平成 29 年度

第 1 種

機械・制御

（第 2 時限目）

第 1 種

機械・制御

答案用紙記入上の重要事項及び注意事項

指示がありましたら答案用紙（記述用紙）２枚を引き抜いてください。答案用紙には，**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。

１．重要事項

ａ．「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。

ｂ．計算問題では，**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。

２．注意事項

○ 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。**

○ 答案用紙は１問につき１枚としてください。

○ 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。**

○ 計算問題の答は，特に指定がない限り，有効数字は３桁です。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

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V\cos\theta} = \frac{10\times10^3}{\sqrt{3}\times200\times0.9} = 32.075\ \mathrm{A}\quad（答）32.1\ \mathrm{A}$$

１線当たりの損失 P_L は

$$P_\mathrm{L} = I^2R = 32.075^2\times0.2 = 205.76\ \mathrm{W}\quad（答）206\ \mathrm{W}$$

○ 記述問題については，問題の要求を逸脱しないでください。

例：「問題文に３つ答えよ。」という要求で，４つ以上答えてはいけません。

○ 氏名は記載しないでください。（答案用紙に氏名記載欄はありません。）

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。

第 1 種　　**機械・制御**

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　三相誘導電動機のＬ形等価回路において，r_1[Ω]は一次抵抗，x_1[Ω]は一次リアクタンス，r'_2[Ω]は一次側に換算した二次抵抗，x'_2[Ω]は一次側に換算した二次リアクタンス，V_1[V]は一次相電圧，I_1[A]は一次電流，I'_2[A]は一次側に換算した二次電流，s は滑り，ω_s[rad/s]は同期角速度であるとする。次の問に答えよ。

(1) Ｌ形等価回路の励磁回路及び機械損を無視した場合について，次のａ及びｂに答えよ。

ａ．最大トルク T_{max} を生じるときの滑り s_{m} を導出せよ。

ｂ．そのときの最大トルク T_{max} を導出せよ。

(2) 上記小問(1)の条件に加え，一次抵抗 r_1 を無視した場合について，次の c 及び d に答えよ。

c．滑り s のときのトルク T に対する最大トルク T_{max} の比 $\dfrac{T_{\mathrm{max}}}{T}$ を，最大トルク T_{max} のときの滑り s_{m} 及びトルク T のときの滑り s によって表せ。

d．この電動機の等価回路定数は次のような値であった。

$x_1 = 0.356\ \Omega$

$r_2' = 0.144\ \Omega$

$x_2' = 0.356\ \Omega$

この電動機で，あるトルク T において $\dfrac{T_{\mathrm{max}}}{T} = 2$ であった。このときの滑り s[%]を求めよ。

問２　図のように２台の一次定格電圧 6600 V, 二次定格電圧 200 V, 定格周波数 50Hz 及び定格容量 10 kV･A の単相変圧器がある。変圧器 ab を a 相と b 相との間に，変圧器 cb を c 相と b 相との間に V 結線し，定格電圧，定格周波数の三相交流電源に接続する。次の問に答えよ。ただし，変圧器の巻線抵抗と漏れリアクタンスによる電圧降下は無視し，三相交流電源の相順は a 相→b 相→c 相の順とする。

(1) 図 1 のように平衡三相抵抗負荷を接続する。2 台の変圧器で抵抗負荷に供給できる最大の電力を求めよ。

(2) 図 2 のように三相負荷を接続する。ただし，負荷は三相平衡であるが，誘導性で力率角 30°，消費電力は 12 kW である。変圧器 ab 及び変圧器 cb が伝達する有効電力 P_{ab} 及び P_{cb} を求めよ。

(3) 図 3 のように，単相負荷抵抗を二次側の a 相と c 相との間に接続する。2 台の変圧器で抵抗負荷に供給できる最大の電力を求めよ。

(4) 図 4 のように, 単相抵抗負荷 R に分路リアクトル L 及び進相コンデンサ C を接続する。L 及び C のリアクタンス X_L 及び X_C を適切に選べば，各変圧器の電圧と電流が同位相，すなわち負荷力率を 1 に改善できる。回路の対称性から，$X_L=X_C$ であるので，力率を 1 にできる X_L 又は X_C の R に対する比 $\frac{X_L}{R}$ 又は $\frac{X_C}{R}$ の一方を求めよ。

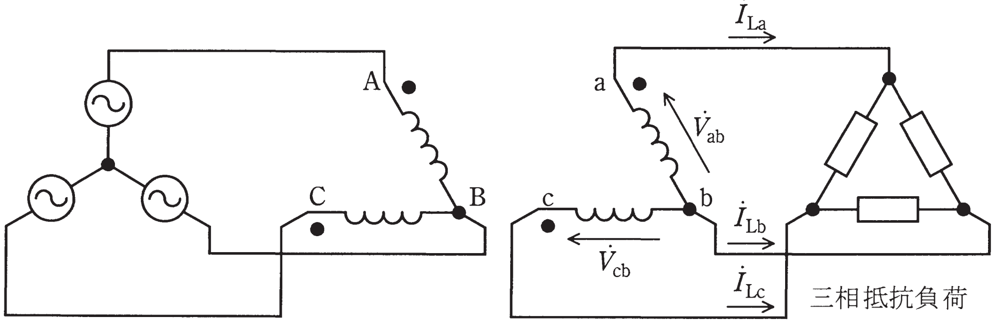
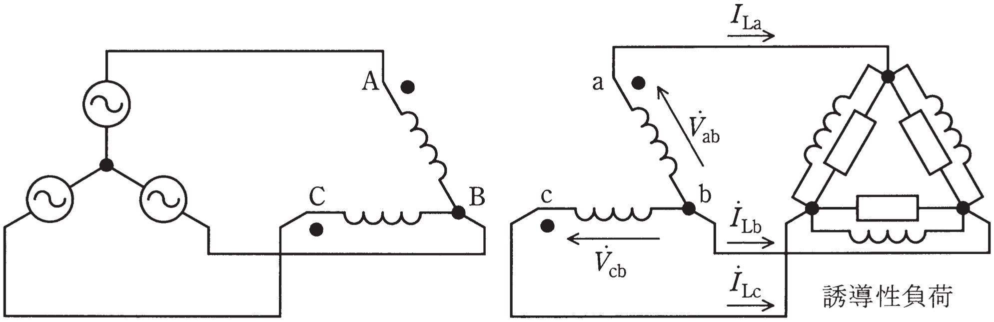


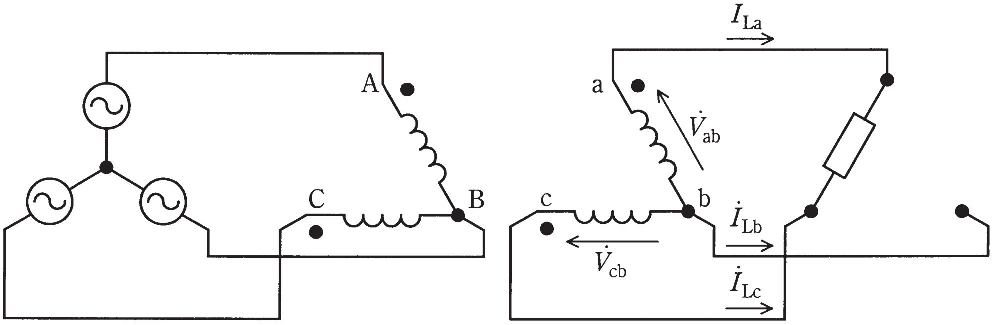
図 1

●F2－K010



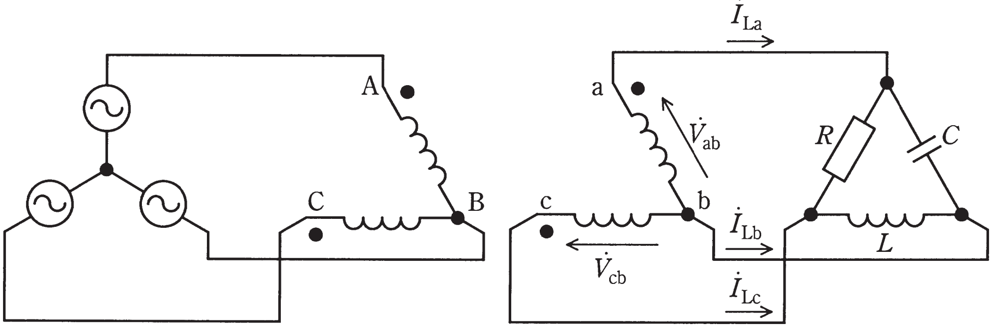
A
B
C
a
b
c
$\dot{I}_{La}$
$\dot{V}_{ab}$
$\dot{I}_{Lb}$
$\dot{V}_{cb}$
$\dot{I}_{Lc}$
誘導性負荷

図 2



A
B
C
a
b
c
$\dot{I}_{La}$
$\dot{V}_{ab}$
$\dot{I}_{Lb}$
$\dot{V}_{cb}$
$\dot{I}_{Lc}$

図 3



A
B
C
a
b
c
$\dot{I}_{La}$
$\dot{V}_{ab}$
R
C
$\dot{I}_{Lb}$
L
$\dot{V}_{cb}$
$\dot{I}_{Lc}$

図 4

問３　a 相→b 相→c 相の相順の三相３レベルインバータがあり，そのうち，図１には電圧 E を２分割した直流電源とインバータの１相分である a 相の回路を示す。図２には１サイクルで正負１パルスの電圧を出力した場合の a 相電圧 v_{a} の波形を示す。また, 図３には, PWM 制御を行って電圧を出力した場合の a 相電圧の v'_{a} と，図１に示す矢印を正の方向として正弦波とみなした場合の a 相電流 i'_{a} の波形を示す。以下の問に答えよ。

(1) 図２の a 相電圧 v_{a} の波形を基準にして，他の b 相電圧 v_{b}，c 相電圧 v_{c} 及び b 相から a 相をみた線間電圧 v_{ab} のそれぞれの波形を, 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) 図２の a 相電圧 v_{a} の波形のように，振幅が $\dfrac{E}{2}$，正負のパルス幅が θ，角周波数が ω の電圧波形は，次式のフーリエ級数展開ができる。

$$v=\frac{4}{\pi}\times\frac{E}{2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n-1}}{2n-1}\sin\frac{(2n-1)\theta}{2}\sin(2n-1)\omega t$$

$\theta=\dfrac{2\pi}{3}$ rad のとき，線間電圧 v_{ab} 波形に含まれる基本波の実効値 V_{ab} を E を用いて示せ。

(3) 図３に示す a 相電圧 v'_{a} の PWM 制御期間①において，$\mathrm{Q_1}$～$\mathrm{Q_4}$ のうち，オンしているデバイス，オフしているデバイス及び交互にスイッチングするデバイスはそれぞれどのデバイスであるかを答えよ。

(4) 図３に示す位相 ωt_0 のときは，負荷から a 端子を通って，直流電源端子 O に向けて電流 i'_{a} が流れている。この電流経路は「a 端子→デバイス A→デバイス B→O 端子」となるが，$\mathrm{Q_1}$～$\mathrm{Q_4}$ 及び $\mathrm{D_1}$～$\mathrm{D_6}$ のうち，デバイス A とデバイス B はそれぞれどのデバイスであるかを答えよ。

(5) $\mathrm{D_5}$，$\mathrm{D_6}$ はクランプダイオードと呼ばれている。このダイオードの働きを説明せよ。

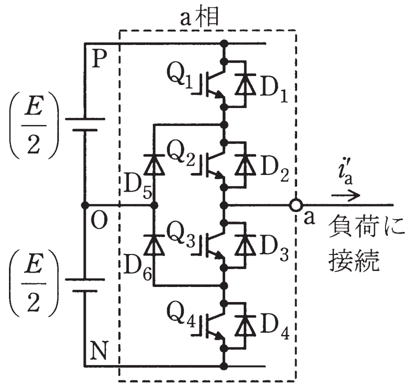

a相
P
O
N
Q1
Q2
Q3
Q4
D1
D2
D3
D4
D5
D6
i'a
a
負荷に
接続

図 1

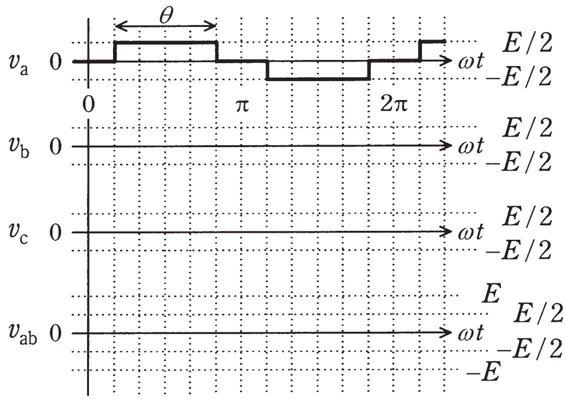

θ
va
vb
vc
vab
0
π
2π
ωt
E/2
−E/2
E
−E

図 2

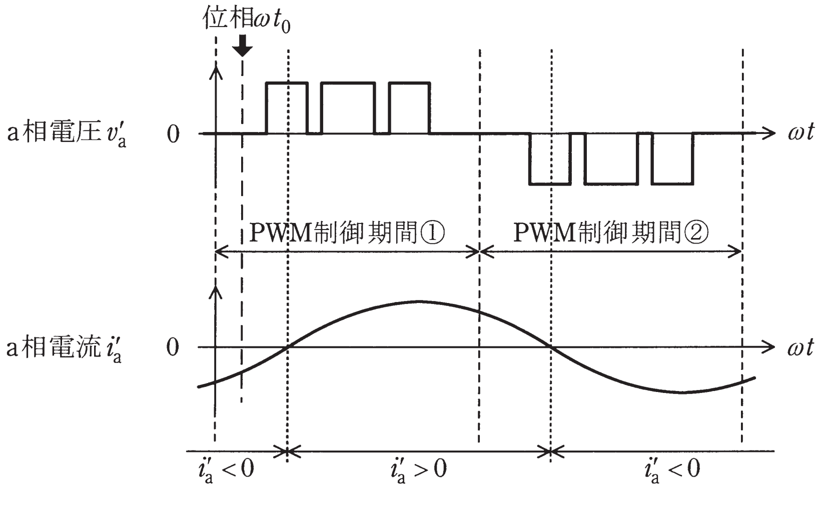
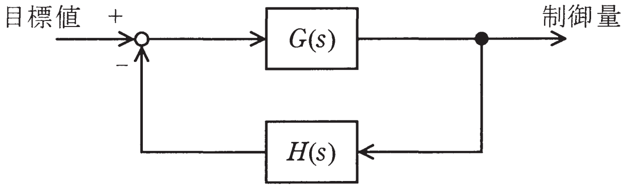

位相ωt0
a相電圧v'a
a相電流i'a
0
ωt
PWM制御期間①
PWM制御期間②
i'a < 0
i'a > 0
i'a < 0

図 3

問４　図に示す閉ループ制御系の特性根を求めるための特性方程式は，$1+G(s)H(s)=0$ である。



いま，一巡伝達関数 $G(s)H(s)$ が

$$G(s)H(s)=\frac{K}{s(s+1)(s+2)}$$

で与えられている。このパラメータ K を $K=0$ から $K=+\infty$ まで変化させるときの閉ループ制御系の特性根の軌跡（根軌跡）を，右ページに示す(a)～(f)を参考にして次の(1)～(7)の手順で描け。

(1)　右ページの(c)から求められる実軸上の根軌跡の区間を示せ。

(2)　漸近線の実軸との交点 σ_{c} 及び漸近線の角度 θ を求めよ。

(3)　答案用紙に印刷されている複素平面上に，実軸上の根軌跡を太い実線，漸近線を破線で描け。

(4)　根軌跡が分岐する点を求めよ。また，そのときの K の値を求めよ。

(5)　ラウス・フルビッツの安定判別法を用いて安定限界となる K の値を求めよ。

(6)　根軌跡と虚軸との交点を求めよ。

(7)　以上の結果から，根軌跡の概形を答案用紙に印刷されている複素平面上に描け。

［根軌跡法］

一巡伝達関数が次式で与えられている。

$$G(s)H(s)=\frac{K(s-z_1)(s-z_2)\cdots(s-z_m)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_n)}\ ,\ n>m$$

ただし，極 p_i，$i=1$，2，…，n と零点 z_i，$i=1$，2，…，m は，実数又は共役複素数とする。このとき，根軌跡は以下にまとめる根軌跡法を用いてその概形を描くことができる。

(a) 実軸対称である。

(b) 一巡伝達関数の極から出発して，m 個は零点に収束し，残りは無限遠に発散する。

(c) 実軸上の根軌跡の区間は，極と零点で区切られる区間のうち，右から奇数番目である。

(d) 漸近線の実軸との交点 σ_c 及び漸近線の角度 θ は以下のように計算される。

$$\sigma_c=\frac{1}{n-m}\left(\sum_{i=1}^{n}p_i-\sum_{i=1}^{m}z_i\right)$$

$$\theta=\frac{N\pi}{n-m}\ ,\ N=\pm1\ ,\ \pm3\ ,\ \pm5\ ,\cdots$$

(e) 分岐点では次式を満たす。

$$\frac{1}{s-p_1}+\frac{1}{s-p_2}+\ \cdots\ +\frac{1}{s-p_n}-\frac{1}{s-z_1}-\frac{1}{s-z_2}-\ \cdots\ -\frac{1}{s-z_m}=0$$

(f) 虚軸との交点は，ラウス・フルビッツの安定判別法から求められる。