

TDR 法によるモノポールアンテナの放射インピーダンス解析

谷澤之彦*

TDR Analysis of Radiation Impedance for a Monopole Antenna.

by Yukihiro TANIZAWA

Paying attention to the availability of time domain reflectometry (TDR) in extracting partially the reflected voltage waveforms at remarkable portions of a transmission line in time domain, we showed a method for the frequency characteristic analysis at a discontinuous point of a transmission line from TDR measurement. We applied this method to the derivation of the radiation impedance of a monopole antenna with respect to various reflection times, and confirmed its validity via comparing the results in the steady state with that measured with a network analyzer.

Key words: TDR, Monopole antenna, Radiation impedance, discontinuous point, EMI

1. はじめに

半導体技術の進歩により半導体部品的高速化、省電力化等が進み、電子情報機器は、その機能を飛躍的に向上させた。また価格の低下、高集積に伴う小型化と合わせ、携帯端末・パソコン・家電製品等々、様々な分野に広く普及し、現代の日常生活に必要不可欠なものとなっている。

しかし、高速化、高集積化、低消費電力化の進んだ半導体の LC, LCI を使用することにより、機器のノイズに対する耐性（イミュニティ）は劣化する傾向にある。これにより、医療機器、航空機の計器、自動車などの誤動作の報告もあげられており、ノイズの与える影響は無視できない状況となっている。

このような誤動作を防止する対策として、機器から放射される電磁雑音の抑圧する方法と機器のイミュニティを向上する方法がある。

ここで、機器から放射される電磁雑音とは、つまり高集積回路から放射される雑音のことであり、

この種の雑音発生は、プリント基板上の配線状況やケーブルの不整合終端等に起因して生ずる場合が多い^{1),2)}。これらの不整合で生ずる反射や放射は、対象信号の高速化で今日では GHz 帯にも及ぶため、信号の測定には広帯域機器が必要となる。時間領域反射測定法 (TDR: Time Domain Reflectometry) は、配線や伝送線路の不整合箇所を抽出して解析することができるため、線路の不整合や放射位置の特定、線路特性の解明には極めて有効である³⁾⁻⁸⁾。

本稿では、TDR の特徴に着目し、応答波形を任意に切り出して解析することで所望の不整合箇所での負荷インピーダンスを求める手法を提案する。また、この適用例として、伝送線路給電の有限長モノポールアンテナを不整合問題として取り上げ、この場合の TDR 波形からモノポールアンテナの放射インピーダンスを実験により求めた。

2. 実験および解析方法

図 1 に TDR 測定配置を示す。アルミ板(20cm×10cm) の中心に SMA コネクタを取付け、長さ

* 金属研究室研究グループ

(=10cm) のモノポールアンテナ を半田付けした。TDR 測定器とアンテナとを同軸ケーブル(特性インピーダンス $Z_0 : 50 \Omega$)を介して接続し、立ち上がり時間 40ps の 200mV のパルス電圧を入力して、そのときの反射電圧波形 の観測を行う。

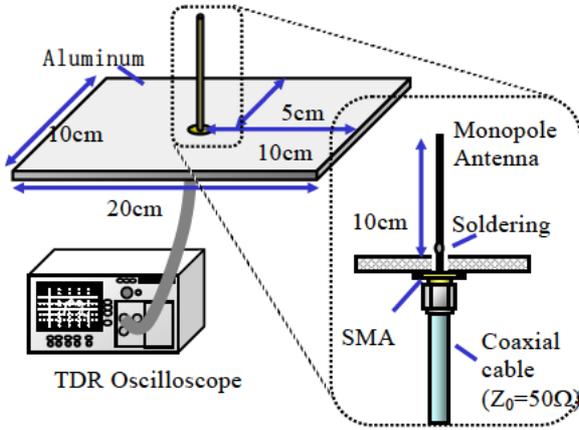


図1 モノポールアンテナの TDR 測定実験配置

モノポールアンテナの放射インピーダンスを $Z(s)$ とすると、入射波 $V_i(s)$ および反射波 $V_r(s)$ との関係は式(1)で与えられる。

$$V_r(s) = \frac{Z(s) + Z_0}{Z(s) - Z_0} \times V_i(s) \quad (1)$$

これを变形すると式(2)が得られる。

$$\begin{aligned} Z(s) &= \frac{V_i(s) + V_r(s)}{V_i(s) - V_r(s)} \times Z_0 \\ &= \frac{sV_i(s) + sV_r(s)}{sV_i(s) - sV_r(s)} \times Z_0 \quad (2) \end{aligned}$$

測定で得られる応答波形が時間領域であることから、フーリエ変換を使って時間領域の入射波 $v_i(t)$ および反射波 $v_r(t)$ を用いて記述すると式(4)となる。これにより、入射波および反射波から放射インピーダンスの周波数特性が得られる。

$$Z_n(j\omega) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \frac{d}{dt} v_i(t) + \frac{d}{dt} v_m(t) \right\} e^{-j\omega t} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \frac{d}{dt} v_i(t) - \frac{d}{dt} v_m(t) \right\} e^{-j\omega t} dt} \times Z_0 \quad (3)$$

$$v_m(t) = v_r(t) \{ u(t) - u(t - n\tau) \} \quad (4)$$

$$\tau = 2l_{ANT}, \quad l_{ANT} = l_{ANT} / v_c$$

ここで、 $v_m(t)$ は式(4)のように入射波がアンテナで n 回目の反射をするまでの反射波形を示している。 τ は、反射が起こるまでの時間を示し、アンテナを伝播する時間の 2 倍である。 $Z_n(j\omega)$ は、こ

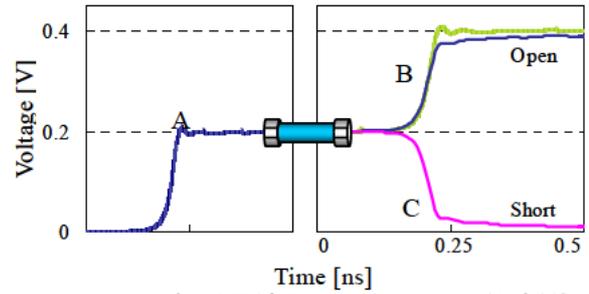


図2 入射電圧波形 $v_i(t)$ および開放、短絡終端時の反射電圧波形

の部分波形におけるインピーダンスの周波数特性である。

また、アンテナへの入射電圧 $v_i(t)$ の実測波形を図2に示す。図中Aの波形は測定器内部での波形、BはTDRとSMAコネクタを接続する同軸ケーブル先端にオープンコネクタを接続したときの波形、Cは同じくショートコネクタを接続したときの波形を示している。今回はBの波形を入射電圧として解析を行った。

3. 結果と考察

実験結果を図3に示す。波形はアンテナに入射波が到達する直前から示している。

アンテナに入射すると反射を繰り返して、400mV を中心に振動して、 10τ 程度でほぼ400mV 一定となる。図3網掛け部の波形は、最初の反射が起こる直前までの波形を抽出したときの反射波形 v_{r1} を示している。図4(a)は、 v_{r1} と入射波 v_i を示している。反射波形には、時刻0直前にわずかに波形の盛り上がりが見られるが、これはSMAコネクタの影響である。図4(b)は、これらの微分波形を示している。これら波形について、本手法を適用したときの放射インピーダンス (Z_1) を図5に示す。これは、モノポールアンテナが無限に長いときの負荷インピーダンスによる反射波形に相当すると考えられ、抵抗成分は300MHzでの350 Ω 前後から周波数とともに減衰し、リアクタンス成分は容量性を有することがわかる。

同様に、図2において n 回目の反射が起こるまでの時間波形を抽出して、本手法を適用したときの波形 Z_n を図5に示す。これらの過渡状態過渡状態の放射インピーダンスは、 n 回目の反射の特性を示すものである。これを繰り返すことにより定常状態における放射インピーダンス特性とな

る。

図5の破線はネットワークアナライザを用いて測定した放射インピーダンス Z_{NTW} である。定常状態における放射インピーダンス Z_{13} と比較すると両者はよく一致していることがわかる。よって、本手法の有効性が確認できた。

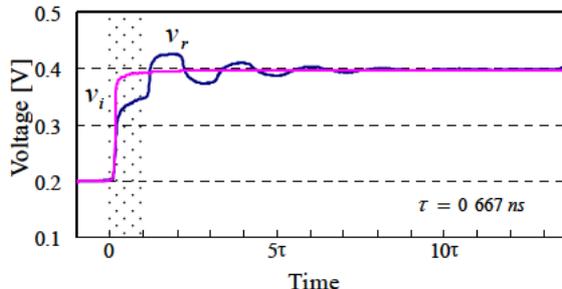


図3 モノポールアンテナの TDR による測定結果

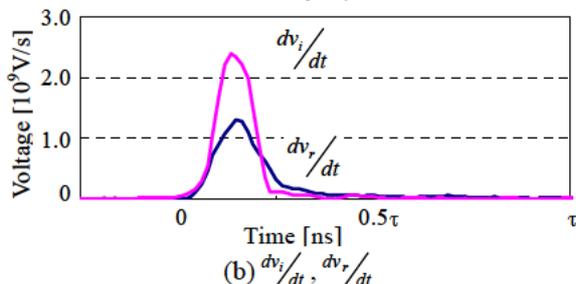
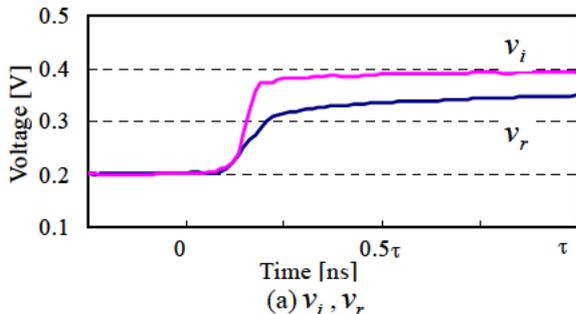


図4 (a)入射電圧および入射波がアンテナ先端に到達する直前までの反射電圧波形, (b) それらの微分波形

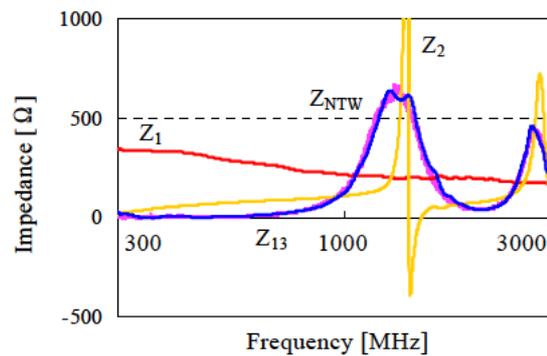
4. まとめ

伝送線路上の不連続部の負荷インピーダンス周波数特性を、TDR 測定を用いて求める解析手法を示した。

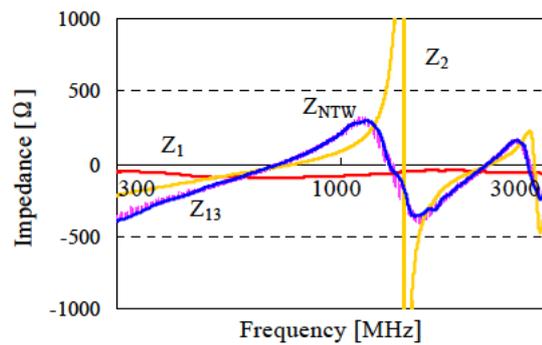
また、これをモノポールアンテナに適用して、一部分、或いは無限長としたときの放射インピーダンスを導出した。さらに、ネットワークアナライザによる測定結果と比較して、提案手法の妥当性を確認した。

今後は、本手法を用いて伝送線路上の不整合、

不連続について解析を行いたい。



(a) Resistive component



(b) Reactive component

図5 反射回数の違いによるモノポールアンテナの放射インピーダンスの周波数特性

謝辞

本研究は名古屋工業大学藤原修教授の指導のもと実施したものであり、厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) N.Kuramata, et al., "Analysis of Pulse Response Characteristics for Bended Line" Tech. of IEICE, EMCJ93-42, p.7-12 (1993).
- 2) K.Baba, "Measurement of the Electrical Properties by the Time-Domain Reflectometry," Journal of IEICE, vol.78, No.9, p.845-846, (1995).
- 3) S.Tofani, et al., "A Time-Domain Method for Characterizing the Reflection Coefficient of Absorbing Materials from 30 to 1000MHz," IEEE Trans. EMC, vol.33, No.3, p.234-240 (1991).
- 4) O. Fujiwara, et al., "Correspondence between Frequency Characteristics of Radiated Emission and Input Impedance of

Power-Ground Planes of PCB,” IEICE Trans. Commun., vol.E86-B, No.8, p.1639-1646 (2003).

5) Y.Kami, R.Sato “Analysis of Radiation Characteristics of a Finite-line Transmission Line Using a Circuit-Concept Approach,” IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.30, No.2, p.114-121 (1988).

6) J.Jong, et al., “Equivalent Circuit Modeling of Interconnects from Time-Domain Measurements,” IEEE Trans. Comp., Hybrids,

Manuf.Technol., vol.16, No.1, p.119-126 (1993).

7) M.Hoshino, et al., “A new equivalent circuit for a small dipole antenna,” Tech. of IEICE, EMCJ96-40, p.29-34 (1996).

8) T.Nakamura, et al., “Radiation from a Bend of Transmission Line,” IEICE Trans. Commun., vol.J70-B, No.2, p.261-268 (1987).