第1章

上田千寿

GHzの世界をビジュアライズ

-高速ディジタル・システムで起こる問題と原因を知る

高速ディジタル・システムは、ディジタル信号を単なる論理の 置き換えとして扱うだけでは設計できないと言われています. あらゆるところでディジタル信号が電磁波となり拡散・反射を 繰り返し電磁干渉問題を引き起こすためです.すなわち、電磁 波伝播の概念が必要になってくるのです.しかし、電磁気学の 教科書を開いてみても、この問題の原因や解決策を見つけられ るものではありません.本稿では高速ディジタル・システムで起 こる電磁干渉問題をビジュアル的に示し、問題発生のしくみを 明らかにします. (筆者)

1GHzを超える周波数の信号を扱うディジタル・システムは,もはや特別なものではなくなりました.例えば2002 年6月には,10GビットEthernetがIEEE 802.3aeとして標 準化されています.

10Gbpsの周期的な矩形基本波は5GHzです.信号の立ち 上がり/立ち下がりを5倍の高調波とすると,25GHzとなり ます.つまり,プリント基板上を伝播するディジタル信号 は,直流(DC)からマイクロ波,ミリ波の領域まで,非常 に広帯域の周波数領域を含むことになります.このような 周波数領域では,いったいどのような問題が起きるのでし ょうか.電磁界シミュレータ^{注1}の力を借りて,そのようす を見てみましょう.

建成数基十



低周波領域(数kHz ~ 数MHz)のディジタル・システム における電気信号の劣化(損失)の原因は,導体抵抗が支配 的でした.これがGHz帯になると,誘電体損失が驚くほど 大きくなります.また,導体損失も周波数が上がるに従っ て増大します.

図1のような信号線路を考えてみましょう.これは,ご く標準的なマイクロストリップ線路です.

一方から信号を与えたときに、このマイクロストリップ線 路で発生する通過損失(インサーション・ロス)を図2に示 します.およそ4GHzで誘電体損失が導体損失を上回り、 誘電体損失のほうが支配的になることがわかります.



注1:本稿ではドイツCST(Computer Simulation Technology)社の電磁界 シミュレータ「MW-Studio」を使用している.



図2 マイクロストリップ線路の損失









マイクロストリップ線路の磁界強度分布

23

周波数が上がるに従って,線路の上側中央部の電流密度が薄く なり,下側両エッジに集中していく.そして電流が浅くしか流 れなくなる.





MW-Studioは有限積分法(FIM)を採用した電磁界シミュレータです. この手法は1976年にドイツの大学で生まれました.当初のコードは FORTRANで書かれ,スーパコンピュータ上で動作していました. Windowsパソコン上で動作するようにそのコードを書き直したものが MW-Studioです.

現在は,このアルゴリズムをさらに発展させたPBA(Perfect Boundary Approximation)法が開発されています.セル内部の異なる物質を認識 できるため,従来のFDTD法の欠点であった直交メッシュにおける形 状認識性を少ないセルで実現できるため,大規模なモデルを短時間に計 算できるようになりました.

最新バージョンである Ver5.0の特徴は, サブグリッド・セルと呼ば

れるメッシングにかかわる機能と,異なる周期および任意の時間領域の 波形を複数同時に解析できる機能の追加です.これまでは回路シミュレ ータを併用しなければ計算できなかった波形応答を,電磁界シミュレー タ上でダイレクトに得ることができます.差動伝送線路が2回路設置さ れたプリント基板の解析モデルを例に説明します(図A).これは,パッ ケージ(内部の入力ピン,出力ピンの間は伝送路で導通としている)の 上約4mmの中央にノイズ源(1GHz~10GHz,20GHzの範囲を持つ)を 定義し,二つの差動信号(2.5GHz,3GHz)を同時に解析した例です. 1GHz~10GHzの帯域を持つノイズ源は伝送路への影響はほとんどあり ませんが,20GHzまでの帯域を持つノイズ源は伝送波形に大きな影響 を与えています.

