

●平成24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) 電動機出力（ポンプ入力）＝電動機入力×電動機効率 なので、

$$A \quad \cdot P_M = P_{Mi} \times \boxed{\eta_M} \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$B \text{ 又は } C \quad \cdot P_{Mi} = \boxed{S_M} \times \boxed{\phi_M} \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

$$D \text{ 又は } E \quad \cdot P_G = \boxed{S_G} \times \boxed{\phi_G} \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

(2) $S_G = S_M$ なので、上記 3 式から、 $P_G = \frac{\phi_G P_M}{\phi_M \eta_M}$

発電機出力と発電使用水量の関係から、

$$P_G = \eta_T \eta_G g \rho Q_G (H - H_L) \times 10^{-6}$$

なので、

$$Q_G = \frac{\phi_G P_M \times 10^6}{\eta_T \eta_G g \rho (H - H_L) \phi_M \eta_M} \quad \dots \dots \textcircled{4}$$

(3) ④式で $P_M = 100$ [MW] とすると、

$$Q_G = \frac{0.8 \times 100 \times 10^6}{0.9 \times 0.95 \times 9.8 \times 1000 \times (150 - 10) \times 1.0 \times 0.97}$$

$$= 70.3069 \rightarrow 70.3 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$(4) \frac{V}{Q_G} = \frac{2\,000\,000}{70.3} = 28\,449 \text{ [s]} \rightarrow \text{約} 28\,400 \text{ [s]} \quad (\text{又は約} 7 \text{ 時間} 54 \text{ 分})$$

なお、(4)は(1)～(3)の条件において計算することから、答は主変圧器容量 T [MV・A] にはよらない。

[問2の標準解答]

(1) 遮へい失敗事故：雷が電力線を直撃してアークホーンにフラッシュオーバが発生する。

逆フラッシュオーバ事故：架空地線あるいは鉄塔への雷撃によって架空地線あるいは鉄塔の電位が上昇し、架空地線と導体間、又はアークホーンにフラッシュオーバが発生する。

(2) ① 架空地線の弛度を電力線のそれより小さくすることで、架空地線と導体間のフラッシュオーバを低減する。

② 埋設地線、深打ち電極及び接地シートなどにより鉄塔の塔脚接地抵抗を低減することで、鉄塔の電位上昇による逆フラッシュオーバを低減する。

③ 架空地線を多条化することで、鉄塔の電位上昇による逆フラッシュオーバを低減する。

④ 系統に過電圧が侵入した場合に、フラッシュオーバが継続して送電線が遮断されるのを防止するため、送電用避雷装置を設置する。

[問3の標準解答]

(1) 遮へい線がない場合通信線に誘導される電圧 \dot{V} は

$$\dot{V} = 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0$$

(2) 遮へい線に流れる電流 \dot{I}_S は, \dot{I}_0 による誘導電圧を打ち消すように流れる。

したがって, 次式が成り立つ。

$$3\dot{Z}_{1S}\dot{I}_0 + \dot{Z}_S\dot{I}_S = 0$$

$$\dot{I}_S = -\frac{3\dot{Z}_{1S}\dot{I}_0}{\dot{Z}_S}$$

通信線に生じる誘導電圧 \dot{V}' は送電線の電流 $3\dot{I}_0$ と遮へい線を通る誘導電流 \dot{I}_S による誘導電圧の和だから次式となる。

$$\begin{aligned} \dot{V}' &= 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0 + \dot{Z}_{2S}\dot{I}_S = 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0 + \dot{Z}_{2S}\left(\frac{-3\dot{Z}_{1S}\dot{I}_0}{\dot{Z}_S}\right) \\ &= 3\dot{Z}_{12}\dot{I}_0\left(1 - \frac{\dot{Z}_{1S}\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_{12}\dot{Z}_S}\right) = 3\dot{I}_0\left(\dot{Z}_{12} - \frac{\dot{Z}_{1S}\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_S}\right) \\ &= \dot{V}\left(1 - \frac{\dot{Z}_{1S}\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_{12}\dot{Z}_S}\right) \end{aligned}$$

(3) 送電線近傍に遮へい線を設置した場合の誘導電圧を \dot{V}'_T とし, 通信線近傍に遮へい線を設置した場合の誘導電圧を \dot{V}'_C としたとき, $|\dot{V}'_T| > |\dot{V}'_C|$ となるので, 通信線のできるだけ近くに遮へい線を設置するのが良い。

[理由]

遮へい線を送電線近傍に設置したとき $\dot{Z}_{2S} \doteq \dot{Z}_{12}$ となり, 通信線の近傍に設置したとき $\dot{Z}_{1S} \doteq \dot{Z}_{12}$ となる。したがって, \dot{V}'_T と \dot{V}'_C は各々次式で近似される。

$$\dot{V}'_T = \dot{V}\left(1 - \frac{\dot{Z}_{1S}}{\dot{Z}_S}\right) \quad \dot{V}'_C = \dot{V}\left(1 - \frac{\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_S}\right)$$

ここで, 遮へい線との離隔距離が小さいほど相互インピーダンスが大きくなり, 自己インピーダンス \dot{Z}_S との比が 1 に近い値となるので通信線に誘導される電圧は小さくなる。実際に遮へい線を設置する場合, 電圧の違いに

より、電力線の近傍に設置する場合は通信線の近傍に設置する場合と比べて
隔離距離を小さくすることができない。

したがって、

$$|\dot{Z}_S| > |\dot{Z}_{2S}| > |\dot{Z}_{1S}|$$

となり、次式が成り立つ。

$$\left| 1 - \frac{\dot{Z}_{1S}}{\dot{Z}_S} \right| > \left| 1 - \frac{\dot{Z}_{2S}}{\dot{Z}_S} \right|$$

したがって、 $|\dot{V}_T| > |\dot{V}_C|$ となるので、通信線のできるだけ近くに遮へい線を
設置するのが良い。

[問4の標準解答]

(1) 連系する発電設備は800 [kV・A], %Z=15 [%] (マシンベース) なので,

当該発電設備の%Zは,

$$\frac{15 [\%] \times 10\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}]}{800 [\text{kV} \cdot \text{A}]} = 187.5 [\%] \rightarrow 188 [\%]$$

(2) 10 [MV・A] をベースとしたインピーダンスマップを作成すると以下のとおりとなる。

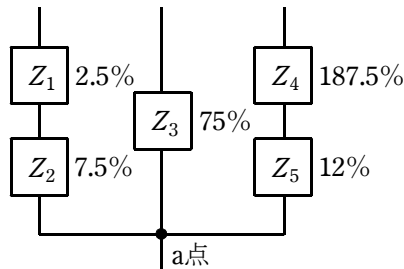
配電用変電所の上位系統の%Z : $Z_1 = 2.5 [\%]$

配電用変電所の変圧器の%Z : $Z_2 = 7.5 [\%]$

発電設備 G1 の%Z : $Z_3 = \frac{15 [\%] \times 10\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}]}{2\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}]} = 75 [\%]$

発電設備 G2 の%Z : $Z_4 = 187.5 [\%]$

新たに連系する発電設備までの高圧配電線の%Z : $Z_5 = 12 [\%]$



上記インピーダンスマップに基づき, %Zの合成値を求めると,

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{2.5+7.5} + \frac{1}{75} + \frac{1}{187.5+12}} = 8.449 \rightarrow 8.45 [\%]$$

(3) 三相短絡容量 P_S は

$$P_S = \frac{10\,000 [\text{kV} \cdot \text{A}] \times 100}{8.449} = 118.4 [\text{MV} \cdot \text{A}]$$

したがって, 三相短絡電流 I_S は

$$I_S = \frac{118.4 [\text{MV} \cdot \text{A}]}{\sqrt{3} \times 6.6 [\text{kV}]} = 10.35 \rightarrow 10.4 [\text{kA}]$$

(4) 三相短絡電流が 10 [kA] となるためには、三相短絡容量 P'_S は

$$P'_S = 10 \text{ [kA]} \times \sqrt{3} \times 6.6 \text{ [kV]} = 114.3 \text{ [MV}\cdot\text{A]}$$

したがって、合成%Zは、

$$\%Z = \frac{10 \text{ 000 [kV}\cdot\text{A]} \times 100}{114.3 \text{ [MV}\cdot\text{A]}} = 8.749 \text{ [%]}$$

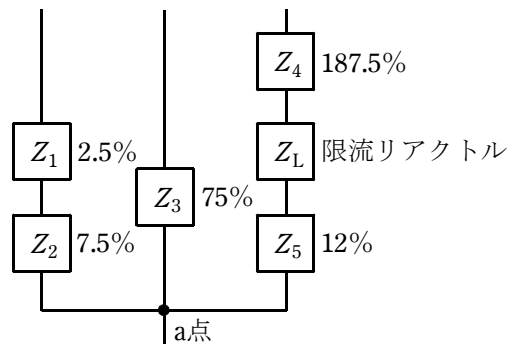
求める限流リアクトルのインピーダンスを% Z_L とすると、

$$\%Z = \frac{1}{\frac{1}{2.5+7.5} + \frac{1}{75} + \frac{1}{187.5+12+\%Z_L}} = 8.749 \text{ [%]}$$

式を整理すると

$$\begin{aligned} \%Z_L &= \frac{8.749}{1 - 8.749 \times \left(\frac{1}{2.5+7.5} + \frac{1}{75} \right)} - (187.5+12) \\ &= \frac{8.749}{1 - 8.749 \times 0.1133} - 199.5 \\ &= 1006 - 199.5 \\ &= 806.5 \rightarrow 807 \text{ [%]} \end{aligned}$$

(注) 桁数の取り方、計算の順序により上記とは異なる正答もある。



[問5の標準解答]

(1) 図2において、変圧器タップ電圧の微小調整量 Δn は線路 x_1 と線路 x_2 の電圧変化量の和であり、

$$\Delta n = x_1 \Delta Q + x_2 \Delta Q = (x_1 + x_2) \Delta Q$$

変電所の電圧変化 ΔV は、線路 x_2 の電圧変化と等しいので、

$$\Delta V = x_2 \Delta Q$$

$\Delta q = 0$ より

$$\therefore A_n = \frac{\Delta V}{\Delta n} = \frac{x_2 \Delta Q}{(x_1 + x_2) \Delta Q} = \frac{x_2}{x_1 + x_2} \quad \dots (\text{答})$$

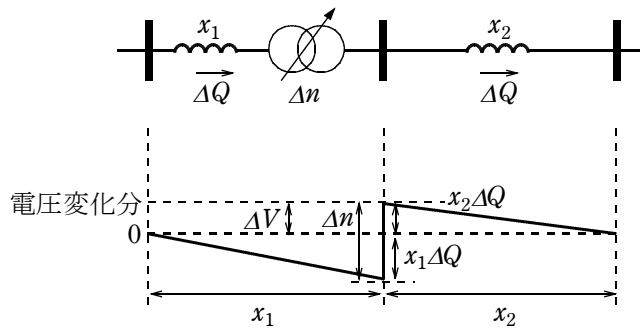


図2 変圧器タップ電圧調整による電圧分布 ($\Delta q = 0$)

(2) 図3において、線路 x_1 の無効電力変化は、

$$\Delta Q = \frac{x_2}{x_1 + x_2} \Delta q$$

変電所の電圧変化 ΔV は、線路 x_1 の電圧変化と等しいので、

$$\Delta V = x_1 \Delta Q = x_1 \frac{x_2}{x_1 + x_2} \Delta q$$

$\Delta n = 0$ より

$$\therefore A_q = \frac{\Delta V}{\Delta q} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} \quad \dots (\text{答})$$

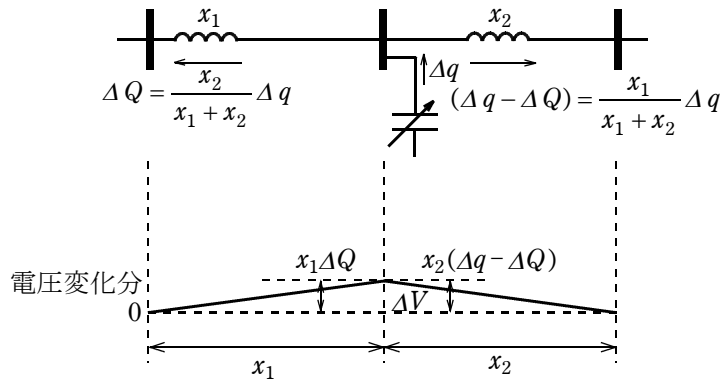


図 3 電力用コンデンサからの無効電力調整による電圧分布 ($\Delta n=0$)

[問6の標準解答]

A：簡易監視制御方式

B：技術員が当該変電所又は 300〔m〕以内にある技術員駐在所に常時駐在し，断続的に変電所に向向いて，変電所の監視及び機器の操作を行うもの

C：技術員が変電制御所又は 300〔m〕以内にある技術員駐在所に常時駐在し，断続的に変電制御所に向向いて，変電所の監視及び機器の操作を行うもの

D：制限なし

E：技術員駐在所

F：変電制御所及び技術員駐在所

< 機械・制御科目 >

[問 1 の標準解答]

(1) 電機子巻線の銅損は、

$$200 \times 20 - 3750 - 2.5 \times 20 = 200 \text{ [W]}$$

したがって、電機子巻線抵抗は、

$$\frac{200}{20^2} = 0.500 \text{ [\Omega]}$$

(2) 誘導起電力は、

$$E_0 = 200 - 2.5 - 0.5 \times 20 = 187.5 \rightarrow 188 \text{ [V]}$$

(3) IGBT の電圧降下を考え、

$$E_0 = 200 - 2 - 2.5 - 0.5 \times 20 = 185.5 \text{ [V]}$$

したがって、回転速度は、

$$\frac{185.5}{187.5} \times 1500 = 1484 \rightarrow 1480 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

(4) 1000 [min⁻¹] の起電力は、

$$\frac{187.5}{1500} \times 1000 = 125 \text{ [V]}$$

ブラシの電圧降下と巻線抵抗を考慮すると電機子の端子電圧は、

$$125 + 2.5 + 0.5 \times 10 = 132.5 \rightarrow 133 \text{ [V]}$$

(5) IGBT S₁ がオンのときの S₂ のコレクタ-エミッタ間電圧は、S₁ の電圧降下を考えて、

$$200 - 2 = 198 \text{ [V]}$$

オフのときは、ダイオード D₂ の電圧降下により、

$$-1 \text{ [V]}$$

S₁ の通流率を D とすると、チョッパ端子電圧は、

$$198 \times D + (-1)(1 - D) = 199 \times D - 1 \text{ [V]}$$

したがって、 $199 \times D - 1 = 132.5$ [V] を D について解けば、

$$D = \frac{132.5 + 1}{199} = 0.67085 \rightarrow 0.671$$

- (6) 定格トルクを発生する場合の電機子電流は 20 [A] であり、20 [A] の電機子電流を流すためには、少なくとも電圧降下分の起電力が必要であるので、

$$0.5 \times 20 + 2.5 + 2 = 14.5 \text{ [V]}$$

$$\text{このときの回転速度は、} \frac{14.5}{187.5} \times 1500 = 116 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

一方、電機子電流を 20 [A] に制御できる電動機起電力の最大値は、

$$200 + 1 + 2.5 + 0.5 \times 20 = 213.5 \text{ [V]}$$

このときの回転速度は、

$$\frac{213.5}{187.5} \times 1500 = 1708 \rightarrow 1710 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

ゆえに制動トルクを定格トルクに制御できる範囲は、

116 [min⁻¹] から 1710 [min⁻¹]

[問2の標準解答]

(1) コイルに誘導される起電力の瞬時値 e は、

$$e = -n_c \frac{d\phi}{dt} = -n_c \frac{d}{dt} (\Phi_m \cdot \cos \omega t) = n_c \omega \Phi_m \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

となり、

誘導起電力の最大値 E_m は、

$$E_m = n_c \omega \Phi_m = 2\pi f n_c \Phi_m$$

となり、

誘導起電力の実効値 E は、

$$E = \sqrt{2} \pi f n_c \Phi_m = 4.4429 f n_c \Phi_m \rightarrow 4.44 f n_c \Phi_m \text{ [V]}$$

(2) 図1を参照して、 $e_1 = e_2 = e_3 = e_c$ として基本波に対する分布係数 K_d は、

$$K_d = \frac{e_d}{n e_c} = \frac{2 \sin\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{n \cdot 2 \sin\left(\frac{\pi}{2mn}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2mn}\right)}$$

となる。

相数 $m = 3$ 、每極每相のスロット数 $n = 3$ の場合の基本波に対する K_d は、

$$K_d = \frac{\sin \frac{\pi}{6}}{3 \sin \frac{\pi}{18}} = \frac{0.5}{3 \times 0.173648} = 0.95979 \rightarrow 0.960$$

となる。

(3) 図2を参照して、 $e_a = e_b = e_s$ として基本波に対する短節係数 K_p は、

$$K_p = \frac{e_p}{2e_s} = \frac{2e_s \cdot \sin\left(\frac{\beta\pi}{2}\right)}{2e_s} = \sin\left(\frac{\beta\pi}{2}\right)$$

となる。

$\beta = \frac{2}{3}$ の場合の基本波に対する短節係数 K_p は、

$$K_p = \sin \frac{\pi}{3} = 0.86602 \rightarrow 0.866$$

となる。

(4) 上記(1)の全節巻及び集中巻の場合の誘導起電力の式と巻線係数から、分布巻及び短節巻の場合の誘導起電力の実効値 E は、

$$E = 4.44 f n_c \Phi_m K_d K_p \text{ [V]}$$

となる。

周波数 $f = 50$ [Hz]，コイル数 $n_c = 12$ ，コイルに鎖交する磁束の最大値 $\Phi_m = 1.5$ [Wb] として、

$$E = 4.4429 \times 50 \times 12 \times 1.5 \times 0.95979 \times 0.86602 = 3323.6 \rightarrow 3320 \text{ [V]}$$

となる。

[問3の標準解答]

(1) 次の式となる。

$$\dot{V}_v = V_L + jX \cdot \dot{I}$$

(2) 出力電力 3 [kW] , $V_L = 100$ [V] , 力率 1 なので, \dot{I} は大きさ 30 [A] で位相角 0 [°] である。

したがって

$$\dot{V}_v = V_L + jX \cdot \dot{I} = 100 + j0.4 \times 30 = 100 + j12$$

a. $V_v = \sqrt{100^2 + 12^2} = 100.71 \rightarrow 101$ [V]

b. $K = V_v \frac{\sqrt{2}}{E_d} = 100.71 \times \frac{1.4142}{150} = 0.94949 \rightarrow 0.949$

c. $\tan \phi = \frac{12}{100} = 0.120$

(3) 上記(1)で得られた式に $\dot{I} = I_P + jI_Q$ を代入し

$$\dot{V}_v = V_L + jX(I_P + jI_Q) = V_L - X \cdot I_Q + jX \cdot I_P$$

したがって

$$V_v = \sqrt{(V_L - X \cdot I_Q)^2 + (X \cdot I_P)^2}$$

($V_v = |V_L + jX \cdot \dot{I}|$, $V_v = |V_L - X \cdot I_Q + jX \cdot I_P|$ など, 絶対値のままでは不可。)

(4) V_v の範囲から

$$\sqrt{(V_L - X \cdot I_Q)^2 + (X \cdot I_P)^2} \leq \frac{E_d}{\sqrt{2}}$$

$I_P = 0$ として次の解が得られる。

$$I_{Q\min} = \frac{V_L - \frac{E_d}{\sqrt{2}}}{X} = \frac{100 - \frac{150}{\sqrt{2}}}{0.4} = -15.165 \rightarrow -15.2 \text{ [A]}$$

[問 4 の標準解答]

(1) 制御対象のステップ応答

ラプラス変換域におけるステップ応答は,

$$Y(s) = \frac{1}{s(s+1)} U(s) = \frac{1}{s(s+1)} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{s^2(s+1)} \dots\dots\dots ①$$

で与えられる。この逆ラプラス変換を求めるために、部分分数展開すると,

$$Y(s) = \frac{a}{s^2} + \frac{b}{s} + \frac{c}{s+1}$$

$$= \frac{a(s+1) + bs(s+1) + cs^2}{s^2(s+1)} = \frac{(b+c)s^2 + (a+b)s + a}{s^2(s+1)} \dots\dots\dots ②$$

となり、①式と②式の分子を等しくする部分分数展開の各係数は,

$$b+c=0, \quad a+b=0, \quad a=1$$

を満たす。これから

$$a=1, \quad b=-1, \quad c=1$$

が得られる。したがって、 $Y(s)$ の逆ラプラス変換は,

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s^2} - \frac{1}{s} + \frac{1}{s+1} \right\} = t - 1 + e^{-t} \quad (t \geq 0)$$

となる。

(2) 補償器の伝達関数の計算

図の信号の関係から

$$U(s) = C(s) \left[E(s) + \frac{1}{s} U(s) \right]$$

が成り立つ。上式を整理すると,

$$U(s) = \frac{sC(s)}{s-C(s)} E(s)$$

となり、補償器の伝達関数は,

$$\frac{sC(s)}{s-C(s)} \dots\dots\dots ③$$

で与えられる。

(3) 伝達関数の計算

$D(s)$ から $E(s)$ までの伝達関数は,

$$\begin{aligned}\frac{E(s)}{D(s)} &= -\frac{1}{1 + \frac{sC(s)}{s-C(s)} \cdot \frac{1}{s(s+1)}} = -\frac{(s+1)[s-C(s)]}{(s+1)[s-C(s)]+C(s)} \\ &= -\frac{(s+1)[s-C(s)]}{s[s-C(s)+1]} \dots\dots\dots ④\end{aligned}$$

で与えられる。

(4) 定常速度偏差の計算

④式へ $C(s) = \frac{s}{Ts+1}$ を代入すると

$$\begin{aligned}\frac{E(s)}{D(s)} &= -\frac{(s+1)\left(s - \frac{s}{Ts+1}\right)}{s\left(s - \frac{s}{Ts+1} + 1\right)} = -\frac{(s+1)\left(1 - \frac{1}{Ts+1}\right)}{s+1 - \frac{s}{Ts+1}} \\ &= -\frac{Ts(s+1)}{Ts^2 + Ts + 1} \dots\dots\dots ⑤\end{aligned}$$

となる。ランプ関数の外乱 $d(t) = t$ に対する定常速度偏差は,

$$e_s = -\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{Ts(s+1)}{Ts^2 + Ts + 1} \cdot \frac{1}{s^2} = -T \dots\dots\dots ⑥$$

で与えられる。

(5) 時定数の選び方

⑤式及び⑥式より, $C(s)$ の時定数 T を小さく選ぶことにより, 偏差に対する外乱の影響を抑制することが可能となる。

(6) 安定判別について

特性方程式は、次式

$$1 + \left(K_1 + \frac{K_2}{s} \right) \cdot \frac{1}{s(s+1)} = 0$$

となり、

$$s^3 + s^2 + K_1 s + K_2 = 0$$

で与えられる。ここで、ラウスの安定判別法を適用する。ラウス表は、

s^3	1	K_1
s^2	1	K_2
s^1	$K_1 - K_2$	0
s^0	K_2	

となり、安定条件は、特性方程式の係数がすべて正より、

$$K_1 > 0, K_2 > 0$$

が得られ、ラウス列の係数がすべて正より、

$$K_1 > K_2, K_2 > 0$$

が得られる。以上をまとめると、安定条件は

$$K_1 > K_2 > 0$$

で与えられる。