

川崎製鉄・水島製鉄所納入 分塊圧延機用電気設備

長谷三千雄* 磯貝裕久**
Michio Hase Hirohisa Isogai

中野孝良** 石川淳***
Takayoshi Nakano Atsushi Ishikawa

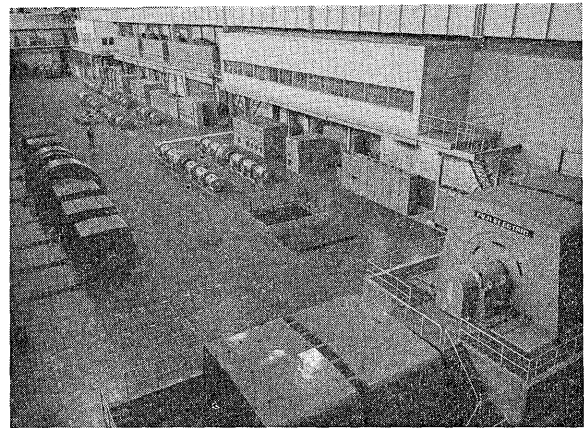
Electrical Equipment for Slabbing & Blooming Mill delivered to Mizushima Steel Works, Kawasaki Steel Corp.

Synopsis

In August 1961, operation of the modern slabbing & blooming mill was started at Mizushima Steel Works, Kawasaki Iron & Steel Corp. The electrical equipment for this mill was made by FUJI ELECTRIC CO., LTD. The main drive is powered by $2 \times 4,000$ kW 30/60 rpm DC motors arranged in top forward system fed by an Ilgner converter equipped with a dc motor (rear motor). A static Leonard converter using mercury arc rectifiers is adopted for $2 \times 1,000$ kW DC motor driving the down cut slab shear. All DC generators including Ward Leonard generators for feeding the DC auxiliary drive motors are excited by thyristors combined with transistorized regulators. As for the cover cranes on the reheating furnaces and for the ingot buggy, a telecontrol system from the pit cranes is provided.

I. ま え が き

今般当社では川崎製鉄・水島製鉄所に分塊圧延機用電気設備一式を製作し、昭和41年8月に試圧延を完了し、その後好調に営業運転を継続しているのでその内容を紹介する。主電動機は $2 \times 4,000$ kW $\pm 30/60$ rpm トップホワード方式である。主電動機用変流機としてわが国で初めてクレーマ式イルグナ変流機を採用した。近年分塊圧延機によるタンデム圧延が普及し、変流機の負荷率が増大するため、従来のイルグナ式では変流機の駆動電動機容量およびフライホイール GD^2 が必然的に大きくなる。これに対し変流機をクレーマ式として誘導電動機の二次滑り電力を変流機軸に返還させることにより、駆動電動機容量ならびにフライホイール GD^2 をかなり低減することが可能である。また誘導電動機の滑り電圧制御が純電氣的に行なわれるためその制御性能は格段にすぐれ、誘導電動機の一次入力電流を確実に制限することができること、誘導電動機の滑り電力を冷却器を介して外部に捨てずに有効に利用するため、所要電力量が節約されるとともに冷却器および冷却水が不要となることなどの利点を生じる。しかし設備費はやや高くなる。主電動機、主発電機、補機用レオナード発電機はすべてサイリスタにより励磁し、制御装置はトランジダインにより構成した。当社は各種のトランジダイン調整器の標準化を終



第1図 電気室

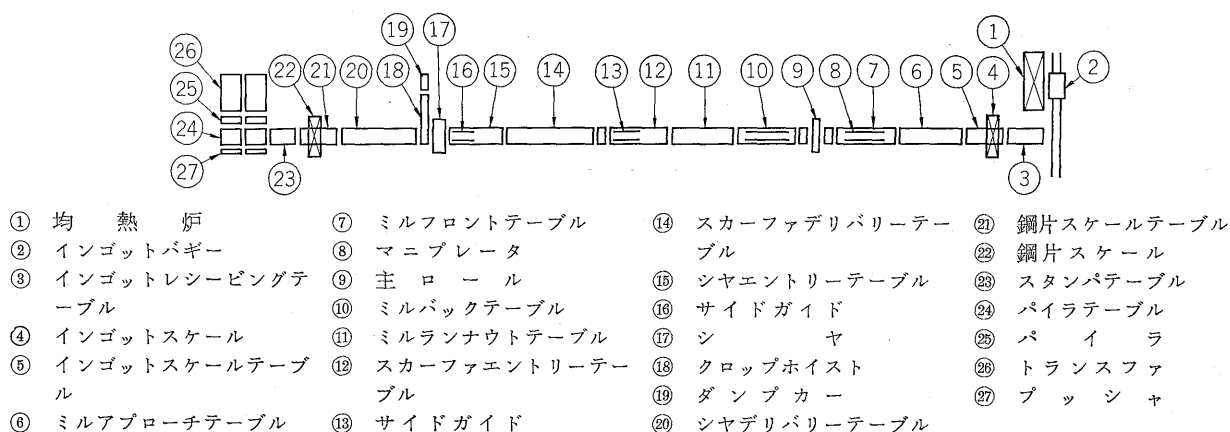
Fig. 1. Electric room

り、複雑な自動制御装置も標準の調整器を組み合わせることにより製作することができる。スラブシヤは1,000 kW 直流電動機2台により駆動されている。その電源には水銀整流器による静止レオナード方式を採用して高精度なプログラム運転を行なっている。均熱炉カバークレーンならびにインゴットバギーはピットクレーン上より遠隔制御され、インゴットバギーの自動プログラム運転装置と相まって能率よく運転される。第1図は電気室の機器配置を示す。第2図はミルヤードの機械配置の概略を示すもので、主要なる機械は日立製作所により製作された。

II. 主 機 電 気 品

1. 主ロール駆動用電動機

* 工業技術部
** 開発部
*** 川崎工場回転機部



第2図 機 械 配 置 図

Fig. 2. Arrangement of machines

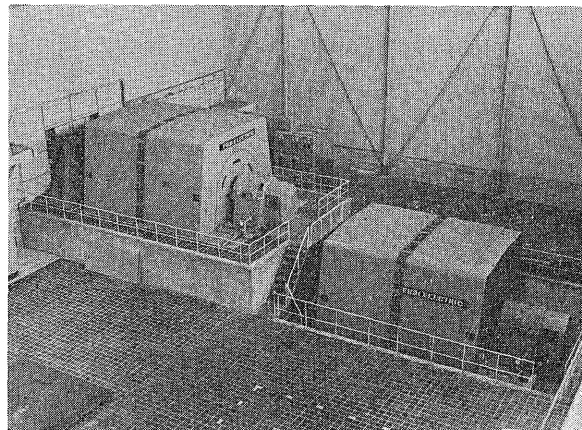
水平ロール駆動用主電動機の仕様は第1表に示すとおりで低速大容量機としては記録的なもので、界磁はサイリスタ励磁方式を採用し、サイリスタ励磁による高周波異常電圧の吸収用に集中コンデンサをそう入してある。制御方式はトランジスタ制御できわめて高能率な制御ができるようになっている。

駆動方式はいわゆるトップホード方式の双電動機駆動で第3図にその外観を示す。この方式は当社が本邦で初めて昭和36年に川崎製鉄・千葉製鉄所 2×3,750kW 厚板圧延機用主電動機に採用して以来ボトムホード方式に比較して組立、分解、保守、点検の長所が買われ、すでに本邦でも各メーカーで採用され高く評価されている。今回納入した主電動機もやはり同じトップホード方式

第1表 主 ロール 用 圧 延 電 動 機

Table 1. Specifications of main roll mill motors

台 数	2	非 常 最大回転力	357t-m (275%)
出 力	2×2,000 kW	励 磁 方 式	他励 100/600 V
電 圧	±(750+750) V	定 格	連 続
電 流	2,990 A	絶縁の種別	B 種
回 転 速 度	±30/60 rpm	温 度 上昇 限度	50 deg
常 用 最大回転力	292t-m (225%)	軸 中 心 間 離	2,450 mm

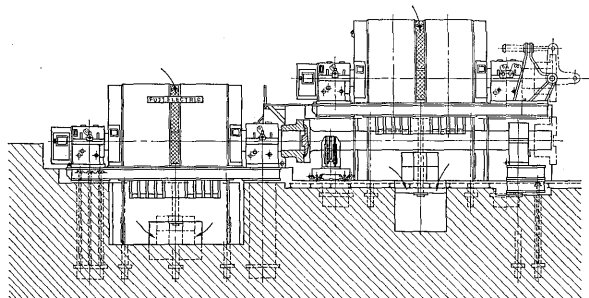


第3図 主 電 動 機

Fig. 3. Main motors

を採用したが多くの経験を生かし、さらに一層すぐれたものとした。継鉄は成層鉄心とし急激な負荷の変動に対し有効な整流特性をもたせている。電機子は GD^2 の軽減、重量の軽減を計るため中空軸 スキンストレス構造の二重電機子構造とした。そのため電気室のクレーンを小さな容量のものを選ぶことができ、また組立分解を楽にすることができた。通風冷却についてはダウンドラフト方式を採用したが冷却効果を一層効果的にするために電機子巻線、界磁巻線などの本体側の通風経路と整流子室との通風経路を区分する並列通風方式をとることにより著しく冷却効果が改善された。すなわち整流子室をライザ部の整流子側に設けた絶縁物の仕切板で仕切って構成し整流子側、反整流子側のそれぞれの吸気口から冷却空気を吸入するようにした。このようにして冷却効果をもたせると同時に、仕切板を特殊なラビリンス構造としてあるので従来問題のあったカーボン粉の巻線への付着を防止することができ保守の手間が省けることになった。巻線の冷却はこの方式を採用することにより効果的となったが、とくに電機子巻線の巻線端のクリップ接続部、ライザとの接続などは従来はんだで接続していたが、銀ろう付方式を採用することにより局所的な過熱によるはんだの落下を防止することにより回転機の弱点部の強化ができ前述の通風冷却効果とあいまって信頼性を高めることができた。軸受は高圧軸浮上給油方式を採用したが、給油系統をイルグナ変流機の潤滑油系統と連結することによる集中給油方式を採用した。すなわちイルグナの低圧油系統から高圧のブースタポンプを介して高圧給油するようになっている。このため従来各軸受ごとに設けられていた給油ポンプが不要となり保守の手間が省けるようになった。軸受個々に対する個別給油になると1台のポンプの故障により直ちに主電動機は運転不能になるが、今回採用した方式では予備のブースタポンプがあるためそのような欠点が除去された。

トップホード方式は前述のように多くの利点を持ちわが国でも数多く採用されてきたが一番の問題点は中



第4図 主電動機外形図
Fig. 4. Outline of main motors

間軸の組立分解, 中間軸受の保守点検である。これらの問題点についてわれわれは次のような考慮を払った。第4図は主電動機の外形図であるが図にみるように, ベルクランク支持台をミル側に張り出すことにより駆動側軸受の周囲が広くなり軸受の点検を容易にすると同時に駆動側整流子の点検に便利のように考慮した。中間軸支持用の中間軸受台は, 中間台床を本台床との間に設置して中間軸分解の時, 中間軸受台を容易に引出せるようにしてあり, 中間軸の分解は上電動機の下に中間軸引出用のトロッコが納められてあるのでミル側のクレーンを利用することにより容易に分解できるように考慮してある。

(実用新案申請中) なお分解のための特殊工具が用意されており従来と比較し一段と便利に設計されている。

中間軸受の保守点検は従来上電動機軸受の真下にある関係から空間的余裕がなかったが, 前述したように上電動機の駆動側軸受よりもミル側に置き, さらに上電動機の台床の合理的な構造とあいまって点検を容易にし, 分解保守に当たっても軸受台を分割構造にしてあるために分解が容易となり 3~4 時間程度で分解手入, 再組立が可能となっている。

このようにして保守点検手入の簡素化を計っているが最近のように保守管理の合理化, 人的な合理化が強く要請されるおりから今後とも maintenance free の考えが強く打出されるものと考えられる。このような基本的考え方を随所に生かし, たとえばブラシの交換に対しても継鉄から張り出すブラシロッカ方式を止め通風経路を兼ねた支持枠を設けてブラシホルダささえを支持するなどしてブラシの保守を容易にしたり, また整流子の切削工具台を容易に台床に取り付けられるようにしたり各所に maintenance free の考慮を払った。

2. イルグナ変流機

イルグナ変流機の仕様は第2表に示すとおりである。

機器の配置は第1図に示すように中央に誘導電動機とフライホイールを配置しその両側に発電機4台を2台ずつ配置し, さらにリア電動機を備えている。全長約 27m で始動装置として自動切換のパーリングギヤ装置をフラ

第2表 イルグナ変流機仕様

Table 2. Specifications of Ilgner converter

	直流発電機	三相誘導電動機	フライホイール	直流電動機
台数	4	1	1	1
出力	2,250 kW	8,000 kW	236,500 kW _{sec}	1,500 kW
電圧	750 V	11,000 V	—	607 V
電流	3,000 A			2,635 A
回転速度	480-585/600rpm			
定格	連 続			
最大出力	275%			200%

イホイールと誘導電動機の間に設けている。

このイルグナ変流機は容量的には従来とあまり変わらないものであるが, 技術的には非常に画期的な意味をもっている。すなわち

1) 同期回転速度を今までの常識を破って 600rpm に選定したこと。

2) 静止クレーマ方式の採用

の2点である。従来鉄鋼プラントにおける 2,000~3,000 kWの主発電機は 50% 地区では 500 または 428rpm を 60% 地区では 514 または 450rpm を選ぶのが通例であったが, われわれは今までの豊富な経験をもとに性能面, 信頼面を慎重に検討を重ね, ここに 600rpm の実現が可能となった。最近の実績としては富士時報 (Vol.39, No.9) にも報告されたように南極観測船“ふじ”の電気推進用 2,420 kW 850 V 600rpm の発電機が, 船内でしかもディーゼル機関直結という過酷な運転条件にもかかわらず所期の目的を果たし, 好成績な運転を続けているが, このような実績の上に立ち性能的にも, また信頼性の上でもきわめて優秀な成績を得ることができた。

さてこの信頼性に対して最も問題になるのは発電機の整流であるが鉄心寸法, スロットの形状, 巻線の導体寸法に考慮を払い, 可能な限りリアクタンス電圧の減少に努めた。ブラシについては従来の実績から最適の品種のものを選り出しブラシと整流子のしゅう動特性, 耐磨耗性, 耐ドラッグ性などについてすぐれたものとした。またブラシ保持器は定評のある定圧力形のタンデム形保持器を用い整流子とのしゅう動特性に考慮を払っている。磁気回路についても可逆圧延の変動負荷に対して補極磁束が電流変化に対しておくれ, 過不足の生ずることのないよう全磁気回路を成層構造とし, 良好な整流特性が得られるよう考慮した。その結果常用最大 225% 負荷でも無火花という好結果が得られ, 何ら不安のない良好な整流特性が得られた。次に過負荷時の温度上昇に対する耐熱性の点については主電動機とまったく同じ方法で, 電機子巻線の銀ろう付接着方式整流子と本体との並列通風

方式を採用することにより、高速小形化になってもかえってその信頼性を増したものとなっている。

なお発電機の界磁はサイリスタ励磁で、高周波異常電圧吸収のため集中コンデンサが入れてある。リア電動機についても発電機とまったく同じような設計の考慮が払ってある。

滑り制御にクレマ方式を採用した場合、誘導電動機の二次電流は多くの高周波成分を含んだ電流が流れ、誘導電動機には通常トルクのほかに脈動トルクが発生し、これがイルグナ変流機のフライホイール、発電機、誘導電動機を直結する軸系に振りトルク振動を与えることになる。これに対し振動解析を充分に行ないその振動特性を調べて軸系の設計を行なった。

誘導電動機はこのほか固定子鉄心の支持法に特殊な構造を採用して、急激な負荷変動に耐えるようにし、振動に対しても十分な考慮が払っており、また特殊構造採用により冷却効果が増し小形化することができた。回転子巻線は直流機と同じように銀ろう付方式を採用した。

フライホイールは厚板積層構造を採用して騒音低下に留意したが、クレマ方式採用により同容量のイルグナ変流機に比べ約 10% の重量軽減ができ 600rpm の過酷な運転条件にもかかわらず合理的な設計となっている。

イルグナ変流機として 600rpm の高速機の条件は非常にきびしいものであるが、構造的には小形軽量となり、そのため床面積が著しく小さくできたが回転部は小形軽量をねらって贅肉をはぶき合理的な設計となっている。高速化することは軸受としては非常にきびしいものとなるが、各機械にかかる負荷条件を考慮して軸径を選定することによって軸受の設計をした結果、セットとしてバランスのとれた運転を可能とした。軸受は集中給油方式を採用した。すなわち、給油系統は始動時に使用する軸浮上高圧油圧系統と、始動時にざん時使用する電動給油ポンプと、運転中使用するイルグナ変流機直結の給油ポンプを含む低圧油系統から成り立っている。これらの油系

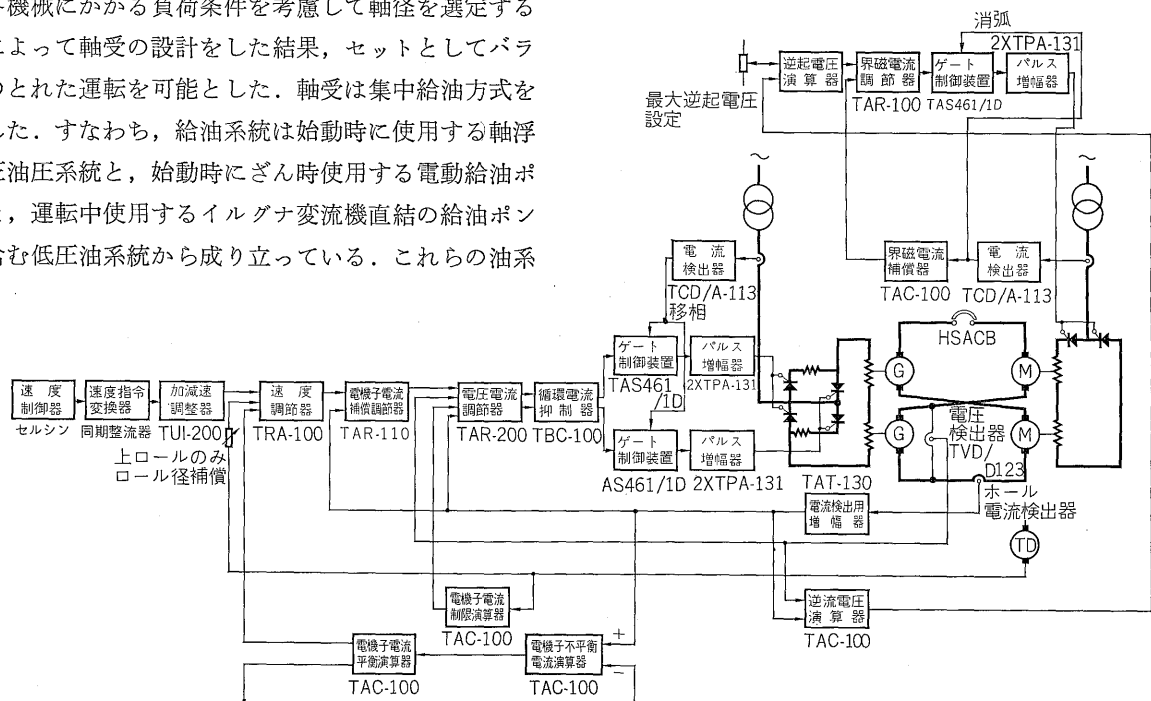
統はすべて集中給油方式をとり、始動から運転、運転中の油ポンプの故障による電動ポンプの切り換えなどすべて自動的に切り換えが可能でイルグナ変流機を停止することなく運転できるように考慮されている。このような集中給油により従来より著しく保守の手間をはぶくことができた。

3. 制 御 装 置

主電動機制御方式は第 5 図のごとくであり、トランジスタ方式で構成されている。

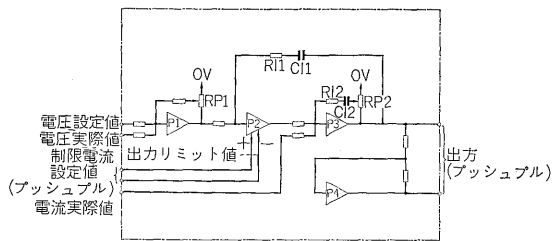
速度制御器は足踏形であるが、正転用、逆転用の 2 個のセルシンをノッチレスに操作するようになっている。2 個のセルシンの出力は速度指令変換器（同期整流器）で直流信号に変換されたのち、逆極性に加算され、加減速調整器に加えられる。速度調整器に対する速度設定値は単位関数状に変化させても、電気的には電動機の電機子電圧、電流を確実にこなっているため電動機は安全に急速に変速するが、上下ロールの速度を合わせて良好な圧延を行なうために速度制御を行なう場合には、速度調整器が飽和する期間は速度制御が行なわれないので加減速調整器で加減速度を制限する。

加減速調整器の出力は速度設定値として速度調整器に加えられる。速度調整器は PI 調整器であり、その出力は電機子電流補償調整器に加えられる。電機子電流補償調整器は低い増幅度の P 調整器であり、電動機電機子電流が弱き還されている。これは次に述べるマイナーループが電動機の端子電圧を制御しているため、分塊圧延機のように慣性の小さい負荷の場合に電動機電機子回路



第 5 図 主 電 動 機 制 御 方 式

Fig. 5. Control system block diagram for slabbing mill motors



第6図 電圧電流調節器動作原理図

Fig. 6. Operational principle of double purpose regulator

の制動が悪くなりやすいのをおさえる目的で設けられた。

電機子電流補償調節器の出力は電機子電圧設定値として電圧電流調節器に加えられる。この調節器は第6図のように特別な構成（特許出願中）となっていて、通常は両極性の電圧調節器として動作するが、電機子電流が制限値に達すると両極性の電流調節器としておのおのの最適なPI特性で動作するように作られている。第6図を説明すると、 $P1 \sim P4$ は充分増幅度の大きい増幅器である。 $P2$ の出力がリミットされない時は $P2$ の増幅度が大きいため、 $P2$ の入力より $P3$ の出力までの周波数特性はほとんど抵抗 $RI1$ とコンデンサ $CI1$ により決定され、 $P3$ に対する電流実際値の入力は $P2$ 出力がこれを相殺するように動き $P3$ の出力には表れない。 P ゲインを $P1$ の $RP1$ にて調節することによりこの調節器は通常は電圧調節器として動作する。 $P2$ は制限電流に対応した出力制限がかけられていて、電流実際値を通常は相殺する出力を出しているから、電流実際値が制限値まで大きくなると $P2$ は飽和して電圧調節器としての動作は止まる。この時 $P2$ の出力は制限電流の設定値となり、 $P3$ 、 $RP2$ 、 $CI2$ 、 $RI2$ が電流調節器として動作する。 $P4$ は $P3$ の出力と逆極性の出力を得るために付加されている。

電機子電圧をマイナーループとした理由は、発電機電圧がHSACBがしゃ断したりして速度制御回路が開放されても確実に制限できることと、分塊圧延機のように慣性の小さい負荷の場合は、電機子電流をマイナーループとすると制御の速応性を電氣的な限界まで早めてもインパクトドロップが比較的大きくなるので、電流を制限値までは早く立ち上がらせるためである。電圧電流調節器は電圧調節器としてはPI、電流調節器としては実際値入力回路に電機子回路時定数に見合った進み回路を設け、制御を早めたPID調節器になっている。

電圧電流調節器の出力は逆並列接続の発電機界磁サイリスタを制御するためにプッシュプル信号として循環電流制御器に加えられる。循環電流制御器は正逆の各サイリスタに対し静的には α と γ に一定差を設け、動的には

α の増大方向の変化速度を減少方向より早くしてサイリスタの正逆間の循環電流を規定値に押える。

循環電流制御器の出力はゲート制御装置およびパルス増幅器によりサイリスタのゲートパルスに変換される。

発電機界磁サイリスタはGTN 01-10形(200A, 1,000V)の2S 1P 6A, 純ブリッジ逆並列接続で最大出力電圧は約 $\pm 600V$ である。各サイリスタのゲート信号は立ち上りの急速なパルス信号と幅を持ったパルス信号を重ねて同時点弧を確実にしている。

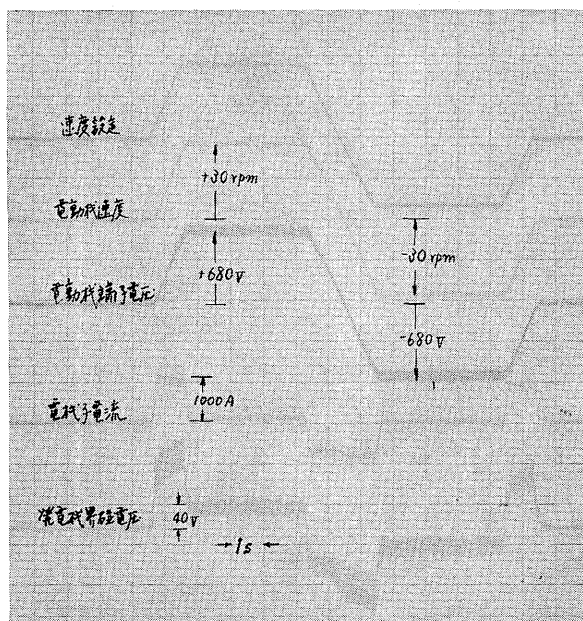
電動機の界磁電流は速度設定値が高められた場合、自動的に弱められる方式となっている。すなわち逆起電圧調節器には電動機最大逆起電圧に相当した設定値が常時加わっている。逆起電圧調節器はPI調節器であるので、電動機の逆起電圧実際値が設定値より低い時はその出力が飽和してしまう。この飽和値は界磁電流調節器に対しては、最大界磁電流設定値となっている。電動機逆起電圧が設定値より上昇しようとする時、逆起電圧調節器の飽和が解け、逆起電圧を最大値に保つように界磁電流の設定量を減少させる。この方式は電動機が過電流になり電機子電圧を下げた電流を押える制御が行なわれる時、逆起電圧が低下するので自動的に界磁が強まりトルクが増大される特長がある。なお逆起電圧は電機子電圧と電機子電流から逆起電圧演算器によって演算している。界磁電流調節器は比較的高い利得のP調節器であり、き還信号は電動機界磁のうず電流遅れを補償するために、これと等価な一次遅れ時定数を持った界磁電流補償器よりとられている。ゲート制御装置、パルス増幅器は発電機界磁と同形式のものであり、サイリスタはGTN 01-10形 2S 2P 6A 純ブリッジである。

電動機電機子電流は回転数によりやや許容制限値が変化するため、電機子電流制限演算器は速度実際値より、その値を演算して電圧電流調節器の電流設定値を与える。

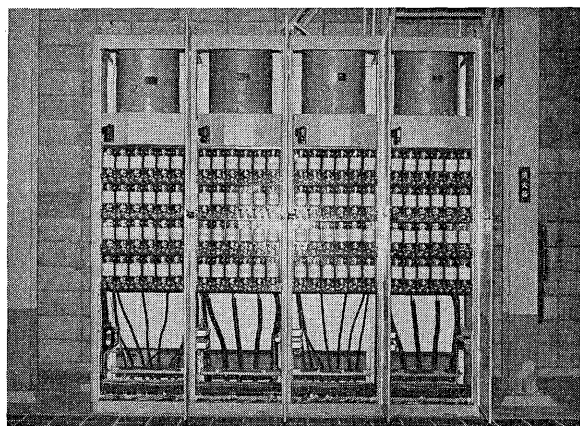
本制御方式では上下ロールの速度を合わせることが主眼としているが、上下ロールの電動機電機子電流がある程度以上アンバランスになった時は、アンバランスをある程度以内に制限するような制御をしている。すなわち電機子不平衡電流演算器は上下ロール電動機間の電流の不平衡度を演算し、電機子電流平衡演算器はこの値がある設定値を越えた時には速度調節器に不平衡度を制限する方向に信号を与える。

第7図は運転時のオシログラムである。

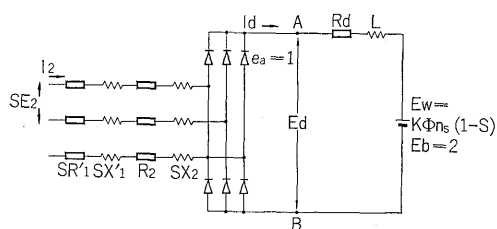
励磁用サイリスタ変換装置に収容された個々のサイリスタは、パウシュタイン構造と称しそれぞれ冷却体、ヒューズ、ヒューズ溶断警報回路、均圧用インピーダンス、ゲートパルス回路から構成された独立の単位となっている。このような単位のサイリスタパウシュタインを



第 7 図 主電動機オシログラム
Fig. 7. Oscillogram of the main motor



第 8 図 サイリスタ変換装置
Fig. 8. Exciting thyristor cubicle



SR_1' : 誘導電動機二次換算一次回路抵抗
 SX_1' : 誘導電動機二次換算一次回路リアクタンス
 R_2 : 誘導電動機二次回路抵抗
 SX_2 : 誘導電動機二次回路リアクタンス
 E_2 : $S=1$ における誘導電動機二次電圧
 $K\Phi n_s$: 同期回転数でのリア電動機起電力

第 9 図 クレーマ制御の等価回路
Fig. 9. Equivalent circuit of Krämer control

引出し構造 (トレイ式) として必要個数をキュービクルに収容して変換装置を構成する。標準形キュービクルに

は GTN 01-10 形サイリスタを最大 36 個収容可能である。第 8 図にサイリスタ変換装置を示す。

誘導電動機のクレーマ制御の主回路の等価回路は第 9 図のように表わすことができる。

リア電動機端子 $A-B$ から交流側を見た電圧は

$$E_d = 1.35 SE_2 - 0.955 (SX_1' + SX_2) I_d - \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} (SR_1' + R_2) I_d \sqrt{1-3\phi(u)} - 2 \dots (1)$$

式(1)第二項は転流リアクタンス降下, 第三項は交流側抵抗降下, 第四項は整流器降下である。

AB 点より電動機側を見ると

$$E_d = K\Phi n_s (1-S) + I_d R_d + L \frac{dI_d}{dt} + 2 \dots (2)$$

である。式(1), (2)より滑り S と直流電流 I_d の関係を求めると

$$I_d = \frac{1.35 SE_2 - K\Phi n_s (1-S) - 4}{[R_d + 0.955 (X_1' + X_2) S + 2\sqrt{\frac{2}{3}} (SR_1' + R_2) \sqrt{1-3\phi(u)} + Lp]} \dots (3)$$

ただし p : 演算子

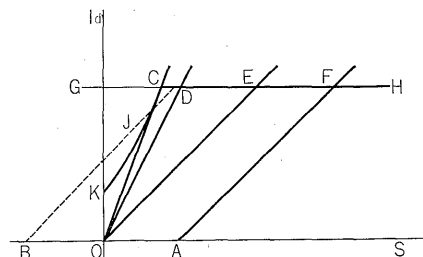
また誘導電動機二次電流 I_2 は

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{1-3\phi(u)} \cdot I_d \dots (4)$$

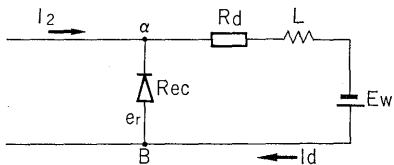
式(3)の分子は抵抗降下に相当するからこれを $R(s)$ で表わすと式(3)は近似的に式(3)で表わされる。

$$I_d = \frac{1.35 SE_2 - K\Phi n_s (1-S)}{R(s)} \dots (3')$$

これを図に示すと第 10 図であってリア電動機の界磁 Φ を強めれば電流滑り曲線はほぼ平行に右方向へ移動する。すなわちリア電動機界磁を零とすれば電流滑り曲線は $O-E$ であるが界磁を強めれば曲線は $A-F$ へ移動する。界磁を逆励磁すると逆に $B-J$ へと移動するが実際にはブリッジ結線の整流器を通して短絡電流が流れる。リア電動機逆起電力が整流器の方向と逆方向である限りは電流滑り曲線は線分 $O-E$ より右側にあるのでクレーマ電動機の最高速は無負荷でも高々滑り数パーセントまでである。



第 10 図 リア電動機電流滑り曲線
Fig. 10. Current-slip characteristics of rear motor



第11図 整流器短絡動作説明図
Fig. 11. Short circuit by rectifier

しかしリア電動機界磁を反転して整流器に短絡電流を通せばクレーマの電流滑り曲線は式(3)で $R_d + Lp$ の項が消えるので第10図の $O-D$ 上となる。すなわちそれだけクレーマ電動機の最高速を上昇させることができる。

第11図からわかるとおり交流正弦波電流 I_2 を整流器で完全短絡するには

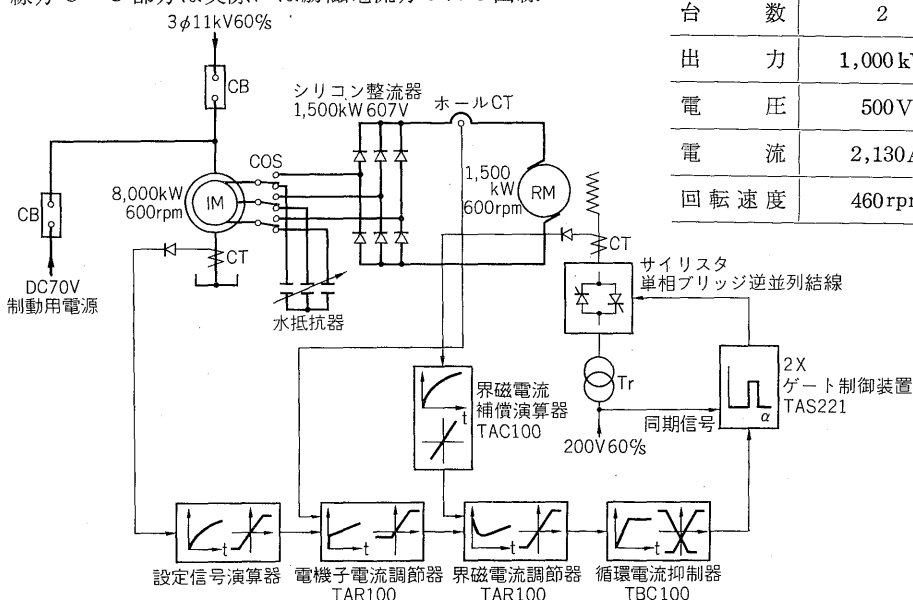
$$\sqrt{2} I_2 < I_d = \frac{E_w - e_r}{R_d} \quad \dots\dots\dots(5)$$

が必要であるから第10図で $O-D$ に相当するトルク滑り特性を得るためにはリア電動機電流は $O-C$ を流さなければならない。

第12図がイルグナ交流機制御方式のブロック図である。調節器演算器類には入出力の動特性と静特性が示してある。

イルグナ交流機は、回転数をできるだけ同期回転付近に一定に保つこと、圧延負荷時でも過電流で電源側にじょう乱を与えることを避けることが必要である。そのためにはリア電動機電流を第10図 $O-C-H$ 上に保つことである。ここで線分 $O-C$ は回転数を高めるため、整流器を短絡する範囲であり線分 $C-H$ は圧延負荷を背負う電流であり、圧延器はフライホイールを加速する電流である。

設定信号演算器は誘導電動機一次電流によって第10図 $O-C-H$ に相当する電機子電流設定値を作っている。線分 $O-C$ 部分では実際には励磁電流分のため曲線 $K-C$



第12図 イルグナ変流機制御方式

Fig. 12. Control system block diagram for Ilgner converter

となるがこれは整流器短絡動作に余裕ができるためむしろ好ましいものである。

設定信号演算器の出力は電機子電流の設定値として電機子電流調節器に入る。電機子電流の検出はホール CT によっている。電機子電流調節器は運転中は PI 調節器として動作し、電機子回路の遅れを消し、電源外乱を吸収している。

イルグナ交流機始動時は電機子電流調節器に大きなバイアス入力を与え、P 調節器をとうして後段の界磁電流調節器に一定入力を与えるようにしている。

始動は誘導電動機二次回路の切換開閉器を水抵抗器側に行かない、滑りが減少したことを滑り検出継電器で捉えて切換開閉器をリア電動機側に切り換える。このとき界磁電流は電機子電流調節器により一定分を与えられるように制御されているから突入電流はない。切換開閉器がリア電動機側に切換わると電機子電流調節器はゆっくりと PI 調節器に変わる。

界磁電流調節器は電機子電流調節器出力を設定として界磁電流を制御するものである。検出は界磁のうず電流および放電抵抗による遅れを補償するため界磁電流補償演算器を通して。界磁電流調節器の出力は循環電流抑制器、ゲート制御装置を経てリア電動機界磁用逆並列単相ブリッジ結線サイリスタを位相制御する。

III. スラブシャ用電気品

1. スラブシャ用電動機

スラブシャ用電動機の仕様は第3表のとおりである。電動式のスラブシャとしては記録的なものでその負荷条

第3表 スラブシャ用電動機仕様

Table 3. Specifications of slab shear drive motors

台数	2	常用最大回転力	7.41 t-m (350%)
出力	1,000 kW	非常最大回転力	8.05 t-m (380%)
電圧	500V	励磁方式	他励 220/2V
電流	2,130A	定格	連続
回転速度	460 rpm	絶縁の種別	B 種

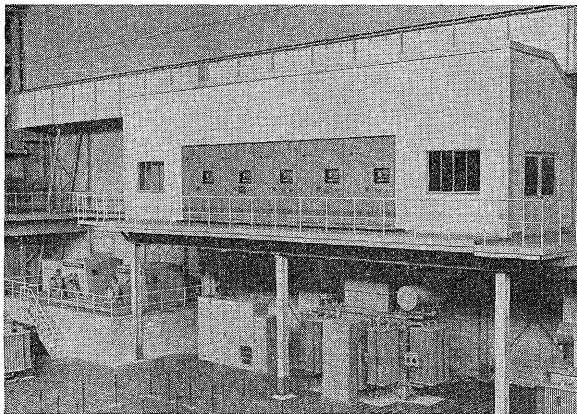
件はきわめてきびしく 350% 30 秒間の過負荷に耐え、また極度にはずみ車効果を切りつめた設計になっている。電動機の配置は2台の電動機が減速機に並列に直結されシャクラック軸を駆動するようになっている。

継鉄については成層継鉄を使用し、急峻な過渡整流をよくするよう考慮されている。通風は主電

動機、主発電機と同じように本体側と整流室側とを絶縁板で仕切り、それぞれの吸気口から冷却風を取り入れる並列ダウンドラフト方式として冷却効果をあげるよう設計されている。さらに耐熱効果を考慮して電機子巻線にはいっさいはんだを使用せず銀ろう付を使用している。このため 350% の過負荷耐量に対して充分の信頼度を増すことができた。

軸受は強制給油方式で主電動機とイルグナ変流機と距離が離れているために、シヤ電動機のための集中給油方式を取り電動機のピット下部の地下室に納めてある。

第 13 図は電動機ならびに静止レオナード電源装置を示す。中二階に水銀整流器、一階に整流用変圧器およびトランジダイン制御装置が置かれている。



第 13 図 スラブシヤ駆動装置

Fig. 13. Slab shear drive equipment

2. 静止レオナード電源および制御装置

シヤはせん断指令が与えられるたびに、始動、加速、せん断、制動および停止を繰返すもので、電流制限急速加速せん断電流制限、スケジュール制動が主眼となる。このためには制御性能の高い静止レオナード方式が最適であり第 14 図に示すように水銀整流器を用いた十字接続可逆レオナードを採用した。レオナード電源仕様は次のとおりである。

1) 水銀整流器、多極風冷封じ切り形

順変換側 3 台—PSL 2011 700kW 1,000V

過負荷耐量 360%

逆変換側 2 台—PSL 2011 900kW 1,000V

過負荷耐量 200%

2) 水銀整流器用変圧器、屋内用室素密封油入自冷式
交流側 3,400kVA 3 相 60% 11.5—11—10.5—10kV

順変換側 2×1,900kVA 二重星形 1,040V

逆変換側 2×1,910kVA 二重星形 1,220V

上記の容量の決定に際しては、電動機 RMS 値が 100% になるような各種のせん断サイクルを考慮して、順変換側、逆変換側ともそれぞれの最大の RMS 値に対応して容量を選定した。なお今回設けられたシヤは、せん断トルクをすべて電動機が発生するものとして設計されている。

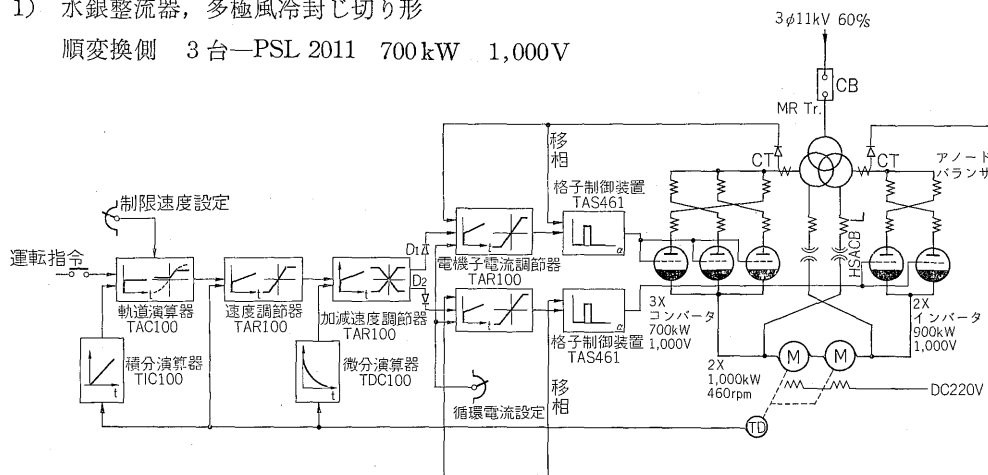
スラブシヤはクランク機構を介して電動機動力を刃物に伝えるようになっており、クランク 360° 1 回転が 1 行程となっている。第 15 図にそのプログラムを示す。

加減速をできる限り速に行なうことは作業能率の向上となり、切断電流は許容値に確実に制限して機器を保護しなくてはならない。

運転指令が軌道演算器に与えられるとクランク走行角指令値とパイロット発電機出力を積分して得られるクランク現在値および最高速制限設定値、最低速制限値より電動機回転数の設定値が演算される。

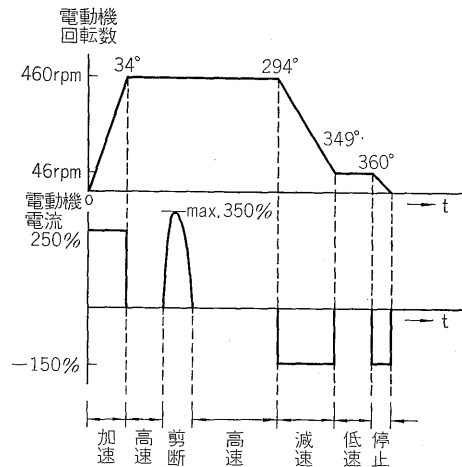
軌道演算器は加算器および平方根演算器を主体とし、それに制限回路を付加したもので第 15 図の回転数プログラムに相当した出力を出す。

軌道演算器出力は電動機回転数の設定として速度調節器に与えられる。速度調節器はパイロット発電機を帰還として負荷慣性の遅れを消している。速度調節器出力は加減速度調節器の設定入力であって、速度調節器出力を許容される加減速度量に制限しているので加減速度は確実に制限できる。加減速度調節器の帰還はパイロット発電機出力を微分演算器で微分して得ている。加減速度調節



第 14 図
スラブシヤ電動機制御
方式

Fig. 14.
Control system block
diagram for slab shear



第15図 運転プログラム

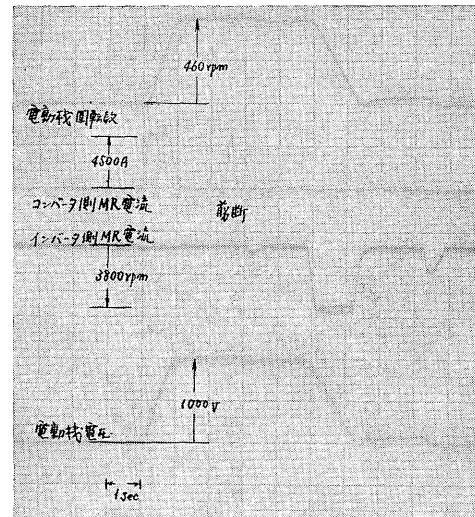
Fig. 15. Running program of shear motors

器の出力はコンバータ側電流およびインバータ側電流のおのの電機子電流調節器の設定入力となっている。加減速度調節器出力は電動機電流が流れる側の電機子電流調節器にのみ電流設定入力を与える。この量は電動機許容電流に合わせて制限されているので電機子電流は確実に制限される。

電動機運転に可逆整流器を用いる場合循環電流の扱い方には

- 1) 循環電流をまったく流さない。
- 2) 循環電流を抑制する。
- 3) 一定の循環電流を流す。

以上3通りあるが本装置では制御の簡易化と速応性を考慮して3)の方法をとっている。そのため二つの電機子電流調節器には等しい量の循環電流設定入力を与えている。たとえば加速の場合には、コンバータ側の電機子電流設定は(加減速度調節器出力)+(循環電流設定)、インバータ側の電流設定は循環電流のみである。電機子電流の実際値はコンバータ側、インバータ側別々にアノ



第16図 スラブシヤオシログラム

Fig. 16. Oscillogram of slab shear motors

ードCTで行ない電機子電流調節器に帰還するが、この値は当然設定値と一致する。したがって電動機電流は加減速度調節器の出力と一致する。

電機子電流調節器は電源外乱を防せぎ、電機子回路のおくれを消している。出力はおのの格子制御装置の入力となっている。

スラブが切断しきれず、せん断制限電流が一定時間続くとトランジスタ無接点リレー回路によって、電流指令を零に落とし手動運転でクランクを逆転するようにしている。

その他停止検出にも無接点リレー回路を用い、クランクが1回転し電動機が停止するとすべての回路はリセットされる。

第16図はせん断1行程のオシログラムである。

IV. 補機電気品

補機用可変電圧直流電動機 43 台、定電圧直流電動機

第4表 補機用可変電圧直流電動機

Table 4. DC variable voltage auxiliary motors

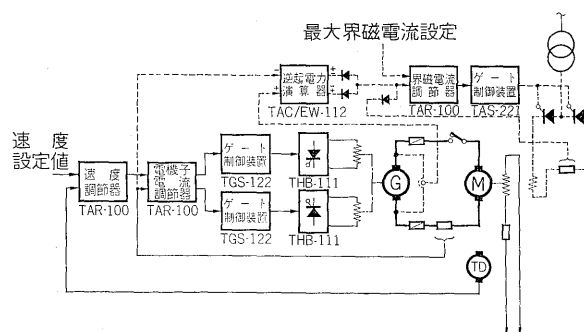
機 械 名	直 流 電 動 機						
	出 力 (kW)	時間定格	回転速度 (rpm)	電 圧 (V)	枠 番	制 動 機	台 数
インゴットバギー	110/220	連 続	460/920	220/440	616	分 巻	2
バギーローラ	55/110	1 時間	515/1,030	220/440	612	分 巻	1
ミルアブローチテーブル	55/110	連 続	515/1,030	220/440	612	—	4
ミル前後面テーブル	150/300	連 続	420/840	220/440	618	—	4
ミル前後面テーブル個別ローラ	27.5/55	連 続	77/154	202/404	618	—	12
フィードローラ	30/60	連 続	84/168	220/440	618	—	4
マニプレータラック	150	連 続	420	220	618	分 巻	4
マニプレータフィンガ	150	1 時間	420	220	618	分 巻	2
スクリウダウン	150/300	連 続	420/840-1260	220/440	618	分 巻	2
ミルランナウトテーブル	55/110	連 続	515/1,030	220/440	612	—	4
スカーファエントリーテーブル	75/150	連 続	485/970	220/440	614	—	1
スカーファデリバリーテーブル	55/110	連 続	515/1,030	220/440	612	—	3

第5表 補機用定電圧直流電動機
 Table 5. DC constant potential auxiliary motors

機 械 名	直 流 電 動 機						
	出 力 (kW)	時間定格	回転速度 (rpm)	界 磁	枠 番	制 動 機	台 数
インゴットレシービングテーブル	55	1 時間	515	複 巻	612	—	1
インゴットスケールテーブル	55	1 時間	515	複 巻	612	分 巻	1
スカーファエントリーサイドガイド	19	1 時間	650	複 巻	606	分 巻	1
シヤエントリーテーブル	55	1 時間	515	複 巻	612	分 巻	2
シヤエントリーサイドガイド	19	1 時間	650	複 巻	606	分 巻	2
ク ロ ッ プ プ ッ シ ャ	7.5	1 時間	800	複 巻	603	分 巻	1
ク ロ ッ プ ホ イ ス ト	75	1 時間	485	複 巻	614	分 巻	1
シ ャ ゲ ー ジ 昇 降	26	1 時間	575	複 巻	608	分 巻	1
シ ャ ゲ ー ジ 走 行	55	連 続	515	複 巻	612	分 巻	1
No. 1 シヤデリバリーテーブル	55	連 続	515	複 巻	612	分 巻	1
シヤスイングローラ	4.85	1 時間	140	複 巻	606	—	1
シヤブルバック	55	1 時間	515	複 巻	612	分 巻	1
No. 2 シヤデリバリーテーブル	37	1 時間	550	複 巻	610	分 巻	1
鋼片スケールテーブル	55	1 時間	515	複 巻	612	分 巻	1
スタンパテーブル	37	1 時間	550	複 巻	610	分 巻	1
No. 1 パイラテーブル	37	1 時間	550	複 巻	610	分 巻	1
No. 2 パイラテーブル	55	1 時間	515	複 巻	612	分 巻	1
パ イ ラ	37	1 時間	550	複 巻	610	分 巻	2
ト ラ ン ス フ ァ	110	1 時間	460	複 巻	616	分 巻	2
プ ッ シ ャ	75	1 時間	485	複 巻	614	分 巻	2

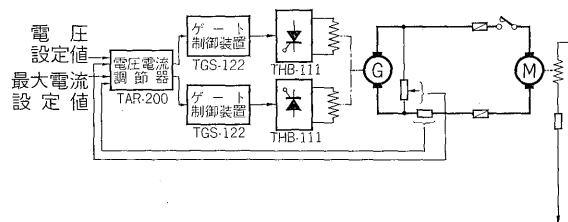
25 台より構成され、その仕様を第 4 表および第 5 表に示す。可変電圧補機としては大別して速度制御を行なうものと、電機子電圧制御を行なうものの 2 種類を設けた。速度制御を行なうものは、スカーファ周辺のテーブルのように広範囲で正確な速度を必要とするもの、およびスクリウダウン、マニプレータのように正確な位置を決め行なうものであり、また電機子電圧制御を行なうものはミル周辺のテーブルでそれほど正確な速度を必要としないものである。

いずれの方式も発電機界磁のサイリスタ励磁により可変電圧を得ているが、発電機界磁を 2 巻線とし、おのをおのを単相混合ブリッジのサイリスタより給電する。サイリスタはトランジダイン方式の各種調整器など同形の箱体に収容し、各種調整器と同一盤、わくなどに組込むことができる。現在標準となっているものはサイリスタ形名が GSi-5, 7, 12, 25 および 50 の単相混合ブリッジ 5 種類で、それぞれ 6, 10, 15, 30 および 50A の電流出力を持っている。本設備ではこのうち 30A および 50A のものを使用して統一を計った。速度制御においては当社が早く標準とし、実績も多い電機子電流マイナーループ付のものを今回採用した。その制御方式を第 17 図に示す。スクリウダウン電動機は 840rpm ~ 1,260rpm の界磁範囲を有しているもので、逆起電圧を演算し当社特許の単一指指令の界磁電流自動弱め方式を採用した。電動



第 17 図 速度制御可変電圧補機制御方式

Fig. 17. Control system for adjustable voltage aux. motor with speed reference (dotted lines only for screw down drive)



第 18 図 電機子電圧制御可変電圧補機制御方式

Fig. 18. Control system for adjustable voltage aux. motor with armature voltage reference

機の界磁電流はこの場合当然一方向であるが、界磁を弱める際の速応性を充分にとるために単相純ブリッジのサイリスタとした。

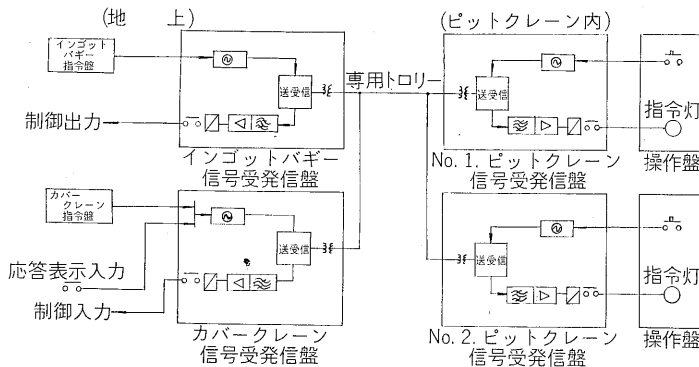
電機子電圧制御においては主圧延機の制御と同様な方式の電圧電流調整器を使用した。その制御方式を第 18 図に示す。制限電機子電流を越えたら電圧設定値を電流減少方向に制御する従来の方式は、電流制御のループが一番外側になるため動作が一段遅くなるという欠点を持っている。本方式は電機子電圧および電機子電流に対して個々に最適な調整がとれるので、電動機の運転状態に対して理想的な制御が行なえる。

定電圧直流電動機用電源として、定電圧制御装置付シリコン整流器 750kW 230V 1基を用意した。

V. 遠隔制御装置

インゴットバギー、カバークレーンにはピットクレーン上からも操作できるよう遠隔制御装置が設けられている。信号伝送には多周波方式を採用し、送受信器は小形安定な音片発信器およびメカニカルフィルタを主要素子としている。なお信号伝送用として地上とピットクレーンの間に専用信号トローリー 1 本を有する。第 19 図にブロックダイアグラムを示す。地上指令室とピットクレーンとの間の信号は次のとおりである。

- 1) カバークレーン指令室より 1 ピットクレーンへの指令信号；



第 19 図 遠隔制御装置ブロックダイアグラム

Fig. 19. Block diagram of telecontrol system

- 1 炉選択, 2 炉選択, 応答表示 (開, 閉, 停止)
 炉選択解消, 予備 (4 項目) 計 10 項目
- 2) 1 ピットクレーンよりカバークレーン指令室への制御信号；
 開, 閉, 停止, 東, 西, 作業完了, 予備 (4 項目) 計 10 項目
- 3) バギー指令室より 1 ピットクレーンへの指令信号；
 バギー運転命令 計 1 項目
- 4) 1 ピットクレーンよりバギー指令室への制御信号；
 発信, 停止 計 2 項目

カバークレーン制御に関して、指令室と 1 ピットクレーンとの間の指令信号、制御信号はおおの 10 項目あり、10 項目の信号は特定の 5 つの周波数を用い、 C_2 の周波数組合せ符号を用いて送信される。受信側では誤制御を避けるために C_2 符号検定を行なう。バギー制御に関して、指令室と 1 ピットクレーンとの間の指令信号、制御信号はおおの 1 項目および 2 項目である。この場合は 1 項目につき 1 周波数を割当てて送信され、制御信号については C_1 符号の検定を行なっている。1 ピットクレーンあたりカバークレーンテレコンには 10 波 (指令, 制御各 5 波), バギーテレコンには 3 波 (指令 1 波, 制御 2 波) 計 13 波が必要である。今回は 2 台のピットク

レーンが設備されているので合計 26 波を使用している。使用周波数は 1,107% ~ 2,635% である。なおこの遠隔制御装置は富士通により製作された。

VI. む す び

以上川崎製鉄・水島製鉄所に納入した分塊圧延機用電気設備の概要を簡単に述べたが、その主要点はご理解願えたことと思う。終りにのぞみ本設備の完成にあたって種々ご援助を賜った水島製鉄所の関係各位に厚くお礼申し上げる次第である。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。