

# IPM 用小型ドライバ IC

森 貴浩 (もり たかひろ)

中森 昭 (なかもり あきら)

山村 太久生 (やまむら たくお)

## 1 まえがき

世界半導体市場の伸び率は2007年度、前年比+3.2% (2,556億USドル)であった。それ以降も伸長を続け、<sup>(1)</sup>2010年度までは+6.4%の平均伸び率の予測となっている。一方で、地球環境保護、特にCO<sub>2</sub>削減に貢献するため、パワーエレクトロニクス機器のさらなる小型化、高効率化を進める必要があり、そこに用いられるパワーデバイスの果たす役割は大きい。<sup>(2)</sup>

富士電機では、1989年に産業用IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 駆動用のバイポーラ型ドライバICを開発し、IGBTとドライバICを一つのパッケージにモジュール化した世界初のIPM (Intelligent Power Module) を発表した。その後、外付け部品をシリコンチップに内蔵するオールシリコンコンセプトを追求したCMOS型ドライバICを搭載の「R-IPM」を開発した。現在まで、IGBTの仕様ごとに最適なドライバICの系列化を行い、IPMのラインアップ拡充を進めてきている。

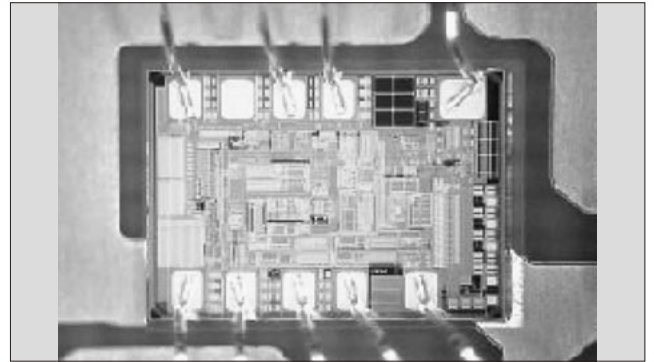
産業分野におけるさらなる高効率化、高機能化、低価格化の要求に応えるため、IPM用小型高性能ドライバIC「V-IC」を開発したので、その概要を紹介する。

## 2 概要

V-ICは従来のR-IPM用ドライバIC「R-IC」を小型化し、またR-ICと互換性を持たせることにより、従来IPM製品への置き換えを可能とし、より高精度な異常検知を行う目的でEPROM補正回路を搭載している。

V-ICのチップ外観写真を図1に示す。本ICは、R-ICと同じく、IGBT駆動機能のほかに、過電流保護機能、短絡保護機能、電源電圧低下保護機能、過熱保護機能、アラーム入出力機能およびソフト遮断機能を持っている。また制御基板へ直接実装できるようにパッドサイズ、表裏面電極を最適化している。

図1 小型ドライバICの外観



### 2.1 特徴

V-ICの特徴を以下に示す。

#### (1) 小型化

チップサイズの低減を図るため、既存の3μm CMOSプロセスから1μm CDMOSプロセスに変更し微細化を図った。微細化によりMOSFETの単位面積あたりのオン抵抗 $R_{on} \cdot A$ を改善し、チップ面積の大きな部分を占めていたパワーMOS部の面積を低減した。さらに2層メタル配線を採用し、配線抵抗を下げた。それによりR-ICに対しチップサイズで約40%のシュリンクを達成した。

#### (2) R-ICとの互換性の維持

IPMの立上げ当初から現在まで、製品仕様に応じてR-ICの系列化を進めてきており、これら製品との互換性を維持し置き換えを可能とするため、小型ドライバICとR-ICの主要な電気特性であるドライブ能力や保護レベルが同一となるように最適化を行っている。

#### (3) EPROM補正回路搭載による補正精度向上

ドライバICはIGBTを最適に駆動し、さらに短絡や過熱などの異常動作時に、IGBTや周辺の制御回路がダメージを受けないよう的確に異常を検知し、迅速にIGBTを停止する。そのためV-ICでは高精度な検知・制御が必要となる。ドライバICの精度を向上するためには、デバイスの製造ばらつきを補正する項目を増やすことが必要であ



森 貴浩

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体開発営業本部開発統括部デバイス技術部。



中森 昭

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体開発営業本部開発統括部デバイス技術部チームリーダー。



山村 太久生

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体開発営業本部開発統括部モジュール開発部。

図2 EPROM 補正の一例

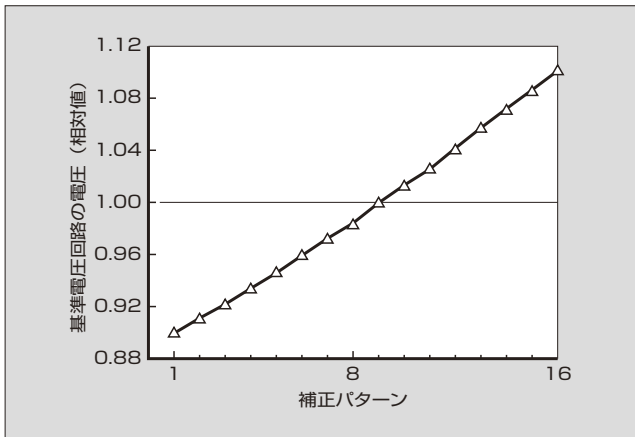
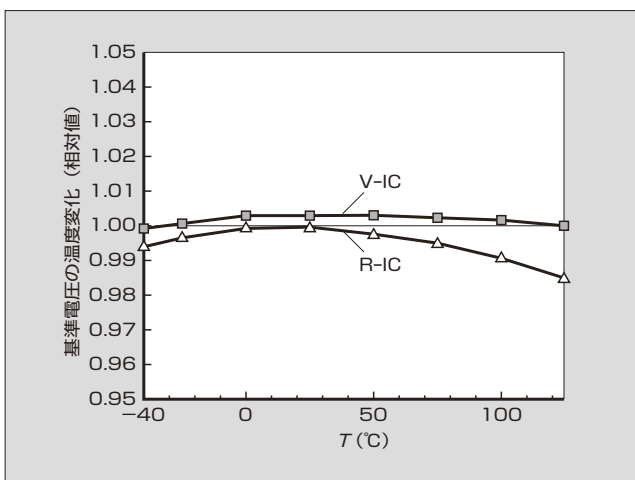


図3 基準電圧の温度特性



る。従来のツェナーザップを適用した補正方式では、補正項目数を増加すると、それに比例してテストパッド数が増えチップサイズが増加する難点があった。V-ICでは、補正項目数が増えても必要となるテストパッド数が固定のEPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) 補正回路を適用した。これにより、チップサイズを増やすことなく、補正項目数を増やしてICの精度を向上した。補正による基準電圧の変化を図2に示す。補正によりプロセスばらつきを回避でき、基準電圧回路特性の精度向上を図っている。

特に精度が求められる機能として、過熱保護機能がある。IGBTの異常な熱上昇に対しても正確にIGBTを保護することが必要である。この過熱保護の精度を上げるため、基準電流と基準電圧の双方に補正回路を適用している。

(4) 高精度基準電圧回路の適用による温度特性改善

IPM内でIGBTがスイッチングの際に発する熱やIPMが設置されるさまざまな温度においても、精度を保ちIGBTをコントロールするために、デバイスサイズおよびプロセス条件の最適化により温度特性を改善した。

温度特性改善の例として、基準電圧の温度特性を図3に示す。上に凸の特性を示しているが、R-ICの変動率が約1.5%に比べて、V-ICでは約0.4%と温度依存性が改善し

図4 入出力遅延の温度特性

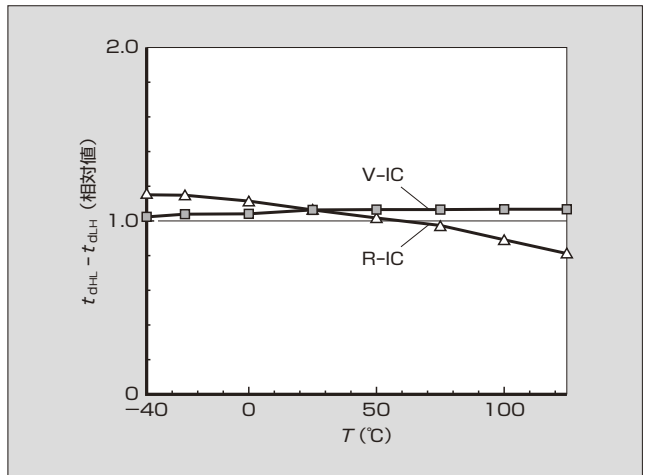
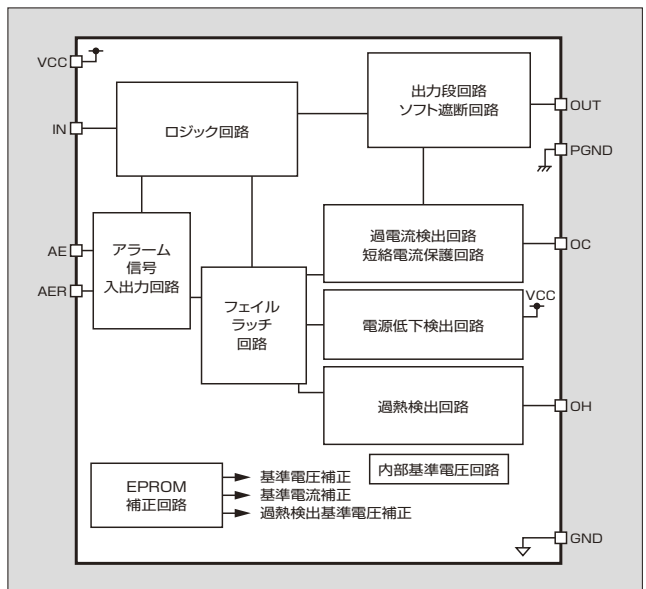


図5 V-ICの回路ブロック図



ている。これにより、異常検知など精度向上を実現した。

(5) 入出力遅延の温度特性改善

ドライバICの主要特性の一つとして、入出力遅延特性がある。これはドライバICにON信号を入力してからIGBTがオンするまでの遅延時間  $t_{dLH}$  およびドライバICにオフ信号を入力してからIGBTがオフするまでの遅延時間  $t_{dHL}$  である。 $t_{dHL} - t_{dLH}$  は上下アームIGBTの同時オンを回避するためのデッドタイムとなる。デッドタイムは、アーム短絡を防止し、かつ制御性を高めるために非常に重要な特性である。V-ICでは、温度依存性が小さい遅れ回路方式を採用することでデッドタイムの温度特性を改善した。

入出力遅延の温度特性を既存品と比較したグラフを図4に示す。R-ICでは変動率、約40%に比べ、V-ICでは約10%に改善している。

2.2 仕様

V-ICの回路ブロックを図5に示す。絶対最大定格を表

1に、端子説明を表2に、電気的特性を表3に示す。電源電圧の絶対最大定格は20Vであり、動作周囲温度は-40~+125℃である。

2.3 動作説明

ドライバICの主要動作について以下に述べる。

(1) 過熱保護

IGBTが異常な高温に曝(さら)された場合、または異常動作によって温度が上がった場合、素子破壊を防止するためにIPMの動作を停止させる。過熱保護動作のタイミングチャートを図6に示す。ドライバIC側からIGBTチップ上に配置された温度検出用ダイオードに基準電流 $I_{OH}$ を流し、温度に比例するダイオードの順方向電圧値 $V_{OH}$ を監視して、過熱時にドライバ出力を停止させる。この時AE端子からはシステムへアラーム信号が出力される。またアラーム出力状態は $t_{ALM}$ 期間経過し、過熱保護状態から復帰しかつICへの入力 $V_{IN}$ がオフになるまで継続する。

(2) 過電流保護

IGBTに流れた過電流を遮断して、IGBTの破壊を防ぐ必要がある。過電流保護に関するタイミングチャートを図7に示す。IGBTチップには、電流を監視するためのセ

ンス用IGBTが埋め込まれている。ドライバICは、センス用IGBTに流れる電流を、ドライバICに内蔵した検出抵抗に流し、その検出抵抗の電圧降下の大きさによって、IGBTに流れている電流を常時監視する。その電圧降下がしきい値電圧 $V_{OC}$ を超え、一定期間継続すると過電流と判定し、IGBTの動作を停止させる。この時AE端子から

特集

表3 電気的特性 (特記なき場合は $T_a=25^\circ\text{C}$ )

用語	記号	内容	Typ.	単位
<b>電源特性</b>				
電源電流	$I_{CCL}$	ターンオン時電源電流	3.5	mA
	$I_{CCH}$	ターンオフ時電源電流	4.5	mA
<b>基準電圧</b>				
内部基準電圧	V5	内部基準電圧	5.0	V
<b>制御信号入力</b>				
入力ローレベルしきい値電圧	$V_{INon}$	ターンオン入力しきい値電圧	1.35	V
入力ハイレベルしきい値電圧	$V_{INoff}$	ターンオフ入力しきい値電圧	1.65	V
入力端子電圧ヒステリシス	$\Delta V_{IN}$	$V_{INoff} - V_{INon}$	0.3	V
ターンオン遅延時間	$t_{dLH}$	ターンオン時間からドライバ出力オンまでの遅れ時間	1.5	$\mu\text{s}$
ターンオフ遅延時間	$t_{dHL}$	ターンオフ時間からドライバ出力オフまでの遅れ時間	1.0	$\mu\text{s}$
遅延時間差	$\Delta t_d$	$t_{dLH} - t_{dHL}$	0.5	$\mu\text{s}$
<b>外部アラーム</b>				
外部アラーム入力電圧	$V_{AEIN}$	外部アラーム入力しきい値電圧	2.2	V
ヒステリシス	$V_{AEHYS}$	外部アラーム入力しきい値ヒステリシス電圧	1.0	V
アラーム入力遅れ時間	$t_{dOUTAE}$	外部アラーム入力からソフト遮断までの遅れ時間	10.0	$\mu\text{s}$
アラーム端子抵抗	$R_{AER}$	外部アラーム入力端子抵抗	1.3	k $\Omega$
<b>(保護特性) 電源電圧低下保護</b>				
電源電圧低下保護	$V_{UV}$	電源電圧低下検出しきい値電圧	11.7	V
リセットヒステリシス	$d_{VUV}$	電源電圧低下検出しきい値電圧ヒステリシス電圧	0.5	V
電源電圧低下検出・遮断遅れ時間	$t_{dAUV}$	電源電圧低下検出からアラーム出力までの遅れ時間	4.5	$\mu\text{s}$
<b>アラーム出力</b>				
アラーム保持時間	$t_{ALM}$	アラーム出力ラッチ時間	2	mV

表1 絶対最大定格 (特記なき場合は $T_a=25^\circ\text{C}$ )

パラメータ	記号	条件	最小値	最大値	単位
電源電圧 (駆動系/制御系)	$V_{CC}$	DC	-0.3	20	V
入力周波数	$f$	—	—	20	kHz
AE端子電流	$I_{AEmax}$	DC	—	25	mA
IN端子電圧	$V_{INmax}$	DC	GND-0.3	$V_{CC}+0.3$	V
OUT端子電圧	$V_{OUTmax}$	DC	PGND-0.3	$V_{CC}+0.3$	V
AE端子電圧	$V_{AEmax}$	DC	GND-0.3	$V_{CC}+0.3$	V
PGND-GND間電圧	$V_{dGNDmax}$	DC	-0.2	0.2	V
OC端子電圧	$V_{OCmax}$	DC	GND-0.3	$V_{CC}+0.3$	V
OH端子電圧	$V_{OHmax}$	DC	GND-0.3	$V_{CC}+0.3$	V
動作周囲温度	$T_a$	—	-40	125	$^\circ\text{C}$
接合部温度	$T_j$	—	-40	150	$^\circ\text{C}$
保存温度	$T_{STG}$	—	-40	125	$^\circ\text{C}$

表2 端子説明

端子記号	内容
VCC	制御電源
AER	外部アラーム入力
AE	アラーム出力
IN	制御信号入力
GND	制御回路用GND
OC	過電流検出信号入力
OH	過熱検出信号入力
OUT	ドライバ出力
PGND	ドライバ回路用GND

図6 過熱保護動作タイミングチャート

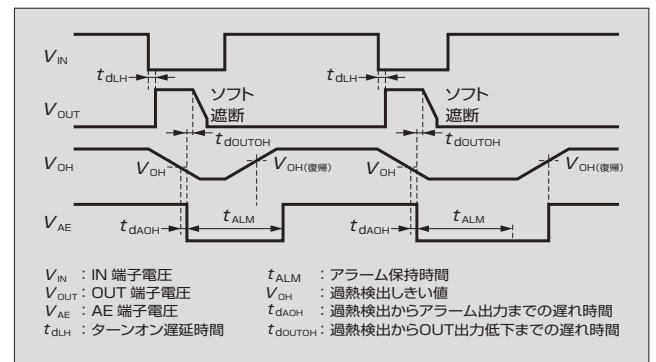


図7 過電流保護動作タイミングチャート

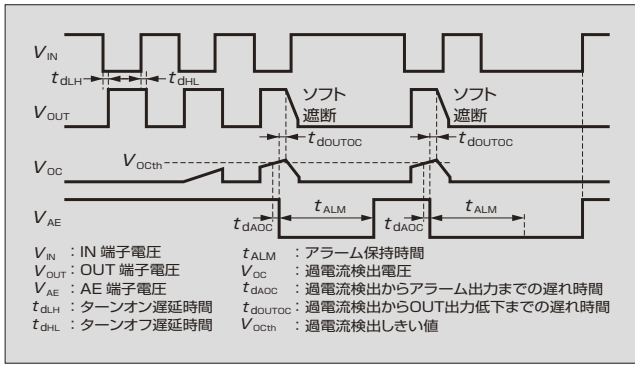
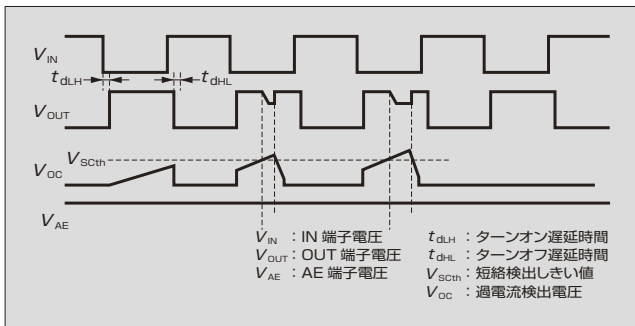


図8 短絡保護動作タイミングチャート



外部へアラーム信号が出力される。またアラーム出力状態は  $t_{ALM}$  期間経過し、過電流保護状態から復帰しかつ IC の入力  $V_{IN}$  がオフになるまで継続する。

(3) 短絡保護

短絡保護時のタイミングチャートを図8に示す。IGBT がスイッチング中、突発的短絡が発生し、大電流が流れた場合、過電流保護による IGBT 停止よりも前に IGBT が破壊する可能性がある。そのためドライバICは、検出抵抗の電圧降下が  $V_{OC}$  より高い電圧に設定されているしきい値電圧  $V_{Scth}$  を超えると、瞬時にICの出力電流を抑制し、IGBT の出力電流を制限する。検出抵抗の電圧降下が  $V_{SC}$  を下まわり、短絡状態が解除されると、IGBT は通常のスイッチング動作に戻る。

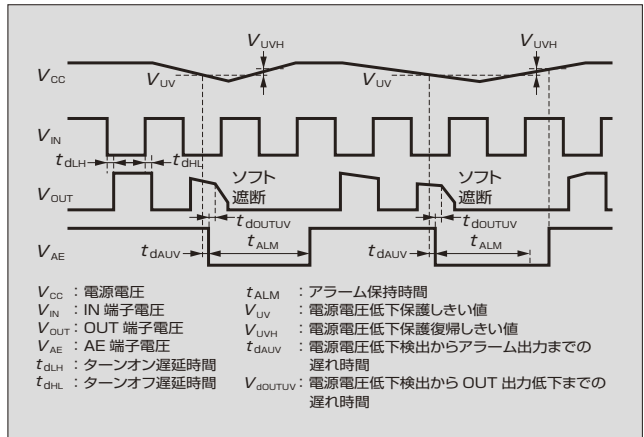
(4) 電源電圧低下保護

ドライバICの電源電圧  $V_{CC}$  が低下した場合、IGBT はゲート電圧不足となり定常損失が急激に増加するため、スイッチング動作を続けるとチップ温度が上昇し素子破壊する可能性がある。そのため電源電圧がしきい値電圧  $V_{UVth}$  を下回ると、システムへアラームを出力し IGBT の動作を停止する保護機能を持っている。電源電圧保護状態は、アラーム出力状態が  $t_{ALM}$  期間経過し、電源電圧が復帰  $V_{UVH}$  し、かつドライバICの入力  $V_{IN}$  がオフになるまで継続する。電源電圧低下時のタイミングチャートを図9に示す。

(5) アラーム入出力

アラーム端子には二つの機能がある。一つは、上記の過

図9 電源電圧低下保護タイミングチャート



熱保護・過電流保護・電源電圧低下保護の各機能が動作した場合、アラーム信号を外部に伝達することである。もう一つは、外部からの IGBT 駆動・停止信号をドライバICに伝達することである。

(6) ソフト遮断

ドライバICは、上記の過熱保護・過電流保護・電源電圧低下保護機能が動作すると、IGBT を停止する。停止の際、ドライバICがIGBTのゲート電圧を急激に低下させると、IGBT に流れる電流も急激に変化し、主回路側の配線インダクタンスに過大なサージ電圧が発生し、IGBT が過電圧破壊する可能性がある。これを避けるため、ドライバICは保護機能が動作すると、IGBT のゲート電圧を高抵抗で遮断する。

③ あとがき

産業用途の IGBT を駆動する小型ドライバICの概要を紹介した。

V-IC は、富士電機が長年市場に提供してきた IPM に搭載されている R-IC と互換性がある。今後、ますます増加する産業分野での IPM へのニーズに迅速に対応することで市場要求を満足し、年々 IPM に対するコスト・特性・機能面での要求が高まる中、富士電機ではドライバICの性能向上を行い、お客様の要求にマッチした製品の開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) WSTS. 2008 年春季半導体市場予測.
- (2) 藤平龍彦, 重兼寿夫. 半導体の現状と展望. 富士時報, vol.80, no.6, 2007, p.380-384.
- (3) 山口厚司ほか. 中・大容量 R シリーズ IGBT-IPM. 富士時報, vol.71, no.2, 1998, p.101-105.
- (4) 西尾実ほか. ハイブリッド車用 IGBT 駆動 IC 「Fi007」. 富士時報, vol.80, no.6, 2007, p.406-409.



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。