

1. まえがき 本論は、第10回水理講演会において発表した同題の論文¹⁾の続編で、以下(3)、(4)、…と機会ある毎に公表したい。

2. G. Evangelisti の研究 (1950年) Evangelisti は、Calame-Gaden 以来長い間無視されてきた電気機械系の各要素の遅れを考え、単独運転時の安定判別の一般公式を初めて導いた。(こゝでは、一般公式は煩雑のため省略する²⁾)

Evangelisti は、この一般公式が Heimbach 発電所における試験および Scimemi による一連の試験の両結果を旨く説明するのではないかと考えた。

Jaeger の評論³⁾では、Evangelisti の研究は殆んど評価されていないが(この理由はよく判らないが)、著者としては、非常に立派な研究であると考えたい。

さて、Evangelisti の考察した自動制御系をブロック線図で表わすと図-1の通りである。^{4), 5)}

図-1 から、Evangelisti の研究成果を簡単に批評すると次の通りである。

- ① 単独運転時の一般公式である
(しかし、無負荷運転時には適用できない)
- ② 水車、発電機の慣性を考えているが、
負荷特性は考えていない*
- (従って、Heimbach 発電所における試験)
{ および Scimemi による一連の試験の }
(両結果を完全には説明できていない)
- ③ 调速機のゲインおよび遅れを考慮している
- ④ 単働型サージタンクの公式である
- ⑤ 水圧管の水の慣性および損失を考慮している
- ⑥ ペルトン型水車を考慮している
- ⑦ 水車の効率変化を無視している*

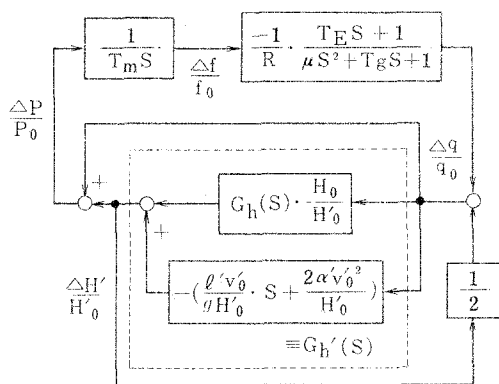


図-1 $T_m \equiv M/P_0$
M: 水車、発電機等の慣性定数
 ℓ', v' および α' : 水圧管の ℓ, v および α
 H' : 水圧管末端の圧力

3. 本間仁-林泰造の研究 (1950年) 本間-林両教授は、サージタンクを有する発電所が唯一の調整発電所である場合について、並列運転時の安定判別の一般公式を導いた。

こゝでも、この一般公式は省略するが⁶⁾、特に、並列の水車、発電機等の回転体群の慣性を新しく考慮に入れた点は高く評価されてよい。

さて、本間-林両教授の考察した自動制御系をブロック線図で表わすと図-2の通りである。⁷⁾

図-2 から、両教授の研究成果を簡単に批評すると次の通りである。

- ① 調整発電所が1箇所の場合の並列運転時の一般公式である

* 一般公式以外では、定数 k_H を導入し、その中に δ と η を考えている ($\eta = \eta(n, q, H)$)

- ②電力系統の回転体群の慣性および負荷特性を考えている
- ③调速機のゲインを考えている
(しかし、调速機の遅れは考えていない)
- ④単働型サージタンクの公式である
- ⑤水圧管の水の慣性および損失を考えている
- ⑥水車の効率変化を無視している

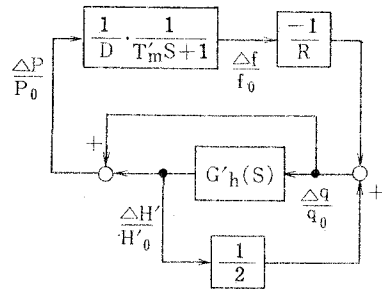


図-2 $T'_m = \sum_{i=1}^n M_i / (DP_0)$
n: 並列の発電機の数

4. 林泰造の研究 (1950年) 林教授は、Calame-Gaden と同様に、トーマの条件では無視された水車効率曲線の傾斜の影響を理論的に考察した。

林教授の研究成果は

$$n > \xi \quad \left\{ \begin{array}{l} \xi \equiv [1 + \{(\partial \eta / \eta) / (\partial H / H)\}_0] / [1 + \{(\partial \eta / \eta) / (\partial q / q)\}_0] \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

で⁸⁾、Calame-Gaden の $\eta = \eta (P, H)$ に対して、 $\eta = \eta (q, H)$ と考えたのが特色である。

さて、林教授の考察した自動制御系をブロック線図で表わすと図-3 の通りである。

図-3 から、林教授の研究成果を簡単に批評すると次の通りである。

- ①Thoma の公式の修正公式である
(単独運転時の公式である)
- ②水車出力一定の仮定である
($9.8 q H \cdot \eta = P (\text{Const.})$)
- ③電気機械系を考えていない
- ④単働型サージタンクの公式である
- ⑤水圧管を無視している
- ⑥水車の効率変化を考えている
($\eta = \eta (q, H)$)

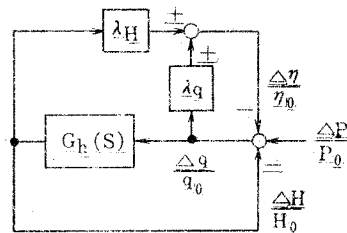


図-3 $\lambda_x \equiv \{(\partial \eta / \eta) / (\partial x / x)\}_0$

5. M. Cuénod-A. Gardel の研究 (1950~4年) Cuénod-Gardel は、固有の電気機械系とは別に、2,3 の電氣的フィードバック回路を新しく付加して考え (図-4)、その影響を理論的に考察した。また、トーマの条件を大巾に満足していないサージタンクについて現地試験を行い、この新方式による安定化の効果を確認した。

Cuénod-Gardel の研究成果は次の3つに分けられる。

a) 理論的研究(1) サージタンク水位を検出して、周波数、或いは、電圧を制御するのであるが、その制御係数が安定に貢献する度合として、⁹⁾

$$n > (1 - k_H) / \{1 + \xi n (1 - B)\} \quad \text{or} \quad k_H \equiv D_f \cdot (\Delta f_{\max} / f_0) / (\Delta H_1 / H_0) \quad \text{or} \quad k_H \equiv D_V \cdot (\Delta V_{\max} / V_0) / (\Delta H_1 / H_0) \quad \dots\dots (2)$$

こゝで、 k_H ：制御係数（負荷の周波数電圧特性を含む）、
 B ：サージングの規準減衰率（時間々隔 $l/(\alpha g v_0)$ の
 振巾変化率）、 D_f^* および D_V ：負荷の周波数および
 電圧の特性定数、 ΔH_1 ：サージタンク水位の検出限界、
 V ：AVRの検出電圧、添字max：許容値

b) 理論的研究(2) a)においては無視された固有の電気機械系の
 影響を考慮して、単独運転時の安定判別の一般式を導いた。

(一般公式は省略する¹⁰⁾)

c) 実験的研究 1951年12月と1952年6月に、Oelberg 発電所
 (表-1) について新制御装置の調整試験を行った。

Cuénod-Gardel は試験の結論として、次のように述べている。¹¹⁾

(i) 制御方式として、 ΔH を検出して電圧を制御する

だけでなく、 Δf によつても電圧を制御すると

効果がさらに大きいこと

(ii) 2つの制御係数 k_H および D_f を適当に調整すると、

単独運転時においても、ライザーの断面 ($n=0.23$)

のみで安定になること (図-5)

(iii) よって、このような新方式を採用すれば、サージ

タンクの断面積が如何に小さくても安定は得られ、

トーマの条件等は、最早必要でないこと

さて、Cuénod-Gardel の考察、或いは、試験した自動制御系
 をブロック線図で表わすと、それぞれ図-6～8の通りである。⁴⁾

図-6～8から、Cuénod-Gardel の研究成果を簡単に批評
 すると、それぞれ次の通りである。

先づ、理論的研究(1)について

① 所要の減衰率を与えるサージタンク断面積を
 求める公式である

(補償のある場合の単独運転時の公式である)

② 補償法として、フィードバック補償のP制御を
 考えている

($\Delta P/P_0 = k_H \cdot (\Delta H/H_0)$)

③ 固有の電気機械系を考えていないが、負荷特性
 のみは k_H の中に考えている

{ しかし、a)の公式は、 D_f 、 D_V の代りに、それぞれ
 $\{ D_f / (1 + R \cdot D_f) \}$ 、 $k_{VL} / (1 + R \cdot D_f) \}$ とするのがよい }

* $D_f \equiv \{ (\partial L/L) / (\partial f/f) \}_0 + \{ (\partial L/L) / (\partial V/V) \}_0 \cdot \{ (dV/V) / (df/f) \}_0 \quad (\equiv k_{fL} + k_{VL} \cdot k_{fV})$

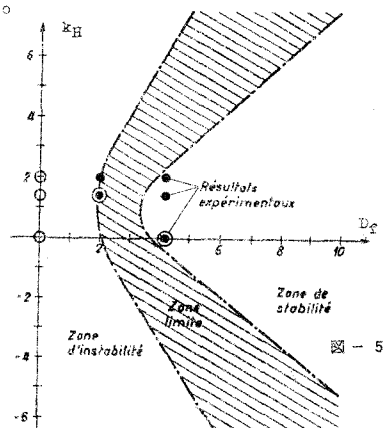
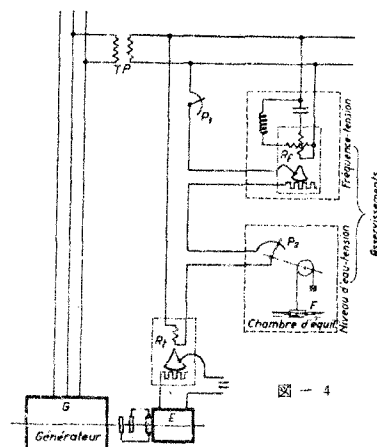


表 - 1

Puissance nominale	7.500 ch
Débit nominal	32 m ³ /S
Chute maximum	20.8 m
Longueur de la galerie d'amenée	270 m
Section de la galerie d'amenée	18.3 m ²
Longueur de la conduite forcée	47 m
Section de la conduite forcée	10.2 m ²
Turbine du type Kaplan, vitesse	256 t/mn
Moment de giration du groupe PD ²	170 t.m ²
Section de la chambre d'équilibre	300 m ²
Section du puits	7 m ²
Section de Thoma	30 m ²

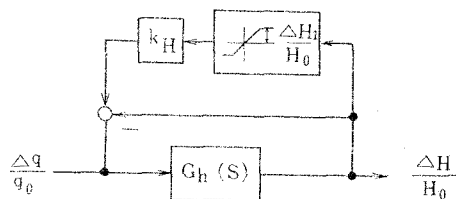


図-6

- ④単働型サージタンクの公式である
- ⑤水圧管を無視している
- ⑥水車の効率変化を無視している

次に、理論的研究(2)について

- ①補償のある場合の単独運転時の一般公式である
(しかし、無負荷運転時には適用できない)
- ②補償法として、フィードバック補償のP制御を
考えている

$$+D_f \cdot (\Delta f / f_0)$$

$$(\Delta \tilde{L} / L_0 = k_H \cdot (\Delta H / H_0) - k_\phi \cdot (\Delta \phi / \phi_0))$$
{しかし、結果的には、フィードバック補償の出力側}
{の挿入位置を正しく考えていない}
- ③固有の電気機械系のゲインおよび遅れを考えている
(しかし、AVR励磁系は考えていない)

- ④単働型サージタンクの公式である
- ⑤水圧管の水の慣性を考えている
(しかし、水の損失は考えていない)
- ⑥水車の効率変化を無視している

最後に、実験的研究について

- ①補償のある場合の単独運転時の試験である
- ②実際の水路系および電力系統を使用している
- ③補償法として、フィードバック補償のP制御を
考えている

$$(\Delta \tilde{V} / V_0 = k_{HV} \cdot (\Delta H / H_0) + k_{fV} \cdot (\Delta f / f_0))$$
- ④外乱入力としてガイドベーン・サーボを考えている

$$(\tilde{\phi} = \phi_0 \pm \Delta \phi)$$
- ⑤単働型サージタンクの試験である

以上考察の通り、Cuénod-Gardel の研究は水路系外部の自動制御系のシンセシス（現代的な解釈をすれば¹²⁾）であつて、この点は高く評価されてよい。

6. 参考文献 1) 村瀬, 第10回水理講演会講演集, 昭41.2. 2) G. Evangelisti, L'Energia Elettrica Vol. 27 N. 5 e 6, 1950. 3) C. Jaeger, Transactions of the ASME B. E., 1960. 4) 村瀬-辻(昭), 発電水力 No 65, 昭38.7. 5) 村瀬, 土木学会西部支部研究発表会論文集(昭和40年度), 昭41.1. 6) 本間(仁)-林(泰), 土木学会論文集 No 5, 昭25.11. 7) 村瀬-辻, 発電水力 No 66, 昭38.9. 8) 林, 土木学会論文集 No 5, 昭25.11. 9) M. Cuénod-A. Gardel, Bulletin Technique de la Suisse Romande No 16, 1950. 10) 同著, Bulletin Technique de la S. R., 1952.7. 11) 同著, La Houille Blanche No 3, 1954. 12) 村瀬, 第9回水理講演会講演集(別冊), 昭40.2.

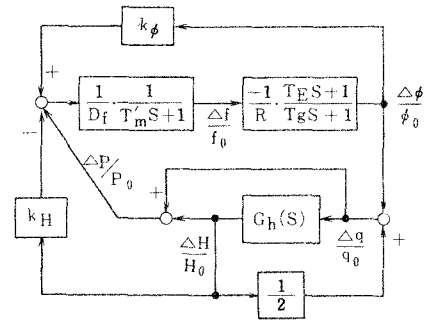


図-7 $k_H = \{D_f / (1 + R \cdot D_f)\} \cdot k_{Hf}$ (周波数調整)
or $= \{k_{VL} / (1 + R \cdot D_f)\} \cdot k_{HV}$ (電圧調整)
 $k_\phi = -\{ \quad \} \cdot k_\phi V$ (")
 $T_m = M / (D_f P_0)$

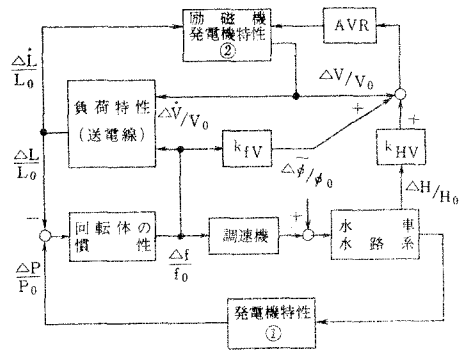


図-8 $\tilde{V}$ および $\tilde{L}$: V および L のベクトル
 V : V の実効値 L : L の有効分