

省エネ化を促進できる モータ駆動用ベクトル制御マイコンTMPM370

TMPM370 Microcomputer for Vector Control of Motor Drive Applications
Featuring Low Power Consumption

鈴木 信行 長谷川 幸久 小柴 晋
 ■SUZUKI Nobuyuki ■HASEGAWA Yukihsa ■KOSHIBA Susumu

地球環境保護の観点から、近年の家電製品には省エネ化が要求されている。エアコンや、冷蔵庫、洗濯機などではモータを高効率、低振動、及び低騒音で運転するため正弦波駆動技術が用いられ、ベクトル制御が採用されている。ベクトル制御は既に国内家電メーカーに広く普及しているが、今後新興国へも拡大して行くと予想されている。

東芝は、ベクトル制御を新たに導入したいユーザーにとって使いやすく、ソフトウェア開発負荷を軽減できるベクトルエンジンを搭載したマイコンTMPM370を開発した。省エネのために正弦波駆動を必要とする機器への適用に対して非常に効果的である。

In order to save energy in air conditioners, refrigerators, washer-dryers, and other home appliances from the standpoint of environmental awareness, demand has recently risen for both a sinusoidal drive technology and a vector control technology to drive motors with high efficiency, low vibration, and low noise. Vector control is being increasingly adopted by Japanese home-appliance manufacturers and is expected to also expand to manufacturers in developing countries.

Toshiba has developed the TMPM370 microcomputer with an embedded vector engine, which is effective in controlling applications requiring a sinusoidal drive. The TMPM370 is user-friendly for designers intending to newly introduce vector control and can reduce the load of software development.

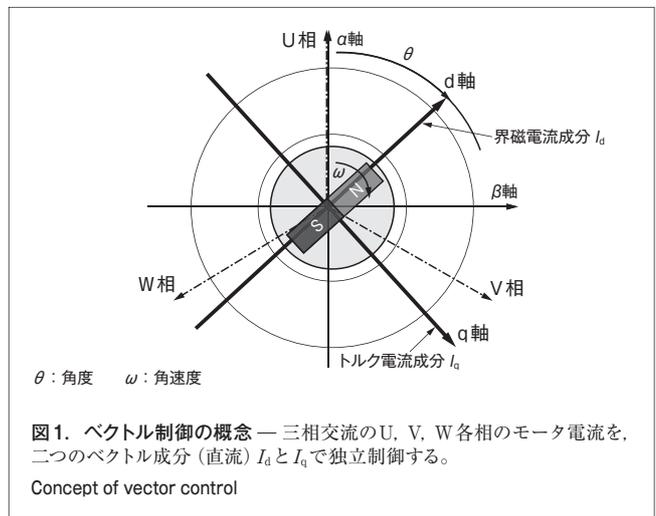
1 まえがき

近年、地球環境保護の観点から省エネ化が求められており、1998年に“エネルギーの使用の合理化に関する法律”いわゆる省エネ法が改正され、1999年に施行された。家電製品は、省エネに加え集合住宅における騒音問題などから、低振動や低騒音のものが望まれている。

一般家庭の家電製品の消費電力量は、エアコンがもっとも多く、照明器具、冷蔵庫、テレビ、洗濯機がこれに続いている。この中でエアコン、冷蔵庫、及び洗濯機ではモータが消費電力の大部分を占めており、各メーカーは省エネで低騒音のモータとインバータを開発している。

モータの種類として、当初は交流電源によって一定速度で駆動でき構造が簡単なインダクションモータが、各種製品に用いられてきた。1990年代からはインダクションモータに代わり、高効率化に有効な永久磁石モータが用いられるようになりインバータで駆動する技術も開発されてきた。

インバータで駆動する方式として、まず、実現が簡便でコストを抑えられる矩形(くけい)波駆動が用いられてきた⁽¹⁾。矩形波駆動とは、回転子位置に応じて矩形波状の電流を与えて、永久磁石モータを駆動する方式である。この方式は、電流変化が急激なため、振動や騒音を招きやすいという問題があった。次に、電流の変化を滑らかにする方式として、正弦波



駆動が開発された。正弦波駆動は、モータの巻線利用率が高く、省エネを実現しやすい。また、モータ電流に含まれる高調波成分が少なく、低振動化及び低騒音化にも有効である。

正弦波駆動実現の手段として、位置センサや電流値などの情報を元に近似的な正弦波情報を作り出し、正弦波駆動させる方式が考案されている。近年ではベクトル制御により、更に滑らかな正弦波駆動を実現する方式が注目され、家電製品に適用されている。ベクトル制御とは、図1に示すように、三相のモータ電流(交流)を二つのベクトル成分(直流)に分け、

モータのトルク成分と界磁成分を独立して制御するものでモータを効率よく駆動でき、省エネや低振動、低騒音に有効な手段である。

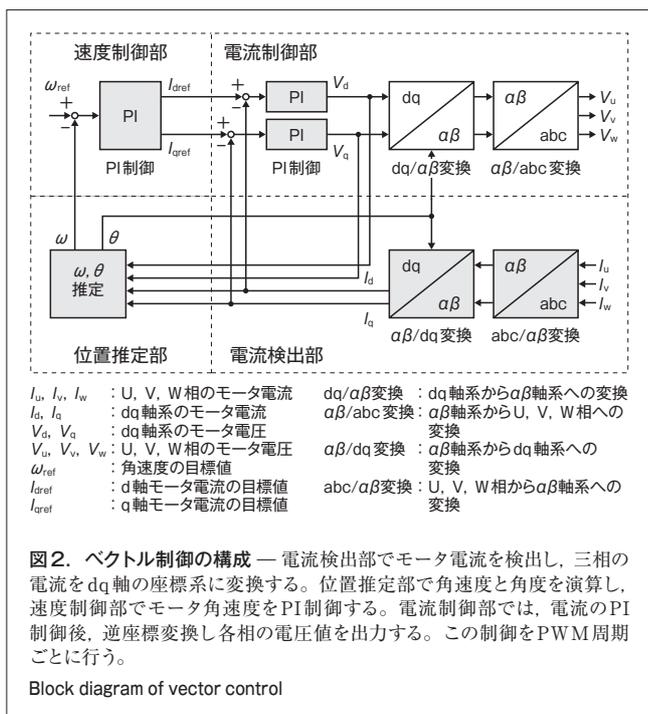
東芝は、このベクトル制御を導入するときのソフトウェア開発負荷を軽減できるベクトルエンジンを搭載したマイコンTMPM370を開発した。ここでは、ベクトル制御の概要、開発したベクトル制御マイコンの概要、及びその有効性の確認などについて述べる。

2 ベクトル制御の概要

ベクトル制御の制御ブロックを図2に示す。ベクトル制御は、電流検出部、位置推定部、速度制御部、及び電流制御部で構成される。

電流検出部では、電流センサやシャント抵抗などによってモータ電流を検出し、三相の電流をdq軸座標系の電流に変換する。位置推定部では、角速度及び角度位置を演算する。速度制御部では、モータ角速度をPI (Proportional, Integral: 比例, 積分) 制御する。電流制御部では、電流のPI制御後、逆座標変換して各相の電圧値を出力する。この制御をPWM (Pulse Width Modulation) 周期ごとに行う。

ベクトル制御では、PI演算やSIN (正弦) あるいはCOS (余弦) の演算などの処理を実行する必要があり、ソフトウェア処理に時間がかかる。2000年以降、DSP (Digital Signal Processor) やRISC (Reduced Instruction Set Computer) といった高速演算器の低コスト化が進み、家電製品でもベクトル制御のような高度なモータ制御技術を採用できるようになった。



3 開発したベクトル制御マイコン

当社は、2004年に永久磁石モータ制御に適したPMD (Programmable Motor Driver) マイコンを商品化して、ベクトル制御をエアコンや洗濯機に適用し、省エネ、低振動、及び低騒音を実現してきた。

今回、新たにマイコンを開発するにあたって、ユーザーの課題を収集し反映させた。

3.1 ユーザーが保有する課題

- (1) ソフトウェア容量と処理時間の増加 ユーザーが製品を高性能化するとき、各種のソフトウェアを追加する場合がある。そのため、ソフトウェアの容量及び処理時間が増加する。
- (2) ソフトウェアの開発負荷 ユーザーがベクトル制御をマイコンで実現するためには、演算処理を固定小数点で構成する必要があるなど、高度なソフトウェア技術が必要である。国内では、ノウハウを持つユーザーは独自にソフトウェアの開発を行っているが、新たにベクトル制御を導入したいユーザーにとっては開発負荷が大きい。

3.2 マイコン仕様の策定と特長

ユーザーの課題を踏まえ、次の仕様をマイコンに組み込んだ。

- (1) マイコンハードウェアの仕様 増大するソフトウェアの演算処理への対応と製品高性能化への要求に応えるために、ハードウェア面の仕様を向上させた。ソフトウェアの処理時間短縮のためにクロック周波数を従来の56 MHzから80 MHzにし、電流検出精度を向上させるためにAD (Analog to Digital) コンバータの有効ビット幅を従来の10ビットから12ビットにした。
- (2) ベクトル制御のハードウェア化 ベクトル制御の一部をハードウェア化したベクトルエンジンを搭載した。ベクトルエンジンの構成を図3に示す。ベクトルエンジンとは、モータのベクトル制御の構成要素である電流制御部や電流検出部の処理を自動で実行する専用IP (Intellectual Property) コアである。

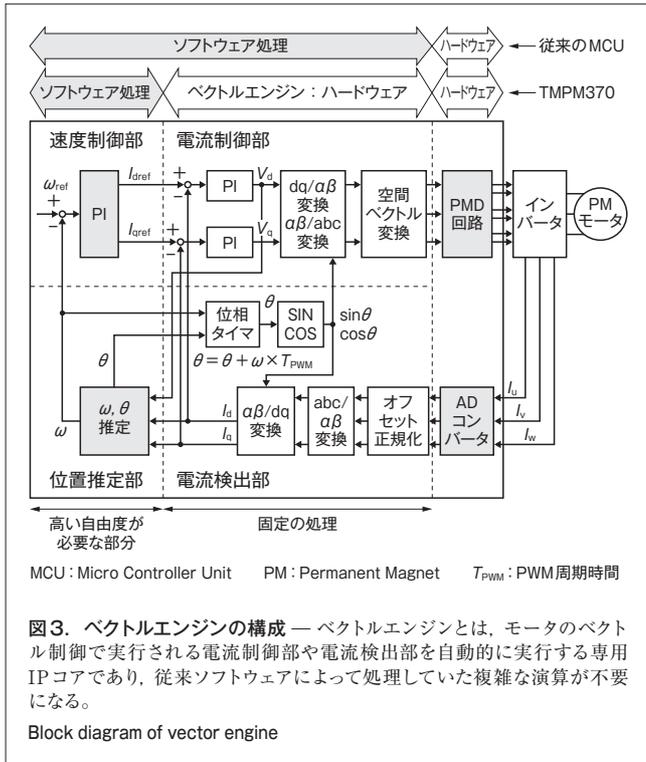
ベクトルエンジンは、PMD回路及びADコンバータと連携して自動的に動作する。ADコンバータで変換終了後に発生するマイコン内の割込み信号により、ベクトルエンジンが起動される。次に、電流検出部で、AD変換結果レジスタからデータを取得して座標変換し、CPUに割込みを発生する。この結果と、ソフトウェアで演算される速度制御の結果から、電流制御部の電流PI制御、逆座標変換、及び空間ベクトル変換を実行し、PMD回路へのデータを自動的にセットする。

これにより、従来ソフトウェアで処理していた複雑な演算が不要になる。ハードウェア面の仕様の向上に加えベクトルエンジンを用いることで、ソフトウェアの処理時間

は飛躍的に短縮される。一方、製品によって仕様が異なるモータ位置推定や速度制御などは、ソフトウェアで構成できるようにしており、ユーザーの自由度も保たれている。そのため、ユーザーは、モータを正弦波駆動するべ

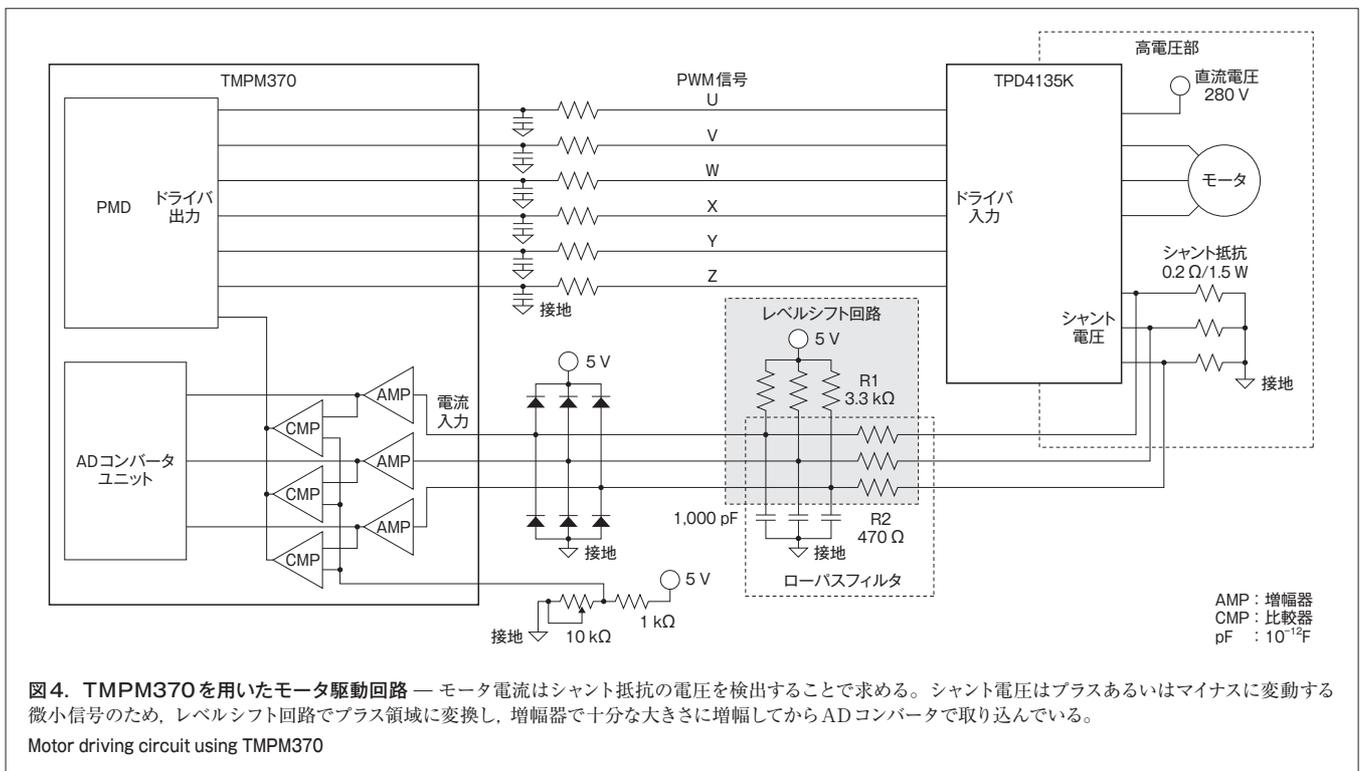
クトル制御の処理部分を意識することなく実現できるため、製品機能開発に重点をおくことができ、ソフトウェアの開発負荷が軽減される。

- (3) マイコンコア ARM社のCortex™-M3^(注1)コアを搭載している。近年は、あらゆる機器にマイコンが搭載されるようになり、組み込まれるソフトウェアには継承性が重視される。こうした場合、CPUコアのアーキテクチャが統一されているほうがユーザーは受け入れやすい。つまり、豊富なソフトウェア資産を利用してきて、プログラムを作成しやすいことが重要である。Cortex™-M3コアを採用したことで、マイコンユーザーに、コード効率の高さ、高速割込み処理、対応ソフトウェアの豊富さ、及び充実の開発環境など多くの利点をもたらす。
- (4) その他の特長 2モータ駆動に対応できるようにPMD回路とAD変換回路を2ユニット内蔵している。また、最大10倍のゲイン設定ができる増幅器、異常電流検出時の緊急停止信号発生用比較器を各々4ユニット内蔵しており、外部回路部品を削減できるため、製品コスト削減に有効である。



4 ベクトルエンジンの有効性確認

開発したマイコンを用いて家電系モータを2台駆動し、ベクトルエンジンの機能を確認した。



(注1) ARM及びCortexは、ARM LimitedのEU及びその他の国における商標又は登録商標。

4.1 回路構成

TMPM370を用いてモータを駆動する回路を図4に示す。インバータ用スイッチング回路としてIPD (Intelligent Power Device) TPD4135Kを用い、モータ電流検出の方式は3シャント抵抗方式とした。

TPD4135Kは、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) やFRD (Fast Recovery Diode)、ゲートドライバ、保護回路 (過電流保護、過熱保護、減電圧保護) を1チップに内蔵しているので簡単にインバータ回路を構成できる。

モータ電流はシャント抵抗の電圧を検出することで求める。シャント電圧はプラスあるいはマイナスに変動する微小信号のため、レベルシフト回路でプラス領域に変換し、増幅器で十分な大きさに増幅してからADコンバータで取り込む回路構成とした。

4.2 ベクトルエンジンの機能確認結果

家電用モータ2台をベクトル制御にて正弦波駆動させ、ベクトルエンジンの機能を確認した。現在、家電製品でのPWM周波数は最大16kHzが採用されており、CPU処理は62.5μs以内に終了させる必要がある。PWM周波数を16kHzとし、従来製品のTMP19A71を用いた場合と開発したTMPM370を用いた場合で、ソフトウェアのCPU処理時間を比較した結果を表1に示す。

CPU処理時間は、モータを駆動させるベクトル制御処理時間と、製品特有のソフトウェア処理時間の合計となる。

TMP19A71では、ベクトル制御処理に30μsを要した。これに製品処理に要する時間(10~20μs)を加えると、最大約50μs必要である。そのため、制御周期62.5μsではモータ二つ分の演算処理を終了できない。

一方、TMPM370の場合は、ベクトル制御処理に8μsを要し、製品処理の時間(8~16μs)を加えると、最大でも約24μs以下の処理時間で済む。

このように、ベクトルエンジンの有効性が確認できた。

表1. TMPM370とTMP19A71でのソフトウェアCPU処理時間比較
Comparison of CPU processing times of TMPM370 and TMP19A71

項目	TMPM370 (クロック周波数80 MHz)	TMP19A71 (クロック周波数56 MHz)
ベクトル制御処理時間 (μs)	8	30
製品特有のソフトウェア処理時間 (μs)	8 ~ 16	10 ~ 20
ソフトウェアのCPU処理時間の合計 (μs)	最大約24	最大約50

5 製品ラインアップ

量産中のベクトル制御マイコンTMPM370FYFGに続いて、1モータ駆動用に機能を絞り、ピン数やパッケージを縮小しコストパフォーマンスを改善した、64ピンのTMPM372FWUG、48ピンのTMPM373FWDUG、44ピンのTMPM374FWUGを開発中で、まもなく量産開始予定である。また、メモリ容量を増加したROM (フラッシュメモリ) サイズが512Kバイトの製品や、3チャンネルのモータ駆動ができる多ピンタイプの144ピンパッケージの製品も開発予定であり、ユーザーニーズに対応できるようにラインアップを充実させていく。

6 あとがき

当社は、ベクトル制御を新たに導入したいユーザーにとって使いやすく、ソフトウェア開発の負荷を軽減できるベクトルエンジンを搭載したベクトル制御マイコンTMPM370を商品化した。

正弦波駆動を必要とするアプリケーションは、省エネの観点から、今後ますます増大していくことが予想される。

今後は、ベクトルエンジンを活用して高付加価値技術をマイコンに搭載し貢献していく。

文献

- 関原聡一 他. エアコン用正弦波駆動インバータ-コンプレッサモータの高性能駆動. 東芝レビュー. 57, 10, 2002, p.42-45.



鈴木 信行 SUZUKI Nobuyuki

生産技術センター 制御技術研究センター。
モータ制御マイコン及びインバータの研究・開発に従事。電気学会会員。
Control Technology Research Center



長谷川 幸久 HASEGAWA Yukihisa

生産技術センター 制御技術研究センター主任研究員。
モータ制御マイコン及びインバータの研究・開発に従事。電気学会、精密工学会会員。
Control Technology Research Center



小柴 晋 KOSHIBA Susumu

東芝マイクロエレクトロニクス(株) アナログシステムLSI統括部 ミックスシグナルコントローラ応用技術部主務。三相モータ制御用マイコンの企画・開発に従事。
Toshiba Microelectronics Corp.