

LSI制御モジュール化インバータの完成

LSI-Controlled Inverters with Power Modules

日立製作所では、省エネルギー、省メンテナンスに対するニーズの急速な高まりを背景に、電動機の変速駆動システムとして可変周波インバータ「HFC-10シリーズ」を開発した。

このインバータは、制御回路にカスタムLSI、マイクロプロセッサを、主回路に絶縁形パワーモジュールを採用し、小形軽量化、信頼性の向上を図っている。また、マイクロプロセッサにより電動機の運転状態が把握できるので、運転特性の改善、保護の充実など従来にない機能をもっている。更に、NC装置、コンピュータと指令の授受を行ない、システムを高級化することも可能である。これらの特長は市場の要求にマッチしており、幅広い展開が期待できる。

石橋 耀* Akira Ishibashi

南藤謙二* Kenji Nandō

服部元信* Motonobu Hattori

松田靖夫** Yasuo Matsuda

1 緒言

インバータによる電動機の回転数制御は、従来から繊維工業¹⁾、鉄鋼業などに多く応用されてきた。近年、省エネルギーを目的としたファン、ポンプへの適用、省メンテナンスを目指した各種の製造機・搬送機駆動用、高速回転を得るための工作機駆動用への応用、また、電動機の耐環境性の改善から食品工業、化学工業などへと需要が急増しつつある²⁾。特に、適用数量の多い数キロワットの領域では、他の可変速駆動方式からインバータへの置換が進んでいる。また、電力用半導体、LSI、MPU(マイクロプロセッサ)の応用技術^{3),4)}も急速に進歩してきている。

このような情勢から、日立製作所では電動機制御専用、MPU周辺用カスタムLSIを新たに開発し、半導体集積部品を積極的に採用して、装置の小形軽量化、MPUを用いたDDC(Direct Digital Control)による高機能化⁵⁾ができる新形可変周波インバータ「HFC-10シリーズ」を製品化した。以下、本シリーズインバータの特長、性能及び応用例について述べる。

2 LSI制御インバータの概要

「HFC-10シリーズ」インバータの構成について、以下主要な事項について述べる。

制御回路にはカスタムLSI、MPUを、主回路には絶縁形パワーモジュールを、中電力回路にはハイブリッドICを用いたため、従来に比べて体積、重量共約40%に低減されている。更に、部品点数は従来の類似機能インバータの50%以下となっており、これに伴い信頼性が向上している。

PWM(パルス幅変調)制御方式には、等パルス出力波形、不等パルス出力波形の2方式がある。本インバータでは、不等パルス方式を採用しているため、出力電圧波形の低次高調波は大幅に除去されており、例えば、10Hz出力時には、第5次、第7次高調波の大きさは、等パルス出力波形のときの約5%以下に低減されている。このため、電動機のトルクリップルは数分の一以下と小さい。

電動機の過負荷保護を行なうために、通常はインバータと電動機の間にはサーマルリレーを接続しているが、本インバータではMPUの演算能力により、電流・時間特性を算出し積算する機能をもっているため、規定容量の日立標準三相誘導電

動機を普通に運転する場合には、外付サーマルリレーを省くことができる。

なお、標準の機種構成、インバータ装置の外観はそれぞれ表1、図1に示すとおりで、電源及び電動機との接続電線が最少の6本だけで済む標準形(HFC-10A)、各種の応用制御、オプションに対応できる高級形(HFC-10B)、高級形を盤内収納用とした開放形(HFC-10C)でシリーズを構成している。冷却方式としては、5.5kVA以下では強制冷却を行っていないので、じんあいの吸込みによる耐環境性の低下がない。また、インバータ運転に適した専用モートルも併せて開発を行なっ



図1 HFC-10Aインバータの外観 量産される標準形HFC-10A(中央)、高級形HFC-10B(左上)、開放形HFC-10C(右下)及び操作盤を示す。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所

表1 標準仕様 HFC-10シリーズインバータの標準仕様を示す。オプション仕様として、V/f比率変更、ダイナミックブレーキ、デジタル速度設定・表示などがある。

項目	形式	標準形						高級形					
	閉鎖形	HFC-10A I	HFC-10A 1.5	HFC-10A 2.5	HFC-10A 3.5	HFC-10A 5.5	HFC-10A 11	HFC-10B I	HFC-10B 1.5	HFC-10B 2.5	HFC-10B 3.5	HFC-10B 5.5	HFC-10B 11
機種略号	開放形	—	—	—	—	—	—	HFC-10C I	HFC-10C 1.5	HFC-10C 2.5	HFC-10C 3.5	HFC-10C 5.5	HFC-10C 11
適用モートル出力 (kW)		0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	7.5	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	7.5
出力容量 (kVA)		I	1.5	2.5	3.5	5.5	11	I	1.5	2.5	3.5	5.5	11
入力電源		三相 200/220V ±10%, 50, 60/60Hz ±1%											
出力電圧(最高)		三相 200/220V											
定格出力電流 (A)		2.6	4.2	7.5	10.5	16.0	32.0	2.6	4.2	7.5	10.5	16.0	32.0
制御方式		不等パルス(PWM:パルス幅変調)制御方式											
出力周波数範囲		3~65Hz											
周波数精度		±0.5%(最高周波数に対して)											
V/f比率		3~60Hz:一定(定トルク特性), 60~65Hz:電圧一定(定出力特性)											
過負荷耐量		150% 1分間											
ソフトスタート/ストップ		2~50s											
外部からの速度設定信号		使用不可						DC 0~10V					
正・逆運転		外部電磁接触器の切換により可能						I a 接点指令で可能					
保護機能	瞬時停電	15ms以下は運転継続											
	不足電圧	170V以下で停止											
	過電流	電子回路による保護											
	モートル過負荷	電子回路による保護											

注: 周囲温度 -10~+40℃(閉鎖形), -10~+50℃(開放形) 湿度 90%以下

ている。

以上のほか、MPUの演算能力によりソフトウェアの変更で高機能化ができる特長をもっているが、具体例については次章で述べる。

3 インバータ制御システム

このインバータの制御システムは、集積化されたハードウェアとソフトウェアで構成されている。

3.1 ハードウェア

図2に回路構成を示す。主回路はインバータ部とコンバータ部とから成り、集積化部品を使用している。

制御回路はカスタムLSIを中心に各種演算制御を実行するMPU、メモリ及び入出力インタフェース並びに検出回路、指令回路で構成される。

カスタムLSIは、各種の内部レジスタをもち、その一部がMPUのバスラインと直結されて、MPUシステムの指令に従ってインバータ運転、保護処理を実行するとともに、動作状態をMPUに出力する。PWM波形合成はカスタムLSIの基本機能で、内部レジスタに書き込まれたデータに基づく周波数とパルス数の、三相不等パルス又は等パルス波形を作り出力する。周波数設定データ、加減速レートデータ、直流電圧・電流などのアナログデータは、カスタムLSI内蔵のAD変換器に入力され、デジタル化されて内部レジスタにセットされる。インバータの動作状態も、内部レジスタにセットされる。MPUは、随時あるいは割込発生時に内部レジスタを読み取り、インバータの運転、保護を行なう。

過電流検出回路は、瞬時的な過電流の発生を検出し、ソフトウェアを介さず速やかに出力しゃ断する。MPUが万一異常動作した場合も出力しゃ断するか、あるいは自己復帰させてインバータを継続運転させる。

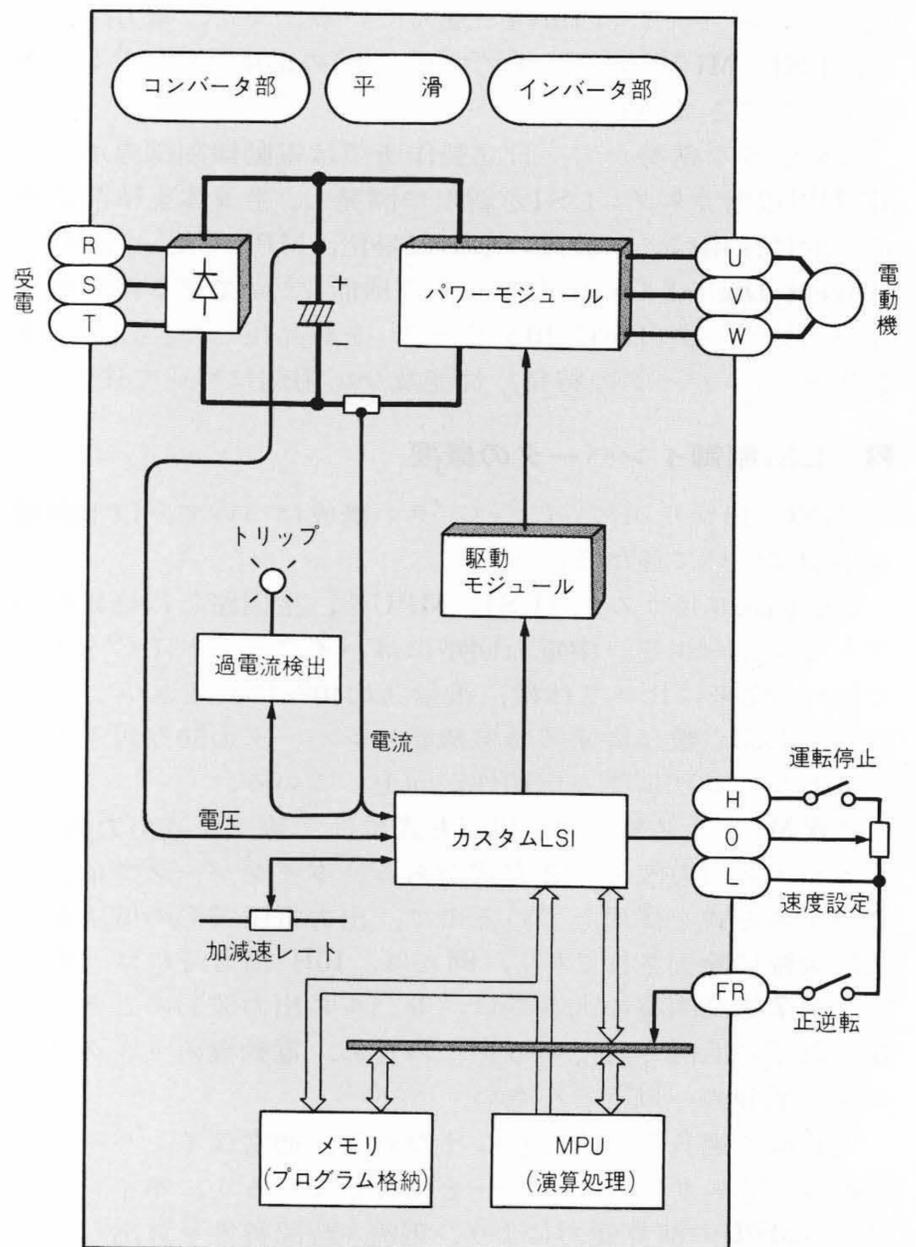


図2 回路構成 HFC-10シリーズインバータの内部構成を示す。カスタムLSIは電圧、電流、速度指令などのアナログ量をデジタル化しMPUへ報告の上、メモリに格納されたプログラムに従って波形を合成し、パワーモジュールを駆動する。

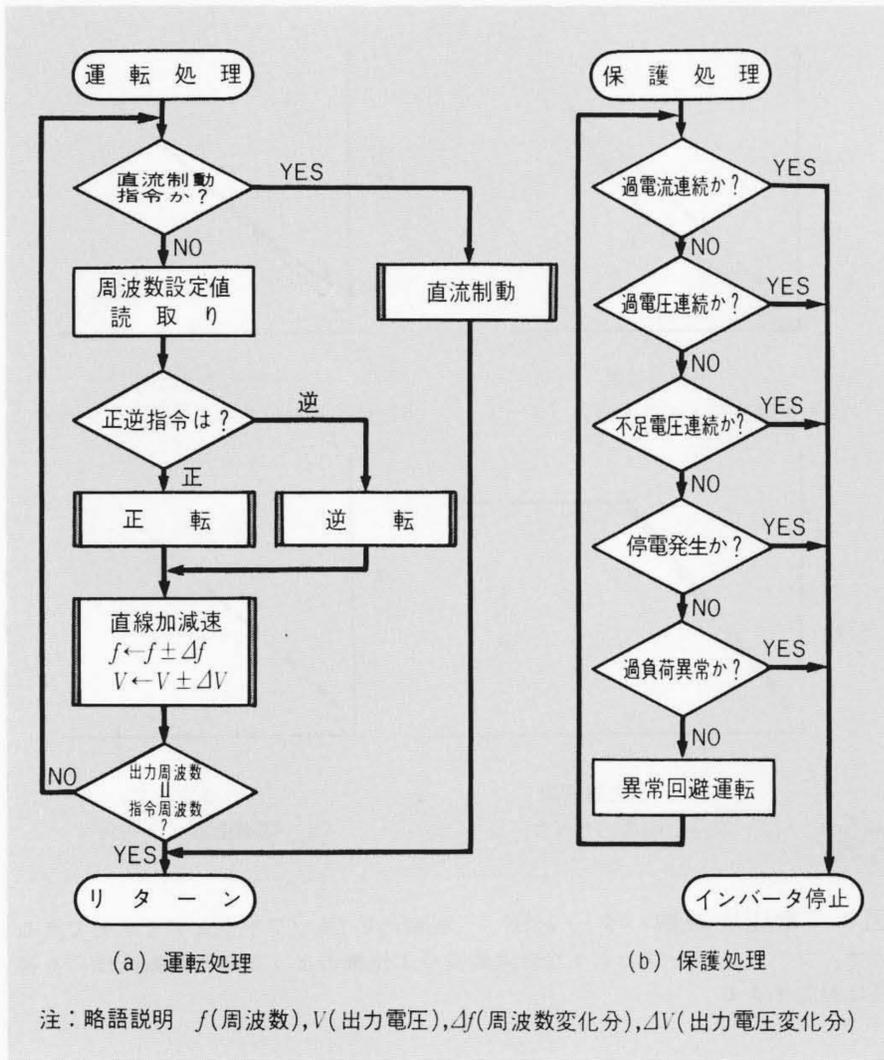


図3 制御フローチャート 加減速、正逆転、制動及び保護の処理を示す。運転処理中に異常が発生すれば、保護処理のチェックを受け、正常であれば元の運転処理へもどる。

3.2 ソフトウェア

MPUの処理内容は多岐にわたるため、プログラムは高速応答性のあるマルチタスク構成をとっている。プログラムは運転処理と保護処理に大きく分けられ、運転処理には、指令読取り、加減速、正逆転、直流制動などがあり、保護処理には、停電保護、過電流保護、過不足電圧保護、過負荷保護などがある。これらはいずれもタスク群として構成される。運転処理の内容は、図3(a)に示すとおりである。

加減速処理、正逆転処理は同一タスク内にあり、指令値の変化に対してインバータ出力周波数と V/f (電圧/周波数比率)パターンに応じて出力電圧を算出し、読み取った加減速レートで指令値に向かって直線加減速する。正転(逆転)中に逆転(正転)指令に変更されると、減速レートに従っていったん減速し、停止後逆転(正転)方向に加速レートに従って加速する。直流制動処理は上述の処理よりも優先され、カスタムLSIを通じてチョッピング周期とデューティを管理しながら、インバータ部をチョッピング動作させる。

保護処理の内容を図3(b)に示す。電動機の急加減速時に発生する異常事態を回避する運転は、多重レベルで実施している。過負荷処理は一定周期ごとに電流検出値から電動機一次電流値を算出し、その積算値が規定容量の日立標準三相誘導電動機の熱時限特性曲線を超えたときには過負荷異常として運転を停止する。

上述の各処理を実行するプログラムの構成を図4に示す。本プログラムは、マルチタスクで構成されており、緊急割込起動、又は周期起動されたタスクのうち、常に優先順位の高いタスクが順次実行されていく時分割方式となっている。これら

のマルチタスクの実行を管理するのが管理プログラムである。

4 運転特性

前述のソフトウェアによって制御されるインバータのダイナミック特性を図5に示す。正転中に逆転指令が入ると、いったん減速、停止後逆転加速となる。減速中は電動機のもつ回転エネルギーがインバータ装置のコンバータ部までもどり直流電圧を上昇させる。電動機の回転エネルギーをもどすことなく電動機内で消費させ減速する手段として、直流制動と逆相制動がある。同図の例では電動機軸の約20倍の高慣性負荷をもった2.2kW四極の誘導電動機を直流制動により約2秒で停止させている。インバータによる逆相制動も可能であり、ソフトウェアによりいったん出力を停止し、逆転指示をすることにより良好な制動特性が得られる。これらの制動は、MPUを使用した本インバータではソフトウェアにより実現でき、かつ信頼性の高いシステムとなる。

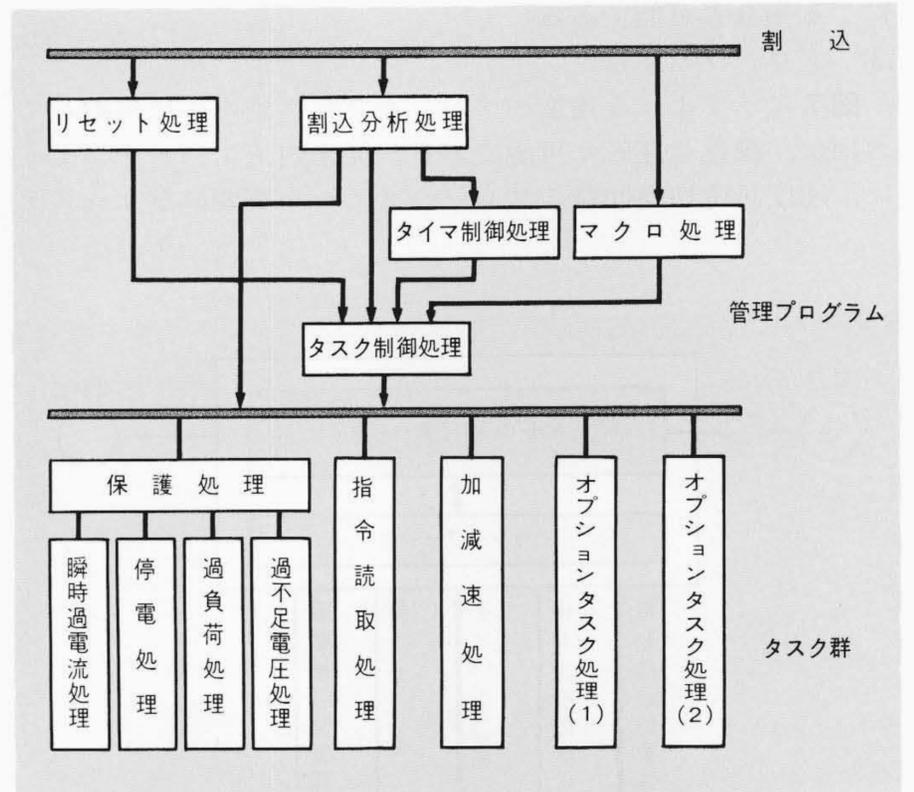


図4 ソフトウェアの構成 各種割込が入力されると、管理プログラムはタスク群のうち優先順位の高いタスクを起動する。

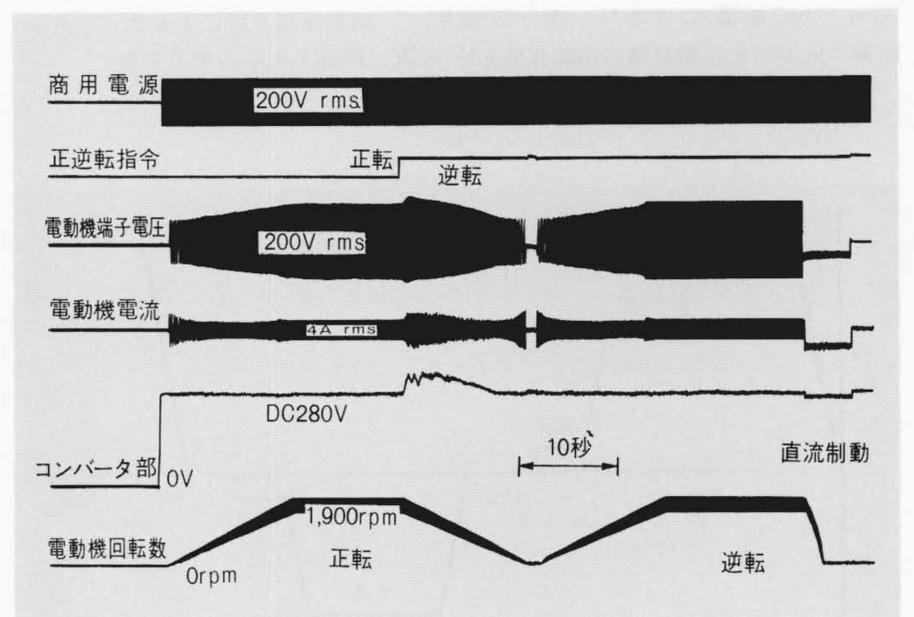


図5 高慣性負荷加減速特性 回生制動時のコンバータ部電圧上昇と直流制動時の急停止状態が分かる。回生制動では、電動機の回転エネルギーはコンバータ部へもどり、直流制動では電動機内で熱となる。

5 機能拡張

本インバータの他の特長として、オプションタスクを追加することにより機能拡張ができる。以下、数例について紹介する。

(1) 省エネルギー運転

軽負荷時の電動機入力の大部分を占める励磁電流分を減少させれば、大幅な電力節減となる。電動機負荷率をカスタムLSIとMPUが演算し、軽負荷時の電動機入力を低下させることが可能で、2.2kW誘導電動機の無負荷時損失を約35%軽減できる。

(2) NC装置・コンピュータリンクージ運転

図6にNC(数値制御)装置とのデータリンクージにより運転する例を示す。NC装置からの情報は、回転数など電動機の状態量指令、運転停止、正逆転などの制御指令があり、インバータからNC装置への情報としては、過負荷、加速中などの電動機の状態量報告があり、相互確認方式によりデータ交換が行なわれている。コンピュータ指令の代わりにデジタルスイッチによる指令も可能である。

(3) プログラム運転

図7に示すような速度パターンをプログラム中に格納しておけば、繰返し運転が可能である。従来のインバータのように、速度設定切換回路のリレーやタイマが不要になりシステ

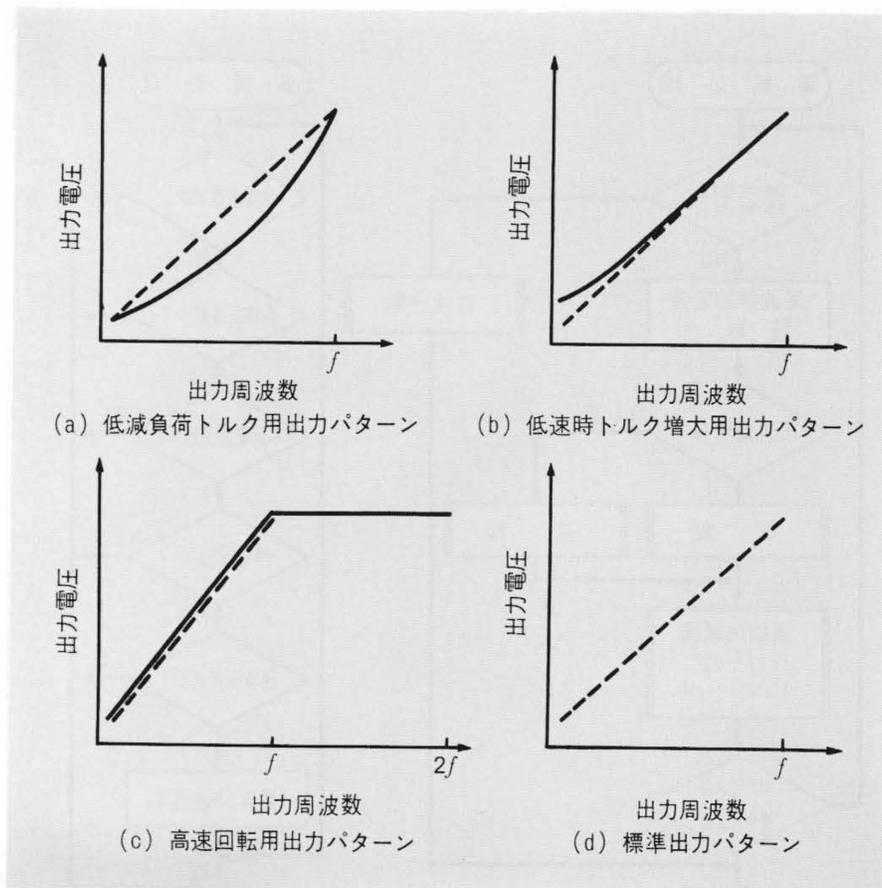


図8 電圧周波数パターン例 各種のV/fをソフトウェアで変更できるので、ファン、ポンプのような低減負荷や工作機のような高速回転仕様にも容易に対応できる。

ムの信頼性が著しく向上する。

(4) 電圧・周波数変更

ファン、ポンプのような低減トルク負荷、始動時だけトルクを増大したい負荷、研削盤のような高速回転を要求する負荷など、標準V/fパターンでは対処できない場合には、図8に示すようなV/fパターン用メモリを使用する。従来のインバータではV/fをある範囲でしか変更できないが、本インバータでは、必要に応じてソフトウェアによりV(電圧)とf(周波数)を別別に大幅に変更できる。

6 結 言

以上、新形インバータ「HFC-10シリーズ」の構成、機能などについて述べた。本シリーズインバータは、カスタムLSI、MPUを使用したデジタル制御方式であり、従来のアナログ制御主体で構成してきたパワーエレクトロニクス製品とは異なる新しい機能をもっている。

今後更に新技術の開発、機種拡大、応用技術の強化拡充、及びソフトウェアの開発により、従来適用が困難であった領域まで適用範囲を拡大してゆく考えである。

参考文献

- 1) NIELS P.PEDERSEN: Pulsewidth-Modulated Inverters in Manmade Fiber Industries, IEEE Transactions Vol.IA-10, No. 1, 128 (1974-1)
- 2) 石橋, 外: 交流電動機の可変周波インバータ制御, 日立評論, 61, 693~698 (昭54-10)
- 3) 原, 外: VVVFインバータのマイコン制御システム, 昭和55年電気学会全国大会, 440, 517 (昭55-4)
- 4) 森永, 外: 不等パルス幅変調信号発生のデジタル化, 昭和56年電気学会全国大会, 593, 726~727 (昭56-4)
- 5) 小池, 外: パワーエレクトロニクスによる電動機制御の展望, 日立評論, 61, 685~688 (昭54-10)

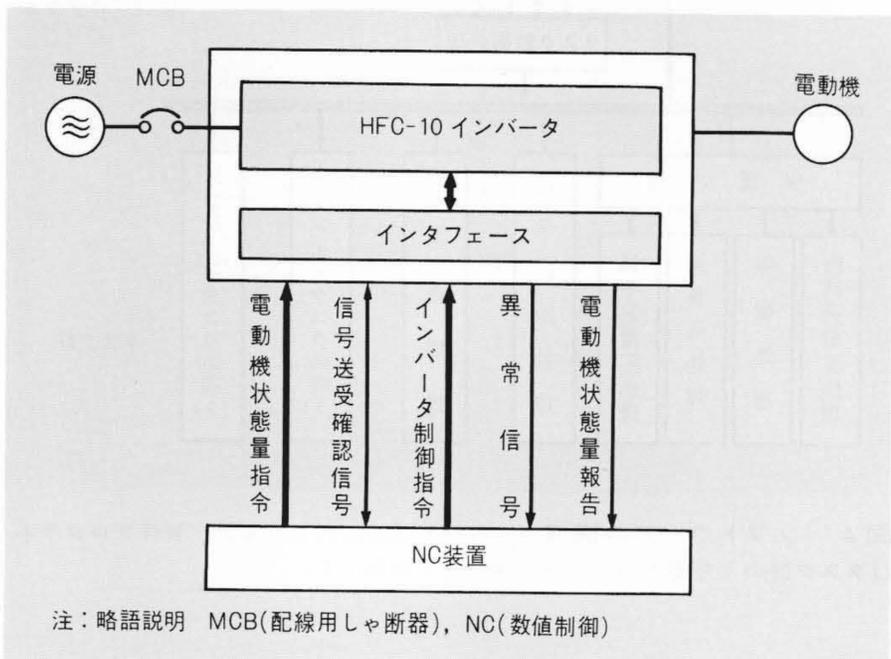


図6 NC装置によるリンクージ運転 相互確認方式によるデジタル制御の例を示す。電動機の運転状態をNC装置へ報告することができる。

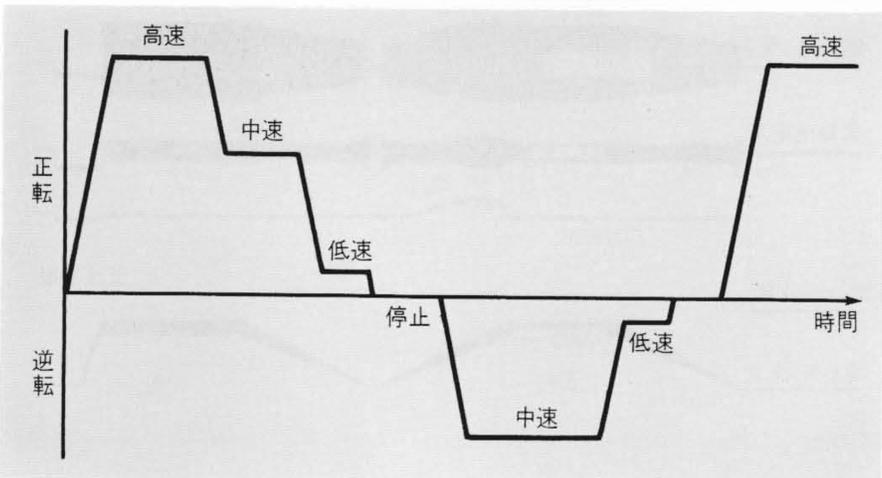


図7 プログラム運転 外部リレーシーケンスなしにソフトウェアで制御し、連続的に同一パターンで運転する例を示す。