

理想と現実のギャップ

— シミュレーション結果と実際の動作との違いを探る

河合 孝

アナログ回路を作成し、実際に回路を動作させてみると、期待される動作をしないことがあります。一方で、実際の回路とシミュレータでは、結果が異なることもあります。アナログ・シミュレータで使っている電子部品モデルの特性と、実際の電子部品の特性が異なるからです。実際の回路とシミュレータではどのあたりが違うのかを探ってみましょう。

抵抗器(R)

●部品としての抵抗

回路図中やシミュレータ上での抵抗は、純粋な抵抗成分のみで構成されています。理想抵抗ということになります。

しかし、実際の部品としての抵抗(抵抗器)ではどうでしょうか。たしかに、比較的低い周波数の領域では、抵抗器はほぼ計算どおりに動作します。ところが、動作する周波数が上がってくると、実際の抵抗器では純粋な抵抗成分以外に、寄生の成分が現れてきます。

例として耐電力1/4Wのリード線付き抵抗器を考えてみましょう。この抵抗器を回路基板上に“寝かせて”配置したとします。このとき、抵抗器のリード線とグラウンド間には浮遊容量が付いてしまいます。さらに、抵抗器のリード線は、高周波領域ではインダクタンス成分として動作します。これらを考慮した抵抗のモデルを図1(a)に示します。

もう少し具体的に考えてみましょう。薄膜抵抗器の場合、抵抗器の片側のリード線を基板のグラウンドに接続したとき、抵抗器間の浮遊容量は0.3pFと見積もられます。一方、0.1インチの長さのリード線についてインダクタンス成分は20nHと見積もられます¹⁾。

●抵抗器の周波数特性

この抵抗器のモデルを100Ωから100kΩまで順次変化させたとき、周波数の変化に対し、抵抗値(インピーダンス)がどのように変化するかを、シミュレータのAC解析で調べてみましょう。

シミュレーションした結果を、図1(b)に示します。

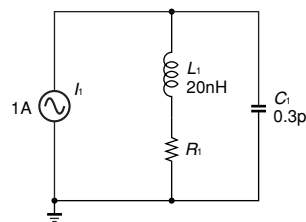
この解析では、インピーダンスの計測方法に少しくふうがなされています。まず、入力信号として1Aの正弦波の定電流信号源を入力します。そして、部品(抵抗器のモデル)の両端の電圧を計測します。抵抗の値は、

$$R = \frac{V}{I}$$

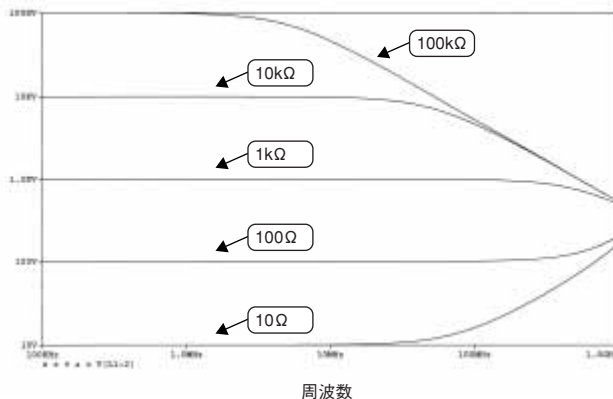
となります。分母の電流Iの値を1Aと設定しておけば、電圧の値そのものの読みがインピーダンスの値と同じになります。

図のY軸は、抵抗値(単位:Ω)と等しくなります。したがって、Y軸の“100kV”という値のポイントは、“100kΩ”と読み替えられるというわけです。

シミュレーション結果を見ると、1MHzより低い周波数のときは抵抗器は純粋な抵抗器として働いていると判断できます。しかし、1MHzより高い周波数では、寄生の成分要素が



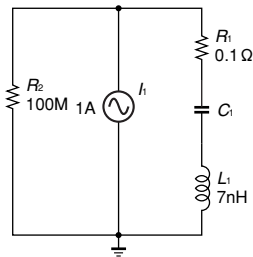
(a) モデル



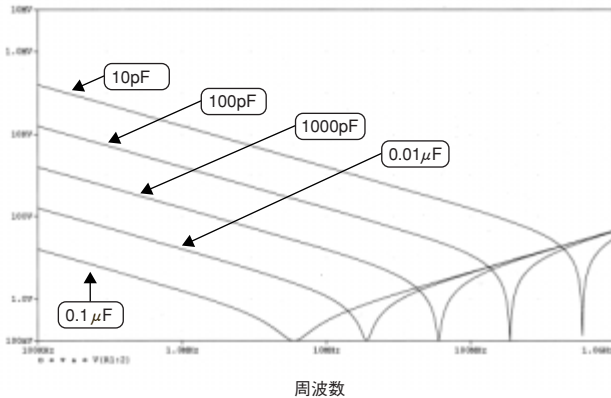
(b) シミュレーション結果

【図1】抵抗器の特性

5

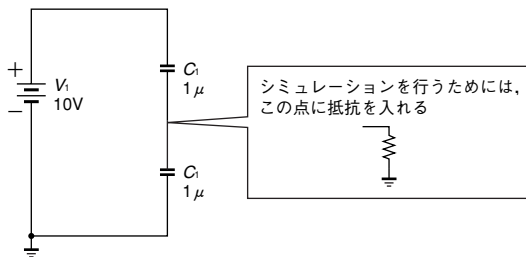


(a) モデル



(b) シミュレーション結果

〔図2〕 コンデンサの特性



〔図3〕 シミュレーションできない回路(1) – コンデンサが直列

大きく影響してくることがわかります。

100kΩのような、抵抗値が高いほど、高周波領域で抵抗器インピーダンスの減衰が現れます。これは抵抗器に直列に接続される容量成分が原因となっています。

一方、抵抗値が10Ωくらいと低い抵抗器の場合、周波数が高くなるにつれて抵抗のインピーダンスが高くなってきます。これは抵抗に直列に挿入されたインダクタンス、つまり、抵抗器のリード線のほうの影響が現れてくるためです。

今回示したモデルの寄生部品の値は一つの例にすぎません。しかし、高周波回路を設計する際には、このような部品の特性をよく理解しておかなければならないことはわかっているものと思います。結果として、抵抗器を使う際に、インダクタンスの影響を少なくしようとするならば、リード線のない表面実装型のチップ抵抗を使用すれば、よりよい特性が得られるだろうことも見えてきます。回路設計の現場では、こ

のような視点で問題に取り組む必要もあります。

コンデンサ(C)

●部品としてのコンデンサ

コンデンサも、シミュレータでは理想的な部品として扱われます。したがって、周波数が高くなればなるほど、信号成分を導通するようになります。ところが実際のコンデンサがこのような理想どおりになっていないことは、経験上からも明らかです。

まず、周波数に対する影響を考えなくてはなりません。

実際のリード線付きのセラミック・コンデンサのモデルは、図2(a)のように表現できます¹⁾。このモデルではコンデンサに直列に抵抗分(ESR：等価直列抵抗)とコンデンサのリード線によるインダクタンスをモデル化しています。CとLが直列に接続されていますから、どこかの周波数ポイントで共振が起こるだろうことは、予想できます。

●コンデンサの周波数特性

さて、このコンデンサのモデルで直列に挿入される抵抗値(ESR)を0.1Ω、リード線のインダクタンスを7nHとしてシミュレーションを行い、このコンデンサの周波数特性を調べてみましょう。

シミュレーション結果を図2(b)に示します。

コンデンサの容量に対応して共振点が生じていることがわかります。共振点より低い周波数領域ではコンデンサの容量成分のほうが、また、共振点より高い周波数領域ではリード線のインダクタンス成分のほうが支配的になっていることがわかります。

このように、シミュレータでは理想として扱っていたコンデンサを用いてシミュレーションを行ったとき、高い周波数領域で解析結果に誤差が生じることがわかります。

●コンデンサの直列接続

実際の回路では意図的にコンデンサを直列接続して使用することはあまりないかもしれませんが、また、実際の回路でコンデンサ2個を直列に接続して使用してもなんの問題も生じません。

しかし、図3のように、コンデンサを直列にした回路をシミュレーションしてみると、エラーになってシミュレーションを行えません。

コンデンサの構造からもわかるように、二つのコンデンサの中間点は、電気的に浮いてしまうためです。これでは電位が一つの値に定まりません。

実際のコンデンサ部品では、電圧が印加されたとき、二つ