製紙設備の最新ドライブ技術

株式会社安川電機 濱 田 兼 幸

New Technology of Electrical Drive Equipment
for Paper Manufacturing Systems

Kaneyuki Hamada

YASKAWA ELECTRIC CORPORATION

The paper presents four issues. The 1st is the introduction of the new web-tension control method which is useful for the control of paper-machine and versatile converting machines. The 2nd is the performance in efficiency and torque control of GTO inverter which have been successful for energy-saving and center-drive-winder. The 3rd is the software-package for the maintenance of inverters. The last is the introduction of smart controller which is useful for revamping or improvement of old control-systems.

1. 概 要

製紙産業に限らず日本の製造業をとりまく環境の変化は、ここ数年すさまじいものがあり、

- ・年間総労働時間短縮に見られる人的資源の逼迫
- ・省資源を初めとする地球環境保全への取組み
- ・国際環境の大きな変化

などへの迅速な対応をせまられている。

これらをドライブ技術の観点で考えて見れば、一層の高性能化による製品（紙、複合製品など）の品質・コスト・流通面での差別化は、従来とかわらないニーズであるが、

- ・省エネルギー
- ・自動化などによる省力、省オペレーション
- ・省保全
- ・省スペース（改造、更新のやりやすさ）

などが、ますます重要なファクターになりつつある。

幸い、ここ 10 年のエレクトロニクス分野の進歩は、インバータに代表されるパワー分野、PC に代表されるマイクロエレクトロニクスともめざましいものがあり、ようやく、もろもろの課題に対する実用面での本格的ブレークスルーが出来つつある。

ここでは、

- ・高性能化←ウェブ張力制御
- ・省エネルギー←高効率高圧 GTO インバータ

- ・省保全←インバータ保全ツール

・省スペース←コントローラのダウンサイジングなどについて、最近の技術、取り組みを紹介する。

2. 張力制御系へのアドバンスト制御手法の応用

抄紙機、塗布機、ワインダなど多くの代表的製紙・加工機械でウェブの張力が素材の安定搬送、ロール製品の品質に大きく関わっているにも拘らず、インバータなどの独立したドライブ装置の中で、ファームウェア的に実行される速度制御やトルク制御に比べ、張力制御性向上へのアプローチは、PID 制御に代表される従来方式が今だ主流であり、ある程度残留振動を許

図 1 ラボマシンの全景

容してきたことも事実である。

安川電機では、図1に示すラボマシンとドライブ装置を組み合わせ、ドライブ装置、素材までを含めた機械系のモデリングを行い、現実には操業上発生する各種の外乱に対して最も有効な制御方式を確立した。

図2は、操業上発生する外乱要因と機械及び一般的制御系構成を示すものであるが、張力制御系のみならず、速度、トルク制御系についても、ウェブ張力制御の観点から最適な性能を引き出す方式へと総合的に改良を加えることで各種の効果が達成できた。例えば、

図2 張力制御系構成図

図3 新張力制御系の構成

軸ねじり振動やギヤバックラッシュが及ぼす悪影響の低減などである。

具体的に実施したアドバンス制御手法は、

- ・制御構造の2自由度化
- ・速度応答一定制御付加

(a) 従来の制御方式

(b) 新制御方式

図4 ライン加減速特性

(a) 従来の制御方式

(b) 新制御方式

図5 負荷外乱応答特性

- ・負荷トルク補償制御

が主なものである。

図3に、新張力制御系の構成を示している。

図4～図6に外乱に対する張力制御の改善結果を示している。

但し、実設備への適用にあたっては、確かに今迄ベテランの調整を必要としていた部分がアドバンスな大わざの制御にとって変えることができるが、それは逆に既存の技術では難解な部分をあわせ持っていることを意味しており、誰でも調整可能なチューニング技術や制御系のユーザインタフェースとしての取り組みが残っている。

3. 効率99%超高压 GTO インバータ

日本の製紙業界においては、外国に先駆けて省保全の観点から、直流機にかわってセクション駆動のAC化や省エネ目的のファン・ポンプなどの可変速度が実

(a) 従来の制御方式

(b) 新制御方式

図6 軸ねじり振動の抑制

施されてきている。

しかし、定出力範囲の広いワインダや大容量ファンなどでは、イニシャルコスト回収評価や図7に示す中大容量ドライブが抱えていた課題面からインバータの適用が今一步進んでいないといえる。

最近、非常に変換効率の高い3,300 Vダイレクト駆動可能な高圧大容量インバータ（製品名 VS-683 GT3）をボイラの大形ドラフトファンや鉄鋼のテンションリール（セントワインダ）への適用がユーザ各位のご支援・ご協力のもとに成功を収めたのでここに、その特徴の一部を紹介する。

図7 中大容量インバータドライブの課題と解決

3.1 配線工事費の低減

高圧ケーブルが利用できること、出力変圧器を省略できることなどにより、数百万円単位で設備工事関係の費用を節約できる。

3.2 高効率による省エネルギー

大容量ドライブでは、インバータ変換効率の大小は採用検討に際して最も重要なファクタである。

仮に2,000 kW モータドライブで5%の効率差は100 kW の損失差である。3.3 kV の高圧ダイレクト化と出力波形改善によるモータ効率向上により、低圧駆動化と比較して大幅な効率アップが実現できている。図8にインバータ単体での効率を、表1には、1,800 kW ブロワでの低圧サイリスタシステムとの総合比較を示している。

図8 インバータの変換効率

表1 GTO インバータと電流形サイリスタインバータの比較

インバータ 評価項目	NPC-PWM 高圧 GTO インバータ	20° 移相差 3 並列多重電流形インバータ
機器設置スペース	1 (14 m ²) 入力トランス含む	2.9 (41 m ²) 入出力トランス含む
冷却方式	純水による冷却	風 冷
総合効率 (全負荷時)	94.5%	90.4%
電源力率	0.96	0.68
配線工事	主回路は高圧入出力 ケーブルのみ	高圧入出力ケーブル + 3 芯/20 m の主回路配線が 24 回線要

3.3 制御性能

IGBT 素子も含めてパワートランジスタによるインバータドライブ性能については、直流レオナードを超えた性能を有していることについては、もはや知られている。一方、高圧大容量化を可能にした GTO 素子は従来のサイリスタ素子に比べると自己消弧素子であるという利用はあるものの、トランジスタに比べ、とくにスイッチング速度にまだまだ弱点をもっている。し

かしながら、新しい波形方式 (NPC-PWM) などの工夫により、センタドライブ巻取にも十分適用可能な特性を達成している (図 9, 図 10)。

4. インバータ保全ツール

ドライブの AC 化、デジタル化、アドバンスト化により、

- ・パラメータの数が増え、ドライバ・モータ交換に

図 9 加減速特性

図 10 トルク制御特性

図 11 インバータ保全ツールの表示例

手間がかかる。

- ・予備モータの数が多く、管理が大変。
- ・異常時のトラブルシューティングが難解。
- ・メーカーでのモータ組み合わせテストを実施しないと良い性能が出せない。

など、例えばブラシメンテフリーと引き替えに保全サイドに厄介な課題を残してきたことも事実である。

もちろん、上位のコントローラと組み合わせる MMI やエンジニアリングワークステーション上で、かなりのレベル迄の RAS 機能を達成しているコントローラ (PLC) 系も存在しているが、機能面、取扱性面で必ずしも十分とはいえなかった。しかし、高性能 PC の普及とともに、図 11 の例に示すように、

- ・一貫性の高い運転監視機能
- ・ペーパーレス故障ガイダンス
- ・インバータ・モータ定数のチューニング
- ・テストレポート作成管理
- ・データレコーダ機能

図 12 小形コントローラ

表 2 小形コントローラのソフトウェア仕様

項 目	仕 様
プ ロ グ ラ ム 実 行 制 御 方 式	定周期スキャン方式 (高速・低速 2 レベル) 高速スキャンタイム設定: 1 ~ 30 ms (1 ms 単位) 低速スキャンタイム設定: 1 ~ 300 ms (1 ms 単位)
基 本 命 令 語	シーケンス命令 7 種 数値演算命令 26 種 制御命令 9 種 組み込み関数 4 種 データ転送命令 2 種 DDC 命令 12 種 システム関数 4 種 ユーザー関数 10 種 登録可能
基本データタイプ	リレー (ビット) 整数 (−32,768 ~ +32,767) 倍長整数 (−2,147,483,648 ~ +2,147,483,647)
デ ー タ メ モ リ 指 定 方 式	レジスタ番号またはリレー番号 (シンボル指定可) 添字による修飾可 (2 種)
図 面 の 数	登録図面数 最大 30 画面 ステップ数 300 ステップ/DWG (関数) DWG の種別 A: 始動, H: 高速, L: 低速 DWG の階層 2 階層
基本命令実行時間	シーケンス命令 1.7 μ s 四則演算 (整数) 0.44 ~ 1.44 μ s

などを汎用パソコン上で実施できるようになった。

ここで紹介した保全ツールでは、1枚のフロッピーで255台までのドライブセクションを名前に対応して管理できるため、1つのペーパミル全体のドライブのパラメータや更には、保全記録までサポートできる。

こうした機能により、予備モータ数の低減、異メーカモータの暫定代替、速度センサ異常時のセンサレスベクトルでの暫定運転など、MTTRの短縮といった面でも、色んな可能性が考えられるようになった。

5. コントローラのダウンサイジング

従来、径演算に代表される巻取機の制御や複数セクションにまたがる比率ドロー制御には中大形のシステムコントローラ（PLC）を適用してきたが、旧い設備の部分更新や小規模設備では、ドライブ装置とのインタフェースや設置スペース、さらには予算面でも不釣り合いの場合が多かった。ここで紹介する小形コントローラ CP-9300 は、

- ・システムコントローラの演算、シーケンス機能を有す。
- ・小形で簡単に取付、取扱いできる。
- ・従来のアナログ制御代替可能なインタフェースを

有す。

- ・高速パルス入力も含めたアナログ I/O、P-I/O がオンボードに搭載している。

などの特長があり、中形システムコントローラをダウンサイジングしたものといえる。

表2にソフトウェア基本仕様を示すが、プログラム容量、メモリ容量が I/O 数相当しか用意されていないことを除けば、中大形システムコントローラと比べても遜色ない。旧式 MRH のリプレースやアナログ式巻取制御、比率制御の周辺リレーシーケンスも含めた更新などに使用できる。その為に各種のパッケージやパソコンと組み合わせた試運転調整機能も用意されているので、電機メーカーの手を借りなくて、ユーザが自ら設計・エンジニアリング出来る道が開かれている。

6. 最 後 に

ユーザが抱えるもろもろの課題に対し、ようやくブレイクスルーが見えてきたが、我々をとりまく環境は、それ以上のピッチで変化している。

真のメンテナンスフリー、調整フリー化実現のためには、まだ多くの課題が残されており、一層の努力をしてゆきたい。