



## 第5章 使用できる周波数限界を 実験で確かめる

# 高周波における コンデンサの振る舞い

市川 裕一  
Yuichi Ichikawa

低周波回路の場合、電気エネルギーをためる役割や直流をカットし交流信号を通す役割として、コンデンサが使われています。能動/受動フィルタや発振回路などにもコンデンサが使われています。

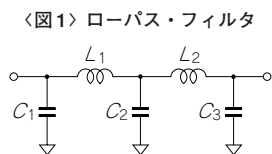
それでは高周波回路の場合、低周波回路とはまったく違った役割があるのでしょうか？高周波でのコンデンサは、表示値どおりの容量をもちません。また、ある周波数を越えるとコイルとして振る舞うようになります。ここでは実験を交えながら、高周波回路におけるコンデンサの特性を見ていきます。

### 高周波回路でコンデンサは どんな所に使われている？

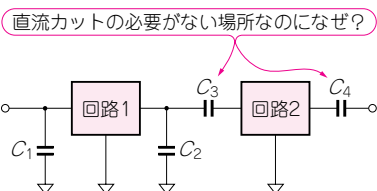
高周波回路のどんな所にコンデンサが使われ、どんな役割を担っているのか、図1～図3に示す回路例で見てみましょう。

#### ● ローパス・フィルタ(LPF)

図1に示します。コンデンサ  $C_1 \sim C_3$  とコイル  $L_1, L_2$  の値の組み合わせによって、フィルタの特性を実



〈図2〉 高周波回路で見かけるコンデンサの使われ方



現しています。低周波回路のフィルタとの違いを挙げるとすれば、コンデンサの容量と形状、そしてその種類でしょう。

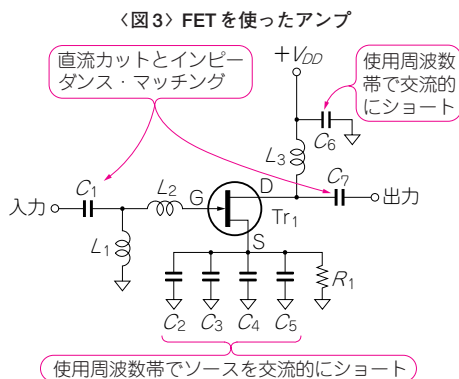
#### ● インピーダンス・マッチング

図2に示します。  $C_3$  や  $C_4$  のように直流をカットする必要もない場所にコンデンサが挿入されていたり、  $C_1$  や  $C_2$  のように信号ラインとグラウンド間に、ぽつんとコンデンサが挿入されていたりします。

これが最も理解しにくい高周波的な使い方、高周波回路で重要なインピーダンス・マッチングの役割を担っています。言葉のとおり、コンデンサの容量ではなく、コンデンサのインピーダンスを利用しています。ですから、部品を使用する周波数でのインピーダンスが大変重要です。

#### ● 交流的にショート

図3に示します。高周波回路も交流回路ですから、低周波回路と同様に電源ラインや入出力部分にコンデンサが使われています。しかし、低周波回路と違う役割があります。



### Keywords

SMA コネクタ, ネットワーク・アナライザ, 反射特性, 通過特性, スミス・チャート, 自己共振周波数, BPF, BEF, MCSIL, インピーダンス・マッチング。

## インピーダンス・マッチングとは

低周波回路では、電圧や電流によって回路の特性が表されます。しかし高周波回路では、低周波回路のように電圧や電流を測定することが非常に難しく、電力によって回路の特性が表されます。

例えばアンプの利得も低周波で使われる電圧利得や電流利得ではなく、電力利得になります。高周波回路では、信号のレベルも電力で表されますので、回路から回路へと、電圧や電流の振幅を伝えるので

はなく、電圧と電流の積である電力を効率良く伝えることが必要になります。

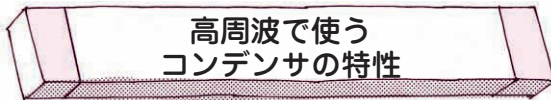
電力を効率良く伝えるためには、送り側と受け側のインピーダンスの抵抗成分を等しくし、さらにリアクタンス成分をゼロにする、または共役複素数にする必要があります。これをインピーダンス整合、またはインピーダンス・マッチングといいます。

電源ラインのコンデンサ  $C_6$  は、電源のリプル除去ではなく、使用周波数帯で電源ラインとグラウンドを低インピーダンスで接続するため、言い換えれば交流的にショートするために挿入されています。

入出力部分のコンデンサ  $C_1$  と  $C_7$  は、直流カットの役割だけでなく、**図2**で説明したインピーダンス整合の役割を併せもっている場合があります。

この回路で気になるのは、FETのソースとグラウンド間に抵抗と並列に挿入されている多数のコンデンサ  $C_2 \sim C_5$  ではないでしょうか。これらは、使用する周波数帯において、交流的にソースがグラウンドとショートするように挿入されています。直流的にはオープンです。

同じ容量のコンデンサを複数配置したり、異なった容量のコンデンサを複数組み合わせ配置したりして、できるだけ低いインピーダンスで、ソースとグラウンドが接続されるようにしています。



● 低周波回路ではコンデンサの等価回路はキャパシタンス成分だけと考えられるが…

これまでに紹介した三つの例で述べたように、高周波回路では使用する周波数でのインピーダンスが非常に重要です。チップ自体の容量ではなく、インピーダンスが重要なのです。もちろん使用する場所によって、耐圧なども考慮しなければなりません。

ところで皆さんは、コンデンサのインピーダンス  $Z_C$  なんて、次の式で簡単に計算できるとおもって

ませんか？

$$Z_C = \frac{1}{j2\pi fC} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $f$ ：周波数 [Hz]、 $C$ ：コンデンサの容量 [F]

確かに低周波であれば、コンデンサの等価回路は**図4**に示すようにキャパシタンス成分だけと考えても問題ないでしょう。実際に回路を設計しても、特に不都合は生じないと思います。

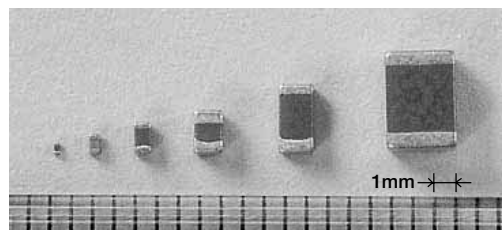
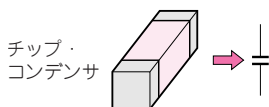
● 高周波回路ではチップの形状でさえもインピーダンスに影響する

高周波回路では、部品の大きさが回路の特性に影響を与えるようになります。考え方も集中定数回路から分布定数回路へ改めなくてはなりません。

コンデンサも形状の小さなチップ・コンデンサが使われます。チップ・コンデンサにもいろいろありますが、高周波回路では積層セラミック・チップ・コンデンサが主に使われます。

高周波回路は低周波回路と違い、軽薄短小化以外の理由でも部品の小型化が求められます。周波数が高くなればなるほど、2012サイズ→1608サイズ→1005サイズ→0603サイズへと、部品形状の影響を受けにくい小さなものが求められます。**写真1**にさまざまなサイズの積層セラミック・チップ・コンデンサを示します。

〈図4〉低周波回路ではキャパシタンス成分だけと考えられるが…



〈写真1〉さまざまなサイズの積層セラミック・チップ・コンデンサ