

〈図 2-32〉 実際のチップ抵抗の等価回路

〈図 2-31〉 実際の抵抗にはリアクタンスが存在し高い周波数域で増大する

ます。

抵抗の等価回路は、図 2-32 に示すように抵抗とインダクタの直列回路になり、そのインピーダンスを表す式は次のようになります。

$$Z_R = R + j2\pi fL_R \dots\dots\dots (2-7)$$

ただし、 Z_R ：抵抗のインピーダンス [Ω]， f ：周波数 [Hz]， L_R ：インダクタンス成分 [H]

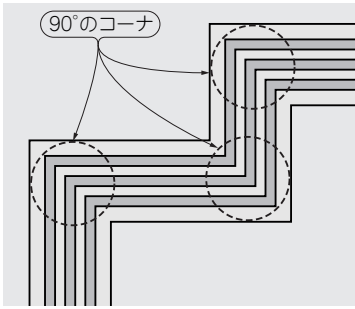
高周波回路で主に使われるチップ抵抗の場合、インダクタンス成分は 1 nH 程度 (1608 サイズの場合) です。低い周波数ではその影響はとても小さく、インダクタンス成分を無視してもまったく影響がありませんでしたが、周波数が高くなるほどその影響が現れてきます。

その⑥ プリント・パターンの曲がり角で反射する現象

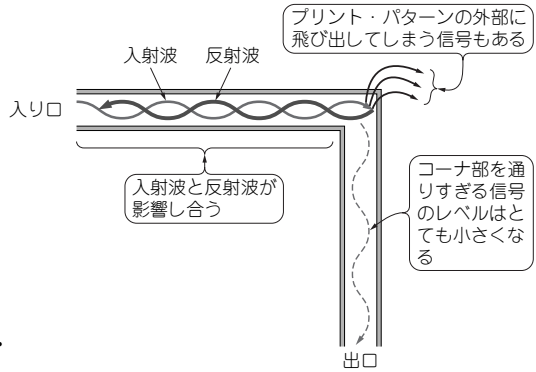
● 高周波信号はコーナで曲がりきれずにぶつかる

クロック周波数の低いデジタル回路や低周波アナログ回路では、プリント・パターンが回路図どおりにつながってさえいれば、特に問題なく動作します。図 2-33 のように、プリント・パターンが 90° で曲がっていても、ほとんど気にすることはありません。

前述の「その②」で信号が反射することを、「その①」で信号には波長があることを説明しました。このことを頭に入れて、前方が直角に曲がっているプリント・パターンの上を信号の波が進んで行くところを想像してみてください。



〈図 2-33〉 90° に曲げられたプリント・パターンは高周波では反射の原因になる



〈図 2-34〉 プリント・パターンを伝える信号は水路を伝える波でイメージできる
高周波信号は 90° に曲げられた部分で反射する

図 2-34 に示すように、プリント・パターンを水路、信号をその水面上を伝える波と考えるとイメージしやすくなります。直角に曲がっているコーナで波がぶつかります。そこでは、先に進む波もあれば、跳ね返って入り口に向かって戻っていく波もあります。

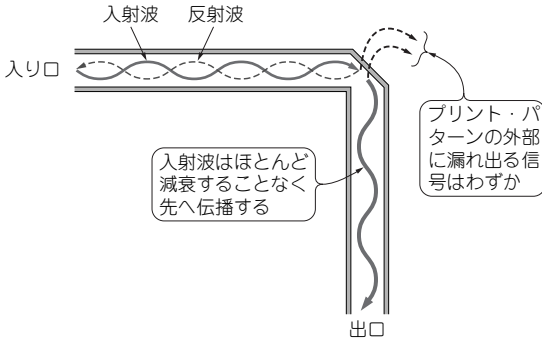
周期の短い(周波数の高い)波は、曲がり角に衝突すると、まるで水しぶきのように周りの空間に飛び出します。これは空間に電磁界エネルギーとして放出されることに相当します。

水路(プリント・パターン)の長さに比べて、波の周期が十分に長ければ(低周波であれば)、水位はゆっくり変化するだけなので、曲がり角に衝突しても跳ね返って戻るような波は少なく、ほとんど出口に向かって進行します。高い周波数になるほど、曲がりの部分での反射の影響は大きくなります。

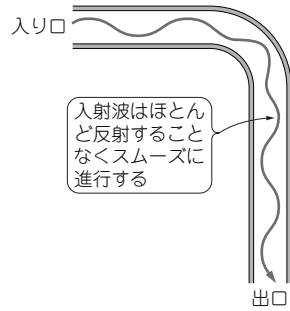
● プリント・パターンの曲がり角はなめらかに描こう

高周波信号がコーナで曲がりやすくするには、図 2-35 のように角をスパッと切り落とします。斜めになっているので、波がそこで反射してコーナの先へと進んで行くわけです。

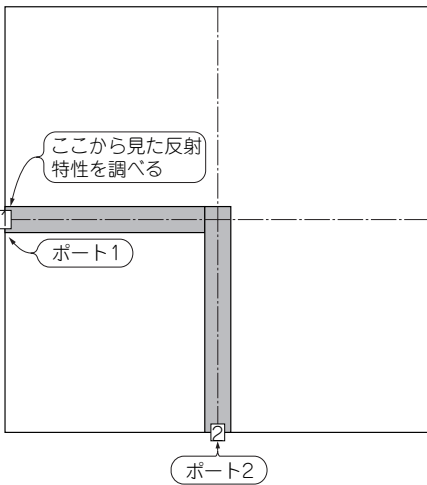
最も良いのは、図 2-36 のように曲がり角を作らずに、曲線でプリント・パターンを描く方法です。スムーズに波が進んで行くようすが想像できるのではないのでしょうか。基板に十分なスペースがあれば、曲線でつなげたプリント・パターンを描くのが理想です。



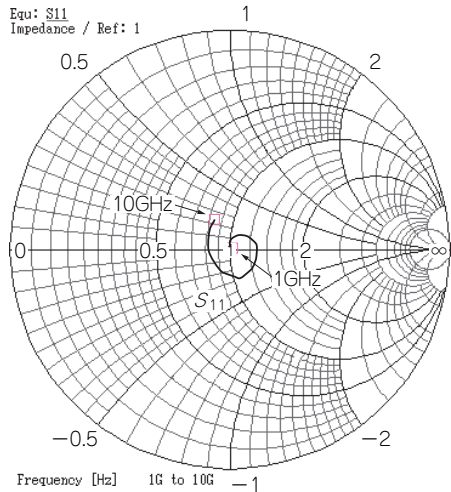
〈図 2-35〉 90° コーナの角を落とすと反射が減る



〈図 2-36〉 曲線でプリント・パターンを描くと反射が一番小さくなる



〈図 2-37〉 曲がり角が直角のプリント・パターンの反射特性 (S_{11}) を調べるシミュレーション回路 (シミュレーション用ファイルは Cir_2_5)

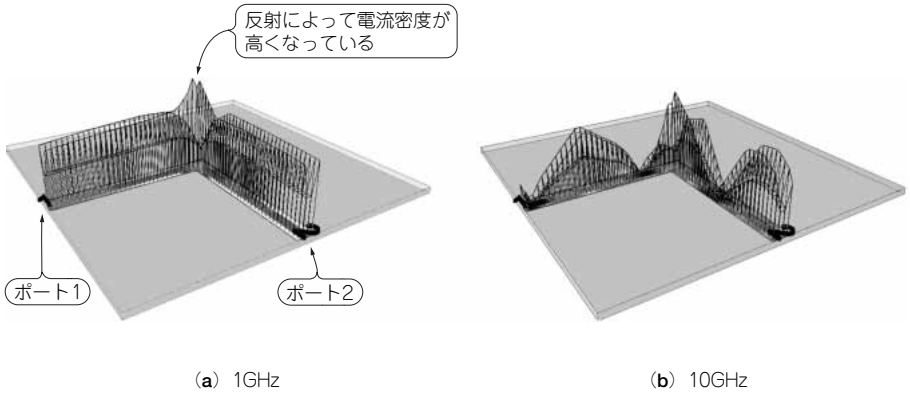


〈図 2-38〉 図 2-37 の S_{11} の周波数特性

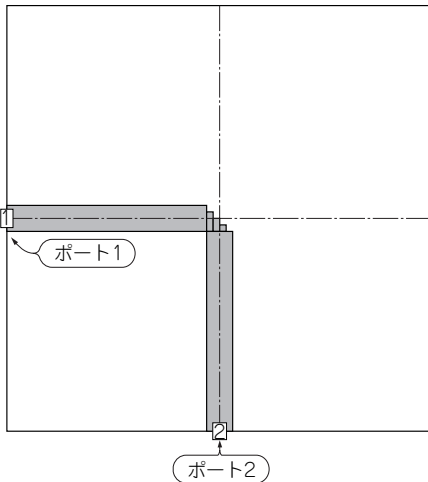
▶ 直角コーナの影響を見るシミュレーション

プリント・パターンの曲がり角の影響をシミュレーションで確認してみましょう。反射と同様に付属 CD-ROM に収録されている電磁界シミュレータで解析してみます。

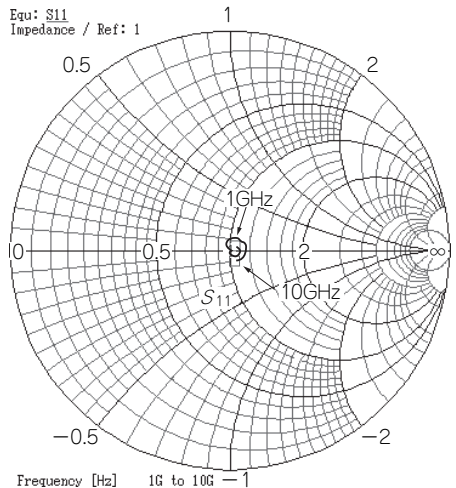
図 2-37 のように、曲がり角を直角にしたときのポート 1 での反射特性を図 2-38



〈図 2-39〉 コーナが直角になっている図 2-37 のプリント・パターン上の電流分布



〈図 2-40〉 コーナを切り落とした伝送線路の反射特性を調べるシミュレーション回路 (シミュレーション用ファイルは Cir_2_6)



〈図 2-41〉 図 2-40 の S_{11} の周波数特性 ほとんど反射がないことを示している

に示します。周波数が高いほど、反射は大きくなります。

プリント・パターン上の電流分布も確認してみます。図 2-39 (a) に 1 GHz での電流分布を、(b) に 10 GHz での電流分布を示します。コーナで電流の波形が乱れており、反射が起きていることがわかります。

▶ 角を切り落としたコーナの影響を調べる

図 2-40 のように、曲がり角を切り落としたときのポート 1 での反射特性を図 2