

## 第2章 特性インピーダンスの 不思議がこれでわかる

### 第2の部品 「伝送線路」のふるまい

市川 裕一  
Yuichi Ichikawa

第1章で説明したように、高周波では第2の部品として「伝送線路」が登場しました。部品や回路だけでもやっかいなのに、プリント・パターンで作る伝送線路のインピーダンスも合わせて考慮しなくてはならなくなりました。

本章では、この伝送線路のインピーダンスをどのように扱ったらよいのかを説明します。

#### 「伝送線路」の インピーダンスにどう対応する？

##### ● 部品はインピーダンスでOKだけど…

インピーダンスは、電気回路で誰もが習うことなので、前述のように低周波と高周波の違いさえわかれば、困ることはないと思います。図1に示すように、インピーダンスは、回路や部品に交流電圧を加えたときにどんな電流が流れるのか、その電圧  $V$  と電流  $I$  との関係を表しています。

抵抗の場合、同じものを2個直列に接続すれば抵抗値は2倍になり、そのインピーダンスも2倍になります。コンデンサの場合、同じものを2個直列に接続すると容量値は半分になりますが、そのインピーダンス

は2倍になります。

これらの部品のインピーダンスは、テスタやインピーダンス・アナライザを使えば簡単に測定できます。

こんなあたりまえのことわざわざ説明したのはわけがあります。実は**伝送線路の場合には、こんなあたりまえのことが成り立たない**のです。

##### ● 伝送線路の性質は特性インピーダンスで表す

高周波では、プリント・パターンや同軸ケーブル、コネクタなども一つの部品として考える必要があることを説明しました。

こんなとき使われるのが特性インピーダンス (characteristic impedance) です。では、皆さんの身近にある同軸ケーブルを例に、特性インピーダンスの素性を探ってみましょう。

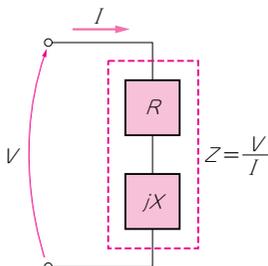
#### 特性インピーダンスとは

##### ● 直流抵抗とはぜんぜん別なもの

長さ1m、特性インピーダンス50Ωの同軸ケーブルがあるとします。

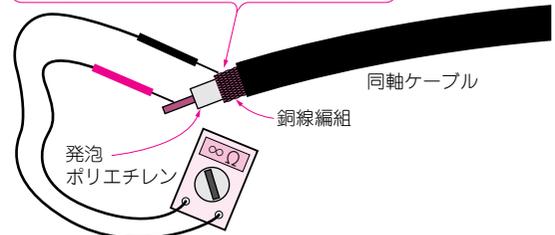
50Ωということですから、図2のようにテスタを使

〈図1〉インピーダンスとは…交流電圧を加えたときにどんな電流が流れるかを表す



〈図2〉同軸ケーブルの中心導体と外部導体のインピーダンスはテスタで測れない

中心導体と外部導体間の抵抗を測定すると…



#### Keywords

特性インピーダンス, 等価回路, 同軸ケーブル, マイクロストリップ・ライン, コンダクタンス, 分布定数回路, 集中定数回路, 50Ω.

って、中心導体と外部導体の間の「特性インピーダンス」を測れそうです。しかしよく考えてみると、中心導体と外部導体はつながっていませんから、テストの表示は当然∞になります。50Ωとは表示されません。

特性インピーダンスの50Ωは、直流抵抗の50Ωとは別のもので、**直流に対して定義されるものではない**ことがわかります。

### ● 長さが変わっても値が変わらない

あたりまえのことですが、二つの部品を接続するとインピーダンスが変わります。こんなあたりまえのことが、特性インピーダンスでは通用しません。

例えば、長さが1mと10mの市販の同軸ケーブルの特性インピーダンスを調べてみてください。同じ種類のケーブルであれば、特性インピーダンスの仕様は、長さとは無関係にまったく同じです。表1に示すのは、市販の同軸ケーブルの仕様書の例です。ご覧のとおり、長さのスペックは見当たりません。このことから、**特性インピーダンスは長さに関係ない**ものであることがわかります。

### ● 電力を消費しない

抵抗は電力を消費して、熱に変えます。では特性インピーダンスはどうでしょう？

特性インピーダンスは、後出の式(2)で**LとCの比から求まります**。後出の式(1)のRとGをゼロとすると、特性インピーダンスは、インダクタとコンデンサのインピーダンスどうしを掛け合わせ、その平方根(√)を取ったものです。インピーダンスの2乗の平方根はインピーダンスです。

インダクタとコンデンサは、抵抗のように電力を消費しますか？答えはNOです。電力を消費しないものから求められる特性インピーダンスは、もちろん**電力**

を消費しませんから、抵抗の50Ωとはまったく別物です。

### ● 周波数によらず一定で位相だけ変化する

特性インピーダンスの**周波数特性の変化は、高周波領域ではごくわずかなので**、一定と捉えても全然問題ありません。

特性インピーダンス50Ωの伝送線路は、**インピーダンスが50Ωで設計されたものとつないだとき、反射を起こさずに、その長さによって信号の位相だけが変わる部品**といえます。

## 特性インピーダンスの性質は伝送線路の構造で決まる

特性インピーダンスは、長さが変わっても値が変わりません。なぜ、こんな不思議な特性が得られるのでしょうか？その秘密は、伝送線路の構造を調べるとわかってきます。

### ● まずは伝送線路の構造の理解から

第1章の「その1」で、高周波になるとプリント・パターンも一つの部品として考える必要があることを説明しました。

このように、回路の寸法が波長に対して無視できなくなり、プリント・パターン上の位置が意味をもつ回路を**分布定数回路**と呼びます。一方、低周波回路のように、回路の寸法が波長に対して無視でき、プリント・パターン上に配置される部品で回路特性が決まってしまう回路を**集中定数回路**と呼びます。

分布定数回路の世界では、配線も回路部品の一つとして捉えなければならなりません。いったい何が分布しているのでしょうか？

### ▶ 単位長さ当たり一定容量値のコンデンサ(C)が並列に並ぶ

伝送線路で最もよく使われるマイクロストリップ・ラインを例に見てみましょう。図3にマイクロストリップ・ラインの構造を示します。

まず気づくのは、上面と下面の導体プリント・パターンが平行に配置され、誘電体(絶縁体)をはさんでい

〈表1〉同軸ケーブルの仕様書例…長さのスペックが見当たらない(米国 EZ Form Cable Corp.)

型名	EZ 086/M17	EZ 141/M17
MIL規格	M17/133-RG405	M17/130-RG402
特性インピーダンス [Ω]	50.0±1.0	50.0±1.0
外部導体外径 [mm]	2.20	3.58
誘電体外径 [mm]	1.676	2.98
中心導体外径 [mm]	0.511	0.92
中心導体材質	SPCW	SPCW
重量(最大値) [g/m]	22.8	51.2
中心導体接着力	最小 [N]	17.8
	最大 [N]	111.0
静電容量(最大値) [pF/m]	105.0	98.1
最大電圧連続使用時 [V <sub>RMS</sub> ]	1500	1900
絶縁耐圧 [V <sub>RMS</sub> ]	5000	5000
周波数(最大値) [GHz]	20	20
使用温度範囲 [°C]	-65~+125	-65~+125
曲げ半径(最小値) [mm]	3.18	6.35

〈図3〉マイクロストリップ・ラインでは単位長さ当たり一定容量のコンデンサと一定抵抗値の抵抗が並ぶ

