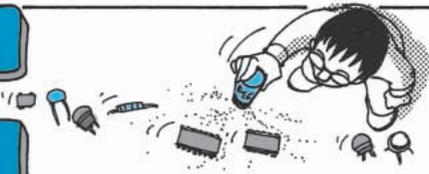


## SPICE

## 実用電子回路講座



## 第18回 トランジスタで作る超低雑音アンプ その1

遠坂 俊昭  
Toshiaki Enzaka

今回から数回にわたって、トランジスタを使った低雑音アンプの設計と評価の方法を紹介します。アンプは、トランジスタ入力タイプとFET入力タイプの2種類を試作します。いずれも前回(連載第17回、2006年7月号)紹介した低雑音OPアンプの特性を上回るように、入力換算雑音電圧 $1\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下を目標としました。

OPアンプが高性能、低価格化した現在では、トランジスタやFETといったディスクリート部品(個別部品)を使用して、小信号用の増幅器を設計製作することはごくまれです。しかしディスクリート・アンプを設計し、性能を評価する際に直面するいろいろな課題を解決していくことで、多くの実践的なアナログ電子回路技術を学ぶことができます。

## ● ディスクリート・アンプのメリット/デメリット

低雑音のディスクリート・アンプを設計する前に、一般的なOPアンプ(モノリシックOPアンプ)とその特徴を比べると次のようになります。

## ▶ OPアンプ

- 小型低価格(○)
- 小型のため外部磁束の影響を受けにくい(○)
- 同一のウェハ上に製作できるので特性のそろった素子が作りやすい。また熱平衡が得やすいので直流ドリフトの少ない増幅器ができる(○)
- 形状から消費電力の制限があり特性を優先した電流設計ができない(△)
- プロセスの制限から高電圧の素子が作りにくい(△)

## ▶ ディスクリート・アンプ

- 部品点数が多くなり高価格(△)
- 形状が大きくなりがちで外部磁束の影響を受けやすい(△)

- 同一ウェハに形成されたデュアル・トランジスタ、デュアルFETのほとんどが製造中止になり、DCドリフトの少ない増幅器の製作が難しい(△)
- 消費電力の制限がないため、低雑音化に最適な電流で設計できる(○)
- 形状の制限がなく、初段と出力段の熱的結合が避けられる(○)
- 自由にパワー半導体を選択し使えるため高電圧・大電流にも対応できる(○)

## トランジスタの性質

●  $V_{BE}$ に対して $I_C$ は指数的に増加する

図18-1(a)に示すのは、トランジスタの入力電圧に対するコレクタ電流の特性を求めるシミュレーション回路です。TORAGIライブラリ(電子回路シミュレータPSpice入門編の付属CD-ROMに収録)に登録されているトランジスタのSPICEモデル2SC1815を使用しました。

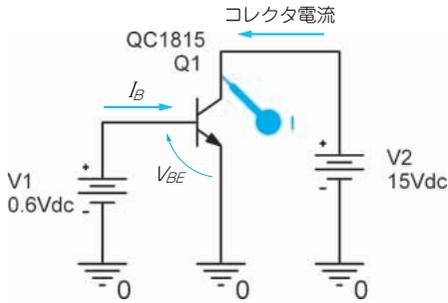
図18-1(b)は、DC解析で、入力電圧 $V_1$ ( $Q_1$ のベース-エミッタ間電圧 $V_{BE}$ )を0Vから1Vまで変化させたときの $I_C$ - $V_{BE}$ 特性のシミュレーション結果です。入力電圧が0.6Vになるとコレクタ電流 $I_C$ が流れ始め、1Vのとき約360mAになります。

図18-1(c)に示すのは、図18-1(b)のY軸を10p~1Aで「log」に設定したときの解析結果です。[Plot] - [Axis Setting] - [Y Axis]と設定しました。このように、Y軸を対数にして表示範囲を拡大すると(□-□)、入力電圧が0.6Vよりずっと低いところでもコレクタ電流が流れていることがわかります。

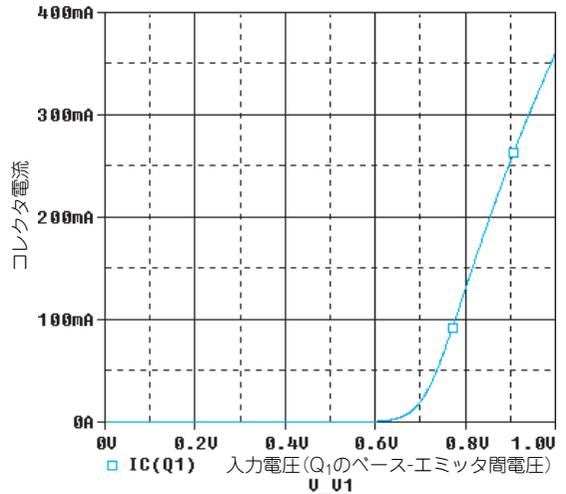
入力電圧 $V_1$ の変化に対して、コレクタ電流は30pA程度から100mA程度まできれいな対数直線状

## Keywords

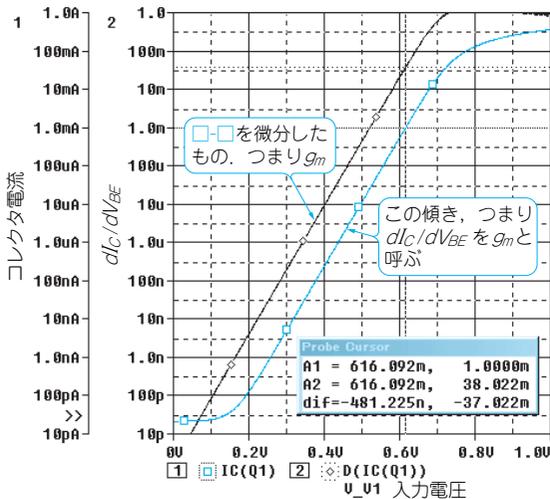
ディスクリート、OPアンプ、PSpice、2SC1815、エミッタ共通増幅回路、バイアス回路、差動増幅回路



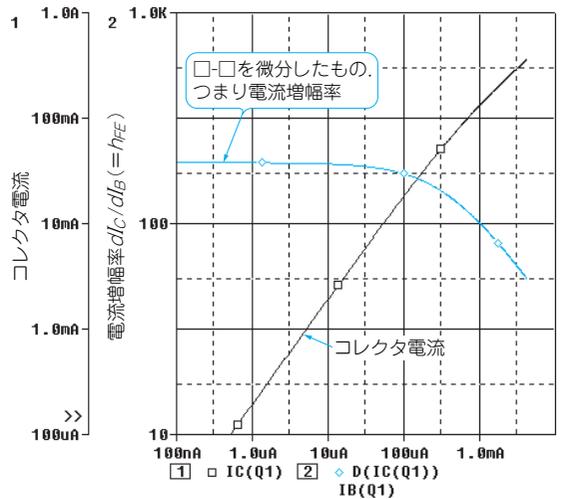
(a) シミュレーション用の回路



(b) ベース-エミッタ間電圧に対するコレクタ電流の変化



(c) 図(b)の縦軸を対数目盛りに変更すると特性線が直線状になる ( $V_{BE}$ と  $I_C$ が指数の関係にあることが確認できる)



(d) ベース電流に対するコレクタ電流の変化率(電流増幅率)

図18-1 トランジスタがもっている基本的な性質

PSpiceを使って  $V_{BE}$ や  $I_B$ に対する  $I_C$ の変化のようすなどを調べる

に変化しています。

どんなトランジスタでも、基本的にこの  $I_C - V_{BE}$ 特性は同じになります。ただし、種類によって直線範囲が異なり、例えば、小信号用トランジスタでは微小電流領域で、大電力用では大電流領域で直線になります。また周囲温度によってこの特性は変化してしまいます。

●  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $I_C = 1\text{mA}$ のとき  $g_m = 38\text{mS}$

入力電圧の変化に対するコレクタ電流の変化率をトランス・コンダクタンス ( $g_m$ )と言います。  $g_m$ は次式で表せます。

$$g_m = \frac{dI_C}{dV_{BE}} \dots\dots\dots (18-1)$$

つまり  $g_m$ は、図18-1(c)の□-□のグラフの傾きです。 PSpiceの描画ソフト probeの微分機能「D()」を使うと、図18-1(c)の◇-◇のグラフが得られ、  $g_m - V_{BE}$ 特性になります。カーソルを使ってコレクタ電流1mAに合わせると、  $V_{BE}$ が約616mVのときの  $g_m$ は約38mSであることがわかります。

周囲温度が  $25^\circ\text{C}$ のときは、この「コレクタ電流1mAで  $g_m$ が38mS」という数値は、NPN, PNPを問わず、どんなトランジスタでもチップ面積が等しければ、基本的に同じです。マルチエミッタ・タイプの