

ドライブ制御機器の現状と展望

吉田 雅和 (よした まさかず)

松本 吉弘 (まつもと よしひろ)

藍原 隆司 (あいはら たかし)

特集(1)

1 まえがき

汎用インバータやサーボシステムなどのドライブ制御機器は、機械や設備の自動化、省エネルギー化に寄与しながら今日に至っている。また、適用分野の拡大とともに、ドライブ制御機器単体として、機能・性能の向上、小型化、低価格化を図ってきた。

最近ではRoHS指令^(注)などに対応した有害物質の使用排除や、グリーン調達^(注)の拡大による地球環境保護への対応、特定分野における電子部品の硫化ガス腐食対策など、新たな要求に応えた製品開発も進めている。

本稿では、これらのニーズに応えたインバータ・サーボシステムの技術動向と製品系列について述べる。

2 ドライブ制御機器の技術動向

2.1 インバータの技術動向

(1) 低ノイズ化技術

1990年代からインバータのスイッチング素子にIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が使用されるようになり、モータの低騒音化、インバータの低損失化、小型化に貢献してきた。一方、スイッチング速度が速いことから、発生する電磁ノイズが増える結果となった。この電磁ノイズへの対策はこれまでインバータ周辺で行っていたが、近年ではインバータ内部にノイズフィルタを内蔵させた製品が増えている。また、電源高調波を抑制するための直流リアクトルを内蔵させた製品も出てきている。

ノイズフィルタや直流リアクトルは従来、オプションとして用意されているため、取付けスペースや配線接続の煩雑さがあった。これらの定数の最適化と素材の見直しにより小型化を図り、インバータに内蔵させても従来のインバータと同一の据付け面積を実現している。

(2) 制御技術

インバータの制御を行っているマイクロプロセッサの高

性能化により、低価格のインバータでもベクトル制御など高度な制御が搭載できるようになってきている。

センサ付きベクトル制御についてはトルク制御精度の向上、周波数応答性能の向上が進んでおり、センサレスベクトル制御についても、実用的性能レベルに達してきている。V/f制御は単純なV/f一定制御ではなく、負荷変動など運転条件の変化に応じて最適な電圧と周波数を演算して出力するダイナミックトルクベクトル制御に代表される方式が主流となってきている。また、これらベクトル制御、センサレスベクトル制御、V/f制御を搭載し、用途に応じて選択ができる製品も提供されている。

(3) 使いやすさの追求

制御性能の向上に伴い、搭載する機能の数も非常に増えているため、ユーザーが簡単に使用できる操作性が求められる。自動調整機能や簡単なセットアップが重要な要求となってきている。このような操作機能はパソコンで動作するローダソフトウェアに持たせるようになっており、インバータ本体側ではUSB (Universal Serial Bus) ポートを標準で搭載し、容易にパソコンと接続できるようにしている。

例えば、「FRENIC-MEGA シリーズ」ではタッチパネルにUSBポートを設けたことにより、現場で容易にパソコンと接続できるだけでなく、タッチパネルをインバータから取り外して事務所に持ち帰り、事務所でパソコンに接続して、インバータの運転データなどの確認作業を行うことも可能となっている。

また、上位のコントローラやインバータ間をオープンネットワークによって接続するケースも増えており、多くの種類のネットワーク通信カードがオプションで準備されている。

以上のような使いやすさを汎用インバータで実現しようとすると、搭載する機能に制約が出たり、用途によっては無駄な機能が出る。このため、最近ではエレベータ用「FRENIC-Lift シリーズ」やファン・ポンプ用「FRENIC-Eco シリーズ」などのように、用途に特化して専用化したインバータをシリーズ化している。

〈注〉RoHS：電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限



吉田 雅和

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター駆動設計部長。電気学会会員。



松本 吉弘

汎用インバータの開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センタープロジェクト推進部主幹。電気学会会員。



藍原 隆司

サーボシステムの開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センタープロジェクト推進部主幹。電気学会会員。

さらに、コスト面の課題は残っているが、近年の小型化、省エネルギー化の期待へ対応できる同期電動機駆動やマトリックスコンバータ「FRENIC-Mx シリーズ」の普及が期待されている。

2.2 サーボシステムの技術動向

(1) 制御性能

サーボシステムでは、10年前と比べて飛躍的に制御性能の向上が図られている。基本特性の指標である速度応答は4倍に、エンコーダ分解能は16倍に向上している。これにより、タクトタイムの短縮や高精度な位置決め整定が可能になっている。

(2) 使いやすさの追求

パソコン上で動作する支援ツールが一般的になり、さまざまな機能の立上げ作業やトラブル時の対応を簡単にしている。さらに、サーボシステムはモータドライブという機器概念を越えて、「機械の最適なモーション制御」を実現するシステム機器の概念へ進化しつつある。このため、機械共振点に対しても容易でロバストな制御を実現するための、機械特性の解析機能や低周波の機械振動をサーボ制御で抑制する「制振制御」が標準搭載されるようになった。また、全体の応答を損ねることなく、振動成分のみを抑制することができるノッチフィルタについても、トルク振動を常時監視し、振動周波数を自動的に割り出して抑制する「オートノッチフィルタ」も搭載されている。これらの機能・性能を搭載しながら、モータやアンプの小型化による、機械のコンパクト化も進展している。

富士電機では、「FALDIC- α シリーズ」の発売以来、このような最先端の要求に対してダイナミックに対応を進めてきた。特に、2006年に発売の「ALPHA5 シリーズ」は、業界トップクラスの性能・小型化・USB ロードへの対応などの特徴を持ち、「進化する機械のための次世代サーボシステム」をコンセプトに開発された。パルス列などの汎用インタフェースのほかに、高速シリアルバス（SXバス）による柔軟なシステム構築が可能である。

このように、今後も「機械の最適なモーション制御」をコンセプトに技術が進化するとともに、バスシステムによるシステム対応がますます進むと考える。

2.3 設計技術

インバータやサーボアンプではIGBTを使用した高速スイッチング動作によって、任意の交流駆動電圧を出力し、制御性能の向上が図られてきている。高速でスイッチングするため、IGBTを並列接続して使用する場合、スイッチング時の電流アンバランスを抑制する必要がある。また、IGBTは低損失化に向けた技術開発により、半導体チップの小型化も進んでおり、パッケージの小型化による熱集中が大きな課題となってきている。

並列接続時の電流アンバランスについては、電磁界解析により、IGBT周辺の銅バーのインダクタンスを均一化することで抑制を図っている。

IGBTモジュールの熱冷却については、熱流体シミュレーションにより、IGBTの最適配置や冷却フィン形状の最適化を図っている。また、この結果得られるアルミダイカスト製フィンは、形状が複雑となることから、安定した製造品質を確保するための湯流れ・凝固シミュレーションを適用し、 casting 法案の最適化を同時に図っている。

2.4 環境対応技術

欧州などの法規制の制定やグリーン調達拡大によって、ドライブ制御機器のRoHS対応が進んでおり、製品開発段階から有害物質を排除した設計を行っている。また、製品の長寿命化を進めており、寿命部品である電解コンデンサや冷却ファンについては、最新の機種では10年寿命を達成している。

一方、従来よりも適用範囲が拡大されてきたことにより、硫化ガスに代表される腐食性ガスの雰囲気中での使用によるトラブルも発生してきている。腐食は銅や銀で発生しやすく、ドライブ制御機器ではプリント板上のチップ抵抗や銅バーなどで腐食が発生しやすい。富士電機では、このような環境下での耐量の把握と対策について研究を重ね、製品の耐環境性強化基準の策定を進めている。

③ ドライブ制御機器の製品系列

富士電機のドライブ制御機器は単純可変速用のインバータから高応答・高精度位置決めが可能なサーボシステムまで幅広い系列化を図っており、広範な産業用途への適用を可能としている。

3.1 インバータの製品系列

表1に富士電機のインバータ製品系列を示す。汎用インバータとしては、コンパクト形「FRENIC-Mini シリーズ」、高性能・コンパクト形「FRENIC-Multi シリーズ」、ファン・ポンプ用「FRENIC-Eco シリーズ」と機種系列を持っているが、新たに、高性能・多機能形「FRENIC-MEGA シリーズ」を製品化した。これにより、従来機種である「FVR-C11S シリーズ」「FVR-E11S シリーズ」「FRENIC5000P11S シリーズ」「FRENIC5000G11S シリーズ」からすべての世代交代を完成させた。

新シリーズではペットネームも「FRENIC-〇〇」という表現に統一し、製品イメージも一新した。これらの外観を図1に示す。

FRENIC-MEGA シリーズは汎用インバータの最上位機種として新たに、センサレスベクトル制御を搭載した。また、EMC (Electromagnetic Compatibility) フィルタ内蔵タイプと直流リアクトル内蔵タイプも同一取り付け寸法で用意し、EMC規格対応や国土交通省ガイドライン対応も容易となった。

3.2 サーボシステムの製品系列

富士電機のサーボシステム製品系列を表2に、外観を図

表1 富士電機製のインバータ機種系列一覧

機種区分	シリーズ	電源電圧	容量範囲 (kW)					周波数制御範囲 (Hz)			主な特徴
			0.1	1	10	100	1,000	100	1,000	10,000	
汎用インバータ	FRENIC-Mini	単相 100V	0.1	0.75				400		コンパクト形インバータ ○出力周波数最大400Hz ○横密着取付け可能 ○グローバル対応 (400V入力)	
		単相 200V	0.1	2.2				400			
		三相 200V	0.1	3.7				400			
		三相 400V	0.4	3.7				400			
	FRENIC-Multi	単相 200V	0.1	2.2				400		高性能・コンパクト形インバータ ○過負荷：200% ○オプションでPGフィードバックに対応 ○豊富な機種バリエーション	
		三相 200V	0.1	15				400			
		三相 400V	0.4	15				400			
FRENIC-Eco	三相 200V	0.75	110				120		ファン・ポンプ用インバータ ○省エネルギー運転機能搭載 ○HVAC用各種機能搭載 ○長寿命設計、簡単メンテナンス		
	三相 400V	0.75	560				120				
FRENIC-MEGA	三相 200V	0.2	90	(90)			400		高性能・多機能形インバータ ○PGベクトル、センサレスベクトル、トルクベクトル、V/f制御に対応 ○タッチパネルにUSBコネクタ搭載		
	三相 400V	0.4	800	(800)			400				
FRENIC 5000G11S	三相 200V	0.2	90				400		高性能・多機能形インバータ ○始動トルク：200% ○PID制御、RS-485標準装備 ○オプションカードにてベクトル制御対応		
	三相 400V	0.4	800				400				
FRENIC 5000P11S	三相 200V	5.5	110				120		二乗減負荷用インバータ ○PID制御、RS-485標準装備 ○制御電源補助入力標準装備 ○自動省エネルギー機能で高効率運転		
	三相 400V	5.5	800				120				
FRENIC-Lift	三相 400V	5.5	45				120		エレベータ用ベクトル制御インバータ ○過負荷耐量：200%、10s ○エレベータ専用機能・制御を搭載		
高周波インバータ	FRENIC 5000H11S	三相 200V	0.75	18.5				1,667	PWM制御技術を駆使した高周波専用インバータ		
高性能ベクトル制御インバータ	FRENIC 5000VG7S	三相 200V	0.75	90				200	一般産業用高性能ベクトル制御インバータ ○高速応答のトルク・速度制御 ○制御オプションなどシステム機能の充実		
		三相 400V	3.7	800				200			
薄型インバータ	FRENIC 5000VG7F	三相 200V	5.5	11				200	奥行寸法90mmの専用薄型インバータ		
		三相 400V	5.5	15				200			
電源回生PWMコンバータ	RHC-C	三相 200V	7.5	55			50	60	電源回生コンバータ ○高効率で電源回生 ○入力高調波電流の低減		
		三相 400V	7.5	800			50	60			

図1 インバータの外観



2に示す。

高性能・多機能な FALDIC- α シリーズを基幹製品とし

て、多種モータ対応およびSXパスによるモーションシステム対応などを行ってきた。「FALDIC- β シリーズ」は、

表2 富士電機製のサーボシステム機種系列一覧

シリーズ	適用モータ	容量範囲 (kW)				定格/最大回転速度 (r/min)			主な特徴	
		0.1	1	10	100	1,000	3,000	5,000		
ALPHA5	GYSモータ (低慣性：スリム)	0.05 ————— 5				————— 3,000/5,000 (6,000)			①周波数応答：1,500 Hz ②20ビットエンコーダ標準搭載 ③最大回転速度6,000r/min対応 ④オンライン自動ノッチフィルタ機能 ⑤自動制振制御機能 ⑥アンプ・モータを小型化 ⑦USBローダ対応 ⑧豊富なモータバリエーション ⑨高速シリアルバス (SXバス) および各種オープンバス ⑩位置決め機能内蔵タイプあり	
	GYCモータ (低慣性：キュービック)	0.1 ————— 2				————— 3,000/5,000 (6,000)				
	GYGモータ (中慣性)	0.5 ————— 2 0.5 ————— 15				————— 2,000/3,000 ————— 1,500/3,000 (2,000)				
FALDIC-α	GYSモータ (低慣性：スリム)	0.05 ————— 5				————— 3,000/5,000				
	GYCモータ (低慣性：キュービック)	0.1 ————— 2				————— 3,000/5,000				
	GYMモータ (中慣性)	————— 2.9 ————— 15				————— 1,500/3,000 (2,000)				
FALDIC-β	GYSモータ (低慣性：スリム)	0.05 ————— 0.75				————— 3,000/5,000				①業界最小レベルの超小型アンプ ②偏差零制御，制振制御を標準搭載 ③ノッチフィルタ，サーボアナライズ機能対応 ④16ビットシリアルエンコーダ搭載
	GYCモータ (低慣性：キュービック)	0.1 ————— 0.75				————— 3,000/5,000				
FALDIC-W	GYSモータ (低慣性：スリム)	0.05 ————— 0.75				————— 3,000/5,000				①制振制御を標準搭載 ②イーजीチューニング，サーボアナライズ機能対応 ③豊富なモータバリエーション ④17ビットシリアルエンコーダ搭載 ⑤RS-485 (2ポート)，制御電源入力装置
	GYGモータ (中慣性)	0.5 ————— 2 0.5 ————— 2.9				————— 2,000/3,000 ————— 1,500/3,000				
デジタルES	GRKモータ (高慣性)	0.05 ————— 3.7				————— 2,000/2,500			①負荷慣性モーメントが大きい機械に適用 ②モータは汎用モータと取付け互換性あり ③セットアップ，操作が簡単	

特集(1)

図2 サーボシステムの外観



半導体関連装置やロボット関係をターゲットに，超小型アンプと使いやすさ・高性能で独自の位置づけを持っている。「FALDIC-W シリーズ」は，中慣性モータによって工作機械や一般産業用途にも適用しやすくしている。

ALPHA5 シリーズは，FALDIC-α シリーズの後継機種として，さらに高性能化・多機能化を図り，広範な産業用途にも使用することができる。

4 あとがき

最近のインバータ・サーボシステムの技術動向と製品系列について紹介した。今後も機能・性能の向上だけでなく，使いやすさや耐環境性の向上などの新たな要求に対しても，積極的に取り込んでいく所存である。