

第7章

回路の特性インピーダンスや伝送路の特性が一目でわかる！

簡易タイム・ドメイン・リフレクト・メータの製作



タイム・ドメイン・リフレクト・メータとは、伝送線路などの反射特性を時間軸で観測することによって、高周波回路の特性インピーダンスを測るものです。本章では、写真7-1に示す簡易アダプタの製作を紹介します。

測定にはオシロスコープが必要なので、少しハードルが高くなってしまいますが、高周波で使う回路や部品の性質を理解する上で役立つので、機会があったらぜひ作ってみてください。

タイム・ドメイン・リフレクトメトリについて

■ 測定原理

これはTDR(Time Domain Reflectometry)、「時間領域反射測定法」と呼ばれ、信号伝送における反射波の時間的な変化を解析し、ケーブルなどの特性インピーダンスなどを測定する方法です。TDR法の原理は19世紀後半にはすでに考えられていましたが、20世紀に入って実用的な発展を遂げました。

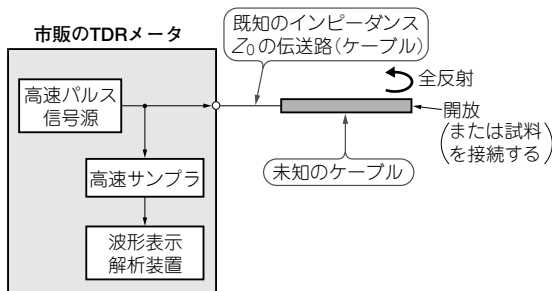
伝送線路の特性インピーダンスをはじめ、プリント基板上のパターンの特性インピーダンス測定、ケーブル障害位置検出器、試料の誘電率の測定、土壌、レンガなどの水分量の測定など、さまざまな分野の測定に

使われています。

TDR法は、負荷からの反射を測定する方法です。市販TDRメータの構成例を図7-1に示します。必要なのは、高速パルス信号源(方形波の発振器)と、高速サンブラ+波形表示器(オシロスコープ)です。

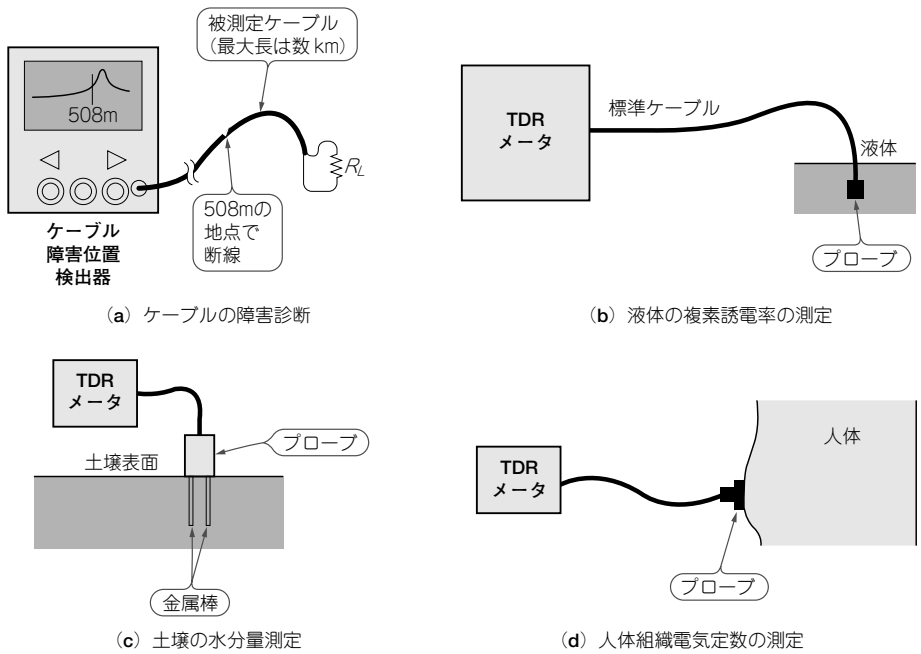
例えば、図のようにケーブルを接続した場合、進行波は、ケーブルの終端で反射して戻ってきます。その状態を時間軸で観測することにより、ケーブルのインピーダンス、ケーブルの終端負荷の状態、ケーブルの途中の異常などがわかります。いくつかの応用例を図7-2に示します。

〈図7-1〉タイム・ドメイン・リフレクト・メータの構成例



〈写真7-1〉製作したTDR用高速パルス信号源(左:その1, 右:その2)

〈図7-2〉 タイム・ドメイン・リフレクトメトリの応用例



(a) ケーブルの障害診断

(b) 液体の複素誘電率の測定

(c) 土壌の水分量測定

(d) 人体組織電気定数の測定

■ TDR の波形

表7-1にさまざまな負荷における TDR 波形を示します。

● 同軸ケーブルの終端を開放または短絡

同軸ケーブルを接続して終端を開放した場合、信号は終端で100%反射され、同じ電圧が入力端に戻り、元の波形に重畳されて、測定端では図のような波形となります。観測される t から同軸の長さ l は次式で計算できます。

$$\ell = \frac{c v_p t}{2} \dots\dots\dots (7-1)$$

ただし、 ℓ : 同軸ケーブルの長さ [m]、 c : 電波の速度 (3×10^8) [m/s]、 v_p : 波長短縮率、 t : 往復時間 [sec]

主な同軸ケーブルの波長短縮率を表7-2に示します。例えば、5D-2Vで、 t として100 nsが観測され

た場合、 $\ell = 10.05$ mとなります。

短絡した場合、反射波は100%ですが、位相が180°異なるので測定端では t 秒後に電圧は0となります。

● 同軸の終端に負荷を接続した場合

異なる特性インピーダンスのケーブルを接続した場合もこれに相当します。 ρ は終端から反射される電圧の大きさの比(電圧反射係数)を表しています。 $R > Z_0$ の場合に ρ は正、 $R < Z_0$ の場合に ρ は負になります。

▶ 終端開放と同じ波形が得られた場合

$\rho = 1$ なので、 R は無量大です。

▶ リアクタンスと抵抗を直列接続した場合

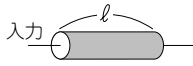
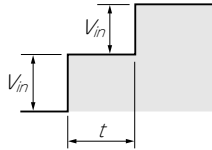
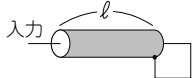
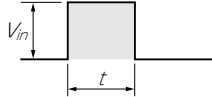
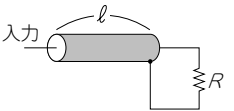
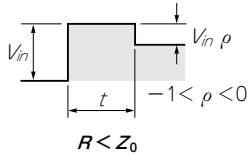
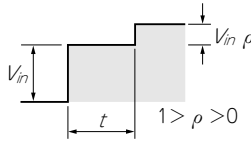
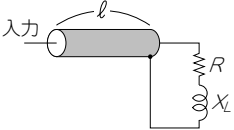
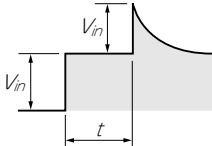
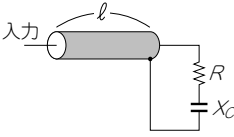
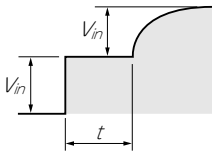
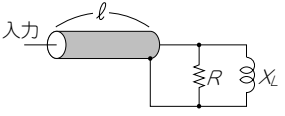
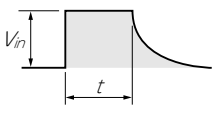
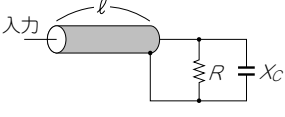
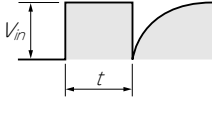
時定数をもつ波形となります。これらは、同軸ケーブルの途中に何か不具合が発生しているとき、その不具合箇所と不具合状態がわかります。詳しくは後述します。

▶ リアクタンスと抵抗を並列接続した場合

〈表7-2〉 主な同軸ケーブルの波長短縮率

| 同軸ケーブル名称 | 特性インピーダンス [Ω] | 波長短縮率 | 備考 |
|--------------------------|---------------|-------|-----|
| 1.5 D - QEV | 50 | 0.67 | |
| 1.5 C - QEV | 75 | 0.67 | |
| 2.5 D - 2 V ~ 10 D - 2 V | 50 | 0.67 | |
| 3 C - 2 V ~ 10 C - 2 V | 75 | 0.67 | |
| 5 D - FB ~ 12 D - FB | 50 | 0.8 | 低損失 |
| 5 C - FB ~ 7 C - FB | 75 | 0.8 | 低損失 |
| RG - 58 - A/U | 50 | 0.67 | |
| RG - 59/U | 73 | 0.67 | |
| RG - 178 - B/U | 50 | 0.7 | |

〈表7-1〉さまざまな負荷におけるTDR波形

| 負荷 | 条件 | 応答波形 |
|----------------|---|--|
| (a) ケーブル |  入力 l 終端開放 |  |
| |  入力 l 終端短絡 |  |
| (b) 抵抗負荷 |  入力 l R |  $-1 < \rho < 0$ $R < Z_0$ |
| | $R = Z_0 \left(\frac{1 + \rho}{1 - \rho} \right)$ $\rho = \frac{\left(\frac{R}{Z_0} - 1 \right)}{\left(\frac{R}{Z_0} + 1 \right)}$ |  $1 > \rho > 0$ $R > Z_0$ |
| (c) 直列リアクタンス負荷 |  入力 l 直列LR R X_L |  |
| |  入力 l 直列CR R X_C |  |
| (d) 並列リアクタンス負荷 |  入力 l 並列LR R X_L |  |
| |  入力 l 並列CR R X_C |  |