八幡製鉄・戸畑製造所第2熱間工場
粗圧延機用電気設備

設計部直流機課　河村伴三
同上　後藤泰治
同上　鈴木慶三

Electric Equipment for 80″ Semi-continuous Hot Strip Mill for Tobata Plant of Yawata Works, Yawata Iron & Steel Corp.

By
Banzō Kawamura　Taiji Gotō　Keizō Suzuki
(D-C Machine Div., Design Dep't.)

Synopsis

In September 1958, a 80-inch, semi-continuous hot strip mill has been came into operation at Tobata Plant of Yawata Works, Yawata Iron & Steel Corp. Electric equipment for the roughing mill delivered by our Company consists of main d-c motors of 2×3,500 HP, 40/100 rpm (twin drive), and edger mill motor of 2×600 HP (double armature), 179 sets of auxiliary d-c motors. For main motors and edger mill motor, Ward-Leonard control system with 9,000 HP motor-generators set is adopted and using the new two-stage rotating amplifier "Rapidyne", the mill can be reversed in 0.783 sec. from 40 rpm in the forward direction to 40 rpm in the reverse direction.

In this Article, the subject is divided into the following chapters.

I. Introduction.
II. Outline of the equipment.
III. Specifications of the roughing mill main drives.
IV. Special features of the roughing mill main drives.
V. Control system and operational characteristics.
VI. Auxiliary d-c motors.
VII. Conclusion.

I. 緒　　言

第2次鉄鋼合理化計画の実施にともない，各所に新鋭圧延設備の新設あるいは増設が行なわれているが，当社は先号にて紹介したように川崎製鉄・千葉製鉄所の熱間圧延設備のうち，仕上圧延機用電気品一切を納入し，引続き八幡製鉄・戸畑製造所に新設される第2熱間圧延設備のうち，粗圧延機用電気品を製作中であったが昨年7月完成し，9月より運転を開始した。

本設備は主電動機の基底速度 +40rpm より −40rpm までの逆転時間を0.8秒以下に短縮したことをはじめ，新しい制御方式あるいは新形増幅発電機 "ラピダイン" の使用など当社の最新技術を結集した画期的製品で，きわめて好調な運転成績をあげることができたので，ここに設備の概要，仕様，特長，成績などについて報告し，御参考に供する次第である。

II. 設備の概要

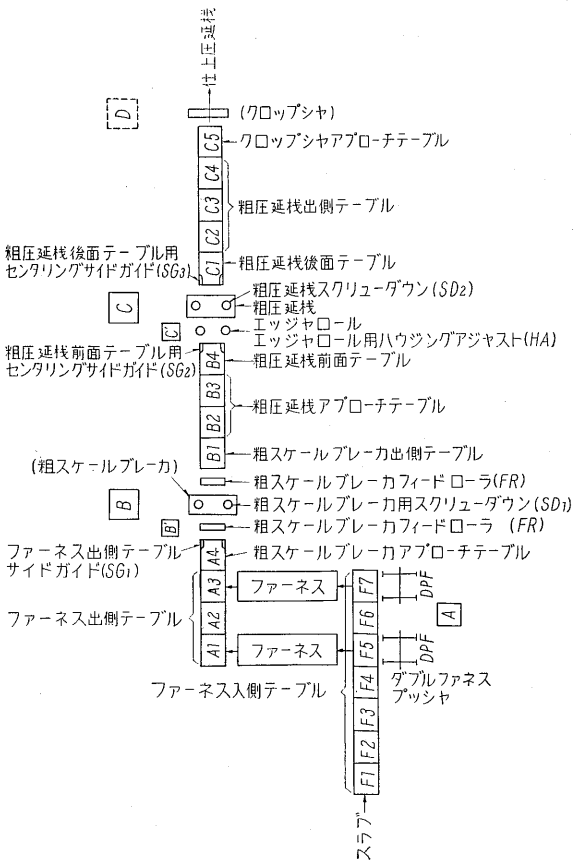
本設備は米国UE社ならびに芝浦共同工業の製作によるワークロール36″×80″，バックアップロール52″×80″を有する4重逆転式粗圧延機を駆動する 7,000HP 双電動機形ワードレオナード式設備と，これに付属する補機用電気設備一式よりなり，板幅20～68″，板厚100～190 mm，長さ7,000 mm のスラブを圧延回数5～7パスで19～25 mm 厚に粗圧延しこれを仕上圧延機に送り込むもので，この全設備の電気品のほとんど全部を当社が一括製作したものである。

第1図は本設備全体の配置を示したもので，各機械はその配列順序にしたがい図中の制御盤A，B，Cにより運転され，次のように分けられる。

A……ファーネス関係
B……粗スケールブレーカ関係

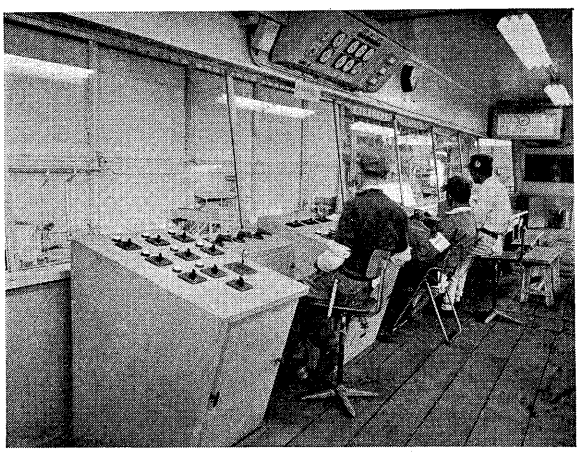
C……粗圧延機関係

粗圧延機およびエッジャロールはもちろん粗圧延機制御盤Cにより運転されるが，各制御盤により運転される補機については後章の第1表補機用直流電動機一覧表にその区分を明らかにした。



第1図　粗圧延設備全体配置図

Fig. 1.　Total arrangement of roughing mill equipment



第2図　粗圧延機制御盤（C盤）

Fig. 2.　Roughing mill control desk (C desk)

なおクロップシヤアプローチテーブルC5は仕上圧延機側のクロップシヤ制御盤Dにより運転され，またミル出側テーブルC3，C4も制御盤Cの切換開閉器の操作あるいは材料送出時にクロップシヤ前方 50 feet に設置したフォトセルリミットスイッチの動作した場合はC5とともにD盤で制御することができる。

第2図は粗圧延機制御盤を示す。

III. 粗圧延主機の仕様

1. 主圧延電動機（*MM*1, *MM*2）　**2 台**

3,500HP ±750V 3,780A ±40/100rpm 双電動機形

定格回転力　127 tm

常用最大回転力　287 tm（225%）1分間

非常最大回転力　351 tm（275%）1分間

B 種 絶 縁　50°C

2. エッジャロール圧延電動機（*EM*）　**1 台**

2×600HP ±250/585V 2×1,000A 150/375rpm 2重電機子形

定格回転力　2.91 tm

常用最大回転力　6.53 tm（225%）

非常最大回転力　7.99 tm（275%）

B 種 絶 縁　50°C

3. ワードレオナード式電動発電機

1) 直流発電機（主電動機用）（*MG*1～3）　3 台

2,000kW ±750V 2,670A 600 rpm

最大出力　275% 1分間

B種絶縁　50°C

2) 直流発電機（エッジャ用）（*EG*）　1 台

550kW ±275/650V 2,000A 600 rpm

最大出力　275% 1分間

B種絶縁　50°C

3) 駆動用同期電動機　1 台

9,000 HP 11,000V 458A 60% 600rpm

過負荷耐量　125% 2時間

200% 1分間

脱出回転力　300%

B 種 絶 縁　50°C

4. 主励磁電動発電機

1) 主電動機用励磁機（*MME* 1～2）　2 台

85kW 220/440V 386A 1,180 rpm

2) 主発電機用励磁機（*MGE*）　1 台

40kW 220/440V 182A 1,180 rpm

3) エッジャ発電機用励磁機（*EGE*）　1 台

12kW 100/200V 120A 1,180 rpm

4) 定電圧直流発電機　1 台
20 kW 230 V 87 A 1,180 rpm

5) 同期電動機用励磁機　1 台
75 kW 110 V 682 A 1,180 rpm

6) 駆動用誘導電動機　1 台
450 HP 3,300 V 72.5 A 60% 1,180 rpm

5. 特殊励磁用電動発電機

1) 主電動機界磁制御用ラピダイン (*MMC*)　1 台
6 kW 200 V 30 A 1,750 rpm

2) 主電動機界磁パイロット (*MFP*)　1 台
0.2 kW 200 V 1 A 1,750 rpm

3) 主電動機負荷平衡用ラピダイン (*MLB*) 1 台
1 kW 100 V 10 A 1,750 rpm

4) 主発電機電圧制御用ラピダイン (*MGC*) 1 台
1 kW 200 V 5 A 1,750 rpm

5) 主発電機電圧パイロット (*MVP*)　1 台
0.2 kW 250 V 0.8 A 1,750 rpm

6) エッジャ発電機電圧制御用ラピダイン (*EGC*)
1 台
1 kW 200 V 5 A 1,750 rpm

7) テーブル電動機速度同期用発電機 (*SP*)　1 台
1 kW 220 V 4.55 A 1,750 rpm

8) 駆動用誘導電動機　1 台
20 HP 200 V 60% 1,750 rpm

IV. 粗圧延主機の特長

1. 主圧延電動機

最近の可逆圧延設備では加減速時間短縮のため双電動機形を使用することは常識であり，当社はすでに昭和29年に川崎製鉄・千葉製鉄所の厚板分塊圧延機用7,000 HP イルグナ電気設備に採用したが，今回のものは同一仕様にかかわらず GD^2 の大幅減少を計り，実にその77%に製作することができたことは，この間の当社の技術の進歩を示すものといって過言でない。

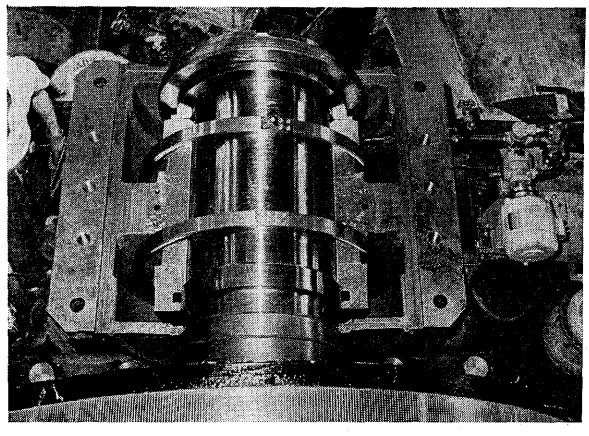
他方上下主電動機の中心間距離は周知のように主電動機と圧延機の距離を決定する要素となり，建屋の大きさにも関係するので極力短縮に努力を払い，今回は 2,260 mm で製作した。

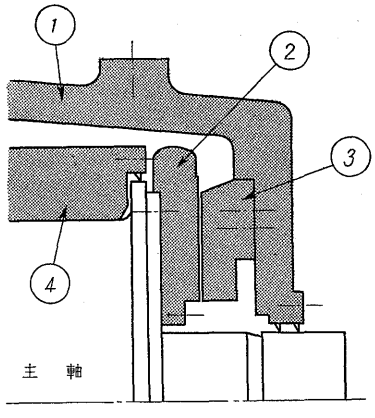
継鉄についてはもちろんこのような急激な加減速を行なうものに対しては，磁束変化に対して有効な成層構造を使用するのが理想ではあるが，成層構造の場合は機械的強度の点より鋳鋼あるいは鋼板の継鉄に比較して，前述した中心間距離の増大はまぬがれない。

他方整流の見地より考えれば，主発電機に比べリアクタンス電圧ははるかに低くまた極数も多いので補極の長さに比べると継鉄の磁路は短いから，この程度のものでは双電動機形の場合中心間距離を犠牲にして成層構造にしなくても，整流上何ら不安はない。

このような見地より本機の継鉄は環状部を鋳鋼製とし，外周を機械加工した後分割取付部および脚部を鋼板をもって溶接した構造とし，厚い鋼板溶接構造の継鉄における曲げ作業の困難と，全鋳鋼製継鉄の外周仕上不能による外観上の問題を一挙に解決することができた。

軸受については推力軸受は整流子側軸受箱中に設けられており，その構造は第3図に示す通りである．本図において①は軸受台，②は油環を兼ねた推力メタル，③は背面推力軸受で主軸のたわみ，仕上誤差に対して傾斜および空隙の調整が自由にできるようになっている．④は球面座を有する軸受裏金で，前面推力はこの側面で受けることができる．この種電動機では特に推力軸受のギャップが油膜の緩衝作用を利用し，主軸の振動性推力による衝撃を減殺するために重要であり，一定期間をおいてこのギャップの調整を要するので，容易に推力面を調整で





第3図　主電動機軸受および推力軸受構造図

Fig. 3. Bearing and construction of thrust bearing of main motor

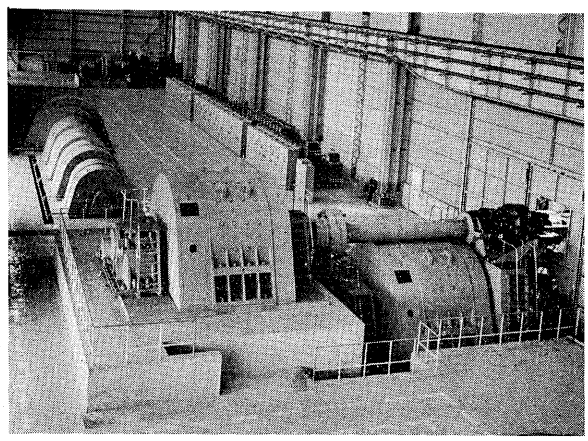
きる構造としかつ常時外部より看視できるようにした。

給油方式については軸受メタルの底より 20～30 kg/cm² の油圧を常時加えて軸を浮上せしめ，軸受の摩擦損失を減少するとともに正逆転の繰り返しによる油膜の切断を防止しているが，冷却用の油は外部より供給を受けず，自己油そうの油をこの圧油ポンプにより単に循環させているという画期的なものである．なお油ポンプの事故に備えて油環を併用している。

さらに付言したいことは軸受台と主電動機の内部を完全に隔絶していることである．軸受台は内部が常に外気と呼吸作用を行なっているので，いかに軸受を密封したとしても外気との流通を防ぐことはできないものである．したがって軸受台を電動機内部に入れることはブラシの炭素粉末を含んだ空気を呼吸することになり，潤滑油を混濁せしめるので，特に自己給油方式には禁物である。

ブラシについてはタンデムブラシを使用して整流を一段と飛躍させることができた．特に当社のタンデムブラシ保持器は従来のものと異なり，スプリング圧力を調整することなくしてブラシの長短に関係なく常に一定圧力で加圧される特殊構造のため，保守がきわめて簡単である上，ブラシ圧力の不同による電流の不平衡，ブラシ摩耗の不均一の心配が皆無である．ブラシ材質としてはモルガナイト EG 16 を使用したが，現地試験の結果急激な加減速運転においても全く無火花であることが確認された。

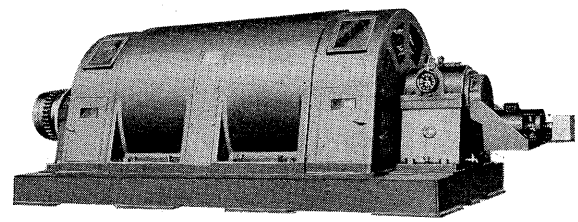
第4図に主電動機の外観を示した。



第4図　粗圧延機用 7,000 HP 双電動機形主電動機
Fig. 4.　Roughing mill drive 7,000 HP twin drive main motors

2. エッジャロール圧延電動機

本機についても GD^2 を極力減少させるため，電機子スパイダはアームを中空溶接構造とし主軸に直接溶接するほか，整流子スパイダも主電動機同様すべて溶接構造の2重電機子形を採用した．このため基底回転数 150 rpm より最高回転数 375rpm までの界磁制御範囲をいわゆる倍電圧制御，すなわち全回転数範囲を電圧制御一本で制御しても何ら閃絡の危険がなく，制御回路の簡略と制御特性を一段と向上させることができた．第5図にエッジャロール圧延電動機の外観を示す。



第5図　エッジャロール圧延電動機
Fig. 5.　Edger roll driving motor

3. ワードレオナード電動発電機

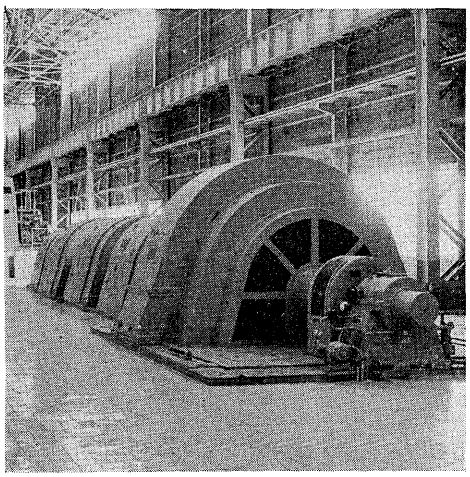
主発電機，エッジャ発電機とも継鉄には成層構造を採用し，急峻な磁束変化ならびに過渡時整流に備えたほか，主発電機にあっては電機子溝と補償巻線溝の関係より，スロットリップルによる電圧波形の改善ならびに磁気騒音防止のため電機子に斜溝を採用した．このような大形直流機に対して斜溝の電機子を採用することは工作上面倒なことであり，あまり他に類例をみないものである。

主発電機 3 台はそれぞれ和動，差動の直巻界磁を有し，互いにタスキ掛け接続することにより負荷平衡をはかっている。

ブラシは主電動機と同様いずれもタンデムブラシを使用し，ブラシ材質はモルガナイト EG 16 で，現地試験結果はいずれも無火花であり，回転数を 600 rpm の高速にとっても何ら不安のないことを如実に示したものといえる。

9,000 HP 同期電動機はその出力において当社の記録品であり，回転子の常時周速 63 m/sec という高速機であるため構造上種々の考慮をはらった．すなわちダンパには電気的機械的に優れた特殊材料を用いて性能の発揮を計るとともに，ダンパバーと溝の間にライナを挿入し，セグメントには軸方向および半径方向には自由でかつ円周方向には固定されたピンを打つなど，急激な負荷変動時の振動，熱膨脹に対して万全を期した．その他電機子巻線，界磁巻線はもちろん，リード線などのささいな部分にまで耐震には充分考慮している。

通風方式はいずれもダウンドラフトであるが，本機は風吸込口には消音器を兼ねた整流板を設けて騒音の低下



第6図　ワードレオナード電動発電機
Fig. 6.　Ward Leonard motor generator set

を計り，ほぼ所期の目的を達することができた。

第6図にワードレオナード電動発電機の全景を示す。

4. 主励磁機電動発電機

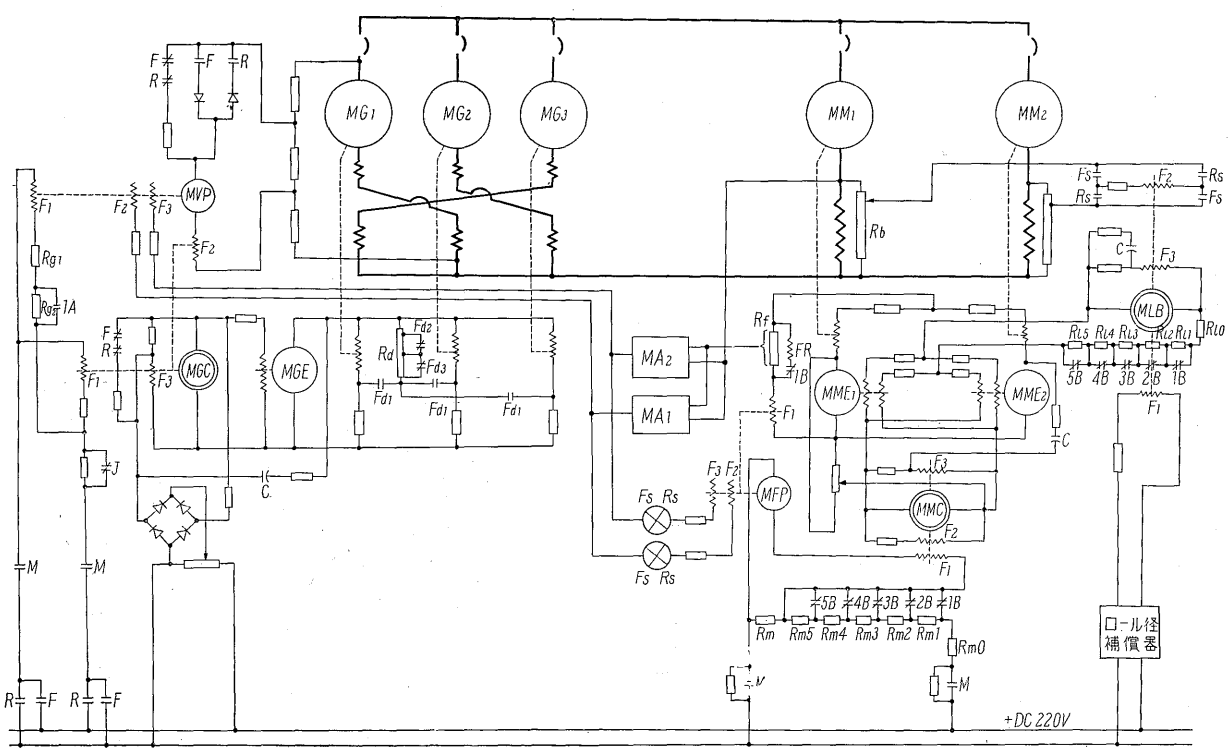
主電動機，主発電機，エッジャ発電機用励磁機はいずれも過渡的に急激な電圧変化を行なう必要があるので，継鉄は成層構造となっており，またこれらが励磁する界磁のインダクタンスに打勝って界磁電流を流すためには充分な電圧のオーバシュート量を要するので倍電圧定格とし，整定値の電圧に対して数倍の電圧となっても飽和の影響がでないように考慮されている。

5. 特殊励磁用電動発電機

制御の心臓部というべき増幅発電機には最近開発されたラピダインを大々的に利用した．ラピダインは2重電機子を同一外枠内に組込み，2台の発電機を縦続接続したもので，電機子の一方を入力段，他方を出力段とし，種々の制御信号入力を入力段界磁に導入し，その電機子出力で直接出力段界磁を励磁し，出力段電機子において所要の出力，電圧，電流に変換するものである．ちょうど電子管増幅器に例えれば入力段は電圧増幅部，出力段は電力増幅部に相当するもので，中間段の入力電機子および出力段の界磁回路は標準化されており，用途に応じて出力段電機子および入力段界磁を任意に変えることができる。

増幅器の性能は電力増幅度と応答時間の比であらわされる性能係数で示されるが，従来のロートトロール等の1段増幅発電機ではこの値が 400～500 が限度であったが，ラピダインのような2段増幅機では電力増幅度は2段の積となり，応答時間は和となるから 20,000 程度の値となる。

このような高い性能係数の増幅機を使用することにより制御入力がわずかですむ利点のほか，制御回路の安定化手段としてのフィードバック回路が従来のダンピングトランスに代り，コンデンサと抵抗で実現できることになり，安価で非常に調整しやすいものとなった。



第7図　主　電　動　機　制　御　回　路
Fig. 7.　Control circuit of main motors

V. 制 御 方 式

戦後当社は可逆圧延電気設備を数セット製作し，増幅発電機を使用した急速加減速制御回路に豊富な経験を持っているが，本設備ではこの経験を充分活用するとともに新形増幅発電機ラピダインを使用して，さらに高性能のセットを完成することができた．主電動機制御回路は第7図，エッジャ電動機制御回路は第 14 図に示したが以下その概要を説明することとする。

1. 主電動機制御

主電動機は 40 rpm までは電圧制御 40—100 rpm は界磁制御によるもので，回転数制御回路としては電圧制御回路と界磁制御回路に分けられる．回転数制御の主幹制御器はカム形で，電圧制御範囲2ノッチ，界磁制御範囲5ノッチで計7ノッチである．第2図制御盤Cの中央で操作しているのが主幹制御器である。

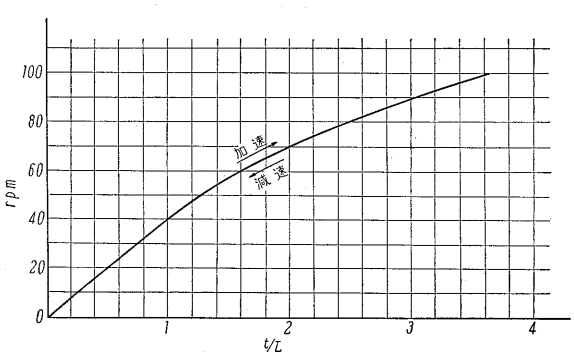
電圧制御と界磁制御が併用される場合，電動機の理想的な加減速すなわち一定加減速電流の条件は，界磁制御範囲での主磁束の減少を考慮に入れると，第8図のごとき回転数変化をさせるべきである．τ は基底速度までの加速または減速時間である．この曲線では 40 rpm までは直線で，それ以上は2次曲線である．したがって電圧制御では発電機の電圧をできるだけ直線的に立ち上がらせる必要があり，界磁制御範囲ではこの回転数変化曲線にできるだけ近似させるように磁束を変化させねばならない．また電圧制御と界磁制御との関連も第8図の曲線にできるだけ近づいたものとせねばならない。

このほか上下2台の電動機の負荷平衡，ロール径補償，過負荷制限，消磁等の回路があるが順次述べることとする。

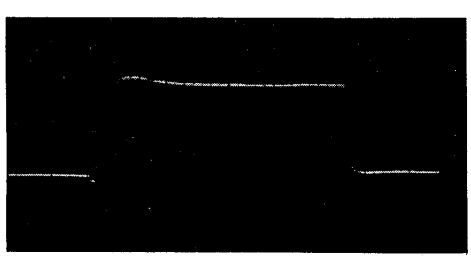
1) 電圧制御回路

主発電機の電圧を直線的に立ち上がらせるための条件を考えると，電圧とほぼ比例関係にある界磁電流に着目せねばならない．抵抗とインダクタンスを持った界磁回路の電流を直線的に変化させるための励磁電圧は，抵抗分に対してはもちろん直線的な電圧変化を要求されるが，インダクタンスに対しては $L\frac{di}{dt}$ に相当する電圧が必要で，$\frac{di}{dt}$ は一定であるからこのインダクタンス電圧は一定である．したがって所要の励磁電圧は整定値のほかにインダクタンス電圧を要することとなり，励磁機としてはそれだけの電圧オーバシュートの可能な容量が必要である．この励磁機をさらに励磁するラピダインとしては，励磁機電圧をオーバシュートせしめる以上に励磁機界磁のインダクタンス電圧分だけ余分な容量を持ち，かつこの電圧まで強制的に励磁を与えてやらねばならない。

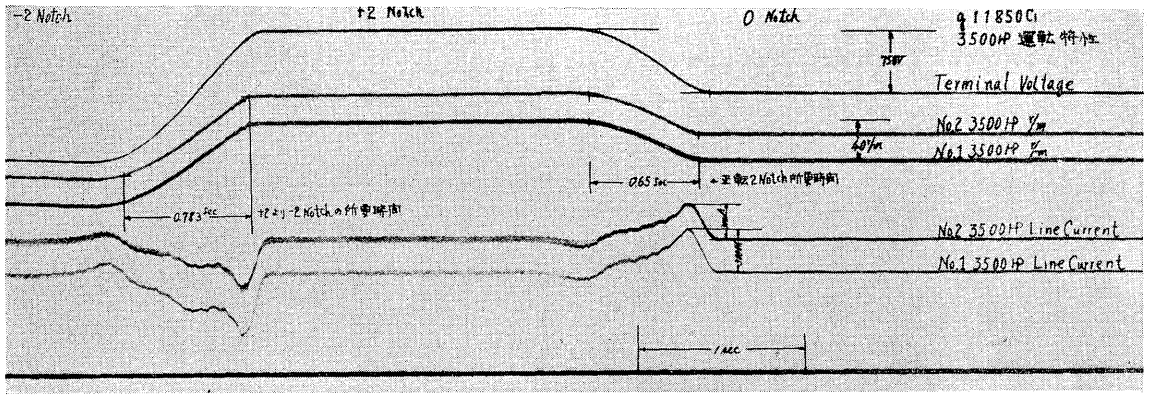
第7図の電圧制御ラピダイン *MGC* の界磁 *F*1 はこの強制励磁作用を持たせたもので，電圧制御範囲ではノッチを変えれば必ず一定量の強制励磁が与えられるようになっている．すなわち0ノッチから1または2ノッチにするときは常に *MGC F*1 界磁に一定量の励磁が加えられ，*MGC* 電圧はこれに応じて急昇し，励磁機 *MGE* を通じて主発電機 *MG* の電圧を高めてゆき，*MG* の電圧の約 1/3 が電圧パイロット *MVP* の出している電圧を上まわって初めてセレン整流器を通して *MGC F*2 界磁に電流を流し，所要の値となってバランスするのである．1ノッチから2ノッチに移った場合にも *MVP* 電圧の急昇により *MGC F*2 界磁の電流は完全にブロックされ，*MGC* に対しては *F*1 界磁のみが作用するので，強制励磁値としては同一の値となっている．逆に2ノッチから1ノッチに速度を落した場合は *MVP* の電圧が急激に降下し，*MGC F*2 界磁の電流が急増して電圧降下の



第8図 主電動機理想加減速曲線
Fig. 8. Ideal acceleration and reterdation curve of main motor



全時間：5秒相当
第9図 アナコンによる主発電機電圧上昇オシログラム
total time: equivalent to 5 sec.
Fig. 9. Voltage build up oscillogram of main generator by analogue computer



第 10 図　電圧制御範囲における主電動機急速加減速オシログラム

Fig. 10.　Rapid acceleration and reterdation oscillogram of main motors in voltage control range

強制励磁を与える．0 ノッチに戻した場合は *MGC F*1 界磁の励磁がなくなるとともに *F*2 界磁はセレン整流器のバイパス回路の抵抗を通じて励磁され，やはり同一の強制減磁作用を持つよう調整されている。

このようにして急峻に電圧を変化せしめた後安定に電圧を最終値に落着かせるための安定化手段として，*MGC* 自身の出力電圧を *F*3 界磁に差動的に加え増幅度の調整を行なうとともに，*MGE* の電圧をコンデンサおよび抵抗を通してやはり *MGC F*3 界磁に差動的に加えている．これらの安定化手段の最適値は，アナログコンピュータを使用して容易に決定することができた．第 9 図はアナコンによる電圧立ち上りのオシログラムである．これによって計画された各部の抵抗値等は工場試験，現地試運転を通じてほとんど調整する必要がない状態であった。

第 10 図に電圧制御範囲での主電動機加減速オシログラムを示す．これでわかるように 0→40 rpm の加速時間 0.65 秒，+40→−40 rpm の逆転時間 0.783 秒というきわめて速くまた安定した制御であることが実証された。

2)　界磁制御回路

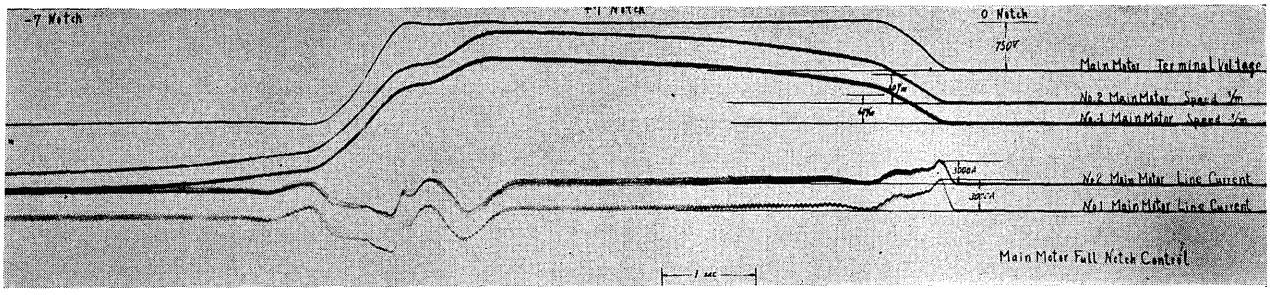
2 台の主電動機 *M*1，*M*2 の界磁はおのおの 1 台ずつの励磁機 *MME*1，*MME*2 によって励磁されており，*MME* の界磁は 2 界磁に分かれ計 4 個の界磁巻線はブリッジ回路を形成し，界磁制御ラピダイン *MMC* によってすべて和動に励磁されている．*MM*1，*MM*2 の界磁電流の和は直接界磁パイロット *MFP* の *F*1 界磁に導入されているから，*MFP* の誘起電圧は *MM* の界磁電流に比例したものとなっている．この誘起電圧は主幹制御器のノッチに応じてポテンショメータ式に与えられる R_m 両端の界磁基準電圧と突き合わされ，その差で *MMC F*1 界磁を励磁し *MM*1，*MM*2 の界磁電流を確立するようになっている．*MME* および *MMC* の容量は，第 8 図の理想回転数変化を行なわせるに充分なオーバシュートの余裕を持っていることはいうまでもない。

界磁制御回路の安定化は主発電機側と同様 *MMC* の *F*3 界磁を利用して行なっている。

主幹制御器の急操作に対してそのまま 1*B* ないし 5*B* のノッチ接触器が動作すると，界磁電流の変化は速すぎて第 8 図の理想曲線と程遠く，主電動機の加減速電流が過大となるため，各ノッチ間には適当な時限を設けこれを抑えてある．さらに弱界磁から強界磁へと移る場合の主電動機の制動電流の過大となるのをさけるため，*MME* と *MMC* の電圧を比較しもし *MMC* の電圧が予定された *MME* の電圧よりも高くなった場合，自動的に *MMC* の電圧を抑えるよう *MMC F*2 界磁が設けてある。

主幹制御器を電圧範囲から界磁範囲にかけて，あるいはその逆に急操作した場合，片方の変化の終り切らないうちにもう一方の変化が始まるとその時の加減速電流は当然過大となる．この現象は通常加速中では電圧変化の速度が速いためほとんど問題とならないが，弱界磁状態から停止あるいは逆転にもってゆく場合に問題となってくる．これに対しては界磁電流がある一定の値以上とならないうちは，いかに主幹制御器を停止または逆転に急操作しても電圧制御接触器 1*A* を閉のまま保持しておくよう考慮されている．第 7 図で，主電動機の界磁回路へ挿入されている抵抗 R_f の両端に接続されている *FR* がこのための過電圧継電器である．これと直列に入っている界磁制御ノッチ接触器 1*B* の接点は *FR* 継電器復帰用である。

第 11 図のオシログラムは界磁制御範囲までの主幹制御器急操作時の状況を示している．*FR* 継電器による電圧インタロックの状態がよく示されているが，幾分これ



第11図　全制御範囲における主電動機急速加減速オシログラム

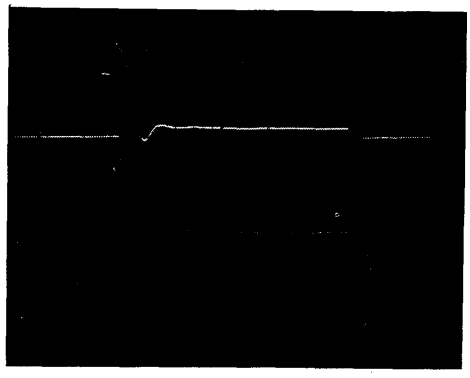
Fig. 11.　Rapid acceleration and reterdation oscillogram of main motors in full control range

がききすぎて回転数変化に段ができている．これは *FR* 継電器の設定を変更して容易に調整できるものである。

3)　ロール径補償および負荷平衡回路

双電動機形の特長の一つとして，上下ロールの径の相違した場合でも圧延ができる点があるが，これに対しては，あらかじめ上下ロール径の比に応じて両電動機の速度設定をずらしておかねばならない．このため2台の主電動機の界磁電流を異なった値としておくため，*MME* 界磁のブリッジ回路の対称点に電圧を与え，*MME*1 と *MME*2 の電圧に差をつければ良い．負荷平衡用ラピダイン *MLB* がこれに接続してあるから，*MLB* の *F*1 界磁にロール径比に応じた励磁を加えて *MLB* に一定電圧を発生せしめ，ブリッジ回路に流れ込む電流を界磁制御のノッチに応じて直列抵抗 R_{l0} ないし R_{l5} を挿入し，適当な値となるよう調整してある．*MLB F*1 界磁に与える励磁はロール径補償器により加減でき，＋10% から −10% までの速度比を微細に得られるようになっている．したがって上下ロールの直径比が 1.1：1 以内であれば支障なく圧延作業を行なうことができる。

次に上下ロールを別個の電動機で駆動するため，その特性のわずかな相違によっても圧延後のスラブにそりがでてくるおそれがある．これは上下電動機の放出する仕事量の相違にもとづくものであるから，これを自動的に平衡するような装置を付することにより影響をなくすことができる．2 台の主電動機は同一母線に並列に接続されていて端子電圧は同一であるから，両者の負電流の差をなくすようおのおの界磁を調整してやれば良い．すなわち負荷電流の大きい電動機の界磁を強め逆起電力を大とし，負荷電流の小さい方の電動機界磁を弱めて逆起電力を小とすれば，両者負荷電流の差を縮少することができる．第7図にみるように，*MLB F*2 界磁におのおのの電動機の補極および補償巻線の抵抗電圧降下の差により励磁を加え，負荷の差に応じて *MLB* に電圧を発生するようになっている．このような方式で負荷平衡を行なう場合，主電動機界磁設定値により自動平衡回路の増幅度が弱界磁の場合著しく増大する．同一の電流不平衡値に対し *MLB* から *MME* の界磁回路へ供給する電流値が一定であれば，*MME* 界磁電流の設定値に対する割合が弱界磁の場合著しく大となる点と，主電動機界磁の飽和現象のために界磁電流の変化に対する磁束変化がやはり弱界磁で大となる点の二重の作用によるものである．このような場合，全界磁制御範囲で充分な安定度をもったしかも充分な増幅度を備えた回路を構成することはかなり難かしい．しかし第7図の回路では，ロール径補償の場合に *MLB* の一定電圧に対して上下主電動機の回転数変化，すなわち磁束変化の割合が一定となるよう抵抗 R_{l0} ないし R_{l5} が挿入されているから，これがそのまま負荷平衡回路の増幅度を一定に保持する作用をもっていることになる．負荷電流を検出する制御系では，各機の界磁の応答時間おくれのほかに主電動機と負荷の慣性モーメントによる時間おくれの系が付加されるため，増幅

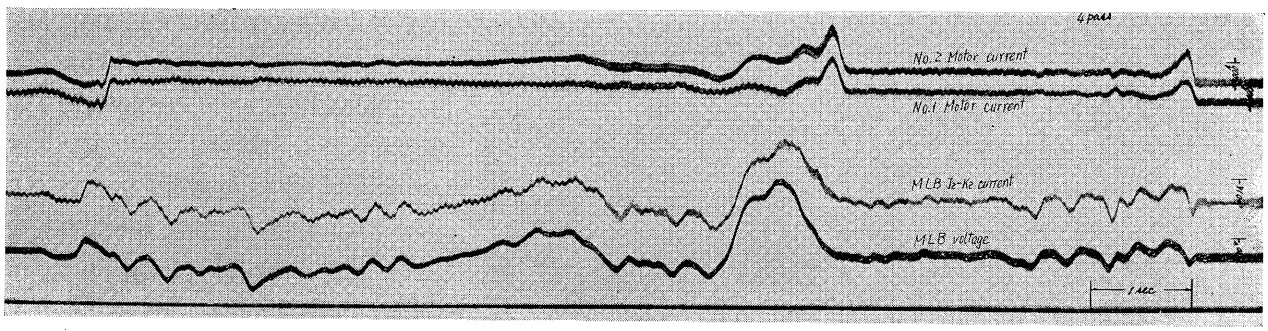


上：負荷電流差，下：負荷不平衡記号，
全時間：10 秒相当

第12図　アナコンによる主電動機負荷平衡応答オシログラム

upper: load current difference
lower: load unbalance signal
total time: equivalent to 10 sec.

Fig. 12.　Load balance response oscillogram of main motors by analogue computer



第13図　圧延時の負荷平衡回路オシログラム
Fig. 13.　Oscillogram of load balancing circuit at actual rolling

度を大とし精度を高めようとすると安定化しにくいものであるが，この増幅度を一定に保持する方法によって安定化が容易となり，第7図にみるように単に $MLB\ F3$ 界磁に抵抗とコンデンサの組合わせによる負フィードバックのみで充分安定性のある回路とすることができた．第 12 図にアナコンによる本回路の応答オシログラムを示す。

電流平衡の方向はこの回路では電動機の回転方向により切換える必要があるから，$MLB\ F2$ 界磁の極性を回転方向継電器 F_s, R_s により切換えている．この回転方向継電器はセレン整流器と過電圧継電器の組合わせで，主回路電圧の正負により動作するものである．正転逆転のノッチにより動作する接触器 F, R では実際の電動機の回転方向とは時間的なずれがあって使用できないし，電圧の正負と電動機回転方向の正逆との時間的ずれはきわめてわずかだからである。

圧延状況により故意に上下電動機の負荷分担を変えたい場合には，$MM1$ の補極および補償巻線に接続してある抵抗 R_b によってポテンショメータ式に電流検出比を変えることができる。

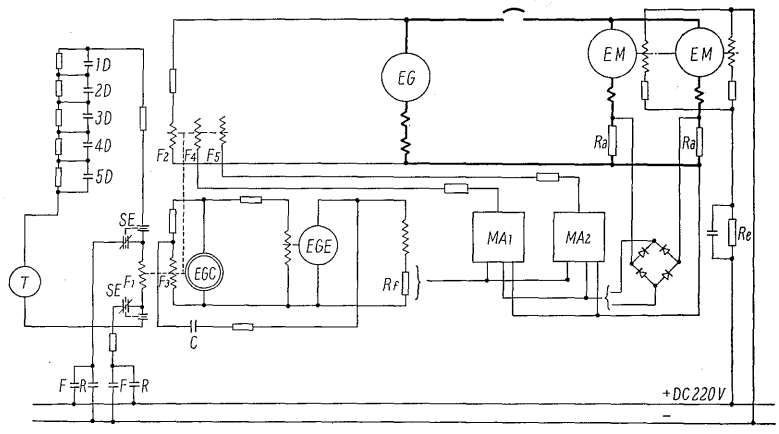
第 13 図に実際に圧延中の上下主電動機の負荷電流と MLB の動作をオシログラムにより示した。

4)　過負荷制限回路

主電動機に過負荷の生じた場合，主回路 ACB をトリップする以前に自動的に回転数をおとしてそのまま圧延を継続できるようにすることが必要である．これに対してはガタ特性を持つ磁気増幅器 $MA\ 1$, $MA\ 2$ を使用し，負荷電流がある値以上になれば，磁気増幅器出力を $MVP\ F2$ または $F3$ 界磁に入れ主発電機の電圧を落すとともに，$MFP\ F2$ または $F3$ 界磁に入れ主電動機の界磁を強めるようにしてある．制動電流の過大に対しては逆に主発電機の電圧を高め，主電動機の界磁を弱めて電流を抑制するようになっている．$MA\ 1$, $MA\ 2$ はプッシュプルとして使用され，制御巻線にバイヤスを与えることにより動作開始点を設定するのであるが，主電動機の特性から，弱界磁で高速の状態では負荷電流に対してより小さな値から動作を開始する必要がある．このため制御巻線に主電動機界磁電流に比例する抵抗 R_f の電圧降下からバイアスをとり，定電圧電源からの固定バイアスとあわせて，全界磁 40 rpm の場合には 200% 電流から，最弱界磁 100 rpm の場合には 160% 電流から磁気増幅器が動作を開始するようにした．主電動機の回転方向に対して電圧側ではそのままで良いが，界磁側では極性を切換えてやらねばならないので，負荷平衡回路に使用した回転方向継電器 F_s, R_s によりこれを切換えている。

5)　消　磁　回　路

圧延機運転中なんらかの事故の場合主回路 ACB を一斉トリップするのが普通であるが，これでは再スタートに時間がかかり特に高速運転中スラブが出てしまった場合には主電動機に全然ブレーキがかからないため，停止するまでかなりの時間待たねばならない．当社では電圧制御範囲での過電流継電器動作，界磁制御範囲での過電力継電器動作に対しては主回路 ACB をトリップすることなく，制御電流が過大とならない状態でできるだけ速やかに主電動機を停止せしめる消磁回路を付し，事故の際の再起動時間の短縮をはかっている．上記継電器の動作時は第7図における制御主接触器 M を開放し，電圧制御回路への信号を零とするとともに，界磁制御回路へは信号回路に抵抗を挿入し最低励磁の状態へ持ってゆくこととなる．この時主発電機の電圧の減衰は非常に急峻で主電動機界磁の減衰よりはるかに速いから制動電流が著しく大となり，主回路 ACB を自動トリップするおそれがある．そこで主発電機の界磁へ放電抵抗 R_d を接触器 F_d1 により挿入し界磁電流の急変をおさえ，一定時限後に F_d2, F_d3 を順次開放して常に同等の制動電



第14図　エッジャ電動機制御回路
Fig. 14.　Control circuit of edger motor

流となるようにしてある．これによりいかなる条件のもとで継電器が動作しても ACB をトリップすることなく速やかにかつ安全に主電動機を停止し，ただちに M を再投入して運転に入れることが可能である．接触器 M の投入は主幹制御器が0ノッチであることを条件としている。

保護装置はこのほか過電圧継電器，過速度継電器，界磁不足電流継電器等により万全を期している。

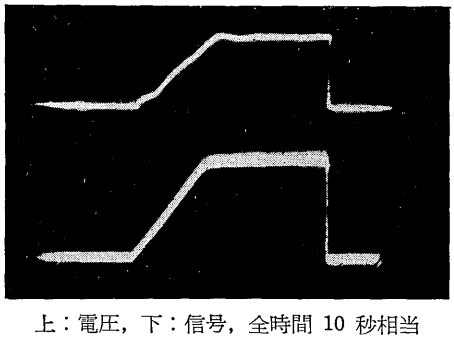
2. エッジャ電動機制御

エッジャロールに噛み込まれたスラブは同時に主圧延ロールにも噛み込まれるため，主電動機とエッジャ電動機の速度には同期関係を要するほか，主圧延ロールで圧下によるドラフト分だけある速度比をもって運転する必要がある．本粗圧延設備は主圧延機スクリューダウンをプリセットコントロールしているため，ドラフト量もあらかじめ各パスごとに決定されてくる．主電動機と同期運転するとともにドラフト量のプリセットに応ずる速度比を得るため，エッジャ電動機の全速度範囲を電圧制御一本で行なうこととした．したがってエッジャ発電機は当然大形のものとなるが，制御回路の簡潔さに比せばつぐなって余りあるものがある．エッジャ電動機は2重電機子構造であり，電機子は主発電機母線に並列に接続し，界磁も定電圧電源より並列に励磁している．また界磁にはエコノマイズ抵抗を挿入して休止時の電力消費を削減している．各電機子には直列に死抵抗 R_a を挿入し垂下特性を持たせるとともに，電流制限回路への電流検出用として兼用している。

1) 電圧制御回路

第14図にみるごとくエッジャ発電機 EG の電圧は専用励磁機 EGE およびラピダイン EGC により制御される．速度基準値は $EGC\ F1$ 界磁に加えられるが，主電動機と連動運転の場合には主電動機付属のタコメータ発電機 T から与えられる．前述のドラフト量のプリセットに対しては，接触器 $1D$ ないし $5D$ のいずれかを開放し直列に抵抗を挿入することにより 20 ないし 45% のドラフトを得られるようになっている．微速運転の場合には接触器 SE を切換え，手動制御器で接触器 F または R によって定電圧電源から $F1$ 界磁に信号を与える．エッジャ発電機 EG の電圧は $EGC\ F2$ 界磁に入れて $F1$ 界磁の基準励磁と比較される．本回路の安定化は主発電機の場合と同様，抵抗とコンデンサの組合わせで，$EGC\ F3$ 界磁に負フィードバックを与えることにより行なわれている．第15図はエッジャ発電機電圧制御のアナコンによる単位関数的入力に対する応答を示し，第16図は下側に示した直線的に上昇する信号を与えた場合の電圧応

全時間：5 秒相当
第15図　アナコンによるエッジャ発電機電圧上昇オシログラム
total time: equivalent to 5 sec.
Fig. 15.　Voltage build up oscillogram of edger generator by analogue computer



上：電圧，下：信号，全時間 10 秒相当
第16図　アナコンによる直線的変化の信号に対するエッジャ発電機電圧応答オシログラム
upper: voltage lower: signal
total time: equivalent to 10 sec.
Fig. 16.　Voltage response oscillogram of edger generator to linearly changing signal by analogue computer

答を示す．実際の回路については電圧上昇時間は単位関数的入力に対し約 0.4 秒であった。

2) 負荷制限回路

エッジャロールは主圧延ロールと同時にスラブの噛み込みを行なうため，ドラフト設定を誤った場合過負荷あるいは過制動となるおそれがある．そこで電流が正負いずれもある値を越えるとエッジャ電動機の速度を急激に落すか上げるかして電流を抑制せねばならない．この制御値は高速で当然落さねばならないから，負荷制限としては電流ではなくて出力制限とすべきである。

本設備では主電動機におけると同様にガタ特性のプッシュプル磁気増幅器 $MA1$, $MA2$ を使用し，その出力は ECG $F4$ および $F5$ 界磁を励磁する．$MA1$, $MA2$ の信号入力としては電圧要素としてエッジャ発電機界磁に挿入した抵抗 R_f の電圧降下をとり，電流要素としてエッジャ電動機電機子に直列に入れた抵抗 R_a の電圧降下を検出している．この R_a は各電機子ごとに設け，セレン整流器と組合わせてどちらか電流値の大なる方の信号が優先して磁気増幅器へ入るようになっている．電圧要素と電流要素は和として働き，これがある値を越えたとき磁気増幅器 $MA1$ または $MA2$ のいずれかが動作を開始することになる。

VI. 補機用直流電動機

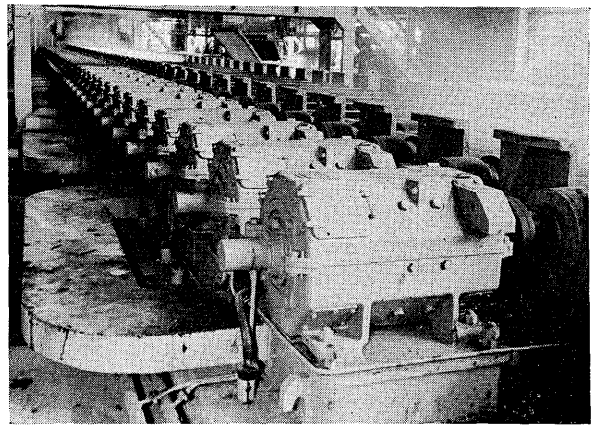
1. 電　動　機

第 1 表に示すごとく粗圧延関係だけで 179 台におよぶ補機用直流電動機が使用されており，これらはいずれも JEM 1109 による製鉄補機用直流電動機である．しかし可変電圧制御のテーブル用電動機は，アメリカにおいては電圧 550 V のものを電圧をかえて所要の速度として使用しているのであるが，わが国の JEM 1109 の規格では 220 V および 440 V を標準電圧としているので非標準となっている．当社はこのため AISE 規格による 550 V 定格の電動機を開発し，これを使用して 220 V で所要の速度となるようにした．この電動機はテーブルローラ 1 個ごとに 1 台の電動機を直結したもので，16 台ないし 18 台ずつまとめて 1 台のレオナード発電機で制御している．第 17 図は粗圧延機出側テーブル用電動機群である．第 18 図は粗圧延機スクリューダウン用電動機であるが，この電動機は倍電圧制御を行なっており，2 台を電磁接手で結合して運転する場合には電動機の負荷平衡を行なう回路が形成されるようになっている。

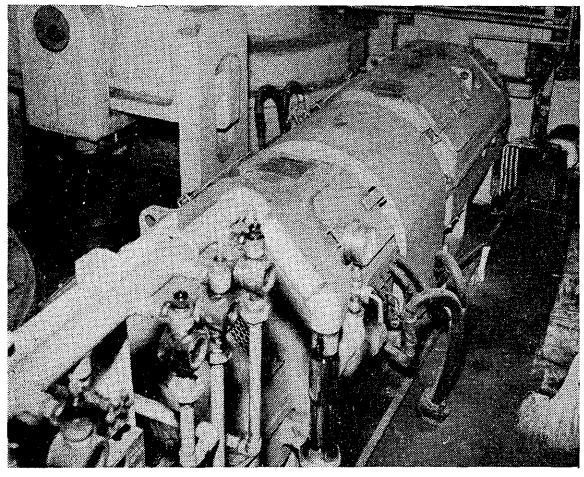
2. 可変電圧補機制御方式

可変電圧電動機は第 2 表に示すレオナード発電機およびラピダインによって急速加減速を行なうものである．第 19 図後方の 2 組の電動発電機がレオナード発電機群であり，中央の小さな 2 組がラピダイン群である。

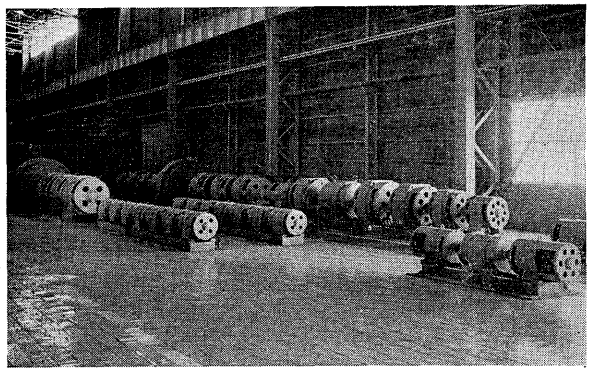
可変電圧補機制御の一例としてテーブル用電動機の制御回路を第 20 図に示す．発電機 G の界磁を直接ラピ



第 17 図　粗圧延機出側テーブル用電動機群
Fig. 17.　Motors for rougher run out table roller



第 18 図　粗圧延機スクリューダウン用電動機
Fig. 18.　Motors for rougher screw down



第 19 図　電気室内電動発電機群
Fig. 19.　Motor generator sets in electrical room

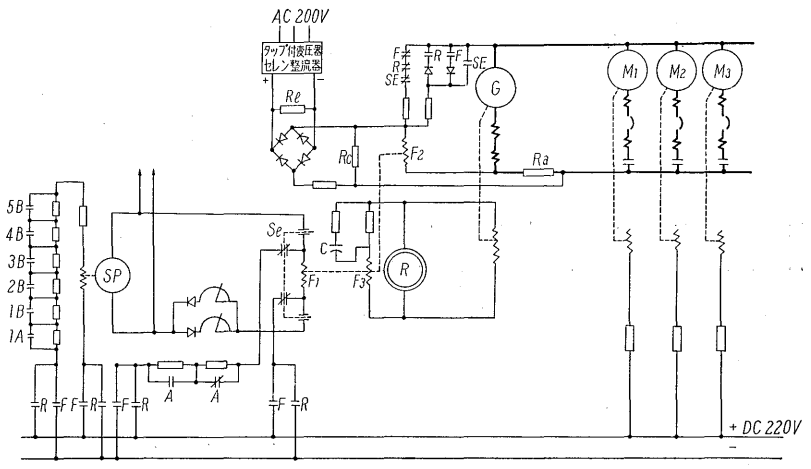
第1表 補機用直流電動機一覧表
Table 1 Table of auxiliary DC motors

用途	電動機 台数	枠番	出力 HP	回転数 rpm	電圧 V	界磁	定格	制御方式	制御盤
ファーネス入側テーブル（$F1$～7）	7	610	50	550	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，プラッギング	A
ダブルファーネスプッシャ（DFP）	4	616	150	460	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，スローダウン	A
ファーネス出側テーブル（$A1$～4）	4	610	50	550	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，プラッギング	B
ファーネス出側テーブルサイドガイド（SG 1）	1	604	15	725	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，スローダウン	B
粗スケールブレーカ用スクリューダウン（SD 1）	1	610	50	550/1,650	220	特殊複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，スローダウン	B
粗スケールブレーカ用フィードローラ（FR）	2	602	7.5	900	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，プラッギング	B
粗スケールブレーカ出側テーブル（B 1）	16	606	10	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	BまたはC
粗圧延機アプローチテーブル-1（B 2）	17	606	10	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	BまたはC
粗圧延機アプローチテーブル-2（B 3）	17	606	10	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	C
粗圧延機前面テーブル（B 4）	17	608	14	250	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	C
粗圧延機後面テーブル（C 1）	17	608	14	250	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	C
粗圧延機前後面テーブル用センタリングサイドガイド（SG 2, 3）	2	604	15	725	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，スローダウン	C
エッジャロール用ハウジングアジャスト（HA）	1	610	50	550	220	複巻	1時間	可逆，ダイナミックブレーキ，スローダウン	C
粗圧延機スクリューダウン（SD2）	2	614	100	485/970	220/440	分巻	連続	可逆，レオナード倍電圧制御	C
粗圧延機出側テーブル-1（C 2）	17	606	10	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	C
粗圧延機出側テーブル-2（C 3）	18	606	10	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	CまたはD
粗圧延機出側テーブル-3（C 4）	18	606	10	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	CまたはD
クロップシヤアプローチテーブル（C 5）	18	606	7.5	280	220	分巻	連続	可逆，レオナード制御	D

第2表 可変電圧補機用レオナード発電機およびラピダイン一覧表
Table 2 Table of Leonard generators for variable voltage auxiliary motors and Rapidynes

用途	直流発電機 台数	形式	出力 kW	電圧 V	回転数 rpm	定格	ラピダイン 台数	出力 kW	電圧 V	回転数 rpm	制御方式
粗圧延機スクリューダウン（SD_2）用	2	GM 312	100	240/480	1,200	連続	2	2	200	1,750	電流制限加減速，負荷平衡
テーブル（B_4, C_1）用	2	GM 312	250	240	1,200	連続	2	2	200	1,750	電流制限加減速
テーブル（$B_{1\sim3}$, $C_{2\sim5}$）用	8	GM 302	180	240	1,200	連続	8	2	200	1,750	電流制限加減速（1セット予備）
定電圧励磁電源	2	GM 265	120	230	1,200	連続	–	–	–	–	—
駆動電動機	2	PF 405/21-6 1,300 HP 3,300 V 3φ 60 ~ p.f. 0.8 進み（同期電動機）					2	40 HP 200 V 3φ 60~（誘導電動機）			

ダインRで励磁し，R の $F1$ 界磁に速度基準信号を入れる．この基準信号は，粗圧延主ロールと連動運転の場合には粗圧延機主幹制御器のノッチにより速度パイロット発電機 SP の電圧をかえ，正転および逆転に対して別個に速度比を調整できるようセレン整流器と調整抵抗が2組挿入されている．この SP の電圧は他のテーブル電動機群の速度基準にも用いられている．連動より切離して単独に運転する場合には切換接触器 SE を切換え，定電圧電源より手動で動作する F, R, A 等の接触器で信号が与えられる．R の $F2$ 界磁は発電機 G の電圧で励磁されるとともに，過電流抑制の作用をもっている．すなわち主回路に挿入された抵抗 R_a の電圧降下が交流電源からタップ付変圧器とセレン整流器により得られる抵抗 R_l 両端の電圧を越えた場合に，ブリッジ接続のセレン



第20図　テーブル用電動機制御回路

Fig. 20.　Control circuit of table motors

整流器を通して $F2$ 界磁へ電流が流れ，発電機 G の電圧を降下せしめ負荷電流を抑制するのである．抵抗 R_c は発電機 G の垂下特性を調整する抵抗である．R の $F3$ 界磁は回路の安定化に使用されている．第 21 図はテーブル用電動機群を単独制御で急速加速したときのオシログラムである。

粗圧延機スクリューダウンは手動またはプリセットコントロール盤からの指令により加減速，スローダウンを行なうもので，回路構成はテーブル用電動機のものとほぼ同一であり，ただ R の $F3$ 界磁にさらに負荷平衡作用を持たせた点のみ異なる．第 22 図にこの電動機の急速加速の状況を示す。

3.　定電圧補機制御方式

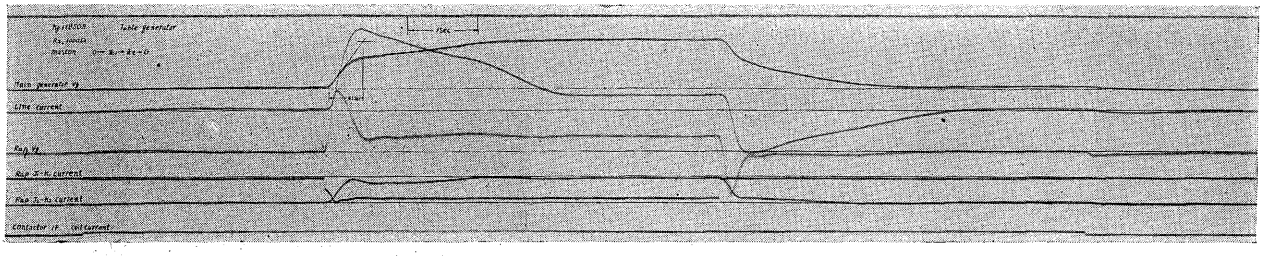
定電圧補機の制御はおのおの単独に起動，停止，正逆転を行なうが，急停止を要求される電動機ではダイナミックブレーキのほかにプラッギングを併用し，微細な位置ぎめを要するものではリミットスイッチを用い自動的に緩速におとし，さらに電磁制動機で停止せしめる方式となっている．電磁制動機はすべて JEM 1120 による製鉄補機用のものを使用している。

VII.　結　　言

以上熱間圧延設備の粗圧延用 7,000 HP ワードレオナード式電気設備について述べたが，本設備の完成により当社は昨年春川崎製鉄・千葉製鉄所に納入した仕上圧延電気設備と合わせて，熱間圧延設備全体の製作を全うしたことになり，いずれも好成績で運転されていることは喜びにたえない。

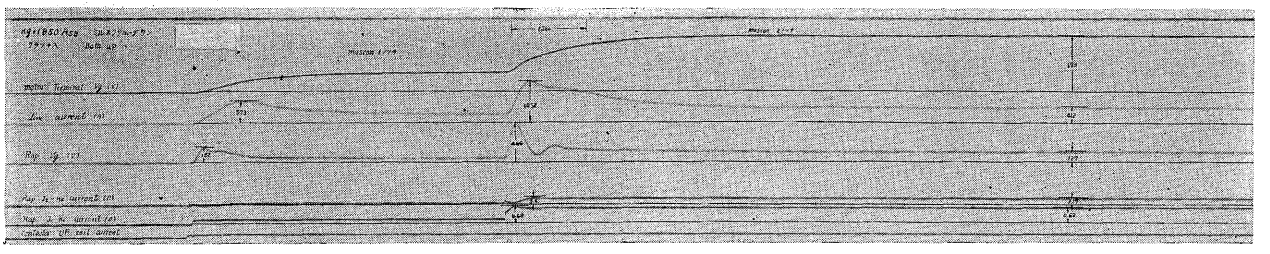
本設備製作の貴重な経験をもとにし，今後さらにたゆまぬ研究を続け製鉄用電気品の向上に努力する決意である。

最後に本設備の設計，製作，試験の段階において御指導ならびに御協力をいただいた八幡製鉄関係各位に深甚なる感謝の意を表する次第である。



第21図　テーブル用電動機急速加速オシログラム

Fig. 21.　Rapid acceleration oscillogram of table motors



第22図　粗圧延機スクリューダウン用電動機急速加速オシログラム

Fig. 22.　Rapid acceleration oscillogram of rougher screw down motor

＊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。