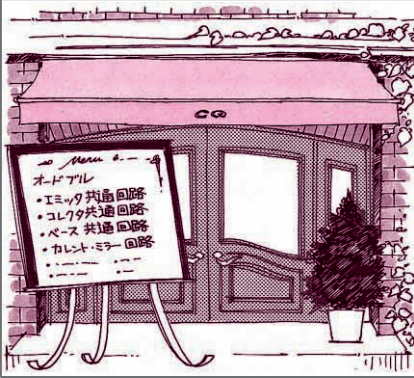


トランジスタCooking!

〈第10回〉

乗算回路を作る その①

柴田 肇
Hajime Shibata



今回は二つの信号の乗算を行う回路「乗算回路」をトランジスタで作ってみます。本連載で紹介してきたのは、入力信号の5倍や10倍といった信号を出力する定数倍の増幅回路でした。

乗算回路は、入力信号 X の入力信号 Y 倍を出力信号 Z として出力する、

$$X \times Y = Z \quad \dots\dots\dots (10-1)$$

という演算を行うことができます。

乗算回路を使うと、電子ボリュームや可変ゲイン増幅器などを作ることができます。また、自乗して平均して平方根をとる実効値電圧を計算する回路なども作ることができます。そのほかにも、無線機や携帯電話の高周波回路部にあるミキサやPLLの内部の位相比較器などに応用できます。

対数変換による乗算回路

● 乗算を加算で処理できる対数変換回路

アナログ回路を使って乗算、除算を行う方法の一つに、対数変換回路と逆対数(指数)変換回路を使う方法があります。対数を利用すると、乗算や除算が加算と減算に変換されるので、加算回路や減算回路で乗算や除算が可能になります。これは直列接続されたアンプのゲインをデシベル表示に直して(対数変換して)計算することと同じです。

例えば、ゲイン10倍のアンプを2段直列接続すると、その合成ゲインは、

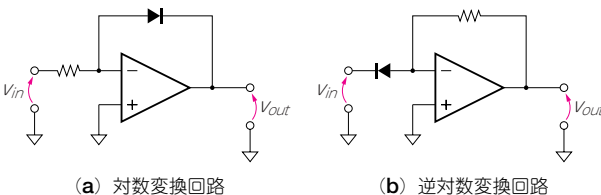


図10-1 乗算を加算で行うとき利用する対数変換回路と逆対数変換回路

$10 \text{倍} \times 10 \text{倍} = 100 \text{倍} \dots\dots\dots (10-2)$
と計算できますが、デシベル表示を使うと、
 $20 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 40 \text{ dB} \dots\dots\dots (10-3)$
のように乗算が加算になります。

対数変換回路や逆対数変換回路は、ダイオードやバイポーラ・トランジスタの指数特性を利用すると構成できます。図10-1の回路がよく知られています。

これらの回路を利用して、図10-2のブロック図のような処理を行うと、乗算回路が実現できます。

対数変換回路は、精度良く構成できるので、正確な乗算をするのに向いています。

差動増幅回路による乗算回路

● 負帰還ループをもたないトランジスタ回路ですばやく計算

対数変換回路を利用した乗算回路は、負帰還増幅回路を利用する必要があるため、回路全体の応答が遅く、高い周波数の信号処理には向きません。乗算回路を無線機のミキサに使いたい場合にはちょっと不都合です。

そこで通常は、明示的な負帰還ループをもたないように、トランジスタをうまく使って乗算回路を構成します。今回紹介するのはそのような回路です。

● 差動増幅回路は実は乗算回路でもある

▶ 復習

連載 第2回(2003年11月号)で差動増幅回路を取り

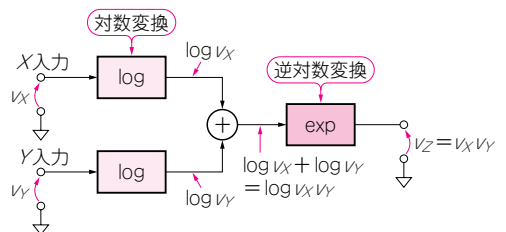


図10-2 対数変換回路と逆対数変換回路を利用した乗算回路

上げましたが、ここで、もう一度その動作を振り返ってみましょう。

図10-3に差動増幅回路を示します。入力信号である差動電圧を v_X (以後、 X 入力と呼ぶ)、出力信号であるコレクタ電流の差分 i_{out} (以後、 Z 出力と呼ぶ)とすると次式が成り立ちます。

$$v_X = v_{B1} - v_{B2} \dots\dots\dots (10-4)$$

$$i_{out} = i_{C1} - i_{C2} \dots\dots\dots (10-5)$$

v_{B1} と v_{B2} に、位相が 180° 違う差動信号が加えられた場合は、エミッタ電圧が変化しないので、 v_{B1} と v_{B2} の大きさは $v_X/2$ です。そのため小信号特性を考えると、

$$i_{C1} = \frac{g_m v_X}{2} \dots\dots\dots (10-6)$$

が成り立っています。したがって出力電流 i_{out} は、

$$i_{out} = i_{C1} - i_{C2} = g_m v_X \dots\dots\dots (10-7)$$

となります。

▶ 定電流源をV-I変換回路に置き換える

ここで思い出してほしいことは、第2回で紹介した「バイポーラ・トランジスタのトランスコンダクタン

ス g_m は、コレクタ電流に比例してリニアに変化する」ということです。 g_m は、

$$g_m = \frac{i_{C1}}{V_T} = \frac{I_0/2}{V_T} = \frac{I_0}{2V_T} \dots\dots\dots (10-8)$$

$$V_T = \frac{q}{kT}$$

ただし、 q ：電子の電荷、 k ：ボルツマン定数、 T ：接合温度 [K]、 V_T ：熱電圧に従って変化します。 I_0 は図10-3に示す定電流源の電流値です。

この効果を考えて、式(10-8)を式(10-7)に代入すると、

$$i_{out} = i_{C1} - i_{C2} = \frac{I_0 v_X}{2V_T} \dots\dots\dots (10-9)$$

となります。さて、この回路は乗算回路になっているのでしょうか？そう思いながら、式(10-9)を見てみると、ちゃんと乗算印になっています。

式(10-9)のうち、 I_0 を、別の入力信号 v_Y (以後、 Y 入力と呼ぶ)で変化させれば、 v_X と v_Y の乗算が実現できることがわかります。

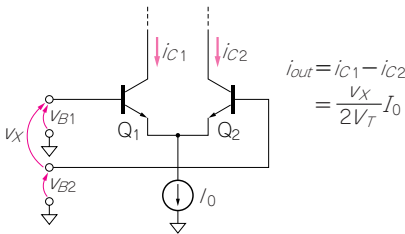


図10-3 差動増幅回路は乗算回路として機能する

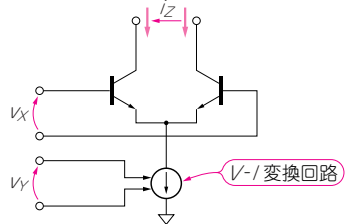


図10-4 定電流回路をV-I変換回路に変更する

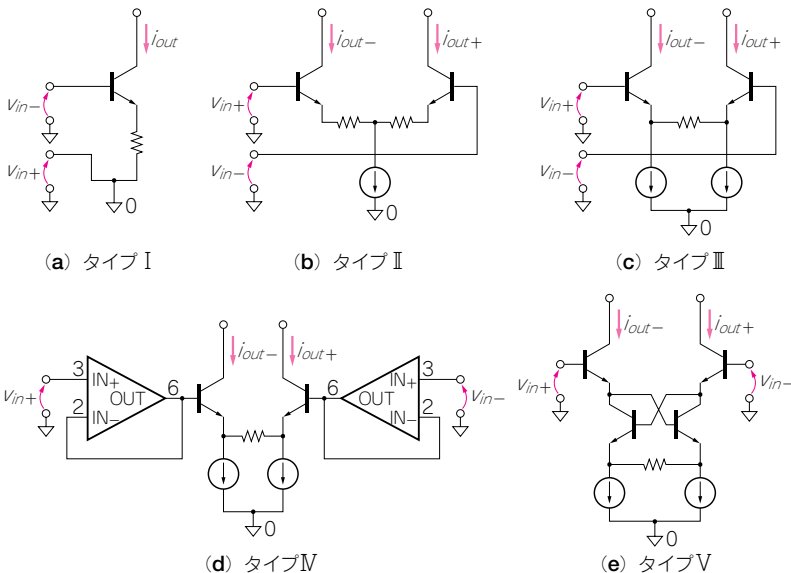


図10-5 V-I変換回路のいろいろ

