

合点！電子回路入門

石井 聡

Satoru Ishii

第17回

信号を波と意識すべき回路で必要になる
「特性インピーダンス」【後編】

前回(2008年9月号)は、「波を意識する」ことが必要になる長さの電線に、電圧量と電流量が伝達するときの相互関係が「特性インピーダンス」だと説明しました。そして、コイル/コンデンサの伝送線路の等価回路を示し、特性インピーダンスの大きさについて示しました。

また、前回の最後に「反射係数」を説明しました。今回はこの反射係数をもとにして、位置によって入力インピーダンス(その点から見たインピーダンスのこと…特性インピーダンスではない)が変化していくようすを説明していきます。

反射してきた波が合成されるとポイントごとのインピーダンスが変動する

今回は、同軸ケーブルなどの特性インピーダンスと、その末端につながる負荷抵抗の大きさが異なる場合に、どのようなふるまいになるかを考えてみましょう。ポイントは、下記の二つです。

- 負荷抵抗のところで電圧と電流が反射する
- 同軸ケーブルの入力側から見ると、「金太郎飴」として同じ入力インピーダンス(例えば50Ωとか75Ω)を示すはずが、違う大きさになってしまう

● 特性インピーダンス50Ωの同軸ケーブルをつなぐ
図17-1(a) [前回の図16-15(a)] の途中に同図(b)のように、特性インピーダンス50Ωの同軸ケーブルを挿入してみます。前回に説明した海王星まで伸びる同軸ケーブルの話のように、まずは(海王星に向けて)伝わっていく波だけを考えてみます。そうすると、この図17-1(b)の同軸ケーブルの中を伝わる信号は、同図(a)の「負荷抵抗側に伝わっていく電圧と電流」の波に相当します。

ここから負荷抵抗側に伝わっていく波のことを、進んでいく波という言葉で説明していきます。注意してください。

▶ 特性インピーダンス Z_0 が50Ωなら、進んでいく電圧と電流の波は50Ωの関係が満たされる

前回説明したような「金太郎飴」的に考えてみます。図17-1(b)のように、電気信号が負荷抵抗に到達しない間であれば、電圧信号源が接続された入力端の状態は、まるでそこに負荷抵抗50Ωが繋がれたことと同じになります。

これは、同軸ケーブルを進んでいく波の電圧量と電流量を関係づける「比の大きさ…特性インピーダンス」が50Ωであるため、電圧量と電流量の比がオームの

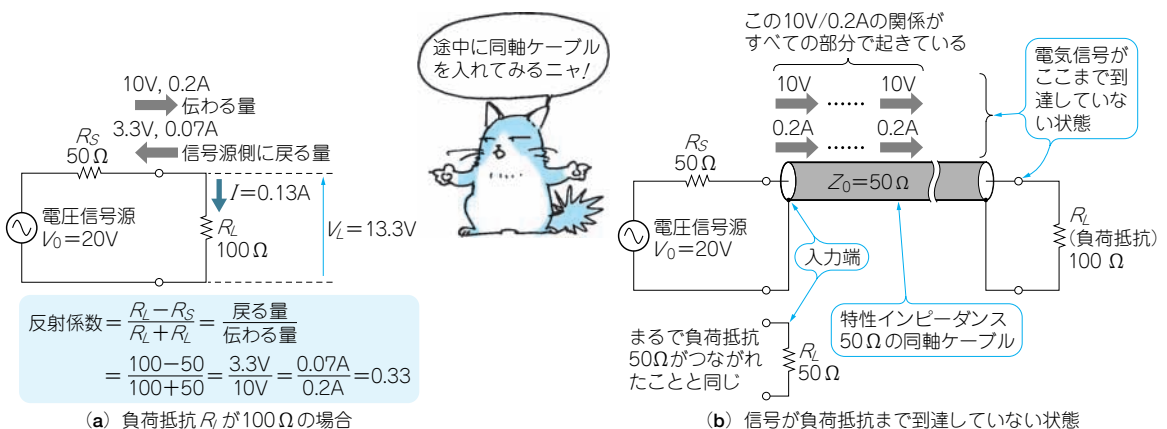


図17-1 100Ωの負荷抵抗を特性インピーダンス50Ωの同軸ケーブルに接続する(進む波は10Vと0.2Aとしている)

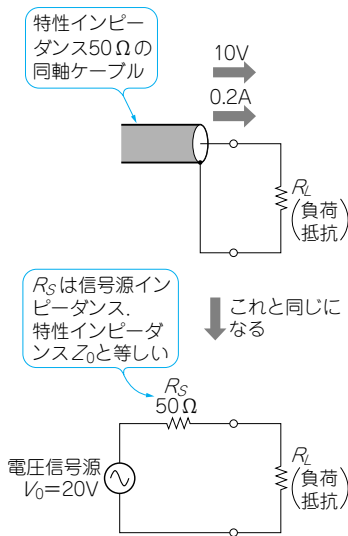


図17-2 信号が負荷抵抗 R_L に到着したときを考える(進む波は10Vと0.2Aとしている)

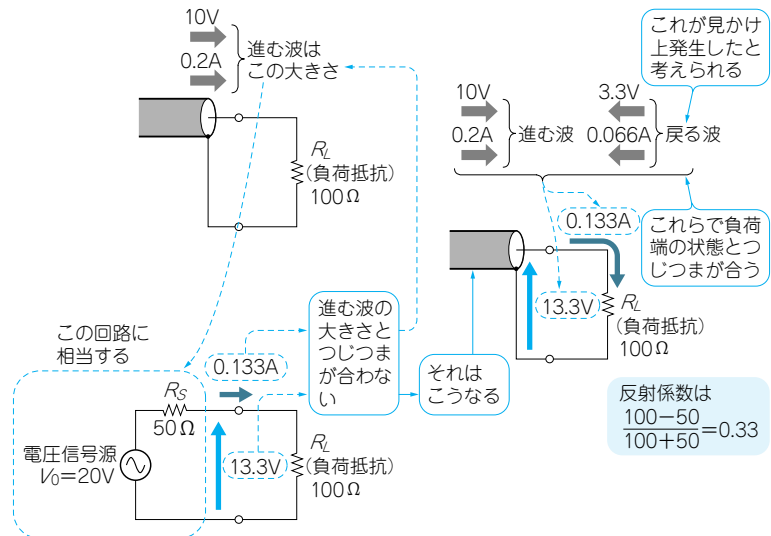


図17-3 負荷抵抗 R_L が特性インピーダンス Z_0 と同じでないとき、信号源側に戻ってくる電圧量と電流量が「見かけ上」発生したようになる

法則で考えても50Ωになっており、負荷抵抗50Ωが繋がれたことと何ら変わらないからです。

さらにこの関係が、信号源の繋がっている入力端から始まり、それが同軸ケーブル内のすべての部分で起きているだけといえます。つまり、どこを切ってみても、50Ωの関係になっていることがわかりますね。

● 信号が負荷抵抗に到着すると、そこではオームの法則で電圧/電流が決定し、反射波が生じる

それでは、信号が図17-2のように、電圧と電流の波が負荷抵抗 R_L に到着したときのことを考えましょう(進む波はそれぞれ10Vと0.2Aとし、負荷抵抗 R_L の大きさはここでは決めつけない)。この信号(電圧と電流)は、見かけ上信号源インピーダンス R_S (特性インピーダンス Z_0 と同じ大きさ) = 50Ωをもっている $V_0 = 20V$ の電圧信号源に相当すると考えられます。

前回説明したように負荷抵抗 R_L が50Ωであれば、信号が負荷抵抗 R_L に到着しても、電圧と電流は何ら乱れることはありません。何事もなかったように、端子電圧と抵抗に流れる電流の関係が、オームの法則で50Ωという比率で決定します(逆にいうと、さらに同軸ケーブルがその先にもつながっているのとまったく同じように)。

前回の説明のとおり、また以下にも説明していきますが、この状態は「反射波がない」と言うものです。これを「インピーダンス・マッチングしている」と言います。

▶ 負荷抵抗が特性インピーダンスと同じでない場合でもオームの法則が成り立つが…

図17-3のように、図17-2の負荷抵抗 R_L が同軸ケーブルの特性インピーダンス $Z_0 = 50Ω$ と同じでない場合を考えてみます。ここでは負荷抵抗 $R_L = 100Ω$ として考えてみましょう。ここでも、進む波はそれぞれ10Vと0.2Aとしています。

先と同じように、波として負荷抵抗 R_L に到着した電圧量と電流量は、見かけ上信号源インピーダンス R_S (特性インピーダンス Z_0 と同じ大きさ) = 50Ωをもっている20Vの電圧信号源に相当すると考えられます。

そこには、一瞬一瞬の時刻で単純なオームの法則のとおり(2007年7月号の図2-7に示したように)*1、図17-1(a)とまったく同じように、端子電圧と抵抗に流れる電流量が決定します。

▶ 負荷抵抗が特性インピーダンスと同じでないとき反射波が生じる

このことで図17-3のように、負荷抵抗 R_L のところでは $R_L = 50Ω$ の場合とは異なる電圧/電流の大きさになります。

さて、ここまでの話で進む波は10V/0.2Aだけでした。この図17-3の負荷抵抗のところでは、その大きさ(10V/0.2A)とはつじつまが合いません。

この進む波の大きさとつじつまが合わない差分量は、負荷抵抗 R_L のところで、その大きさぶんが見かけ上発生したと考えることができます(図17-3のように

*1：本連載では純抵抗だと仮定して説明している。リアクタンス量だと電圧と電流の位相が異なるので注意。