

令和 5 年度

第 2 種

機械・制御

(第 2 時限目)

答案用紙記入上の注意事項

1. 答案用紙（記述用紙）について

- 記入には、濃度HBの鉛筆又はシャープペンシルを使用してください。
- 指示がありましたら答案用紙2枚を引き抜き、2枚とも直ちに試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。なお、氏名は記入不要です。
- 「選択した問の番号」欄には、必ず選択した問番号を記入してください。
記入した問番号で採点されます。問番号が未記入のものは、採点されません。
- 答案用紙は1問につき1枚です。
- 答案用紙にはページ番号を付しており、(1)～(3)ページに記述します。(4)ページは、図表等の問題に使用するもので、使用する場合は問題文で指定します。

2. 試験問題について

（計算問題）解に至る過程を簡潔に記入してください。

- 導出過程が不明瞭な答案は、0点となる場合があります。
- 答は、問題文で指定がない限り、3桁（4桁目を四捨五入）です。なお、解答以外の数値の桁数は、誤差が出ないよう多く取ってください。

例：線電流 I は、 $I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.9} = 32.075 \text{ A}$ (答) 32.1 A

1線当たりの損失 P_L は、 $P_L = I^2 R = 32.075^2 \times 0.2 = 205.76 \text{ W}$ (答) 206 W

（記述問題）問題文の要求に従って記入してください。

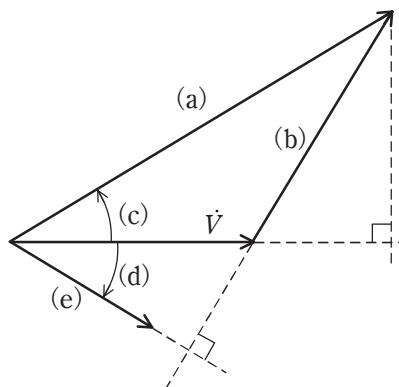
- 例えば「3つ答えよ。」という要求は、4つ以上答えてはいけません。

答案用紙は、白紙解答であっても2枚すべて提出してください。
なお、この問題冊子についてはお持ち帰りください。

問 1～問 4 の中から任意の 2 問を解答すること。(配点は 1 問題当たり 30 点)

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、次の間に答えよ。ただし、無限大母線の電圧は同期機の定格電圧に等しく、同期機の定格皮相電力は $15 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 、定格力率は遅れ 80% 、同期リアクタンス X_s は 1.8 p.u. 、また単位法は自己定格皮相電力及び自己定格電圧を基準とし、同期機の磁気飽和と損失は無視するものとする。

(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つた。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。（解答例 (a) $\text{j}X_s I$ 、(b) θ 、(c) 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。
- (3) フェーザ図と有効電力 $P = VI \cos \theta$ [p.u.] の式から、 P を V 、 E 、 δ 、及び X_s で表す式を導出せよ。

- (4) この発電機を定格運転した場合に、次の間に答えよ。
- 定格運転時の負荷角を δ_n として、 $\sin \delta_n$ の値を求めよ。
 - 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。また、定格運転時の定態安定極限電力を P_{mn} [MW] として、その値を求めよ。
- (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、次の間に答えよ。
- 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づれか答えよ。また、 P'_m の値を求めよ。
 - 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づれか答えよ。

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。

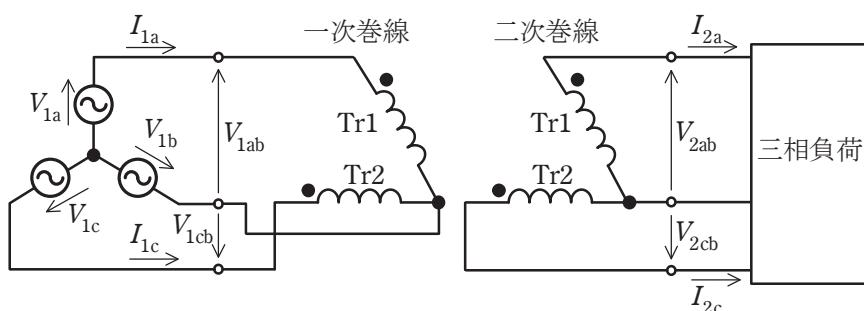
ただし、変圧器の励磁電流、鉄損及び巻線抵抗は無視し、変圧器鉄心は磁気飽和しないものとする。

- (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。



V_{1a}, V_{1b}, V_{1c} : 対称三相交流電源の相電圧

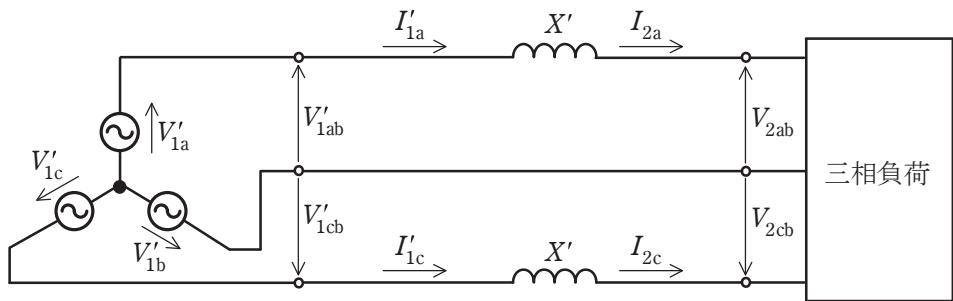
V_{1ab}, V_{1cb} : 一次側線間電圧

I_{1a}, I_{1c} : 一次側線電流

V_{2ab}, V_{2cb} : 二次側線間電圧

I_{2a}, I_{2c} : 二次側線電流

図 1 V 結線図



V'_{1a} , V'_{1b} , V'_{1c} : 対称三相交流電源相電圧の二次側換算値

V'_{1ab} , V'_{1cb} : 一次側線間電圧の二次側換算値

I'_{1a} , I'_{1c} : 一次側線電流の二次側換算値

X' : 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

図2 二次側に換算した等価回路

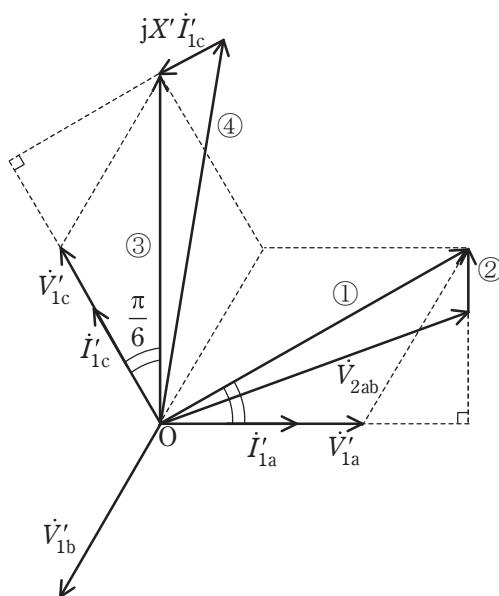


図3 フェーザ図

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。次の間に答えよ。

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_1 と高調波成分 i_H の和 $i_L = i_1 + i_H$ 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_1 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_1 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_1

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_1 、 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。

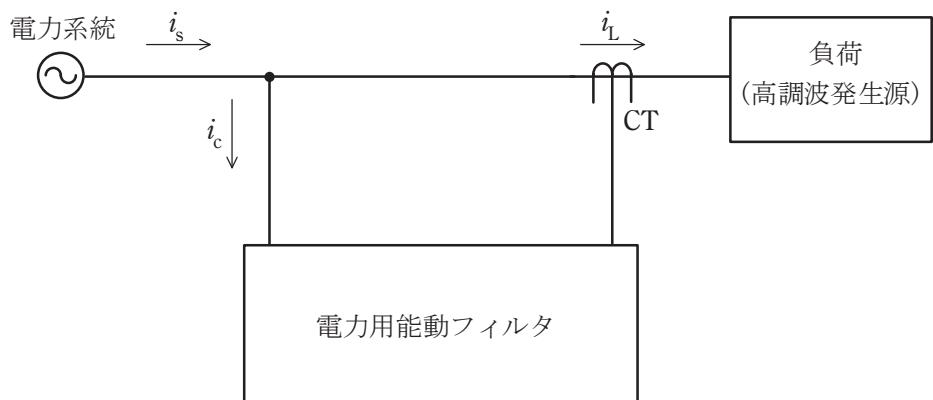


図1 能動フィルタを用いた高調波電流除去の概念図

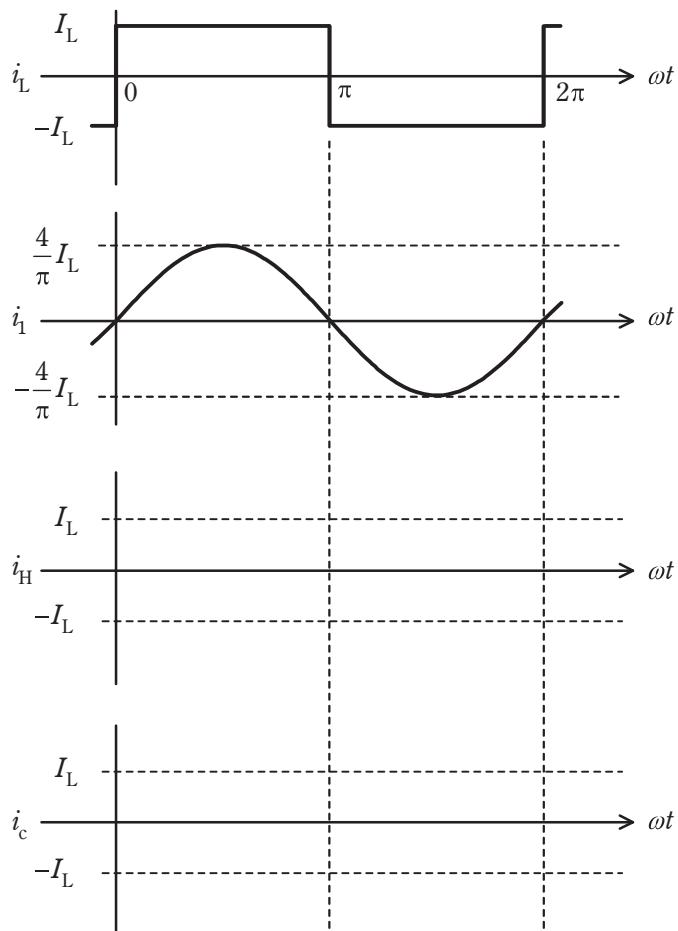


図2 i_L, i_1, i_H, i_c の波形

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 $G_1(s) = \frac{1}{T_{I1}s}$ を求めよ。
- (2) 図2に示すゲイン特性曲線が表す伝達関数 $G(s) = G_1(s)G_2(s)$ 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、 $G(s) = \frac{1}{T_{I1}s}$ とおいて、その周波数伝達関数 $G(j\omega) = \frac{1}{jT_{I1}\omega}$ 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_{I1} 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。

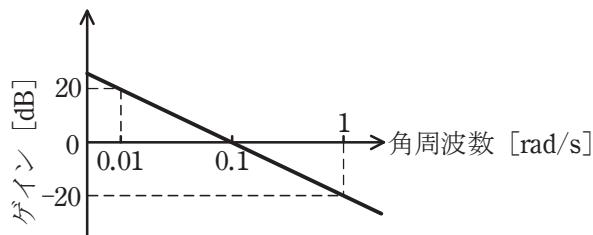


図 1

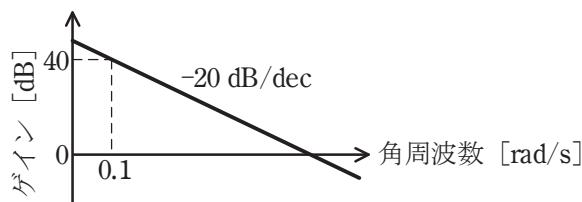


図 2

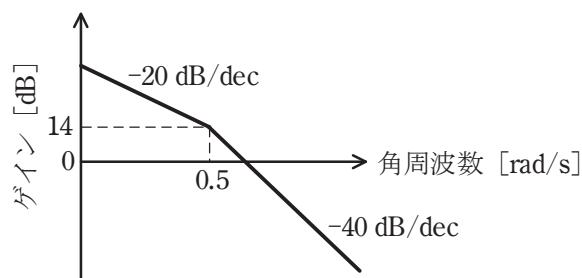


図 3