

ワンチップ リニア制御用 IPS 「F5106H」

One-Chip Linear Control IPS, “F5106H”

中川 翔 NAKAGAWA Sho

大江 崇智 OE Takatoshi

岩本 基光 IWAMOTO Motomitsu

自動車電装分野では、システムの小型化、高信頼性化、高機能化の要求が高まっている。これらの要求に応えるため、従来の IPS に高精度電流検出アンプを搭載したワンチップ リニア制御用 IPS 「F5106H」を開発した。第 4 世代 IPS デバイス・プロセス技術を適用してワンチップ化したことで、SOP-8 パッケージへの搭載を可能にしている。さらに、接合部温度の最大定格を 175℃とし、過酷な温度環境における耐久性を向上するとともに、4.5V までの低電源電圧動作が可能である。

In the field of vehicle electrical components, the increasing demands for miniaturization, reliability improvement and functional enhancement are required. To meet these demands, Fuji Electric has developed one-chip linear control intelligent power switch (IPS), “F5106H,” which mounts a high-precision current detection amplifier on the conventional IPS. Applied with 4th generation IPS device and process technology, it can be integrated into one chip and mounted in a SOP-8 package. In addition, the maximum rating of the junction temperature has been set to 175°C to improve the durability in a harsh temperature environment, and low power operation voltage can be allowed down to 4.5V.

1 まえがき

近年、自動車電装分野では“安全”“環境”“省エネルギー”をキーワードとして、さらなる安全性能向上、排出ガス低減、燃費向上を図っている。その実現のために、車両制御技術の高度化と、自動車の電子制御システムの大規模化が進んでいる。その中でも、広い室内空間を確保するため、ECU (Electronic Control Unit) には小型化と高機能化の両立が求められている。また、ECU の高密度実装に伴い、搭載部品の小型・高機能化と高温対応も求められている。

これに加え、ECU が制御するソレノイドバルブでは、リニアソレノイドバルブを用いたリニア制御が増加傾向にある。リニアソレノイドバルブは、油圧を電流値に応じてリニアに制御できるため、細かな油圧制御による車両制御が可能であり、排ガス低減や燃費向上に貢献する。ただし、このリニア制御では、負荷であるリニアソレノイドに流れる電流を高精度に検出する必要がある。

富士電機では、トランスミッション、エンジン、ブレーキなどに用いられる自動車電装システム向けに IPS (Intelligent Power Switch) 製品の開発を行ってきた。IPS は出力段として用いる縦型パワー MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) と制御・保護回路を構成する横型 MOSFET を同一のチップ上に集積化した製品である。IPS は ECU の回路部品数や実装面積の低減を可能とし、ECU の小型化に貢献してきた。近年では、第 4 世代 IPS デバイス・プロセス技術の適用により、チップのさらなる小型化を実現した。今回、これらの技術を応用して、従来の IPS に高精度電流検出アンプを搭載したワンチップ リニア制御用 IPS 「F5106H」を開発した。

2 特徴

F5106H の外観・外形図・端子配列を図 1 に、回路ブロック図を図 2 に、使用例を図 3 に示す。また、最大定格

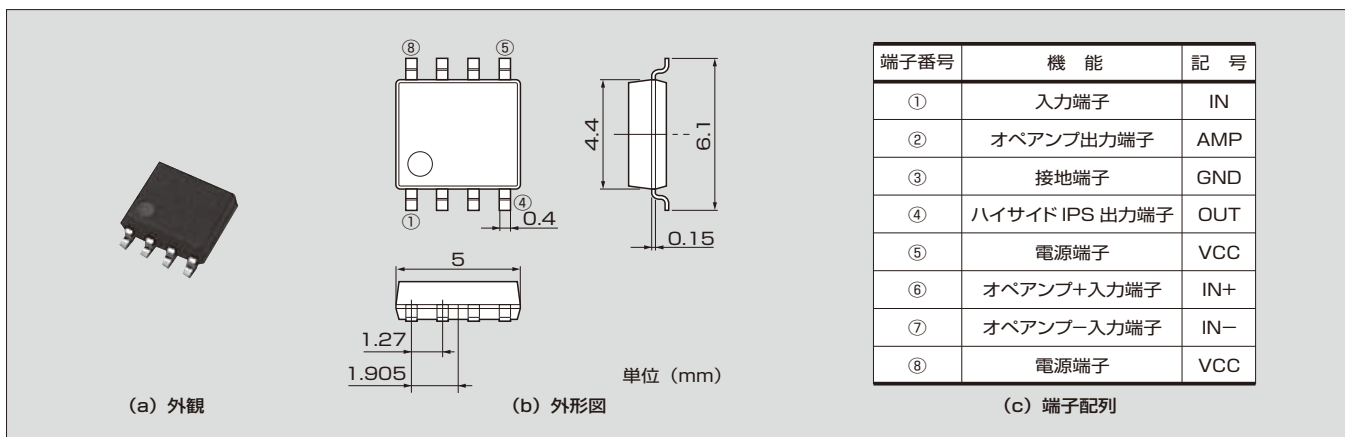


図 1 「F5106H」の外観・外形図・端子配列

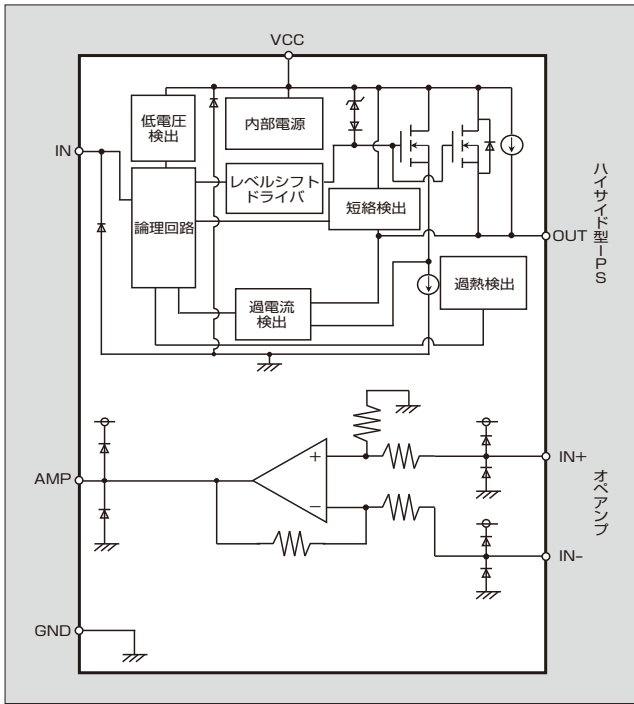


図2 「F5106H」の回路ブロック図

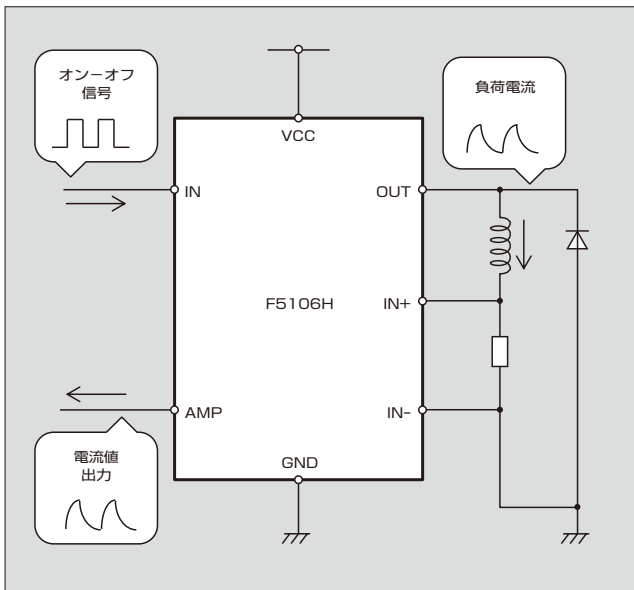


図3 「F5106H」の使用例

を表1に示す。F5106Hの主な特徴は次に示す六つであり、自動車電装システムの小型化、高性能化、高信頼性化を支えている。

- (a) 第4世代IPSデバイス・プロセス技術を適用して、外付けだったオペアンプとハイサイド型IPSとのワンチップ化を実現し、SOP-8パッケージに搭載した。これにより、システムの小型化と部品点数の低減によるトータルコストダウンに貢献する。
- (b) 高精度な負荷電流の検出が可能なオペアンプを内蔵

〔注1〕ハイサイド型IPS：電源側に半導体デバイスを、グラウンド側に負荷を配置するIPSのこと

表1 「F5106H」の最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

項目	記号	条件	定格値	単位
ハイサイドIPS, オペアンプ共通				
電源電圧(1)	$V_{CC(1)}$	Pulse 0.25s	50	V
電源電圧(2)	$V_{CC(2)}$	DC	-0.3~+35	V
接合部温度	T_j	—	175	$^\circ\text{C}$
保存温度	T_{stg}	—	-55~+175	$^\circ\text{C}$
ハイサイドIPS				
出力電流	I_D	DC	2	A
出力電圧	V_{OA}	—	$V_{CC}-50$	V
消費電力	P_D	DC	2	W
入力電圧(1)	$V_{IN(1)}$	DC $R_{IN}=0\Omega$	-0.5	V
入力電圧(2)	$V_{IN(2)}$	DC	7	V
入力電流	I_{IN}	DC	± 10	mA
オペアンプ				
IN+電圧	$V_{IN+(1)}$	DC	-0.5~+7	V
	$V_{IN+(2)}$	5s	-1.1~+18	V
IN-電圧	$V_{IN-(1)}$	DC	-0.5~+7	V
	$V_{IN-(2)}$	5s	-1.1~+18	V
IN+電流	I_{IN+}	DC	10	mA
IN-電流	I_{IN-}	DC	10	mA
AMP電圧	V_{AMP}	DC	7	V
AMP電流	I_{AMP}	DC	10	mA

- することで、高精度なリニア制御を実現している。
- (c) 接合部温度の最大定格を175 $^\circ\text{C}$ とし、過酷な温度環境における耐久性を向上している。
- (d) 4.5Vまでの低電源電圧動作が可能である。
- (e) 負荷短絡保護機能を内蔵している。
- (f) 低インピーダンスサージ吸収用ツェナーダイオードを内蔵し、高いESD (Electrostatic Discharge) 耐量を確保している。

2.1 ハイサイド型IPSの特徴

ハイサイド型IPSの電気的特性を表2に示す。

表2 ハイサイド型IPSの電気的特性

項目	記号	条件	規格値		単位
			最小	最大	
動作電源電圧	V_{CC}	$V_{IN}=5\text{V}$	4.5	16	V
低電圧検出	$UV1$	$V_{IN}=5\text{V}$	2.0	4.3	V
低電圧復帰	$UV2$		2.2	4.5	V
入力しきい値電圧	$V_{IN(H)}$	$V_{CC}=4.5\sim 16\text{V}$ $R_L=10\Omega$	3	7	V
	$V_{IN(L)}$		0	1.5	
オン抵抗	$R_{DS(on)}$	$T_a=25^\circ\text{C}$ $I_{OUT}=1.5\text{A}$	—	0.12	Ω
		$T_a=150^\circ\text{C}$ $I_{OUT}=1.5\text{A}$	—	0.24	Ω
過電流検出	I_{OC}	$V_{CC}=13\text{V}$ $V_{IN}=5\text{V}$	2	7	A
過熱検出	T_{trip}	$V_{IN}=5\text{V}$	175	207	$^\circ\text{C}$

特記なき場合は、 $T_a=-40\sim +175^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC}=8\sim 16\text{V}$ とする。

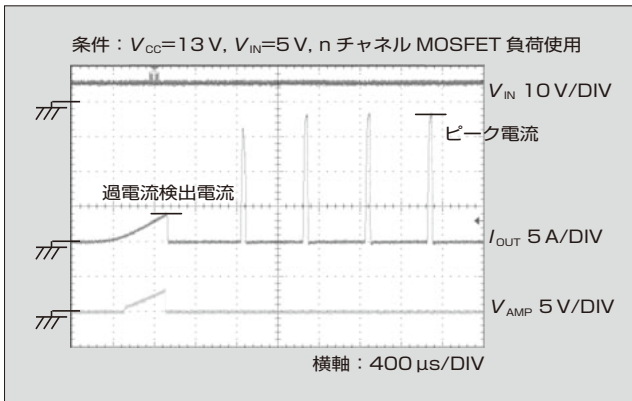


図4 過電流動作時波形

負荷短絡保護と動作電源電圧の低減について次に述べる。

(1) 負荷短絡保護

出力段パワー MOSFET に過電流が流れた場合に備えて、システム、負荷および素子を保護するための過電流検出機能を搭載している。図4に、過電流動作時波形を示す。過電流を検出し、出力電流を発振状態にする際のピーク電流を一定に抑えている。このことにより、異常状態においても素子が発生するノイズを低く抑えることができる。また、出力発振状態のデューティ比を最適化^(注2)することで、平均出力電流を抑え、ECUの配線の微細化およびワイヤーハーネスの細線・軽量化に貢献できる。さらに、異常状態が継続すると、出力段パワー MOSFET が発熱して破壊する恐れがあることから過熱検出機能を搭載している。過熱検出機能は応答性が重要であり、温度センサを出力段パワー MOSFET の活性部内に配置して、応答速度を上げている。

(2) 低電源電圧動作

エンジン始動時など電源電圧が瞬時的に低下する場合にもオン抵抗を維持できるように設計した。回路およびこれを構成する要素デバイスのしきい値を下げることなどにより、電源電圧が4.5Vに低下しても電圧が正常な13Vのときとほぼ同等のオン抵抗が維持できる。また、電源電圧が4.5V未満の領域では、回路動作が不安定にならないように低電圧検出機能を搭載した。これらの工夫により、電源電圧の低下時にも通常時と同等の素子の性能と冗長性を確保している。

2.2 オペアンプの特徴

オペアンプ部の電気的特性を表3に示す。-40~+175℃で高い電流検出精度を実現するために、次に示す3点を実施している。

- 差動増幅部にp形MOSFETを採用し、ゲートサイズを最適化した。
- 差動増幅部を^(注3)コモンセントロイドレイアウトにすることにより、電流検出精度のばらつきを低減した。

〈注2〉デューティ比：出力発振状態におけるオン状態の比率

〈注3〉コモンセントロイド：MOSFET対を分割し、重心が一致するように配置することでばらつきを低減すること

表3 オペアンプ部の電気的特性

項目	記号	条件	規格値		単位
			最小	最大	
出力電圧範囲	V_{OH}	$R_{AMP}=5\text{ k}\Omega$	0	5	V
出力電流	I_{AMP} (SOURCE)	$V_{IN+}=366\text{ mV}$	—	-0.1	mA
	I_{AMP} (SINK)	$V_{IN+}=384\text{ mV}$	0.1	—	mA
ゲイン	G	—	typ.=8		倍
電流検出精度	I_{sns1}	$V_{IN+}=375\text{ mV}$ $R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$	-2.3	2.3	%
	I_{sns2}	$V_{IN+}=375\text{ mV}$ $R_{AMP}=50\text{ k}\Omega$ $V_{CC}=14\pm 1\text{ V}$ $T_a=25^\circ\text{C}$	-1.6	1.6	%

特記なき場合は、 $T_a=-40\sim+175^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC}=8\sim 16\text{ V}$ とする。

- トリミング回路を搭載し、オフセットのばらつきを低減した。

③ 適用技術

F5106Hは、第4世代IPSデバイス・プロセス技術を適用している。図5に、第4世代IPSデバイス構造を示す。

チップの小型化を図るため、出力段パワー MOSFET を従来のプレーナゲート型からトレンチゲート型に変更し、要素デバイス自体の微細化に加え、多層配線技術を適用して要素デバイス間を接続する配線面積を低減した。

この技術を発展させてハイサイド型IPSとオペアンプをワンチップ化し、SOP-8パッケージへの搭載を可能にした。ワンチップ化するに当たっては、次に示す2点に留意した。

- ワンチップ化すると、チップ裏面が高電圧（バッテリー電圧）になる。この影響をなくすため、基板バイアス効果を抑えたデバイス構造を採用した。
- オペアンプの電気的特性のばらつきを低減するレイアウトを実施した。具体的には、出力段パワー MOSFET の発熱による差動増幅部の影響を最小限に抑えるレイアウトにするとともに、パッケージ内の残留応力を考慮して差動増幅部をチップの中央に配置した。

また、175℃動作を可能とするために次に示す2点を実施している。

- 175℃環境下においてもノイズ・サージ耐性を確保するために、出力段パワー MOSFET と回路部要素デバイスの耐圧バランスを維持するように設計した。
- パッケージ材料の見直しにより、175℃環境下においても高い信頼性を確保した。

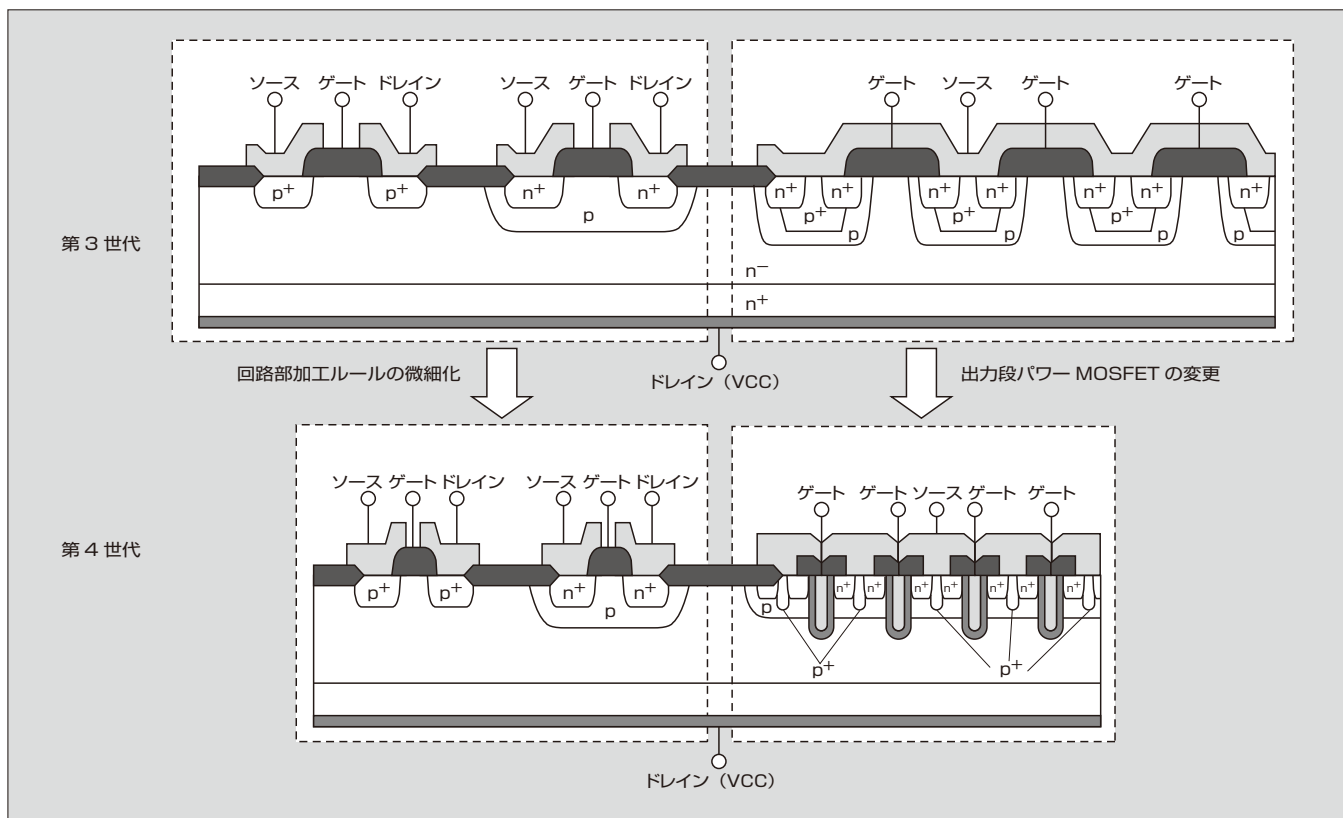


図5 第4世代 IPS デバイス・プロセス技術の特徴

4 あとがき

本稿では、ECU の小型・高性能化に貢献できるワンチップ リニア制御用 IPS 「F5106H」について述べた。今後も、第4世代 IPS デバイス・プロセス技術を用いたさまざまな IPS 製品を開発し、自動車電装システムの高機能化・小型化・高信頼性化に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 岩田英樹ほか. インテリジェントパワー MOSFET. 富士時報. 2008, vol.81, no.6, p.410-414.
- (2) 鷹坂浩志ほか. 車載用第4世代 IPS 「F5100シリーズ」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.440-444.
- (3) Toyoda, Y. "60 V-Class Power IC Technology for an Intelligent Power Switch with an Integrated Trench MOSFET". ISPSD. p.147-150, 2013.



中川 翔

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部自動車電装技術部。



大江 崇智

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部自動車電装技術部主査。



岩本 基光

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部デバイス開発部。



*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。