

産業用可変速駆動の現状と将来

Recent Trends of Variable Speed Drives for Industry

原 島 文 雄*

Fumio HARASHIMA

電動機の変速駆動は、産業における生産・加工システムを支える基本的技術の一つである。近年この分野に半導体による電力変換の技術が導入され飛躍的發展をみた。本文においては、この分野の技術について概説する

と将来を概説する。

1. はじめに

電動機の変速駆動は、産業における生産・加工システムを支える基本的技術の一つである。

従来、広範囲の速度制御あるいは、精密な可変速制御を目的とする駆動装置は、直流電動機を中心として発展してきた。すなわち、主電動機としては、直流電動機が用いられ、これに制御された電力を供給する装置としては、M-G、磁気増巾器、水銀整流器などを経て、現在サイリスタ装置が用いられている。このサイリスタ装置を用いた直流電動機の変速駆動装置は、サイリスタレオナード装置と呼ばれ、現在技術的にも完成し、目的に応じて任意の容量のものが設計・製作されている。

一方、構造が簡単で保守性に優れ、また経済的にも安価な交流電動機は、その回転速度が電源周波数によってばきめられてしまうため、従来、広範囲な速度制御を目的とする可変速駆動装置への適用は少なかった。しかしながら、サイリスタなどの電力用半導体素子を基礎とするパワーエレクトロニクスの発展により、任意の周波数および電圧をもつ制御電源が容易に得られるようになったことにより、誘導電動機、同期電動機などの交流電動機の広範囲な可変速駆動が可能となった。これらの交流可変速駆動装置は、保守性に優れ、また、設計の自在性が大きいので、急速に実用化が行われてきている。

以上のように、可変速駆動の発展を支えてきたのは、パワーエレクトロニクスの技術の発展によるところが多い。パワーエレクトロニクスは、電力用半導体素子を用いて電力の変換と制御を行う技術であり、この最大の適用分野は、可変速駆動の技術である。この分野におけるパワーエレクトロニクスの役割は、次のようなものである。すなわち、サイリスタあるいは電力用ダイオードなどを用いた電力変換器に制御された電力を供給し、その電力の制御のためには、トランジスタ、ICなどを用いた制御装置がサイリスタの点弧制御を行い、電動機に望ましい性能を発揮させるものである。

以下、本文においては、パワーエレクトロニクスを中心とする電動機の変速駆動の技術について、その現状

2. 可変速駆動とパワーエレクトロニクス

電動機の変速駆動の分野において、パワーエレクトロニクスはまず最初、直流電動機の静止レオナードシステムおよび巻線形誘導電動機のセルビウス制御に適用された。これらのシステムでは自然転流形の変換器が用いられており、これらのシステムの普及により、M-G装置、水銀整流器などは、サイリスタ、ダイオードなどの電力用半導体素子によって置き換えられてきた。その理由は電力用半導体装置のもつ長所、すなわち、高い効率、低騒音、保守の容易さなどによるものである。レオナード装置、セルビウス装置は電力用半導体素子の採用により、その設計の自在性が増大し、容量、適用分野のいずれも拡大してきた。今後とも、これらのシステムは可変速駆動装置として広く用いられるものと思われる。

電力用半導体素子の出現により生じた新しい動向として、強制転流形変換器および可変周波数変換器の技術がある。サイリスタの出現の前から理論的には研究されてきたこれらの変換装置は、安価でかつスイッチ時間の短いサイリスタの出現により実用化され、急速に普及してきた。この分野の研究の初期の段階においては、種々のタイプの変換器が提案され、これらを可変速駆動に適用する多くの手法が開発された。しかしながら現在ではその研究開発は一段落し、次の三つのシステムが広く実用されつつある。それらは、チョップ制御直流電動機、サイリスタ無整流子電動機およびインバータ制御誘導電動機の三種である。

チョップ制御直流電動機は、直流電源をもつ輸送機の分野において主として実用されている。例えば、直流電化区間における電気鉄道の駆動、バッテリーフォーク、電気自動車などがその例である。

サイリスタ無整流子電動機は、ブラシとコミュテータより生ずる直流電動機の欠点を除去するために開発が行なわれた。無整流子電動機は、同期電動機、回転子位置検出器およびサイリスタ変換器より構成される。この中、サイリスタ変換器としては、直流電源をもつ逆起電力転流形インバータ、あるいは、交流電源をもつ電源転流形

* 東京大学生産技術研究所 第3部

サイクロコンバータが用いられる。サイリスタ無整流子電動機は、現在直流機を用いたサイリスタレオナード装置に比べて多少価格は高いが、電動機の保守が特に重要な応用分野において普及しつつある。

強制転流形インバータの周波数制御による誘導電動機の変速駆動は、保守の容易さ、寿命の点において最も望ましい特性をもつ変速駆動装置である。その理由はそこで用いられるかご形誘導電動機は直流電動機、同期電動機に比べて最も強固な構造を有するからである。現在、インバータ駆動誘導電動機による変速駆動は、他のシステムと比べて価格の点でいまだ問題があるが、将来その優れた特性のため一般産業などにおいて変速駆動装置として広く用いられるであろう。

3. 交流変速駆動装置

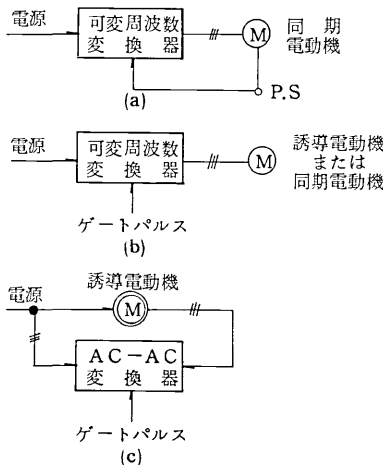
過去において高性能の変速駆動といえ、直流電動機の制御を指す時代が長かったが、前にも述べたように高速サイリスタの製造技術の進歩とともに発展したインバータの技術は、交流電動機の変速駆動の可能性を飛躍的に拡大した。その結果、多くの交流変速駆動装置が開発され、実用化の段階に入っている。

交流変速電動機は、直流電動機の変速駆動に比べて次のような特徴をもっている。

- (i) 電動機の最高速度および容量の増加
- (ii) 電動機の設置環境条件の緩和
- (iii) 保守の省力化

以上の特徴は、いずれも直流電動機のもつブラシとコミュテータが交流電動機において除去されているということによるものである。

第1図に交流変速駆動装置として主として用いられる三つのタイプを示す。第1のタイプ(第1図(a))は無整流子電動機といわれるものであり、電動機に印加される電圧あるいは電流の周波数は電動機の回転速度によ



第1図 交流変速駆動装置

て決められる。このタイプの変速駆動においては、電動機としては同期電動機が用いられる。

第2のタイプ(第1図(b))は、交流電動機の変速周波数制御である。このタイプの変速駆動においては、電動機に印加される電圧あるいは電流の周波数は外部の制御信号から与えられる。電動機としては主としてかご形誘導電動機が用いられるが、同期電動機が用いられることもある。

第3のタイプ(第1図(c))は、巻線形誘導電動機の二次電力制御によるものであり、前にも述べたセルビウス制御である。その他、巻線形誘導電動機の二次電力制御方式としてはサイリスタクレマ方式もある。

第2図に実際に用いられている無整流子電動機の構成と基本的な特性を示す。また、第3図には交流電動機の変速周波数制御装置の構成と基本的な性能を示す。これらのシステムにおいては図からわかるように、電圧形インバータ、電流形インバータおよびサイクロコンバータの三種類の可変周波数変換装置が用いられている。第3図においては交流電動機としては、かご形誘導電動機が主として用いられるが、同期電動機が用いられる場合もある。かご形誘導電動機を用いる場合、そのすべりを検出し、これを制御するいわゆるすべり制御方式はその持

| | 直流自然転流形無整流子電動機 | 交流無整流子電動機 | 直流強制転流形無整流子電動機 |
|--------|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| 電動機の構成 | 電源、順変換器、ゲートパルス、直流リアクトル、インバータ、自然転流形、SM、P.S. | 電源、サイクロコンバータ、ゲートパルス、SM、P.S. | 電源、順変換器、直流リアクトル、インバータ(強制転流形)、SM、P.S. |
| 出力 | 10~5,000 kw | 4~200 kw | 2~30 kw |
| 電動機速度 | 500~3,000rpm | 500~3,000rpm | 500~3,000 rpm |
| 速度比 | 1/20 | 1/20 | 1/20 |

第2図 無整流子電動機

| | 電圧形インバータ | 電流形インバータ | サイクロコンバータ |
|--------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 電動機の構成 | 電源、順変換器、フィルタ、電圧形インバータ、ゲートパルス、M | 電源、順変換器、直流リアクトル、電流形インバータ、ゲートパルス、M | 電源、サイクロコンバータ、ゲートパルス、M |
| 出力 | 10~1,000 kw | 10~100 kw | > 1,000 kw |
| 電動機速度 | 500~10,000 rpm | 500~5,000rpm | 低速度 |
| 速度比 | 1/20 | 1/20 | 1/100 |

第3図 交流電動機の変速周波数制御

| | 静止セルビウスシステム | 超同期セルビウスシステム |
|-------|---------------|---------------|
| 電動機構成 | | |
| 出力 | 100~2,000 kw | 100~2,000 kw |
| 電動機速度 | 500~1,500 rpm | 500~1,750 rpm |
| 速度比 | 1/3 | 1/2 |

第4図 セルビウスシステム

性が可変速駆動として優れており、将来有望である。第4図に、2種類のサイリスタセルビウス方式を示す。一方は通常のセルビウス方式であり、他方は超同期セルビウス方式である。通常のセルビウス方式においては、回転速度は同期速度以下のみで運転されるが、超同期セルビウス方式においては、変換器としてサイクロコンバータを用いているので電力の流れが可逆となり、同期速度以上の回転速度での運転も可能である。

以上、交流可変速電動機の種類と基本的特性について述べてきたが、これらのシステムはそれぞれ異なる特性を有するので、実際の使用にあたってはどのシステムを

選ぶか十分の注意が必要である。一般に駆動系の選定に当たっては次のことが問題となる。

- (i) 負荷特性
- (ii) 駆動電動機の特性
- (iii) 信頼性、保守性、経済性

第5図に各種交流可変速電動機の選定の目安となる各方式の特性を表に示す。第5図の最も右側の欄に参考のためサイリスタレオナードシステムについても示してある。これよりわかるように、現在、レオナードシステムは保守の点を除くすべての項目について優れた性能をもっている。しかしながら保守が主として問題となる応用分野については、交流可変速駆動が優れており、その中から一種類を選定する際にはいろいろの条件を考慮しなければならない。なお、経済性については現在きわめて流動的であるので表に示していないが、経済性が機種選定の重要な要素であることは言うまでもない。

4. 変換器制御電動機の問題点

サイリスタ変換器による電動機の可変速制御は、飛躍的な発展を遂げつつあるが、これに伴って、いくつかの問題点も発生している。これらは、次のようなものである。

(1) 電源への影響 変換器が電源側に発生する基本波および高調波無効電力は、電源系統に影響を与え、フリッカの発生、電気機器の磁気音の増加、鉄損の増大、通信

| 選定条件 | 無整流子電動機 | | | 可変周波数駆動 | | | セルビウスシステム | | サイリスタレオナードシステム |
|----------|-------------|-----------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| | 直流自然無整流子電動機 | 交流無整流子電動機 | 直流強制無整流子電動機 | 電圧形インバータ駆動 | 電流形インバータ駆動 | サイクロコンバータ駆動 | 静止セルビウスシステム | 超同期セルビウスシステム | |
| 速度比 | 1/20 | 1/20 | 1/20 | 1/20 | 1/20 | 1/100 | 1/3 | 1/2 | 1/100 |
| 速度変動率 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ◎ |
| 速度応性 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ◎ |
| 保守 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | △ |
| 効率 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ◎ |
| 負荷 | 定出力負荷 | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | ◎ |
| | 定トルク負荷 | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ◎ |
| 制動トルク | ◎ | ◎ | ◎ | △ | ◎ | ◎ | × | ◎ | ◎ |
| ひんばん始動停止 | ○ | ◎ | ◎ | △ | ◎ | ◎ | × | × | ◎ |
| ひんばん逆転 | ○ | ◎ | ◎ | × | ◎ | ◎ | × | × | ◎ |
| 安定微速 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | ◎ |
| 静止トルク | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | × | × | ◎ |
| 4象限運転 | ◎ | ◎ | ◎ | × | ◎ | ◎ | × | × | ◎ |

◎：最適，○：適当，△：適当でないが可能，×：不可

第5図 交流可変速電動機の選定表

障害などの原因となる。したがって、大容量化に伴って変換器が接続される電源系統に悪影響を与えないよう十分の対策が必要となる。

(2) **電動機トルクおよび電流の脈動** サイリスタ変換器は、脈動のない完全な直流あるいは交流正弦波電圧・電流を発生することができないので、電動機の電圧・電流、トルクに脈動を発生させる。したがって、電動機および負荷の性質によっては、変換器の相数、パルス数を多くするなどの対策が必要となる。

(3) **瞬時停電対策** サイリスタ変換器は内部にエネルギー蓄積がないので、瞬時停電に対して何らかの対策を施さない限り電動機の停止は避けられない。瞬時停電期間は一般に1秒以下であるが、瞬時開始時あるいは復電時に、サイリスタの転流失敗、過電流、過電圧などの事故発生の確率が高く、瞬時対策が要請されている。

5. あとがき

以上、電動機の変換器制御の最近の動向について述べ

てきた。電動機の可変速制御は電動機技術、パワーエレクトロニクスおよび制御技術の有機的結合に支えられ、一つの大きな技術的分野として発展してきた。今後、超大容量化に伴う諸問題、制御におけるマイクロプロセッサの導入、中小容量機に対するパワートランジスタの利用など多くの問題を解決し、あるいは他の技術を吸収しながら、さらに新しい適用分野を開拓しつつけていくものと思われる。
(1976年8月16日受理)

参考文献

- (1) 森, 他: 富士時報47, 2, 177 (昭49)
- (2) 難波江・関: システムと制御 19, 11, 30 (昭50)
- (3) 堀: システムと制御 19, 11, 30 (昭50)
- (4) W.E. Newell: IEEE Trans. Indust. Applic, IA-10, 1 (1974)
- (5) 宮入: オーム62, 2, 56 (昭50)
- (6) 原島: 電気学会雑誌 96, 5, 30 (昭51)

次 号 予 告 (12月号)

研究解説

アーチの解析における曲線要素について { 山田 嘉昭
江沢 良孝

研究速報

Advantages of Charles Peirce's Semiotics for Design Science 外山 知徳

Basic Problems in Design Semiotics 外山 知徳

Application of Stable Parameter Identification and Control Scheme for the Classical Lur'e Problem (PART 2) 福田 敏男

無整流子電動機の動特性と伝達関数モデル { 原島 文雄
内藤 治夫
羽根吉寿正

CU-A1合金の酸化における金属結晶粒界の影響 { 田中 彰博
松永 茂樹
本間 禎一

白金メチルカルボニル錯体における分子内アシル化過程の量子化学的検討 { 齊藤 泰和
岩柳 隆夫

研究室紹介

複合材料技術センター 山田 嘉昭