

PCB レイアウト設計とシミュレーション技術 -- 事例研究を中心に

楠 和彦

現在、電子機器製品開発における最大のテーマは"time-to-market", すなわち「いかに開発期間を短縮し、製品の市場投入時期を早めるか」である。関連するプリント回路基板(以下、PCBと略す)設計でも、その短い開発期間の中で、いかにすれば試作の繰り返しが生じない高品質な設計を行えるかが迫られている。そのために、シミュレーションの活用により基板作

成後に生じる諸問題を未然に防止する手段がとられるようになった。10年にわたるシミュレーションを活用したレイアウト設計の経験があるが、これまでに基板試作回数の減少や基板調整期間の削減についていろいろ試み、少なからず成果をあげてきた。そこで本稿では、PCB設計におけるシミュレーション技術について、筆者らが経験した事例をもとに紹介する。(筆者)

1 シミュレーションとはどのような作業か

まず、ここでいうシミュレーションとはどのような作業で、それを導入することにより、従来のPCB設計手法とどのような違いが生じるか、シグナル・インテグリティ(信号の完全性)とEMI(electromagnetic immunity: 電磁環境耐性)の対策を例にあげて説明します。

1-1 信号品質が問題となる 基板シミュレーション手法

現在、高性能PCBの開発では、信号の反射、クロストーク、遅延など(いわゆるシグナル・インテグリティ)を考慮したレイアウト設計が不可欠です。

デジタル信号の世界でも、波形解析シミュレータを活用しなければ、正しく動作する基板の作成は難しいということが、かなり以前から議論されてきました。といっても、実際に早期からシミュレーションを導入し、実用化していたところは多くありませんでした。最近になって、ツール自体の進歩とデバイスのシミュレーション・モデルの普及により、ある程度の知識があれば誰でもそれなりの解析ができる状況になっています。シミュレーションを活用している設計者も非常に増えました。

●シミュレーションが必要な箇所

シミュレータが身近になったといっても、PCB上のすべての信号をシミュレーションする意味はありません。たんに接続されていれば正常に動作する信号も当然存在するからです。

一般に、PCB上でシミュレーションが必要なのは、次のような波形品質が問題となりやすい箇所です。

- 高い周波数のネット
- 低周波数でもデバイスが多く接続されているネット
- 立ち上がりの速いデバイスが接続されているネット

●信号波形シミュレータについて

基本的に現在購入可能なシミュレータでは、同様のシミュレーション・モデルを使用していると、その機能・精度などはほとんど同じになります。逆に、どのようなシミュレーション・モデルを使うかで、ツールが区別されています。

簡易的な、線形のシミュレーション・モデルを利用し、解析精度よりも解析スピードを重要視したツールと、非線形モデルを利用し、より精度を追及するツール、もしくはその両方を備えたツールに分類できます。これらの多くは伝送線路シミュレータと呼ばれるもので、デバイス・モデルとしては、SPICEモデル、IBIS(I/O Buffer Information Specification)モデルを用います。

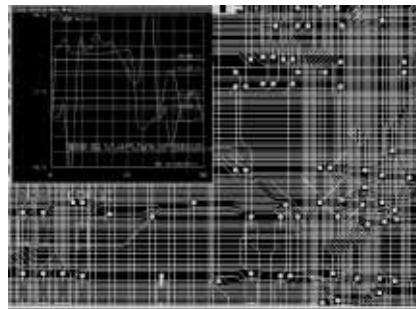
●開発期間短縮のための実際の作業手法

以前は、レイアウト終了時にシミュレーションして波形の品質をチェックし、不具合箇所に対策を施すいわゆる「ポスト・プロセス型シミュレーション」が一般的な作業手順でした。

しかし、現在の高密度実装基板では、レイアウト終了後に「シミュレーション結果が悪いのでレイアウトをやり直そう」とは、簡単にはいえません。レイアウト作業が非常に繊細で複雑になり、配線の移動、部品の移動、終端部品やバッファの追加などは小手先の対策で対処できなくなったのです。

また、その時点で回路図の変更などが生じると、作業プロセスが後戻りして、レイアウト設計に非常に時間がかかってしまい、開発期間短縮が達成できなくなります。

そこで、シミュレーション作業を設計



〔図1〕配線完了後の波形品質対策では遅すぎる

プロセスの早い段階で行い、レイアウト終了時の信号波形を予測しコントロールすることで後戻り作業を生じさせない設計手法が、受け入れられ始めています。この手法では**フロアプランニング**と呼ばれる作業が新たに加わります(図1)。

● 波形品質のトラブルが出にくい回路とするには

波形品質のトラブルが出にくい回路の条件として、不必要にオーバスペックとなるようなデバイスを使わないことがあげられます。しかし逆に、各デバイスに見合った終端テクノロジーは軽視されがちです。使用されるICの外部ピンの一つとして、終端素子が回路図に最初から記入されていれば、後工程でトラブルが出にくい信号品質が得られるのです。

1-2 EMI対策におけるシミュレーション

EMIに関しては、とくに海外向けの製品に対して、EMC規格をクリアしたいので、シミュレーションを活用してPCBを設計してほしい、という要求が4~5年前から増えてきました。

● EMIシミュレータについて

多くのEMI解析用のシミュレータがありますが、それらを大きく分類すると、

(1) 伝送線路解析型

(2) 電磁界解析型

の二つに分けることができます。一般に、伝送線路解析型はディファレンシャル・モード^注のEMIに関して解析が可能で、電磁界解析型はディファレンシャル・モードとコモン・モードの両方をサポートしていることが多いようです。

伝送線路解析型は、解析の速度は速いのですが、コモン・モードをサポートしていないために、解析の精度が高くないという問題があります。一方、電磁界解析型では、解析の精度は高いのですが、解析に非常に時間がかかってしまうという問題があります。

レイアウト設計に十分に時間がとれる場合は、電磁界解析型を使いながらカッ

ト・アンド・トライで解析と設計を繰り返せばよいでしょうし、開発期間短縮が要求され、レイアウト設計にあまり時間をかけられない場合は、伝送線路解析型が向いています。

● 実際の作業手法

シミュレータの役割は、あくまで各信号のエミッション・レベルの相対的な評価をするものとすべきです。シミュレータの結果に依存しすぎると、ターゲットとされる基板の品質を満足できない場合があります。つまり、シミュレーションの結果から、実際の基板でのEMIを予測し、必要であれば対策を実施し、行われたEMI対策が有効であるかどうか、より深い対策が必要かどうか判断する際のガイドラインとしてシミュレータを活用する、というのがよいでしょう。

実際の作業フローとしては、物理的なレイアウト設計の前にフロアプランニングをまず行います。ここでは、シグナル・インテグリティ解析のようにツールを活用したフロアプランニングではなく、解析作業者の経験や知識をベースに行います。回路図やデバイスのデータからEMI対策が必要とされるポイントを明確にし、有効な対策を物理的制約条件を踏まえたうえで決定していくのです。

残念ながら、ここの技術ばかりは、たんにツールを導入しさえすれば誰にでもできるというわけにはいきません。ツールに依存して基板を作成し、ツールの機能が弱いのでEMI対策に失敗したなどという言いわけは、設計現場では許されません。

● 設計期間について

いかに、解析速度の速い伝送線路解析型ツールを使用したとしても、いろいろな条件に適應する知識をベースに対策を講じなければならないため、EMIを考慮したPCBのレイアウト設計は一般に多くの時間を要します。より効率の良い作業方法や、短い設計期間の中で電磁界解析型ツールを有効に活用する作業手法など、検討が必要です。

1-3 シミュレーションとレイアウト設計

シミュレーション作業があたかも高速・高品質基板のレイアウト設計におけるコアの部分であるかのように思われがちですが、実際のシミュレーション作業はレイアウトのルールを決定し、予測どおりの信号波形が実現されているかどうかのチェックをするだけの作業です。とにかくレイアウト設計がそれなりにできていないと、机上の空論にしかありません。

より高度な技術が要求され、作業の中心となるのは、やはり物理的に理想を現実のものとするレイアウト設計なのです。

● レイアウト設計の技術とは

レイアウト設計技術とは、いうまでもなく、限られたスペースの中に複雑な制約を満足させながら部品、配線を詰め込む技術です。高速・高品質基板になると、配線の距離、順序、バランス、使用できるエリア、ほかの配線との間隔、パターン幅、配線層など、この制約条件がさらに複雑となります。その条件を満足させながら短期間でレイアウトを完成させる——これはまさしく The Art ! です。

● 解析技術者との作業分担

レイアウト設計技術者が信号解析を行いながら作業を進めることは、一つの理想の形であるかもしれませんが、しかし、現実問題として、解析ツールの数に限りがあり、一度に大量の設計をこなせないという理由から、解析技術は専属部署を設けて、レイアウト設計技術と分離し、効率を上げるようにしています。たとえば、解析技術者が初期段階のフロアプランニングをしている間にレイアウト設計技術者が物理的データベースを作成しています(図2)。

キーとなるのは、まず部品の**仮配置**です。仮の配置情報をもとに物理的な距離に見合った形の配線方法(トポロジ)を解析技術者が検討します。

注：ディファレンシャル・モードEMIとは、ベアとなる信号線の間に乗る差動成分ノイズのこと。コモン・モードEMIは、ベアとなる信号線それぞれとグラウンドとの間に乗る同相成分ノイズのこと