

V-28 アナログ型計算機による サージタンク水位の計算について

電力中央研究所 正員 是 枝 忍

1)概要 最近、サージタンクを有する水力発電所のAFC運用に関する問題が多く、その検討に電子管式アナログコンピューターが利用される傾向にあるので、これ迄の10数地英のサージタンク計算経験と基に、簡単な紹介とすることにした。電子管式アナコンでは、計算上の物理量として電圧を用い、要素としては、増巾器、ポテンシオメーター、非線型要素等で、それらを組合わせて計算する。特徴は、線型、非線型の微分方程式と解くに便利であるから、サージタンク計算には相当利用でき、特にパラメータの変化による応答を求めるのに最も適している。しかし、数値上の問題としては、数%の誤差を生じるので、精度を要する計算には、不満足である。計算上の一般的な注意事項は次のようである。

- 1.なるべく増巾器を少く、簡略化できる所はして、累積誤差を避ける。
- 2.微分演算器を避け、積分演算器と使用できるように式を変換する。
- 3.計算には、変化量とすべて(初期値からの変化分)/(基準値)として無次元化し、初期値として、定常状態を選ぶ。(例: $Q/Q_0 = \Delta Q/Q_0 = \delta$, 水位その他も同様に表わす。)
- 4.計算電圧の中をなるべく大きくし、全回路に亘ってバランスがとれるように組む。

2)単動型サージタンクによる基本的な説明 サージタンク、図-1のサージタンクについての基本式と、次のように変換していく。

一般に用いられる運動方程式と連続方程式は
$$\begin{cases} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{L} (Z F \alpha v^2) \\ \frac{dZ}{dt} = \frac{F}{A} (C - v) \end{cases} \quad (1)$$

これを図-1の記号により書き直す。

$$\begin{cases} \frac{1}{g f} \frac{dQ}{dt} + \frac{\alpha}{f^2} Q |Q| = -H \\ Q = Q_s + Q_w \\ Q_s = F \frac{dH}{dt} \end{cases} \quad (2) \quad \begin{cases} \frac{L}{g f} \frac{d(Q_i + \Delta Q)}{dt} + \frac{\alpha}{f^2} (Q_i + \Delta Q) |Q_i + \Delta Q| = -(H_i + \Delta H) \\ Q_i + \Delta Q = Q_{si} + \Delta Q_s + Q_{wi} + \Delta Q_w \\ Q_{si} + \Delta Q_s = F \frac{d(H_i + \Delta H)}{dt} \end{cases}$$

ここで初期条件として定常状態を選ぶから $-H_i = \frac{\alpha}{f^2} Q_i^2$, $Q_i = Q_{wi}$, $Q_{si} = 0$ で、 $\delta_i = \frac{Q_i}{Q_0}$ とすると

$$\begin{cases} \frac{1}{g f} \frac{dQ}{dt} + \frac{\alpha}{f^2} Q |Q| = -H \\ \delta = \delta_s + \delta_w \\ \delta_s = \frac{F H_0}{Q_0} \frac{d\delta}{dt} \end{cases} \quad \begin{cases} T_v \frac{d\delta}{dt} + K_c [(\delta_i + \delta) \delta_i + \delta_i - \delta_i^2] = -h \\ \delta = \delta_s + \delta_w \\ \delta_s = T_s \frac{d\delta}{dt} \end{cases} \quad (3)$$

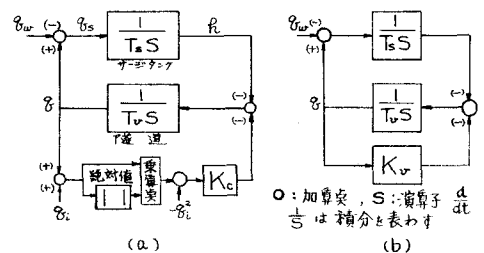
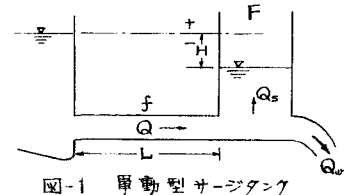
さらにこれを積分方程式の形に直す。積分常数は0になるから

$$\begin{cases} \delta = \frac{1}{T_v} \int [-h - K_c [(\delta_i + \delta) \delta_i + \delta_i - \delta_i^2]] dt \\ \delta = \delta_s + \delta_w, \quad h = \frac{1}{T_s} \int \delta_s dt \end{cases} \quad (4)$$

となる。これをブロック線図に書けば、図-2(a)となる。簡単のため、隧道損失を線型化して考えると

$$\frac{1}{g f} \frac{dQ}{dt} + \frac{\alpha}{f^2} Q_i^2 + \frac{\alpha'}{f^2} \Delta Q = -(H_i + \Delta H)$$

ただし、 α' は隧道損失を線型化した時の係数で、これを合理的に選ぶことにより、かなり正確な計算をすることができ、(2)、(3)式と同様にして



$$\frac{L}{g f H_0} \frac{dQ}{dt} + \frac{\alpha' Q_0}{f H_0} Q = -h \quad \therefore T_r \frac{dQ}{dt} + K_v Q = -h \quad \cdots (3)$$

(a)と同様にブロック線図を書けば、図-2(b)となる。

以下の説明は、簡単のため、線型化した場合を用いる。
 実際の計算には基準電圧と例えば50 voltにとり、 Q_w の値を電圧に換算し、入力として与え、各所の応答をレコーダーに記録させて読みとる。

3) 応用例

i. 差動型サージタンク (図-3, 図-4 に示した。)

$$\begin{cases} \frac{L}{g f} \frac{dQ}{dt} = -H_r - h_Q \\ Q = Q_t + Q_r + Q_w \\ F_r \frac{dH_r}{dt} = Q_r - Q_u \\ F_t \frac{dH_t}{dt} = Q_t + Q_u \\ Q_t = \pm \delta \sqrt{|H_r - H_t|} \\ Q_u = \delta (H_r - H_a)^{\frac{3}{2}} \text{ or } -\delta (H_t - H_a)^{\frac{3}{2}} \text{ etc.} \end{cases} \quad \begin{cases} T_r \frac{dQ}{dt} + K_v Q = -h_r \\ Q = Q_t + Q_r + Q_w \\ T_r \frac{dH_r}{dt} = Q_r - Q_u \\ T_t \frac{dH_t}{dt} = Q_t + Q_u \\ Q_t = \pm K_t \sqrt{|h_r - h_t|} \\ Q_u = K_u (h_r - h_a) \text{ etc.} \end{cases}$$

この中で、越流量に関しては、上記の式を用い、さらにそれを線型化しても實際上差支えないと思われる。

ii. 複雑なサージタンクの場合 例として、図-5 の場合ととり、ブロック線図に示せば、図-6 となる。

$$\begin{cases} \frac{L_1}{g f} \frac{dQ_1}{dt} = -H_r - h_1 Q_1 \\ Q_1 + Q_3 = Q_t + Q_r + Q_w \\ F_r \frac{dH_r}{dt} = Q_r - Q_{ur} \\ F_t \frac{dH_t}{dt} = Q_t + Q_{ur} \\ \frac{L_2}{g f} \frac{dQ_2}{dt} = -H - h_2 Q_2 \\ Q_2 = Q_5 + Q_3 \\ F \frac{dH}{dt} = Q_5 - Q_u \\ \frac{L_3}{g f} \frac{dQ_3}{dt} = -(H_r - H) - h_3 Q_3 \\ Q_t = \pm \delta \sqrt{|H_r - H_t|} \\ Q_{ur} = \delta_a (H_r - H_a)^{\frac{3}{2}} \\ Q_u = \delta_b (H - H_b)^{\frac{3}{2}} \end{cases} \quad \begin{cases} T_r \frac{dQ}{dt} + K_v Q_1 = -h_r \\ Q_1 + Q_3 = Q_t + Q_r + Q_w \\ T_r \frac{dH_r}{dt} = Q_r - Q_{ur} \\ T_t \frac{dH_t}{dt} = Q_t + Q_{ur} \\ T_{v2} \frac{dQ_2}{dt} + K_{v2} Q_2 = -h \\ Q_2 = Q_5 + Q_3 \\ T_s \frac{dH}{dt} = Q_5 - Q_u \\ T_{v3} \frac{dQ_3}{dt} + K_{v3} Q_3 = -(h_r - h) \\ Q_t = \pm K_t \sqrt{|h_r - h_t|} \\ Q_{ur} = K_{ur} (h_r - h_a)^{\frac{3}{2}} \\ Q_u = K_u (h - h_b)^{\frac{3}{2}} \end{cases}$$

i, ii では、越流量等故意に異なった書き方をしたが、

実際の計算では、図-4 の計算法を用いる方が良い。

なおこの他、さらに複雑なものは、小容量調整池を挟む、接続した2調整用発電所のサージタンクおよび、調整池水位制御装置の運用等に関する計算も行なっているが、他の機会にゆずることにする。

これ等の計算には、当研究所第1部 尾出和也氏の御援助に負う所が大である。附記して謝意を表したい。

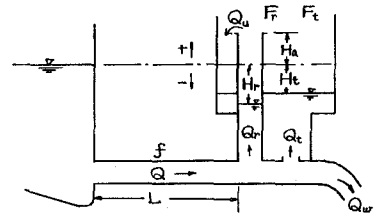


図-3 差動型サージタンク

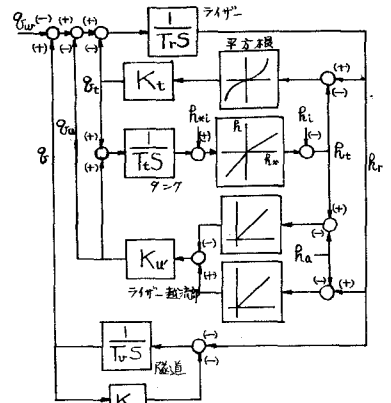


図-4 差動型サージタンクアコンブロック線図

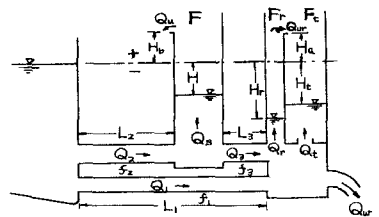


図-5 複雑なサージタンク

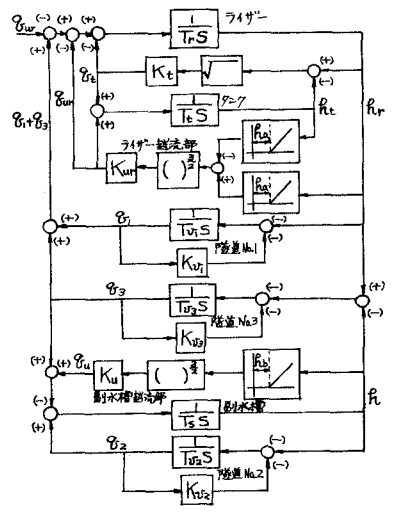


図-6 複雑なサージタンクアコンブロック線図