

進角パラメータ抽出ボードの開発

Development of Lead Angle Parameter Extraction Board

鈴木 未生*
Mio Suzuki

李家豪**
Li Chia Hao

砂川千秋***
Chiaki Sunakawa

概要 エアコンファンモータのブラシレスDCモータ化が加速している。ブラシレスDCモータは、ACモータと比べると高効率駆動が可能であるが、その特性を引き出すための回路設計は複雑である。市場拡大にともない短期間での開発が求められるなか、ユーザからは簡単に駆動回路を設計したいという要求が高まってきている。これを実現するために、モータ効率に重要なパラメータとなる進角値の抽出を容易におこなえる評価ボードの開発をおこなった。

1. まえがき

白物家電は、先進国における買い替え需要と、新興国における普及率の向上で堅調な伸びを見せている。特にエアコンは、2020年に中国全土で省エネ基準に関する規制が適用されることから、インバータ回路の搭載機の比率が高まっている。当社では、図1に示すエアコンファン等の小容量モータ向けにモータ制御機能を内蔵したモータドライバICを開発し、提供をおこなってきた⁽¹⁾。



図1 ルームエアコン内観図

モータ制御機能を内蔵したSX6812xMシリーズのブロック図を図2に示す。本製品は、制御MIC (Monolithic Integrated Circuit) にホールアンプを内蔵しており、回

転子の位置に応じて、正弦波二相変調駆動となるPWM信号を出力する。PWM信号を受け取ったドライバMICは、信号を増幅して6素子のパワーMOS-FETを駆動し三相ブラシレスDCモータを回転させることが可能である。

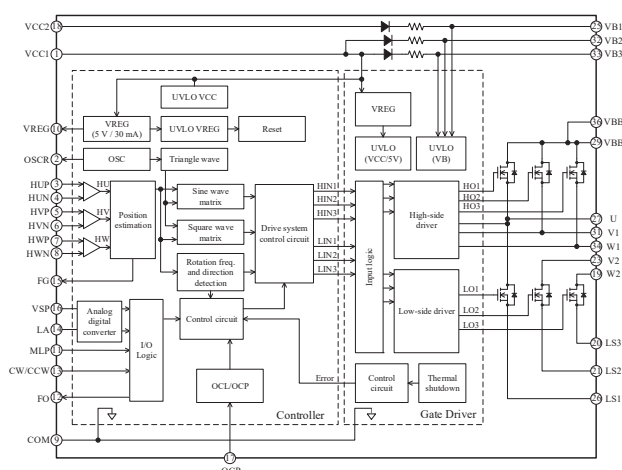


図2 SX6812xM シリーズブロック図

モータを高効率駆動するためには、ICに内蔵された進角調整機能を設定する必要があるが、最適な進角値は駆動するモータの出力トルクや接続される負荷によって左右されるパラメータである。このパラメータの抽出は設計モデル毎に実施する必要があるため多くの工数と時間を費やさねばならないという課題があった。この課題を解

* デバイス事業本部 技術本部 マーケティング統括部 技術課

** 台湾三壘新竹デザインセンター

*** デバイス事業本部 技術本部 IPM 事業部 開発1課

決するべく、進角パラメータ抽出ボードを開発したので報告する。

2. 進角制御とは

ブラシレスDCモータにおいて効率が最大となるのは、回転により生じる発電力(誘起電圧)の位相とモータに流れる電流の位相が一致するときである。しかし、モータ電流はコイルの巻き線を通るため位相遅れが生じる。未調整のまま誘起電圧とモータ巻線電流に位相ズレが生じると、モータ効率は低下した状態となる。

そこで、コイルによる巻線電流の遅れを考慮して、インバータ回路から出力される印加電圧を進める調整をおこなう。これによって、モータの誘起電力とモータの巻線電流が一致し、モータ効率の最大化を図ることができる。この調整を進角制御と呼ぶ。図3に進角制御無しおよび有りの波形を示す。ここで進角値は、モータの回転速度やコイルのインダクタンスおよびインピーダンスによって設定する必要がある。

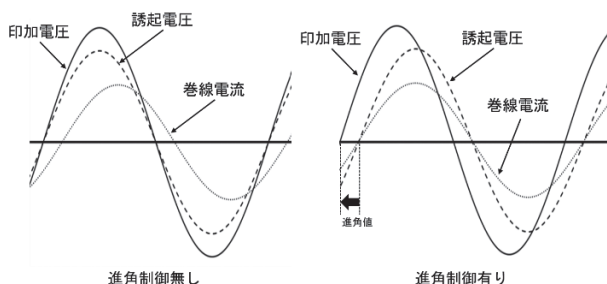


図3 進角制御無し/有りの電圧と電流の関係

3. 進角パラメータ抽出の手法

モータドライバICの入出力値を制御・測定・演算するために、当社製のマイコンMD6602とモータドライバIC SX6812xMを接続した。また抽出した値の確認や進角値の微調整をユーザが実施できるように、MD6602はPCと接続して動作する仕組みとした。進角パラメータの抽出に用いた回路構成を図4に示す。

モータ回転数、進角設定値、測定した駆動電流などのデータをMD6602とPC間とで100msecの周期で通信する。図5にMD6602のブロック構成を示す。パラメータ

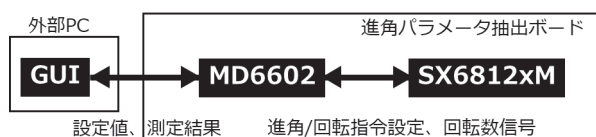


図4 進角パラメータ抽出のブロック構成

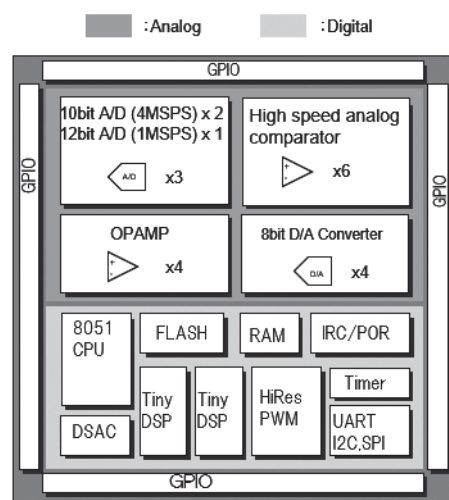


図5 MD6602のブロック構成

を抽出する際には、マイコンに内蔵された二つのデジタル・アナログコンバータ(DAC)を使用して、SX6812xMのモータ速度調整端子(VSP)と進角端子(LA)をそれぞれ制御する。またアナログ・デジタルコンバータ(ADC)は、モータに流れる電流をシャント抵抗の両端電圧として疑似的に検出する。モータ回転数は、タイマー機能を使用し、外部PCとの通信はUART機能を用いることとした。

ユーザが使用しやすいように、進角調整用にグラフィックユーザインターフェース(GUI)を準備した。図6にその一部を示す。ユーザは、モータの極数をGUI上で変更することができる。また付加機能として、モータの回転方向やシャント抵抗値も変更できる仕組みとなっている。

あわせて異常検知信号の有無や、モータの回転数、シャント抵抗に流れている電流値を示すことで、進角パラメータとともにインバータ回路の状況をユーザは簡単に知ることが可能となっている。

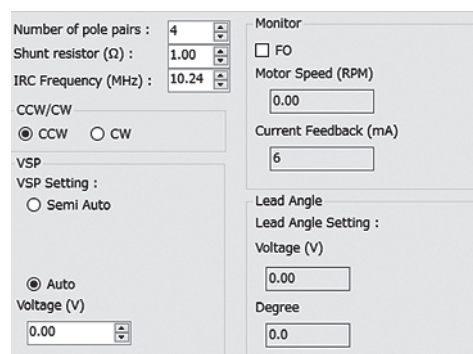
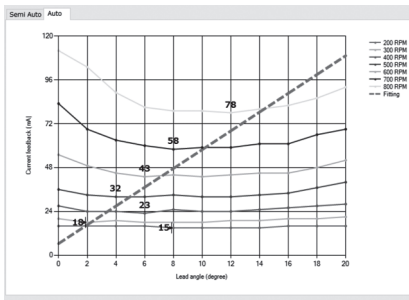


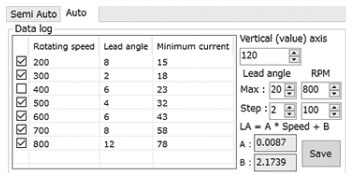
図6 進角パラメータ抽出のGUI

4. 進角パラメータ抽出結果

モータ回転数の上限と進角値の振れ幅を設定した後、オートチューニング開始ボタンを押すことで進角パラメータを抽出することができる。その抽出結果を図7に示す。事前に設定した進角振れ幅とモータ回転数に沿って、グラフの軸を自動調整しつつ進角特性が表示される(図7(a))。ここでは最適な進角パラメータを線形回帰(1次関数)の $LA=A \times \text{Speed} + B$ で示しており、最小二乗法によって係数AおよびBを算出している。係数AとBを算出するにあたっては、どの回転数の測定値を有効とするか選択可能である(図7(b))。抽出された各回転数における進角特性のうち、最も低いシャント電流値が表に示される。回転数横のチェックボックスから算出に使用する回転数を選択することで、線形回帰式へ反映することが可能である。



(a) 自動測定した進角特性



(b) 線形近似の設定

図7 進角パラメータ抽出後の結果

最小二乗法は、線形回帰の標準的な手法である。一般的な線形式は下記で表される。

$$y = Ax + B \quad \dots\dots\dots (1)$$

その際の係数AおよびBは、下記の式で求められる。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$B = \bar{y} - A\bar{x} \quad \dots\dots\dots (3)$$

例えば、(図7(b))で示した進角値のパラメータの抽出に用いたデータを表1に示す。この演算結果がA、Bの係数としてGUI上に示される。ユーザはこの線形式

表1 進角パラメータ自動抽出時の計算結果

i	x_i	y_i	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1	200	8	-316.67	1.33	100278.8	-422.222
2	300	2	-216.67	-4.67	46944.4	1011.111
3	500	4	-16.67	-2.67	277.8	44.444
4	600	6	83.33	-0.67	6944.4	-55.556
5	700	8	183.33	1.33	33611.1	244.444
6	800	12	283.33	5.33	80277.8	1511.111
Sum	3100	40	0	0	268334.3	2333.332

に沿った進角設定をおこなうことで、高効率のモータ駆動を簡単に得ることができる。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{3100}{6} = 516.66667 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{40}{6} = 6.66667 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{2333.332}{268334.3} = 0.0086956 \quad \dots (6)$$

$$B = \bar{y} - A\bar{x} = 6.66667 - 0.0086956 * 516.66667 = 2.1739 \quad \dots\dots\dots (7)$$

5. 抽出結果の動作確認

自動測定により抽出した進角パラメータを用いてモータ動作の確認をおこなえる機能も準備した。図8にセミオートモードを選択した際のGUI画面を示す。セミオートモードでは、進角特性の係数は、ユーザがGUIより手動で入力することが可能である。その際の進角の式は線形、Sカーブ、指数関数の三つを用意した。また、これらの式の変数Xは、シャント抵抗の検出電流値、モータ回転指令値(VSP)、モータ回転数(RPM)から組み合わせる選択することが可能である。

線形式とモータ回転数の組合せに、自動測定により抽出した係数AとBの値を入れることで、容易にモータの動作を確認することが可能である。

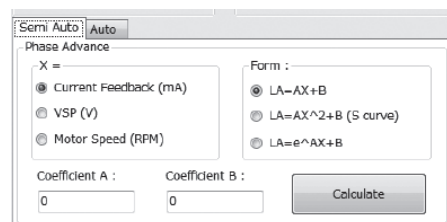


図8 進角パラメータのセミオートモード入力

6. 進角パラメータ抽出ボード

当社が提供する進角パラメータ抽出ボードはAC入力
のコンバータ電源部、FANモータ駆動用のドライバ部、
進角パラメータ抽出用のマイコン部と外部PCとの通信
部で構成されている。本ボードとその接続例を図9に示
す。

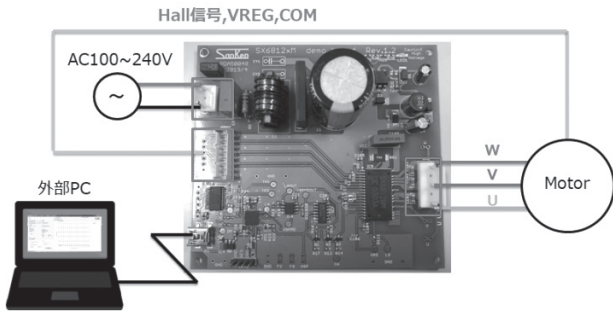


図9 進角パラメータ抽出ボードの接続例

AC入力(AC100~240V)をおこなうことで、マイコン、
モータドライバICの駆動に必要な電源がコンバータ部
より供給される。三相ブラシレスモータの駆動にあつて
は、ロータ位置検出(Hall)信号を本ボードへ入力する
必要がある。また、外部の制御PCと本ボードはUSBで
接続できるインターフェースとなっている。当社が提供
する進角パラメータ抽出ソフトに使用条件(モータ極数、
回転方向、回転数領域など)を設定することで、進角パ
ラメータを自動で抽出できる。

進角パラメータ抽出ボードを使用して自動でパラメ
ータを抽出した場合と、手動で抽出した際の抽出時間
の比較を図10に示す。当社実験では、自動化によるパラ
メータ抽出によって、手動によるパラメータ抽出と比較
して、約90%の時短効果を得た。

従来は、進角調整・回転数調整・駆動電流と、それぞ
れの値をエンジニアが手動で調整していた。自動化によ

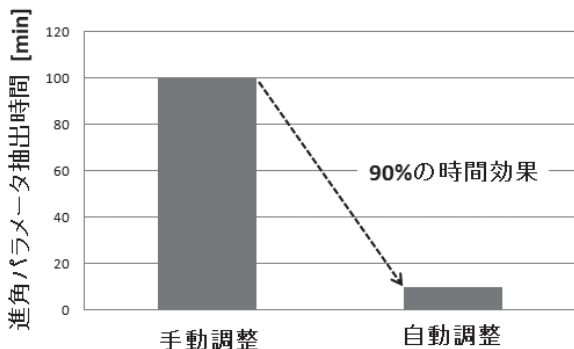


図10 進角パラメータ抽出自動化の効果

るパラメータ抽出では、全ての調整と測定および解析が
自動で実施されるため、パラメータ抽出の経験がなくて
も最適な進角パラメータを得ることができる。また、高
電圧の印加や測定ミス等による時間ロスの発生もない。

抽出したパラメータの進角設定の実現手法と進角特性
を図11に示す。抵抗とツェナーダイオードD1の定数設
定で最適な進角特性を実現することができる。

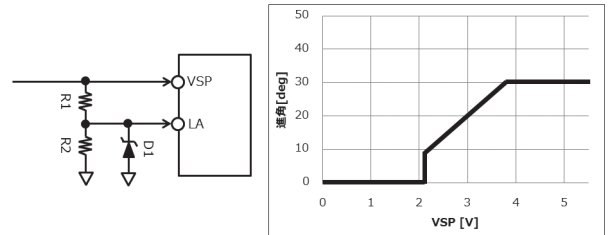


図11 進角設定と進角特性

抽出したパラメータの適用前後の実波形を図12に示
す。回転数750RPMに設定した際の駆動電流は、進角制
御無しと比較して、進角パラメータ適用時に150mAの
駆動電流の低減を実現した。同じ回転数でも進角制御有
りの方が高効率を実現できることを示している。

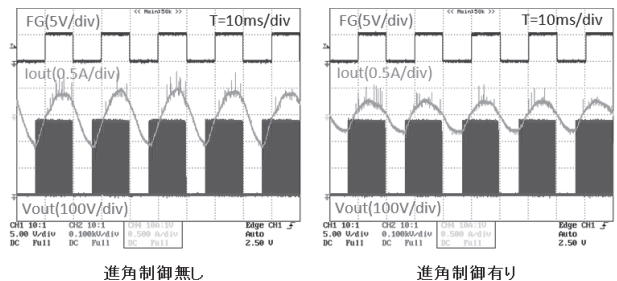


図12 実機波形比較

7. むすび

エアコンファンモータ向けブラシレスDCモータのイン
バータ回路を簡単に設計したいという要求が高まるなか、
モータ効率に重要なパラメータとなる進角値の抽出
を容易におこなえる評価ボードの開発をおこなった。

本ボードを以て、ユーザの開発工数の削減提案も含め
た高効率モータ駆動ICの紹介を図っていく。

参考文献

- (1) 山中, 鈴木: サンケン技報 vol.49, p13-16, (2017. 11)