

Spoke モーター向け音鳴り対策制御 IC の開発

Development of Motor Controller IC for Reducing Noise from Spoke Motor

吉 田 徹*
Toru Yoshida

概要 エアコンファンモーター等に使用される高圧三相ブラシレスDCモーターは、小型高効率かつブライスタウンの要求に対応するため、従来のSPM (表面磁石型) モーターからIPM (埋込磁石型) モーターの一種であるSpokeモーターへの移行が始まっている。しかしSpokeモーターは従来のSPMモーターに比べて制御が難しく、音鳴りが発生しやすい。音鳴り抑制のためにベクトル制御などの高コストかつ高性能な制御を用いれば解決できるが、従来型に比べてトータルコストの優位性が少なくなる。そこで、比較的低コストで実現が容易な疑似正弦波制御を用いてSpokeモーターを制御可能にするICを開発し、課題となる音鳴りを改善することを実現したので報告する。

1. まえがき

エアコンファンモーター等の機器に使用される高圧三相ブラシレスDCモーターの多くは、回転子の表面にフェライト等の永久磁石を配置したSPM (表面磁石型) モーターを採用していた⁽¹⁾。近年は小型高効率を実現可能な手段として、IPM (埋込磁石型) モーターが注目されている。IPMモーターは永久磁石をローター内部に埋め込む構造でSPMモーターと同等の出力を小型化できるため、モーターのコストを抑えることができる。その中でも磁石を放射状に配置したSpokeモーターが脚光を浴びており、室内外ファンなどの高圧三相ブラシレスモーターで採用され始めている。

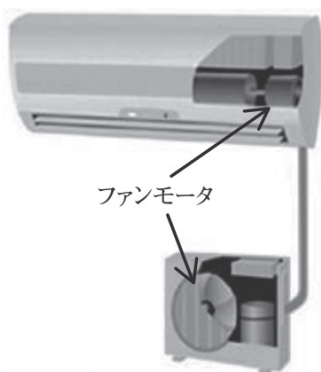


図1 エアコンファンモーターの構成

2. Spokeモーターの特徴について

IPMモーターは、永久磁石を回転子内部に埋め込むため、機械的強度が向上する、高速回転に適するといった特徴がある。また、突極構造によりマグネットトルクに加えてリラクタンストルクを併用できるため、高トルク化がはかれることも挙げられる。突極構造の場合は、インダクタンスが回転子の位置によって変化する特徴があり、電流値をフィードバックするセンサレスベクトル制御と相性が良い。しかし、センサレスベクトル制御は高い演算能力を必要とする。そのため制御部が高コストとなり、モーターと制御部を足し合わせたトータルコストの優位性が従来型に比べて少なくなる。一方で従来のホールセンサーを使用した位置フィードバックによる疑似正弦波制御の回転速度制御型は、比較的安価に実現可能であるが、前述のインダクタンスの変化を読み取ることができない。そのため、巻き線電流の位相を適切に制御することができずにトルクリプルが発生し、音鳴りへとつながる。エアコンの室内ファンの音鳴りは、実聴でも認知できるほど目立ち、居住空間でそのまま実使用することは困難となる。本開発品は、従来のホールセンサーを使用した位置フィードバックによる回転速度制御型の構成で高価で高性能な演算器を使用せずに、音鳴りを軽減することを目的とする。

* 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2課

表 1 SPM モータと Spoke モータ比較表

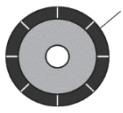
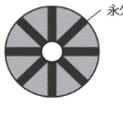
	SPMモータ (表面磁石型)	spokeモータ (埋込磁石型)
回転子構造		
磁石量	×	○
小型化	△	○
高速回転	×	○
トルク成分	マグネット	マグネット+リラクタンス
トルクリップル	○	×
最大トルク	△	○
制御性	○	△

表 2 SX6812xM シリーズと SX6814xM シリーズの機能比較

項目	SX6812xM	SX6814xM
動作周波数	低	高
正弦波分解能	低	高
起動時駆動波形	方形波	正弦波
停止動作	フリーラン	ランブダウン
進角補正	外部進角	演算進角
対応モータ	SPM	SPM, IPM

3. 開発概要

SX6814xM シリーズの製品構成を図2に示す。

ホールセンサー用のアンプを内蔵しており、モータの回転子の位置に応じて、6素子のパワー MOS FET を駆動し三相 BLDC モータを回転させる。センサ素子によってモータの位置を電気角 60 度刻みで確実に捉えることができるため、負荷の重さや変動に寄らず安定した回転制御をおこなうことができる。特にセンサと連携した安定した起動特性を有する。パッケージは現在量産中の SX6812xM シリーズと同様の小型面実装を採用しており、機電一体モータ等の限られた面積への実装を容易としている。

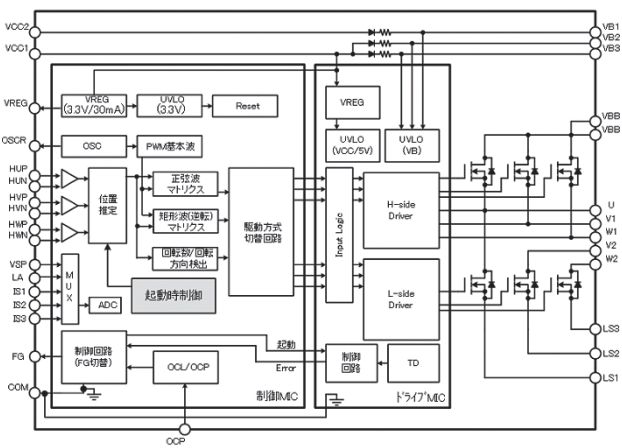


図 2 SX6814xM シリーズ製品構成図

SX6814xM シリーズの大きな特徴は、モータの音鳴り対策として内蔵する動作クロック周波数の変更やモータ起動時の正弦波強制駆流、モータ停止時の停止制御を有している点である。進角補正については、PWM duty を設定する Vsp 端子と連動した内部演算進角制御を採用しており、SPM モータに加え IPM モータでもモータに適した進角補正を行うことが可能である。各機能の効果につ

4. モータの音鳴り対策方法

4.1 起動時正弦波制御

図3に従来制御と本開発品の起動シーケンスの比較を示す。上段が従来型の方形波を使用した起動時駆動波形である。方形波駆動は簡単な制御で安定してモータを起動できる一方で、急峻な電流変化や無通電区間を伴うため、不安定なトルク変動により音鳴りを発生させる。下段は本製品に採用した正弦波駆動波形を使用した起動である。正弦波駆動は方形波駆動よりも制御が難しくなる一方で、急峻な電流変化を伴わないため、滑らかなモータの回転を実現できる。最初にホールセンサーで回転子の位置を判別し、特定相への励磁により回転子を特定の位置に固定する。そこから開ループ正弦波で強制駆流をおこない、閉ループの正弦波駆動へと切り替えるシーケンスとなっている。図4に方形波駆動時と正弦波駆動時にモータが発する音圧レベルのグラフを示す。正弦波起動を採用することで、発生する音圧が軽減している様子が見て取れる。

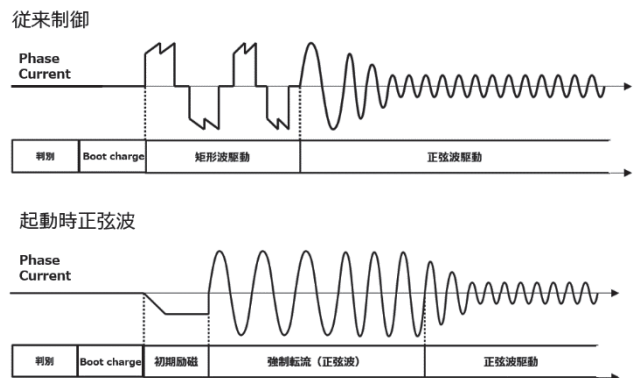


図 3 相電流起動シーケンス

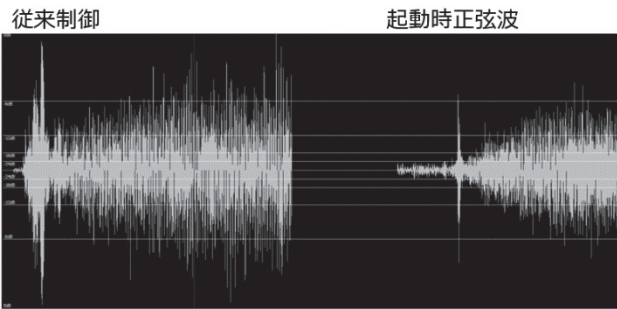


図4 起動時音圧レベル

4.2 定常時音鳴り対策

本開発品では出力する正弦波のPWM分解能を高めるために動作クロック周波数をあげ、その制御精度を向上させている。この制御方式を用いた際の定常動作時のSpokeモータから発生した騒音のスペクトルを図5に示す。エアコン室内機にモータを取り付け、500rpmで動作させている。比較として、従来制御方式とモータ停止時のスペクトルを取得した。Spokeモータから発生した騒音は約3300Hzにピークを形成しており、特にこの音が居住空間内で使用した際に不快な音として認知される。従来の制御方式と比較して約7.5dB低減している。

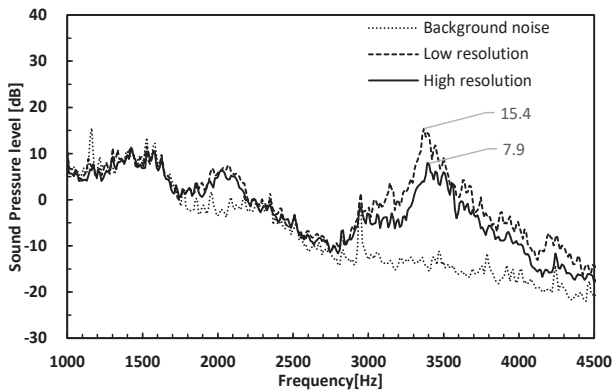


図5 モータから発生した騒音スペクトル

4.3 停止時音鳴り対策

図6にモータ停止時のシーケンスを示す。上段は従来の停止時の制御である。停止信号検出時は、 V_{sp} (速度制御信号電圧) に連動したPWM Dutyが瞬時にゼロとなり、インバーター出力はすべてオフになる。そのモータ停止時に突極に起因する異音を発する。下段の本開発品は停止信号検出後に V_{sp} に連動したPWM Dutyをランプダウンさせることで音鳴りを軽減する。

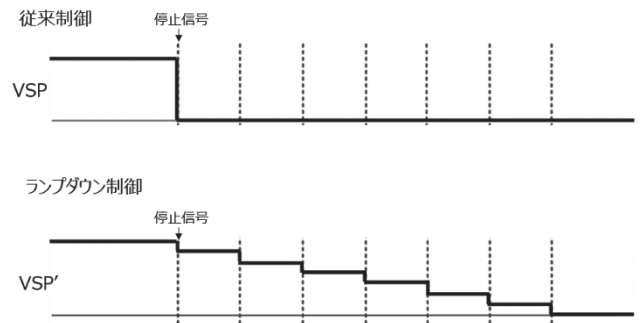


図6 モータ停止時シーケンス

5. 演算進角制御

表面に磁石を配置するSPMモータから、埋め込む磁石の位置や形状を自由に配置できるIPMモータへの移行に伴い、モータ特性の多様化が進んでいる。速度に対する電流位相の進角補正も同様に多様となるため、ユーザーが外部より進角設定値を入力し、モータに適した進角制御を実現することは困難である。本製品は限られた製品端子数で細かな進角制御を実現出来る手法として、 V_{sp} 端子と連動した演算進角制御を採用した。演算は1次関数、2次関数、3次関数のモデルを採用した。外部ADC端子LAに傾き係数を決定するための電圧を入力することで、近似関数の範囲内で自由に進角設定を調整できる。これにより、多様なIPMモータに対応することが可能である。図7に代表として3次関数モデルの演算進角パターンを示す。例えば、LA端子にVregと同等の電圧となる3.3Vを入力すると、 $V_{sp} = 3.75V$ 時に28.5度、 $V_{sp} = 5.4V$ 時に57度を通る3次関数のカーブに沿って進角補正をおこなう。

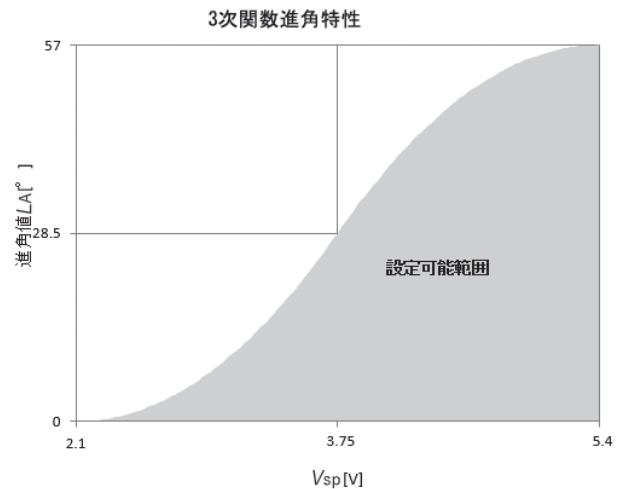


図7 演算進角-3次関数モデル

6. むすび

エアコンファンモータ用でもコンプレッサ用モータと同様に IPM モータの採用が増えていくと予想されている。音鳴りの課題に対して、ベクトル制御を有する高機能制御 IC は、コストバランスよりフラグシップモデルにしか適用できなかった。本開発品 SX6814xM シリーズは、起動時正弦波駆動や内蔵発振器の周波数上昇、立ち

下げ時のランプダウンを盛り込むことで、従来の製品構成を踏襲しつつ音鳴り抑制を実現した。本開発品によって Spoke モータの汎用モデルへの展開が可能となった。また、SPM モータにも本製品を使用することで、従来の SX6812xM シリーズよりも低騒音効果が期待できる。

参考文献

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