GHz帯挿入損失構成要素のシミュレーション: 導体損失に対する横断面形状の影響

Tracey Vincent
Application Engineer, CST

1. 要約

シミュレーションされた挿入損失を現実的に見積もるには、すべての挿入損失構成要素を考慮し、計上する必要がある。特に誘電体損失と導体損失の構成要素は、3D でシミュレーションした損失を現実的なものにするために慎重なパラメータ化が要求される。見過ごされがちな現象である導体損失に対するトレース断面形状の影響に焦点を当てるなど、このようなパラメータ化の概要を説明する。

1. はじめに

デジタルスイッチング時間がどんどん短くなるのに伴い、高い周波数によって、挿入損失が増加する。大きな損失は、いくつかの物理的な特性に起因し、異なる損失の構成要素によって分類される。残念ながら、こういった損失構成要素がシミュレーションで十分に捉えきれないことは度々ある。また予測される測定損失より大きいこともよくある。損失構成要素とその物理的な特性を以下で検討し、適切なフルウェーブシミュレーションの詳細を記述する。3D、フルウェーブ・ソルバは、より適切で詳細なパラメーター化によって複雑なモデルを処理できるようになっている。そのうえ、何百万ものメッシュ・セルを持つ特定のモデルは、高性能計算処理によって妥当な実行時間で利用できるようになる。

GHz 帯、高周波の4つの区別可能な挿入損失構成要素は、放射、反射、導体、誘電体である。放射性および反射性の損失は設計／トポロジーに関係し、一般的には、関連する幾何学的特徴に注意して、フルウェーブ電磁ソルバにより正確に推定される。誘電体損失と導体損失は、材料パラメータ、加工パラメータ、設計／トポロジーに依存する。誘電体損とは、絶縁体または誘電体（回路基板）によって吸収される信号の比率である。導体損失は回路パターンの導体 / 金属によって吸収される信号であり、抵抗損失または I^2R 損失としても知られている。誘電体損失と導体損失は、フルウェーブ・シミュレーションではパラメータ化が不十分であることが、よくある。

誘電体損失の物理的メカニズムおよび誘電体損失のパラメータである誘電正接は、この損失メカニズムについて十分な概念上の理解を得るために調査され、誘電体材料をシミュレーションするガイドラインとなる。

回路のトポロジーは、導体損失要素に影響する。DC でさえ抵抗は断面積で割った長さと関係し、この断面積が大きくなれば DC 抵抗は小さくなるので、導体または回路パターンの幾何学的形状が全体的な電気抵抗を決定する。幾何学的形状ファクタは周波数が高くなると複雑になる。マイクロ波の周波数では、表皮効果が金属パターン内で信号を生じて導体の先端に集中するので、信号はこれら導体の先端部の幾何学的形状に敏感になる。先端の鋭い回路パターンは、丸まった先端よりも導体損失が大きくなる可能性があるが、この現象は多くの場合考慮されない。異なる断面形状の回路パターンの例をシミュレーションして結果を比較し、導体損失のこの重要な側面を図解する。

10 GHz またはそれ以上の周波数で、銅のような高い導電率の材料の表皮効果の深さは、およそ1ミクロンである。この物差しを適用す