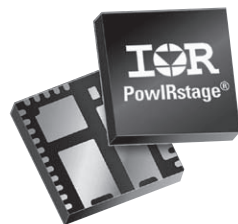


こうして使おうパワーデバイス

第15回 高性能プロセッサ向け 電源技術、マルチフェーズ



PC、サーバなどの高性能プロセッサを動作させるには、1V前後で100A以上の大電流を供給可能な電源回路が必要です。さらに、低電圧動作になるほど出力電圧精度、低リップル、高速負荷応答が必要になり、きめ細かい省電力に対応する電源管理機能なども要求されます。これらを満足するために、高性能プロセッサ向けとしてデジタル・コントローラやマルチフェーズなどの電源技術が開発・活用されています。今回は、マルチフェーズの最新技術を中心に紹介します。

マルチフェーズが使われる背景

高性能プロセッサ向けの電源にマルチフェーズが用いられるようになったのは、出力電流の増加への対応と、応答性向上の要求という二つの理由からです。

プロセッサは、半導体プロセスの微細化を進めるためにコア電圧を下げ、トータル消費電力をなるべく増やさずに高集積化と高速化を両立してきました。これは、プロセッサの性能を急速に向上させてきた主要な要因ですが、電源回路はより厳しい条件です。

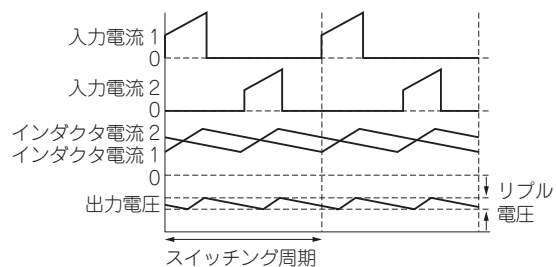
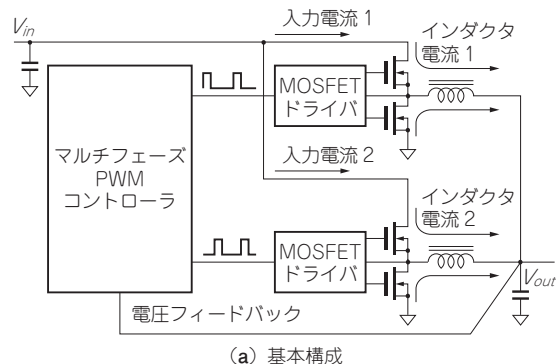
電源回路が出力する電力が同じでも、出力電圧 V_{OUT} が低下すればその分だけ出力電流 I_{OUT} が増加するので、電流に比例して損失が増大します。損失を増やさないためには、MOSFETなどの半導体部品や、インダクタなどの受動部品、さらには配線などあらゆる部分の抵抗成分を減らすことが必要で、部品の大型化やコストアップなどの問題が出てきます。

さらに、プロセッサの高速化が進むとともに、負荷変動も高速化の一途をたどり、電源回路の応答性に対する要求も厳しくなっています。過渡的な負荷変動には出力コンデンサの充電/放電によって対応しますが、大きな変動にはスイッチングのサイクルごとにパルス幅を制御して追従させる必要があります。プロセッサの高速化に対応して、電源回路のスイッチング周波数 f_{SW} や制御の高速化も求められます。

目安として、高性能プロセッサ用電源では、クロックスピードの1/1000程度の周波数でスイッチングすることが必要です。例えば2GHzのプロセッサには

2MHzのスイッチング周波数が要求されるので、電源回路にはなかなか厳しい条件です。

マルチフェーズ電源は、複数の電源回路を並列接続し、位相をずらして動作させるものです。並列化によって出力電流を増大できるとともに、同じスイッチング周波数でも複数の位相を用いることで疑似的にスイッチング周波数を高め、リップル低減や応答性向上、そして効率改善の効果があります。部品点数は増えますが、各部品は小型化できるので、低電圧、大電流、高速応答の電源を低コストで実現できます。



(b) 位相をずらして入力ピーク電流や出力リップル電圧を低減する
図1. マルチフェーズ電源の基本構成と動作波形

マルチフェーズ電源の発想は古くからありましたが、実用回路として広く普及したのは2000年頃からです。その背景には、2000年にPentium IIIの1GHz版(コア電流20A超)、2001年にPentium 4の2GHz版(コア電流50A超)、2004年にPentium 4の3.8GHz版(コア電流100A超)が登場するというように、2000年代初頭

にはPC用プロセッサが急速に高速化するとともに、コア電流も急増したことがあります。

初期には1相あたり20A程度のもが多かったのですが、最近ではMOSFETやインダクタの低損失化が進んだため、1相あたり40A以上のものが多く用いられています。たとえば、2相で80A以上、3相で120A以上のマルチフェーズ電源が使われています。

最近のマルチフェーズ用コントローラと PowIRstage®

複数の世代のサーバ/デスクトップPC/ノートPC向けに、マルチフェーズ用デジタル・コントローラと、統合型パワー段モジュールが製品化されています。

マルチフェーズ用デジタル・コントローラは、コア用電源(2~8フェーズ)とプロセッサ制御用電源(シングルフェーズ)を一括して制御可能な2ループ構成のコントローラ製品が各種ラインナップされています。

また、パワー段については、40~60Aの同期整流MOSFETとMOSFETドライバを組み合わせて6mm×6mmなどの小型で放熱性の高いパッケージに封入したPowIRstage®が各種ラインナップされています。次世代のPowIRstage®では、温度センサや電流センサも統合されて、より安全で使いやすいモジュールとして活用できます。

	IR3553	IR3558	IR3551	IR3550	IR3548 (二相)
連続出力電流	40A	45A	50A	60A	30/相
外形寸法	4mm× 6mm	5mm× 6mm	5mm× 6mm	6mm× 6mm	6mm× 8mm

図2. PowIRstage®のラインナップ

マルチフェーズ電源の注意点

降圧型DC-DCコンバータは、元々はMOSFETなどスイッチング素子とダイオードを組み合わせて実現されていました。この回路では、ダイオードは、スイッチング素子がオフすると自動的にオンする受動的スイッチング作用と、GNDからインダクタに電流を流す転流作用の二つの機能もっていました。

また、MOSFETのオン時の損失はオン抵抗で決まりますが、十分に低オン抵抗のMOSFETを用いれば損失も十分に低減できます。ところが、ダイオードの

オン時の損失はダイオードの順電圧で決まりますが、順電圧の低いSBD(ショットキ・バリア・ダイオード)を選んでも、損失が生じるのは避けられません。さらにプロセッサのコア電圧の低下は、ダイオードの導通時間が長くなり、損失がさらに増加します。

これらの点から、MOSFETのスイッチング速度やオン抵抗が向上するに従って、降圧型DC-DCコンバータではダイオードが損失のボトルネックとなり、ダイオードをMOSFETで置き換えた同期整流型DC-DCコンバータが広く普及しました。

ただし、同期整流型DC-DCコンバータには注意すべき点があります。元々、降圧型DC-DCコンバータ(Buck Converter)と昇圧型DC-DCコンバータ(Boost Converter)は、ダイオード整流型では異なるトポロジだったのですが、ダイオードをMOSFETに置き換えてしまうと、トポロジは同一になってしまいます。

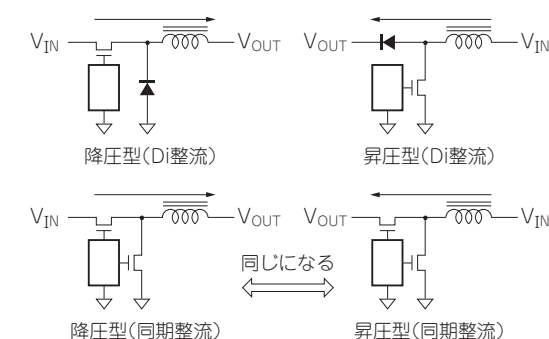


図3. 降圧型トポロジと昇圧型トポロジ

すなわち、同期整流型の降圧型DC-DCコンバータは、出力から入力に電力を供給する昇圧型DC-DCコンバータとして働く可能性があるということです。

マルチフェーズ電源は、あるフェーズが降圧型DC-DCコンバータとして入力から出力に電力を変換しているとき、他のフェーズは昇圧型DC-DCコンバータとして出力から入力に電力を変換してしまう可能性があります。

これは、元々のダイオード転流型ではダイオードの整流作用を利用していましたが、同期整流型ではダイオードをMOSFETに置き換えたために整流作用が失われてしまったことから生じたものです。IRのマルチフェーズ用デジタル・コントローラは、このような降圧型同期整流のマルチフェーズDC-DCコンバータ特有の問題が生じないように制御を行っています。