)^2 + 2V X_s I \sin \theta} \end{aligned}$$

ここで、単位法は自己定格皮相電力及び自己定格電圧を基準とするため、

$$V_n = 1.0 \text{ [p.u.]}, I_n = 1.0 \text{ [p.u.]}$$

また、定格力率が遅れ80%のため、

$$\cos \theta_n = 0.8, \sin \theta_n = 0.6$$

よって、

$$E_n = \sqrt{V_n^2 + (X_s I_n)^2 + 2V_n X_s I_n \sin \theta} = \sqrt{1^2 + (1.8)^2 + 2 \cdot 1.8 \cdot 0.6} = 2.5298$$

$$\rightarrow 2.53 \text{ [p.u.]} \text{ (答)}$$

- (3) フェーザ図と有効電力 $P = VI \cos \theta$ [p.u.]の式から、 P 、 V 、 E 、 δ 、及び X_s で表す式を導出せよ。

<解答>

$$X_s I \cos \theta = E \sin \delta, \quad I \cos \theta = \frac{E}{X_s} \sin \delta \text{ のため、}$$

$$P = V_s I \cos \theta = \frac{V E}{X_s} \sin \delta \text{ [p.u.]} \text{ (答)}$$

(4) この発電機を定格運転した場合に、次の問に答えよ。

a) このときの発電機の負荷角を δ_n として、 $\sin \delta_n$ の値を求めよ。

<解答>

定格皮相電力は 15MVA のため、定格運転時の有効電力は 12MW である。そのため、定格運転時の有効電力の単位法は、

$$P_n = \frac{12}{15} = 0.8pu$$

ここで、(3) 式より、

$$\sin \delta_n = \frac{X_s}{V_n E_n} P_n = \frac{1.8}{2.5298} \cdot 0.8 = 0.56921 \rightarrow 0.569 \quad (\text{答})$$

b) 小問(3)で求めた式の最大値が定態安定極限電力 P_m [p.u.]である。この P_m を表す式を示せ。(以下略)

<解答>

定態安定極限電力は、 $\sin \delta = 1$ のときの P の式のため、

$$P_m = \frac{VE}{X_s} [pu]$$

また、 P_{mn} [pu]は、

$$P_{mn} = \frac{V_n E_n}{X_s} = \frac{2.5298}{1.8} = 1.4054pu$$

よって、 P_{mn} [MW]は、

$$P_{mn} = 1.4054 \cdot 15 = 21.081 \rightarrow 21.1 \text{ [MW]} \quad (\text{答})$$

(5) 定格運転中の発電機において、界磁電流を定格値の 80%に減少させた場合に、次の問いに答えよ。

a) このときの発電機の定態安定極限電力 P'_m [MW]は定格運転時と比べて増加または減少するかいずれか答えよ。また、 P'_m の値を求めよ。

<解答>

界磁電流が 80%減少したので、 $0.8E_n$ となるため、

$$P'_m = \frac{V_n \cdot 0.8E_n}{X_s} = \frac{0.8 \cdot 2.5298}{1.8} = 1.1243 \text{ [p.u.]}$$

$$P'_m = 1.1243 \cdot 15 = 16.8645 \rightarrow 16.9 \text{ MW} \quad (\text{答})$$

よって減少する。(答)

- b) このときの発電機の負荷角を δ' として、 $\sin \delta'$ の値を求めよ。また、このときの発電機の定態安定度（同期安定性）は定格運転時と比べて向上又は低下するかいずれか答えよ。

<解答>

界磁電流が変化しても有効電力は変化しないため

$$\sin \delta_n' = \frac{X_s}{V_n \cdot 0.8 E_n} P_n = \frac{1.8}{0.8 \cdot 2.5298} \cdot 0.8 = 0.712$$

よって定態安定度は低下する。

問2 図1のように同一の2台の単相変圧器 Tr1 及び Tr2 を V 結線し、一次側を線間電圧 400 V の対称三相交流電源に接続する。一次巻線と二次巻線の巻数は 4:1 であり、一次及び二次の漏れリアクタンスはそれぞれ 0.64Ω , 0.21Ω である。三相負荷を二次側に接続すると、一次側線電流には 30 A で力率 1 の平衡三相電流が流れた。

また、図2は、図1を二次側に換算した等価回路である。次の間に答えよ。

ただし、変圧器の励磁電流、鉄損及び巻線抵抗は無視し、変圧器鉄心は磁気飽和しないものとする。

(1) 図2における一次側線間電圧 V_{1ab} の二次側換算値 V'_{1ab} を求めよ。

(2) 図2における一次側線電流 I_{1a} の二次側換算値 I'_{1a} を求めよ。

(3) 図2における一次漏れリアクタンスの二次側換算値と二次漏れリアクタンスの合成リアクタンス X' を求めよ。

次に、対称三相交流電源における a 相の相電圧の二次側換算値を基準として、図2の回路の電圧・電流のフェーザ図を図3に示す。

(4) 図3のフェーザ図中の①, ②, ③, ④に適する電圧のフェーザをそれぞれ答えよ。

(5) 二次側の線間電圧 V_{2ab} 及び V_{2cb} を求めよ。

(6) 2台の単相変圧器 Tr1 及び Tr2 が負荷に供給する有効電力 P_1 及び P_2 をそれぞれ求めよ。

(1) <解答>

巻数比 4:1 であるので

$$V'_{1a} = \frac{V_{1a}}{4} = 100 \text{ [V]}$$

(2) <解答>

巻数比 4:1 であるので

$$I'_{1a} = 4I_{1a} = 120 \text{ [A]}$$

(3) <解答>

巻数比 4:1 であるので

$$0.64 \times \frac{1}{4^2} = 0.04$$

$$X' = 0.04 + 0.21 = 0.25 \text{ [\Omega]}$$

(4) <解答>

$$\textcircled{1} \dot{V}_{1ab}, \textcircled{2} jX'I_{1a}, \textcircled{3} \dot{V}_{1cb}, \textcircled{4} \dot{V}_{2cb}$$

(5) <解答>

$$\dot{V}_{1ab}' = 100 \left(\cos \frac{\pi}{6} + j \sin \frac{\pi}{6} \right)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{2ab} &= \dot{V}_{1ab}' - jX'I_{1a}' \\ &= 100 \left(\cos \frac{\pi}{6} + j \sin \frac{\pi}{6} \right) - jX'I_{1a}' \end{aligned}$$

$$= 100 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2} \right) - j0.25 \times 120$$

$$= 86.6 + j20$$

$$|\dot{V}_{2ab}| = 88.879V$$

$$\rightarrow V_{2ab} \quad 88.9V \quad (\text{答})$$

$$\dot{V}_{1cb}' = j \times 100$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{2cb} &= \dot{V}_{1cb}' - jX'I_{1c}' \\ &= j \times 100 - j0.25 \times 120 \left(\cos \frac{2}{3}\pi + j \sin \frac{2}{3}\pi \right) \end{aligned}$$

$$= j100 - j30 \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$= 15\sqrt{3} + j115$$

$$|\dot{V}_{2cb}| = 117.898261225V$$

$$\rightarrow V_{2cb} \quad 118V \quad (\text{答})$$

(6) <解答>

負荷へ供給する有効電力は一次 入力電力に等しいため

$$P_1 = V'_{1ab} I_{1a}' \cos 30 = 100 \times 120 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10.4[\text{kW}] \quad (\text{答})$$

$$P_2 = V'_{1cb} I_{1c}' \cos 30 = 100 \times 120 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10.4[\text{kW}] \quad (\text{答})$$

問3 以下の文章は、負荷の発生する高調波を除去する電力用能動フィルタに関するものである。次の問に答えよ。

図1は能動フィルタを用いた高調波電流除去の概念図である。電力系統から流出する電源電流を i_s とし、電力系統の高調波に対するインピーダンスは十分小さく無視できるものとする。負荷電流 i_L は基本波成分 i_i と高調波成分 i_H の和 $i_L = i_i + i_H$ であるとする。能動フィルタは、補償電流 i_c を制御して i_s を i_i のみとなるようにする。

- (1) 高調波を発生する半導体デバイスを用いた電力変換装置の名称を一つ挙げよ。
- (2) 系統に高調波が存在する場合、系統に接続された他の機器にどのような影響が生じるか、20文字以内で述べよ。
- (3) i_s を i_i のみにするための i_c の式を示せ。
- (4) 図で示す i_L の波形が最大値 I_L と最小値 $-I_L$ の2レベル矩形波であるとき、 i_i の振幅は $\frac{4}{\pi}I_L$ である。このとき、答案用紙に図2と同じ図が印刷されているので、 i_H 、 i_c の波形を大小・正負が明らかになるように図示せよ。
- (5) i_L 、 i_i 、 i_c の実効値を、それぞれ I_L を用いて表せ。なお、 i_c の実効値を求めるときは、ひずみ波の実効値は直流分及び各調波の実効値の2乗の和の平方根であることを用いても良い。

(1) <解答>

三相ブリッジ整流回路 など

(2) <解答>

コンデンサやリアクトルの振動・過熱

(3) <解答>

$$i_L = i_i + i_H \text{ より, } i_H = i_L - i_i$$

$$i_s = i_c + i_L$$

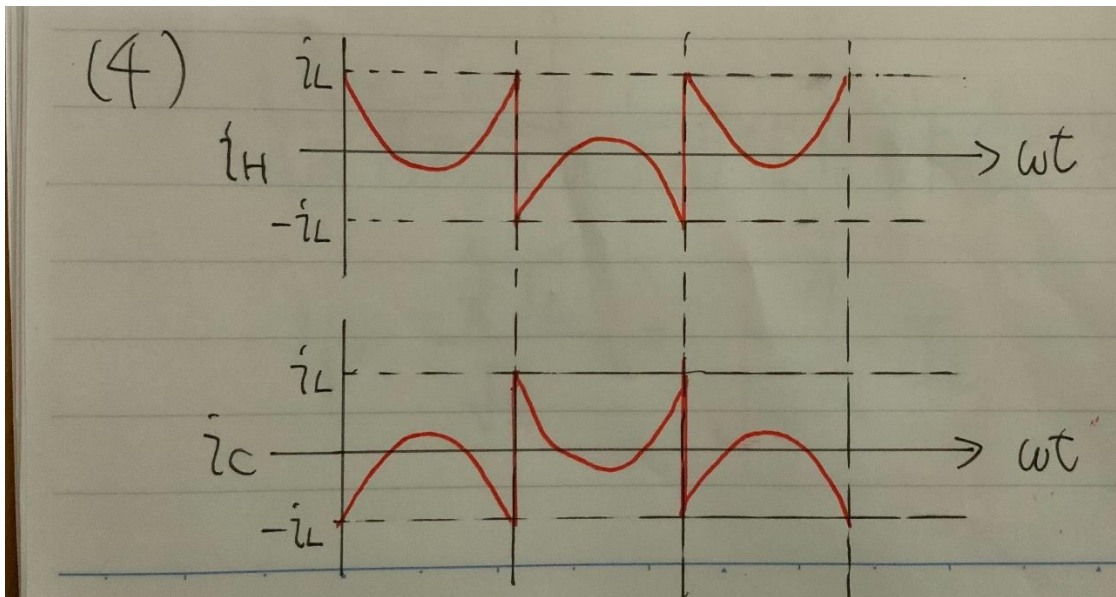
$$= i_c + i_i + i_H$$

$i_s = i_i$ となるように制御するので

$$i_c = -i_H$$

$$= i_i - i_L \text{ (答)}$$

(4) <解答>



(5) <解答>

方形波の実効値は最大値に等しい。

$$i_{L,rms} = I_L \quad (\text{答})$$

正弦波の実効値は、 $\frac{\text{最大値}}{\sqrt{2}}$ に等しい。

$$I_{i,rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{4}{\pi} I_L$$

$$= \frac{4}{\sqrt{2}\pi} I_L = 0.90031 I_L$$

$$\rightarrow 0.900 I_L \quad (\text{答})$$

$$I_{C,rms} = \sqrt{i_{L,rms}^2 + i_{i,rms}^2}$$

$$= \sqrt{I_L^2 + \left(\frac{4}{\sqrt{2}\pi} I_L\right)^2}$$

$$= \sqrt{1 + \frac{8}{\pi^2}} \times I_L$$

$$= 1.3456 I_L$$

$$\rightarrow 1.34 I_L \quad (\text{答})$$

問4 本問題で扱う伝達関数の全ての極と零点は複素平面上の右半平面には存在しないものと仮定する。以下の間に答えよ。ここで必要に応じて、 $14 = 20 \log_{10} 10^{0.7}$ 、 $10^{0.7} = 5.0119$ を用いよ。ただし、全ての図は折れ線近似で表している。

(1) 図1に示すゲイン特性曲線から積分要素の伝達関数 $G_1(s) = \frac{1}{T_I s}$ を求めよ。

(2) 図2に示すゲイン特性曲線が表す伝達関数 $G(s)$ を $G(s) = G_1(s)G_2(s)$ のように分解して考える。 $G_1(s)$ を小問(1)で求めた伝達関数とするときの $G_2(s)$ を求めよ。

(3) 図2に示すゲイン特性曲線から伝達関数 $G(s)$ を求めよ。ただし、 $G(s) = \frac{1}{T_{II} s}$

とにおいて、その周波数伝達関数 $G(j\omega) = \frac{1}{jT_{II}\omega}$ のゲインが $\omega = 0.1 \text{ rad/s}$ のとき 40 dB であることを用いて T_{II} を決定せよ。

(4) 折れ線近似で表した図3に示すゲイン特性曲線から伝達関数 $G(s)$ を求めよ。

ただし、 $G(s)$ を積分要素 $G_1(s) = \frac{1}{T_{I2} s}$ と一次遅れ要素 $G_2(s) = \frac{1}{1+Ts}$ に分解して考えよ。

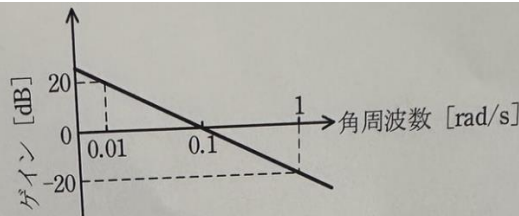


図1

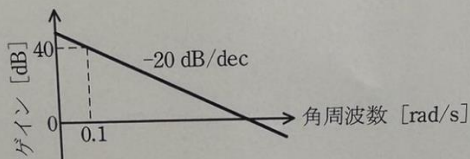


図2

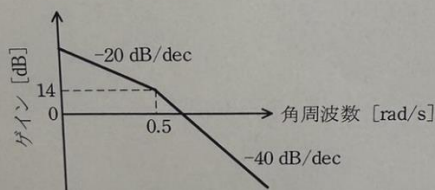


図3

(1) 積分要素の伝達関数 $G_1(s)$ の計算

<解答>

$\omega = 0.1$ でゲインが0なので、

$$20 \log \frac{1}{T_1 \times 0.1} = 0$$

であるので、

$$T_1 = 10$$

$$G_1(s) = \frac{1}{10s}$$

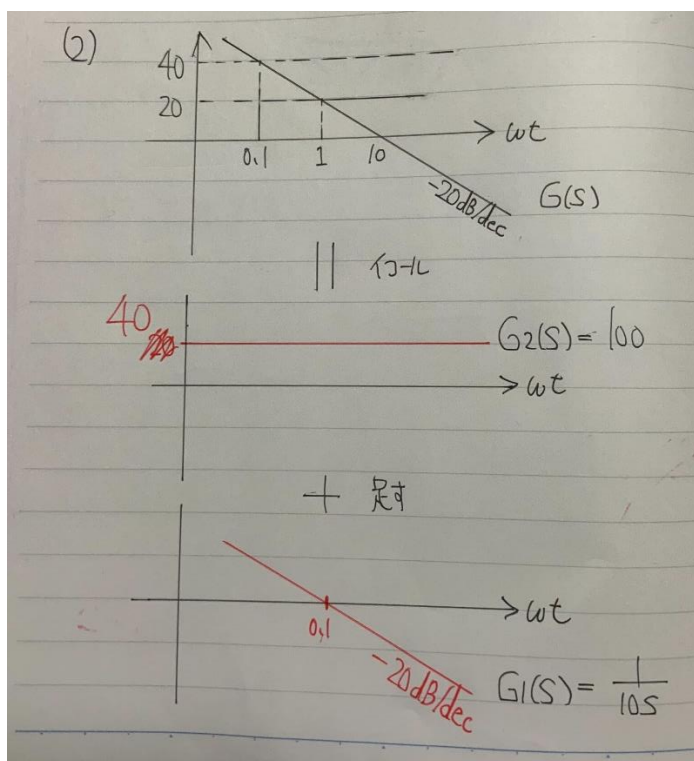
となる。

$$\rightarrow G_1(s) = \frac{1}{10s} \text{ (答)}$$

(2) $G_2(s)$ の計算

<解答>

下図に示す通り、ゲイン40で一定の要素と、 $G_1(s)$ の重ね合わせになる。



上記図より、

$$G_2(s) = 100$$

となる。

$$\rightarrow G_2(s) = 100 \text{ (答)}$$

(3) T_{11} の計算

<解答>

$G(j\omega) = \frac{1}{jT_{11}\omega}$ のゲインは $\omega = 0.1$ の時に 40dB であるので、

$$20\log \frac{1}{T_{11} \times 0.1} = 40$$

$$-20\log(T_{11} \times 0.1) = 40$$

$$\log 0.1T_{11} = -2$$

$$\log 0.1 + \log T_{11} = -2$$

$$T_{11} = 0.1$$

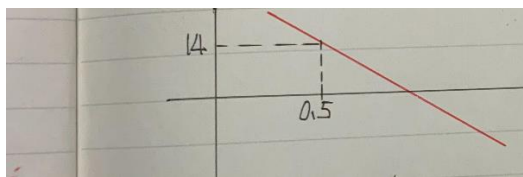
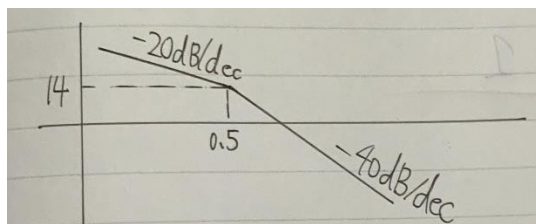
となる。

→ $T_{11} = 0.1$ (答)

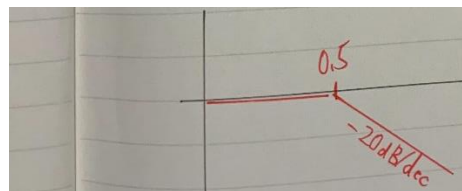
(4) 図3の伝達関数 $G(s)$ の計算

<解答>

問題図3のゲイン線図は、下図のように分解できる。



(a) 積分要素



(b) 一次遅れ要素

ここで、

積分要素 $\frac{1}{T_{12}s}$

一次遅れ $\frac{1}{1+Ts}$

であらわされる。

■ 積分要素について

積分要素、 $\omega = 0.5$ でゲイン 14

$$20\log\frac{1}{0.5T} = 14$$

問題文より、

$$20\log 10^{0.7} = 20\log\frac{1}{0.5T}$$

$$\frac{1}{0.5T} = 10^{0.7}$$

$$T = \frac{1}{0.5 \times 10^{0.7}} = \frac{1}{0.5 \times 5.0119} = 0.399050$$

よって、

$$G_1(s) = \frac{1}{0.399050s}$$

■一次遅れ要素について

一次遅れ要素：折れ点角周波数 $\omega = 0.5$

$$T = 2$$

よって、

$$G_2(s) = \frac{1}{1 + 2s}$$

■ $G(s)$ について

以上より、

$$G(s) = G_1(s)G_2(s) = \frac{1}{0.399050s(1 + 2s)}$$

$$\rightarrow G(s) = \frac{1}{0.399s(1+2s)} \quad (\text{答})$$