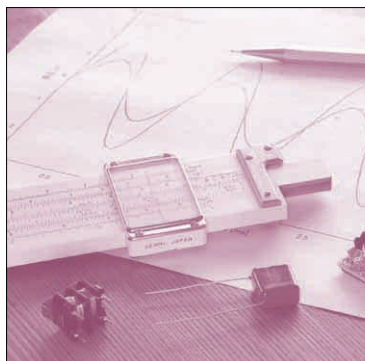


第3章 プルアップ/プルダウンやバスの 終端を考慮して…

デジタル回路の 定数設計と部品選び

桑野 雅彦
Masahiko Kuwano



デジタル回路に使われる部品では、オーディオ回路などのようにひずみなどを大きく気にする必要はほとんどありません。また一方で、マイクロストリップ・ラインでさまざまな部品を作らなくてはならないほどの高周波でもなく、一般的な集中定数の部品が利用できる範囲内です。例えば、抵抗であれば**炭素皮膜**、コンデンサならば**積層セラミック**や**アルミ電解コンデンサ**といった、ポピュラなものでたいてい間に合います。

動作周波数がだんだん上がってきて、昔のような部品では難しくなってきましたが、これに合わせるように高集積化、高密度化を図るため部品の微細化が進み、それに伴って部品の高周波特性も良くなってきたことから、部品の種別で悩むことはあまりありません。

問題は、デジタルICの場合、信号の周波数はときに100 MHzを軽く越えるような場合があるにもかかわらず、**信号の伝送**ということについてほとんど配慮されていないという点にあります。一般に、アナログ回路の場合には「電力伝送」を考えていますので、インピーダンスを合わせること(インピーダンス・マッチング)は基本中の基本ですが、デジタルICには

このような配慮はありません。出力インピーダンスはかなり低いにもかかわらず、入力インピーダンスは非常に高くなっています。

また、信号の電力増幅を行うわけではないので、信号レベルも大きく取る必要はないのですが、5 Vや3.3 Vといった**かなり高い電圧**を扱っています。

mismatchingと大きな電圧スイング幅という、くせのあるものをなだめすかして動かさなくてはならないというのが、デジタルICの扱いの難しいところです。ここではデジタル回路の挙動のうち、**信号ラインのハイ・インピーダンス対策**と**反射への対処方法**の二つについて見ていくことにしましょう。

デジタル信号と電子回路

● デジタル信号は2値信号か

デジタル回路はその名のとおりに、デジタル信号を扱う回路です。一般には1本の線で1ビット分、すなわち‘1’か‘0’かの2値信号を扱うようにしています。一般には、‘1’と‘0’を電圧の大小で表すことがよく行われますが、長距離の伝送を行うような場合には電流の大小で表すこともよく行われます。

デジタル回路の場合、とにかく**2値信号がきちんと伝わればよい**わけですから、そこだけを考えれば単純に繋がってればよさそうな話です。実際、多くのデジタル回路基板を見ても、ただ繋いであるだけのように見える部分が多いですし、デジタル回路の教科書でも波形はきれいな矩形波が書いてあるだけです。

しかし、デジタル回路と言っても現実は電子回路です。実際のデジタル信号の波形が、都合よく二つの値しか取らないような状態になるということはありません。2値というのはあくまでも、**アナログ的な挙動をする波形で‘1’と‘0’の状態を分けた**というだけのことにはすぎません。デジタル回路の動作中の波形をオシロスコープで見ると、おおよそ矩形波とは思えないような波形が観測されます。アナログ回路として見たならば、とんでもない波形と言うしかないと

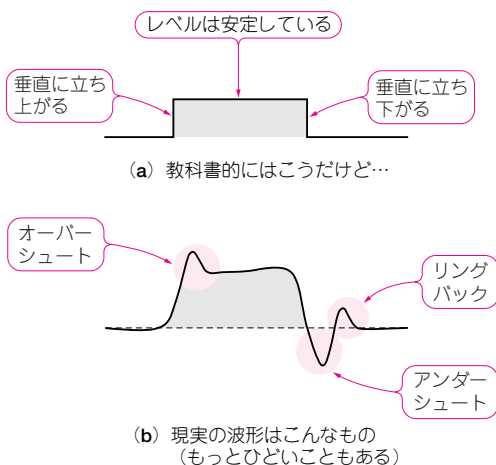


図1 デジタル回路の教科書的波形と実際の波形

うな波形です。

図1はこの一例です。教科書的には同図(a)のように書かれますし、ロジック・アナライザなどで波形を見るときもこのように表示されますが、実際には同図(b)のような波形であることが普通です。この例はまだきれいなほうで、実際の波形ではもっとひどい波形になっていることも珍しくありません。

● デジタル回路は間違いが許されない

それでもデジタル回路がまともに動作しているのは、**電圧の高低なり電流の大小なりを2値の信号として扱ってしまう**ことで、電圧の多少の変動や波形の乱れなどが起きてもデータが反転するほどでなければ問題なしとするデジタル回路のおかげです。

ところが一方で、デジタル信号は2値信号であるがゆえに、一度反転したデータとして読まれてしまうと大きな問題になります。図2のように、本来は(a)のような波形を伝えるつもりだったのが、実際の信号波形で(b)のような乱れが生じると、(c)の波形がきたものとして動作することになってしまいます。この結果としてデータの‘0’と‘1’を読み間違えることが起こります。

例えば、MPEGデータなどでデータ化けが起きると、大半のデータが正しくてもまったく絵にならないということも起こるでしょうし、CPUが読み出そうとしたプログラムや、スタック領域へのアクセスなどでデータ反転などが発生したら暴走ということにもなるでしょう。

長距離の伝送を前提としたLANや、傷などによってエラーが発生するCD-ROMなどでは、エラーの発生を前提としてデータ自体に冗長性をもたせて、エラーの検出や訂正などを行えるようにしてはいます。しかし、一般のデジタル回路で信号線全部にこのよう

なしかけを設けることは無理な相談です。

つまり、デジタル回路では2値信号として扱うためにエラーは起きにくくなってはいますが、万が一にもエラーが起きては困るのです。

● V_{IL} と V_{IH}

このようなデータ反転が起きてしまう理由や原因としては、どのようなものがあるのでしょうか。もっとも一般的なものは、**電圧レベルが‘1’と‘0’の間になってしまう**というものです。

電圧レベルで何ボルト以上をH(High)レベル(一般に‘1’とみなすことが多い)、何ボルト以下をL(Low)レベル(‘0’とみなすことが多い)にするかはそれぞれの回路において決めればよいのですが、一般的なデジタルICでは、古くから使われていたTTL(Transistor-Transistor Logic)の規定レベルが比較的広く利用されています。

TTLでは、電源電圧は5.0Vが標準で、Lレベルは0.8V以下、Hレベルは2.0V以上になっていました。なお、**Lレベル入力電圧は V_{IL} 、Hレベル入力電圧は V_{IH} と表記されることが一般的**です。 V_{ILmax} (Lレベル最大電圧)が0.8V、 V_{IHmin} (Hレベル最小電圧)が2.0Vという形でデータシートなどに記載されます。

Hレベルが2.0V以上であればよいので、ICの電源電圧として3.3Vがごく普通になった今でもこの電圧レベルが踏襲され、利用されています。例えば、本誌2004年4月号の付録に付いたH8マイコンでも入力Lレベル電圧は0.8V以下、入力Hレベル電圧は2.0V以上となっています。

さて、この間の電圧、すなわち0.8Vから2.0Vまでの間はどのような扱いになるのでしょうか?これは「どちらと認識されても文句は言えない」ということになります。現実のICでは、この間のどこかの電圧を基準にして“L”か“H”かを判定します。**入力が0.8V以下であれば確実に“L”になり、2.0V以上であれば確実に“H”として判定される**というのが、この V_{IL} と V_{IH} の意味です。

● データを取り違える現象

V_{IL} と V_{IH} のレベル判定のしくみから考えると、次のような現象が起きる可能性が想像できます。

- (1) Lレベルのときに V_{IL} 以上になると“H”と判定される可能性がある
- (2) Hレベルのときに V_{IH} 以下になると“L”と判定される可能性がある
- (3) 本当の判定レベル(V_{IL} と V_{IH} の間にある)近傍で電圧がふらつくと、“H”扱いになったり“L”扱いになったりする

実際にデジタル回路のトラブルの多くが、これら

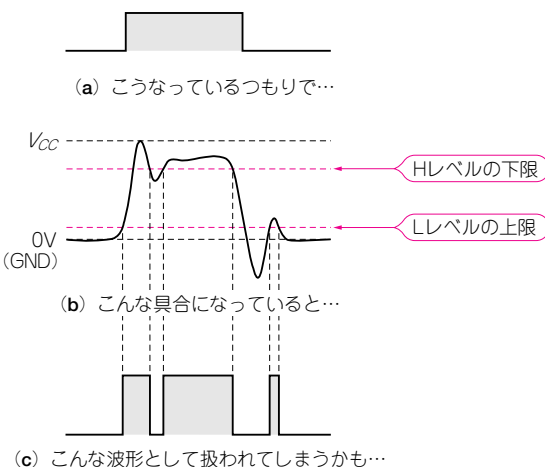


図2 デジタル回路で偽の波形が発生する例