

令和6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) 役割は、蒸気タービンで仕事をした蒸気を水に戻して再び復水として利用すること、及び発電設備の熱効率を向上させることである。仕組みは、蒸気タービンの排気室に直結した復水器で、蒸気を海水などの冷却水と間接触させて凝縮させる。また、残留する不凝縮性のガスは、復水器真空ポンプで系外に排出する。
- (2) 役割は、ボイラや付属設備の腐食を未然に防ぐことである。仕組みは、タービンの抽気などの蒸気を給水に直接接触させ、給水を飽和温度まで加熱し、給水中の溶存酸素などを分離させて大気中に放出する。

[問2の標準解答]

- (1) 以下の誤動作防止対策から二つ記載されていればよい。
 - ・磁気飽和により第二調波成分が多く含有することを利用した抑制コイルを付加した高調波抑制付きリレーにより誤動作を防止させる方法。
 - ・変圧器投入後、一定時間リレーの感度を低下させておき誤動作を防止させる方法。
 - ・変圧器投入後、一定時間リレーのトリップ回路をロックすることで誤動作を防止させる方法。
- (2) 以下の機械式リレー(装置含む)から二つ記載されていればよい。
 - ・衝撃圧力(ガス圧・油圧)リレー：内部故障時の分解ガスによって変圧器タンク内のガス又は油の圧力が上昇した時に動作する。

- ・ブッフホルツ(ピトー)リレー：内部故障時の分解ガス，蒸気の発生，油流の変化を検出し動作する。
 - ・ガス検出リレー：ガスが一定量溜まり，油面が下がると動作する。
 - ・放圧装置：内部故障に伴う内部圧力上昇に対して，タンクの変形や破壊を防止する装置。
- (3) 以下の対策から二つ記載されていればよい。
- ・機械式リレー(装置含む)をトリップ用ではなく警報用として用いる。
 - ・一つの機械式リレーのみを用いて変圧器を停止させるのではなく，同種機械式リレーの複数又は地震計と組み合わせて変圧器の停止を判断する。
 - ・地震に対して，接点部にピトー管やベロー構造等を設け，誤動作しない(しにくい)設計のリレーを採用する。
 - ・地震により誤動作し漏油等が発生した場合でも，その後変圧器の運用継続可能な自動復帰形放圧装置を採用する。

〔問 3 の標準解答〕

- (1) 事故時に送電線を通れる正相電流，逆相電流，零相電流をそれぞれ， $\dot{I}_1$ ， $\dot{I}_2$ ，

$\dot{I}_0$ とし， $a = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ とする。

$$\dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \cdots \cdots \cdots \text{①}$$

$$0 = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 \cdots \cdots \cdots \text{②}$$

$$0 = \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 \cdots \cdots \cdots \text{③}$$

①式+②式+③式より，

$$\dot{I}_a = 3\dot{I}_0 \cdots (\text{答})$$

- (2)

$$|\dot{V}_m| = |j6\pi f MD \dot{I}_0| = 6\pi f MD |\dot{I}_0| \cdots (\text{答})$$

- (3)

$$|\dot{I}_a| = 3|\dot{I}_0| \leq \frac{430}{2 \times \pi \times 50 \times 5 \times 10^{-3} \times 0.8} = 342.36 = 342 \text{ A} \cdots (\text{答})$$

〔問 4 の標準解答〕

(1) ループ電流を $\dot{I}_l$ [A] とすると,

開閉器投入後のループ方程式

$$(500 - \dot{I}_l) \times \dot{Z}_A - (300 + \dot{I}_l) \times \dot{Z}_B = 0$$

$$\dot{I}_l = \frac{500 \times \dot{Z}_A - 300 \times \dot{Z}_B}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_B}$$

$$= \frac{500\dot{Z} - 300\dot{Z}}{2\dot{Z}}$$

$$= 100 \text{ A}$$

$\dot{I}_A'$: ループ系統における A 配電線の送り出し電流, $\dot{I}_B'$: ループ系統におけ

る B 配電線の送り出し電流とすると,

$$\dot{I}_A' = 500 - 100 = 400 \text{ A}$$

$$\dot{I}_B' = 300 + 100 = 400 \text{ A}$$

∴ A 配電線の送り出し電流 400 A ・ ・ ・ (答)

B 配電線の送り出し電流 400 A ・ ・ ・ (答)

(2) ループ電流を $\dot{I}_l$ [A] とすると,

開閉器投入後の節点方程式

$$\frac{6650}{\sqrt{3}} - (500 - \dot{I}_l) \times \dot{Z}_A = \frac{6600}{\sqrt{3}} - (300 + \dot{I}_l) \times \dot{Z}_B$$

$\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z} = 0.5 + j1.0 [\Omega]$ のため,

$$\dot{I}_l = 100 - \frac{50}{2\sqrt{3}\dot{Z}} = 100 - \frac{50}{2\sqrt{3}(0.5 + j1.0)} = (100 - \frac{10}{\sqrt{3}}) + j\frac{20}{\sqrt{3}} = 94.226 + j11.547$$

$$\text{A配電線の送り出し電流 : } \dot{I}_A = 500 - \dot{I}_l = 405.774 - j11.547$$

$$\therefore I_A = \sqrt{405.774^2 + 11.547^2} = 405.94 \rightarrow 406 \text{ A}$$

$$\text{B配電線の送り出し電流 : } \dot{I}_B = 300 + \dot{I}_l = 394.226 + j11.547$$

$$\therefore I_B = \sqrt{394.226^2 + 11.547^2} = 394.40 \rightarrow 394 \text{ A}$$

∴ A 配電線の送り出し電流 406 A ・ ・ ・ (答)

B 配電線の送り出し電流 394 A ・ ・ ・ (答)

(3) まず，配電線 A 及び配電線 B の%インピーダンスを求める。

$$\text{配電線 A の\%インピーダンス： \%}Z_A = \frac{0.5\Omega \times 10\text{MV}\cdot\text{A}}{6.6\text{kV} \times 6.6\text{kV}} \times 100\% = 11.478\%$$

$$\text{配電線 B の\%インピーダンス： \%}Z_B = \frac{0.5\Omega \times 10\text{MV}\cdot\text{A}}{6.6\text{kV} \times 6.6\text{kV}} \times 100\% = 11.478\%$$

$$\begin{aligned} \text{短絡点までの\%インピーダンス} &= \%Z_G + \left(\frac{1}{\%Z_{T1} + \%Z_A} + \frac{1}{\%Z_{T2} + \%Z_B} \right)^{-1} \\ &= \%Z_G + \left(\frac{1}{\%Z_T + \%Z} + \frac{1}{\%Z_T + \%Z} \right)^{-1} \\ &= \%Z_G + \frac{\%Z_T + \%Z}{2} \\ &= 1 + \frac{7.5 + 11.478}{2} = 10.489 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ループ点の三相短絡電流} &= \frac{10\text{MV}\cdot\text{A}}{\sqrt{3} \times 6.6\text{kV} \times \text{短絡点までの\%インピーダンス}} \\ &= \frac{10\text{MV}\cdot\text{A}}{\sqrt{3} \times 6.6\text{kV} \times 10.489\%} \\ &= 8\,339.9 \\ &= 8\,340 \end{aligned}$$

∴ 8 340 A ・ ・ ・ (答)

〔問 5 の標準解答〕

(1) 下記のうち三つを解答する。

①ガス密度

SF₆ ガスはガス密度の低下に伴い絶縁破壊電圧が低下するため、ガス密度計等で絶縁性能の維持に必要なガス密度が確保できていることを確認する。

②ガス中水分量

SF₆ ガス中の水分は温度変化に伴い絶縁物表面で結露すると沿面絶縁破壊電圧を低下させるため、水分量が規定値以下であることを露点計等で確認する。

③分解ガス

SF₆ ガスは部分放電等のアークにより分解ガスを生じ、分解ガスからの生成物が絶縁物を劣化させるため、分解ガスの発生有無をガスチェッカ等で確認する。

④金属などの異物混入

金属異物が混入し不平等電界になると絶縁破壊電圧が低下（絶縁性能が低下）する。部分放電や振動の有無、分解ガスの発生をガスチェッカ等で確認する。

⑤ガス純度

SF₆ ガスは水分混入等により純度が低下すると絶縁破壊電圧が低下するため、純度計等で規定値以上の純度が維持できていることを確認する。

(2) 温室効果が CO₂ の 2 万倍以上と極めて高い SF₆ ガスの大気放出を防止するためガス回収を実施する。また、SF₆ ガスのクローズドサイクル化を図るため、使用済みガスは基本的に再利用し、再利用できない場合は再精製等的確に処理する。

〔問 6 の標準解答〕

(1)

〔分路リアクトル(ShR)〕

リアクトルにより系統から遅れ電流を取ることによって、無効電力を吸収し電圧を低下させる。電圧調整が段階的だが、設備コストが比較的安価で保守が容易である。

〔静止型無効電力補償装置(SVC)〕

サイリスタ点弧角を位相制御することでリアクトルに流れる電流を連続的に変化させて、遅れの無効電力を連続的かつ高速に調整できる。設備コストが比較的高い。

〔自励式静止型無効電力補償装置(自励式 SVC, STATCOM)〕

自己消弧素子を用いた自励式変換器により、無効電力を発生し、又は吸収し、進み・遅れ双方の無効電力を連続的かつ高速に調整できる。設備コストが比較的高い。

〔同期調相機(RC)〕

励磁調整によって進み又は遅れの無効電力を連続的に発生できる。設備コストが高価で、回転機のため保守が大変だが電圧調整を連続的かつ高速に調整できる。

(2)

事象：系統事故による広範囲の瞬時電圧低下又は系統事故による瞬時的な周波数の変化

必要性：分散型電源が一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があり、不要解列を防止するために事故時運転継続が必要である。

<機械・制御科目>

[問 1 の標準解答]

(1)

(a) (A)の特性曲線は三相短絡特性曲線である。

この特性曲線は、同期機の電機子端子を三相全て短絡し、定格速度で回転させたとき、界磁電流を変化させて電機子短絡電流を測定する試験により得られる。

(b) (B)の特性曲線は無負荷飽和曲線である。

この特性曲線は、同期機の電機子端子を三相全て開放し、定格速度で回転させたとき、界磁電流を変化させて電機子端子電圧を測定する試験により得られる。

(c) 短絡比とは、定格速度で回転させ、端子開放時に定格電圧を発生させる界磁電流において、電機子端子を三相短絡したと仮定したときの持続短絡電流の定格電流に対する比である。

(2)

(a) 定格容量[kV・A]は次のように求められる。

$$144.3 \times 200 \times \sqrt{3} = 49987 \rightarrow 50.0 \text{ kV} \cdot \text{A} \quad \dots (\text{答})$$

(b) 単位法で表した同期インピーダンス[p.u.]は、

$$\frac{1}{\text{短絡比}} = \frac{I_{f2}}{I_{f1}} = 0.89286 = 0.893 \text{ p.u.} \quad \dots (\text{答})$$

(c) 同期インピーダンスは次のように求められる。

$$\begin{aligned} \text{同期インピーダンス} [\Omega] &= \text{同期インピーダンス} [\text{p.u.}] \times \frac{\frac{\text{定格電圧}}{\sqrt{3}}}{\text{定格電流}} \\ &= 0.89286 \times \frac{200}{144.3} = 0.71447 = 0.714 \Omega \quad \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

〔問 2 の標準解答〕

- (1) 無負荷試験においては励磁回路のみを考えるので、励磁コンダクタンス g_0 の消費電力から、次のように g_0 を求めることができる。

$$g_0 = \frac{P_0}{V_1^2} = \frac{200}{2\,000^2} = 0.5 \times 10^{-4} \text{ S}$$

この結果から、次のように励磁サセプタンス b_0 を求めることができる。

$$b_0 = \sqrt{\left(\frac{I_0}{V_1}\right)^2 - g_0^2} = \sqrt{\left(\frac{0.26}{2\,000}\right)^2 - (0.5 \times 10^{-4})^2} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ S}$$

短絡試験では回路は R ， X の直列回路と考えることができるので一次換算全巻線抵抗 R は消費電力から次のように求めることができる。

$$R = \frac{P_s}{I_{1s}^2} = \frac{400}{5^2} = 16 \, \Omega$$

この結果から、次のように一次換算全リアクタンス X を求めることができる。

$$X = \sqrt{\left(\frac{V_{1s}}{I_{1s}}\right)^2 - R^2} = \sqrt{\left(\frac{100}{5}\right)^2 - 16^2} = 12 \, \Omega$$

$$g_0 = 0.5 \times 10^{-4} \text{ S} \quad b_0 = 1.2 \times 10^{-4} \text{ S} \quad R = 16 \, \Omega \quad X = 12 \, \Omega \quad \cdots (\text{答})$$

- (2) 定格電圧、定格電流をそれぞれ、 V_{1N} ， I_{1N} とすると題意より、

$$V_{1N} = 2\,000 \text{ V}$$

$$I_{1N} = 5 \text{ A}$$

となる。したがって、百分率抵抗降下 p ，百分率リアクタンス降下 q を次のように求めることができる。

$$p = R \frac{I_{1N}}{V_{1N}} \times 100 = 16 \times \frac{5}{2\,000} \times 100 = 4 \, \%$$

$$q = X \frac{I_{1N}}{V_{1N}} \times 100 = 12 \times \frac{5}{2\,000} \times 100 = 3 \, \%$$

$$p = 4 \, \% \quad q = 3 \, \% \quad \cdots (\text{答})$$

(3) 力率が 0.8 と与えられているので、

$$\cos \phi = 0.8$$

であり、これより、

$$\sin \phi = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$$

となる。したがって、電圧の変動率は次のように求めることができる。

$$\varepsilon = p \cos \phi + q \sin \phi = 4 \times 0.8 + 3 \times 0.6 = 5.0 \%$$

5.0 % … (答)

(4) 変圧器は負荷が変化しても二次電圧は一定と考えることができるので出力

が $\frac{1}{2}$ になったときは負荷電流は $\frac{1}{2}$ になり、電圧降下も $\frac{1}{2}$ となる。

したがって、百分率抵抗降下 p' 、百分率リアクタンス降下 q' は次のようになる。

$$p' = \frac{1}{2} p = 2 \%$$

$$q' = \frac{1}{2} q = 1.5 \%$$

$$\varepsilon' = \frac{1}{2} p \cos \phi + \frac{1}{2} q \sin \phi = \frac{1}{2} \times 4 \times 0.8 + \frac{1}{2} \times 3 \times 0.6 = 2.5 \%$$

2.5 % … (答)

〔問 3 の標準解答〕

- (1) 解答図のとおり。
(2) インダクタの電圧時間積のバランスを考えると次式が得られる。

$$50(E - V_0) + 150(-V_0) = 0 \text{ より } V_0 = 3 \text{ V}$$

$$(3) \ i_0 = I_0 = \frac{V_0}{R} = 3 \text{ A}$$

- (4) キャパシタ電流の平均値はゼロであるから、 i_L の平均値は $I_L = I_0 = 3 \text{ A}$ である。

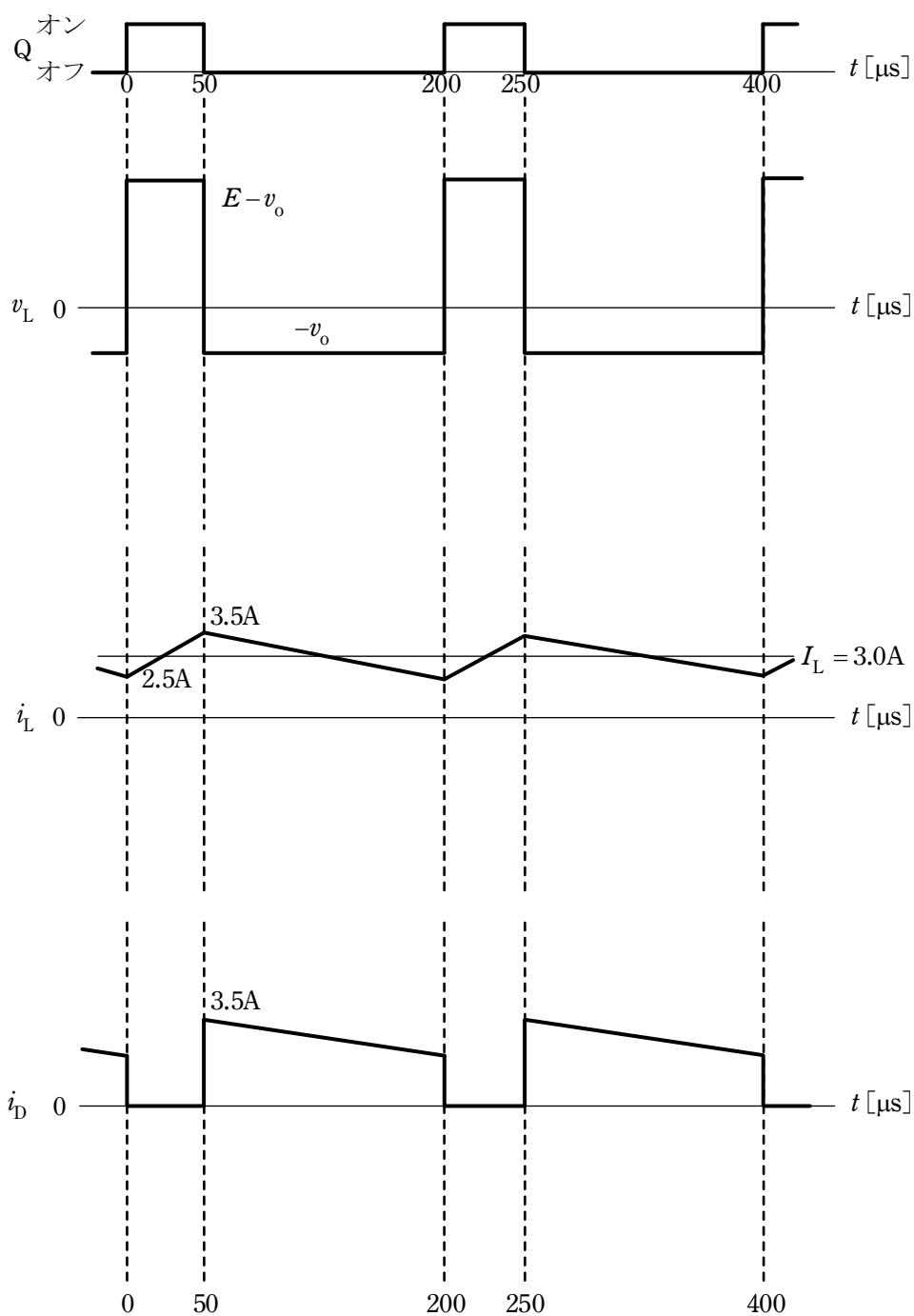
- (5) 周期は 0.2 ms で、 $L \frac{di_L}{dt} = v_L$ であるから、 Q がオンのときは、

$$450 \mu\text{H} \times \frac{di_L}{0.2 \text{ ms} \times 0.25} = E - V_0 = 9 \text{ V} \text{ これを計算すると } di_L = 1 \text{ A が } i_L \text{ の最大値と最}$$

小値の差である。

- (6) 小問(4)と(5)より解答図が得られる。
(7) i_D が流れるのは Q がオフのときであり、解答図が得られる。
(8) 求めるインダクタンスを L とすると、小問(5)と同様に

$$L = (E - V_0) \times \frac{\text{オン時間}}{\text{リプル}} = 9 \times \frac{50 \times 10^{-6}}{0.1} = 4.5 \text{ mH が求まる。}$$



解答 図2 Q のオン・オフと各部の電圧電流波形

[問4の標準解答]

- (1) $U(s)$ から $Y_1(s)$ の伝達関数は、直列結合となるのでそれぞれの伝達関数の積で計算できる。よって、

$$\begin{aligned} G_1(s)G_2(s) &= \frac{3}{s+2} \cdot \frac{5}{s^2+5s+6} = \frac{3}{s+2} \cdot \frac{5}{(s+2)(s+3)} = \frac{15}{(s+2)^2(s+3)} \\ &= \frac{15}{s^3+7s^2+16s+12} \quad \dots (\text{答}) \end{aligned}$$

- (2) 単位ステップ入力信号を加えたときの出力の定常値は、伝達関数に $s=0$ を代入することによって得られる。よって、

$$\left. \frac{15}{s^3+7s^2+16s+12} \right|_{s=0} = 1.25 \quad \dots (\text{答})$$

- (3) $U(s)$ から $Y_2(s)$ の伝達関数は、並列結合となるのでそれぞれの伝達関数の和で計算できる。よって、

$$\begin{aligned} G_1(s)+G_2(s) &= \frac{3}{s+2} + \frac{5}{s^2+5s+6} = \frac{3}{s+2} + \frac{5}{(s+2)(s+3)} = \frac{1}{s+2} \left(3 + \frac{5}{s+3} \right) \\ &= \frac{1}{s+2} \cdot \frac{3s+14}{s+3} = \frac{3s+14}{(s+2)(s+3)} = \frac{3s+14}{s^2+5s+6} \end{aligned}$$

となる。

求めるインパルス応答は、この伝達関数の逆ラプラス変換を計算することによって求められる。逆ラプラス変換を計算するために、次のように部分分数展開を行う。

$$\frac{3s+14}{s^2+5s+6} = c_1 \frac{1}{s+2} + c_2 \frac{1}{s+3}$$

このとき、 c_1 、 c_2 は、

$$c_1 = \left. \frac{3s+14}{s+3} \right|_{s=-2} = 8$$

$$c_2 = \left. \frac{3s+14}{s+2} \right|_{s=-3} = -5$$

となる。ここで、逆ラプラス変換の公式

$$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+\alpha}\right]=e^{-\alpha t}$$

を用いると求めるインパルス応答は,

$$\begin{aligned}\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{3s+14}{s^2+5s+6}\right]&=8\cdot\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+2}\right]-5\cdot\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+3}\right] \\ &=8e^{-2t}-5e^{-3t}\end{aligned}$$

となる。

... (答)

(4) $u(t)=2e^{-t}$ のラプラス変換 $U(s)$ は,

$$U(s)=\mathcal{L}\left[2e^{-t}\right]=2\mathcal{L}\left[e^{-t}\right]=\frac{2}{s+1}$$

となることから並列結合された出力信号のラプラス変換 $Y_2(s)$ は,

$$Y_2(s)=\frac{3s+14}{s^2+5s+6}\cdot\frac{2}{s+1}=\frac{6s+28}{(s+1)(s+2)(s+3)}$$

となる。求める応答は、 $Y_2(s)$ の逆ラプラス変換を計算することによって求められる。逆ラプラス変換を計算するために、つぎのように部分分数展開を行う。

$$\frac{6s+28}{(s+1)(s+2)(s+3)}=c_1\frac{1}{s+1}+c_2\frac{1}{s+2}+c_3\frac{1}{s+3}$$

このとき、 c_1 、 c_2 、 c_3 は,

$$c_1=\frac{6s+28}{(s+2)(s+3)}\bigg|_{s=-1}=11$$

$$c_2=\frac{6s+28}{(s+1)(s+3)}\bigg|_{s=-2}=-16$$

$$c_3=\frac{6s+28}{(s+1)(s+2)}\bigg|_{s=-3}=5$$

となる。ここで、逆ラプラス変換の公式

$$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+\alpha}\right]=e^{-\alpha t}$$

を用いると求めるインパルス応答は,

$$\begin{aligned}\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{6s+28}{(s+1)(s+2)(s+3)}\right] &= 11 \cdot \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+1}\right] - 16 \cdot \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+2}\right] + 5 \cdot \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+3}\right] \\ &= 11e^{-t} - 16e^{-2t} + 5e^{-3t}\end{aligned}$$

となる。 … (答)

- (5) 並列結合された伝達関数は, 相対次数が 1 である。また, 分子多項式の零点が安定であるため, 最小位相推移系となる。したがって, 位相は -90° となる。

… (答)