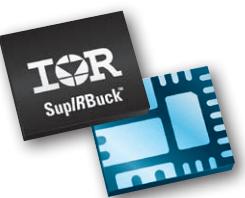


## こうして使おうパワーデバイス：応用編

### 第18回 Buck コンバータの フィードバック技術



多くのアナログ回路では、クローズド・ループのフィードバック回路を用いて、電流や電圧を一定値に保ったり、対象の変化に追従させるような制御を行っています。DC-DCコンバータなどの定電圧電源はフィードバック・ループの典型的な例であり、入力電圧や負荷電流の変動に影響されずに出力電圧を一定に保つように制御を行っています。現実の回路では、理想通りにフィードバック制御を行うことはできず、変動に対する過渡的な応答性や、発振を防止する位相補償特性が、制御の良し悪しを決める重要な評価ポイントになります。

今回は、Buck型DC-DCコンバータを例として、フィードバック制御の方法や注意点をご紹介します。

#### フィードバック制御の原理

フィードバック制御は、制御で得られた出力電圧を基準電圧と比較し、それらが一致するように出力電圧を制御します。そのために、出力電圧と基準電圧の差(偏差)を検出してエラー・アンプで増幅し、偏差が0になるように常に制御を行います。出力が高すぎれば低くするように、低すぎれば高くするように、誤差を打ち消す方向の制御なので、負帰還(Negative Feedback)と呼んでいます。

実際の回路では、アンプの特性や回路の寄生成分による位相遅れが生じ、遅れが $180^\circ$ になる周波数では負帰還( $-180^\circ$ )が正帰還( $-360^\circ$ )に変化してしまいます。この周波数でゲインが0dB以上あると、発振により出力電圧が不安定になるので、位相補償回路が必要になります。

位相補償は、一般に高域におけるエラー・アンプの

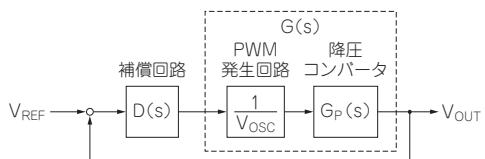


図1. クローズド・ループのフィードバック回路の原理図

ゲインを下げる方向に働くので、変動に対する応答性を低下させる問題があります。応答性をなるべく低下させずに補償を行うように、さまざまな位相補償回路が用いられています。

#### 高速負荷応答の要求

特に、最近では負荷変動に対する応答性の要求が厳しくなっています。大規模ロジック回路に電源を供給するDC-DCコンバータでは、ロジック回路の高速化、大規模化が進むとともに、負荷変動はきわめて高速、大電流になっています。このような用途では、負荷電流は連続ではなくパルス電流の集まりと見なさなければなりません。負荷電流が0Aと最大電流の間で急激に変化しても、高精度な出力電圧を保つことが求められています。

一般には負荷変動と呼ばれる特性ですが、このようなパルス電流による出力電圧の変動を考えるときは、特に「高速負荷応答特性」、「過渡応答特性」、「トランジション特性」などと呼んでいます。

#### 位相補償の方法

位相補償回路は、元々のパワーレベルの位相特性に対してゼロや(zero)ポール(pole)を挿入して位相特性を改善します。

基本的には、ゲインが0dBになる周波数 $f_0$ で位相余裕をもたせるために、ゼロを挿入して位相を進めます。逆に、位相遅れが $180^\circ$ に近づく周波数でゲインを低下させるために、ポールを挿入します。負荷応答性を高めるには、なるべく広い帯域で高いゲインをもたせます。かつ、発振を防ぐには、ゲインが0dB以上の帯域で十分な位相余裕をもたせます。そのために、ゼロやポールを適切に挿入することが必要です。

DC-DCコンバータの位相補償では、タイプIIと呼ばれる方式とタイプIIIと呼ばれる方式が主に用いられています。

タイプIIは、2ポール1ゼロの方法で、少ない部品で位相補償を実現できる特徴があります。ただし、エラー・アンプの周波数帯域はあまり広くできないので、高速負荷応答が求められる用途には不向きです。一般的なDC-DCコンバータに用いられます。

タイプIIIは、エラー・アンプの入出力間にCRと並列C、入力側の電圧設定用抵抗(分圧抵抗の上側)と並列にCRという5個の素子を使用して、3ポール2ゼロの補償を行います。回路はやや複雑になりますが、エラー・アンプの周波数帯域を広くでき、負荷応答を高速化できます。

CPU用のVRM(Voltage Regulator Module)やFPGA(Field Programmable Gate Array)用のDC-DCコンバータにはタイプIIIの位相補償が用いられています。

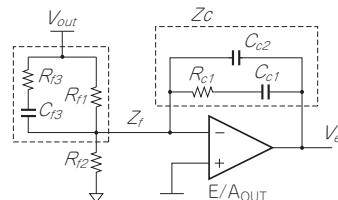


図2. タイプIIIの位相補償回路の図

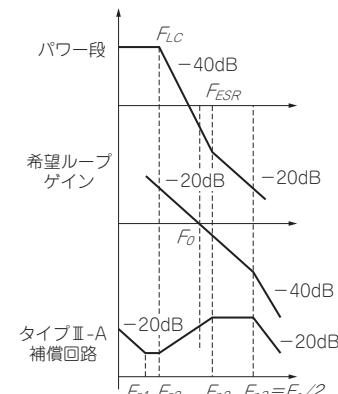


図3. タイプIIIの位相補償の特性の図

#### 出力電圧の制御方式による違い

DC-DCコンバータでは出力電圧の制御に電圧モード、電流モードの二つのPWM(Pulse Width Modulation)方式や、PWMを使用しない固定ON時間モード(Constant ON time)など、複数の方法が用いられています。

います。方式によって位相補償の方法が変わります。電流モードと固定ON時間モードは、位相補償を必要としない利点があります。

電圧モードでは、出力電圧を安定化するために、出力電圧をフィードバックして基準電圧と比較・增幅します。最も広く用いられている方式であり、特性も良好です。位相補償が必要ですが、タイプIIIを用いれば高速の負荷応答が得られます。一方、高速応答が必要ない用途では、タイプIIの位相補償を用いて回路を簡素化できます。

電流モードは、電圧のフィードバックに加えて、インダクタ電流などの電流を検出してフィードバックを行います。基本的に、位相補償は不要になります。

固定ON時間モードは、固定幅のONパルスを使用し、ONパルスとONパルスの間隔(OFF時間)を制御して出力電圧を安定化します。PWMを使用せず、位相補償も必要ないので、回路を小型化できます。最近、多く使われるようになってきた方式です。

IRのSupIRBuck®は、Buck型同期整流DC-DCコンバータを用いた高速・高効率のパワー・モジュールです。ハイサイド、ローサイドの2個のMOSFETと制御用ICの3チップで構成され、少ない外付け部品で簡単に使えて、最大35Aまでの出力が得られます。

SupIRBuck®には、IR38xxシリーズとIR34xxシリーズがあります。IR38xxシリーズは電圧モードの制御用ICを用いた製品で、タイプIII位相補償を用いることによって、高速負荷応答と広帯域での安定性を両立しています。IR34xxシリーズは固定ON時間モードの制御用ICを用いた製品で、位相補償回路が不要で、少ない部品点数で実現されています。

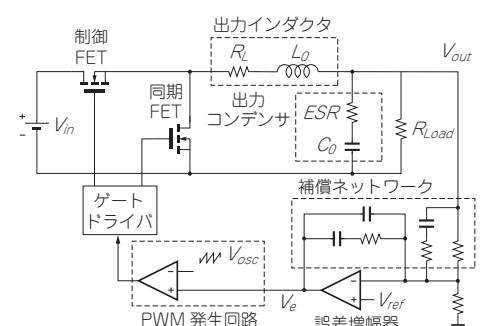


図4. 電圧モード・アンプによるBuck型同期整流DC-DCコンバータの基本回路