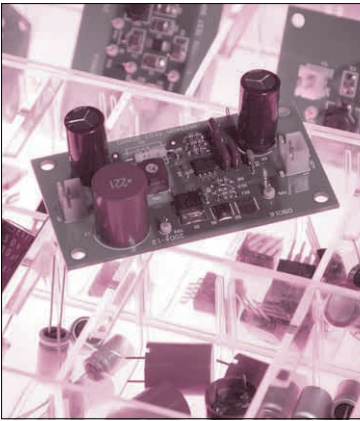


第3章



七つ道具 その 3



入力5V以下で1V以上の電圧降下が必要な箇所で威力を発揮!

5~2.5V から 3.6~1.5Vを作る高効率電源

浜田 智
Satoshi Hamada

デジタルICは高速化と高集積化を続けています。その電源電圧はますます低くなっていて、最新のデバイスでは1Vを切るものまで出現しています。そして低電圧化とともに、消費電流が大きくなっています。

本章では、イントロダクションの想定システム(図9)のシステム・ボードのSH-4マイコンやFPGAに供給する1.8Vの電源(タイプC)を紹介します。

第2章の導入部で説明したように、3.3Vパスから1.8Vや1.2Vを生成する箇所でリニア・レギュレータを使うと、効率が50%前後にまで落ちてしまいます。このような箇所には、効率の高いスイッチング・タイプのDC-DCコンバータを使う必要があります。

ここで紹介するのは、同期整流方式およびチャージ・ポンプ方式と呼ばれる降圧型のDC-DCコンバータです。

SH-4や60万ゲート・クラスのFPGAにも使えるDC-DCコンバータ

入力電圧 3.3V
出力電圧/電流 1.8V/1.2A
効率 87%

ここでは、出力電流1.2Aの同期整流DC-DCコンバータを設計します。1.2AもあればSH-4マイコンや60万ゲート・クラスのFPGAに十分使うことができます。

イントロダクションの想定システム(図9)では、SH-4マイコンと小規模なFPGA用の電源として1台の1.8V/1.2A電源で供給します。

■ 低電圧動作条件で 効率を上げる技術「同期整流」とは

● 基本は降圧型と同じ

同期整流型DC-DCコンバータの動作原理は、第1章で説明した降圧型とまったく同じです。設計に必要な式も、第1章で紹介したのものを使うことができます。

違うのは、図1に示すようにフリー・ホイール・ダイオードを低ON抵抗のパワーMOSFETに置き換えている点です。これだけで、フリー・ホイール・ダイオードで生じていた損失を大幅に改善できます。

フリー・ホイール・ダイオードはSW₁がOFFの間に働きます。フリー・ホイール・ダイオードに置き換わったパワーMOSFETもそのOFFのときにONさせます。

第1章で紹介したダイオードを使ったDC-DCコンバータでは、コイルの性質によってコイルに流れる電流が継続することによって、フリー・ホイール・ダイオードが自動的にONしていましたが、同期整流型では、制御ICがタイミングを見計らってパワーMOSFETをONさせています。そして、この動作を

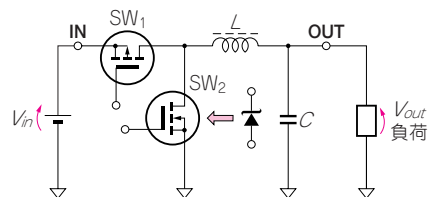
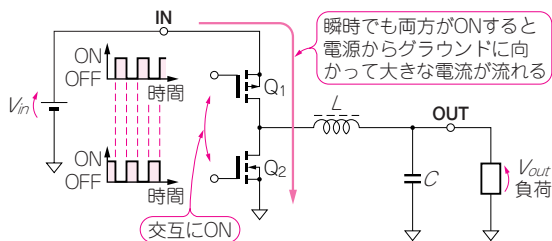


図1 同期整流型DC-DCコンバータの基本回路

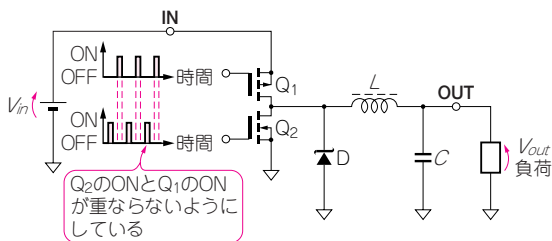
第1章で紹介した降圧型DC-DCコンバータのフリー・ホイール・ダイオードを低ON抵抗のパワーMOSFETに置き換えただけ

Keywords

同期整流方式, チャージ・ポンプ方式, FPGA, SH-4, フリー・ホイール・ダイオード, ボディ・ダイオード, 貫通電流, PFM, 電源電圧変動除去特性, 高分子型電解コンデンサ, 電流スルー・レート



(a) 単純にQ₁とQ₂のON/OFFを切り替えるだけではだめ



(b) 実際の回路ではQ₁とQ₂の両方がOFFする期間を設けている

図2 貫通電流が流れないように二つのパワー MOSFET の ON/OFF のタイミングを制御する必要がある

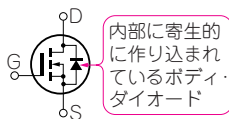


図3 図2(b)のダイオードDの役割をパワー MOSFET に構造的にできるボディ・ダイオードで代用することも可能

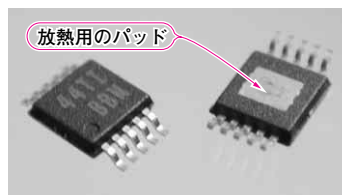


写真1
同期整流型 DC-DC コンバータ TPS62044
(テキサス・インスツルメンツ)

もって同期整流と呼んでいます。Nチャネルのパワー MOSFET は通常、ドレインからソースに向かって電流を流して使います。ですがロー・サイドの電流の流れは、ソースからドレインに向かって流れます。

● なぜ同期整流なのか？

低電圧・大電流という条件のもとで高効率化を狙うには、フリー・ホイール・ダイオードが抱える問題に切り込まなければなりません。

フリー・ホイール・ダイオードに電流が流れると、順方向電圧が発生します。シリコン・ダイオードの場合、この電圧は0.7～1V 近くあります。順方向電圧が低いショットキー・バリア・ダイオード(以下、SBD)でも0.3～0.6V あります。

フリー・ホイール・ダイオードには、順方向電圧 V_F と順方向電流 I_F の積で発生する損失が発生します。例えば、 $V_F = 0.6V$ で $I_F = 2A$ 流れると、1.2W も発生します。そこで降圧型の場合、順方向電圧の低い SBD が使われます。これを同期整流型では、ON 抵抗の低いパワー MOSFET に置き換えてさらに損失を小さくしています。最近のパワー MOSFET の ON 抵抗は極めて小さく数 mΩ に及ぶものもあります。ON 抵抗 10 mΩ のパワー MOSFET に 2A 流れても損失はたったの 40 mW です。

また 1V 近く電圧が降圧する部品を使って、精度が要求される 1V 以下を出力する電源を作ることはできません。

● 単純にパワー MOSFET に置き換えるだけではだめ

単純にフリー・ホイール・ダイオードをパワー MOSFET に置き換えてよいかというとそうではありません。というのは、入力電源から二つのパワー

MOSFET を通ってグラウンドに流れる大きな貫通電流が流れる恐れがあるからです。

図 2(a) においてハイ・サイドのパワー MOSFET Q₁ とロー・サイドの Q₂ は交互に ON します。ところが単純に ON/OFF を切り替えると、ON/OFF の境目において、両方が ON する期間が発生します。すると、入力電源がグラウンドとショートしてし、ハイ・サイドからロー・サイドに向かって大きな電流が流れます。

そこで実際の回路では、同図 (b) のようにフリー・ホイール・ダイオードとパワー MOSFET の両方を平行で使用し、ロー・サイドの駆動にはタイミング調整回路を入れてあります。

スイッチが切り替わる境目付近はダイオードが対応し、中心付近は Q₂ が対応します。フリー・ホイール・ダイオードは、外付けの SBD を使う場合もあれば、図 3 に示すようにパワー MOSFET に構造的にできるボディ・ダイオードを使う場合もあります。昔はこのボディ・ダイオードは MOSFET に寄生的にできるもので、電流を流してはいけないと言われていましたが、現在はプロセスが改良されて利用できるようになりました。中にはファスト・リカバリ・ダイオードに匹敵する性能をもつものもあります。

■ 設計

● TPS62044 を使う

▶ 基本仕様

同期整流型の DC-DC コンバータの設計は検討事項が多く、簡単ではありませんでした。ところが最近では、必要なものをすべて内蔵した便利なワンチップ IC が数多く出現しています。その中からテキサス・インスツルメンツ社の 1.8V 出力の TPS62044 (写真 1) を選びました。