

# デジタル PMIC MD6801 による微細プロセス SoC 用 高精度・低電圧・大電流電源システムの開発

## Development of High-precision, Low-voltage, High-current Power Supply System for Fine Process SoC by Digital PMIC MD6801

中野利浩\*  
Toshihiro Nakano

林秀樹\*  
Hideki Hayashi

中村勝\*\*  
Masaru Nakamura

概要 自動車市場において先進運転支援システム (ADAS) や自動運転 (AD) の開発が急速に進められている。ADAS・ADは自動化レベルが上がるにともない制御も複雑になるため、より高性能な SoC を使用することになる。高性能な SoC を動作させるには高精度・低電圧・大電流の要求に対応できる電源システムが必要になる。

そこで車載 ADAS 用デジタル PMIC 「MD6801」を用いて、出力電圧精度が悪化する要因となる、オフセット誤差ならびに温特誤差を補正する手法をアナログ制御電源およびデジタル制御電源ともに構築し、高精度な電源システムを開発したので報告する。

### 1. まえがき

自動車による交通事故の抑制やドライバーの負担軽減のため、緊急時の自動ブレーキなどに代表される「先進運転支援システム (Advanced Driver Assistance System : ADAS)」や、運転自体を自動車に搭載されたシステムが行う「自動運転 (Autonomous Driving : AD)」の開発および普及が急速に進められている。

ADAS・ADは一般的に自動化レベルが上がるに伴い、システムに求められる制御も複雑になり、その処理をおこなう SoC も、より高速かつ高性能なものが必要になってきている。

そのような高速かつ高性能な SoC を動作させる電源には、低電圧・大電流かつ高精度な特性が要求される。

その要求に対応するため、車載 ADAS 向けデジタル制御電源 IC 「MD6801」を用いて、高精度な電源システムを開発した。

### 2. MD6801 の機能と特徴

今回使用した MD6801 の主な特徴を以下に、外観を図 1 に示す。

- ①アナログ制御 3ch, デジタル制御 8ch のマルチ出力。
- ②60V 耐圧のアナログ昇降圧コンバータ内蔵でバッテリー電圧による直接駆動が可能。
- ③アナログコンバータのスイッチング周波数は、AM ラジオ帯を考慮した 2.2MHz (Typ)。
- ④デジタル制御部はプログラムにより様々な電源トポロジーに対応可能。
- ⑤CPU のデュアルコアロックステップ化や自己診断機能を搭載し、ASIL-C 相当の故障検出率を実現。
- ⑥従来から大幅に強化した DSP・EPU (Event Processing Unit) を搭載し、より高度な電源制御が CPU を使わずに実現可能。
- ⑦CPU には「Arm Cortex<sup>®</sup>-M4 Processor with FPU (以下、Cortex-M4F)」を採用。

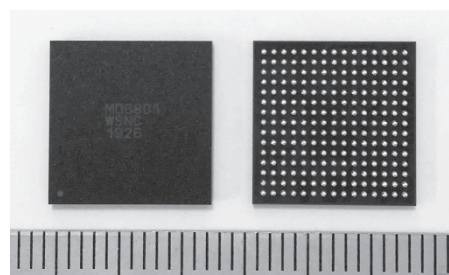


図 1 製品外形写真

(左 : Top View, 右 : Bottom View)

\* マーケティング本部 パワーデバイス開発統括部  
デジタル開発部 開発課  
\*\* マーケティング本部 パワーデバイス開発統括部  
電源 IC 開発部 開発 2 課

⑧パッケージに LFBGA-225 (13mm × 13mm, 0.8mm ピッチ) 使用で小型・高機能。

## 2.1 アナログ制御電源ブロック

MD6801 は自身の電源とデジタル制御電源ブロックで使用するゲートドライバ用電源を生成する 60V 耐圧の昇降圧コンバータと 9V 耐圧の降圧コンバータからなるアナログ制御電源ブロックを搭載している。各コンバータともにパワー MOSFET を内蔵しており、数少ない外付け部品で電源システムを構成可能である。

また、コンバータの起動・停止、出力電圧・過電圧保護閾値・低電圧検出閾値などの設定は、マイコンから任意に設定可能である。

スイッチング周波数は 2.2MHz (Typ) であるが、マイコンからのパルス信号に同期させる機能も有している。

## 2.2 デジタル制御電源(マイコン)ブロック

マイコンのブロック構成を図 2 に示す。MD6801 のマイコンには、アナログモジュールとして電源制御に必要な出力電圧の検出や監視用の高速 A/D 変換器 (ADC) を 19 個と、基準電圧設定用 D/A 変換器付き高速アナログコンパレータを 28 個搭載している。

ロジック部は、CPU には浮動小数点ユニット付き 32bit CPU Cortex-M4F を採用。デジタル電源制御の中心となるユニットとして浮動小数点演算対応 DSP, マルチスレッドイベントプロセッサ EPU および 1ns 分解能 PWM をそれぞれ 4 個ずつ搭載している。DSP・EPU については、32bit 化や命令セットを拡充するなど、従来品 (MD6603 など) に対して大幅に強化した。

そのため、従来製品同様の CPU を使用しないセルフランニング方式で、より高度な電源制御の実現を可能にしている。

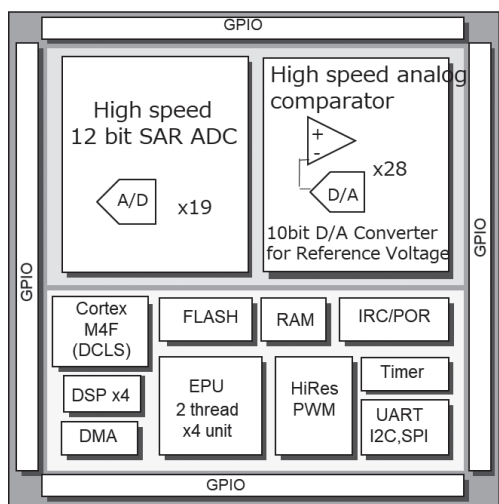


図 2 マイコンチップのブロック構成

## 3. 出力電圧の高精度化

出力電圧は基準電圧と出力電圧 (検出電圧) を比較し、同じ値となるようにフィードバック制御をおこなっている。

そのため、出力電圧に生じる誤差の主な原因は、一般的に基準電圧および検出電圧の絶対値のズレ (オフセット誤差) と、温度変化による基準電圧および検出電圧の変動 (温特誤差) と考えられる。

MD6801 はアナログ制御電源ブロックおよびデジタル制御電源ブロックともに内蔵マイコンから基準電圧値の変更が可能であり、温度センサも内蔵している。

これらの特徴を活かし、オフセット誤差ならびに温特誤差を補正することで、アナログ制御電源ブロック、デジタル制御電源ブロックともに出力電圧の高精度化を実現した。

### 3.1 アナログ制御電源の高精度化

図 3 にアナログ制御電源のブロック構成を示す。

アナログ制御電源は出力電圧 (検出電圧) と基準電圧 (基準値) をエラーアンプで比較する。制御のフィルタ特性は抵抗やコンデンサのハードウェアで構成されており、エラーアンプの出力電圧を PWM 発振器に入力し ON 幅を調整することでフィードバック制御をおこなう。

誤差補正については、エラーアンプの基準値を補正することで可能となる。(MD6801 は内蔵のマイコンから通信で基準値を随時変更できる。)

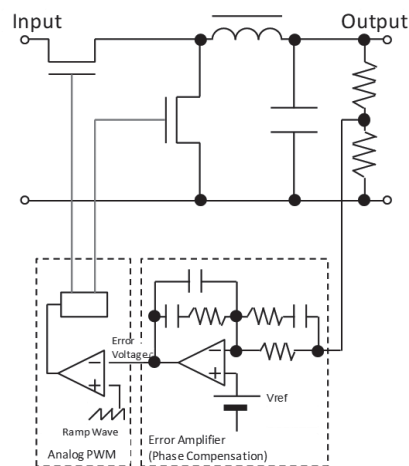


図 3 アナログ制御電源のブロック構成

#### 3.1.1 アナログ制御用補正係数の抽出

図 4 にアナログ制御用補正係数の抽出フローを示す。

IC の検査工程において、基準電圧を 0.6V に設定したときのフィードバック電圧 ( $V_{FB}$ ) を  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $150^{\circ}\text{C}$  の各条件で測定する。その測定値から、図 5 に示す補正

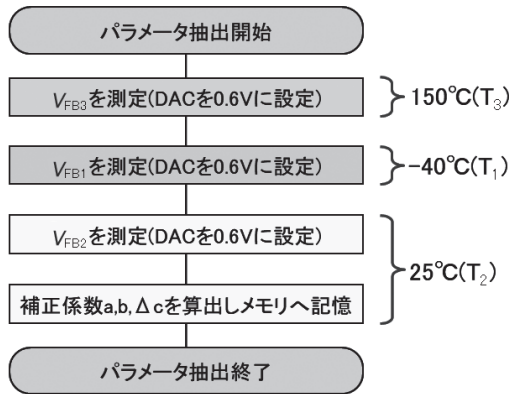


図4 アナログ制御用補正係数抽出フロー

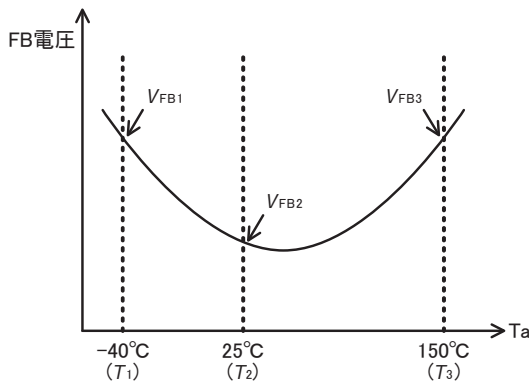


図5 アナログ制御用補正係数の算出イメージ

イメージと(1)式から、補正係数 a, b, c を算出し温度データと共にメモリへ記憶する。

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{(V_{FB1} - V_{FB2})(T_1 - T_3) - (V_{FB1} - V_{FB3})(T_1 - T_2)}{(T_1^2 - T_2^2)(T_1 - T_3) - (T_1^2 - T_3^2)(T_1 - T_2)} \\ b &= \frac{(V_{FB1} - V_{FB2}) - a(T_1^2 - T_2^2)}{(T_1 - T_2)} \\ \Delta c &\approx V_{FB2} - 0.6 \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

### 3.1.2 アナログ制御用補正値の算出と適用

現在の温度をMD6801内蔵の温度センサで検出し、その出力値 (T) を得る。次に(2)式を用いて補正後の基準電圧設定値 ( $D_{REF2}$ ) を算出する。

マイコンで算出した  $D_{REF2}$  の値を通信によって、アナログ制御電源ブロックの基準電圧用D/A変換器に設定することで、フィードバック電圧の補正をおこなう。

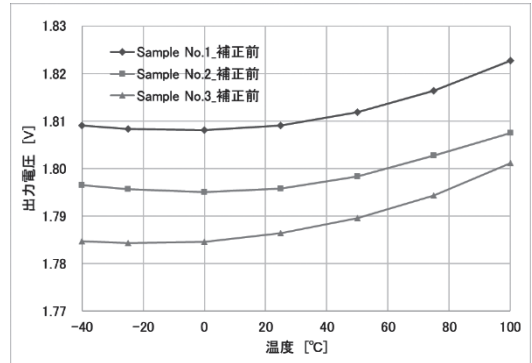
$$D_{REF2} = D_{REF1} \left[ 1 - \frac{1}{0.6} (aT^2 + bT + \Delta c) \right] \dots (2)$$

$D_{REF2}$ : 補正後フィードバック目標値(デジタル値)  
 $D_{REF1}$ : 補正前フィードバック目標値(デジタル値)

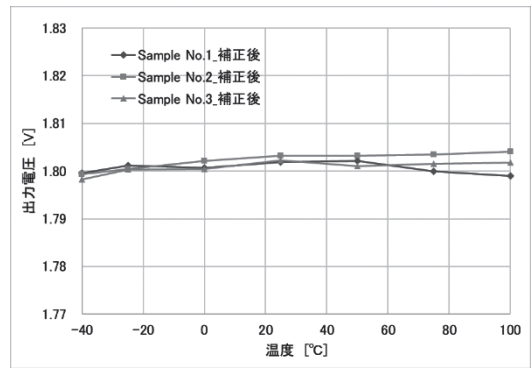
### 3.1.3 アナログ制御電源における測定結果

図6にアナログ制御電源における補正前後の測定結果の一例を示す。(出力: 1.8V, 0.1A)

補正をおこなうことで約22.9mVあった誤差が約4.1mVに大幅に改善されている。このときの出力電圧精度は  $1.8V \pm 0.16\%$  であり非常に良好な結果が得られた。



(a) 補正前の出力電圧特性



(b) 補正後の出力電圧特性

図6 アナログ制御電源の測定結果

## 3.2 デジタル制御電源の高精度化

図7にデジタル制御電源のブロック構成を示す。

デジタル制御電源は出力電圧 (検出電圧) をA/D変換器でデジタル値に変換し、その値とDSPに設定された基準電圧 (基準値) を比較する。比較結果を基にDSPでデジタルフィルタ演算をおこない、PWM出力のON幅を算出してフィードバック制御をおこなっている。

誤差補正については、A/D変換器の出力値またはDSP内の基準値を補正することで可能となる。

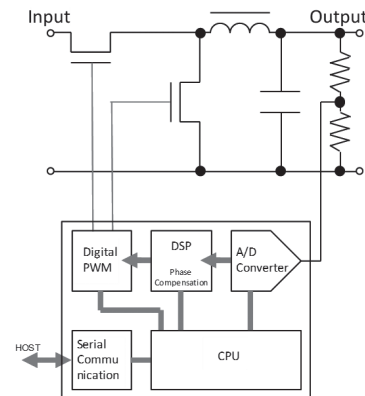


図7 デジタル制御電源のブロック構成

### 3.2.1 デジタル制御用補正係数の抽出

図8にデジタル制御用補正係数の抽出フローを示す。

ICの検査工程において、A/D変換器への入力電圧を変更して、複数ポイントで入力電圧とA/D変換器の出力値との誤差を $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $150^{\circ}\text{C}$ の条件で測定する。その測定値から、各測定ポイントの差が最も小さくなる条件を選択するとともに、図9に示す補正イメージと演算(3)式から、補正係数A、Bを低温領域、高温領域それぞれで算出し温度データと共にメモリへ記憶する。

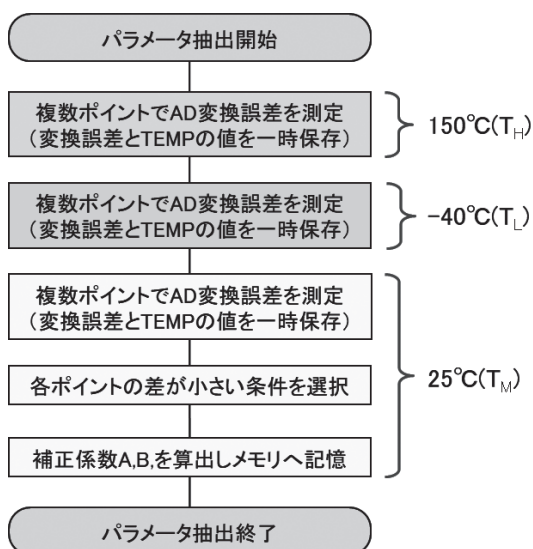


図8 デジタル制御用補正係数抽出フロー

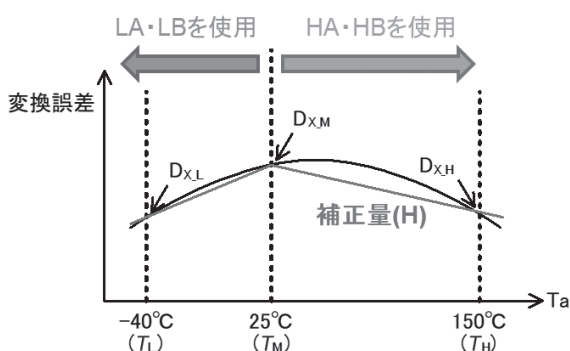


図9 デジタル制御用補正係数の算出イメージ

$$\text{補正量}(H) = A \times \text{温度}(\text{TEMP}) + B \quad \dots (3)$$

### 3.2.2 デジタル制御用補正値の算出と適用

現在の温度をMD6801内蔵の温度センサで検出し、その出力値(TEMP)を得る。次にTEMPの値とメモリ上に記憶されている室温時の温度センサ値( $T_M$ )を比較し、 $\text{TEMP} \geq T_M$ のときは高温用係数 $H_A, H_B$ 、 $\text{TEMP} < T_M$ のときには低温用係数 $L_A, L_B$ と(3)式を用いて補正量(H)を算出する。算出した補正量(H)をA/D変換器のオフ

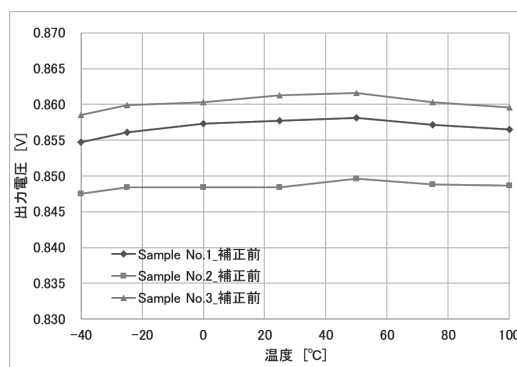
セットレジスタに書き込む。

MD6801のA/D変換器はオフセットレジスタに書き込まれた値とA/D変換結果を自動的に加算し、その結果を変換結果値として出力する機能を有しており、補正值をオフセットレジスタに書き込むだけで補正值がA/D変換結果に適用される。

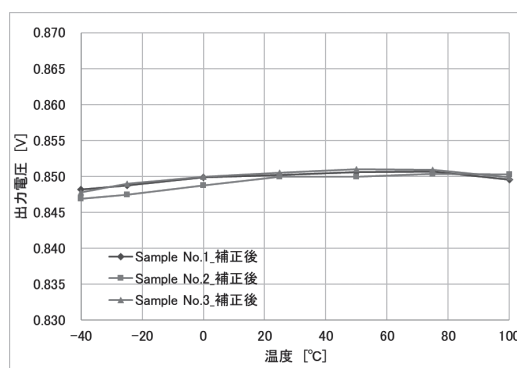
### 3.2.3 デジタル制御電源における測定結果

図10にデジタル制御電源における補正前後の測定結果の一例を示す。(出力:  $0.85\text{V}$ ,  $7\text{A}$ )

補正することで約 $11.6\text{mV}$ あった誤差が約 $3.06\text{mV}$ に大幅に改善されている。このときの出力電圧精度は $0.85\text{V} \pm 0.24\%$ であり、非常に良好な結果が得られた。



(a) 補正前の出力電圧特性



(b) 補正後の出力電圧特性

図10 デジタル制御電源の測定結果

## 4. むすび

今回、MD6801を使ったアナログ制御電源およびデジタル制御電源の高精度化のための補正方法を開発した。

実際に電源ボードを作成し、効果確認をおこなったところ、アナログ制御電源では $1.8\text{V} \pm 0.16\%$ 、デジタル制御電源では $0.85\text{V} \pm 0.24\%$ と非常に良好であった。

この結果を踏まえて、今後、さらなる低電圧、大電流、高精度が必要となるSoC向け電源市場へMD6801を用いたアプリケーション展開を進める予定である。