
製鉄用電気品特集

製鉄用電気設備の進歩.....	115
圧延用直流電動機の進歩.....	122
新しい制御装置の開発.....	130
最近の電弧炉自動調整装置.....	143
製鉄クレーン用電気品の最近の動向.....	149
単基水銀整流器による可逆静止レオナード装置.....	158
最近の無接点制御器具の進歩.....	165

製鉄用電気設備の進歩
Progress of the Electric Equipment for Iron and Steel Mills

平川克己* 田 附 修*
Katsumi Hirakawa Osamu Tatsuke

内 容 梗 概

製鉄用電気設備の進歩は製鉄工業の合理化と機器の進歩の両面よりめざましい進歩をみせた。記録的な設備についてはそのつど日立評論で発表しており、また特集号として昭和29年電動力応用特集号を、昭和34年には圧延機特集号を発行し設備の進歩や日立製作所の特長などについて記述している。今度製鉄特集欄を発行するに際し、ここ十有余年間の電気設備の進歩を取りまとめた。すなわち設備の大容量高速度化にともない、回転機のGD²や重量の軽減、整流の改善、絶縁の改良などにふれ、さらに静止レオナード設備の進歩、主回路直流遮断器の開発、制御回路へのエレクトロニクスの導入などについて記述した。

本文では上記事項を中心に記述するが詳細については特集欄の各論文を参照していただきたい。

1. 緒 言

製鉄用電気設備は、製鉄工業の合理化、機器の進歩の両面よりめざましい進歩をみせた。第1表は日立製作所の制御機器と電気設備の進歩をまとめたもので昭和25年HTDの開発より十有余年の間に多くの記録品を生みその性能は年ごとに向上してきている。
特に回転機に対しては分極形HTDの開発、大形回転機のGD²、重量の軽減、整流の改善、絶縁の改良などがあげられる。静止レオナード設備も線材ミル、ホットストリップミルなどに採用されさらに可逆運転設備に及ぼんとする発展をみせた。制御装置においては高性能磁気増幅器の利用は全設備に及び、ヒタログ無接点制御器具により回路の無接点化が完成した。また自動プログラム運転装置や自動板厚制御装置、データ処理装置も完成し、各設備の自動運転が行なわれている。さらに最近は計算制御の計画が盛んでこれが実施も近い将来実現するものと思う。

2. 電気機器と制御方式の発展

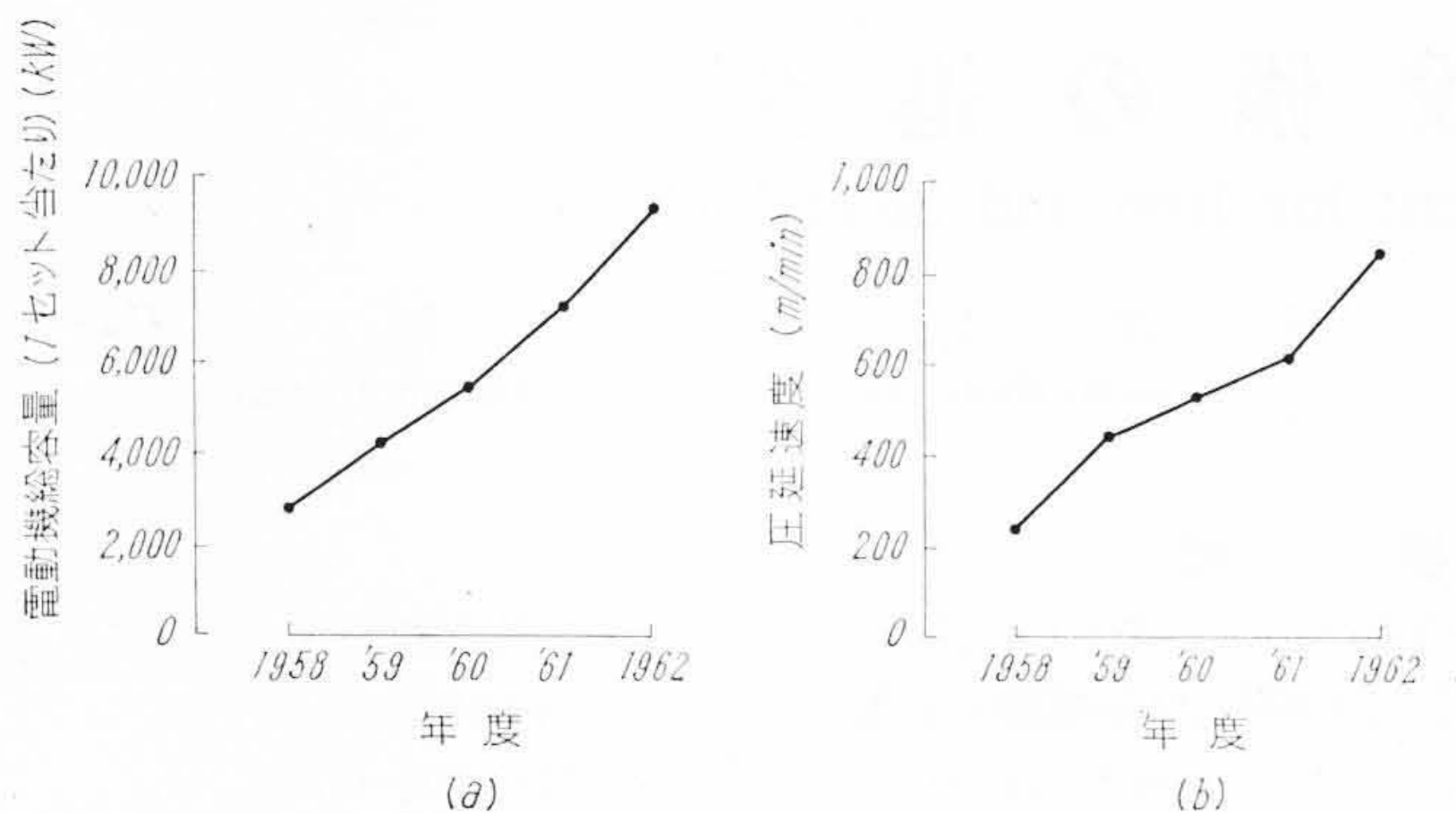
2.1 回転機の大容量高速度化

圧延設備の大容量高速度化はそのまま回転機、いいかえれば直流電動機の大容量高速度化に結びつき、その面で大きな進展をみせた。すなわち単機容量の増大に対処して寸法の短縮、重量の軽減、あるいは整流の改善などに顕著な進歩をみせ、また圧延用電動機に対して共通した要求である低慣性による性能向上の意を含めて二重電機子形、三重電機子形、さらにはそれら二電動機のクラッチ結合駆動、並列駆動、双電動機駆動方式へと進展してきた。
分塊圧延機における最大容量は9,000kW、40/80rpm、二重電機子形双電動機駆動方式で、基準速度間の逆転は1.0秒前後の短時間でな行なわれている。また単電機子形の最大では3,750kW、40/80rpm

第1表 制 御 機 器 と 電 気 設 備 の 進 歩

年 次	制 御 機 器 の 進 歩	各 種 1 号 機 納 入 記 録
1950 (昭 25 年)	HTDの完成	
1951 (昭 26 年)		八幡製鉄株式会社納： 4,000kW イルグナ設備 (HTD使用第1号)
1953 (昭 28 年)	分極形HTDの完成	
1954 (昭 29 年)		昭和アルミ株式会社納：アルミスラブ 600kW ワードレオナード設備(主ロールとテーブルHTDにより揃速) 日新製鋼株式会社納： 4重可逆鋼帯圧延用電気設備 (分極形HTD使用) 三菱鋼材株式会社納： 2,000kW 静止レオナード設備
1956 (昭 31 年)	420〜 高性能磁気増幅器の完成 (420〜MA)	日新製鋼株式会社納： 4重スキンバス圧延用電気設備 (420〜 磁気増幅器の使用)
1958 (昭 33 年)		住友金属工業株式会社納： 6,000 f/min 高速度線材圧延機用、静止レオナード設備 (420〜MA 使用) 八幡製鉄株式会社納(2基)： 2重可逆式分塊ミル用、12,000HPイルグナ設備 (分極HTD使用) 日新製鋼株式会社納： ZR-22-50形センジミアミル用電気設備 (420〜MA 使用) 川崎製鉄株式会社納： 2,000 f/min クリーニングライン用電気設備 (400〜MA 使用)
1959 (昭 34 年)	ヒタログの完成	日本鋼管株式会社納： 2重可逆分塊ミル用、1,000HP イルグナ設備 (分極HTD使用) 富士製鉄株式会社納： アルミフォイルミル用電気設備 (420〜MA 使用) 東洋アルミ株式会社納： アルミフォイルミル用電気設備 (420〜MA 使用)
1960 (昭 35 年)	トランジログの完成	日新製鋼納： ホットストリップ粗圧延機用電気設備 (420〜MA 使用)
1961 (昭 36 年)	無接点器具類の完成 モールド形 420〜ヒタログ、トランジログの完成 演算増幅器の完成 5kW 大形 420〜MA 完成	川崎製鉄株式会社納： 可逆式冷間鋼帯ミル用自動板厚制御装置 大阪造船株式会社納： 可逆熱間ミル用 東都製鋼株式会社納： 可逆熱間ミル用 日新製鋼株式会社納： プログラム自動運転装置 (トランジログ使用) 住友金属工業株式会社納： 80" ホットストリップミル電気設備 (プログラム装置——トランジログ使用) 無接点制御装置——ヒタログ使用) 日新製鋼株式会社納： 双電動機駆動センジミアミル用電気設備 (820 m/min)
1962 (昭 37 年)		日新製鋼株式会社納： センジマーミル用自動板厚制御装置 住友金属工業株式会社納： ホットストリップミル用自動板厚制御装置 (演算増幅器の使用) 川崎製鉄株式会社納： 2,170 m/min 6 スタンドタンデムコールドミル用電気設備(5kW 大形 MA 使用)

* 日立製作所日立工場



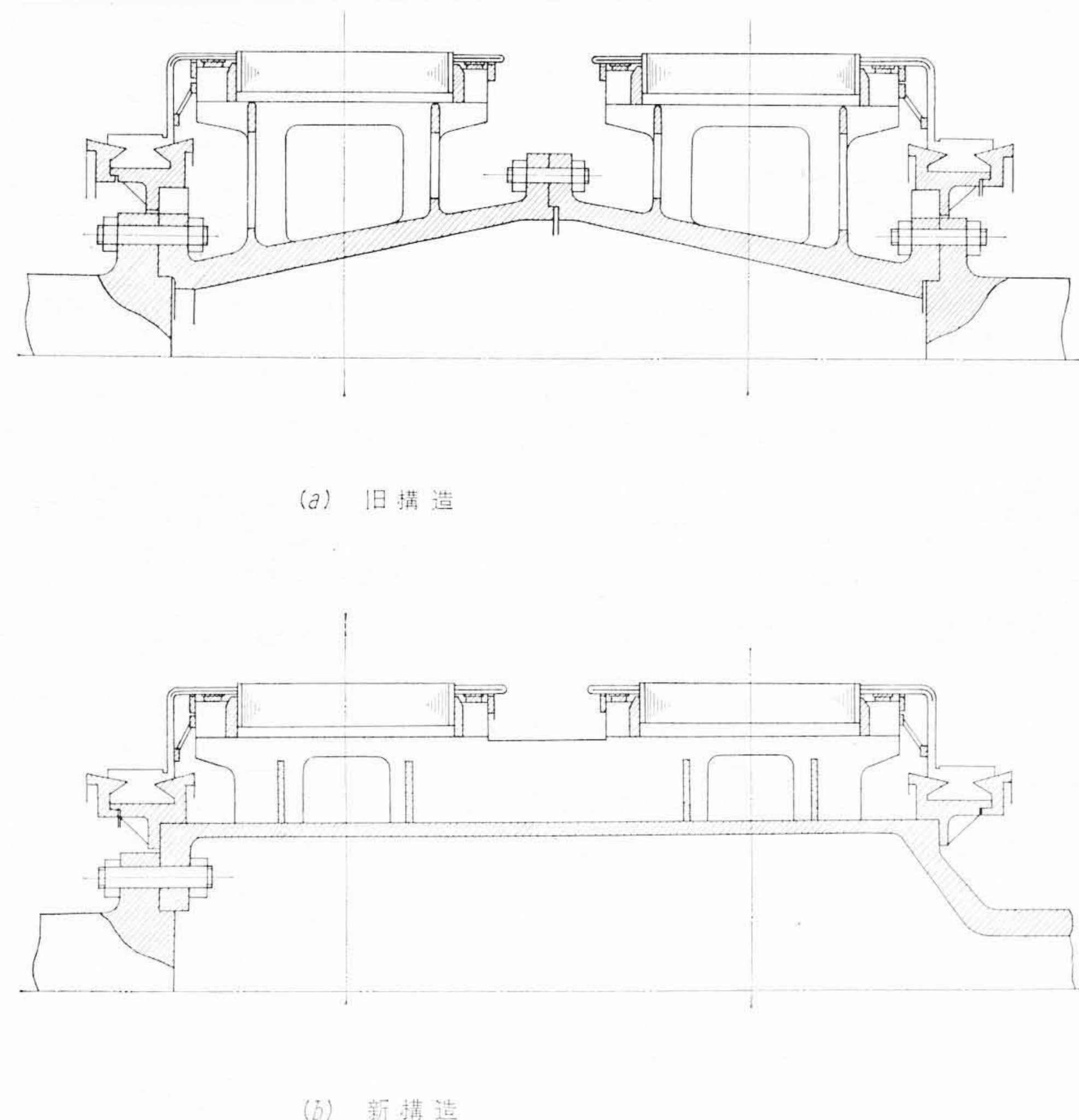
第 1 図 わが国センジミル設備の大容量高速化の傾向

双電動機駆動方式、総出力 7,500 kW, 40/80 rpm の分塊圧延機がある。日立製作所は前者を 2 基、後者を 3 基すでに製作納入しいずれも好調に運転中である。

また住友金属工業株式会社納 80" ホットストリップミル仕上圧延機 No. 4 スタンドは単電動機形 4,500 kW, 100/215 rpm, 他の 5 スタンドは二重電動機形 4,500 kW で、総出力 27,000 kW, 最高速度 747 m/min の圧延設備である。

さらに川崎製鉄株式会社納タンデムコールドストリップミルは、圧延速度が 2,170 m/min で電動機総出力は 26,100 kW に及び最終 No. 6 スタンドでは、双電動機駆動、三重電動機形 ($2 \times 3 \times 950$ kW, 300/635 rpm) またリールは三重電動機電動機の並列運転方式 (6×300 kW, 196/1,000 rpm) を用い、低慣性電動機としている。

わが国のセンジミル用電動機品はすべて日立製作所にて製作され、すでに 20 数セットに及んでいる。センジミルはワークロールが小さいため 4 H コールドミルに比べ電動機の回転数が高い特長がある。日新製鋼株式会社納 (ZR-22-50) では圧延速度が 820 m/min で、主ロールは双電動機駆動 ($2 \times 1,850$ kW 250/550 rpm), リールは三重電動機形 (3×950 kW, 150/600 rpm) の世界最大級設備



第 2 図 分塊圧延機用主電動機電動機子スパイダ構造の進歩

である。第 1 図は過去数年におけるセンジミルの発展の跡を示している。

以下紹介したように圧延スタンドおよびリールの駆動容量あるいは回転数の増大は著しいものがあるが、これらに対処した回転機の設計製作上の進歩について二、三述べてみたい。

(1) 重量の軽減

製作費低減に対して重量の軽減が有力な手段であることはいうまでもないが最近の分塊または厚板圧延機用主電動機のように回転子重量が数十トンに及ぶものでは据え付け、分解用のクレーン重量を左右する場合があります。単機の重量軽減は建家を含む設備費の節約に連なる重要性を有している。この場合性能すなわち温度上昇、整流、過負荷耐量などをいささかも低下させずに重量軽減を行なうことが主眼であることはいうまでもなく、電氣的ならびに機械的設計、製作の全般に及ぶ技術の進歩と関連している。一例として電動機子鉄心の直径 (D) と長さ (L) の選定を考えてみよう。重量に比例する D^2L は一般に認められているように電動機の出力、回転数などが与えられるとほぼ定まるものであり、これを小さくするためには耐熱絶縁材の使用、あるいは進歩した通風冷却の採用などが必要であり、また D を小さくすることは、 GD^2 の低軽のほかに実設計上 D^2L が同一でも、全体重量は若干軽くなるものであるが、必然的に整流子片間電圧およびリアクタンス電圧の増大となるから、これらを補う技術的進歩がなくてはならない。機械的な面では、まずいかにして各部の強度あるいは剛性の協調をとりむだを省くかということ、次に材料の選定と使用方法であろう。

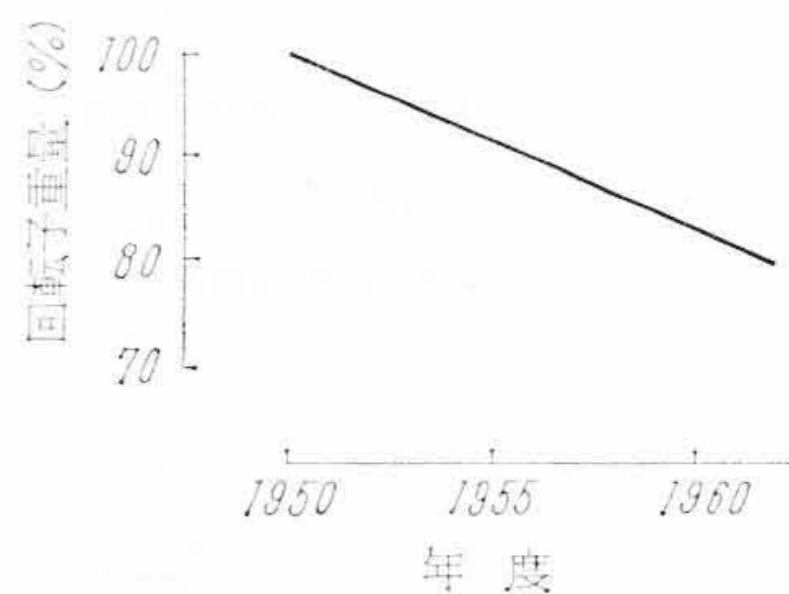
日立製作所では戦前より多数の大形直流機を製作してきたが、軽くて強い電動機の製作に不断の努力を傾けておりその一例として第 2 図に示す分塊圧延機用双電動機駆動二重電動機形、直流電動機の電動機構造は、ここ数年の間に (a), (b) に示すような進歩をみせ、軸鉄構造、製法の進歩とともに D^2L の低減も行なわれており、電動機重量あるいは GD^2 は実に約 80% に減じている。

第 3 図はこの種大形直流機電動機の最近数年間における軽量化の傾向を示している。

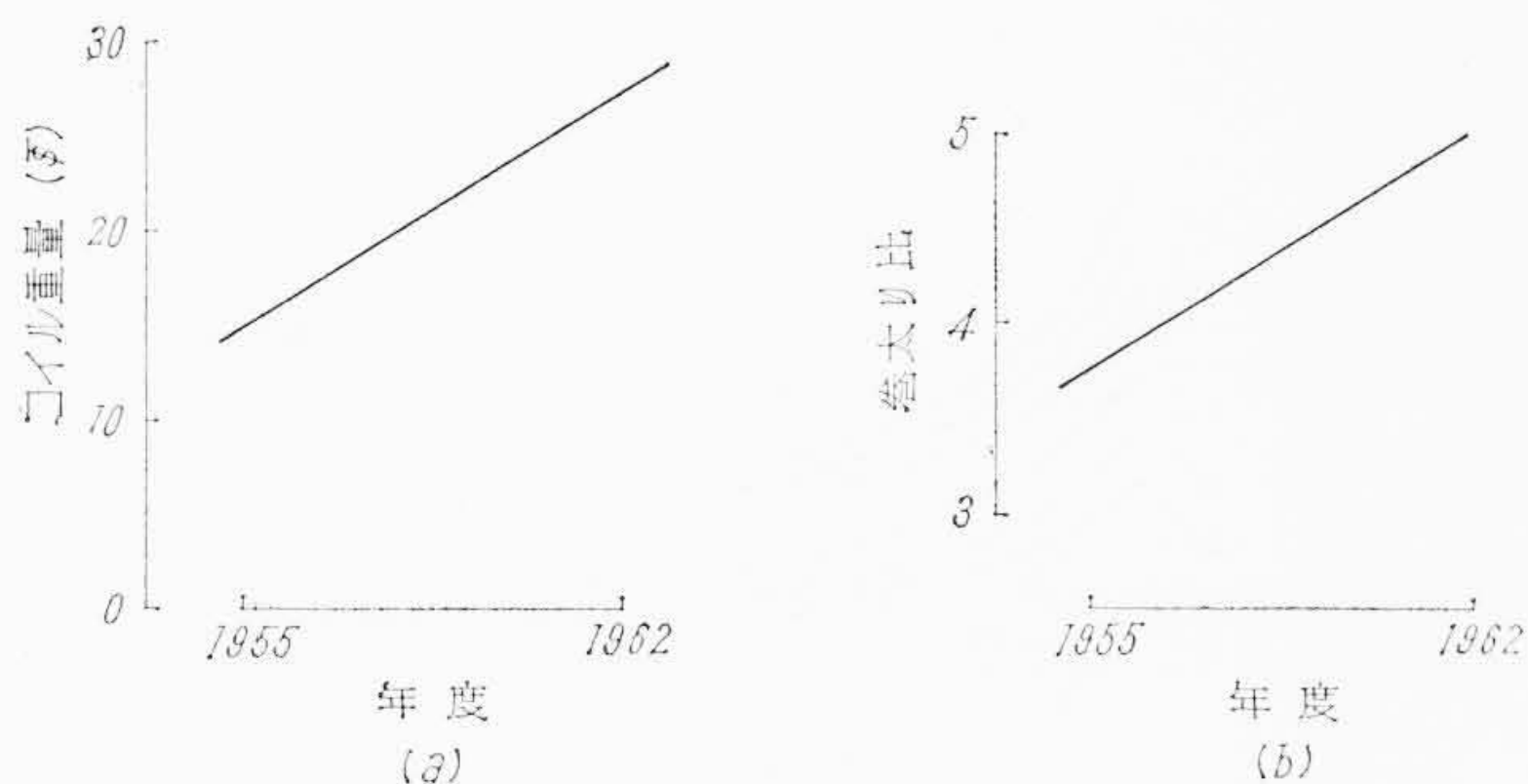
(2) 低慣性駆動方式

圧延機駆動系の動特性は電動機の GD^2 によって左右されるといっても過言ではない。一般にタンデムコールドミルを除いては、機械側の GD^2 は電動機軸においては電動機自体の値に対してせいぜい 10% であり、電動機の GD^2 が問題となるゆえである。これを低減するにはまず回転子重量、寸法を軽減することであるが整流能力そのほかより決まる限度がある。さらに最近の高速大容量圧延設備では一機で駆動するとすれば直流機の限界出力を超過する場合さえあり、しかも所要の短時間内で加減速を行なうには、過大な慣性トルクを要する場合が多い。

このようなときは電動機を適宜分割する方法が採用される。また最近の高速センジマーミルあるいはアル



第 3 図 大形直流電動機電動機子重量の軽量化



第4図 冷間圧延コイルの重量および巻太り比の推移

ミはく圧延機のように厚板より極薄板の圧延まで1機で行なうものでは張力制御性能の点より2電動機間にクラッチを入れ適宜切入する方式もとられている。

第4図は冷間圧延鋼板コイルに例をとり最近数年における最大級コイルの傾向を示したもので、生産能率、歩どまり向上を目的とした重量の増大、さらには極薄鋼板巻き取りのための内径の縮小に伴う巻太り比の増大などにより、必然的に巻取機駆動電動機の容量、速度、界磁制御範囲、あるいは慣性力などもまた増大する傾向にある。

第5図は現在採用されている電動機の各種分割駆動形式の代表例を示したものである。

(3) 巻線方式ならびに絶縁材料の進歩

電機子巻線方式としては小容量機では波巻、大容量機では均圧線付重巻が採用されるが、大容量機あるいは高速の圧延用直流機に対して日立製作所では重波巻方式を採用している。この巻線は重巻、波巻両方の長所を有しており均圧線が不要であるにもかかわらず均圧作用が完全という特長がある。

絶縁材料の進歩も著しくB種絶縁線においては各素線および対地絶縁にはすべてマイカまたはガラスなど無機材料を使用し、固定子には電気的および機械的に性能のすぐれたポリエステルワニス採用などである。また、H種絶縁も盛んに用いられ、住友金属工業株式会社和歌山製鉄所80"ホットストリップミル補機用直流電動機約800台は全部がH種絶縁である。

(4) 整流子製作精度の向上

整流子は名実ともに直流機の心臓部であり、特に限界容量付近の直流機の整流の良否は、その大部分が整流子の製作精度にかかっている。普通機においても運転中にハイパーあるいはローパーなどの表面のでこぼこを生ずると、整流火花の発生となり、ブラックバーを生ずることもある。したがって整流子の製作にあたっては「精度」と「この精度の永久維持」が2大眼目であり、日立製作所では特に大容量直流機に対しては、特級規格を制定して材料の選択、組み立て、精度判定、加工、シーズニングなどに厳格な作業を行なっている。整流子製作のための特殊ターニングプレス上における組み立て、精度測定などの一貫作業は最近の顕著な進歩の一例である。実運転中の最大運転速度に至る各状態における整流子面の諸ひずみは特殊表面測定装置により非接触的に測定して最終的な確認を行なっている。

(5) 積層継鉄構造

継鉄を薄鋼板の積層構造とすると普通の中身の厚鋼板の場合に比べて磁束変化時の渦電流による磁束遅れがなくなるので、(1)主極磁束の時定数が小さくなり制御性能が向上する、(2)主回路電流に対する補極磁束の追従がよく過渡時の整流が改善される、などの利点がある。ただし積層構造は継鉄厚みが中実厚鋼板構造よりも大きくなり、機械の外径寸法が大きくなるので寸法制限た

駆動形式	実施例
 単機駆動	全 般
 2電動機駆動	全 般
 3電動機駆動	冷間圧延機および巻取機
 クラッチ切離方式 (1機単位)	巻 取 機
 クラッチ切離方式 (2機単位)	巻 取 機
 並列駆動 (1機単位)	巻 取 機
 並列駆動 (3機単位)	巻 取 機
 並列クラッチ切離方式	巻 取 機 (主としてアルミはく圧延機)
 並列クラッチ切離方式	巻 取 機 (主としてアルミはく圧延機)
 単機双駆動方式	大容量熱間および冷間圧延機
 2機双駆動方式	大容量熱間および冷間圧延機

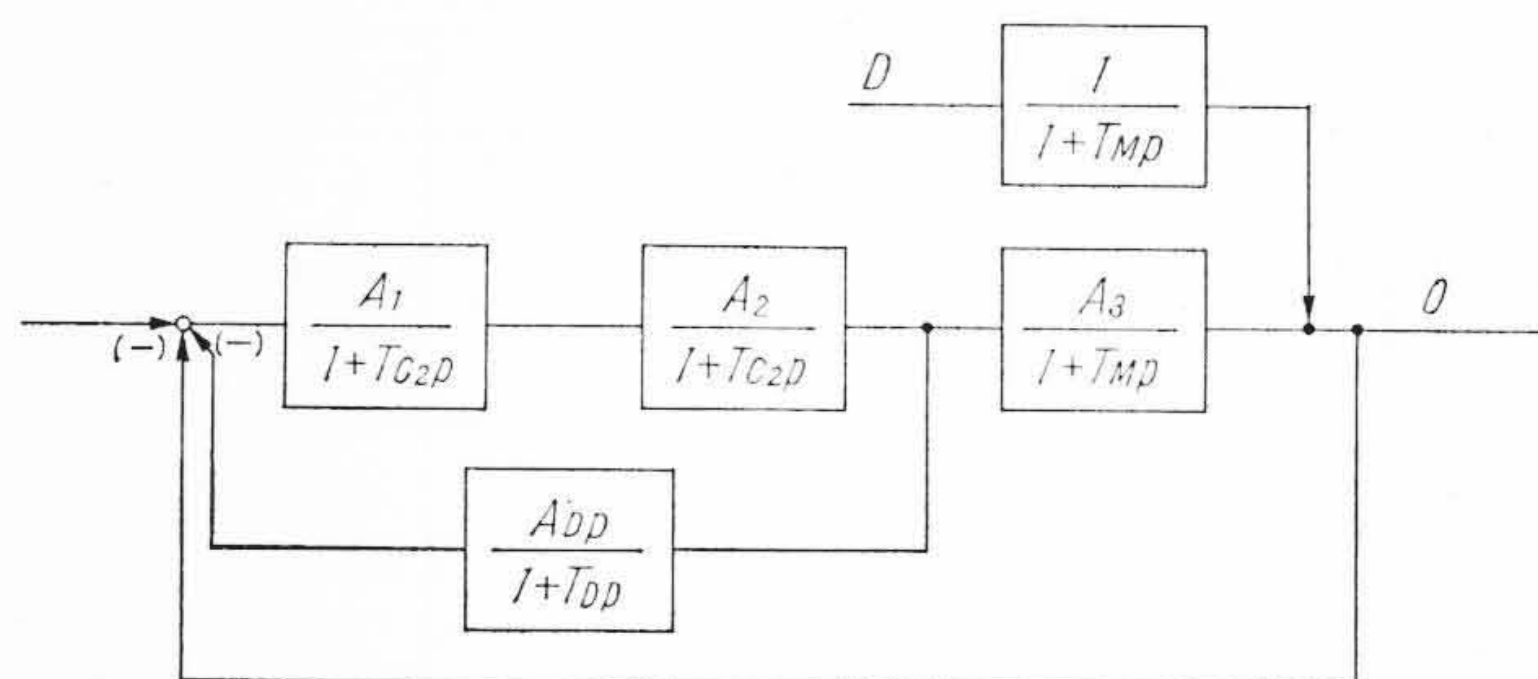
注: M: 電動機 C: 機械的クラッチ(脱着可能)
G: 減速機またはベニオンスタンド
矢印は機械側を示す

第5図 各種分割駆動形式

たとえば双電動機駆動における上下電動機間の中心間距離に制限がある場合に継鉄の一部切りかぎを行なうなど特別の考慮が必要な場合があり、また製作費も若干高いという不利はまぬがれないので、通常難整流機でかつ急変負荷がかかる分塊または厚板用イルグナ発電機、タンデムコールドミル用主発電機、ホットストリップ仕上ミル用主電動機などに採用されている。これらは通常(2)の過渡整流改善を目的としたものであるが、高速応度の増幅発電機などでは(1)の主極磁束の時定数短縮を目的として積層構造が採用される場合がある。

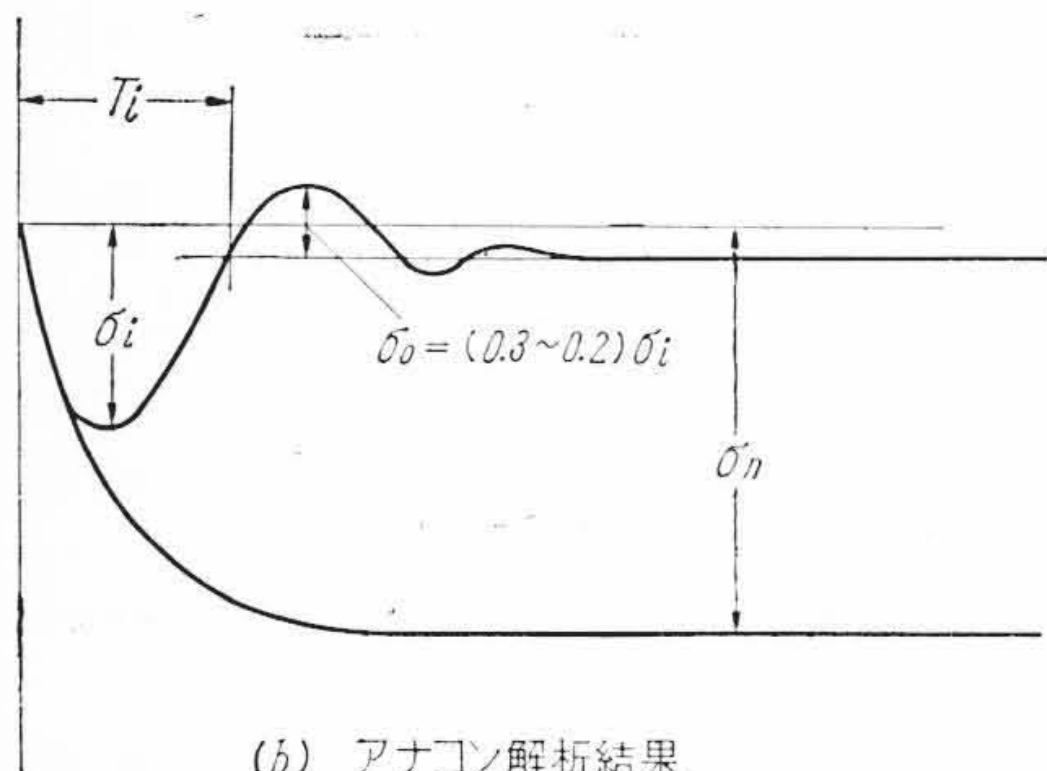
2.2 静止レオナード設備の進展

水銀整流器の利点は、即応性がすぐれ、制御利得が大きく定格電圧付近での能率がよいことがあげられ、欠点としては電流の可逆性がなく低格子率での力率能率が悪いことである。また交流電源の変



ループ利得 $G = A_1 \times A_2 \times A_3$

(a) ブロック線図



(b) アナコン解析結果

第 6 図 自動速度制御系

動は直流出力電圧に直流負荷電流の変化は直接交流側に影響を及ぼす欠点もある。これらの欠点にもかかわらず前述の大きな利点のため連続運転を行なう線材ミル、ホットストリップミルなどに使用され、また一部可逆運転を行なう分塊、プレートミル、およびその補機などにも使用されている。前者は連続運転効率のよいこと、保守が容易であること、および制御性能がよいため瞬時速度降下が小さく回復時間が短いことなどの利点のため採用されている。後者は水銀整流器の非可逆性のため不利な面はあるがすぐれた即応性により、急速加減速ができる利点があり電源の大きな工場に採用されつつある。

(1) 定速度制御用静止レオナード設備

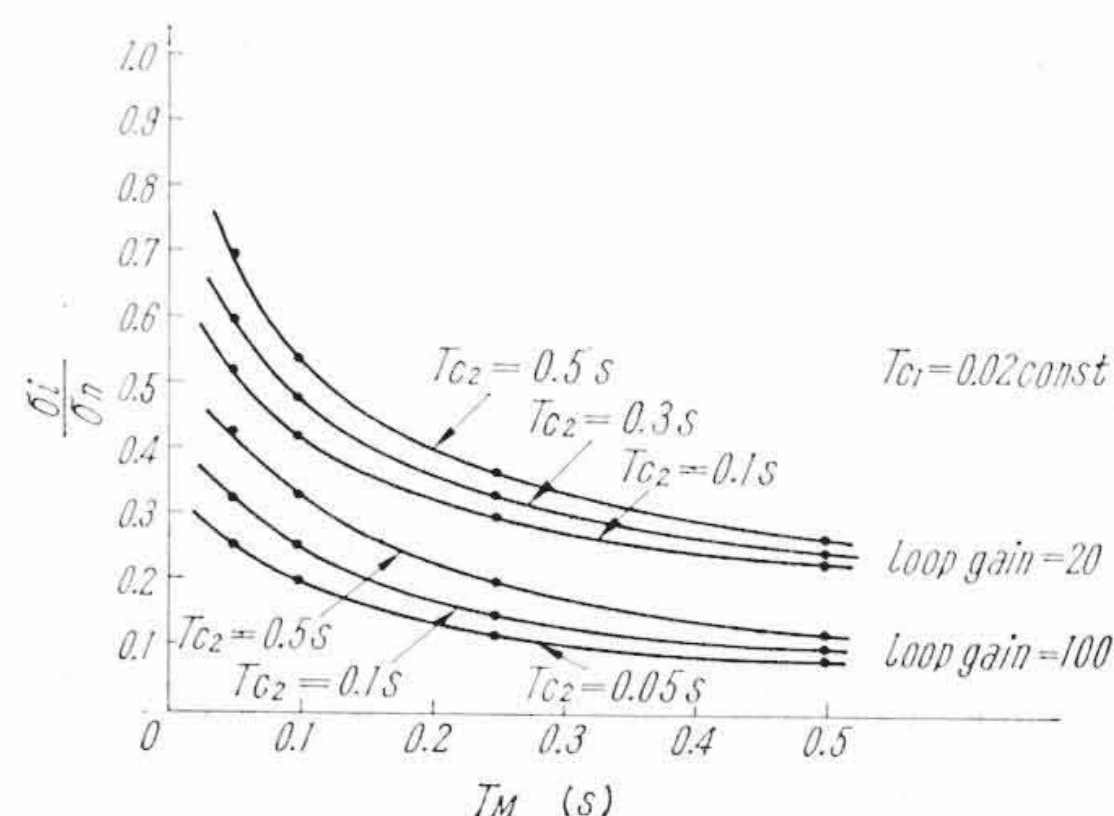
定速度制御結果である瞬時降下(σ_i)と回復時間(T_i)は

$$\sigma_i = \frac{\sigma_n}{\omega_0 T_M} \left(\begin{array}{l} \sigma_n: \text{無制御の場合の速度降下率}(\%) \\ T_M: \text{機械的時定数}(s) \\ \omega_0: \text{制御系全体の自由振動角周波数}(\text{rad/s}) \end{array} \right)$$

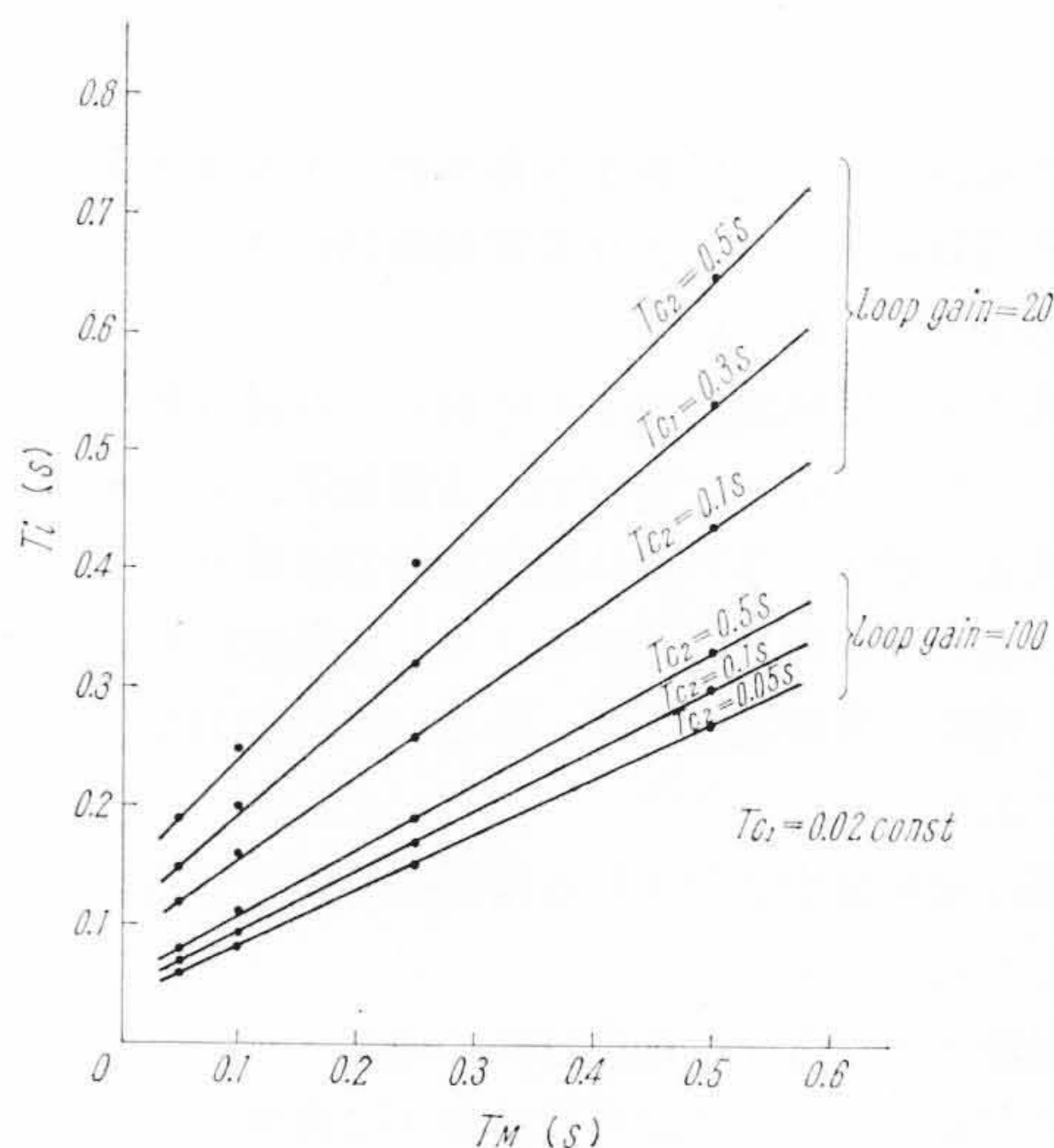
$$T_i = \frac{4}{\omega_0}$$

で示されることは多くの文献ですでに発表済みである。古くは線材圧延機やホットストリップミルの電動機は GD^2 を大きくして回復時間は延びるが、瞬時降下を押える方向にあったが制御性能が向上した現在では GD^2 を極力小さくして回復時間を短くするとともに、制御系のループ利得を大きくし時定数を小さくすることにより瞬時降下もより小さくする傾向である。

すなわち第 6 図(a)のようなブロック線図において、古くは制御系の時定数は $TC_1=0.02$ s, $TC_2=0.3$ s くらいでそのループ利得も 20 以下であったが、最近では TC_1 に相当するものが 2 段階増幅されその合計時定数が 0.02 秒で、 $TC_2=0.05$ 秒くらいでループ利得が 100 以上をうることができる。この系でアナコン解析の解が第 6 図(b)に示すような波形となるよう $TC_1=0.02$ 秒として TC_2 の各種値に対し T_M と σ_n/σ_i , T_M と T_i との関係を解析した結果まとめた図表が第 7 図(a)および(b)である。図より古くは $TC_1=0.02$, $TC_2=0.3$, $G=20$, $T_M=0.3$ 秒のときの $T_i=0.36$ 秒, $\sigma_n/\sigma_i=0.3$, $\sigma_n=5\%$ とすると $\sigma_i=1.5\%$ であったが、最近では $TC_1=0.02$, $TC_2=0.05$, $G=100$ で $T_M=0.1$ に減少しても $T_i=0.08$ 秒, $\sigma_n/\sigma_i=0.2$ が得られ $\sigma_n=5\%$ として $\sigma_i=1\%$ の高性能を



(a)



(b)

第 7 図 アナコン解析結果

ることができる。実際には、アナコン解析結果をそのまま生で採用できず、回復時の電流の最大値、主回路時定数などのため、補正を要するが、制御性能の向上は電動機の GD^2 の減少を十分カバーできるのである。

日立製作所の実績は多く文献に発表されているのでそれを参照願いたい。

水銀整流器の保守上の問題は逆弧であるがまず逆弧を生じさせないようにすること、これに対しては (i) 格子回路の改善 (ii) 温度制御の改善 (iii) キュービクル収納などにより逆弧の回数は著して減少した。次に逆弧が生じてその相のみを切り離し欠相継続運転を行ない時期をみて逆弧相を再閉路し圧延に支障を及ぼさないようにすることである。このため陽極遮断器の開発を行ない⁽³⁾、住友金属工業株式会社納 80" ホットストリップミルに採用し好結果を得た。

(2) 水銀整流器による電動機可逆運転

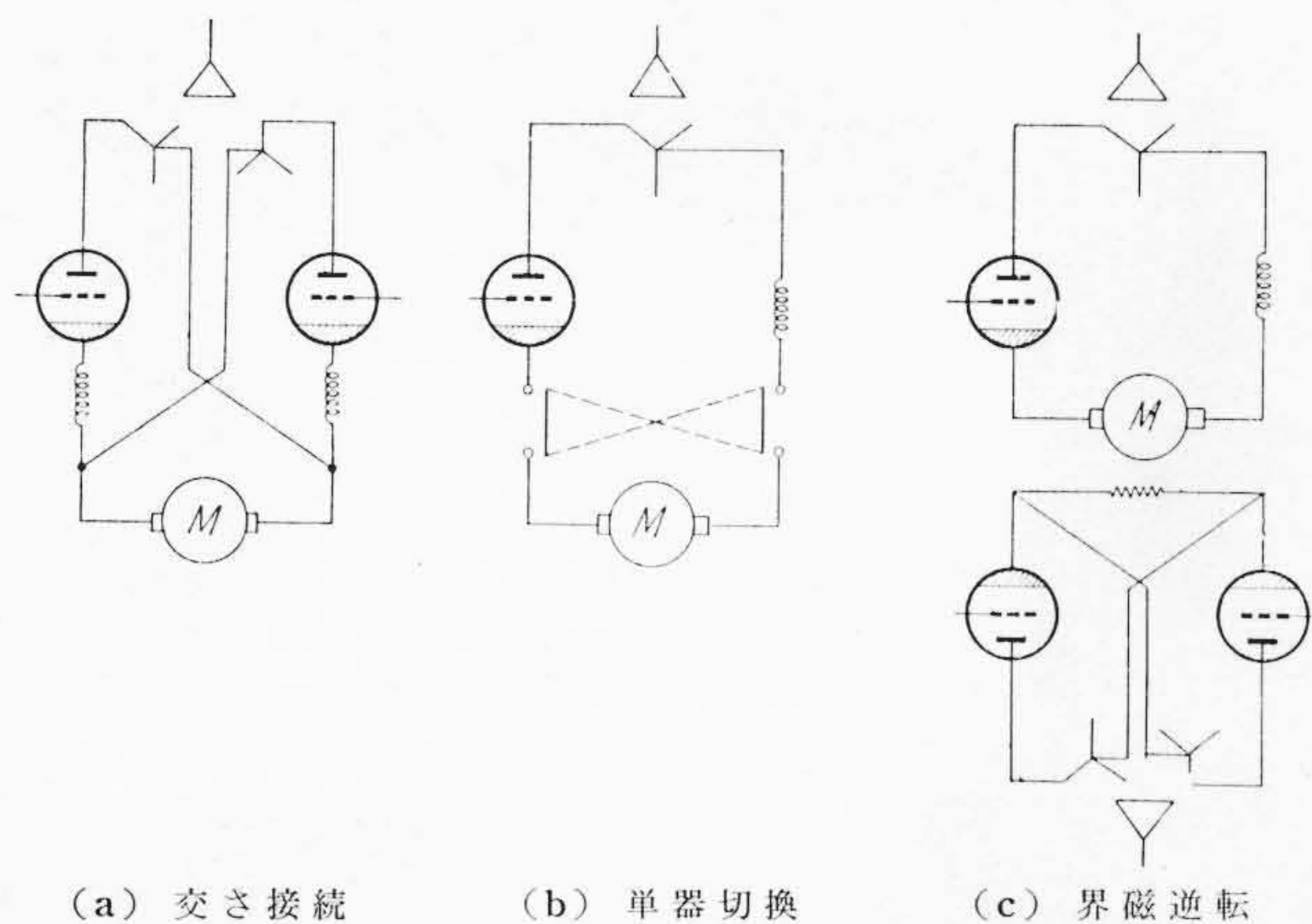
水銀整流器による電動機の可逆運転は、従来の M-G 方式に比べ格子制御による制御の速応性がすぐれているため、加減速、精度などに良好な運転特性を得られる点、振動、騒音が少なく、ブラッシュなどの点検交換も不要で保守が容易である点などのため、最近しだいに広く採用される方向に向っている。

電動機可逆運転の接続方式は次の三方式に大別される。

- (i) 交差接続方式
- (ii) 単器切換方式
- (iii) 界磁切換方式

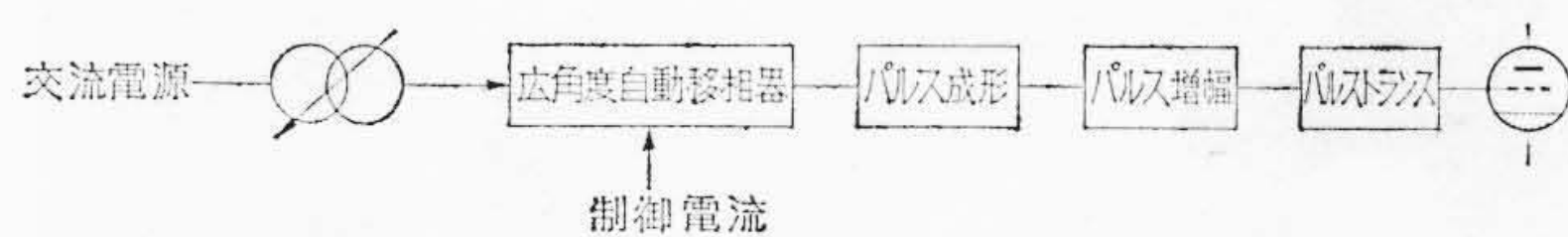
第 8 図に各接続の概略結線を示す。

(i) の交差接続方式は水銀整流器装置を 2 セット使用し、1 台を順変換装置、他の 1 台を逆変換装置として用いて正逆転加速、および減速を行なうもので設備費は大となるが、制御性能は最も



(a) 交さ接続 (b) 単器切換 (c) 界磁逆転

第8図 水銀整流器各種接続方式



第9図 広角度移相装置ブロック図

すぐれており急速な加減速を要するものに適している。

(ii)の単基切換方式は水銀整流器、電源変圧器などの装置が(i)の約半分ですみ設備費は(i)に比べて小さい点がすぐれているが主回路切換開閉器が必要であるため容量上および逆転時間上の制限を受ける。しかし最近の主回路切換開閉器の進歩によりかなり大容量および短時間の逆転運転が可能である。

(iii)の界磁切換は、界磁電流方向を切り換えるため(ii)のような主回路開閉器は不要であるが、界磁制御用の整流器が別に2セット必要であり、また逆転の際のむだ時間も長いので急速な逆転を必要とするところに不適であるので以下交さ接続方式と単基切換方式について述べる。

2.2.1 交さ接続方式

交さ接続方式は、主回路の機械的な切り換えは不要であり、2台の整流器の1台を順変換器1台を逆変換器として使用し、電動機を加減速を速行的に行なうことが可能であり最も良好な運転特性をうることができるが順変換整流器、逆変換整流器の間に循環電流制御を行なう必要がある。

(1) 広角度移相器

整流器を順変換器および逆変換器として使用する際には、自動移相器は、広範囲に安定に動作することが要求されるが、日立製作所においては半サイクル応答の磁気的要素とトランジスタを用いて、下記のような特長ある自動移相器を完成することができた。

1. 150度以上の広角度の移相が直線的に行なわれる。
2. きわめて速応性にすぐれており半サイクルで応答する。
3. 出力波形はほぼ完全な方形波形である。
4. 出力電圧の変動は全制御範囲にわたり、電源電圧の変動 $\pm 20\%$ を考慮しても $\pm 10\%$ 以内である。
5. 移相後パルス増幅する方式を用いているので小入力で動作する。
6. トランジスタ増幅を用いているので小形軽量で

ある。

第9図に広角移相器のブロック図を示す。

(2) 電圧制御

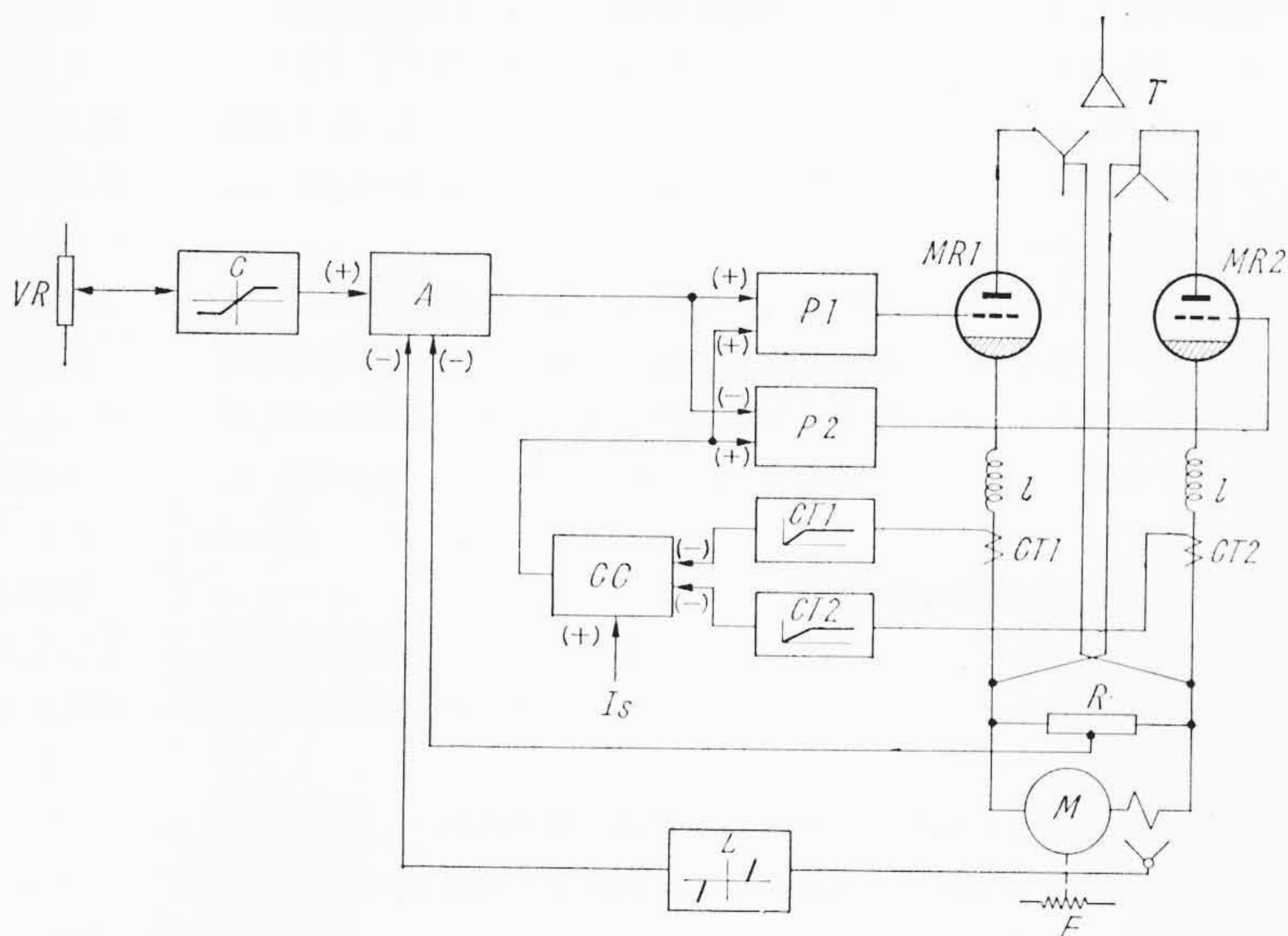
第10図に制御系のブロック線図を示す。

正逆転指令は、正あるいは負の電圧として指令装置Cに与えられる。Cは速応性の高い水銀整流器制御用として磁気増幅器形演算増幅器を用いて特に設計された指令装置でステップ状の入力電圧指令に対し考えられる最大の加速電圧上昇率に合わせた直線増加率の電圧を発生する。

指令装置出力は、水銀整流器出力と比較され差電圧は増幅器で増幅前述の広角度移相器に与えられ、電圧を指令値に追従せしめる。電動機負荷電流は、負荷の状況により大幅に変わることが多いが、その場合にも電動機は常に許容電流値いっぱいに加減速することが望ましいので、電動機負荷電流は制限装置Lを通して帰還され、電動機電流は許容値以内に保たれる。この際入力電圧指令は、積分形の直線上昇で増加するため、過電流制限系の応答が電圧制御系の変化よりも早く動作し安定な過電流制限による加減速が得られる。

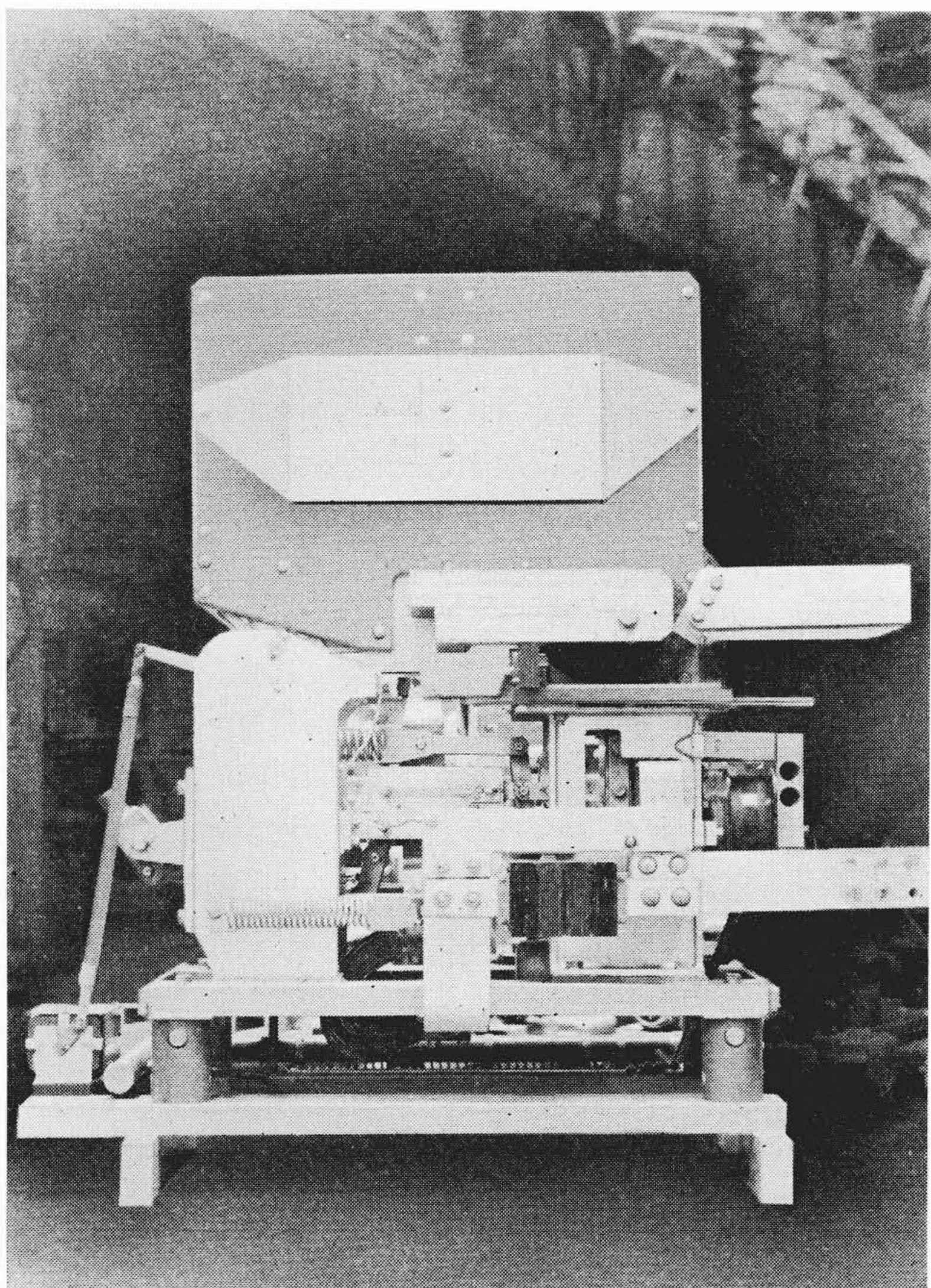
(3) 循環電流制御

交さ接続方式では、順変換整流器と逆変換整流器の間に、制御角が定まる交流電流が流れるほか、逆変換器進み角 γ が、順変換器制御角 α より大きいと、直流的な循環電流ICCが流れる。ICCは大となると水銀整流器容量上問題であり、また小さすぎると正逆転の際の運転が円滑にいかないため、ICCを一定の値の範囲に押える制御が行なわれる。第10図において、順変換整流器電流および逆変換整流器電流は循環電流制御装置CCに与えられる。CCは特別に設計された半サイクル応答の磁気増幅器よりなり、順変換電流、逆変換器電流はリミッタ作用を経て加算され一定基準値と比較される。差電圧は増幅されて直接広角自動移相器に与えられ、速応性に富んだ循環電流制御が行なわれる。したがって循環電流は負荷電流が大きい間は一定値を

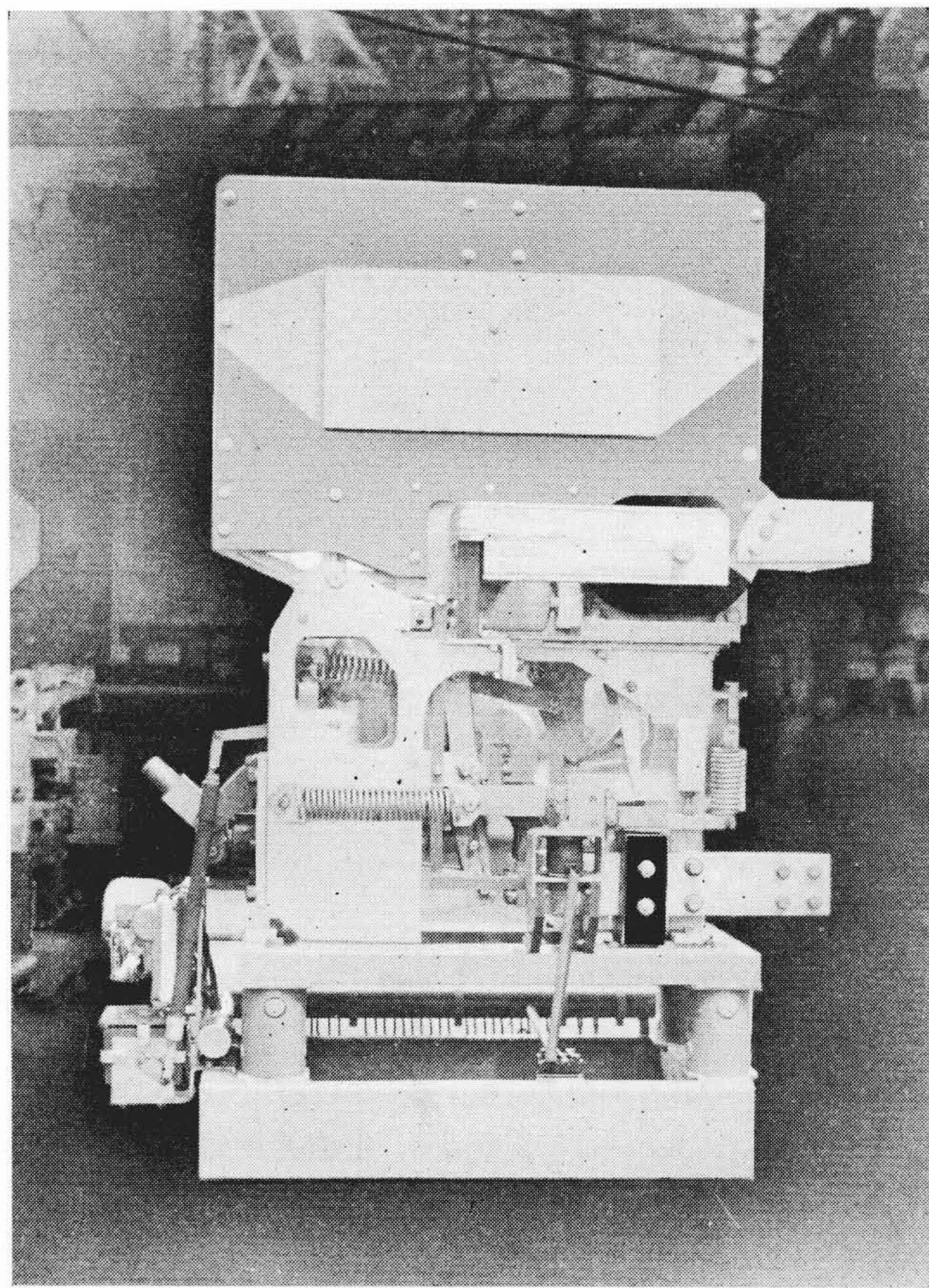


- C: 指令装置
A: 増幅器
P1, P2: 自動移相器
CC: 循環電流制御増幅器
GT1, CT2: 直流CT
M: 電動機
L: 電流制限装置
MR1, MR2: 水銀整流器
VR: 電圧指令抵抗器
L: リアクトル
T: 電源変圧
Is: 循環電流基準値

第10図 交さ接続制御ブロック図



第 11 図 両方向性高速度遮断器



第 12 図 準高速度遮断器

保ち負荷電流が小さくなると増加するように制御され、正逆転の移り変わりが円滑に行なわれる。

2.2.2 単基切換方式

単基切換方式は、変圧器、水銀整流器が交差接続の半分がよく、経済的な方式であるため、主回路切換開閉器とその制御装置のための制約はあるが、中形、小形の電動機の制御方式としてきわめて有用である。格子制御回路、電圧制御回路としては、交差接続の場合と同様であるため省略し、単基切り換えに固有の切換方式についての概説する。

単基切換方式では、逆転あるいは減速の際、順変換器として運転していた整流器を逆変換器の制御範囲に移し、無電流で主回路切換開閉器を切り換え過電流制限装置の兼用により急速加減速運転で好成績を得た。本特集欄で別に発表したのをご参照願いたい。

2.3 主回路直流遮断器の開発

電動機の大容量化については前述したが、これにより実遮断電流の大きな遮断器を必要とする。電動機の保護上より遮断器に望む点は次の 3 点で

- (1) 動作開始より限流点までの時間は可及的に短く、限流点より遮断完了までの時間は割合に長く、遮断時の回転機の電機子に生ずるピーク電圧が小さいこと。
- (2) 電流上昇率が $1 \times 10^4 \text{ A/s}$ 以上のときは動作目盛より小さい値で動作開始する選択性を存すること。
- (3) 遮断容量が電動機の定格電流の 10 倍以上で実遮断電流が 3 倍以上を有すること。

以上の 3 点より日立製作所は次の 2 種の遮断器を開発した。すなわち電流上昇率が $1 \times 10^6 \text{ A/s}$ 以上の過負荷が予想されるものは、両方向性高速度遮断器を、 $3 \times 10^5 \text{ A/s}$ 以下の上昇率の場合は準高速度遮断器を適用し電動機の保護を行なっている。

前者は第 11 図に示すような外観で動作開始より限流点までの時間は 10 ms～15 ms(電流 6,000 A のものは 20 ms～25 ms)限流点より遮断完了までの時間が 25 ms で $3 \times 10^6 \text{ A/s}$ のとき約動作目盛の 50% の値より動作開始するものである。

遮断容量は 50 kA を有するものとなっている。

また準高速度遮断器は第 12 図に示すような外観のもので動作開始より限流点までの時間が 30 ms (8,000 A 程度になると 50 ms) で限流点から遮断完了までが同様 30 ms のもので選択状にほとんどないものである。

実遮断容量は 20～50 kA である。

両方向性高速度遮断器は主として分塊ミル、プレートミルなどに使用し、準高速度遮断器は、ホットストリップ仕上ミルや、コールドストリップミルに適用している。

2.4 制御回路へのエレクトロニックスの導入

製鉄工業のオートメーションは、他産業に比べ最近の進歩には著しいものがあり、特に制御回路へのエレクトロニックスの導入はその大きな役割を果たしている。

これらのうちおもなものをあげると

- (1) 制御回路の無接点化
- (2) プログラム自動運転
- (3) 自動板厚制御
- (4) データ処理装置とコンピュータ制御
- (5) 遠隔操作

などがあげられる。

(1) 制御回路の無接点化

操作開閉器や、押ボタンをはじめリミットスイッチなども無接点化し、操作回路を論理素ヒタログまたはトランジログなどで組み立て、制御回路は、磁気増幅器により増幅ならびにフィードバック制御を行ないひん度の高いクレーン、圧延機主機、補機など

に、また信頼性をとうとぶコンベヤ総括制御などに適用し好成績を得ている。また磁気増幅器も 5 kW のものを製作し回転機の減少に努めている。さらに最近、SCR の採用が行なわれつつあり制御回路の無接点化、静止化は著しい進歩をみせた。利点としては (a) 信頼性の向上、(b) 保守が容易、(c) 寿命が長い、などがあげられる。

(2) プログラム自動運転

可逆熱間圧延機圧延作業の能率化と製品の均一性のためこのミルのプログラム自動運転装置が開発され現在納入済みの東都製鋼株式会社、日新製鋼株式会社、住友金属工業株式会社のものは好調に運転にはいり、大同製鋼株式会社のものをさらに製作中である。

日立製作所は IBM カードによるプログラム運転で圧下量や開閉量のデジタル比較を行ない、精度の向上に努め、カードには主ロール速度、ドラフト量連動テーブル範囲、圧下量、開閉量、ディスクレーシング、受入選出などがせん孔され、光電管によって自動プログラム運転を行なうものである。特に圧下、開閉量の位置決め方式には意をつくし、(a) 移動量により速度を決め、(b) 速度により減速開閉位置を決め、(c) 停止前に徐動速度を得、(d) 高精度を要求するところには自動寸動を行なうなど精度の向上と設定時間の短縮を行なっている。

(3) 自動板厚制御

ストリップ圧延設備では、圧下開閉量とゲージの関係はプレート圧延のように単純にゆかず圧延機の強性変形特性と、鋼帯の塑性変形活性に関係し自動板厚制御は厚み計の出力により圧下または張力の調整により一定厚みの製品を能率よく生産しようとするものでホットストリップ仕上ミル、タンデムコールドストリップミル、可逆コールドストリップミルなどに採用している。可逆コールドストリップミルは大阪造船株式会社、川崎製鉄株式会社、東京亜鉛、東京特殊金属株式会社などに納入され好調に運転中で歩どまりの向上に役だっている。この方式は出口厚み計により張力制御と圧下制御を行ないかつ圧延圧力計により補正制御を行なっている。圧下制御系にはサンプリング制御でオンタイムは厚み誤差に比例し、オフタイムは圧延速度に反比例するような制御を採用し系の安定化を計った。センジミアミル用は日新製鋼株式会社に納入された。その方式は、出入口に厚み計を使用し入口側厚み計より入口側張力と圧下を制御し出口側厚み計により出口張力を制御し、張力制限値に至って初めて、圧下制御系を加味する方式である。入口側では厚み計からロール下付付近までくる間をメモリーかつオフタイムとし、オンタイムは厚み量に比例するサンプリング制御を圧下制御に採用し、張力制御はオンタイム間は厚み誤差に直接関係した量で制御しオフタイムの間はオンタイムの終了時の制御量を保持し、オンタイムの開始とともに一次遅れをもって保持量よりその制御量に移る方式とした。出口側は可逆コールドストリップミルと同様の方式としたが、圧下は張力の制限に至って初めて作動させるようにした。住友金属工業株式会社ホットストリップミルに採用した方式は、X線厚み計により No. 6 スタンドの速度の調整を行ない No. 5~6 スタンド間張力を調整するもので、演算増幅器を使用し真空管を一掃し信頼性を高めた。将来 No. 4, No. 5 の圧下制御などの兼用により完全なものとなるものである。川崎製鉄株式会社の 2,170 m/min の高速タンデムコ

ールドストリップミルの自動厚み制御は、No. 1 スタンドの出口厚み計の誤差検出で No. 1 スタンドの圧下制御をサンプリングで行ない、No. 6 スタンドの出口厚み計の誤差検出で No. 6 スタンドの速度を調整し、No. 5~6 間の張力制御により板厚制御を行なうものである。以上説明を加えた方式をさらに向上させるとともに制御要素についても信頼性のあるものになるように努めている。

(4) データ処理装置と計算制御

データ処理装置は作表監視、制御を行なうもので電子計算機の導入により計算制御へと進むものである。データ処理の利点は (a) プラントの数多くのデータをほとんど時間差なく作表できること、(b) 人間の読み取り誤差を除きうること、(c) 1 製品ごとの各プロセス工程のデータを作製し次の工程への生産資料とすること、(d) 異常の場合警報を発し、かつ異常値を朱記打刻し監視に便すること、(e) 上下整定値を越えた場合オンオフ制御が可能であることなどがあげられる。入力データとしては温度、圧力、流量をはじめ圧延工程におけるオンゲージ長、オフゲージ長、全長などの打刻も可能である。中山製鋼株式会社納センジミアミル用のものは、回転機の固定子温度、冷却空気の出入口温度、軸受油の温度、トランスの冷却油の温度などである。富士製鉄株式会社納焼結装置用のものは、温度、圧力、流量など、富士製鉄株式会社、八幡製鉄株式会社の TO プラント用は温度、圧力、流量とその積算など、住友金属工業株式会社納のものは、温度、オンゲージ長、オフゲージ長、全長などが自動データ打刻できるようになっている。そのほか必要なものは手動データ打刻し作業報告とする一方運転状況監視に役だっている。計算制御はアメリカなどで各種の炉や分塊ミル、ホットストリップミルなどに採用されつつあり、わが国でも採用の機運が高まりつつある。

日立製作所は各種のプロセス方程式の確立をはじめ、制御計算機の完成に努め、今後受注による製作実績をうることを期待している現状である。

(5) 遠隔操作

地上よりクレーンを、クレーンよりクレーンを、クレーンより地上のものを、有線または無線の搬送技術を用いて遠隔操作する方式の採用が目だってきた。搬送周波数に有線の場合は 310 kc を、無線の場合は 150 Mc を用い、信号波として 425~1,555 c/s を用い、その間 170 c/s 間隔に 10 等分し 11 種とし、それら 2 種の組み合わせにより安全性を増し、それを一信号として巻き上げ、横行、走行などの諸操作を行なわせるもので操作の減少に大なる利点がある。

住友金属工業株式会社に納入したものは有線搬送方式によりソーキングピットクレーンより地上のインゴットバギーを操作する方式で好成績を収めている。

3. 結 言

以上日立製鉄用電気品の進歩と現状について説明を加えたが、これらの完成は、製鉄産業各位の新技术の勇敢なご採用に負うところが多い点を特に強調し、今後ますます新製品のご採用をお願いするとともに日立技術陣は総力をあげてこれが完成に努力いたしたく思うものである。