

ハイブリッド車用 IGBT 駆動 IC 「Fi009」

Fi009 Driving IC for Hybrid Vehicle IGBTs

鷹坂 浩志 Hiroshi Tobisaka

中川 翔 Shou Nakagawa

今井 誠 Makoto Imai

ハイブリッド車の電力変換システムに用いる IGBT 駆動 IC 「Fi009」を開発した。本製品は IGBT 駆動用の 15 V 系ドライバや保護機能（過熱、過電流、電源電圧低下、ソフト遮断）を持ち、従来品より汎用性を高め、微細なプロセスルールを用いてワンチップ化した。本製品により IGBT の安定動作、異常時の焼損回避、およびシステムの小型化に貢献できる。パッケージは SSOP-20 で鉛フリーに対応できる。また、175℃での放置に耐える高い信頼性耐量を確保している。

The Fi009 has been developed as a dedicated IC for driving IGBTs used in the power conversion systems of gasoline hybrid vehicles. This IC integrates a 15 V drive for IGBTs and protective functions (for overheat, overcurrent, supply voltage drop and soft shutdown) into a single chip using fine process rules to achieve greater versatility than conventional chips. This IC contributes to the stable operation and prevention of burnout of IGBTs at the time of abnormality, and to systems miniaturization. The package is a lead-free compliant SSOP-20. It ensures high reliability which is withstanding temperatures of up to 175 °C.

1 まえがき

自動車業界では、地球温暖化を防止するための規制の対策をさまざまな形で実現しようとしている。その方策の一つとして、ハイブリッド車による燃費改善〔二酸化炭素（CO₂）排出量の削減〕を進めている。ハイブリッド車で現在主流となっている制御方法は、ガソリンエンジンと電気モータの2種類の動力源を組み合わせ、走行状態に応じて負荷分担を最適化することにより高効率化するものである。このシステムの燃費改善効果は、地球温暖化防止に対する全世界的な関心の高まりとともに注目度が増している。さらに通常ガソリン車との価格差の減少、今後のガソリン価格高騰の可能性などからハイブリッド車に対する世界的な需要が急増している。

ハイブリッド車では、エンジンからの動力を電気エネルギーに変換し、バッテリーへの充放電とバッテリーからモータを駆動するために電力変換システムとして、インバータ、コンバータを用いている。これらの電力変換システムに

は、小型化・高効率化が求められるため、主スイッチングデバイスとして、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）が一般的に用いられている。IGBT は ECU（Electronic Control Unit）からの信号を受けてスイッチング動作をするが、15 V 系で動作するゲートドライバや保護機能は ECU 内部に配置すると、ECU の肥大化につながるため好ましくない。また、ゲートドライバ保護回路などを個別部品で構成すると、ノイズによる誤動作やコストアップなどの問題がある。そのため、IGBT の近くに専用 IC を搭載することが望ましい。

富士電機では前述の要求に対応するハイブリッド車用 IGBT 駆動 IC 「Fi007」を開発してきた⁽¹⁾。本稿では、Fi007 よりさらに汎用性を高めたハイブリッド車用 IGBT 駆動

図1 「Fi009」の外観

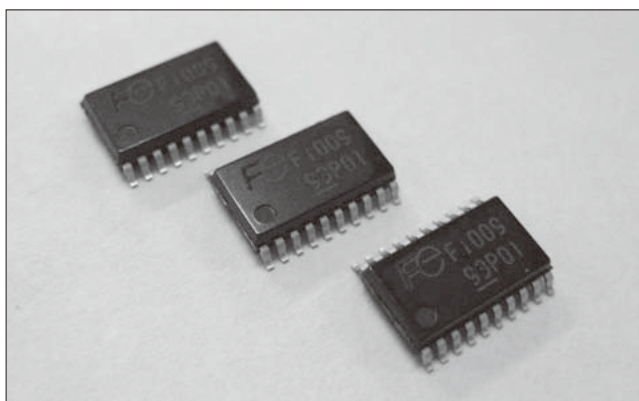
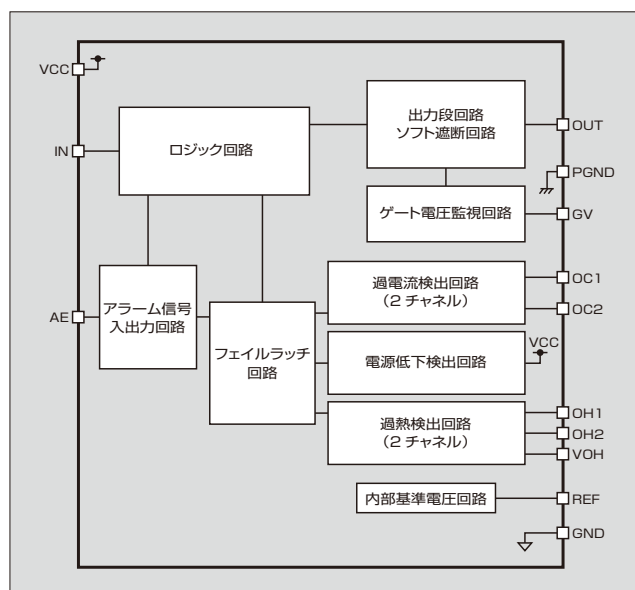


図2 「Fi009」の回路ブロック図



IC「Fi009」を開発したので紹介する。

② 特 徴

2.1 基本性能

図1にFi009の外観を示す。Fi009の回路ブロック図を図2に示す。主な機能は次の五つである。

- (1) IGBT プリドライブ (図2の出力段回路部)
- (2) 過熱保護
- (3) 過電流保護
- (4) 電源電圧低下保護
- (5) ソフト遮断

(1)はIGBTのゲート容量を充放電するためのドライブ機能である。ノイズによる誤動作を防ぐために、しきい値にヒステリシスを付けかつ不感帯を設けている。

(2)～(4)の各保護機能は、IGBTのスイッチング時に発生する誤動作を防ぐために、それぞれ不感帯を設けている。また、過熱・過電流保護機能は二つのIGBTを同時に監視できる仕様であり、どちらか一方が異常状態になるとドライブ出力をオフし、IGBTの動作を停止させる。

異常時に保護機能が動作した場合は、アラーム信号をローレベルとして異常状態をECUに出力し、ICから見た負荷としてのIGBTの状態をECUに伝達することができる。逆に、ECUからシステムの異常を示す信号として、アラーム端子にローレベルの信号を入力することによってドライブ出力をオフし、IGBTの動作を停止させることもできる。

表1 「Fi009」の絶対最大定格 ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

項 目	記号	条件	定 格		単位
			最 小	最 大	
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_{AE}	DC	-	20	mA
IN 端子電圧	V_{IN}	DC	GND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
OUT 端子電圧	V_{OUT}	DC	PGND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
AE 端子電圧	V_{AE}	DC	GND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
GV 端子電圧	V_{GV}	DC	PGND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
OC1, OC2 端子電圧	V_{OC}	DC	GND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
OH1, OH2 端子電圧	V_{OH}	DC	GND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
REF 端子電圧	V_{REF}	DC	GND - 0.3	$V_{REF} + 0.3$	V
REF 端子電流	I_{REF}	DC	0	150	μA
VOH 端子電圧	V_{VOH}	DC	GND - 0.3	$V_{CC} + 0.3$	V
許容損失	P_D	DC	-	1.563	W
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}		-55	150	$^\circ\text{C}$

2.2 主要特性

表1、表2に、Fi009の絶対最大定格、端子記号の説明を示す。表3にFi007とFi009の電気的特性比較を示す。電源電圧定格はIGBT駆動に必要な20Vとしている。動作周囲温度 T_a はECUに対する過酷な条件である $-40 \sim +125^\circ\text{C}$ を保証し、接合部温度 T_j は $-40 \sim +150^\circ\text{C}$ を保証している。

出力電圧およびアラーム出力は、自動車の始動や停止時のバッテリー電圧変動に対しても、安定した出力信号が供給できる。特に精度が要求される内部基準電圧 V_{REF} と温度検出用電流 I_{OH} (OH1, OH2端子から出力される電流)は、補正回路により特性ばらつきを低減している。

2.3 ウェーハプロセス

Fi009のチップを図3に示す。Fi009は微細プロセスルールを適用することで、 V_{REF} と I_{OH} の補正回路を高精度化しつつ、チップサイズを既存品Fi007より約30%縮小した。

2.4 パッケージ

パッケージは既存品Fi007と同様に図1に示すSSOP-20パッケージを採用した。アウターリードのはんだめっきには、鉛フリー対応のすず-銀(Sn-Ag)めっきを用いている。

③ 機 能

3.1 過熱保護

IGBTが異常な温度環境にさらされたり、異常動作によって温度が上がったりした場合、システムの焼損を防ぐためにIGBTの動作を停止させる必要がある。Fi009は、IGBTチップ上に設置された温度検出用のダイオードに I_{OH} を供給する。そのときに発生するダイオードの順電圧値を監視して、過熱発生時にドライブ出力をオフにすることで、IGBTの動作を停止させることができる。このとき、AE端子からECUへアラーム信号を出力する。過熱保護

表2 「Fi009」の端子記号の説明

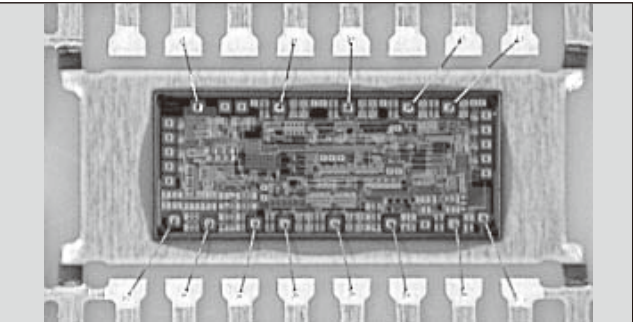
端子記号	内 容
VCC	制御電源
GND	制御回路用グラウンド
IN	制御信号入力
OUT	ドライブ出力
PGND	ドライブ回路用グラウンド
GV	シンク切替電圧検知入力
AE	アラーム出力/外部アラーム入力
OH1, OH2	過熱検出信号入力
REF	過熱検出用基準電圧出力
VOH	過熱検出しきい値電圧入力
OC1, OC2	過電流検出信号入力

表3 「Fi007」と「Fi009」の電氣的特性比較 ($V_{cc} = 16.5 \pm 2 \text{ V}$, $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

項 目	記 号	内 容	Fi007 (代表値)	Fi009 (代表値)	単 位
電源特性					
電源電流	I_{OCL}	ターンオン時電源電流	2	2	mA
	I_{OCH}	ターンオフ時電源電流	2	2	mA
消費電力	P_t	20 kHz スwitchング時消費電力	50	50	mW
基準電圧	V_{REF}	内部基準電圧	3.0	5.0	V
制御信号入力					
入力ローレベルしきい値電圧	V_{INHL}	ターンオン入力しきい値電圧	1.5	1.5	V
入力ハイレベルしきい値電圧	V_{INLH}	ターンオフ入力しきい値電圧	2.1	2.1	V
入力電圧ヒステリシス	dV_{INLH}	$V_{INHL} - V_{INLH}$	0.6	0.6	V
ターンオン遅延時間	t_{dLH}	ターンオン入力からドライバ出力オンまでの遅れ時間	1	1	μs
ターンオフ遅延時間	t_{dHL}	ターンオフ入力からドライバ出力オフまでの遅れ時間	0.6	0.6	μs
遅延時間差	dt_d	$t_{dLH} - t_{dHL}$	0.4	0.4	μs
外部アラーム					
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	dV_{AE}	外部アラーム入力しきい値ヒステリシス電圧	0.8	0.8	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	9.5	9.5	μs
(保護特性) 電源電圧低下保護					
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	11.7	V
リセットヒステリシス	dV_{UV}	電源電圧低下検出しきい値ヒステリシス電圧	0.5	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	20	20	μs
(保護特性) 過電流保護					
過電流検出電圧	V_{OC}	過電流検出しきい値電圧	1.0	0.5	V
過電流検出遅れ時間	t_{dAOC}	過電流検出からアラーム出力までの遅れ時間	4.3	1.6	μs
(保護特性) 過熱保護					
過熱保護検出電圧	V_{OH}	過熱検出しきい値電圧	1.5	V_{VOH}^*	V
IGBT 過熱検出・遮断遅れ時間	t_{dAOH}	過熱検出からアラーム出力までの遅れ時間	0.6	1.2	ms
アラーム出力					
アラーム保持時間	t_{ALM}	アラーム出カラッチ時間	8	8	ms

* : V_{OH} は VOH 端子電圧 V_{VOH} による。

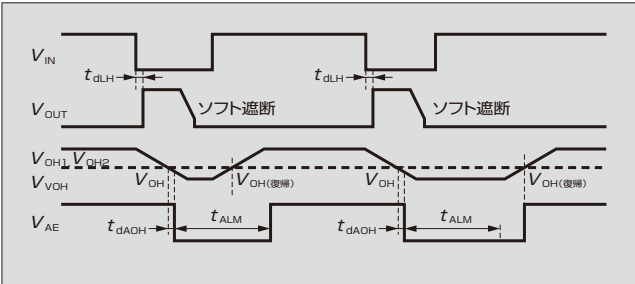
図3 「Fi009」のチップ



動作のタイミングチャートを図4に示す。過熱保護状態はアラーム保持時間 t_{ALM} だけ継続し、過熱保護状態から復帰しかつ IC の PWM (Pulse Width Modulation) 入力電圧 V_{IN} がオフに反転した時点で解除する。

Fi007 では、従来、内部電圧を基準として過熱検出しきい値電圧が 1.5 V と決まっていたが、Fi009 では VOH 端子へ電圧を入力して過熱検出しきい値電圧を設定できるよ

図4 過熱保護動作のタイミングチャート



うに変更した。なおかつ VOH 端子への入力の際に基準電圧として用いる V_{REF} を 3.0 V から 5.0 V に上昇させることにより、システムの自由度を大きくした。

3.2 過電流保護

IGBT に過電流が流れた場合、IGBT の焼損を防ぐために通電電流を遮断する必要がある。過電流を検出するためには、メインの IGBT に電流をセンシングするための小さ

図5 過電流保護動作のタイミングチャート

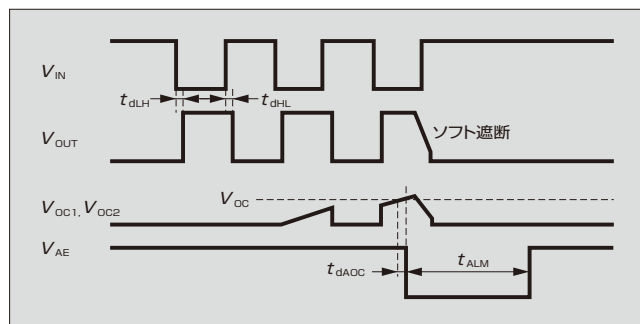
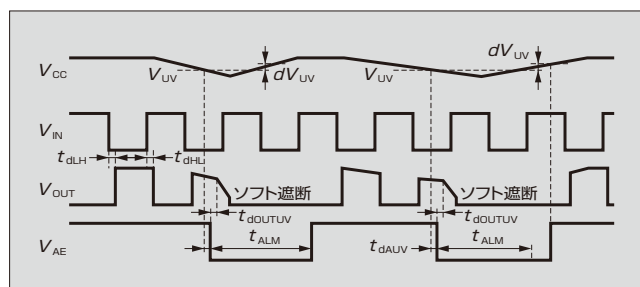


図6 電源電圧低下保護動作のタイミングチャート



な IGBT を埋め込んでいる。Fi009 は検出用の IGBT に流れた電流値を検出抵抗によって変換した電圧値を監視し、過電流発生時にドライバ出力をオフにすることで IGBT の動作が停止できる。このとき、AE 端子から ECU へアラーム信号を出力する。過電流保護動作のタイミングチャートを図5に示す。過電流保護状態は、 t_{ALM} だけ継続し、過電流検出電圧 V_{OC} が復帰しかつ IC の PWM 入力電圧 V_{IN} がオフに反転した時点で解除する。

Fi009 では Fi007 よりも過電流時の検出電圧を低下し、なおかつアラーム出力までの遅延時間を短くして過電流時の高速応答を可能とした。

3.3 電源電圧低下保護

ドライバ IC の電源電圧が低下すると IGBT はゲート電圧が不足し、動作損失が急増するため、運転を継続するとチップの温度上昇により素子破壊に至る可能性がある。したがって、Fi009 では電源電圧が 11.7 V（代表値）を下回ると、IGBT の動作を止める機能を持っている。電源電圧低下保護動作のタイミングチャートを図6に示す。電源電圧低下保護状態は t_{ALM} だけ継続し、電源電圧が復帰しかつ IC の PWM 入力電圧 V_{IN} がオフに反転した時点で解除する。

3.4 ソフト遮断

異常発生時に前述の保護機能が働き、出力電流を通常スイッチング時のゲートインピーダンスで遮断すると、配線インダクタンスによるサージ電圧が過大に発生する。そこで IGBT が過電圧破壊しないようにするため、緩やかに遮断する必要がある。これには Fi009 は、過熱保護・過電流保護・電源電圧低下保護のいずれかの機能が働く場合、も

図7 ソフト遮断時の出力特性

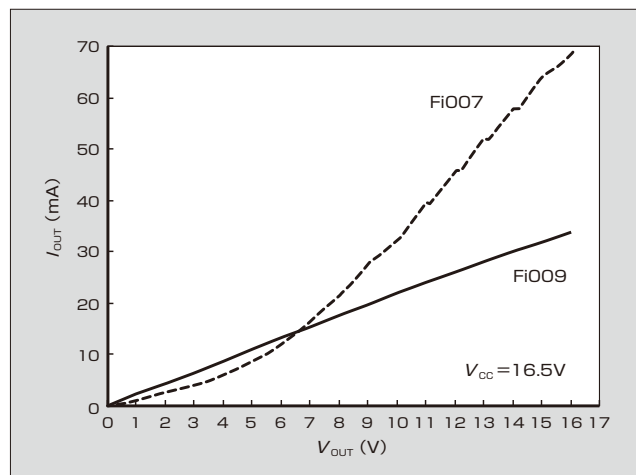
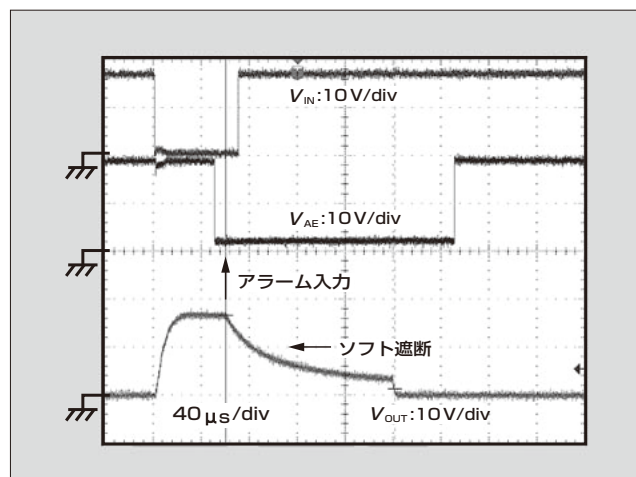


図8 ソフト遮断時の動作波形



しくは外部からアラーム信号が入力された場合に IGBT をソフト遮断するため高ゲートインピーダンスで出力を遮断する特性となっている。

Fi009 のソフト遮断時の出力特性を図7に示す。Fi009 では、ソフト遮断用の MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) の負荷回路を既存品 Fi007 で採用していた MOSFET のソースフォロワ方式から抵抗方式に変更し、遮断電流－電圧特性を比例関係にすることにより低出力電圧時の遮断能力を向上させた。Fi009 のソフト遮断時の動作波形を図8に示す。

4 パッケージング技術

4.1 「Fi009」のパッケージング技術

Fi009 は既存品 Fi007 と同一のパッケージング技術を用いて開発した。すなわち、リードフレームとチップ裏面を接続するダイアタッチ材には銀 (Ag) ペーストを採用し、Ag ペーストの厚さと硬化時の最適化を実施した。また、チップとリードフレームを結線する材料として、パラジウム (Pd) を含有した金 (Au) 線を引き続き採用し、Fi007 と同一の信頼性 (温度サイクル耐量および高温放置

耐量)を確保している。

⑤ あとがき

本稿では、ハイブリッド車用 IGBT 駆動 IC「Fi009」について紹介した。富士電機では、Fi009 以外にも多くの自動車用半導体製品を扱っている。今後も、市場のニーズを的確に把握しながらシステムに適合する高信頼性製品を提供し、自動車産業の発展に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 西尾実ほか, ハイブリッド車用 IGBT 駆動 IC「Fi007」, 富士時報, 2007, vol.80, no.6, p.406-409.
- (2) 森貴浩ほか, IPM用小型ドライバ IC, 富士時報, 2008, vol.81, no.6, p.395-398.



鷹坂 浩志

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部 ディスクリート・IC 開発部。



中川 翔

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部 ディスクリート・IC 開発部。



今井 誠

半導体デバイス、特にディスクリートの組立技術開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部パッケージ実装技術部。





＊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。