

冷間鋼帯圧延機用電気設備

田 附 修* 西 一 郎**

The Electric Drive for the Cold Rolling Mills

By Osamu Tazuke and Ichirō Nishi
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

There are many kinds of equipment necessary in connection with cold rolling; continuous tandem cold strip mills, reversible cold strip mills, temper mills, shearing, slitting, pickling, electrolytic cleaning, tinning line equipment, etc. And it is an established practise to use D.C. motors for the drive of these outfits, because their speeds need to be controlled both finely and automatically to compensate for proper tension or loop of the strip. As the total driving horsepower requirement frequently exceeds 10,000 HP, the automatic control by means of a proper amplifier is usually employed for the driving motors. In the cold strip mills the strip must be held always on gauge and highly productive, and there tend to occur many troubles, causes of which are difficult to locate and control in many cases.

The following are the summary of the writers' experimental research on this subject as well as the general operation and characteristics of the automatic control systems which take the vital part in the operation of the cold strip mills.

(1) The strip is always subjected to the back and front tension and the winding coil is built up during rolling. As the coil is built up the speed of the winding reel motor must be gradually reduced and the unwinder motor speed increased. If rolling speed and tension remain constant the tension horse power is also kept constant, so the writers suggest to control automatically the output of the winding reel motor or the current to be constant by using a rotating amplifier. But as there is some variation of current, the amplification constant of the rotating amplifiers should be very high and its time constant should be also very small to prevent unstable state of automatic tension control system. However, as the effect of tension upon the gauge of strip proves comparatively small, it is sufficient to control the tension within 1~5% error.

(2) The no-load loss of the winding reel motor varies according to its speed, then, if current of the motor is constant the output of the motor will decrease as its speed goes up, making it necessary to compensate the no-load loss. For such compensation the writers recommend to increase the generator voltage gradually so that the motor speed may go up.

* ** 日立製作所日立工場

(3) As the diameter of the winding coil decreases, the speed of the unwinder motor will increase, which makes it necessary to give it accelerating torque to keep constant tension. But in case of general cold strip mills the accelerating power turns out very small for the tension power, which means the necessity for the compensation of it. However, for the temper mills this power becomes comparable to its tension power and needs compensation.

(4) When the reel, main roll and unreel motors are accelerated simultaneously on equal voltage there arise some phase difference between each speed, or acceleration lag, because each moment of inertia is not the same, so the tension tends to change during acceleration or deceleration. Each generator is to be given an appropriate IR compensation against this effect.

(5) It happens to accelerate or decelerate during rolling and the accelerating torque of the reel varies according to the coil diameter, so in such case it is preferable to adjust the value of forcing according to the coil diameter to have a proper accelerating torque for the reel. The accelerating torque of the reel is not a simple function of coil diameter, however, as the deviation of tension has very small effect on the strip gauge, and in view of the simplification of control, adjustment is either committed to the field current of the reel motor or not effected at all in some cases.

(6) The tapered tension control, which is easy with the continuous tandem mills, offers very difficult problem in case of the reversing cold strip mills.

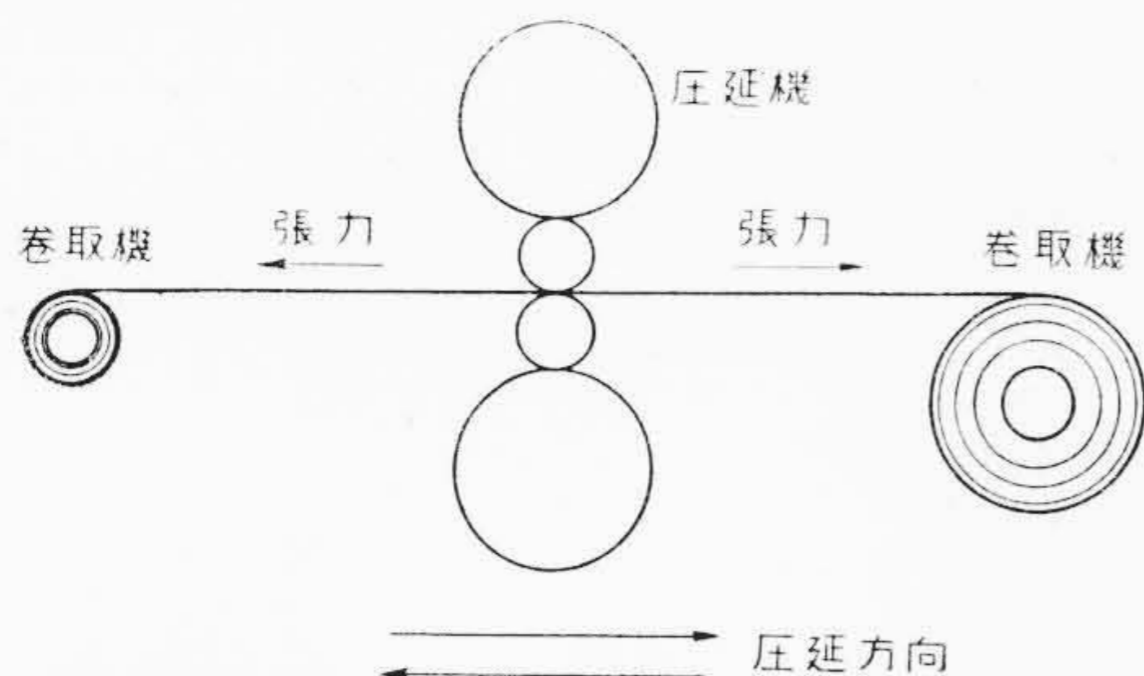
The field control range of the motor for the cold strip mills is generally 3~4. It is preferable that the driving motors have some margin of capacity according to their use, and generally should be able to stand 125% overload for 2 hours and 200% torque. The GD^2 of the motors for cold strip mills should be as small as possible, but the smaller GD^2 increases the difficulty with commutation and ventilation, so the design and manufacturing should be given serious consideration.

Hitachi, Ltd., with which the writers are engaged, recently completed the 16.5" —49"D×42"L 4 high reversing cold strip mill drives to the order of the Nippon Teppan Ltd. The rolling speed is 1,350 FPM, strip is 37" wide and 10 t coil, and the motor capacities are 1,600 kW for the mill and 550 kW for the reel. For the electric drive, the HTD-type rotating amplifier is made best use of in many ways, namely the automatic tension control for the reel, no-load loss compensation by means of fields booster voltage, and IR compensation for acceleration lag. These controls are proved very effective. In addition, a forcing generator is used for forcing, whose voltage is precisely proportional to acceleration degree of the mill and has no time lag. The oscillograms of these characteristics are given on the following pages for reference.

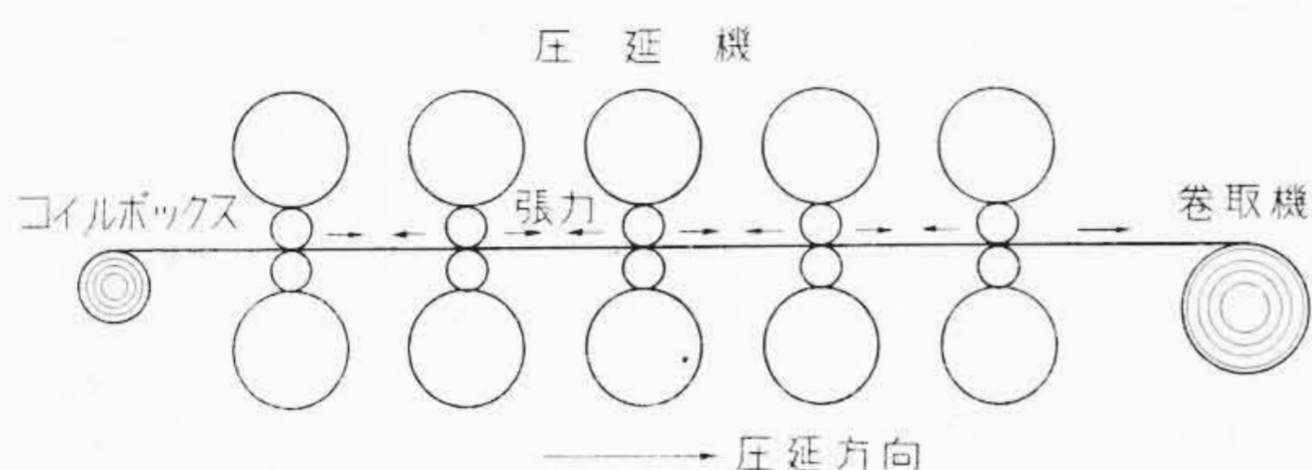
〔I〕 緒 言

冷間鋼帯圧延設備には、連続冷間圧延機、可逆冷間圧延機、テンパーミル、剪断機、スリッタ、酸洗機、電気洗滌機、テイニンクなど種々の設備がある。

冷間圧延は、熱間圧延後の鋼帯を常温で圧延すると同時に材質を良くする圧延工程で、圧延機に巻取機を備えており、その加減速、速度制御、張力制御などを円滑に行うため増幅機を使用した直流自動制御方式によるのが普通である。



第1図 可逆冷間圧延機説明図
Fig.1. Reversing Cold Strip Mills

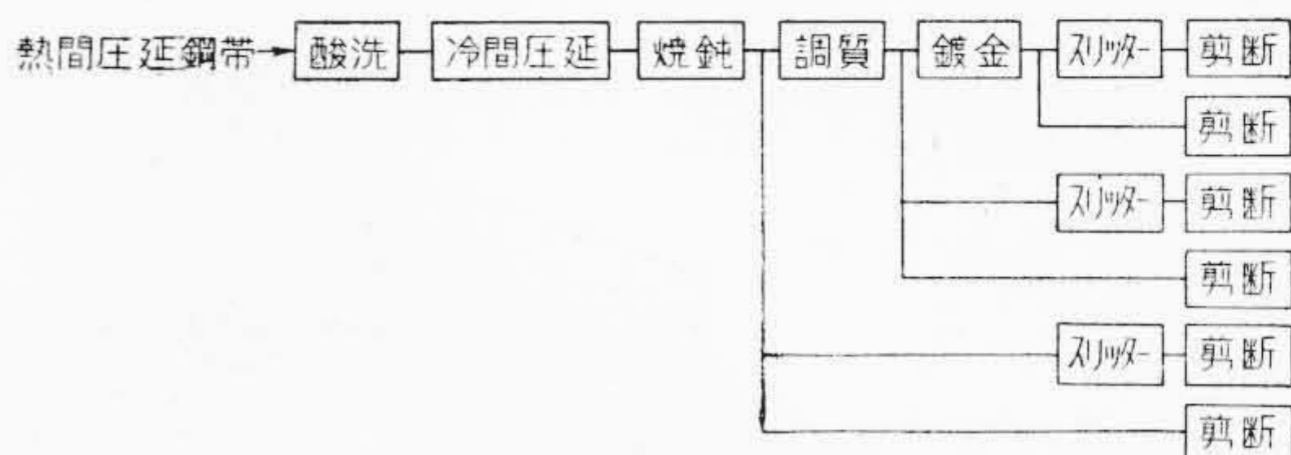


第2図 5タンデム連続冷間圧延機説明図
Fig.2. Five Tandem Cold Strip Mills

圧延回数は普通5回前後であるが、第1図のように1台の圧延機で左右交互に必要な回数だけ圧延する可逆冷間圧延機と、第2図のように数台の圧延機を並べ、鋼帯を一斉に通して1方向1回の圧延で所要の製品を作る連続冷間圧延機とがある。前者は設備費少く、また圧延回数を適宜選択できるから、任意の厚みの鋼帯を圧延することができ品種の多い需要に適するが、生産能率は後者に劣る。また前者の圧延速度は約 2,000 fpm で比較的遅いが、後者では 6,000~7,000 fpm という高速のものがあ、品種が比較的少く、需要量の多い場合に有利である。

テンパーミルは冷間圧延した鋼帯の表面を仕上げる機械で、やはり圧延機の前後に巻取りリールを設えている。この場合は圧下量が僅少で、調質前の鋼帯厚みもほぼ一定になっているから、圧下調整を行わず主として張力制御によるのが普通である。また調質度に応じ張力を強くかけるため、出口、入口に張力ロールを設けたり、あるいは圧延機を2台並べることもある。

剪断機は冷間圧延後の鋼帯を適当な長さに剪断する機械で、走りながら剪断するホーデンシャー、あるいはフライングシャーと、切断する箇所を鋼帯を一時その部分だけ停止して切断するアップカットシャーとあるが、最近ほとんど前者が用いられる。なお切断する前に鋼帯の両耳を切りとるが、この耳切りを歩溜りよく行うためトリマーの前、またはトリマーと剪断機の間ループを設け、いわゆる自動ループ制御を行う。なお剪断前に鋼帯の厚みを測定し、厚みに応じて製品を2あるいは3種に選別する装置を付けることが多い。



第3図 鋼帯冷間処理工程
Fig.3. Process of the Cold Treatment

スリッターは鋼帯を縦方向に切断する機械で、剪断機のトリマーと同要領で制御されることが多い。またスリッター専用の設備もあるが、剪断機のトリマーの代りにスリッターを設け、スリットした後剪断する場合もある。

酸洗機は冷間圧延前の鋼帯を酸洗して油、汚物などを除く設備で、熱間圧延後のコイルをゆるく巻直して酸洗する方式と、巻きほとして带状にし、酸槽の中を通しながら再び巻取る連続酸洗方式とあり、最近ほとんど後者が用いられる。この設備では酸洗前にコイルを巻き戻し、各コイルの前後端をつぎつぎに溶接して連続的に酸洗槽を通すのであるが、酸洗槽の前にはルーピングピットを設けて鋼帯を蓄え、溶接作業中も連続的に酸洗ができるようにする。また酸洗槽内の鋼帯位置を一定に保つため、自動ループ制御を行う。なお溶接部の鋼帯幅の違いのため、圧延機ロールを損傷するおそれがあるので、両側をトリミングする場合が多い。

ティンニング設備は調質後の鋼帯を錫メッキする設備で、剪断後シート状でメッキする方式と、剪断前のコイル状のまま連続的にメッキする方式とあるが、最近ほとんど後者が用いられる。この方式ではメッキ後の鋼帯を水洗、乾燥し、ふたたび巻取つて適当なコイルに切断する。

以上の外冷間圧延したコイルを焼鈍する設備があるがこれは電気設備としては取立てて述べるものはない。最近の代表的冷間設備を図表で示すと第3図のようになる。

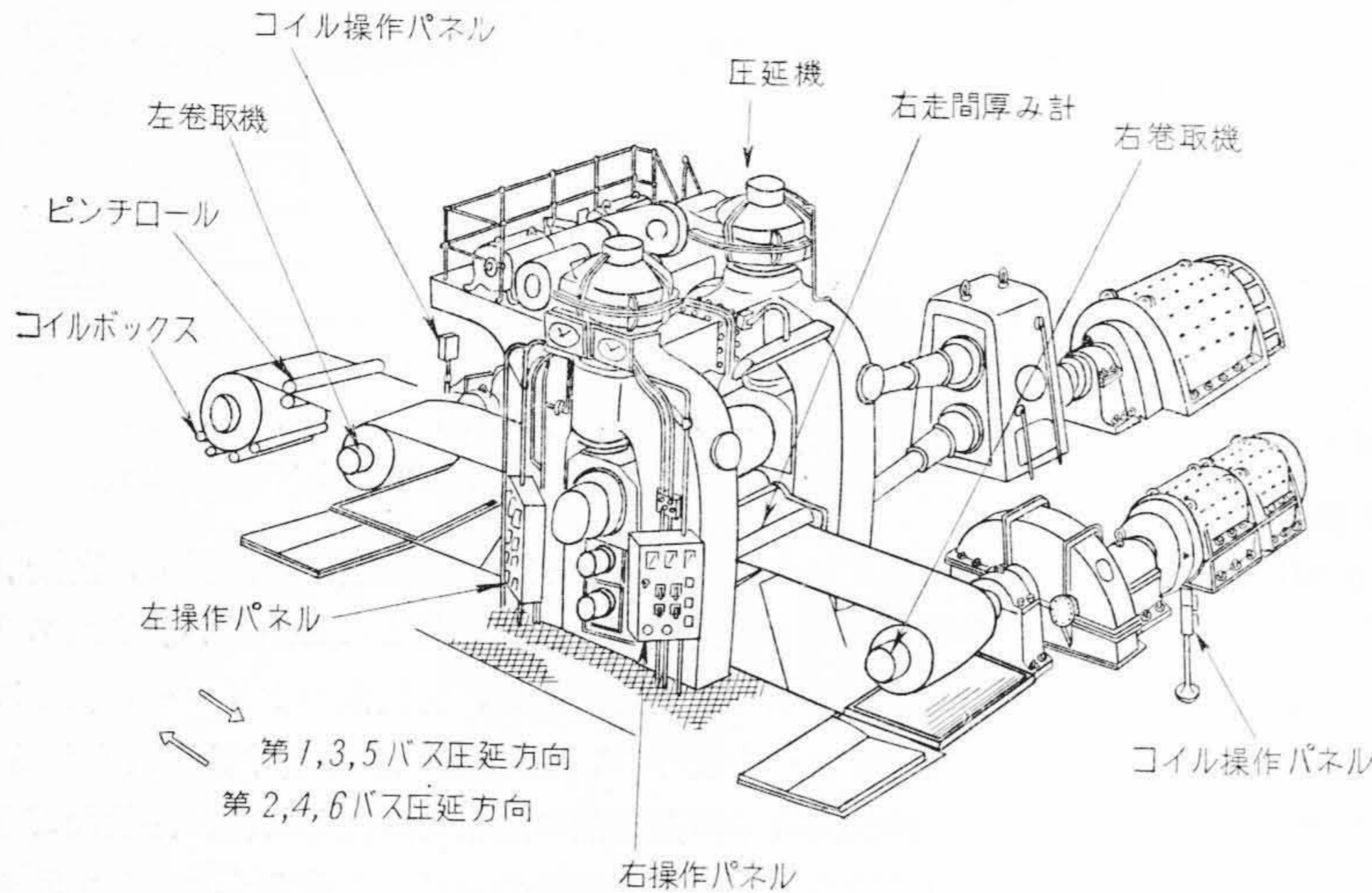
〔II〕 冷間圧延に必要な電気的特性

冷間鋼帯圧延設備で最も主要な部分は冷間圧延機であるから、以下その電気駆動設備について述べる。

(1) 冷間圧延機設備の概要

(A) 可逆冷間圧延機

第4図(次頁参照)のように、圧延機の左右に巻取機および左側にコイルボックス、ピンチロール、フラットナーを設ける。コイルボックスは第1パスの送りだけに用いられ、したがって、第1パスでは左側に張力をかけない。ピンチロールは小型の誘導電動機で駆動され、コイル操作パネルから寸動で運転される。この電動機とピン



第4図
4重可逆冷間圧延機説明図
Fig.4.
Four High Reversing Cold Strip Mills

チロールの間には過速のクラッチが設けてあり、鋼帯が圧延機で高速に駆動されると自動的にクラッチが切れ、誘導電動機が危険な高速になることを防ぐようになっている。巻取用直流電動機は定張力制御により運転中は勿論、静止中も鋼帯に張力を与えるように作用する。圧延機の出口には走間厚み計を設け、この指示により運転中ロール圧下量を調整する。運転操作はすべて操作パネルで行われ、各パス交互に巻取方向を変えて圧延する。加減速度は 200 fpm/s 前後が普通で、1,600 fpm の圧延機では加減速の時間は 7~8 秒程度である。

運転中、巻取機のコイル直径は次第に巻太り、被巻取側では逆に巻細る。最大コイル直径と巻胴直径の比は巻太り比と呼ばれ、コイル重量、鋼帯幅、比重および巻取ドラムの直径によりきまる。今、

$$W = \text{コイル重量 (t)}$$

$$b = \text{鋼帯幅 (m)}$$

$$D_1 = \text{巻取ドラム直径 (m)}$$

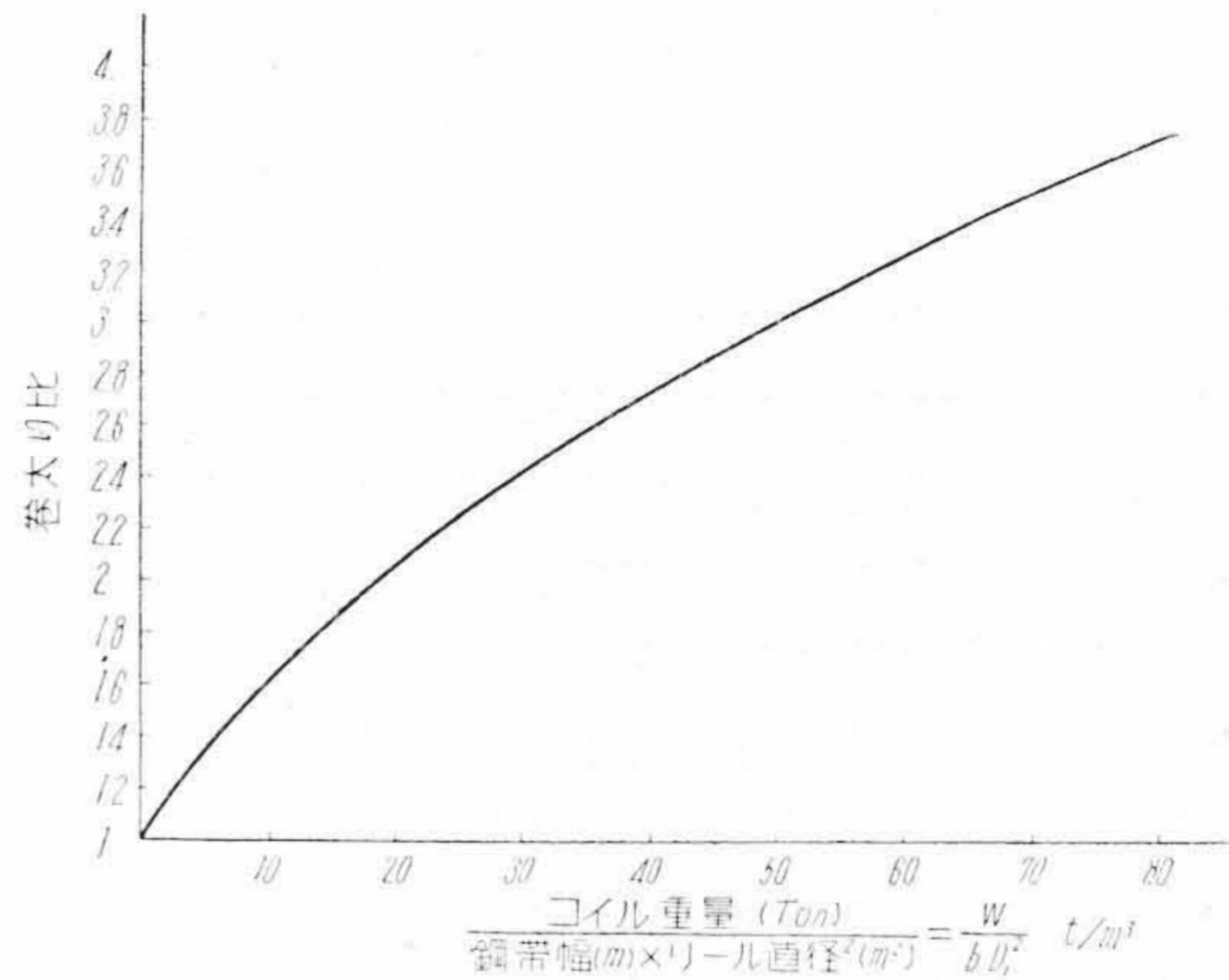
$$k = \text{巻太り比}$$

とすると、巻太り比 k は次式で与えられる。

$$k = \sqrt{0.1621 \frac{W}{bD_1^2} + 1} \dots\dots\dots (1)$$

これを図示すると第5図のようになる。巻取電動機の回転数はこのコイル直径の変化に応じて変えてゆく必要があるため、普通直流電動機に回転増幅機、磁気増幅器などを用いた自動張力制御を行って、速度を自動制御している。巻太り比は圧延機により異なり一般に1,000~3,000HP級では 3~4 であるが、場合により6ぐらいのこともある。

鋼帯の厚みはパスが進むにつれて薄くなるから、全張力はパスとともに減少し、巻取電動機の圧延トルクもまた少くなる。したがってパスとともに電動機界磁を弱め



第5図 巻取機の鋼帯巻太り比
Fig.5. Coil Build-Up Ratio of the Steel Strip on the Reel

て圧延速度を高くする。通例、第1パスでは約115%負荷、第2パス以降は次第に負荷が減り、最終パスでは第1パスの2倍近くの圧延速度になるようスケジュールをきめる。

操作用制御盤は、デスク式とパネル式とあり、両者ともに用いられるが、最近では後者が多く用いられる。この外コイルおよび巻取ドラムの操作のため、コイル操作用パネルを巻取機の近傍に設ける。操作盤には加減速、停止、非常停止、圧延速度設定、圧延方向切替、張力調整、張力切入、殺し調整、圧下調整、圧下指示計、巻取回数指示計などの器具を取付け、速度計、電流計、走間厚み指示計などはべつの計器盤に設けることが多い。

(B) 連続冷間圧延機

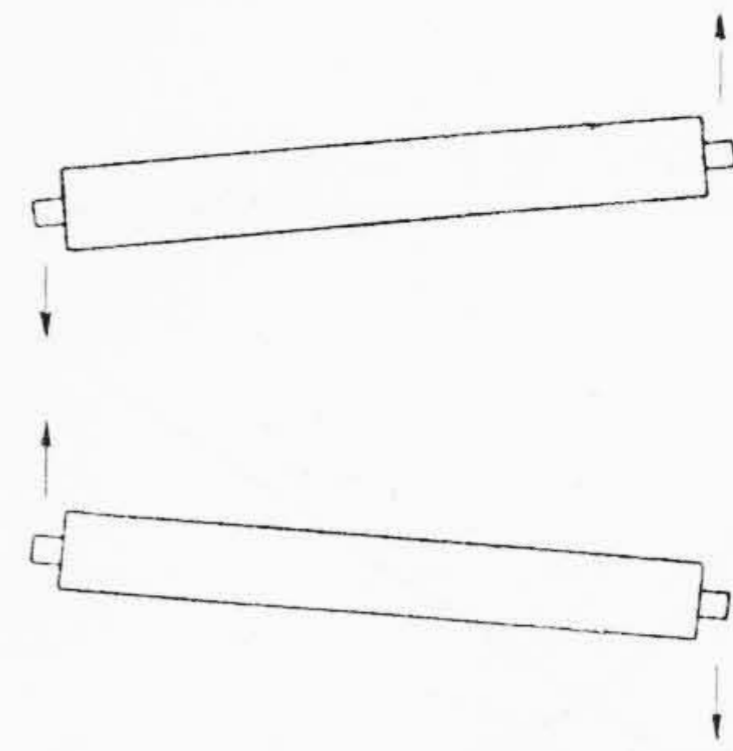
この圧延機では圧延方向は常に一方向で、各圧延機には別箇の直流電動機を連結し、入口にコイルボックス、

出口に巻取機を設け、操作パネルは各スタンド毎に設けるが、全体の主要操作は最終スタンドのパネルで行う。また場合によりべつに設けた運転室で一括制御を行う方式もある。各スタンド用電動機は圧延動力を供給するとともにスタンド間に張力を与えるよう自動張力制御を行うが第1スタンドのみは入口張力をかけない。また巻取機は常に薄い仕上鋼帯を巻くから、操作時間を短くするためベルトラッパーを用いることが多い。その他の電気設備については可逆冷間圧延機の場合と大同小異である。

(2) ゲージ制御と張力制御

可逆冷間圧延機では、前後の張力が一定でも素材厚みに不動があると仕上厚みは一定にならないので、これを補正するため圧延中にロール圧下調整を行う必要がある。素材厚みの不同は長さ、幅方向ともにあるから、圧下調整も同時、左右単独ともに行えるようにせねばならない。圧下用電動機は左右各1台づゝあり、約 3,000 fpm 以下の圧延機では定電圧電磁制御方式とし、同時、左、右の3操作とするのが普通で、それ以上は速応性を増すためレオナード方式とし、左右の調整は第6図のよういわゆるレベル制御を用いる。この制御では一側を上げるとともに他側を下げるように制御するもので、各電動機は専独の発電機を有し、左右の電圧を反対にする。同時圧下のときは2台の電動機間に設けたクラッチを入れ、各発電機の電圧を同方向に発生するよう制御する。なお圧下調整を走間厚み計の振れにより自動制御する方式もあるが、非鉄金属圧延に一部用いられるだけで、鋼帯圧延の場合はすべて手動で行う。

張力は一般に抗張力の 30% 以下に選ぶから、仮りに規定以上の張力がかかることがあつても鋼帯は切れない。張力検出装置としては機械的な張力計もあるが現状では誤差多く、2スタンドテンパーミルのスタンド間のようにやむをえぬところ以外は使用されず、普通は電動機の電流で張力を検出する。また作業により鋼帯幅、コイル重量がいろいろ変り、したがつて巻取軸の慣性が変わるから、慣性補償値の調整器が必要であるが、これは一般に操作盤と別設置する。張力調整範囲が、1/10~1/20 におよぶような場合は慣性補償値に僅かの過不足があつても張力に大きな影響を与えるので、加減速時間を変えたり巻取電動機を数台に分け、クラッチにより余分の電動機を切離し、慣性を少くして使用することもある。パスの移り変りの際は圧延機停止中も巻取電動機に電流を流して鋼帯に運転時とほゞ同一の静止張力を与えるのが普通であるが、停止中の電動機に長時間大電流を流すと整流子が部分過熱して損傷するおそれがあるので、操作不馴れな間は定格値の 30% 程度に下げることがある。この場合、各パスに応じて静止張力電流を調整する必要は



第6図 レベル制御式圧下調整方式
Fig. 6. Level Control of Screwdown Motors

ない。

(3) 可逆冷間圧延機の電気制御

可逆式は連続式に比し、オフゲージの原因が多い。以下これらを述べ、歩溜りをよくするために必要な電気制御方式につき説明する。

(A) 巻太りによる張力の制御誤差

張力一定ならば、巻取電動機のトルクはコイル直径に比例し、速度は逆比例するから、巻太るにつれ磁束を増すように制御する。今、

- v = 鋼帯の速度 (m/s)
- F = 鋼帯の張力 (kg)
- E_m = 巻取電動機の反起電力 (V)
- I = 巻取電動機の電流 (A)
- r_m = 巻取電動機の内部抵抗 (Ω)
- w = 巻取機および巻取電動機の無負荷損失、すなわち鉄損と風損、摩擦損の和 (W)
- V_g = 巻取電動機用発電機の端子電圧 (V)

とすれば

$$\frac{1,000}{102} F \cdot v = V_g I - (I^2 r_m + w) = E_m I - w \dots \dots \dots (2)$$

ただし、上の符号は巻取機、下の符号は被巻取機の場合である。

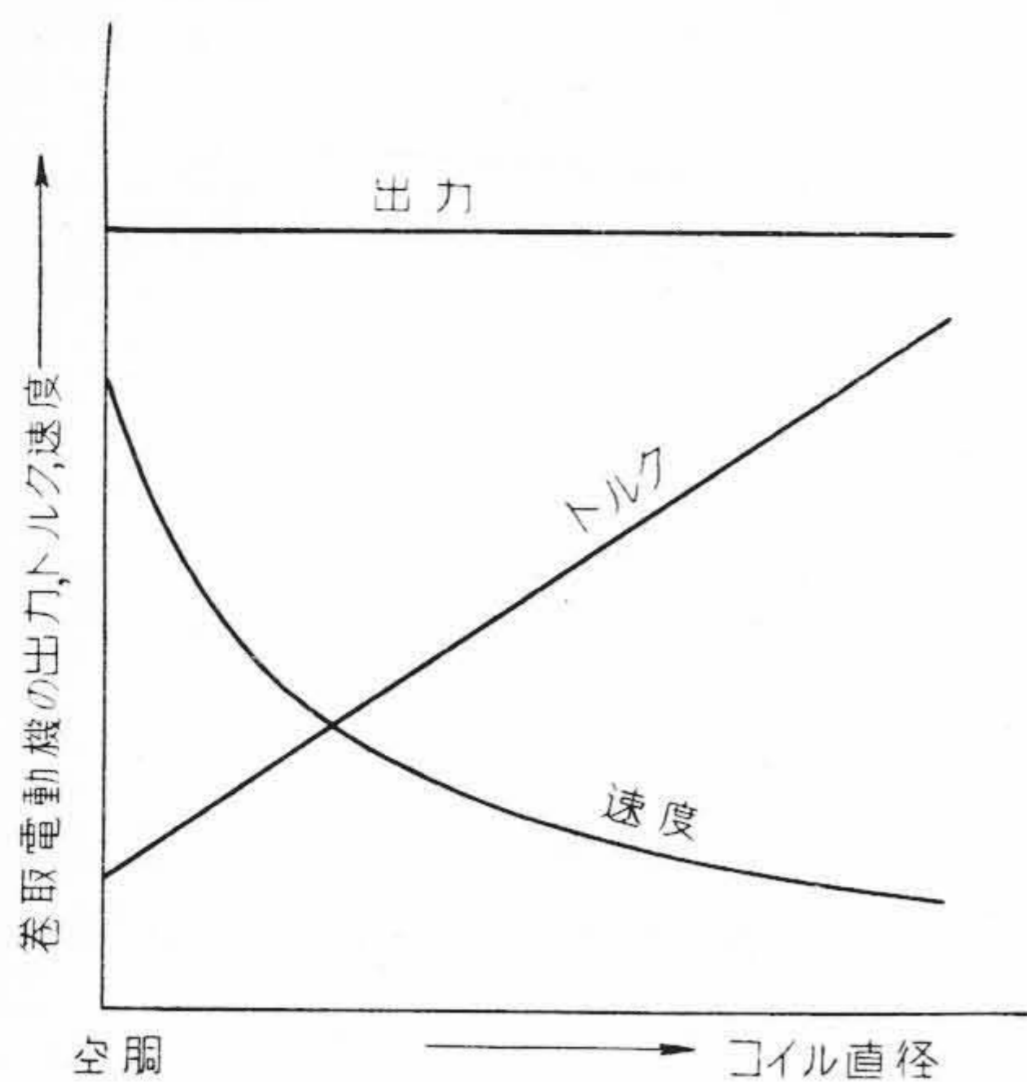
無負荷損失を無視すれば、

$$\frac{1,000}{102} F \cdot v = E_m I \dots \dots \dots (3)$$

(3) 式で E_m は v に比例するから、 F が一定ならば I も一定であり、したがつて定張力制御を行うには巻取電動機の電流を一定にすればよい。一方、全速中は電動機電圧は一定であるから、定張力制御とは電動機の出力を一定に保つことである。電動機の出力、トルク、速度の関係を図示すると第7図(次頁参照)のようになる。今巻太り比を k 、主回路の抵抗降下を 10% とすれば、巻太りによる自動制御系の擾乱は、簡単に考えれば

$$(k-1) \times 1,000\%$$

となり、1,000~3,000HP級の圧延機では 2,000~3,000%



第7図 巻取用電動機の出出力, トルク, 速度特性
 Fig.7. Output, Torque and Speed Characteristics of the Reel Motor

におよぶことがある。実際には、巻取電動機速度変化による利得変化その他が制御誤差に影響するのであるが、精度を上げるためにはきわめて増幅度の高い増幅機が必要である。良好な制御では電流の誤差は ±1~2%、場合により ±5% ぐらいのものもあるが、張力の厚みにおよぼす影響は比較的僅少であるから誤差はあまり厳格を要しない。

(B) 巻取用電動機の無負荷損失

簡単のため全速時の巻太りによる無負荷損失の変化について考える。(2)式においても w 一定ならば、 I を一定にすれば F も一定となるが、全速中巻太りに応じ電動機速度が変化するため w は一定でない。一般に電動機の界磁を弱めて速度を増すと、鉄損には大差ないが、風損および摩擦損が急増するから、巻太り比大きく、鋼帯が薄板幅狭のときは w の変化は張力動力の 10% 以上にもおよぶことがあり、単に電流を一定にするだけでは定張力にすることができない。これを補償するため一般に高速時には無負荷損の増加に応じて発電機電圧を高め、電動機の入力を増加している。被巻取機では電動機は制動発電機として作用するから、逆にその電圧を下げねばならない。今この補償に必要な発電機電圧の加減量を ΔV_g とすると、 $\Delta V_g I$ が無負荷損の変量に等しくなければならぬが、 I はパスに依り変るから、 ΔV_g もパスにより変えねばならない。また巻取電動機の界磁制御範囲が巻太り比より大きいような場合は、同じ圧延速度に対してもリール電圧が異なることがあるから、無負荷損失は電圧によつても影響をうけることになり、厳密に補償するためには ΔV_g の調整が大変面倒なものになる。しかし前述のように張力が鋼帯の厚みにおよぼす影響は比較的少ないので、制御を簡単にするため一般に ΔV_g は電動機速度に応ずる量だけ補正している。

(C) コイル直径が小さいときに生じる加速トルク
 理解を容易にするため、全速中の被巻取機につき説明する。被巻取側ではコイル径が減少するにつれ電動機速度は増加するから、このため加速トルクが生じる。今、

- D = ある時刻のコイル直径 (m)
- $\Delta D = \Delta t$ 秒間に減少するコイル直径 (m)
- D_1 = 巻取ドラムの直径 (m)
- N = 電動機回転数 (rpm)
- GD_0^2 = 電動機軸に換算したコイル以外の慣性 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
- GD^2 = コイルを含んだ電動機軸の全慣性 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

T = コイル直径が減少するために生じる加速トルク ($\text{kg}\cdot\text{m}$)

K_1, K_2, K_3, K_4 = 常数

とすれば、 Δt 秒間に巻取られる鋼帯の量は

$$v \cdot \Delta t = K_1 \frac{\pi}{4} \{(D - \Delta D)^2 - D^2\} = K_1 \frac{\pi}{2} D \cdot \Delta D \dots (4)$$

$$N = K_2 \frac{v}{D} \dots \dots \dots (5)$$

$$GD^2 = GD_0^2 + K_3 (D^4 - D_1^4) \dots \dots \dots (6)$$

(4)~(6) 式から

$$T = K_4 \cdot 2\pi \frac{dN}{dt} GD^2 = \frac{4K_2 K_4 v^2}{K_1 D^3} \{GD_0^2 + K_3 (D^4 - D_1^4)\} \dots (7)$$

(7) 式からあきらかなように、 T はコイル直径に応じ変化するが、1,000~3,000 HP 級の冷間圧延機ではその張力におよぼす影響は、最悪の場合でも 0.5% 程度であるから問題にならない。しかしテンパーミルでは場合により 40~50% に達することがあるから、この影響を補償する必要がある。

(D) 加速遅れおよび電圧の遅れ⁽¹⁾

加減速中鋼帯の張力を一定にするためには、巻取機用電動機は張力に必要なトルクと、慣性体を加減速するために必要なトルクの和を供給しなければならない。このためフオーシングを行つて、張力電流の外に加減速に必要な電流を追加するよう制御する。しかし各電動機を等電圧で加速する場合には、慣性の差による分だけ速度の遅れが生じようとし同一加速度で加速しても、3者の速度の位相が異なる。速度の遅れがある程度大きいと、巻取例ではたるみが生じ、被巻取側は鋼帯で結ばれているため鋼帯により速度の遅れを補正しようとして、過渡的にある期間異常張力がかかることがある。したがつて、速度遅れの大きな電動機に対しては、それだけ発電機電圧の位相を進めるよう制御する必要がある。今、第8図に示すレオナード回路で、発電機電圧を時間に比例して増し、電動機を加速する場合を考える。

- E_g = 発電機誘起々電力 (V)
- \dot{E}_g = 発電機電圧の上昇率 (V/s)
- r = 主回路の全抵抗 (Ω)
- T = 電動機のトルク (kg-m)
- ϕ = 電動機の磁束
- τ_m = 電動機の起動時定数 (s)
- 足符 $_0$ = 電動機の基準速度における値を示すもの
- τ_a = 発電機電圧の上昇時間 (s)

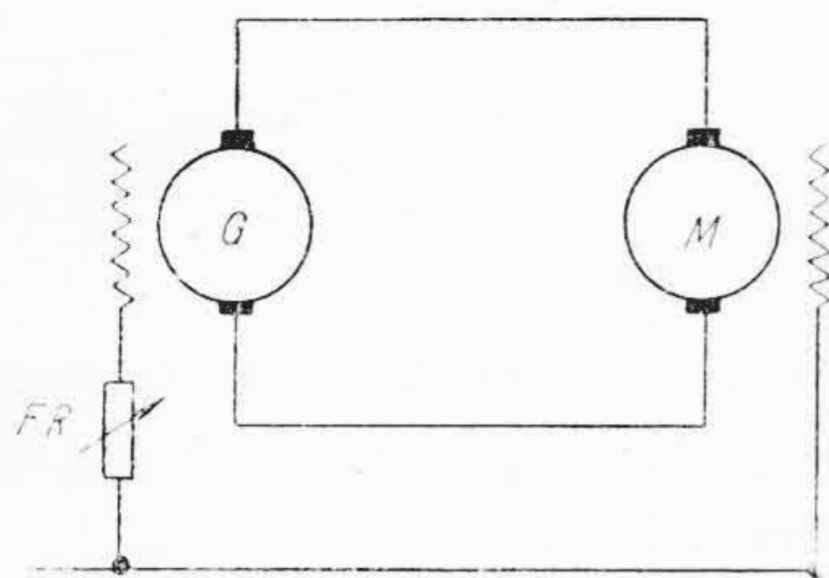
- A = 加速遅れ (s)
 - k_1, k_2 = 常数
- とすれば,

$$E_g = \dot{E}_g t$$

$$T = \frac{dN}{dt} \frac{GD^2}{357} = k_1 \phi I$$

$$I = \frac{E_g - k_2 \phi N}{r}$$

$$\tau_m = \frac{GD^2 r}{375 k_1 k_2 \phi^2} \dots \dots \dots (8)$$



G: 直流発電機 M: 直流電動機 FR: 界磁調整器
 第8図 ワードレオナード速度制御説明図
 Fig.8. Skeleton Diagram of Speed Control by the Ward Leonard System

から

$$\frac{dN}{dt} + \frac{375 k_1 k_2 \phi^2}{GD^2 r} N = \frac{375 k_1 \phi}{GD^2 r} \dot{E}_g t$$

をえる。上式を解けば

$$N = \frac{1}{k_2 \phi} \{ E_g - \dot{E}_g \tau_m (1 - e^{-\frac{t}{\tau_m}}) \} \dots \dots \dots (9)$$

となる。すなわち N は E_g に対し第9図のように τ_m だけ遅れる。したがって回転体の GD^2 および主回路の内部抵抗が大きい程電動機速度の遅れははなはだしくなる。また第9図の相似関係から、

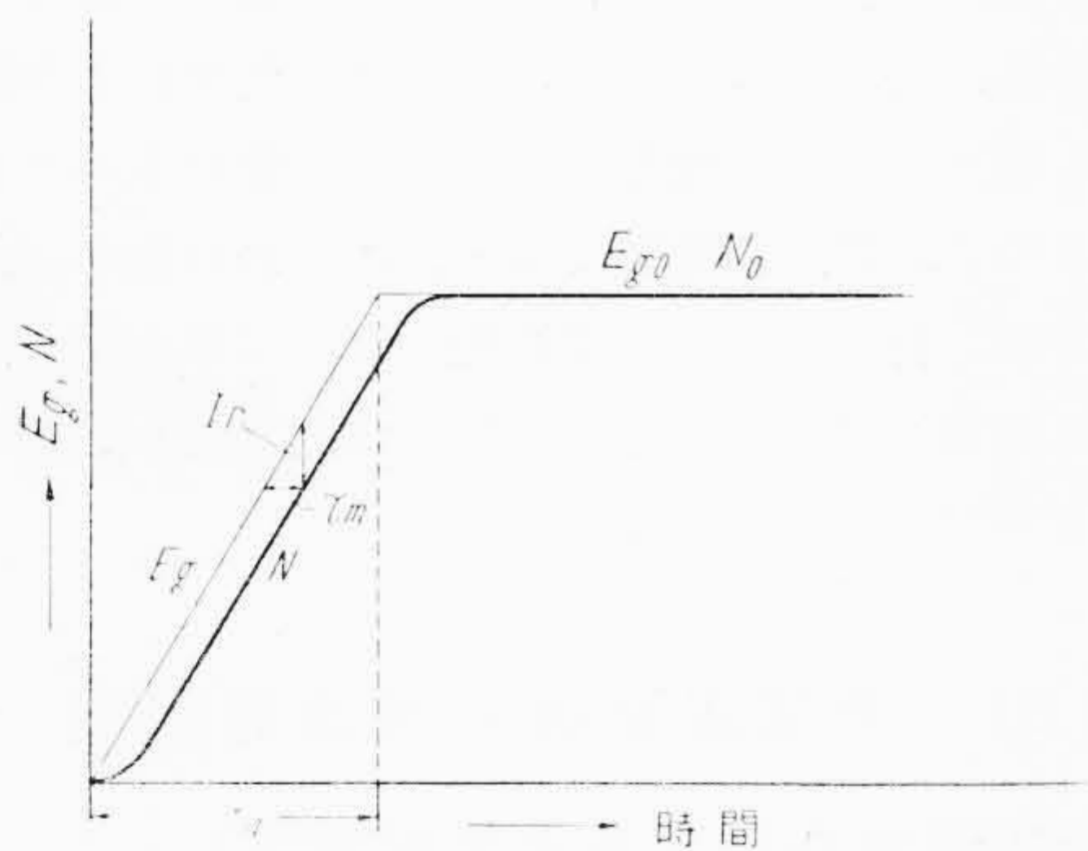
$$A = \frac{I r}{E_{g0}} \dots \dots \dots (10)$$

とおけば

$$\tau_m = A \tau_a \dots \dots \dots (11)$$

となる。

(10)式の A を加速遅れといい、これと加速時間との積 τ_m は電動機速度が発電機電圧より遅れる時間、すなわち両者の位相差を示す。圧延用電動機の τ_m が巻取用電動機の τ_m より小さいときはこの位相差のため、第10図のように鋼帯にたるみあるいは張りの傾向が生じるが、加減速時の電動機トルクは張力トルクと加減速トルクとの和であるから、張力が変ればこれに伴い加速度も変つてリール速度はたゞちに圧延機周辺速度に追随し、特に自動張力制御を行う場合には一層すみやかに追随するから、張力は過渡的に変化するだけである。また停止時の静止張力により加速遅れはその分だけあらかじめ補正されている



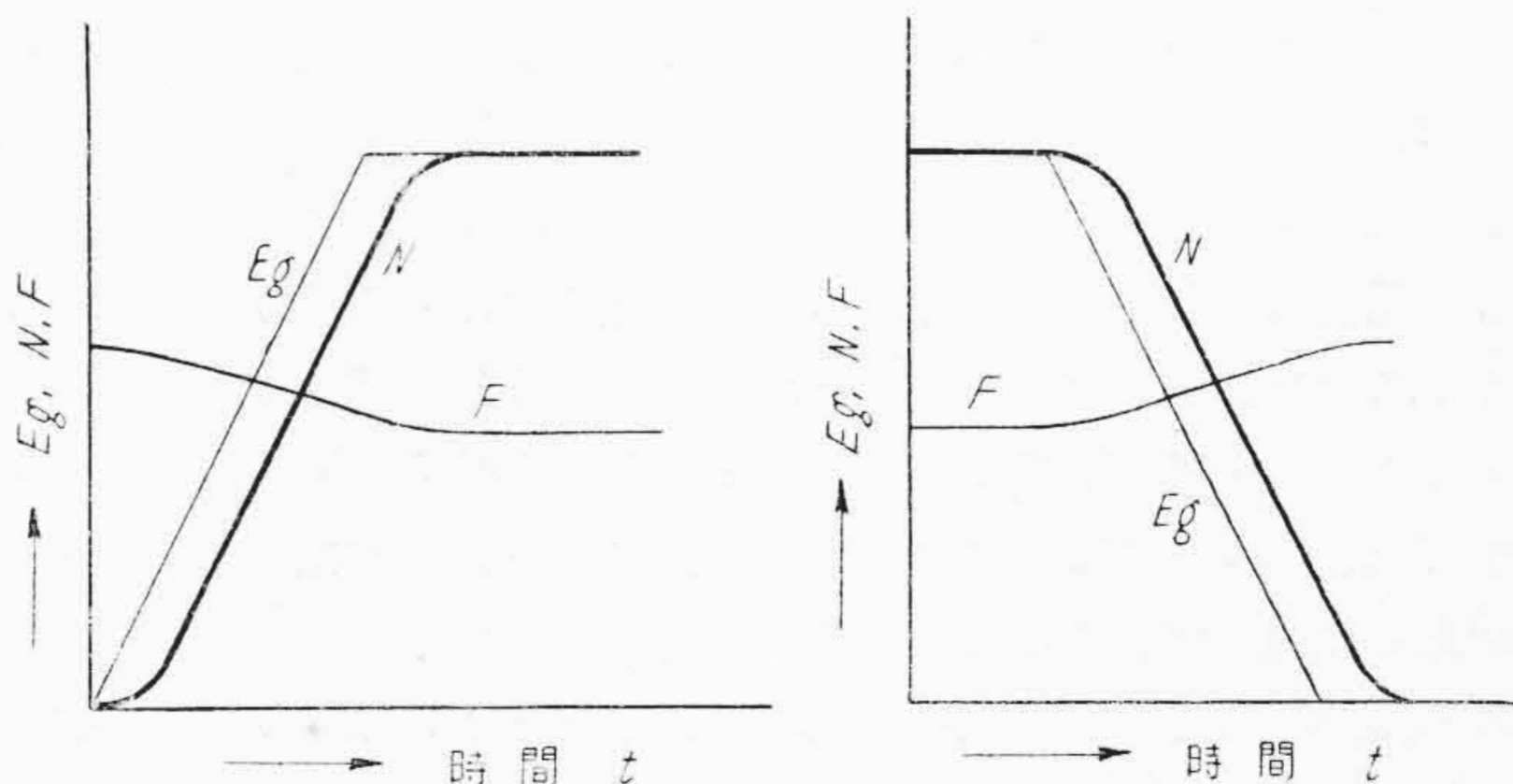
- E_g : 直流発電機の誘起々電力
- N : 直流電動機速度
- I_r : 加速電流による主回路の内部抵抗降下
- τ_m : 直流電動機の起動時定数
- τ_a : 直流発電機電圧の上昇時間

第9図 直流電動機の加速遅れ
 Fig.9. Acceleration Lag of the D.C. Motor

- E_g : 直流発電機の誘起々電力
- N : 巻取用直流電動機速度
- F : 鋼帯張力

第10図 加減速時の巻取用直流電動機速度および鋼帯張力

Fig.10. Speed of Winding Reel Motor and Strip Tension During Acceleration or Deceleration



i) 巻取機加速時

ii) 巻取機減速時

から、張力の変動はますます少くなる。この意味からも静止張力は運転張力に等しいことが望ましい。過渡的な鋼帯の異常張力あるいはたるみを防ぐため、発電機にIR補償を行い、加速遅れの分だけ電圧の位相を進ませるように制御することが望ましい。

圧延機、巻取機、被巻取機用の3台の発電機電圧を連動界磁調整器で一斉に上下する際、各電圧の位相が異なる場合にも上記と同じ現象が生じるので、過渡的なノッチ電圧値についても慎重な考慮が必要である。

(E) フォーシング量の適否⁽²⁾⁽⁶⁾

張力制御を行う巻取電動機では、加減速中は張力に要する電流のほかに回転体の加減速に必要な電流を余分に与えるよう制御することが必要であり、これをフォーシングと称しているが、この補償が完全でないといふ過不足分は当然張力の変動となるから、加減速電流は張力電流に比し小さいことが望ましい。

巻取電動機では巻取機の空胴時加速、全コイル時減速が標準であるが、全速巻取の途中でなんらかの原因により途中減速、加速を行うことがある。コイルのGD²は巻太るにしたがい増すが、電動機磁束も巻太るとともに強まり、その速度は低下するので、加減速電流はコイル直径に応じ変化する。今、

- HP=電動機定格出力 (HP)
- I_{ac}=加速電流 (A)
- T₀'=速度Nのときの電動機定格トルク (kg-m)
- T_{ac}=加速トルク (kg-m)
- K₅=常数 (rpm×m)

とすれば、

$$T_{ac} = \frac{GD^2 \times N}{375 \tau_a}$$

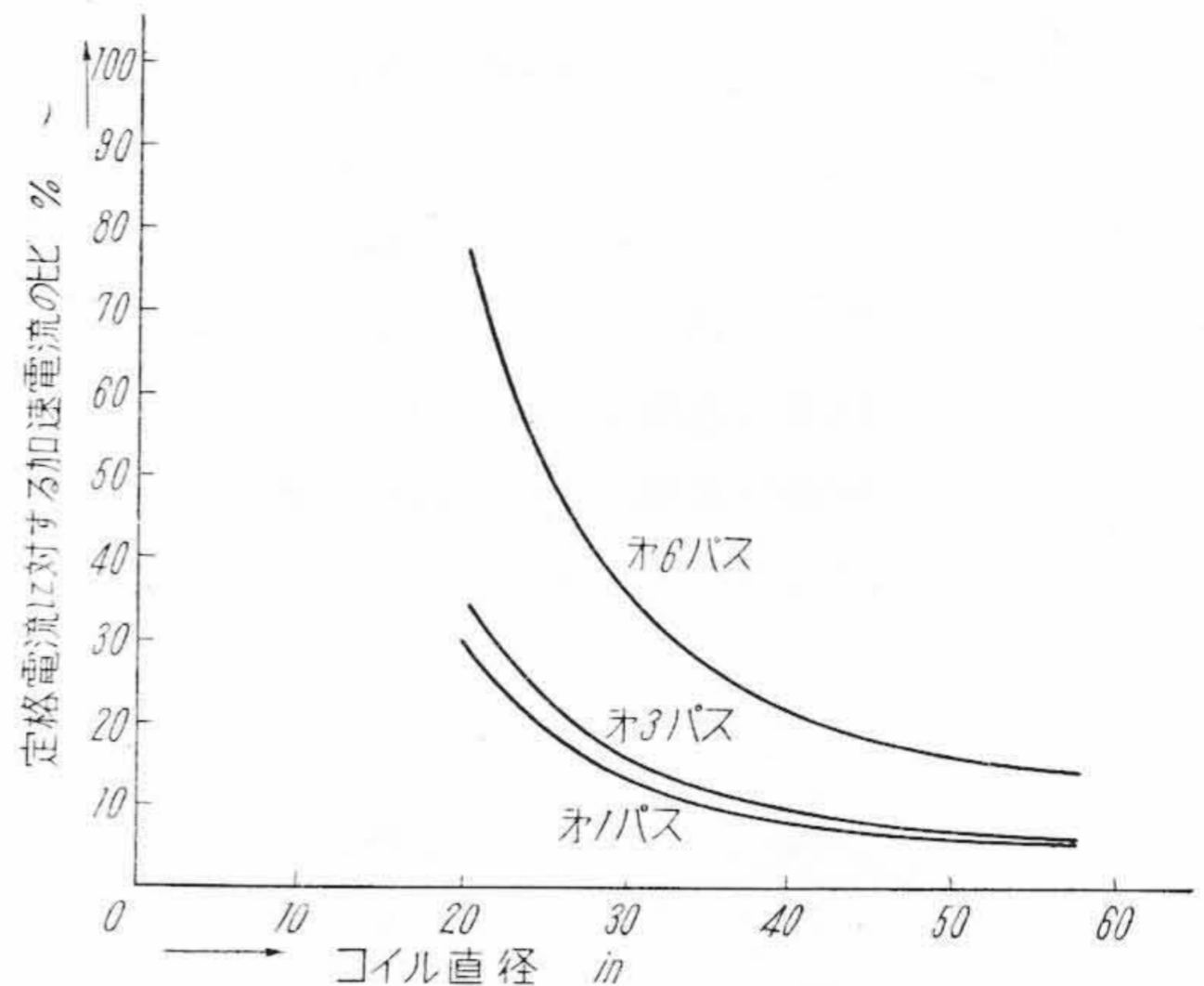
$$T_0' = \frac{V_g}{V_{g0}} \cdot \frac{HP}{N} \times 727$$

$$N = \frac{K_5}{D}$$

上式と(10)式から

$$\frac{I_{ac}}{I_0} = \frac{T_{ac}}{T_0'} = \frac{K_5^2 \cdot V_{g0}}{375 \times 727 HP \cdot \tau_a \cdot V_g} \left(\frac{GD_0^2 - K_3 D_1^4}{D^2} + K_3 D^2 \right) \dots \dots \dots (12)$$

の関係を各パスについて計算した一例を示すと第11図のようになる。すなわちフォーシングの量は厳密にはパスおよびコイル直径に応じ、図のように変える必要があるが、張力の厚みにおよぼす影響は比較的少ないので、これを正しく補正することは効果に比し制御が著しく複雑になる欠点があるから、そのときの電動機速度に応じた値、たとえば界磁電流により調整するか、あるいは各パスにつき標準加速のまま行うこともある。



第11図 巻取用直流電動機の加速電流
Fig.11. Accelerating Current of the Winding Reel Motor

(4) 圧延速度による厚みの変動⁽³⁾

鋼帯の厚みは、ロール間隔および張力が一定でも、圧延速度が高い程薄くなる傾向があるので、加減速中は低速時程張力を多くかけ厚みの不同を防ぐ方式、すなわち傾斜張力制御を行うことがある。しかし張力の厚みのおよぼす影響は比較的少ないので、傾斜張力制御により厚みの変化を補正するには電動機に非常に大きなトルクを必要とするので、可逆圧延機では一般に行われぬ。連続圧延機では、各スタンドの電動機トルクはほとんど圧延トルクに消費されているので、傾斜張力制御を容易にかけることができ、一般に用いられる。

〔III〕 冷間圧延機用直流電動機

(1) 界磁制御による速度範囲⁽⁴⁾

圧延機用電動機では速度コーンにより決定されるが、ロールの削正およびロール直径の計画変更を考慮して若干余裕をとることが望ましい。通常この値は2程度であるが、小型のものでは4ぐらいのものもある。

巻取機用電動機では、巻太り比、殺しおよび速度コーンによりきまるが、この比がはなはだしく大きいときは巻太り比以外の要素は電圧制御で行うことが多い。なお圧延機用電動機と同様15%程度の余裕をとる。通常この値は3~4程度であるが、場合により6ぐらいのものもある。第12図に現在用いられている実例値を示す。

(2) 容量, 定格⁽⁴⁾

圧延機用電動機では、圧延スケジュールから求めた値に対し将来の用途が明確なものは若干の余裕、相当変る可能性のあるものには50%程度の余裕をつける。

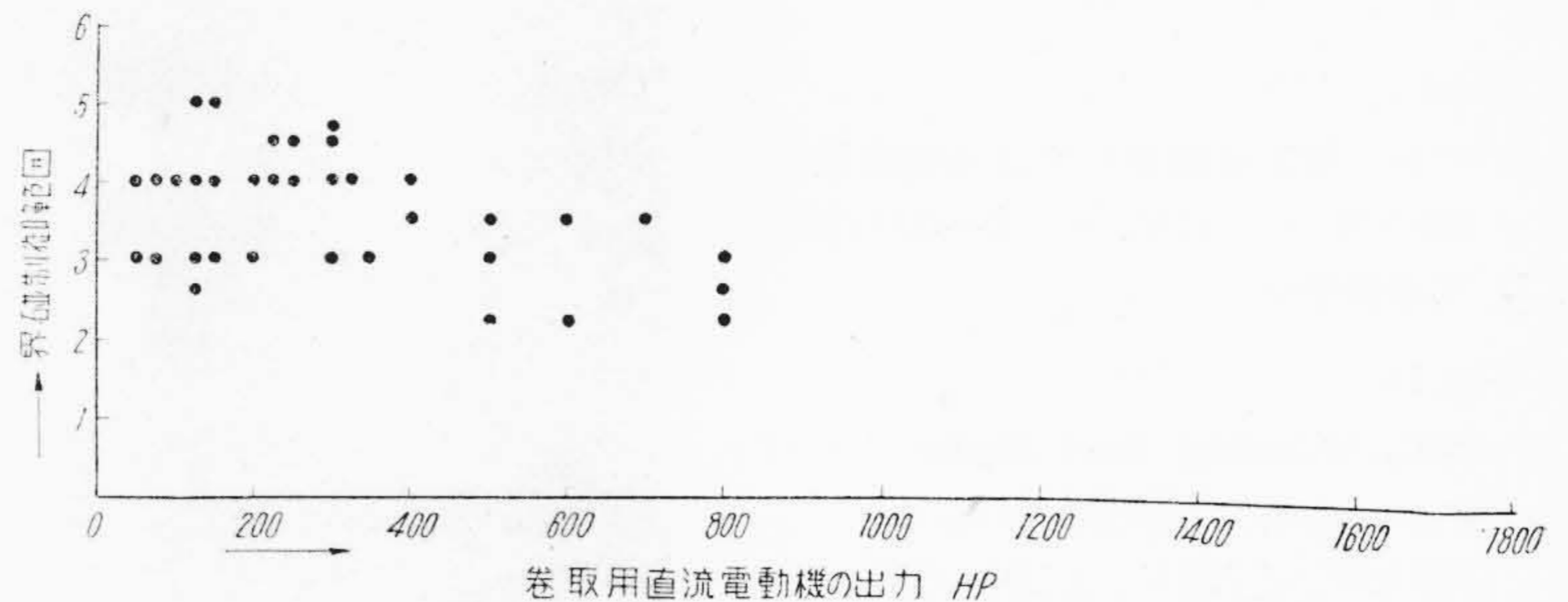
巻取機用電動機では、巻太り比、殺し、圧延速度などによる全体の速度比が界磁制御を行える範囲ならば、

第12図

巻取用直流電動機の界磁制御範囲

Fig. 12.

Field Control Range of the Reel Motor



張力と圧延速度から (3) 式により容量を決定する。しかし速度比が大きく、電圧制御で補う場合は、低速のパスでは電圧の低下分だけ電流を増さねばならぬから低電圧大電流で、高速のパスでは全電圧小電流で使用することになり、これに加速電流を考慮した値が過大にならぬよう定格容量をきめる。なお可逆圧延機の場合、全パスの RMS 馬力は一般に定格容量より小さいので、あまり考慮する必要はない。

過負荷容量は通例 125% 負荷 2 時間, 200% トルクとする。

(3) 界磁制御範囲と GD^2 の関係⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

可逆圧延機では、終りのパスになる程板厚が薄くなるから張力トルクは減少し、また圧延速度が早くなるから加減速トルクは増す上電動機磁束が少いので、張力電流に比し加減速電流の割合が多くなる。一般に、フォーシングの値をあらゆる条件に対し完全に満足することは困難であり、また圧延速度によるゲージ変化の影響もあり、加減速期間中はオフゲージを生じやすいので、歩溜りをよくするためには加減速時間を短くする必要がある。一般に機械部分と電動機の合成慣性のうち後者の占める割合は相当大きく、特に空胴時巻取機ではこれが著しいので、加減速時間を短くするためには電動機の GD^2 を極力減少する必要がある。連続圧延機についても同様で、その必要性は熱間圧延機の場合より大きい。今、

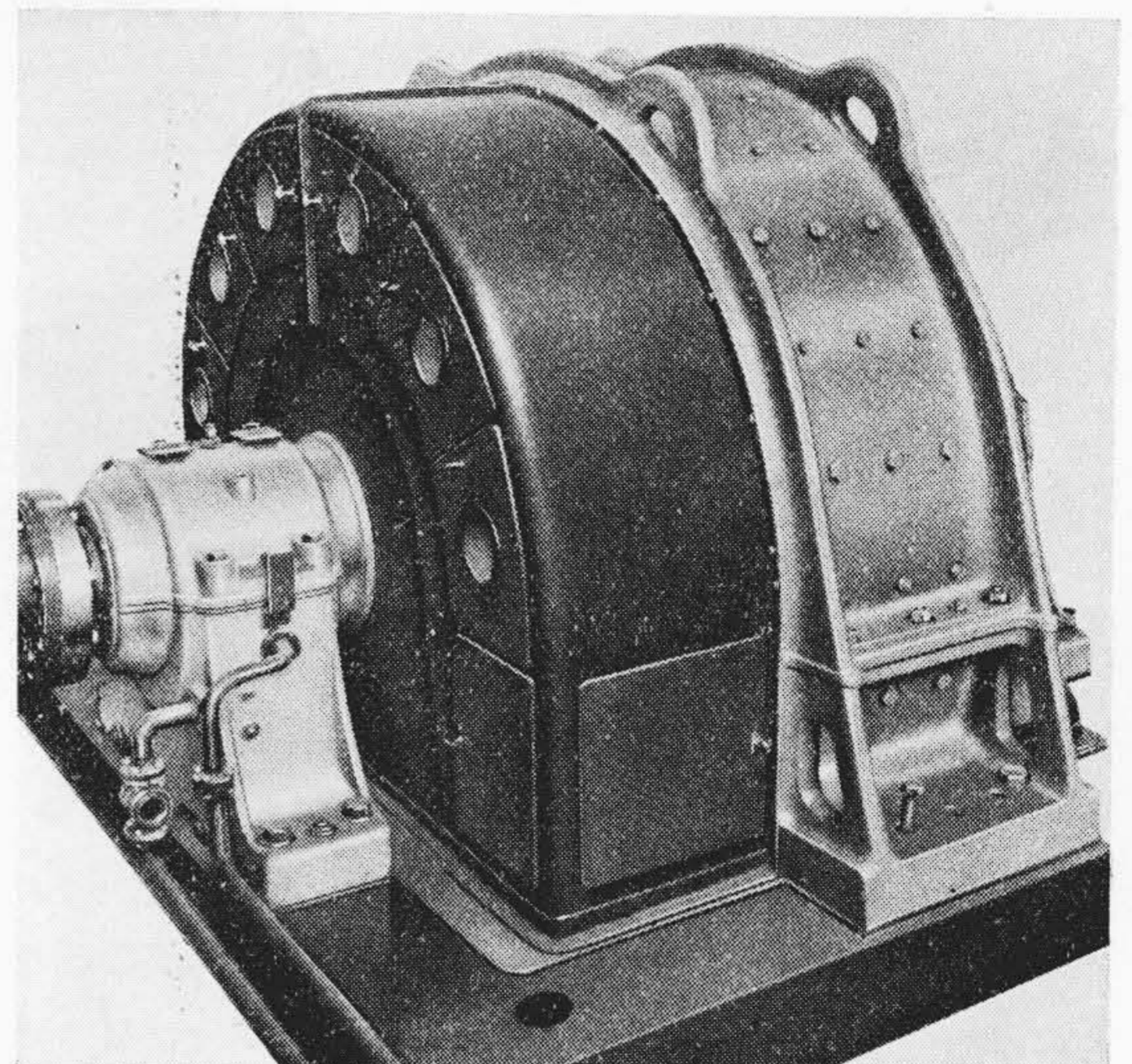
α を加減速電流と定格電流の比

β を張力電流と定格電流の比

とすれば、

$$\alpha = \frac{GD^2 N^1}{375 \times 727 HP \cdot \tau_a} \dots \dots \dots (13)$$

となる。巻取電動機では空胴のとき高速であるから巻取側加速、被巻取側減速時に α 大きく、特に可逆圧延機の最終パスでは板厚が薄いから β 最小、圧延速度が大きいから α 最大となる。一般にフォーシングを与えあるいは取去るとき電流は若干の動揺を免れず、その値はフォーシングの量に関係するから、 β/α が大きいと鋼帯に異常張力がかゝり、場合により切れることがあるから、 GD^2 を減少することはきわめて大切である。



第13図 可逆冷間圧延機用直流電動機 1,600 kW, ±750 V, ±150~330 rpm

Fig. 13. D.C. Motor for the Reversing Cold Strip Mill 1,600 kW, ±750 V, ±150~330 rpm

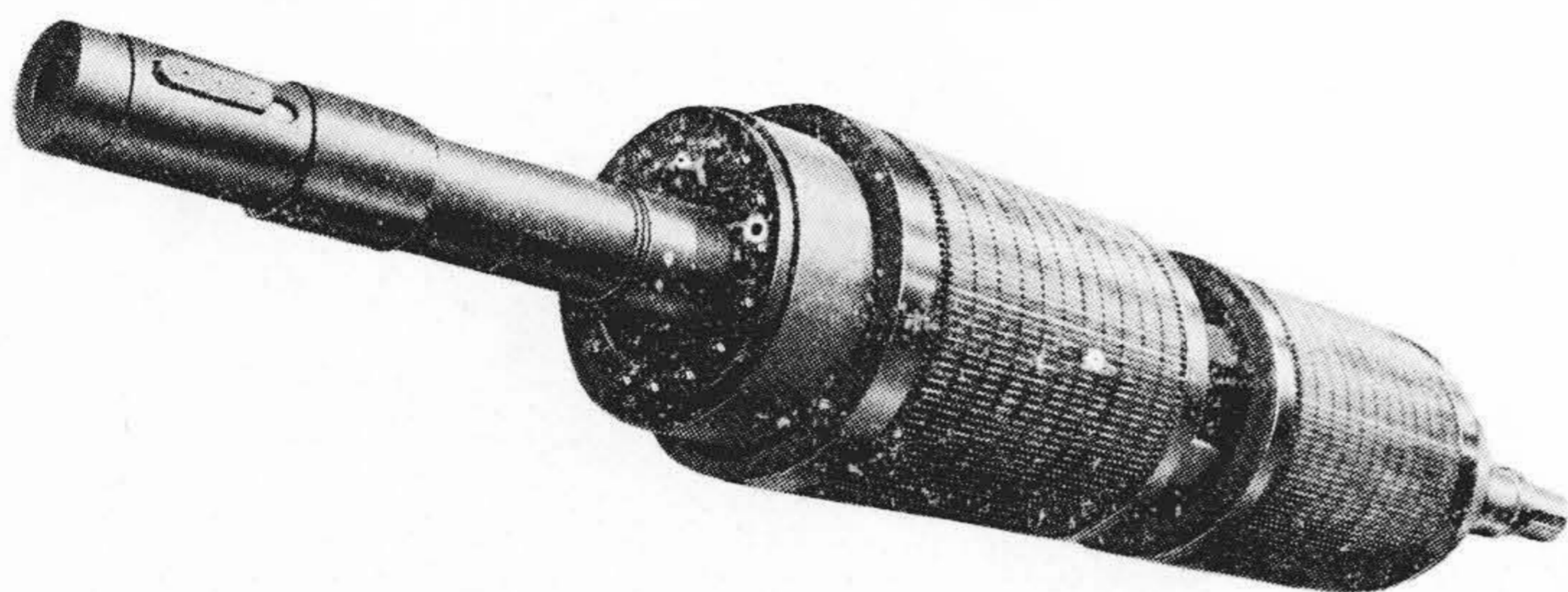
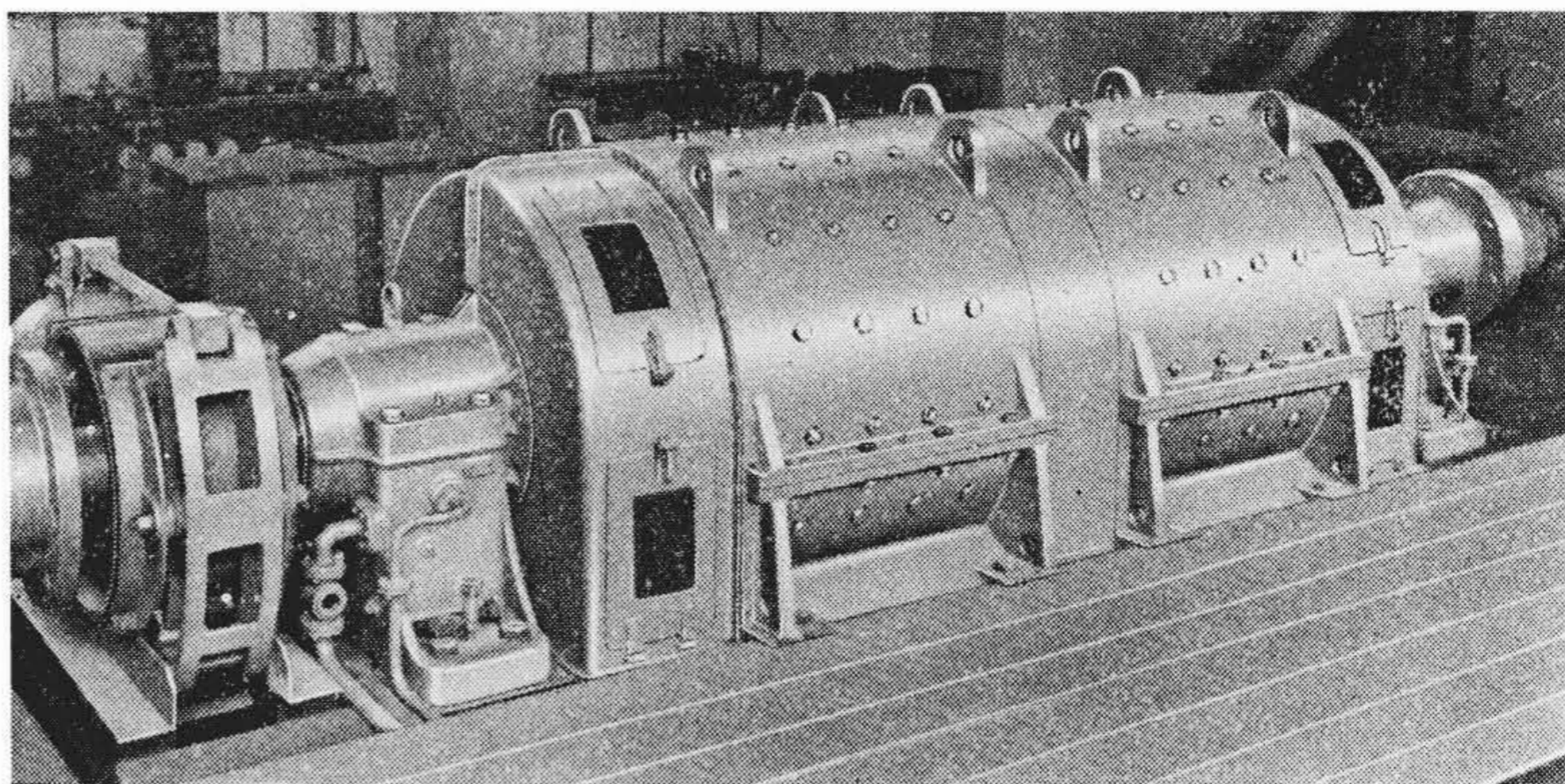
電機子直径を D_a 、電機子長を L_a とすれば、与えられた電動機トルクに対し $D_a^2 L_a$ は一定となるから、 GD^2 を減少するためには D_a を小さくする必要がある。このため冷間圧延機用直流電動機は非常に細長い外観となり、いわゆるストーブパイプモータと称せられる形となる。直流機の整流は D_a が小さい程困難となり、また L_a が大きくなると冷却効果が減り、温度上昇からも制限をうけるので、 $L_a = 1.4 D_a$ 程度が限度とされている。したがって GD^2 をさらに減少したいときは双電機子あるいは3電機子型が用いられ、最近の連続圧延機用電動機、可逆圧延機用巻取電動機などはほとんどこの型を採用している。双電機子型は単電機子型に比し GD^2 は 40~50%、重量は約 110%、3電機子型はおのおの約 25%、125%となる。第13図に 1,600 kW, ±750 V, ±150~330 rpm, 単電機子型強制通風式圧延機用直流電動機、第14図(次頁参照)に 550 kW, ±750 V, ±150~600 rpm, 双電機子型強制通風式巻取機用直流電動機、第15図(次頁参照)に同電機子の一例を示す。

第14図

可逆冷間圧延機巻取用直流電動機
550 kW, ± 750 V, $\pm 150 \sim 600$ rpm,
双電機子型

Fig. 14.

D.C. Winding Reel Motor for the
Reversing Cold Strip Mill
550 kW, ± 750 V, $\pm 150 \sim 600$ rpm,
Double Armature Type



第15図

可逆冷間圧延機巻取機用直流電動機の
電機子 550 kW, ± 750 V, $\pm 150 \sim$
600 rpm, 双電機子型

Fig. 15.

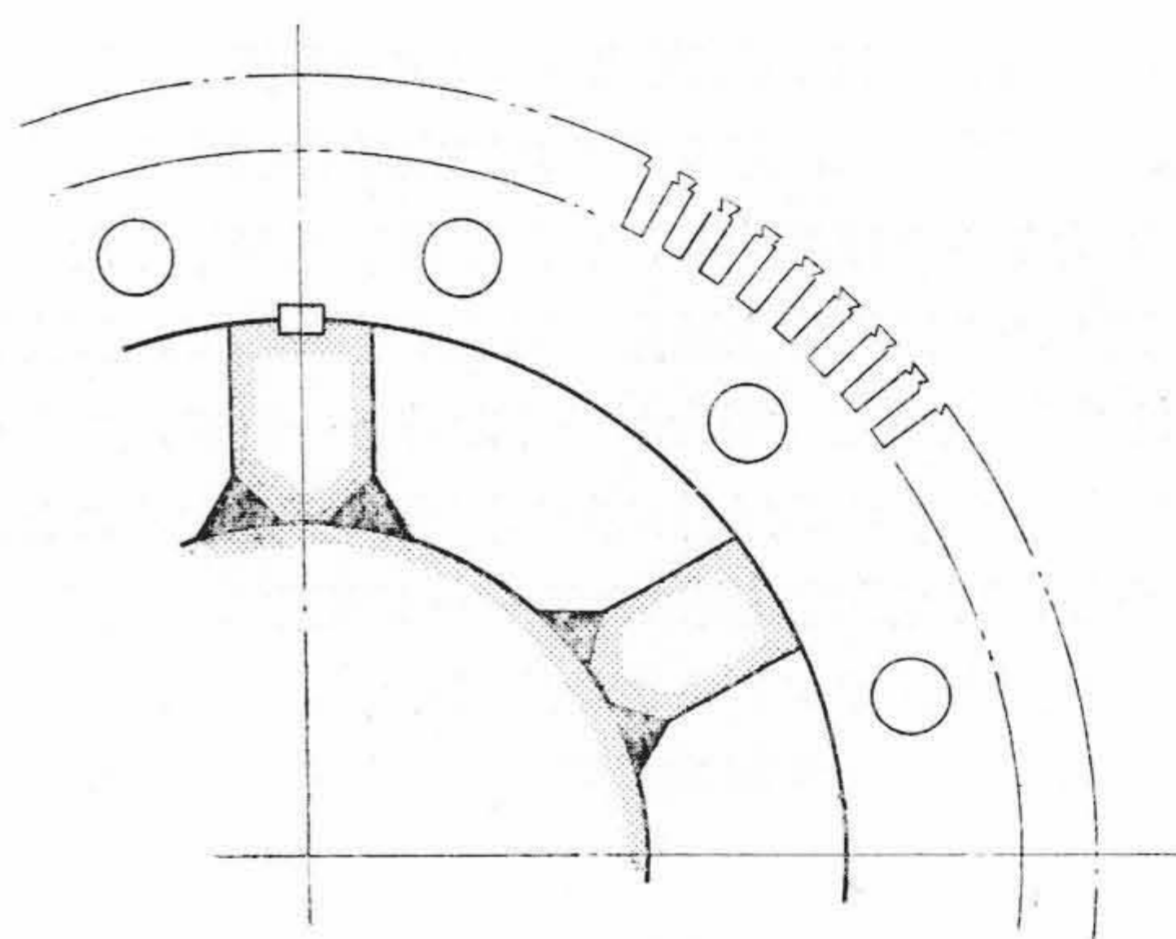
Armature of D.C. Winding Reel
Motor for the Reversing Cold Strip
Mill 550 kW, ± 750 V, $\pm 150 \sim 600$
rpm, Double Armature Type

電機子直径を小さくし⁽⁷⁾⁽⁸⁾しかも十分良好な整流をうるためには、毎溝電流、アンペア導体、セグメント電圧、補償巻線と整流極の設計および構造、電機子巻線、セグメントカバー、ブラシ材質、ブラシ保持器の構造など設計に細心の注意を払うほか、整流子片、マイカ材質、寸法精度をよくし、シーゾニング、工作精度を厳密に行うなどあらゆる点に留意しなければならない。また温度上昇は圧延用電動機では 40°C を標準とするが、 GD^2 に特に甚しい制約をうけるが RMS HP の比較的小さい巻取機用電動機では 50°C として整流に主眼をおくのが有利である。

(4) 電動機の構造

冷間圧延機用電動機は過大なトルクをうけ、また熱間圧延機用程激しくはないが衝撃もかゝるので、その構造は十分堅牢にする必要がある。一般に熱間圧延機に比し高速であり、特に巻取機用では軸長が長いので危険速度に対しても十分余裕あるよう軸径を太くする必要があるが、過熱を防ぐため第16図のようにリブを設けて、通風に有効でしかも撓みの少ない構造が採用される。また GD^2 の減少と通風改善の目的で電機子鉄心に図に示すような通風溝を設けることもある。なお回転部分はほとんど鋼板溶接にして $2GD^2$ を減小し、バインド線は非磁性鋼線として整流改善を計っている。軸受は強制油循環方式とするほか、油環を併用して給油停止時の潤滑にも安全な構造とする。

双電機子型は第17図 (a) のように軸受を2箇にする方式と、(b) のように3箇設けて各電機子に互換性をもたせ



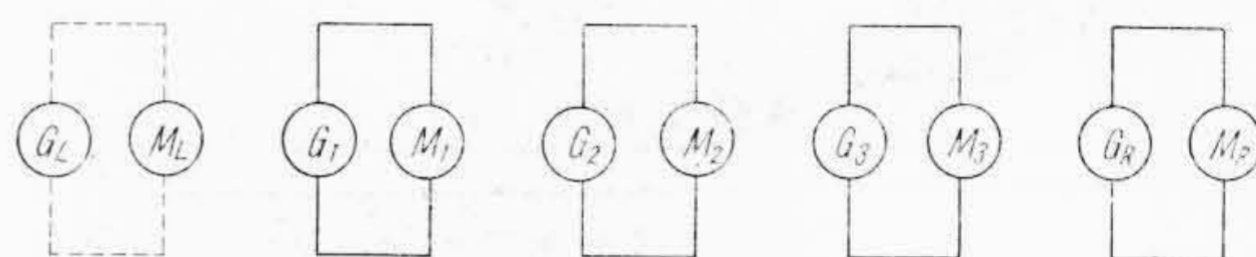
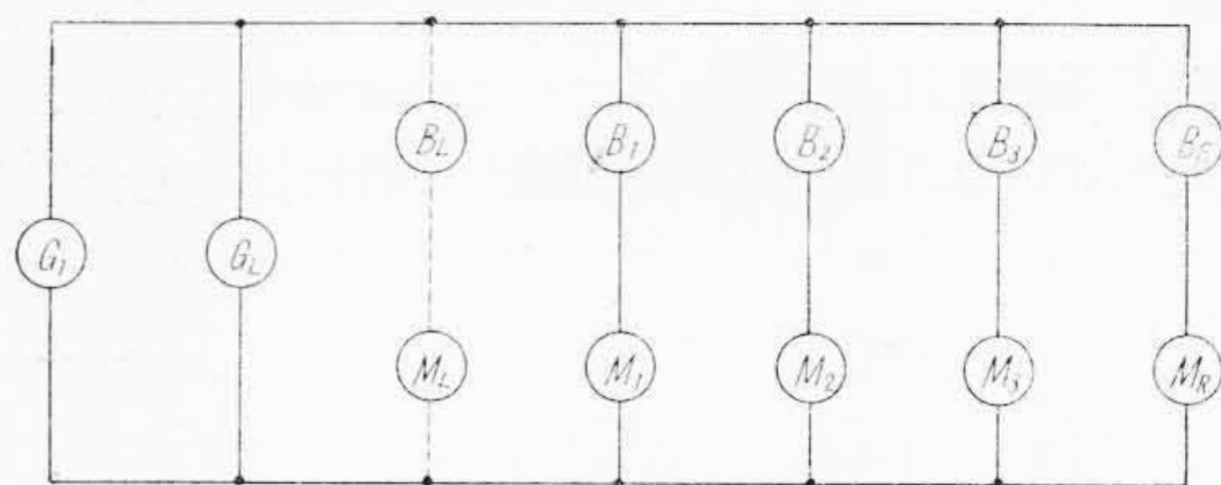
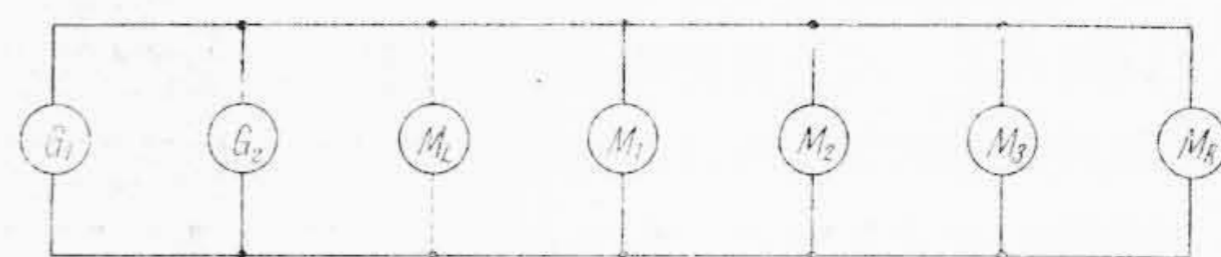
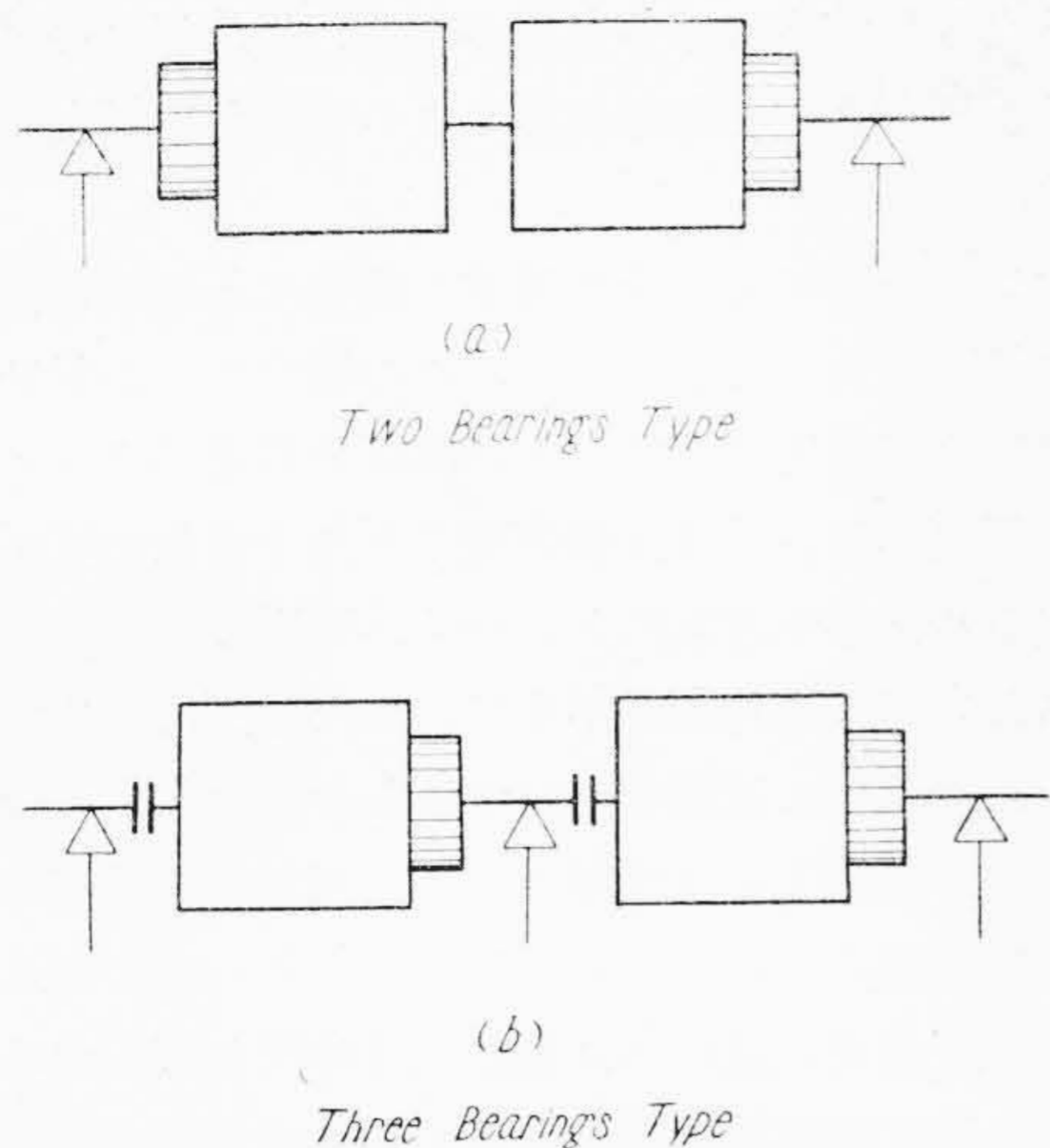
第16図 冷間圧延機巻取機用直流電動機の電機子構造図

Fig. 16. Construction of the Armature of the Winding Reel D.C. Motors for the Cold Strip Mill

る方式とあり、前者は軸長短く配置上有利であり、後者は危険速度、保守および故障時の予備機交換に有利である。

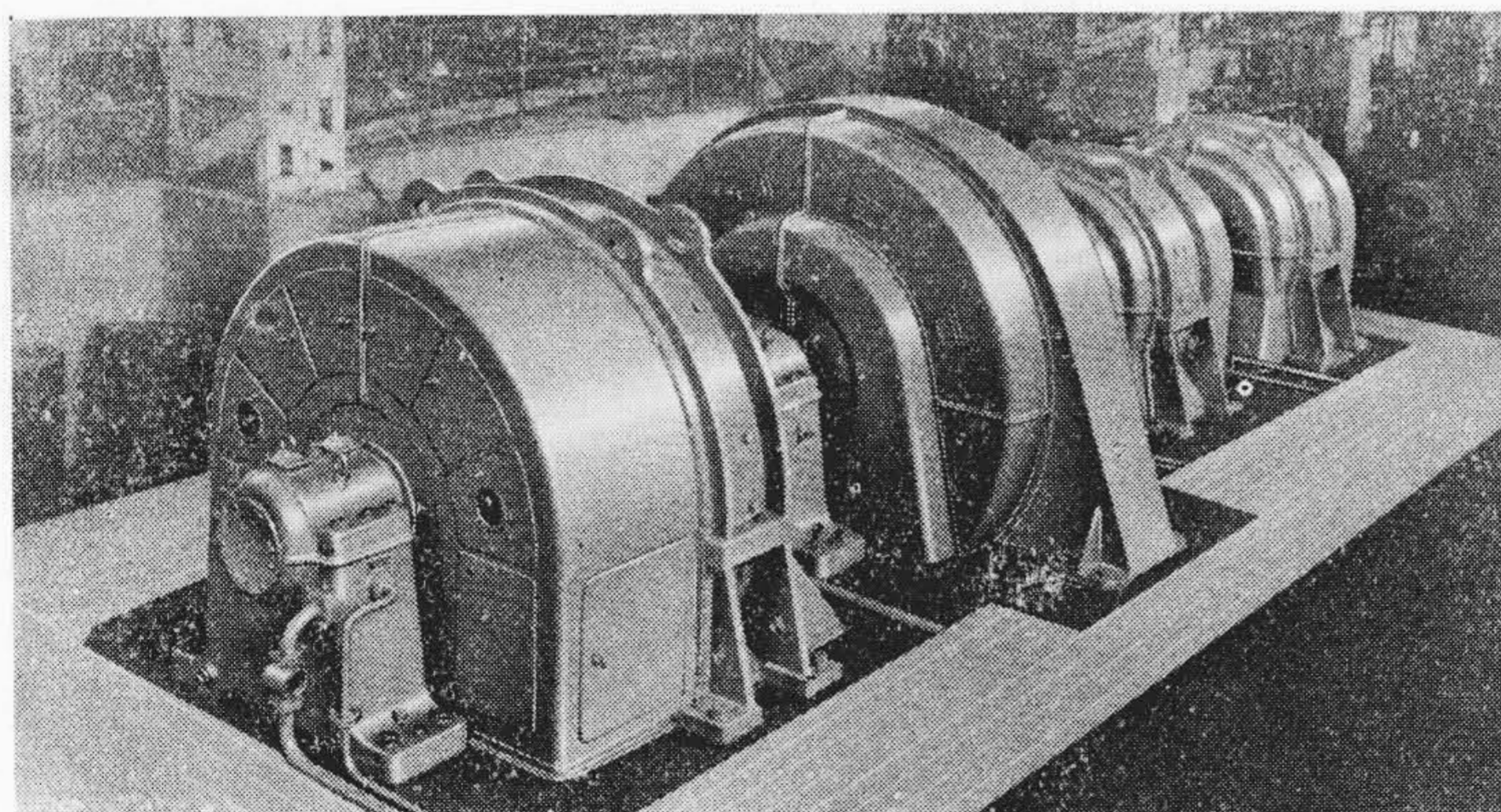
絶縁は普通B種を用いるが、日立製作所では、B種よりさらに 20°C 高温に耐えるアミナル樹脂系のD種絶縁とし、しかも温度上昇を同一として信頼度を増している。

通風方式は据付の関係から決定されるもので、排気を室内または室外に放出する各種の方式がある。第18図は圧延機直流電動機用電動直流発電機の一例を示すものでこの場合は強制通風室外排気型とし、通風用空気清浄機は自家製回転油膜式⁽⁷⁾を採用した。



G: 直流発電機
M: 直流電動機
B: 昇圧機
係数L: 左巻取機を示す
係数R: 右巻取機を示す
係数1, 2, ...: 圧延機を示す

第17図 双電機子型直流電動機構造説明図
Fig.17. Showing the Construction of the Double Armature Type D.C. Motors



第18図 可逆冷間圧延機用電動直流発電機
1,800 kW, ±750 V, 600 rpm, 直流発電機
600 kW, ±750 V, 600 rpm, 直流発電機
2,500 kW, 3,300 V, 60~, 12p, 600rpm, 三相同期電動機

Fig.18. Motor Generator Set for the Reversing Cold Strip Mill
1,800 kW, ±750 V, 600 rpm, D.C. Generator
600 kW, ±750 V, 600 rpm, D.C. Generator
2,500 kW, 3,300 V, 60~, 12p, 600 rpm, 3-φ Synchronous Motor

〔IV〕 冷間鋼帯圧延機の制御方式⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

前述のように、冷間鋼帯圧延機ではきわめて精密な制御が必要であるから、極く小型のものを除いて、ほとんど増幅機を併用したワードレオナードによる自動制御方式が用いられる。

(1) 発電機的方式

圧延速度および巻取機速度比が少い旧式のものでは第19図(a)のような共通母線方式が用いられるが、やゝ高速になり巻取機速度比も大きくなると、(b)のような

第19図 発電機方式

Fig.19. System of Generators

昇圧機付共通母線方式が、さらに高速になると(c)のような各箇発電機方式が用いられる。高速になるにしたがい電動機出力が増し、共通母線方式では単位発電機の容量が増して駆動速度を下げる必要が生じ、また時定数が大きくなる。なお昇圧機も大電流を必要とするから、各箇発電機式として駆動速度を上げ時定数を小さくする方が経済上性能上ともに有利である。なお大型巻取機用発電機では電圧制御の値が約20%以上になると各箇発電機の方が経済的に有利である。最近製作した日本鉄板納 1,310 fpm, 16.5"×49"D×42"L, 現在製作中の日亜

製鋼納 1,650~2,520 fpm, 10.5"×31"D×30"L 4重可逆冷間コンビネーションミルではいずれも各箇発電機方式を採用した。

(2) 圧延速度制御方式

(A) 速度制御

共通母線方式では発電機の電圧を昇降すれば任意の圧延速度がえられるが、各箇発電機方式では各発電機電圧を位相差なく制御することが必要である。今、簡単のため可逆冷間圧延機の例を示すと第20図(a) (次頁参照)の

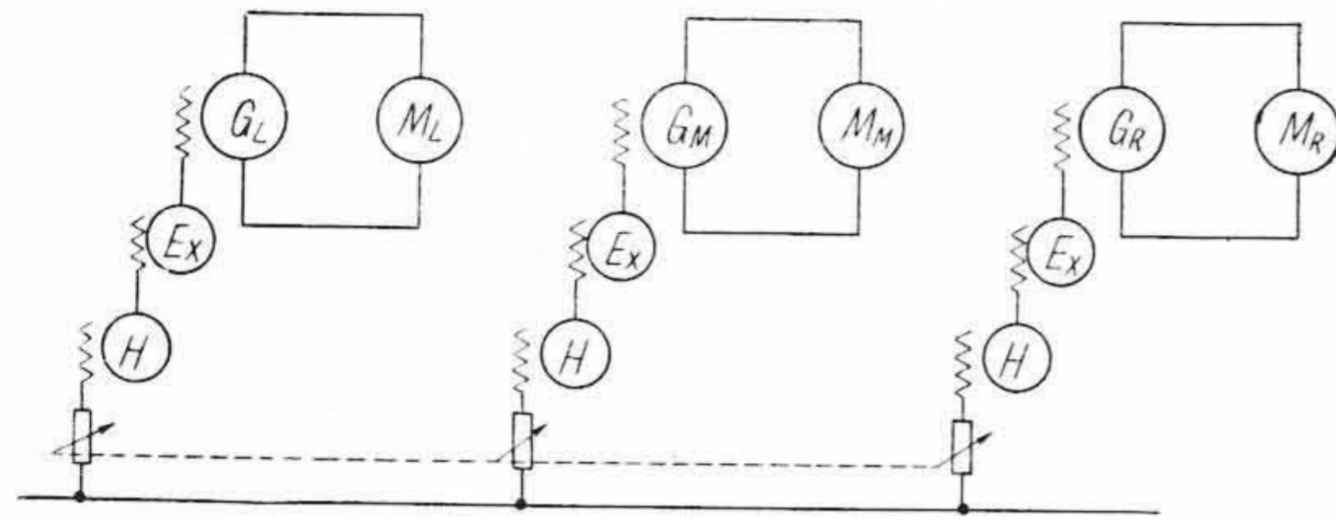
ように各発電機電圧を連動界磁調整器で一斉に制御する方式と、(b)のように圧延機用発電機電圧のみを直接制御し、巻取機用発電機電圧は、前者に直結した指速発電機により自動制御する方式とある。前者は連動界磁調整器の構造が厄介であり、また完全に位相差をなくすることは困難であるが、後者では巻取機用発電機電圧の位相が圧延機用発電機電圧より遅れるためこの補償を行うことが必要であるほか、巻取機用発電機が励磁に比例した電圧

を出すよう低飽和にする必要があり、それぞれ一長一短がある。両者とも回転増幅機による自動電圧制御を行う。

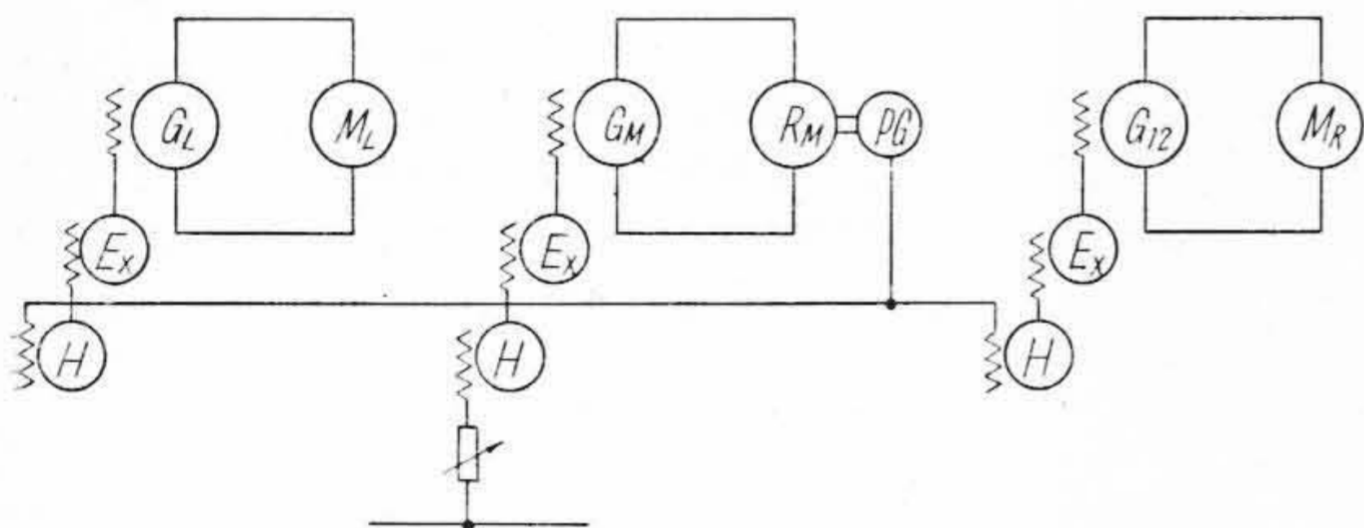
スケジュールによる圧延速度の調整は圧延機用直流電動機の界磁制御により行うが、この場合あらかじめ所要界磁に設定後昇圧する方式と、昇圧後界磁弱めを行う方式と2種類ある。前者は弱界磁で加速するため圧延機用電動機トルクが加速当初から少く、可逆圧延機の場合は各パスとも加減速時間が不変で、また中間のパスで全速に達した後さらに速度を上昇するときは操作上若干複雑になるが、制御方式は簡単である。後者は加減速時に圧延機用電動機のトルクを有効に利用でき、また可逆圧延機では圧延速度の遅いパス程加減速時間を短くすることができ、速度調整の操作が簡単である代りに、制御回路はやゝ複雑になる。なお加減速時の巻取機用電動機トルクは両者同じである。

(B) 速度設定

可逆圧延機では、運転操作により、あらかじめ設定された速度に達したとき自動的に加速を終了して定速運転を行うよう制御する必要があるので、この目的のため速度設定装置を設ける。定界磁加速方式では圧延機用電動機の界磁をあらかじめ所定値に調整し、変界磁加速方式では圧延機用電動機の界磁電流があらかじめ設定した値に達したときその減少を自動的に停止するのであり、いずれもいわゆる位置制御を行う。位置制御は界磁調整器の位置を表わす抵抗値とあらかじめ設定した基準値とをブリッジで比較し、両者が等しくなったとき、界磁調整器の調整動作を停止する方式であるが、精密制御を行う場合には比較回路に増幅器を用いる。なお可逆圧延機では、通例圧延速度に応じて巻取機用電動機の電圧およびフオーシング量が変わるから基準値の設定をする際連動界磁調整器によりこれらの値も同時に連動して調整する。



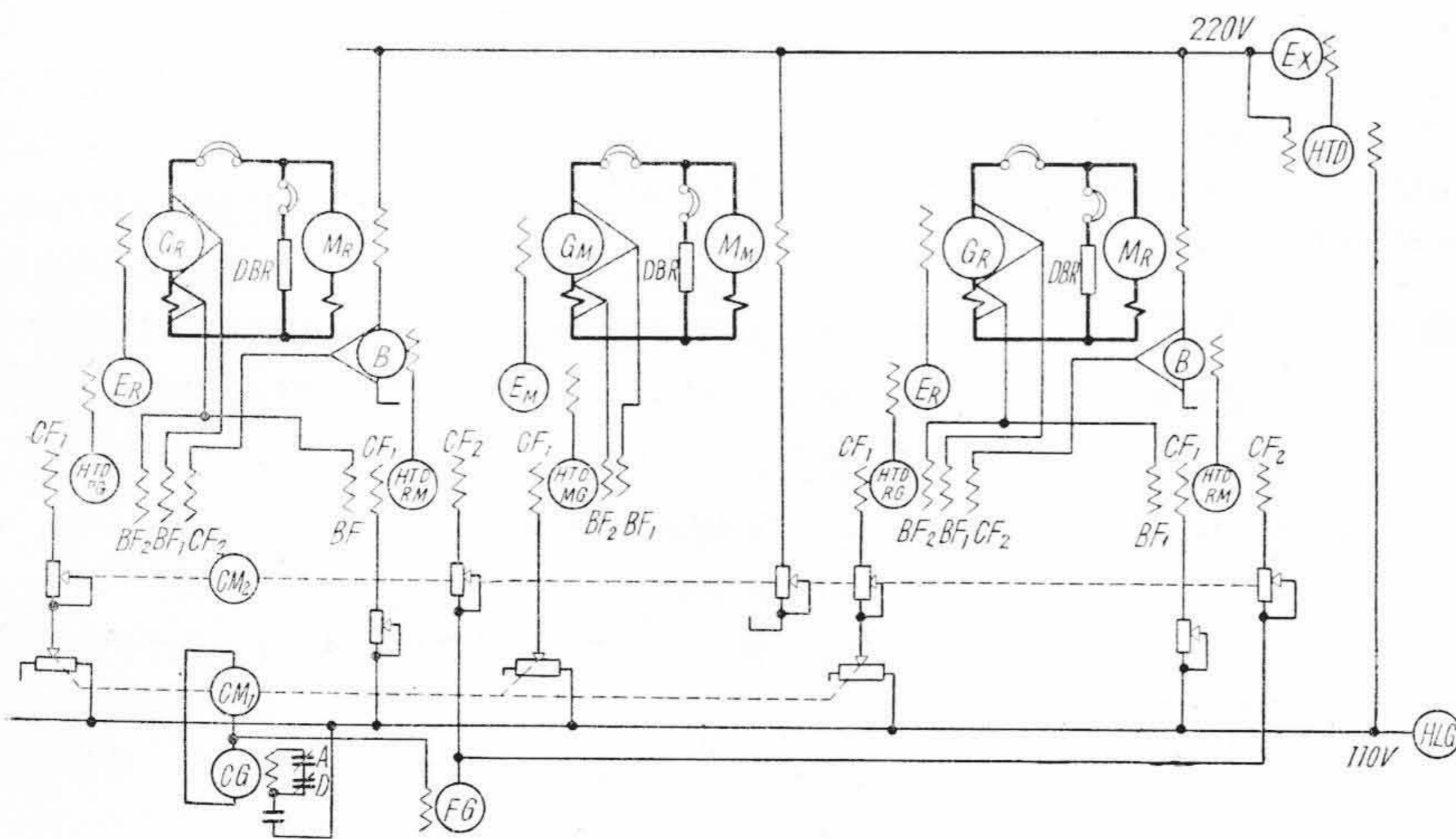
(a) 連動界磁調整器による方式



(b) 指速発電機による方式

- | | |
|--------------|---------------|
| G: 直流発電機 | PG: 指速発電機 |
| M: 直流電動機 | 係数 L: 左巻取機を示す |
| E_x : 励磁機 | 係数 R: 右巻取機を示す |
| H: 回転増幅機 HTD | 係数 M: 圧延機を示す |

第20図 可逆冷間圧延機の電圧調整方式
Fig.20. System of Voltage Adjustment for Reversing Cold Strip Mill



- | |
|----------------|
| G: 直流発電機 |
| M: 直流電動機 |
| E: 励磁機 |
| HTD: 回転増幅機 HTD |
| B: 界磁昇圧機 |
| CM: 操作電動機 |
| CG: 操作電動機用発電機 |
| FG: フオーシング発電機 |

第21図
可逆冷間圧延機概略結線図
Fig.21.
Skeleton Diagram of the Reversing Cold Strip Mill

御系に励磁を与えて電圧を発生させる。すなわち第21図の結線図で、HTDRM の CF₁-B-HTDRG の CF₂-HTDRM の BF₁ の回路がが静止張力電流の自動制御回路である。

(4) 無負荷損失補償

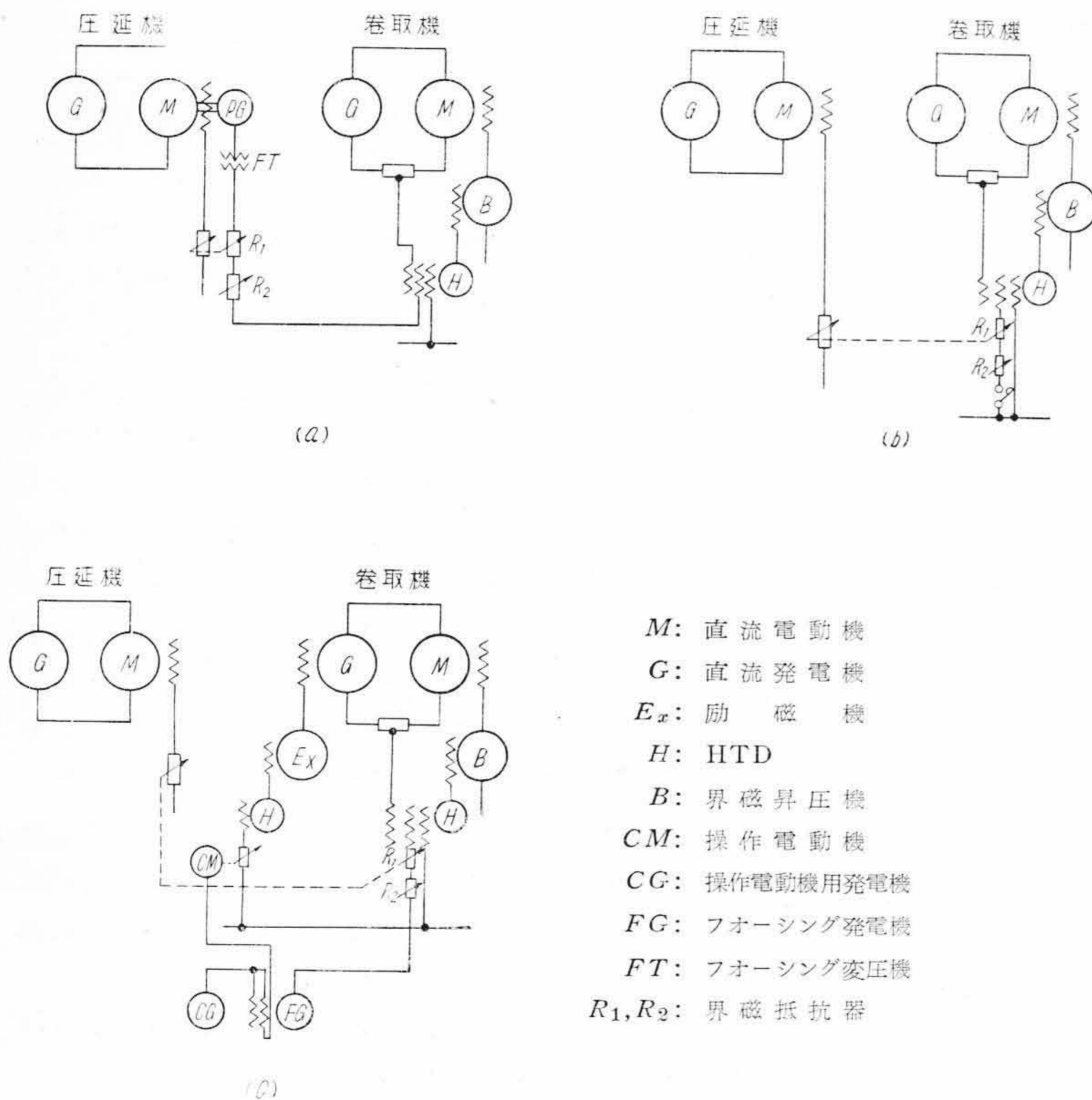
巻取機用電動機の無負荷損失は速度が高い程大きいので、その値に相当するだけ巻取機用発電機の電圧を高めて電動機の入力を増しその損失を補償する。巻取機用電動機の高速時は界磁電流少く、したがって界磁昇圧機の電圧が高いので、その電圧により電圧自動制御系の回転増幅機を励磁すればよい。したがってこの回路は前記静止張力自動制御回路と同じである。

(5) 低 速 補 償

第23図(a)のように、巻取電動機界磁用回転増幅機で直接張力自動制御を行う方式では、電動機の低速時に電動機利得したがって自動張力制御系の全利得が低下し、加速の初期、減速の末期などの極低速時には制御精度が甚だしく低下する。このため鋼帯に異常張力あるいはたるみが生じるのでこれを防ぐよう低速補償を行う。この回路も前記静止張力制御、無負荷損失補償回路と同様で、低速補償作用が動作する点は、自動張力制御系の利得と低速補償系の利得が等しくなる速度で、日本鉄板納可逆冷間圧延機の場合は巻取機用電動機最高速度の約1%であつた。

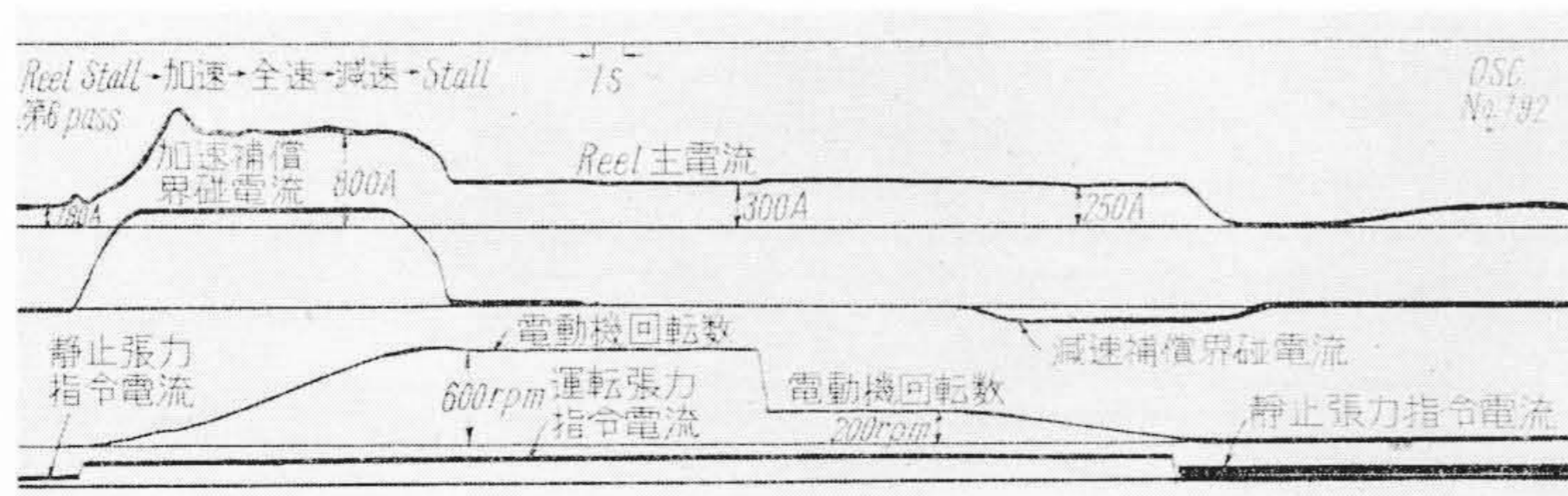
(6) 加 減 速 補 償

加減速中、巻取機用電動機には張力トルクと加速トルクの和が必要であるから、自動張力制御系にフオーシングを与えて加減速トルクを補償する。このトルクは巻取機用電動機の加速度および全GD²に比例するから、圧延速度の微分値を求め、これに全GD²の値を加味して自動電流制御系に加励すればよいわけで、第25図に示す3方式がある。(a)ではフオーシング変圧器により圧延速度の微分値を正確に得られるが、フオーシング変圧器の出力が少いので場合により増幅する必要があること、および系の時間遅れのため加減速補償が遅れる欠点がある。(b)では、加減速に際し一定励磁を加減するため、自動電流制御系に擾乱を与え電流が動揺する傾向があり、また一定フオーシングであるから加速度に正確に比例しない憾みがある。方式(c)は速度上昇用電動界磁調整器の操作電動機CMをCGによりレオナード制御し、CGの電圧および電流によりフオーシング発電機FGを励磁してCMの速度に比例する電圧をFGに発生させる。巻取機用発電機は電動界磁調整器のタップ位置、すなわちCM速度の積分値に応じた電圧を発生するから、FG電圧は正確に圧延機速度の微分値となり、また



第25図 加 減 速 補 償 方 式

Fig.25. System of Forcing



第26図 加 減 速 オ シ ロ グ ラ ム

Fig.26. Oscillogram Showing Acceleration and Deceleration

FG の出力は容易に大きくすることができるから円滑敏速な制御ができるが、回路がやゝ複雑になる。3者あるいはその併用方式いずれも用いられているが、日本鉄板納可逆冷間圧延機設備では(c)の方式を用い、第26図に示す試験結果をえた。

パスにより圧延速度が変わるときは当然フォーシング量も変えねばならないので、圧延速度設定用抵抗器に連動して調整抵抗 R_1 を加減する。またコイル幅、重量の変更に伴い全 GD^2 が変わるときは、調整抵抗 R_2 を加減すればよい。

(7) 加速遅れ補償

各電動機の起動時定数が等しくないため、加減速時に加速遅れによる張力の変動が生じる。これを補償するには電動機逆起電力の位相を一致させればよいから、 IR 降下分だけ発電機電圧の位相を進めるよう IR 補償を加える。すなわち第21図、HTD RG、HTD MG の BF_2 巻線がこの補償を行う。しかし IR 補償は制御系が不安定にならない程度に制限せねばならない⁽¹⁾。

(8) 保護装置

主回路に過負荷継電器、過電圧継電器、低電圧継電器を、電動機に遠心力開閉器、界磁継電器などを設けて動作時主回路の気中遮断器を開路する。また電動発電機設備のうち任意の1台が停止したとき、電動機励磁用定電圧励磁機の電圧が低下したとき、各レオナード回路の操作主管接触器が開路したときなども、主回路気中遮断器を開路する。気中遮断器が開路すれば各電動機に発電制動抵抗器を接続して発電制動を行うほか、巻取用電動機には電磁制動機を動作させる。なおロール冷却油系、軸受潤滑油系に油流継電器、圧力継電器を設け警報、操作互鍵などを行い、通風設備故障のときは警報などで表示するのが望ましい。

冷間鋼帯圧延機用電気設備の保護装置として特記すべきものに速度制限および過励磁制限装置がある。運転中巻取側の鋼帯が切断して張力トルクを負荷できないときは、巻取機用電動機の定電流制御作用のため界磁が急に弱められ、電動機速度は急昇して危険状態に達するおそれがある。これを防止するため、電流制限装置と同原理で界磁電流をある基準値と比較し、制限値以下に界磁が弱まらないようにして自動的に速度制限を行う。第24図のオツシログラムで、張力急減のときは速度性が大きい、急増の場合速応していないのは速度制限装置のため界磁昇圧機電圧が頭打ちしているからであり、この装置の効果をよく表わしている。また低速時は張力自動制御系の利得が著しく減少し張力制御能力を失うことがあり、この際電動機界磁を過励磁しようとして回転増幅機、界磁昇圧機などに異常電圧が発生するおそれがあるの

で、速度制限装置と同原理で電動機の過励磁制限装置を設ける。

非常停止は釦操作で行い、発電機電圧を可及的速やかに下降して回生制動を行う方式と、主回路気中遮断器を開路して発電制動を行う方式とあり、両者ともに用いられる。前者は低速時の制動力が大きいため有利であるが、自動制御回路が常に動作しているため安全性の点で後者に劣る。また巻取電動機用電磁制動機は前者の方式では減速中動作させないが、後者の方式では動作させる。回生制動方式は主として高速圧延機に用いられ、特に大容量のものには電流制限装置を設けて発電機電圧を急降下させることもある。

〔V〕 結 言

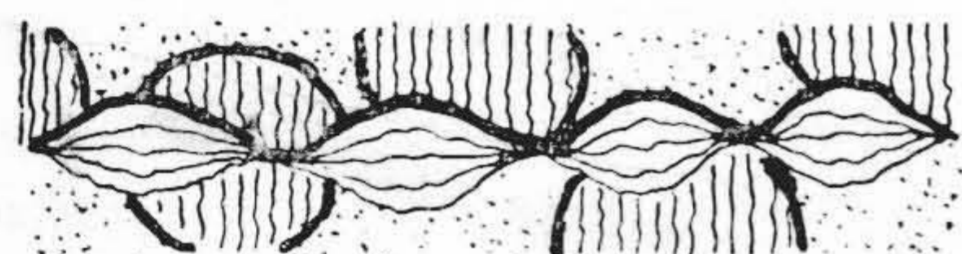
冷間鋼帯圧延機用設備で最も重要かつ精密制御を要するものは冷間圧延機であり、歩留りをよして作業能率を上げるためには、加減速を急速に行い、巻太り、加減速トルク、加速遅れ、無負荷損失、低速時の利得低下などを十分補償し、常に張力を一定に保つよう制御するほか、敏速な圧下制御方式を用い、また受電々源の変動に対し影響をうけない定電圧電源を設けることが大切である。そのため、最近の設備では回転増幅機、磁気増幅器などを用いて自動電圧および張力制御を行うが、増幅機は増幅率大きく時定数が小さいことが大切であり、各機器および回路の解析も制御系の全利得および安定度を十分考慮し、全装置として一貫した設計に基づき製作する必要がある。細部の各制御方式は種々あるが、常に運転操作の習性、自動制御系各機器の特性を十分考慮し、最も適切な方式を選択することが肝要であり、圧延速度が増すにつれ一属高性能にしなければならない。また直流電動機はその GD^2 を極力小さく、しかも良整流にする必要があり、特に巻取機用直流電動機ではその要求が一層高度になるので一般に双電機子型を用いる。

終りにのぞみ、有益な助言を賜った八幡製鉄所高橋博士、Continental Foundry and Machine Co. の Grant 技師、E.W. Bliss Co. の Farrington, Hiegel 両技師ならびに絶えず御指導を頂いた日立製作所日立工場藤久保副工場長、稲木電機設計部長、泉、山本両課長、井上本社技術課長、西設計課員に対し厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) W.R. Harris and R.W. Moor: Acceleration Characteristics of Tandem Cold Reduction Mills; Iron and Steel Engineer, July 1951
- (2) J. H. Schneider: Low Inertia D. C. Motors for Rolling Mill Drive; Iron and Steel Engineer, October, 1951

- (3) H. Ford: The Effect of Speed of Rolling in the Cold-Rolling Process; Journal of the Iron and Steel Institute, July, 1947
- (4) The Modern Strip Mill: Association of Iron and Steel Engineer, 1941
- (5) B.H. Caldwell: Development in the Design of D.C. Motors for Rolling Mills; Iron and Steel Engineer, April, 1950
- (6) T.B. Montgomery and J.F. Sellers: Inertia Studies for Modern Mill Drives; Iron and Steel Engineer, February, 1953
- (7) 田附, 木田, 山本, 泉, 平川: 日立評論 33 1009 (昭 26-12)
- (8) 田附, 西, 西: 日立評論 36 477 (昭 29-2)
- (9) W.E. Miller and F.S. Rothe: Selection and Analysis of Regulating Systems for Mill Drives; Iron and Steel Engineer, December, 1952
- (10) J.F. Shellers, R.M. Peoples and A.C. Halter: Temper Mill Symposium; Iron and Steel Engineer, June, 1952
- (11) 稲木: 日立評論 18 697 (昭 11-12)
- (12) 電気工学ハンドブック 577 (昭 25)



新 案 の 紹 介

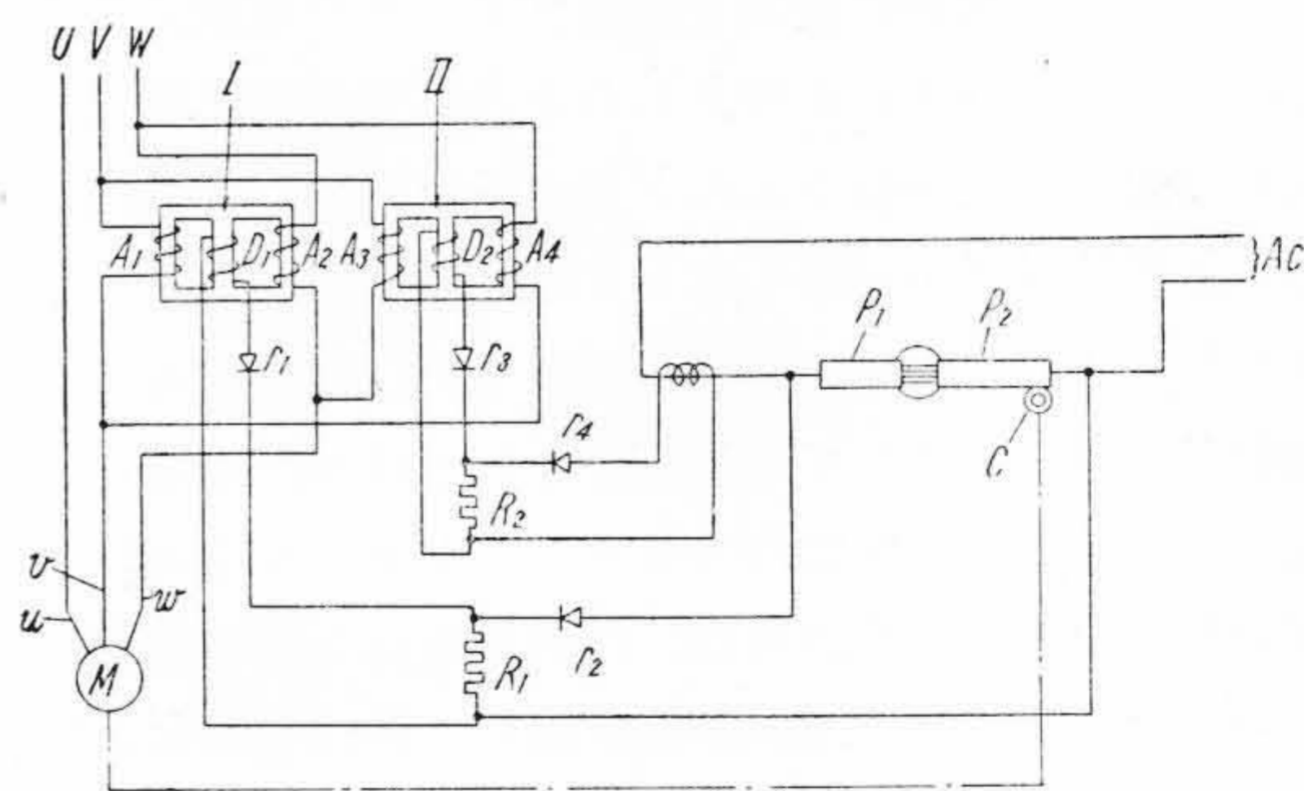


実 用 新 案 第 399416 号

藤 木 勝 美

電 気 炉 の 電 極 自 動 調 整 装 置

本案は直流励磁可飽和リアクトル利用の一ケースであつて、電気炉の電極自動調整を静的に極めて円滑に行い、以て電気炉給電回路の定電流自動制御を達成せんとするにある。電気炉の電極 P_1 及び P_2 は駆動輪 C を介して制御用三相誘導電動機 M によつて遠近制御されて電気炉給電回路 AC の電流を自動制御する仕組である。電動機 M の U, V, W 三相回路には一對の三脚鉄心型可飽和リアクトル I 及び II が設けられ、これらの交流線輪 A_1, A_2 及び A_3, A_4 は図示の如く V, W 各相線に挿入され、これらはリアクトルとして作用する。 D_1 及び D_2 は直流制御線輪で、抵抗 R_1 及び R_2 を経て附勢さるべくし、 R_1 及び R_2 はそれぞれ電極 P_1, P_2 間の電圧及び給電回路電流に比例して附勢される。 r_1, r_2 及び r_3, r_4 は D_1 及び D_2 を直流励磁するための整流器である。今回路 AC の電流が所定の一定値であるときに R_1 と R_2 との電圧降下が相等しく、それに応ずる D_1 及び D_2 の制御下では I 及び II 両者は未飽和で、 A_1 乃至 A_4 のインピーダンスが最大であるように選ばれる、然るときは電圧高上るとき D_1 の附勢は増大しこのとき電流は低少であるから D_2 の附勢は減少し、両者の開きにより A_1, A_2 のインピーダンスは最小となるのに反し



て A_3, A_4 のインピーダンスは最大となるので U, V, W の各相は A_1, A_2 を介して一つの序相につらなり、次に反対に電流が増大したときは D_2 の附勢は増大し、 D_1 の附勢は電圧の低下によつて減るので、前とは反対に U, V, W 各相は A_3 及び A_4 を経て他の序相に連なり、かくして電動機 M の正逆転制御を自動的に行うもので、この結果電極 P_1 及び P_2 の遠近制御をなして電流の所定一定値保持をはかるのである。かくの如くであるから本案装置は機械的な継電器を用いる場合に比し動作が静的であり D_1 及び D_2 の反対作用に基き動作感度が非常に高く精度を向上し得る効果がある。(宮崎)