

モータのしくみから位置/速度制御の実践テクニックまで

## 実践講座 小型モータの選定と制御技術

### 第11回 ステッピング・モータの励磁と駆動

～2相, 3相, 5相モータの励磁方式の詳細～

萩野 弘司

Hiroshi Hagino

連載第10回(2007年4月号)では、HB型ステッピング・モータについて、その構造と基本的な動作原理を説明しました。

ステッピング・モータは、そのモータに固有の回転角度でステップ状に回転・停止するモータで、ステータ巻き線のそれぞれの相に決められたパターンで順次電流を流す必要があります、その方法を**励磁方式**と呼びます。

励磁方式にはいくつかの方式があり、これを理解することが駆動回路を設計するための基本となります。今回はこの励磁方式を、2相, 3相, 5相の各モータについて整理することになります。

### 2相ステッピング・モータの場合

#### ● 誘導起電力波形と $\theta-T$ 特性

第10回では、ステッピング・モータの構造から動作原理を説明しましたが、今回は見方を変えて、誘導起電力からモータの動作を考えてみたいと思います。

HB型ステッピング・モータはロータにマグネット(永久磁石)が組み込まれており、そのマグネットの磁束はステータ部に流れ込み、各相の巻き線に鎖交しています。従って、ロータを外部から回すと、巻き線の鎖交磁束が時間的に変化するので、巻き線に誘導起電力が発生します。

図11-1は誘導起電力の測定結果の一例で、A相とB相の電圧が $90^\circ$ の位相差で発生していることが確認できます。ロータの小歯の数が50個のとき、N極とS極がそれぞれ50極あり全体で100極の働きをしているので、この正弦波状の誘導起電力はロータの1回転につき50サイクル発生します。

連載第2回(2006年9月号)で説明したように、この誘導起電力波形から誘導起電力定数  $K_E$  [V/(rad/s)] を求めると、この値はトルク定数  $K_T$  [N·m/A] に相当することになります。つまり、この誘導起電力波形は、巻き線に1Aの電流を流したときのモータの発生トルクを表していると考えられます。

従って、1相(例えばA相)に定電流を流したときの、ロータの回転角度と発生トルクの関係は図11-2のようになります。実際には**ディテント・トルク**(コギング・トルク)の影響分だけトルク波形ははずみずす。

ここで、正のトルクを反転方向のトルク、負のトルクを正転方向のトルクと考えると、トルクが負から正に変わる位置でロータは停止することになり、この位

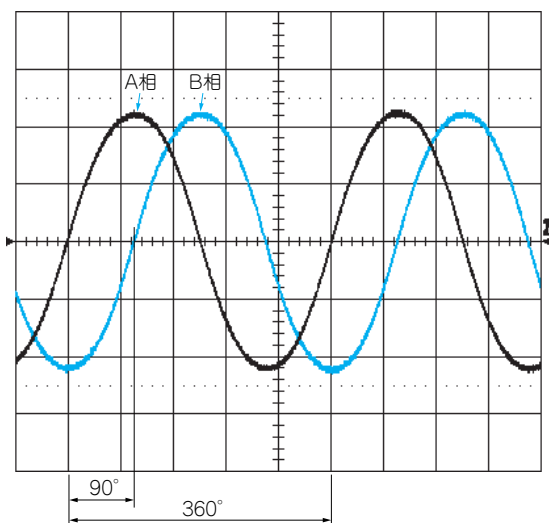


図11-1 2相モータの誘導起電力波形(2V/div., 0.2ms/div.)

A相とB相の電圧が $90^\circ$ の位相差で発生していることが確認できる

### Keywords

2相, 3相, 5相, マイクロステップ, 励磁方式, 鎖交, 誘導起電力定数, トルク定数, ディテント・トルク, 安定点, トルク・ベクトル図, ハーフ・ステップ, フル・ステップ, ペンタゴン結線

位置を**安定点**と呼びます。トルクが正から負に変わる位置は**不安定点**で、ロータはこの位置に止まることはできず、どちらかの安定点に向かって回転して停止することになります。

安定点近傍の回転角度とトルクの関係は、第10回で説明した $\theta-T$ 特性そのものになります。

### ● 2相モータの励磁方式と1相励磁

以上から、2相モータをA相励磁、B相励磁、 $\bar{A}$ 相励磁(A相励磁と逆方向の電流を流したとき)、 $\bar{B}$ 相励磁(B相励磁と逆方向の電流を流したとき)の順に励磁すると、トルク波形は**図11-3**のようになります。

すなわち、各々の励磁に対するトルク波形は、電気角で $90^\circ$ (機械角では $1.8^\circ$ )間隔で空間的に分布しており、

$$A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow$$

のように励磁相を切り替えると、それぞれの励磁相の安定点に向かって機械角 $1.8^\circ$ 間隔で歩進動作させることができます。このように1相ずつ励磁する方法を**1相励磁方式**と呼びます。この励磁パターンをシーケンス図で表すと**図11-4(a)**のようになります。

### ● トルク・ベクトル図と2相/1-2相励磁方式

steppingモータの励磁相とロータの回転角度の関係の説明するとき、ロータの小歯のピッチ(機械角で $7.2^\circ$ )を電気角 $360^\circ$ で表した平面上に、トルク的大小と角度をベクトルで表現する**トルク・ベクトル図**という方法があります<sup>(1)</sup>。

A相を励磁したときのAベクトルの角度を $0^\circ$ として、Aベクトルの長さをトルク的大小で表すと、B

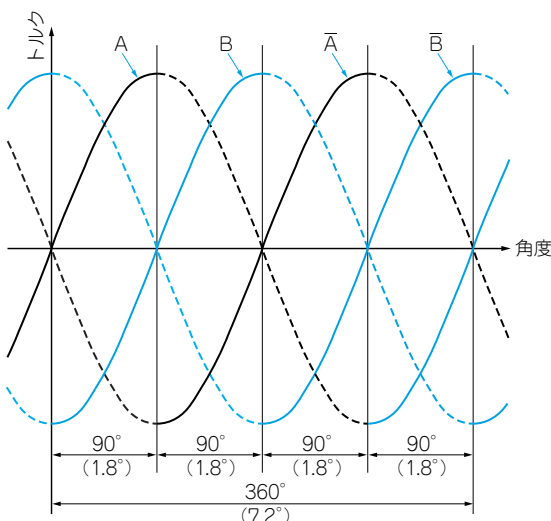


図11-3 2相モータのトルク波形(1相励磁。かっこ内は機械角) 各々の励磁に対するトルク波形は、電気角で $90^\circ$ (機械角では $1.8^\circ$ )間隔

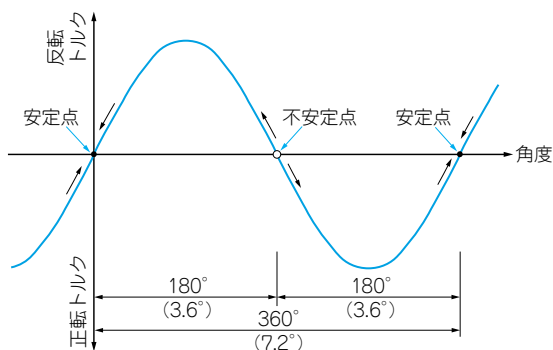


図11-2 2相モータの1相励磁の角度トルク特性(かっこ内は機械角)

実際にはディテント・トルクの影響ぶんだけトルク波形はひずむ

相励磁のBベクトルは角度が電気角で $90^\circ$ (機械角では $1.8^\circ$ )の位置となり、以下 $\bar{A}$ ベクトル、 $\bar{B}$ ベクトルは**図11-5(a)**のように表すことができます。

### ▶ 2相励磁方式

次にA相とB相を同時に励磁したらどうなるか考えると、トルク・ベクトル図からAベクトルとBベクトルの和としてABベクトルが求まります。ベクトルの長さはA(またはB)ベクトルの $\sqrt{2}$ 倍で、角度はAベクトルから電気角で $45^\circ$ (機械角では $0.9^\circ$ )遅れた位置となります。したがって、励磁シーケンスを、

$$AB \rightarrow \bar{B}\bar{A} \rightarrow \bar{A}B \rightarrow B\bar{A} \rightarrow$$

のように、2相ずつ励磁(**2相励磁方式**と呼ぶ)したときのトルク・ベクトル図は、**図11-5(b)**のようになります。1相励磁と比較するとステップ角は同じ $1.8^\circ$ で、

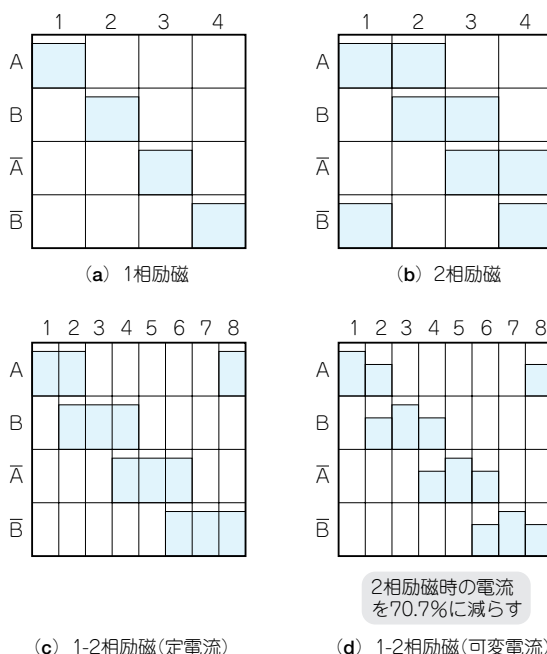


図11-4 2相モータの励磁シーケンス