

ACモータをDCモータのようにシンプルに扱いたい…
という願いから生まれた

ベクトル制御の考え方と具体的な手法

ご購入はこちら

伊藤 佳樹

$$\begin{aligned} \text{U相電圧} \quad v_u &= -V_m \cdot \sin(\theta_d + \delta_q) \\ \text{U相電流} \quad i_u &= -I_m \cdot \sin(\theta_d + \phi_q) \end{aligned}$$

(大きさ) (波形) (位相)

図1 交流電圧/電流の大きさ、波形、位相(U相)

DCブラシ付きモータのような簡単な制御をDCブラシレス・モータでも実現できたら…そんな願いから生まれたのがベクトル制御です。

交流の複雑な振る舞いを見通し良く整理し、電流とトルクを自在に操る、「まるで止まって見える世界で回転を制御する不思議で合理的な仕組み」を基礎から丁寧にひも解いていきます。

ベクトル制御の概要

● ベクトル制御の目的

交流は回転するベクトルでも表現できます。ベクトル制御とは、このベクトル表現を利用した制御です。なぜベクトル制御を使うのかと言えば、ACモータをDCモータのように制御したいからです。さらに言えば、交流を直流のように扱いたい、トルクに比例する電流で制御したいということです。

そのためにベクトル制御では、回転座標系の dq 軸を導入し、モータ電流を d 軸電流、 q 軸電流に分解して独立に制御します。ここでは、第1章における dq 座標やトルク電流 I_q の説明を元に、ベクトル制御の考え方から具体的な手法まで説明します。

● 交流を直流のように扱えるのでシンプルになる

直流で扱う電圧、電流は大きさのみです。一方、交流には大きさ、波形、位相の要素があります(図1)。交流の大きさについては一般に実効値で $100V_{\text{RMS}}$ 、 $20A_{\text{RMS}}$ のように扱われ、電圧計やテストも実効値を測定します。また、実効値を $\sqrt{2}$ 倍した値は波形の振幅やベクトルの長さになります。さらに、波形については回転するベクトルを固定されている軸で観測する

と正弦波になり、式では $\sin$ や $\cos$ で表現されます。位相についてはU相コイル軸からの d 軸回転角度を θ_d とします。 $\theta_d(t) = \omega_1 t$ ですので時間変化します。 q 軸からの電圧位相 δ_q 、電流位相 ϕ_q は、定常状態では一定の値です。ここでベクトル表現を利用すると、ベクトルなので大きさと向きだけで表現でき、時間変化する $\sin\theta_d$ 、 $\cos\theta_d$ は出てきません。直流と比べて δ_q 、 ϕ_q というベクトルの向きを表す位相が増えますが、直流と同じように定常状態で変化しない値だけを扱うことができます。

● 制御の流れ

実際に検出するモータ電流は3相交流であり、モータに加える電圧も3相交流です。このため、モータで回転する磁石と一緒に回転する回転座標系(dq 軸)を導入し、次のような流れで制御します(図2)。

- 1, 現実の3相交流電流(UVW軸)を回転座標(dq 軸)の世界の値へ座標変換する
- 2, 回転座標(dq 軸)の世界でベクトル制御をする(必要なトルクを発生させる電流を流すための電圧ベクトルを演算)
- 3, ベクトル制御の出力である電圧(dq 軸)を逆座標変換で3相交流電圧(UVW軸)に変換

モータ電流、モータ電圧などのベクトルは、磁石の回転に合わせて一緒に回転していますが、回転座標系では座標軸も同じように回転しているので、ベクトルが止まって見えます。これは、電車に乗っている人を外から見ると高速で移動して見えるのに、一緒の電車に乗っていれば止まって見えるのと同じように考えることができます。

● ベクトル制御は直交座標系の d/q 軸成分で扱う

これまでは主にベクトルの大きさと向きという、極座標的な表現に注目して説明してきましたが、ベクトルは直交座標系でも表すことができます(表1)。ベクトル制御では基本的に直交座標系の d 軸成分、 q 軸成分で制御します。ベクトル制御を直交座標系で行う理由は、交流モータのトルクと磁束を互いに独立して制