

スカイアルミニウム株式会社納

# 圧 延 機 用 電 気 設 備

Electrical Equipment of Rolling Mill for SKY Aluminum Co.

|                  |               |
|------------------|---------------|
| 金 倉 三 養 基*       | 宅 間 豊**       |
| Miyouki Kanekura | Yutaka Takuma |
| 斎 藤 奎 二**        | 地 福 順 人**     |
| Keiji Saitō      | Yorito Jifuku |

## 要 旨

スカイアルミニウム株式会社深谷工場納 圧延機用電気品は、約 14,000 kW に及ぶサイリスタ変換装置を主体とするもので、プラント全体をサイリスタ化したことはわが国においてはじめてである。サイリスタ装置の採用に際して、効率がよくしかも経済的な設備とするため、高耐圧サイリスタ素子の適用、非対称逆並列接続などサイリスタ変換装置方式の検討およびプラントの計画に多くのくふうが凝らされた。

また、サイリスタの特長を十分に生かすため速応性の向上を図るとともに、速度、加減速、張力などの制御性能に意を用い多くの新しい方式を開発した。

## 1. 緒 言

スカイアルミニウム株式会社深谷工場納 圧延機用電気品は、直流電動機の駆動電源として全面的にサイリスタ変換装置を採用し、わが国における圧延機用電気品のサイリスタ時代を開いたものといえることができる。またシステムとしても種々の最新の方式を適用、電気品配置計画にいたるまでプラントとしてのエンジニアリングを考慮し、設備費、土建費の低減を図り、しかも運転効率の向上をめざしている。サイリスタ素子としては信頼性の十分に確認された高耐圧素子を用い、変換装置接続には、設備要求を十分に満たし、しかも経済的な方式を採用している。また制御素子および制御方式にも多くの新方式を採用しており、サイリスタ方式とあいまって今後の圧延機用電気品に一時代を画すものである。

## 2. 設 備 の 概 要

### 2.1 圧 延 設 備

本圧延設備は、熱間粗圧延設備、熱間仕上圧延設備、冷間圧延設備よりなり、アルミニウムおよびアルミニウム合金を最大 5.6T のインゴットから、仕上寸法：厚さ最小 0.089 mm、幅 800~1,630 mm のコイルまで一貫して圧延する設備である。圧延設備としての特長は、

- (1) 広幅の板の生産が可能なこと
  - (2) インゴットより冷間圧延薄板まで一貫した設備であること
  - (3) 熱間仕上圧延にリールを有する可逆式を採用していること
  - (4) 冷間圧延に油圧圧下方式の自動板厚制御を有していること
- などであるが、次章に述べるように駆動電気設備に、サイリスタそのほか最新の方式を採用し、最高の性能を発揮するよう計画されている。

### 2.2 電 気 設 備

本設備の最も大きな特長は、全プラントにわたるサイリスタ方式の採用と、それに伴う機器構成、配置などのプラント計画にある。従来わが国においても、サイリスタによる電動機駆動は小容量の電動機には用いられてきたが、全プラントにわたり直流電動機の駆動方式を全面的にサイリスタ化したのは本設備が最初である。

サイリスタ駆動方式の採用に際しては、従来に比べ飛躍的に多数のサイリスタ素子がプラントに用いられるため、その信頼性、得失

につき詳細に検討された。その結果、信頼性に対する確信が得られ、またサイリスタ方式の利点が、本設備の必要とする性能、機器配置、建屋、保守などの条件に合致することが認められてサイリスタ方式となったものであり、電動機の設計から、制御方式、工事設計にいたるまでサイリスタ方式に最適の設計となっている。

サイリスタ方式の特長は

- (1) 速応性の向上による制御性能の向上
- (2) 効率の向上
- (3) 保守の容易さ
- (4) 電気室所要面積の減少
- (5) 建設、据付工事を含めた総設備費の低減

などがあげられる。一方、サイリスタ方式の欠点として下記のものがあるが、本設備では、それぞれ適切な対策を施し、支障ない結果を得ている。

#### (1) ノ イ ズ 障 害

サイリスタ装置は、微小電力信号で動作するのでノイズにより誤動作しやすい。本設備においては、サイリスタ変換装置、制御装置、配線経路などの設計において特にノイズ対策に留意した。

#### (2) 交流電源の力率低下

直流出力電圧をしぼった場合の交流側力率の低下と無効電流による電圧降下とを低減するため、熱間粗圧延主電動機のみは電動発電機方式とし、その駆動同期電動機の進み電流によりサイリスタ変換装置の遅れ電流を補償するとともに、熱間仕上圧延、冷間圧延主電動機には力率改善制御を採用している。

#### (3) 交流電源波形ひずみ

サイリスタ変換装置をグループごとに分け、△-Y 接続により 12 相効果を与え高調波を低減せしめた。

本設備のサイリスタ変換装置は、その総容量が大きいのみでなく、下記のような特長を有している。

- (1) サイリスタ素子としてわが国最高の定格電圧 1,400V 素子を用い、直流 750V 回路をサイリスタ素子 2 個直列で実現し、効率の向上、素子数減少による信頼性の向上が得られた。
- (2) 熱間仕上、冷間圧延主電動機およびリール電動機には、圧延スケジュールを十分検討したうえで非対称逆並列接続方式を採用、経済的な設備で所要の性能を得ている。
- (3) 逆並列接続サイリスタ変換装置には、無循環電流制御を用いむだな電力と機器容量の増加を防止している。
- (4) 熱間仕上圧延および冷間圧延電動機には、力率改善制御を

\* スカイアルミニウム株式会社（現在 八幡製鉄株式会社）

\*\* 日立製作所日立工場



行なっている。

また制御装置としても下記のような特長を備えた機器を使用している。

- (1) 高ひん度の制御回路にはすべて静止形制御を使用し信頼性を高めている。
- (2) トランジスタ演算増幅器など高速応性高精度の電子制御素子を用いている。
- (3) 静止形指令装置による加減速度の自動調整を行なっている。

以上のように、最新の装置を採用したうえ、プラントの計画上でも、サイリスタ変換装置をはじめ多数の静止器を電気室地下に収納して電気室スペースを減少したこと、電気室地下を風洞として利用、風洞工事を不要とし、またサイリスタ冷却後の冷却風を昇圧して電動機冷却に用い冷却風系統を簡略化するなど、サイリスタ方式の特長を生かしたものとなっている。

### 3. サイリスタ

本設備に使用されたサイリスタで特記すべき点としては次の事項があげられる。

- (1) 直流電圧 750V のサイリスタ変換器としては最初の製品であった。
- (2) 定格せん頭電圧 1,400V 素子を使用した最初の量産製品であった。
- (3) 2 台の変換装置を直列に接続して力率制御を行なった。
- (4) 無循環電流式逆並列接続方式である。
- (5) 変換装置の単器最大容量が 2,900 kW, 2×750V, B 種定格である。
- (6) 変換装置の総容量が約 14,000 kW に達する。

したがって本サイリスタの設計に当たっては最大容量器相当の試作器を製作し、問題を解明したうえで実際の製作を行なった。

以下、本サイリスタの構成を述べる。

サイリスタ変換器の定格直流電圧が 750V の場合、定格出力制御率を 20%, および変換装置の負荷電流による電圧降下を考慮すると整流器変圧器の直流側巻線電圧は 750V となる。ここで電源電圧の変動を  $\pm 10\%$  考慮し、電源開閉器の開閉サージおよび外来サージを 200% 以下に押えるサージアブソーバをそう入すれば素子の耐電圧として、 $750 \times \sqrt{2} \times 1.1 \times 2 = 2,330\text{V}$  が必要となる。本設備の製作時点においては上記電圧以上の耐電圧を有する素子がまだ完成していなかったため本設備では素子 2 個を直列に接続した。2<sup>s</sup> の場合、直列素子間で分担電圧の不平衡が生ずるが、その不平衡率は定常時には素子と並列の分圧器 (A-K 間 C+R) により 5~10% 以内に押えられるが、ターンオンなどの過渡時には実用的な分圧器では 20% 程度となる。したがって 1 個の素子に必要な耐電圧は不平衡率 20% を考慮して、 $2,330/2 \times 1.2 = 1,400\text{V}$  となる。

一方可変電圧補機電源用サイリスタ変換器の定格直流電圧は 440V であり、上記 750V の場合と同一の考え方をすれば素子の必要な耐電圧は  $440 \times \sqrt{2} \times 1.1 \times 2 = 1,370\text{V}$  となる。したがって素子の定格せん頭電圧を 1,400V とし、750V 用では 2<sup>s</sup>、440V 用では 1<sup>s</sup> とした。

1,400V の高耐圧素子の製作に当たっては、電流に関する特性、スイッチング特性、あるいはゲート点弧特性と関連して、シリコン単結晶の比抵抗、均一性およびライフタイムの適正なる選定、拡散の表面濃度、拡散深さおよびライフタイムをコントロールした拡散、ならびに接合形状の整形などの表面安定化に留意した。その結果アバランシュ電圧が 2,000V 以上に達する素子も得られた。

次に高耐圧素子ではスイッチング特性が問題となる。特にターン

オン時における電流上昇率 (di/dt) は電圧に比例して上昇し、ゲート近傍に発生するスイッチングパワーはほぼ電圧の 2 乗に比例して増大する。したがってまず回路上では直列素子間のターンオンタイムのバラツキに起因する電圧のはね上がりを押えるよう、直列素子間のターンオンタイムのバラツキを 1  $\mu\text{s}$  以下とするとともに、アノードリアクトルおよび A-K 間 C+R の値を選定した。一方素子においてはゲート接合部を特殊加工した FI 構造を採用し、素子自体でターンオン初期の di/dt を押えスイッチングパワーを抑制する構造とした。

本設備中最大容量の変換器の素子の並列枚数は 12 個 (12P) を必要とした。サイリスタの場合、素子の並列接続においてダイオードの場合と本質的に異なる点はターンオンタイムのバラツキにより電流の不平衡を生ずる点である。これは最初にターンオンした素子にサージアブソーバ、あるいは他の並列素子の A-K 間 C+R から放電電流が集中して流入するために生ずるもので回路電圧が高くなるほどその影響が著しくなる。本サイリスタにおいては FI 構造の採用により、ゲート電流の立ち上がりが 0.5 A/ $\mu\text{s}$  程度においても素子のターンオンタイムを 1~6  $\mu\text{s}$  にコントロールすることができ、アノードリアクトルのそう入により電流不平衡率を総合でも 10% 以下に押えることができた。

次に電動機負荷、特に圧延機の場合は負荷電流の変化が急激で間欠負荷となる。したがって設計に当たっては実際運転時における負荷電流の変化幅とその時間間隔を仮定し、素子が 20 年以上の負荷サイクルに耐えることを確認した。

2 台の三相ブリッジ結線の変換器を直列接続することにより力率制御を行なう場合、ゲート信号はその時間幅をアームの通流角と同一にするか、論理素子で選択された 4 個のパルス信号を入れる必要がある。本器においては 4 個のパルスを入れる方式を採用したが、いずれの方式でもゲートパワーのチェックおよびゲートパルスが素子の逆電圧区間に印加されないような考慮を必要とする。

また力率制御を行なう場合、低電圧期間においては順変換器側も逆変換動作をすることがあるので転流余裕角、すなわち、素子のターンオフタイムについても詳細な検討が払われた。

本変換装置としては主として無循環電流式逆並列接続方式を採用しているが主機用の場合逆変換側は加減速時のみの動作となるので変換器の容量は順変換器に対し小容量となっている。したがって逆変換器は変圧器容量に対して短絡容量が小さく、また逆並列短絡の可能性もあるので過電流保護協調については特に注意が払われた。ノイズおよび素子の A-K 間電圧の上昇率 (dv/dt) による誤動作は変換器の逆並列短絡につながるもので十分な試験を実施し、なんら問題のないことを確認した。

図 1 に本設備に使用された素子を、表 1 に素子の特性表を示す。また図 2 はサイリスタ変換器を、表 2 は代表的サイリスタ変換装置の定格を示したものである。

### 4. 制 御

本設備に採用した制御の特長としては次のものがあげられる。

- (1) サイリスタの全面的採用と制御回路の電子化
- (2) 主回路サイリスタの逆並列無循環電流制御による主ロール、リール、レオナード補機の可逆運転制御
- (3) 2 セット直列主回路サイリスタによる可逆静止レオナード運転、これによる 12 相整流制御と力率改善制御 (熱間仕上、冷間の主ロール)
- (4) 最大加速度制御 (非直線加減速)
- (5) デジタル式指令装置
- (6) 単一速度指令による EMF 制御付自動速度制御 (ASR)



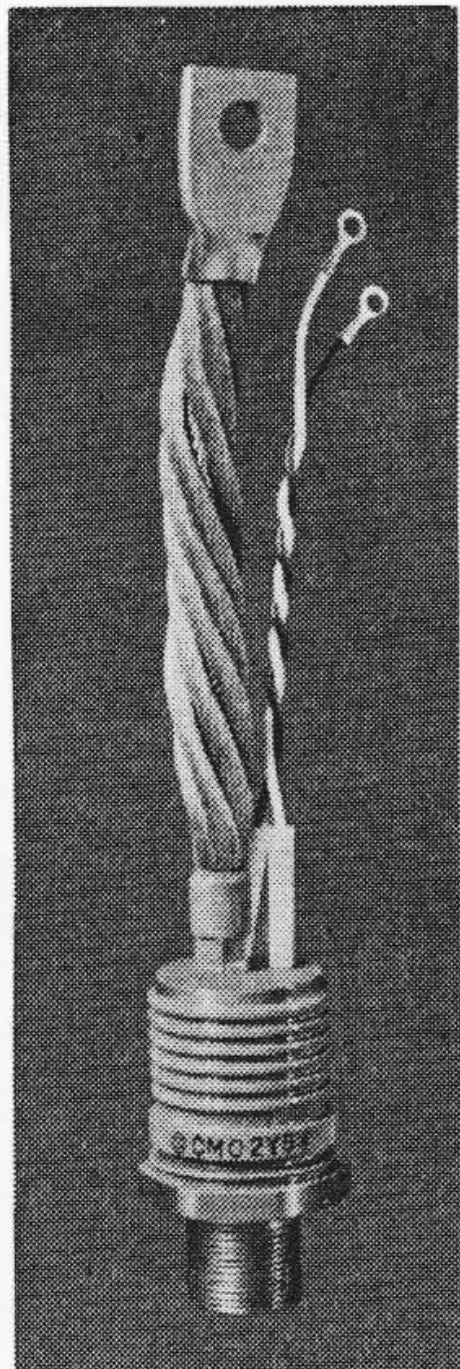


図1 サイリスタ

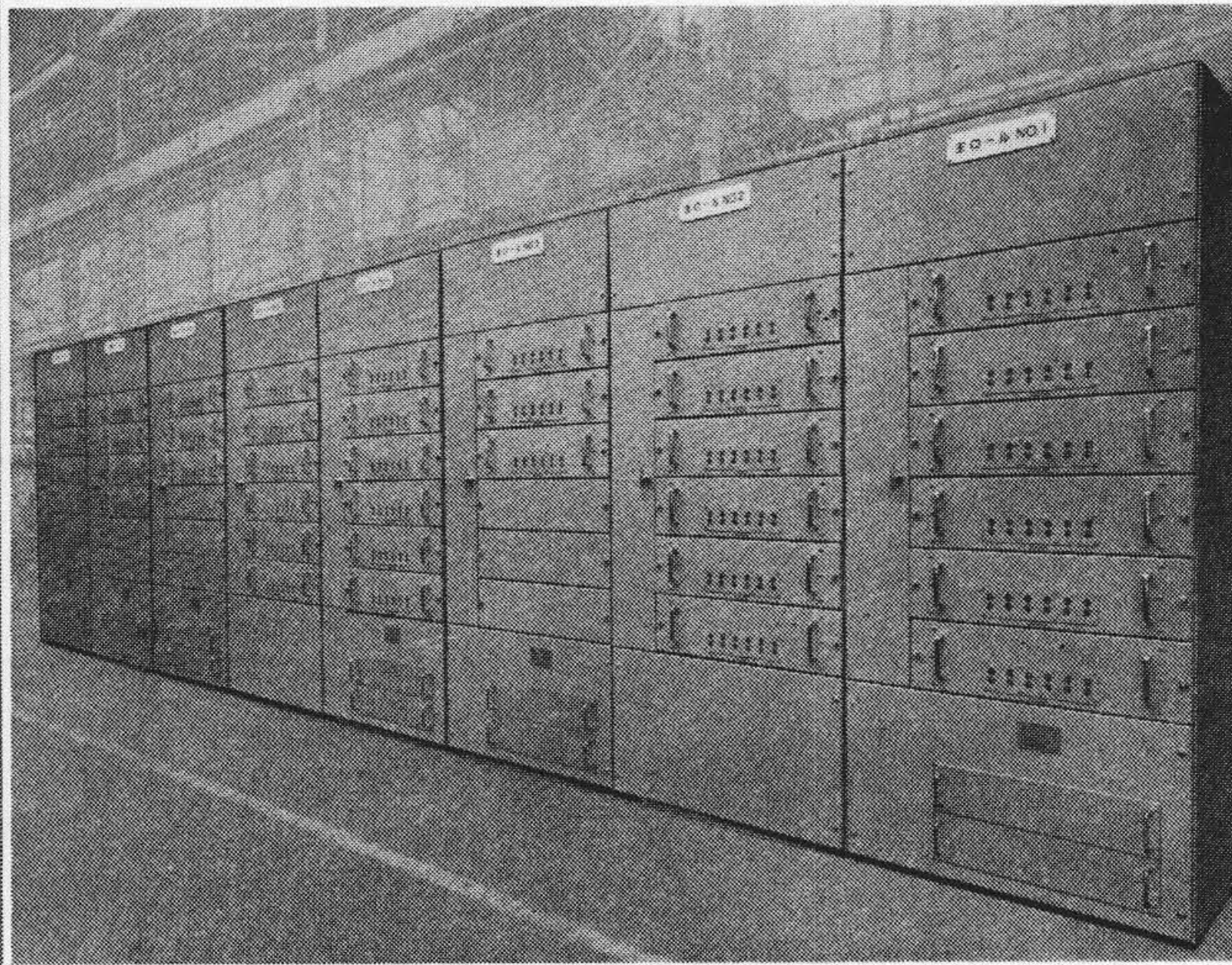


図2 サイリスタ変換器

表1 サイリスタの定格および特性

| 形 式                    | CM02Y                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 定格せん頭逆耐電圧              | 1,400 V                                                     |
| 定格せん頭過渡逆耐電圧            | 1,680 V                                                     |
| 定格せん頭順阻止電圧             | 1,400 V                                                     |
| 定格平均順電流                | 150 A (単相正弦波 180度通流)                                        |
| 定格瞬時過電流                | 5,000 A (10 ms 50 Hz)                                       |
| 定格せん頭ゲート電圧             | 10 V (順方向) 5 V (逆方向)                                        |
| 定格せん頭ゲート電流             | 2 A                                                         |
| 定格せん頭ゲート入力             | 10 W                                                        |
| 定格平均ゲート入力              | 2 W                                                         |
| 動作温度                   | -40℃~+125℃                                                  |
| 最大順電圧降下                | 1.5 V (単相半波せん頭値 470 A, $T_j=125^\circ\text{C}$ )            |
| 最小ゲート点弧電流              | 250 mA ( $T_j=25^\circ\text{C}$ , 順電圧 6 V DC)               |
| 最小ゲート点弧電圧              | 3.5 V ( $T_j=25^\circ\text{C}$ , 順電圧 6 V DC)                |
| 最大ゲート非点弧電流             | 1.5 mA ( $T_j=125^\circ\text{C}$ , 順電圧 6 V DC)              |
| 最大ゲート非点弧電圧             | 0.1 V ( $T_j=125^\circ\text{C}$ , 順電圧 6 V DC)               |
| 最大ターンオンタイム(Tou)        | 6 $\mu\text{s}$ (ターンオン電圧 700 V)                             |
| 最大順電圧上昇率 (dv/dt)       | 20 V/ $\mu\text{s}$ ( $T_j=125^\circ\text{C}$ , 印加電圧 700 V) |
| 最大順電流上昇率 (di/dt)       | 100 A/ $\mu\text{s}$ (ターンオン電圧 700 V)                        |
| 熱抵抗 ( $\theta_{J-B}$ ) | 0.16℃/W                                                     |
| 締付トルク                  | 550 kg/cm                                                   |

表2 サイリスタ変換装置代表例

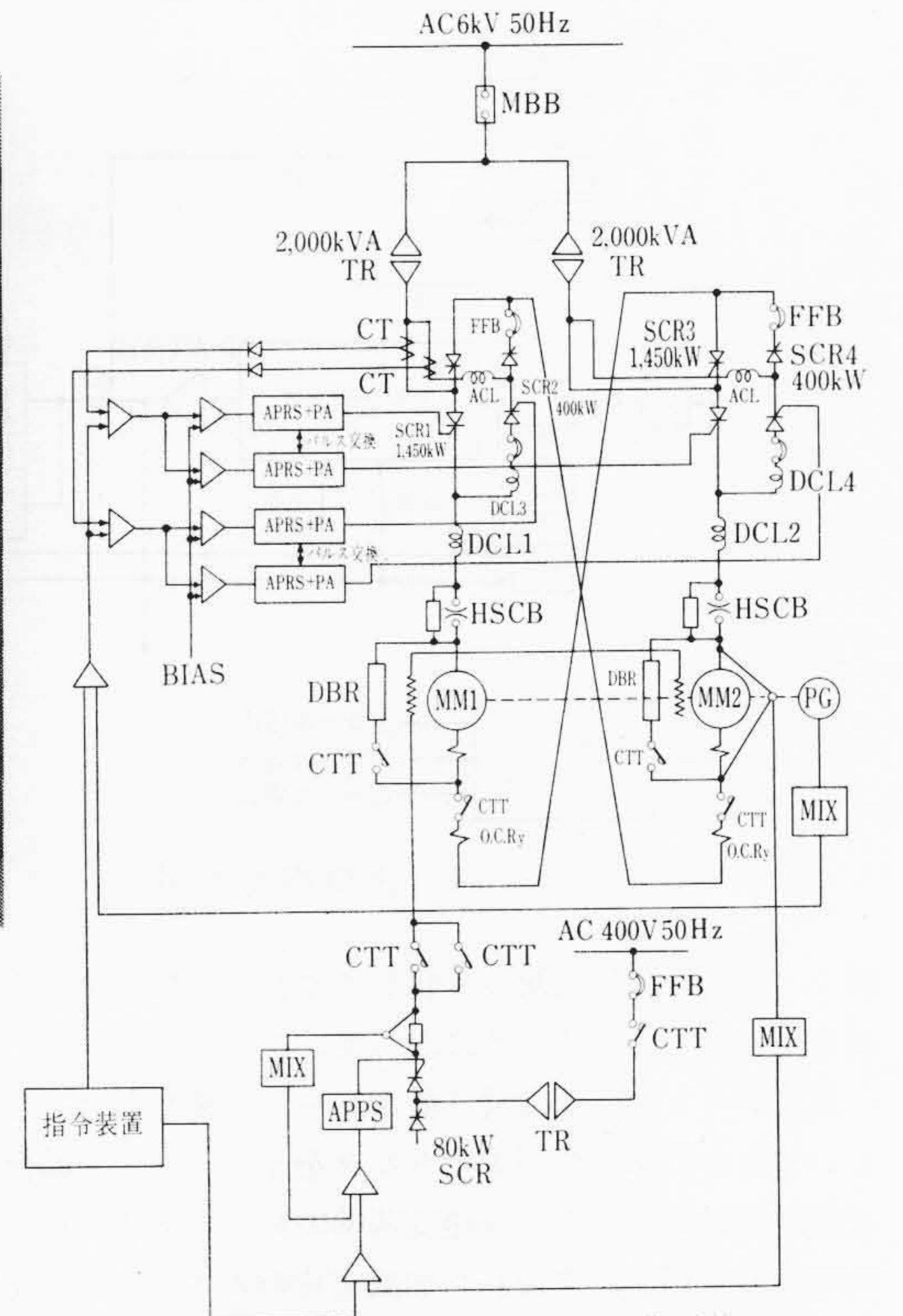
| 用 途            | 容 量      | 電 圧     | 電 流     | 定 格  |       |
|----------------|----------|---------|---------|------|-------|
| 熱間仕上ミル 主ロール用   | 2,900 kW | 2×750 V | 1,933 A | B種定格 | 逆変換器付 |
| 熱間仕上ミルリール用(2組) | 500 kW   | 750 V   | 667 A   | B種定格 | 逆変換器付 |
| 冷間可逆ミル 主ロール用   | 2,500 kW | 2×750 V | 1,667 A | B種定格 | 逆変換器付 |
| 冷間可逆ミルリール用(2組) | 500 kW   | 750 V   | 667 A   | B種定格 | 逆変換器付 |

(7) 主回路単基サイリスタの主回路切換閉器によるレオナード補機の可逆運転制御(テーブル類)

(8) 自動化と無接点化

などがあげられる。前述のように粗圧延設備の主ロール、エッジャーロールはM-G駆動であるが、粗圧延設備のレオナード補機(圧下, テーブル類), 冷間圧延設備および熱間仕上圧延設備にはすべて主サイリスタ駆動方式を採用しており, また熱間仕上および冷間仕上はその構成が可逆コールド圧延機とほぼ同じ形態で構成されている。ここでは熱間仕上圧延設備を対象として説明を加えることとする。

図3は熱間仕上圧延機の概略結線図を示したものである。図において主ロールの制御はマイナーループとして電流制御を加えた自動



MBB: 磁気遮断器  
TR: トランス  
SCR: サイリスタ  
APPS: 自動パルス移相器  
PA: パルスアンブ  
ACL: 交流リアクトル  
DCL: 直流リアクトル  
HSCB: 高速度遮断器  
DBR: 発局制動抵抗器  
CTT: 接触器  
O.C.Ry: 過負荷継電器  
MIX: 絶縁アンブ  
FFB: ヒューズフリー遮断器  
PG: 指速発電機  
CT: 変流器  
MM: 直流電動機

図3 熱間仕上圧延機主ロール制御結線図

速度制御(以下ASRと記す)で, 速度基準はデジタル式指令装置から加えられている。主ロールの主回路は2組の逆並列結線サイリスタを直列に結線し, かつこの2組のサイリスタで力率制御を加えている。またこの2組のサイリスタの電源は30度ずつ位相がずれており, 12相整流効果をもたせて, 電源に対する高調波の影響を低減している。

リール電動機は逆並列サイリスタにより駆動しているが, サイリスタの側はマイナーループ電圧制御による定電流制御が加えられており, 電動機側は逆起電力一定制御が加えられている。逆並列サイリスタは無循環電流制御が行なわれているが, 電流切換時間がきわめて短い時間であるため, 張力変動などの問題は全くない。

リール電動機は左右とも2台より構成されており, かつ機械ギヤ比は2段に切り換わるので, 張力レンジは広く使用される。

以下, 特に制御装置の特長ある制御について説明を加える。

#### 4.1 速度指令装置

従来の速度基準は電動式抵抗器によっていたが, 回転機構部分があり, 寿命的に欠陥があった。また弱電電源を扱うには刷子降下などが問題になるため, 本設備では完全に電子化した指令装置を採用した。本指令装置は可逆カウンタを主素子としており, 途中ホールドを考慮しているため, その概略結線は図4に示すとおりである。

停止, 除動, 増速, 保持の押ボタン開閉器PBS(無接点)を押すことによりV-f変換器からのパルス信号を可逆カウンタに加えて, 運転の極性により加減算を行なわしめる。この可逆カウンタの出力をD-A変換して速度指令として用いている。ここで用いたV-f変換器はアナログ入力電圧により発生発振周波数を比例的に変化せしめるUJT(ユニジャンクショントランジスタ)を主素子とした変換



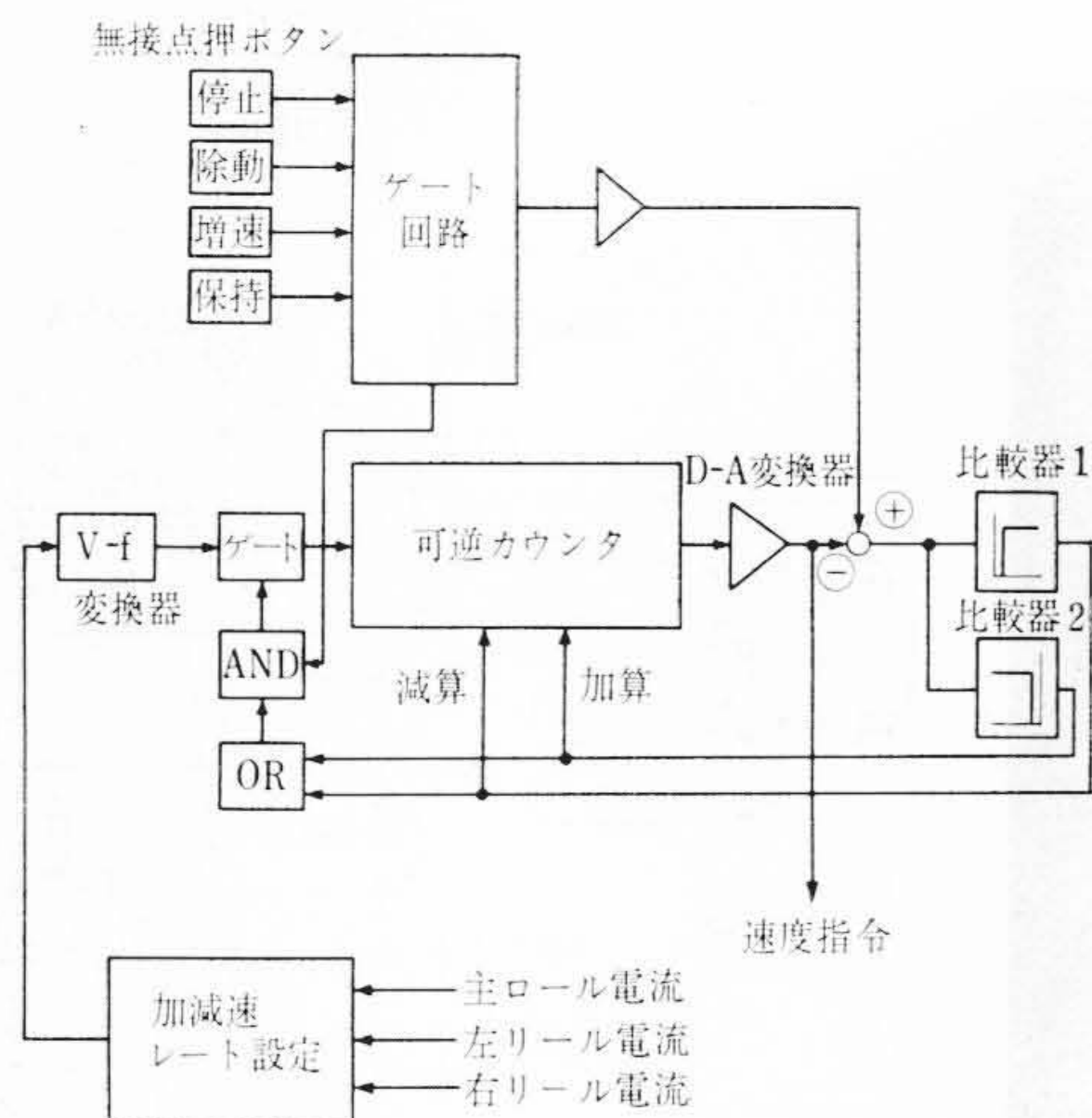


図4 速度指令装置

器で、この発振周波数を変化してやれば、加減速の速度指令レートが自由に調整できるようになっている。

最大レート加減速は常に最大レートの速度指令を与えており、もしいずれかの電動機が規定トルクをオーバーする場合には、その電流制限値以内になるよう速度基準のレートを変化せしめて、加減速時間の最も短い、すなわち加減速時のオフゲージ長を最短にするような制御を加えている。このためV-f変換器の入力アナログ電圧を各電動機の電流制限値により可変として、この目的を果たしている。

#### 4.2 逆並列結線、無循環電流制御方式

整流器は一方向のみに通電するため、加減速を行なう電動機制御のように両方向に通電を必要とする場合には、正逆両方向にそれぞれ整流器を設ける必要がある。この接続方法としては従来から水銀整流器などでは交差接続方式を用いていた。この方式では正逆整流器にはそれぞれ整流器トランスを有し、また正逆整流器間を循環して流れる循環電流を流し、これを一定値に押える制御を行なっている。この方式は整流器用トランスが2台となり、かつまた電動機に流れないむだな循環電流を流し、循環電流抑制用直列リアクトルも必要となり好ましくない点を有しているため、本設備では前述のように逆並列結線とし、無循環電流制御方式を採用した。

交差接続循環電流制御方式と、逆並列無循環電流制御方式を比較して示したのが表3である。

正逆整流器が同時に生きないような完全なインターロックとプロテクションを加えれば無循環電流制御がすぐれており、世界の電気メーカー各社が本制御方式を採用している。日立製作所においてはすでに1965年に日立電線株式会社向けとしてサイリスタ主駆動の4H冷間圧延機の主ローラ(220kW電動機)に本方式を採用し、ノントラブルの実績を収めている。

正逆サイリスタ切り換えの順序は、現在動作している整流器により流されている電流が制御により抑制されてゼロに達してから、反対側整流器のゲートを生かす必要がある。すなわち、いまコンバータ運転をしている電動機は速度基準値を速度を降下せしめる方向に加えると、電動機は負荷トルクの大きさに従った速度降下しか示さない。軽負荷の場合には基準値に追従できなくなるため偏差が逆方向に急激に増大し、コンバータ側サイリスタの位相角 $\alpha$ が大なる方向すなわちインバータ電圧方向に増大するので、回路はインダクタンスにより定まった時間後電流は流れなくなる。この電流が断続したことを検出して、コンバータ側のゲートを抑制し逆方向サイリスタすなわちインバータのゲート抑制をとき逆方向電流を流し速度を基準値通り降下せしめる。インバータからコンバータへの切換えも同様に行なわれる。これらの切換えは無接点トランジスタおよび

表3 逆並列と交互接続との比較

|                    | 無循環逆並列                                        | 交互接続                            |
|--------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|
| 循環電流               | 無                                             | 有                               |
| 回路方式               | 簡 単                                           | 複 雑 (変圧器の二次が2巻線、DCLが大となる)       |
| 変圧器の二次巻線容量         | 小 (1)                                         | 大 ( $\sqrt{2}$ 以上)              |
| 価 格                | 安 価                                           | 高 価                             |
| 効 率                | 高                                             | 低 (循環電流による電力損失)                 |
| 制 御 性 能            | 正 $\longleftrightarrow$ 逆不連続点あり<br>ただし実用上支障なし | 正 $\longleftrightarrow$ 逆不連続点なし |
| 転 流 失 敗            | インバータ動作時間少ないので確率が小                            | 常にインバータ運転しているので確率大              |
| 電 源 短 絡<br>の 可 能 性 | 誤点弧により両整流器が短絡される<br>但し誤点弧の可能性小                | 誤点弧により両整流器が直流回路を通して短絡される        |
| 回 路                |                                               |                                 |

びゲート素子(アナログ電圧が無接点でオン、オフする素子)よりなる論理回路で構成されているので寿命および信頼性は特にすぐれている。

#### 4.3 主回路直列サイリスタ結線(12相整流、力率制御)

図5における主ローラの結線で、主回路は二つの電機子をサイリスタと交互に配置した、いわゆるサンドイッチ結線が採用されている。この2組のサイリスタにはおのおのコンバータ、インバータのサイリスタが逆並列に結線されており、インバータ側に常に電動機の減速停止時のみに使用し、負荷トルクと減速トルクとの関係から容量はコンバータに比べ小さいものとして設備の経済性を図っている。図5においてSCR1,2がコンバータ、SCR3,4がインバータを示している。圧延方向の切換えは電動機の界磁を切り換えることにより行なわれている。

また2組のサイリスタ群(SCR1,3とSCR2,4)はその電源位相を30度ずらしており、12相整流効果をもたせている。12相整流効果により、直流出力のリップルは低減し、交流側への高調波の影響も低減している。

またこの2組のサイリスタの特性は図5(a)に示したような特性で運転され、サイリスタの低電圧における力率の悪化が補償されている。図5(b)は力率改善制御のある場合とない場合との無効電力の比較を示したものである。

このように2組のサイリスタには同一位相のパルスがゲートに加えられず、したがって電流が断続する状態では一方のサイリスタのみにパルスを加えても、他方のサイリスタの先のゲートパルスによる電流はすでに断続しているため電流が流れず点弧できないという現象が起こる。そのため2組のサイリスタ相互間にパルスの交換を行なう必要がある。図6はパルス交換回路を示したもので、いま自動パルス移相器(APPS)よりパルスが与えられるとパルストランスPT<sub>1</sub>,PT<sub>2</sub>に印加され、PT<sub>2</sub>からはSCR1に、PT<sub>1</sub>からはメモリ素子2MEにパルスを与え、2MEの出力をゼロとしてSCR2に加えるパルスと同時にSCR1に加えるパルスに対してゲートを開くようにする。このゲート開の期間に次のSCRのゲートにパルスを加える



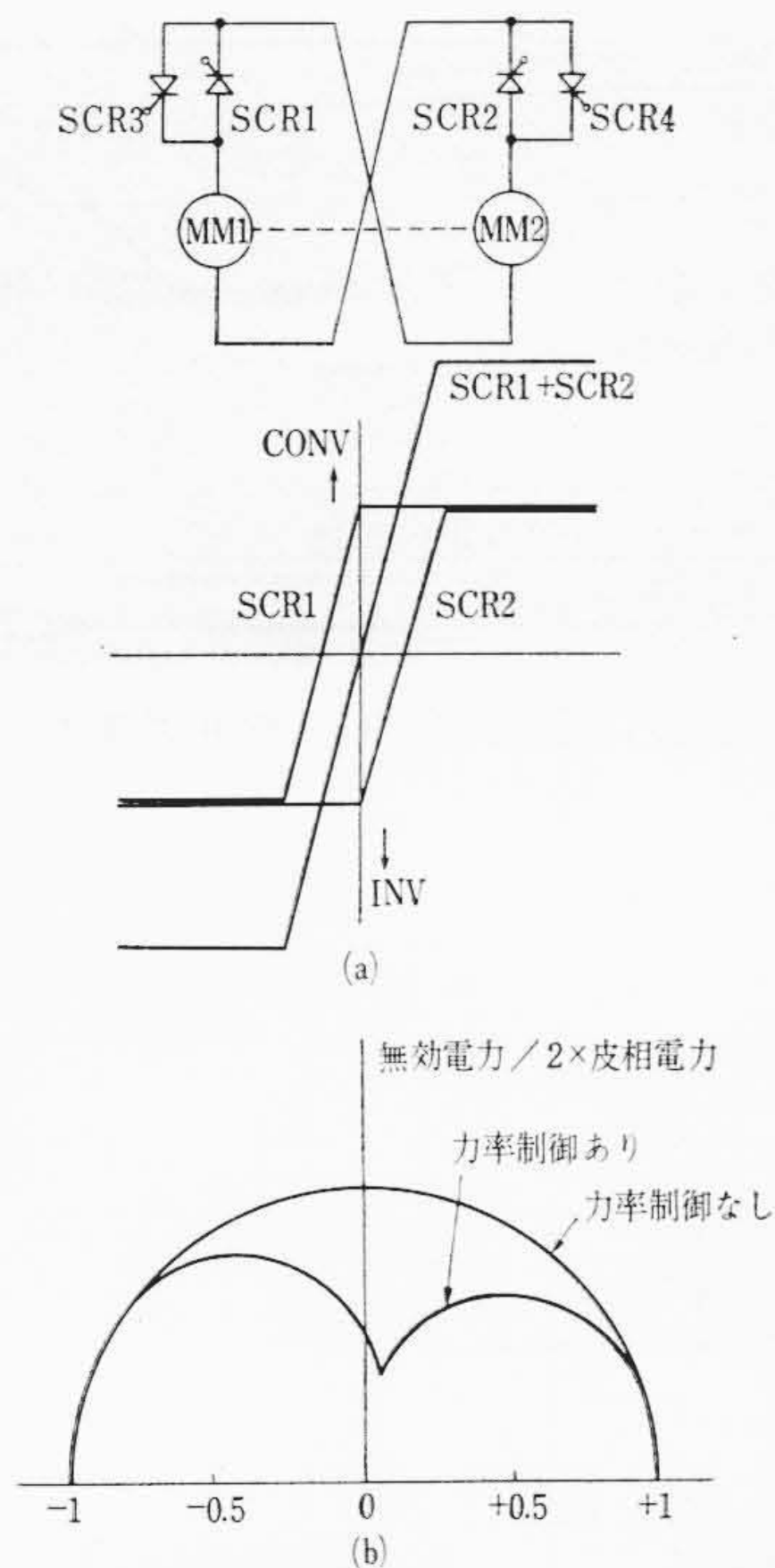


図5 2セット直列のサイリスタ特性

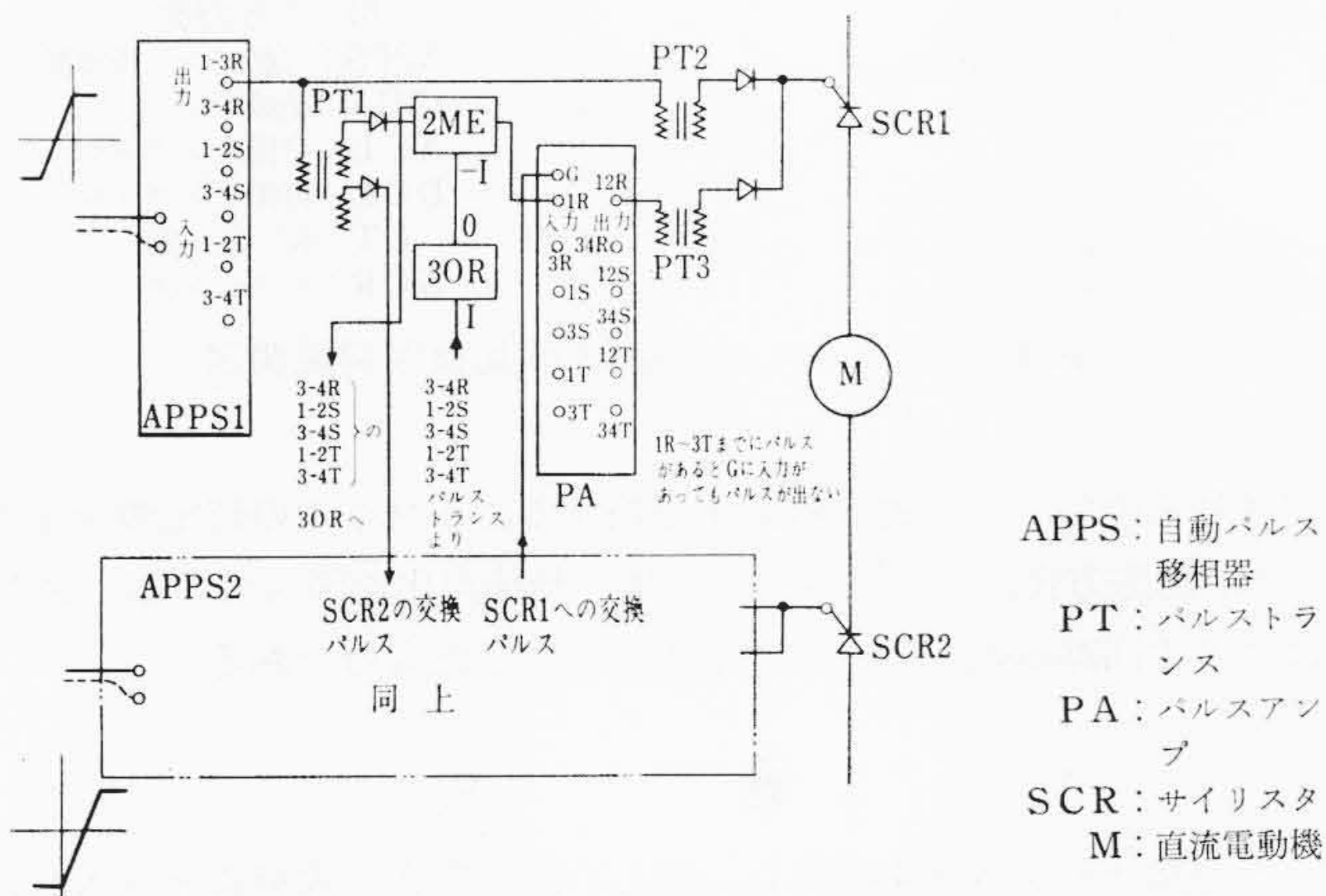


図6 パルス交換回路説明図

ため APPS 1 は 60 度おくらせてパルスを出す、それまでの間ゲートを開いている。

#### 4.4 主ロールの制御

前述のように主ロールのサイリスタ側にはマイナーループ電流制御をもつ、速度制御を行なっている。また電動機界磁は界磁電流一定制御をマイナーループとし、電動機電圧が定格電圧になってから界磁を弱めながら加速するいわゆる EMF 制御方式である。

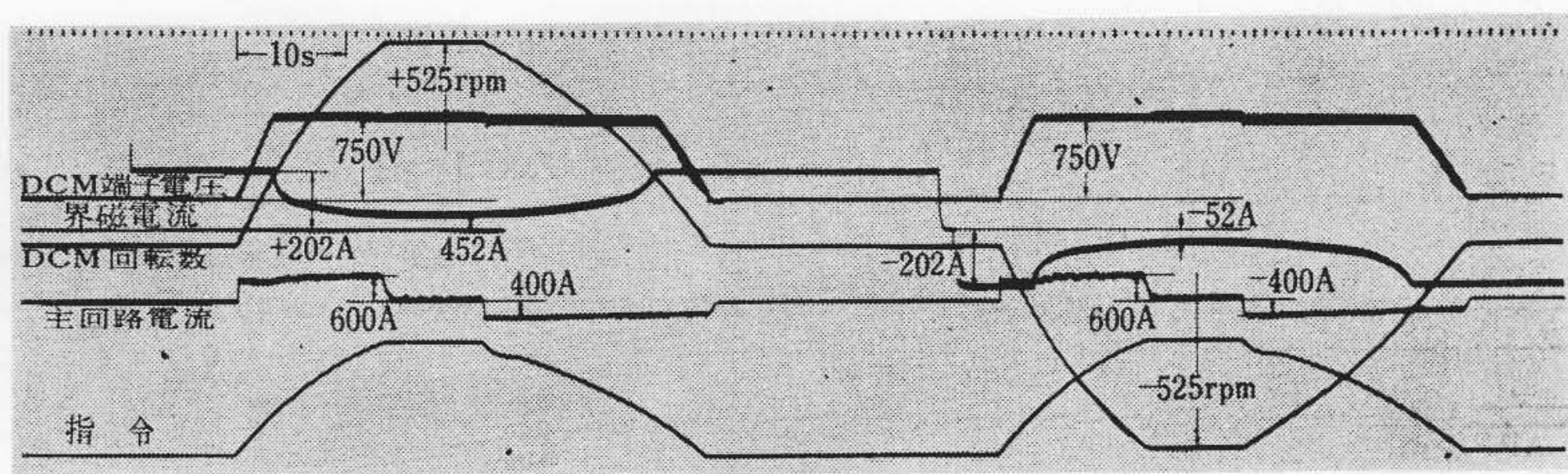
図7は主ロールの加速時のオシログラムである。

前にも述べたように主サイリスタ、インバータ側は減速のみを考慮した、非対称構成であるので、圧延方向の切り換えには電動機の界磁を反転せしめる方式によっている。

図8は電子化された制御キュービクルを示したものである。各制御ユニットごとに機能的にまとめられており、ノイズトラブルが発生しないよう十分な対策がとられている。

#### 4.5 リールの制御

リール電動機に対しては電動機のパワー一定制御による張力一定制御を行なっている。すなわち主サイリスタ側は主ロールからの速度基準に対し主回路電圧を一定に制御する定電圧制御をマイナーループとし、大ループで電流一定制御を行なっている。この電流一定



(非直線加減速)

図7 主ロールの加減速オシログラム

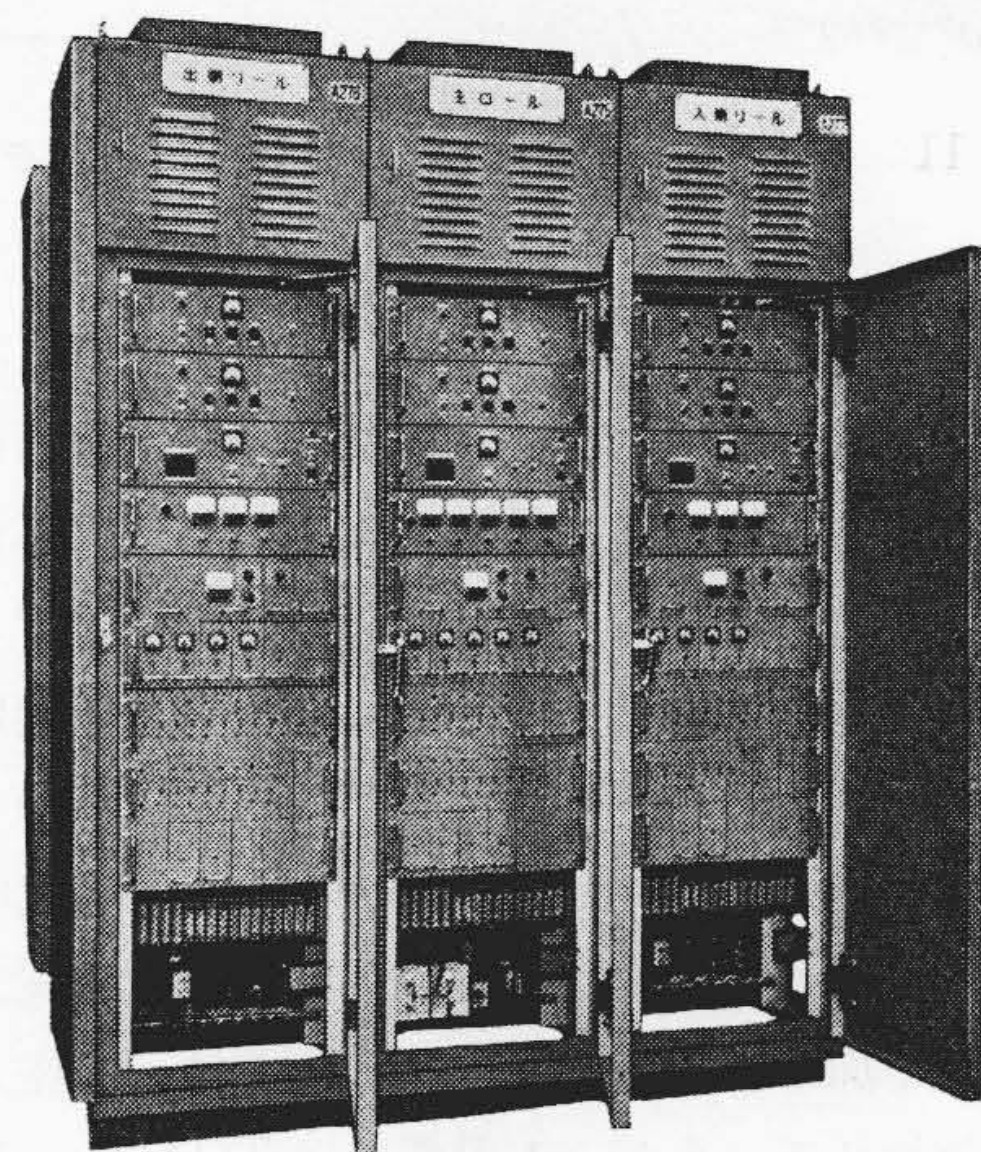


図8 制御キュービクル

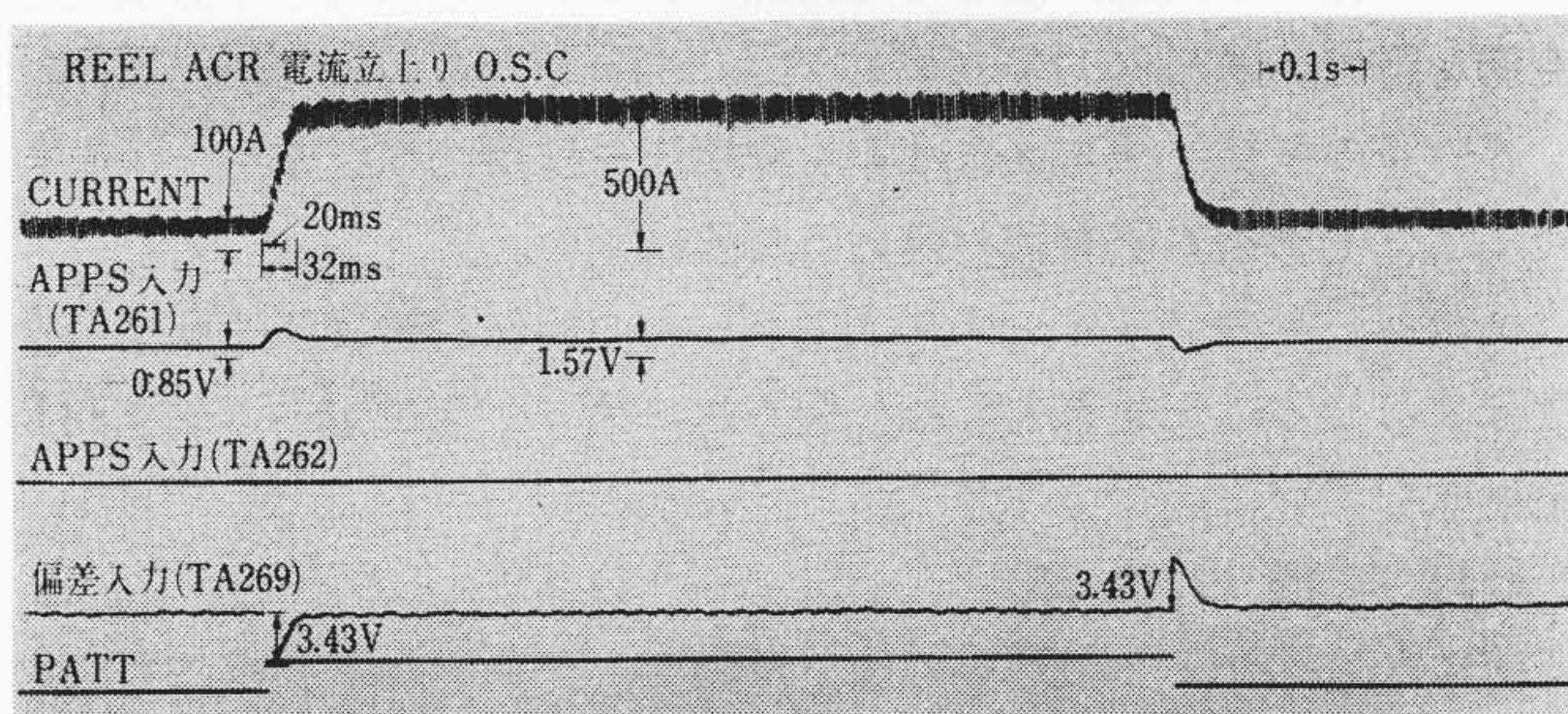


図9 リール電流制御系のオシログラム

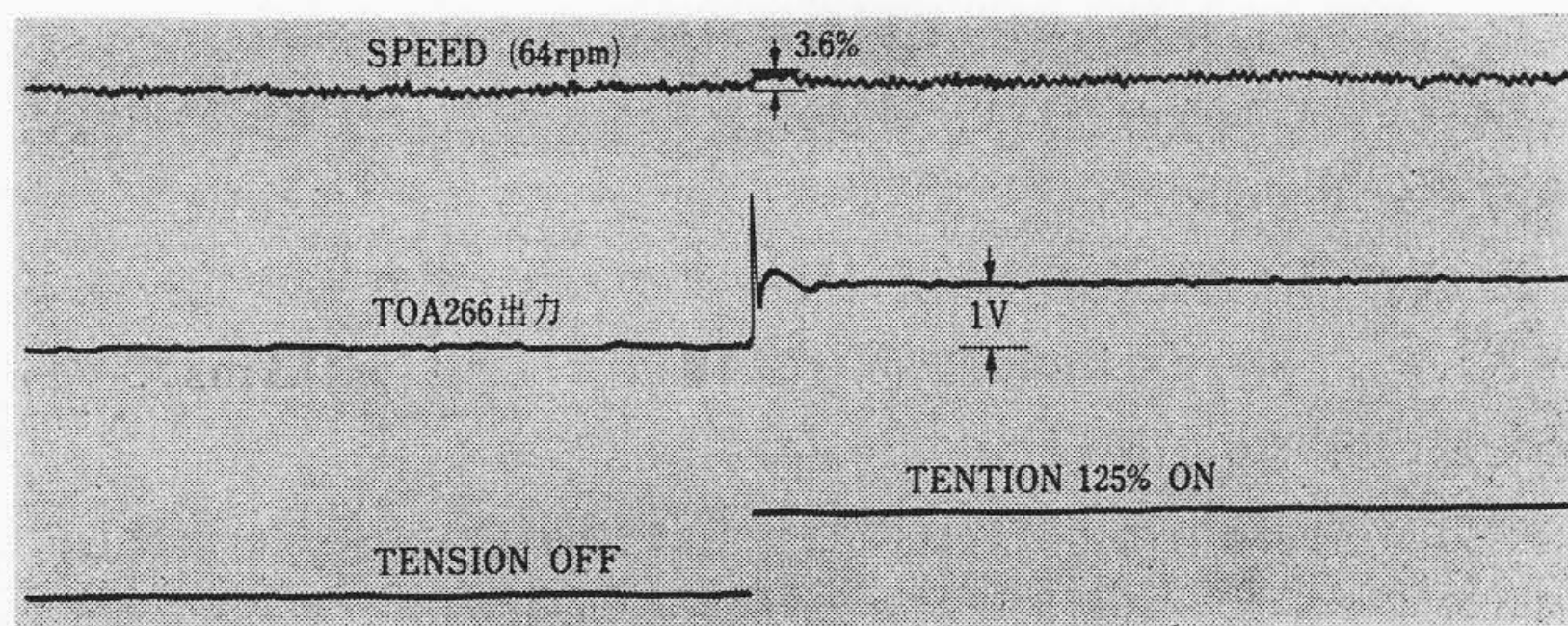


図10 リールの速度リミッタ特性

制御系はほとんどおくれがないためきわめて高い速応性を示しているが、電動機の整流特性などを加味した必要にして十分な速応性にする必要がある。図9はインディシャル応答を示したもので、32msの応答時間である。

また各リールはストリップがない状態でも電流制御が加えられたままで、ストリップの先端がかみ込まれてから張力がビルドアップするよう速度リミッタが設けられている。

図10はリールの速度リミッタの特性を示したもので125%の最大張力を加えてもリール電動機は3.6%の速度上昇をみるのみで速度リミッタが効果的に動作している。この3.6%はトップ速度の



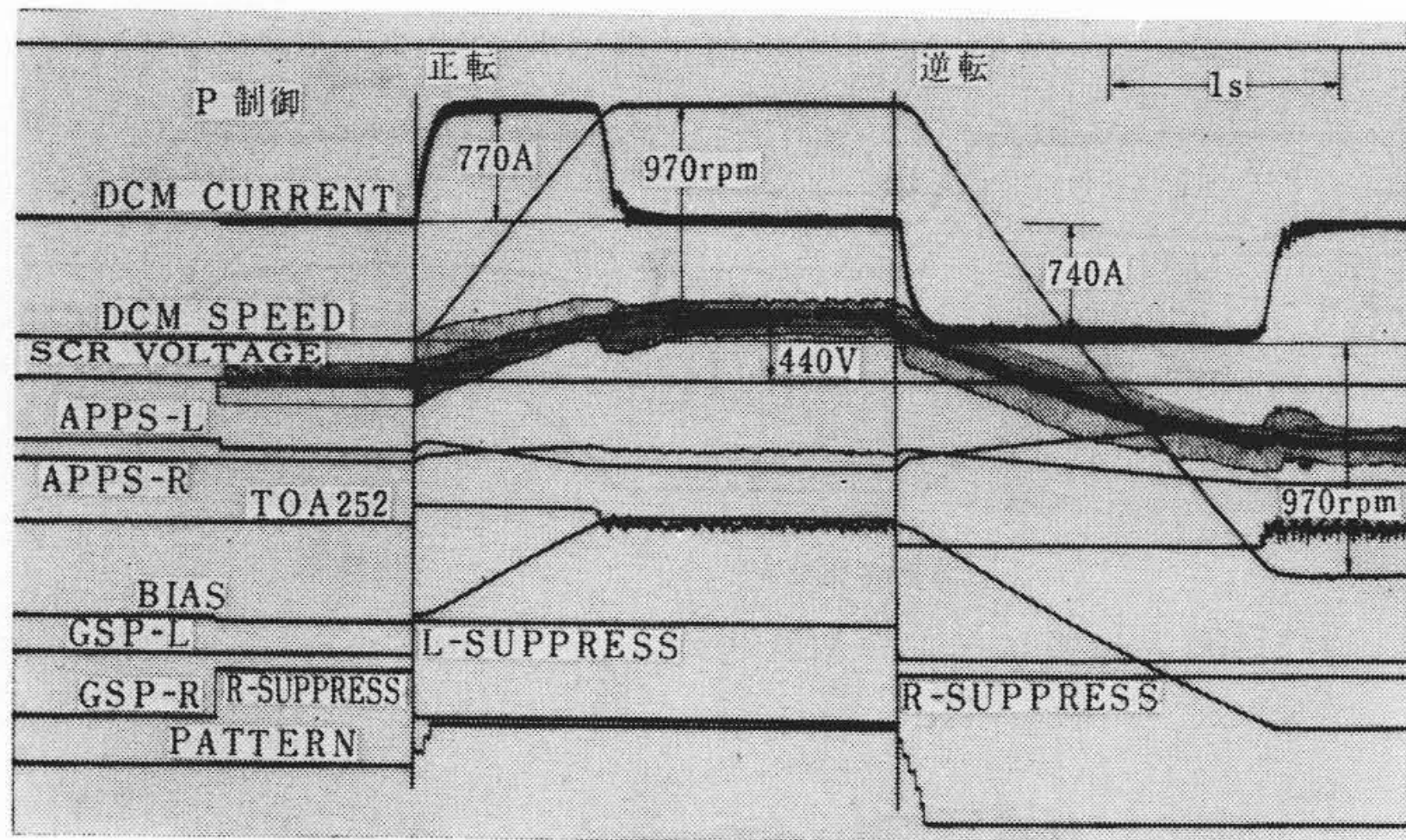


図 11 レオナード補機の加減速オシログラム

0.25% 数値である。

逆並列無循環電流制御でインバータ、コンバータの切換えを行なうため、たとえば減速開始点における電流がプラスからマイナスに切り換えられるときゼロ電流点で若干の死時間は生ずるが、この時間は理論的にも実際的にも張力変動に対しては全く問題にならないきわめて短い時間である。

リール電動機の界磁ではマイナーループに界磁電流一定制御を加え、大ループでは圧延機の数値に対し電動機の逆起電力が比例するように電圧制御を加えている。巻太りの記憶制御は従来電動機抵抗器により行なわれているが、本設備では TOA による積分特性で全くスタテックに記憶制御を行なっている。この場合コンデンサのホールド特性が問題になるので特殊コンデンサを採用し十分満足な性能を得ている。

リールの主サイリスタには非対称構成を採用しているが、圧延方向により電動機界磁を切り換える必要はない。

またリールのフォーシングは主ロールの回転数および速度指令を微分することにより構成され、全くスタテックなフォーシング回路を構成している。

#### 4.6 補機の制御

前にも述べたように補機の圧下電動機、テーブル電動機にもその電源にはサイリスタを採用している。補機類の制御には圧下電動機などの正逆転の際のインバータ、コンバータ切換えの死時間が問題になる機器には主機と同様無循環電流逆並列結線を採用し、テーブル類で、切り換えの死時間が問題にならない機器には主回路単基切換方式を採用している。

図 11 は圧下電動機の加減速オシログラムを示したもので、インバータ、コンバータの切換え死時間は図 12 に示したように 3 ms できわめて短い時間で、全く問題にならない時間である。

一方、主回路単基切換方式に対しては主回路の接触器を改良し、切り換えている。この方式の切換時間はこの切換器の動作時間に支

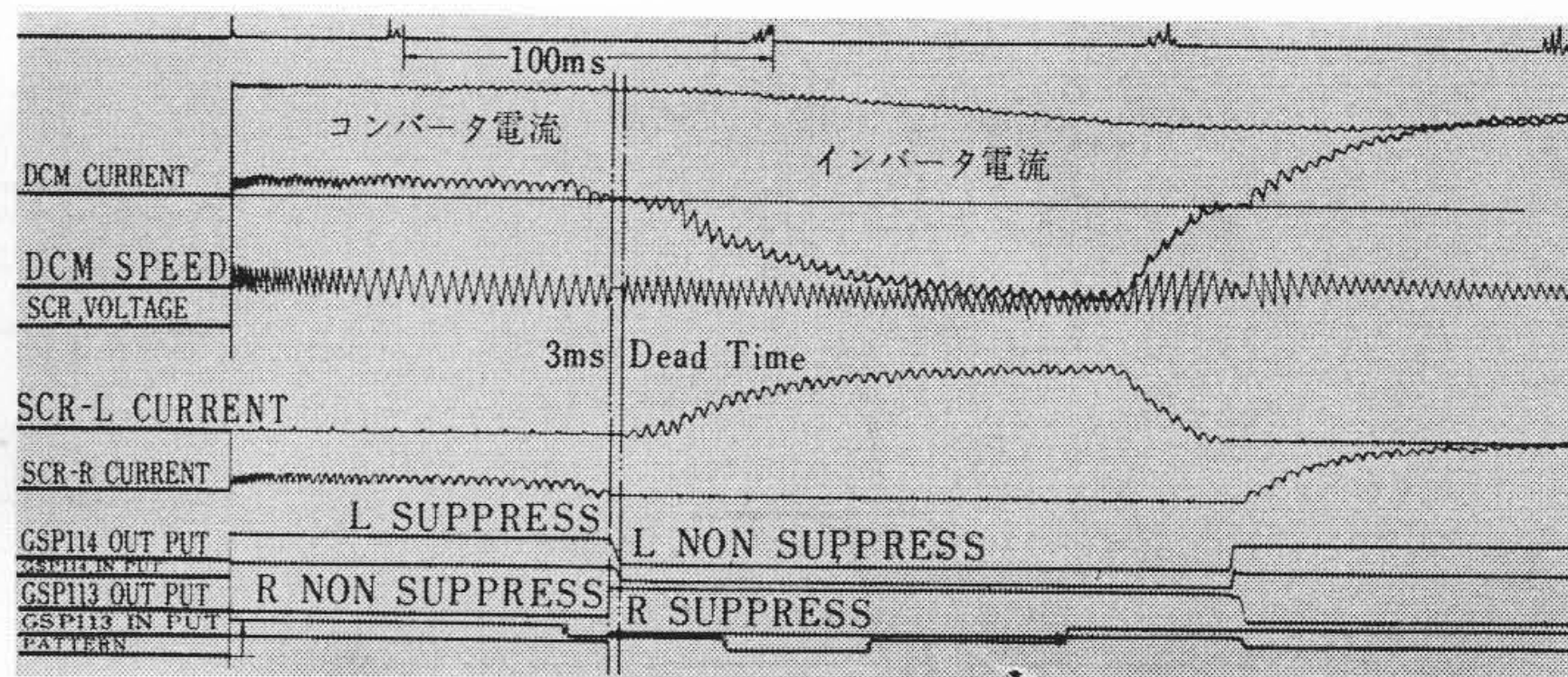


図 12 逆並列切換時の詳細オシログラム

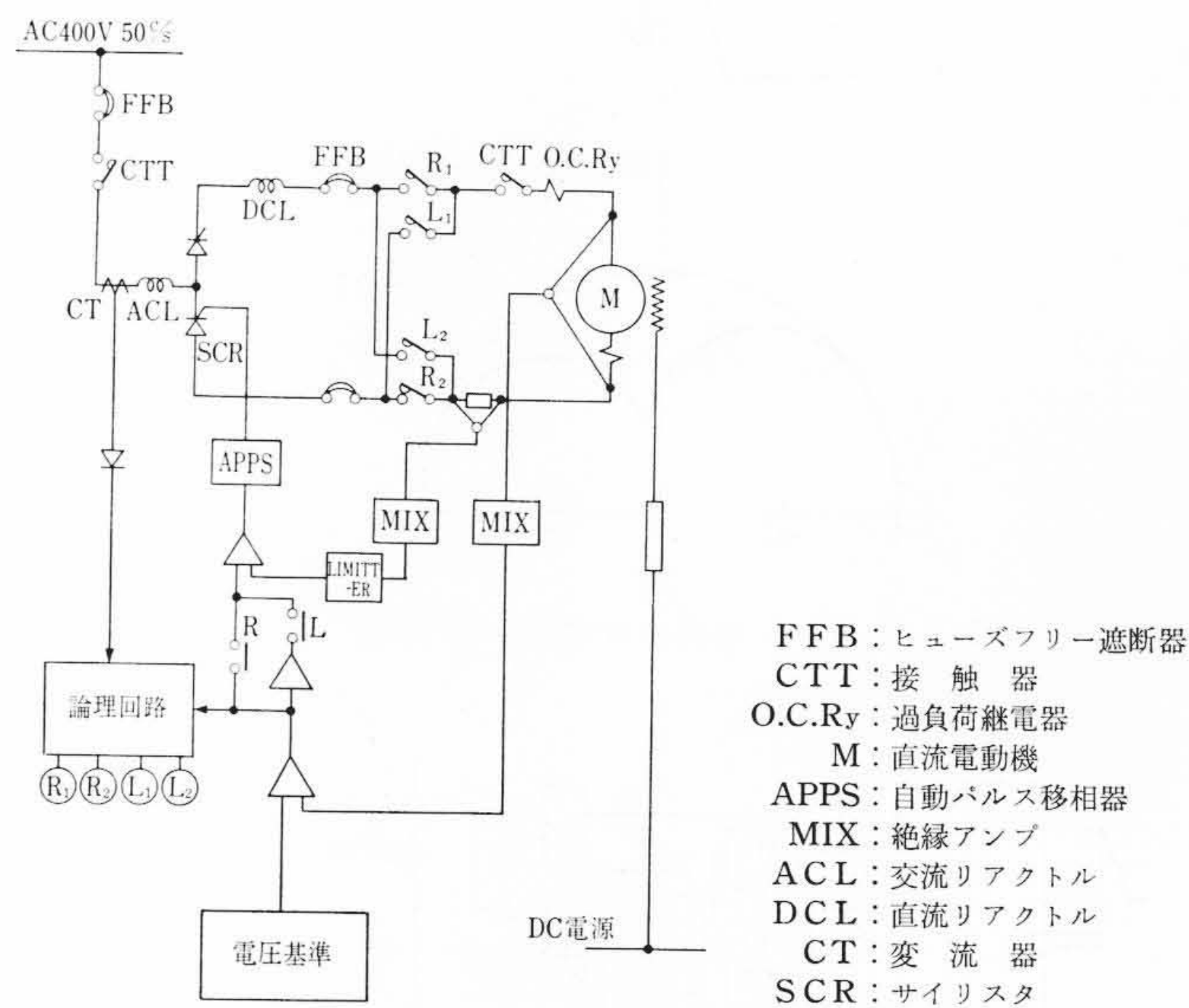


図 13 サイリスタ単基 COS 切換制御説明図

配されるので、その動作時間を短縮するようコイルの時定数を小さくし、励磁方式にサイリスタを使用し無接点化を図っている。図 13 はこの主回路単基切換方式の結線図を示したものである。

#### 5. 結 言

大容量サイリスタを採用し、新しい制御方式を大胆にとり入れた本設備は、その特長を十分に発揮し、高い性能で順調に昭和 41 年から運転されている。本設備を契機としてサイリスタが圧延機用電気品にどしどし採用されるようになり、本機の完成は誠に意義深いものであるということが出来る。サイリスタの全面的採用と、電子化による高性能化、力率制御、逆並列無循環電流制御など新しい制御方式の採用はスカイアルミニウム株式会社の深いご理解と、英断によるものである。

終わりに本設備の研究に協力いただいた日立製作所日立研究所各位、日立工場関係各位に感謝する次第である。