

第5章

オシロスコープによる波形観測テクニック

デジタル信号の正体を見る

依田達夫

デジタル信号は‘0’と‘1’で表現されるが、実際の信号は、きれいな矩形波ではない。高速回路設計や実機検証では、デジタル波形の特徴をよく理解しておく必要がある。ここでは、オシロスコープによる実際の波形を見ながら、デジタル回路で起こるアナログ的挙動を解説する。また、実機による検証で求められる信号の観測テクニックを紹介する。(編集部)

新人のエンジニアの方は、オシロスコープを使って回路の評価を行う機会が多いと思います。オシロスコープは、時間とともに変化する電圧を、目で容易に確認できる装置です。さまざまな計測器が存在する中で、オシロスコープは基本中の基本と言えます。

しかし、基本的な計測器だからこそ落とし穴があります。例えば、表示される波形を鵜呑みにしてはいけません。オシロスコープは万能ではないのです。オシロスコープもハードウェアなので、不適切な使い方により波形をひずめ

たり、ノイズなどを追加してしまう場合があります。

「オシロスコープを変えただけで、pass/failの結果が変わってしまった」とか「使用するオシロスコープによって立ち上がり時間が異なり、どれを信じてよいか分からず困っている(図1)」という話をよく耳にします。これでは、開発やデバッグの効率が悪いと言わざるを得ません。

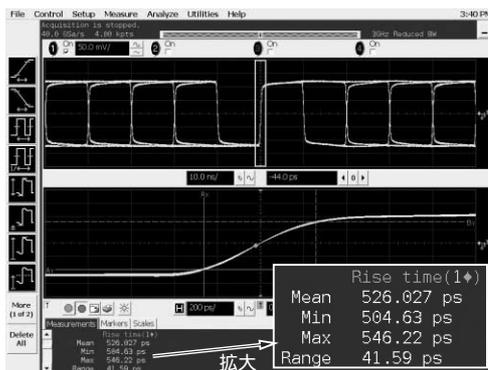
本章では、オシロスコープ(観測用のプローブを含む)によって波形が変わる様子を写真を使って示しながら、デジタル信号の特性を解説します。また、評価する信号に適した測定器を選ぶことの重要性や、選定時のポイントを紹介します。

1 デジタル信号とその評価手法

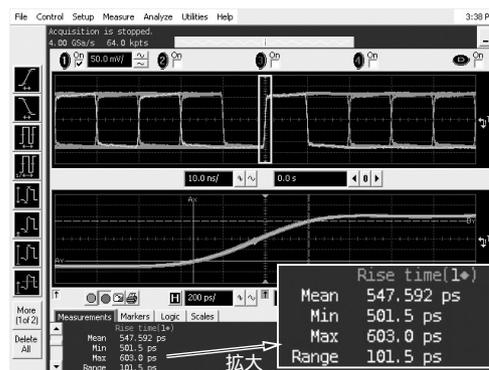
デジタル信号の波形は、単純な‘0’、‘1’ではありません。

図1
どちらの波形が正しいかわからない

同じ信号を観測しているのに、使用するオシロスコープによって観測結果が異なる。(a)と(b)では立ち上がり時間が異なっていることがわかる。



(a) 測定結果1



(b) 測定結果2

Keyword

オシロスコープ、オーバershoot、リングング、反射、ジッタ、ノイズ、アイ・パターン、ノイズ・フロア、帯域、スペクトラム・アナライザ、高調波、立ち上がり時間、プローブ、アクセサリ、アクティブ・プローブ、パッシブ・プローブ

● デジタル信号は矩形波ではない

実際の波形は、有限の立ち上がり時間と立ち下がり時間を持ちます。また、オーバershootやリングングが存在するアナログの波形です(図2)。

デジタル伝送では、データの'0'、'1'が期待通りにエラーなく伝わるのが重要になります。信号はしきい値電圧(スレッシュホールド・レベル)より低い場合は'0'、高い場合は'1'と判定します。正しく'0'、'1'判定ができない場合に、回路全体は動作異常を起こします。

● 立ち上がり時間の評価

デジタル信号の測定において非常に重要な測定項目の一つが、立ち上がり時間です。

データの'0'、'1'の判定を狂わせる原因は、主に信号の遷移の部分にあります。'0'から'1'、'1'から'0'に変化する個所が最も危険なので、これらエッジを捉えるところから、信号の評価はスタートします。

立ち上がり時間や立ち下がり時間を精度良く測定することは、信号の振る舞いを正しく観測する上で欠かせません。

● アイ・パターン評価

信号が高速化すると、伝送線路のさまざまな影響を受けて信号品質が劣化します。伝送路の帯域が足りないと波形はなまります。インピーダンスの不整合による反射、またジッタ、ノイズなども信号品質を劣化させます。すると、デバイスの'0'、'1'の判定が難しくなり、ビット・エラー(本来'0'のところを'1'と判定、またはその逆)を起こす可能性があります。そこで、アイ・パターンを使って波形を評価することが一般的です。

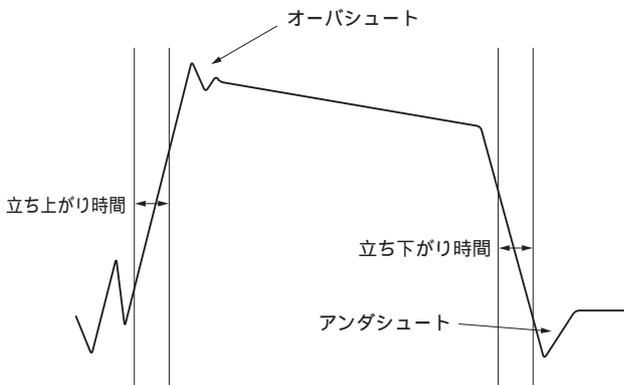


図2 デジタル信号もアナログ波形
デジタル信号の波形は、単純な'0'、'1'ではない。

アイ・パターンは、図3のように、波形をビットごとに重ね合わせたものです。図4のように、波形の重なり具合が「目」のような形状になることから、アイ・パターンと呼ばれます。ノイズやジッタ、帯域不足など信号に関する多くの情報を知ることができます。また、直感的に信号を評価できる便利な手法です。

アイが横方向および縦方向に十分開いていることが、ビット・エラーを起こさないための条件になります。信号の劣化が大きいとアイの開きが小さくなり、正しく信号を判定することが困難になります。

USB 2.0やPCI Expressなど、最近の高速シリアル・バス規格には、専用のマスクによるマスク試験を行います。マスクとは、信号の違反ゾーンのことで、規格で定められ

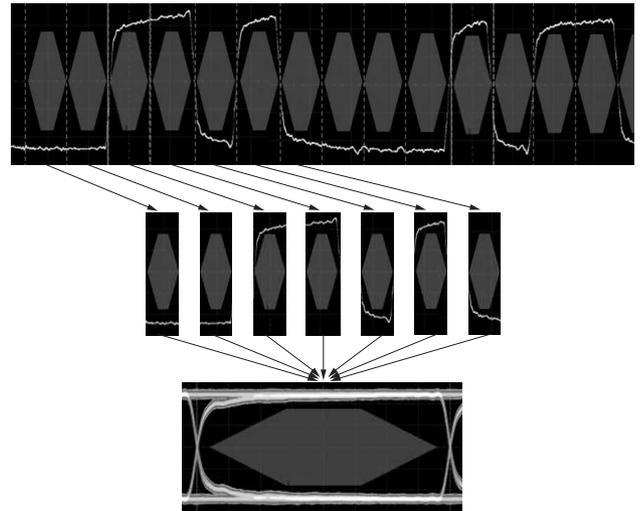


図3 アイ・パターンの作り方
波形をビットごとに重ね合わせたもの。

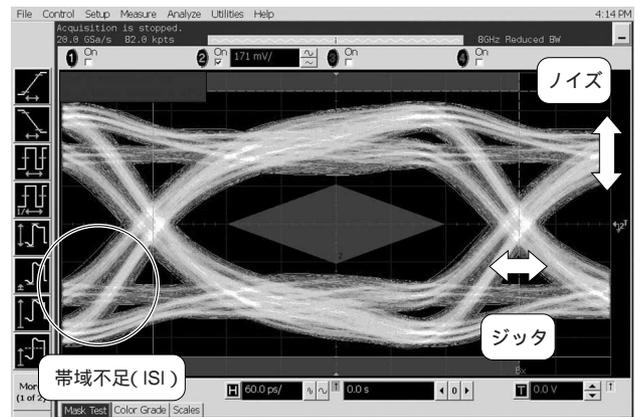


図4 アイ・パターンの例
ノイズやジッタ、帯域不足など信号に関する多くの情報を知ることができる。