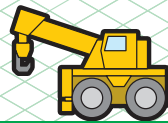


第2章

シミュレーションの“違い”がわかる設計技術者になろう

——PI解析, SI解析, EMI解析を支える基盤技術の全体像



村山敏夫, 渡邊貴之, 浅井秀樹

電源品質(PI : power integrity)や信号品質(SI : signal integrity), 電磁波妨害(EMI : electromagnetic interference)の解析には, さまざまな方式のシミュレータが利用されている。ここでは, 回路シミュレータや伝送線路シミュレータ, 電磁界シミュレータの処理の違いと, それらが実際の設計のどのような場面で使われているのかについて解説する。

(編集部)

地上デジタル放送や次世代DVDなどが登場し, 大量のデータを高速に処理して通信する必要性が高まっています。また, 電子機器の製品サイクルの短期化に伴い, 高機能で多品種の設計を短期間に完了させることが要求されています。こうした要件にこたえるため, 設計の手戻りをなくし,

上流工程の段階から最適な設計を行う必要があります。

このような状況を背景に, 電子機器の設計はもとより, LSIの設計段階からシミュレーションを用いて最終的な電子機器を最適化する「協調設計」が注目されています(右掲のコラム「協調設計を成功させるかぎ」を参照²⁾)。しかし, LSIと最終的な電子機器では解析する規模(大きさ, 解析量など)や時定数が大きく異なります。一つの手法ですべてを検証することはできません。そこで多くのシミュレーション技術が提案され実用化されています。

ここではそれぞれのシミュレーション技術の特徴と実際の設計に適用した場合の利点について説明します。

● 高性能電子機器設計のトラブルの原因は4種類

大量のデータを高速に処理するためには, 電子機器にメモリを多く搭載し, 高速クロックでデータを処理することになります。そのため, LSI内部では同時にスイッチング動作を行うトランジスタの数が増え, スwitching電流が増大します。また, クロックが高速化すると立ち上がり時間も短くなります(図1)。

1) 同時スイッチング・ノイズ

こういった状況では, LSIのワイヤ・ボンドなどのインダクタンス成分に高周波電流が流れます。その際, $L\Delta I$ (L はインダクタンス, ΔI は電流の時間変化率)の逆起電力が発生し, 電源やグラウンドの電位が変動します。LSIの出力信号にノイズが混入することになり, 誤動作や動作速度の低下を招きます。このように, 高速信号設計では「電源品質(PI : power integrity)」が重要になってきています。

電磁波妨害(EMI)

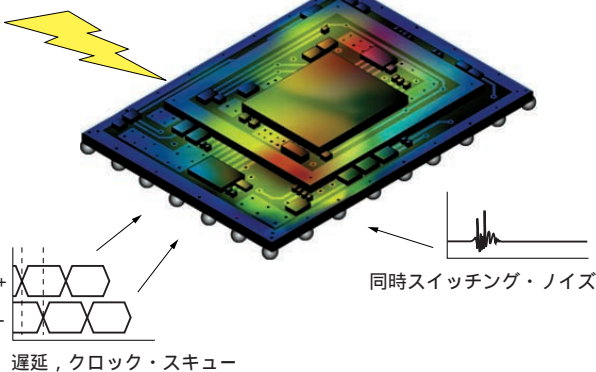


図1 高密度実装・高速信号設計における課題

大容量のデータを迅速に処理するためには, 高速信号を確実に伝送する必要がある。信号が高速になると信号どうしのタイミングが厳しくなったり, スwitching・ノイズによる信号への影響が問題となる。また, 電子機器から放射される電磁波妨害の対策も困難になる

KeyWord

回路シミュレータ, 伝送線路シミュレータ, 電磁界シミュレータ, SPICE, PEEC, 境界要素法, IBIS, 差分法, 有限要素法, FDFD, FDTD, TLM, モーメント法

2) 遅延, タイミング

DDR(double data rate)などの高速なメモリを使用すると、数百ps(ピコ秒)レベルのタイミング調整が必要となります。そして、数cmの配線差やジッタが問題となってきます。そのため、LSIのI/Oバッファやパッケージを含めた信号の伝送経路全体を正確にシミュレーションしてタイミング調整を行う必要があります。こうした信号の遅延やタイミングについての問題は、一般に「信号品質(SI : signal integrity)」の問題と呼ばれています。

3) 電磁波妨害(EMI : electromagnetic interference)

信号が高速になり、スルーレートが大きくなると、高調波ノイズの影響が深刻になります。機器が小型化するにつれて、プリント基板上の理想的な位置にデカップリング・コンデンサ(パスコン)を配置することが難しくなり、また高周波領域ではESL(effective series inductance ; コンデンサや抵抗が持つ寄生インダクタンス)の影響でデカップリングの効率が悪くなります。

4) 微細構造の影響

多層基板上を高速信号が伝搬する際に、隣接したビアとのカップリングなどの3次元的な影響が無視できなくなってきました。従来、このような部分は無視したり、簡単なモデルで置き換えて解析しても、十分な結果が得られませんでした。しかし、Gbpsの信号伝送やミリ波帯通信機能を実装する際には、これらの影響が無視できなくなっています。

● 同じ現象を異なるいくつかの方法で模擬

上述の課題を設計の各段階で検証し、最適化するためには、さまざまなシミュレーション技術が存在します。これらをうまく組み合わせて、適材適所で用いる必要があります。

一般に、同じ現象を模擬する場合に、何種類かのシミュレーションの方法(アルゴリズム)が存在します。市販のツールは、どのようなシミュレーションの方法を採用しているのか、ユーザからはよくわからない場合が少なくありません。ここではシミュレータの種類と、それらが内部で実行している処理の概要について説明していきます。

これらのシミュレーションは、扱う対象により、電磁波を回路や伝送線路などのふるまいに置き換えて検討できる領域と、電磁波の波動そのものを解く必要がある領域に分けられます。基本的に各種のシミュレータはマクスウェルの方程式をどのように解くかで、おおまかに回路シミュレータ、伝送線路シミュレータ、電磁界シミュレータに分け

て考えることができます(図2)。電界を E (V/m)、磁界を H (A/m)、電束密度を D (c/m²)、磁束密度を B (T)、電流を J (A/m²)としたときのマクスウェルの方程式(時間領域)を以下に示します。

$$\begin{aligned} \nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \times H &= \frac{\partial D}{\partial t} + J \end{aligned} \dots\dots\dots (1)$$

● 回路シミュレータ：キルヒホッフの法則に基づいて解く

回路シミュレータは、抵抗、コンデンサ、インダクタ、ダイオード、トランジスタなどの素子を通る電流と、素子と素子をつなぐ接続ポイント(節点)の電圧を、キルヒホッフの法則に基づいて計算するシミュレータです⁽³⁾。このようなシミュレータとしては、1970年代に米国 University of California, Berkeley で開発された「SPICE」が有名です。現在の回路シミュレータのほとんどがSPICEをもとに開発されていたり、SPICEとの互換性を持っているので、これらをひとくりにSPICE系シミュレータと呼びます。

回路シミュレータは、電気工学における交流回路理論の考えかたに基づいて線状の回路網を仮定し、電流として導体や素子の中を流れる伝導電流 J にのみ着目します。周波数が低い場合には、 J に比較して式(1)の変位電流 $\partial D/\partial t$ の項は微小であるとして、無視することができます(準定

Column 協調設計を成功させるかぎ

企画段階などの、開発の初期段階からLSIと電子機器について協調した設計を行おうとした場合、背景の考えかたの違いなどから、LSI設計者と電子機器設計者の間の会話がかみ合わないことがよくあります。

例えば、LSI設計者は伝播遅延を出力バッファに対する容量性負荷をもとに考えることが多く、「出力バッファに接続する負荷は何pFか」を考えます。一方、電子機器設計者は特性インピーダンスと伝播速度(遅延)から信号遅延を判断します。また、電子機器設計で問題になることが多い電磁波妨害は、LSIのスイッチング・ノイズに起因しており、LSIの内部にデカップリング・キャパシタを形成することも有効な対策の一つです。しかし、こういったキャパシタも、LSI設計では電源の安定を目的に最適配置することが多く、同じ技術に対して見かたや目的、最適な配置結果が異なります。

このようなお互いの「ことば」の意味の違いを認識し合いながら、共通の目的に導いていくことが協調設計を成功させるかぎのように思えます。