

# 電力工学

問題 1. ガスタービン発電に関する以下の問いに答えよ。

図 1 にガスタービン発電で用いられるブレイトンサイクルの  $P$ - $V$  線図を示す。ここで、 $P$  は圧力、 $V$  は体積であり、1 mol の理想気体の系が図 1 の経路に沿って準静的に変化すると仮定する。各状態 ( $i=1, \dots, 4$ ) では、圧力  $P_i$ 、体積  $V_i$ 、温度  $T_i$  をとるものとする。ただし、 $P_3 = P_2$ 、 $P_4 = P_1$  である。また、内部エネルギーを  $U$ 、温度を  $T$ 、熱量を  $Q$ 、仕事を  $W$  とすると、熱力学第 1 法則の微分形は  $dU = d'Q - d'W$  であり、 $d'W = PdV$ 、 $U = C_V T + A$  と書ける。ここで、 $C_V$  は

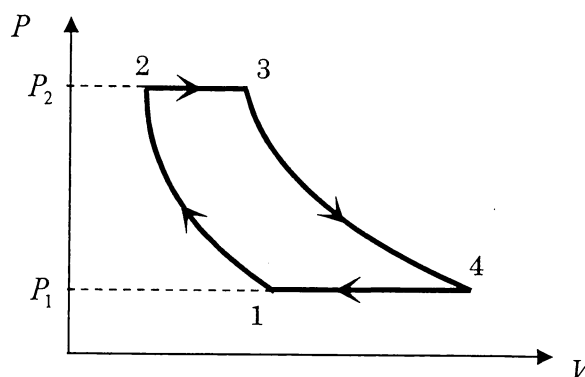


図 1

定積比熱、 $A$  は定数であり、 $dX$  は  $X$  の微小変化量を表すが、 $X$  が状態量でない場合には  $d'X$  で表す。さらに、系の状態方程式は  $PV = RT$ 、断熱変化は  $PV^\gamma = B$  で与えられ、 $R$  は気体定数、 $B$  は定数、 $\gamma$  は比熱比で  $\gamma = C_P / C_V$ 、 $C_P$  は定圧比熱であり、 $C_P - C_V = R$  の関係がある。

- (1) 図 1 において、 $1 \rightarrow 2$  と  $3 \rightarrow 4$  の過程は断熱変化である。 $T_1/T_2 = T_4/T_3$  が成り立つことを示せ。
- (2)  $2 \rightarrow 3$  の過程において、外部から受けた熱量が  $C_P(T_3 - T_2)$  となることを示せ。
- (3) 次の各式について、このサイクルの効率  $\eta$  を与える式として正しいものに○、正しくないものに×を付けよ。

$$1. \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}, \quad 2. \eta = 1 - \frac{T_4}{T_3}, \quad 3. \eta = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4}, \quad 4. \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_2 - T_3}, \quad 5. \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}, \quad 6. \eta = 1 - \frac{T_3}{T_1}$$

(4) 効率が  $\eta = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$  とも表されることを示せ。

(5) 上の(2)から、このサイクルが外部に対してする仕事は、 $W_B = \eta C_P(T_3 - T_2)$  である。 $x = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

と定義すると ( $0 < x < 1$ )、(4)より  $x = 1 - \eta$  となる。 $W_B$  を  $T_3$ 、 $T_1$ 、 $x$ 、および  $C_P$  のみで表せ。

- (6)  $T_3$  と  $T_1$  を一定として  $x$  を変化させるとき、 $W_B$  が最大になるときの  $x$  の値を  $T_3$  と  $T_1$  のみを用いて表せ。

問題 2. ガスタービンに極対数 1 の三相同期発電機が接続されており、その界磁巻線、電機子巻線の模式図が図 2 に示されている。界磁巻線が作る磁束は U、V、W の各相の電機子巻線に鎖交し、U 相巻線の鎖交磁束は、正弦的变化を仮定して、 $\Phi_U = \Phi_F \cos \theta$  と表される。ここで、 $\Phi_F$  は界磁による鎖交磁束の最大値、 $\theta$  は界磁巻線軸の U 相巻線軸からの角度であり、 $\omega$  を界磁巻線の回転角速度すなわち交流の角周波数、 $t$  を時刻、 $\sigma$  を任意位相とすると、 $\theta = \omega t + \sigma$  である。各電機子巻線には負荷が接続されており、対称三相交流電流が流れているとする。

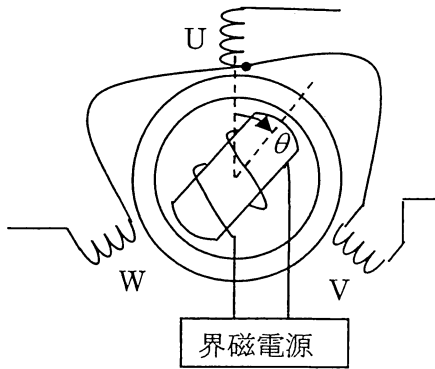


図 2

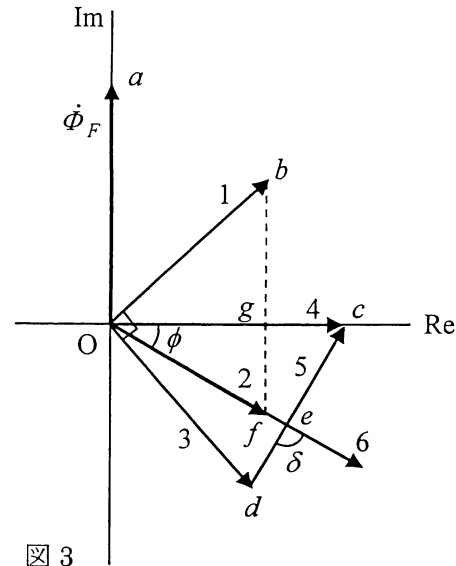


図 3

図 3 は U 相巻線に関する複素平面上のフェーザ図であり、界磁巻線による鎖交磁束のフェーザ  $\dot{\Phi}_F = \Phi_F e^{j\sigma}$  を虚軸 (Im) に沿ってとり、他のフェーザは番号で表されている。また英小文字はフェーザの終点あるいは交点を表し、O は原点であり、フェーザ 1 とフェーザ 3 は互いに直角である。点線は  $b$  と  $f$  を結ぶ補助線で、それと実軸 (Re) との交点が  $g$  である。なお、位相は反時計回りに進むものとし、V 相や W 相の巻線による影響は考えないものとする。図 3 に関する各問いに答えよ。

(1) 電機子反作用に関する次の文章の空欄に適切な番号を記入せよ。

鎖交磁束  $\dot{\Phi}_F$  により、U 相巻線に生じる起電力  $\dot{E}$  はフェーザ  $\boxed{\text{(ア)}}$  で表される。これにより負荷に電流が流れるが、負荷は遅れ力率角  $\phi$  を持つとすると、電流  $\dot{I}$  はフェーザ 6 で示される。この U 相電流により発生した磁束はフェーザ  $\boxed{\text{(イ)}}$  で表されるが、これは元の  $\dot{\Phi}_F$  と合成されてフェーザ  $\boxed{\text{(ウ)}}$  で表され、その合成磁束が U 相巻線に鎖交していることになる。このフェーザ  $\boxed{\text{(ウ)}}$  で示される磁束により発生する起電力はフェーザ  $\boxed{\text{(エ)}}$  で表される。この起電力はフェーザ  $\boxed{\text{(ア)}}$  で表された起電力と異なるため、インピーダンス  $\dot{Z}$  を導入して、 $\dot{E} - \dot{Z}\dot{I}$  がフェーザ  $\boxed{\text{(エ)}}$  を表すと考えると、 $\dot{Z}\dot{I}$  はフェーザ  $\boxed{\text{(オ)}}$  となる。

(2)  $\dot{Z}$  が誘導性リアクタンスとなることを次の手順で示せ。ただし、 $\triangle \alpha \beta \gamma$  は  $\alpha, \beta, \gamma$  を頂点とする三角形を表し、 $\angle \alpha \beta \gamma$  は辺  $\beta \alpha$  と辺  $\beta \gamma$  の挟角を表す。

1)  $\dot{\Phi}_F$  と  $\dot{E}$  の大きさの比は、フェーザ  $\boxed{\text{(ウ)}}$  とフェーザ  $\boxed{\text{(エ)}}$  の大きさの比に等しいことを利用して、 $\triangle aOb$  と  $\triangle cOd$  が相似となることを示せ。

2)  $\angle Ofg$  と  $\angle Oce$  が等しいことを示し、 $\triangle Oce$  と  $\triangle Ofg$  が相似となることを示せ。

3) 角度  $\delta$  の値を導き、 $\dot{Z}$  が誘導性リアクタンスとなることを説明せよ。

この  $\dot{Z}$  が同期インピーダンスの主要な要素となる。