

PSoCマイコンで行こう!

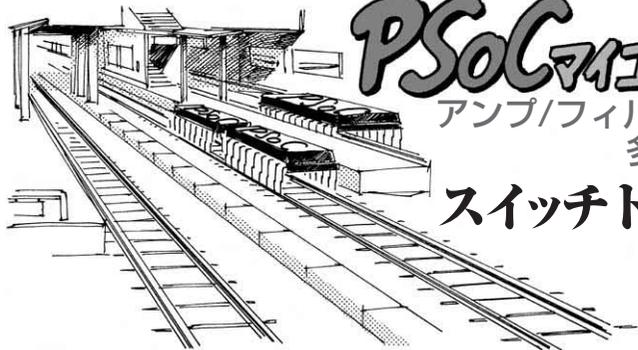
〈第5回〉

アンプ/フィルタ/加減算など

多彩なアナログ処理を可能にする

スイッチト・キャパシタ回路部の動作原理

桑野 雅彦
Masahiko Kuwano



連載第3回(2004年6月号)、第4回(2004年7月号)では、PSoCの製作例を通してPSoCブロックを使った回路設計とPSoC Designerの使い方を解説しました。

PSoCは第2回(2004年5月号)で解説したように、多機能なPSoCブロックを特徴としており、PSoCを使いこなすためには、各PSoCブロックのしくみを理解する必要があります。

とりわけ、アナログPSoCブロック、なかでもSCBLOCKは、スイッチト・キャパシタ(switched capacitor)技術を駆使してアンプ、フィルタ、加減算器などを実現する汎用ブロックです。

そこで今回は、スイッチト・キャパシタのしくみとPSoCにおける動作概要を解説します。

スイッチト・キャパシタの考え方

● 電池と抵抗の回路

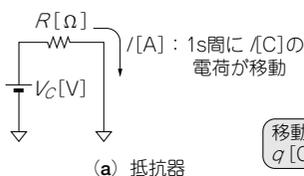
図5-1は、スイッチト・キャパシタのしくみを電池と抵抗の回路と対比して示したものです。図5-1(a)において、電池の電圧を V_C [V]、抵抗を R [Ω]とすると、回路に流れる電流 I [A]は、

$$I = \frac{V_C}{R}$$

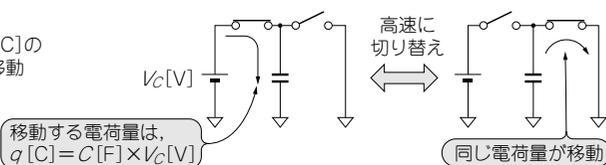
となります。ここで、1s間に Q [C]の電荷が移動したならば、

$$Q = I \times 1 = \frac{E}{R}$$

と表すことができるので、



(a) 抵抗器



(b) スwitchト・キャパシタ回路による抵抗

図5-1 スwitchト・キャパシタ回路で抵抗と同じ機能を実現する方法

$$R = \frac{V_C}{Q}$$

と書き直すことができます。

● 抵抗をスイッチト・キャパシタに置き換える

図5-1(b)は抵抗の代わりにコンデンサを並列に接続した回路です。二つのスイッチは交互にON/OFFを繰り返す(同時にONまたはOFFにはならない)と考えてください。

コンデンサが完全に放電されている状態で左の回路になるとコンデンサが充電されます。コンデンサの電荷 q [C]は、コンデンサの容量を C [F]、電圧を V_C [V]として、

$$q = CV_C$$

となります。続いて右の回路になるとコンデンサの両端が短絡されたのと同じなので、充電された電荷がすべて放電されます。この左右の回路の状態を繰り返すことは、コンデンサを介して電荷を移動していることとなります。

1s間に Q [C]の電荷が移動したならば Q [A]の電流が流れたことになるので、オームの法則から、

$$R = \frac{V_C}{Q}$$

の抵抗があるとみなすことができます。

先の例で1回の周期で運ばれる電荷が q [C]で、スイッチは1s間に f 回ON/OFFした(つまり f [Hz]で動作した)とすると、1s当たりの電荷 Q [C]は、

$$Q = qf$$

となります。したがって、コンデンサの容量を C [F]

として f [Hz] で ON/OFF した場合は,

$$R = \frac{V_C}{Q} = \frac{V_C}{qf} = \frac{V_C}{CVcf}$$

$$= \frac{1}{Cf}$$

の抵抗とみなすことができます。この式は、 f や C の値で「みなし抵抗」の値を変えることができることを示しています。

このように、スイッチト・キャパシタとは、スイッチの ON/OFF 動作とコンデンサ(キャパシタ)を使って、疑似的に可変抵抗の動作を行う回路です。

小規模用途のスイッチト・キャパシタ IC では、 f の値を変えることもありますが、PSoC では C で値を調整します。アナログ PSoC ブロックのコンデンサの容量調整単位は約 50 fF (= 0.05 pF) です。これを 1 単位として、この倍数で調整しています。周波数は最大 2 MHz です。

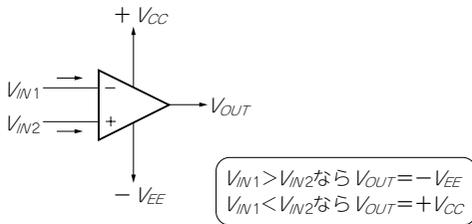
OP アンプ使ったコンパレータ, バッファ・アンプ, 反転増幅回路の基本動作

ここで、OP アンプを使ったコンパレータ, バッファ・アンプ, 反転増幅回路について簡単に解説します。

● コンパレータ

図 5-2 に OP アンプの基本的な動作を示します。図 5-2(a) の動作は、- 入力(の電圧 V_{IN1}) と + 入力(の電圧 V_{IN2}) を比較して、 V_{IN1} が大きければ $-V_{EE}$ を出力し、 V_{IN2} が大きければ $+V_{CC}$ が出力されます。

これが、電圧比較器(コンパレータ)としての動作です。



(a) コンパレータ

図 5-2 OP アンプの基本的な動作

● バッファ・アンプ

図 5-2(b) のように出力を - 入力に戻します。さらに、- 入力の電圧 (V_G) が + 入力の電圧 (V_{IN2}) より大きいとします。すると、OP アンプの出力電圧 V_{OUT} は $-V_{EE}$ 側に振れますが、 V_{IN2} より小さくなると $V_G < V_{IN2}$ なので V_{OUT} は $+V_{CC}$ 側に振れます。結果として $V_G = V_{IN2}$ で安定します。

このとき、 V_{IN1} は V_{OUT} に影響しません。これが、 V_{IN2} と同じ電圧を出力するバッファ・アンプの動作です。

● 反転増幅回路

図 5-3 に反転増幅回路を示します。図 5-3(a) はバッファ・アンプの + 入力を GND に接続したものです。この場合は、- 入力、すなわち V_{OUT} が GND 電位になったところで安定します。

ここで図 5-3(b) のように V_{OUT} と - 入力の間に抵抗 R_F を入れます。OP アンプの - 入力から漏れていく電流はゼロと仮定します。

この場合も同じで、OP アンプの - 入力 (R_A と R_F の接続点) が + 入力の電圧、すなわち GND 電位になったところで安定します。

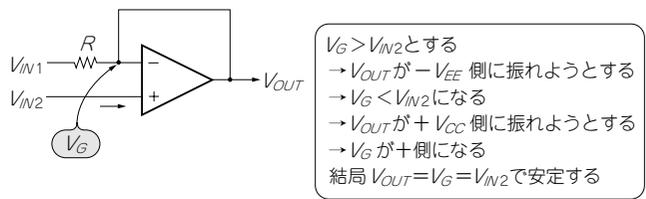
このとき抵抗に流れる電流は、

$$\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{R_A + R_F}$$

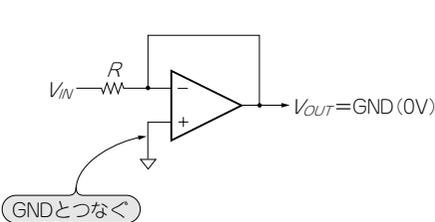
となります。ここから、抵抗の間の電圧は、

$$V_{IN} - \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{R_A + R_F} R_A$$

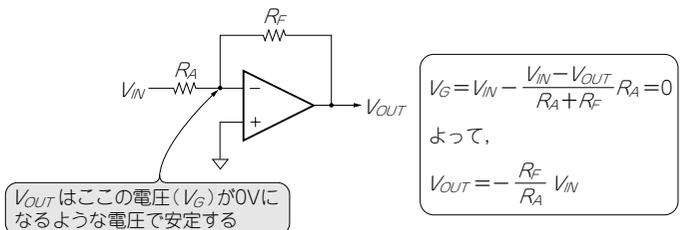
と表すことができます。これが GND 電位、つまり



(b) バッファ・アンプ



(a) バッファ・アンプの + 入力を GND に接続



(b) V_{OUT} と - 入力の間に抵抗を入れた

図 5-3 反転増幅回路