研究論文

498. 対数出力ペリオド計時定数設計のための図表と 2,3 の考察

古 川 友 三*

(1968年 7月16日 受 理)

Data Sheets for Designing Time Constants for Log-N Period Meter and Considerations Thereon

By Tomozo FURUKAWA

As measures to determine the performance of log N period meters, use can be made of (a) fluctuations due to statistical data from the detection process, (b) power overshoot due to scram delay, and (c) transient overshoot during a given period. While (a) is related to the time constants by a simple analytical expression, evaluation of (b) and (c) requires numerical calculation. This paper presents convenient formats for data sheets to be used in evaluating the performances (b) and (c) accompanying exponentially increasing power. The parameters are chosen as follows: (a) Inverse period of exponentially increasing power normalized with reference to scram level, (b) time constant of the period meter similarly normalized, and (c) initiating time constant of log N amplifier normalized with reference to period meter time constant. The following behavior has been noted: (a) When the margin of power overshoot is the preponderant factor, evaluation of the transient initiated at a high power is enough, (b) the transient overshoot represented in terms of inverse period has a maximum at a certain period meter time constant. Using these data sheets, the constants, commonly used in reactor instrumentation in Japan have been rescrutized, and proposals presented on the necessity and the possibility of revising them.

I. 緒 言

原子炉核計装における対数出力ペリオド計の時定数設計をする場合に、(1)検出の確率過程によるペリオド計出力のゆらぎ、(2)応答速度(スクラム遅れ)、(3)ペリオド計出力におけるオーバーシュート、などを評価の基準として考慮しなければならないことはよく知られている。また、これらの個々の問題については多くの解析がなされている^{(1)~(6)}。しかし、これらの項目は相互に関連し合っており、また、(2)および(3)は解析的に簡単な形で表現できないので、総合的にこれらの項目を検討することは非常に手数のかかる仕事となる。

(2)および(3)の計算結果が、適当なパラメータを用いて概略値を評価するのに都合のよい図表にまとめてあれば、試行錯誤による時定数設計が容易になり、便利

である。ところが、現在のところ、このような図表は公表されていない。そこで、指数関数入力に対数出力ペリオド計に加わった場合の、対数出力ペリオド計の過渡応答に伴うスクラム遅れと、ペリオド計出力におけるオーバーシュートを、規格化されたパラメータを用いて計算し、設計に便利な図表にまとめた**。また、その結果 2,3 の特徴が見出された。ここに報告して参考に供したい。また、この結果を用いて、現在一般に用いられているペリオド計の時定数、スクラム・レベル

* 北海道大学応用電気研究所(Res. Inst. of Appl. Electricity, Hokkaido Univ.).

** 著者は、日本原子力研究所在職中、半導体化核計装開発グループの一員として、対数出力ペリオド計の過渡応答の計算結果を、時定数設計に利用して有効であったが⁽⁶⁾、これは必ずしも設計に便利な形にまとめられていない。

などが現状でよいかどうか、はたしてペリオド計が安全計装として充分効果を発揮し得るかどうか、などの議論が進展することを期待したい。

II. 時定数設計の考え方

ここでは、対数出力ペリオド計を安全計装とみなして議論を進める。すなわち、定ペリオド制御の場合のように、ペリオド計が制御ループに入った場合の時定数設計は対象にしない。

対数出力ペリオド計の時定数設計に必要な部分の構成は第1図のようになっているものとする。対数増幅器には、対数化素子と容量とによって、対数増幅器の入力電流に逆比例する一時遅れ時定数 $T_{\log}$ がもたせてある。ペリオド計は、微分時定数 $T_D = C_1 R_2$ と2個の一時遅れ時定数 $T_1 = R_1 C_1$, $T_2 = R_2 C_2$ とによって構成されている。検出の確率過程によるペリオド出力のゆらぎと応答速度との関係を検討すると、 $T_1 = T_2 = T_D$ の場合に、同一応答速度に対してゆらぎの最大値が最小になるから、ここでもそのように仮定する。

第1図 対数出力ペリオド計の構成

上に述べた時定数のうち、微分時定数 T_D は入出力の関係の規定する定常特性から一義的に決定される。したがって、設計対象はペリオド計時定数 T_D と対数増幅器時定数 $T_{\log}$ である。このほかに、ペリオド・スクラム・レベル p_s が設計対象として加わる。これらの設計対象となる T_D , $T_{\log}$, p_s は、第1章で述べた評価基準項目と次に述べるような形で関係している。

ペリオド計時定数 T_D および対数増幅器時定数 $T_{\log}$ (I) から、ペリオド計出力におけるゆらぎが評価され、これとスクラム・レベルとから、誤スクラムの生起頻度が求められる。 T_D および $T_{\log}$ とスクラム・レベル p_s とから、異常反応度が投入されたときの対数出力ペリオド計の応答速度によるスクラム遅れが評価される。正常ペリオドの指数関数入力に加わったとき、初期値電流 I_0 における対数増幅器の時定数 $T_{\log}(I_0)$ と T_D とから、ペリオド計出力に現われるオーバーシュートが評価され、これとスクラム・レベルとの接近度合が検討される。以上の関係を模式的に表わすと第1表

のようになる。

第1表 対数出力ペリオド計の定数と性能評価基準との関係

評価基準のうち、ペリオド計出力におけるゆらぎは定性的にも定量的にも簡単に記述できる。参考のためにこれを要約して述べておく。ペリオド計の出力におけるゆらぎの r.m.s. 値を逆ペリオド単位で表わすと、次式のようになる。

$$\sigma_a(I) = \left\{ \frac{Q}{4T_{\log} T_D^2} \cdot \frac{T_D/T_{\log}(I)}{(T_D/T_{\log}(I)+1)^2} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{または、} \sigma_a(I) = \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{I_m T_D^3} \right)^{1/2} \cdot \frac{(I/I_m)^{1/2}}{(I/I_m+1)} \quad (1')$$

ここで、 Q は1検出当りの電荷、 $T_{\log 0}$ は単位入力電流における対数増幅器の時定数、 I は対数増幅器の入力電流、 I_m は対数増幅器の時定数とペリオド計の時定数が等しくなる時の対数増幅器の入力電流である。したがって、 σ_a は $I=I_m$ のとき最大値をとり、その値は $T_D^{3/2}$ と $I_m^{1/2}$ に逆比例する。

$$\sigma_{am} = \frac{1}{4} \left(\frac{Q}{I_m T_D^3} \right)^{1/2} \quad (2)$$

σ_a は、 $I \ll I_m$ の場合は $I^{1/2}$ に、 $I \gg I_m$ の場合は $I^{-1/2}$ に比例する。ゆらぎがスクラム・レベルを超える単位時間当りの回数は次式で表わされる⁽²⁾。

$$N(\alpha_s) = \frac{1}{2\pi T_D} \left(1 + 2 \frac{I}{I_m} \right)^{1/2} \cdot \exp \left\{ -\frac{\alpha_s^2}{8\sigma_{am}^2} \frac{(I/I_m+1)^2}{I/I_m} \right\}$$

$$\text{ただし、} \alpha_s = 1/p_s \quad (3)$$

過渡応答に関しては、対数増幅器が非線形要素であるために、スクラム遅れやオーバーシュートが解析的な形では表現できず、その都度過渡応答の数値計算をしなければならない。したがって、時定数を定性的な考え方であらかじめ設定し、その値を用いて過渡応答を計算し、その結果によって設定値を修正して行くという手順をふむ。この段階を簡略化するためのデータ・シートは、次のようなパラメータについて作成しておくと思われ。

スクラム遅れは本来原子炉の安全性評価に関連したものであるから、例えば、ステップ状反応度変化に対

する過渡解より求めなければならない。一方、オーバーシュートの場合は、正常な出力上昇に対応して評価される項目であるから、ペリオド計と炉の間にオペレータが帰還要素として介在し、反応度は複雑なパターンを取る。反応度変化のパターンを含めて過渡解を求めることは面倒であるから、対数出力ペリオド計の時定数設計に限り、指数関数状の出力上昇に対する過渡解を評価基準としてとることに割り切る。

スクラム遅れ時間は、スクラム・レベルで規格化した出力上昇のペリオド p/p_s 、または逆ペリオド α/α_s に対して評価しておくくと便利である。予想される異常反応度がいくらであり、この場合のスクラム遅れによる出力増加をいくら以下にするには p_s はいくらにとるべきかとか、正常逆ペリオドの何割増しを α_s としたとして、予想されるペリオドの入力が加わった場合のスクラム遅れによる出力増加はいくらであるかという評価に、計算結果が利用される。この場合、ペリオド計の時定数はスクラム・レベル p_s を目安として決めるのが普通であるから、 p_s で規格化した T_p/p_s を 1 つのパラメータとしてとると都合がよい。一方、指数関数入力が加わるときの増幅器の初期時定数 $T_{\log}(I_0)$ は、特定の電流 I_m において $T_{\log}=T_p$ となることから、 T_p で規格化しておくくと便利であろう。 I_m が計測範囲のどこに設定されるかがわかれば、 $T_{\log}/T_p$ は、指数関数入力が計測範囲の下限から何桁上で加わっているかを表わす量になり、スクラム遅れによる出力上昇が安全な範囲にあるかどうかを判断するのに便利である。

ペリオド・オーバーシュートを評価基準として考えてみる。炉の運転上の規制から、出力上昇の際の正常ペリオド P が与えられる。 P に比較して炉出力の初期値における対数増幅器の時定数 $T_{\log(I_0)}$ が大きい場合は、対数増幅器出力の勾配がペリオド P に相当する勾配に比較してかなり大きくなるような過渡応答を示す。その結果として、ペリオド計出力にオーバーシュートが現われる。計算の便宜上からはペリオド P で時間および対数増幅器時定数を規格化した方がよい。しかし、計算結果から評価されるのは、オーバーシュートのスクラム・レベルへの接近の度合であり、しかもスクラム遅れやゆらぎと密接な関係にあるので、規格化パラメータはスクラム遅れに用いられたものと同じにとる方がよい。

以上述べたことからわかるように，時定数設計に際しては，解析的に表わせるゆらぎのパラメータへの依存の仕方を念頭において，スクラム遅れとオーバー

シュートを評価する図表を参考にして時定数を決め、その結果をゆらぎによる誤スクラムの評価によってチェックするという手順をとるのが妥当と考える。

Ⅲ. 対数出力ペリオド計の過渡応答

第1図の構成で、 $t=0$, 初期値 $I=I_0$ でペリオド P の指数関数入力を入加した場合の、ペリオド計出力電圧 E_2 を定常状態の出力電圧 $E_2(\infty)$ で規格化した値、すなわち、入力逆ペリオドで規格化した指示逆ペリオド $R(T)$ は次のように表わされる。(付録参照)

$$R(T) = (m^3/n) \exp(-mT) \int_0^T \int_0^V \exp(mW) \cdot \{\exp W - \exp[(m \exp W)/n]/g(W)\} \cdot dW dV \quad (4)$$

ただし、

$$g(T) = (m/n) \{E_t[(m \exp T)/n] - E_t[m/n]\} + \exp(m/n) \quad (5)$$

ここで、

$$E_t(x) = \int_{-\infty}^x \exp t/t \, dt: \text{指数積分}$$

$m=p/T_p$: ペリオド計時定数で規格化した指数関数入力のペリオド

$$n = T_{\log} (I_0) / T_p$$

ベリオド計時定数で規格化した初期値電流における対数増幅器時定数

$T=t/p$: 指数関数入力のパルス幅で規格化した時間

(4)式からスクラム遅れを求めることは、 $R(T)$ が p/p_0 となる時間 T を求めることである。安全性の立場からは、むしろ T における入力電流 I が I_0 の何倍になっているかを知る必要がある。

そこで、第Ⅱ章で述べたような利用の仕方を考慮して、 T_i および I_i の数値計算結果を、スクラム・レベルで規格化した指数関数入力のパリオド p_i/p_0 の逆数、スクラム・レベルで規格化したパリオド計の時定数 T_i/p_0 および n をパラメータとして整理して第2表に示した。 I_i/I_0 の値は数値部と10の指数部とに分けて書いてある。表中、 $p_i/p_0=1$ に相当する欄はちょうどスクラム・レベルに等しいパリオドの入力のあった場合で、本来 T_i は ∞ になるべきであるが、 $R(T)$ のオーバーシュートのために T_i が有限値をとるので、参考のために示しておいた。この表の一部を第2図に示した。図中の破線は、計測範囲の上限がこれと平行な直線で表わされることを示すために記入したものである。

同じパラメータを用いて、(4)式で $dR/dT=0$ とした

第2表 スクラム遅れと出力オーバーシュート

$\frac{T_p}{P_s}$ \ $\frac{p_s}{p}$ \ n		1.0	1.25	2.0	4.0	8.0	16.0	32.0
		T_s I_s/I_0	T_s I_s/I_0	T_s I_s/I_0	T_s I_s/I_0	T_s I_s/I_0	T_s I_s/I_0	T_s I_s/I_0
0.1	0.1		0.37 1.45, 0	0.34 1.41, 0	0.39 1.48, 0	0.48 1.62, 0	0.76 2.14, 0	1.06 2.89, 0
	1.0	0.57 1.77, 0	0.48 1.62, 0	0.49 1.63, 0	0.64 1.90, 0	0.88 2.41, 0	1.24 3.46, 0	1.77 5.87, 0
	10	1.17 3.22, 0	1.13 3.10, 0	1.17 3.22, 0	1.40 4.06, 0	1.82 6.17, 0	2.41 1.11, 1	3.21 2.48, 1
	100	2.70 1.49, 1	2.72 1.52, 1	2.81 1.66, 1	3.10 2.22, 1	3.59 3.62, 1	4.30 7.37, 1	5.24 1.89, 2
0.2	0.1		0.75 2.16, 0	0.67 1.95, 0	0.78 2.18, 0	1.07 2.92, 0	1.45 4.26, 0	2.00 7.39, 0
	1.0	0.99 2.69, 0	0.87 2.39, 0	0.92 2.51, 0	1.17 3.22, 0	1.59 4.90, 0	2.19 8.94, 0	2.99 1.99, 1
	10	1.73 5.64, 0	1.74 5.70, 0	1.88 6.55, 0	2.30 9.97, 0	2.94 1.89, 0	3.79 4.43, 1	4.83 1.25, 2
	100	3.48 3.25, 1	3.54 3.45, 1	3.75 4.25, 1	4.24 6.94, 1	4.96 1.43, 2	5.91 3.69, 2	7.02 1.12, 3
0.4	0.1		1.50 4.48, 0	1.34 3.82, 0	1.60 4.95, 0	2.06 7.85, 0	2.76 1.58, 1	3.76 4.30, 1
	1.0	1.73 5.64, 0	1.55 4.71, 0	1.64 5.16, 0	2.07 7.93, 0	2.74 1.55, 1	3.63 3.77, 1	4.76 1.17, 2
	10	2.52 1.24, 1	2.60 1.35, 1	2.88 1.78, 1	3.53 3.41, 1	4.42 8.31, 1	5.49 2.42, 2	6.70 8.12, 2
	100	4.43 8.39, 1	4.56 9.56, 1	4.91 1.36, 2	5.64 2.82, 2	6.59 7.28, 2	7.71 2.23, 3	8.95 7.70, 3
0.8	0.1		2.99 1.99, 1	2.70 1.49, 1	3.13 2.29, 1	4.00 5.46, 1	5.33 2.06, 2	7.22 1.37, 3
	1.0	3.36 2.88, 1	2.79 1.63, 1	2.89 1.80, 1	3.55 3.48, 1	4.59 9.85, 1	6.02 4.07, 2	7.98 2.92, 3
	10	3.61 3.70, 1	3.76 4.30, 1	4.21 6.74, 1	5.10 1.64, 2	6.22 5.02, 2	7.62 2.04, 3	9.46 1.28, 4
	100	5.61 2.73, 2	5.81 3.32, 2	6.32 5.55, 2	7.28 1.45, 3	8.41 4.49, 3	9.70 1.63, 4	11.35 8.50, 4
1.6	0.1		5.93 3.76, 2	5.36 2.13, 2	6.19 4.88, 2	7.88 2.64, 3	10.45 3.45, 4	
	1.0		5.43 2.28, 2	5.35 2.11, 2	6.43 6.20, 2	8.27 3.90, 3	10.92 5.53, 4	
	10	5.35 2.11, 2	5.51 2.47, 2	6.13 4.60, 2	7.47 1.75, 3	9.35 1.04, 4	11.94 1.53, 5	
	100	7.06 1.16, 3	7.34 1.53, 3	8.02 3.04, 3	9.29 1.08, 4	11.01 6.05, 4	13.42 6.73, 5	

る点から求めたペリオド・オーバーシュートの、規格化されたピーク値 R_p を整理して示したのが第3図である。 α/α_s と $T_{\log}(I_0)/R_s$ との交点に対応して R_p がプロットしてある。この場合 R_p のスクラム・レベルに相当する値は α_s/α であるから、スクラム・レベルとピークとの接近度合を評価するのに都合がよい。

IV. 考察と数値例

定常運転に入ると、ペリオド計を安全系から除外してしまう動力炉の場合と、ペリオド計が常に安全系に接続されており、しかも定常運転出力が対数出力計の計測範囲の任意の値で行われる研究炉の場合とでは、対数出力ペリオド計の計時定数設計に対する考え方が当然違ってくる。ここでは、研究炉を想定して第III章の結果を考察してみる。

I_m を計測範囲のどこにとるかにについては、ある程度の任意性がある。計測範囲の下限付近では、検出の確率過程によるゆらぎのほかに検出器電源に含まれる雑音電圧が、検出器電極間容量を通して、対数増幅器へ

の等価雑音電流入力となることによるゆらぎが無視できない。そこで、 I_m は測定下限から数桁上におきたい。しかし、正常ペリオドに対するオーバーシュートの点からは、あまり大きくはとりたくない。せいぜい測定下限から1~2桁上が適当であろう。

わが国においては、現在スクラム・レベルを3 sec にとっている場合が多い。出力上昇は30 sec 程度のペリオドで行うのが普通であろう。 I_m を計測範囲下限の2桁上にとり、ペリオド計時定数を $T_p/p_s=0.2$ にとったとする。計測範囲下限よりさらに $\frac{1}{2}$ 桁下、すなわち $T_{\log}(I_0)/T_p=300$ から、ペリオド30 sec、すなわち $p_s/p=0.1$ の指数関数入力に加わったときのオーバーシュートは、第3図から約210%になる。値自体は異常に大きい、スクラム・レベルに較べれば充分小さい値で、誤スクラムが問題になるほどの値ではない。 $p_s/p=8$ 程度の過小ペリオドの入力に加わった場合のスクラム遅れによる出力増加は、第2表から、計測範囲の下限から始まった場合($n=100$)143倍で、これは計測範囲を7桁とすると、上限までの余裕が約4.8

第2図 スクラム遅れによる出力オーバーシュート

桁ということになる。また、 $n=0.1$ の場合は2.92倍となり、この場合の余裕は約4.5桁となる。したがって、安全系としての機能が充分発揮されているといえる。

ところが、上に述べたベリオド計の現状は、オフノルマルがノルマルの10倍という、計装としては非常識なものである。そこで、スクラム・レベルを正常レベルのせいぜい2～3倍にすることができないかどうかを検討してみる。この場合、ゆらぎによる誤スクラム率が同一値になるように各パラメータを変えて、そのときの他の評価基準を検討する。上に述べた数値を(2),(3)式に代入してわかることは、誤スクラム率が必要以上に低いということである。ところが、実際に設置されたベリオド計では、検出の確率過程以外の原因によるゆらぎがかなり大きいこと、また、指示計のゆらぎをできるだけ小さくして指示を見やすくするなどの理由から、上に述べたような時定数を実際に使用している。いずれにせよ、(2)式の σ_{am} とスクラム・レベル逆ベリオド α_s の比を等しくするようにパラメータ変更を行なって、スクラム遅れとオーバーシュートを比較するのが妥当であると思われる。

スクラム・レベルを $\frac{1}{4}$ にすると、前例と同一過小ベリオドに対して $p_s/p=32$ 、また、(2)式から T_p は2.5倍にする必要があり、 $T_p/p_s=0.125$ となる。これに

第3図 過渡応答による逆ベリオド指示のオーバーシュート

応したスクラム遅れによる出力増加を第2表から内挿して求めると、 $n=100$ のとき約300倍、 $n=0.1$ のとき約4倍となり、測定上限までの余裕が前例に比較してやや小さくなるが、安全系としては問題がないことがわかる。

次に、30 secの正常ベリオドに対するオーバーシュートを第3図から求めると、 $p_s/p=0.4$ 、 $T_p/p_s=0.125$ 、 $n=300$ に対して $R_p=2.5$ と求まる。スクラム・レベルは $R=2.5$ であるから、誤スクラムすることになる。第3図で明らかなように、オーバーシュートを下げるには、オーバーシュートのピークの最大値の左側の領域で T_p を大きくとるか、右側の領域で T_p を小さくとるか、のいずれかである。左側の領域では、 T_p を一定にして入力の変動を小さくすると、これがスクラム・レベルに近いほどオーバーシュートが小さくなるという利点がある。しかし、第2表からも明らかなように、この領域ではスクラム遅れによる出力増加が大きすぎる。結局、第3図の最大値の左側の領域において、 σ_{am} を一定にするように I_m と T_p を変えることになる。 I_m を1桁下げて T_p を2.15倍すると、 $n=30$ 、 $T_p/p_s=0.27$ に対するオーバーシュートは約1.8となり、誤スクラムすることはないことがわかる。スクラム・レベルが3 secの場合と、この新しいパラメータの場合とのスクラム遅れによる出力増加は $p_s/p=8$ 、 $T_p/p_s=0.2$ 、 $n=n'$ の場合と、 $p_s/p=32$ 、 $T_p/p_s=0.27$ 、 $n=n'/10$ の場合とを比較して、例えば $n'=10$ とすると、前者が20倍、後者が表の値から内挿して約40倍、

$n'=1$ の場合, 前者が約5倍, 後者が約12倍となる。したがって, スクラム・レベルを正常値に近づけることによって, ペリオド・オーバーシュートによる誤スクラムは起きず, またスクラム遅れによる出力増加も問題にならないと結論することができる。

なお, 第2図において, 計測範囲上限に平行に書かれた破線と, スクラム遅れによる出力増加を表わす曲線との平行度から判断すると, 出力増加による計測範囲上限からの余裕の点からは, n の小さな値に対してのみ評価しておけばよいように考えられる。曲線の勾配が破線の勾配より小さいことは, n が大きい場合にオーバーシュートが出力増加を押える方向に働いていることを意味している。

V. 要 約

以上述べてきたように, 第2表および第3図を利用することによって, 対数出力ペリオド計の時定数設計が容易になる。その結果, これまで明記されることがなかった対数出力ペリオド計の時定数仕様決定の根拠を明らかにすることができるものと考えられる。これらの結果を利用して, わが国の多くの研究炉で採用している定数を検討してみたところ, 必ずしも計装として常識的な値に設計されていないことがわかった。

また, 第3図から, ペリオド計のオーバーシュートが, 特定のペリオド計時定数において最大値をとることを明らかにすることができた。

終りに, 本報は著者が日本原子力研究所在職中に行った研究に基づいていることを付記し, 発表することにご同意下さった原子炉計測研究室長川口千代二氏に深く感謝の意を表します。また, 数値計算に当ってご協力頂いた北海道大応用電気研究所ME部門の中村鎮雄君に深謝いたします。

〔付 録〕

第1図において

$$T_p^2 \frac{d^2 E_2}{dt^2} + 2T_p \frac{dE_2}{dt} + E_2 = T_p \frac{dE_1}{dt} \quad (A-1)$$

$$I = C \frac{dE_1}{dt} + I_d \quad (A-2)$$

対数素子の定数を E_r, I_d として, 対数特性が

$$E_1 = E_r \ln(I_d/I_0) \quad (A-3)$$

のように表されるとすると,

$$dE_1/dt = (E_r/I_d) dI_d/dt \quad (A-4)$$

ここで, $I_d = 1/Z$ とおくと⁽³⁾, (A-2)式は

$$dZ/dt + IZ/CE_r = 1/CE_r \quad (A-5)$$

これを, $I = I_0 \exp(\alpha t) = I_0 \exp(t/p)$ に対して $I_d(0) = I_0$ の条件の下に解くと,

$$Z \exp(A \exp \alpha t) = \frac{1}{CE_r} \int_0^t \exp(A \exp \alpha W) dW + \exp A/I_0$$

$$\text{ただし, } A = I_0/CE_r \alpha = p/T_{\log}(I_0) \quad (A-6)$$

さらに, (A-6)式を指数積分 $E_1(x) = \int_{-\infty}^x \exp t/t dt$ を用いて書き直すと,

$$\begin{aligned} Z \exp(A \exp \alpha t) &= \{A E_1(A \exp \alpha t) - A E_1(A) + \exp A\} / I_0 \\ &= g(t) / I_0 \end{aligned} \quad (A-7)$$

(A-4), (A-5), (A-7)式を(A-1)式に代入して, $E_2(0) = 0, (dE_2/dt)_0 = 0$ の下に解くと,

$$\begin{aligned} E_2(t) &= E_r \frac{T_p}{2} A \alpha \exp(-t/T_p) \\ &\quad \cdot \int_0^t \int_0^W \exp(V/T_p) \{ \exp(\alpha V) \\ &\quad - \exp(A \exp \alpha V) / g(V) \} dV dW \end{aligned} \quad (A-8)$$

となる。これを $T = t/p, m = p/T_p, n = T_{\log}(I_0)/T_p$ なる規格化パラメータを用いて $E_2(t)$ を $E_2(\infty)$ で規格化して表わしたのが, 本文の(4)式である。

— 参 考 文 献 —

- (1) GRIM, M.W., BARROW, B.B., SIMONS, J.C.: Random fluctuations in period-meter indication, *Nucl. Sci. Eng.*, 1, 80~91 (1956).
- (2) CHRISTENSEN, H., STANFIELD, R.B.: The log count rate period meter used with safety circuits, *IRE Int. Conv. Rec.*, (Mar. 1961).
- (3) CUMMINS, J.D.: Diode response and time derivative of response to an exponentially increasing input current, *AEEW-M-10*, (1959).
- (4) NIXON, C.R., PEARSON, A.: Logarithmic rate measurement at low reactor power levels, *AECL-1004*, (1960).
- (5) PEARSON, A., LENNOX, C.G.: "The Technology of Nuclear Reactor Safety", Vol. 1, Reactor Physics and Control, (Ed. by THOMSON, T.J., BECKERLEY, J.G.), 328~339 (1964), MIT Press.
- (6) 古川友三: 対数増幅ペリオド計の過渡応答, *JAERI-memo* 1945, (May 1965).