

アナログ計算機による OF ケーブルの過渡油圧計算法

Computing Transient Oil Pressure Phenomenon of Oil Filled Cables
by Analog Computer

星 野 弘 之* 網 野 弘*
Hiroyuki Hoshino Hiroshi Amino

内 容 梗 概

OF ケーブルの過渡油圧計算は従来筆算によって行ってきた。給油区間が長い場合には F. T. -P. T. 給油のように 2 個の給油装置による給油が必要になる。これらの場合給油装置の容量を決定するための過渡油圧計算は非常に複雑となる。給油系統の設計上簡単な過渡油圧計算法の出現が望まれていた。過渡油圧計算上の数学的関係式を検討した結果これらの計算をアナログ計算機で解く方法を考案した。その方法と日立低速度形アナログ計算機によって得た 70 kV, 3×325 mm² OF ケーブルの過渡油圧計算結果を一例として示した。

1. 緒 言

都市地域における電力需要の増大に伴い地中線の電圧がますます高電圧化し最近では大量に OF ケーブルが用いられるようになった。これらの OF ケーブルはかなりの長さを有するため給油系統を油止接続箱で適当な長さに分割している。このような場合 1 給油系統に 2 個の給油装置を用いるのが常である。このような給油系統では過渡油圧の計算が複雑となる。従来では給油装置の容量はかなり大まかな計算から決定していたが、これを高速度で簡単な手数でしかも正確に計算できる方法が望まれていた⁽¹⁾。近年開発された ALS 形日立低速度アナログ計算機を用いてこれらの過渡油圧計算を行う方法を考案して実施したところきわめて好結果をえた。この方法ではケーブルの給油系統長さ、油槽の容量、ケーブルの浸水状態などの各要因が変化した場合でも計算機の係数器の設定を変更するのみでただちに答を求めることができ給油系統設計上きわめて便利である。その計算方式の概要を以下にのべる。

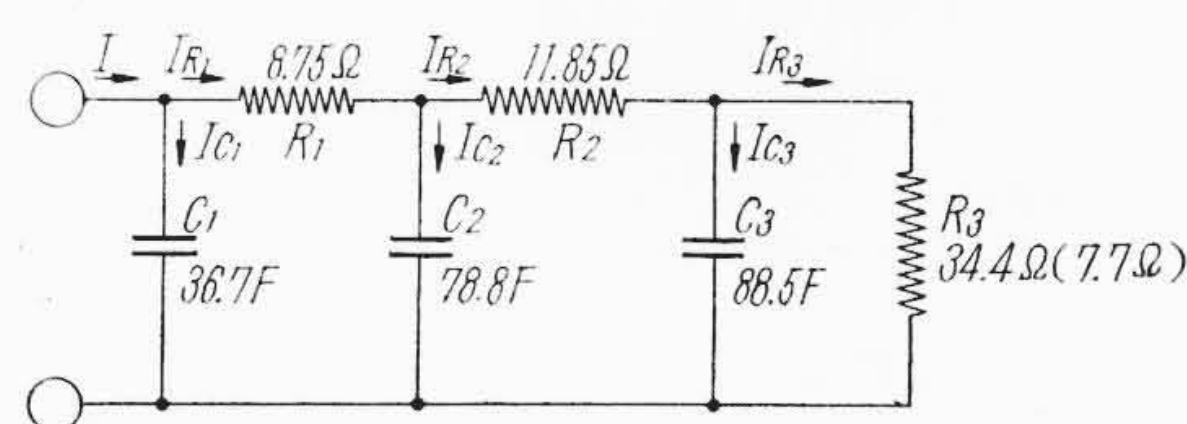
2. アナログ計算機による a, b の算出

ケーブル過渡温度変化の計算は従来行っているように 3 段の CR 回路網に模擬して計算することにする^{(2)~(4)}。この方法で算出した油量変化と実測値が良好な一致を示すことが知られている。第 1 図にその模擬回路を示し、70 kV, 3×325 mm² OF ケーブルの構造から算出した値を一例として示した。括弧内の数値はケーブルが浸水状態の場合であり数値はケーブル 1 cm 当りの熱量、熱抵抗を示している。第 1 図の回路では次のような数学的関係が成立している。

$$\left. \begin{aligned} V_{C1} &= \frac{1}{C_1} \int I_{C1} dt \\ V_{C2} &= \frac{1}{C_2} \int I_{C2} dt \\ V_{C3} &= \frac{1}{C_3} \int I_{C3} dt \\ I_{R1} &= \frac{1}{R_1} (V_{C1} - V_{C2}) \\ I_{R2} &= \frac{1}{R_2} (V_{C2} - V_{C3}) \\ I_{R3} &= \frac{1}{R_3} \times V_{C3} \\ I - I_{R1} &= I_{C1} \\ I_{R1} - I_{R2} &= I_{C2} \\ I_{R2} - I_{R3} &= I_{C3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

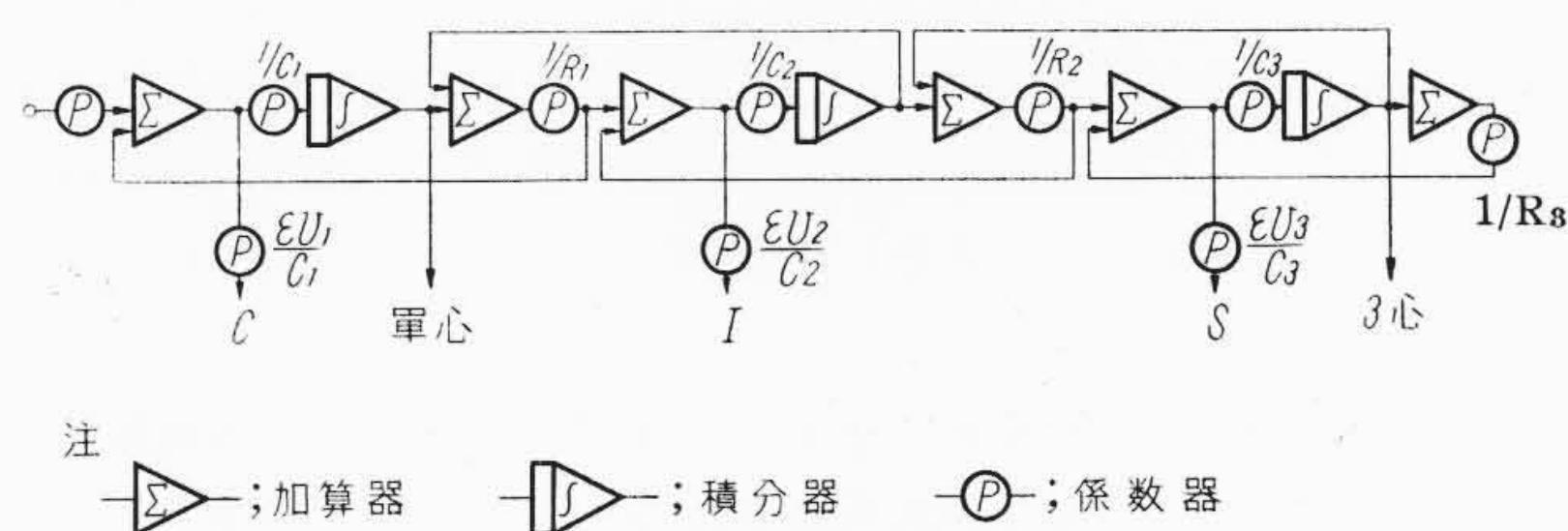
V_{C1} : C_1 の電圧
 V_{C2} : C_2 の電圧
 V_{C3} : C_3 の電圧

* 日立電線株式会社電線工場

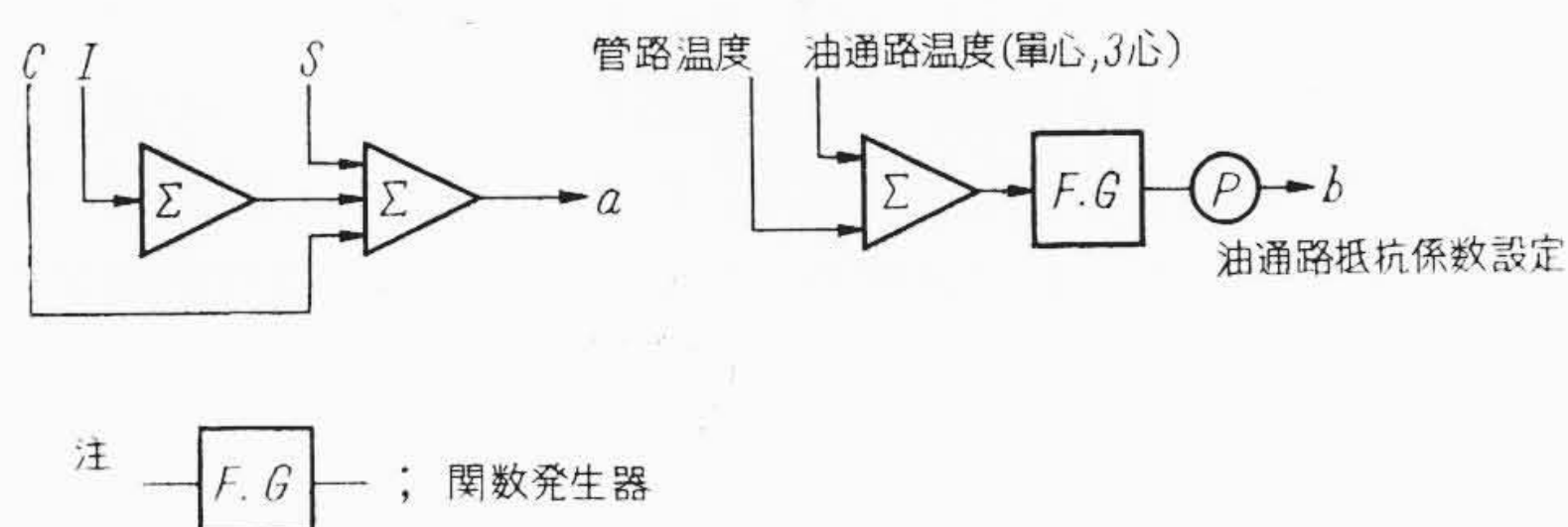


(注) 記入した数値は 70 kV, 3×325 mm² OF ケーブルの場合括弧内は管路が浸水状態の場合を示す

第 1 図 ケーブルの模擬回路



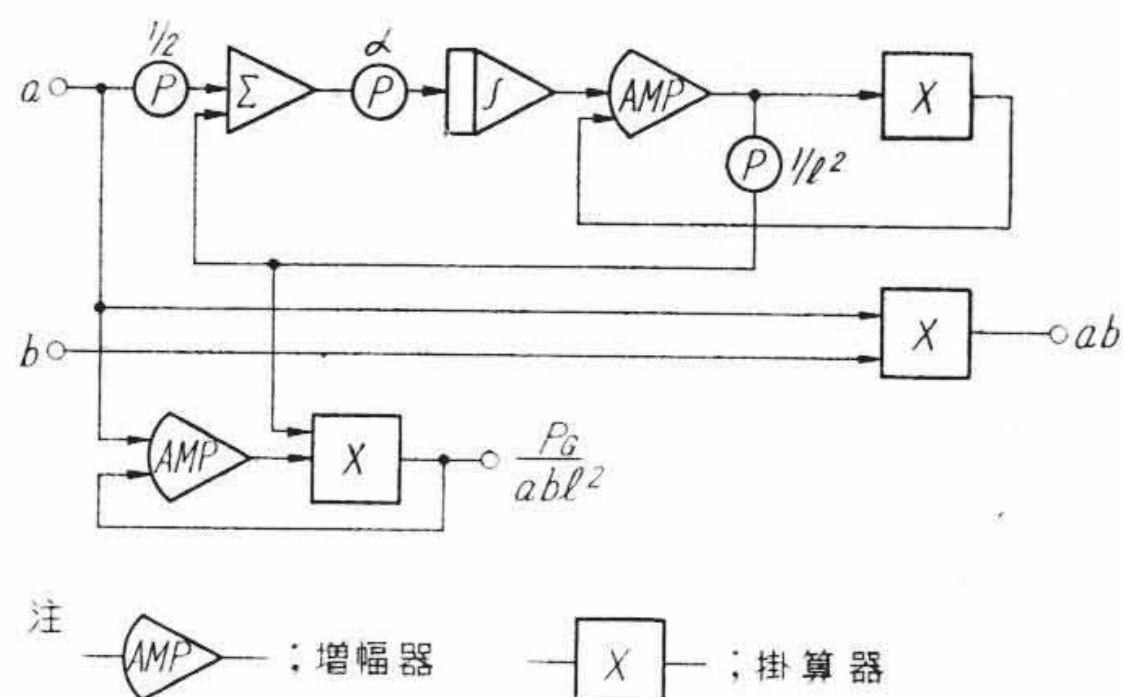
第 2 図 ケーブルの温度変化計算回路



第 3 図 a, b の計算回路

I_{R1}, I_{R2}, I_{R3} : R_1, R_2, R_3 に流れる電流
 I_{C1}, I_{C2}, I_{C3} : C_1, C_2, C_3 に流れる電流
 I : 入力端子に流入する電流

(1) 式を満足するような回路を組立てると第 2 図のようになる。各積分器の出力が V_{C1}, V_{C2}, V_{C3} を示し結局ケーブルの温度上昇に対応する。 V_{C1} は導体、 V_{C2} は絶縁層、 V_{C3} は鉛被の温度を代表する。 a を算出するためには V_{C1}, V_{C2}, V_{C3} を微分しそれに各部に含浸されている絶縁油の体積と膨脹係数を掛け加算すればよい。 V_{C1}, V_{C2}, V_{C3} は積分器であるためその入力側から信号を取出せばよいことになる。それゆえ第 2 図の C 点、I 点、S 点から信号を取出すことにする。 b は油通路の大きさと油の粘度によってきまる。油の粘度は油通路の温度できまるため関数発生器で油粘度を算出し係数器を用いて油通路の大きさできまる抵抗係数を掛ければ b を求めることができる。管路温度は加算器を用いることによって簡単に繰込むこ



第 4 図 F.T.-P.T. 給油系統の模擬回路

とができる。第 3 図に a, b の算出回路を示す。油通路温度は単心ケーブルの場合 V_{C1} , 3 心ケーブルの場合 V_{C3} を使用する。

3. アナログ計算機による過渡油圧計算

F.T. による片端給油の場合には最大の油圧変化は給油区間の F.T. と反対端に生じその値は次式によって計算される⁽⁵⁾。

$$P = \frac{abl^2}{2} \dots\dots\dots (2)$$

P : 油圧変化

l : 給油区間長

P.T. による片端給油の場合には P.T. の油量によって P.T. の油圧が変化するため計算は若干複雑となるが、實際上問題となる負荷遮断時の $(ab)_{\max}$ の現われる時は負荷遮断後短時間であるため P.T. の油圧は静油圧からさほど変化しないため大差がないと考えられる。さらに安全側に結果が出るような簡単な近似計算を行ってもよい。P.T. による両端給油の場合両端の P.T. に高低差が少なければ給油系統を中央から 2 分して P.T. による片端給油として計算してよいと考えられる。

給油系統計算が最も複雑となるのは F.T.-P.T. による両端給油の場合である。この場合給油系統中の油が F.T. および P.T. に流入する割合が時々刻々と変化するため P.T. 端の油圧を計算するためには微少時間内に P.T. に流入する油量を積算しなければならない。P.T. に油が流入することによる P.T. の油圧変化が次の瞬間に P.T. に流入する油量の割合を変化させるためこれらの様子は負き還回路で模擬することができる。P.T. に流入する油量, P.T. の油圧, a, b , ケーブル給油区間長の間には次のような数学的関係⁽⁵⁾がある。

$$\left. \begin{aligned} V &= l \int \left(\frac{a}{2} - \frac{P_g}{bl^2} \right) dt \\ \frac{x}{l} &= \frac{1}{2} + \frac{P_g}{abl^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

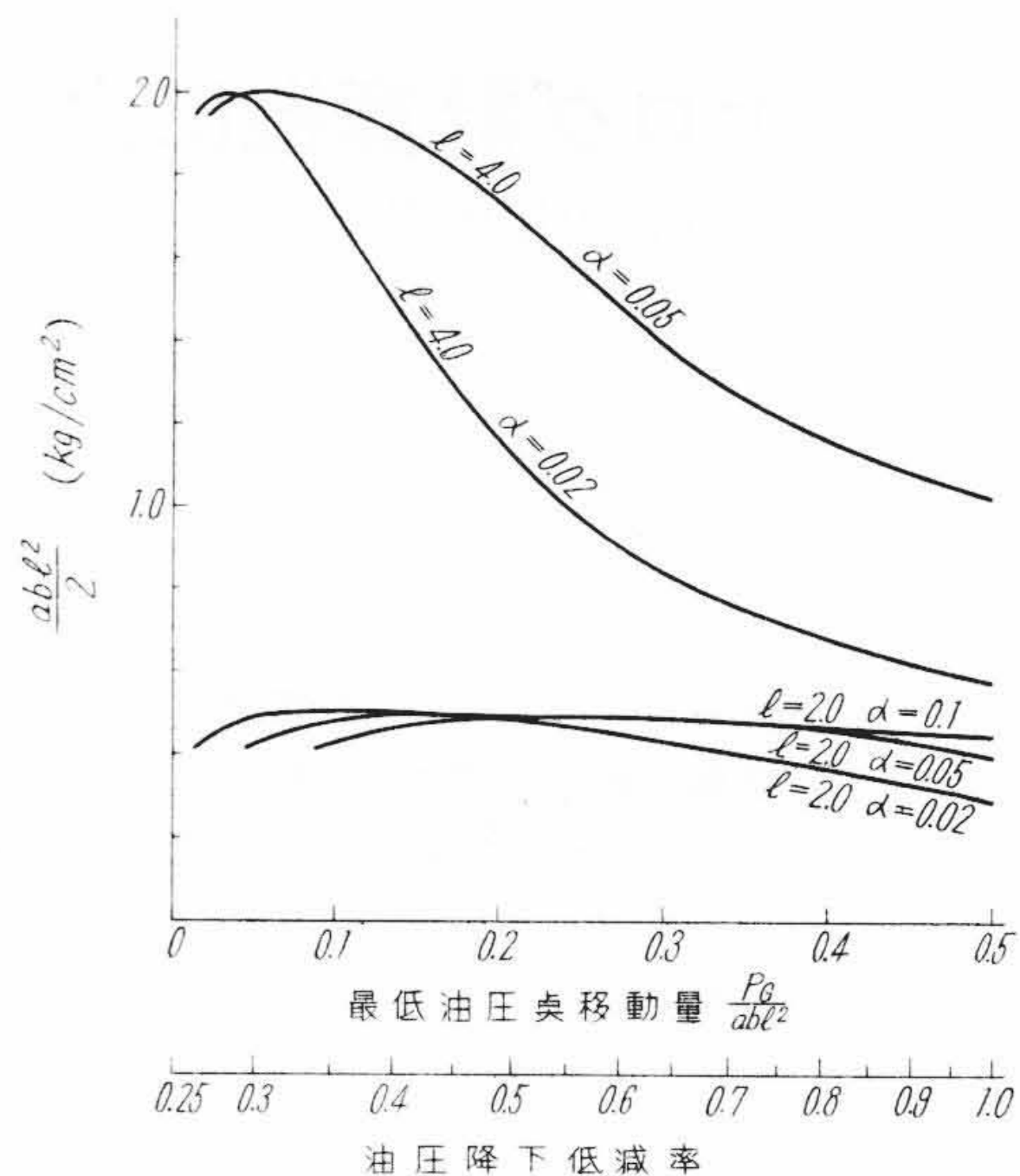
V : P.T. に流入する油量

P_g : P.T. の静油圧からの油圧変化量すなわち F.T. と P.T. との油圧差

l : 給油区間長

x : 給油区間中の最大または最小油圧の生ずる点と F.T. との距離

P_g は V の関数であって P.T. の油圧—油量曲線から与えられる。微少時間 dt に V が変化すると次の P_g が変化する。次の瞬間の P_g はその前の瞬間の V によってきまる。それゆえ負き還回路を構成するためには V を入力として P_g を求める回路が必要である。P.T. は油量—油圧特性がセル数に比例して変化する。それゆえセル数は係数器で設定し P.T. の特性は 1 セルの特性で代表させることが望ましい。しかし筆者はデーター整理の簡略性と計算回路の簡単化をねらって P.T. 特性を直線近似することにした。このようにすることによって負荷遮断時の過渡油圧変化については安全側に解が求めら



第 5 図 非浸水管路における過渡油圧変化

れることになった。直線近似の際の近似は静油圧における P.T. 特性曲線の切線をもって代表する。そのこう配はつぎのようにして計算できる。

$$\left(\frac{dP}{dV} \right)_{P_0} = \frac{P_0^2}{kT} \dots\dots\dots (4)$$

P_0 : 静油圧

k : セルのガス定数

T : P.T. の絶対温度

第 4 図に F.T.-P.T. 給油系統の場合の給油系統の模擬回路を示す。第 4 図の回路を第 2, 3 図の回路と連動させることにより $ab, P_g/abl^2$ を求めることができる。(3)式から明らかなように P_g/abl^2 は最大または最低油圧の現われる点と給油区間の中央との距離に関係があるからただちに最低油圧などを算出することができる。P.T. の特性は(4)式にしたがって直線近似したが同じ係数器にほかの係数も繰込んだため次のような係数を設定して演算する。

$$\alpha = \frac{l}{n} \cdot \frac{P_0^2}{kT} \dots\dots\dots (5)$$

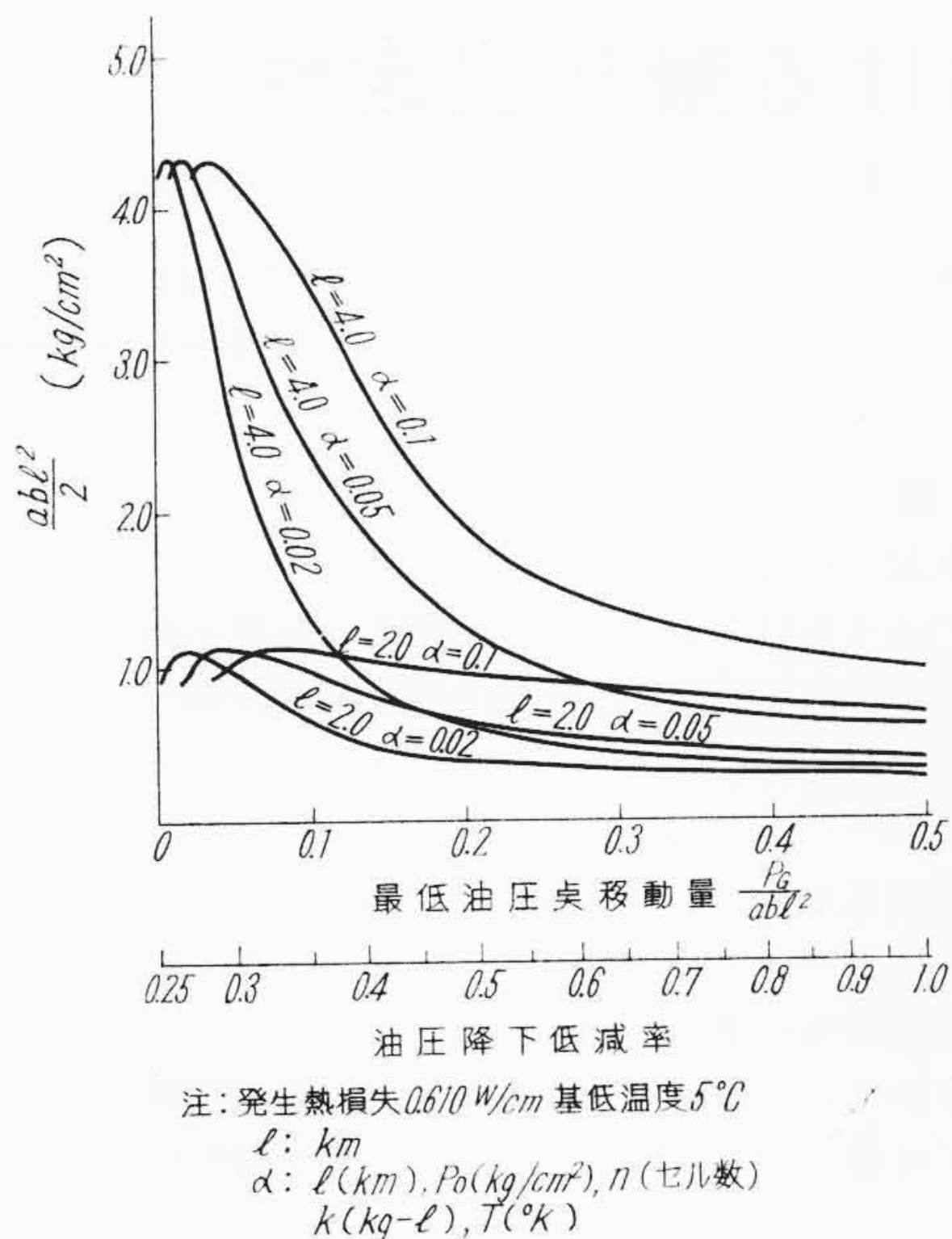
n : P.T. のセル数

過渡油圧計算の際実際に扱われる数値は大小関係がはなはだしく異なり同じ次数とはならないので適当な換算係数を考えてほぼ同一の次数となるようにすることが望ましい。この操作をおこたると大きな誤差を生じたり各演算増幅器に飽和現象が起きるから注意を要する。

4. アナログ計算機による計算結果

計算結果の一例として第 1 図に示した 70 kV, $3 \times 325 \text{ mm}^2$ OF ケーブルについて F.T.-P.T. 給油系統とした場合の負荷遮断時の $abl^2, P_g/abl^2$ を計算した。ケーブル外部の熱的条件の差異によって油圧変化にも大きな差を生ずるから両極端としてケーブルが乾燥した管路にある場合、等価的には気中布設の場合とケーブルの放熱条件の最もよい浸水管路の場合の両条件を選定した。実布設では両条件の中間的な現象を呈することになる。非浸水の場合の計算結果を第 5 図に示す。横軸に P_g/abl^2 をとり縦軸に $abl^2/2$ をとる。負荷遮断時の最大油圧降下は次式⁽⁵⁾で計算される。

$$P = \frac{abl^2}{2} \left(\frac{1}{2} + \frac{P_g}{abl^2} \right)^2 \dots\dots\dots (6)$$



第6図 浸水管路における過渡油圧変化

(6)式に従って第5図の横軸には副尺として(6)式右辺の括弧内の数値を記入した。それゆえ一例として $P_0/abl^2=0.25$ の点における $abl^2/2$ を読みとり副尺の値 0.56 を掛ければ F. T. から給油区間長の $3/4$ だけはなれた点を最低油圧点が通過する時の油圧が計算できることになる。 $P_0/abl^2=0.5$ の時の $abl^2/2$ は P. T. からの給油が終了した瞬間の P_0 を示している。第6図は浸水管路における過渡油圧計算結果である。第5,6図を見ればわかるように P. T. に近い部分での最大油圧降下は必ずしも浸水の場合のほうが大きくなるとは限らない。この理由はかなり複雑な内容をもっている。以下に列記すると

- (1) 浸水時にはケーブルの熱的時定数が小さく a の減衰ははやい。それゆえ時間が経過して最低油圧点が P. T. に近づく頃には a の値が小さくなる。
- (2) 熱放散がよいためケーブルの温度上昇が小さく、したがって油槽からの給油量が少ない。
- (3) 熱放散がよいため油通路温度が低くなる。それゆえ b が大きくなる。

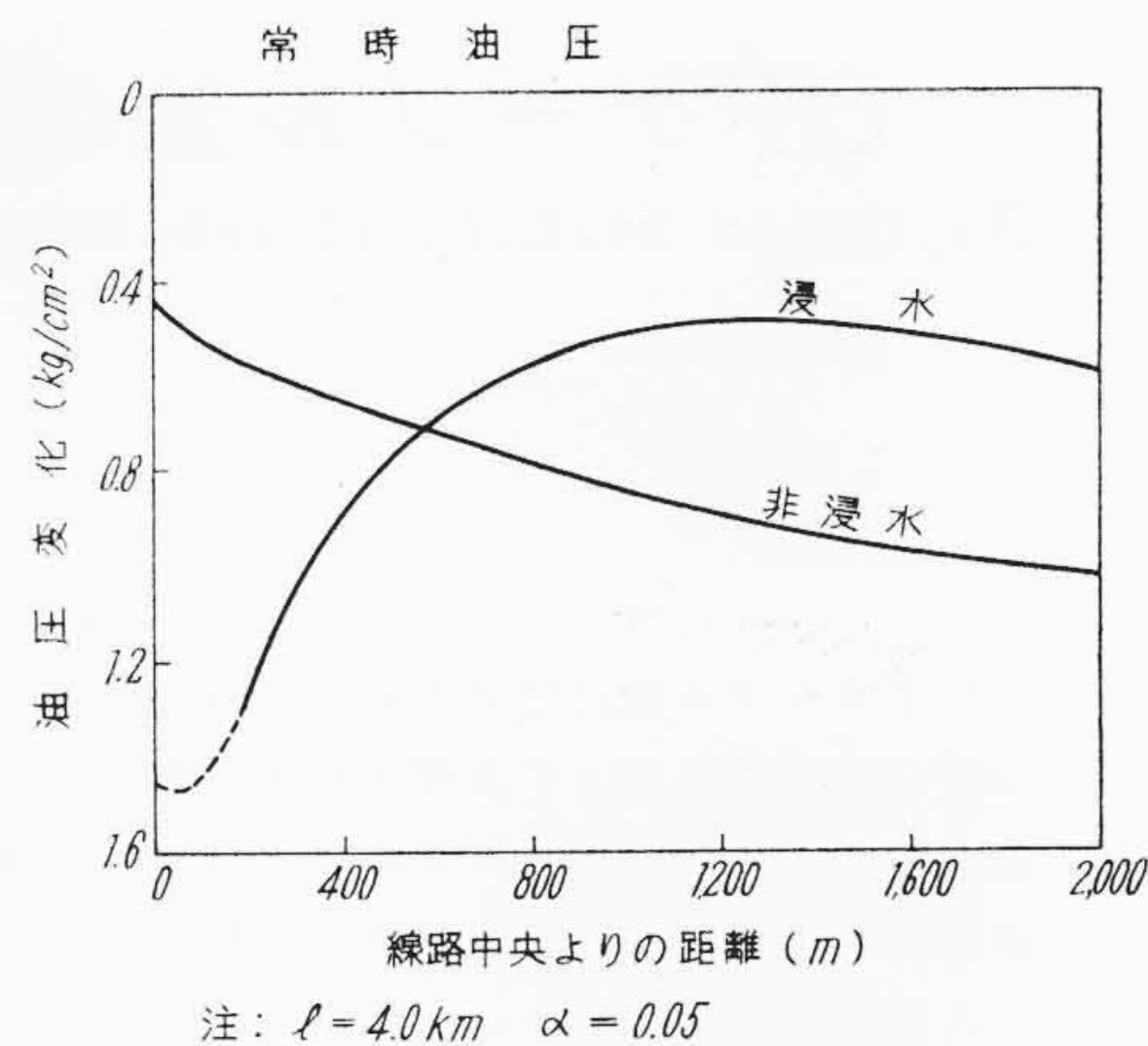
上述の第1,2項と第3項とは相互に相殺し合うが結果的にいって浸水の時のほうが最低油圧点が P. T. に到達する時間が短くなった。それゆえ上述の第1項の効果が大きく影響していることがわかる。

実際の設計に当っては第5,6図によって最低油圧点の位置とその油圧を求め、ケーブル長さ方向の油圧分布を決定する。第7図は最低油圧点の油圧降下量とその位置との関係を示したものである。これらの関係は、任意のケーブル条長および油槽定数について求めることが可能であるから、これと線路の高低図とを対照すれば給油系統の良否の判定を容易に行うことができる。

5. 結 言

以上の諸研究の結果を要約すると次のようなことがいえる。

- (1) アナログ計算機によるOFケーブルの過渡油圧計算法は非常に有用な手段である。F. T.-P. T. 給油系統の場合動作を実時間の $1/100$ 程度に選べばほとんどの場合2分間以内に P. T. の給油が終るようにできる。給油区間長の変更は係数器の設定を変更するのみでよいから簡単に行うことができる。給油区間長を5種類として P. T. のセル数をおのおの3種類程度にとって計算しても高々数時



第7図 最低油圧点の油圧と線路位置の関係

間ですべての結果を求めることができる。

- (2) 第5,6図の結果をみると給油区間長が 4 km 程度のときは P_0 がかなり大きくなる。それゆえ P. T. の特性を直線近似したための誤差が現われる。さらに正確な計算を行いたい場合には関数発生器を用いて P. T. の特性を模擬する必要がある。

- (3) P. T. の特性を模擬しかつ F. T. の設置高さを変更して静油圧を変化させる場合には、遮断時に給油を始める瞬間の P. T. の油圧が変化するため第4図の回路にさらに静油圧の関係を繰込む必要がある。

- (4) 給油系統設計上最終的に必要とされるものは負荷遮断時の油圧降下の非浸水時、浸水時を通じての最大値を給油区間中の各点について求めることである。これを計算するためには給油区間中の指定された点の油圧降下を計算する回路を第4図の回路に付加しその最大値を求める。その測定点を給油区間中にわたって少しずつ移動させて計算を行い、その最大値をそれぞれの位置を横軸にして表示すればよい。このような図表があればケーブル線路の高低図と重ね合わせることによってただちに給油系統の設計を行うことができる。

- (5) アナログ計算機では各部における数学的関係を連立させる計算が容易に行いうる。それゆえ上述のような F. T.-P. T. 給油方式で油槽が両端に置かれた場合に限らずさらに積極的な給油系統の設計ができる。3心OFケーブルでは普通接続部より給油することが可能であるから、線路の中途に給油槽を設置することもあり、これらの設計はさらに複雑な要素が加わるが、この種の問題についてもアナログ計算機を利用することが可能である。

- (6) P. T. による両端給油または油槽相互間に高低差が存在する場合にも定量的な設計を行いうる。

終りに当りアナログ計算機の使用に当り終始ご指導いただいた日立製作所日立研究所小林主任研究員、中央研究所三浦主任、日立電線株式会社電線工場久本、大和両部長、山本、杉山両課長、福田、池田、橋本の各主任にあつくお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 万野：昭和33年電気学会東京支部大会部開講演原稿
- (2) F. O. Wollaton: Trans. A. I. E. E. Pt. II. 1284 (1949)
- (3) J. H. Neher: Trans. A. I. E. E. Pt. II. 1361 (1951)
- (4) F. H. Buller: Trans. A. I. E. E. Pt. I. 45 (1956)
- (5) F. H. Buller: Trans. A. I. E. E. 50 (1931)