

平成15年度第二種電気主任技術者二次試験標準解答

配点：一題当たり 30 点

電力・管理科目 4 題 × 30 点 = 120 点

機械・制御科目 2 題 × 30 点 = 60 点

< 電力・管理科目 >

[問 1 の標準解答]

発電時の有効落差

$$H_G = 520 - 20 = 500 \text{ [m]}$$

発電時の流量

$$Q_G = \frac{P_g}{9.8 H_G \eta_G}$$
$$= \frac{250 \times 10^3}{9.8 \times 500 \times 0.85} = 60.024 \rightarrow 60 \text{ [m}^3 \text{/s]}$$

有効貯水容量

$$V = Q_G \times t_1 \times 60 \times 60 = 60.024 \times 4 \times 60 \times 60$$
$$= 864,345 \quad 864,000 \text{ [m}^3 \text{]}$$

(2) 発電電動機の容量

揚水量

$$Q_P = \frac{V}{t_2 \times 60 \times 60}$$
$$= \frac{864,345}{6 \times 3,600} = 40.015 \rightarrow 40 \text{ [m}^3 \text{/s]}$$

全揚程

$$H_P = 520 + 20 = 540 \text{ [m]}$$

揚水入力

$$P_P = \frac{9.8 H_P Q_P}{\eta_P}$$
$$= \frac{9.8 \times 540 \times 40.015}{0.83}$$
$$= 255,131 \rightarrow 255,000 \text{ [kW]}$$

発電電動機皮相入力

$$P = \frac{P_P}{\cos \theta} = \frac{255,131}{0.9}$$
$$= 283,478 \text{ [kV} \cdot \text{A]} \rightarrow 283 \text{ [MV} \cdot \text{A]}$$

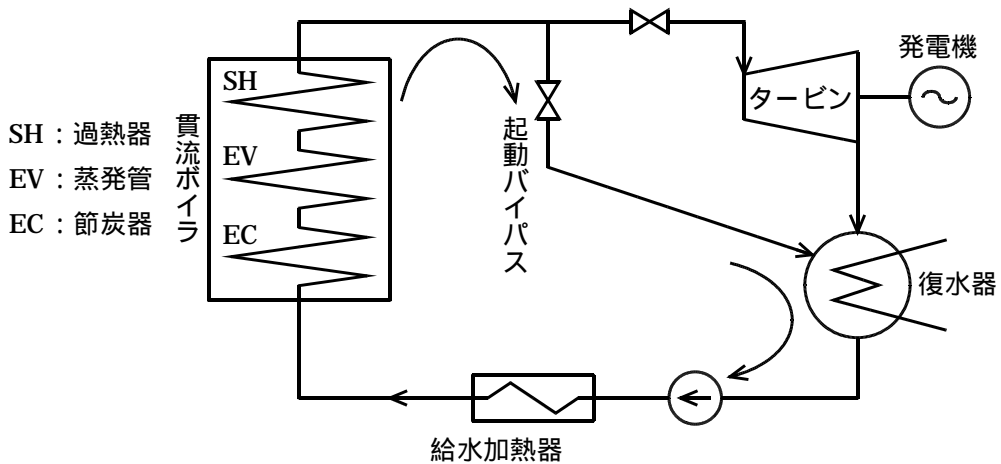
〔問2の標準解答〕

1. 概要

貫流ボイラはボイラ内に給水系の循環回路がなく、給水は給水ポンプによって強制的にボイラの一端からボイラ水管内に送り込まれ、途中で加熱されながら順次、飽和水、飽和蒸気、過熱蒸気の過程を経てボイラ他端からそのまま蒸気として送り出される構造である。

そのため、貫流ボイラはドラム式ボイラに比べてボイラ保有水量が少なく、負荷応答性に優れた特徴を有するが、一方、ドラムでの給水処理ができないため、良質な純水を確保するための復水脱塩装置や、起動時、低負荷時等におけるボイラ水管焼損防止のための起動バイパス系統が必要である。

貫流ボイラには、ボイラ蒸発器出口の圧力を一定に制御する定圧貫流ボイラと、負荷に応じて圧力を変化させる変圧貫流ボイラがあり、定圧貫流ボイラはベース負荷用として過去に広く使用されていたが、最近では、大容量火力発電所でも毎日の起動停止や部分負荷運転を行う中間負荷運用が必要となり、これに対応するために、亜臨界圧力、超臨界圧力の変圧貫流ボイラが広く採用される状況となっている。



貫流ボイラ系統図

2．特徴

- (1) ボイラ内に循環系統がなく、ドラムは不要である。
- (2) 小口径水管が採用でき、また、圧力部の重量が軽減できるほか管の配列が比較的自由にできる。
- (3) ボイラ内の保有水量が少なく肉厚部が少ないので、起動停止が容易で負荷追従性（負荷応答性）に優れている。
- (4) 起動時や低負荷運転時、熱吸収量の大きい蒸発管部の流量を、ある一定限度以上に保たないとボイラ水管を焼損するおそれがあり、起動バイパス系統が必要である。
- (5) ボイラ内の保有水量が少ないので、給水量と燃焼量とのバランスが重要であり、高精度のボイラ自動制御が必要である。
- (6) 給水中に不純物があると、そのままタービンまで持ち込まれやすいので、復水脱塩装置の設置など十分な給水処理が必要である。

〔問3の標準解答〕

(1) 測定に際して留意すべき事項

電圧回路への誘導電圧を低減するため、電流回路は電圧回路と90度以上の交差角とする。同様の理由から電圧回路とほかの送配電線路とは平行にならないよう考慮する。

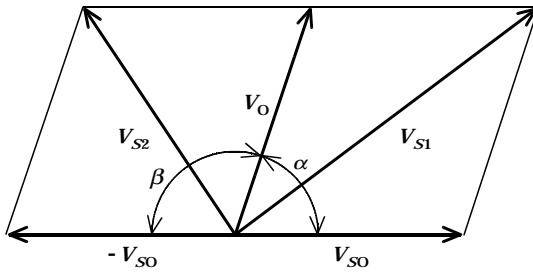
付近の高周波電界が高く、電圧回路に誘導を生じるような場合には、高周波電界の影響を除去するため、フィルタ（コンデンサ）を挿入する。

電流回路の電流値はなるべく大きくする。（20～60〔A〕）

接地抵抗値は、電圧回路及び電流回路と接地網との接続点をいくつか変えて測定し、それらの平均値を求めることが望ましい。

変電所の接地網と送電線の接地線とが接続している場合は、これを切り離して測定を行う。

(2) 真の接地抵抗値を求める計算式



ベクトル図は上記のようになり、次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 V_{S1}^2 &= (V_{SO} + V_0 \cos \alpha)^2 + V_0^2 \sin^2 \alpha \\
 &= V_{SO}^2 + 2V_{SO} \cdot V_0 \cos \alpha + V_0^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \\
 &= V_{SO}^2 + V_0^2 + 2V_{SO} \cdot V_0 \cos \alpha \\
 &\quad (\because \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{S2}^2 &= (V_{SO} - V_0 \cos \alpha)^2 + V_0^2 \sin^2 \alpha \\
 &= V_{SO}^2 - 2V_{SO} \cdot V_0 \cos \alpha + V_0^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \\
 &= V_{SO}^2 + V_0^2 - 2V_{SO} \cdot V_0 \cos \alpha
 \end{aligned}$$

及び の式を連立方程式として整理すると、

$$V_{S1}^2 + V_{S2}^2 = 2(V_{SO}^2 + V_0^2)$$

$$\therefore V_{SO}^2 = \frac{V_{S1}^2 + V_{S2}^2}{2} - V_0^2$$

となる。

したがって、接地系の電位上昇の真値 V_{SO} [V] は 式より、

$$V_{SO} = \sqrt{\frac{V_{S1}^2 + V_{S2}^2 - 2V_0^2}{2}} \text{ [V]}$$

となり、真の接地抵抗値 R_0 は次式により計算する。

$$R_0 = \frac{V_{SO}}{I_S} = \frac{1}{I_S} \sqrt{\frac{V_{S1}^2 + V_{S2}^2 - 2V_0^2}{2}} \text{ [}\Omega\text{]}$$

〔問4の標準解答〕

A.(絶縁油耐圧試験の測定方法の概要)

試験器の球状電極の間隔を所定の値(2.5〔mm〕)に調整した後、電圧を每秒3,000〔V〕の割合で上昇させ、絶縁破壊電圧を測定する。

B.(絶縁油全酸価試験の測定方法の概要) 次のいずれでもよい。

〔簡易法〕

少量(5〔ml〕程度)の試料油を測定器(試験管)にとり、一定量の抽出液(トルエン・エタノールの混合溶剤)を加えて攪拌後、指示薬(アルカリブルー6B溶液)及び中和液(水酸化カリウムとエタノールの混合液)を滴定して全酸価(酸価度)を測定する。(青から赤に変化した時の中和液の滴定量により測定する。)

〔中和比色法〕

容量20〔ml〕程度のガラス瓶に入れられた判定液(抽出液、指示薬、水酸化カリウムを混合したもの)の中に試験する試料油を入れ、判定用カラー板と比較して全酸価を測定する。

C.(油中ガス分析試験の原理)

変圧器内の局所の発熱により、絶縁物(絶縁油、絶縁紙、プレスボードなど)が熱分解し、メタン、CO、水素などのガスを発生する。これらのガスの種類と量により、変圧器の絶縁状態を判定する。

D.(フルフラール分析の測定方法概要記述中の空白に記入する語句)

(高速)液体クロマトグラフ

〔問5の標準解答〕

(1) 配電自動化の目的

- a . 事故区間の局限化、停電発生時の自動復旧操作、復旧時間の短縮などの供給信頼度の向上
- b . 現場出向業務の省力化、負荷救済のための自動操作など業務運営の省力化、高度化
- c . 配電システムの連系機能の向上による稼働率の向上など設備投資の抑制

(2) 配電自動化の概要

- a . 光伝送・電力線搬送、デジタル化技術などの通信技術の進歩とコンピュータの導入による高速・多量の情報処理技術をベースとして、配電自動化システムとこれに関連した配電業務機械化システムの連携により、次のような自動化が進められている。

- b . 配電システム及びこれに接続される負荷機器の遠隔監視・制御及びシステム各部の電圧、電流のような管理情報の自動収集、事故区間の局限化など配電システム運用に関わる自動化。

これには、開閉器の遠隔制御、事故時負荷救済のためのシステム変更操作をコンピュータで自動遠隔操作する自動制御などが含まれる。

- c . 今後の構想として、次のような計画が考えられている。

設備の効率運用を実現するための負荷制御の自動化などの DSM (Demand Side Management) に関わる自動化。

取引用電力量計の自動検針や需要家に関する顧客サービス充実のための双方向通信など需要家に関する自動化。

〔参考〕

配電業務機械化システムは、基本図面である電柱配置図や配電系統図を電子データ化し、総合系統図の作成、系統図上での系統計算、開閉器操作手順の作成、自動化システムに必要な系統データの自動作成、停止区域、電柱配置図、単線図の修正など設備の計画・設計・保守など幅広く支援するシステムである。

〔問6の標準解答〕

(1) 連系前の諸量

A点からみた電源側系統のインピーダンス Z 〔%〕

$$Z = \frac{(Z_1 + Z_2) \times Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{(0.3 + 0.4) \times 1.7}{0.3 + 0.4 + 1.7} = 0.49583 \rightarrow 0.496 \text{〔\%〕}$$

$$\text{A点における短絡容量 } P_{S1} = \frac{10}{\frac{Z}{100}} = \frac{1,000}{0.49583} = 2,016.8 \rightarrow 2,020 \text{〔MV}\cdot\text{A〕}$$

$$\text{A点における短絡電流 } I_{S1} = \frac{P_{S1}}{\sqrt{3} \times 66} = \frac{2,016.8}{\sqrt{3} \times 66} = 17.642 \rightarrow 17.6 \text{〔kA〕}$$

(2) 連系後の諸量

A点からみた電源系統のインピーダンス Z 〔%〕

追加系統の変圧器の短絡インピーダンス Z_6 (10 MV·A 基準)〔%〕は、

$$Z_6' = Z_6 \times \frac{10}{120} = 6 \times \frac{10}{120} = 0.5 \text{〔\%〕}$$

$$\begin{aligned} \therefore Z &= \frac{0.49583 \times (Z_5 + Z_6' + Z_4)}{0.49583 + Z_5 + Z_6' + Z_4} = \frac{0.49583 \times (0.1 + 0.5 + 1.7)}{0.49583 + 0.1 + 0.5 + 1.7} \\ &= 0.40789 \rightarrow 0.408 \text{〔\%〕} \end{aligned}$$

$$\text{A点における短絡容量 } P_{S2} = \frac{10}{\frac{Z}{100}} = \frac{1,000}{0.40789} = 2,451.6 \rightarrow 2,450 \text{〔MV}\cdot\text{A〕}$$

$$\text{A点における短絡電流 } I_{S2} = \frac{P_{S2}}{\sqrt{3} \times 66} = \frac{2,451.6}{\sqrt{3} \times 66} = 21.445 \rightarrow 21.4 \text{〔kA〕}$$

(3) 連系に当たっての問題点と必要な対策

追加系統を連系後のA点における短絡電流が当該遮断器の定格遮断電流を超過する。これを抑制するためには追加系統において、

発電機 G_2 の回路に限流リアクトルを設置する。

変圧器 T_2 の短絡インピーダンスを高くする。

などの対策が必要であるが、電圧変動率を小さく保つという観点からは、 G_2 の回路に限流リアクトルを設置するのが望ましい。

< 機械・制御科目 >

[問 1 の標準解答]

(1) 逆相制動の原理

回転している三相誘導電動機を急停止する場合、一次側の 3 線中 2 本を入れ換え、回転磁界の回転方向を反対にすると、電動機は誘導ブレーキとなり、強力な制動トルクを発生する。低速度になるほど制動トルクは大きくなり、急速に停止ができるが、切り換えてから停止するまで、大きな電流が流入するので、場合によっては電動機が過熱するおそれがある。

(2)

a . 逆相制動時の滑り s

逆相制動時の同期回転角速度は $-\omega_0$ であるから、滑り s は次のようになる。

$$s = \frac{-\omega_0 - \omega}{-\omega_0} = \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0}$$

b . 二次銅損 P_{c2}

いま、二次入力を P_2 とすると、二次銅損 P_{c2} は

$$P_{c2} = sP_2 = \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0} P_2 \text{ [W]}$$

となる。式 及び同期ワット $P_2 = \omega_0 T$ より、トルク T は

$$T = \frac{P_2}{\omega_0} = \frac{P_{c2}}{\omega_0 + \omega} \text{ [N \cdot m]}$$

となる。一方、回転運動方程式より、

$$J \frac{d\omega}{dt} = T$$

逆相制動時の発生トルクは、回転方向と逆方向に生じるから、式 及びより次式が成立する。

$$J \frac{d\omega}{dt} = -\frac{P_{c2}}{\omega_0 + \omega}$$

したがって、

$$P_{c2} = -J(\omega_0 + \omega) \frac{d\omega}{dt} \text{ [W]}$$

〔(2)のbの別解〕

二次出力を P_{out} とする。

$$P_{c2} = \frac{s}{1-s} P_{out} = \frac{\frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0}}{1 - \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0}} P_{out} = -\frac{\omega_0 + \omega}{\omega} P_{out} \text{ [W]}$$

式、 $P_{out} = \omega T$ 及び $P_{c2} = sP_2$ から

$$T = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{(1-s)P_2}{\omega} = \frac{\left(1 - \frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0}\right) P_2}{\omega} = -\frac{P_2}{\omega_0} = -\frac{P_{c2}}{\omega_0 + \omega} \text{ [N \cdot m]}$$

(出力時の T は負を意味する)

式 及び から次式が成立する。

$$J \frac{d\omega}{dt} = -\frac{P_{c2}}{\omega_0 + \omega}$$

よって

$$P_{c2} = -J(\omega_0 + \omega) \frac{d\omega}{dt} \text{ [W]}$$

c . 全エネルギー W_c

二次回路の全消費エネルギーは、式 を時間積分して求められる。なお、
題意より逆相制動開始時は $\omega = \omega_0$ であるから次式が成立する。

$$\begin{aligned} W_c &= \int_{t_1}^{t_2} P_{c2} dt = -J \int_{\omega_0}^0 (\omega_0 + \omega) d\omega \\ &= -J \left[\omega_0 \omega + \frac{1}{2} \omega^2 \right]_{\omega_0}^0 = \frac{3}{2} J \omega_0^2 \text{ [J]} \end{aligned}$$

〔問2の標準解答〕

・定格容量を P_n [V・A]、定格電圧を V_n [V]、定格電流を I_n [A] とすれば、

$$I_n = \frac{P_n}{V_n} = \frac{300 \times 10^3}{6,600} = 45.454 \quad 45.45 \text{ [A]}$$

すなわち、短絡試験の一次電流は定格電流に等しいことが確認された。

(1) 短絡インピーダンス (Z_s [%])

短絡試験における一次電圧を V_s [V]、一次電流を I_s [A] とすれば、短絡インピーダンス Z_s [Ω] は

$$Z_s = \frac{V_s}{I_s} = \frac{247.5}{45.45} = 5.4455 \text{ [\Omega]}$$

また、基準インピーダンスは定義から次式で表される。

$$Z_n = \frac{V_n^2}{P_n} = \frac{6,600^2}{300 \times 10^3} = 145.2 \text{ [\Omega]}$$

よって、 Z_s [%] は

$$Z_s [\%] = \frac{Z_s}{Z_n} \times 100 = \frac{5.4455}{145.2} \times 100 = 3.7503 \rightarrow 3.75 \text{ [%]}$$

(2) 抵抗分 (R [%])

短絡試験における入力を P_s [W]、抵抗分を R [Ω] とすれば

$$P_s = I_s^2 R \quad R = \frac{P_s}{I_s^2} = \frac{4,150}{45.45^2} = 2.0090 \text{ [\Omega]}$$

よって、 R [%] は

$$R [\%] = \frac{R}{Z_n} \times 100 = \frac{2.0090}{145.2} \times 100 = 1.3836 \rightarrow 1.38 \text{ [%]}$$

(3) リアクタンス分 (X [%])

$$X[\%] = \sqrt{Z_s^2 - R^2} = \sqrt{3.7503^2 - 1.3836^2} = 3.4857 \rightarrow 3.49 [\%]$$

(4) 電圧変動率

百分率抵抗降下を p 、百分率リアクタンス降下を q とすれば、

$$p = \frac{RI_n}{V_n} \times 100 = \frac{2.0090 \times 45.45}{6,600} \times 100 = 1.3834 [\%]$$

$$X = \sqrt{5.4455^2 - 2.0090^2} = 5.0613 [\Omega]$$

$$q = \frac{XI_n}{V_n} \times 100 = \frac{5.0613 \times 45.45}{6,600} \times 100 = 3.4853 [\%]$$

よって、電圧変動率 ε は次のようになる。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= p \cos \phi + q \sin \phi + \frac{1}{200} \times (q \cos \phi - p \sin \phi)^2 \\ &= 1.3834 \times 0.8 + 3.4853 \times 0.6 + \frac{1}{200} \times (3.4853 \times 0.8 - 1.3834 \times 0.6)^2 \\ &= 3.1979 + 0.01917 = 3.2170 \rightarrow 3.22 [\%] \end{aligned}$$

〔(4)の電圧変動率 ε を求める式の別解〕

$$\begin{aligned} \varepsilon &= p \cos \phi + q \sin \phi \\ &= 1.3834 \times 0.8 + 3.4853 \times 0.6 = 3.1979 \rightarrow 3.20 [\%] \\ &(\varepsilon = 4.0 [\%]) \text{ であるのでこれでもよい。JEC2200参照} \end{aligned}$$

(5) 最大効率

無負荷損を P_f 、定格電流での負荷損を P_c 、力率を $\cos \phi$ とすれば、最大効率を与える負荷 $P_{\eta \max}$ は次のようになる。

$$P_{\eta \max} = P_n \cos \phi \sqrt{\frac{P_f}{P_c}} \times 10^{-3} = 300 \times 1 \times \sqrt{\frac{720}{4,150}} = 124.95 [\text{kW}]$$

最大効率を与える負荷点では、無負荷損 = 負荷損となるので、最大効率 η_{\max} は

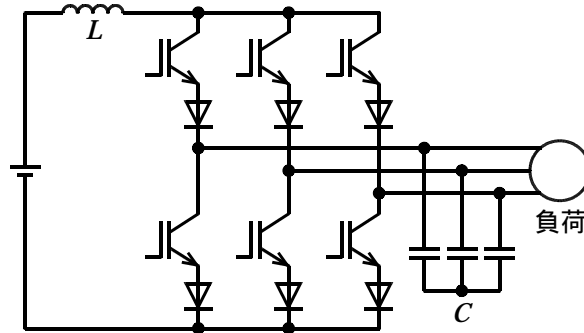
$$\eta_{\max} = \frac{P_{\eta \max}}{P_{\eta \max} + 2P_f} \times 100 = \frac{124.95}{124.95 + 2 \times 0.72} \times 100 = 98.860 \rightarrow 98.86 [\%]$$

〔問3の標準解答〕

(1) 両インバータの基本回路

a. 電圧形(インバータ)

b. もう一方の形のインバータは電流形であり、その基本回路は図のようになる。



(2) 両インバータの特徴

(イ) 電圧形

(ロ) 電流形

(ハ) ほぼ正弦波

(ニ) 不等幅のパルス列

(ホ) 負荷側から見た電源インピーダンスを小さくするため、直流電源に並列にコンデンサ(キャパシタ)が接続される。したがって、定電圧特性(電圧源)と見なされる。

(ハ) 負荷側から見た電源インピーダンスを大きくするため、直流電源に直列にリアクトル(インダクタ)が接続される。したがって、定電流特性(電流源)と見なされる。

(ト) 誘導性負荷では、電圧の極性が切り換わっても負荷インダクタンスの蓄積エネルギーのため一定期間、電流は同じ方向に流れ続けようとする。しかし、IGBTには流ることができないので、その間、電流はダイオードを通して直流電源に帰還する。

(チ) 各アームのオフ時に、IGBTに逆電圧が現れるのを阻止する。

電流形インバータでは、IGBTに流れる電流は一方向であるが、正負の電圧が印加されるので、スイッチング素子としては逆耐圧を有するものが必要である。しかし、一般にトランジスタは逆方向の耐圧はほとんどないから、これと直列にダイオードを接続して保護する。

〔問4の標準解答〕

(1) 伝達関数 $G(s)$ は、単位インパルス応答 $g(t)$ をラプラス変換したものであるから、

$$\begin{aligned} G(s) &= \mathcal{L}\{g(t)\} = \mathcal{L}\left(\frac{1}{2}e^{-t} + \frac{1}{2}e^{-2t}\right) \\ &= \frac{1}{2s} - \frac{1}{s+1} + \frac{1}{2(s+2)} \\ &= \frac{1}{2} \frac{(s^2 + 3s + 2) - 2(s^2 + 2s) + (s^2 + s)}{s(s+1)(s+2)} = \frac{1}{s(s+1)(s+2)} \end{aligned}$$

が得られる。

(2) 閉ループ伝達関数 $W(s) = \frac{C(s)}{U(s)}$ は

$$W(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{C(s)}{1 + KG(s)} = \frac{\frac{1}{s(s+1)(s+2)}}{1 + \frac{K}{s(s+1)(s+2)}} = \frac{1}{s^3 + 3s^2 + 2s + K}$$

(3) 安定限界における K と角周波数 ω

一巡伝達関数は、 $KG(j\omega)$ となり、安定限界は $KG(j\omega) = -1$ のときである。

$$KG(j\omega) + 1 = \frac{K}{j\omega(j\omega+1)(j\omega+2)} + 1 = \frac{K + j\omega(-\omega^2 + j3\omega + 2)}{j\omega(-\omega^2 + j3\omega + 2)} = 0$$

上式の分子 = 0 より、

$$(K - 3\omega^2) + j\omega(2 - \omega^2) = 0$$

したがって、

$$\left. \begin{aligned} 2 - \omega^2 &= 0 \\ K - 3\omega^2 &= K - 6 = 0 \end{aligned} \right\}$$

より、

$$K = 6 \quad , \quad \omega = \sqrt{2} \text{ [rad/s]} \text{ が得られる。}$$