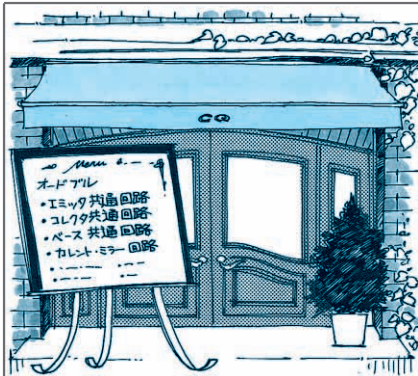


トランジスタCooking!

〈第4回〉

電流源を複製できる カレント・ミラー回路

柴田 肇
Hajime Shibata



今回はカレント・ミラー (current mirror) という回路を紹介します。

これはトランジスタの大好き、電流源の変形で、入力された電流と同じ値の電流を引き込む、または吐き出す回路です。電流源については、連載第3回(2003年12月号)で紹介しました。

カレント・ミラーは、出力電流を容易に複製することができるため、多くの電流源が必要などときには必ずといってよいほど使われます。

今回は、カレント・ミラーの基本回路を説明した後、その応用回路を紹介します。最後にカレント・ステアリング型のデジタル-アナログ変換器 (Digital to Analog Converter, DAC) を設計します。

カレント・ミラー回路は V_{BE} 定電圧源を入力とする電流源

● トランジスタを使った電流源の発展形

今回はトランジスタを使って電流源を作ってみまし

た。電流源の出力電流は、図4-1 C~Hのように、電流源となるトランジスタのベース-エミッタ電圧に電圧源を入れて設定しました。

電圧源は、電源電圧を抵抗で分圧した回路[図4-1 A]で実現できます。しかし、トランジスタの $I_C - V_{BE}$ 特性は指数関数となるため、エミッタ抵抗がない図4-1 Dの回路の場合や、図4-1 Eの回路の場合、出力電流が電源電圧の変動や周囲温度の影響を強く受けてしまいます。

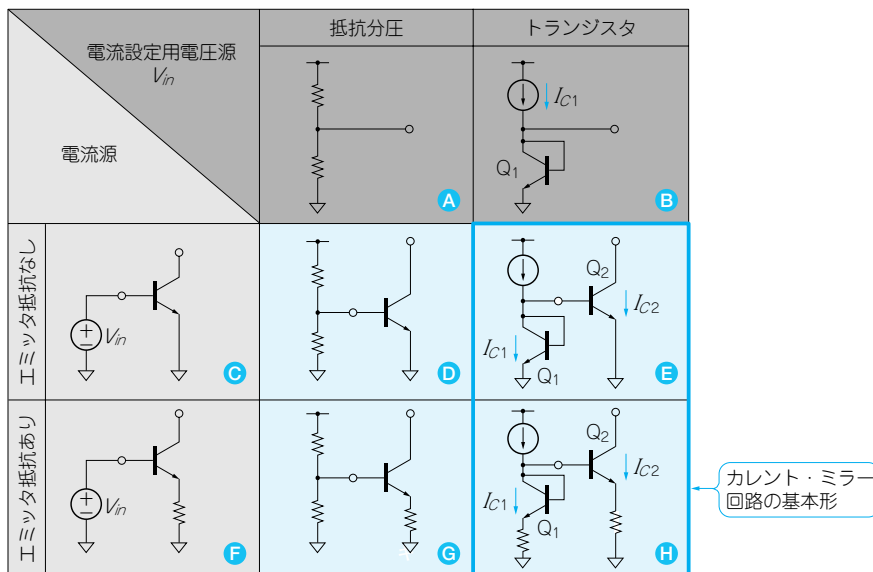
ここで、少し発想を変えてトランジスタに必要な電圧はトランジスタで作ることになります。それが図4-1 B E Hの回路です。

図4-1 C D Eにおいて電流源から電流 I_{C2} を流すために必要なベース-エミッタ間電圧 V_{BE} は、トランジスタのコレクタ電流を求める基本式、

$$I_{C2} = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \dots\dots\dots (4-1)$$

ただし、 I_{C2} : Q_2 のコレクタ電流[A], I_S : 飽和

〈図4-1〉カレント・ミラー回路は V_{BE} 定電圧源を入力とする電流源



電流 [A], V_T : 熱電圧 [V] (26 mV@27°C)
を V_{BE} について解いて,

$$V_{BE} = V_T \ln \frac{I_C}{I_S} \dots\dots\dots (4-2)$$

で求めます。この V_{BE} 電圧は図 4-1 B の電圧源を使うと I_{C2} と同一のコレクタ電流 I_{C1} を流すだけで簡単に得られ、組み合わせの結果は図 4-1 E の回路になります。

この回路では温度が上がった(下がった)場合には、入力側のトランジスタの V_T および I_S が変化するため V_{BE} が増加(減少)しますが、出力側のトランジスタの V_T および I_S も同じだけ変化するので、出力電流が変化しません。

図 4-1 E と H の回路は、 I_{C1} と同じ電流を別の回路つまり I_{C2} に流す(電流をミラーする)ためにも使うことができます。そのためカレント・ミラー回路と呼ばれます。回路動作上も鏡で映したように二つのトランジスタの各端子の電流は、ほぼ等しくなります。

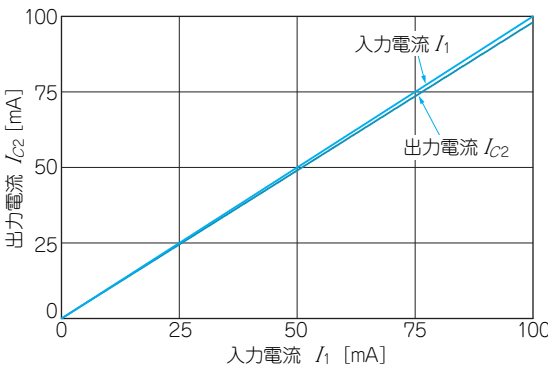
カレント・ミラー回路である図 4-1 E と H の違いはエミッタ抵抗があるかないかという違いです。通常、抵抗値の誤差や抵抗の温度特性は、トランジスタ間のマッチングやトランジスタの温度特性よりも優れているので、図 4-1 H のタイプを使用し、基準電圧の大部分を抵抗にもたせたほうが正確にコピーする電流を設定できます。ただし、トランジスタのバイアス条件から最低出力電圧が上昇してしまうことに気をつけます。

● シミュレーションでカレント・ミラー回路の動作を確認する

カレント・ミラー回路の動作は直感的に把握しやすいものですが、念のためにシミュレーションで回路動作を確認します。

図 4-2 の回路を使って DC 解析を行います。図 4-3 は入力電流源 I_1 を 0 mA から 100 mA までスイープし

<図 4-3> 図 4-2 の回路の DC 解析結果…出力電流は広い範囲で入力に比例する



た結果です。横軸はスイープ電流、縦軸がプローブで測定した電流になっており、比較のため、入力電流 I_1 と出力電流 I_{C2} をプロットしてあります。

出力電流 I_{C2} は入力電流 I_1 よりもわずかに小さな値になっていますが、広い範囲で入力電流に比例した出力電流が得られていることがわかります。

カレント・ミラー回路のいろいろ

● 電流比 1 : 1 のカレント・ミラー回路

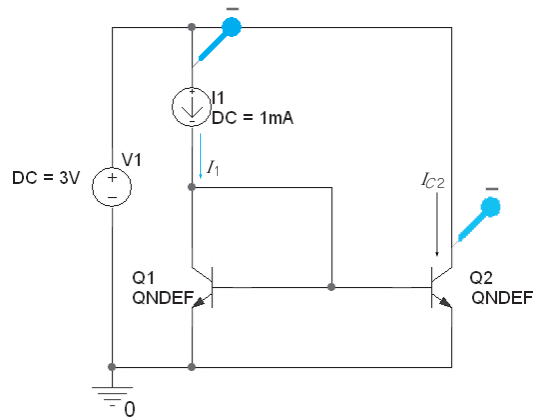
入力側のトランジスタから出力側のトランジスタへは電圧 V_{BE} を伝えているだけですから、図 4-4(a) の基本カレント・ミラー回路を拡張して図 4-4(b) に示すように電流出力用のトランジスタを並列に接続していくだけで、簡単に複製された電流出力をいくつも作ることができます。

電流でバイアスすることになると、増幅段一つにつき電流源が一つ必要になりますが、カレント・ミラー回路を使って電流源を複製すれば、電流源一つにつき、一つのトランジスタを加えていくだけです。しかも、トランジスタで作った電圧を同じ種類のトランジスタで使うことになるので、温度変化に対しても安定です。

● 電流比 1 : 2 のカレント・ミラー回路

図 4-1 のカレント・ミラーでは、入力電流と出力

<図 4-2> カレント・ミラー回路の入出力電流の関係を求める



<図 4-4> 電流出力用のトランジスタを並列に接続するだけで簡単に電流源を複製できる

