

トランジスタCooking!

〈第15回〉(最終回)

オシロスコープに文字を描く回路

柴田 肇
Hajime Shibata

前回(第14回, 2004年12月号)は, 三角波を入力すると, なめらかに変化する出力が得られる差動ペアを利用した回路をいくつか紹介しました。差動ペアを上手に使いこなすことで, 山状や正弦波状の出力信号が得られたり, 山の高さを調整できたりすることがわかりました。

今回は, これらのテクニックを利用して, 三角波を入力するとオシロスコープに“Q”の文字を描くことができる信号を生成する回路を設計し, 実際に試作し

て動作させてみます。

写真15-1に示すのは, 試作回路(写真15-2)を動作させて, オシロスコープに文字を描かせたようすです。回路は2, 3時間ででき上がる簡単なものなので, 手作りに挑戦してみてもいいのではないでしょうか。

“Q”字生成回路を作る

■ 差動ペアを上手に組み合わせて “Q”字変換回路を作る

作りたいのは, 三角波を入力すると“Q”の文字を描く信号(図14-6)を生成する非線形変換回路です。

前回紹介した図14-6と図14-20の波形を見比べてください。差動ペアをうまく組み合わせていけば, 目的の非線形変換が実現できそうです。図15-1に示すように, 波形がtanhっぽく曲がっている箇所に, tanh特性をスケールしながら当てはめていけばよいのです。具体的には, 図14-6の波形に対して, グラフ処理ソフトウェア(GNUPLOT)を使って, 目測で適当にtanh関数を当てはめていきます。

X軸とY軸に入力する信号は, 次に示す関数でそれぞれに近似できそうです。X軸用の駆動信号 $V_X(t)$ は次式で表されます。

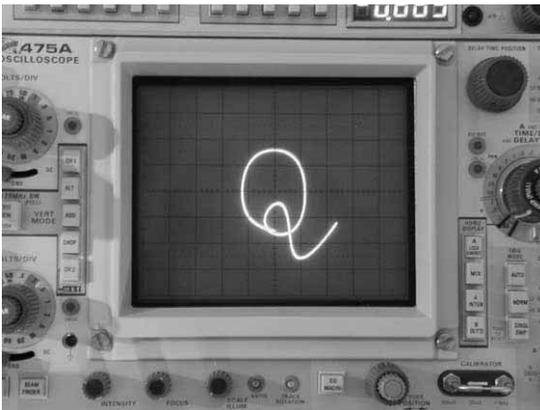


写真15-1 オシロスコープに表示されたQの文字

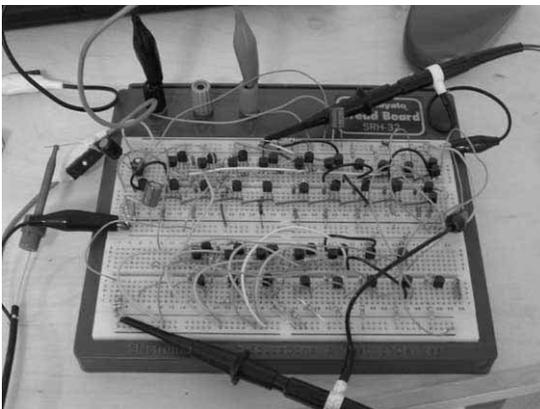


写真15-2 トランジスタを使って試作したQ字回路基板

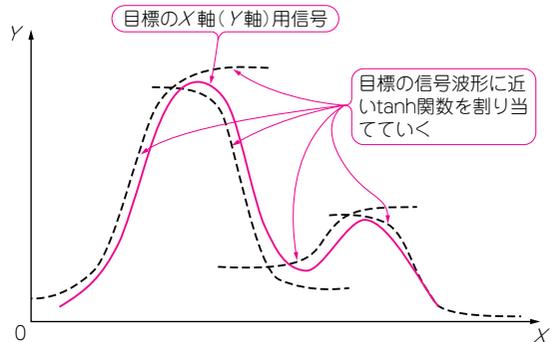


図15-1 Q字回路の出力信号波形はtanh特性を合成することで再現できる

$$\begin{aligned}
 V_X(t) = & 50 - 35 \tanh\left(\frac{t}{a}\right) \\
 & + 38 \tanh\left(\frac{t-7}{a}\right) - 50 \tanh\left(\frac{t-14}{a}\right) \\
 & + 60 \tanh\left(\frac{t-17}{a}\right) - 35 \tanh\left(\frac{t-19}{a}\right) \\
 & + 38 \tanh\left(\frac{t-22}{a}\right) \dots\dots\dots (15-1)
 \end{aligned}$$

Y軸用の駆動信号 $V_Y(t)$ は次式で表されます。

$$\begin{aligned}
 V_Y(t) = & 10 + 45 \tanh\left(\frac{t-3.9}{a}\right) \\
 & - 50 \tanh\left(\frac{t-10.5}{a}\right) + 60 \tanh\left(\frac{t-16.5}{a}\right) \\
 & - 90 \tanh\left(\frac{t-19}{a}\right) + 50 \tanh\left(\frac{t-22}{a}\right) \\
 & \dots\dots\dots (15-2)
 \end{aligned}$$

ここで、 a は横方向のスケーリング係数で、 $a = 2.5$ としています。

図15-2に示すのは、式(15-1)が表す波形と目標のX軸用の入力信号波形を比較した結果です。完全には一致していませんが、今回の用途では十分な精度でしょう。

このような差動ペアを使った回路をマルチ tanh 回路と呼びます⁽¹⁾⁽²⁾。

この回路技術は、今回のように“Q”の文字をオシロスコープに描くだけでなく、OPアンプのスルー・レート改善や三角関数発生回路、 g_m -Cフィルタ、フォールディング型のA-Dコンバータの入力回路などに幅広く利用されています⁽³⁾。

■ tanh 関数を回路に置き換える

マルチ tanh 回路を利用すれば、式から回路に変換

するのはとても簡単です。

tanh 関数を差動ペアに置き換え、係数に比例したテール電流、tanh 関数のシフト量に比例した電圧シフトを与えるだけです。ただし、シフト量はスケーリングを考えないとはいけません。

● シフト電圧のスケーリング

式から回路に変換する際、シフト電圧をスケーリングする必要があります。なぜなら、tanh 関数で1シフトすることと、差動ペアを1Vシフトすることは、1:1対応しないからです。そこで、スケーリング係数を簡単な計算で求めてみます。

まず、差動ペアの入出力特性を示す式(14-3)を関数の形で書き直して、

$$\text{diff}(V_X, I_T) = I_T \tanh \frac{V_X}{2 V_T} \dots\dots\dots (15-3)$$

とします。近似関数は、

$$\tanh\left(\frac{t-t_0}{a}\right) \dots\dots\dots (15-4)$$

といった形で与えられているので、式(15-3)を式(15-4)に合う形に変えます。

式(15-3)を $\tanh(t)$ について変形すると、

$$\tanh(t) = \frac{1}{I_T} \text{diff}(2 V_T t, I_T) \dots\dots\dots (15-5)$$

となります。さらに式(15-4)に合うように変形すると、

$$\tanh\left(\frac{t-t_0}{a}\right) = \frac{1}{I_T} \text{diff}\left(\frac{2V_T}{a}t - \frac{2V_T}{a}t_0\right) \dots\dots\dots (15-6)$$

となります。つまり、 $t_0 = 1$ シフトするには、入力電圧を $2 V_T / a = 20.8 \text{mV}$ シフトさせる必要があります。

実際のシフト電圧は、図14-9に示したように片側

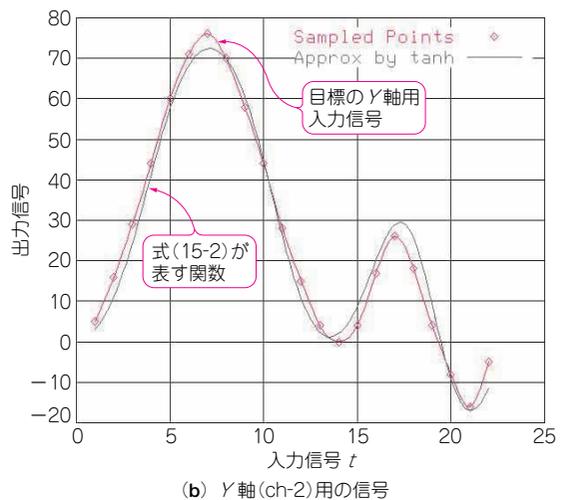
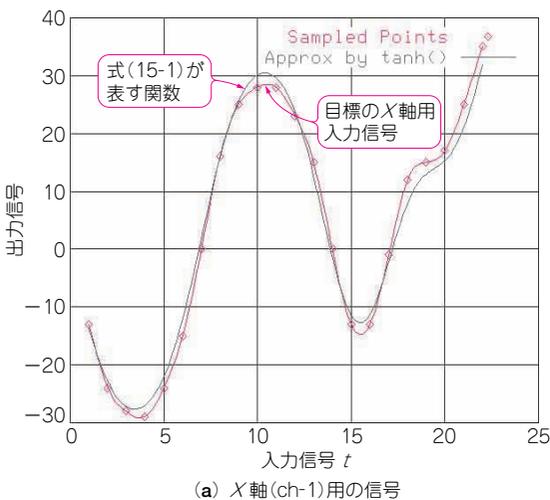


図15-2 Q字回路の入力信号を tanh 関数で近似した結果