

令和 6 年度

第 1 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。
- 計算問題において、簡略式を用いても算出できる場合もありますが、問題文中に明記がある場合を除き、簡略式は使用しないでください。
- 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、誤差が出ないように多く取ってください。

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

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

(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。

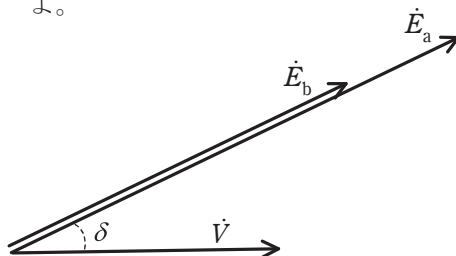
答案用紙は、白紙解答であっても2枚すべて提出してください。
なお、この問題冊子についてはお持ち帰りください。

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 A 機及び B 機の 2 台の三相円筒形同期発電機を共通の母線に接続して並行運転を行う。この共通母線に負荷を接続して、両機とも遅れ力率にて、また両機の負荷角が等しくなるように並行運転を行うと両機のフェーザ図の一部が図のようになった。この運転状態の発電機について、次の問に答えよ。

ここで、両機はいずれも定格皮相電力 $10\text{MV}\cdot\text{A}$ 、定格力率 0.8 (遅れ)であり、A 機と B 機の同期リアクタンスは、 $X_a = 2.0\text{p.u.}$ 、及び $X_b = 1.5\text{p.u.}$ である。なお、鉄心の磁気飽和及び発電機の損失は無視し、単位法は発電機の定格皮相電力及び定格電圧を基準、無効電力は遅れを正とする。

- (1) 図を参考にして、 $\dot{V}$ 、 $\dot{E}_a$ 、 $\dot{E}_b$ 、 δ に加えて、A 機と B 機の電機子電流 $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_b$ 、力率角 θ_a 、 θ_b 、同期リアクタンス電圧降下 $jX_a\dot{I}_a$ 、 $jX_b\dot{I}_b$ を記入したフェーザ図を答案用紙に描け。なお、フェーザ図は図のように $\dot{V}$ の位相を基準とし、各機単独では無く一つの図として記載せよ。
- (2) この運転状態における A 機の諸量を有効電力 $P_a = 4\text{MW}$ 、 $\cos\theta_a = 0.8$ 、 $V = 1.0\text{p.u.}$ として、そのときの I_a [p.u.] を求め、さらに E_a [p.u.]、 $\sin\delta$ の値を求めよ。
- (3) また、そのときの B 機の有効電力を $P_b = 4\text{MW}$ として、B 機の E_b [p.u.] を求め、さらに I_b [p.u.]、 $\cos\theta_b$ 、及び B 機が分担する無効電力 Q_b [p.u.] の値を求めよ。



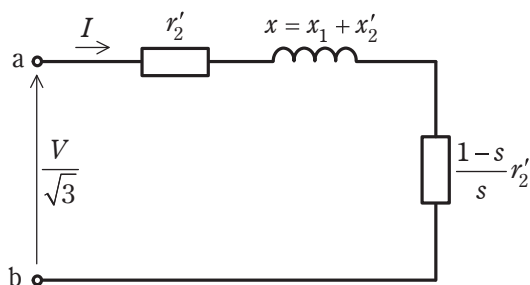
$\dot{E}_a$ 、 $\dot{E}_b$: A 機, B 機の無負荷誘導起電力

$\dot{V}$: 両機共通の端子電圧

δ : 両機共通の負荷角

図 並行運転中の A 機と B 機のフェーザ図 (一部)

問2 滑り s で運転している三相誘導電動機の星形換算一相分の等価回路を下図に示す。ただし、励磁回路および一次抵抗は無視できるものとし、二次抵抗は周波数により変化しないものとする。



V : 端子電圧

I : 入力電流

r'_2 : 一次換算二次抵抗

x_1 : 一次漏れリアクタンス

x'_2 : 一次換算二次漏れリアクタンス

以下の問に答えよ。ただし、(1)～(4)については、記号 (s , V , r'_2 , x) 及び同期角速度 ω_s の中から必要な記号を用いて答えよ。

- (1) 入力電流 I 及び機械的出力 P_o の式をそれぞれ示せ。
- (2) 発生トルク T の式を示せ。
- (3) 始動トルク T_s の式を示せ。
- (4) 最大トルク T_m の式を示せ。
- (5) この誘導電動機の最大トルク T_m は始動トルク T_s の2倍であった。 T_m となるときの滑り s_m の値を求めよ。

問3 図1に示す単相3レベルインバータのスイッチ $S_{11} \sim S_{24}$ を、図2に示すオン

オフ信号で動作させた場合について、次の問に答えよ。なお、 $\sin \frac{2\pi}{5} = 0.95106$ ，

$\cos \frac{2\pi}{5} = 0.30902$ を必要に応じて用いてよい。

- (1) 電源の中性点 O を基準としたときの端子 A 及び端子 B の電圧 v_{AO} ， v_{BO} ，端子 B を基準としたときの端子 A の電圧(出力電圧) v_{AB} を、それぞれの波形を、波形の大きさとスイッチングの位相が明確に分かるように、答案用紙に印刷されている図2に示せ。
- (2) 電圧 v_{AO} ， v_{BO} をフーリエ級数展開した場合、偶数次調波成分は 0 になり、奇数 $k = (2n-1)$ 次調波成分 ($n = 1, 2, \dots$) の振幅 V_k は、次式で表される。

$$V_k = \frac{400}{k\pi} \cos\left(\frac{k\alpha}{2}\right)$$

$\alpha = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$ のとき、電圧 v_{AO} と v_{BO} のそれぞれについて、基本波成分、第 3

次調波成分、第 5 次調波成分の実効値を求めよ。

- (3) $\alpha = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$ ， $\beta = \frac{\pi}{5} \text{ rad}$ のとき、出力電圧 v_{AB} の基本波成分、第 3 次調波成分、

第 5 次調波成分の実効値を求めよ。

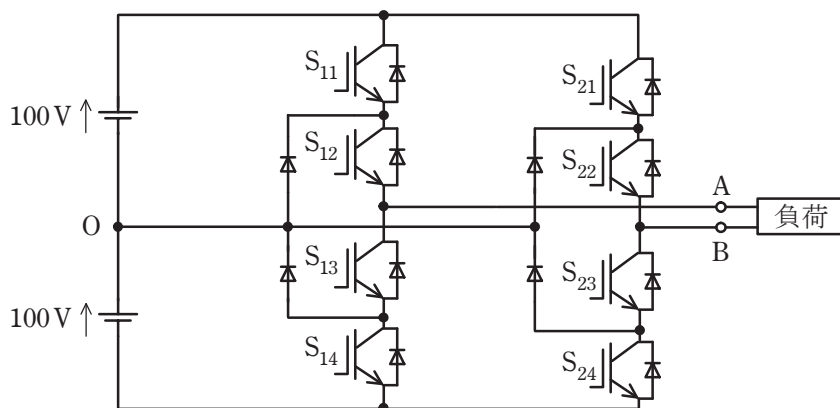


図1 単相3レベルインバータ

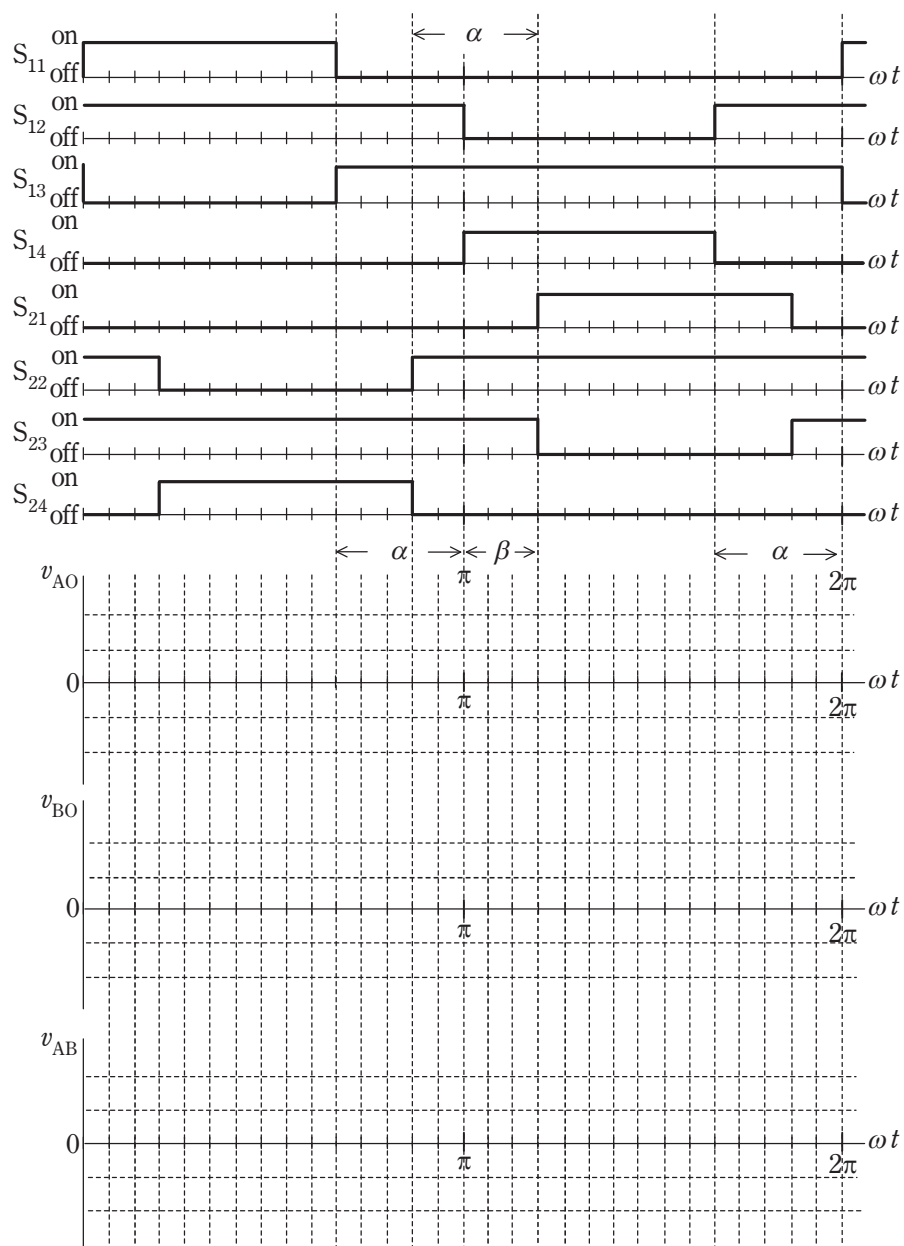


図2 各スイッチのオンオフ信号に対する電圧波形

問 4 制御対象の伝達関数が、 $G(s) = \frac{3}{s+2}$ と与えられているとき、以下の問に答えよ。

- (1) 制御対象の伝達関数 $G(s) = \frac{3}{s+2}$ の周波数特性をあらわすボード線図の概略

図が図 1 のようにあらわされている。この図のゲイン g_0 [dB]，角周波数 ω_0 [rad/s] に入る値を答えよ。ただし，ゲイン曲線は，dB（デシベル）表示するものとし，横軸の角周波数 [rad/s] は，対数目盛で表示する場合を考える。なお， $\log_{10} 2 = 0.3010$ ， $\log_{10} 3 = 0.4771$ とする。

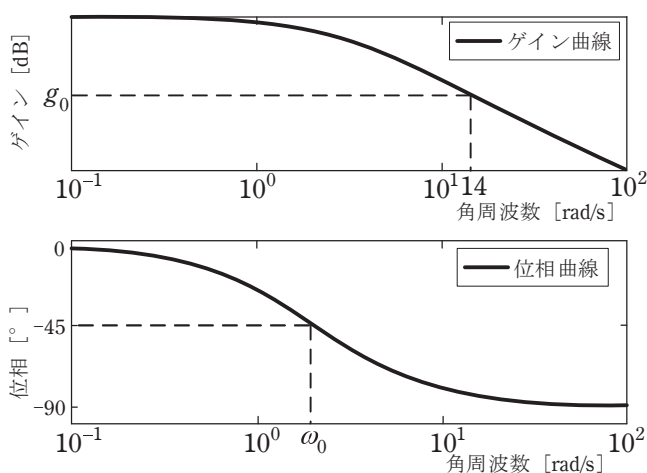


図 1 制御対象のボード線図

- (2) 制御対象 $G(s)$ に対して，図 2 に示すフィードバック制御系を構成する。 $C(s)$ は制御器の伝達関数である。また， $R(s)$ は目標値， $Y(s)$ は制御量， $E(s)$ は制御偏差， $U(s)$ は操作量であり，時間信号 $r(t)$ ， $y(t)$ ， $e(t)$ ， $u(t)$ をそれぞれラプラス変換したものである。

図 2 のフィードバック制御系の制御器を $C(s) = K$ とするとき，目標値 $R(s)$ から閉ループ出力 $Y(s)$ までの閉ループ伝達関数 $G_c(s)$ を求めよ。

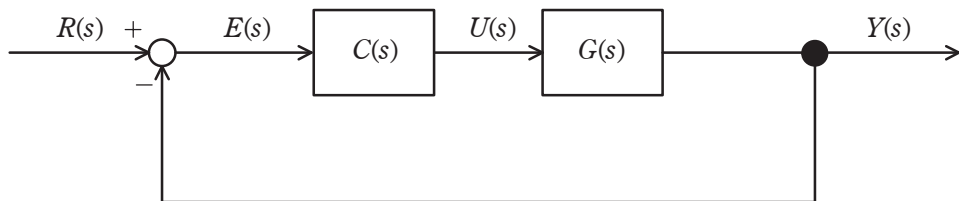


図2 フィードバック制御系のブロック線図

(3) (2)で求めた閉ループ伝達関数 $G_c(s)$ に対して、位相が -45° となる角周波数を ω_1 とする。このとき、 $|G_c(j\omega_1)| = \frac{0.9}{\sqrt{2}}$ となる制御器 $C(s) = K$ ，および角周波数 ω_1 を求めよ。

(4) 図2のフィードバック制御系の制御器を $C(s) = K$ の代りに $C(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ と設定する。この新しく設定された制御器 $C(s)$ に対する一巡伝達関数を $G_a(s)$ とするとき、一巡伝達関数 $G_a(s)$ の位相が -180° となる角周波数 ω_2 を求めよ。

(5) (4)と同様に図2のフィードバック制御系の制御器を $C(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ と設定する。このとき得られたフィードバック制御系のゲイン余裕を求めよ。