

# RESPONSE ANALYSIS OF COAXIAL-CABLE PULSE TRANSFORMERS

A. Homma and H. Yamazaki

Department of Nuclear Engineering, Hokkaido University,  
Sapporo 060, Japan.

## ABSTRACT

A step signal response of a coaxial-cable pulse isolation transformer, demanded high withstanding voltage ( $<100\text{kV}$ ) and fast rise-time response ( $>1\text{nsec}$ ), was studied experimentally and theoretically based on transmission-line analysis. The shape of the leading-edge of output pulse depends on the length and the propagation constant of the cable. And it was composed of two leading-edges caused by multiple reflections at the input and output junctions of the transformer. For the several transformers each of which had a cable of different length, the experimental measurements performed by using step-signal input pulses ( $T_r=25\text{ps}$ ) agreed reasonably well with the calculated results.

## 同軸型パルストランスの応答解析

### 1・はじめに

高い電位に配置された実験体系へ制御用のトリガーパルス信号を伝送するため同軸ケーブルを用いた絶縁パルストランスがしばしば用いられてきた。一般にこの形式のトランスでは一次側（接地電位—入力側）に同軸の外側導体、二次側（高電位出力側）に芯線を用いる。既に報告されたものには Madley<sup>1)</sup>、Dollinger<sup>2)</sup> 等のものがある。前者の形式のトランスの応答については著者らの考案した平行平板伝送線路型トランスと伝送線路解析上の扱いは同じで既に報告した。<sup>3)</sup> 本研究では伝送線路解析を用い Dollinger 等のトランスの応答を求め、あわせて実験との比較検討も行った。

### 2・トランスの応答

図1は Dollinger 等によって発表された同軸トランスの概略図である。外側導体が一次巻き線、内側導体が二次巻き線に対応している。図-2は入力の接合部を平行線路で置き換えたものである。信号波が到来する以前には、ポート1、ポート2、出力端の接合部には電荷がないため、各々の導体上での電場の div はいたるところで常に0であるから入力電圧波のポテンシャル配分は概ね図2のようになる。矢印は電気力線を示す。

$t=0$  で振幅1の単位ステップ波形を入力したときの出力端の応答波形を求める。入力波はポート1、出力端、ポート2の各々に直列分岐する。Lを線路の長さとするときポート間を信号波が伝搬する時間Tは  $T=L/v$ 、vはケーブル内部の信号の伝搬スピードで  $(\epsilon\mu)^{1/2} \sim 2.0\text{cm/nsec}$  である。

ポート1とポート2からケーブル内に伝搬する信号波は互いに極性が異なるために  $t=T/2$  秒後に線路上長さ  $L/2$  の点で互いに打ち消しあい、 $t \geq T$  の時刻では各々のポートの電位は0となり（ステップ信号を扱っているの）各ポートは短絡と等価な振舞いをする。故にトランス

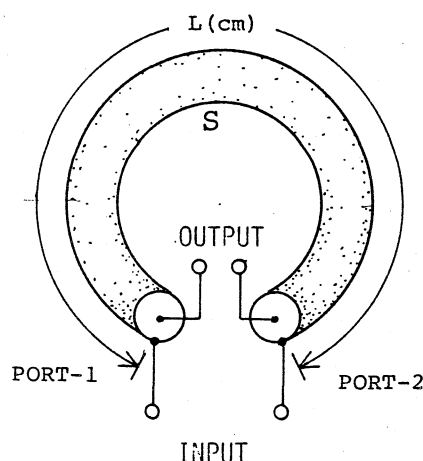


図1 Dollinger等による  
絶縁パルストランス

空間も伝搬しやがて短絡、極性反転し入力端に戻る。このような信号をコイルモード信号 (C. M. S.) とよび、C. M. S. の伝搬する空間を伝送線路とみてコイルモードライン (C. M. L.) と呼ぶ。(入力端から図2のS点までの距離がC. M. L. の長さである)。同軸線路に対するC. M. L. のインピーダンスの比を $\alpha$ で定義する。 $t \leq T$ と $t \geq T$ での入力側からみた出力への透過係数をそれぞれ $\rho_{t < T}$ 、 $\rho_{t > T}$ 、C. M. L. から出力端をみたときの透過係数を $\rho_{C.M.L.}$ 、反射係数を $\Gamma$ と定義する。これらは

$$\begin{aligned} \rho_{t < T} &= \Gamma + 1 = 6\alpha / (4\alpha + 3) & 1) \\ \rho_{t > T} &= 2\alpha / (2\alpha + 1) & 2) \\ \Gamma &= (1 - 2\alpha) / (1 + 2\alpha) & 3) \\ \rho_{C.M.L.} &= \Gamma + 1 = 2 / (1 + 2\alpha) & 4) \end{aligned}$$

となる。応答を求めるため図3の反射のダイアグラムを用いる。ここで2本の縦線は入出力端、C. M. L. の短絡端S点に各々対応し、出力は左端の矢印で表した。トランスの応答は出力信号の総和となる。 $t = 0$ で入力にステップパルスが印加されたものとする。ダイアグラムで実線は $t \leq T$ の等価回路による信号の振舞い表し、破線は $t \geq T$ での信号の振舞いを示す。計算を簡単にするためC. M. L. の信号往復時間を $T$ としてある。 $t \leq T$ までの出力は

$$E_{t < T}(0) = \frac{2\alpha}{4\alpha + 3} \quad 5)$$

$t \geq T$ 以降の出力は

$$E_{t > T}(nT) = \frac{10\alpha}{4\alpha + 5} \left( \frac{2\alpha - 1}{2\alpha + 1} \right)^{n-1} - \frac{6\alpha}{4\alpha + 3} \quad 6)$$

と階段状に減衰する関数となる。

### 3・実験との比較

トランスは線路長94.2 cm、60 cm、30 cmの三台を試作した。パルス発生器は岩通SG-3102型 ( $T_r = 25$  ps) を用いた(図4)。線路長30 cmのトランスの実験結果を図5 a、5 bに示す。図6は5) 式、6) 式の結果であり、5 bの立ち上がり部分と時間関係は対応している。ただし、図5 bの立ち上がり部分から5) 式を用いて $\alpha \approx 5$ とした。このとき計算より求めたピーク電圧は $\approx 140$  mVとなり実測150 mVより低い値となった。また、減衰の時定数も計算結果の方が小さい。

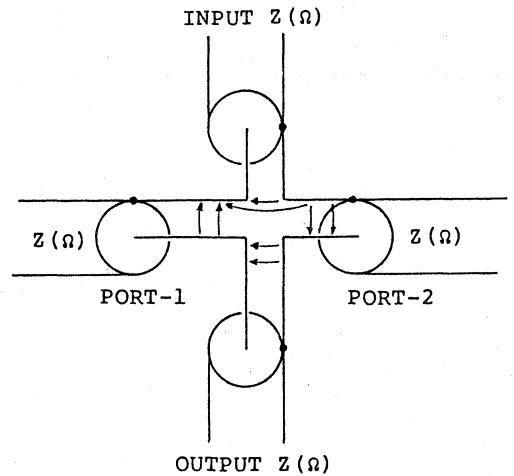


図2 入力接合部の電位配分

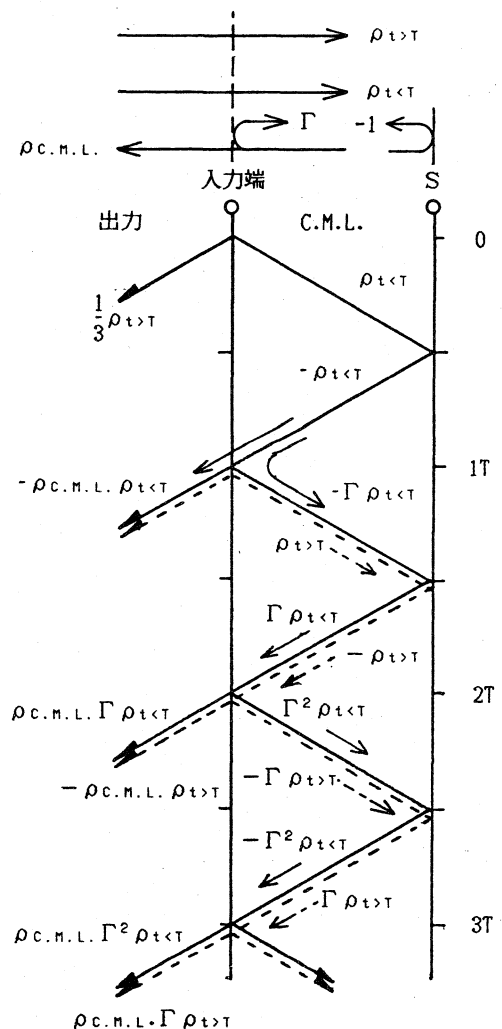


図3 リフレクション・ダイアグラム

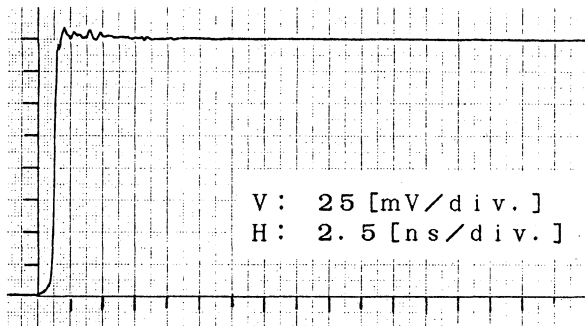


図4 実験に用いた  
ステップ入力波形

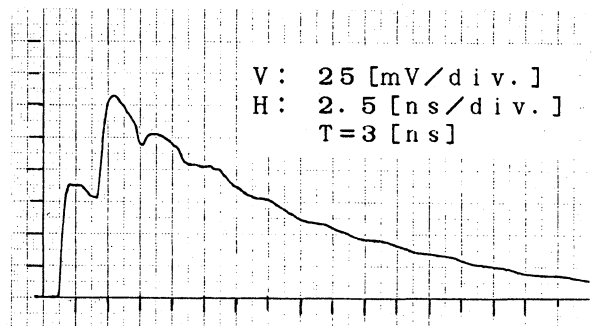


図5 a トランスの応答  
実験結果(L=60cm)

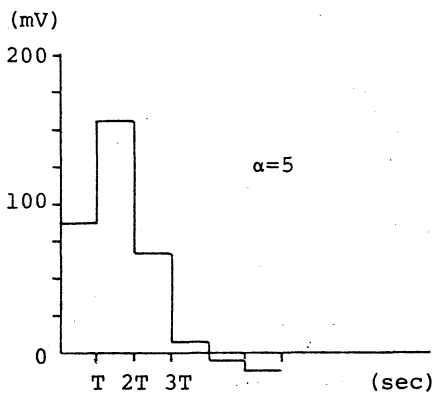


図6 トランスの応答  
計算結果(L=60cm)

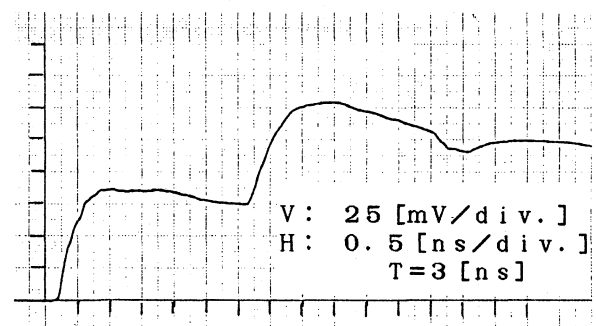


図5 b トランスの応答  
実験結果(L=60cm)

## おわりに

伝送線路解析を用い、Dollinger等の論文に示されたトランスのステップ応答を求めてみた。トロイダルコアーに同軸線を巻き付け、バイファイラー巻きとした形式のトランスはしばしば用いられてきた。この形式のトランスの特徴は1) 出力の反転がみられない、2) 立ち上がり応答は2段になり、その後普通のトランスのように緩和する、3) 立ち上がり応答は用いる同軸線路の長さに依存することなどである。実験との比較では立ち上がり部分の時間応答の対応は得られたものの減衰の時定数は一致しない。このことはC. M. S. がC. M. L. 上の往復を繰り返すうちに散逸することに起因すると思われる。時定数、出力の振幅を大きくするためにはコイルモード線路のインピーダンスを大きくすること、即ちループの径を大きくする必要がある。しかし、立ち上がりの応答は悪くなる。これを避けるためにはトランスの径をできるだけ小さくし、かつコイルモード線路のインピーダンスを増加させるのがよい。これは矛盾した要求のように思えるが、同軸ケーブルを透磁率の高い磁気コアーに貫通させることで解決できよう。

本研究は著者らの研究に御関心を寄せられた阪大産研津守邦彦先生よりDollingerの論文を御教示して頂いたのが動機です。あらためて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) J.M.J. Madey, et al, "A Fast Pulsed Electron Gun" IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-27, No. 2 (1980).
- 2) R.E. Dollinger, et al, "Design of Coaxial-Cable Pulse Transformers" IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-26, No. 10, Oct. (1979).
- 3) A. Homma, H. Yamazaki, "Nanosecond-Pulse Isolation Transformer with a High Withstanding Voltage Composed of Parallel-Bar Transmission Lines" Bulletin of Faculty of Engineering, Hokkaido University, No. 131 (1986).