●平成18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) 水車の型式

A：ペルトン　　B：フランシス　　C：カプラン

(2) 比速度とは

相似な形状で，単位落差のもとで単位出力を発生するような寸法にしたとき，その仮想水車の回転数（1 分当たり又は回転速度）をいう。

(3) 回転数を高くとる場合の長所と短所

長所：高速なほど，
① 水車発電機が小型になる。
② 機械重量が減る。
③ 価格が安くなる。
④ 建物が小形化できる。

短所：高速になると，
① キャビテーションが発生しやすくなる。
② 強度が不足すると壊れる。
③ 吸出し高さを高くとることになり，水車据付中心の高さを低くせざるを得なくなり，掘削土木費が高くなる。

（4）極数は 10

理由：回路の周波数 f，回転数 N，極数 P とするとき，$P \cdot N = 120f$ の関係がある。

比速度の限界値で極数が 8.6 となった場合，極数を整数の 8 とすると N が大きくなって限界値を超える。

9 は奇数で不適

10 は偶数で適

ただし，回転数は比速度の限界値よりやや下がることになるが限界値内。

〔問 2 の標準解答〕

(1) 所要機能

主な所要性能としては，次のような多機能の移動用変電設備であること。

① 高い機動性を有していること。

66(又は 77)〔kV〕受電用ブッシング，72(又は 84)〔kV〕遮断器，66(又は 77)〔kV〕/ 6〔kV〕変圧器(タップ切換装置付)と 7.2〔kV〕遮断器を有する数回線の引出口など主な変電設備をトラック(又はトレーラー)に積載でき移動がしやすいこと。

② コンパクトで軽量設計であること。

橋梁などの補強を要しないで，トラック(又はトレーラー)で輸送できるようコンパクトであること。

③ 多機能形であること。

ディジタル保護・制御装置を装着していること。

④ 使いやすさと高耐振性を有すること。

非舗装道路でも支障なく運行して機能に支障ないこと。

(2) 設備概要

1 台のトラック(又はトレーラー)に積載する主な変電設備の概要としては，

① 72(又は 84)〔kV〕遮断器

② 66(又は 77)〔kV〕/ 6〔kV〕移動用変圧器(タップ切換装置付)が 10〔MV･A〕程度まで実用化されていて，風冷で 30〔%〕程度の過負荷仕様のものがある。

③ 66(又は 77)〔kV〕気中ブッシング。

④ 3 ～ 8 台の 7.2〔kV〕遮断器とそれらのフィーダが接続できる引出口を持つ配電盤。

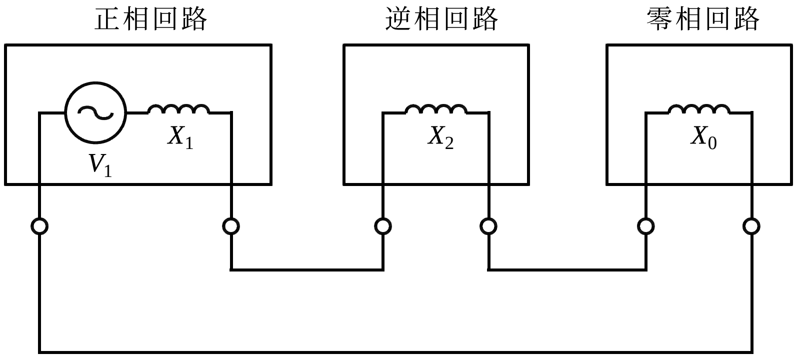
⑤ 移動用変電設備の保護や制御のためのコンパクトで多機能のディジタル保護・制御装置が装備され，遠方制御機能が付加される場合もある。

以上のほか，別輸送で 66(又は 77)〔kV〕移動用 CV ケーブル，6〔kV〕移動用 CV ケーブルなどが挙げられる。

〔問３の標準解答〕

(1) 電磁誘導に影響を及ぼす故障電流は零相電流なので，まず零相電流を求める。

対称座標法を用いた故障計算において，1 線地絡故障は下の図に示されるように，正相，逆相，零相回路の直列接続で表現される。



$I_1 = I_2 = I_0$

ここで，V_1 は故障点での事故前の相電圧，X_1，X_2，X_0 はそれぞれ正相，逆相，零相リアクタンスを表す。また，I_1，I_2，I_0 はそれぞれ正相，逆相，零相電流を表す。

電源周波数は 50〔Hz〕であるので ω　314 となり，正相，逆相，零相インピーダンスはそれぞれ $j15.7$〔Ω〕，$j15.7$〔Ω〕，$j47.1$〔Ω〕となるから，1 線地絡故障の零相電流 I_0 は下式で与えられる。

$$I_0 = \frac{154}{\sqrt{3}\,j(15.7+15.7+47.1)} = -j1.1326 \text{〔kA〕}$$

零相電流は三相の送電線に等しく流れるので，電磁誘導に関わる電流は $3I_0$ となり，電磁誘導電圧は $-j2\pi fMD3I_0$ で与えられる。したがって，

$$V_m = 1067.45MD \text{〔kV〕} \rightarrow 1070MD \text{〔kV〕}$$

(2) M = 6〔mH/km〕，D = 0.6〔km〕より，誘導電圧は上記(1)の

$$V_m = 1067.45MD \text{〔kV〕}$$

に代入して，

$$V_m = 1067.45\times10^3\times6\times10^{-3}\times0.6 = 3842.8 \rightarrow 3.84 \text{〔kV〕}$$

〔問４の標準解答〕

・A 系統のインピーダンスは,

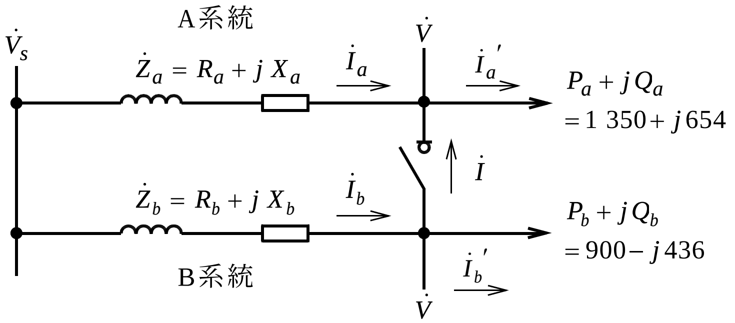
$(0.0579 + j0.0951) \times 0.5 + (0.124 + j0.311) \times 1.5 = 0.21495 + j0.51405$

B 系統のインピーダンスは,

$(0.0579 + j0.0951) \times 0.1 + (0.124 + j0.311) \times 1 = 0.12979 + j0.32051$

である。

・図に示すように，連系開閉器を閉じた際に，B 系統から A 系統に向かう方向に流れるループ電流を I，A 系統電源側から連系点に流れる電流を I_a，連系点から A 系統負荷に流れる電流を I_a'，B 系統電源側から連系点に流れる電流を I_b，連系点から B 系統負荷に流れる電流を I_b' とする。また，変電所母線電圧を V_s，連系点電圧を V とし，基準電圧である V は 6 600〔V〕である。



・上図の連系点における電流 I はキルヒホッフ則より,

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{V}_s - \dot{V}}{\sqrt{3}\,\dot{Z}_a} \qquad \dot{I}_a{}' = \frac{P_a - jQ_a}{\sqrt{3}\,\overline{\dot{V}}}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_a{}' - \dot{I}_a = \frac{P_a - jQ_a}{\sqrt{3}\,\overline{\dot{V}}} - \frac{\dot{V}_s - \dot{V}}{\sqrt{3}\,\dot{Z}_a} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

・一方，連系点における全電力$[(P_a+jQ_a)+(P_b+jQ_b)]$は次式にて表せる。

$$\dot{V}\left(\overline{\frac{\dot{V}_s-\dot{V}}{\dot{Z}}}\right)=(P_a+jQ_a)+(P_b+jQ_b) \quad \cdots\cdots ②$$

ただし，$\dot{Z}=\dfrac{\dot{Z}_a\dot{Z}_b}{\dot{Z}_a+\dot{Z}_b}$

②式は以下のように変形できる。

$$\overline{\dot{V}}\left(\dot{V}_s-\dot{V}\right)=\left[(P_a+P_b)-j(Q_a+Q_b)\right]\dot{Z}$$

$$\therefore\quad \dot{V}_s-\dot{V}=\frac{\left[(P_a+P_b)-j(Q_a+Q_b)\right]\dot{Z}}{\overline{\dot{V}}} \quad \cdots\cdots ③$$

③式と，①式より，

$$\dot{I}=\frac{1}{\sqrt{3}}\left\{\frac{P_a-jQ_a}{\overline{\dot{V}}}-\frac{\left[(P_a+P_b)-j(Q_a+Q_b)\right]\dot{Z}}{\overline{\dot{V}}\,\dot{Z}_a}\right\}$$

$$=\frac{1}{\sqrt{3}\,\overline{\dot{V}}}\left\{(P_a-jQ_a)-\frac{\left[(P_a-jQ_a)+(P_b-jQ_b)\right]\dot{Z}_b}{\dot{Z}_a+\dot{Z}_b}\right\}$$

$$=\frac{1}{\sqrt{3}\,\overline{\dot{V}}}\cdot\frac{(P_a-jQ_a)\dot{Z}_a-(P_b-jQ_b)\,\dot{Z}_b}{\dot{Z}_a+\dot{Z}_b}$$

$$\therefore\quad \left|\dot{I}\right|=\frac{1}{\sqrt{3}\left|\overline{\dot{V}}\right|}\cdot\frac{\left|(P_a-jQ_a)\dot{Z}_a-(P_b-jQ_b)\,\dot{Z}_b\right|}{\left|\dot{Z}_a+\dot{Z}_b\right|} \quad \cdots\cdots ④$$

・④式に，

P_a = 1 350〔kW〕， Q_a = 654〔kvar〕， P_b = 900〔kW〕， Q_b = - 436〔kvar〕

R_a = 0.21495〔Ω〕，X_a = 0.51405〔Ω〕，R_b = 0.12979〔Ω〕，X_b = 0.32051〔Ω〕

$\left|\dot{V}\right| = 6600$〔V〕

を各々代入して，

$$\left|\dot{I}\right| = \frac{1}{\sqrt{3}\times 6600}\times\frac{\left|(1350 - j654)(0.21495 + j0.51405) - (900 + j436)(0.12979 + j0.32051)\right|}{\left|(0.21495 + j0.51405) + (0.12979 + j0.32051)\right|}$$

$$\left|\dot{I}\right| = \frac{1}{\sqrt{3}\times 6600}\times\frac{\left|\sqrt{649.30^2 + 208.34^2}\right|}{\left|\sqrt{0.34474^2 + 0.83456^2}\right|}$$

$$\therefore I = \frac{1}{\sqrt{3}\times 6600}\times\frac{681.91}{0.90296} = 0.066064\text{〔kA〕} \rightarrow 66.064\text{〔A〕}$$

有効数字 3 けたで整理すると，

I = 66.0 又は 66.1〔A〕

(計算過程の有効数字のとりかたで小数点以下の数字が異なるので，どちらも正解とする。)

・上記 I は「B 系統から A 系統に向かう方向を正」として定義した電流なので，連系開閉器投入後のループ電流は，B 系統から A 系統に向かう方向である。

〔問５の標準解答〕

(1) 周波数変化量は，与えられた項を用いて，以下の式で表すことができる。

$$\Delta F = \Delta P_A / (K_A + K_B + K_C)$$

(2) 連系線 BC に潮流変化がないと仮定すると，連系線 AB の潮流変化量は，与えられた項を用いて，以下の式で表すことができる。

$$\Delta P_{TAB} = K_B \times \Delta F$$

(3) 両系統の％換算の系統定数を，それぞれの系統容量に換算すると，

$$K_A = 4\,000〔\mathrm{MW}〕\times 14〔\%\,\mathrm{MW/Hz}〕/ 100 = 560〔\mathrm{MW/Hz}〕$$

$$K_B = 8\,000〔\mathrm{MW}〕\times 8〔\%\,\mathrm{MW/Hz}〕/ 100 = 640〔\mathrm{MW/Hz}〕$$

$$K_C = 5\,000〔\mathrm{MW}〕\times 12〔\%\,\mathrm{MW/Hz}〕/ 100 = 600〔\mathrm{MW/Hz}〕$$

これを，(1)で求めた式に当てはめると，周波数変化量は，

$$\Delta F = 360 / (560 + 640 + 600) = 0.2〔\mathrm{Hz}〕$$

となる。

(4) 上記(2)，(3)の結果より，連系線 AB の潮流変化量は，

$\Delta P_{TAB} = K_B \times \Delta F = 640 \times 0.2 = 128〔\mathrm{MW}〕$　　となる。

また，同様にして，連系線 CA の潮流変化量（ΔP_{TCA}〔MW〕）は，

$\Delta P_{TCA} = K_C \times \Delta F = 600 \times 0.2 = 120〔\mathrm{MW}〕$　　となる。

〔問６の標準解答〕

(1) CT の選定に当たって留意すべき点(次のうちいずれか二つ挙げれば可)

・CT の定格をそろえる。

・CT の形式をそろえる。

・誤差のバラツキの小さいものを選ぶ。

・二次負担が平衡になるようにする。

・CT の変流比が大きい場合（300〔A〕超過）は，三次巻線付 CT を使用する。

・残留電流が小さい場合は，ZCT を使用する。

(2) A 需要家の地絡過電流リレーの整定タップ値及び動作時限

ⅰ. タップの整定に当たっては，最初に地絡動作電流を求める。

地絡動作電流は，

$$100\times\frac{5}{100}\times 0.3\times\frac{1}{1.5}=1.00\text{〔A〕}$$

したがって，求める整定タップは 1.0〔A〕となる。

ⅱ. 動作時限は，リレーの動作時間以外に必要とする時間を求めると

CB1 の遮断時間	0.1 秒
シリーストリップの回避余裕時間	0.3 秒
CB3 の遮断時間	0.1 秒

であり，したがって，求める動作時限は，

1.0 －（0.1 ＋ 0.3 ＋ 0.1）＝ 0.5 秒となる。

＜機械・制御科目＞

〔問１の標準解答〕

（1）s_1 と s_f の比

この電動機の同期速度 n_s〔min^{-1}〕は，定格周波数を f〔Hz〕，極数を $2p$ とすれば

$$n_s = \frac{120f}{2p} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{〔min}^{-1}\text{〕}$$

したがって，回転子巻線を短絡し，電動機を定格周波数，全負荷トルクで運転しているときの滑り s_f は

$$s_f = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1200 - 1140}{1200} = 0.05$$

一相当たりに外部抵抗 0.225〔Ω〕を挿入したときの滑り s_1 は，回転速度を n〔min^{-1}〕とすれば

$$s_1 = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1200 - 600}{1200} = 0.5$$

となり，したがって，s_1 と s_f の比は

$$\frac{s_1}{s_f} = \frac{0.5}{0.05} = 10$$

（2）回転子巻線の一相分の抵抗

回転子巻線の一相分の抵抗を r_2〔Ω〕，滑り s_1 のときの外部抵抗を R_1〔Ω〕とすれば，回転速度が 1 140〔min^{-1}〕と 600〔min^{-1}〕のとき，いずれも全負荷トルクで運転しているので，比例推移により

$$\frac{r_2}{s_f} = \frac{r_2 + R_1}{s_1}$$

の関係が成立する。これより r_2〔Ω〕を求めると

$$r_2 = \frac{R_1}{\dfrac{s_1}{s_f} - 1} = \frac{0.225}{10 - 1} = 0.025 \text{〔Ω〕}$$

(3) 回転子巻線の各相に挿入すべき外部抵抗

始動時の滑りは 1 であり，同じトルクに対する滑りは回転子回路の抵抗の値に比例するので，回転子巻線の各相に挿入すべき外部抵抗を R_s〔Ω〕とすれば

$$\frac{r_2}{s_f} = \frac{r_2 + R_s}{1}$$

の関係が成立する。これより R_s〔Ω〕を求めると

$$R_s = \frac{1 - s_f}{s_f} \cdot r_2 = \frac{1 - 0.05}{0.05} \times 0.025 = 0.475 \text{〔Ω〕}$$

(4) 全負荷トルクで運転したときの回転速度

回転子巻線の各相に外部抵抗 R〔Ω〕を挿入したときの滑りを s とすれば，同じ全負荷トルクで運転しているので，

$$\frac{r_2}{s_f} = \frac{r_2 + R}{s}$$

の関係が成立する。これより s を求めると

$$s = \frac{r_2 + R}{r_2} \cdot s_f = \frac{0.025 + 0.1}{0.025} \times 0.05 = 0.25$$

したがって，このときの回転速度 n〔min^{-1}〕は

$$n = (1 - s)n_s = (1 - 0.25) \times 1\,200 = 900 \text{〔min}^{-1}\text{〕}$$

〔問 2 の標準解答〕

（1）一次側に換算した等価抵抗

変圧比 a は，一次電圧を V_1〔V〕，二次電圧を V_2〔V〕とすれば

$$a=\frac{V_1}{V_2}=\frac{6\,600}{220}=30$$

25〔℃〕での一次側に換算した等価抵抗 r_e〔Ω〕は

$$r_e=r_1+a^2r_2=0.328+30^2\times0.00467=4.531\ \rightarrow\ 4.53\text{〔Ω〕}$$

（2）巻線の抵抗損

一次定格電流 I_1〔A〕は，定格容量を P〔kV・A〕，一次定格電圧を V_1〔V〕とすれば

$$I_1=\frac{P\times10^3}{V_1}=\frac{100000}{6\,600}=15.151\text{〔A〕}$$

75〔℃〕での一次側に換算した等価抵抗 r_{75e}〔Ω〕は，①式より

$$r_{75e}=r_e\cdot\left(\frac{235+75}{235+t}\right)=4.531\times\left(\frac{310}{235+25}\right)=5.4023\text{〔Ω〕}$$

したがって，75〔℃〕での巻線の抵抗損 P_{75c}〔W〕は

$$P_{75c}=I_1{}^2r_{75e}=15.151^2\times5.4023=1\,240.113\ \rightarrow\ 1\,240\text{〔W〕}$$

（3）漂遊負荷損

25〔℃〕での漂遊負荷損 P_{st}〔W〕は

$$P_{st}=P_c-I_1{}^2r_e=1120-15.151^2\times4.531=79.896\text{〔W〕}$$

75〔℃〕での漂遊負荷損 P_{75st}〔W〕は，②式より

$$P_{75st}=P_{st}\cdot\left(\frac{235+t}{235+75}\right)=79.896\times\left(\frac{235+25}{310}\right)=67.009\ \rightarrow\ 67.0\text{〔W〕}$$

（4）規約効率

変圧器の規約効率 η〔%〕は，無負荷損を P_i〔W〕とすれば

$$\eta = \frac{出力}{出力 + P_i + P_{75c} + P_{75st}} \times 100$$

$$= \frac{100000 \times 0.8}{100000 \times 0.8 + 980 + 1\,240.113 + 67.009} \times 100 = 97.220 \;\rightarrow\; 97.2〔\%〕$$

〔問３の標準解答〕

(1) インダクタ L の両端電圧（$0 \leqq t \leqq \alpha T_s$）

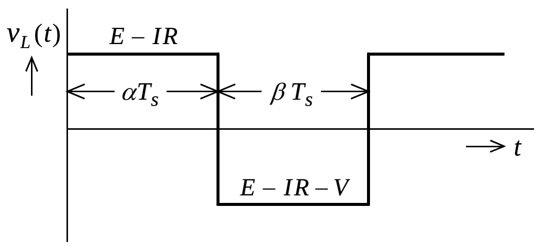
$0 \leqq t \leqq \alpha T_s$ では，スイッチは端子 1 に接続している。インダクタ L の両端電圧 v_L は，次式で表される。

$$v_L = E - IR \quad \cdots\cdots ①$$

(2) インダクタ L の両端電圧（$\alpha T_s < t \leqq T_s$）

$\alpha T_s < t \leqq T_s$ では，スイッチは端子 2 に接続している。インダクタ L の両端電圧 v_L は，次式で表される。

$$v_L = E - IR - V \quad \cdots\cdots ②$$



インダクタ電圧波形

(3) 定常状態における出力電圧

定常状態のときには，1 周期にわたるインダクタ電圧の積分値は零になるので，次式が成り立つ。

$$\alpha(E - IR) + \beta(E - IR - V) = 0 \quad \cdots\cdots ③$$

$\alpha + \beta = 1$ になることを考慮して，整理すると次式が得られる。

$$0 = E - IR - \beta V \quad \cdots\cdots ④$$

したがって，　$V = \dfrac{E - IR}{\beta} = \dfrac{1}{1-\alpha}(E - IR) \quad \cdots\cdots ⑤$

(4) コンデンサ電流（$0 \leqq t \leqq \alpha T_s$）

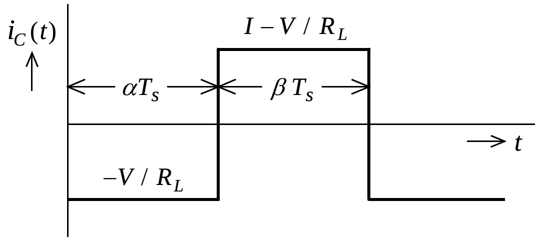
コンデンサ電流 i_C は，$0 \leqq t \leqq \alpha T_s$ では，

$$i_C = -\frac{V}{R_L} \quad \cdots\cdots ⑥$$

(5) コンデンサ電流（$\alpha T_s < t \leqq T_s$）

コンデンサ電流 i_C は，$\alpha T_s < t \leqq T_s$ では，

$$i_C = I - \frac{V}{R_L} \qquad \cdots\cdots ⑦$$



コンデンサ電流波形

(6) 定常状態における出力電圧

定常状態のときには，1 周期にわたるコンデンサ電流の積分値は零になるので，

$$\alpha\left(-\frac{V}{R_L}\right)+\beta\left(I-\frac{V}{R_L}\right)=0 \qquad \cdots\cdots ⑧$$

$\alpha + \beta = 1$ になることを考慮して，整理すると

$$0 = \beta I - \frac{V}{R_L} \qquad \cdots\cdots ⑨$$

したがって，　$V = \beta IR_L = (1 - \alpha)IR_L$ 　$\cdots\cdots$ ⑩

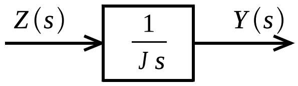
(7) 出力電圧と電源電圧との比

二つの方程式⑤と⑩から，I を消去すると，次のような結果が得られる。

$$\frac{V}{E} = \frac{1}{1-\alpha}\cdot\frac{1}{1+\dfrac{1}{(1-\alpha)^2}\cdot\dfrac{R}{R_L}} \qquad \cdots\cdots ⑪$$

〔問４の標準解答〕

（1）出力応答



時間域でこの関係を書くと，

$J\,\dot{y} = z$

ラプラス変換すると

$JsY(s) - Jy_0 = Z(s)$ ，　y_0は初期条件

$\therefore\ Y(s) = \dfrac{1}{s}y_0 + \dfrac{1}{J\,s}Z(s)$ ，　$Z(s) = \mathcal{L}[\sin 2t] = \dfrac{2}{s^2+4}$

$$Y(s) = \frac{1}{s}y_0 + \frac{2}{J}\cdot\frac{1}{s(s^2+4)}$$
$$= \frac{1}{s}y_0 + \frac{2}{J}\cdot\left[\frac{A}{s} + \frac{2B}{s^2+4} + \frac{Cs}{s^2+4}\right]$$

上式を通分して，A，B，C を求めて

$$Y(s) = \frac{1}{s}y_0 + \frac{1}{2J}\left[\frac{1}{s} - \frac{s}{s^2+4}\right]$$

これを逆ラプラス変換すると，

$$y(t) = y_0 + \frac{1}{2J}[1-\cos 2t]$$

初期値 $y_0 = 0$ のとき，$y(t) = \dfrac{1}{2J}[1-\cos 2t]$　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　①

初期値 $y_0 = -\dfrac{1}{2J}$ のとき，$y(t) = -\dfrac{1}{2J}\cos 2t = \dfrac{1}{2J}\sin\left(2t - \dfrac{\pi}{2}\right)$　・・・・　①

初期値 y_0(又は積分定数)は指定されていないので任意でよい。

(2) 伝達関数

図 2 より

$$Z(s) = G_2(s)[U(s) - Z(s)] - Y(s) \quad \cdots\cdots \quad ②$$

$$Y(s) = G_1(s)Z(s) \quad \cdots\cdots \quad ③$$

が成り立つ（簡単のため計算途中ではラプラス変換の s は省略する)。

②式より，

$$Z = \frac{G_2}{1+G_2}U - \frac{1}{1+G_2}Y \quad \cdots\cdots \quad ④$$

となり，④式を③式へ代入すると，

$$Y = \frac{G_1G_2}{1+G_2}U - \frac{G_1}{1+G_2}Y$$

となるので，上式より $U(s)$から $Y(s)$までの伝達関数は，

$$\left(1 + \frac{G_1}{1+G_2}\right)Y = \frac{G_1G_2}{1+G_2}U$$

より，次式で与えられる。

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G_1(s)G_2(s)}{1+G_1(s)+G_2(s)} \quad \cdots\cdots \quad ⑤$$

(3) コントローラのパラメータ

図 3 より，

$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{\dfrac{(K_1+K_2s)G_1G_2}{1+G_1+G_2}}{1+\dfrac{(K_1+K_2s)G_1G_2}{1+G_1+G_2}}=\frac{(K_1+K_2s)G_1(s)G_2(s)}{1+G_1(s)+G_2(s)+(K_1+K_2s)G_1(s)G_2(s)}$$

$$=\frac{\dfrac{K_1+K_2s}{2s^2}}{1+\dfrac{1}{s}+\dfrac{1}{2s}+\dfrac{K_1+K_2s}{2s^2}}=\frac{K_1+K_2s}{2s^2+(3+K_2)s+K_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑥$$

が得られる。⑥式の分母多項式より，次式が成立する。

$$s^2+\frac{3+K_2}{2}s+\frac{K_1}{2}=(s+10)^2=s^2+20s+100$$

両辺の係数比較により，

$$\frac{K_1}{2}=100,\ \text{したがって}\ K_1=200 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑦$$

$$\frac{3+K_2}{2}=20,\ \text{したがって}\ K_2=37 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑧$$

となる。