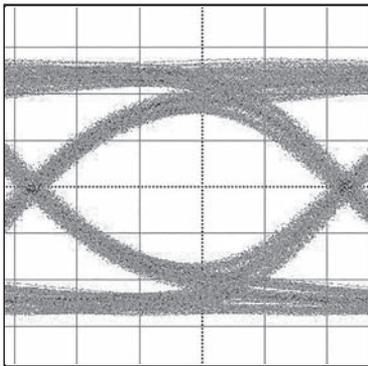


連載



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つけ高速・高性能回路を攻略

Gbps超ハイスピード・プリント基板設計教科書

第2回 特性インピーダンスと信号反射を理解する

石井 聡 Satoru Ishii

ざっくり見積もりでOK

前回では特性インピーダンスは、「伝送線路を伝搬する電圧の波と電流の波の比」と説明しました。

今回は特性インピーダンスが信号伝搬に与える影響や、信号反射のしくみとその対策を解説します。高速信号を正しく伝送するには、特性インピーダンスの性質や信号の反射を考慮して設計することが大切です。

特性インピーダンスの大きさと信号が伝搬する速度を考える

● 特性インピーダンスは寄生容量と寄生インダクタンスの大きさで決まる

▶ 寄生容量と寄生インダクタンスが分布していると分布定数回路になる

前回示したように伝送線路の構造が「長手方向で物理的形狀が一様」だとすると、長手方向に連続して寄生容量と寄生インダクタンスが「同じ大きさで」分布していると考えることができます。寄生容量と寄生インダクタンスが分布している回路を「分布定数回路」と呼び、図1のように表すことができます。つまりMSL(Microstrip Line)は分布定数回路でもあるわけです。

▶ 分布定数は単位長を基準にして表される

分布定数は1mあたりで、寄生容量である分布容量 C_D が何pFとか、寄生インダクタンスである分布インダクタンス L_D が何nHとかいうように表記します。それぞれの単位は [F/m], [H/m] です。

これは「1mの長さぶん、まず分布容量 C_D があり、次の1mの長さぶん、分布インダクタンス L_D がある」ということではなく、「分布している」わけですから、

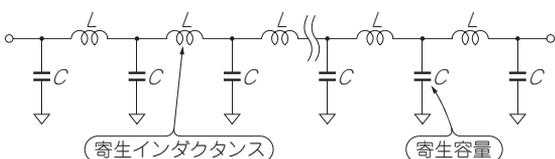


図1 MSLは寄生容量と寄生インダクタンスが分布している分布定数回路

寄生容量/寄生インダクタンスそれぞれが細かく存在していることとなります。この寄生容量/寄生インダクタンスが、特性インピーダンス Z_0 [Ω] を次式として決定づけます。

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_D}{C_D}} \dots\dots\dots (1)$$

一般的には寄生容量・寄生インダクタンスは「不要な邪魔者」だったわけですが、MSLではこれらを「分布容量・分布インダクタンス」として積極的に活用し、信号を伝送するという役目をさせるわけです。

● MSLの特性インピーダンス Z_0 を計算してみる

▶ Z_0 の計算式

図2に示すような物理的形狀 (MSL) では、分布(寄生)容量 C_D や分布(寄生)インダクタンス L_D を個別に求める必要はなく、特性インピーダンス Z_0 を直接求める式を用います。次式は一例です。

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \left(\frac{5.98 H}{0.8 W + T} \right) \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 ϵ_r : 絶縁体の比誘電率、 W : MSLのパターン幅 [mil]、 H : 絶縁体の厚さ [mil]、 T : パターンの導体厚 [mil]、なお $0.1 < W/H < 3.0$ の範囲

式(2)からMSLの特性インピーダンス Z_0 を求めることができます [文献(2)]。

なお1 mil = 0.001 インチ (25.4 μm) です。式(2)からすると、分母/分子それぞれが「長さ」であるため、実際の単位系は任意になります。

▶ 式は近似式でありバリエーションが存在する

特性インピーダンスを求める計算式は文献(3)をは

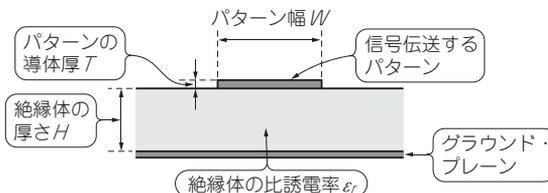


図2 MSLの断面
近似式(2)と $W/H/T$ などを使うと特性インピーダンスを計算できる