

車載用 DC/DC コンバータ IC MD4010 の開発

Development of Automotive DC/DC Converter IC MD4010

櫛田 拓己*
Takumi Kushida

加藤 淳一*
Junichi Katoh

戸張 正博*
Masahiro Tobari

概要 近年、自動車を取り巻く環境は自動運転AD (Autonomous Driving) や先進運転支援システムADAS (Advanced Driver Assistance Systems) の進展により、それらを制御するECU (Electronic Control Unit) も高性能化が進んでおり、搭載されるマイコンやFPGA (Field Programmable Gate Array) への微細プロセス採用が活発になっている。こうした高性能マイコンを正常動作させるには低電圧かつ大電流出力の電源が必要となる。さらにECUに搭載する部品点数は高性能化に伴い増加していることから、小型化要件を実現するための高周波化スイッチング対応や、自動運転や先進運転支援システムで求められる機能安全性を取り込んだ電源ICが必要とされている。今回これらの市場要求に応えるため車載用DC/DCコンバータIC『MD4010』を開発したので報告する。

1. まえがき

近年、自動車を取り巻く環境は自動運転や先進運転支援システムが進展している。また2021年11月からは販売される新型国産車に対し、自動ブレーキ搭載が義務化される。これらを実現するためにカメラやLiDAR (Light detection and Ranging) などのセンサー類や位置情報を得るためのロケータ、得られた情報から判断をおこなうECUなどが必要になる。これらのECUに搭載しているマイコンは微細プロセス採用が活発になっており低電圧で動作するものが増えている。さらにマイコンの高機能化が進むことで大電流化が必要になっている。

また車載用DC/DCコンバータは、ロードダンプサージなどの自動車用規格に対応するために高い入力耐圧が必要となる。

さらに車載用製品は機能安全規格への対応要求も増加している。自動運転の対応などで複雑化したコンピュータシステム機器では故障なども想定されるので、それに対応したマネジメント機能を持った製品が求められる。

こうした要求に寄与するため、車載用DC/DCコンバータIC『MD4010』を開発した。

2. 製品概要

本製品は当社独自の第6.5世代微細BCDプロセスを採用し、パワーMOSFET、制御回路、診断機能を1チップに集約したカレントモード同期整流型降圧DC/DCコンバータとなる。製品チップを図1に示し、代表特性を以下に記す。

- ・入力電圧範囲 3.5V~38V
- ・出力電圧範囲 1.25V~12.0V
- ・出力電流範囲 0A~5A
- ・動作周波数 2.2MHz
- ・オン抵抗ハイサイド側 標準 68mΩ (Ta=25℃)
- ・オン抵抗ローサイド側 標準 46mΩ (Ta=25℃)

本製品は2個並列接続することで出力電流を通常の2倍(10A)に増加することが可能である。また広範囲の出力電圧に適応した位相補償回路を製品に内蔵している。さらに各種保護機能として入力低電圧保護、入力過電圧保護、出力過電圧保護、入力低電圧保護、過電流保護、過熱保護、外部素子で調整可能なソフトスタートを搭載している。これらの各種保護機能の動作状態はSPI通信 (Serial Peripheral Interface) を介してモニタすることが可能である。

本製品のパッケージは、ウエッタブルフラック型QFN (Quad Flat No-lead) を採用している。

*半導体事業本部 マーケティング本部
パワーデバイス開発統括部 車載IC開発部 開発課

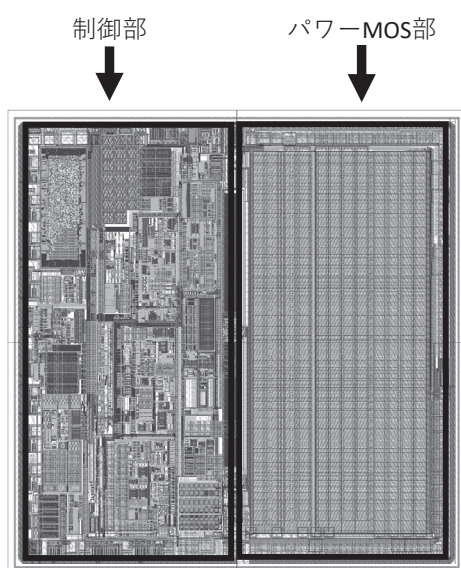


図1 MD4010製品チップ

3. 設計の特長

本製品の特長を以下に示す。

3.1 チップ設計

本製品のブロック構成図を図4に示す。

3.1.1 大電流・高耐圧化対応

通常、大電流・高耐圧化に対応するには、パワーMOSのオン抵抗を低くする必要があるが、オン抵抗はMOSサイズに反比例するため、図1のとおりパワーMOS部のサイズはチップ全体に占める割合が大きくなる。つまり本製品の開発においてはパワーMOSサイズをできるだけ小さくする必要がある。

そのために当社独自の第6.5世代微細BCDプロセスと、さらに銅再配線プロセスを採用した。第6.5世代BCDプロセスではパワーMOSの低オン抵抗化のため新たにマスク工程を追加導入し、素子サイズを肥大化させることなく低オン抵抗化を実現した。また第6.5世代微細BCDプロセスからはパワーMOS素子の耐圧違いのバリエーションを増やしており、顧客のニーズに合った最適な素子を選択することが可能になった。

銅再配線とはチップの表層に抵抗率が低く電流密度の許容量が高い銅を用いた配線加工をおこなうことで、配線抵抗を低くできるため、先に述べた低オン抵抗化に寄与できる(図2)。さらにボンディングパットの配置を、チップサイズを広げることなくチップ表層に配置することでチップサイズ縮小に貢献することもできる。

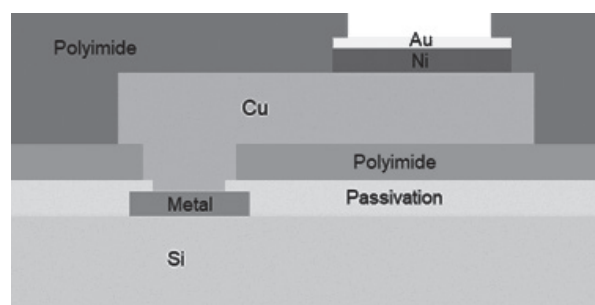


図2 銅再配線断面構造図

3.1.2 動作周波数の高周波化

自動車部品は電磁環境両立性EMC (Electromagnetic Compatibility) に適合することが求められる。本製品では、スイッチング周波数を2.2MHzにてEMC要求に適合させた。また、スイッチング周波数を2.2MHzとしたことで、出力受動部品の小型化にも寄与できる。

3.1.3 ドライブ回路設計

同期整流型DC/DCコンバータではパワー段のハイサイドMOS(以下HMOS)とローサイドMOS(以下LMOS)が逆位相でスイッチング動作する。HMOSとLMOSが同時ONした場合、貫通電流が発生し製品破壊につながる可能性があり、製品保護のため、両方のMOSがOFFするデッドタイムを設けている。しかしデッドタイムが長すぎる場合は電源効率や制御性の悪化につながる。そこで本製品では、HMOSまたはLMOSが確実にOFFに切り替わった後に逆位相側がONとなるドライブ設計とし、貫通電流を防ぎつつ最適なデッドタイムを実現した。

3.1.4 並列運転機能

本製品は出力電流5Aとしているが、製品を図7のように2個並列接続することで出力電流10Aに対応することができる。さらに並列接続運転時は2つの製品のスイッチング動作に180度の位相差を設ける二相インターリーブ制御に対応することで、互いの入出力リップル電流を相殺している(図3)。

3.1.5 異常検知機能

電源ICは出力端子に他製品が接続され、それらの起動シーケンスは上流システムが制御する仕組みとなるが出力電圧が正常値ではない状態で、後段のマイコンやFPGAが起動すると、誤動作や故障につながる可能性がある。そこで本製品にはパワーグット端子を搭載し、出力電圧が正常値であることを上流システムに伝達することで、前述のような誤動作や故障を未然に防ぐことができる。

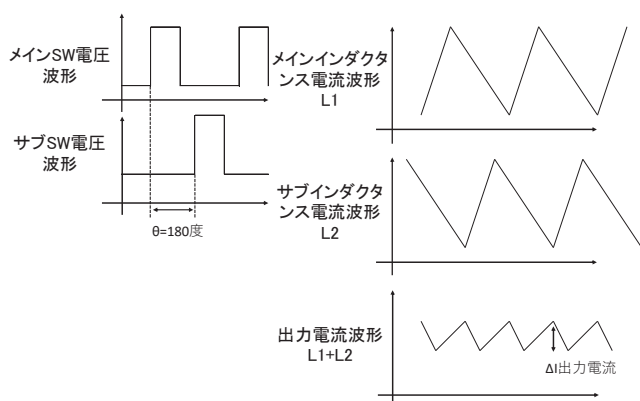


図3 並列運転時の動作イメージ波形

ので放熱性にも優れている。これらの特長から本製品のパッケージに適しているため採用した。(図5: QFNパッケージ)

3.2.2 パッケージ最適化設計

DC/DCコンバータは高効率化のためパワー段に流れる電流経路を最短に設計することが求められる。本製品の場合スイッチング周波数が2.2MHzと高周波になるので電流経路が長くなると性能低下につながる懸念がある。電流経路を最短に設計するために、リードとチップパッドをつなぐワイヤーを最短にするようなパッケージサイズを選定し、パワー出力段の端子は外付け素子が最適な配置になるような端子配列とした。

3.2.3 検査効率改善

本製品はウエッタブルフラックタイプQFNパッケージを採用している。従来のQFNパッケージは、リードと基板の接合部分がリード底面部分しかなくはんだの接着状態がAOI (Automated Optical Inspection) で確認できない問題があった。ウエッタブルフラックの特徴としてリード側面にもメッキ加工することでAOIが可能となり検査難易度およびコストの削減に貢献できる。(図5: 実装写真)

さらに本製品の異常状態を個別に検出するために診断機能を搭載し、電流保護、入力過電圧保護、出力過電圧保護、出力低電圧保護、過熱保護の検知状態を、SPI通信を介して上流システムに伝達することができる。

3.2 パッケージ設計

3.2.1 パッケージの選定

本製品にはQFNパッケージを採用した。QFNパッケージはリードがなくパッケージ厚も薄いことから高密度実装に優れており、裏面部分にフィンを搭載している

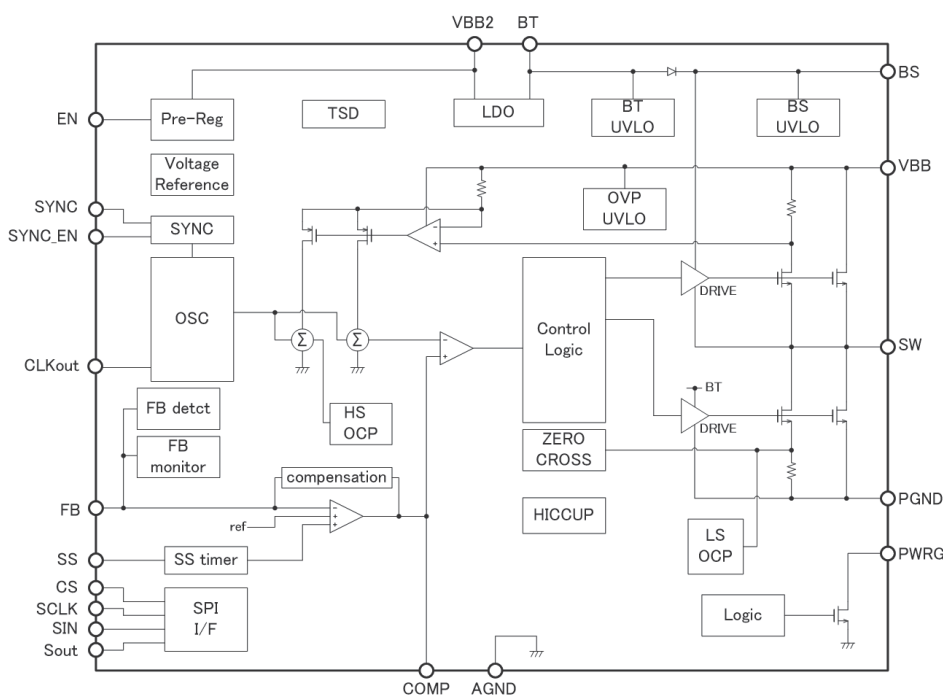


図4 ブロック構成図

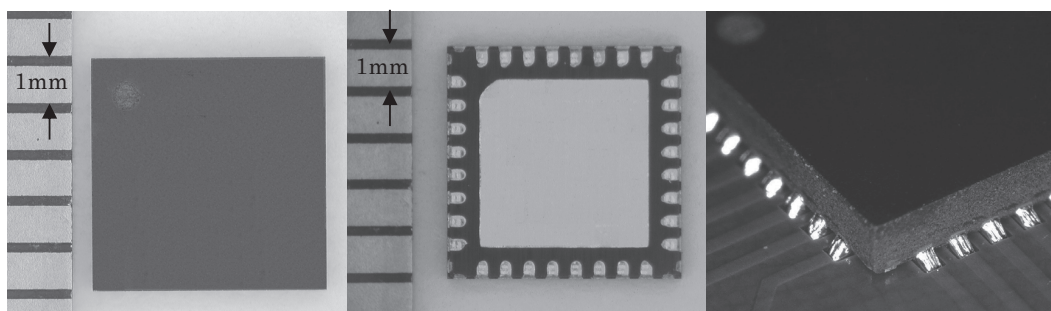


図5 QFNパッケージ表面(左)とQFNパッケージ裏面(中央)と実装写真(右)

4. 製品仕様

本開発品の概略代表特性製品仕様を下記表1に記す。
また標準接続図および並列運転時の標準接続図を図6、
図7に記す。

表1 電気的特性抜粋

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

項目	記号	規格値			単位	項目	記号	規格値			単位
		Min.	Typ.	Max.				Min.	Typ.	Max.	
入力低電圧保護閾値	V_{BBUV_OFF}	—	3.3	3.5	V	過熱保護開始温度	TSD	155	170	—	$^\circ\text{C}$
入力低電圧保護ヒステリシス	V_{wlo_hys}	—	0.1	—	V	過熱保護開始温度ヒステリシス	TSD_{hys}	—	15	—	$^\circ\text{C}$
過電圧保護閾値	V_{BBOV_ON}	—	39.9	42	V	PWMスイッチング周波数	f_{sw}	1.98	2.20	2.42	MHz
過電圧保護ヒステリシス	V_{BBOV_hys}	—	0.6	—	V	CLK端子出力周波数	f_{CLKout}	—	f_{sw}	—	MHz
フィードバック電圧	V_{FB}	582	600	618	mV	CLK端子位相遅れ	ϕ_{CLKout}	—	180	—	deg
フィードバック電圧温度係数	$\Delta V_{FB}/\Delta T$	-0.07	—	+0.07	mV/ $^\circ\text{C}$	SW最大ONデューティ	D_{MAX}	90	—	—	%
ソフトスタート時間*	t_{ss}	—	2.5	—	ms	最小ON時間	t_{ONmin}	—	60	—	ns
フィードバック過電圧閾値	V_{FB_OV}	640	660	680	mV	ハイサイドMOSオン抵抗	R_{onH}	—	68	79	m Ω
フィードバック低電圧閾値	V_{FB_UV}	523	540	557	mV	ローサイドMOSオン抵抗	R_{onL}	—	46	52	m Ω
過電流保護開始電流	I_{OCP}	5.25	7.5	10.8	A	デッドタイム	t_{DEAD}	—	5.3	—	ns

*外付け調整用抵抗 $R_{ss} = 240\text{k}\Omega$ 時の特性

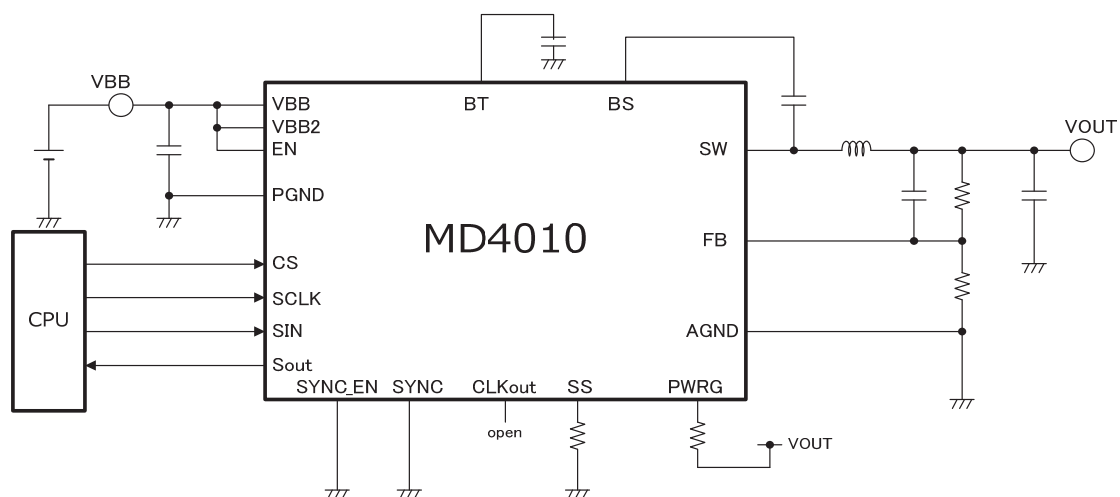


図6 標準接続図

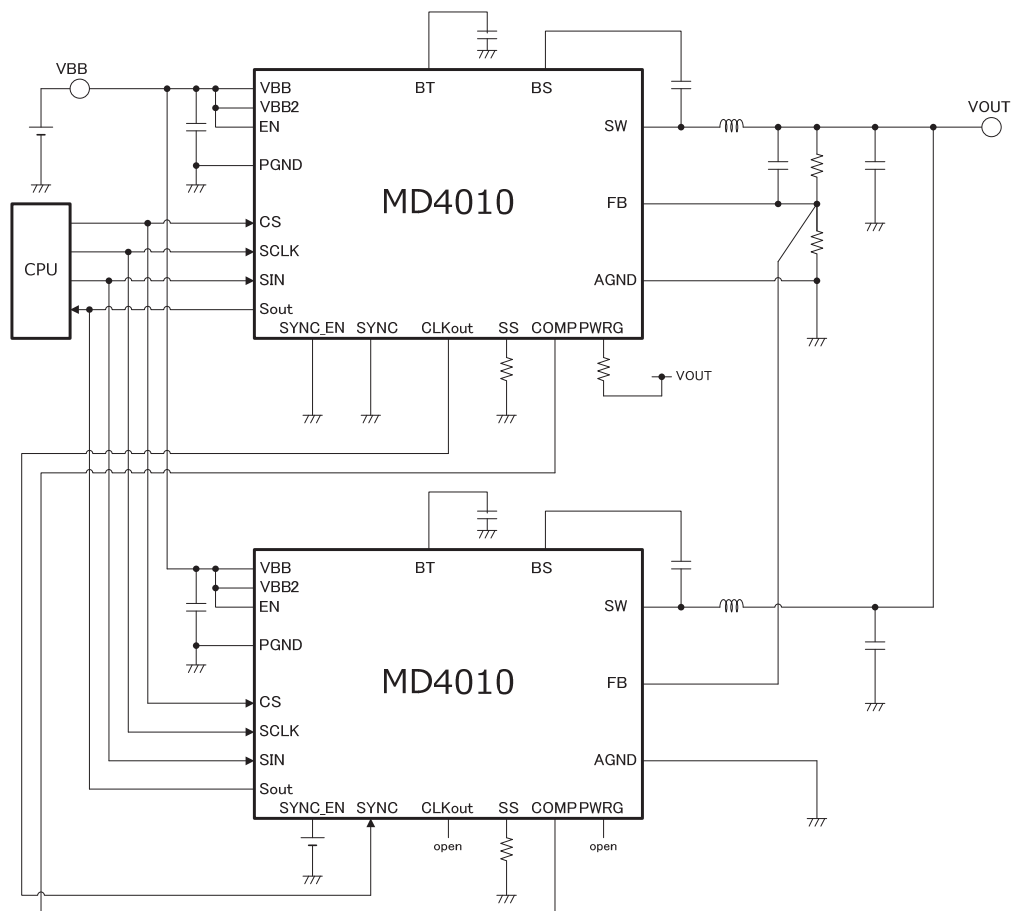


図7 並列運転時の標準接続図

5. むすび

MD4010は高耐圧・大電流に対応した車載用DC/DCコンバータとして開発した。また当社ではこれまで

ADAS用途向けの電源開発もおこなっており、これらを含めてさらなる車載用電源IC製品のラインアップ拡充をおこなう予定である。