

トランジスタCooking!

〈第3回〉

電流源をトランジスタで作ろう!

柴田 肇
Hajime Shibata

スパゲティはトマト・ソースで食べるのが好きで、週末には時々作ります。日曜の朝はトーストにブルーベリー・ソースをたっぷり塗って食べると幸せです。以前、トランジスタに好物は何かと尋ねたところ、カレント・ソースが好きだと言っていました。そこで今回は、カレント・ソース(電流源)の作り方を書いてみたいと思います。

そして、単純な電流源を発展させて、トランジスタだけで差動増幅回路や、理想により近い電流源を作ってみました。負帰還回路も少しだけ紹介します。トランジスタを増幅器として組み合わせるコツは、うまく負帰還がかかるようにすることです。読後にはもっとおいしいカレント・ソース(電流源)を目指していろいろな組み合わせに挑戦してみてください。

● 差動増幅回路を使いこなすにも電流源は必要

連載第2回(2003年11月号)では、温度や電源電圧が変わった場合でもトランジスタで安定して増幅する方法をいろいろと探ってみました。そして、電流でバイアスすることがトランジスタを使って上手に増幅するコツであることを調べました。最後に、電流でバイ

アスする回路の代表例として、図3-1の差動増幅回路を取りあげました。

差動増幅回路では、トランジスタの増幅力とトランスコンダクタンス(g_m)、信号の中心電圧を独立に設定できます。これは回路中の好きな場所の信号を好きなように増幅できるということですから、増幅したいときにはまず、差動増幅回路を使ってみるのが簡単です。

ただし、シミュレーションを離れて実際にこの回路を作ろうとした場合、まだ実在しない素子である電流源が含まれているので作ることができません。では、この電流源はトランジスタを使ってどのように作ればよいのでしょうか?

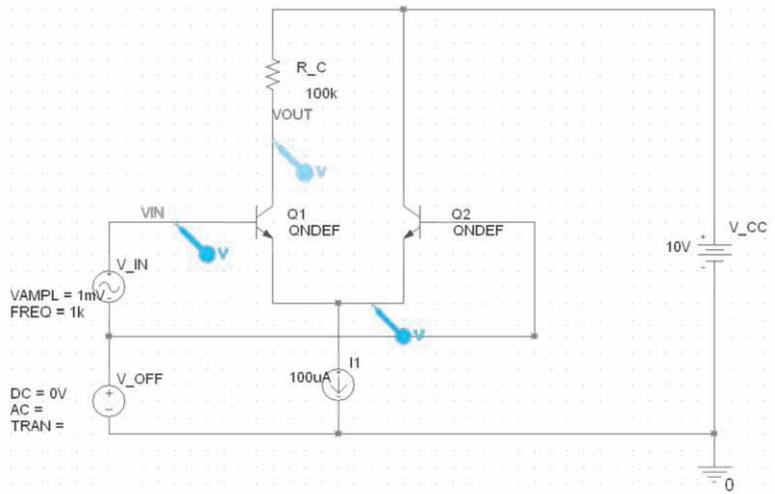
電流源は出力インピーダンスの高い回路

■ 電圧源と比較しながら

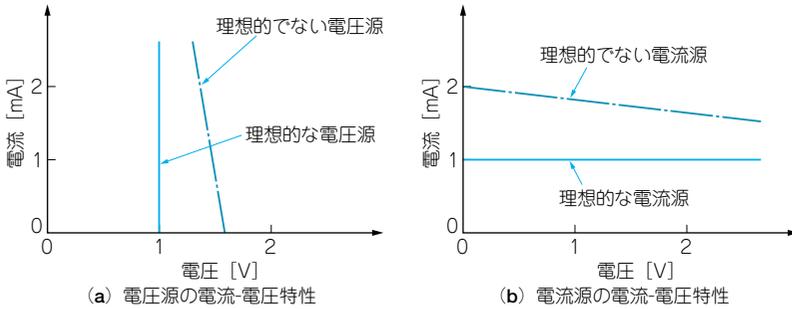
電流源の性質を知る

電圧源は乾電池を理想化したものと考えたとわかりやすいのですが、電流源は似た性質をもつものがないので、直感的にわかりにくい素子ではないでしょうか。

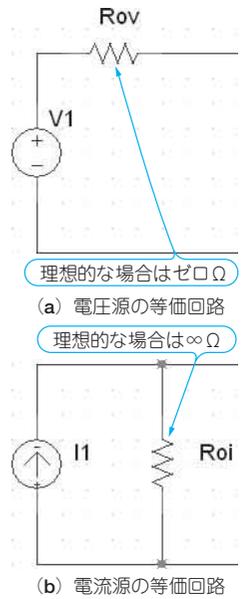
〈図3-1〉 第2回で紹介した差動増幅回路



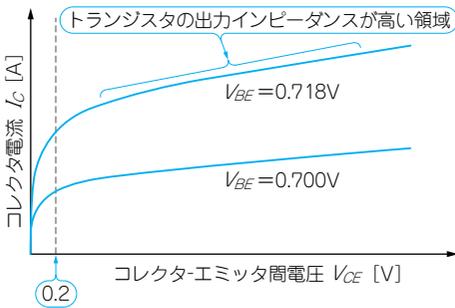
〈図3-2〉電流源と電圧源の出力電流-出力電圧特性



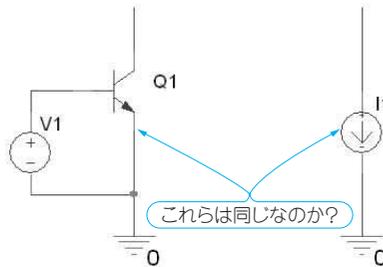
〈図3-3〉電圧源と電流源の等価回路



〈図3-4〉典型的なトランジスタの $V_{CE} - I_C$ 特性



〈図3-5〉 $V_{CE} - I_C$ 特性で電流源ができる？



そこで、電圧源と比較しながら電流源とはどのような性質の素子なのかを考えてみましょう。

● 電圧源…出力電流が変わっても電圧は変わらない

図3-2(a)の実線の特性は理想的な電圧源の特性で、電流値が変わっても電圧値は1Vからまったく変化せず、その傾きは ∞ です

これは乾電池を電圧源と考えた場合に、1.5Vの乾電池に豆電球をつないで電流を流しても、乾電池の出力電圧は1.5Vからあまり変わらないことと似ています。

同じ図の点線で表されている特性は理想的でない場合ですが、電流を流すと電圧が下がっています。傾きは急ですが ∞ ではありません。

図3-2(a)の特性図において傾きは電流/電圧ですから、傾きの単位は抵抗の逆数、つまりコンダクタンスです。電圧源は傾きが大きいため、出力コンダクタンスが大きく(出力抵抗は小さく)、理想的な場合は出力コンダクタンスが無限大(出力抵抗は 0Ω)といえます。この特性は抵抗を使って図3-3(a)のようにモデル化できます。この抵抗を出力抵抗または出力インピーダンスと呼びます。

● 電流源…出力電圧が変わっても流れる電流は変わらない

図3-2(b)に電圧-電流特性を示します。出力インピーダンスは大きく、理想的には出力インピーダンスが $\infty\Omega$ というように、電圧源と裏返しの性質になります。

電流源と電圧源の特性図を比較しても、ちょうど電圧と電流を交換した形になっていて、電流源は電圧源と裏返しの性質もっていることがわかります。こういった裏返しの特性を電気の世界では双対(dual)と呼びます。また、図3-3(b)のように理想電流源と抵抗を使ってモデル化できますが、電圧源のモデルと比べても直列と並列という双対関係になっています。

ちょっと寄り道になりますが、図3-3(a)の回路を図3-3(b)の形にまったく等価に変換したり、その逆に図3-3(b)を図3-3(a)の形に等価変換することもできます。例えば図3-3(a)は $I1 = V1 / Rov$ の電流源と抵抗 Rov の並列接続と等価です。(b)は $V1 = I1 Roi$ の電圧源と Roi の直列接続と等価です。このテブナン-ノートン変換は回路を簡単にするとき役に立ちます。

● まとめて

電圧源の性質は何となく想像するところ、

- 1.5Vなどの決まった電圧を出す
- 負荷がつながっても出力電圧が変わらない

ことのようにですから、かっこ良く書くと、

- 一定の出力電圧
- なるべく出力インピーダンスが低い(理想は出力インピーダンスがゼロ)

となります。

電流源は電圧源の双対ですから、

- 一定の出力電流

