

PSoC マイコン活用講座

内蔵パワー MOS を使った
DC-DC コンバータ・アプリケーション

第6回 スイッチ・モード・ポンプの実験と
LED ドライバの製作

桑野 雅彦

Masahiko Kuwano

今回は、PSoCの特徴の一つである昇圧回路「SMP (スイッチ・モード・ポンプ)」を使ってみましょう。

せっかくの昇圧機能の実験なので、アプリケーションも昇圧回路とし、PSoCを使った定電流型昇圧回路を製作して乾電池1本で白色LEDを定電流駆動してみました(写真6-1)。

PSoCは1.0Vでも動作する

PSoCの動作電圧は3.0~5.25Vです。このままでは、乾電池1本はおろか2本でもぎりぎりです。ニッケル水素電池(出力電圧1.2V)などでは、2本でも動作

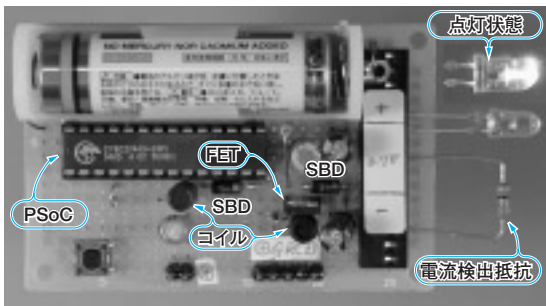
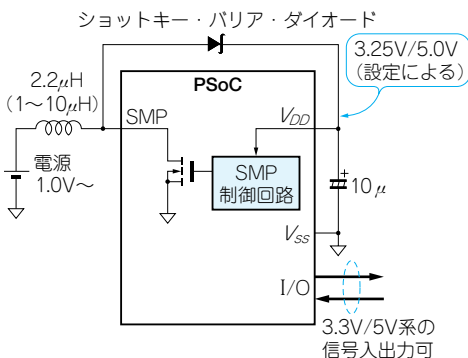
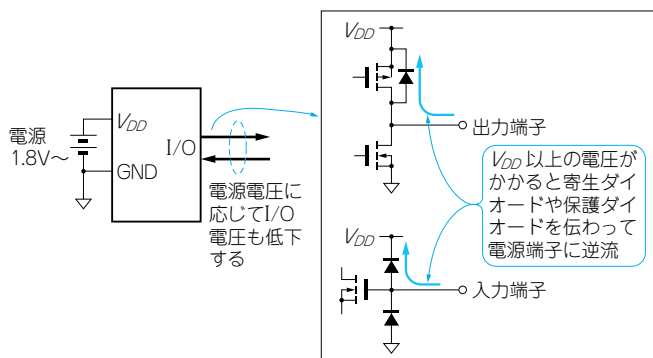


写真6-1 製作したSMP実験回路とPSoC定電流型昇圧回路



(a) PSoCはSMPで昇圧して3.25V/5.0Vで動作



(b) 一般的な低電圧動作マイコンは電源電圧そのもので動作

範囲未満になってしまいます。

乾電池駆動を前提としたマイコンの一般的な対応方法は、動作電圧を引き下げるといふものです。例えば、PICならば2.0V、78K0/Kx2シリーズでは1.8Vという低電圧動作を可能にしています。

一方、PSoCでは、電源電圧そのものを昇圧するという少々珍しい方法を採用しています。小規模なスイッチング・レギュレータを内蔵しており、外部にコイル、ショットキー・バリア・ダイオード(SBD)、そしてコンデンサを付けることで対応しているのです。これがSMPです(図6-1)。

PSoCのSMPは、1.0V以上あれば3.25Vに、さらに1.8V以上あれば5Vまで昇圧できるようになっています。

SMPを動作させるのは簡単で、図6-1(a)のような回路を組んだ後、PSoC DesignerのGlobal Resourcesで表6-1の設定を行うだけです。

昇圧回路の原理

● コイルとコンデンサの表裏な関係

コイルとコンデンサ(インダクタンスとキャパシタンス)は、電気回路の表と裏のような関係にあります。

図6-1 低電圧化へのアプローチの違い

両者の基本式を以下に示します。

● コンデンサ

$$I = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (6-1)$$

$$I = C \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots (6-2)$$

● コイル

$$V = \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (6-3)$$

$$V = L \frac{dI}{dt} \dots\dots\dots (6-4)$$

各式を積分して初期値を0にすると、

$$It = Q \dots\dots\dots (6-5)$$

$$It = CV \dots\dots\dots (6-6)$$

$$Vt = \phi \dots\dots\dots (6-7)$$

$$Vt = LI \dots\dots\dots (6-8)$$

という形になります。

ただし、 I は電流、 Q は電荷、 C はコンデンサのキャパシタンス、 ϕ は磁束、 L はコイルのインダクタンス、 V は電圧、 t は時間です。

▶ コンデンサ

式(6-5)から、電流が一定なら時間と電荷は比例することがわかります。

また、式(6-6)からは、定電流でコンデンサに充電すると(C は一定とする)、時間に比例して電圧が増加することがわかります。放電の場合は、時間に比例して電圧が低下します。

式(6-2)から、 I が0、すなわち電流が流れなければ dV/dt も0なので、電圧変化がありません。つまり、コンデンサは何もしなければ今の電圧を維持し、電流が流れればそのぶん電圧が変動することになります。

▶ コイル

コイルは電荷ではなく、磁束でエネルギーを蓄えます。動作は先ほど表裏一体と言ったとおり、コイルの場合には電圧と電流をひっくり返したようになります。

式(6-7)から、電圧が一定なら時間と磁束は比例することがわかります。

また、式(6-8)からは、定電圧をかけていると(L は一定とする)、時間に比例して電流が増加していくことがわかります。放電の場合は、時間に比例して電流が低下します。

式(6-4)から、 V が0、すなわちコイルの両端を短

絡して電位差を0にすると dI/dt も0なので、電流変化は0です。つまり、コイルに電流を流した後すかさず両端をショートするとその電流を維持し続けることになります。

この、“電流を維持しよう”という性質がスイッチング・レギュレータに応用されているのです。

● 充放電の回路動作

コイルとコンデンサの動作を図6-2に示します。図の上段が充電状態、中段が放電状態です。

この図では、スイッチが瞬時に切り替わるということをおもっていますが、実際のスイッチは瞬時というのは無理なので、切り替わりの瞬間に一瞬回路がOFF状態になります。この瞬間は、高抵抗の状態なので、コイルにはきわめて高い電圧が発生してしまいます。

接点部分で放電がおきてしまったりと実用的でないので、この図はあくまでも概念図です。

昇圧回路の基本動作

実際の昇圧回路の基本回路構成と原理図を図6-3に示します。FETはスイッチの役目を、ダイオードの先にはコンデンサを付けて電圧の変動を抑え込んでいます。

FETがONのときはコイルに V_{in} の電圧(正確には V_{in} からFETのドレイン-ソース間電圧を引いた電圧)が加わります。FETが t_{on} 期間だけONしていれば、コイルに流れる電流 I_L は、

$$I_L = V_{in} \frac{t_{on}}{L}$$

となります。

スイッチがOFFすると、今度はダイオードを経由して負荷に電流が流れます。コイルが電源(電流源)のようになって、 V_{in} と直列になるわけです。コイルの電圧を V_L とすれば、

$$V_L = V_{out} - V_{in}$$

となります(正確にはさらにダイオードの V_F を引いた電圧)。

この状態を交互に繰り返しながら、引き上げた電圧でコンデンサに蓄えて、 t_{off} 期間の電圧低下も抑えるようにしているわけです。

● 昇圧回路の出力電圧

昇圧回路の出力電圧を考えてみましょう。いま、出力が安定して出力電圧が V_{out} だったとします。 t_{on} 期間はコンデンサが放電方向、 t_{off} 期間が充電方向なので、実際には電圧変動がありますが、簡単のためほぼ一定電圧であるとして。また、ダイオードの V_F と

表6-1 SMPはGlobal Resourcesで設定

Global Resources	Value
SwitchModePump	ON
Supply Voltage	3.3 V/5.0 Vのいずれかから選択
TripVoltage	Supply Voltage に合わせて選択。SMP側なので [] 内を見る