

白物家電用モータドライバ IC SIM1 シリーズの開発

Development of the motor driver IC SIM1 series

川島良太*
Kawashima Ryota

山川裕平*
Yamakawa Yuhei

概要 SIM689xMシリーズは幅広い電流定格をラインナップしており、インバータ化白物家電製品に用いられている。今後、白物家電製品全般が省エネ化推進のため世界的にインバータ化へ移行していくと想定されている。多用途に用いられる本シリーズは、さらに安定供給、品質向上が市場から求められている。

新製品SIM1シリーズでは、次世代MICプロセスの採用によるリードタイム短縮化、H side OCP（過電流保護機能）の追加による二次的な破壊拡大防止、LS（ローサイドパワーIGBTエミッタ）-COM（コモン）間ESD保護素子追加によるセット組立時の静電気破壊リスクの回避をおこない、それら市場要求に応えた。また、IGBT品の一部定格において、市場用途の駆動条件に合わせて損失特性を最適化低減し、採用用途の幅を広げた。

1. まえがき

近年、白物家電市場において省エネを実現するインバータ化技術が進んでおり、それに伴いモータドライバICのニーズが拡大している。

当社の既存モータドライバIC製品の中でSIM689xMシリーズは2A～10Aまでの幅広い定格をラインナップしており、幅広い用途で使用されている。そのため、今後世界的にモータドライバICの需要が高まっていく中で、より安定供給が可能なことが求められる。

今後、新たにインバータ化製品が普及していく地域の中には電源事情が悪く、電源電圧変動による過電圧が発生する地域もある。過電圧破壊が起こると二次的に破壊が広がり、音鳴りやパッケージ破裂等の致命的な破壊につながるリスクがある。二次破壊を防ぐため、上下アームのうちどちらかが破壊してももう片方で遮断できるようにインバータアームのH sideとL side両方とも遮断できる構成が望まれる。

インバータ化製品が世界的に普及していく中で、セットメーカーの動きとしては量産性確保のため新興国を含めた様々な地域に工場を設け組み立てを行うこととなる。そのため、品質管理が行き届かず静電気破壊する心配

が伴う。パワー素子のゲートへ直接静電気が印加される可能性のある端子も含め十分なESD耐量が必要となる。

また、既存のSIM689xMシリーズはこれまでの開発経緯においてシュリンクプロセスであるFS-IGBTを採用したことで、搭載可能なパワーチップの定格をそれまでの5Aから10Aまでに拡張してきた。しかしながら、本シリーズは10A品としては一般的なダウンセット構造ではないため放熱性が不足する。本シリーズの主用途である洗濯機では、高周波化が求められる。そのため、この10A品では許容損失の制限から駆動モータの電流が少ない一部の小容量モデルの採用に限定されてきた。電流定格の観点からみると、損失特性の最適化を行うことで、この10A品でより大きい容量モデルへの展開を実現できると考える。

これらの課題を解決するために同一パッケージの後継品SIM1シリーズ（図1）を開発した。

DIP40
Mold Dimensions: 36.0 mm × 14.8 mm × 4.0 mm

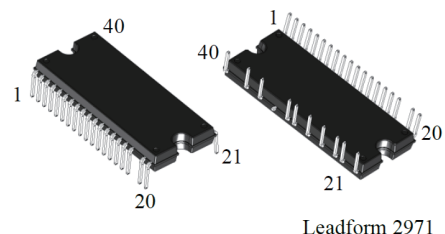


図1 SIM1 Package (Full Mold)

*技術開発本部 パワーモジュール開発統括部
IPM 開発部 開発1課

2. SIM1シリーズ構成

製品の構造は従来品と同様に、パワーチップ、それを制御するH side MICとL side MIC、電流整流用ブートストラップダイオードの4種のチップをリードフレーム上へマウントし、高熱伝導樹脂でモールドしている。パッケージサイズも従来品から引き続き、縦14.8mm×横36.0mm×厚み4.0mmとなる。生産拠点として、MICチップはアメリカ、国内の2拠点、パワーチップは国内、海外合わせて5拠点、組立は国内、中国、韓国の3拠点と複数備え、災害時等でも安定的に供給できる体制としている。図2にSIM1シリーズの内部ブロック図を示す。保護機能は、従来品と同様のUVLO（電源電圧低下保護機能）、L side OCP（過電流保護機能）、TSD（サーマルシャットダウン）を搭載している。その他に、新たにH side OCPを追

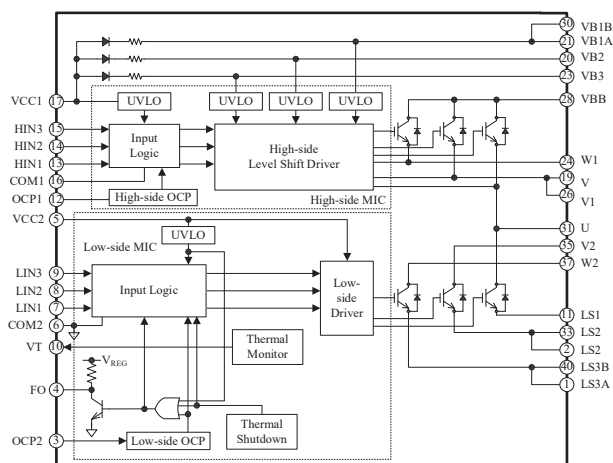


図2 SIM1シリーズの内部ブロック図

加した。これにより過電圧でLow sideが破壊したとしてもH sideを遮断し、二次破壊を防止することができる。

表1にSIM1シリーズの主な仕様を示す。

SIM1シリーズでは、L side OCP仕様は従来品SIM689xMシリーズから変更せずにH side OCP仕様の最適化をはかった。

またSIM1シリーズのL side MICには、高精度の温度モニタ機能を搭載している。線形性に優れセットメーカーにとって温度制御が容易かつ、温度検出精度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ とチップサーミスタ同等の精度でMIC内温度モニタ機能を提供する。SIM1シリーズの温度モニタ出力温度特性を図3に示す。

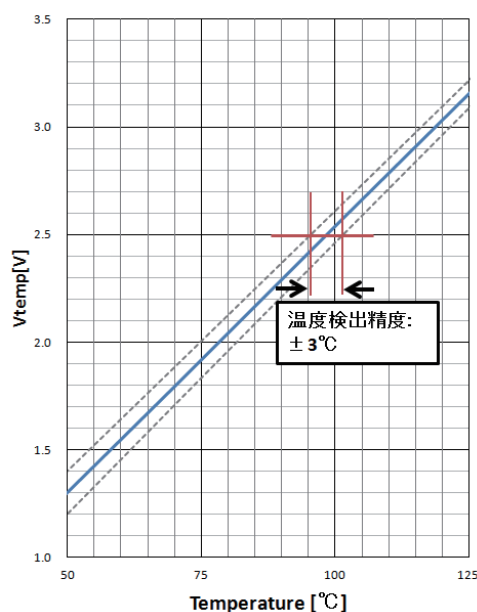


図3 SIM1シリーズ温度モニタ出力温度特性

表1 SIM1シリーズの主な仕様

項目 (Item)	記号 (Symbol)	仕様値 (Specification Value)					単位 (Unit)	条件 (Conditions)
		SIM1-02D2M	SIM1-03A1M	SIM1-05A1M	SIM1-10F1M	SIM1-10F1A		
出力パワー素子	-	SJ-MOS	IGBT				-	
定格出力耐圧	V_{CES}	600					V	
定格出力電流	I_o	2.0	3.0	5.0	10.0	10.0	A	
IGBT出力飽和電圧 TYP/MAX	$V_{CE(SAT)}$	-	1.8/2.3	1.75/2.2	1.65/2.1	2.05/2.5	V	$I_c =$ 定格出力電流 I_o
MOSFETオン抵抗 TYP/MAX	$R_{ds(on)}$	3.2/3.6	-	-	-	-	Ω	$I_d =$ 定格出力電流 $I_o \div 2$
絶縁耐圧 (MIN)	V_{ISO}	1500					V _{rms}	裏面-リード端子間
端子間隔	P	1.778					mm	
熱抵抗 (接合-ケース間)	$R_{\theta(j-c)}$	3.6					$^{\circ}\text{C} / \text{W}$	全素子動作
熱抵抗 (接合-周囲間)	$R_{\theta(j-a)}$	25.0					$^{\circ}\text{C} / \text{W}$	
ブートストラップ電源 低下電圧保護	V_{UVHL}	10.0 \pm 1.0					V	
	V_{UVHH}	10.5 \pm 1.0					V	
制御電源低下保護電圧	V_{UVLL}	11.0 \pm 1.0					V	
	V_{UVLH}	11.5 \pm 1.0					V	
過熱保護動作および解除温度	T_{DH}	150 $^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$					$^{\circ}\text{C}$	
	T_{DL}	120 $^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$					$^{\circ}\text{C}$	
H side 過電流保護トリップ電圧	V_{tripH}	0.7V \pm 10%					V	
L side 過電流保護トリップ電圧	V_{tripL}	0.5V \pm 8%					V	
H side 過電流保護保持時間 MIN/MAX	T_{ocpH}	20/25					us	
L side 過電流保護保持時間 MIN/MAX	T_{ocpL}	5/10					us	

3. SIM1シリーズの開発

新製品の開発にあたり、前述の課題を解決するための主な開発コンセプトは4つある。

1つ目は、高圧ドライバICに最適化された次世代プロセスを採用することでリードタイムを短縮し、安定供給する。併せてワイヤーオプションでの機能変更によるMICの共用化、およびチップ・Assy工場のBCP対応も継続的におこなっていく。

2つ目は、従来品SIM689xMシリーズのL side MICのOCP機能に加え、H side MICにもOCP機能を追加し、上下OCP動作が可能な構成とする。これにより電源事情が不安定な地域において、万が一上下アームの片方が過電圧破壊した後でも必ずもう片方がOCP動作で瞬時にOFFし、致命的な音鳴り破壊やパッケージ破裂破壊等の二次破壊防止を実現する。

3つ目は、ESD耐量が比較的弱いパワー素子のゲートへの静電気印加に結び付くLS端子に対し、MIC内へ設置したESD保護素子を内部ワイヤリングにて結線し、保護する構成を取る。これによりセット組立時における静電気破壊リスクを回避する。

4つ目は、10A定格IGBTにおいて、比較的キャリア周波数を高く設定する洗濯機用途に絞りを、IGBTのプロセス条件を最適化することで、実用損失の低減を図る。これにより、主用途である洗濯機にて大容量モデルへの採用展開を可能とする。

3.1. 次世代MICプロセスの採用⁽¹⁾

これまで当社の高耐圧BCDプロセス開発においては一つのプロセスにて高耐圧ドライバの他、高耐圧スイッチングレギュレータなどの電源IC用途にも対応可能とすることを訴求してきた。素子サイズの縮小や性能向上を図るためには、オールマイティなプロセスを前提に、主にデザインルールを縮小化する方向性で開発を進めてきた。

しかしながらIPMに用いられるHVIC（高電圧集積回路）においては、その恩恵を受けられるCMOSロジック回路が少なく、あまりメリットにはならない。そこで供給安定化が望まれるIPM用にターゲットを絞り、エピタキシャル成長、マスク数、工程数の削減、およびデザインルールの見直し（拡大）を適用した次世代プロセスを開発した。これにより、リードタイムが短縮され安定供給化要求を満たすことができた。

表2に現行プロセスと次世代プロセスを比較する形でプロセス概要および主要搭載デバイスを示す。IPM製品仕様に合わせCMOSの最大オペレーション耐圧を20V

とした。低圧CMOS Logicの回路規模を鑑みゲート酸化膜は現行プロセスのデュアル構成から600Åのシングル構成とした。また微細化に必要なCMOSのサイドウォール形成工程およびサイリサイド工程を削除した。高耐圧デバイスの保証電圧も仕様に合わせ700Vと下げた。

図4には各プロセスの拡散構造の断面概略図を示す。次世代プロセスではP-sub中に高温長時間の拡散によりN-Well (NW) 領域を形成する。NW拡散層はP-Well (PW) -Psub間パンチスルー防止のため適切な深さに設定されている。埋め込みN+型拡散層が存在しないことでエピタキシャル成長および埋め込み工程の削減によるリードタイム短縮を実現している。

次世代プロセスは現行プロセスと比較して、ウェーハ製造の工程数が25%削減され、それにより製造リードタイムおよびウェーハ製造コストが削減された。生産とコストの両面で大幅な改善を実現することができた。

表2 現行プロセス、次世代プロセス概要

	Element Item	Current	Next-generation
Process	Design rule	0.25um	0.50um
	Gate oxide thickness	180 Å / 800 Å	600 Å
	Embedded Epi	Applied	Not applied
	Sidewall	Applied	Not applied
	Salicide	Applied	Not applied
	Wiring Structure	2Poly/2Metal	
Device	CMOS	5V/7V	7V
		20V/30V	20V
	NPN	7V/20V/30V	20V/30V
	PNP	7V/20V/40V	なし
	Diode	Various	
	Resistance	Various	
	Capacitor	Various	
	高圧Nch MOS	150V/600V/900V	700V
	高圧Pch MOS	150V/600V	なし
JFET	900V	700V	

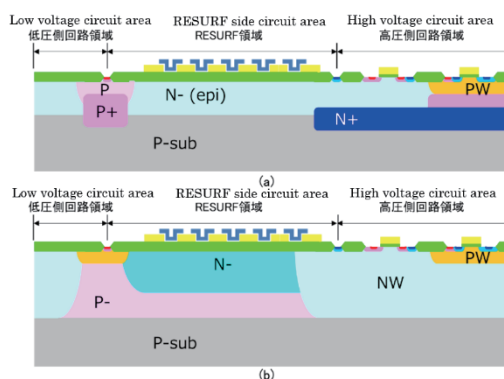


図4 拡散構造断面図

(a) 現行プロセス (b) 次世代プロセス

3.2. H side OCP機能による二次破壊防止

図5にSIM1の制御端子周辺回路図を示す。SIM1シリーズではH side ICにもOCP機能およびOCP端子を追

加しており、L sideと同様にOCP端子にシャント抵抗Rsを接続し、H sideのOCP機能を有効にしている。これにより、異常が発生しL sideパワー素子が短絡故障を起こし、H sideがオンして過大な貫通電流が流れた場合にもH sideパワー素子のゲートを早急に遮断することができ、二次的にH sideパワー素子が破壊することを防ぐ。

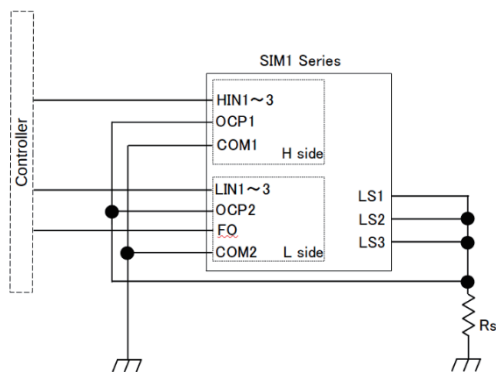


図5 SIM1の制御端子周辺回路図

ここで、SIM1の端子数の制約から図5に示すようにH sideにはFO (エラー信号出力) 端子を設けることはできなかった。しかしながら、H side OCPが動作する際には、必ずL side OCPも動作し、FO端子から上位コントローラへアラーム信号を伝達するようにした。

3.3. 10A定格IGBTプロセス条件の最適化

従来の10A品SIM6897Mに対し、新製品の10A品SIM1-10F1MはFS-IGBTプロセス条件見直しにより、スイッチングロス低減し、比較的高いキャリア周波数で駆動する洗濯機用途で損失を低減することができた。

図6に示すように、FS-IGBTのサイズUPによるVce(sat)-Eoff (スイッチングOFFロス) のトレードオフ特性の改善に加えコレクタドーズ量を小さくすることで、Vce(sat) 上昇を極力抑えつつEoffを大幅に下げている。なお、コレクタドーズ量を小さくするとスイッチングOFF時のテイル電流が小さくなる(図7参照)ため、Eoff

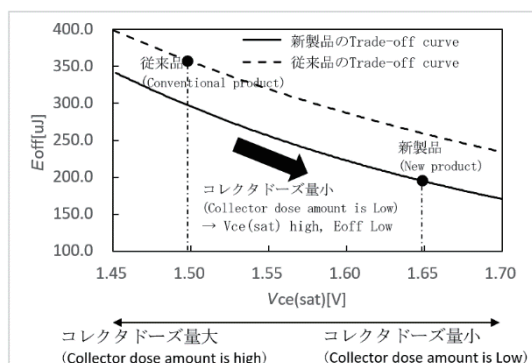


図6 IGBTプロセス条件の最適化の方法

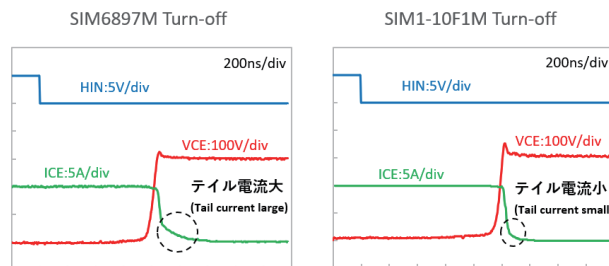


図7 ターンオフ時のSW波形比較

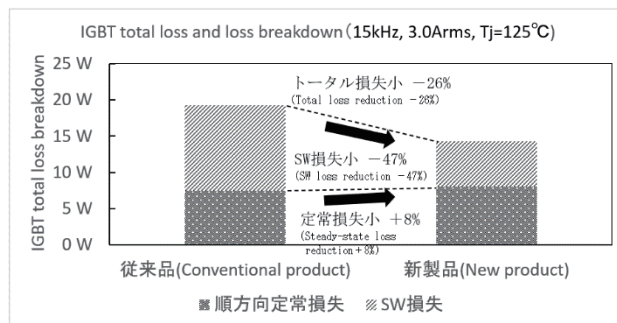


図8 IGBT トータル損失と損失内訳

が小さくなる。

図8に示すように、キャリア周波数が高い場合、Eoff低減に伴うスイッチング損失が減少する。その結果、IGBTトータル損失は従来品よりも26%も低減することができた。これにより、SIMパッケージの放熱性能不足分を補い、大容量モデル向けへの展開を可能とした。

4. むすび

次世代MICプロセスの採用によるリードタイム短縮などを行うことで今後のモータドライバICの需要拡大により求められる安定供給を行うことが可能となった。

また、H side OCP機能の追加による片アームパワー素子破壊後の二次的破壊拡大防止やLS-COM間ESD保護素子追加によるセット組立時静電気破壊リスクの回避を行うことで、従来のSIM689xMシリーズよりも大幅に品質を向上させることができ、様々な地域で安心して用いられる製品となった。

さらに、スイッチングロスを低減することにより、比較的キャリア周波数が高い洗濯機用途例においてもIGBTプロセス条件の最適化により損失を低減して、SIM1シリーズは従来品以上にその使用領域を拡大させることができた。

今後、更なる使用領域拡大のため、ダウンセット構造の採用などによる放熱性改善を検討していく。

参考文献

- 青木宏憲; サンケン技報, Vol.55, p.22~25, (2023.11)