

抵抗性/容量性/誘導性…3つの基本要素を  
イメージする力を身に付け高速・高性能回路を攻略

# GHz超ハイスピード・ プリント基板設計教科書

第9回 5 GHzを越える信号を扱うときの注意点

石井 聡 Satoru Ishii

高速信号を扱うプリント基板では、特性インピーダンス一定の伝送線路になるようパターンを設計し、送端・受端のインピーダンスを伝送線路の特性インピーダンスに合わせると、信号の反射が減って、波形を正しく伝えられます。

前回は、基板上に形成する伝送線路の定番、マイクロストリップ・ライン(Microstrip Line; MSL)がもつ損失について解説しました。たいていのプリント基板はFR-4と呼ばれる材料が用いられていますが、高速伝送を行う回路を実装する場合、高周波用の低損失材料を使った基板を採用すると損失が減ることも解説しました。

周波数が数GHz以上になると、前回説明したよりもさらに損失が増えることがあります。読者が扱うことは少ないかもしれませんが、どんなことに注意を払う必要があるのか概要を紹介しておきます。

〈編集部〉

## さらに信号が高速になってきたときの 注意点と軽減対策

信号周波数が5 GHzを越えてくると、以下に示すような問題が生じてきます。このあたり話題を「紹介程度」としてお話ししておきます。

### ● ガラス・エポキシ絶縁体のガラス繊維織りとMSLの配置方向

これを気にするのは、シングルエンド伝送であれば、信号の周波数が5 GHz以上の非常に高速な信号のケースだけです。多くの人には「こういうこともあるのだ」程度に意識するだけで結構です。

しかしギガビット伝送(差動信号伝送)やマイクロ波回路などのプリント基板では、これらの問題が表面化することがあるので、注意してください。とくに差動信号伝送では、差動ペア間(差動信号伝送での一対のパターン)の信号間スキュー(信号間のタイミングの差)が生じ、シグナル・インテグリティに問題を生じさせることがあります(連載の数回先で取り上げる予定)。

▶ FR-4材料は織ったガラス繊維とその間を埋めるエポキシからできている

FR-4材料はガラス・エポキシが絶縁体として用いられています。ガラス・エポキシの比誘電率 $\epsilon_r$ は、4.2~4.9程度です。しかしガラス・エポキシは、ガラスとエポキシの複合材で、図1(a)のようにガラス繊維を織ったものをエポキシで固めた構造です。そして

- ガラスの比誘電率 $\epsilon_r(\text{GLASS})$ は6.6程度
- エポキシの比誘電率 $\epsilon_r(\text{EPOXY})$ は3.6程度

であり、それぞれ比誘電率が異なります。

▶ FR-4材料をマイクロ視点で見ると部分ごとにその比誘電率が異なってくる

FR-4材料をマイクロ視点で見ると、図1(b)のように部分ごと(とくに織ったガラス繊維ブロック部分と、ブロック間の間隙つまりエポキシが充填している部分)でガラス繊維とエポキシの占有比率が異なり、FR-4材料の微小部分ごとで比誘電率が変化します。このため図2のようにMSLの引き方により、特性イ

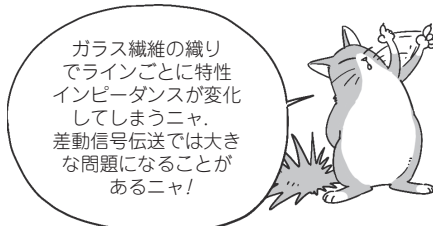
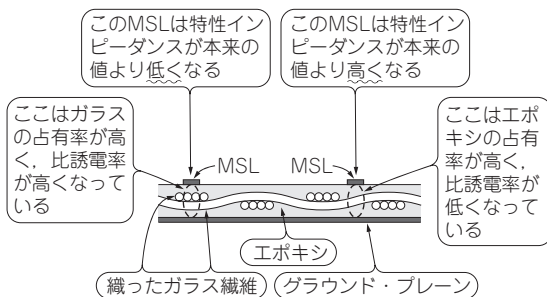


図2 ガラス繊維とエポキシの占有比率変化により特性インピーダンスが変動する