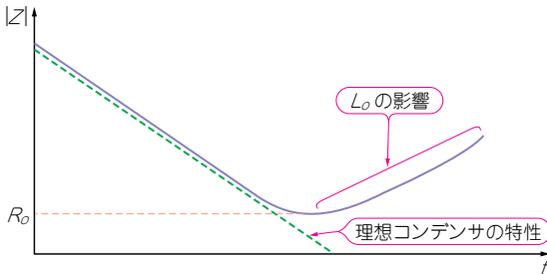


## コンデンサの重要な特性 「インピーダンス」

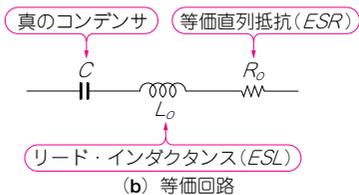
### ● コンデンサのインピーダンス周波数特性はすべてV字形

コンデンサを理解するうえで重要な特性の一つが周波数特性です。図1(a)はコンデンサの周波数特性ですが、もし理想的コンデンサならば図の点線のように、高くなる周波数軸に対してインピーダンス $Z$ は直線的に下がります。しかし、実際にはこのようなコンデンサは存在しません。

実際のコンデンサは、周波数が高くなるにしたがって等価直列抵抗 $ESR$ (Equivalent Series Resistance)を最下点にして、再びインピーダンスは高くなっていきます。理想的なコンデンサの特性は、もちろん低域から高域までの周波数に対して幅広く低インピーダン

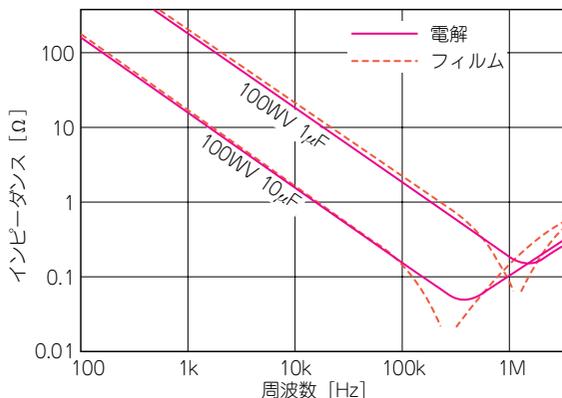


(a) インピーダンス-周波数特性



(b) 等価回路

図1 コンデンサの等価回路とインピーダンス-周波数特性



(a) フィルム・コンデンサと電解コンデンサの比較

図3 コンデンサの実測インピーダンス特性例とその要素

スであることですが、これは合成的に作るしか手がありません。

### ● インピーダンスの定義

コンデンサの話のまえに「インピーダンス」について定義をしてみましょう。誰でも知っている用語ですが、正しい定義となると案外難しいもののようです。

インピーダンスとは、電子回路、電子部品、および電子部品材料の特性評価で使われる重要なパラメータです。インピーダンス $Z$ は、ある周波数における部品や回路の交流電流の流れを妨げる量として定義されます。これは数学的には、複素数平面上的のベクトル量として扱われます。電子回路で扱われるインピーダンスとは、単なる直流的な抵抗ではありません。

これから解説するコンデンサに関しては、あらゆる場面でこのインピーダンスという言葉が出てきます。

### ● コンデンサは純粋なC成分だけでは存在しない

コンデンサの等価回路を見てみましょう。図2は、コンデンサに寄生するリード・インダクタンス $L_L$ と直流抵抗 $R_L$ が真のコンデンサに並列/直列に寄生しているようすを表したものです。すべての電子部品は、

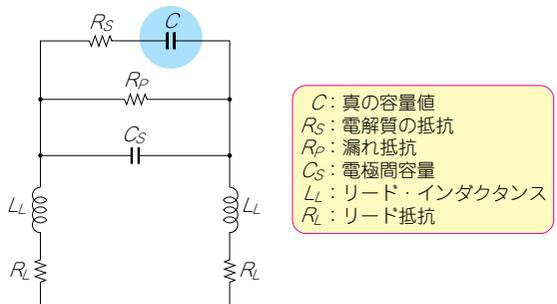
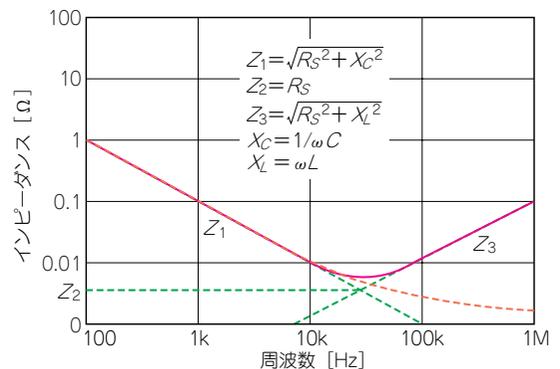


図2 寄生成分を含むコンデンサの等価回路



(b) 周波数特性を決める要素  
 $R_S$ : 電解質の抵抗

純粋な抵抗やリアクタンスではなく、これらのインピーダンス要素をいくつも含んでいます。すなわち、現実の部品や回路には、**リード・インダクタンス**、**コンデンサ内の漏れ電流**、**等価直列抵抗**、**インダクタンス内の巻き線間分布容量**といった寄生成分が存在します。

コンデンサにおいては、コンデンサの構造、誘電体、電極、そのほかの材料によって、寄生成分に大きく差が出てくることになります。

ほとんどのコンデンサのインピーダンス-周波数特性は、**図3**のようなV字形のインピーダンス特性を示します。**図3(a)**はフィルム・コンデンサとアルミ電解コンデンサの周波数に対するインピーダンス特性ですが、コンデンサの種類によってインピーダンス特性が変わっていることが確認できます。

### ● インピーダンス周波数特性がV字型になる理由

あらゆるコンデンサのインピーダンスは、どうしてV字形の周波数特性になるのでしょうか。**図3(b)**は**図1**でも解説しましたが、コンデンサの周波数特性を理解する図です。点線で書かれている特性はコンデンサにインダクタンス成分が存在しない理想的なコンデンサの特性ですが、このようなコンデンサは製作でき

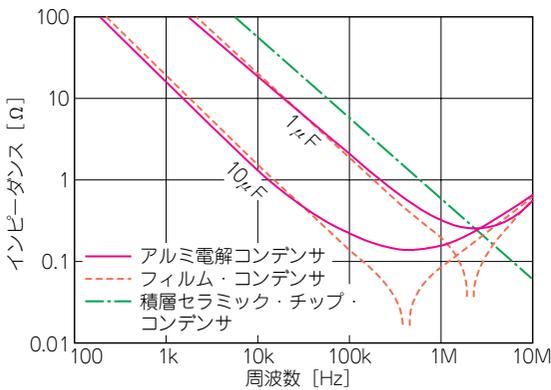


図4 コンデンサの種類によってインピーダンスの周波数特性は異なる

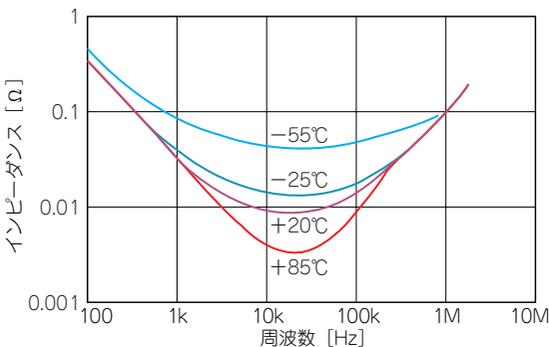


図5 アルミ電解コンデンサのインピーダンスの温度特性

ませんから、すべてのコンデンサはリード・インダクタンスを含んだ  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$  のインピーダンス曲線になります。

コンデンサの種類によってインピーダンス特性が異なると述べましたが、**図4**はアルミ電解コンデンサ、フィルム・コンデンサ、チップ積層セラミック・コンデンサのそれぞれのインピーダンス特性です。この特性を見ると、例えば**ノイズ対策の場合**、**同じ種類のコンデンサを多数並列にして使用するよりも**、**各種コンデンサのインピーダンス特性のずれを上手に組み合わせ、周波数帯域の広いノイズ・フィルタを構成するほうがよいことがわかる**と思います。

### ● インピーダンスの温度特性と周波数特性

ほとんどのコンデンサは周囲温度によって諸特性が大きく変化します。**図5**はアルミ電解コンデンサの周囲温度とインピーダンス特性の関係図です。これからもわかるように、アルミ電解コンデンサは低温になるほどインピーダンスは高くなり、コンデンサの特性が悪くなります。

図のように、 $+20^\circ\text{C}$ 時のインピーダンスが $0.0008\ \Omega$ でも、 $-55^\circ\text{C}$ では $0.07\ \Omega$ と2桁もインピーダンスが高くなってしまいます。**図6**は、アルミ電解コンデンサのインピーダンス-周波数特性をC, R, Lの成分ごとに分解した図です。この図からコンデンサのインピーダンスZは、

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

と表されることがわかります。

**図5**の温度特性と**図6**の周波数特性要素の図を重ねてみると、ほぼ同じ曲線になります。このことから、コンデンサのインピーダンスは周波数と温度の影響が多であることがわかります。

**図6**で、 $1/\omega C$ は純粋な容量性リアクタンス特性で $45^\circ$ の右下がりとなり、 $\omega L$ は純粋な誘導性リアクタ

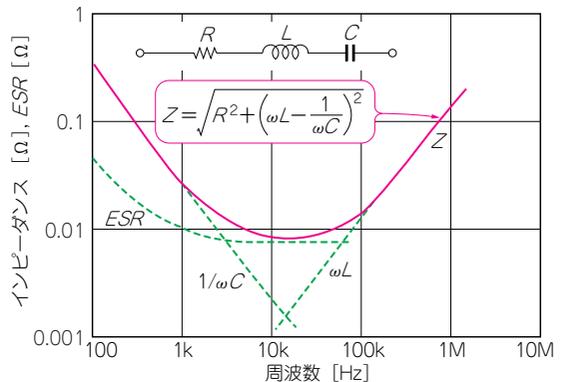


図6 インピーダンス特性を決める要素