

注目されるDC/DCコンバータの制御方式 非線形制御のヒステリシス制御方式

これまでDC/DCコンバータの制御方式は電圧制御や電流制御が主流でしたが、近年、非線形制御であるヒステリシス制御方式が注目を集めています。

当社も、このヒステリシス制御の一つであるボトム検出コンパレータ方式を採用したDC/DCコンバータICを、2005年から主に民生市場に対して累計1億個以上出荷しています。

本稿では、このボトム検出コンパレータ方式について特長を踏まえながら紹介します。

はじめに

近年のLSIはプロセスの微細化が進み、それに伴いコア電圧が低電圧化しています。現在主流の90nmプロセスでは1.2V、45nmプロセスでは0.7V~1.0Vと1.0V以下の時代です。そして、これらコア電圧の要求電圧精度は±10%または±100mV以下と、パワーを供給するDC/DCコンバータにとって非常に厳しい電圧精度要求となっています。

図1に先端LSIのプロセス微細化によるコア電圧のトレンドを示します。

一般的にDC/DCコンバータが供給する電圧精度は、基準電圧のバラツキや温度特性により数%の変動が発生します。さらに、負荷変動といわれる電力供給先のLSIの消費電流の変化によって、数十%も変動することがあります。つまり、低電圧かつ大電流の先端LSIに電力を供給するうえで、一番重要なのはDC/DCコンバータの負荷変動時の応答特性といえます。

現在、DC/DCコンバータの制御方式は、電圧制御、電流制御が広く採用されていますが、もっとも高速な負荷変動時の応答特性を有する方式がヒステリシス制御方式です。デジタル家電やゲーム機なども高性能化が進み、先端プロセスの採用が広がっていますが、ヒステリシス制御方式が広く注目を集めている理由にはそのような背景があります。

ボトム検出コンパレータ方式の制御

ボトム検出コンパレータ方式は、出力電圧に発生するリップル電圧波形をフィードバック (FB) し、そのリップル電圧波形のボトム値と基準電圧 (Vref) をコンパレータで常に比較しながらスイッチング制御を行うことで、出力電圧を一定に保ちます。そのため、この方式を当社では「ボトム検出コンパレータ方式」と呼んでいます。

図2にボトム検出コンパレータ方式のブロック図を示します。

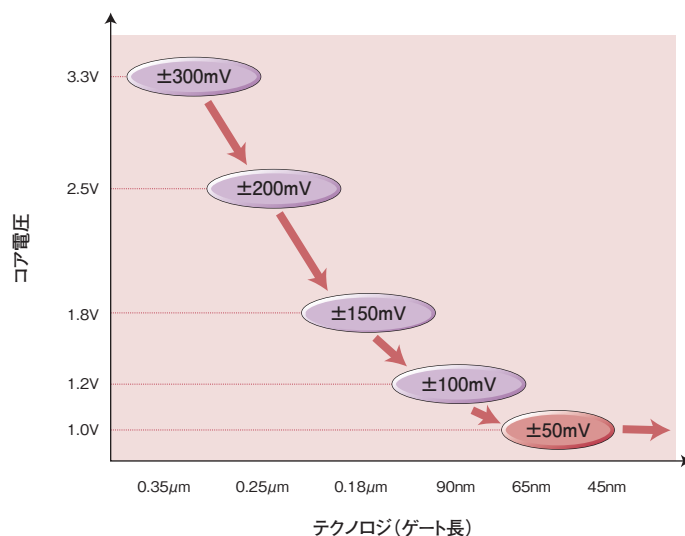
一方、電圧制御や電流制御方式は、出力電

圧のフィードバック電圧と基準電圧の差分をエラーアンプで増幅し、その出力と内部クロックに準じた三角波形 (Ramp) との接点でスイッチング制御を行うことで出力電圧を一定に保つ方式です。

図3に電圧制御方式のブロック図を示します。

つまり、ボトム検出コンパレータ方式 (以下、コンパレータ方式) と電圧・電流制御方式での大きな違いは、コンパレータを用いて逐次スイッチング制御を行う点と、エラーアンプを用いて固定周波数でスイッチング制御を行う点です。

図1 先端LSIのプロセス微細化によるコア電圧のトレンド



特長

負荷変動時の高速応答特性

コンパレータ方式の一番大きな特長は、負荷変動時の応答特性が優れている点です。そのため、負荷変動時に発生する出力電圧の変動を最小限に抑えることが可能です。その理由は、出力電圧のフィードバック制御にかかる“時間”にあります。

コンパレータ方式は、前述のとおりコンパレータで単純比較し、逐次スイッチング制御を行うため、フィードバック制御にかかる時間遅れがほとんどありません。また固定周波数で動作するのではなく、出力電圧の変化に応じてオフ時間を変化させるのも一つのポイントです。

図4にコンパレータ方式での負荷変動波形を示します。

一方、電圧制御や電流制御方式は、次のポイントにおいてフィードバック制御の時間遅れが発生します。そのため、一般的には負荷変動時の出力電圧変動量はコンパレータ方式に比べて大きくなります。

- ・位相補償回路によるCR時定数
- ・エラーアンプの周波数特性
- ・内部クロックタイミング

図5に電圧・電流制御方式での負荷変動波形を示します。

もちろん、電圧制御や電流制御方式でも負荷変動時の対策方法はいくつかあります。例えば、DC/DCコンバータの発振周波

数を高速化し、スイッチングタイミングを早めます。この方法がもっとも簡単で、負荷変動を抑える有効な手段です。しかし発振

図2 ボトム検出コンパレータ方式のブロック図

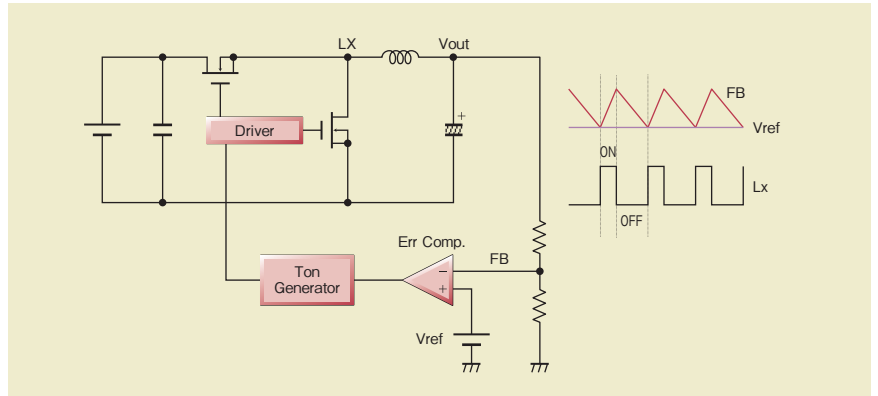


図3 電圧制御方式のブロック図

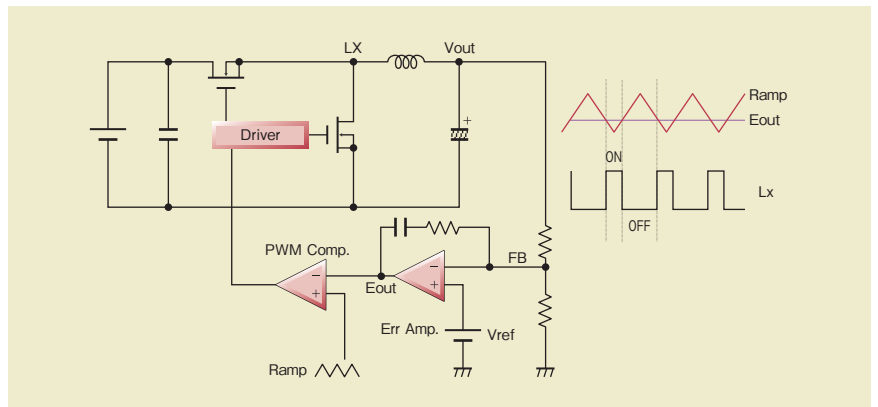
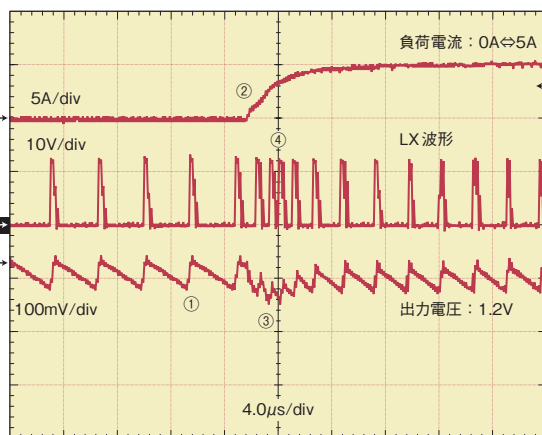
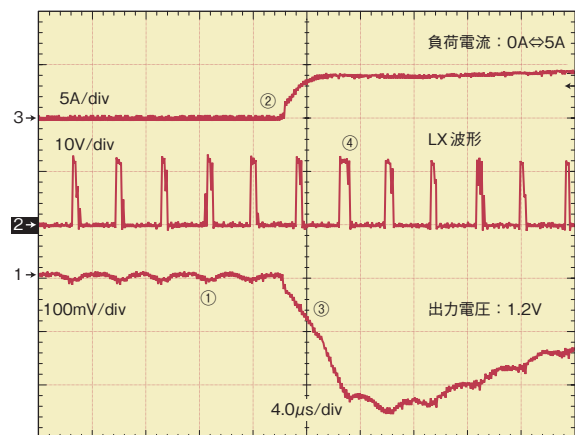


図4 ボトム検出コンパレータ方式での負荷変動波形



- ① 定常状態：負荷電流が一定であり、出力電圧が安定状態
- ② 負荷変動：負荷電流の急激な増加
- ③ 出力電圧変動：急激な負荷変動により出力電圧がアンダーシュート
- ④ スwitching制御：オフ時間を変化させて、出力電圧の変動に応じた逐次スイッチング制御を行うことで出力電圧を回復

図5 電圧、電流制御方式での負荷変動波形



- ① 定常状態：負荷電流が一定であり、出力電圧が安定状態
- ② 負荷変動：負荷電流の急激な増加
- ③ 出力電圧変動：急激な負荷変動により出力電圧がアンダーシュート
- ④ スwitching制御：出力電圧の変動がフィードバックされ、内部クロックタイミングにあわせて On-duty を変化させることで出力電圧を回復

周波数を高速化するとスイッチング損失が増大するため、DC/DCコンバータとして重要な効率特性が犠牲になります。また、スイッチングノイズの影響も考慮しなければなりません。

位相補償回路を調整する方法もあります。エラーアンプのゲイン、周波数帯域(f_{co})を上げることで負荷変動を改善できます。しかし、この方法は熟練した電源設計技術が必要であり、誰しもが容易に行える方法ではありません。

出力平滑コンデンサの増設という方法もありますが、コンデンサの位置や負荷電流の遷移時間(電流スルーレート)によっては、大容量のコンデンサを増設しても効果が少ない場合があります。また、位相補償回路にズレが生じ、DC/DCコンバータの出力が発振する場合もあるため慎重に行う必要があります。

このように、電圧・電流制御方式でも対策によりある程度の応答特性を改善できますが、コンパレータ方式はもともとの応答特性が優れているため、対策等の検討が不要なく容易に安定した電圧供給が可能です。

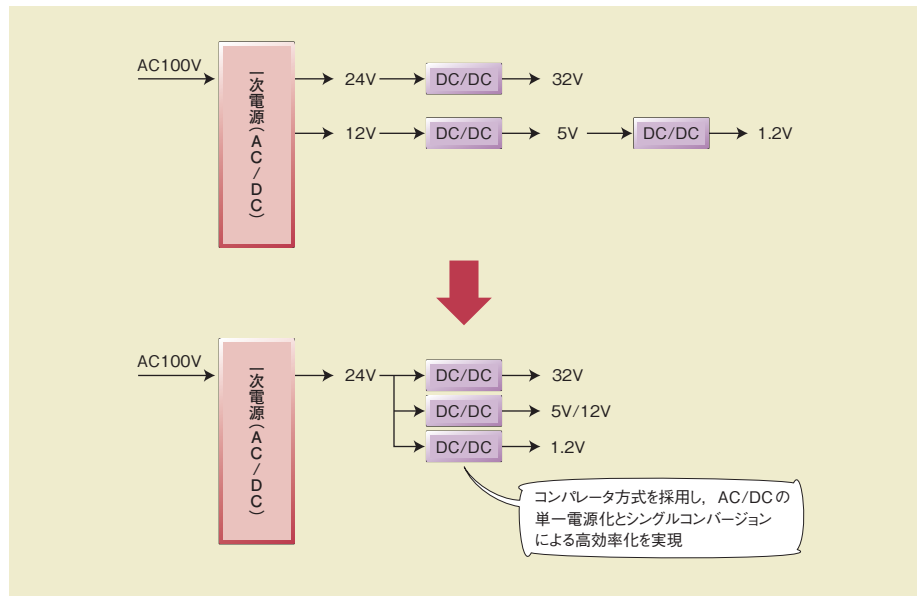
位相補償回路がいっさい不要

電圧・電流制御方式で必要となる位相補償回路は、フィードバックの系の位相遅れ、エラーアンプのゲインを調整する回路です。この回路の調整を間違えると、良好な負荷変動特性が得られないだけでなく、出力電圧が発振状態になることもあります。

しかし、コンパレータ方式はそもそもエラーアンプを使用せず、またフィードバックの位相遅れがほとんどないことから、位相補償回路がいっさい不要です。

すでにコンパレータ方式を採用しているお客様からは、この点に関して非常に好評をいただいています。先にも述べたように、位相補償回路は熟練した技術と知識が必要であり、電源技術者の悩みの種でした。場合によっては特別な測定環境を用意したり、電源仕様ごとに試行錯誤して調整する必要がありました。最悪の場合は出力電圧が発振状態となり、機器に重大な影響を及ぼす

図6 従来の電源構成と、コストダウンと省エネを両立した構成



可能性もあったからです。当社も電圧・電流制御方式の製品を採用いただいているお客様には、要望に応じて電源仕様に最適な位相補償回路定数の提案や、量産基板での位相補償回路特性の測定サポートなどを行ってきました。

つまり、コンパレータ方式は高速な応答特性というメリットだけではなく、位相補償回路が不要という点で、電源設計の利便性、信頼性の向上という点にも貢献しています。

確実なオン時間スイッチング制御

コンパレータ方式は、オフ時間制御を行う代わりに、オン時間を固定してスイッチング制御を行います。そのため、低電圧出力時など、入出力電圧差が大きい条件でも確実にオンパルスを制御し、安定した出力電圧を供給できます。

電圧・電流制御方式では、周期を固定してオン時間制御を行うため、入出力電圧差が大きい条件ではスイッチングのオン時間が短くなります。しかし、オン時間が短くなりすぎると、最悪の場合はスイッチングできずに出力電圧の安定性を維持できない場合があります。そのため、LSIに必要な電圧を作成するために1次電源の出力を多くしたり、2次、3次電源を多用したりしている場合があります。前者は機器のコストアップ

につながり、後者は電力損失を増加させて十分な省エネ効果が得られません。

近年の機器はコストダウンと省エネが望まれています。これらの要求を両立する電源回路を実現するためにも、コンパレータ方式を採用した電源ICをお勧めします。

図6に従来の電源構成と、コストダウンと省エネを両立した構成を示します。

技術課題

コンパレータ方式には、メリットだけでなく技術的な課題もあります。例えば、出力リップル電圧のボトム値を検出するために、リップル電圧をあえて作る必要があるという点です。そのため、出力コンデンサにある程度のESR成分をもったコンデンサしか使用できないという制約がありました。ただしこの点に関しては、今号発行以降に発売される新製品MB39A145では解決され、セラミックコンデンサなど、どの種類でも対応可能になっています。

その他にも、条件に応じて周波数が変動する点や、マルチチャネル品においてのシンメトリカルフェーズ制御、マルチフェーズ制御などの課題がありますが、当社は市場ニーズに応じて解決していきます。 ■