

ビヘイビア・モデルの実例

苗手 英彦

●ビヘイビア・モデルとは

まずはじめに、デジタルICの中からインバータ回路を考えてみます。図1は、CMOSインバータの等価回路です。このインバータをモデリングする方法として、この等価回路をそのままサブサーキットとして登録する方法があります。

これはデバイス・モデリングの基本ですが、この方法ですと回路規模が大きくなればなるほど、モデリングに時間と労力を要します。また回路規模が大きくなると、シミュレーションに時間がかかる問題も生じます。そこで考えられたのが、回路の内部構造は無視してもよいから、入出力の特性を正しく表現することを目指す、ビヘイビア・モデルです。「デバイス・モデリングの基礎」で解説したOPアンプ・モデルがビヘイビア・モデルの例といえます。

しかし、最近では記述言語の影響から、入出力特性を言語で記述したモデルを指

すことが多いようです。

●ビヘイビア・モデルはたくさんある

ビヘイビア・モデルは、VHDL記述言語にもあります。また、半導体素子レベルのSPICE系のシミュレータにも各種あります。しかし残念なことに、機能や記述がそれぞれ異なり、統一的に述べることはできません。これは、それぞれのシミュレータの目的としているところが違うことによります。このため、ここで紹介するビヘイビア・モデル(筆者が使用しているSPICE系シミュレータ)は、読者の皆さんが使用しているシミュレータでは、そのまま使用できない可能性もあります。しかし、モデリングの基本的な考え方は役に立つと思うので、そのような観点で説明することにします。

●インバータのビヘイビア・モデル

図2は、図1に示したインバータ回路

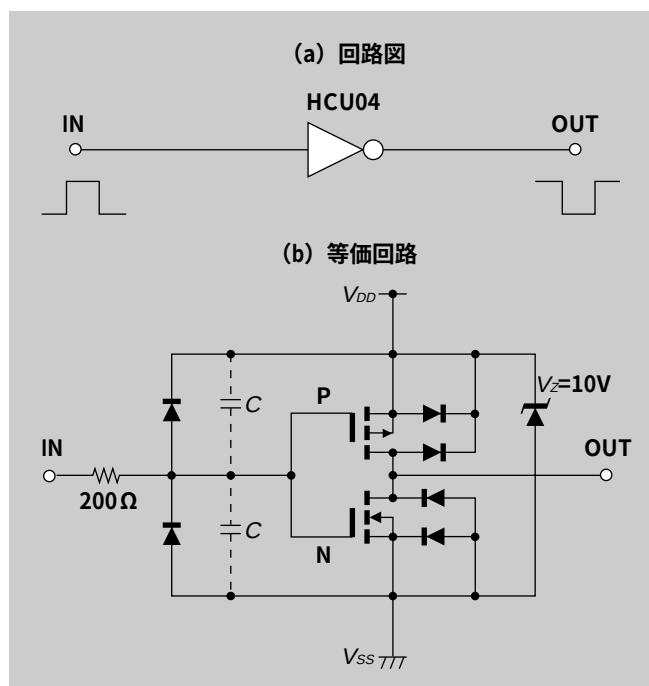
のビヘイビア・モデルの例です。

モデルのパラメータは、データ・シートの入力インピーダンスや出力インピーダンス、さらには伝達遅延時間(数ns)から決定しました。

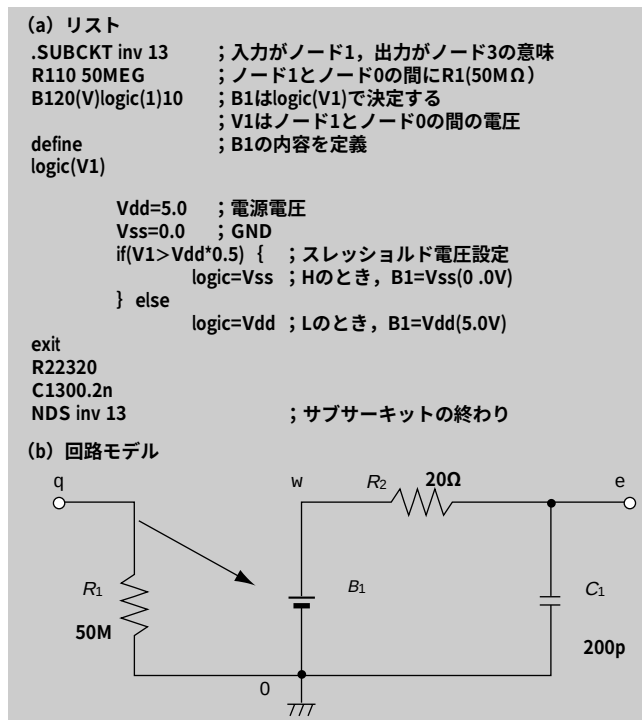
B1は、電圧制御型電圧源です。このモデルでは、デバイスの特性をサブサーキットのネットリストで記述しました。注目すべきところは、define～exitの中です。

このICはCMOSなので、入力のスレッシュホールド電圧を電源電圧の1/2にして、入力がHレベルなら出力(B1)を V_{ss} すなわちLレベルに制御します。また、入力がLレベルなら出力をHレベルにしています。

このように、ビヘイビア・モデルではif文を使用して、入力などの条件により電圧源を制御します。したがって、ロジックICでも、比較的簡単にモデリングができます。



〔図1〕 インバータICとその等価回路



〔図2〕 インバータICのビヘイビア・モデル

「デバイス・モデリングの基礎」のはじめに出てきた図1のモデルですと、出力の論理しかシミュレーションすることはできませんでしたが、このモデルを使うと、入力のスレッシュホールド電圧や出力の遅延がモデル化されているので、アナログ的な解析もできます。

このためディジ・アナ混在回路のシミュレーションのための、デバイス・モデルとしても活用できます。

● 3端子レギュレータのモデリング

図2のモデルはif文を利用した例ですが、ビヘイビア・モデルでは、if文のほかにも各種の演算が使用できます。

この演算を利用した例として、代表的なリニアICである3端子レギュレータをモデリングしてみましょう(図3)。

ここでも、ICの内部等価回路をサブサーキットでモデリングする方法もありますが、回路規模はさきほどのインバータとくらべてさらに大きくなり、特定の特性を調べるなら、ビヘイビア・モデルが適切です。

図3の入出力電圧特性を見ると、入力電圧が2.5Vから出力が立ち上がり、入力電圧が14.5Vで出力が12Vの定電圧になっています。この特性をサブサーキットのネットリストで記述した例が、図4です。やはり注目は、define～exitの中です。

V1>14.5VでVout=12V
14.5>V1>2.5VでVout=V1-2.5V
V1<2.5VでVout=0V

という入出力電圧特性を、if文と数式で記述しています。

また出力電圧は、1℃あたり0.9mVの温度依存性があるので、リストの式には温度補正の処理計算も加えてあります。このような考え方により、複雑なICでも簡単にモデリングができます。

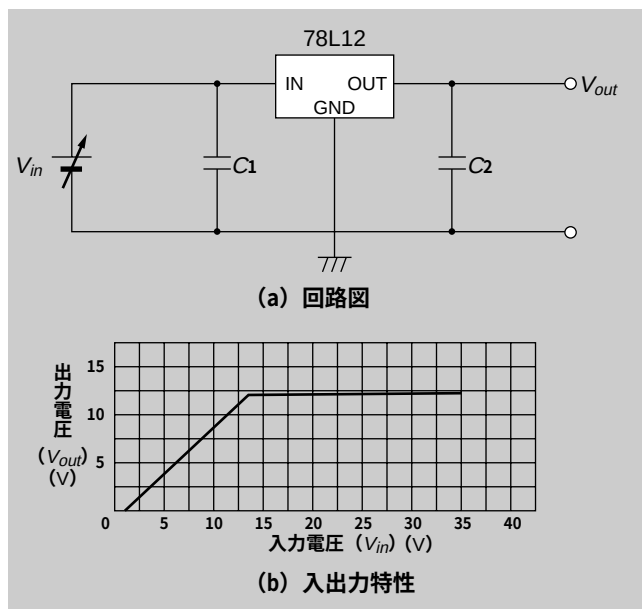
● 複雑な回路に向くビヘイビア・モデル

3端子レギュレータは簡単に定電圧回路ができるので、実際の回路設計でもよく使用されると思いますが、ほとんどのシミュレータにはモデルが登録されていないため、レギュレータを含めた回路全

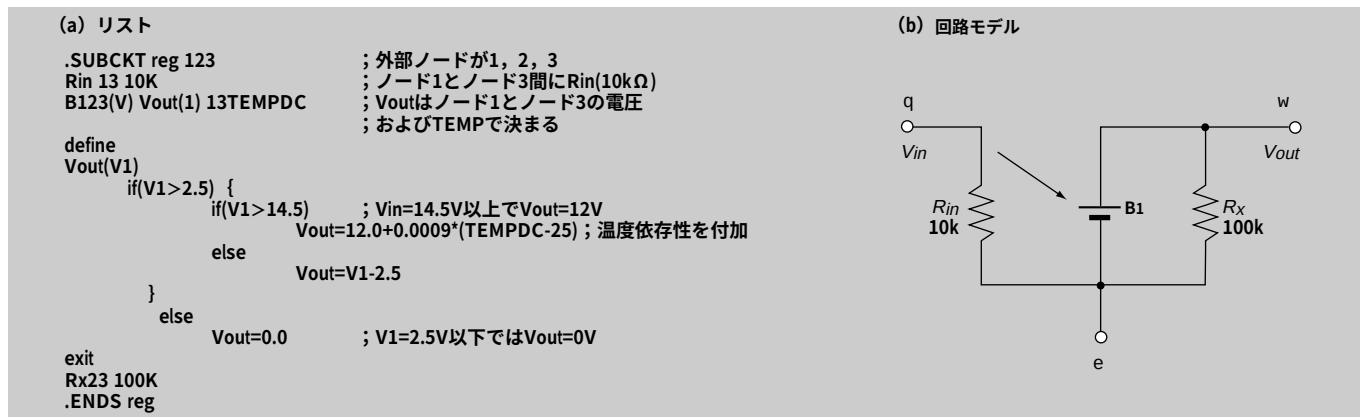
体のシミュレーションはなかなか困難です。しかし、ここに示したようなビヘイビア・モデルを用いればそれが可能になります。

ここでは比較的簡単なデバイスの例にとどめましたが、if文の中の変数も複数定義できます。また、if文の中にif文をネストすることもできるので、複雑なデバイスでもプログラムを書く感覚でモデリングできるのが特徴です。

なえて ひでひこ
スタンレー電気株式会社



(図3) 3端子レギュレータ78L12の入出力電圧特性



(図4) 3端子レギュレータ78L12のビヘイビア・モデル