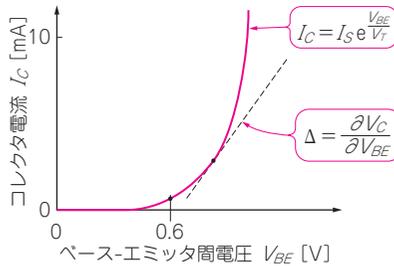
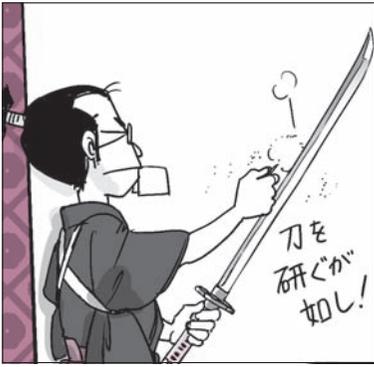


第2章 恐るるに足らず! 電卓片手に2石のシンプルな回路でやってみよう

初体験! トランジスタ・アンプの設計と実験

加藤 大 Dai Katoh



$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = \frac{\partial}{\partial V_{BE}} I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$= \frac{I_C}{V_T} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \text{とも書く}$$

図1 重要なトランジスタの基本特性①…ベース-エミッタ間電圧 V_{BE} とコレクタ電流 I_C の関係
とても重要な式なのでぜひ覚えよう。 V_{BE} の変化に対する I_C の変化量=グラフの傾き= g_m 。特性式を偏微分すると g_m が求まる

第1章では、トランジスタをどう使ったらいいか、どうとらえたらいいかをイメージ中心にお話をしました。そろそろトランジスタの特性について少し詳しく見ていきましょう。
前章では無視したトランジスタ自体の特性を具体的な数字を使って考察してみましょう。すると、トランジスタの動作に必要な条件が見えてきます。

トランジスタの五つの基本特性

① ベース-エミッタ間電圧にコレクタ電流は敏感に反応する

アナログ回路設計では、具体的な数値や関係を覚えることも大切です。ちょっと数式が出てきますが、単純化して細かいことは気にしないことにします。

トランジスタの特性を示す基本は次式です。これだけは覚えてください。

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \dots\dots\dots (1)$$

I_C : コレクタ電流 [A], I_S : 飽和電流 [A],
 V_{BE} : ベース・エミッタ間電圧 [V], V_T : 熱電圧 [V], e : 自然対数の底

飽和電流 I_S は、 V_{BE} に逆向きに電圧を加えた時に流れるほんの少しの電流のことで、デバイスにより値は異なります。ポピュラな2SC1815では0.01 pAのオーダーです。熱電圧 V_T は、温度(絶対温度)に比例する電圧で、室温(300 K)では約26 mVです。

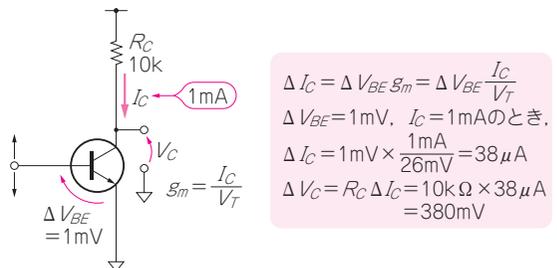
式(1)は指数関数なので、図1に示すように V_{BE} のわずかな違いで、 I_C が大きく変わります。これは、「素」のトランジスタ、すなわち第1章で解説した回路ブロックVCCS(Voltage Controlled Current Source、電圧制御電流源)の $R_E = 0 \Omega$ のときの g_m を表します。

② コレクタ電流を大きくすると増幅パワーが上がる

図1のグラフの傾きは、VCCSが電圧を電流に変換する係数、相互コンダクタンス g_m を意味します。 g_m は、 I_C を V_{BE} で偏微分して(V_{BE} の変化に対する I_C の変化だけを考えると)、以下のように求められます。

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \dots\dots\dots (2)$$

例えば、 $I_C = 1 \text{ mA}$ のとき $g_m = 38 \text{ mS}$ で、 V_{BE} を1 mV動かすと電流は38 μA 変化します(図2)。コレ



$$\Delta I_C = \Delta V_{BE} g_m = \Delta V_{BE} \frac{I_C}{V_T}$$

$$\Delta V_{BE} = 1 \text{ mV}, I_C = 1 \text{ mA} \text{ のとき,}$$

$$\Delta I_C = 1 \text{ mV} \times \frac{1 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 38 \mu\text{A}$$

$$\Delta V_C = R_C \Delta I_C = 10 \text{ k}\Omega \times 38 \mu\text{A} = 380 \text{ mV}$$

図2 重要なトランジスタの基本特性②…コレクタ電流 I_C と電圧増幅能力 g_m の関係
 V_{BE} を1 mV動かすと V_C は380 mVも動く。エミッタ抵抗を付けないトランジスタの能力は非常に高いが、安定に動作させるのが難しい