

会 員 投 稿

間 欠 量 測 定 時 の 留 意 点

(財)心臓血管研究所付属病院 荒 居 広 明

要 旨

間欠量を測定する時の測定器の指示値は時間平均を表している。その値に一周期に対する実際の入力時間の比の逆数を乗ずると一定入力が続いた時の値を求めることができる。

はじめに

X線シネ撮影に関わる現象の物理量を測定する際には、その時間変化に対応できる測定器を用いなければならない。

一方、輝度などの本来あまり時間的に変化しない量を測定するための器具は、測定値の読取を容易にするために、時間的変化に対する反応を遅くしてある場合がある。X線シネ撮影時の間欠的な現象をこの様な器具を用いて測定した時の指示値と瞬時値の時間変化との間の関係を求める。

方 法

例として、X線シネ撮影時のシネフィルムへの露光量を測定するためMAVO MONITOR (GOSSEN社) (以下測定器という) をシネカメラのシネマガジンの取り付け部に設置して、そのデジタルの指示値と出力端子からの波形を記録したものを比較する。(HIOKI MemoryHi-Corder) 高電圧装置は、SIEMENSのPANDOROS OPTIMATICである。

測定器への光の入力は簡単のため、モニターしているX線管電圧が立ち上がっている間は一定値で、その他(X線管電圧が0の時)は0とする。

測定器の特性

測定器に時間 $t=0$ で一定となる値を入力した時(検出部に光をあてた)の出力波形 S は図1の様になった。十分な時間が経った時の値を S_0 とし、 S_0 と S の差が次の値の時の時刻を波形より求めた。

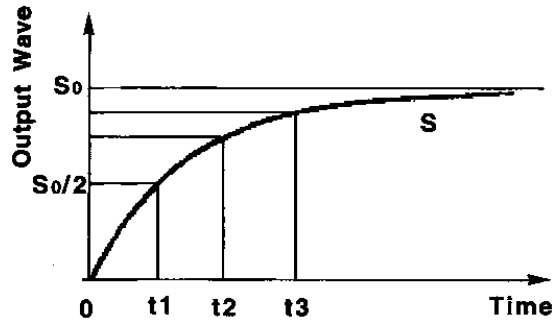


図1 ステップ状の入力に対する測定器の出力波形の時間的变化

$S_0 - S = S_0/2$ となる時の $t = t_1$ 、 $S_0 - S = S_0/4$ となる時の $t = t_2$ 、 $S_0 - S = S_0/8$ となる時の $t = t_3$ とすると $t_1 \div t_2 - t_1 \div t_3 - t_2$ ($\equiv t_{1/2}$)となった。

即ち、 $S_0 - S = S_0 (1/2)^{t/t_{1/2}}$ とかける。

$\lambda = \ln 2 / (t_{1/2})$ とおくと

$S_0 - S = S_0 \exp(-\lambda t)$ となり、

$S = S_0 [1 - \exp(-\lambda t)]$ (λ は時定数)と表せる。

すると、 $dS/dt = \lambda \exp(-\lambda t) = \lambda (S_0 - S) / S_0$ となり、 S_0 と S の差に比例する。すなわち、たどり着く値 S_0 と現在の値 S の差が大きいほど、曲線の傾きは大きくなる。また、 $S/S_0 = [1 - \exp(-\lambda t)]$ であるから、同じ時間が経つと S/S_0 の割合は同じになる。したがって、 S_0 が大きくても小さくても時定数から決まる時間が経過すれば、同じ精度で読取が可能になる。入力が一定値から0になる時の出力波形は、立上り時と同じ時間 $t_{1/2}$ で半分ずつになり、 $S = S_0 \exp(-\lambda t)$ と表せる。測定レンジを変えると $t_{1/2}$ は変化し、最大許容値が大きいレンジほど $t_{1/2}$ は小さくなった。 $t_{1/2}$ は、それぞれ $20\text{cd}/\text{m}^2$ レンジで 210 (ms)、 $200\text{cd}/\text{m}^2$ レンジで 14 (ms)、 $2\text{kcd}/\text{m}^2$ レンジで 1.5 (ms)、 $20\text{kcd}/\text{m}^2$ レンジで 0.5 (ms)であった。

間欠入力

検出器への入力の間欠の場合(シネ撮影時)のX線管電圧と輝度測定器の出力波形の例を図2に示す。出力Sは、入力がある時は上昇し、ない時は下降する。そして、Sが小さい時は $S_0 - S$ が大きいため上昇分が大きく下降分が小さい。そのため、振動しながら全体的に上昇し、上昇分と下降分が等しくなった時につりあって、同じ波形を繰り返す。この時の一周期は、図3の太線の様になる。

同じ入力に対して、異なるレンジで出力を求めると図4のようになった。大きいレンジでは、立ち上がり時間が短いため出力波形は大きく振動する。この時の測定器の指示値は、7.9 (200cd/m²レンジ)と8.1 (20cd/m²レンジ)であり、波形が振動している時の指示値はほぼ一定で、波形から換算すると時間平均を示している様に見える。この測定器の対象を考えてもこれが妥当と思われる。

そこで図3のSの一周期分と時間軸とが囲む面積を求めて平均値を求める。

面積 $A = A_1 + A_2 = \int_{t_1}^{t_2} S_0 [1 - \exp(-\lambda t)] + \int_{t_2}^{t_3} S_0 \exp(-\lambda t + b)$ であるが

$$S_0 [1 - \exp(-\lambda t_1)] = S_0 \exp(-\lambda t_3 + b)$$

$$\text{及び } S_0 [1 - \exp(-\lambda t_2)] = S_0 \exp(-\lambda t_2 + b)$$

という条件より計算すると $A = \alpha S_0$ となる。

(ここで $\alpha = t_2 - t_1$ (入力のある時間)、 $\beta = t_3 - t_2$ (入力のない時間) と置く)

したがって、一周期のSの平均 S_{AV} は $S_{AV} = A / (\alpha + \beta) = \alpha S_0 / (\alpha + \beta)$ となる。 S_{AV} は、入力のある時間に比例し、一周期の時間に反比例する。また、 λ には依存しないので、一周期の振幅の大小には関係しない。

すると、求めたい S_0 と測定器の指示値 S_{AV} の間には、 $S_0 = (\alpha + \beta) S_{AV} / \alpha$ なる関係がなりたつ。ここで、 $(\alpha + \beta) / \alpha$ は一周期に対する入力のある時間の比の逆数である。例えば、図2では、入力のある時間は一周期の内の1/10であるので、測定指示値を10倍すれば S_0 が求まる。X線シネ撮影では、単位時間当りの撮影回数を倍にすれば、 S_0 は同じでも測定指示値は倍になる。また、1コマ当りの曝射時間が倍になっても同様のことがいえる。

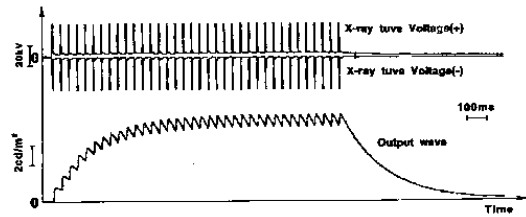


図2 シネ撮影時のX線管電圧波形(上)と測定器の出力波形の時間的变化の例

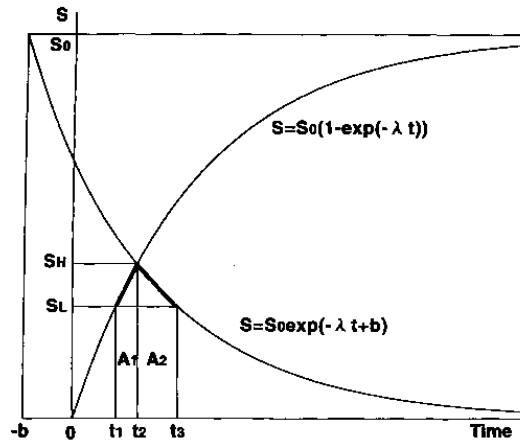


図3 測定器の出力波形が周期的になったときの一周期分の波形の取る形

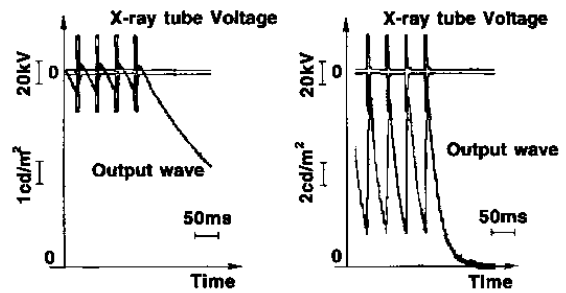


図4 同一条件のシネ撮影に対する測定器の出力波形の時間的变化。(左)測定レンジ20cd/m²(右)200cd/m²

結 論

間欠量を測定する時の測定器の指示値は時間平均を表している。その値に一周期に対する実際の入力時間の比の逆数を乗ずると一定入力が続いた時の値を求めることができる。