

高性能・コンパクト形インバータ 「FRENIC-Multi シリーズ」の過負荷停止機能

樋口 新一 (ひぐち しんいち)

1 まえがき

汎用インバータは、多機能化・高性能化が進み、その用途はますます拡大している。その中で「FRENIC-Multi シリーズ」は、広範囲の用途に応用可能なコンパクト形インバータでありながら多くの機能を搭載しており、好評を得ている⁽¹⁾。

本稿では、過負荷による機械の破損防止や上下搬送装置などでの当て止めに用いられる「過負荷停止機能」について、その動作と応用例を紹介する。

2 過負荷停止機能

過負荷停止機能には、過負荷検出後の動作として、表1に示す3種類がある。

2.1 フリーランモード

図1にフリーランモードの制御ブロック図を示す。

フリーランモードは、インバータの出力電流またはモータトルク演算値があらかじめ設定した過負荷検出レベルを超えると、インバータが瞬時に出力を遮断してモータをフリーラン状態にするモードである(図2)。

図3は、スクリュータイプの材料を送り出す装置への適用例である。作業者が機械の中に工具などを落とした場合、工具が機械をロック状態にしてしまい、そのまま運転を継続すると過大トルクによって機械の破損を招くおそれがある。従来の機械保護システムでは、シャープピンに代表され

るようなモータと機械軸との連結を切断する機械機構で保護していた。しかし、シャープピンによる保護では、保護動作が働いた後、ピンの交換作業が必要であり、非常に不便である。一方、本モードの過負荷停止機能を用いることにより、誤まって落とした工具を取り除き、インバータの運転指令を再投入するだけで、すぐに運転の再開が可能である。

2.2 減速停止モード

減速停止モードは、過負荷検出後にインバータの一次周

図1 フリーランモードの制御ブロック図

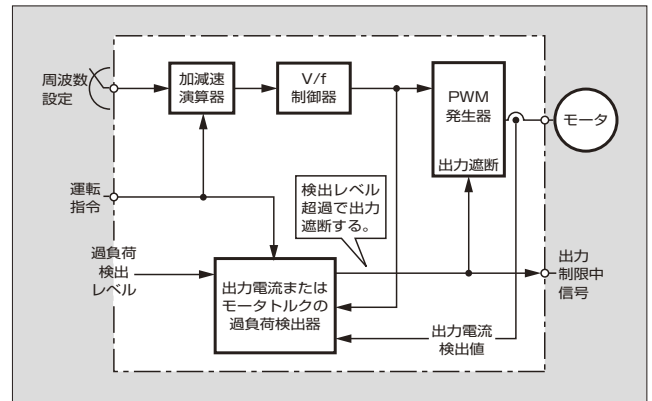


図2 フリーランモードの動作チャート

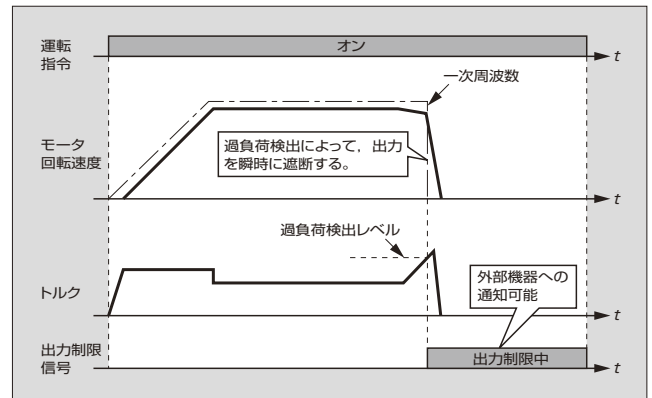


表1 過負荷停止機能のモード一覧

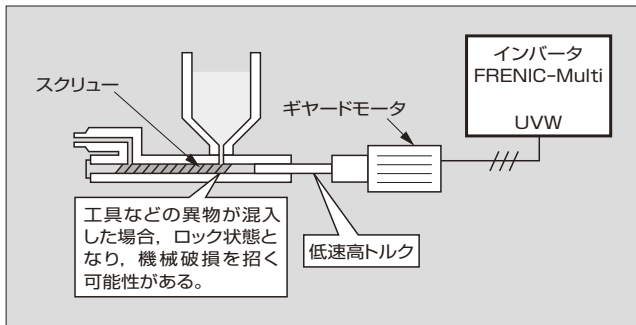
過負荷停止モード	過負荷検出時の動作
フリーラン	過負荷で、インバータ出力を遮断し、モータをフリーランにする。
減速停止	過負荷で、モータを減速停止させる。
当て止め	トルク制限によってモータを減速させ、減速後、電流制御に切り換えて当て止めトルクを発生する。



樋口 新一

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。電気学会会員。

図3 送り出し機への適用例



波数を下げて、モータを減速停止させるモードである。本機能の動作開始はフリーランモードと同様であり、あらかじめ設定した過負荷検出レベルを超えると一次周波数を下げ、モータを減速停止させる機能である。本モードの過負荷停止機能は、前述のフリーランモードでは機械のイナーシャが大きく惰性で回り続けるような負荷に対し、減速時間を短くすることで、急速に負荷を停止することが可能である。

2.3 当て止めモード

当て止めモードは、移動体の衝突による過負荷を検出すると、トルク制限によってトルクを維持したままモータを減速し、減速後は電流制御に移行し当て止めトルク（押し当て力）を発生することができるモードである。例えば、横行搬送では、当て止め後の当て止めトルクを利用し、押し当て状態を維持したり、上下搬送では、当て止めトルクを得られることからブレーキ投入のタイミング調整が容易となる。このモードは、安定した当て止めトルクを発生できることが特徴であり、その応用範囲が広がっている。以下に、近年の汎用インバータの高性能化によって実現された当て止めについて、具体的な応用例を交え詳細を述べる。

(1) 動作原理

当て止めは、モータで駆動される移動体が固定体に衝突した際の過大トルクを極力抑え、衝突による跳ね返り現象もなく、移動体を固定体に押し当てて停止させることが重要である。

そこで、以下の2種類の制御方式をダイナミックに切り換えることで実現している。

- ① 過負荷検出後、高速なトルク制限によって、モータを急減速させる（図4中のトルク制限）。
- ② 減速後、電流制御によって、安定した当て止めトルクを発生させる（図4中の電流制御）。

図5は、当て止めモードの制御ブロック図を示す。当て止めモードの制御は、ブロック図上側のトルク制限（①部）と下側の電流制御（②部）とで構成している。①のトルク制限では、衝突によってトルクが過負荷検出レベルを超えると、トルク制限のPI調節器によってトルク超過量に応じた減速率でモータを減速させている。その後、一次周波数が滑り周波数相当に減速到達すると、トルク制限レベルよりトルクが下回るトルク抜けがないよう②の電流制

図4 当て止めモードの動作チャート

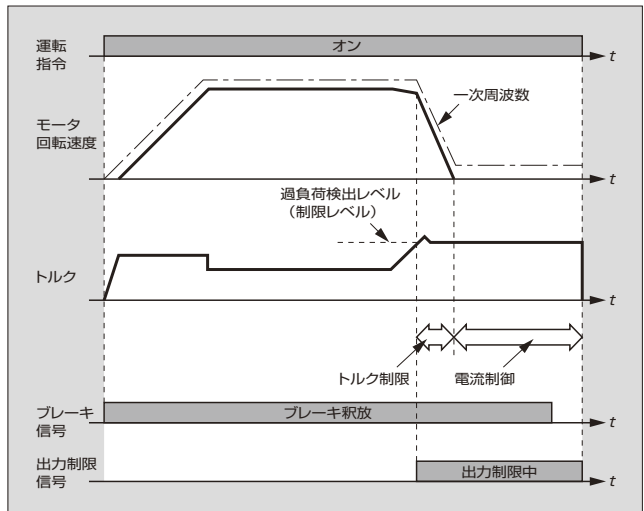
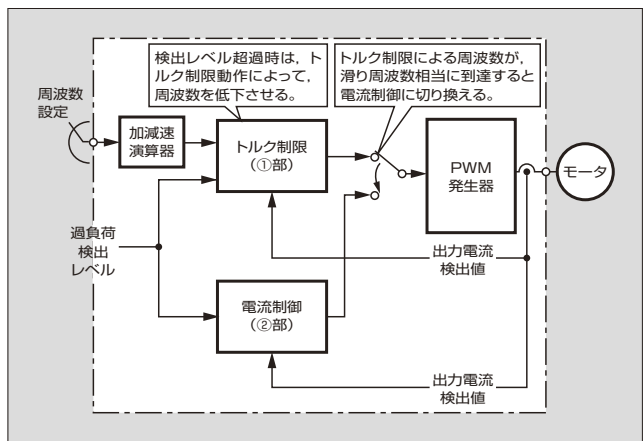


図5 当て止めモードの制御ブロック図



御に切り換え、モータの電流を制御し、安定した当て止めトルクを発生させる。

また、この当て止めは、運転指令をオフするまでの間、電流制御によって当て止めトルクが発生できる。すなわちモータ軸が停止のままトルクを発生するため、当て止めトルク発生状態でインバータからブレーキを投入することが可能である（図4）。

(2) 応答性

当て止めモードでは、衝突時の過負荷検出レベルに対するトルク超過量を抑えることが重要であり、トルク増加を周波数低減操作によって回避するトルク制限PI調節器の応答を極力上げることが必要である。そこで、本PI調節器の設計は、モータを減速停止させることを前提として、過負荷検出から停止までの時間を数十msから数百msまでとする限界設計を行っている。

(3) 当て止めトルクの安定性

この当て止めは、モータに流れる電流を制御することで、当て止めトルクの安定性を図っている。モータの当て止めトルクτは、

$$\tau = K \cdot I_M \cdot I_T \dots\dots\dots (1)$$

K：比例定数

I_M : モータに流れる電流の励磁成分
 I_T : モータに流れる電流のトルク成分

と一般式で表され、一次周波数 f_1 も、

$$f_1 = f_s \cdot \tau / \tau_{100\%} + f_m \dots\dots\dots (2)$$

f_s : モータ定格滑り周波数
 $\tau_{100\%}$: モータ定格トルク
 f_m : モータ回転周波数

となる。これら関係で電流または一次周波数を制御することで、所望の当て止めトルクを得ることができる。

この結果、過負荷検出レベル（制限レベル）設定値に対するモータの当て止めトルクの静特性は、図6となり、当て止めトルク精度および直線性に優れていることが分かる。

また、従来機種「FVR-E11S シリーズ」でのトルク制

図6 当て止めのトルク特性

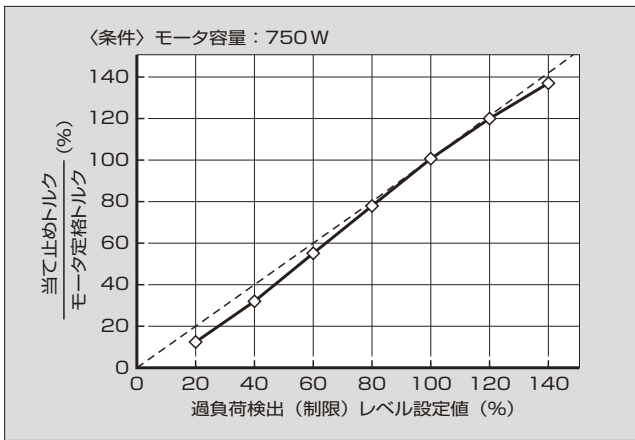
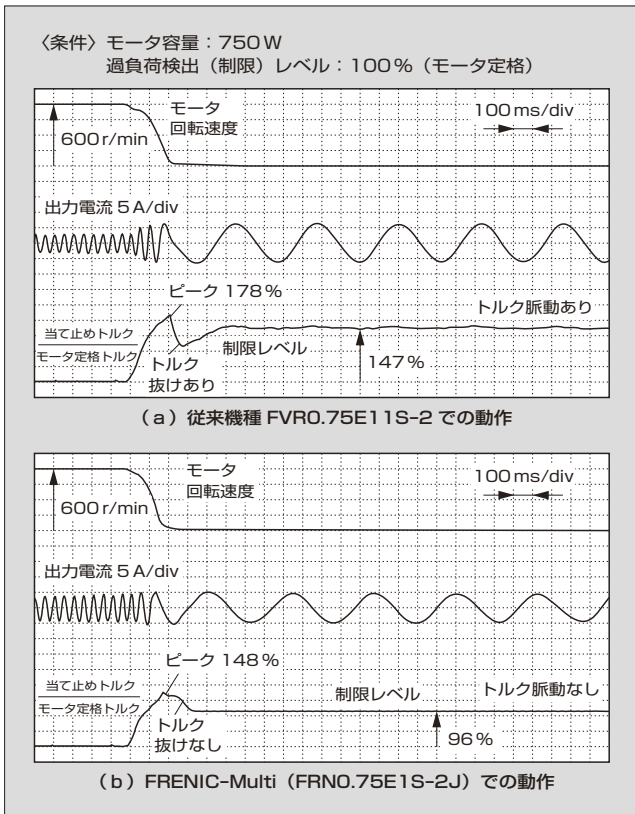


図7 当て止めの動作波形



限のみによる当て止めでは、モータ制御が基本的に電圧制御であり、今回の電流制御を実行するような一次周波数の小さい領域では、温度変動の影響を受ける。モータの抵抗成分は温度変動の影響を受け、極低周波数域のトルク制御に影響し、制限レベルどおりの当て止めトルクを安定して発生させることが不可能であった。一方、電流制御の場合は電流を指令値どおりに制御するので、温度変動による抵抗成分の変化の影響を受けず、制限レベルどおりの安定した当て止めトルクの発生が可能となった。

図7は、FVR-E11S シリーズと FRENIC-Multi シリーズとの動作比較例である。いずれも過負荷検出レベルは100% (=モータ定格トルク) であり、以下のことが分かる。

- (a) FRENIC-Multi シリーズの過負荷検出によるトルク制限では、高応答設計によってモータ減速時間が短縮され、制限レベルに対するトルク超過量が低く抑えられ、装置への過負荷軽減が分かる。また、FVR-E11S シリーズでは、減速直後、一度、トルクが制限レベルより下回るトルク抜けが発生している。これは、横行搬送では跳ね返り現象、上下搬送ではずり落ち現象となるが、FRENIC-Multi シリーズではトルク抜けも発生せず、安定に停止することが分かる。
- (b) 減速後、FVR-E11S シリーズでは、制限レベル設定値に対して、当て止めトルクは大幅な誤差を持ち、トルク脈動も見られる。これは、FVR-E11S シリーズが基本的に電圧制御であり、モータ電気定数の変動へのロバスト性が低いことを示している。一方、FRENIC-Multi シリーズの電流制御では、抵抗成分の変動の影響は一切受けず、制限レベルどおりの当て止めトルクがトルク脈動もなく安定して得られている。

(4) 応用例

例えば、図8のような扉閉装置へ当て止めを応用した場合、扉開状態から扉閉へと運転を行い、扉が壁に衝突す

図8 扉閉装置への応用例

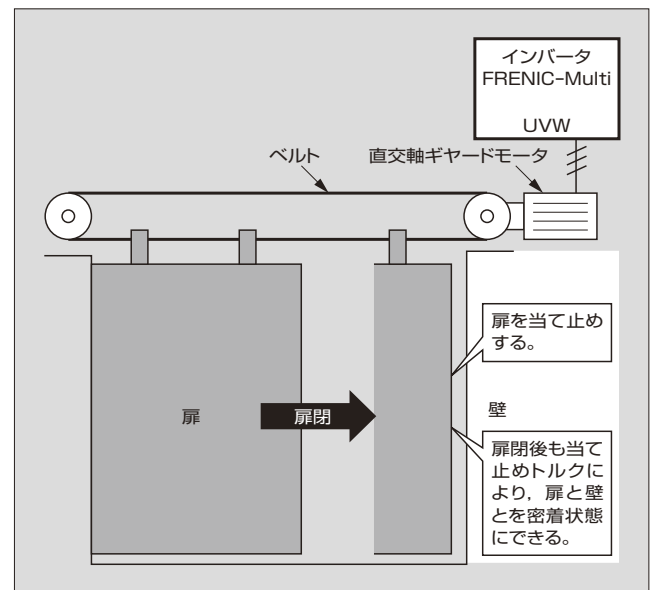
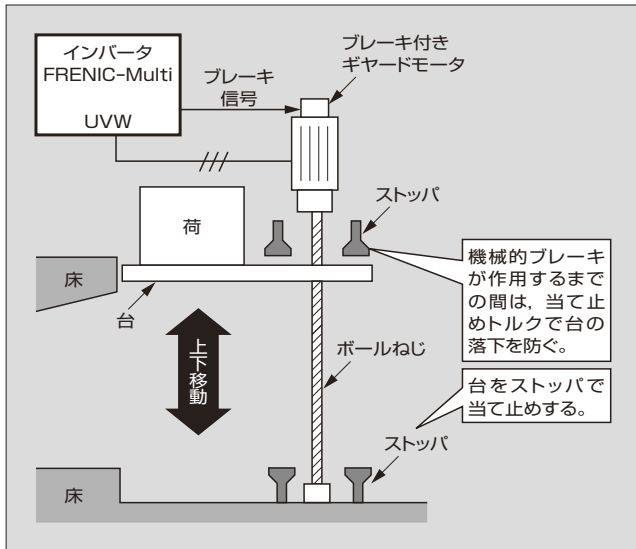


図9 上下搬送装置への応用例



ると、インバータは速やかにモータを減速し、跳ね返りなしで扉を停止させ、その後、機械的ブレーキがなくても当て止めトルクによって、扉を壁へ押し当てた状態にすることができる。

また、上下搬送例では、図9のようなボールねじを介し

て上下移動する台が、上下端に設けられたストッパに接触すると、トルク制限でトルクを維持しながらモータを減速し、減速後は当て止めトルクによって台のずり落ちを防止しながら機械的ブレーキを投入することができ、停止位置を安定させることができる。さらに、従来は、衝突時の過大トルクを防止するため、ストッパ到達前にクリープ速度へ減速させるリミットスイッチを設け、減速点の調整が必要であったが、それらの機構自体や調整作業を省くことができ、システムの簡素化やメンテナンス性の向上に貢献できる。

③ あとがき

今回は、「FRENIC-Multi シリーズ」での過負荷停止機能を紹介した。今後、汎用インバータは、システム全体での最適化やメンテナンス性向上に寄与できるユニークな機能が、よりいっそう望まれると確信し、新機能開発によって新たな用途への適用拡大を図っていく所存である。

参考文献

- (1) 塩川治ほか、高性能・コンパクト型インバータ「FRENIC-Multi シリーズ」、富士時報、vol.78, no.5, 2005, p.364-367.

