平成28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〕

(1) ペルトン水車では，ノズルの使用射数を減らす又はニードルを絞ることで，流速を維持し，部分負荷での効率を高めている。

(2) クロスフロー水車では，ガイドベーンを二枚として，流量の減少に合わせて，二枚，一枚のみ使用と変更していくことにより，流量に応じた部分負荷での効率を高めている。また，ガイドベーンを大小の二分割構成で設置し，大小両方，大のみ，小のみ使用と変更していくことにより，流量に応じた部分負荷での効率を高めている。

(3) カプラン水車や斜流水車では，ガイドベーンと連動してランナベーンの開度を調整することで，部分負荷での効率を高めている。

〔問２の標準解答〕

(1) 過熱時に発生する特徴的なガスとしてエチレン(C_2H_4)とエタン(C_2H_6)が挙げられる。

過熱レベル(高温過熱・低温過熱)により発生ガスの成分が変化し，高温過熱ではエチレンが，低温過熱ではエタンが多く発生する。また，組成比などから過熱部位(巻線部・金属部)の推定を行うことができる。

過熱時発生するガスに，メタン(CH_4)，一酸化炭素(CO)，二酸化炭素(CO_2)などもある。

(2) 放電時に発生する特徴的なガスとしてアセチレン(C_2H_2)，水素(H_2)が挙げられる。アセチレンは絶縁油から発生する分解ガスのうち，アーク放電など特に高温時に発生するものである。

水素は経年劣化でも発生する一方，アセチレンは微量であっても検出された場合は内部異常の可能性が高い。

アセチレンは LTC(負荷時タップ切換器)動作時に切換開閉器室内の絶縁油が分解することでも発生することから，LTC 内の絶縁油が変圧器本体タンクへ混入すると内部異常と誤診断されるおそれがあるため，注意が必要である。

(3) 電気的試験(巻線抵抗，部分放電測定など)，外部一般点検(放圧管の動作，タンクの変形など)，運転履歴・改修履歴の調査(過負荷運転など)などの項目を総合して，変圧器の運転継続可否，内部点検・修理の要否などの最終的な処置を決定する。

〔問３の標準解答〕

(1) 支持点 B で $X=\dfrac{S}{2}$ であるから，この点での電線の傾き

$$\frac{\mathrm{d}Y}{\mathrm{d}X}=\frac{X}{a}$$

に $X=\dfrac{S}{2}$ を代入して，

$$\frac{\mathrm{d}Y}{\mathrm{d}X}=\frac{S}{2a}\quad\cdots\ \text{（答）}$$

(2) 支持点の張力の垂直分力は，問題文中で与えられている近似式より，

$$T\sin\theta=T\tan\theta=T\times\frac{S}{2a}$$

これが長さ S の電線全体の半分の重さに等しくなければならないので，

$$T\times\frac{S}{2a}=\frac{SWg}{2}$$

これを解くと，

$$a=\frac{T}{Wg}\quad\cdots\ \text{（答）}$$

(3) ①式で $X=\dfrac{S}{2}$ とすると，

$$Y=\frac{S^2}{8a}$$

前問で得られた a をここに代入すると

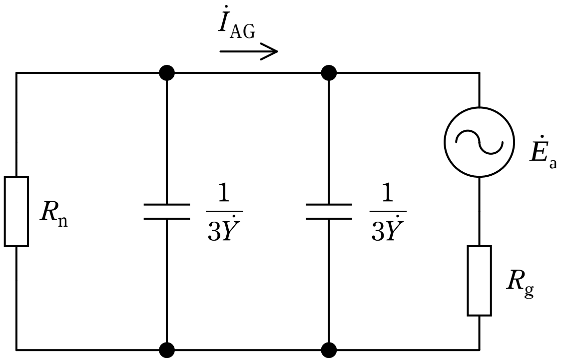
$$Y=\frac{WgS^2}{8T}$$

以上で②式が得られた。

〔問４の標準解答〕

（1）故障点において，故障発生前に存在していた対地電圧を $\dot{E}_{\mathrm{a}}$ とすると，テブナンの定理より図のように等価回路で示すことができる。

※なお，$\dfrac{1}{3\dot{Y}}$ はアドミタンス表記では，$3\dot{Y}$ とする場合もある。



・・・（答）

（2）等価回路より，地絡点からみたインピーダンス $\dot{Z}$ は，

$$\dot{Z} = R_{\mathrm{g}} + \frac{1}{6\dot{Y} + \dfrac{1}{R_{\mathrm{n}}}} \ [\Omega] \quad \cdots（答）$$

ゆえに，A 配電線用 ZCT に流れる零相電流 $\dot{I}_{\mathrm{AG}}$ は，

$$\dot{I}_{\mathrm{AG}} = \frac{\dot{E}_{\mathrm{a}}}{\dot{Z}} \times \frac{\dfrac{1}{3\dot{Y}}}{\dfrac{1}{3\dot{Y}} + \dfrac{1}{3\dot{Y} + \dfrac{1}{R_{\mathrm{n}}}}} = \frac{1 + 3\dot{Y} R_{\mathrm{n}}}{R_{\mathrm{g}} + R_{\mathrm{n}} + 6\dot{Y} R_{\mathrm{g}} R_{\mathrm{n}}} \dot{E}_{\mathrm{a}} \ [\mathrm{A}] \cdots（答）$$

（3）R_{n} は GPT 二次側挿入抵抗の一次側換算値であることから，GPT 二次側挿入抵抗を r，GPT の変成比を n とすると次式のように求まる。

$$R_{\mathrm{n}} = \frac{r}{3} \times n^2 \times \frac{1}{3} = \frac{50}{9} \times \left(\frac{6\,600}{110}\right)^2 = 2 \times 10^4 \ \ \Omega \ \cdots（答）$$

(4) 配電線の対地電位 $\dot{E}_{\mathrm{a}}$ は $\dfrac{6\,600}{\sqrt{3}}$ V となる。

また，アドミタンス $3\dot{Y}$ は，配電線 1 線当たりの対地静電容量は 0.01 μF/km，配電線のこう長は A，B ともに 5 km であることから，以下のとおり求まる。

$$
\begin{aligned}
3\dot{Y} &= 3\times \mathrm{j}\omega C\times(5\ \mathrm{km}) = \mathrm{j}\times 3\times 2\times \pi\times(50\ \mathrm{Hz})\times(0.01\ \mu\mathrm{F}/\mathrm{km})\times(5\ \mathrm{km}) \\
&= \mathrm{j}4.71\times 10^{-5}\ \ \mathrm{S}
\end{aligned}
$$

以上の定数を $\dot{I}_{\mathrm{AG}}$ の計算式に代入して計算すると，

$$
\begin{aligned}
\dot{I}_{\mathrm{AG}} &= \frac{1+\mathrm{j}4.71\times 10^{-5}\times 20\,000}{100+20\,000+\mathrm{j}2\times 4.71\times 10^{-5}\times 100\times 20\,000}\times\frac{6\,600}{\sqrt{3}} \\
&= \frac{1+\mathrm{j}0.942}{20\,100+\mathrm{j}188.4}\times\frac{6\,600}{\sqrt{3}}
\end{aligned}
$$

$$
\left|\dot{I}_{\mathrm{AG}}\right| = \left|\frac{1+\mathrm{j}0.942}{20\,100+\mathrm{j}188.4}\times\frac{6\,600}{\sqrt{3}}\right| \fallingdotseq 0.260 \ \rightarrow\ 0.260\ \ \mathrm{A} \quad \cdots\text{（答）}
$$

〔問５の標準解答〕

(1)

歩幅電圧：接地極に大電流（事故電流）が流れるとき，大地の電位の傾きにより地表面の２点間に電位差が生じる。これにより人体の両足間に加わる電圧をいう。

接触電圧：接地極に大電流（事故電流）が流れるとき，大地の電位の傾きにより，接地した物体とその物体と少し離れた地表面との間に電位差が生じ，接地した物体に人体が接触した場合に人体に加わる電圧をいう。

(2)

歩幅電圧の許容値：

$$(R_{\mathrm{K}} + 2R_{\mathrm{F}}) \times I_{\mathrm{K}} = 208.8 \quad \rightarrow \quad 209\ \mathrm{V} \quad \cdots \text{（答）}$$

接触電圧の許容値：

$$\left(R_{\mathrm{K}} + \frac{R_{\mathrm{F}}}{2}\right) \times I_{\mathrm{K}} = 139.2 \quad \rightarrow \quad 139\ \mathrm{V} \quad \cdots \text{（答）}$$

(3) 足の大地との抵抗を大きくすることができるため，歩幅電圧と接触電圧の許容値を大きくすることができる。

〔問 6 の標準解答〕

(1) 66 kV，100 MV·A 基準での単位インピーダンスの大きさは，

$$\frac{66^2}{100}=43.56\ \Omega$$

したがって，電源側背後インピーダンスの大きさは，

$$43.56\times(0.025+0.035)\fallingdotseq 2.614\ \Omega \quad \rightarrow \quad 2.61\ \Omega \quad \cdots \text{（答）}$$

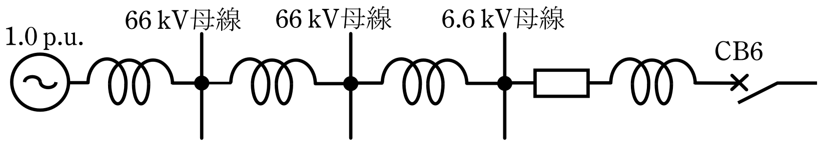
(2) 66 kV，100 MV·A 基準での単位電流の大きさは，

$$\frac{100}{66\times\sqrt{3}}=0.8748\ \text{kA}$$

したがって，CB3 における三相短絡電流の大きさは，

$$\frac{0.8748}{0.025+0.035}\fallingdotseq 14.58\ \text{kA} \quad \rightarrow \quad 14.6\ \text{kA} \quad \cdots \text{（答）}$$

(3) 図 1 の回路全体を 10 MV·A 基準で書き直すと，次のようになる。



したがって，電源から CB6 までの合計インピーダンスは，

$$j0.25+j0.35+j4.4+(5+j7)=5+j12\ \%$$

となる。

一方，6.6 kV，10 MV·A 基準での単位電流は，

$$\frac{10}{6.6\times\sqrt{3}}=0.8748\ \text{kA}$$

である。

ゆえに，CB6 端での三相短絡電流の大きさは，

$$0.8748\times\frac{1}{\sqrt{0.05^2+0.12^2}}=\frac{0.8748}{0.13}\fallingdotseq 6.729\ \text{kA} \quad \rightarrow \quad 6.73\ \text{kA} \quad \cdots \text{（答）}$$

(4) 発電機昇圧用 100 MV·A 変圧器の％インピーダンスを x［%］とすると，CB2，CB3，CB7 での三相短絡電流は，負荷回路側からの短絡電流供給がないので，

$$\left(\frac{100}{2.5+3.5}+\frac{100}{x+12}\right)\times\frac{100}{66\times\sqrt{3}}=14.58+\frac{87.48}{x+12}\ \mathrm{kA} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\ ①$$

CB2，CB3，CB7 の定格遮断電流は 20 kA なので，① 式の値は 20 kA 以下でなければならない。

$$14.58+\frac{87.48}{x+12}\leqq 20$$

したがって，x は

$x\geqq 4.140$ ％　→　4.14 ％　･･･（答）

＜機械・制御科目＞

〔問１の標準解答〕

(1) 滑りを s，極数を p，定格周波数を f，回転速度を N とすると，

$$s=1-\frac{p}{120f}\times N=1-\frac{4}{120\times 50}\times 1470=0.02$$

一次電流を I_1，定格線間電圧を V_n とすると，

$$I_1=\frac{\dfrac{V_\mathrm{n}}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left(r_1+\dfrac{r_2'}{s}\right)^2+(x_1+x_2')^2}}=\frac{\dfrac{200}{\sqrt{3}}}{\sqrt{\left[0.707+\left(\dfrac{0.710}{0.02}\right)\right]^2+0.439^2}}$$

$$\fallingdotseq 3.1889 \ \rightarrow\ 3.19\ \mathrm{A}\quad \cdots\ (答)$$

(2) 一次換算の二次電流を I_2' とすると，$I_1=I_2'=3.1889\ \mathrm{A}$ である。したがって，

二次入力 P_2 は，

$$P_2=3\cdot\frac{r_2'}{s}\cdot I_2'^2=3\times\frac{0.710}{0.02}\times 3.1889^2\fallingdotseq 1083.0\ \rightarrow\ 1.08\ \mathrm{kW}\quad \cdots\ (答)$$

(3) 電動機の軸出力を P_M とすると，

$$P_\mathrm{M}=(1-s)P_2=(1-0.02)\times 1083.0\fallingdotseq 1061.3\ \rightarrow\ 1.06\ \mathrm{kW}\quad \cdots\ (答)$$

(4) 二次銅損を P_{c2} とすると，

$$P_{\mathrm{c2}}=s\cdot P_2=0.02\times 1083.0\fallingdotseq 21.66\ \rightarrow\ 21.7\ \mathrm{W}\quad \cdots\ (答)$$

(5) 電動機の効率を η，一次入力を P_1 とすると，

$$\eta=\frac{P_\mathrm{M}}{P_1}\times 100=\frac{P_\mathrm{M}}{3\cdot r_1\cdot I_1{}^2+P_2}\times 100=\frac{1061.3}{3\times 0.707\times 3.1889^2+1083.0}\times 100$$

$$=\frac{1061.3}{1104.6}\times 100\fallingdotseq 96.080\ \rightarrow\ 96.1\ \%\quad \cdots\ (答)$$

〔問２の標準解答〕

(1) 定格一次電圧を V_{1n} とすると，

励磁コンダクタンス：

$$g_0 = \frac{P_0}{V_{1n}^2} = \frac{290}{11000^2} \fallingdotseq 2.3967 \times 10^{-6} \ \rightarrow \ 2.40 \times 10^{-6}\ \mathrm{S} \qquad \cdots(答)$$

励磁アドミタンス：$Y_0 = \dfrac{I_0}{V_{1n}} = \dfrac{0.221}{11000} = 20.091 \times 10^{-6}\ \mathrm{S}$

励磁サセプタンス：$b_0 = \sqrt{Y_0^2 - g_0^2} = \sqrt{(20.091 \times 10^{-6})^2 - (2.3967 \times 10^{-6})^2}$

$\fallingdotseq 19.948 \times 10^{-6} \ \rightarrow \ 19.9 \times 10^{-6}\ \mathrm{S} \cdots(答)$

一次換算全巻線抵抗：$R = \dfrac{P_S}{I_{1S}^2} = \dfrac{740}{4.55^2} \fallingdotseq 35.744 \ \rightarrow \ 35.7\ \Omega \quad \cdots(答)$

一次換算全インピーダンス：$Z = \dfrac{V_{1S}}{I_{1S}} = \dfrac{550}{4.55} = 120.88\ \Omega$

一次換算全漏れリアクタンス：$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{120.88^2 - 35.744^2}$

$\fallingdotseq 115.47 \ \rightarrow \ 115\ \Omega \quad \cdots(答)$

(2) 短絡試験の結果から，定格容量を S_n とすると，定格一次電流 I_{1n} は，

$$I_{1n} = \frac{S_n}{V_{1n}} = \frac{50 \times 10^3}{11000} = 4.5455 \ \rightarrow \ 4.55\ \mathrm{A}$$

となるので，I_{1S} は定格一次電流である。

百分率インピーダンス降下：$\%z = \dfrac{V_{1S}}{V_{1n}} \times 100 = \dfrac{550}{11000} \times 100 = 5.00\ \%$

百分率抵抗降下：$p = \dfrac{P_S}{S_n} \times 100 = \dfrac{740}{50 \times 10^3} \times 100 = 1.48\ \%$

百分率リアクタンス降下：$q = \sqrt{\%z^2 - p^2} = \sqrt{5.00^2 - 1.48^2} = 4.7759\ \%$

求める電圧の変動率 ε は，$\cos\phi = 0.8$ のとき，$\sin\phi = 0.6$ であるから，与式を用いて，

$$\varepsilon = p\cos\phi + q\sin\phi + \frac{1}{200}(q\cos\phi - p\sin\phi)^2$$

$$= 1.48 \times 0.8 + 4.775\,9 \times 0.6 + \frac{1}{200}(4.775\,9 \times 0.8 - 1.48 \times 0.6)^2$$

$$\fallingdotseq 4.092\,5 \ \rightarrow \ 4.09\ \% \quad \cdots(答)$$

(3) 全負荷に対して，k 倍負荷（負荷率 k）時の有効出力は $kS_{\mathrm{n}}\cos\phi$，銅損は $k^2 P_{\mathrm{S}}$，鉄損は P_0 でそれぞれ表されるので，k 倍負荷時の効率の式 η_{k} は次式となる。

$$\eta_{\mathrm{k}} = \frac{kS_{\mathrm{n}}\cos\phi}{kS_{\mathrm{n}}\cos\phi + k^2 P_{\mathrm{S}} + P_0} \times 100 = \frac{\frac{1}{2}\times 50\times 10^3\times 0.8}{\frac{1}{2}\times 50\times 10^3\times 0.8 + \left(\frac{1}{2}\right)^2\times 740 + 290}\times 100$$

$$\fallingdotseq 97.680 \ \rightarrow \ 97.7\ \% \quad \cdots(答)$$

(4) 上記(2)における全負荷の p 及び q が，$\frac{1}{2}$ 負荷時に p' 及び q' に変化したとすれば，定格一次電流 $I_{1\mathrm{n}}$ が $\frac{1}{2}I_{1\mathrm{n}}$ になるので，

$$p' = \frac{R\cdot\frac{1}{2}I_{1\mathrm{n}}}{V_{1\mathrm{n}}}\times 100 = \frac{1}{2}p \quad , \quad q' = \frac{X\cdot\frac{1}{2}I_{1\mathrm{n}}}{V_{1\mathrm{n}}}\times 100 = \frac{1}{2}q$$

となり，$\frac{1}{2}$ 負荷時の電圧の変動率 ε' は，次のようになる。

$$\varepsilon' = p'\cos\phi + q'\sin\phi + \frac{1}{200}(q'\cos\phi - p'\sin\phi)^2$$

$$= \frac{1}{2}(p\cos\phi + q\cos\phi) + \frac{1}{800}(q\cos\phi - p\sin\phi)^2$$

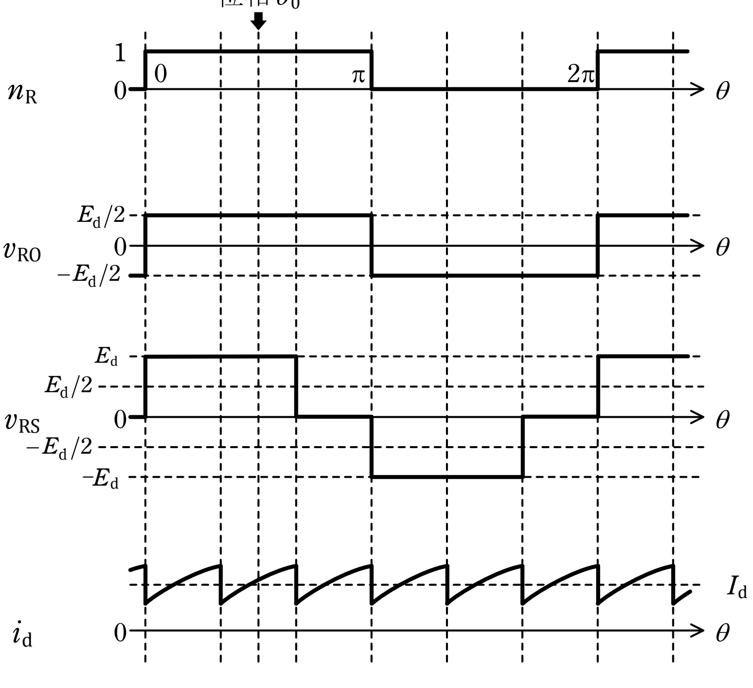
$$= \frac{1}{2}(1.48\times 0.8 + 4.7759\times 0.6) + \frac{1}{800}(4.7759\times 0.8 - 1.48\times 0.6)^2$$

$$\fallingdotseq 2.0355 \ \rightarrow \ 2.04\ \% \quad \cdots(答)$$

〔問 3 の標準解答〕

（1）三相インバータは，R 相→S 相→T 相の相順で出力し，180° 通電モードで運転している。図 2 の位相 θ_0 は 60°～120°の間にあるので，R 相のノッチ波は 1，S 相のノッチ波は 0，T 相のノッチ波は 0 となる。したがって，このときオン信号が与えられているパワーデバイスは，S 相では Q_5，T 相では Q_6 である。

（2）上記の運転状態における R 相電圧 v_{R0} 及び R−S 相線間電圧 v_{RS} の波形を以下に示す。



（3）二つの電圧波形 v_{R0}，v_{RS} のうち，出力周波数に対して $3n$ 次高調波が含まれている波形は180°通電モードである v_{R0} である。v_{RS} は三相線間電圧であるので，$3n$ 次高調波が打ち消されて含まれない。

(4) 上図の線間電圧 v_{RS} の波形から，実効値 E_0 を表す式は次式となる。

$$E_0=\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\frac{2}{3}\pi}E_{\mathrm{d}}{}^2\mathrm{d}\theta}=\sqrt{\frac{E_{\mathrm{d}}{}^2}{\pi}[\theta]_0^{\frac{2}{3}\pi}}$$

$$=E_{\mathrm{d}}\sqrt{\frac{1}{\pi}\times\frac{2}{3}\pi}=\sqrt{\frac{2}{3}}E_{\mathrm{d}} \quad \cdots (答)$$

(5) 三相インバータ内には損失がないとしているので，出力の三相交流の有効電力は，直流電力と等しい。直流電圧は E_{d}=200 V 一定であるので，直流電力は一定の直流電圧と脈動する直流電流の平均値 I_{d} の積となる。したがって，I_{d} は次式で求まる。

$$I_{\mathrm{d}}=\frac{P}{E_{\mathrm{d}}}=\frac{50\times10^3}{200}=250\ \mathrm{A} \quad \cdots (答)$$

〔問 4 の標準解答〕

(1) まず，$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{bf}$ を計算する。

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{bf}=\begin{pmatrix}0 & 1\\ 0 & -1\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}(f_1 \quad f_2)=\begin{pmatrix}0 & 1\\ -f_1 & -1-f_2\end{pmatrix}$$

よって，この行列の特性多項式は

$$|s\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A}+\boldsymbol{bf}|=\begin{vmatrix}s & -1\\ f_1 & s+1+f_2\end{vmatrix}=s^2+(1+f_2)s+f_1$$

となる。一方，固有値が−3，−4 となる特性多項式は

$$(s+3)(s+4)=s^2+7s+12$$

であるから，係数比較法により，$\boldsymbol{f}=(12 \quad 6)$ と求まる。・・・（答）

(2) 図に示す制御系の構造から

$$u(t)=-\boldsymbol{fx}(t)+ke(t)$$
$$e(t)=r(t)-y(t)=r(t)-\boldsymbol{cx}(t)$$

であるから，これらより，

$$\begin{aligned}u(t)&=-\boldsymbol{fx}(t)+ke(t)=-\boldsymbol{fx}(t)+k[r(t)-\boldsymbol{cx}(t)]\\&=-(\boldsymbol{f}+k\boldsymbol{c})\boldsymbol{x}(t)+kr(t)\end{aligned}$$

と求められる。・・・（答）

(3) 上記の制御を施すと閉ループ系の状態方程式は，

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{x}}(t)&=\boldsymbol{Ax}(t)-\boldsymbol{b}(\boldsymbol{f}+k\boldsymbol{c})\boldsymbol{x}(t)+\boldsymbol{b}kr(t)\\&=(\boldsymbol{A}-\boldsymbol{bf}-\boldsymbol{b}k\boldsymbol{c})\boldsymbol{x}(t)+\boldsymbol{b}kr(t)\end{aligned}$$

となる。・・・（答）

(4) 数値を代入して次のように整理される。

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{x}}(t)&=(\boldsymbol{A}-\boldsymbol{bf}-\boldsymbol{b}k\boldsymbol{c})\boldsymbol{x}(t)+\boldsymbol{b}kr(t)\\&=\left[\begin{pmatrix}0 & 1\\ 0 & -1\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}(12 \quad 6)-\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}k(2 \quad 1)\right]\boldsymbol{x}(t)+\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}kr(t)\\&=\begin{pmatrix}0 & 1\\ -12-2k & -7-k\end{pmatrix}\boldsymbol{x}(t)+\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}kr(t)\quad \cdots\text{（答）}\end{aligned}$$

（5） $\boldsymbol{x}(\infty)$ は次のように計算される。

$$\boldsymbol{x}(\infty) = -\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -12-2k & -7-k \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} kr_0$$

$$= -\frac{1}{12+2k}\begin{pmatrix} -7-k & -1 \\ 12+2k & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} kr_0$$

$$= \frac{1}{12+2k}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} kr_0$$ ・・・（答）

（6） $e(\infty) = r_0 - y(\infty) = r_0 - \boldsymbol{cx}(\infty)$ であるから，

$$e(\infty) = r_0 - \begin{pmatrix} 2 & 1 \end{pmatrix}\frac{1}{12+2k}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} kr_0$$

$$= r_0 - \frac{2k}{12+2k} r_0$$

$$= \frac{6}{6+k} r_0$$

と計算できる。・・・（答）