

デジタル制御デュアルフィードバックLLCコンバータの開発

Development of Digital Controlled Dual-feedback LLC Converter

小池 憲吾*
Kengo Koike

大竹 修*
Osamu Ohtake

鈴木 貴之*
Takayuki Suzuki

古賀 竜彦**
Tatsuhiko Koga

概要 ミックスドシグナルMCUと高圧ゲートドライバを1パッケージに収めたMD6701の開発を行った。本ICはADコンバータとMCUを用いた数値演算によるフルデジタル制御を行うことができる。ここで、応用回路としてデュアルフィードバックLLCコンバータの開発をし、LEDバックライト液晶テレビ用電源の試作を行った。一般的に液晶テレビは、PFC回路、メイン電源、スタンバイ電源が必要となり3つの電源回路で構成される。従って、使用部品や基板面積の増加によるコスト増につながっている。MD6701は、PFC制御回路に加え、LLC回路において2つの電源出力を個別に制御できるデュアルフィードバック制御技術を用いることで、LEDバックライト用定電流出力と音声およびシステム系制御回路出力の2つの電源出力を各々制御することが可能となった。さらに、LEDドライバBL0122と組み合わせることで、スタンバイ電力に対応したフルデジタル制御電源を構成することができる。

1. まえがき

インターネットが普及を初めてから20年超が経過し、近年ではIoT (Internet of Things) およびこれらを活用した製品やサービスが社会に浸透しつつある。当社は、成長の著しいIoT分野において、コア技術である「パワーマネジメント技術」および「パワーデバイス」と、MCU技術、通信、センシングを組み合わせた技術プラットフォーム“Power IoT”を提唱している。これは、各種パワーエレクトロニクス機器と周辺機器が相互につながり、外部から状態制御、監視、保護、状態管理などを最適制御するという将来を予測するものである。

このようなIoT時代の新しいパワーエレクトロニクスを見据えた要素技術開発として、当社はスイッチング電源の制御部分を、従来からのアナログ回路を用いた制御からADコンバータと数値演算によるフルデジタル制御に転換を進め完了した。これにより、アナログ制御技術では実現が難しかった、新しい複雑な制御方式や電源回路方式を実現することが可能になった。

本稿では、開発を行ったフルデジタル制御技術を使って、ハーフブリッジLLC電流共振型の新しい制御方式として、デュアルフィードバックLLCコンバータの開発と、これに対応した新製品ICとして、MD6701とBL0122の開発を行ったので報告する。

2. デュアルフィードバックの原理

デュアルフィードバック制御は、1つのトランスから独立した2つの電源出力を個別に制御することである。図1に従来型のLLCコンバータの回路図を示し、図2に提案を行うデュアルフィードバックLLCコンバータの回路図、図3に動作原理図、表1に動作状態表を示す。

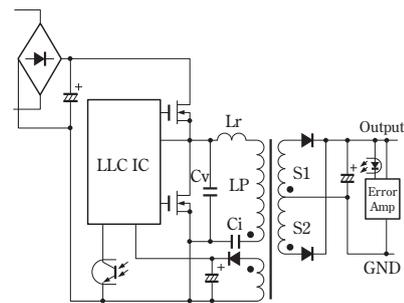


図1 従来型LLCコンバータ
Conventional LLC converter

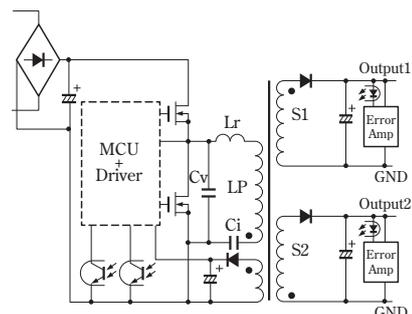


図2 デュアルフィードバック型LLCコンバータ
Proposed Dual-feedback LLC converter

*技術本部 デバイスマーケティング統括部 応用技術課

**技術本部 PCBD

図1に示すように通常のスイッチング電源では、フィードバック制御を行うことができるトランス巻き線は1つであるが、図2では2出力を制御することが可能である。図1と図2では、1次側の回路構成は同じ電流共振型ハーフブリッジ構成であるが2次側が大きく異なり、全波整流回路が半波整流回路となり、それぞれにフィードバック回路とフォトカプラを設けた回路構成である。

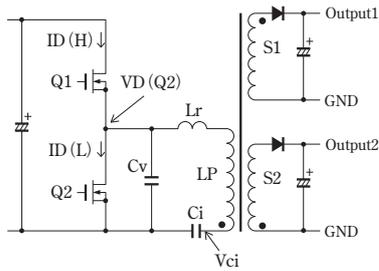


図3 動作原理
Operating principle

表1 動作状態表
State of electricity conversion

Period	Output1	Output2
Q1 ON Q2 OFF	Resonant operation accumulates electricity to Ci	Q1 transmits electricity to Output2
Q1 OFF Q2 ON	Q2 transmits electricity to Output1	Resonant operation accumulates electricity to Ci

デュアルフィードバックの動作は、表1に示すとおり、Q1とQ2を、デッドタイムを挟んで交互にONとOFFを繰り返すことで電流共振コンデンサCiへのエネルギーの蓄積と放出動作および2次側へのエネルギー伝達を行う。図1の電源では、Q1とQ2は、Duty50%の周波数可変制御を行うが、図3ではQ1のON時間はOutput1のフィードバックにより計算され、Q2のON時間はOutput2のフィードバックにより計算される。つまり、Q1とQ2のDutyと発振周波数の両方を同時に可変させることで独立した2つの電源出力を、同時に個別に制御することが可能である。なおQ1とQ2ともに、ON時間が長くなればVciのプラス方向またはマイナス方向の振幅が大きくなり、より大きなエネルギーを2次側に伝達する。

これらにより従来は正確な電源出力を2種類得るためには2つのリアクトルまたはトランスが必要だった。しかし、本回路方式では1つのトランスから2種類の正確な電源出力を得られる。応用回路例としてLCD-TV向け電源回路に適用した場合の検討を行った。制御ICにMD6701を用いることで、システム電源系の電圧出力と、LEDバックライト用の定電流出力の2系統をそれぞれ個別に制御することで、従来の電源システムに比べてコンバータ数を1つ削減することができる。

3. MD6701の製品概要

MD6701の外観写真1に示す。フロー実装に対応した面実装タイプのSOP18を採用した。写真2と3にマルチチップ構成でパッケージに内蔵されたICを示す。写真2は、パワーMOS FETなどのスイッチングデバイスを駆動するための600V対応フローティングゲートドライバと起動回路を構成する900V耐圧のMOS FETなどを集積している。写真3は、MCUチップであり、CMOS回路と不揮発性メモリの混載プロセスを採用している。

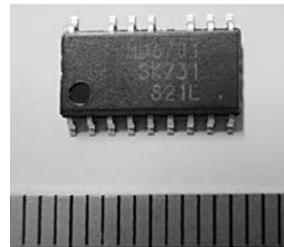


写真1 製品外観
External view of MD6701

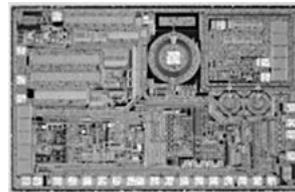


写真2 ドライバIC
Layout of Driver IC Die

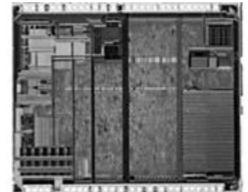


写真3 論理制御IC
Layout of MCU Die

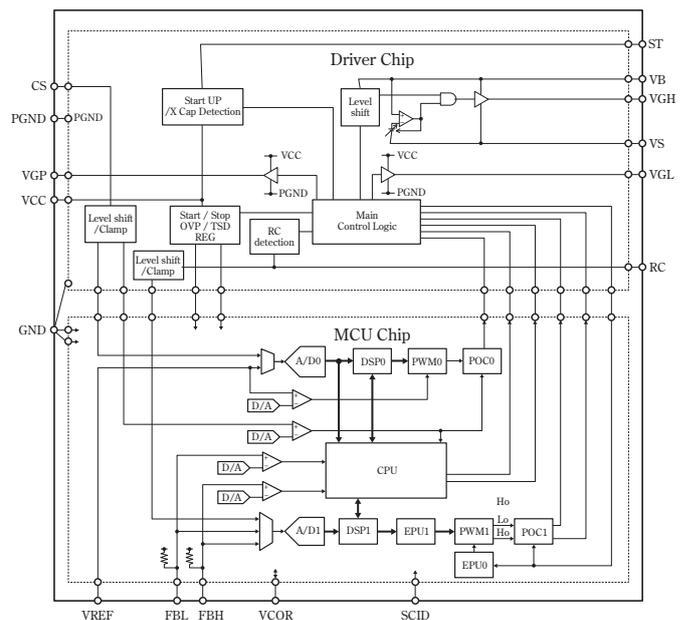


図4 MD6701 ブロックダイアグラム
Block diagram of MD6701

MD6701のブロックダイアグラムを図4、端子機能を表2に示す。デュアルフィードバック制御用に開発されたMD6701はCPUと独立して動作する16bit DSPを2ユニットとEPU (16bit CISC CPU) を内蔵し、4コアが並行して動作するマルチコアアーキテクチャである。出力回路は、PFC用16bitカウンタPWM出力とLLC用16bitカウンタPWM出力を持っており、PFC制御とLLC制御を1つのICで制御を行う。またMD6701は保護機能として、共振はずれ検出機能などの電流共振に特有の保護機能を内蔵しており、LEDバックライトドライバ制御ICのBL0122と組み合わせることで、LEDバックライト液晶TV向け高機能電源を少ない外付け部品で構成できる。

表2 MD6701 端子機能
Pin Functions of MD6701

番号	端子名	機能
1	CS	PFC用電流検出
2	PGND	パワー・グランド
3	VGP	PFC用ゲート・ドライブ
4	VCC	電源入力
5	GND	グランド
6	VREF	PFC出力検出入力
7	FBL	ローサイド・フィードバック
8	FBH	ハイサイド・フィードバック
9	VCORE	内部基準電圧
10	SCID	パラメータ書き込み
11	RC	共振電流検出入力
12	VGL	ローサイド・ゲート・ドライブ
13	—	—
14	VB	ハイサイド・ドライブ電源入力
15	VS	フローティング・グランド
16	VGH	ハイサイド・ゲート・ドライブ
17	—	—
18	ST	起動電流入力

4. 試作電源および評価結果

4.1 試作電源および電源仕様

試作電源の仕様を表3および、図5に回路構成を示す。

表3 試作電源仕様
Specifications of prototype power supply

Converter Topology	Critical conduction mode PFC Isolated half bridge DC/DC
Control	ADC ⇒ MCU/DSP ⇒ PWM
Rating AC input	AC85~264V
Rating DC/DC Output	180W
Voltage of Output1	12V (Feedback)
Current of Output1	0.5 - 5.0A
Voltage of Output2	Typical 60V
Current of Output2	0.1 - 2.0A (Feedback)
Protection	OVP, OCP, OLP

試作電源は、臨界モード (CRM) 制御型PFC回路の後段にデュアルフィードバック LLC回路を接続し、LEDバックライト用の定電流出力とシステム系定電圧出力の2系統を制御する。

なお、LEDバックライトの定電流制御にはBL0122を使用した。詳細は割愛するがBL0122は、LEDバックライト用の定電流値を電圧信号に変換しMD6701にフィードバックを行うとともに、LCD-TVセットからの調光信号に応じたPWM調光制御を行いLEDバックライトに電流供給する機能を有する。

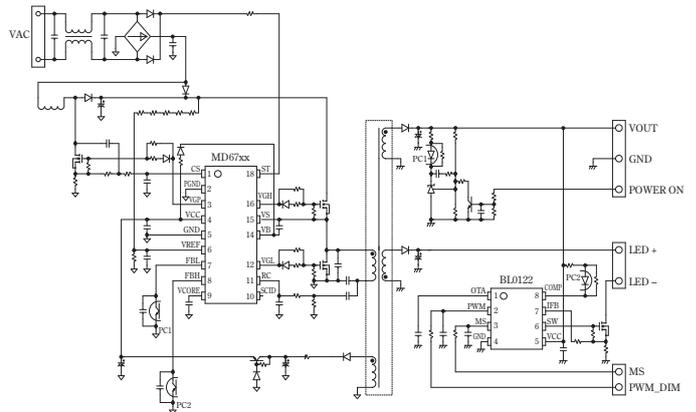


図5 評価電源回路構成
Evaluation circuit of MD6701 and BL0122

4.2 デュアルフィードバック LLCの動作結果

図6に Output1と Output2の出力電圧および出力電流の測定結果を示す。

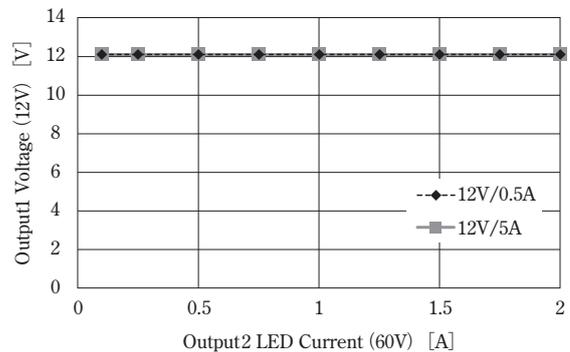


図6 Output1とOutput2の関係
Relationship between Output1 and Output2

デュアルフィードバックは、FBH端子に入力されたLEDドライバ (BL0122) からのフィードバック信号と、FBLに入力された12V出力のエラーアンプからのフィードバック信号をそれぞれA/D1でAD変換を行い、得られたデジタル数値をDSP1およびEPU1で演算してPWM1に送

り、ドライバ出力のVGH端子とVGL端子を制御する。

図7および図8に、LLC各部の動作波形を示す。無負荷と重負荷で、Q2のOn Dutyと発振周波数が変化していることがわかる。

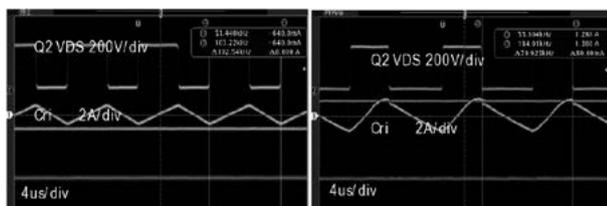


図7 LLC動作1(無負荷)
Operating waveform of LLC
(Light Load)

図8 LLC動作2(重負荷)
Operating waveform of LLC
(Heavy Load)

以上の動作と図6の特性から以下のことが明らかになった。

- (1) Output1 (12V定電圧出力)の負荷電流値を変化させてもOutput2 (定電流出力)は影響を受けない。
- (2) Output2の負荷電流値を変えることにより、LEDバックライトのLEDダイオードVFと電流値の関係からOutput2の出力電圧は変化するが、Output1は影響を受けない。

以上の結果により、1つのトランスから2つの電源出力を同時に安定的に制御ができることが示された。

4.3 PFC動作

図9および図10に、AC230V入力で出力100W時のPFC各部の動作波形を示す。PFC回路は臨界モード動作とし、VREF端子に入力されたPFC出力の検出電圧とCS端子に入力されたドレイン電流の検出電圧をそれぞれA/D0でAD変換し、DSP0で演算して、VGP端子を制御する。また、臨界動作のためのオフ時間は、CS端子にて内部コンパレータでターンオフタイミングを検出している。

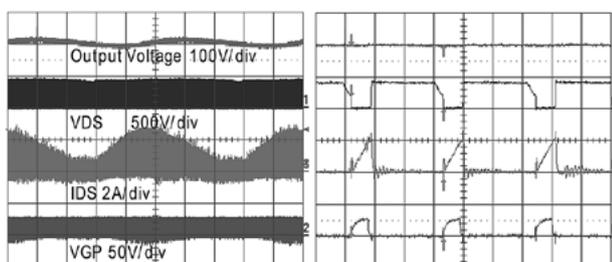


図9 PFC動作 2ms/div
Operating waveform of PFC

図10 PFC動作(拡大) 2us/div
Operating waveform of PFC
(Enlarged)

4.4 スタンバイ動作

試作電源のスタンバイ動作は、間欠発振を行うことで電源効率の向上を行っている。図11および図12に、それぞれAC85VおよびAC264V時のLLCコンバータの各部の動作波形を示す。

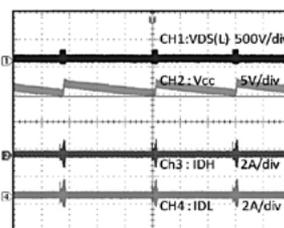


図11 スタンバイ動作1
Operating waveform of
Standby Operation1

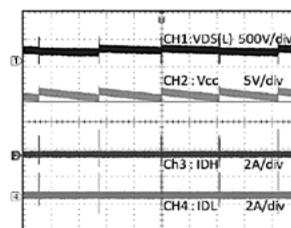


図12 スタンバイ動作2
Operating waveform of
Standby Operation2

今回試作した評価電源では、LEDバックライト駆動ICのBL0122を使用して、スタンバイ時にLEDバックライトを完全オフに切り替えるとともに、MD6701をスタンバイ状態に制御を切り替える動作を行っている。これによりスタンバイ電力は、出力電力を0.15W出力とした時に、AC85Vで0.277W、AC264Vで0.280Wである。

5. むすび

MD6701を使用することで、PFC回路と2出力を独立して制御できるデュアルフィードバックLLCコンバータを実現し、使用部品削減や基板面積を縮小できる可能性を示した。このように、デジタル制御技術を使用すれば複雑な複数の電源トポロジーをひとつのデジタル制御ICで実現できる。本稿では、LEDバックライト液晶TV向けの電源仕様を開示したが、MD6701の制御プログラムを変更することで、さまざまなアプリケーションへの応用を計画している。

当社は「パワーマネジメント技術」および「パワーデバイス」のリーディングカンパニーとしてスイッチング電源のデジタル化を一層進めることで環境負荷を最小限にし、かつ、ユーザーの利便性を最大限高めたエコ・省エネに貢献する製品をこれからも供給していく所存である。

参考文献

- (1) 美馬：サンケン技報, Vol.48, p.9-12
- (2) 中野：サンケン技報, Vol.47, p.9-12
- (3) 美馬, 雪山, 長谷, 鈴木, 川真田：サンケン技報, Vol.46, p.17-20