パルスモータのマイクロコンピュータ制御* (5相パルスモータのための高分解能駆動方式)

佐 野 学^{*1}

Pulse Motor Control by Micro-Computer (High Resolvable Driving Techniques for Five-Phases Pulse Motor)

Manabu SANO

New driving techniques of a five-phases pulse motor for precise angular control are proposed. At first, available magnetizing conditions for all coils (combination of magnetized phases) are searched and their angle-to-torque properties are measured. Then, elaborate sequences for magnetizing coils are made from these combinations. These sequences are useful as new driving techniques with high angular resolvability for a five-phases pulse motor. Advantageously, they are easy to use by improving only the software without changing the hardware. Finally, their frequency-to-torque properties are tested and advantages of these techniques are discussed.

Key Words: Control Devices, Electrical Engineering, Electric Equipment, Pulse Motor, Stepping Motor, Digital Control

1. ま え が き

パルスモータはデジタル制御に適していることから、最近のメカトロニクスの各種システムの中で制御用のアクチュエータとして速度制御、位置決め制御などに使われることが多い⁽¹⁾。このような場合、単相励磁、4相励磁などの基本ステップ角単位での駆動方式(これをフルステップ駆動方式と呼ぶ)や1-2相励磁、4-5相励磁などのハーフステップ駆動方式が採用されているようである。しかし、このような駆動方式ではパルス数を可変することにより、回転速度は制御できるが、一パルス当たりの回転角の高分解能化を行うには限界があった。

近年、隣接する相の電流値をある比率で変化させることにより微小角度ずつ駆動する方式が考えられている。この方式はマイクロステップ駆動とかミニステップ駆動あるいはパーニヤ駆動と呼ばれ、マイクロプロセッサやデジタルICなどのハードウェアにより各相に流す電流を変化させて高分解能の回転運動を実現している⁽²⁾⁽³⁾。これとは別に、パルスモータでは巻線

(相)ごとにパルス信号を印加して同時に複数相を励磁することが可能であることから、ソフトウェアを工夫することにより励磁相の組合せを適宜選択した励磁シーケンスを用いることによって高分解能の駆動方式を作り出すことが可能である。マイクロコンピュータ、パーソナルコンピュータが安価に利用できるようになったので、駆動方式の変更などの容易さを考えるとこのようなソフトウェアによる高分解能の駆動方式を採用したほうが有利な場合もある。このようなことから本研究では5相パルスモータについて、可能な相励磁の組合せをすべて調査し角度-トルク特性を測定することにより、ハードウェアの変更なしでソフトウェアのみの変更により可能な高分解能の駆動方式を考案し、その可能性を実験的に検討した。

2. 実験装置と実験方法

パルスモータは構造上大別して可変レラクタンス形、永久磁石形、ハイブリッド形の3種類に分類できる⁽⁴⁾。本研究で使用したパルスモータは基本ステップ角が 0.72° の5相ハイブリッド形のものである。供試パルスモータとしてはオリエンタルモータ製PH564-Bを使用した。駆動装置はマイクロコンピュータからのパルス信号により、モータの巻線に正逆方向の電流

* 昭和62年3月13日 関西支部第62期定時総会講演会において講演、原稿受付 昭和61年6月18日。

^{*1} 正員、金沢大学工学部 (〒920 金沢市小立野2-40-20)。

を流すように回路を製作した。結線方法はスタンダード結線であり、各相に流す電流値は一定にしてある。

角度-トルク特性の測定は図1のような実験装置を用いて角度を変位に変換する方法により行った。装置は大別して、供試パルスモータとその駆動装置、パルス発生装置としてのマイクロコンピュータ、角度変位の測定装置から成り立っている。指針の変位測定に日本光学製のメジャースコープを使用した。このメジャースコープは1 μ mまで測定できる。

励磁相の組合せはあらかじめマイクロコンピュータに入力しておき、そのデータによりパルスモータの巻線を励磁させる。図1のようにロータ軸に取り付けたプーリに糸で重りをつるし張力を与えることによりモータの負荷トルクとした。このトルクは重りを変えることによって変化させている。ロータの角度変位をメジャースコープのテーブル上に指標をてん付してロータ軸につけた指針の変位を計算している。このようにして得られた単相励磁の角度-トルク曲線を図2に示す。図2中の実線は最小二乗法により計算した近似正弦曲線を表している。

また、周波数-トルク特性の測定は図3のようにロータ軸に取り付けたプーリに糸を付けばねばかりで引っ張ることにより負荷トルクを掛けることによっておこなった。調節ねじによりばねばかりを上下させるこ

とにより糸の張力を変え、印加トルクを変化させる。各周波数に対してばねばかりの目盛りよりトルクを計算して周波数-トルク特性を描いている。

3. 実験結果

3.1 角度-トルク特性 励磁したパルスモータのロータ軸に外部よりあるトルクをかけて角度変化を行わせたときの特性を角度-トルク特性という。一般的には巻線電流が一定のとき、すべての相に対する角度-トルク特性曲線は図4のように表される。発生するトルク T_i 、ホールディングトルク T_h 、ロータ歯数 Z_r 、相数 m 、回転角 θ 、相番号 i として、この関係を式で表せば

$$T_i = -T_h \sin\{Z_r \theta - 180(i-1)/m\}$$

このとき、基本ステップ角 θ_s は、 $\theta_s = 180/mZ_r [^\circ]$ となる⁽⁴⁾。本研究で使用したパルスモータは基本ステップ角 0.72° 、相数5であるから歯数は50枚である。したがって、角度-トルク曲線は次式で表される。

$$T_i = -T_h \sin\{50\theta - 36(i-1)\}$$

ここで、 T_h は図2に示す単相励磁の角度-トルク特性

図1 実験装置 (角度-トルク特性)

図2 単相励磁の角度-トルク特性

図3 実験装置 (周波数-トルク特性)

図4 角度-トルク特性

の実験値を最小二乗法で整理して得られる値により決定することにする。

3.2 パルス当たりの回転角の高分解能化 巻線に流す電流を一定値としたとき、図4に示した角度-トルク特性曲線のうちのいくつかを組合せると異なった角度-トルク特性曲線が得られる。例えば図5のように一基本ステップ角だけ位相のずれた二つの曲線について考えてみれば、無負荷時の停止点が基本ステップ角の中間点に存在するような合成曲線が得られる。このように、複数相を同時に励磁したとき、無負荷時の停止点が基本ステップ角の中間に来ることを利用してある回転角単位でロータを回転させることができる。以上のことを高精度で実現することができればパルスモータのパルス当たりの回転角の高分解能化が可能となる。このようにして得られた曲線の一例を図6に示す。図6中のA, B, ...は励磁相を表し、-は電流を逆に流すことを意味している。同一の停止点を持つ曲線でも励磁相の組合せにより傾きが異なったものが得られるが、実用という観点から考えればトルクが大きいほうを採用することが望ましいと考えられるので、今回の実験ではそれぞれの組合せのうちで最も傾きが大きいほうを採用した。

3.3 高分解能駆動方式 励磁曲線の組合せの結果を利用することにより、一パルス当たりの回転角を

図5 角度-トルク特性の重ね合せ

図6 角度-トルク特性の重ね合せの一例

高分解能化した一例として、図7に示すような励磁シーケンスにより1/4ステップ角単位での回転を行うことが可能である。この場合のタイミングチャートを図8に示す。

また、停止点が基本ステップ角の1/8, 7/8となるような励磁曲線の組合せはすべての可能な組合せを調べたが存在しないことが明らかとなった。以上のことから、5相のパルスモータに対して最も高分解能化された励磁シーケンスは図9に示すように回転角が0ステップ→1/4ステップ→3/8ステップ→1/2ステップ→5/8ステップ→3/4ステップ→1ステップと変化する励磁シーケンスで以下これを1/4-1/8ステップ併用駆動方式と呼ぶことにする。この場合のタイミングチャートを図10に示す。

フルステップ、ハーフステップ、1/4ステップ、1/4-1/8ステップ併用駆動方式について周波数-トルク特性を比較した結果を図11に示す。

高分解能駆動方式による発生トルクは低周波数域で

図7 1/4ステップ駆動方式の励磁シーケンス

図8 1/4ステップ駆動方式のタイミングチャート

図9 1/4-1/8ステップ駆動方式の励磁シーケンス

図 10 1/4-1/8 ステップ駆動方式のタイミングチャート

図 11 周波数-トルク特性の比較

は 4-5 相励磁によるものより小さく 3 相励磁によるものより大きい、全体的に従来の駆動方式に比較してトルクの垂下する割合が小さく高周波数域までトルクが落ちない。

1/4 ステップと 1/4-1/8 ステップ駆動方式の比較は低周波数域 (約 5 kpps 以下) では、両者とも同程度のトルクを発生するが高周波数域となるに伴って 1/4-1/8 ステップ駆動方式のほうが発生するトルクが大となっている。

しかし、同一パルス数では一パルス当たりの回転角は小さくなるので、それに比例してモータ回転数は相対的に小となることになる。これをモータ回転数に換算して比較してみると図 12 のようになり、1/4 ステップのほうがわずかに大きいトルクを発生するもののほとんど同様のトルクと垂下特性を示している。

1/4-1/8 ステップ併用駆動方式では、回転角が 1/4

図 12 回転数-トルク特性の比較

ステップ角になったり、1/8 ステップ角になったりするが実験の結果当初懸念されたような振動などもなくモータは滑らかに回転した。

4. 結 論

本研究の結果は以下のように要約できる。

(1) 供試 5 相ハイブリッド形パルスモータにおいて、一般的な駆動方式のほかにその相励磁の組合せを工夫することでソフトウェアの変更のみにより、1/4 ステップ角単位での駆動方式、1/4-1/8 ステップ併用駆動方式を実現することが可能であり、そのパルス周波数-トルク特性を測定した結果、十分実用になることが明らかとなった。

(2) 1/4-1/8 ステップ併用駆動方式の場合、回転角が 1/4 ステップ角になったり 1/8 ステップ角になったりするが高速回転時でも振動などについてはなんら問題がないことが明らかとなった。

終わりに本研究に協力していただいた当時の金沢大学学生の相倉伸建、山岡明暢両氏に謝意を表す。

文 献

- (1) 土屋, ステップモータ, 電気試験所彙報, 26-3 (昭 38), 203.
- (2) 新村, 自動制御ハンドブック, 機器応用編, (昭 58), 133, オーム社.
- (3) 新村・菅原, ステッピングモータ, 電子技術, 22-5 (昭 55), 14.
- (4) 海老原・岩佐, ステッピングモータ活用技術, (昭 59), 7, 工業調査会.