

蒸気発生部の最適制御

研究部電力研究課 吉 江 充

Some Studies for Optimum Control of Steam Generator

By Mitsuru Yoshie

(Electrical Power Researching Sect., Research Dep't.)

Synopsis

For two systems of ACC having a constant pressure point at the main steam pipe, optimum controller settings are investigated. (Part I) System using only pressure and (Part II) System using pressure and difference between supplied heat and load. 25% damping is used for the optimum condition. For Part I, expressing gain by k_1 , and reset time by $\lambda_1 T_B$, k_1 , λ_1 and $\rho = T_B/T_F$ have a certain relation, which is given in graph for $\rho = 5, 2.5$ and 1.25 . For Part II, expressing gain of pressure by k_1 , gain of difference between heat and load by k_2 , $k_2 = \frac{k_1}{5.41 \rho} - 1$ is held for P controller.

Where T_B , and T_F are the time constants of thermal capacity and heat transfer respectively.

Maximum pressure deviation for step changes of load is given in another graph.

Giving required control characteristics, necessary system and controller settings can be obtained by the above graphs for given boiler parameters.

I. ま え が き

ACCには大別して、(a)主蒸気管圧力一定方式、(b)ボイラ胴圧力一定方式、(c)負荷の大きさによって定圧点が移動したり、その値が多少かわる場合の三つになる。

今日の火力発電所の大部分は(a)であり、この場合主蒸気管の圧力の設定値からの偏差によって供給熱量を増減する場合と、さらに供給熱量と負荷、すなわち蒸気流量との偏差も同時にとり入れる場合とある。この両者の制御特性を明らかにしてACC計画の際便利のように図表とした。

II. 本 文

第1図に系統を示す。圧力信号のみ用いる場合を第I部、供給熱量と負荷の差も利用するものを第II部とする。

p_{10} : ボイラ胴における蒸気の基準圧力

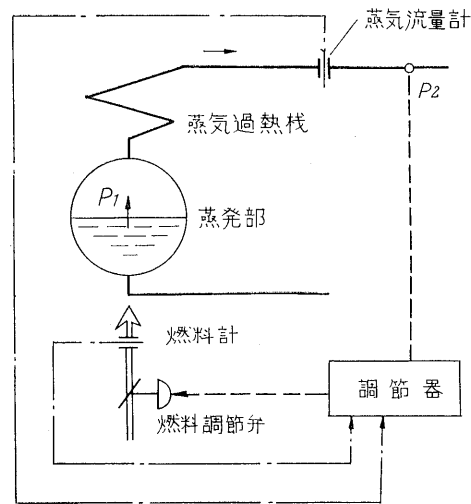
p_{20} : 主蒸気管の測圧点における蒸気の基準圧力

v_{10} : 蒸発部に伝達された熱流量を蒸気量で表わした量

v_{20} : 負荷蒸気流量

$\xi^2 v_{20}^2$: 負荷が v_{20} の場合ボイラ胴と主蒸気管の測圧点の間の圧力降下量

f_0 : p_{10} および p_{20} が平衡を保っているとき v_{20} を発生するのに必要な供給熱量



第1図 圧力制御系統図

Fig. 1. Skeleton diagram of pressure control

と記号を定めれば

$$p_{20} = p_{10} - \xi^2 v_{20}^2 \dots \dots \dots (1)$$

いま p_{10} , p_{20} , v_{10} , v_{20} , f_0 が微小変化 Δp_1 , Δp_2 , Δv_1 , Δv_2 , Δf をして $p_1 = p_{10} + \Delta p_1$, $p_2 = p_{20} + \Delta p_2$, $v_1 = v_{10} + \Delta v_1$, $v_2 = v_{20} + \Delta v_2$ となったとき

$$P_1 = \frac{\Delta p_1}{p_0}, \quad P_2 = \frac{\Delta p_2}{p_0}, \quad V_1 = \frac{\Delta v_1}{v_{10}},$$

$$V_2 = \frac{\Delta v_2}{v_{20}}, \quad F = \frac{\Delta f}{f_0} \dots \dots \dots (2)$$

また $\alpha = \frac{\xi^2 v_{20}^2}{p_0} \dots \dots \dots (3)$

とおく。ここに p_0 はある基準圧力で、 p_{10} に選んでも

p_{20} に選んでもよい。

供給熱量が蒸発部に伝わるプロセスは近似的に

$$G_f(S) = \frac{1}{T_F S + 1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに T_F は熱伝達および燃焼を包含した時定数である。また $(V_1 - V_2)$ と P_1 との間のプロセスは

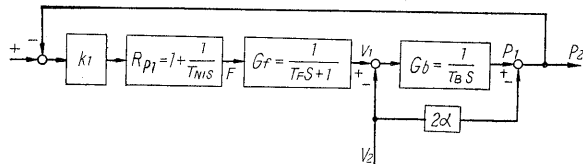
$$G_b(S) = \frac{P_1}{V_1 - V_2} = \frac{1}{T_B S} \quad \dots\dots\dots(5)$$

T_B は蓄熱時定数であり、種々な研究者により研究されてきたが、著者は近似を行わない一般式を導いた⁽³⁾。この T_F と T_B との比は動特性に関する重要なパラメータである。

$$\frac{T_F}{T_B} = \frac{1}{\rho} \quad \dots\dots\dots(6)$$

1. 第I部—圧力信号のみによる制御

制御ブロック線図を第2図に示す。(1)式より微小変化したときは



第2図 圧力信号のみによる制御

Fig. 2. Control by pressure signal only

$$p_{20} + \Delta p_2 = p_{10} + \Delta p_1 - \xi^2 (v_{20} + \Delta v_2)^2$$

であり、二次の微小量が無視すれば

$$P_2 = P_1 - 2\alpha V_2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

圧力調節器として PI を用いると

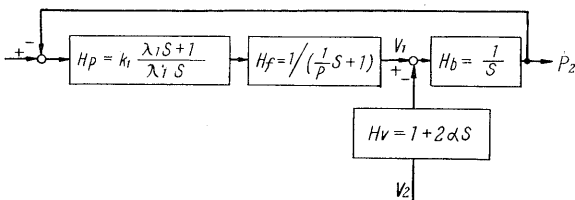
$$k_1 R_{p1} = k_1 \left(1 + \frac{1}{T_{N1} S} \right) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{\text{実時間 } t}{T_B} = \tau, \quad \frac{T_{N1}}{T_B} = \lambda_1, \quad \frac{d}{dt} = s \quad \dots\dots\dots(9)$$

とおけば第2図の $k_1 R_{p1}$, G_f および G_b はそれぞれ

$$H_p = k_1 \frac{\lambda_1 s + 1}{\lambda_1 s}, \quad H_f = \frac{1}{\left(\frac{1}{\rho} s + 1 \right)},$$

$$H_b = \frac{1}{s} \quad \dots\dots\dots(10)$$



第3図 第2図の無次元化

Fig. 3. Non linearization of Fig. 2

第2図を第3図に書きかえた。ここに

$$H_v = 1 + 2\alpha s \quad \dots\dots\dots(11)$$

第3図より

$$P_2(S) = -V_2(s) H_v(s) \frac{H_b(s)}{1 + H_p(s) H_f(s) H_b(s)} \quad \dots\dots\dots(12)$$

v_2 が αv_{20} だけ階段的に減少した時は

$$P_2(s) = \alpha \rho \frac{(2\alpha s + 1) \left(\frac{1}{\rho} s + 1 \right)}{s^3 + \rho s^2 + k_1 \rho s + k_1 \frac{\rho}{\lambda_1}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

k_1 と λ_1 のある組み合わせに対しては (13) 式は

$$P_2(S) = \alpha \rho \frac{(2\alpha s + 1) \left(\frac{1}{\rho} s + 1 \right)}{(s + A_1)(s^2 + 2\zeta_1 \omega_1 s + \omega_1^2)} \quad \dots\dots\dots(14)$$

(14) 式を τ の関数に変換すれば

$$P_2(\tau) = 2\alpha \alpha e^{-A_1 \tau} + \alpha \rho \frac{D_1 D_2}{\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1 D_3} \{ -e^{-A_1 \tau} \sin \phi + e^{-\zeta_1 \omega_1 \tau} \sin(\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1 \tau + \phi) \} \dots\dots\dots(15)$$

$A_1, \zeta_1, \omega_1, D_1, D_2, D_3$ および ϕ は次の式より求まる。

$$\left. \begin{aligned} 2\zeta_1 \omega_1 + A_1 &= \rho, & \omega_1^2 + 2\zeta_1 \omega_1 A_1 &= k_1 \rho, \\ \omega_1^2 A_1 &= k_1 \frac{\rho}{\lambda_1}, \\ D_1 &= \sqrt{1 - 4\zeta_1(\alpha \omega_1) + 4(\alpha \omega_1)^2}, \\ D_2 &= \sqrt{1 - \frac{2\zeta_1 \omega_1}{\rho} + \frac{\omega_1^2}{\rho^2}}, \\ D_3 &= \sqrt{\omega_1^2 - 2\zeta_1 \omega_1 A_1 + A_1^2} \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{2\alpha \sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1}{1 - 2\alpha \zeta_1 \omega_1} \\ &+ \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1}{\rho - \zeta_1 \omega_1} + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1}{\zeta_1 \omega_1 - A_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

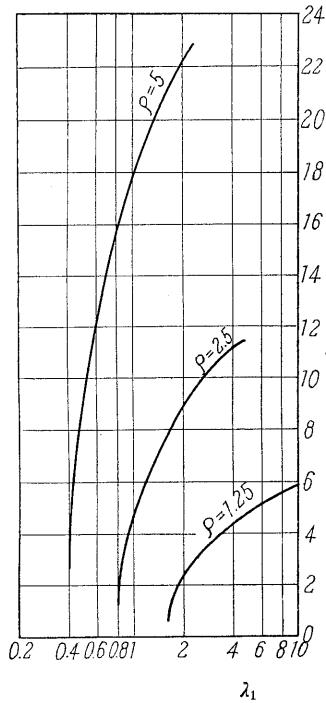
25% 減衰のためには $\zeta_1 = 0.215$ とおけばよい。(16)式において ρ を与えれば $\zeta_1 = 0.215$ を満足する k_1 と λ_1 は第4図の曲線上の値ならばいかなる組み合わせでもよいことがわかる。

2. 第I部における k_1, λ_1 のえらび方

階段状負荷変化に対する主蒸気管の圧力変化のありさまは、(15)式であらわされるが、これを書き直すと

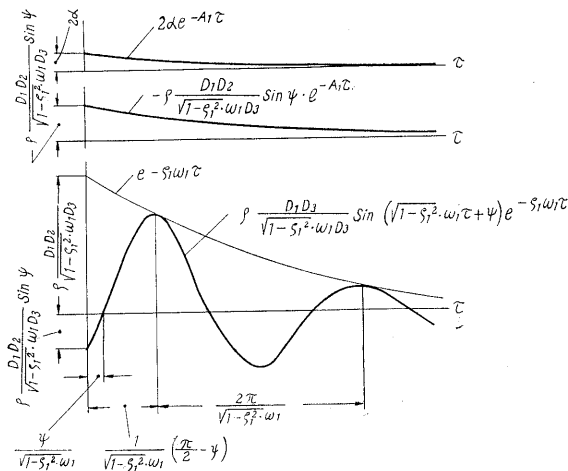
$$\left. \begin{aligned} \frac{P_2(\tau)}{\alpha} &= 2\alpha e^{-A_1 \tau} \quad \dots\dots\dots \text{第1項} \\ &- \rho \frac{D_1 D_2}{\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1 D_3} \sin \phi e^{-A_1 \tau} \quad \dots\dots\dots \text{第2項} \\ &+ \rho \frac{D_1 D_2}{\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1 D_3} \\ &\quad \times \sin(\sqrt{1 - \zeta_1^2} \omega_1 \tau + \phi) e^{-\zeta_1 \omega_1 \tau} \quad \dots\dots\dots \text{第3項} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

(17)式の第1項、第2項および第3項を第5図の上より

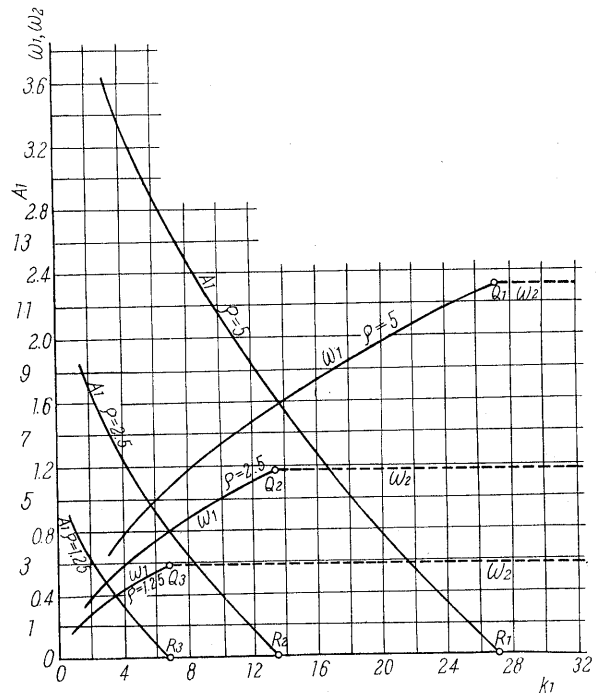


第4図 25%減衰条件
Fig. 4. Condition of 25% damping

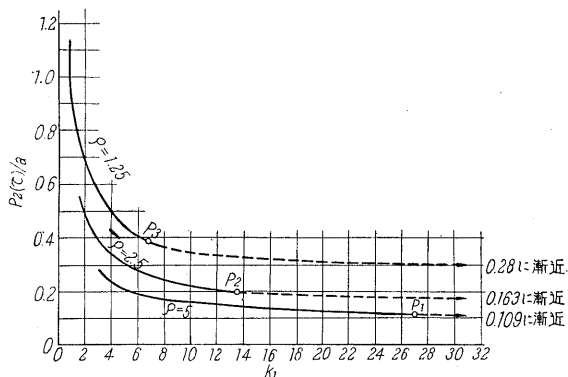
順次示す。また (17) の最大過渡偏差を $\rho=5$, $\rho=2.5$, $\rho=1.25$ に対して $\alpha=0.04$ の場合にえがくと第6図の P_1, P_2, P_3 より左側の左上りの曲線をうる。現用の発電所のボイラの ρ の値は大体この範囲におさまり、また最大過渡偏差は α によってあまり変化しないから、第6図で階段状負荷変化に対する最大圧力偏差の見当をつけることができる。また (16) 式より 25%減衰の条件のもとで $\rho=5, \rho=2.5, \rho=1.25$ に対し A_1 と ω_1 とを上と同じく $\alpha=0.04$ の場合に対して計算すると第7図をうる。図中 ω_1 は Q_1, Q_2 および Q_3 より左側の左下りの曲線である。



第5図 階段状負荷変化に対する過渡応答(第1部)
Fig. 5. Transient response for step change of load



第7図 k_1 と ω_1, ω_2, A_1 の関係
Fig. 7. Relation between ω_1, ω_2, A_1 and k_1



第6図 階段状負荷変化に対する最大圧力偏差
Fig. 6. Maximum pressure deviation for step change of load

第5, 第6および第7図より

- 1) k_1 を増すと最大過渡偏差は小さくなる。
 - 2) 一定の k_1 に対する最大過渡偏差は ρ の小さいほど大きい。
 - 3) k_1 を大きくするにつれて最大過渡偏差の小さくなる割合は ρ の小さいほど大きい。
 - 4) k_1 を大きくするにつれて ω_1 は大きくなる。
 - 5) 一定の k_1 に対する ω_1 は ρ の小さいほど小さい。
 - 6) k_1 を大きくするにつれて A_1 は小さくなる。つまり (17) 式の第1項および第2項の減衰は悪くなる。
 - 7) 一定の k_1 に対する A_1 は ρ の小さいほど小さい。
- このようにパラメータ ρ は制御特性に大きい影響がある。最近のボイラはボイラ中の保有水が単位時間の蒸発

量に比べて次第に小さくなったので T_B が小さくなり $\rho = T_B/T_F$ が次第に小さくなり制御性が悪くなりつつある。これに伴う制御性の悪化を改善する方法は

- (1) ボイラ製作者側では熱伝達特性のよいボイラを設計し T_F を小さくすることにより ρ を大きくする。
- (2) 制御装置で考えるべき点は多々あるが、その中で重要なものは各種の信号伝達、計測器の応答速度、調節器の立ち上り速度を大きくすることである。⁽⁶⁾

最大過渡偏差を小さくしたい時は上記の 3) により k_1 を大きくすればよいが、一方 k_1 の増大とともに、上述の (6) により A_1 が小さくなり、減衰がかんまんになる欠点を生じる。 k_1 を大きくしていった極限が P 制御となる。

そこで以上の種々な観点を総合して

- (1) 最大過渡偏差を小さくすることが要求された場合は、第 4 図上でなるべく k_1, λ_1 の大きい値をえらぶ。なお同時に考えなければならないことは、これらの値が手持ちの調節器で取りうる範囲にはいなければならないことである。
- (2) 与えられた外乱の大きさに対し、要求される最大過渡偏差の大きさが制限される場合は第 6 図より必要な k_1 を求める。
- (3) 振動の中心値があまり長く零にならぬことを望まないときは、あまり k_1 を大きくすることはできない。中心値減衰の大きさは (17) 式の第 1 および第 2 項の和で表わされ、それは A_1 できまる。

3. 第 I 部における P 制御

第 I 部において 25% 減衰条件つまり (16) 式で $\zeta_1 \doteq 0.215$ とおいたものあるいは、第 4 図上の λ_1, k_1 の組み合わせにおいて、 k_1, λ_1 を増大してゆけばついに $\lambda_1 \rightarrow \infty, A_1 \rightarrow 0$ の極限が得られる。これが第 I 部における P 制御で、この場合の k_1 は

$$k_1 = \frac{\rho}{(2\zeta_1)^2} \doteq \frac{\rho}{(2 \times 0.215)^2} \doteq 5.41 \rho \dots\dots(18)$$

つまり k_1 は ρ に比例する。第 6 図中の P_1, P_2, P_3 , 第 7 図中の Q_1, Q_2, Q_3 および R_1, R_2, R_3 に対する k_1 は (18) 式の k_1 を示している。この P 制御における過渡偏差は第 I 部の中で最小であり、その値は (17) 式にて $A_1 \rightarrow 0$ とおいて

$$\frac{P_2(\tau)}{a} = 2\alpha - \rho \frac{D_1 D_2}{\sqrt{1-\zeta_1^2} \omega_1 D_3} \sin \phi + \rho \frac{D_1 D_2}{\sqrt{1-\zeta_1^2} \omega_1 D_3} \sin(\sqrt{1-\zeta_1^2} \omega_1 \tau + \phi) e^{-\zeta_1 \omega_1 \tau} \dots(19)$$

また P 制御の条件を (16) 式に入れたものを上の (19) 式

に導入すれば

$$\frac{P_2(\tau)}{a} = \frac{1}{k} + \left(2\alpha - \frac{1}{k_1}\right) e^{-\zeta_1 \omega_1 \tau} \cdot \frac{\sin(\sqrt{1-\zeta_1^2} \omega_1 \tau + \phi)}{\sin \phi} \dots(20)$$

$$\zeta_1 \doteq 0.215$$

また (20) 式の ϕ は

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\left(\frac{\rho}{k_1} - 2\alpha\rho\right) \frac{\sqrt{1-\zeta_1^2}}{\zeta_1}}{\left(\frac{\rho}{k_1} - 2\alpha\rho\right) - 2} \dots(21)$$

$$k_1 = 5.41 \rho, \quad \zeta_1 \doteq 0.215$$

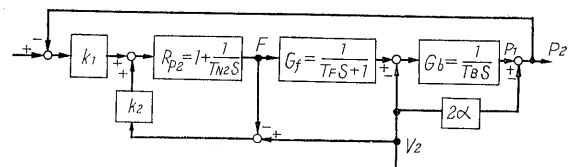
P 制御の場合の $\tau \rightarrow \infty$ におけるオフセットは (20) 式より

$$\left(\frac{P_2(\tau)}{a}\right)_{\tau \rightarrow \infty} = \frac{1}{k_1} = \frac{(2\zeta_1)^2}{\rho} \doteq \frac{1}{5.41 \rho} \dots\dots(22)$$

つまり ρ に逆比例し ρ の大きいほど小さくなる。P 制御では上述のように、最大過渡偏差は最小となるが、(22) 式のオフセットが残る。

4. 第 II 部一圧力信号に供給熱量と負荷との偏差信号を加えた制御

この場合のブロック線図は第 8 図となる。供給熱量 F と負荷 V_2 との偏差 ($V_2 - F$) を調節器に加えている。

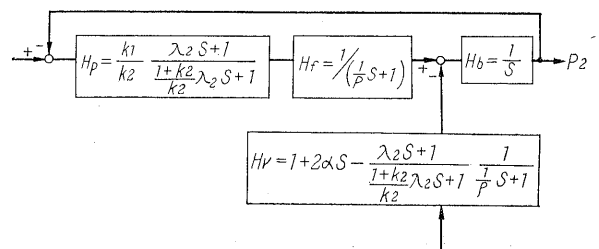


第 8 図 供給熱量と負荷との偏差を加えた制御
Fig. 8. Control by pressure and difference between applied heat and load

この場合、蒸気圧力の偏差信号 P_2 に対する比例ゲインを k_1 、偏差信号 ($V_2 - F$) に対するものを k_2 とし調節動作は PI 形とし積分時間を T_{N2} とし

$$\frac{T_{N2}}{T_B} = \lambda_2 \dots\dots(23)$$

とし、そのほかの量は II. 1. と同じ無次元化を行なえば、第 8 図は第 9 図に書き直せる。



第 9 図 第 8 図の無次元化
Fig. 9. Non linearization of Fig. 8

第 I 部と同様に $V_2(s)$ の変化による $P_2(s)$ の変化は

$$P_2(s) = -V_2(s) H_v(s) \frac{H_b(s)}{1 + H_p(s) H_f(s) H_b(s)} \dots (24)$$

ただしこの H_v, H_p は第 I 部とことなり

$$\left. \begin{aligned} H_v(s) &= 1 + 2\alpha s - \frac{\lambda_2 s + 1}{k_2} \cdot \frac{1}{\lambda_2 s + 1} \cdot \frac{1}{\rho} \frac{1}{s + 1} \\ H_p(s) &= \frac{k_1}{k_2} \frac{\lambda_2 s + 1}{\frac{1 + k_2}{k_2} \lambda_2 s + 1} \end{aligned} \right\} \dots (25)$$

v_2 が av_2 だけ階段状に減少したとき、すなわち $V_2(s) = -a/s$ に対する $P_2(s)$ の応答は

$$P_2(s) = a\rho \frac{k_2}{(1 + k_2)\lambda_2} \cdot \frac{h_1 s^2 + h_2 s + h_3}{s^3 + \gamma_2 s^2 + \gamma_1 s + \gamma_0} \dots (26)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} \gamma_2 &= \frac{(1 + k_2)\lambda_2 \rho + k_2}{(1 + k_2)\lambda_2}, \quad \gamma_1 = \frac{(k_1 \lambda_2 + k_2)\rho}{(1 + k_2)\lambda_2}, \\ \gamma_0 &= \frac{k_1 \rho}{(1 + k_2)\lambda_2}, \quad h_1 = 2\alpha \frac{1 + k_2}{k_2} \frac{\lambda_2}{\rho}, \\ h_2 &= \frac{2\alpha}{\rho} + \frac{1 + k_2}{k_2} \frac{\lambda_2}{\rho} + 2\alpha \frac{1 + k_2}{k_2} \lambda_2, \\ h_3 &= \frac{1}{\rho} + 2\alpha + \frac{\lambda_2}{k_2} \end{aligned} \right\} \dots (27)$$

k_1, k_2, λ_2 のある組み合わせに対して (26) 式は

$$P_2(s) = a\rho \frac{k_2}{(1 + k_2)\lambda_2} \frac{h_1 s^2 + h_2 s + h_3}{(s + A_2)(s^2 + 2\zeta_2 \omega_2 s + \omega_2^2)} \dots (28)$$

これを τ の関数に変換すれば

$$P_2(\tau) = 2a\alpha e^{-A_2 \tau} + B_2 \cdot \{-e^{-A_2 \tau} \sin \phi + e^{-\zeta_2 \omega_2 \tau} \sin(\sqrt{1 - \zeta_2^2} \omega_2 \tau + \phi)\} \dots (29)$$

ここに $A_2, \zeta_2, \omega_2, B_2$ および ϕ は次式より求まる。

$$\left. \begin{aligned} 2\zeta_2 \omega_2 + A_2 &= \gamma_2, \quad \omega_2^2 + 2\zeta_2 \omega_2 A_2 = \gamma_1, \quad \omega_2^2 A_2 = \gamma_0, \\ B_2 &= a\rho \frac{1}{\lambda_2} \frac{k_2}{1 + k_2} \frac{E_1}{\sqrt{1 - \zeta_2^2} \omega_2 E_2} \\ E_1 &= \sqrt{\{h_1(b_2^2 - c_2^2) - h_2 b_2 + h_3\}^2 + \{c_2(h_2 - 2h_1 h_2)\}^2}, \\ E_2 &= \sqrt{(A_2 - b_2)^2 + c_2^2}, \quad b_2 = \zeta_2 \omega_2, \quad c_2 = \sqrt{1 - \zeta_2^2} \omega_2 \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{c_2(h_2 - 2h_1 h_2)}{h_1(b_2^2 - c_2^2) - h_2 b_2 + h_3} + \tan^{-1} \frac{c_2}{b_2 - A_2} \end{aligned} \right\} \dots (30)$$

(29) 式の最終項を 25% 減衰にするためには第 I 部と同様に $\zeta_2 \doteq 0.215$ とおけばよい。

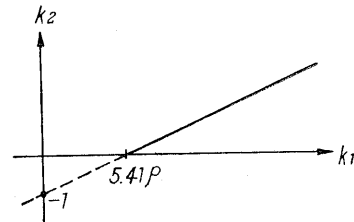
第 II 部の一般的議論は (29) 式と (30) 式で与えられるがその中の P 制御は非常に興味のあるものである。その理由は P 制御ではあるがオフセットを非常に少なくすることができるからである。次節にのべる。

5. 第 II 部における P 制御

(30) 式にて $\lambda_2 \rightarrow \infty$ とおけば P 制御となる。この場合はまた $A_2 \rightarrow 0$ となる。このときは (30) 式より

$$k_2 = \frac{(2\zeta_2)^2}{\rho} k_1 - 1 \doteq \frac{k_1}{5.41\rho} - 1 \dots (31)$$

この関係を第 10 図に示す。この直線上の k_1, k_2 の組み合わせをえらべば 25% 減衰となる。またこの場合の ω_2 は



第 10 図 第 II 部の P 制御における 25% 減衰条件
Fig. 10. Condition of 25% damping for P control of part II

$$\omega_2 = \frac{\rho}{2\zeta_2} \doteq \frac{\rho}{0.43} \dots (32)$$

となる。

つまり ρ がきまれば ω_2 は k_1, k_2 の値に無関係に一定となる。第 7 図において Q_1, Q_2, Q_3 点の右側の点線は第 II 部の P 制御に対するものである。またこの場合の過渡応答 (29) 式は第 I 部の P 制御の (20) (21) 式と同様に

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_2(\tau)}{a} &= \frac{1}{k_1} + \left(2\alpha - \frac{1}{k_1}\right) e^{-\zeta_2 \omega_2 \tau} \cdot \frac{\sin(\sqrt{1 - \zeta_2^2} \omega_2 \tau + \phi)}{\sin \phi} \\ \omega_2 &= \frac{\rho}{2\zeta_2} \doteq \frac{\rho}{0.43} \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{\left(\frac{\rho}{k_1} - 2\alpha\rho\right) \sqrt{1 - \zeta_2^2}}{\left(\frac{\rho}{k_1} - 2\alpha\rho\right) - 2} \end{aligned} \right\} \dots (33)$$

(33) の最大偏差を $\rho = 5, 2.5, 1.25$ について求めると第 6 図の P_1, P_2, P_3 の右側の曲線となる。この場合も $\alpha = 0.04$ を使っているが、この値は α によりあまり変わらない。第 6 図より

- 1) k_1 を増大すると最大過渡偏差は小さくなる。
- 2) 一定の k_1 に対する最大過渡偏差は ρ の小さいほど大きい。
- 3) k_1 を大きくするにつれて最大過渡偏差の小さくなる割合は ρ の小さいほど大きい。
- 4) k_1 をかえても ω_2 は変わらない。そのため k_1 をかえても減衰の割合 $e^{-\zeta_2 \omega_2 \tau}$ は変わらない。

そこで k_1 のえらび方は

- (1) 最大過渡偏差を小さくすることが要求された場合はなるべく大きい k_1, k_2 を第 10 図上でえらぶ。

しかし第6図でわかるように k_1 を大きくしても、最大過渡偏差の大きさはあまり小さくならない。

- (2) オフセットが制限された場合は (3) 式よりその値が a/k_1 になるから、この点から k_1 をえらぶ
このことは (3) 式において

$$\left(\frac{P_2(\tau)}{a}\right)_{\tau \rightarrow \infty} = \frac{1}{k_1} \quad \therefore P_2(\tau)_{\tau \rightarrow \infty} = \frac{a}{k_1} \dots\dots(34)$$

からわかる。

- (3) (1) (2) のようにして選んだ k_1, k_2 が調節器、検出部などでとり得ないときはとりうる範囲に制限されることはもちろんである。⁽⁷⁾

第I部のP制御においても第II部のP制御においてもオフセットは a/k_1 で与えられるが、第I部においてはその値は(8)式で示すように 5.41ρ であるのに対して、第II部では第10図より明らかなように、理論的には第10図の直線に沿って k_1, k_2 はいかほどでも大きな値を取り得ること、したがってオフセット a/k_1 をP制御ではあるがいかに小さくできることが、この制御が第I部のP制御にまさる最も大きな特長である。

III. む す び

第I部においては

- 1) k_1, λ_1 は第4図に示す曲線上を大きな値をとるほど最大過渡偏差は小さくなる。しかし調節器および操作端などでとりうる値以内に制限されることはもちろんである。⁽⁸⁾
- 2) k_1, λ_1 を大きくとれば、(1)項に記した利点のある反面、振動の中心値の減衰が悪くなる。その模様は第7図の A_1 曲線よりわかる。
- 3) k_1, λ_1 を大きくすれば過渡応答の振動数 $\omega_1/2\pi$ が増す、この模様は第7図の ω_1 曲線よりわかる。

第II部においては、P制御についてのべると、

- 1) k_1, k_2 を第10図の直線上でいかに大きくとっても、理論的には25%減衰条件が満足される。しかし実際には調節器、操作端などのとり得る範囲で制限される。
- 2) k_1, k_2 を大きくしても最大過渡偏差はあまり小さくならない。

- 3) k_1, k_2 を大きくすれば、オフセットは a/k_1 によって表わされる値に減少する。第I部においては $k_1 = 5.41\rho$ に制限されるのに対し、第II部ではこの制限がないため、P制御としても、いかほどでもオフセットを小さくできる利点がある。

なお今日建設されるボイラでは $\rho = 5 \sim 1.25$ 程度のものが多いため各種図表は $\rho = 5, 2.5, 1$ の三種のパラメータについて取り扱った。

なお旧形のボイラにおいては $\rho > 5$ のものもあるが、このようなものは非常に制御しやすく、負荷変動に対する圧力変動も非常に小さいので、制御上あまり問題にならないのが普通である。

所要条件を第I部で満足し得るときは第I部を用い、第II部でなければ満足し得ないときは第II部を用いることはもちろんである。

参考文献および注

- (1) この方式にはボイラ胴圧力を検出する場合と、主蒸気管の圧力降下を利用してボイラ胴圧力を一定にする場合(下記)とある。
M. Yoshie : Proc. 8th Japan Nat. Congr. Applied Mech. 1958 (1959), 435
- (2) 吉江：日本機械学会論文集, 25, 159, (昭34.11); 1243
- (3) 吉江：蒸気発生部の蓄熱容量の一計算法
日本機械学会論文集, 26, 165,
- (4) 実時間の $\frac{d}{dt} = S$; 無次元時間の $\frac{d}{d\tau} = s$ で表わした。
- (5) 振動周期は $2\pi/(\sqrt{1-\zeta_1^2}\omega_1)$ となるから、振幅比を0.25とおけば $e^{-\zeta_1 2\pi/\sqrt{1-\zeta_1^2}} = 0.25$, これを解けば $\zeta_1 = 0.215$
- (6) 第2図においては制御の本質を追求する目的のため制御装置を理想化してかき、各種信号の伝達おくれ、計測器の応答速度および調節器の立ち上り速度などは省略してあるが、実際のものにはこれ等が存在し、これらの値はその装置の優劣判断の一資料となるものである。
- (7) 測定器信号変換器、調節器、操作端の全部のゲインを掛け合わせたものを一個所にまとめて k_1, k_2 と表わしている。その内調節器と操作端のゲインが一般に可変である。ある種の信号変換器はゲイン可調整になっている。
- (8) この k_1, λ_1 のうち k_1 については、注(7)と同様に考える。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。