新しいドライブ制御技術の考察*

安川シーメンスオートメーション・ドライブ株式会社 システム技術グループ 河 村 美智雄

Consideration of the Latest Technology for Drive Control

Michio Kawamura

Yaskawa Siemens Automation & Drives Corp.

Recently, the application area of the variable speed drives for the paper making plants are expanding and methods of application are changing due to the rapid progress of inverter and servo technology.

On the other hand, the requirements toward the environment, such as correspondence to the low noise, the decrease of the electromagnetic noise, repression of the harmonic electrical current, become severe.

As consideration of the latest technology for drive controls of Yaskawa Siemens Automation & Drives Corp., technology of synchronous drive with MASTERDRIVES MC, technology of 3-level PWM control for environment harmonic control with VARISPEED G7 are mainly described in this papers. HOLLOW SHAFT AC SERVO DRIVES and inverter mounted SIMODRIVE POSMO A DRIVES are briefly explained as advanced drive technology.

分類：V₂ 紙パルプ工程制御システム，U₇ 電気

1. はじめに

近年、製紙設備におけるドライブは、インバータ技術やサーボ技術の急速な進展により、その適用範囲が拡大し、また適用方法も変化しつつある。

汎用インバータによるファンやポンプ等の省エネルギードライブからベクトル制御インバータによる抄紙機、オフマシニコータ、ワインダ等の高精度、高性能ドライブ、サーボドライブを用いた高速高応答ポジショニング用途まで、可変速ドライブが幅広く適用されるようになってきた。可変速ドライブは、設備・機械の機能、性能の向上、コストダウン、省エネルギーに貢献してきたが、これらの要求に終着点はない。

一方、環境に対する要求が厳しくなり、低騒音への対応、電磁ノイズの低減、商用電源に対する高調波の抑制などの要求が強くなってきた。

本稿では新しいドライブ技術として、近年印刷機械業界で実用化が進んでいるドライブ間同期位相制御機能を搭載した高性能システムインバータ MASTERDRIVES MC によるシャフトレスドライブとその応用について述べる。次に世界で初めて汎用インバータに 3 レベル PWM 制御を搭載し、400 V 級インバータの潜在問題、特に対環境性能を著しく改善した VARISPEED G7 インバータドライブについて紹介する。また、当社の特長あるドライブ製品である中空ドライブ並びにインバータモータ搭載ドライブについてその技術を紹介する。

*平成 13 年度年次大会講演（講演 No. A 6）

2. ドライブ間同期位相制御技術と応用

ここ数年、印刷機械業界においては、印刷ユニット間をギヤ連結した従来のラインシャフト駆動方式から各印刷ユニットを個別に駆動するシャフトレスドライブ方式への移行が進んでいる。シャフトレスドライブ方式は長所が多く理想的な駆動方式であるが、高精度なドライブ間同期位相制御性能が求められる。また、この同期位相制御機能の応用として、ドライブ間の位相差角比率を調整することによって超高精度比率（ドロー）運転を実現し、ウェブの張力を精密にコントロールすることができる。

以下に、MASTERDRIVES MC を使用したドライブ間同期位相制御によるシャフトレスドライブについて、その長所と応用例、制御技術について紹介する。併せて MASTERDRIVES MC の特長を活かした適用について述べる。

2.1 MASTERDRIVES MC による

ドライブシステムの長所

MASTERDRIVES MC は、1:10,000 の広域速度制御を可能としたドライブ装置で、そのドライブ間同期位相制御により、従来の機械機構付き駆動部のシャフトレスドライブ化が実現できるようになった。

速度制御範囲 1:10,000 を実現するドライブでは低速マシンや大径ロールのギヤレスダイレクトドライブの実現が可能であり、また高速から超低速まで広範囲の操業運転が要求される用途ではギヤ切り替え装置等の余分な設備を省略することができる。これらの長所は以下の通りである。

(1) 経済的である

- ・駆動系に介在するシャフト、ギヤ、クラッチ等が不要となり、機械各部が簡略化されるためイニシ

ヤルコストと保守のためのランニングコストが低減できる。

- ・機械部分でのエネルギー損失が無くなり設備の省エネルギー化が図れる。
- (2) 駆動性能が向上する。
 - ・ラインシャフトのねじれ、ギヤ等のガタが低減され、機械系を含めた駆動精度が向上する。
 - (3) 保守性が向上する。
 - ・機械部品の減少によりメンテナンス性が向上する。
 - ・整備、清掃作業が容易である。
 - (4) 設備の計画が容易である。
 - ・機械部の設計・手配が不要となり、設備の計画が容易となる。
 - (5) 操作性が向上する。
 - ・個別駆動によって単独で操作でき、原点合わせ等の操作性が向上する。

2.2 応 用 例

ここでは、ドライブ間同期位相制御と広範囲速度制御の製紙機械設備における応用について一例を紹介する。

1) 同期位相制御の応用例

- ・ドライヤセクションのギヤレスドライブ（各シリンダドライブ、キャンバスドライブの同期運転）
- ・薄物、湿紙搬送用ペーパーロール群のプリー・ベルトレス、シャフトレス同期運転同期運転制御応用の精密ドロー制御

2) 広範囲速度制御の応用例

- ・多目的コータのダイレクトドライブ

2.3 制 御 技 術

ここでは同期位相制御について制御技術の詳細を紹介する。

図1 システム構成例

1) 同期位相制御の要素技術

同期位相制御では、個別の駆動モータ間で高精度な同期制御を行うことが重要でそのためには、次のような要素技術が確立されていることが必要である。

- ・ドライブユニット：高速同期制御機能を持ち、制御が完全に同期すること。
- ・通信：高速ドライブ間通信ができること。
- ・モータ：低慣性高応答モータであること。
- ・速度センサ：高分解能エンコーダを有すること。

2) システム構成

同期位相制御の要素技術を満足するシステム構成を図1に示す。

各構成要素の特長は以下の通りである。

- ・ドライブユニット：MASTERDRIVES MC (Motion Control)

MASTERDRIVES MC は、整流装置内蔵または、整流装置/回生機能付整流装置と接続するインバータで、小容量 (0.5 kW) から大容量 (200 kW) まで幅広いレンジで対応している。また、角度同期制御、位

図2 パーチャルマスタ例

図3 リアルマスタ例

置決め、電子ギヤ、高精度なりアルマスタ軸などの機能を備えており、高応答のダイナミック制御性能により、角度同期制御時の要求精度を満たすことができる。

MASTERDRIVES MC には、同期位相制御に必要な各種機能のソフトウェアが標準装備されており、ユーザが使用するソフトウェアをパラメータによって設定することが可能となっている。

・通信：SIMOLINK (Siemens Motion Link)

同期運転のための同期信号と必要な制御信号を送送するための通信装置が SIMOLINK で、光信号により超高速相互通信を実現している。SIMOLINK の機能は以下の通りである。

- (1) ドライブユニット (マスタ) から高速に同期制御指令設定値を送送する。
 - (2) ドライブ間的高速接続。接続された複数のドライブの内 1 台がバーチャルマスタ (仮想主軸) 又はリアルマスタ軸を計算し、他へ送信する。(図 2, 図 3)。
 - (3) SIMOLINK で接続された全ドライブの計算時間セクタを自動認識し同期制御を実行させる。同期制御に関する SIMOLINK の主な仕様は以下の通りである。
- ・ 11 Mbps の通信速度を有し、32 ビット 100 データを $630 \mu\text{s}$ で送・受信可能
 - ・ 高精度クォーツクロックを使用し、乱れのない同期制御を実現
 - ・ 1 マスタに対して 200 スレーブまでのユニットが

接続可能

・モータ：MASTERDRIVES MOTOR

独自のフレームレス構造によりコンパクトに設計されており、低慣性ロータによる高応答性を実現している。このモータは、可変速ドライブ用に設計されたものであり、誘導電動機または同期電動機の 2 種類がある。

・速度センサ：絶対値エンコーダ

モータに内蔵される絶対値エンコーダ (sin/cos) は非常に高い分解能を有しており、信号の合成により 16,777,216/REV の高分解能を実現している。ライン駆動においては 4096 回転まで絶対値となるマルチターン式を採用している。

3. 400 V 級 3 レベル PWM 制御インバータ

これまで、電圧型 PWM インバータの 3 レベル化は高圧インバータにおいて実用化されていたが、3 レベル化することで IGBT 素子が 2 レベル PWM インバータに比べ 2 倍に増えコスト高となる懸念から低圧汎用インバータでは 3 レベルの実用化はされていなかった。(株安川電機では 400 V 級インバータでの 3 レベル PWM 制御の対環境性能に着目し、従来の 2 レベル PWM インバータ相当のコストに抑えることで、世界で初めて 400 V 級 3 レベル PWM インバータを開発した。

本章では 400 V 級 3 レベル PWM インバータ VARI SPEED G7 について紹介する。

図 4 インバータ主回路方式比較

3.1 400 V 級 3 レベル PWM インバータの特長

VARISPEED G7 では、PWM 制御の 3 レベル化により従来からの 400 V 級インバータ制御における潜在問題であるサージ電圧によるモータ絶縁損傷、軸電圧によるモータ軸受電触等の問題を一挙に解決した。更にサージ抑制フィルタ無しで汎用モータや既設モータも安心してインバータドライブできるようになったため、設備投資コスト負担が軽減でき、かつ漏れ電流や発生ノイズも従来比半減相当に大幅に低減した。

また、世界のフィールドネットワークに対応（RS-422/485 は標準装備）しており、フレキシブルなシステム構築が容易に行えるようになっている。

3.2 3 レベル PWM 制御の原理

VARISPEED G7 の 400 V 級 3 レベル PWM 制御は、インバータ内の主回路直流電圧をコンデンサにより 2 分割し、さらに出力 1 相当たり 4 個直列に接続したトランジスタによって、+・- 及びゼロの 3 レベルの電圧を出力する事ができる主回路方式である（図 4）。

スイッチングによる出力電圧の変化率が従来の 2 レベル PWM 方式インバータの半分になるため、モータや電源に与えていた電氣的悪影響を大幅に軽減する事に成功した。

3.3 サージ電圧

2 レベル PWM 制御の場合最大で直流母線電圧の約 2 倍のサージ電圧になるのに対して、3 レベル PWM 制御ではサージ電圧は最大でも 1.5 倍に抑制される（図 5）。これらの検証を、使用電線や絶縁方法などの異なる世界各国のモータを用い、商用電源ではなく実際のインバータサージ電圧を印加し、部分放電（コロ

ナ放電）の有無を確認する方法で行った。

この結果、例えば相间絶縁では、最も放電電圧が低かったモータ（1,250 V）に対しても、3 レベル PWM のサージ電圧は 976 V（電源電圧 460 V 時）と十分に低く、また同様に線間絶縁、対地絶縁に対しても通常の使用状態では殆ど問題にならないサージレベルまで低減されている事が判明した（古いモータで元々モータの絶縁が低下している場合や、汎用モータに低速で高トルクを印加したような場合の過熱保護については別途検討が必要）。

3 レベル PWM 制御ではサージ電圧が 400 V 級モータの耐圧以下となるため、絶縁劣化に影響を及ぼさない。つまりサージ電圧対策無しで、汎用モータが使用可能となる。

3.4 軸 電 流

モータ軸受けの軸電流値は中性点電圧にほぼ比例している。3 レベル PWM 方式では、中性点電圧が原理的に 2 レベル PWM の約 2/3（400 V_{p-p}）であり、軸電流も減少している。図 6 に当社 VARISPEED-616 G5 インバータ（2 レベル）と比較したグラフを示す。

3.5 その他の特長・メリット

1) ノイズについて

出力電圧の変化率が 2 レベル PWM 方式の 1/2 の為、放射ノイズ（雑音電界強度）で約 20 dB、伝導ノイズが約 5 dB 低減している。このため、ノイズフィルタの除去又は小型化が可能となっている。

2) 漏れ電流について

モータやケーブルの対地静電容量と、インバータ出力電圧の変化率による高調波漏れ電流も、ピーク値で

図 5 440 V 電源でのサージ電圧比較

中性点電圧に対する軸受電流
(中性点電圧を試験的に変動させて測定)

図 6 軸電流比較

図 7 中空シャフト AC サーボドライブ

2 レベル PWM 方式の約半分に低減している。

3) 音について

同一のキャリア周波数においても電流・電圧の高調波成分が低く、モータ内部高調波電磁力の影響が軽減され低騒音になる。3 レベル PWM で 8 kHz のキャリア周波数は、2 レベル PWM の 16 kHz 相当になり、低キャリアでありながら低騒音を実現している。

4) チューニング機能について

従来の回転型オートチューニングに停止型オートチューニング、線間抵抗のみの停止型オートチューニングの 2 種類が追加されている。

4. 新しいドライブ製品の紹介

4.1 中空シャフト AC サーボドライブ (Hollow shaft AC servo drive)

従来のモータシャフトが中空形状になっているため機械シャフトやボールねじなどに直接取り付けが可能となり、スペースの削減効果が大きい (図 7)。

製紙機械への応用例として、スリット刃物位置決め駆動、スリット用ワインダ駆動などが挙げられる。200 V 級で 1.1/1.5/2.2/3.2/4.0 kW をラインアップしている (表 1)。

表 1 中空シャフト AC サーボ仕様

サーボモータ型式	SGMT-11 A 3 V	SGMT-15 A 2 A	SGMT-22 A 2 A	SGMT-32 A 2 A	SGMT-40 A 2 A
定格出力 kW	1.1	1.5	2.2	3.2	4.0
定格トルク N・m(kgf・cm)	7.16(73)	7.16(73)	10.5(107)	15.3(156)	19.1(195)
瞬時ピークトルク N・m(kgf・cm)	20.6(210)	18.2(186)	38.8(396)	66.9(682)	78.5(800)
定格電流 Arms	10.7	11.8	16.0	20.0	21.7
瞬時最大電流 Arms	28	28	56	84	84
定格回転数 min. ⁻¹	1,500	2,000	2,000	2,000	2,000
最大回転数 min. ⁻¹	3,000	2,500	2,500	2,500	2,500
適用エンコーダ	インクリメントエンコーダ 2048 P/R インクリメントエンコーダ 8192 P/R				
イナーシャ kgm ² (gf・cm・s ²)	44.4×10 ⁻⁴ (45.3)	130×10 ⁻⁴ (132)	148×10 ⁻⁴ (151)	163×10 ⁻⁴ (166)	223×10 ⁻⁴ (227)
適用サーボドライバ型式	SGDB-15 ADT	SGDB-15 ADT	SGDB-30 ADT	SGDB-44 ADT	SGDB-44 ADT

4.2 インバータ搭載モータドライブ (SIMODRIVE POSMO A)

本ドライブはオンボードのループ制御とパワーモジュールを搭載したインテリジェント分散制御型サーボモータで、位置決め機能を内蔵し、PROFIBUS-DPネットワークにも標準スレーブとして接続可能である。

図 8 SIMODRIVE POSMO A 本体外形図

従来のインバータドライブ

インバータ搭載モータドライブ

図 9 SIMODRIVE POSMO A による省配線化と制御盤レス化

通信バスとパワーバスを搭載しているため、複数駆動する場合の省配線と制御盤レス化が実現できる (図 8, 図 9)。容量的には 75 W と 300 W をラインアップしている (表 2)。製紙機械への応用例として、コータ薬液装置駆動などが挙げられる。

5. おわりに

以上「新しいドライブ技術の考察」というテーマのもと、当社の取り組んでいる事例について紹介した。これらの製品を展開していく上での御意見をお聞かせいただければ幸いである。

製紙業界では今後省エネはもちろんのこと、設備の高速化、ネットワーク化が進み、環境問題に対する要求も益々強くなってくる。当社としても、これらの動向を充分に把握し、今後も研鑽を重ねていく所存である。

参考資料・文献

- 1) シャフトレス印刷の特徴と応用, (株)加工技術研究会刊「コンバーテック」2000 年 11 月号

表 2 インバータ搭載モータドライブ (SIMODRIVE POSMO A) 仕様

	75 W	300 W
定格電圧	24 VDC	48 VDC
定格回転数	3,300 min. ⁻¹	3,000 min. ⁻¹
定格トルク	0.36 Nm	0.95 Nm
位置検出システム	インクリメンタル 816 P/R	インクリメンタル 4096 P/R
保護等級	IP 54	IP 54
重量	3.7 kg	4~5.5 kg
周囲温度	0~45℃(ディレーティングにより 65℃)	0~45℃(ディレーティングにより 65℃)