

第 9 章

トランジスタ・モデルの 回路設計への適用

見
本

現実のトランジスタに近いガンメル・ブーン・モデルは、正確ではあるがあまりにも複雑であり、このモデルを用いて人間が回路設計をすることはとてもできない。そこで、何らかの工夫をする必要が出てくる。本章では、どのような工夫をすれば、人間の手で回路設計ができるようになるかを考えていく。

9.1 どのようなモデルをどのように使うか

ガンメル・ブーン・モデルは回路シミュレータ SPICE に組み込まれているが、回路設計者が SPICE のみに頼って回路設計をしているかといえば、けっしてそのようなことはない。

たとえ、回路設計者がコンピュータの前に座って SPICE で回路設計を行っているとしても、ガンメル・ブーン・モデルを頭に思い浮かべながら回路設計を行うことは、モデルの複雑さからいって不可能である。ましてや、何千、何万もの素子で構成されるアナログ回路を設計するような場合はなおさらである。

それではどのようなモデルを使って回路設計を行っているのかというと、実は簡単なモデルを頭に描いて回路設計をしているのである。

今のところ、もっとも正確なモデルはガンメル・ブーン・モデルであると述べたが、それではどこまで正確なのだろうか。その限界を知ることは、SPICE というシミュレータをどこまで信じることができるかということに関わってくる。

一般に、トランジスタ・モデルは簡単なモデルから出発して、より正確なモデルを導くために様々なパラメータを追加してきた。そして、最終的に到達したトランジスタ・モデルがガンメル・ブーン・モデルである。

すなわち、簡単なモデルに様々なパラメータを追加することによって、現実のトランジスタに近づけてきたのである。したがって、ガンメル・プーン・モデルと現実のトランジスタの違いが明確になれば、シミュレーション結果をどこまで信用することができるかがはっきりするだろう。

9.1.1 現実のトランジスタとガンメル・プーン・モデルとの違い

ここでは、実素子とガンメル・プーン・モデルとの違いと、その違いによって生じる現象について述べる。ガンメル・プーン・モデルと実際のトランジスタとでは、次のような項目に違いがある。

(1) 逆方向特性が合わない

これは、ガンメル・プーン・モデル自体が1次元モデルであることによる。すなわち、2次元、3次元の現象は表現することができない。その一つが、この逆方向特性である。表現できない現象を取り入れるためには、大幅なモデルの改良を行う必要がある。

(2) ベース抵抗，エミッタ抵抗が合わない

ベース抵抗が小さいトランジスタではそれほど問題にならないが、ある程度大きくなると様々な現象に影響を与えるようになる。たとえば、ベース抵抗によって生じる雑音は、そのままトランジスタで増幅されてしまうので、ベース抵抗は非常に大きな雑音源となる。

また、比較的低周波における動作は、前述したようにベース抵抗は x_{CJC} の値で分割された容量が接続された形で表現されているが、より高い周波数領域では R 、 C の分布定数として扱う必要が出てくる。

エミッタ抵抗はそのほとんどがエミッタの開口部の抵抗になるため、エミッタに直列に入る抵抗値である。その値は小さいが、トランジスタ本体によって β_F 倍されてベース側に影響が出るので、注意が必要である。

ベース抵抗とエミッタ抵抗は非常に重要なパラメータであるが、その測定が難しいため、未だに研究が続けられているパラメータである。

(3) f_T の電圧依存性が合わない

具体的には、 V_{CB} 依存性が実際のトランジスタとは合わない。 $f \ll f_T$ の場合はまったく問題にならない(この点については後述する)が、 $f \approx f_T$ の場合に問題と