

マイクロコンピュータ利用インバータ駆動 省電力規格形エレベーターの開発

Development of Saving Energy Type Standardized Elevators

近年、パワーエレクトロニクスを応用したインバータによる電動機駆動方式が、省エネルギーの観点から脚光を浴びている。今回、日立製作所は、このインバータ制御を規格形エレベーターに適用した省電力規格形エレベーターを開発した。

インバータ制御は、電圧と周波数を連続的に制御できるため、交流エレベーターの低力率・大電流制御過程を高力率・小電流制御に改善できる。このため、無効電力の大幅低減による電源設備容量の低減と誘導電動機の二次損失の大幅な改善が図られ、従来の制御方式(DB制御)に比べ約50%の省電力効果を実現した。

また、インバータ制御回路は、制御性の優れているベクトル制御を採用し、更に、高性能16ビットマイクロコンピュータにより、エレベーターシステムとしての性能と信頼性の向上を図った。

高橋秀明* Hideaki Takahashi

荒堀 昇* Noboru Arabori

保刈定夫** Sadao Hokari

武藤信義** Nobuyoshi Mutô

1 緒 言

インバータによる誘導電動機の制御は、パワーエレクトロニクスやマイクロコンピュータ技術の向上により、近年急速に発展してきた。

誘導電動機のインバータ制御は、誘導電動機の回転速度に対応して、インバータの出力電圧、出力周波数を制御するため、誘導電動機を効率よく使用することができる¹⁾。このため、滑り周波数に比例して発生する二次損失を大幅に低減でき、

高頻度に加減速制御を繰り返す交流エレベーターで大きな省電力効果が得られる。

本論文では、規格形エレベーターの制御に電圧形インバータ制御を応用した省電力規格形エレベーターの原理、特長及び試験結果について述べる。

なお、この省電力規格形エレベーターは、事務所、ホテルなどの一般ビル向け乗用タイプ「ビルエースP」18機種、アパート、マンションなどの住宅用タイプ「ビルエースR」5機種、病院用タイプ「ビルエースB」6機種、合計29機種、定員6～15人、速度45～105m/minまでの範囲に適用した。

2 インバータによるエレベーター制御

2.1 従来の制御方式

従来の直流制動技術を応用したDB制御(Dynamic Braking制御：交流帰還制御)方式を図1に示す。DB制御方式は、加速時はサイリスタにより誘導電動機の一次電圧制御を行ない、減速時は誘導電動機の二相に直流電流を供給して制動する直流制動(ダイナミックブレーキ)方式を用いている²⁾。この方式は、主回路の半導体素子数が少なく単純なため、安価に構成でき信頼性が高い反面、加減速制御時の損失は比較的大きいと言える。

2.2 インバータ制御

インバータ制御(Voltage Frequency制御)は、誘導電動機の供給電源であるインバータ出力の電圧及び周波数の制御が可能であることから、加速、定常、減速の全領域で、定常走行状態と同程度に効率のよい制御ができる。

また、エレベーターでは、誘導電動機の滑らかな加速、減速の制御が必要であり、特に、停止時は着床誤差が±10mm以下の高い停止精度が要求されることから、制御性能に優れたベクトル制御を採用した。

図2にインバータ制御エレベーターの構成を示す。

主回路は、商用電源を整流して直流を出力するコンバータ部と、誘導電動機の供給電源として必要な電圧と周波数を出

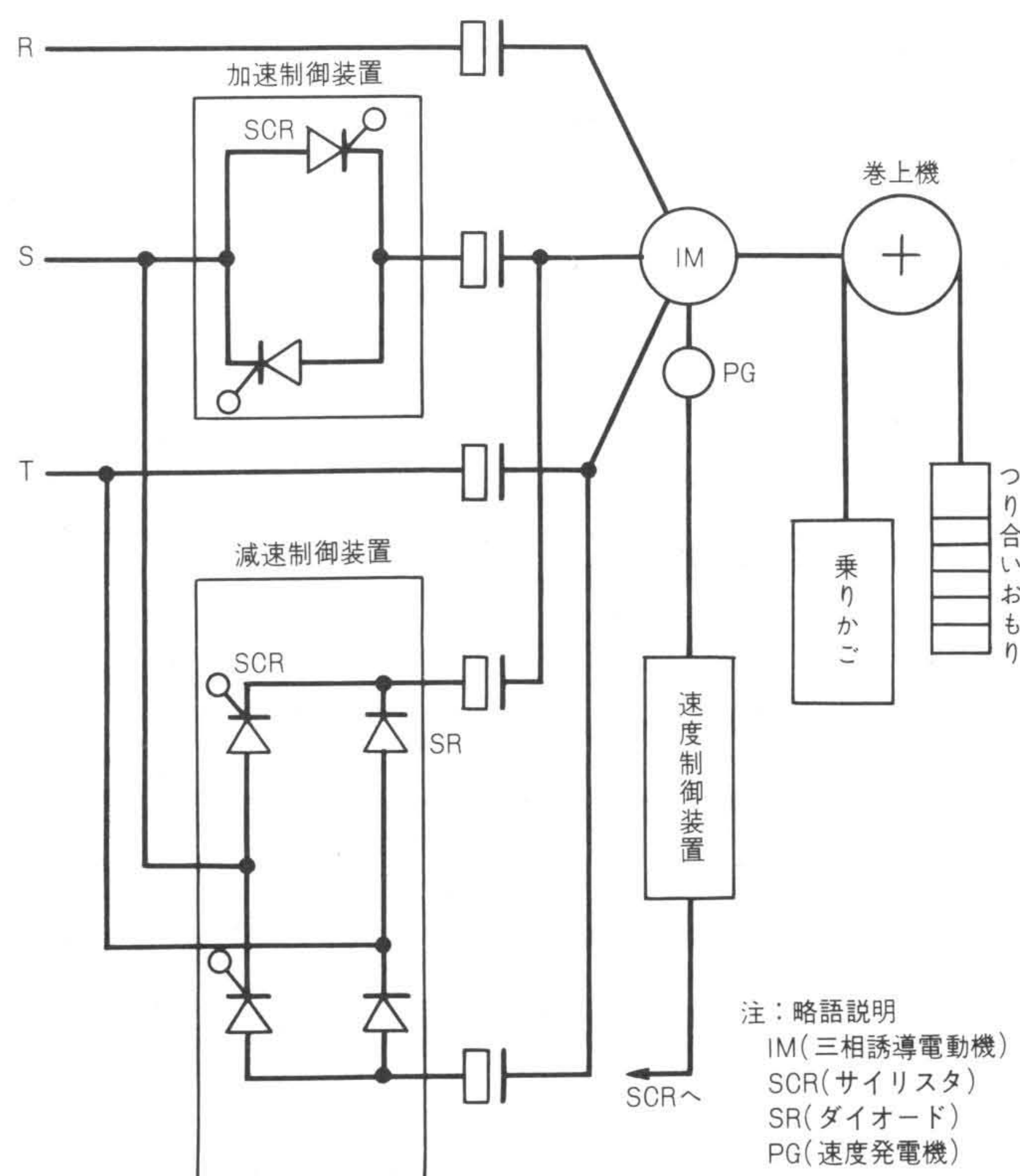


図1 従来方式(DB(Dynamic Braking)制御)の主回路図 加速時は電圧制御、減速時は直流制動により誘導電動機を制御する。

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立研究所

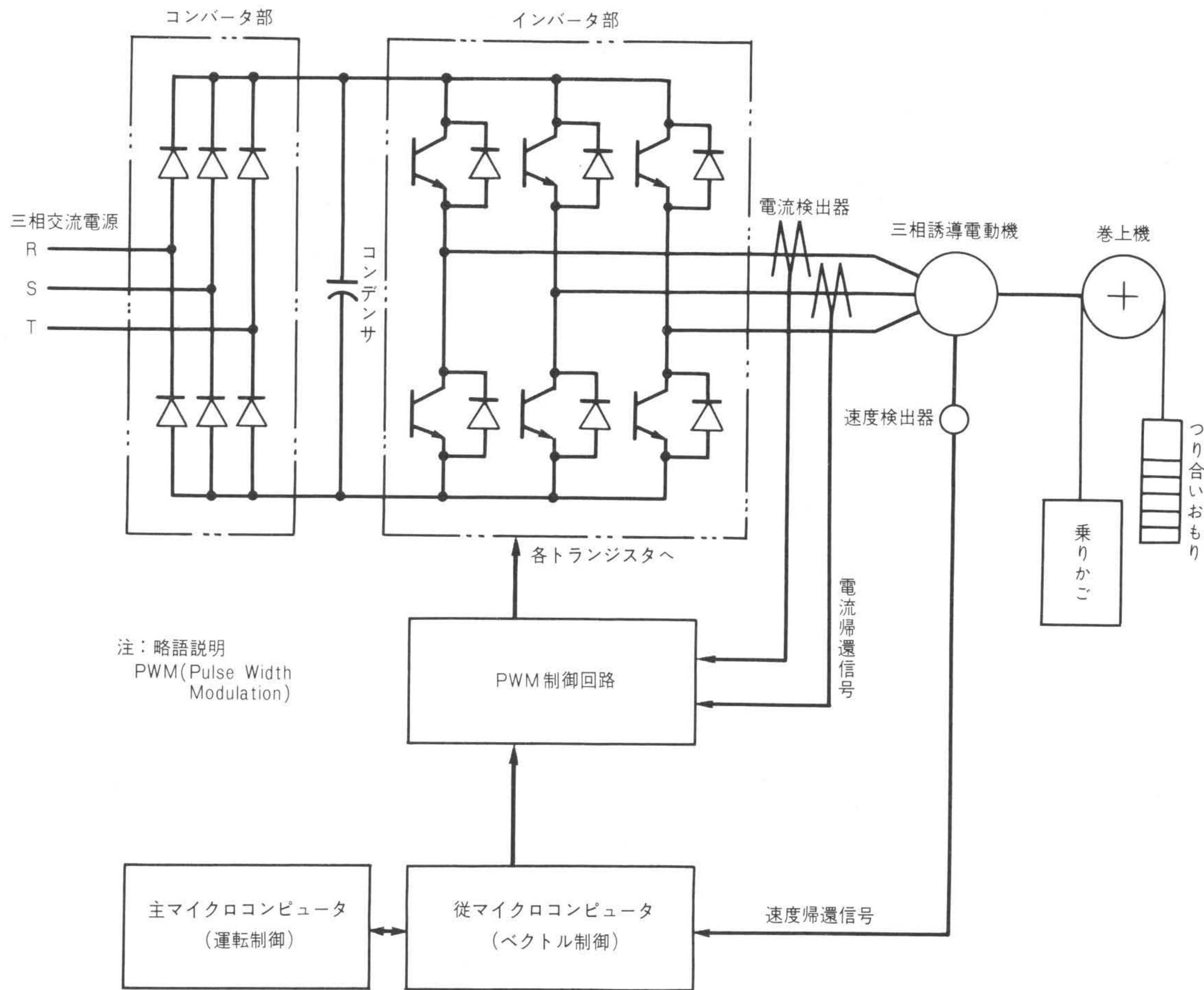


図2 インバータ制御エレベーターの構成
コンバータ部で得た直流をインバータ部で可変電圧・可変周波数の交流に変換し、ベクトル制御により、直流電動機と同等の制御性能を得ることができた。

力するインバータ部で構成される。
コンバータ部は、整流器だけによる全波整流回路であるため、電源に対する力率は本質的に良好である。また、インバータ部は、パワートランジスタを採用し、そのスイッチングにより可変電圧、可変周波数の三相交流を出力する。この出力電圧は、誘導電動機の運転特性改善と騒音低減のため、PWM(Pulse Width Modulation：パルス幅変調)制御を採用し、正弦波に近い波形が得られるようにした。
制御装置は、ホール呼び、かご呼びの登録により運転制御を行なう主マイクロコンピュータ、及びエレベーター位置

に応じた速度指令を入力とし速度帰還信号と比較して必要なトルクに応じた電流指令を作成するベクトル制御用従マイクロコンピュータ(図3)、並びにこの電流指令と実際の電動機電流との比較により必要な電動機電圧を決定してPWM信号を作成するPWM制御装置から成る。
(1) ベクトル制御

誘導電動機は等価回路で示すと図4(a)で表わされる。このため、誘導電動機の一次電流は回転磁界を作る励磁電流成分 I_m と、回転子回路に流れトルクを発生するトルク電流成分 I_t に分けられる。これらの電流成分の関係は同図(b)に示すよう

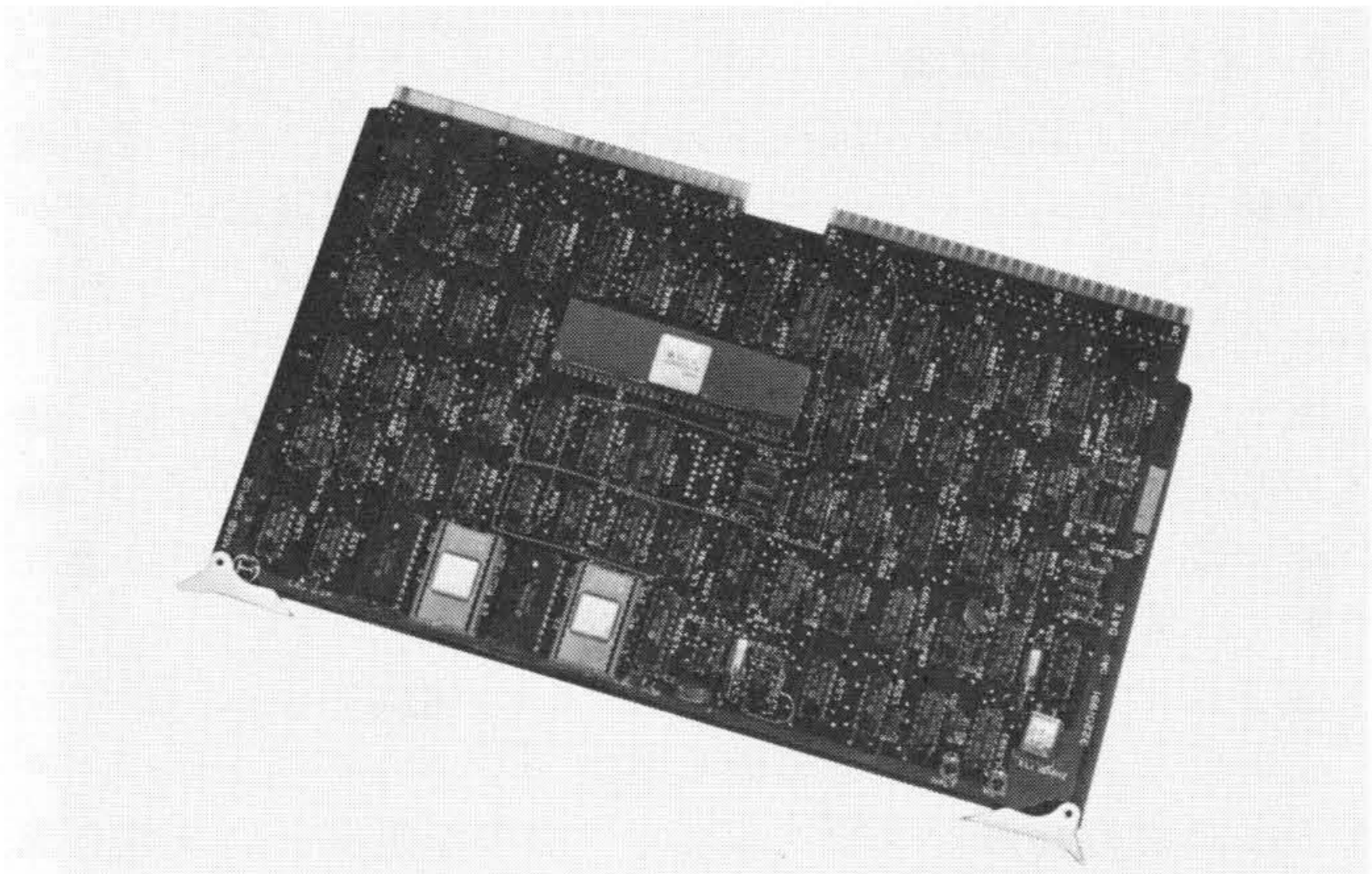
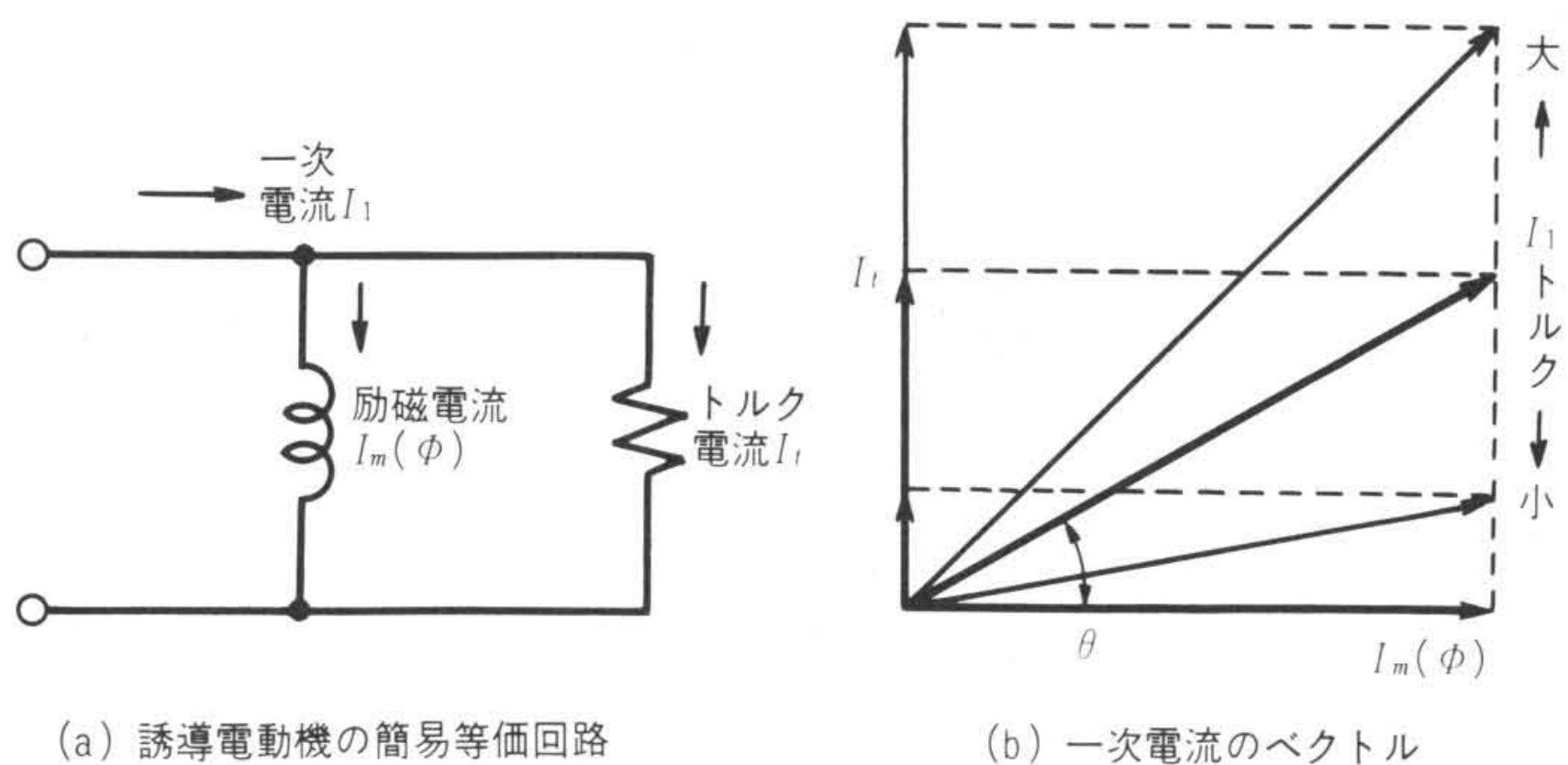


図3 ベクトル制御用16ビットマイクロコンピュータ 高機能・高性能16ビットマイクロコンピュータにより、ベクトル演算処理を行なう(プリント基板サイズ 175mm×285mm)。



注：略語説明
 θ (一次電流と励磁電流の位相差), I_1 (一次電流)
 $I_m(\phi)$ (励磁電流), I_t (トルク電流)

図4 ベクトル制御の原理 励磁電流 I_m とトルク電流 I_t をベクトル合成して、一次電流 I_1 を決定する。

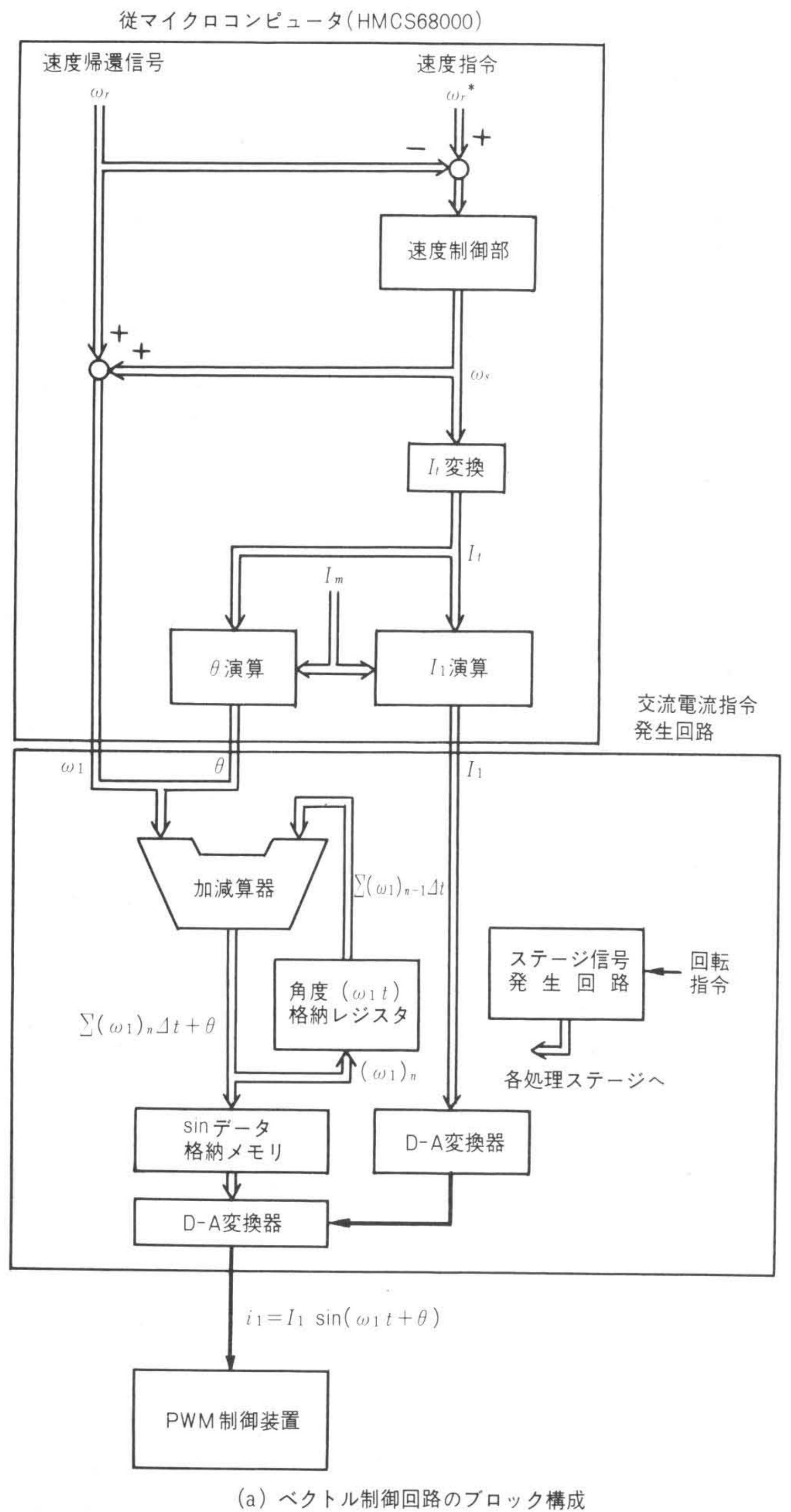


図5 ベクトル制御回路のブロック構成と交流電流指令発生タイムチャート 速度指令と速度帰還信号により、マイクロコンピュータでベクトル演算し、交流電流指令発生回路により一次電流を出力する。

に、一次電流 I_1 は二つの直交する電流 I_m, I_t のベクトル和で与えられ、励磁電流成分 I_m に対し位相差 θ をもつ。誘導電動機のベクトル制御は、このトルク電流成分 I_t を必要トルクに応じて、励磁電流成分 I_m と独立に制御する方法であり、この方法によれば誘導電動機を用いながら直流電動機に匹敵する高い制御性能を得ることができる。

このベクトル制御回路のブロック構成を図5(a)に示す。

ベクトル制御は高精度、高速処理が要求されるため、ベクトル演算処理に16ビットマイクロコンピュータを使用している。また、交流電流指令は逐次積分による交流信号発生法³⁾により計算処理する方法を用いている。

ベクトル演算処理は、速度指令 ω_r^* 、速度帰還信号 ω_r を入力し、速度指令に追従させるための必要トルク ω_s (滑り周波数)を速度制御部で演算する。このトルク指令をトルク電流指令 I_t に変換し、あらかじめ定めた励磁電流指令 I_m とのベクトル和により、一次電流指令絶対値 I_1 を求める。一方、一次電流指令の瞬時値 i_1 の角周波数 ω_1 は、速度帰還信号 ω_r (実際の誘導電動機の回転周波数)と滑り周波数 ω_s の和によって決定される。また、一次電流と励磁電流の位相差 θ は、トルク電流 I_t と励磁電流 I_m の比により計算される。

交流電流指令 $i_1 = I_1 \sin(\omega_1 t + \theta)$ は、ベクトル演算処理で求めた一次電流絶対値 I_1 、角周波数 ω_1 、位相差 θ から、図4(b)に示すタイムチャートに従って高速演算される。すなわち、角周波数 ω_1 の逐次積分により $\sum \omega_1 \cdot \Delta t (= \omega_1 t)$ を求め、位相差 θ を加算する。次に、 $\sin$ 関数 $\sin(\omega_1 t + \theta)$ を求め、一次電流指令絶対値 I_1 との積をとることにより、最終的な一次電流指令 $i_1 = I_1 \sin(\omega_1 t + \theta)$ を求める。

この一次電流指令 i_1 の計算は $24\mu s$ ごとに行なわれるため、極めて精密で円滑なトルク制御ができるのが特長である。

(2) PWM制御

PWM制御は、よく知られているように、出力素子であるトランジスタの高速スイッチング特性を利用して、出力電圧を多数のパルス列として制御するものである。

このパルス列は、図6に示すように各パルス幅を変化させることにより、出力電圧の実効値を正弦波に近づけることができる。また、パルス列の周波数を出力電圧の基本周波数よりも極めて高く設定することによって、出力電圧の実効値はいっそう正弦波に近づき、低周波領域でのトルク脈動を低減できる。エレベーターの制御システムは、電動機の回転数を1,800rpm以下に設計しているため、インバータ出力の最大周波数は60Hz程度となる。このため、パルス列の周波数を1,500Hzとし、トルク脈動の大幅な低減を図った。

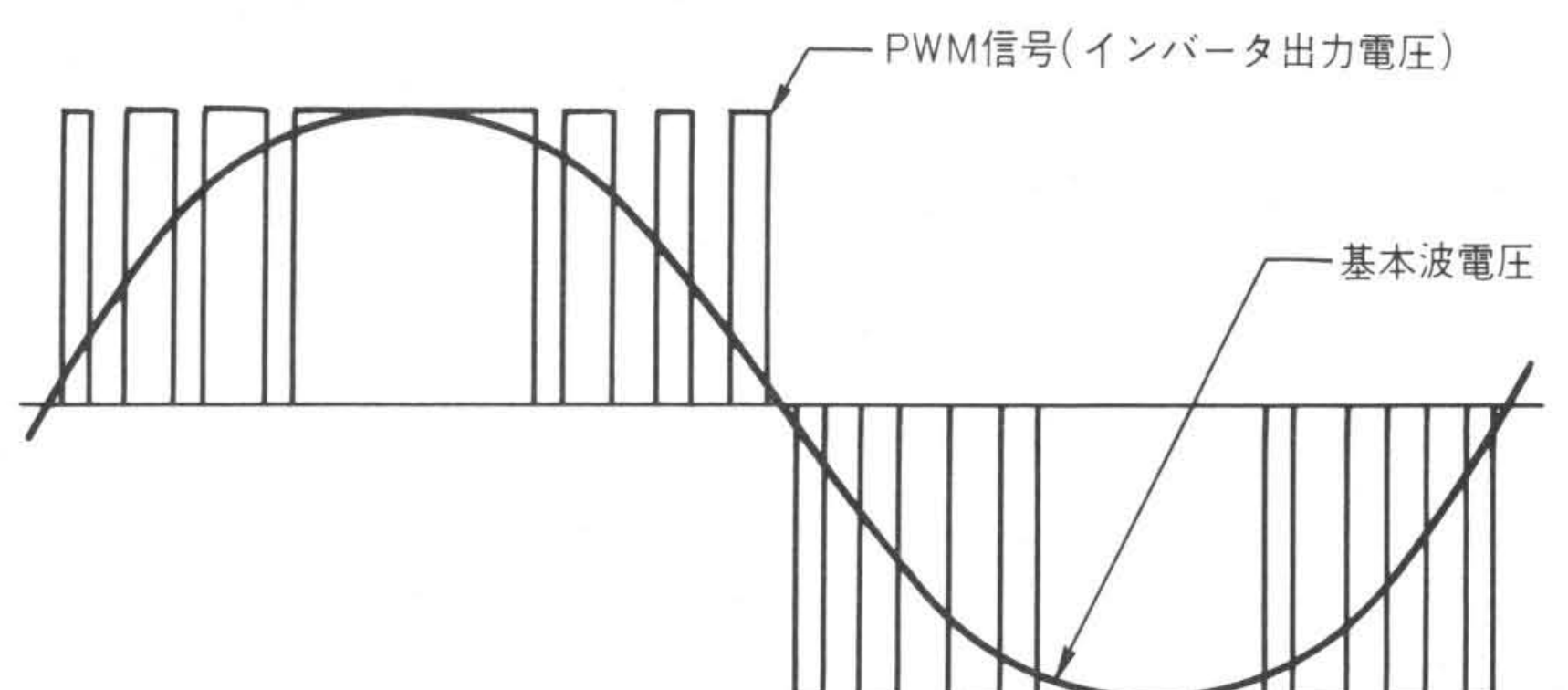


図6 PWM信号波形 PWM信号の各パルス幅を変化することにより、正弦波の基本波電圧を作成する。

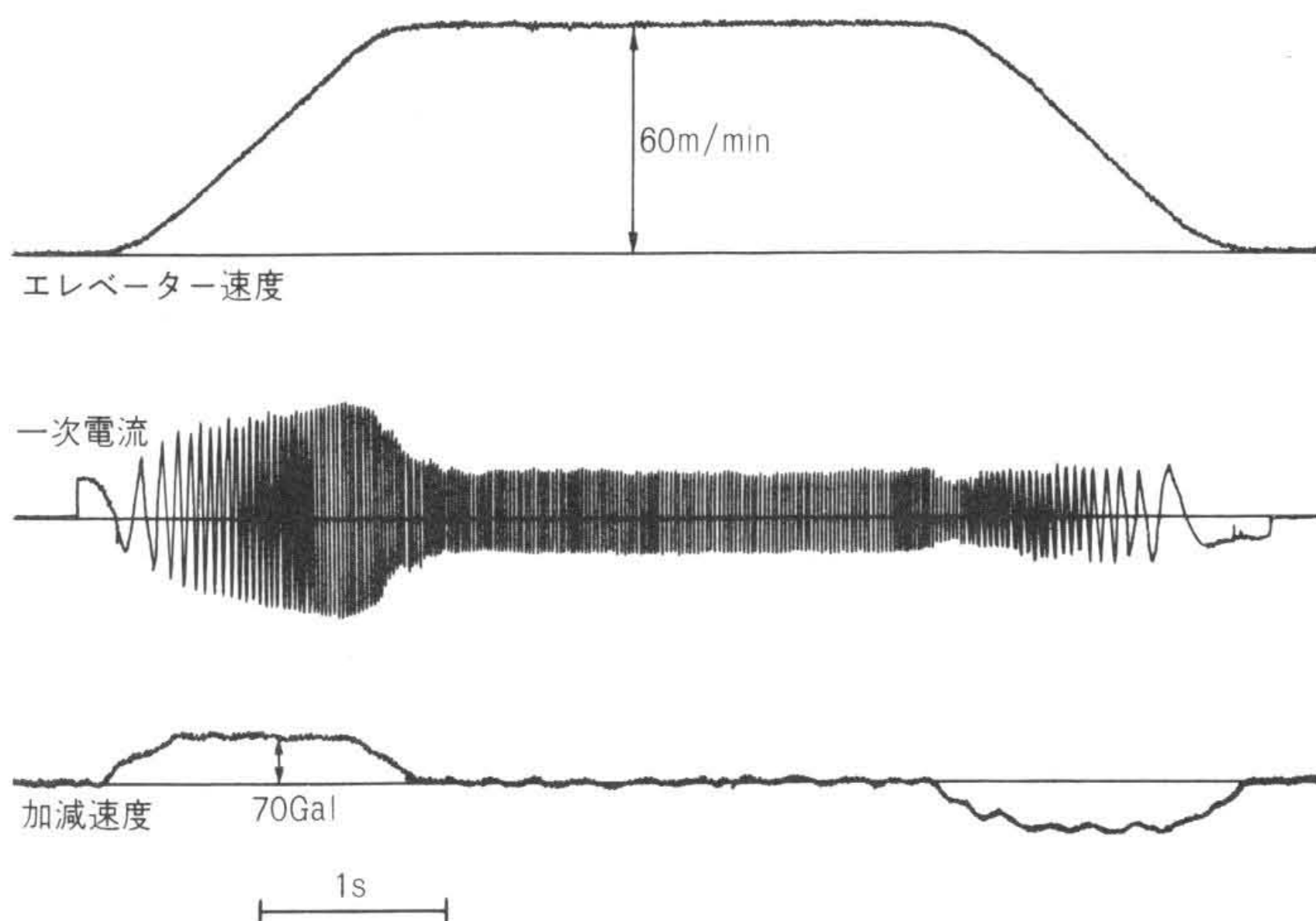


図7 インバータ制御エレベーターの運転特性(9人乗り60m/min)
ベクトル制御により、円滑で安定した運転制御性能が得られる。

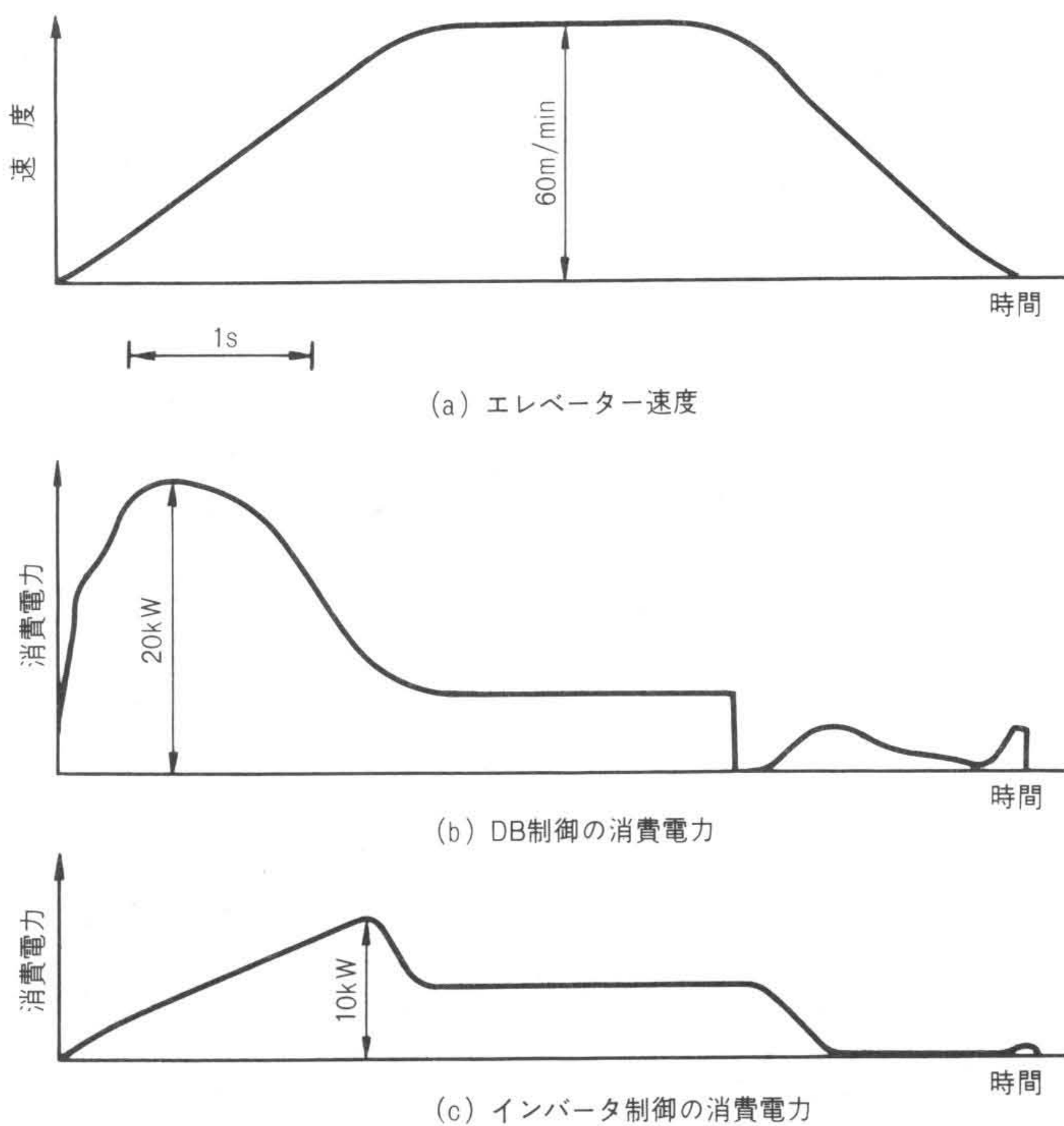


図8 インバータ制御エレベーターとDB制御エレベーターの消費電力の比較 インバータ制御はDB制御に比べ、加速時及び減速時で消費電力が少ない(9人乗り、60m/min全負荷上昇運転)。

3 省電力規格形エレベーターの特長と実験結果

3.1 エレベーターの性能

図7は、インバータ制御を適用した省電力規格形エレベーターの運転特性の一例として、定員9人、速度60m/minの場合について示す。

速度カーブの滑らかさから、周波数がほぼ零から良好に制御されているのが分かる。また、ベクトル制御の効果により、起動の開始点及び停止点の低周波領域で精度のよいトルク制

御ができるため、かご内の乗り心地を示す加減速度波形が理想の台形波加減速度特性になっている。

3.2 省エネルギー効果

図8は、省エネルギー効果を比較するために、同一容量のエレベーターをそれぞれDB制御とインバータ制御により運転した場合の、1回の運転当たり消費電力を測定したものである。

インバータ制御では、電動機の電流、周波数を変えることにより効率よく制御しているため、電動機の消費電力はエレベーターの仕事量にほぼ比例した特性曲線となっている。

これに比べ、従来のDB制御は一次電圧制御により加速制御を行なっているため、速度の低い加速過程の前半でも大電流制御となり、瞬時ではあるが大きな電力が消費される。

これらの結果、ピーク電力値で約 $\frac{1}{2}$ 、全負荷上昇及び下降(図示しない。)の一往復電力で約 $\frac{1}{2}$ の省エネルギー効果が確認された。

3.3 騒音

インバータ制御では、電動機に印加される電流に含まれる高調波成分により、電磁音が発生する。

これに対しては、誘導電動機の印加電圧の三相平衡化、及びPWM制御パルスの高周波化により、従来のDB制御の場合と比べ同等以下に低減した。

3.4 安全性・信頼性

安全性では、従来システムと同様に、主・従マイクロコンピュータの二重系による相互故障診断や相互のマイクロコンピュータによるリトライ機能など安全性の高いシステム設計とした。

また、インバータ部には、過電流検出装置、過電圧検出装置を設け、万一の異常に対しても十分な機器保護ができるようにした。

更に、速度制御、ベクトル制御をマイクロコンピュータでソフトウェア的に処理することにより部品点数を大幅に削減し、システム全体の信頼性を向上した。

4 結 言

規格形エレベーターにインバータ制御を適用した省電力規格形エレベーターの開発を行ない、下記の成果を得た。

- (1) マイクロコンピュータを応用したベクトル制御方式を確立し、乗り心地が円滑で良好な規格形エレベーターを開発した。
- (2) エレベーターの消費電力を、従来方式に比べ約50%低減した(当社従来製品比)。
- (3) 高周波PWM制御と高速度演算システムにより、騒音レベルを従来方式以下に低減した。
- (4) マイクロコンピュータにより、速度制御回路部品を大幅にソフトウェア化し信頼性の高いシステムを確立した。

参考文献

- 1) 清水, 外: 高性能交流可変速制御システム, 日立評論, 65, 4, 251~256(昭58-4)
- 2) 三井, 外: 規格形エレベーターの単一サイリスタユニットによる加減速制御, 日立評論, 58, 11, 939~944(昭50-11)
- 3) 武藤, 外: 誘導電動機のデジタル速度制御の高応答化, 昭和59年度電気学会全国大会, No. 609