

トルク MAX! ベクトル制御プログラミング

大黒 昭宜



写真1 高効率なセンサレス・ベクトル制御が求められる最新DCブラシレス・モータ (230W出力IPMSMタイプ)
電動アシスト自転車用だがEVカートや介護カート、自走ロボなどにも向く

ここでは、DCブラシレス・モータのトルクを効率良く出し、滑らかに力強く回すためのベクトル制御について解説します。

ここで使用する最新DCブラシレス・モータ (IPMSM, 写真1) は、図1の回路で回します。三角関数、ベクトル演算、PID制御、積和演算を高速に行うため、32ビット・マイコンは必須です。基板の外観を写真2に示します。

ここでは、ベクトル制御においても、3相ゲート・ドライバ DRV8305を使用します。ターゲットのDCブラシレス・モータは最新のIPMSMタイプ (突極性あり) です。したがって i_d と i_q の電流を制御することにより、マグネット・トルクとリラクタンス・トルクを最大効率で制御できます。詳細は後述します。

センサレス方式は、ロータ磁石の速度に応じた誘起電圧を利用します。図1の破線部の120°通電矩形波駆動は前節にて述べました注1。ここではセンサレスでのロータ位置推定を行うベクトル制御を説明します。

注1: 静止 (速度ゼロ) からの始動は、ホール・センサからの位置情報を利用した120°通電で行う。ホール・センサの信号からマイコンがおおよそ100回転/分のロータ回転と判断した時点で、センサレスのベクトル制御に移行する。

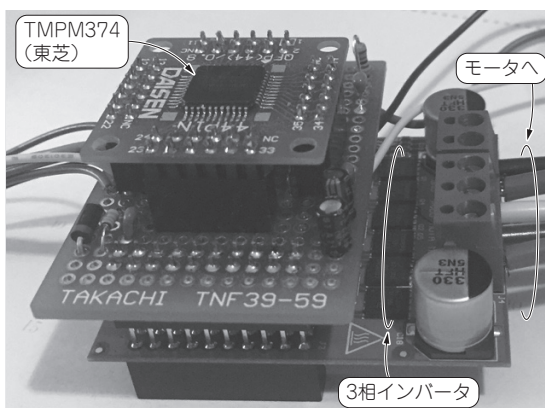


写真2 ベクトル制御専用回路を内蔵したARMマイコンTMPM374を使ってターゲット・モータ (写真1) を制御する

発生トルクを最大限に制御するため、両方の電流で行う制御で代表的な最大トルク/電流制御方式を例に説明していきます。

数式1…ロータ周りの電流/磁束/電圧/トルク

ここから少々複雑な式が出てきますが、ベクトル制御の最低限の基礎になりますので我慢して追ってみてください。なるべく計算過程を省略しないで説明します。

磁束 ϕ 、電流 i 、電圧 v はベクトル表示です。ベクトル制御ですので、ベクトルでの説明に終始します。

● 電流と磁束によってトルクが生じる

数式1はIPMSM, SPMSM共通です。まず、回転子の dq 軸上の電圧を求めます (図2)。3相-2相変換 ($\alpha\beta$ 軸)、回転座標変換 (dq 軸) から求めるのが一般的ですが、あまりにも数学的で物理現象を直感的に理解することが難しいと思います。 dq 軸上の電圧を直感的に理解できるようモータ内部の磁束変化から求めてみます。3相-2相変換 ($\alpha\beta$ 軸)、回転座標変換 (dq 軸) については多数の文献がありますので参考にしてください。

定常状態 (一定の電圧をかけた状態) の固定子側 $\alpha\beta$