

高力率・高調波低減を実現した 大容量GTOドライブシステム

Large Capacity GTO Drive System Operated on Unity Power
Factor and Sinusoidal Wave Form Line Current

長南富雄*

Tomio Chōnan

松竹 貢**

Mitsugu Matsutake

山品光則**

Mitsunori Yamashina

高橋潤一***

Jun'ichi Takahashi

本山幸彦****

Yukihiko Motoyama



GTO(Gate Turn off Thyristor)ドライブシステム組み合わせ試験の全景 株式会社淀川製鋼所および川崎製鉄株式会社納めの二つのドライブシステムを、電動機および負荷機として運転し、性能評価試験を実施した。

日立製作所は電源側に悪影響を与えない電源力率1.0と大幅に高調波低減を達成できるクリーンなGTO(Gate Turn off Thyristor)ドライブシステムの開発を推進してきたが、このたび4,000 kW級のGTOドライブシステムを完成し、株式会社淀川製鋼所および川崎製鉄株式会社に納入した。

GTOサイリスタ変換器には並列多重・3レベル方式を採用し、極低速から最高速度までスムーズな加減速特性を得ることができた。また、並列多重間

に流れる循環電流を最小に抑制する制御方式を開発した。一方、GTOドライブシステムの問題点であったトルクリップルに関しても、デッドタイム補償の最適化を図り、圧延性能に支障のないレベルまで低減できたことを確認した。今回製品化したシステムは、これからクローズアップが予想される高調波による電圧ひずみを極少化する、クリーンなドライブシステムになると考えている。

* 川崎製鉄株式会社 千葉製鉄所 ** 日立製作所 日立工場 *** 日立製作所 大みか工場 **** 日立製作所 機電事業部

1 はじめに

圧延主機のAC可変速ドライブシステムは、容量の関係から主にサイクロコンバータシステムが適用され、圧延製品の高品質化、生産性の向上および歩留りの向上に大きく貢献してきた。

しかし、サイクロコンバータシステムには、ドライブとしての性能は優れているものの電源力率が低いこと、出力周波数によって電源高調波の周波数成分が変化するため、無効電力・高調波対策設備のコストが高くつくこと、といった問題があった。

そこで日立製作所は、サイクロコンバータと同等の高性能を持ち、電源力率を改善し、高調波を低減できるGTO(Gate Turn off Thyristor)ドライブシステムを製品化した。

ここでは、4,000 kW級のGTOドライブシステムについて述べる。

2 GTOドライブシステム

以下にこのGTOドライブシステムの特長について述べる。

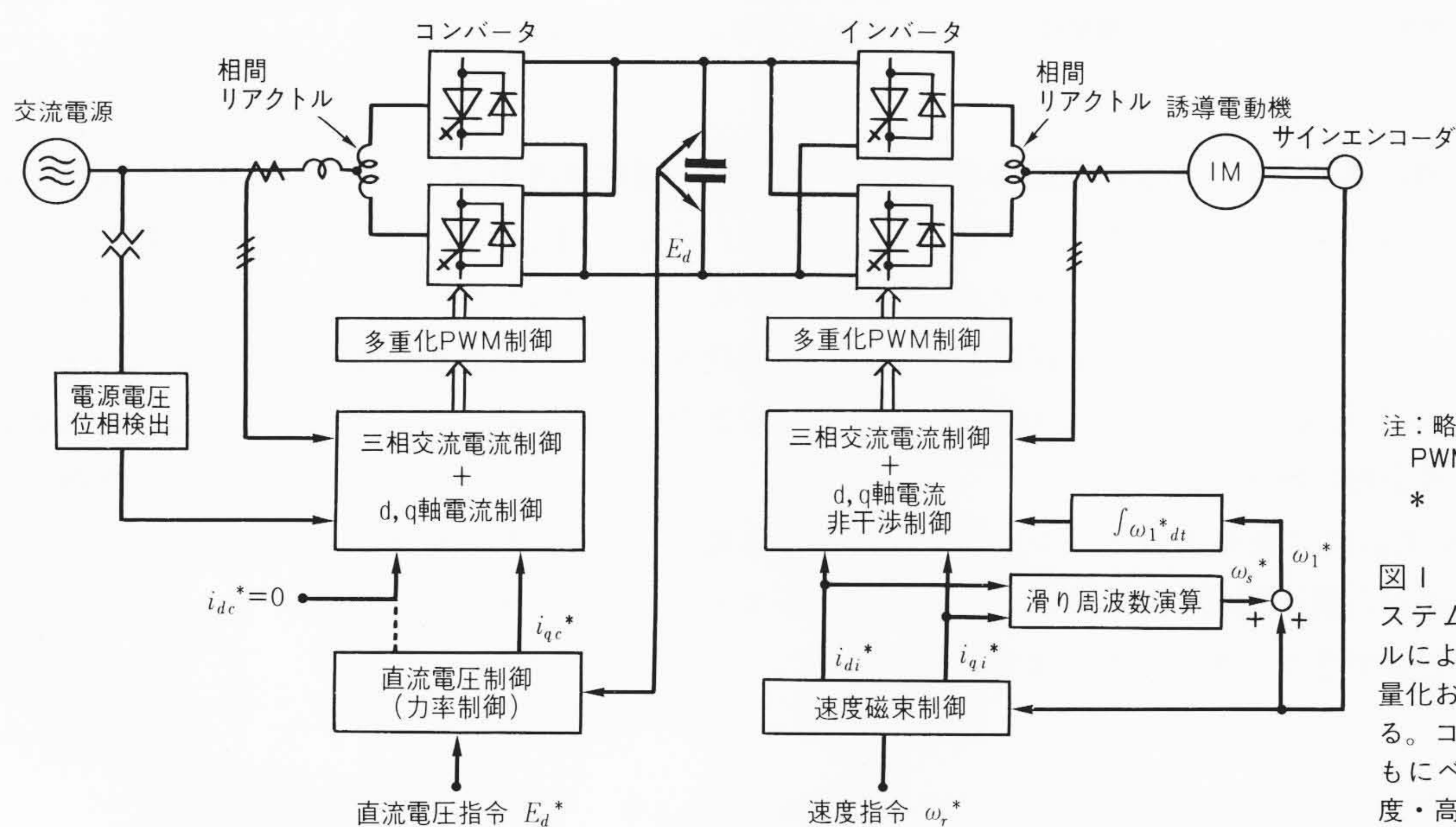
2.1 主回路および制御回路構成

GTOドライブシステムは、図1に示すように大容量機では世界で初めてコンバータ、インバータともにGTOサイリスタで構成している。このことによって高調波電流

を低減し、補償装置なしで力率1.0を達成することができた。大容量化を実現するために、相間リアクトルを用いて多重化した。また、電源側のコンバータの多重パルス幅変調方式により、高調波電流を抑制した。

インバータ制御部は、高応答の速度制御を行うため、サイクロコンバータシステムと同じ構成のベクトル制御を採用している。コンバータ制御部は、コンバータ出力電圧である直流電圧 E_d を一定に制御する直流電圧制御と、電源力率を1.0にする電源力率制御部で構成している。電源力率制御部は、電源電流を電圧と同相の有効電流成分(q軸)とこれと直交する無効電流成分(d軸)に分離して検出し、それぞれを互いに独立に制御する電流制御(三相交流電流+d, q軸電流制御)により、力率1.0制御を行っている。

電源電圧・電流波形を図2に示す。同図は定格(一定速度)時の波形を示し、電圧と電流の位相が一致していることによって力率1.0が確認される。また、加減速中もゼロ速度から定格速度の全範囲で、無効電力はほぼゼロ一定となっていることが確認されている。GTOサイリスタを適用した場合、直流短絡を防止するために、GTOサイリスタのターンオフ時間以上の休止期間(デッドタイム)を設ける必要があるが、この影響で出力電流がひずみ、トルクリップルを発生する。この問題の解決のため運転条件(負荷電流、周波数)に応じて最適値に変化するデッドタイム補償を開発し、実圧延上に支障のないレベルまでト



注：略語説明など
PWM (Pulse Width Modulation)
* 指令を意味する。

図1 大容量GTOドライブシステム構成 相間リアクトルによって並列多重化し、大容量化および波形改善を行っている。コンバータ、インバータともにベクトル制御を行い高精度・高応答化を図っている。

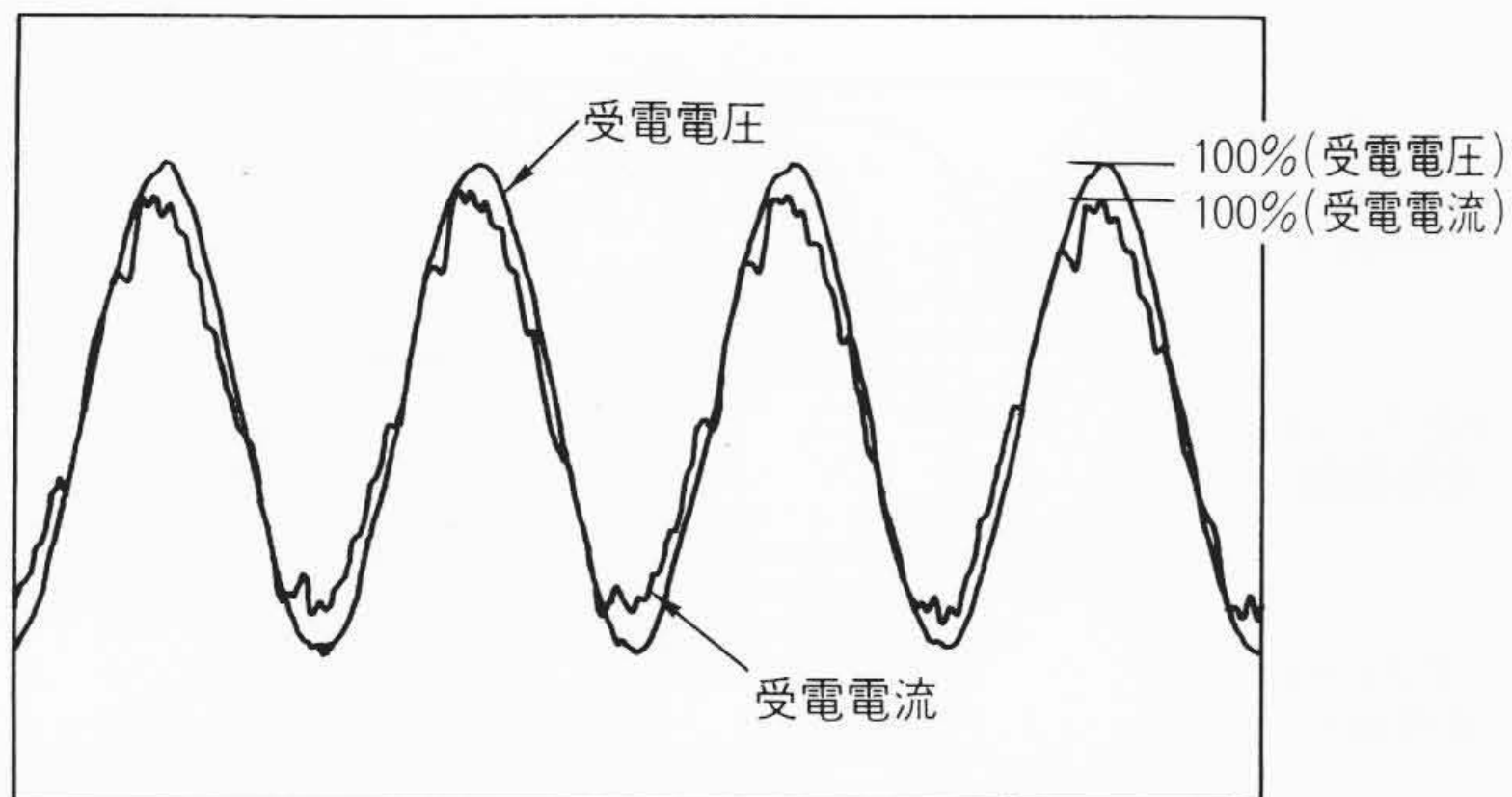


図2 電源電圧・電流波形 このデータから電源力率1.0運転が確認できる。また電流も正弦波に近く、所期の目的を達成することができた。

ルクリプルを低減した。

2.2 並列多重GTOサイリスタ制御

相間リアクトル付き並列多重GTOサイリスタコンバータおよびインバータは、図3のような制御を行うことにより、 $(-E)$ 、 (0) 、 $(+E)$ の3レベルの制御を行うことができる。このため、出力電圧波形を同図のように正弦波に近づけることが可能となる。この並列多重方式では極低速時のGTOサイリスタの電流集中現象がないので、出力電圧も零電圧からスムーズに変えられる特長があり、日立製作所独自の方式である。しかし、並列GTOサイリスタ変換器間に循環電流が流れるので、この電流を最少化する必要がある。このため、並列多重間のパルス幅変調は逆位相キャリア方式を採用し、さらに電圧極性が切り換わる点での循環電流増加を防ぐため、変調方式を変える制御方式とし、GTOサイリスタの利用率向上を図った。

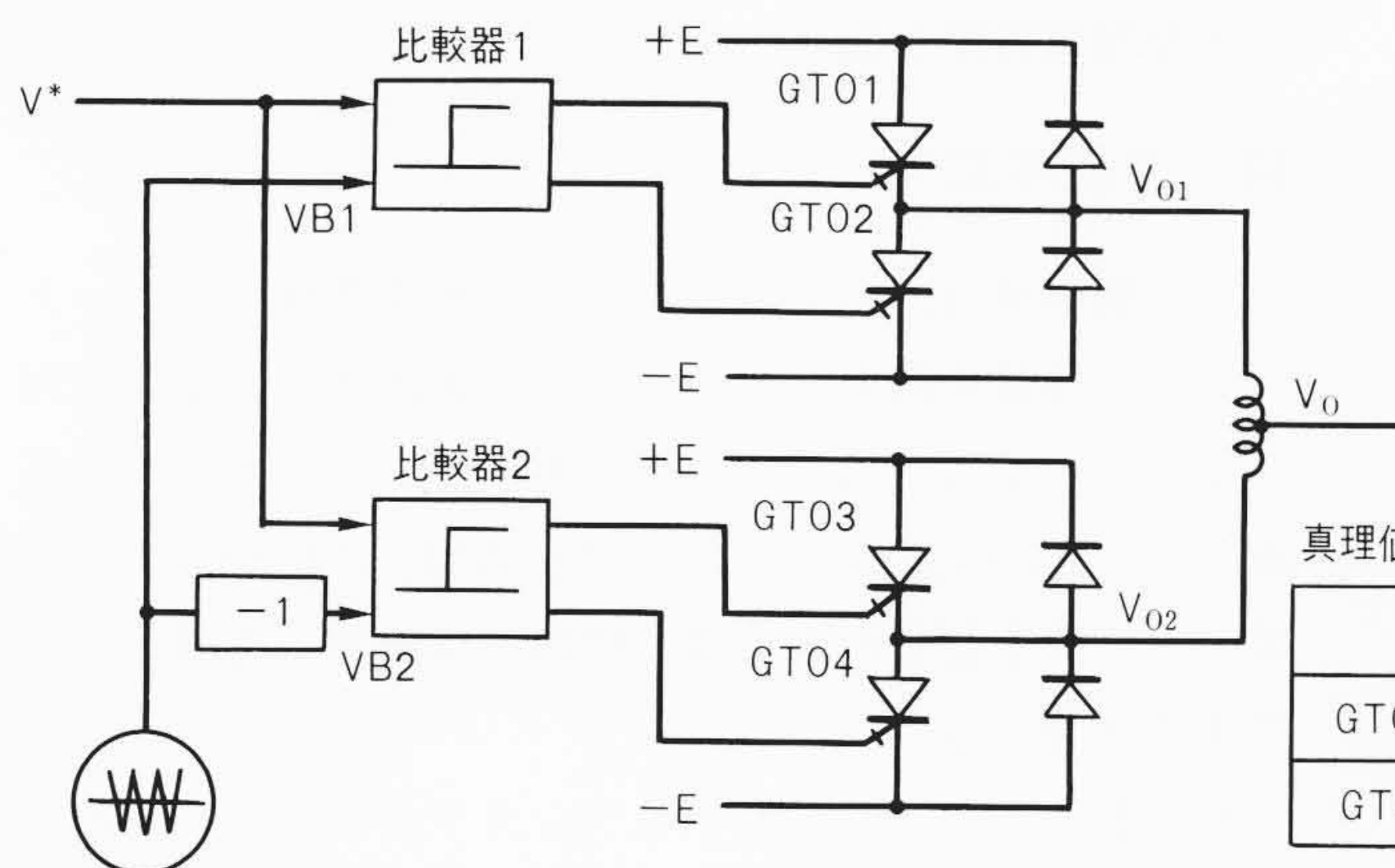


図3 並列多重インバータの動作と出力電圧波形 GTOサイリスタ1～4のオンのタイミングを組み合わせることにより、 $-E$ 、 0 、 $+E$ の3レベルが得られ、線間電圧はより正弦波に近づく。

GTOサイリスタ1～4のオンのタイミングを組み合わせることにより、 $-E$ 、 0 、 $+E$ の

3 4,000 kW級システム構成機器

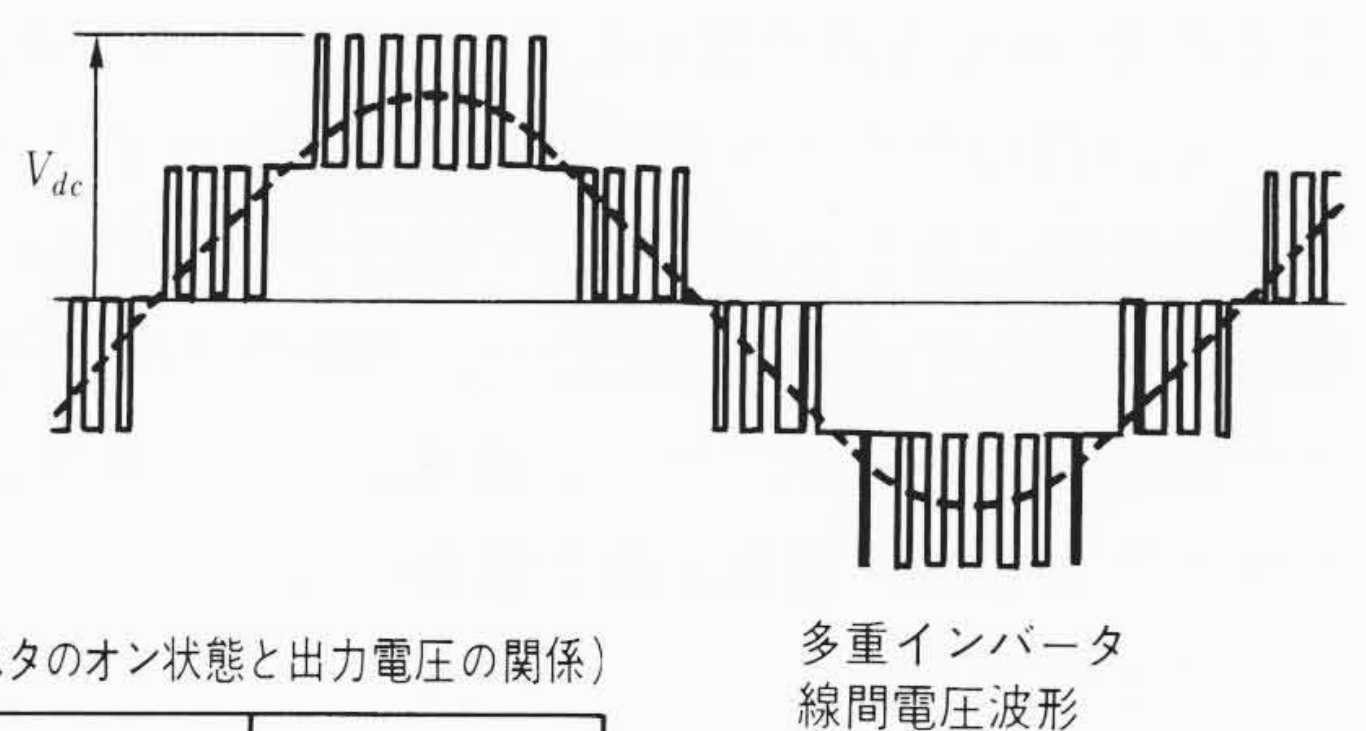
このたび、株式会社淀川製鋼所、および川崎製鉄株式会社に納入され、性能検証試験に用いた4,000 kW級GTOドライブシステムの仕様を表1に示す。

3.1 電動機

電動機は信頼性および保守性に重点をおくため、堅ろうで信頼性が高く、保守性に優れている誘導電動機を採用した。これは、GTOドライブシステムでは電動機の種類によらず電源力率1.0を達成できるためである。さらに、豊富な経験によって確立した技術を適用し、頻繁な負荷変動や衝撃トルクに耐えられるシャフトおよびコイルエンド構造にするとともに、GTOサイリスタインバータで駆動されることを考慮して、固定子巻線の絶縁耐力を強化し、圧延機駆動用として十分な信頼性を持つ電動機としている。

表1 4,000 kW級GTOドライブシステムの主な仕様 株式会社淀川製鋼所と川崎製鉄株式会社のGTOサイリスタ変換器および交流電動機の主な仕様を示す。

項目	川崎製鉄株式会社	株式会社淀川製鋼所
GTOコンバータ	4,540 kW DC 4,800 V	4,970 kW DC 4,800 V
GTOインバータ	6,090 kVA AC 2,880 V Max. 1,220 A	6,210 kVA AC 2,880 V Max. 1,245 A
交流電動機	3,800 kW 645 r/min, 8 P	3,900 kW 1,000 r/min, 6 P



真理値表(GTOサイリスタのオン状態と出力電圧の関係)

	GT01オン	GT02オン
GT03オン	$+E$	0
GT04オン	0	$-E$

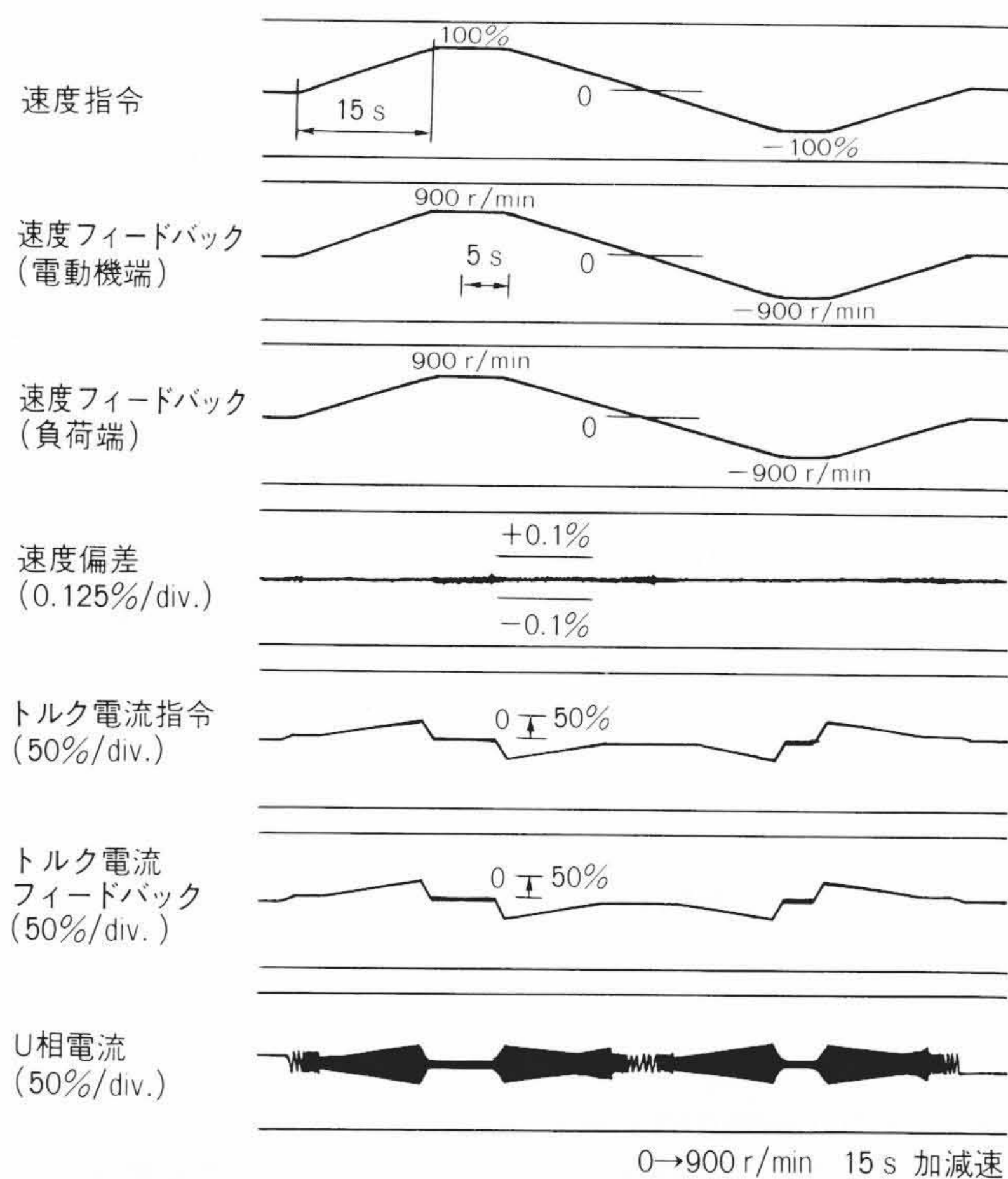


図4 四象限加減速特性 四象限加減速運転を行い、速度偏差の非常に小さい良好な特性が得られた。

冷却は既設の更新のため、クーラトップマウント方式とし、基礎の改造を最少としている。電動機の外観を31ページの写真に示す。

3.2 GTOサイリスタ変換器

GTOサイリスタ変換器は4,500 V, 3,000 A GTOサイリスタを2個直列接続し、相間リアクトルによってセツト並列とし、大容量化に対応した。また、GTOサイリスタのスイッチング周波数は、電流リップル低減のため数百ヘルツでオン・オフさせると、サイリスタの発生損失が多くなるので、水冷方式を採用して冷却性能の向上を図った。

一方、GTOサイリスタ変換器は、GTOサイリスタのオン・オフ時に急しゅんに電圧・電流が変化するので、制御回路にとってノイズ源となり、誤動作の原因となることがある。このため、ゲート論理部分には磁気シールドを施すとともに、高電圧部と低電圧部を光信号で絶縁する方式を採用した。

3.3 制御装置

制御装置は電動機を高速で可変速制御するインバータ側制御部と、電源力率を高力率に制御するコンバータ側制御部の二つで構成している。これらインバータ側制御部およびコンバータ側制御部はともに高速処理する必要

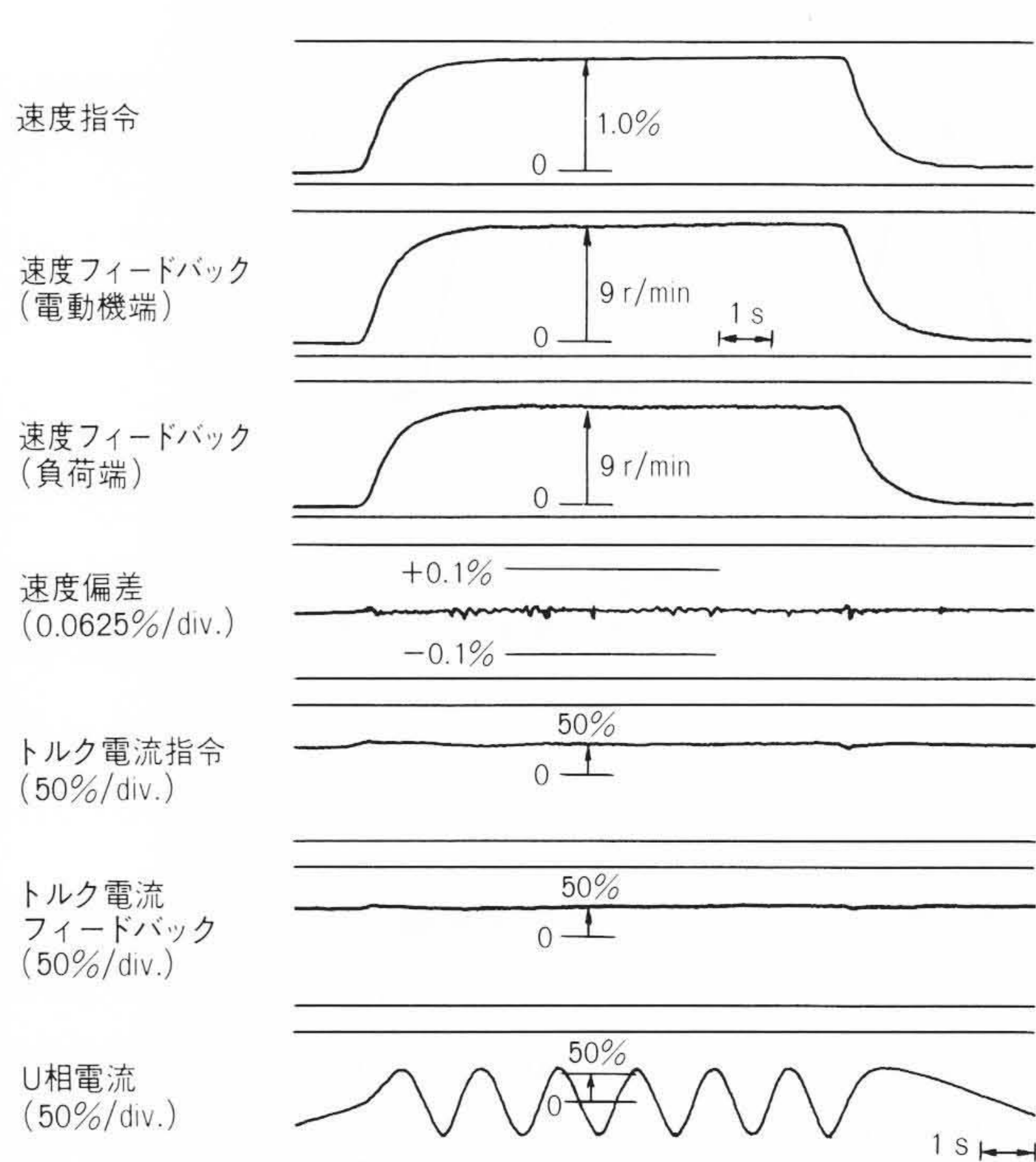


図5 低速起動特性 50%負荷を加えた状態から起動し、並列多重の特長である良好な起動特性を確認した。

があるので、デジタルコントローラは、32ビットマイクロプロセッサ5台のマルチプロセッサ構成とした。

4 GTOドライブシステムの性能評価

2セツトのGTOドライブシステムをそれぞれ電動機および負荷機として運転し、性能評価試験を行った。

四象限運転加減速特性を図4に示す。同図でわかるように速度偏差も非常に小さく、良好な特性が得られた。並列多重GTOサイリスタの特長である低速域でのスムーズな加速特性を図5に示す。

5 おわりに

日立製作所は、以上述べたようにサイクロコンバータと同等の性能を持ち、高力率・低高調波という電源に対してクリーンな大容量AC可変速ドライブシステムを完成した。このGTOドライブシステムは、これからクローズアップが予想される高調波問題を解決する有効な方式であると考えられる。

日立製作所は、GTOドライブシステムのよりいっそうの小型・軽量化を目指して、システムのコンパクト化のための新技術開発に今後とも取り組んでいく予定である。