

広がりをもせるエレベータ用インバータ「FRENIC-Liftシリーズ」

野村 哲也 (のむら てつや)

米澤 裕之 (よねざわ ひろゆき)

加藤 宏明 (かとう ひろあき)

特集(1)

1 まえがき

近年のエレベータ業界では、エレベータのマシンルームの小型化、省エネルギー化とメンテナンス性向上のため、これまで標準的であった誘導電動機(IM: Induction Motor)を使用したギヤードエレベータから永久磁石型同期電動機(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)を使用したギヤレスエレベータへの移行が世界的に進んでいる。一方で、エレベータが最も早く普及した欧州では老朽化したエレベータをインバータ化するモダンゼーションビジネスに対する需要が非常に多く、既存の誘導電動機とギヤを再利用する場合には、速度センサなしでの運転が求められることが多い。このような需要に応えるため、これまでの速度センサ付きベクトル制御に加え、新たに速度センサなしでの運転が可能となるトルクベクトル制御を「FRENIC-Liftシリーズ」に搭載した。

本稿では、このように広がりをもせる FRENIC-Lift シリーズの応用について事例を交えて紹介する。

2 FRENIC-Lift シリーズの制御方式

主なエレベータ用インバータの制御方式を表1に示す。各制御方式について、FRENIC-Lift シリーズでの取組みを以下に紹介する。

2.1 PMSM 駆動

PMSM を使用したギヤレスエレベータは、装置全体のトルク伝達効率がよいので、他の方式よりインバータの電流制御性能がかごの振動に現れやすい。FRENIC-

表1 主なエレベータ用インバータの制御方式

制御対象	制御方式
同期電動機 (PMSM)	速度センサ付きベクトル制御
誘導電動機 (IM)	速度センサ付きベクトル制御
	速度センサなしV/f制御 (トルクベクトル制御)

Lift シリーズでは高速の RISC (Reduced Instruction Set Computer) マイコンを使用することで従来のエレベータ用インバータ「FRENIC5000G11 UD シリーズ」に対して5倍の電流応答を達成することができた。図1に電流応答の周波数特性を示す。カットオフ周波数である-3dB点は500Hzを示しているのが分かる。このほか電流センサの検出ばらつきや出力電圧のアンバランス低減にも注意を払い、総合的に電流制御性能を向上させた結果、かご振動の少ないエレベータ駆動が可能になった。

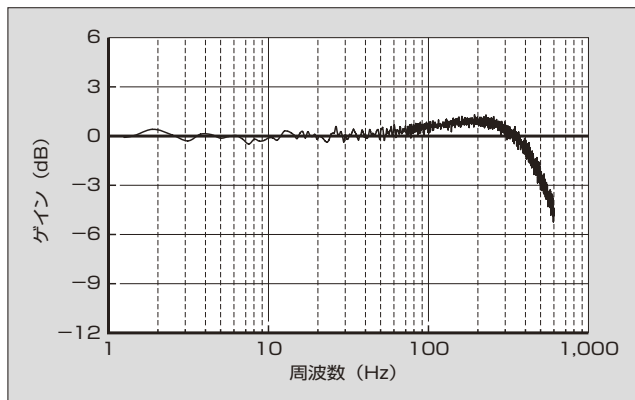
PMSM は回転速度で決まる誘起電圧の大きさによってモータの定格電圧が決まる。選定されるモータ定格電圧はさまざまで、同じ出力でも定格電流は統一されていない。従来品に対し FRENIC-Lift シリーズでは過負荷定格を200% (許容時間10s) にアップさせたので、定格電圧が低く定格電流が大きいモータでもインバータ容量をアップさせることなく駆動することが可能である。

2.2 IM 駆動

(1) 速度センサ付きベクトル制御

従来から広く採用されている駆動方式である。FRENIC-Lift シリーズではエンコーダからのフィードバックパルス検出回路を標準搭載しているため、一般的なエンコーダであればオプションなしでモータを駆動できる。

図1 電流応答の周波数特性



野村 哲也

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制御設計部リーダー。



米澤 裕之

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プロジェクト推進部担当課長。博士(工学)。電気学会会員。



加藤 宏明

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制御設計部。

トラクションマシンはウォームギヤなどの減速機を使用するのが一般的で、機械効率が低いものから高いものまでさまざまあるのがこの駆動システムの特徴である。FRENIC-Lift シリーズは静止摩擦の大きな減速機でもスムーズに起動させることができるソフトスタート機能（2種類）や ASR（Automatic Speed Regulator）のゲイン切換などの専用機能を準備している。

(2) 速度センサなし V/f 制御（トルクベクトル制御）

国内では通常速度センサ付きベクトル制御が採用されている。一方、海外のギヤードエレベータでは、古くなった設備をインバータ化の際は速度センサなしで使用される場合がある。この場合のインバータは速度センサなし V/f 制御が採用される。

FRENIC-Lift シリーズの速度センサなし V/f 制御は、速度リップルの低減、速度制御精度の向上、電流の応答性改善により従来品よりもスムーズな起動が可能となった。

図 2 は速度センサなし V/f 制御でエレベータを駆動した場合の各種波形である。上段は速度指令、中段はモータ電流、下段はモータトルク推定値である。条件は無積載の上昇方向運転（制動方向）である。一定速度時のモータトルク推定値からトラクションマシンの機械効率はよいことが分かる。ブレーキを釈放して動き出すとすぐに所望のトルクを発生し、トルクリプルは小さく抑えられていることから、FRENIC-Lift シリーズの速度センサなし V/f 制御はこのような高効率トラクションマシンを円滑に制御できる

図 2 速度センサなし V/f 制御によるエレベータの運転特性

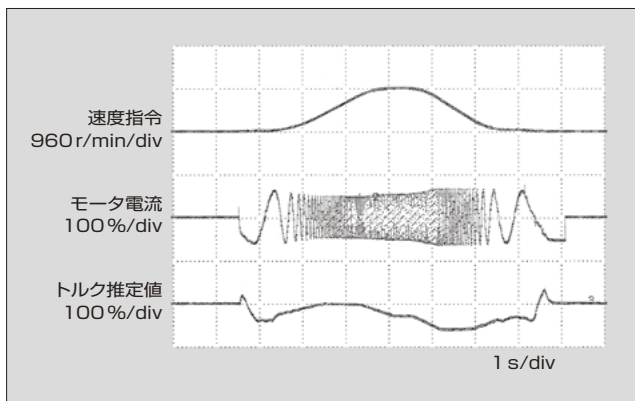
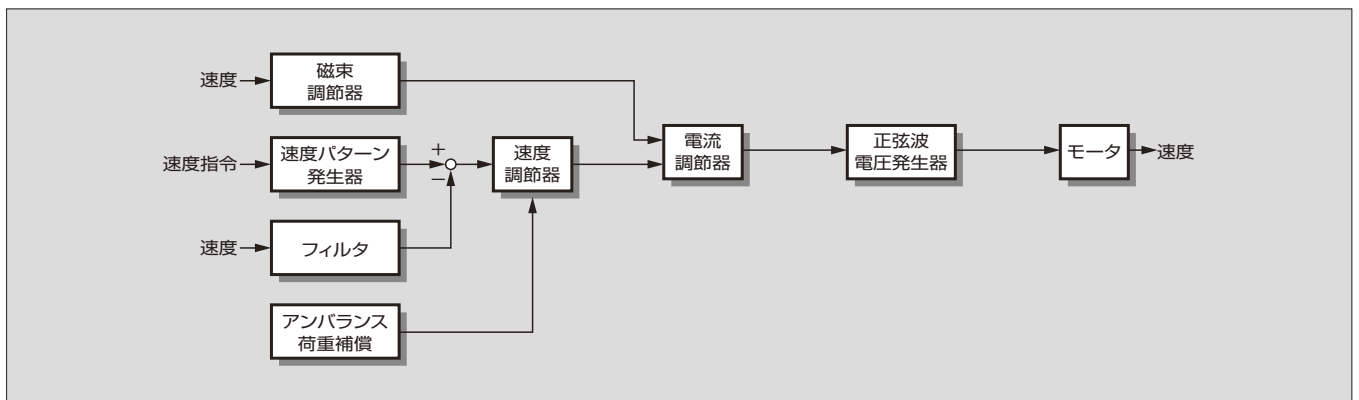


図 3 制御ブロック図



ことが分かる。

2.3 豊富なエンコーダインタフェース

モータに取り付けられる速度センサは、12V、15V のコンプリメンタリおよびオープンコレクタ出力のエンコーダに対応したインタフェースを標準搭載している。さらに、オプションカードを追加することで表 2 に示す各種エンコーダにも対応が可能である。特に PMSM 駆動においては、位置検出方式の違いから数種類の方式が存在し、モータ製造元がエンコーダを選定することが多い。FRENIC-Lift シリーズは、これらオプションカードを充実させることにより、エレベータ用途で使用されるほとんどのエンコーダに対応可能とした。

③ 機能

FRENIC-Lift シリーズはエレベータシステムの品質を

表 2 適用可能なエンコーダインタフェース

対象	対象エンコーダ			オプション
	電圧	出力形態	位置検出方式	
誘導電動機 (IM)	12V	コンプリメンタリ	-	不要
	15V			
	12V	オープンコレクタ		
	15V			
5V	ラインドライバ	-	OPC-LM1-IL	
同期電動機 (PMSM)	12V	コンプリメンタリ	Z	不要
	15V			
	12V	オープンコレクタ	Z	
	15V			
	5V	ラインドライバ	Z	OPC-LM1-IL, OPC-LM1-PP
	5V	ラインドライバ	グレイコード (4ビット)	OPC-LM1-PP
	5V	ラインドライバ	U, V, W	OPC-LM1-PP
	5V	1 V _{pp} 正弦波差動	EnDat2.1	OPC-LM1-PS, OPC-LM1-PS1
5V	1 V _{pp} 正弦波差動	SIN/COS	OPC-LM1-PR	

向上する多種多様な専用機能を搭載している。その中から特徴的な機能を以下に紹介する。

3.1 アンバランス荷重補償⁽¹⁾

エレベータ制御ではブレーキ積放によるショックをなくすため、荷重センサを使用してトルク補償するのが一般的である。しかし、荷重センサは微弱信号を扱うため定期的なメンテナンスが必要である。

図3はFRENIC-Liftシリーズの制御ブロック図である。モータ速度を速度パターン発生器出力に追従させるため、速度調節器をアンバランス荷重補償により補正する制御構成としている。図4はアンバランス荷重補償の効果を確かめるためにかご振動を測定した結果である。モータはPMSM、エレベータ定格速度は1.75 m/s、定格積載は1,000 kgであり、荷重センサは使用していない。アンバランス荷重補償を使用しない場合はブレーキ積放時に非常に

図4 かご振動測定結果

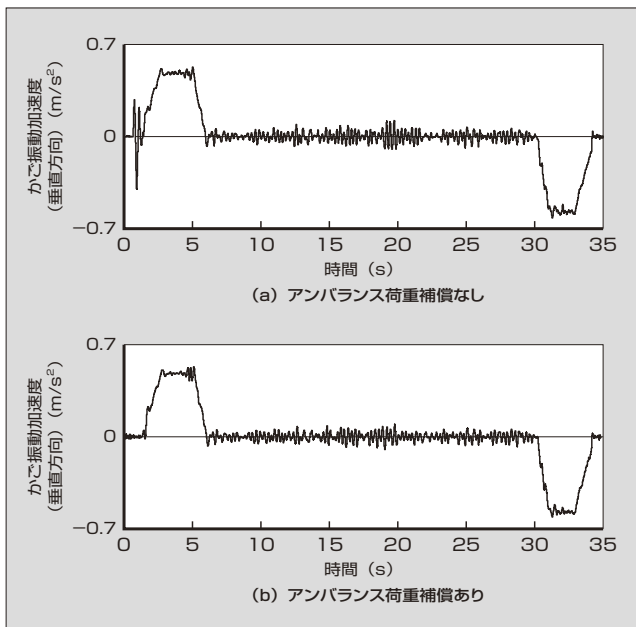


表3 CANOpenの主な仕様

項目	仕様	説明	
規格名称	CANOpen	ISO11898に準拠	
伝送方式	半二重シリアル通信		
ネットワークポロジ	バス型 (マルチマスタ)		
アクセス制御方式	CSMA/NBA	送信データ衝突時に優先度の高いオブジェクトを優先して送信する。	
同期方式	調歩同期+位相補正		
データ長	最大8バイト		
誤り制御	CRC方式		
符号化方式	NRZ方式+ビットスタッフ	バス上で同一レベルのビットが5回連続した場合、反転データを追加する。	
最大通信速度	250 kbit/s	1フレームの伝送時間約0.5 ms	
機能	Heartbeat consumer	1 s	エレベータコントローラの動作を監視可能
	Heartbeat producer	1 s	インバータの動作をコントローラが監視可能
	Event timer	20 ms	定周期でインバータの状態データを送信

大きな振動が発生するが、使用した場合は振動が発生しないことが分かる。

3.2 オートリセット機能

エレベータの運転中に停電が発生すると、緊急停止によってシステムの安全性は保証されるが、インバータは入力電源が遮断され停電を検出してトリップ状態になる。また、気温が高い中で高負荷の運転が連続するとモータやインバータが高温になり、システム保護のためにインバータがトリップ状態になることもある。通常、インバータがトリップ状態になると、危険がないことを確認した後にトリップ状態を解除する。電源事情や設置条件が良好であれば、これを原因とするインバータ停止の確率は非常に低いといえる。しかし、国によっては頻繁な停電の発生や異常な高温があるので、このような場合は最初からこれらを考慮したシステム設計が必要となる。

停電や高温によるインバータトリップは、インバータ自体がトリップ状態になった原因や現在の状態を判断できる。このようなトリップについてFRENIC-Liftシリーズは、リセット信号を入力しなくても自動的にその状態を解除する機能を備えており、特に海外でよく使用されている。

3.3 バッテリー運転時の機能拡充⁽¹⁾

停電による緊急停止時には、かごの中に乗客が閉じ込められることがある。このため最近のエレベータは、停電時には電源を自動的にバッテリーに切り換えて、最寄りの階まで低速で運転する「自動救出運転」を搭載していることが多い。このようにバッテリーに切り換えて運転する機能をFRENIC-Liftシリーズでは「バッテリー運転」と称している。このバッテリー運転時には、エレベータの駆動電源をバッテリーから供給するため、低速で運転して消費電力を抑える。また、より確実に最寄りの階まで移動するために、エネルギーを回生できるように制動方向に運転をする。仮に駆動方向に運転した場合はバッテリー容量が不足していると、バッテリー電圧が低下し運転が不可能になっ

てしまう。いったんバッテリー電圧が低下してしまうと再度充電が必要であり、非常時に乗客を救出することができない。そのためエレベータコントローラは、制動となる運転方向を何らかの方法で認識する必要がある。

FRENIC-Lift シリーズでは新たな機能として、停電時のバッテリー運転時に、制動運転になる方向を指示する「バッテリー運転時推奨運転方向出力」と、駆動側に運転した場合でもトルクを制限し、バッテリー電圧の低下を抑える「バッテリー運転時トルク制限」を搭載した。前者の機能により、エレベータコントローラは、インバータが推奨する運転方向に運転するだけで制動運転とすることが可能となる。また、後者の機能を使用すれば、最寄りの階が明らかに駆動運転方向であった場合でも、接続バッテリー容量の許容範囲内であれば駆動運転を容易に実現できる。

3.4 CAN を使ったエレベータシステム⁽²⁾

CAN (Controller Area Network) は、主に自動車産業で多くの使用実績を持っている高速・高信頼性のネットワークである。エレベータシステムにおいては、欧州を中心にエレベータコントローラと各種スイッチ、センサ、表示器などがCANで接続されている例がある。したがって、エレベータコントローラにCANが搭載されているケースが比較的多い。FRENIC-Lift シリーズでは、このCANを使ったオープンネットワークの一つであるCANopenに対応可能な設計をした。

表3はFRENIC-LiftシリーズにおけるCANopenの仕様である。最大通信速度は250kbit/sと、RS-485などを使用したシリアル通信と比較して非常に速く、またCSMA/NBA方式(321ページの「解説」参照)でバスの調停を行うので、効率のよい通信が可能である。例えば、定周期で速度指令をエレベータコントローラから受信し、異なる周期でインバータの運転状態を送信する場合、データが衝突しても自動的に調停し、速度指令を優先する。またCANopenの機能を使用することで、エレベータコントローラとインバータが互いに相手の状態を監視でき、より信頼性の高いネットワークの構築が可能である。

4 あとがき

エレベータ用インバータ「FRENIC-Lift シリーズ」について概要を紹介した。現在グローバルな展開を実施しているところであるが、世界的に見るとまだ残された課題も多い。今後も市場要求に応えるために、新機能の開発やいっそうの高性能化を行っていく所存である。

参考文献

- (1) 野村哲也ほか. エレベータ用インバータ「FRENIC-Lift シリーズ」. 富士時報. vol.78, no.5, 2005, p.373-376.
- (2) 五十嵐資朗ほか. CAN入門講座. 電波新聞社. 2006-3.

解説 CSMA/NBA方式

CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 方式は、送信を行う前に一度受信を試み、他のユニットが送信していなければ送信を開始する方式で、Ethernet^(注)ではCSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 方式として用いられている。CSMA/CD方式ではバス上で衝突があった場合に、すべてのユニットが所定時間送信を待機した後、通信を再試行する。待機する時間をユニットごとにランダムとし、再衝突する確率を下げていることが特徴である。ただし、ユニット数が多い場合や使用率が高いバスでは、衝突が頻発するため伝送効率は低下する。

これに対し、CAN (Controller Area Network) ではCSMA/NBA (Carrier Sense Multiple Access with Non-destructive Bitwise Arbitration) 方式というアクセス方式を採用している。CSMA/NBA方式は複数のユニットが同時に送信を開始した場合でも送信が継

続できるように、各メッセージIDをビット単位で調停し、優先順位の最も高いメッセージに送信権を与える。具体的には各送信ユニットが自己の出力した信号レベルとバスのレベルをビット単位で比較監視し、バスのレベルと異なる信号を出力した送信ユニットが順次送信を中断することで衝突を回避する。この調停により、最終的に勝ち残ったユニットが送信を継続するため、通信効率の低下がない。この調停は、CANトランシーバが扱うバス値であるドミナント(優先的)とレセシブ(受動的)に深く関係している。バス上の全ユニットからの出力がレセシブならばバス値はレセシブになり、一つでもドミナントを出力しているとバス値はドミナントになる。

以上からCSMA/NBA方式はCANの特徴を生かした最良の調停方式といえる。

(参考文献: 五十嵐資朗ほか. CAN入門講座. 電波新聞社. 2006-3)

〈注〉 Ethernet: 米国 Xerox Corp. の登録商標