

# OBC向けPFCモジュールSDE6530シリーズの開発

## Development of PFC Module “SDE6530 Series” for OBC

一 瀬 聡\*  
Akira Ichinose

**概要** 近年、自動車市場においてプラグインハイブリッド車 (PHV)、電気自動車 (EV) の需要が高まっている。PHV、EVが搭載する高圧バッテリーへのエネルギー供給はOBC (On Board Charger) と呼ばれる充電システムを通して行われており、OBCでは高調波規制を行うためのPFC (Power Factor Correction) 回路が必要となる。今回、PFC回路部分に使用される制御IC、スイッチング素子を一つのパッケージに搭載した製品SDE6530シリーズを開発した。

### 1. まえがき

近年、自動車市場においてプラグインハイブリッド車 (PHV)、電気自動車 (EV) の需要が高まっている。PHV、EVが搭載する高圧バッテリーへのエネルギー供給には、就寝時などの充電を目的とした、AC100/AC200を車両へ接続して充電を行う普通充電と、充電ステーションなどで、AC200VからDC50V～500Vへ変換された電圧を車両へ接続して充電を行う急速充電がある。図1に示すように、普通充電では車両への入力AC (交流) であり高圧バッテリー電圧はDC (直流) であるため、OBC (On Board Charger) と呼ばれる充電システムを車両へ搭載しAC (交流) をDC (直流) へ変換した上で高圧バッテリーへエネルギー供給が行われる。OBCには高調波を低減するためのPFC (Power Factor Correction) 回路が必要となる。現在、市場でのPFC回路構成は制御IC、ゲート駆動用IC、スイッチング素子を別々に搭載した構成が主流であるが、OBCへは更なる小型、軽量化、高信頼性化、高効率化の要求が強まっている。

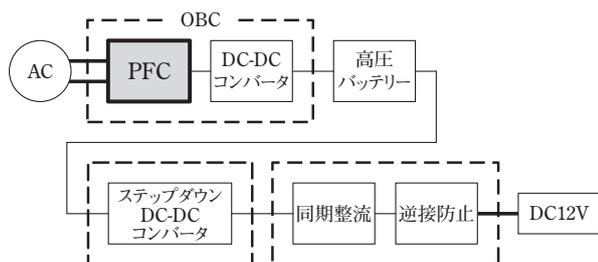


図1 PHV/EV普通充電システム  
Normal charge system of PHV/EV

今回、制御IC、ゲート駆動用IC、スイッチング素子を1パッケージ化することで、それらの要求に対し有利となる製品SDE6530シリーズを開発した。

### 2. 製品概要

今回開発した製品SDE6530シリーズの外観写真を図2に示す。

本製品は7.5kW向けのOBCをターゲットとしており、放熱性、絶縁距離を考慮しパッケージの選定を行った。なお、パッケージは2016年度サンケン技報掲載のSAE6500シリーズと同様のパッケージである。

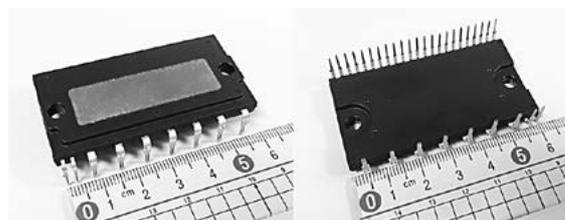


図2 パッケージ外観  
External view of package

今回開発した製品SDE6530シリーズは、二相インターリーブ制御に対応した電流連続モード (CCM) 動作を行うためのドライバー内蔵PFC制御IC (1チップ)、パワーMOS FET (2チップ)、昇圧ダイオード (2チップ)、サーミスタ (1個) を内蔵してあり、本製品の最大定格電圧は650V、最大定格電流はDC30Aである。

表1に本製品の主な絶対最大定格を、また内部ブロック図を図3に、応用回路例を図4に示す。

\*技術本部 開発統括部 IC開発1部 技術4課

表1 絶対最大定格  
Absolute maximum ratings

項目	記号	定格	単位
ドレイン-ソース間電圧	$V_{DS}$	650	V
ドレイン電流	$I_D$	30	A
熱抵抗	$R_{\theta(J-C)}$	0.7	$^{\circ}C/W$
ジャンクション温度	$T_j$	150	$^{\circ}C$

保護動作として、低電圧保護 (UVLO : Under Voltage Lock Out), 過電流保護 (OCP : Over Current Protection), 過電圧保護 (OVP : Over Voltage Protection), 加熱保護 (TSD : Thermal Shut Down) を搭載している。過電流保護 OCP は、パワー MOS FET のドレイン側で製品外部にカレントトランス (CT) を接続し、ドレイン電流を電圧へ変換した波形を電流検出端子 (CS 端子) へ入力する構成としている。過電圧保護 OVP は設定する出力電圧が高くなった場合に保護を行う機能である。出力電圧から抵抗分割により分割された電圧を OVP 端子へ入力する構成としている。加熱保護 TSD は、制御 IC の異常温度上昇がある場合に動作停止する機能である。

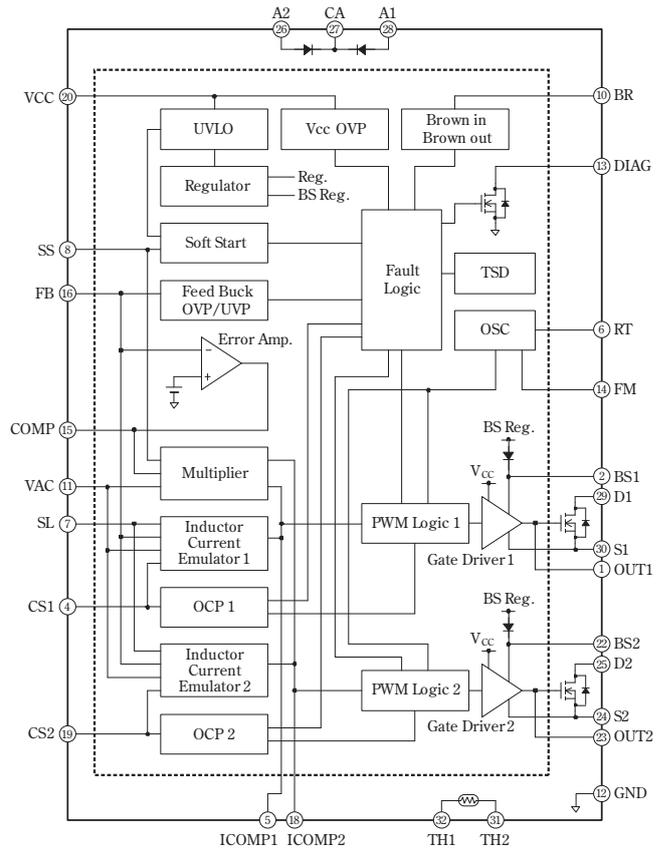


図3 内部ブロック図  
Internal block diagram

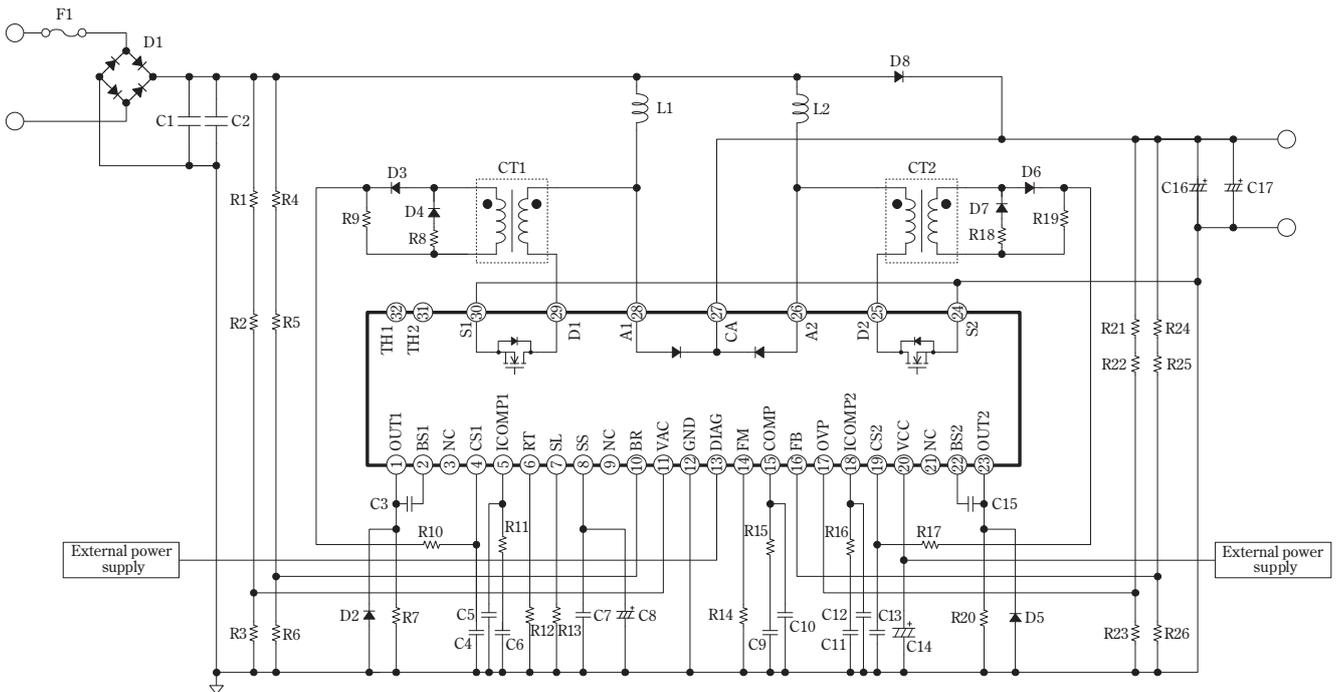


図4 応用回路例  
Example of typical application circuit

### 3. PFC制御

本製品は、平均電流制御を行うことで電流連続モード (CCM : Continuous Conduction Mode) の二相インターリーブ動作に対応したPFC制御を行っている。以下に本製品の特徴であるCCMインターリーブ動作と平均電流制御について説明する。

#### 3.1 CCM インターリーブ動作

図5に示すようにCCM動作のインダクタ電流は、電流臨界モード (CRM : Critical Current Mode) よりも正弦波に近い波形となり高力率を実現可能である。

また、CCM動作ではインダクタ電流のピーク値も抑えられることから、インダクタを小さく設計可能であり、小型化に適している。

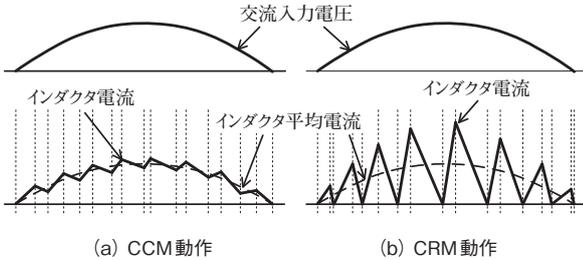


図5 インダクタ電流  
Inductor current

図6、図7に単相方式の場合と二相インターリーブ方式の場合のPFC回路を示す。

各方式のCCM動作では、図8のようにパワーMOS FETに台形波の電流 $I_{ON}$ が流れる。二相インターリーブ方式のCCM動作では、180度の位相差で各相のパワーMOS FETに電流が流れるように制御を行っており、インダクタ電流 $I_L$ のリプルは単相方式に比べて小さく、更にリプルの周波数も上がるため、入力コンデンサ $C_{IN}$ の容量を小さくすることが可能である。また、単相の場合より各パワーMOS FETに流れる電流が小さくなるためパワーMOS FETへの負担を軽減可能である。

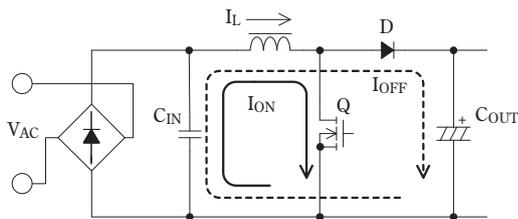


図6 PFC回路 (単相方式)  
PFC circuit (Single phase)

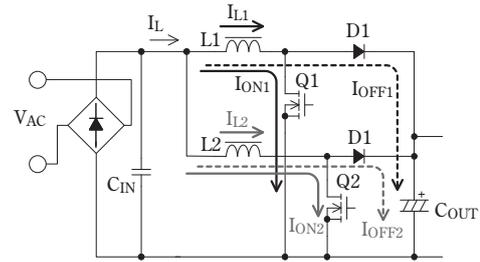


図7 PFC回路 (二相インターリーブ方式)  
PFC circuit (2-phase interleaved)

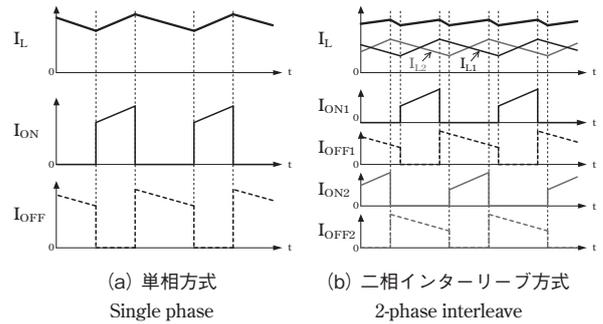


図8 CCM動作波形  
CCM operational waveforms

#### 3.2 平均電流制御

以下に本製品における平均電流制御の概要を説明する (各相の制御方式は同じであるため片側のみ説明)。

図9に示すように、Reference current generatorブロックでは、VAC端子電圧とCOMP端子電圧を受けてAC入力電圧と負荷電流の状態を検知し、目標インダクタ平均電流 $I_{REF}$ をICOMP1端子に接続しているコンデンサへ充電する。

また、Inductor current emulatorブロックでは、FB端子電圧、SL端子電圧とCS1端子電圧を受けて、実際にインダクタに流れている平均電流を算出し、 $I_{EL1}$ でICOMP1端子の接続しているコンデンサの放電を行う。

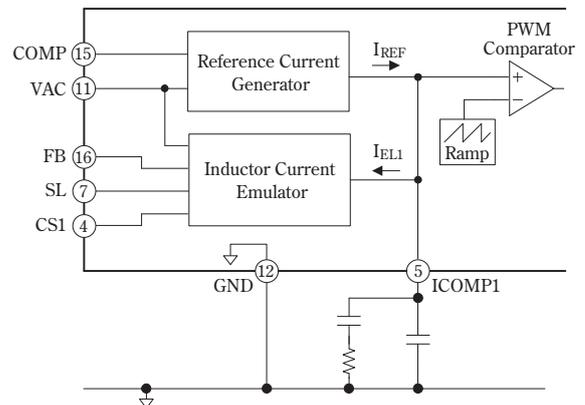


図9 ICOMP1端子周辺回路および内部回路  
Internal Circuit Diagram of ICOMP1 Pin and Its Peripheral Circuit

定常動作では $I_{EL1}$ と $I_{REF}$ は同じ電流値となるように制御される。負荷変動などで出力電圧が目標から外れた場合などは、 $I_{EL1}$ が基準となる $I_{REF}$ から外れるため、 $I_{EL1}$ と $I_{REF}$ の合成電流が、ICOMP1端子に接続されたコンデンサを充放電して、ICOMP1端子電圧を調整する。このようにICOMP1端子電圧を調整し、PWM信号を制御することで出力電圧の制御を行っている。

#### 4. 実動評価結果

以下に本製品を使用して、出力負荷電力 $P_{OUT}$ を7.5kWまで実動させた時の効率と力率の結果を示す。評価条件は表2に示す。

表2 測定条件  
Measurement conditions

入力電圧	AC 240V
出力電圧	DC 390V
スイッチング周波数	30kHz
水冷却温度	65℃

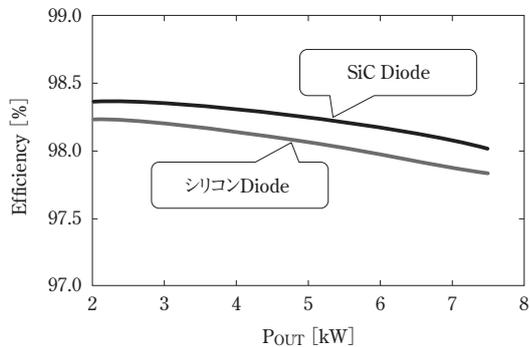


図10 効率—出力電力  
Efficiency vs. Output power

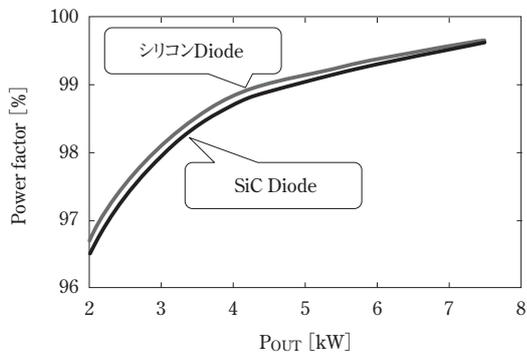


図11 力率—出力電力  
Power factor vs. Output power

ダイオードはシリコン製とSiC製の2種類、MOS FETはスーパージャンクションのMOS FETを搭載してある。

シリコン製のダイオードには、ソフトリカバリー特性のダイオードを使用している。

また、SiC製のダイオードには、本書掲載のFMPA-10565と同等シリーズチップ(電流容量違い)を使用している。

SiC製のダイオードでは、効率が出力負荷7.5kWで98%を超える高い値の特性を得ることができた。力率は出力負荷2kW以上で96%以上となっている。

#### 5. むすび

PHV, EVのバッテリー充電システムを構成するOBCに最適な製品として、SDE6530シリーズを開発し、出力電力7.5kWで効率が98%以上を実現した。

今後は、さらに周波数を上げて小型、軽量化の要求に対応できるように開発を進めて行く所存である。