

Digital 制御 IPM の開発

Development of Digital controlled IPM

稲垣 友和*
Tomokazu Inagaki

内藤 裕也**
Yuya Naito

李 維哲***
Wei Tseh Li

概要 エアコンファンモータのインバータ制御化が加速してきている。それに伴い、ファンモータの採用数・種類が増加し、モータごとの速度制御方法、パラメータの最適化、発生ノイズの確認と規格内への調整を容易におこないたいという要求が高まってきている。本製品はMicro Controller Unit (以下MCU) をモータドライバICに内蔵することで、ロバストで高効率な特性を少ない開発工数で実現することを目的とした製品である。本稿ではICの特長と共に低損失や低ノイズの要求に対応が可能なスイッチング速度切り替え機能に焦点を当てて報告する。

1. まえがき

省エネ規制によるエアコンのモータのインバータ制御の動きが加速している。エアコンには、コンプレッサ駆動モータ、室外ファンモータおよび室内ファンモータの3つがインバータ制御化の対象となるが、コンプレッサ駆動モータおよび室外ファンモータはワールドワイドで約80%、室内ファンモータも約60%がインバータ制御化されるまでになってきている。

このうち室内ファンモータは、駆動部を内蔵した機電一体モータを使用するのが一般的となっている。当社は機電一体モータに適したモータドライバICを開発し、市場に提供してきた⁽¹⁾⁽²⁾。



図1 SIM2652M のパッケージ外観写真

しかし近年、エアコンセットメーカー各社が、室内ファンの駆動部を機電一体ではなく、自前の基板に搭載する自社内製化の検討が増えている。この場合、セットメーカーがモータ制御の詳細を決める必要が出てくるため、セットメーカーからは少ない工数・期間でモータ駆動部の開発が可能なICの需要が高まっている。当社では、このような市場要求に対応するため、モータドライバICにMCUを内蔵したDigital制御IPMを開発した。

2. Digital制御IPMの特徴

Digital制御IPMは本IC1つでロバストかつ高効率をユーザーが少ない工数・期間でモータを駆動できることを開発コンセプトとした。このコンセプトを実現するため、部品点数を少なくモータ動作が可能なセンサレス制御を実現できる製品構成とした。

図1にDigital制御IPMのパッケージの外観写真を示す。SIMのパッケージ寸法は樹脂部で36.0mm×14.8mm×4.0mmのDIP型である。定格は600V 5Aで、5A出力時に $V_{cesat} = 1.75V_{typ}$ のIGBTを6石内蔵しており、エアコンファンモータのみならず、冷蔵庫のコンプレッサ駆動モータ等にも適用が可能である。

Digital制御IPMの制御部の特徴は、以下の通りである。MCUに書き込むFirmwareを変更することで、機能を選択することが可能である。

- ブラシレスモータのセンサレスベクトル制御
- 制御部駆動用のレギュレータ内蔵
- モータ回転数指令 (V_{sp}) 入力と推定回転数 (FG) 出力

* 半導体事業本部 マーケティング本部
パワーモジュール開発統括部
IPM 開発部 開発1課

** 半導体事業本部 マーケティング本部 プロセス技術統括部
IC 設計部 IC 設計課

*** 台湾サンケン新竹デザインセンター

- 通信機能を利用したIC制御やデバッグ (UART, SWD) Firmwareによる機能選択
- モータパラメータのメモリ格納と起動呼出
- スイッチング速度切り替え機能 (低損失, 低ノイズ)
- DC Link 電圧 (VM) モニタ
- 豊富な保護回路の内蔵 (UVLO, OVP, OCP, TSD)
- 通信機能で保護動作を上位 MCU へフィードバック

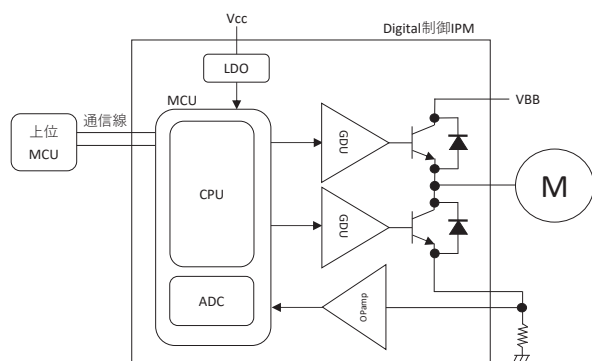


図2 SIM2652Mのブロック図

図2にブロック図を示す。従来のゲートドライブ部 (GDU) と出力トランジスタに加えて、MCUを内蔵することで、本製品のみでモータ駆動が可能となっている。

ここでは本製品の特長の1つである、スイッチング速度切り替え機能に焦点を当てて、実現手段と実動作の確認結果を次項以降に示す。

3. スwitchング速度切り替え機能

一般的なスイッチングデバイスは、低損失や低ノイズ等の要求を満たすように、GDUの出力値を調整することで実現している。一方でDigital制御IPMは、1つの製品で低損失または、低ノイズを意図した2種類のスイッチング速度を選択することが可能である。これにより評価過程で製品の再選択が不要となるため、新製品開発リードタイムの短縮につながることや、顧客の要望に対して迅速に製品の提供が可能となる。

また本機能を活用すると、モータ回転中に状況に応じて低損失モードと低ノイズモードを自動で切り替えることにより、スイッチング損失低減や、ノイズ抑制を実現することも可能である。

スイッチング速度切り替え機能は、GDUのゲート抵抗を切り替えることで出力トランジスタのゲート入力値を変更して実現している。この切替信号は、内蔵のMCUによって制御されている。

3.1 回路動作とレイアウト構成

High side GDUにおいてゲート抵抗を切り替えるため

には、MCUからの低圧信号を検知してLevel shift回路を介して高圧部へ信号を伝達する必要がある。その信号を高圧部の回路で受信してゲート抵抗を切り替えることになる。図3にブロック図を示す。

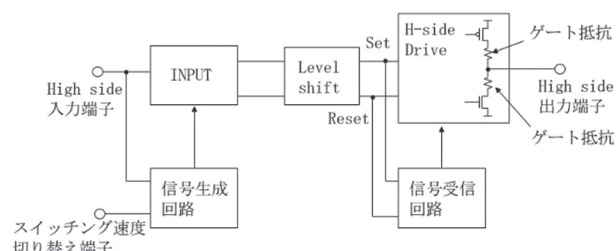
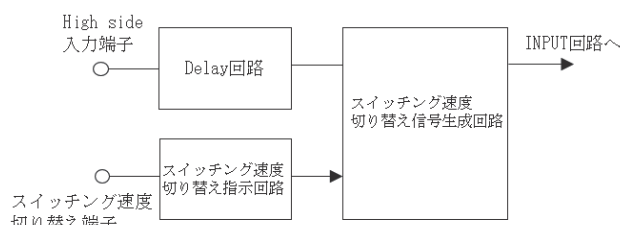
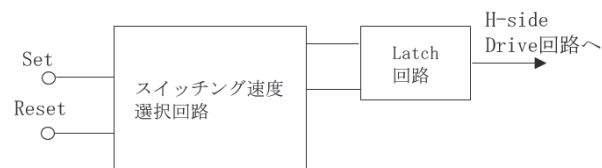


図3 ブロック図

スイッチング速度切り替え端子に信号を与えると、High side入力端子に対して、信号生成回路でスイッチング速度切り替え用の信号が生成され、Level shift回路を介して信号受信回路に伝わる。この信号をもとに信号受信回路でスイッチング速度の値を決定し、H-side Drive回路のゲート抵抗を切り替える。図4(a)に信号生成回路内のブロック図を、図4(b)に信号受信回路内ブロック図を示す。



(a) 信号生成回路内ブロック図



(b) 信号受信回路内ブロック図

図4 スwitchング速度切り替え用回路 内部ブロック図

Digital制御IPMのスイッチング速度切り替え信号は、内蔵しているMCUからの信号に制御される。今回搭載したスイッチング速度切り替え回路の回路方式を使用すれば、温度やICの状態によってスイッチング速度を切り替えることも可能となる。

上記スイッチング速度切り替え回路が搭載されているGDUは、High sideスイッチ用高耐圧フローティングドライバとLow sideスイッチ用ドライバで、双方にスイッ

チング速度切り替え回路を含む制御回路および保護回路を集積している。代表としてHigh side GDUのチップ表面写真を写真1に示す。

本GDUは、当社最新の第7世代高耐压BCDプロセス(SG7HV)を採用した。SG7HVプロセスでは、酸化膜厚の薄厚化によりコンデンサやMOS素子のサイズシュリンクをしていることや、プロセスルールの微細化が可能になったことから、素子集積度が向上している⁽³⁾。本プロセスの最小デザインルールは0.25 μm となっており、スイッチング速度切り替え回路などの多機能化とチップサイズ縮小を両立して実現した。

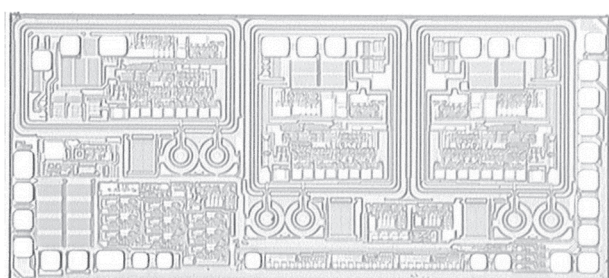


写真1 High side GDUのチップ表面写真

4. スwitching速度切り替え機能の実動作

3項で示したスイッチング速度切り替え機能により、ユーザーは本ICの出力スイッチングを低ノイズまたは低損失に選択することができる。例えば、低ノイズを選択するとスイッチングノイズに起因する電流ピークを抑制することができる。これによってモータ駆動システムのノイズ低減が可能となる。ただし背反事項として、ICの表面温度が上昇し、本ICの損失は増える。

図5に本ICの評価に用いたGraphical User Interface(GUI)を示す。本ICはUART通信端子を兼ね備えており、PC上のGUIによって本ICの機能変更が可能である。ユーザーは黒枠のラジオボタンで、EMIを低減させることができる低ノイズ型(Low noise)または、ICのスイッチング損失の低減が可能な低損失型(Low loss)を選択できる。

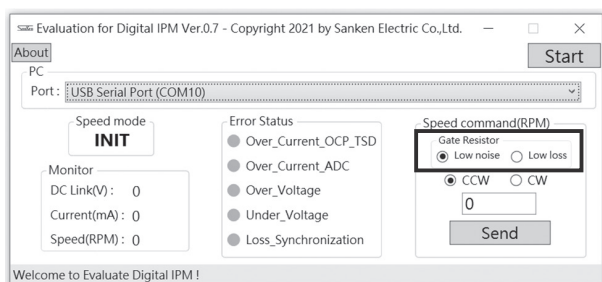


図5 GUIコントロールパネル

図6aに低損失、図6bに低ノイズ型を選択時のU相の相電流波形を示す(モータ回転=1200RPM)。低ノイズを適用した場合に、低損失時と比較してより歪の少ない正弦波を実現できていることがわかる。

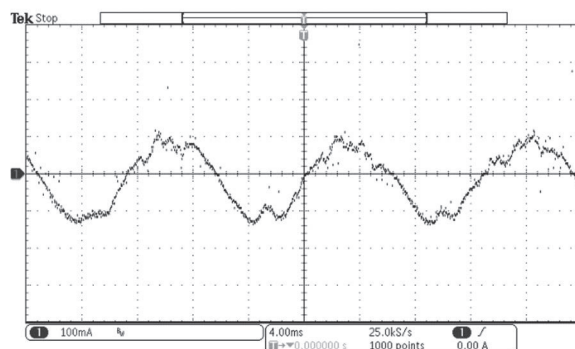


図6a 低損失時の回転相電流波形

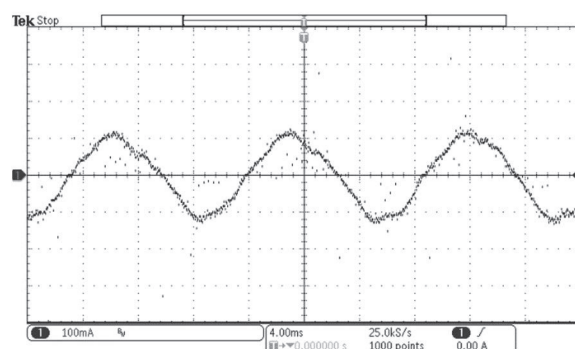
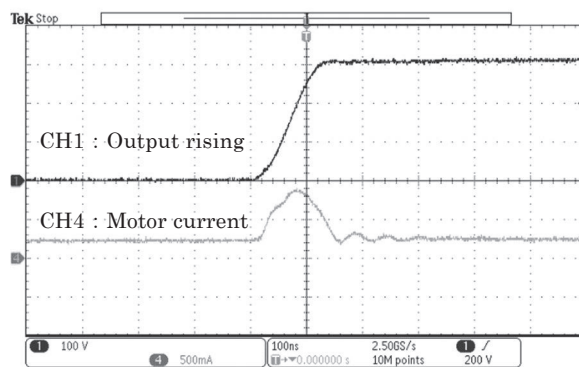


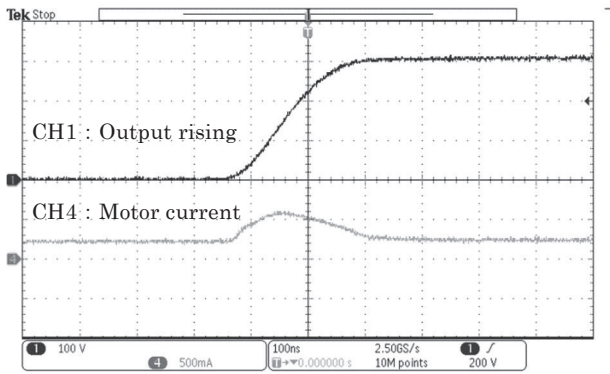
図6b 低ノイズ時の回転相電流波形

図7aと図7bに、低損失時と低ノイズ時の拡大したスイッチング波形の比較を示す。低損失時の出力のdv/dtはおよそ2.6kV/us、低ノイズ時は1.5kV/usとなり、1つのICでのスイッチング傾斜の変更を確認した。



出力立ち上がり時モータ電流波形 (200mA)

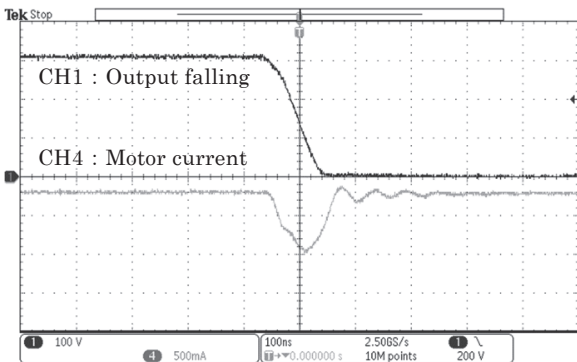
図7a 低損失時



出力立ち上がり時モータ電流波形 (200mA)

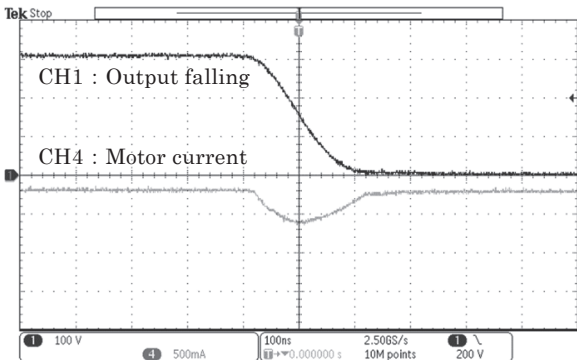
図7b 低ノイズ時

また図8aと図8bは、同様に立ち下がり時のスイッチング波形を示す。低損失時の出力のdv/dtはおよそ3.1kV/us、低ノイズ時は1.8kV/usとなった。低損失を選択時は、スイッチング時モータ電流にリングングが発生している様子を見て取れるが、低ノイズ選択時はそのリングングが抑制され、歪の少ない電流波形となっていることを確認した。



出力立ち下がり時モータ電流波形 (200mA)

図8a 低損失時



出力立ち下がり時モータ電流波形 (200mA)

図8b 低ノイズ時

図9に、低ノイズと低損失型でそれぞれ動作させたときのSIM2652Mの表面温度の比較を示す。図から1700RPM時には低損失は低ノイズより表面温度が3℃低い結果となった。これによりユーザーは消費電力やICの発熱およびモータ出力を考慮して、低損失と低ノイズを使分けできることを確認した。

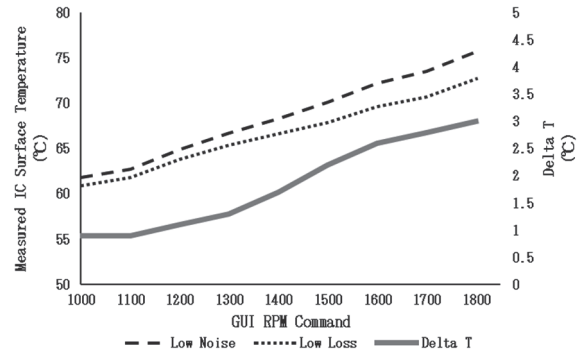


図9 SIM2652M 表面温度比較

5. むすび

変わりゆく市場と顧客の簡単モータ動作の要求に対応していくことを目的として、Digital制御IPMの開発をおこなった。本製品はソフトウェア制御による柔軟性を生かして、さまざまな機能を選択して使用することが可能である。

スイッチング速度切り替え機能に着目して開発結果を示した。当社の最新プロセスを使用したGDUに機能を内蔵することで、低損失と低ノイズの2つのモードを1つの製品で実現した。

今後は市場ニーズにマッチした機能の充実化と、さらに高効率のモータ制御を実現可能なMCUの性能強化をはかっていく。

参考文献

- (1) 山中, 鈴木: サンケン技報, vol.49, p.13-16, (2017.11)
- (2) 鈴木, 李, 砂川: サンケン技報, vol.52, p.29-32, (2020.11)
- (3) 藤田, 青木: サンケン技報, vol.50, p.23-26, (2018.11)