

第2章 等価回路と実回路での特性理解が重要

用途ごとに 抵抗器を使いこなす

遠坂 俊昭 Toshiaki Enzaka

抵抗の等価回路と インピーダンス-周波数特性

R, C, L の3種のなかで特性が一番安定しているのが抵抗です。理想の抵抗ならば周波数によらずインピーダンスは一定のはずです。ところが現実の抵抗は図1に示すように、インピーダンス-周波数特性が平坦ではなく、周波数が高くなると、高抵抗値ではインピーダンスが下がり、低抵抗値ではインピーダンスが上昇してしまいます。

● 抵抗の寄生成分

これは図2に示すように、実際の抵抗には余分なコンデンサ成分(寄生容量, 浮遊容量)やコイル成分(寄生インダクタンス, 浮遊インダクタンス)が含まれるためです。

図1では10 kΩの抵抗値が、約150 MHzで約70% (-3 dB)に低下しています。これは、図2に示す C_S のインピーダンスが周波数の上昇により下がり、 R との合成インピーダンスが低下してしまうためです。

したがって、第1章で説明したように下式から C_S の値が求まります。

$$C_S = \frac{1}{2\pi \times 10 \text{ k}\Omega \times 150 \text{ MHz}} \approx 0.1 \text{ pF}$$

図1で、10 Ωでは100 MHz以上でインピーダンスが上がっています。もっと高い周波数までグラフが描かれていれば数値が求まるのですが、ちょっと残念です。

抵抗も含め、導体に電流が流れると磁束が生じます。磁束が生じるということはコイル成分が生じることを意味しています。導体が長いほどインダクタンスは大きくなります。一般的な1/4 W程度のリード抵抗の長さ、7~8 mmでは5 nH程度のインダクタンスになります。5 nHは1 MHzでは下式から31.4 mΩのインピーダンスになります。

$$Z_L = 2\pi \times 5 \text{ nH} \times 1 \text{ MHz} \approx 31.4 \text{ m}\Omega$$

このため、 R の値が低くなるほど L_S の影響が大きくなります。

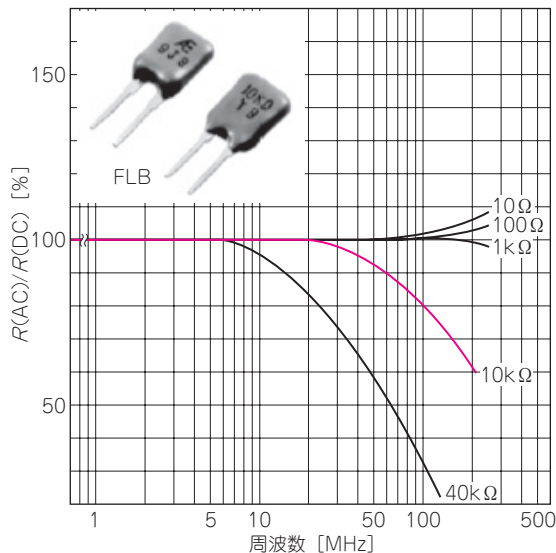


図1⁽³⁾ 樹脂コーティング精密抵抗器(アルファ・エレクトロニクス)のインピーダンス-周波数特性
[写真提供: アルファ・エレクトロニクス]

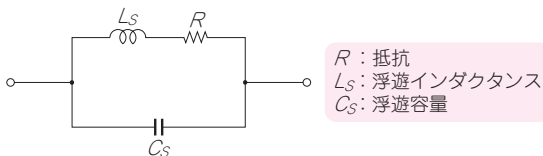


図2 抵抗の等価回路

● シミュレーションで確認

一般的には同形状の抵抗ならば抵抗値によらず、 C_S, L_S の値はおおよそ同じ程度になります。図3は上の検討で得られた $C_S=0.1 \text{ pF}, L_S=5 \text{ nH}$ を代入し、1 mΩから1 MΩまで10倍の間隔で図2の等価回路のインピーダンスをシミュレーションした結果です。

抵抗値が低いと L_S のインピーダンスが影響し、 C_S の影響はほとんどありません。抵抗値が高いと C_S のインピーダンスが影響し、 L_S の影響はほとんどありません。ということで、抵抗値が高いと高域でインピ