

誘電率と損失正接 (Tan Δ) の解説

アプリケーションノート AP8198

誘電率と損失正接は関連性があるのか?

この文書の対象者は： - これから PCB 設計を始める者や、高速通信設計をこれから行なう PCB 設計者のためのものです。 それは高速 PCB 特性の「概念」を感じてもらうことを目的としています。 今後より多くの数学的工学的議論を始める前に、概念の把握がとても重要だからです。

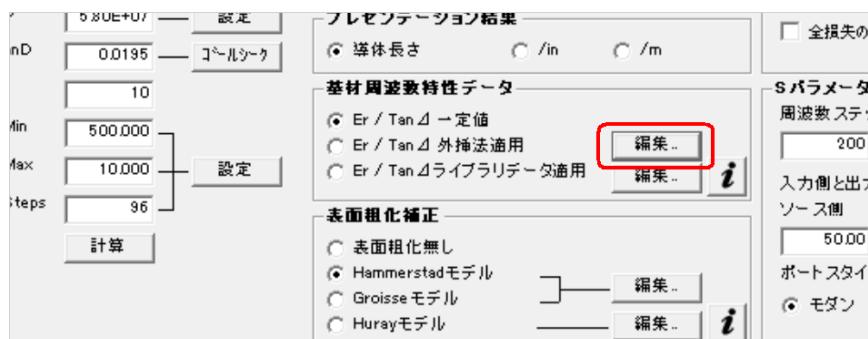
この文書では、誘電率と損失正接がどのように関係しているのか、PCB 伝送線設計にどのような影響を及ぼすかについて説明します。

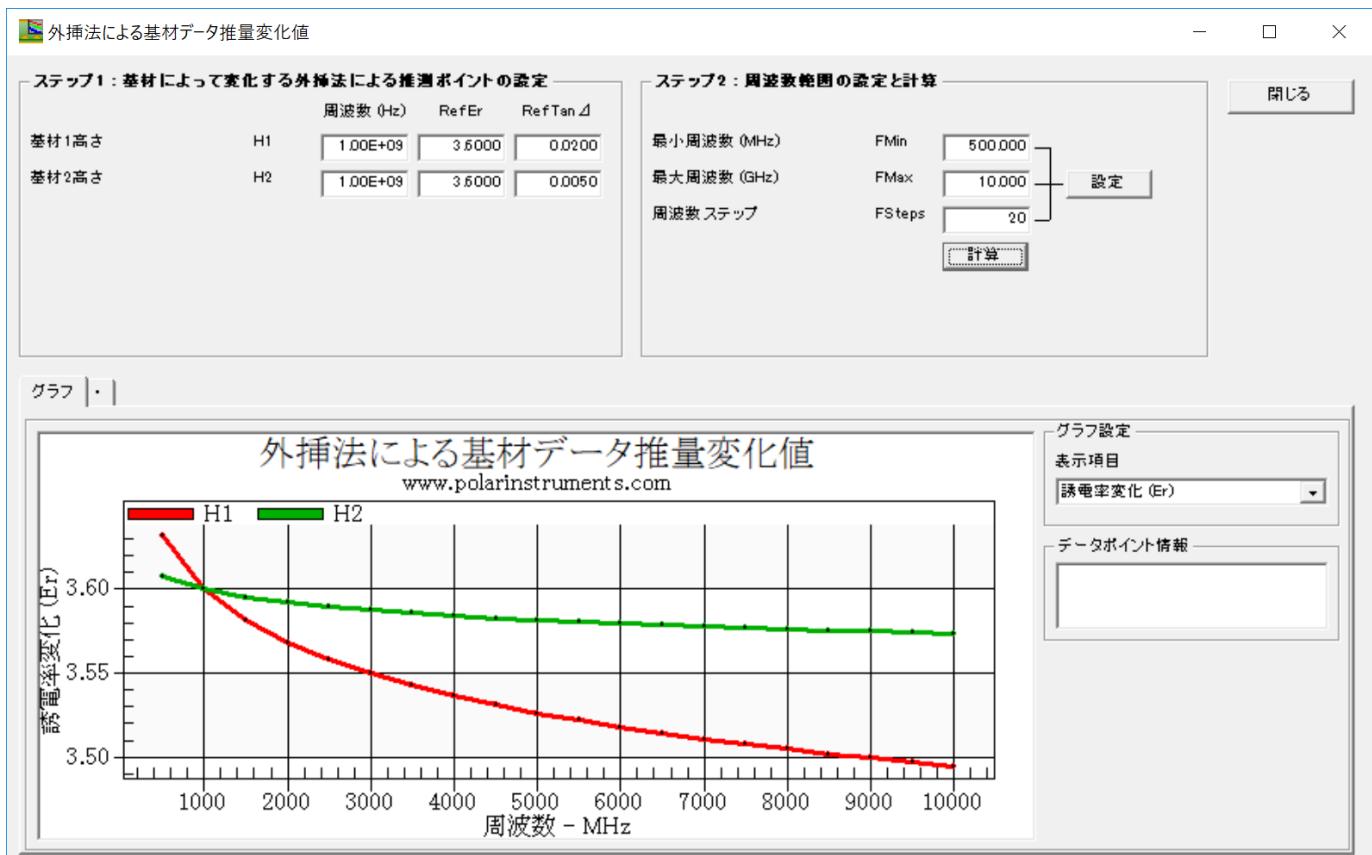
並列コンデンサを考えてみましょう。 プレート間の空間が空気または真空の場合、プレート間に蓄積される電荷量は、プレートの面積に比例し、プレート間隔距離に反比例し、電圧に比例する。 プレート間に非導電性の誘電材料を入れることにより、プレート面積に対する静電容量は、誘電率によって増加します。 従って、より大きな誘電率によって、プレート面積に対してより多くのエネルギーを貯蔵することができるようになります。

誘電率は重要な材料特性であり、低周波数でも（通常は）考慮する必要があります。 しかし、周波数帯域が増加するにつれて、誘電率以外の特性も重要になってきます。 その一つが材料の損失正接(tan Δ)です。 高周波下で使用するための良質の誘電材料は、低い損失正接値を示し、低品質の材料（通常は低コストであるが）はより高い損失正接値を示す。 誘電材損失 (dielectric loss) は、基板が充電および放電するにつれて RF (高周波信号) エネルギーが熱に変換され、損失正接および周波数に比例して増大し、基板の分子構造および結晶構成は、どれだけの RF エネルギーを減少させるかに大きな影響を及ぼします。 低損失材料は、充放電の過程でエネルギーの消散を最小にする材料で構成されています。 エネルギーが基板の銅プレート間の充放電サイクルで熱エネルギーに変換されることが周波数増加によって損失が増加する理由です。

誘電率(Er)と損失正接 (Tan Δ) の特性は関連していますか？ 以下は 1GHz (3.6) において同一の誘電率 (Er) であり、損失正接が 0.02 (標準的な FR4 の数値) と、もう一方は 0.005 (低 Tan Δ) である 2 つの基板に対する Er 値の周波数変化のグラフです。

Polar Si9000e で以下の「編集」ボタンを押すと出てきます。





標準 $\tan\Delta$ 材 (赤色曲線) および低 $\tan\Delta$ 材 (緑色) について、誘電率 Er が 3.6 (1GHz) の関連 (Polar Si9000e でのシミュレーション)

基板上で何が起こっている? 基板の損失増加が周波数增加と比例する理由の理解に必要な、基材特性の関係を理解するために、基板が充放電するたびに、わずかながらも測定可能な量のエネルギーが失われていることを知る必要があります。非常に低い周波数では信号減衰量は無視しても良いレベルですが、周波数が上がるにつれて基板の損失 (熱エネルギーへの変換) が誘電体のエネルギー蓄積能力を減少させます。上記の例では、低損失正接($\tan\Delta$)の誘電体は、より変化の少ない Er 曲線を示している(常にそうである)。高 $\tan\Delta$ 材料の Er は 1GHz 以下では逆に低 $\tan\Delta$ 材よりも高いことにも注意してください。これは 1GHz 以下でも高 $\tan\Delta$ 材料が既にそのエネルギー蓄積能力を一部失っているためです。

一般的な基板エンジニアは、伝送線路のインピーダンスが周波数によってどのように変化するかについてだけを気にかけている ($\sqrt{L/C}$: L=インダクタンス C=キャパシタンス) ため、インピーダンスが周波数によって大きく変化すると思い込んでいます。比較的損失の大きい材料であっても、インピーダンスは $1/\sqrt{Er}$: (Er 値 4.2 の場合 0.487Ω) しか変化しないので、ほぼ影響は無く、 Er は周波数変化に対して微量しか落ちません、この微量なインピーダンス変化は低損失基板ではさらに変化が少なくなります、損失正接の値が小さいと、 Er 値の変化カーブが周波数変化にかかわらず平坦化します (さらにインピーダンス変化がなくなる)。

Si9000e (上記のグラフに使ったシミュレーション) は、PCB 伝送ラインが広い周波数帯域でどのように変化するかを調べるために、設計寸法、伝送線路モデルスタイル、銅箔と表面処理のタイプ、伝送線路幅、高さなどのデータから誘電体材料をモデリングできます。

次回は、AP8194 "Rounding loss tangent leads to large modeling errors" 「大きなモデリングエラーを誘発する損失正接値の四捨五入」について