

小型インダクションモータとその応用

Application of Induction Motors

奥山 洋^{*1}
OKUYAMA You

加納 敬三^{*2}
KANOU Keizou

インダクションモータは、商用電源に接続するだけで回転運動が得られる最も取り扱い易いモータで、民生用機器から、産業機械まで広く実用化されている。インダクションモータには短時間使用で高出力を必要とするもの、連続運転で長寿命を必要とするもの、起動トルクを重視するもの、停動トルクを重視するものなど、さまざまな要求がある。また、速度制御、トルク制御の要求もある。これらのモータの90%以上は減速機構やブレーキ機構などの機能を付加している。

本稿では、これらモータと付加機能から、顧客ニーズにあったモータと付加機能を選定し、使用されている事例について述べる。

Induction type motors are the most operable motors that can easily generate rotary motion only by connecting with power supply, and applying for various ways from household to industrial equipment. The motors are required various demand such as a high starting torque, a durability for continuous operations, starting or breakdown torque, speed and torque control. More than 90% of those motors have additional mechanisms such as speed-reduction mechanism and the braking mechanism. This paper introduces some appliances of the motors as well as optional functions selected for customers' needs.

1. はじめに

インダクションモータは1880年代にヨーロッパでその原理が確立され、100年以上も使用されているモータである。最近ではステッピングモータやサーボモータなどの制御用モータが注目されているが、最も多く使われる動力用モータはインダクションモータである。インダクションモータは商用電源に接続するだけで、回転運動が得られる。ステッピングモータやサーボモータに比べ制御性の面では劣るものの、スピードコントロールモータや電磁ブレーキを装着したモータ、トルク制御のできるトルクモータなどインダクションモータの使用範囲も広がっている。更に、構造がシンプルなため、高い信頼性と長寿命が期待できる。図1に各種のインダクションモータの外観を示す。

2. インダクションモータの基本

2.1 インダクションモータの概要

インダクションモータは電磁誘導によって一次側から

二次側に電力を伝え、この電力を動力に変換する原理のモータである。インダクションモータは一般に同期速度以下の速度で運転するもので、広く実用化されているモータである。その特長は、

交流電源のため特別な変換装置がなくても使用できる。
構造がシンプルで取り扱い易い。

1 ~ 150 Wの出力にわたって経済的。

簡単な装置で始動ができる。

運転時の特性は高力率、高効率で消費電力が少ない。
などが挙げられる。



図1 横河サーテック生産のインダクションモータ

*1 モーション&メジャメント事業部 技術1部

*2 横河エム・エー・ティー株式会社

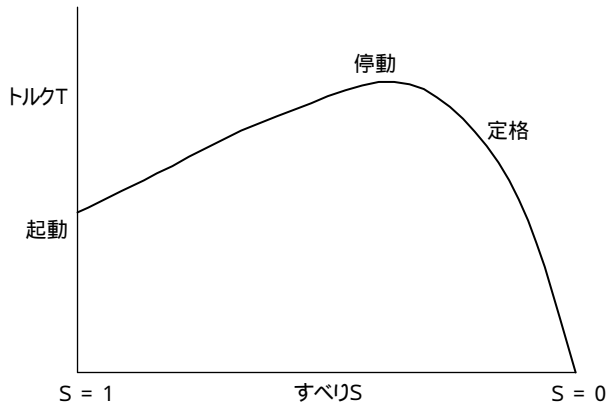


図2 すべりとトルクの関係

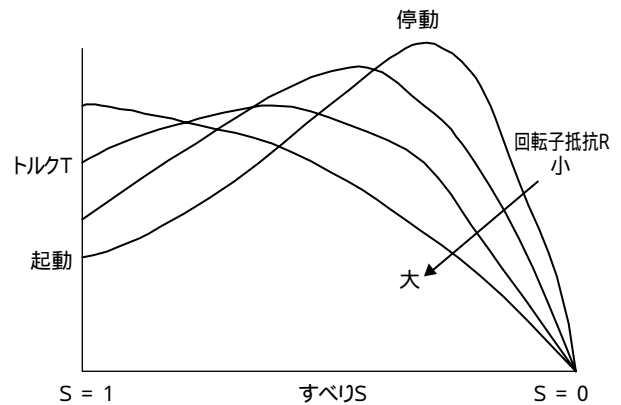


図3 回転子抵抗と特性

2.2 インダクションモータの動作原理

(1) インダクションモータは固定子巻線に流れる交番電流によって回転磁界をつくり、その回転磁界と回転子に生ずる誘導電流との間に作用するトルクを利用している。

回転子に生ずる誘導電流を適当に大きくするためと、その電流通路を整えるために、成層珪素鋼板にスロットをつくり、それにかご形状に銅またはアルミなどで巻き回数1の巻線を行う。この場合は、固定子、回転子共に力の発生箇所は電流の流れている導体ではなく、ほとんどが鉄心に働く。

インダクションモータの回転子に生ずる誘起電圧の大きさと、その周波数は同期速度からのずれ、いわゆるすべりに比例する。誘導電流もすべりに比例する。このことはトルクがすべり速度に比例して大きくなることを示す。(図2参照)

(2) コンデンサーを使用するインダクションモータは、二つの固定子巻線からなる二相巻線の一相に直列にコンデンサーを挿入して、単相電源で駆動する。この場合、線径と巻数を適当に設計し連続運転時において円回転磁界が得られるようにしてある。こうすることによって、磁気吸引力による不要振動を極力小さくするようにしている。

始動時には回転子に流れる誘導電流が大きくなり、固定子側からみたインピーダンスが変わって楕円回転磁界となる。そのため、始動トルクが低下し、トルク-速度特性(以下T-N特性と記す)の凸特性が強く現れる。

回転子のかご形巻線は斜めスロット(以下スキューと記す)されている。このスキューをすることで、高調波非同期トルクを小さくすることができる。

(3) インダクションモータのトルクは固定子回転磁界による磁束密度Bと誘導電流の流れている回転子導体間に作用する力として、次式で計算される。

$$\text{トルク } T = K \cdot I \cdot B \cdot \cos$$

K: 比例定数 I: 回転子導体の電流

: IとBとの間の位相角

磁束密度Bは一定でなく、すべりによって異なる。これは固定子の漏れインピーダンスによって負荷電流に基ずく電圧降下が生ずるためである。

また、トルクTに同期角速度 ω を乗じた値同期ワットは次式で示される。

$$T \cdot \omega = (I^2 \cdot R) / S$$

I: 回転子導体の電流

R: 回転子の抵抗

S: すべり

入力電力 $I^2 \cdot R$ は回転子内の熱エネルギーに変わる電力と、機械的出力の和である。

停動トルク(最大トルク)の生ずるすべり S_m は回転子抵抗Rに比例する(図3参照)。回転子抵抗を大きくすれば $S = 1$ の時、起動電流が小さくなり、起動トルクが大きくなる。しかし、回転子抵抗を大きくすると、速度変動率が大きくなり、効率も低下する。

3. モータ特性と使用例

モータの特性を変えることで、使用される製品に、最適なモータを選定することができる。

(1) 大きな起動トルクを必要とするモータ

起動トルクを大きくし、全体を垂下特性にするモータは自動ドアのように起動時大きなトルクを必要とする製品に使用される。自動ドアは重いガラス板を動かすため、起動時に力が必要である。一度動いてしまえば後はレールの上を動くので、さして力が必要としない。このような製品は他にバルブの開閉がある。バルブは回転がゼロになる時締め切らなく

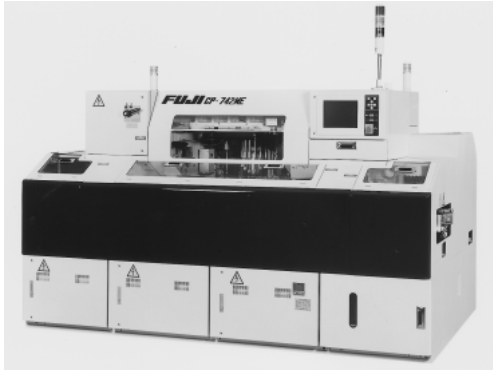


図4 基板表面実装装置用コンベア
(富士機械製造株式会社殿ご提供)

- ・上記に使用されているリバーシブルモータの仕様
- モータ出力：6 W 連続定格
- ギヤヘッド許容トルク：1.4 N・m
- 寿命：10,000時間
- 簡易ブレーキ内蔵(ブレーキブラシ特殊品を使用)

てはならないので、起動トルクの大きなモータが好ましい。起動トルクを大きくするには先に述べたように二次側(回転子)抵抗を大きくすれば、起動トルクは大きく、全体に垂下特性になる。このようなモータは、固定子のエンドリングと言われるかご形巻線の一部をカットすることで可能となる。

(2) 大きな停動トルクを必要とするモータ

大きな停動トルクを必要とする製品の例として、シュレッダーとコンベアについて述べる。停動トルクの大きなモータは、始動後に負荷が徐々に加わる製品に使用される。シュレッダーは紙が入ると先にセンサーが働きモータが回転し始める。紙が刃物に当たった時から負荷が加わる。従って、紙の枚数を多く切るには停動トルクが高いことが好ましい。コンベアの場合は、できるだけ無負荷回転速度と停動回転速度に差が少ないことが望まれる。負荷が大きくなっても回転速度の変化が少ないので、搬送能力が落ちない。停動トルクを大きくするには、先程とは逆に、二次側抵抗を小さくすればよい。



図5 生ゴミ処理機
(株式会社田窪工業所殿ご提供)

- ・上記に使用されているリバーシブルモータの仕様
- モータ出力：25 W 30分定格
- サーマルプロテクター：120 内蔵
- 減速機許容トルク：7.8 N・m
- 騒音：36 dB

(3) リバーシブルモータの特性

正転、逆転を行うリバーシブルモータは起動トルクと定格トルクがほぼ等しく、停動トルクが高くないほうがよい。停動、定格トルクが起動トルクに比べ、高すぎると、正転、逆転がスムーズにいかず、逆転の信号を入れても逆転せず、同じ方向に回り続けることもある。連続定格のリバーシブルモータに簡易ブレーキを付加したモータの使用例を図4に示す。

(4) 温度特性

当社のインダクションモータの絶縁階級はE種120を使っているので、周囲温度を加えた定格運転時のコイルの温度上限は115 以下(抵抗法)となっている。モータを1時間に5~10分しか使用しない装置に、連続や30分定格のモータは必要でない。5~10分でE種絶縁を満足できればよいので、短時間定格で、サイズが小さく、出力が大きいモータが最適となる。但し、このような短時間定格のモータには安全のために、原則サーマルプロテクターを内蔵する。生ゴミ処理機バイオ型(図5参照)は1時間に5~10分かき回すだけなので、このようなモータが最適となる。しかも、回転速度は10 r/min前後なので、減速機を使用し、高トルクで使用する。これとは逆に、パチンコ台のコイン・紙幣搬送機は、朝の9時から夜の12時くらいまでモータを連続で運転している。このようなモータは長寿命であることが必要となる。モータの寿命の殆どは、ボールベアリングの寿命によって決まる。ボールベアリングの寿命は温度によるグリースの劣化によるところ



図6 ゲーム機cSEGA1999
(株式会社セガ・エンタープライゼス殿ご提供)
・上記に使用されているインダクションモータの仕様
モータ出力: 3W 連続運転
ギヤヘッド許容トルク: 1.4 N・m
寿命: 5,000時間

が多い。そのために、このような長寿命を必要とするモータの温度上昇を低く抑えることが重要になる。このような製品は、他にプッシャーゲーム機のプッシャー部にも使用されている。(図6参照)

(5) 減速機

以上のように最適なモータを選定することができたら、次に、それに付加する減速機の選定が重要になる。インダクションモータは発熱が大きいため、連続使用の場合には減速機の軸受を焼結含油軸受にすると、すぐに油分が無くなり、焼付きを起こしてしまう。従って、このような使用条件の場合には軸受にボールベアリングを使用しなくてはならない。短時間定格の場合には、安価な、焼結含油軸受を使用する人が多い。短時間定格モータで出力を上げても、減速機の許容トルクが小さくはなにもならない。そこで、歯面に焼入れを施したり、モジュールを大きくしたり、場合によっては材料を変え、熱処理が必要となる。また、(株)横河サーテックでは軸受の寿命は焼結含油軸受の場合2,000時間、ボールベアリングの場合5,000時間と定めている。寿命が一桁下の500時間でよいものもある。照明昇降装置(図7参照)は、ランプが切れた時だけに運転するため、マグネシウムランプ等の長寿命なランプの場合、3年に1回運転する程度である。但し、機械的強度は必



図7 照明昇降装置

(東芝ライテック株式会社殿ご提供)

・上記に使用されているリバーシブルモータの仕様
モータ出力: 15W 簡易ブレーキ 内蔵30分定格
ギヤヘッド許容トルク: 9.8 N・m
寿命: 500時間
簡易ブレーキ内蔵

要である。昇降時にギヤが破損し、落下したりしたら、人命に関わることになる。従って、軸受寿命よりも、機械的強度を重視した減速機が必要になる。先に述べた生ゴミ処理機は、側に人がいるため、低騒音であることも大事な項目になる。

このように、モータと減速機、或いは速度制御用のコントローラやブレーキ等の複合機能を付加することで、使用条件に合ったコンポーネントを提供することができる。

4. おわりに

以上のように、その製品に最も適した機能をインダクションモータとその付加機構の組み合わせにより、作り出すことができる。また、スピードコントローラとインダクションモータを組み合わせることにより、プログラマブルコントローラの使用が可能となる。これら速度制御用モータと減速機・ブレーキ機構を組み合わせることで、更なる需要が望める。

最近のインダクションモータと減速機は、高出力・長寿命・低騒音が主流になりつつある。また、直交軸減速機、中空軸減速機など多種多様の要求がある。このように、インダクションモータは新たな機能を付加し、使い易いモータとして、発展していくものと考えられる。

参考文献

- (1) 横井忠明, "変圧器・誘導機・交流整流子機", 電機学会通信教育会, 1981, p. 306
- (2) 尾本義一, 宮本慶巳, "電動機応用ハンドブック", 電機書院, 1961, p. 2/1-22
- (3) 山田博, "精密小形モータの基礎と応用", 総合電子, 1975, p. 31-34, 123
- (4) 上山直彦, "モータエレクトロニクス入門" オーム, 1992, p. 1-2