

第2章 トランジスタ回路の部屋

バーチャル・スタジオ1

トランジスタで電圧を増幅する実験

● 入力信号が増幅されて出力されるまで
トランジスタは次の2ステップで電圧を増幅します。

- (1) 電圧を電流に変換する
- (2) その電流を再び電圧に変換する

図1に示すのはトランジスタ増幅回路の原理的な回路です。エミッタ接地増幅回路と呼びます。

トランジスタは、LTspiceに標準でついているもので、ベース電流とコレクタ電流の比である電流増幅率 h_{FE} は100です。

電圧源 V_B は、トランジスタを活性化する電源で、**バイアス電圧**と呼びます。図1は原理回路なので、ベース-エミッタ間電圧 V_{BE} に等しいです。

① 電圧を電流に変換

図2に示すのは、図1のトランジスタのベース-エミッタ間電圧 V_{BE} とコレクタ電流 I_C の関係です。信号源の V_{in} は0Vです。

電子回路シミュレータLTspiceでコレクタ電流を表示するとき、マウスをコレクタの上にもっていき、カーソルが電流プローブに変わったらクリックします。

▶ コレクタ電流が多いほどゲインは高い

バイアス電圧 V_B を0.5Vから0.8Vまで1mVずつ増しながらコレクタ電流 I_C をプロットすると、 I_C は指数関数的に増します。

ある V_{BE} を中心に交流信号 V_{in} で増減させるとコレ

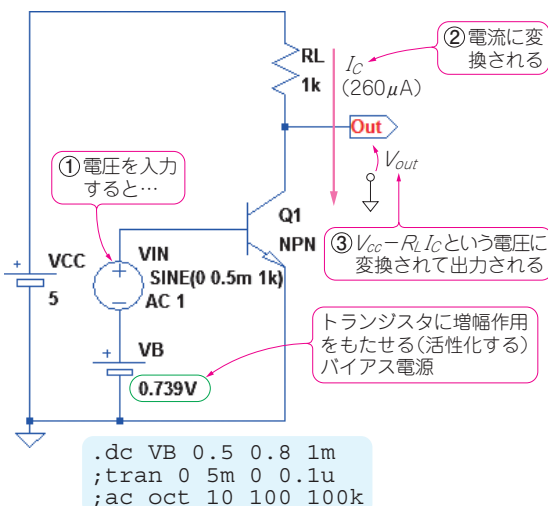


図1 電圧を増幅するトランジスタ回路

クタ電流も増減します。 V_{BE} の変化量 V_{in} に対する出力電流 I_C の変化量を相互コンダクタンス (g_m) と呼びます。 g_m は図2の曲線の傾きに相当します。 g_m が大きいほど入力信号の変化に対する出力電流の変化が大きくなります。つまりゲインが高くなります。

図2から、バイアス電圧 V_B を高くしてコレクタ電流をたくさん流せば流すほど、曲線の傾きが急峻になります。つまり g_m が大きくなります。

② 電流を電圧に変換

入力信号によって増減したコレクタ電流は、負荷抵抗 (R_L) に流れて電圧に戻され、出力されます。入力電圧の増減幅と出力電圧の増減幅の比がゲインです。

● バーチャル実験！ 原理回路の増幅のようす

▶ 計算式

ベース-エミッタ間電圧 (V_{BE}) とコレクタ電流 (I_C) には次式のような関係があります。

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

I_S は、トランジスタ固有の値で**逆方向飽和電流**と呼ばれます。LTspiceでは 10^{-16} A に初期値が設定されています。 V_T は**熱電圧**で次式で表されます。

$$V_T = kT/q \approx 26 \text{ mV} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 k : ボルツマン定数 (1.3807×10^{-23} [J·K⁻¹]), T : 絶対温度 (300) [K], q : 電子電荷 ($1.602177 + 10^{-19}$) [C]

入力電圧の変化に対する出力電流の変化「相互コンダクタンス (g_m)」は式(1)を微分すると求まります。

$$g_m = \frac{dI_C}{dV_{BE}} = \frac{I_S e^{V_{BE}/V_T}}{V_T} = \frac{I_C}{V_T} \dots \dots \dots (3)$$

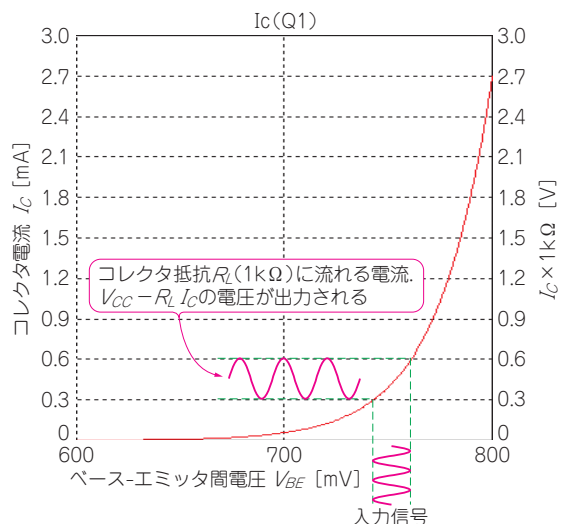


図2 図1のベース-エミッタ間電圧を増やすとコレクタ電流は指数関数的に増加する