:621. 314. 572 + (681. 527. 2' 133:621. 313. 323)

新形はん(汎)用インバータ及びACサーボシステム

New General Purpose Inverters and AC Servo Systems

日立はん用インバータ、サーボシステムは、一般産業機器の駆動源として、様々な用途で省エネルギー、省力及び省メンテナンスの要求にこたえてきた。更にこれからも、産業の必需品としてますますその用途の拡大が見込まれる。本稿では、使い勝手の向上を目指して、トリップしにくく、かつディジタル式の操作がしやすい、液晶表示方式の新形インバータ、並びに速度制御、位置制御に各々最適なサーボシステム及びシーケンサが上位コントローラとなる方式を併せて紹介する。インバータでは、新たに過負荷制限機能、リトライ機能及び安定化制御回路が有効であること、サーボでは、新たに開発された極低速時の速度検出回路が性能向上に寄与したことをそれぞれ確認した。

南藤謙二* Kenji Nandô 小林澄男* Sumio Kobayashi 武藤信義** Nobuyoshi Mutô 宮下邦夫** Kunio Miyashita

11 緒 言

はん用インバータによる誘導電動機の駆動は、産業各分野での基本的要素であり、機械的変速機や電磁継手方式、更に直流電動機などと比べてもコストパフォーマンスの高い方式である。これまでインバータを育ててきたパワーエレクトロニクス技術は、高性能マイクロコンピュータやソフト技術の進歩によって、性能の向上とともに機能の向上が可能となった。

インバータを制御装置として見たときには、種々のサービス機能が必要となるが、日立製作所ではハードウェアを増やすことなくソフトウェアによって、これまでのユーザーの要求を次々に取り込み、従来、特別仕様として扱われてきた制御仕様を標準化し、新形はん用インバータの標準仕様として提供できることとなったのでここに紹介する。

サーボシステムについては,今回,基本性能の大幅な向上に加えて,機能モジュールの充実と上位指令との結合方式について見直しを行い,シーケンサなどからの種々の指令信号との接続を容易にした。

このためユーザーのシステム選定・計画時の負担が減少し、 操作、異常時の扱いが容易になり、いわゆる使い勝手の向上 が図られた。これらは、当然、高度で確実な制御機能に支え られて初めて実現できたものである。

2 新形はん用インバータ「HFC-VWS₃シリーズ」

インバータは、性能、制御方式、適用駆動電動機などによって幾つかに区分されるが、はん用インバータは、産業界に最も多く使用されているはん用電動機を運転するもので、電動機との組合せに制約があってはならず、通常は容量の検討だけで選定される。また、性能、機能は産業用用途を対象と

して満足するものでなくてはならない。これらは、インバータがはん用電機品として取り扱われるための基本条件である。以下、この目的に沿って開発された新形はん用インバータ「HFC-VWS3シリーズ」について説明する。

2.1 概 要

HFC-VWS₃シリーズインバータの外観を**図1**に示す。200 V級(200~230~V)1~75~kVA,400 V級(380~460~V)5.5~180~kVAまでシリーズ化されており、通常使用電圧範囲は $\pm 10\%$ であるが、不足電圧検出値を下げたために許容電圧範囲が広

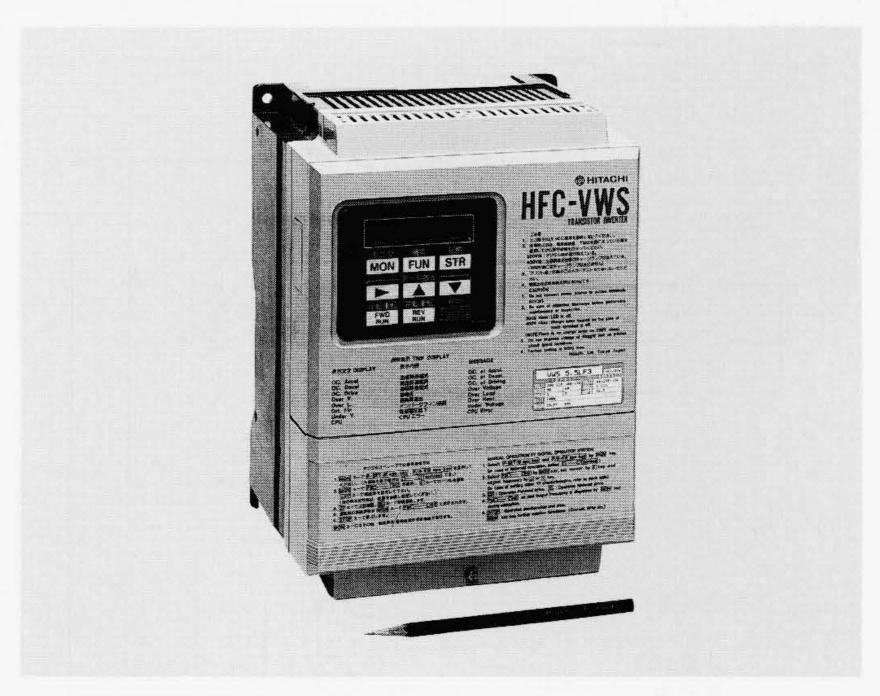


図 I HFC-VWS3シリーズインバータの外観 オールディジタル 液晶表示方式の新形である。前面のキーボードを通してすべての制御が可能である。

^{*} 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所

くなり(-20~+10%), 電源事情の悪い場所でも使用できるようになった。

構造面では安全性、操作性、取付けやすさなどに十分注意が払われているが、特に小形機種では、裸充電部に容易に触れることがないような NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 基準 1 構造の採用、中・大容量機種については、インバータ側面に持ち運びのための角穴を設けるなどの配慮を行った。

操作性については、今回初めて16けたの液晶表示器を採用 し、単なる記号による情報から、文章化された情報が読み取 れる構成とした。インバータの多くは現場機器であることに 留意し、表示パネル部の防じん性を高め、キー操作時の確認 ができるようにクリック感を強調し、誤操作を防ぐように配 慮してある。

回路は大幅にディジタル化され、後述するように性能の向上と多機能化を図ったが、回路そのものの大幅なディジタル化とゲートアレー、厚膜回路など素子の高集積化によって、従来の製品シリーズと比べ、部品点数の縮減を図り信頼性の向上に努めた。制御回路は1~180kVAまですべて同一思想の設計となっており、1枚のプリント板で構成されている。

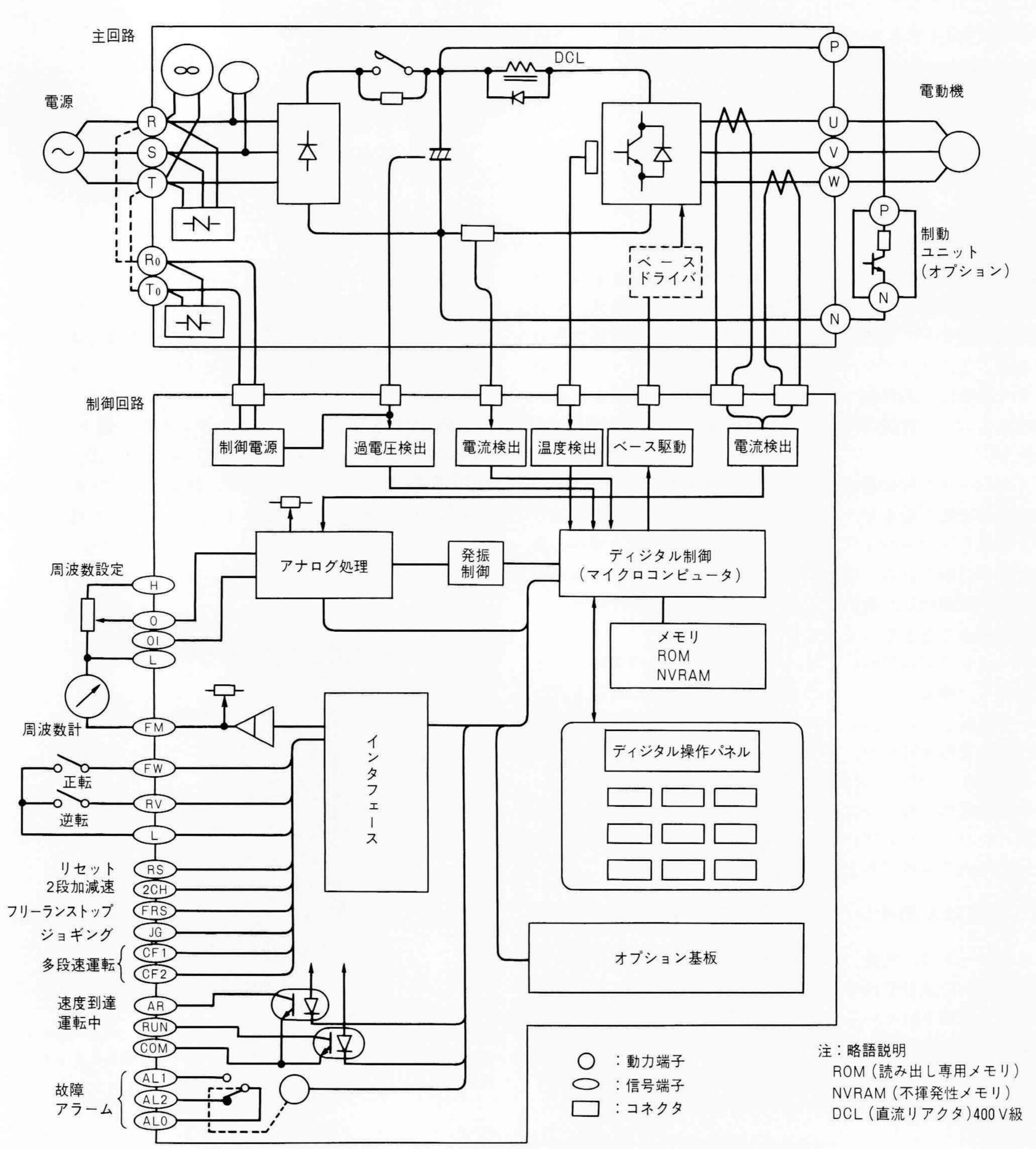


図 2 HFC-VWS3シリーズインバータ回路構成 中・大容量では、ベース電流増幅用のベースドライバが付加されている。

高圧電位が入り込む場所は、国内外(JEMA:日本電機工業 会、VDE:ドイツ電子技術者協会など)の規準に準拠するよう に、パターン間隔を大きくとり、必要な場所にはスリットを 設けるなどして、絶縁、沿面距離を確保した。

2.2 回路構成と実装機能

全体回路構成を図2に示す。主回路はPWM(Pulse Width Modulation)スイッチング動作を行う6個のトランジスタで構 成している。このブリッジは負荷からのエネルギーを回生さ せる機能を持ち、電動機の制動運転ができるが、制動ユニッ トオプション(図3)をインバータの外部に取り付ければ、電 動機の回転エネルギーを熱として消費させることができるた め、更に大きな制動力が得られる。図2に示すリアクタ〔DCL (直流リアクタ):400 V級に適用〕は、出力端子短絡時の瞬時 過電流抑制用のものであり、保護回路と協調してトランジス タの保護を行っている。これによって、200 V, 400 V級全シ リーズにわたり素子を負荷短絡から保護している(図4)。

2.2.1 ディジタル操作パネル

図5に示すように9個のキーと16けた液晶表示器で構成さ れ、プラグイン方式によってマイクロコンピュータのデータ バスと直結させている。設定・表示は次項で述べるように41 機能あり、操作は可逆スクロールによる順次読出し方式であ るが、英・数字による意味ありコードの採用、カーソル移動 による変更項目の指定,使用頻度を考えた配列などによって, 説明書なしでも誤りなく迅速な呼び出し, 設定が行える。

2.2.2 サービス機能及び表示

サービス機能の内容を表1に示す。モニタモードに示され た10項目は、運転中にカーソルを動かすことによって設定変 更と確認ができる。例えば、電動機の極数を設定すれば、そ れに連動した同期回転数を見ることができる。機能モードは, 初期設定に必要な機能が集められており, 運転待期状態で設 定が可能である。このモードは、31機能と多数格納されてい

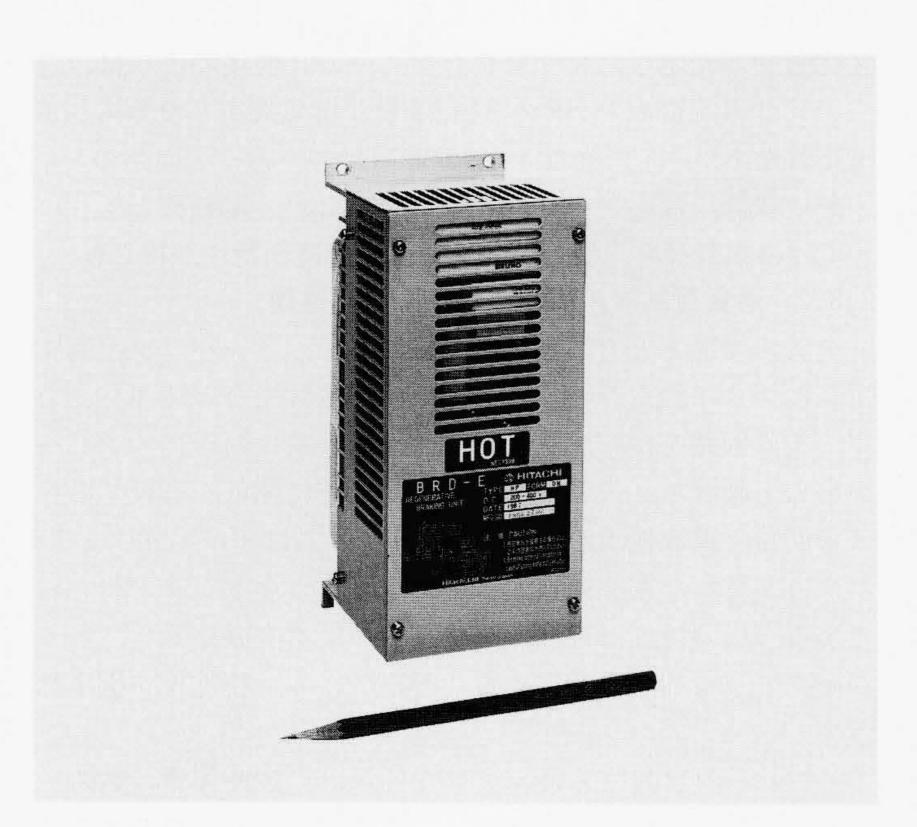
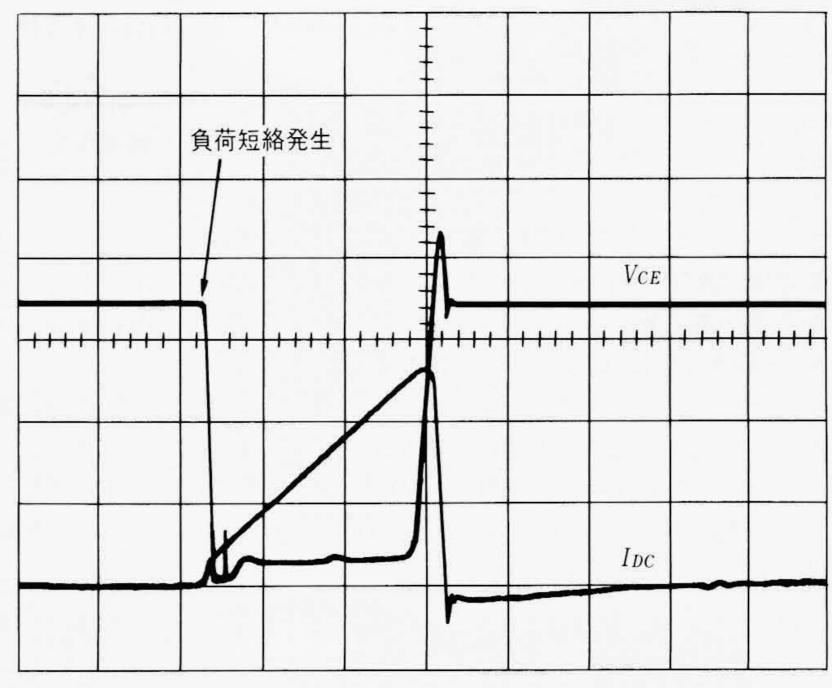


図3 制動ユニットオプション 外部抵抗を付加し、制動力を高め ることもできる。



500 A, 200 V, 50 μs/div.

注:略語説明 IDC(直流電流) VCE (主トランジスタ コレクタ エミッタ電圧)

図 4 インバータ負荷短絡試験結果 180 kVAインバータ出力端子 を強制的三相短絡させ、パワートランジスタの動作軌跡が安全動作領域 内にあることを確認している。

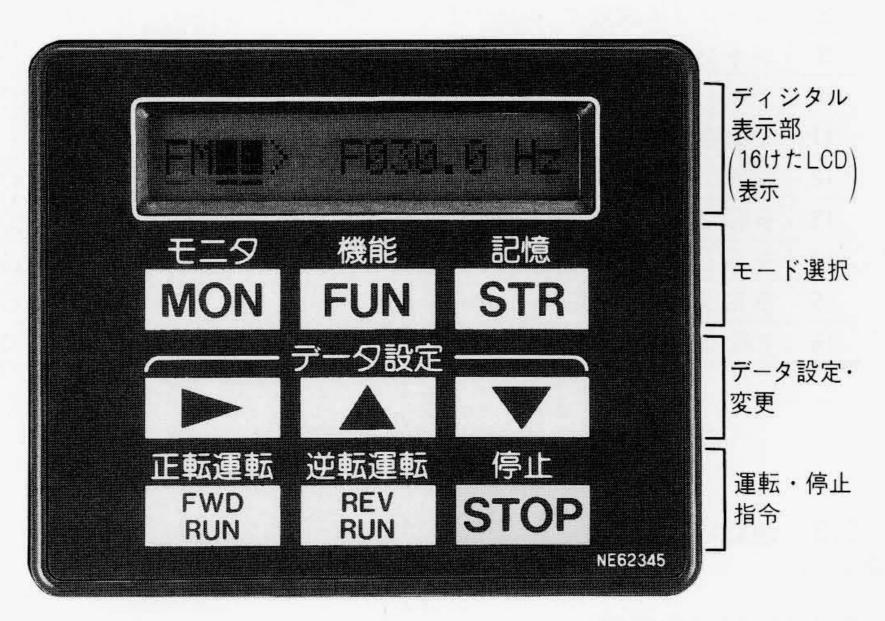


図 5 ディジタル操作パネル 30 Hzで運転中であることを示す。 データ設定ボタンを押せば0.1 Hz刻みで可変できる。

るため、目次に相当するスクロールを1個設け、ページング を容易にし、目的の機能に早く到達できるようにしてある。 なお, 故障表示はすべてに優先し, 同表に示すメッセージが 即座に表示される。電源遮断によって内部データをクリアす ることができるが、操作電源端子に供電しておけば故障表示 を残しておける。また、すべての設定データは、内蔵してい る不揮発性メモリに電源遮断と同時に待避させ、電源再投入 時に初期データとして再使用している。これらの機能のうち、 多段速設定,加減速パターン指定,過負荷予告,過負荷制限 などを利用すれば、機器のシーケンシャル動作は滑らかにな り, また, 始動周波数変更(最低周波数0.5 Hz), 電流管理機 能を利用したトルクブースト機能などを合わせれば、ほとん どの一般産業用機械に十分な運転性能が得られる。

表 | ディジタル操作パネル内蔵メニュー一覧 常時使用する機能はモニタモードに,他は機能モードに格納されている。 (a) モニタモード

表示順序	モニタ名称	初期表示内容	標準設定	変更範囲	故障表示詳細		
	ビー ク 日 小	初期我不问音		支 文	メッセージ	内 容	
1	出力周波数表示	<u>F</u> M 000.0 Hz	-	_	OC. ACCEL	加速時過電流	
2	周 波 数 設 定	<u>F</u> S 000.0 Hz	0	選択したV/Fパターンの最高周波数 +最高周波数調整で設定した周波数	OC. DECEL	減速時過電流	
3	周波数指令方法	F-SET-M OpeKey	OpeKey	OpeKey又はTerminal	OC. DRIVE	運転時過電流	
4	運 転 指 令 方 法	<u>F</u> /R-SW OpeKey	OpeKey	OpeKey又はTerminal	OVER. V	過電圧	
5	電動機回転数表示	<u>R</u> PM 4P 00000 min ⁻¹ {rpm}	4	2~48	OH. FIN	インバータフィン過熱	
6	出 力 電 流 表 示	<u>I</u> fA Im000.0%		3.0~260	OVER. L	過負荷運転	
7	手動トルクブースト調整	<u>V</u> -Boost Code ⟨31⟩	31	00~99	UNDER. V	不足電圧	
8	出力電圧ゲイン調整	<u>V</u> -Gain 100%	100	100~50	CPU	CPUエラー	
9	ジョギング周波数設定	Jogging 01.0 Hz	1	0.5~9.9	INST. P-F	瞬時停電	
10	故 障 表 示	#			GND. FLT	地絡(オプション時)	

(b) 機能モード

表示順序	機能名称	初期表	長示内容	標準設定	設定変更範囲	表示順序	機能名称	初期表	示内容	標準設定	設定変更範囲
l l	V/Fパターン設定	VFE-VC	060-060	VFE-VC	9 種類	17	2 段減速時間調整	DECEL-2	0030.0 s	30(s)	0.1~2999(s)
2	加速時間設定	ACCEL-1	0030.0 s	30(s)	0.1~2999	18	直流制動周波数調整	<u>F</u> -DCB	001.0 Hz	1.0(Hz)	0.5~15(Hz)
3	減速時間設定	DECEL-1	0030.0 s	30(s)	(s)	19	直流制動力調整	<u>V</u> -DCB	000	000	000~020
4	最高周波数調整	±Fmax.	000.0 Hz	0 (Hz)	0~15(Hz)	20	直流制動時間調整	I-DCB	000.0 s	0 (s)	00~15(s)
5	始動周波数調整	<u>F</u> min.	000.5 Hz	0.5(Hz)	0.5~5(Hz)	21	電子サーマルレベル調整	E-therm	100%	100(%)	100~50(%)
6	周波数上限リミッタ設定	<u>H</u> -LIM-F	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	22	直線·曲線加速選択	<u>A</u> CCline	Linear	Linear	Linear
7	周波数下限リミッタ設定	<u>L</u> -LIM-F	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	23	直線·曲線減速選択	<u>D</u> ECline	Linear	Linear	又は S-curve
8	ジャンプ周波数 1	JUMP-F1	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	24	外部周波数設定スタート	F-START	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)
9	ジャンプ周波数 2	JUMP-F2	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	25	外部周波数設定エンド	F-END	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)
10	ジャンプ周波数3	JUMP-F3	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	26	スイッチ選択	<u>s</u> WITCHI	00000111	00000111	4 種類
_11	電動機運転音調整	<u>C</u> F-Code	< N>	Ν	C~U	27	過負荷制限定数設定	LM. CONS	0001.0	1.0	0.3~30
12	始動時周波数停止時間調整	<u>F</u> stop-T	001.0 s	1.0(s)	0.5~15(s)	28	過負荷予告レベル調整	<u>O</u> Lalarm	100%	100(%)	100~150(%)
13	多段速度 1 設定	<u>S</u> peed-1	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	29	自動トルクブースト調整	<u>V</u> -auto	+00	00	00~20
14	多段速度2設定	<u>S</u> peed-2	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	30	許容瞬時停電時間設定	IPS-T	001.0 s	1.0(s)	0.3~3.0(s)
15	多段速度3設定	<u>S</u> peed-3	000.0 Hz	0 (Hz)	0~135(Hz)	21	瞬時停電復電後再投入	TDC D T	0001 0	1.0/ \	0.0.0=7.5
16	2 段加速時間調整	ACCEL-2	0030. s	30 (s)	Al~2999(s)	31	待機時間設定	T-2-K-1	0001.0 s	1.0(s)	0.3~30(s)

2.3 運転特性

以下、このインバータでの幾つかの動作について説明する。

2.3.1 安定化制御1)

はん用インバータの主回路は、電圧形PWM方式である。こ の方式は速応性に優れ,一般に安定した運転を行うが,主と してインバータ出力に含まれる低次の高調波に起因して、キ ャリヤ周波数が高い場合,特に低慣性の高速電動機を負荷と した場合に不安定現象を示すことがある。これは電動機とイ ンバータの間で、主として前記低次高調波をキャリヤとして エネルギーの交換(ポンピング)動作を行うことが原因である。 前記安定化制御はこのポンピング動作を, インバータ直流中 間回路での電流の方向を検出することによって行うもので. 以下に述べるように,両方向性のエネルギー変換モードを基 本的に持っている電圧形インバータと, 交流電動機の制御に 極めて有効である。構成と結果を図6に示す。インバータ内 の直流電流は、出力周波数の6倍を基本周波数とするのこぎ り波形であり、力行・回生時にはそれぞれこの力行回生エネ ルギーに相当する正負の直流分を含む。電動機が不安定状態 になると直流分電流が正負に大きく変化し、のこぎり波形は 規則性を失う。この規則性を監視し、出力周波数を過渡的に変化させて安定した動作を行わせている。前述のように、この方式は直流電流の方向を制御信号として扱うものであり、速応性があり、電動機の特性やPWM動作を行う主回路のキャリヤ周波数には影響を受けない。このため、電動機とインバータとの組合せを一切特定せずに良好な運転特性が得られる。

2.3.2 過負荷制限, 瞬時停電リトライ処理

負荷の増加とともに出力電流は増大し、インバータは通常 過電流停止に至る。本インバータは周波数指令と関連させた 電流制限回路を持ち、負荷の急変や過負荷に対してインバー タ出力を制限し、失速することなく安定に運転を継続する。 この回路の電流検出のサンプリングタイムは1msと短く、新 たに考案された電流補償方式によって大きなトルクが得られ ている。この特性は電動機の加減速時にも有効に働き、イン バータの容量利用率を高めることができる。特性例を**図7**に 示す。

インバータに対する最も大きな外乱は,瞬時停電である。 電源喪失とともに電動機はフリーランに入るが,負荷の慣性 や摩擦トルク及び主として電動機の二次時定数によって,回 転数と誘起電圧はそれぞれ独立に変化する。電源復帰ととも にインバータは電動機の誘起電圧を検出し(誘起電圧消滅の場 合は短時間の再励磁を行う。),回転数相当の周波数で電動機 を引き込む。この独自の検出方式と前述の電流管理機能によ って、図8に示すように電動機をいったん停止させることな

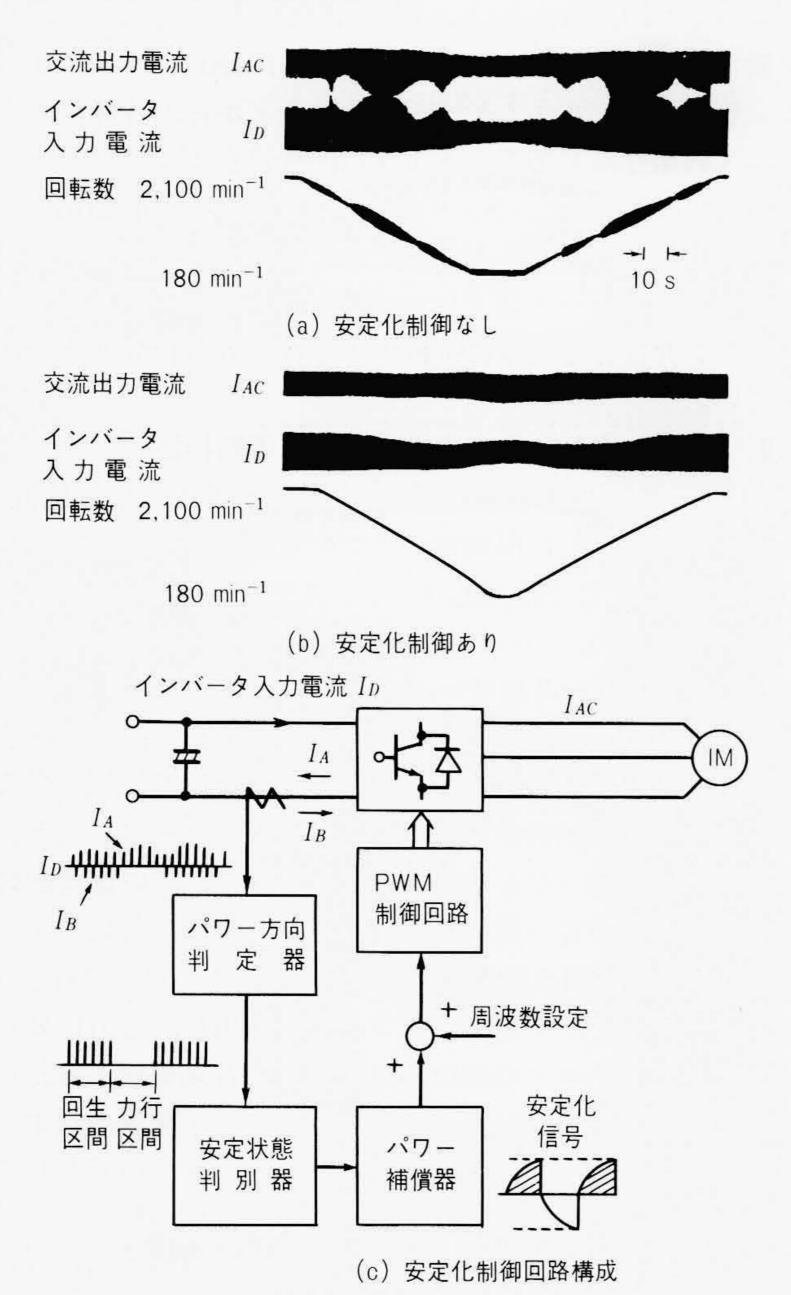


図 6 安定化制御 安定化制御回路を動作させると, 1,000 min-1前 後で発生している乱調現象を抑制することができる。

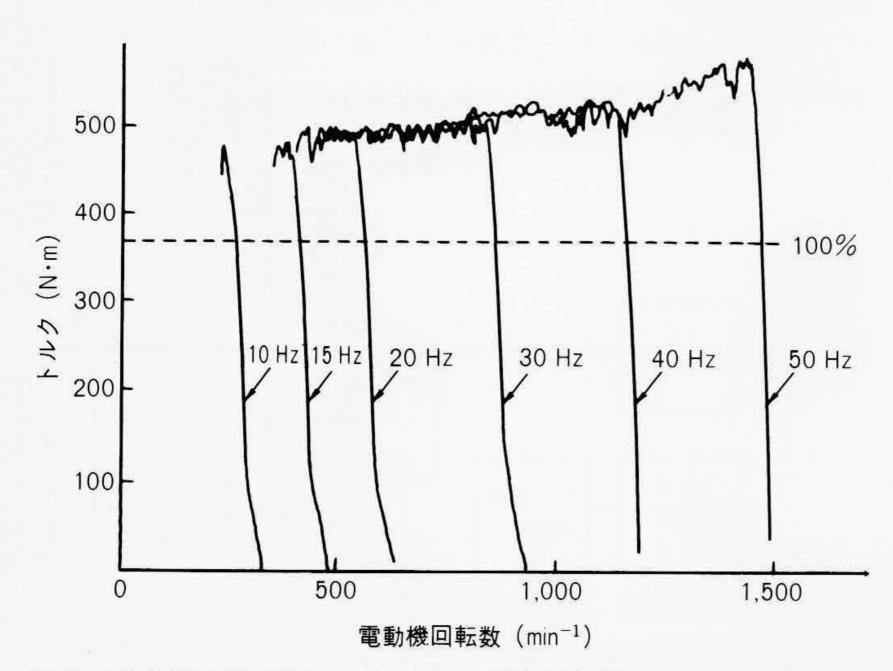


図 7 過負荷制限機能 55 kW, 4P誘導電動機を400 V, 75 kVAイン バータで駆動した例を示す。

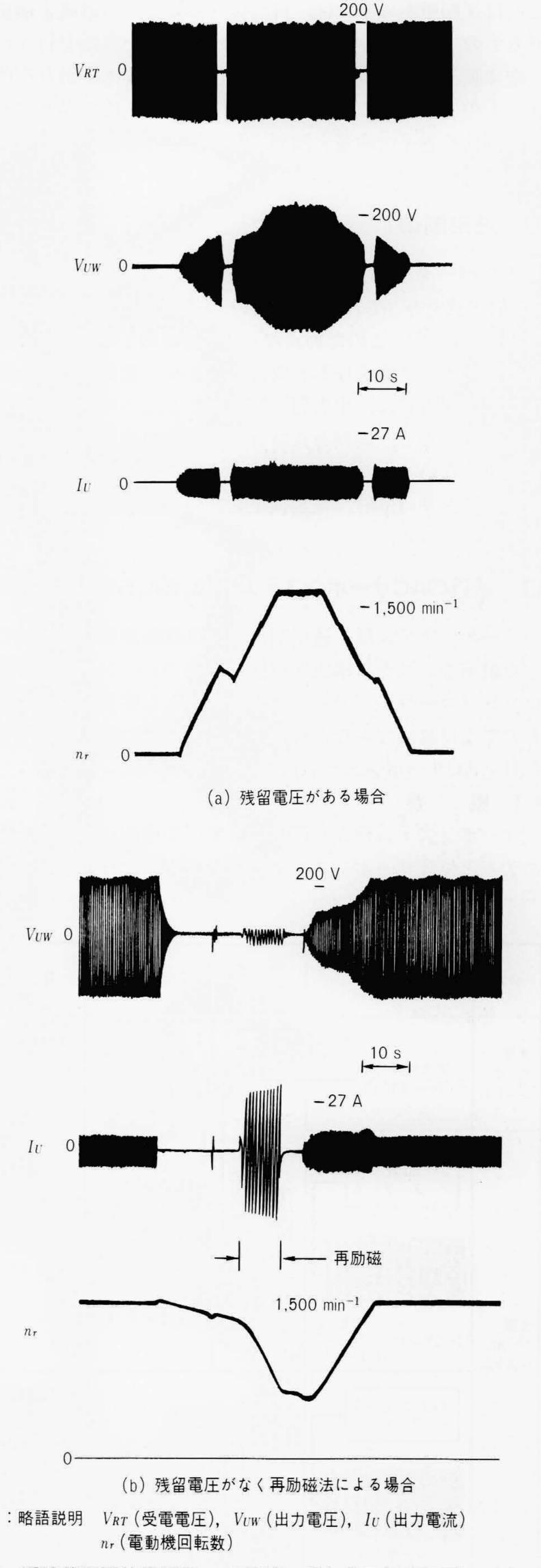


図 8 瞬時停電再始動運転 電動機の誘起電圧(残留電圧)が減少し て回転数測定不能となった場合でも、再励磁法によって運転継続が可能 である。

く運転できる。また本インバータは、リトライ機能を持つ。 これは運転指示の下では、自己復帰による運転継続を優先させるもので、異常検知とともに一時的な出力遮断を行うが、 一定時限後再出力し、異常が継続していれば再び出力を遮断するものである。これらの一連の動作は、正確で高速の異常 検出回路や素子の耐量と制御回路動作との協調のもとで行われる。

3 波形制御

インバータの出力は、低次の高調波を抑えた正弦波変調PWM方式をとっており、特に中・低速領域では非同期方式を採用している²⁾。このため、キャリヤ周波数を増加させることができ、大幅に電流波形を改善し、トルク電流比の向上を図った。この方式は、出力周波数帯域ごとにパルス数を切り替える必要がなく、同期方式特有の電動機加減速時の音調変化が発生しない。また、キャリヤ周波数の選択はユーザーに開放されており(19種)、電動機駆動音の選定と機械系との共振音が回避できる。

4 最近のACサーボシステム(RA,SA,Sシリーズほか)

サーボシステムは、速度制御用、位置制御用など用途に応じた最適なシステム構成が可能で、かつシーケンサなどの上位コントローラからの種々の指令信号とも容易に接続できるものでなければならない。以下、この目的に沿って開発された日立ACサーボシステムについて説明する。

4.1 概 要

サーボシステム構成を**図9**に示す。用途別に速度サーボシステムと位置サーボシステムの両シリーズに分類される。速

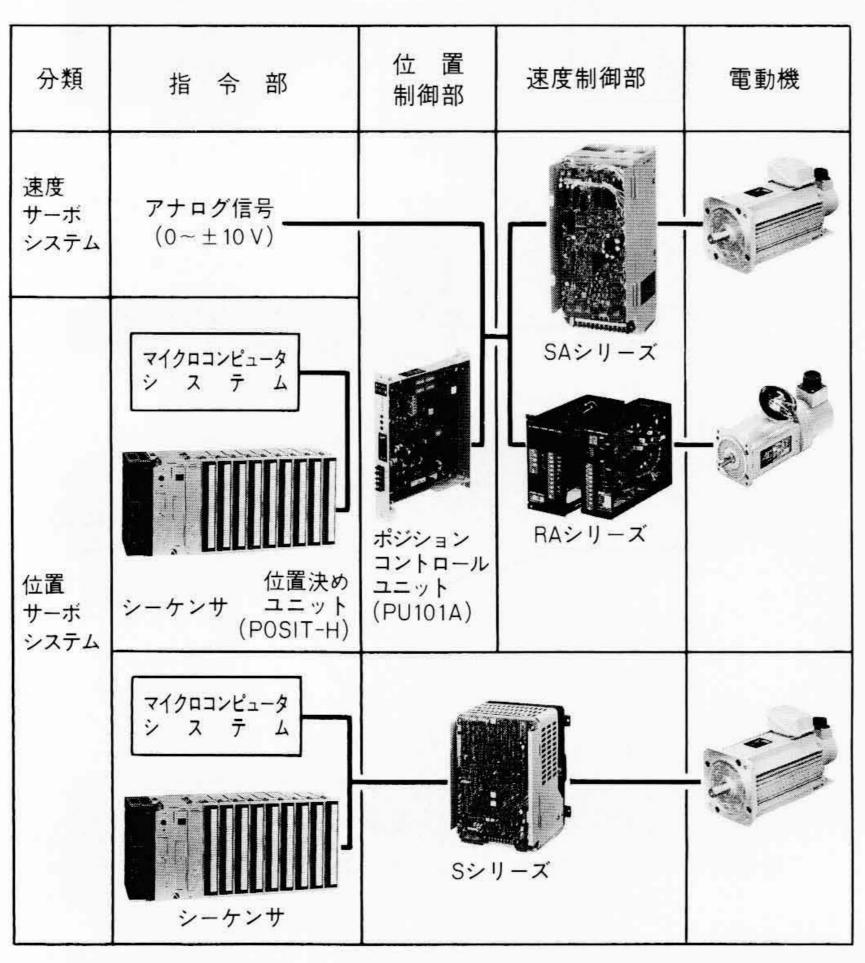


図 9 サーボシステム構成 用途別に、速度サーボシステムと位置 サーボシステムに大別される。

度サーボシステムは、単なる速度制御用として1軸用途を主体としたSAシリーズと、多軸用途を主体とした小容量機種RAシリーズがある。位置、速度、磁極位置検出器にはいずれもサインエンコーダを採用し、独自の速度検出処理方式によって滑らかな極低速回転と極低速までの高い周波数応答を実現している。このSA(RA)シリーズに、ポジションコントロールユニットPU101A(以下、PU101Aと言う。)を組み合わせて位置サーボシステムを構成できる。PU101Aは、上位マイクロコンピュータシステムやシーケンサなどからの各種位置決めパルス列信号に対応できるように、豊富なインタフェースをそろえている。また、Sシリーズは位置及び速度制御部をディジタル化し、コンパクトにまとめた位置サーボシステムであり、インタフェースは上位マイクロコンピュータシステムやシーケンサなどと簡単に接続できる数値入力指令方式を採用している。

4.2 ACサーボシステムの機器特性と運転特性

ACサーボシステムは、複合機能(位置、速度、磁極位置)エンコーダを内蔵した同期機タイプの電動機と各種コントローラから成る。ここでは、ACサーボシステムを構成するコントローラの主なものについて、その機器特性と運転性能を述べる。

4.2.1 SAシリーズ用サーボコントローラ

電動機の速度信号をディジタルで行う場合, 低い回転数で はパルス間隔が大きくなり、制御に必要な速度情報が得られ なくなって速度制御が困難になる。一方, サーボシステムは 工作機の切削送りなどで代表されるように、広い速度制御範 囲,低速での小さい回転リプル、インパクト負荷に対する復 元性能から高い周波数応答が要求される。この要求に対して, エンコーダとしてサインエンコーダを採用し、この信号をデ ィジタルとアナログの両信号に変換し、合成処理する新しい 速度検出方式を開発した。構成ブロック図を図10に示す。こ の方式によればエンコーダ信号を微分し、速度信号としてと らえるため、極低速でも十分な速度情報を得ることができる。 アナログ、ディジタルそれぞれの処理系によって処理された 速度信号は、その差を誤差としてとらえ、自動的に補正され、 アナログ信号として合成され, 広い速度範囲にわたって十分 な速度情報を持つ信号となる。極低速回転特性を図11に示す。 リプルのない安定した定常運転と,高い周波数応答の様子が 分かる。

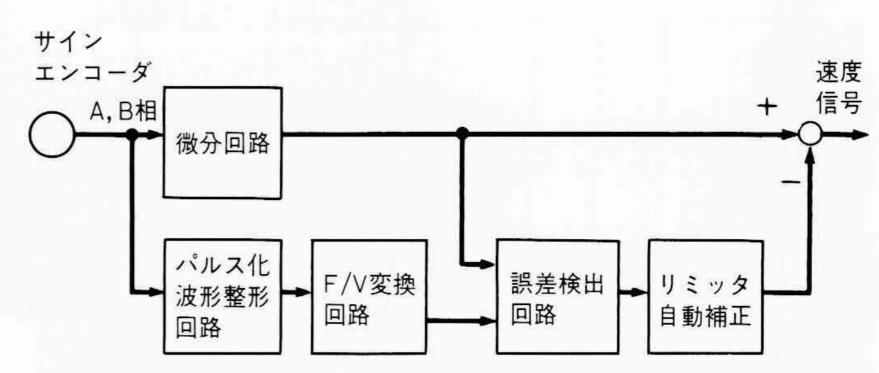
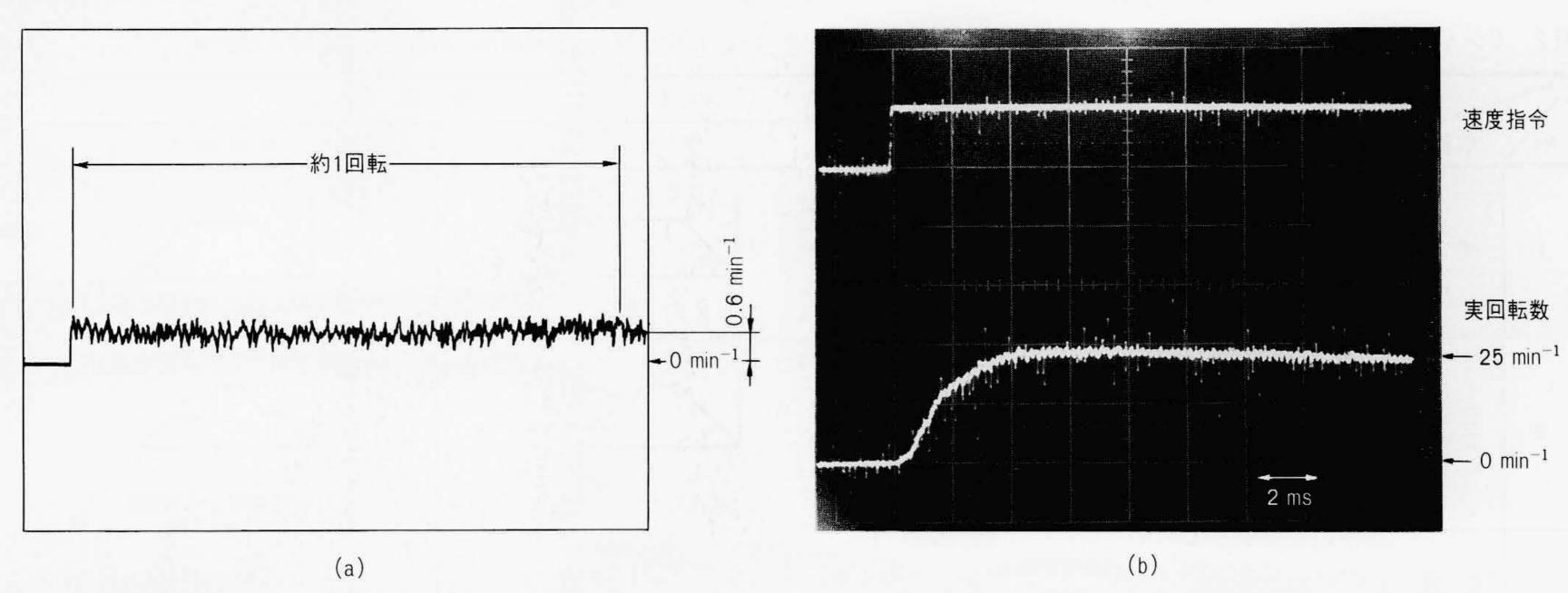


図10 速度検出回路 速度検出回路は、サイン波形を微分する回路とパルス波形整形後F/V変換した回路とを低速時微分出力、高速時F/V変換出力に滑らかに切り替えるための誤差検出、自動補正回路で構成される。



図II 極低速回転特性(a)及び極低速時の小振幅特性(b) (a)は0.6 min⁻¹時の特性を, (b)は0 min⁻¹から25 min⁻¹への小振幅特性を示す。立上り時定数は約1.6 msである。

4.2.2 ポジションコントロールユニット(PU101A) 位置決めモジュール(POSIT-H)

このユニットは、SAシリーズサーボシステムと組み合わせてパルス列入力方式による高速・高精度のディジタル位置決め制御に用いられる。上位マイクロコンピュータシステムやシーケンサからの各種信号形態に対応できるよう、豊富なインタフェースをそろえており、正転、逆転パルス入力方式、パルス列と正逆信号による入力方式、90度位相差入力方式などいずれも可能で、また、ラインドライバによる入力や24 Vオープンコレクタによる入力も内部のスイッチで選択でき、更に位置制御以外にも図12に示す同期運転、追従同期運転などの応用運転も可能である。このユニットへの上位指令装置として、シーケンサ(日立Hシリーズ)に位置決めモジュール(POSIT-H)があり、これは1軸1モジュールで複数のモジュールを使用することによって、独立複数軸制御及び同時複数軸制御(直線補間)が可能である。このモジュールは、バックラッシ補正機能や各種パラメータ、位置決めデータをシーケ

ンサ本体でバックアップできる機能も持っている。

4.2.3 Sシリーズ用サーボコントローラ

Sシリーズ用サーボコントローラは、標準機 (PBL 2 形)と高機能形 (PBL 3 形)から成る。いずれもディジタル制御でドリフトレス、オフセットレスで速度変動率±0.01%が可能である。指令入力はバイナリー信号で、データとその性質を示すコードから成り、このコマンドによって上位コントローラからは位置制御運転、速度制御運転の切替えが自由に行える³)。この様子を表2に示す。データ変更周期は3msであり、上位マイクロコンピュータシステムなどに対しても十分な処理能力を持っている。なお高級機 (PBL 3 形)は、位置決め設定範囲の拡大、パルス倍率機能の強化のほか、BCD (Binary Coded Decimal)入力データ対応や外部データ設定器による運転も可能である。

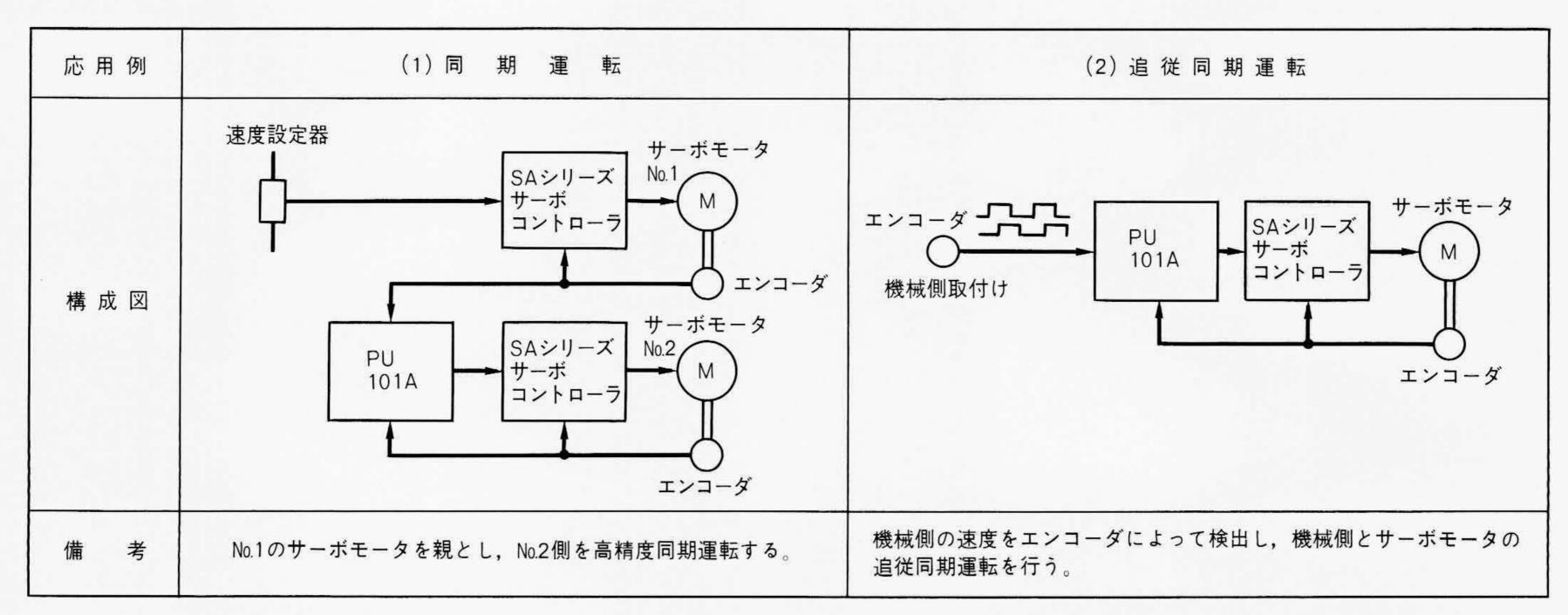


図12 ポジションコントロールユニットPU101Aの応用例 応用例として(I)同期運転, (2)追従同期運転などが可能である。

表 2 Sシリーズ運転パターン Sシリーズの 5 種類の運転パターンを示す。図中位置はP,速度N,加減速レートを α で示す。

	運転モード	速度運転	位置運転				
No.	項目	处 及 達 ∓A	標準形	高機能形			
1	標準設定	α α α	α α α A	α α P			
2	運転中の速度 変更	N_1 α N_2	N_1 N_2 α P N_2 α P N_2 α	N_1 N_3 α			
3	運転中の加減速レート変更	$ \begin{array}{c c} N_1 \\ \alpha_2 \\ N_2 \\ \end{array} $ 0	不可	不可			
4	速度・位置切 替運転 (オプション)		▼ モード切替割込信号 N				
5	外部接点によ るインチング 運転	不可	不可	可			
指	令 装 置	マイクロコンピュータシステム、シーケンサ	マイクロコンピュータシステム、シーケンサ	マイクロコンピュータシステム、シーケンサ、データ設定器			

5 結 言

以上、新しいはん用インバータ(HFC-VWS3シリーズ)とACサーボシステム(RA、SA、Sシリーズ)について、その内容と新しい技術の幾つかについて紹介した。はん用電気品は、ソフト、ハード両面の技術革新によって、ますます使い勝手の良い真のはん用品になろうとしている。

参考文献

- 1) 武藤,外:汎用インバータの新安定化制御方式,昭和60年電気 学会全国大会No.645
- 2) 武藤,外:汎用インバータのPWM制御,昭和62年電気学会全 国大会No.520
- 3) 村松,外:日立ACサーボシステム,日立評論,**68**,8,649~652(昭61-8)