

世界共通の基本16

お手本披露! 電子回路電卓「SPICEシミュレータ」の効果的活用法

図1に示す教科書的なトランジスタ・アンプ「エミッタ共通増幅回路」を例にシミュレーションのテクニックを解説します。

基本① まずパソコン上に回路を組み立てる

● トランジスタの直流特性を確認する

トランジスタは電流増幅素子です。図2に示すように入力電圧が変化すると出力電流が変化する電圧-電流変換素子です。そして出力と電源との間に抵抗などのインピーダンスを接続すると、電流の変化で電圧降下が発生します。出力電圧が大きく変動し、見かけ上信号が増幅された動作になります。

トランジスタはコレクタ電流がベース電流にほぼ比例することから、電流増幅素子と呼ばれるようです。

トランジスタのコレクタに流れる電流 I_C は次式で表されます。

$$I_C = I_S \{ \exp(V_{BE}/V_T) - 1 \} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 I_S : 飽和電流(トランジスタ個々によって異なる、大電力トランジスタになるほど大きくなる。2SC1815では約10 fA, 2SC5200では約5.5 pA), V_T : 熱電圧(約25.84 mV @ 27°C時)

そしてベース-エミッタ間電圧 V_{BE} の微小変化に対する I_C の微小変化の割合を相互コンダクタンス g_m といい、次式で決められます。

$$g_m = \frac{I_C \text{の微小変化}}{V_{BE} \text{の微小変化}} = \frac{I_C}{V_T} \doteq \frac{I_C}{25.84 \text{ mV}} \dots\dots\dots (2)$$

I_C が変化しても g_m の値が同じならば好都合です。しかし式(2)に示すように、 g_m は I_C に比例して変化し

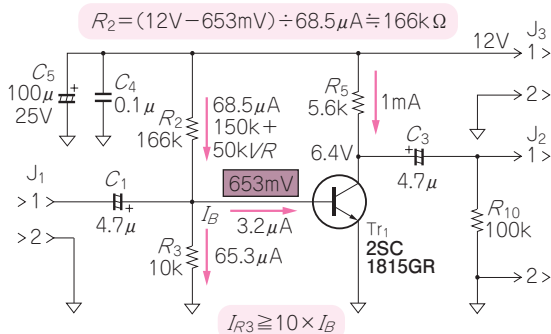


図1 教科書に出てくる1石のエミッタ共通増幅回路を例題に電子回路シミュレータの効果的な利用法を紹介する
本稿ではシンプルな回路を例に実測とシミュレーションをマッチさせる方法やひずみを低減するテクニックなどを紹介する

ます。入力電圧波形(V_{BE} の変化)に対して出力電流波形(I_C の変化)は比例しないので、ひずみが発生します。一般的にトランジスタの g_m は、FETなどの他の素子に比べて大きく、非直線性も大きいです。

● 回路定数を設定する

図1の回路定数を決定するために、図3に示すように2SC1815GRの V_{BE} に対する I_C の変化を調べます。

決定するための要因としては、負荷インピーダンス、雑音特性、周波数特性など多数の項目があります。ここでは小電力アンプとして切りの良い1mAとします。

図3のシミュレーションの結果から I_C を1mA流すためには、 V_{BE} が約653mV必要で、ベース電流 I_B は約3.2μA流れます。

図1に設計したエミッタ共通増幅回路を示します。

$I_C=1\text{mA}$ のときコレクタ電圧を電源電圧(12V)の半分程度にするため、 R_5 はE系列から5.6kΩにしました。

コレクタ電圧 V_C は6.4V(=12V - 1mA × 5.6kΩ)です。無信号のときに $I_C=1\text{mA}$ が流れるように、 R_2 と R_3 でベースにバイアス電圧を加えます。一般的には R_3 にベース電流よりも10倍程度多い電流を流します。E系列から切りの良い10kΩにしました。 R_2 には、 I_B と R_3 の電流が加算された値が流れます。 V_{BE} を約653mVにする必要があるため、 R_2 は次式で求めます。

$$R_2 = (12\text{ V} - 653\text{ mV}) \div 68.5\ \mu\text{A} \doteq 166\text{ k}\Omega$$

ここでは実機実験と比較します。コレクタ電流を1mAにするため、150kΩの抵抗と50kΩの半固定抵抗を直列接続しました。

入力と出力を直流的にカットするため、 C_1 と C_3 を挿入します。 C_4 と C_5 は電源変動を抑えるためのバイパス・コンデンサです。

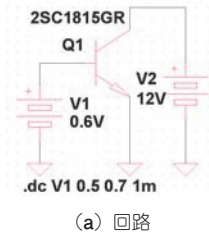
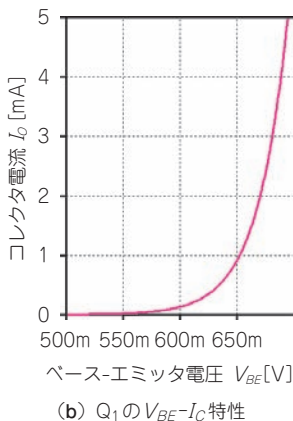


図2 バイポーラ・トランジスタの $V_{BE}-I_C$ 特性

【セミナー案内】 実習・1日でわかる! FPGA プロセッサ Nios II 入門(基礎編) [演習あり]
—— ハードとソフトのいいとこ取り開発に挑戦
【講師】 横溝 憲治 氏 3/14(木) 27,000円(税込) <https://seminar.cqpub.co.jp/>