

FPGAのための電源回路設計法

月元誠士，井倉将実

最近では，一つのプリント基板上に，多くの電源回路が搭載されるようになってきました。特にFPGAのような先端プロセスで製造される大規模LSIでは，低電圧，大電流の電源回路が求められます。また，高速に動作するLSIの消費電流の急激な変化に追従できる電源が必要です。高性能LSIを用いる設計では，電源回路に注意しなければなりません。本稿では，オンボード電源回路にまつわるトラブルを検証し，FPGAに適した電源回路設計法を解説します。(編集部)

12-1 高性能LSIのためのオンボード電源技術

月元誠士

LSIの製造プロセスが微細化するに従って，電源電圧は低くなっています。それと同時に，大規模なLSIを実現できるようにになりました。

デジタルLSIの電源電圧は，近年までは5Vがふつうでした。しかし最近では，1.8Vや1.5Vで動作するLSIは珍しくありません。将来は0.5V程度に落ち着くともわれています。このように低電圧化が進むと，電源電圧のわずかな変動が回路誤動作の原因になります。このため電源電圧安定度の重要性が大きくなります。

また，LSIの大規模化，高性能化により，一つのLSIが消費する電力は上昇する傾向にあります。電源電圧が下れば消費電力も下がりそうなものですが，それよりも速いペースで消費電流が増えているからです。

このような状況は，従来にはなかった問題を引き起こすことになりました。例えば，大電流を消費するLSIを高速に動作させると，電源電流変動速度(dI/dt)が大きくなります。このため，電源ラインのインピーダンスによる電圧のディップ(瞬間的に凹むこと)が大きく表れ，誤動作を招くことがあります。

低電圧，大電流で動作する高性能LSIでは，電源回路設計に特別なくふうが必要になります。

このプリント基板上に載せる電源を「オンボード電源」と言います。ここではまずオンボード電源の基本的な動作と特徴を解説します。

オンボード電源は電圧変換の原理から，シリーズ・レギュレータとスイッチング・レギュレータの2種類に大きく分けることができます(図1)。

●シリーズ・レギュレータ

代表的なシリーズ・レギュレータに，3端子レギュレータがあります。シリーズ・レギュレータは，シリーズ・ドロップパやリニア・レギュレータと呼ばれることもあります。

シリーズ・レギュレータの原理を図2に示します。入出力間に入れた可変抵抗(実際はトランジスタ)により電圧降

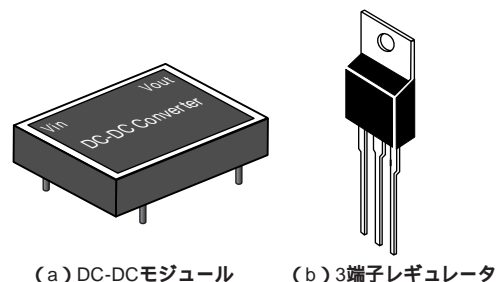


図1 オンボード電源の例

DC-DCモジュールは，スイッチング・レギュレータを1パッケージに封止したものです。3端子レギュレータはシリーズ・レギュレータの代表的存在。いずれも少量の外付け部品で回路を構成できる。

オンボード電源の種類と基本的な動作

一般的な電子回路は，プリント基板上で構成されます。

下を調整して出力電圧を一定の値に制御します。

シリーズ・レギュレータの回路は、比較的簡単に、低コストで実現できるというメリットがあります。例えば3端子レギュレータによる回路は、1個数十円のICのほか、入出力部にコンデンサを一つずつ付けるだけで構成できます。またリニアな動作となるので、出力リップルやサージの発生はありません。

シリーズ・レギュレータは原理上、入出力間の電圧差が必要で、そしてこの入出力間の電圧差は、すべて損失になります。例えば入力電圧が5V、出力電圧が1.8Vのとき、変換効率は、

$$1.8 / 5 \times 100 = 36(\%)$$

という低い値になります。この変換効率の低さがシリーズ・レギュレータの最大の欠点です。

シリーズ・レギュレータICの内部損失は、

$$(入力電圧 - 出力電圧) \times 負荷電流$$

となります。入力電圧が一定(例えば5V)とすれば、より低電圧、より大電流を必要とすることは、そのまま損失を

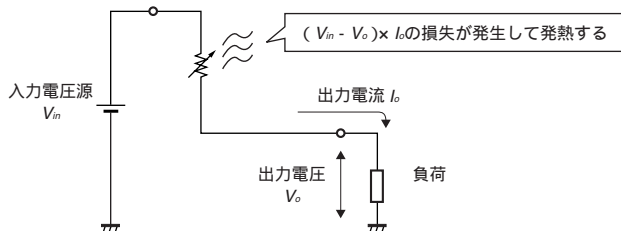


図2 シリーズ・レギュレータの原理

入出力間に入れた可変抵抗により電圧降下を調整して出力電圧を一定に制御する。

増やすことにつながります。

電圧降下による損失は、すべて熱になります。このため、放熱フィンが必要になる場合があります。熱的制約から、シリーズ・レギュレータの出力電流は最大1~2A程度になります。

シリーズ・レギュレータは、比較的小電力の回路や、電源電圧精度とノイズにセンシティブな高精度A-Dコンバータのリファレンス電圧などに適しています。

●スイッチング・レギュレータ

スイッチング・レギュレータの原理図を図3に示します。図の方式は、Buckタイプと呼ばれる非絶縁の降圧方式です。スイッチング・レギュレータには、さまざまな回路方式があり、降圧、昇圧、昇降圧、極性反転、絶縁型によるフローティング出力などが可能です。

図3の中にあるスイッチはONとOFFを繰り返しており、スイッチを流れる電流はパルス状になります(図4のスイッチ電流 \$I_{sw}\$)。これを出力側のコイルとコンデンサで平滑して出力します(図4の出力電圧 \$V_o\$)。

このスイッチは通常100kHz~数百kHzの周波数でON/OFFを繰り返します。電源の出力電圧の制御は、このスイッチのON時間とOFF時間の比率を調整することで行います。この制御方法をPWM(pulse width modulation)制御と呼びます。

スイッチング・レギュレータのスイッチング周波数(スイッチがON/OFFを繰り返す周波数)は一定のものと、負荷電流や入力電圧によって変動するものがあり、制御方式により異なります。

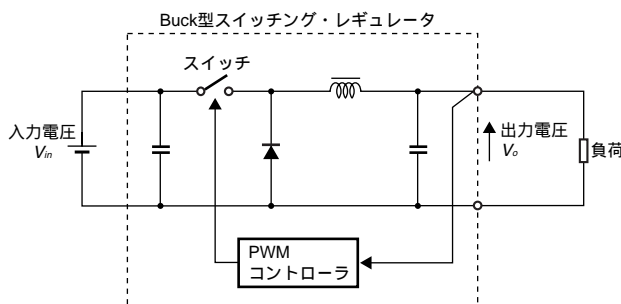


図3 スwitchング・レギュレータの原理

スイッチはONとOFFを繰り返す。これを出力側のコイルとコンデンサで平滑して出力する。

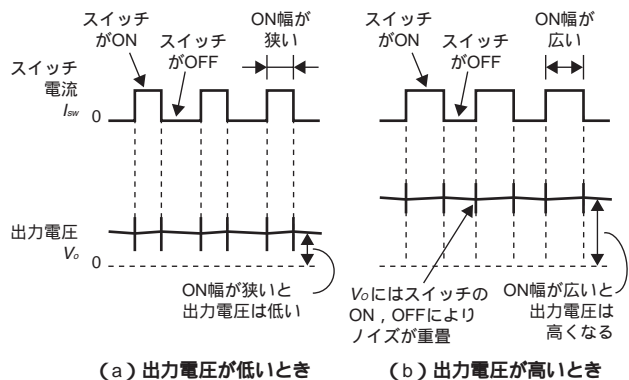


図4 Buck型スイッチング・レギュレータの動作

出力電圧の制御は、スイッチのON時間とOFF時間の比率を調整することで行う。入出力電圧にリップル、サージが重畳されて現れる。