

冷却ファンの高効率駆動を実現する ブラシレスDCモーター制御技術

Brushless DC Motor Control Technology to Realize Efficient Driving of Cooling Fans

王 申 WANG Shen

社会のデジタル化に伴い、データセンターの需要が増大している。データセンターのサーバーの冷却には多くの冷却ファンが使用されており、データセンター自体の消費電力を削減するために、ファンモーターの駆動効率の向上が不可欠になっている。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、これまでに3個のホールセンサーを用いた三相ブラシレスDC(直流)モーター(以下、三相BLDCモーターと略記)の高効率駆動を実現する、自動進角制御技術InPAC(Intelligent Phase Control)を開発済みである。今回、データセンターの冷却ファン向けに、このInPACを改良してホールセンサー位置の補正機能によって1個のホールセンサーで三相BLDCモーターに適用できるようにするとともに、負荷条件にかかわらず安定した回転速度を実現する回転速度制御機能を実装したモータードライバー IC TC78B025FTGを、2018年4月に商品化した。

The demand for data centers is increasing with the ongoing digitalization of society. To reduce the power consumption of data centers, it has become indispensable to improve the efficiency of the large number of motors that power the cooling fans generally used in data center servers.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation developed the InPAC, an intelligent phase control technology that can achieve high-efficiency driving of a three-phase brushless DC (BLDC) motor using three Hall sensors, and applied this technology to a three-phase BLDC motor driver integrated circuit (IC) in February 2016. We have newly developed both a Hall sensor position compensation function to reduce the number of Hall sensors from three to one in order to save the installation space for cooling fans and a closed-loop speed control function to realize stable rotation performance under any load conditions. We commercialized the TC78B025FTG three-phase BLDC motor driver IC with the InPAC incorporating these functions in April 2018.

1. まえがき

近年、ビッグデータやIoT(Internet of Things)などの普及に伴い、情報の保存や処理を行うデータセンターの需要が増加している。データセンターにおける消費電力も年々増加しており、現在では、世界エネルギー需要全体の約2%を占めるまでになった。データセンターで使用される電力のうち、約30%は冷却用であり⁽¹⁾、冷却にはファンを用いた空冷方式が多く採用されている。そのため、データセンターの消費電力を削減するには、ファンモーターの駆動効率を向上させることが重要である。

データセンターの冷却ファンには、省エネだけでなく、低振動の観点からも、三相BLDCモーターが採用されるようになってきた。冷却ファン向け三相BLDCモーターは、回転子表面に磁石を貼った形状のSPM(Surface Permanent Magnet) BLDCモーターが一般的である。高効率化のためには、モーターの運転条件ごとに駆動電圧の位相を調整(進角制御)し、モーターの誘起電圧と電流の位相を一致させる必要があるが、個別の調整に手間が掛かるとい

う問題があった。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、これまでに3個のホールセンサーを用いるSPM BLDCモーター向けに、簡易なシステム構成、かつ自動でモーターの高効率駆動を実現したオリジナル技術InPACを開発し、モータードライバー IC製品に搭載してきた⁽²⁾。ここでは、InPACの概要、1個のホールセンサーを用いるデータセンターの冷却ファン向け三相BLDCモーターに適用するためのInPACの改良、及びモータードライバー ICへの適用について述べる。

2. 自動進角制御技術

2.1 三相BLDCモーターの駆動方式と進角制御

三相BLDCモーターの駆動方式には、モーターに矩形(くけい)波状の電流を流す矩形波駆動(図1(a))と、正弦波状の電流を流す正弦波駆動(図1(b), (c))の二つがある。正弦波駆動は、矩形波駆動に比べてトルクの脈動が少ないため、低振動駆動に有効である。

正弦波駆動の場合、図1(b)のように、モーターの誘起電圧に対してモーター電流の位相遅れがあると、ブレーキトル

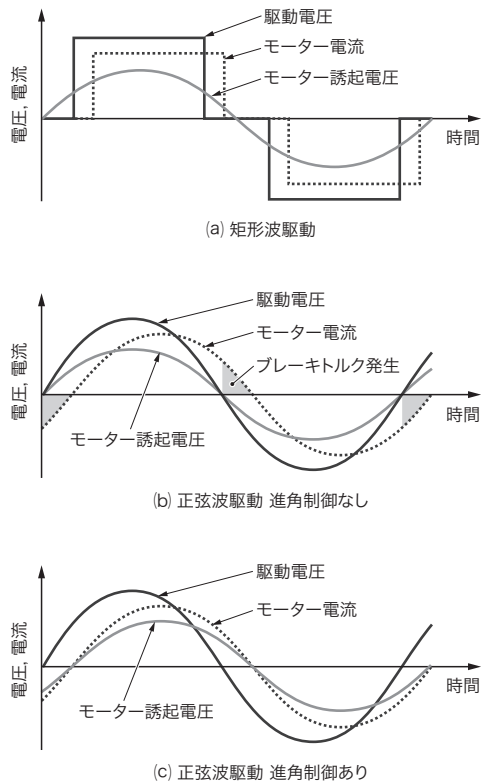


図1. 三相BLDCモーターの駆動方式と進角制御の効果

正弦波駆動では、駆動電圧の位相を調整してモーター電流とモーター誘起電圧の位相を合わせることで、高効率駆動を実現する。

Comparison of BLDC motor driving methods and effect of lead angle control

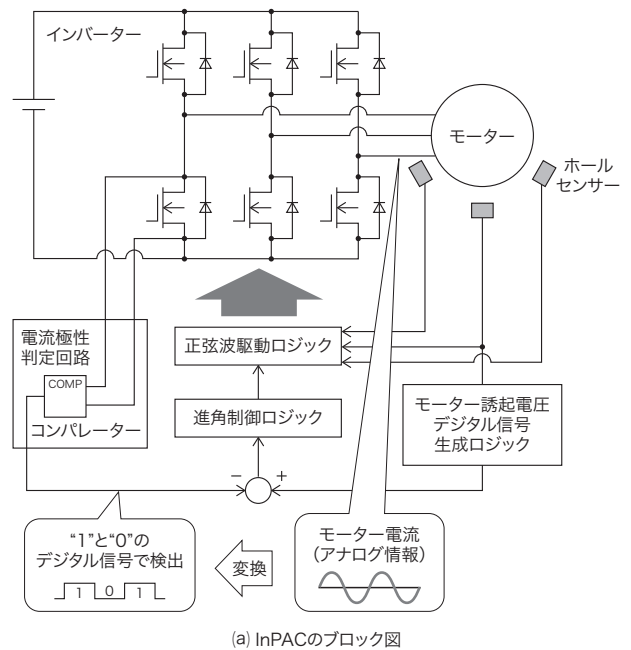
クが発生し、モーターの駆動効率が低下する。これを防ぐためには、進角制御を行うことで、モーターの誘起電圧とモーター電流の位相を一致させる必要がある(図1(c))。

2.2 InPAC

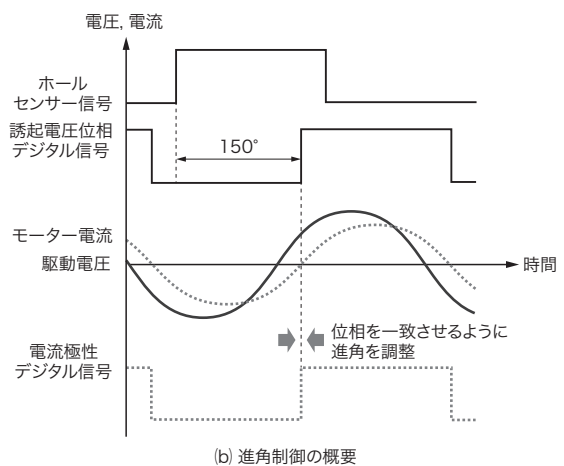
InPACを搭載した三相BLDCモーターの駆動システムの構成を、図2に示す。

従来の三相BLDCモーター駆動システムでは、位置が固定された3個のホールセンサーの信号を用いて正弦波駆動を実現する。進角制御は、事前に決められた外部からの入力電圧に従って進角を設定する方法(固定進角制御)が採用されている。例えば、あるポイント(回転数)での駆動効率が良くなるように進角を調整した場合、調整ポイントより回転数が上がると相対的に電流位相が遅れ、逆に回転数が下がると進むため、調整ポイントの回転数以外では、駆動効率が低下する。このため、冷却ファンのように、周囲の温度によって回転数の制御が必要なアプリケーションでは、回転数に合わせたリアルタイムでの調整が課題となる。

今まで、モーターの電流や回転数に応じて自動で進角制御するシステムは多く考案されたが、実際には実機での合わ



(a) InPACのブロック図



(b) 進角制御の概要

図2. InPACシステムの構成

モーター電流をアナログ信号からデジタル信号に変換して、リアルタイムに自動進角制御する。

Configuration of InPAC system

せ込みが必要なことが多い。例えば、モーターの負荷条件が変わると、再度の合わせ込みが必要になる。冷却ファンの場合は、空気の流れによって負荷条件が大きく変化するので、常に高効率となる制御は難しかった。

これに対し、既開発のInPACは、モーター電流の極性を検出してデジタル信号に変換すると同時に、位置が固定されたホールセンサーの信号からモーター誘起電圧の位相信号を生成し、両者の極性変化点を一致させるように進角制御する。このように、InPACは、モーターの運転状態に応じてリアルタイムに進角を自動制御するので、常に高効率駆動を実現できる。

3. 冷却ファン向け三相BLDCモーターにおけるInPACの改良

既開発のInPACを用いた三相BLDCモーターの正弦波駆動システムでは、位置が固定されたホールセンサーを3個使用していた。一方、データセンター用の冷却ファンの多くは、大きさが縦横とも40 mmと決まっている。したがって、モーター内部にホールセンサーを3個配置するスペースが確保できないため、1個のホールセンサーで正弦波駆動ができるシステムが必要になる。また、モーター内部空間の制約で、ホールセンサーを理想的な位置に配置できないケースが多い。

これらを解決するため、ホールセンサー位置の補正機能も新たに実装した(図3)。ホールセンサー位置補正機能の効果を図4に示す。設置位置を考慮したホールセンサー位置補正情報を用いて、ホールセンサー信号から位置補正後の内部信号を生成し、これに基づいてモーター電流の位相を調整するため、理想的な駆動条件の制御で、高効率駆動が実現できる。

例として、改良したInPAC搭載の駆動回路を用いた冷却ファンモーターの駆動実験結果を図5に示す。InPACを有効/無効にした場合のホールセンサー信号とモーター電流の波形には大きな差があり、InPACを有効にした場合、モーター電流とモーター誘起電圧の位相が一致していることが分かる。

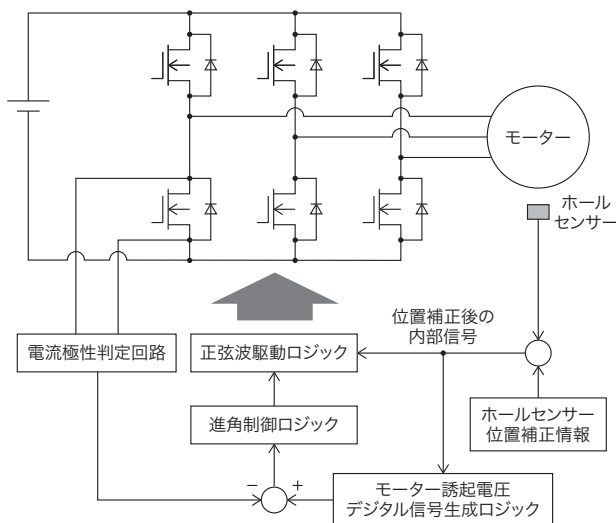


図3. 1ホールセンサーのInPACシステムのブロック図

従来は、3個のホールセンサーが必要だったが、1個で正弦波駆動を実現でき、更に、ホールセンサー位置補正機能により、ホールセンサーの設置箇所が自由にできる。

Block diagram of InPAC system with one Hall sensor

また、広い回転数範囲で自動位相調整が実現できていることを図6に示す。従来の固定進角制御に比べ、改良したInPACは、モーターの消費電流が全回転数領域で低減しており、効率良く駆動できることが分かる。例えば、回転数が12,500 rpmでは、モーターの消費電流が約10%削減できている。

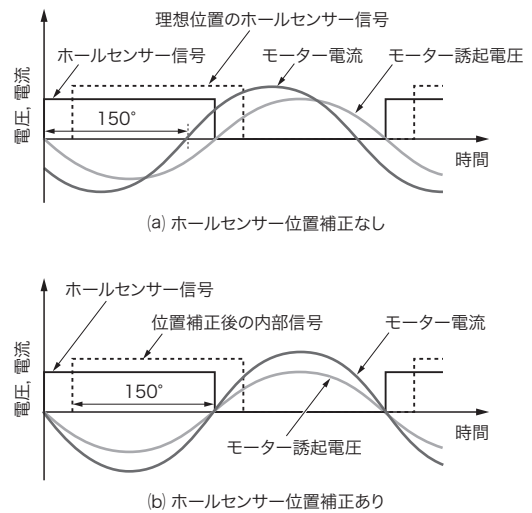
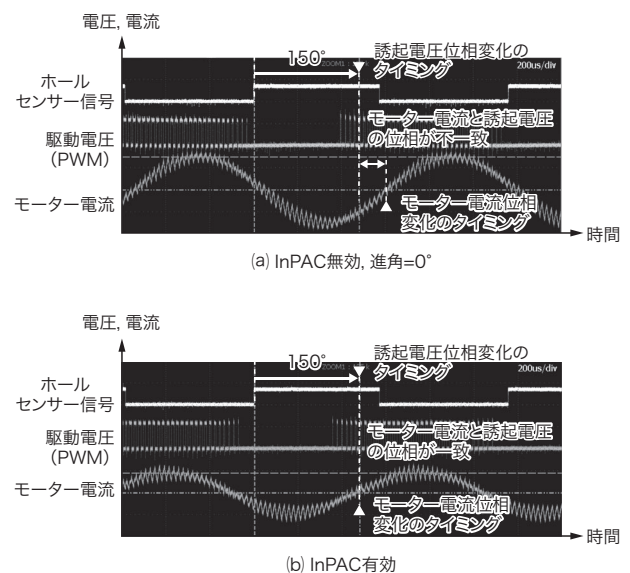


図4. ホールセンサー位置補正機能の効果

位相を補正したホールセンサー信号に基づく自動進角制御を行うことで、高効率駆動を実現する。

Effect of Hall sensor position compensation function



PWM:パルス幅変調

図5. 冷却ファンモーターの駆動波形

InPACを有効にした場合、モーター電流とモーター誘起電圧の位相が一致していることが分かる。

Drive waveforms of cooling fan motor

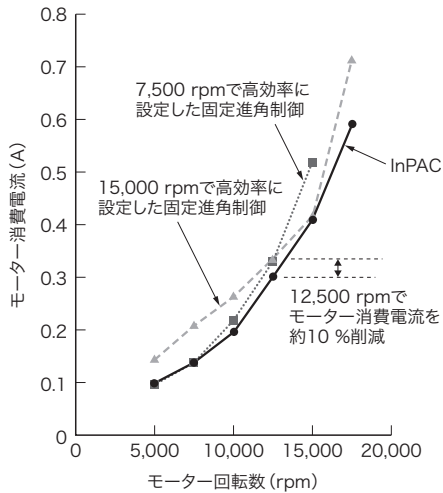


図6. モーター消費電流の削減効果

12,500 rpmでの回転時、InPACは、従来の固定進角制御に比べ、モーター消費電流を約10%削減できる。

Reduction of motor current

4. モータードライバー ICへの搭載

冷却ファン向けに、1個のホールセンサーで正弦波駆動システムを実現する改良したInPAC機能を搭載した、三相BLDCモータードライバー IC TC78B025FTGを製品化した。図7にICの外観を、表1に主な仕様を示す⁽³⁾。

InPAC機能に加え、冷却ファンの回転速度の変動を抑えるため、速度帰還による回転速度制御（閉ループ制御）機能も実装した。ホールセンサーから得た回転速度情報とユーザーの指定した回転速度を比較してICの出力を自動調整するため、負荷条件にかかわらず、安定した回転速度を実現できる。不揮発性メモリーを搭載しており、ユーザーパラメーターをプログラムできるので、外付けのMCU（Micro Control Unit）なしでフレキシブルな回転速度制御を実現できる。

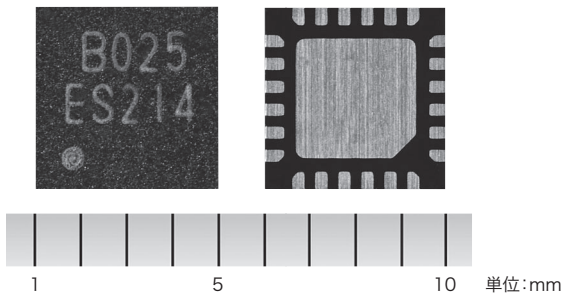


図7. TC78B025FTG

冷却ファン向け小型パッケージを採用し、InPAC機能に加え、回転速度制御機能も実装した。

TC78B025FTG three-phase BLDC motor driver IC

表1. TC78B025FTGの主な仕様

Main specifications of TC78B025FTG

項目	仕様
電源電圧(動作範囲)	4.5 ~ 16 V
出力電流	最大3.5 A (ピーク)
駆動方式	正弦波駆動又は150°通電
進角制御	InPAC機能搭載
出力オン抵抗(上下和)	0.2 Ω (標準)
速度制御入力	PWM信号入力、アナログ電圧入力に対応
異常検出機能	過熱検出、過電流検出、モーターロック検出
その他・特長	回転速度制御(閉ループ制御)機能
	スタンバイ機能
	ホール素子、ホールICに対応
パッケージ	VQFN24 (サイズ: 4(縦)×4(横)×0.9(高さ) mm)

また、電流を検出するための抵抗が不要な、電流センス抵抗レスシステムを採用し、モーター回転制御基板の省スペース化にも貢献している。

5. あとがき

データセンターにおける冷却ファンの省エネ要求に応えるため、InPACを改良するとともに、ホールセンサー位置の補正機能及び回転速度制御機能をモータードライバー ICに搭載し、冷却ファンの高効率駆動とモーター回転制御基板の省スペース化を実現した。

今後も、データセンター需要の拡大に伴い、冷却ファンの高速化や高耐圧化などの差異化要素が求められることが予想される。当社は、更なる高効率駆動の要求を満たすためのコア技術開発を進め、新製品を開発していく。

文献

- (1) The Green Grid. "Guidelines for energy-efficient datacenters". EETimes. <https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273184&utm_source=electronicproducts&utm_medium=relatedcontent#>, (accessed 2019-07-19).
- (2) 會澤敏満, ほか. 簡易な構成で高効率化を実現するブラシレスDCモーター制御技術. 東芝レビュー. 2017, 72, 2, p.53-56. <https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/02/72_02pdf/f05.pdf>, (参照 2019-07-19).
- (3) 東芝デバイス&ストレージ. "TC78B025FTG". 製品詳細. <<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/product/linear/motordriver/detail.TC78B025FTG.html>>, (参照 2019-07-19).



王 申 WANG Shen
東芝デバイス&ストレージ(株)
システムデバイス事業部
アナログ開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.