

次世代省エネルギー汎用インバータ “FREQROL-F800シリーズ”

近藤 淳*
丸本祥太郎*
古谷真一**

Next Generation Energy-Saving Inverter "FREQROL-F800 Series"

Atsushi Kondo, Shotaro Marumoto, Shinichi Furutani

要 旨

汎用インバータは搬送機械、金属工作機械、繊維機械、空調、水処理など、様々な適用用途の中でも、省エネルギー志向の高まり及び省エネルギー効果の大きさのためファン・ポンプ市場での需要が加速している。三菱電機ではファン・ポンプ用インバータとして好評を博している“FREQROL-F700Pシリーズ”をフルモデルチェンジし、“FREQROL-F800シリーズ”を製品化した。

FREQROL-F800シリーズの主な特長を次に挙げる。

(1) インバータ化による省エネルギーの追求

- ・アドバンスト最適励磁制御
- ・高効率モータ駆動、PM(Permanent Magnet)モータオートチューニング機能
- ・待機電力削減(セルフパワーマネジメント機能)

(2) ファン・ポンプに最適な専用機能

- ・クリーニング機能
- ・負荷特性測定機能、異常検出機能
- ・PID(Proportional, Integral, Derivative)機能拡充(マルチポンプ、プリチャージほか)
- ・エマージェンシードライブ機能

(3) 使いやすさ

- ・液晶操作パネルの単位変換、PID目標値の直接設定

(4) システム対応力

- ・内蔵シーケンス機能、リアルタイムクロック機能
- ・BACnet MS/TP対応^(注1)

(注1) BACnetは、アメリカ暖房冷凍空調学会(ASHRAE)の登録商標である。



FREQROL-F800(標準構造品IP20/00)

インバータ化による省エネルギーの追求

- ・アドバンスト最適励磁制御
- ・高効率モータ駆動、PMモータオートチューニング機能
- ・待機電力削減(セルフパワーマネジメント機能)

ファン・ポンプに最適な専用機能

- ・クリーニング機能
- ・負荷特性測定機能、異常検出機能
- ・PID機能拡充(マルチポンプ、プリチャージ他)
- ・エマージェンシードライブ機能

使いやすさ

- ・液晶操作パネルの単位変換、PID目標値の直接設定

システム対応力

- ・内蔵シーケンス機能、リアルタイムクロック機能
- ・BACnet MS/TP対応

次世代省エネルギー汎用インバータ“FREQROL-F800シリーズ”

FREQROL-F800シリーズは、200V系は0.75~110kW、400V系は0.75~560kW(355~560kWはインバータ、コンバータ分離構造品)の幅広い容量レンジをラインアップしている。始動トルクの向上と省エネルギーを両立させたアドバンスト最適励磁制御、ファン・ポンプに最適な専用機能、使いやすさ、システム対応力向上などのファン・ポンプ・コンプレッサに最適な次世代省エネルギー汎用インバータである。

1. ま え が き

近年、地球環境保全やエネルギーコスト削減のため省エネルギーに対する関心は世界的にますます高まっており、インバータ化による省エネルギー効果の大きいファン・ポンプ用途はインバータ総需要の約20%を占める最大の市場である。

当社ではファン・ポンプ用省エネルギーインバータとして好評を博している省エネインバータ“FREQROL-F700Pシリーズ”をフルモデルチェンジし、“FREQROL-F800シリーズ”を製品化した⁽¹⁾⁽²⁾。

本稿では、FREQROL-F800シリーズ(以下“F800シリーズ”という。)で採用した技術、機能について述べる。

2. 機 種 構 成

F800シリーズの機種構成を表1に示す。

従来機種であるFREQROL-F700Pシリーズからの置き換えに適した標準構造品に加えて、共通母線等の実現に適したインバータ、コンバータ分離構造品を新たにラインアップした。

さらに使用するファン・ポンプの負荷に合わせて2種類の過負荷定格がパラメータで選択できる。空調のような負荷が安定して、過負荷にあまりならない用途では、1ランク容量の大きなモータを駆動することができ、省コストが可能となる(表2)。

3. インバータ化による省エネルギーの追求

3.1 アドバンスト最適励磁制御

ファン・ポンプ・ブローなど2乗低減トルク負荷の消費電力は回転数の3乗に比例するため、インバータによる回転数制御で風量や吐出量調整を行うことによって、消費電力の低減が可能となる。インバータの最も簡易なV/F(Voltage/Frequency)制御でも、インバータを使用しないダンパ制御等の出力量制御によって消費電力削減が可能であるが、当社ではファン・ポンプ向けインバータFREQROL-Fシリーズで更なる省エネルギー機能として最適励磁制御を開発し、改善してきている(図1)。

最適励磁制御では、図2のようにモータ効率が最大となるように励磁電流を制御し、出力電圧を決定する。

表1. F800シリーズの機種構成

機種構成	ラインアップ	
標準構造品	3相 200V	0.75~110kW
	3相 400V	0.75~315kW
インバータ、コンバータ分離構造品	3相 400V	355~560kW

表2. F800シリーズの多重定格対応

負荷	過負荷電流定格
超軽負荷	110% 60s, 120% 3s 周囲温度40℃
軽負荷	120% 60s, 150% 3s 周囲温度50℃

従来の最適励磁制御は、低速運転でトルクが低くなるV/F制御をベースに励磁電流を制御しているため、始動時に高トルクが必要な用途には適用できないという課題があった。

当社の高性能汎用インバータでは、V/F制御の始動トルクが低い欠点を改善した制御方式としてアドバンスト磁束ベクトル制御を搭載している。これは負荷トルクに見合ったモータ電流を流せるように電圧と周波数の補正を行うことによって、低速トルクを向上させる制御方式である。

F800シリーズでは、アドバンスト磁束ベクトル制御をベースとして最適励磁制御をすることで、図2、図3のようにモータ効率は従来と同等でありながら、始動時は大きなトルクを得ることができる。面倒なパラメータ調整不要で、インバータの大きいファンの加速時間短縮など、インバータを適用できるアプリケーションの範囲を広げることが可能となる。

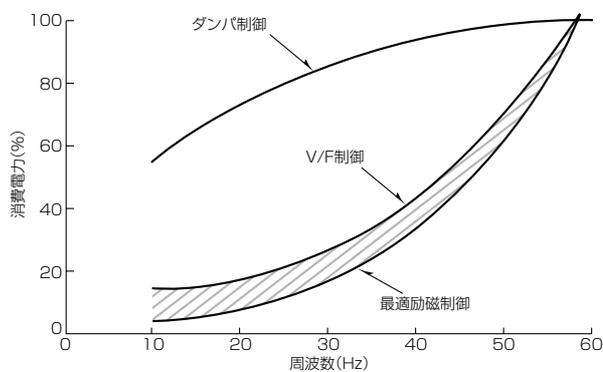


図1. 制御方式の消費電力比較

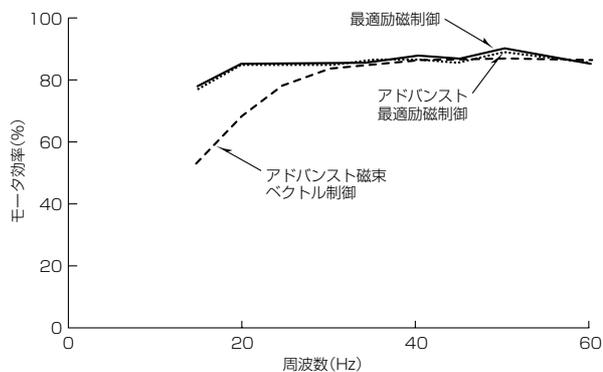


図2. モータ効率

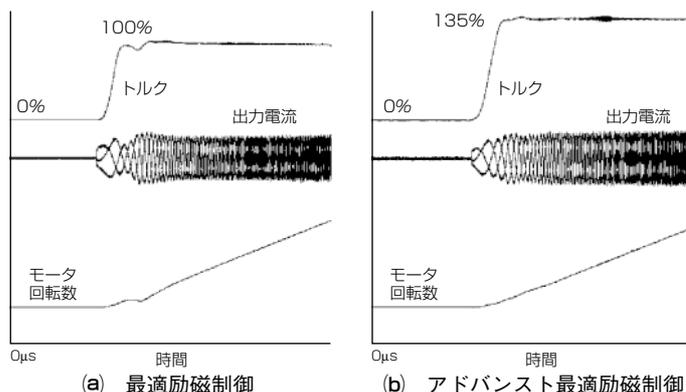


図3. 最適励磁制御とアドバンスト最適励磁制御

3.2 高効率モータ駆動，PMモータオートチューニング機能

国際的な地球温暖化防止を背景に，世界各国で高効率モータの製造・販売を義務付ける法規制の導入が進んでいる。効率基準の国際標準として，2008年10月にIEC60034-30（単一測定三相かご形誘導機の効率クラス）が制定された。この中でIE1～IE4に効率がクラス分けされており，数値が大きいほど効率が高いことを示す。

F800シリーズではIE3，IE4相当の当社モータを標準サポートすることで，パラメータ設定不要で高効率な運転を実現し，省エネルギー運転による電気料金の削減に貢献する。

IE3（プレミアム効率）に相当する当社汎用モータである“スーパーラインプレミアムシリーズ(SF-PR)”は，IE1（標準効率）相当の当社標準モータ“SF-JR”と取り付け寸法互換があり，すべり量調整機能によってSF-JRからのスムーズな切り換えが可能である。

またアドバンスド磁束ベクトル制御での100%連続トルクは，IE2（高効率）相当の当社モータ“SF-HR”は6 Hz以上であるところ，SF-PRは0.5Hz以上と，定トルク領域が低速域まで広がったことによって，省エネルギー性能向上だけでなく，適用可能なアプリケーションの拡大も実現する。

IE4（スーパープレミアム効率）に相当する当社IPM（Interior PM）モータ“MM-EFS/MM-THE4”も標準でサポートしている。IPMモータは永久磁石を回転子に埋め込んでおり，回転子（二次側）に電流が流れないため二次銅損がなく，永久磁石によって磁束が発生するため，モータ電流が少なくなる（図4）。

F800シリーズでは，回路定数を測定するオフラインオ

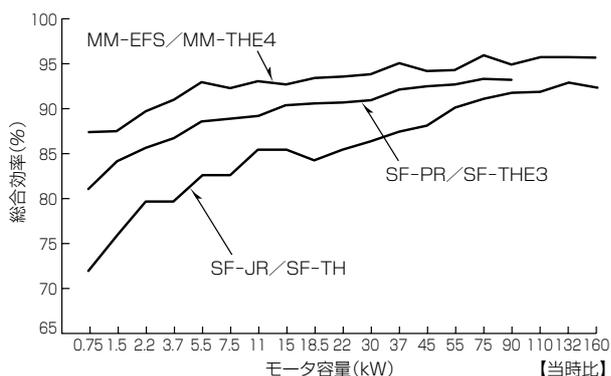


図4. MM-EFS, SF-PR, SF-JRの容量と効率

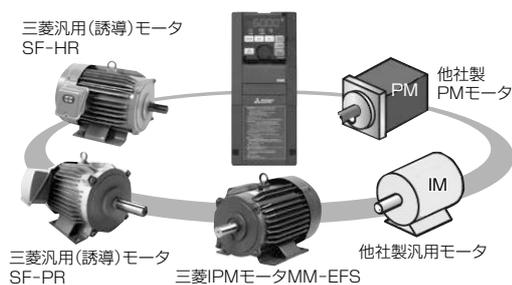


図5. F800シリーズの適用可能モータ

ートチューニング機能で，図5に示す様々なモータの性能を最大限に引き出し，最適に制御できる。PMモータの磁気飽和特性を利用したパルス電圧印加方式によってインダクタンス推定を行う，PMオートチューニング方式によって，他社製PMモータのセンサレス制御が可能である。

先に述べた当社製汎用モータ，PMモータ以外に，他社製汎用モータ，他社製PMモータもセンサレスで運転できる。

3.3 待機電力削減

インバータ停止中の待機電力は，運転中に比べるとわずかな電力量だが，それさえも極限まで減らすための機能をF800シリーズでは導入した。

インバータは，外部電源（DC24V）を供給されることで，主回路の入力側に取り付けられた電磁接触器（MC）を信号で制御でき，モータ停止後にMCをOFF，モータ駆動前にMCをONすることで待機電力の削減が可能となる（図6）。

インバータ冷却ファンは，インバータ冷却フィンの温度に応じて制御され，インバータはそのファン動作に併せて信号を出力し，盤などに設置したファンを制御することで，停止中の無駄な電力消費を削減できる。

4. ファン・ポンプに最適な専用機能

近年のインバータへの要求として，汎用ではなく，各アプリケーションに特化した機能の充実が求められており，ファン・ポンプに特有の問題解決，利便性の向上を図った。特にフィードバックありのPID制御を行うことが多いため，PID制御の機能を拡充した。

4.1 クリーニング機能

モータの正転・逆転と停止を繰り返して，ポンプのインペラやファンについての異物を取り除くことができる。端子入力時や一定時間ごとだけでなく，4.2節で述べる負荷特性測定で正常範囲から外れた（過負荷）場合に，自動的に動作させることも可能である。

4.2 負荷特性測定，異常検出機能

低減トルク負荷は定トルク負荷と異なり，出力周波数に対して一定のトルク制限では異常を検出できない。そこで図7のように故障などのない状態で速度（出力周波数）-トルク

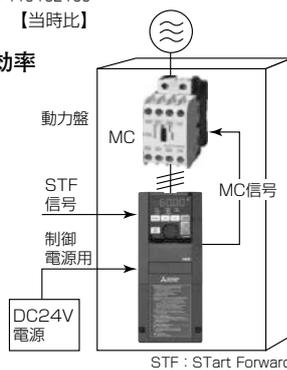


図6. セルフパワーマネジメント

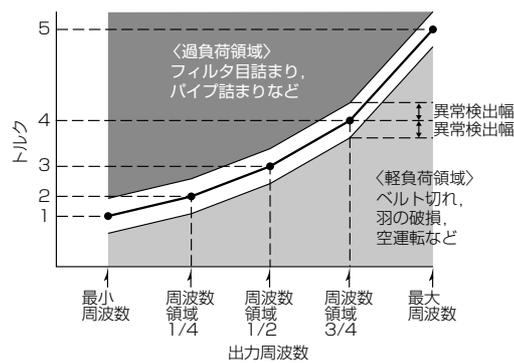


図7. 負荷特性測定，異常検出

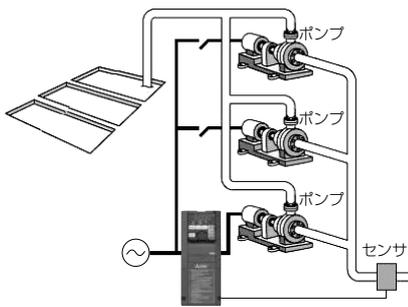


図8. マルチポンプ機能

を比較し、正常範囲から外れた場合にエラー・警告を出力する。フィルタ目詰まりやベルト切れなど装置の異常検出、メンテナンスが容易になる。

4.3 PIDマルチポンプ機能

図8のようにインバータ1台で、並列接続されたポンプ(最大4台)をPID制御することで、水量などの調節ができる。並列接続されたポンプのうち1台をインバータ駆動し、それ以外のポンプについては商用駆動させるために各ポンプ一次側のMCをインバータが制御する。商用駆動するポンプの数は、水量に応じて自動で調整する。

インバータ駆動するポンプを順次変更することで、複数ポンプの駆動時間を均一にし、ポンプの長寿命化を図る。

4.4 PIDゲインチューニング

PID制御の操作量を変更し、PID制御の応答を測定することによって、自動的にPID制御に最適な定数を設定することができる。ステップ応答法とリミットサイクル法からチューニング方式を選択できる。

4.5 PIDマルチループ

PID演算機を2個内蔵しており、インバータでモータの動作をPID制御しながら、外部機器のPID制御も可能である。外部のPIDコントローラを使用することなく外部機器の制御が可能のため、システムコストを低減できる。

4.6 PIDプリチャージ機能

PID動作の前に測定値(圧力等)が設定レベルに到達するまで一定速でモータ運転し、パイプへの注水を制御する。パイプが空の状態からのPID動作による急加減速運転を回避し、ウォーターハンマー等を防止する。長いポンプで水を流す制御などで、ポンプ内に水が溜(た)まるまでPID制御させたくない場合にも有効である。

ポンプには水平型と垂直型があり、水平型の加速では垂直型は圧力が上がっていかないため、垂直型はユーザーが調整可能な加速パターンを設定できる。

4.7 エマージェンシードライブ機能

通常、過負荷等が発生した場合、インバータ自身を保護するためモータを停止させるが、この機能はモータ停止をさせないで、強制的に運転を継続する。排煙ファンの駆動等で、火災時にインバータ保護が働いても、エラーリセット、運転再開を自動で繰り返し、ファンによる排煙継続を試みる。インバータが破損にいたる異常が発生した場合に、商用運転に切り換えて運転継続することもできる。

5. 使いやすさ

5.1 液晶操作パネルの単位変換、PID目標値の直接設定

オプションの液晶操作パネル“FR-LU08”で工場出荷の%単位表示を視認しやすい単位に変換できる。インバータで標準となる出力周波数や回転数ではなく、風量、温度などの各ユーザーになじみのある単位表示によって、メンテナンス・調整が容易となる。43種類の単位に対応し、あらゆるPID制御アプリケーションで使いやすい単位を選択できる。

さらに通常インバータのパラメータに設定するPID目標値を操作パネルで直接設定できる。

6. システム対応力

6.1 内蔵シーケンス機能、リアルタイムクロック機能

内蔵シーケンス機能によって、入力信号に対するインバータの動作や、インバータの運転状態に応じた信号出力、モニタ出力といったインバータの制御を機械の仕様に合わせて自由にカスタマイズできる。

ユーザーのシーケンスプログラムからパラメータや設定周波数の変更が可能となる。そのプログラミングにはインバータセットアップソフトウェアを使用する。

インバータと接続された機器の制御を、オプションのFR-LU08のリアルタイムクロック機能と併せて使用することで、時間に応じた運転ができ、システムの分散制御が可能になる。

6.2 BACnet MS/TP対応

標準装備のRS-485端子台で三菱インバータプロトコル、Modbus^(注2)-RTU(Remote Terminal Unit)プロトコルに加えて、主に北米の空調用途で使用されるBACnet MS/TPに対応している。

(注2) Modbusは、Schneider Automation Inc.の登録商標である。

7. む す び

次世代省エネルギー汎用インバータFREQROL-F800シリーズの技術、機能について述べた。今後も更なる機能・性能の向上と、高付加価値を目指した製品開発に努めていく。

参考文献

- (1) 白石康裕, ほか: 次世代省エネインバータ“FRE-QROL-F700シリーズ”, 三菱電機技報, **79**, No.3, 189~192 (2005)
- (2) 田中哲夫, ほか: 次世代高機能汎用インバータ“FRE-QROL-A800シリーズ”, 三菱電機技報, **88**, No.4, 245~248 (2014)