

高速デジタル回路 計測入門

第1回

高速になると何が起こるか

陰浦俊則



扱う信号が高速(高周波)になると、今まで起こらなかった問題にぶつかることがあります。ここでは、計測器を利用して、これらの問題を効率的に見つけ出し、計測するにはどうすればよいかなどを考えていきます。今回は、高速伝送を扱うために必要な差動伝送やシリアル伝送、シグナル・インテグリティなどの基本的な概念について説明します。(編集部)

高速信号とはいったい何なのでしょう？ 筆者は計測器メーカーのコンサルタントとして、このようなことを考えることがあります。これは、主な担当分野がデジタルのハードウェア計測であるという理由もあるのかもしれませんが、日々のしごとの中で、いわゆる高速な計測器や被測定対象に向かっていると、ふだんは何気なく使っている「高速信号」ということばについて考えてしまいます。みなさんもこの分野において、文献に「高速」や「ハイスピード」などと書かれているのを、ふだんから何気なく受け入れているのが現状ではないでしょうか。「おいおい、そんなこといまさら…」と言われそうですが、デジタル回路で「高速」と言えばクロック(ビット)レートが今までより速くなることです。ここではその問題について、ちょっと深く考えたいと思います。

本連載では、特に最近よく耳にする高速デジタルやシグナル・インテグリティの問題について、計測技術者の視点で解説していきます。1回目は計測の必要性和デジタル信号の基礎知識を、2回目以降は実際の計測例を説明します。

●仮想と現実の間を埋めるのはエンジニアのノウハウ

みなさんの多くはデジタル回路設計に携わっている人だと思います。デジタル機器の高度化が進み、より多く

の情報処理を行うという要求は日増しに高まるばかりです。さらに機器の小型化に伴う回路の高集積化やコスト低減など、さまざまな設計上の課題があります。これらを克服するため、新たな技術が開発され、採用されています。最近の傾向としては、以下のようなことが挙げられます。

- クロック・レート(クロック周波数)の向上
- 小振幅化
- シングルエンドから差動シグナリングへ
- パラレル・バス構造から1対1のシリアル接続へ
- プロトコルの採用
- 安価なFR-4(ガラス・エポキシ基板)の実装技術

しかし、いくら新しい技術を採用するといっても、おいそれと簡単に問題が解決するわけではありません。なぜなら現状の技術よりもさらに高度な技術を採用して、課題を克服しなければならないからです。そのため、従来のデジタル技術者としての知識だけでなく、新しい知識が必要となります。

例えば、最近ではほとんどの場合、事前に回路シミュレータを使用して、回路設計と検証を行っています。ところで、みなさんは今までに以下のような経験をしたことはないでしょうか。

- シミュレーションの結果が、なぜそうなるのかわからない。
- シミュレーション上ではうまくいったのに、実際には動作しない。
- 不具合の原因がつかみきれない。

仮想(シミュレーション)と現実の間のギャップを埋めるのはエンジニアのノウハウです。製品開発に使える時間とシミュレーションの計算資源が有限である以上、エンジニアはシミュレータに合ったモデルを記述し、精度を上げな

ければなりません。このためには現実には起こっている現象を把握し、実際に計測を行うことが重要になります。

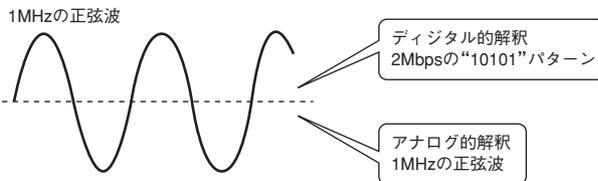
●計測の役割は仮想と現実のフィードバック

シミュレータを利用して、いくら完璧に設計したと思っても、実際にでき上がったものがほんとうに設計どおりに動作するかどうかをチェックしない人はいないと思います。それは今も昔も変わらないはずですが、しかし、最近では、設計規模の増大と設計ツールの発展によって、仮想世界における作業の比率が徐々に上がっています。

ここで少し考えてみましょう。実際、「計測する」とはどのような意味があるのでしょうか。ほとんどの人は、設計したものが、期待どおりに動作しているかどうかを確認するために計測する、と答えるかもしれません。確かにそれは、計測を行う目的の大きな部分を占めます。しかし、計測の目的はこれだけではありません。新たに開発された技術を採用するときや、新しい独自の技術を開発するときなどに計測は必要となります。競合他社より新しいことを先にやろうとした場合、ライブラリやマクロといった設計ツールの環境がそろわないのを待っていたのでは、決して他社を出し抜くことはできません。

今までにない新しい技術を開発する場合、シミュレーションと計測を交互に繰り返します。このとき、どこをどう改良すればよいのかといった、仮想世界(シミュレーション)と現実世界(計測)のフィードバック・ループが形成されます。表面的には、前者は設計対象が期待どおりに動作しているかどうかの確認と同じと見えるかもしれませんが、これは単にパスかフェイルかを確認するための検証作業にすぎません。一方、後者は計測結果がそのまま製品開発のノウハウとなります。

現在、技術のライフ・サイクルはますます短くなってい



〔図1〕 信号の解釈

アナログとデジタルでは信号の解釈が違う。情報伝達という目的は同じであり、情報の送信(ドライバ)側からの信号をできるだけ劣化なく受信(レシーバ)側に伝送する必要がある。「H」か「L」かを判定するデジタル信号は、アナログ信号の場合と比べて信号劣化に対する耐性が高い。

ます。このため、研究部門だけでなく開発の現場でもこのようなフィードバックをかけないと、より短期間に製品を開発することが難しくなっています。このフィードバックをうまく回すためには、設計技術はもとより、計測に関する知識と技術も身に付ける必要があります。

●高速伝送のための基礎知識

それでは、デジタル信号の高速化をテーマとして、デジタル信号の概念を見ていきます。

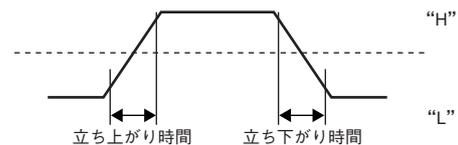
いきなりですが、デジタル信号は“アナログ信号”です。図1のようにその解釈が違うだけで、電気信号として扱った場合、信号が連続的に変化しています。デジタル信号は“H”か“L”かの状態で情報を伝達し、この状態を区別できれば問題なく情報を伝達できます。しかし、アナログ信号では、信号の形状そのものに情報が含まれるため、信号の品質が劣化すると、情報伝達に問題が生じてきます。

1) クロック・レートの向上

デジタル回路の単位時間当たりの処理能力を向上させるため、クロック・レートを引き上げる方法があります。単純にこれを上げさえすればいいのですが、次のような問題があるため、うまくいかないことが少なくありません。

- クロック信号の周期に対して、信号の遷移時間の占める割合が大きくなる。
 - “H”と“L”の区別をつけるためのタイミングがあいまいになる。
 - 安価なFR-4(プリント基板)で信号を伝達しにくくなる。
- デジタル信号は“H”や“L”の信号です。“H”から“L”に、または“L”から“H”に変化する状態(遷移状態)について考えてみましょう。

一般に、わたしたちが目にする現象のほとんどが連続的です。決してある状態から瞬時に別の状態に変わることはありません(ここでは量子理論については考えない)。このため、デジタル信号には遷移時間というものが存在しま



〔図2〕 遷移時間

遷移状態とは、デジタル信号が“H”から“L”に、または“L”から“H”に変化している状態のことである。一般に、振幅の10%~90%の遷移に対応する時間を遷移時間という。