逆転式熱間圧延機電気設備の自動制御(その2)

The Automatic Control of Electric Equipment for the Reversing Hot Steel Mill (No. 2)

前 川 敏 明* 小野田 芳 光*

内 容 梗 概

前編に引続き、ここには発電機の急速励磁制御および電動機の界磁弱め制御を併用して最大速度まで加減速する場合すなわち急速加減速装置について述べ、つぎに双電動機駆動の場合の負荷平衡装置について述べる。

第3編 急速加減速装置

[I] 緒 言

分塊圧延機などのイルグナ装置で電動機を最大速度まで急速加速し、また最大速度より急速減速するには電圧 制御のほかに電動機の界磁制御をも行なわなければならない。

こ」では界磁制御をも行つて急速加減速する場合の理想状態はいかなるものであるか、またこの理想状態を達成するためには制御系各要素がいかなる動作をせねばならぬかを理論的に究明し、実験結果の二三についてのべる。(単位は M.K.S. 有理化系を用いる。)

[II] 急速加減速制御の理論

(1) 急速加減速制御の基本式

第1図に電動機の界磁制御をも行つて急速加減速する場合の主要機の配列を示す。実際にはこのほかに非線型回路要素,制動変圧器,およびそのほかの種々な機器回路が加わるが,それによつて生ずる制御系の伝達函数の変化は通常,増幅発電機 HTD 制御励磁機 CE の部分の変化に集約される。

図において、発電機電圧を $E_G(t)$ 、電動機逆起電力を $E_M(t)$ 、電機子回路抵抗を R、電動機加速電流を $I_M(t)$ と すればつぎの関係式が成立する。 (電動機は無負荷とする。)

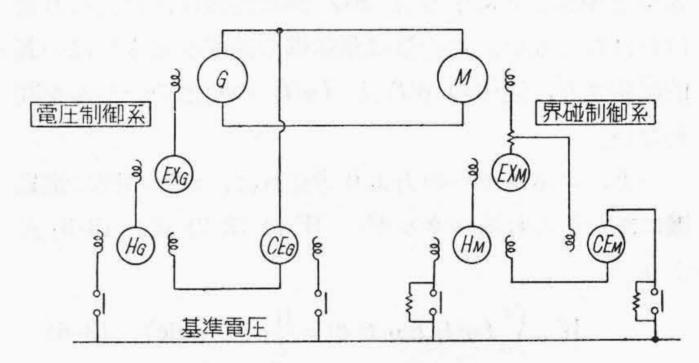
$$I_{M}(t) = \frac{E_{G}(t) - E_{M}(t)}{R}$$
(3-1)

ところで、単位回転速度当り発生する電動機逆起電力を $\zeta\phi(t)$ (volt·sec)、電動機速度を $\omega(t)$ (rad/sec) とすれば

$$E_{M}(t)=\zeta\phi(t)\cdot\omega(t)$$
(3-2)
となり、また、電動機の慣性能率を \oplus $(=GD^2/4)$ $(kg\cdot m^2)$ とすれば

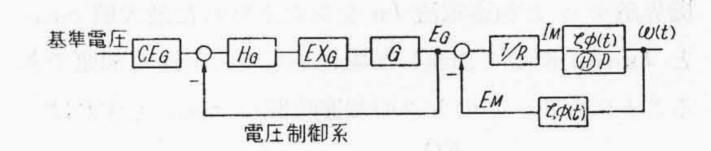
$$\omega(t) = \frac{1}{\widehat{\mathbf{H}}} \int_{0}^{t} \zeta \phi(t) \ I_{\mathbf{M}}(t) \ \mathrm{dt} \dots (3-3)$$

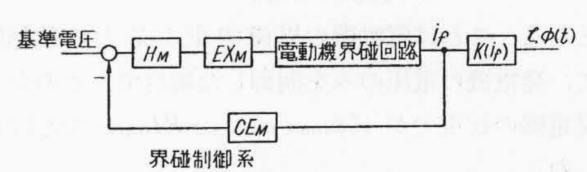
となる。電動機の界磁電流を $i_f(t)$ とすれば



: 主発電機 M : 主電動機

第1図 急 速 加 減 速 装 置 主 要 機 配 列 Fig. 1. Connection Diagram of Principal Machine for High Quick Acceleration





 E_G : 発電機電圧(V) R: 電機子回路抵抗(Ω) I_M : 電動機加速電流(A) $\xi \phi(t)$: 電動機単位回転速度当り発生する逆起電力($volt \cdot sec$) H: 電動機(負荷装置を含む)慣性能率($kg \cdot m^2$) $\omega(t)$: 電動機回転速度(rad/sec) E_M : 電動機逆起電力(V) i_f : 電動機界磁電流(A) $K(i_f)$: 単位回転速度に換算した無負荷飽和曲線の界磁電流 i_f における傾斜($volt \cdot sec/amp$) そのほか記号は第1図参照

第2図 急速加減速装置のブロック線図 Fig. 2. Block Diagram of High Acceleration System

$$\zeta \phi(t) = K(i_f) \cdot i_f(t) \cdot \dots (3-4)$$

ことに、 $K(i_f)$ は電動機界磁の飽和に関係し、 i_f の変化とともに変化する係数で単位は $volt \cdot sec/amp$ である。以上が電動機の界磁制御をも行つて急速加減速する場合の基本式である。これより、この制御系のブロック線図を画けば第2図となる。

(2) 加速回転力の時間積分 \mathbf{FQ} と回転エネルギー \mathbf{W} 電動機の速度を 0 より ω (rad/sec) に加速するには

^{*} 日立製作所日立研究所

(3-3) 式より

$$\int_{0}^{t} \zeta \phi(t) \cdot I_{M}(t) dt = \bigoplus \omega \equiv FQ \text{ (n.m.s)}...... (3-5)$$

こゝに、 τ : 電動機速度が ω になるまでの加速時間 (sec)

n.m.s: newton. meter. sec で newton は M. K.S 単位系における力の単位で kg. m/ sec2 をあらわす。

としてえられる回転力の時間積分(簡単のためこれを加 速量と呼ぶことにする。) FQ が電動機にあたえられな ければならない。この量は電動機の速度が定まれば一義 的に定まり、途中の $\phi(t)$ と $I_M(t)$ の変化のいかんを問 わない。

一方,エネルギーの方より考えれば, で 秒の間に電動 機にあたえられるエネルギー W は (3-2) 式と (3-3) 式 より

$$W \equiv \int_{o}^{t} I_{M}(t) E_{M}(t) dt = \frac{\oplus}{2} \omega^{2} \text{ (Joule) } \dots \text{ (3-6)}$$

となり,これも電動機の速度が定まれば一義的に定まり 途中の変化のいかんを問わない。

(3) 理論的最小加速時間

電動機の速度を0より ω_{max} まで加速するには(3-5)式によつて定義される FQ_{max} を必要とするので、電動 機界磁東 ϕ と加速電流 I_M をあたえられた最大値 ϕ_{max} と Immax にして加速した場合がもつとも速く加速でき ることになる。このときの加速時間を τβtho とすれば

$$\tau_{\beta tho} = \frac{FQ_{\text{max}}}{\zeta \phi_{\text{max}} I_{\text{max}}}.....(3-7)$$

となる。これは電動機の界磁磁束を最大の状態に保つ て,発電機の電圧のみを制御した場合で,このためには 発電機の起電力が($\zeta\phi_{\max}\omega_{\max}+RI_{\max}$)でなければな らぬ。

しかし、発電機の起電力が小さいときは、電動機の界 磁を最大の状態に保つたま」で加速するわけにゆかず、 界磁をよわめなければならない。

圧延機では発電機の定格起電力が

$$E_{G0} = \zeta\phi_{\max} \omega_0 + RI_{\max} \ldots (3-8)$$

電動機の定格逆起電力が

加速するのが普通である。

つぎに, この場合の加速時間を求める。

(A) 基準速度までの加速時間 txth

基準速度 ω_0 までの加速量を FQ_0 とすれば

$$FQ_0 = \bigoplus \omega_0 \dots (3-10)$$

となるから、ωo までに要する時間 τath はつぎのように

なる。

$$\tau_{\alpha th} = \frac{FQ_0}{\zeta_{\phi_{\max}} I_{M_{\max}}} = \frac{\bigoplus \omega_0^2}{E_{MO} I_{M_{\max}}} \dots (3-11)$$

(B) 基準速度より最大速度 ωmax までの加速時間 τ2 ωo において電動機の有する回転エネルギー Woは

$$W_0 = \omega_0^2 \, (\widehat{\mathbb{H}}/2 \, \dots \, (3-12)$$

であり、ωmax において有する回転エネルギー Wmax は $W_{\text{max}} = \omega^2_{\text{max}} \oplus /2 \dots (3-13)$

であるので、 ω_0 より ω_{max} まで加速するには電動機に

$$W_2 = W_{\text{max}} - W_0 = \frac{\textcircled{H}}{2} (\omega^2_{\text{max}} - \omega^2_0) ... (3-14)$$

だけのエネルギーを送り込まなければならぬ。

発電機より送られる電力 Pg は発電機電圧が最大値 Ego になつているので

$$P_G = E_{GO} \cdot I_M$$
(3-15)

であり、電動機に入る電力 P_M は

$$P_{M} = E_{GO}I_{M} - RI^{2}_{M} = E_{MO}I_{M} \dots (3-16)$$

となり、 $I_M = I_{M \max}$ の場合に最大電力が送られもつと も速く加速することになる。

いま、 $I_{M}=I_{M\max}$ になるように電動機の界磁を制御 したならば、このときに要する時間 τ2 はつぎのように なる。

$$\tau_2 = \frac{W_2}{E_{MO} I_{M\text{max}}} = \frac{1}{2} \tau_{\alpha th} \left\{ \left(\frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_0} \right)^2 - 1 \right\} \dots (3-17)$$

普通, $\omega_{\text{max}} = 2\omega_0$ に選ばれるがこのときは

$$\tau_2 = 1.5 \, \tau_{\alpha th} \quad \dots (3-18)$$

となる。

理論的最小加速時間 TBth

電動機の速度を 0より ωmax まで加速するに要する時 間 Tpth は上記 Tath と T2 の和であるからつぎのよう になる。

$$au_{\beta th} = au_{\alpha th} + au_2 = \frac{1}{2} au_{\alpha th} \left\{ 1 + \left(\frac{\omega_{\text{max}^2}}{\omega_0} \right)^2 \right\} \dots (3-19)$$

 $\omega_{\text{max}} = 2\omega_0$ にえらばれたときは

$$\tau_{\beta th} = 2.5\tau_{\alpha th} \dots (3-20)$$

この τβth は ω0 まで電圧制御を行つて後に界磁制御 を行つた場合の最小加速時間であるが、同時にこれは電 圧制御と界磁制御をどのように変化してもこの時間より 短い時間で加速できない, すなわち, 理論的最小加速時 間であることがつぎのようにして証明できる。

電動機の速度を ω_{max} まで加速するには前記 W_{max} なる回転エネルギー、もしくは FQmax なる加速量を電 動機にあたえなければならぬ。ところが、加速電流は Immax以上にできないから短時間で所要の回転エネルギ ーに達するためには電動機の逆起電力を極力大きくしな ければならぬ。

上記の方法では ταth まで電動機界磁束が最大値 φmax に保たれているので、その間の速度では当然ほかの方法 より逆起電力が大きく、 $\tau \alpha th$ より $\tau \beta th$ までは電動機の逆起電力が最大値 E_{MO} になつているので、これ以上の逆起電力は存在しない。

すなわち、この場合にもつとも短時間で W_{\max} をあたえることができる。

(D) 理論的最小加速時間と実際の加速時間の比 $k_{\beta}, k_{\omega\beta}$

(3–19) 式で計算される $\tau_{\beta th}$ は界磁制御をも行つた場合の理論的最小加速時間で、実際の加速時間はこれよりも大きくつぎのようになる。

$$\tau_{\beta} = k_{\beta} \tau_{\beta th} \dots (3-21)$$

 k_{β} は当然 1 よりも大きいが、これが 1 に近く、かつ τ_{β} の小さいものほどよい制御系といえる。

また、許容最大加速電流のかわりに実際に流れた加速電流の最大値 $I_{M\alpha}$ を用いて計算した理論的加速時間

$$\tau'_{\beta th} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bigoplus \omega^2_0}{E_{MO} I_{MO}} \right) \left(1 + \frac{\omega^2_{\text{max}}}{\omega_0^2} \right) \dots (3-22)$$

と TB の比を kwB とすれば

$$\tau_{\beta} = k_{\omega\beta} \ \tau'_{\beta th} \ \dots (3-23)$$

となる。この $k_{\omega\beta}$ は電動機の界磁束が変化しているので、前編 $k_{\omega\alpha}$ とことなりかならずしも加速電流波形をあらわすものでない。

なお、注意すべきは加速電流が I_{Mmax} の矩形電流でも加速時間がかならずしも上記の $\tau_{\beta th}$ にならないことで、たとえば電動機の界磁が加速指令と同時に $\phi_{max}(\omega_0/\omega_{max})$ の終局値になると、そのときの加速時間は、加速電流が I_{Mmax} の矩形波に制御しても

$$\left(\frac{\omega_{\max}}{\omega_0}\right)^2 au_{oth} = \frac{2 \, au_{eta th}}{1 + (\omega_0/\omega_{\max})^2} > au_{eta th}$$

となる。

(4) 発電機電圧および電動機界磁の理想制御曲線

(A) 発電機電圧の理想曲線

上記より電動機を理想的に加速するには、0より基準速度 (ω_0) の間は電動機の界磁を最大の状態に保つて電圧制御を行い、基準速度より最大速度 (ω_{max}) の間は発電機電圧を最大の状態に保ち、界磁制御することにより、加速電流が許容最大値 I_{Mmax} になるようにしなければならない。

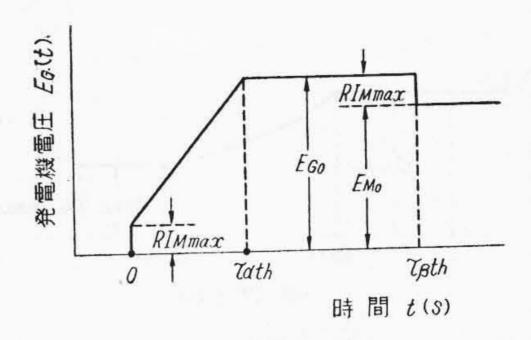
このため、発電機電圧の理想制御曲線は次式に示されるものとなり、これを図示すれば第3図となる。

$$E_{G}(t) = R I_{M \max} \{H(t) - H(t - \tau_{\beta th})\} + \frac{E_{M0}}{\tau_{\alpha th} b} \{H(t) - H(t - \tau_{\alpha th})\} \dots (3-24)$$

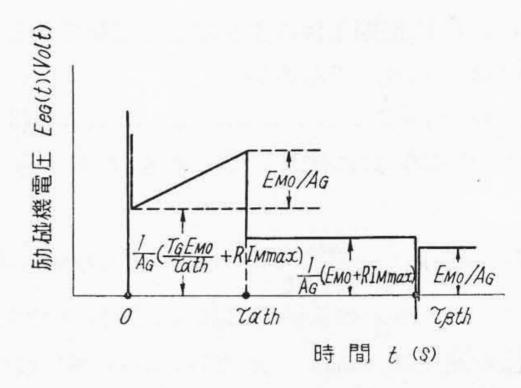
ところで、発電機電圧と励磁機電圧 $E_{eG}(t)$ の間には

$$\frac{E_G}{E_{eG}} = \frac{A_G}{1 + T_G p} \qquad (3-25)$$

なる関係があるので、(3-24)式のような発電機電圧波形



第3図 発電機電圧の理想上昇曲線 Fig. 3. Ideal Build U_p Curve of Generator Voltage



第4図 電圧制御系励磁機電圧の理想曲線 Fig. 4. Ideal Exciter Voltage Curve for the Voltage Control System

をうるためには励磁機の電圧がつぎのようにならなけれ ばならぬ。

$$E_{eG}(t) = \frac{(1 + T_G p)}{A_G} E_G(t)$$

$$= \frac{(1 + T_G p)}{A_G} \left[R I_{M \max} \left\{ H(t) - H(t - \tau_{\beta th}) \right\} + \frac{E_{MO}}{\tau_{\alpha th} p} \left\{ H(t) - H(t - \tau_{\alpha th}) \right\} \right] \dots (3-26)$$

(3-26)式を図示したのが**第**4図である。からる波形はもちろん実現不可能であるが, $E_{eG}(t)=\pm\infty$ の点をのぞけば近似的に実現することができよう。

(B) 電動機界磁の理想制御曲線

基準速度までは $(0 \le t \le \tau_{\alpha th})$ 電動機の界磁を最大の状態に保つゆえ、つぎの式が成立する。

$$\phi(t) = \phi_{\text{max}} \ (0 \le t \le \tau_{\alpha th}) \ \dots (3-27)$$

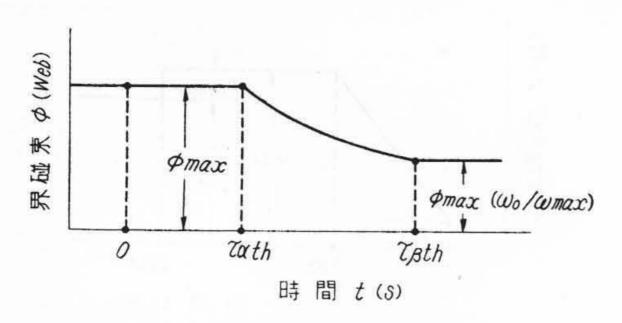
基準速度より最大速度までは(au $t \leq au$ $t \leq au$ t

(3-1)(3-2)(3-3) 式よりつぎの式がえられる。

$$I_{M}(x) = \frac{E_{G}(x)}{R} - \frac{\zeta \phi(x)}{R \oplus} \int_{0}^{x} \zeta \phi(\xi) I_{M}(\xi) d\xi \dots (3-28)$$

こゝに、 $x=t- au_{lpha th}$ かつ $0 \le x \le au_2 (= au_{eta th}- au_{lpha th})$ ところで、 $I_M(x)=I_{Mmax}$ $E_G(x)=E_{GO}$ であるから、この条件を上式に代入して $\phi(au)$ を求めると

$$\phi(\tau) = \phi_{\max} \sqrt{\frac{\tau_{\alpha t p}}{2(x+c)}} \qquad \dots (3-29)$$



第5図 主電動機界磁束の理想曲線 Fig. 5. Ideal Curve of Main Motor Pole Flux

こ」に、C は初期条件により定まる定数である。

$$x=0$$
 $\phi(x)=\phi_{\text{max}}$ であるから

$$C = \tau_{\alpha th}/2$$
(3-30)

これを(3-29) 式に代入して, x を t におきもどすと,

$$\phi(t) = \phi_{\text{max}} \sqrt{\frac{\tau_{\alpha th}}{2t - \tau_{\alpha ta}}} \quad (\tau_{\alpha th} \leq t \leq \tau_{\beta th}) \dots (3-31)$$

つぎに、 $t \ge \tau_{\beta th}$ の範囲では加速電流が 0 であり、かつ電動機の速度は ω_{\max} 一定であるから $\phi(t)$ はつぎのようになる。

$$\phi(t) = \phi_{\text{max}} (\omega_0/\omega_{\text{max}}) \quad (t \ge \tau_{\beta th}) \dots (3-32)$$

以上の電動機界磁の理想曲線をあらわす式をまとめた ものが次式であり、これを図に画いたのが第5図である。

$$\phi(t) = \begin{cases} \phi_{\text{max}} & (0 \leq t \leq \tau_{\alpha th}) \\ \phi_{\text{max}} \sqrt{\tau_{\alpha th}/(2t - \tau_{\alpha th})} & (\tau_{\alpha th} \leq t \leq \tau_{\beta th})...(3-33) \\ \phi_{\text{max}}(\omega_0/\omega_{\text{max}}) & (t \geq \tau_{\beta th}) \end{cases}$$

(C) 電動機の速度上昇曲線

発電機電圧および電動機界磁を理想曲線にしたがつて 変化した場合,電動機速度がどのようになるかしらべて みる。

この場合,加速電流 $I_M(t)$ は加速時間中 I_{Mmax} ,加速し終ると0,すなわち,式であらわせば

$$I_{M}(t) = I_{M\max} \{H(t) - H(t - \tau_{\beta th})\}....(3-34)$$

となるので (3-3) 式はつぎのようになる。

$$\omega(t) = \frac{I_{M\max}}{\widehat{\mathbb{H}}} \int_{o}^{t} \zeta \phi(\hat{\xi}) \; \{ H(\xi) - H(\xi - \tau_{\beta th}) \} d\xi ... (3-35)$$

これに (3-33) 式を代入すると

$$\omega(t) = \begin{cases} (\omega_0/\tau_{\alpha th})t & (0 \leq t \leq \tau_{\alpha th}) \\ \omega_0\sqrt{2(t/\tau_{\alpha th})-1} & (\tau_{\alpha th} \leq t \leq \tau_{\beta th}) \dots (3-36) \\ \omega_{\max} & (\tau_{\beta th} \leq t) \end{cases}$$

これを図示すると第6図となる。

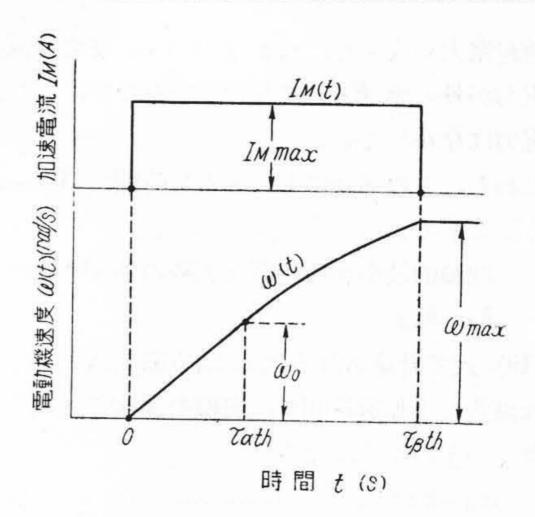
(5) 界磁制御系の各部波形

(A) 界磁が飽和しない場合

電動機の界磁が飽和しなければ $K(i_f)$ は定数 κ_0 となり、(3-4) 式はつぎのようになる。

$$\phi(t) = \kappa_0 i_f$$
(3-37)

この場合,電動機界磁が第5図の理想波形になるため



第6図 電動機速度と加速電流の理想曲線 Fig. 6. Ideal Curves of Motor Speed and Acceleration Current

に、制御系の各要素はどのような電圧をださねばならぬ かしらべてみる。

(a) 励磁機電圧波形 $E_{eM}(t)$

励磁機電圧 $E_{eM}(t)$ と電動機界磁 $\phi(t)$ の間にはつぎの関係がある。

$$\nu \frac{d\phi(t)}{dt} + R_f i_f(t) = E_{eM}(t)$$
(3-38)

 $Z \leq VZ$, $v = qn_f/a$

q: 極数 n_f : 一極当りの巻線数

a: 並列回路数 R_f : 界磁回路の抵抗

(3-37) 式を上式に代入して $E_{eM}(t)$ を求める。

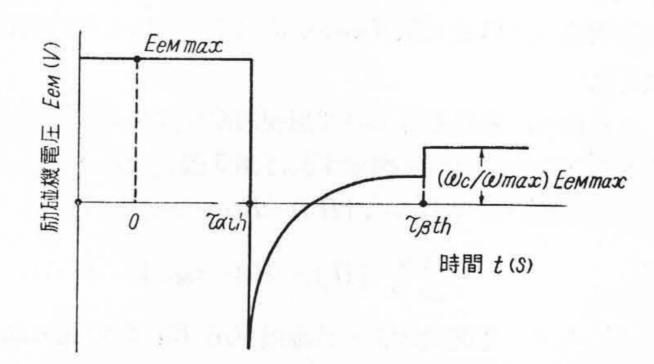
$$E_{eM}(t) = \frac{R_f}{\kappa_0} \phi(t) + \nu \frac{d\phi(t)}{dt}$$

$$= \begin{cases} R_f \phi_{\text{max}} / \kappa_0 = E_{eM\text{max}} & (0 \leq \tau_{\alpha th}) \\ \frac{\sqrt{\tau_{\alpha th}} E_{eM\text{max}}}{\sqrt{2t - \tau_{\alpha th}}} \left\{ 1 - \frac{T_{fM}}{2t - \tau_{\alpha th}} \right\} & (\tau_{\alpha th} \leq t \leq \tau_{\beta th}) \\ E_{eM\text{max}} (\omega_0 / \omega_{\text{max}}) & (t \geq \tau_{\beta th}) \end{cases}$$

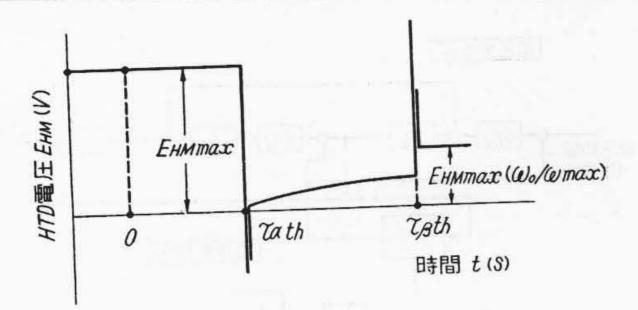
こゝに、 $T_{fM}=\nu\kappa_0/R_f(\sec)$ で電動機界磁の時定数である。(3-40) 式を図に画いたのが第7図である。

(b) H. T. D. 電圧波形 $E_{HM}(t)$

H.T.D. 電圧 $E_{HM}(t)$ と励磁機電圧 $E_{eM}(t)$ の間には



第7図 界磁制御系励磁機電圧の理想曲線 Fig. 7. Ideal Exciter Voltage Curve for the Field Control System



第8図 界磁制御系 HTD 電圧の理想波形 Fig. 8. Ideal H.T.D. Voltage Curve of the Field Control System

つぎの関係がある。

$$\frac{E_{eM}}{E_{HM}} = \frac{A_{eM}}{1 + T_{eM}p}$$
(3-40)

こ」に,

Aem: H.T.D. 電圧と励磁機電圧の間の増幅率(v/v)

Tem: 励磁機の時定数 (sec)

上式と (3-39) 式より $E_{HM}(t)$ の変化を求めるとつぎ のようになる。

$$E_{HM}(t) = \frac{1}{A_{eM}} (1 + T_{eM} p) E_{eM}(t)$$

$$= \begin{cases} E_{eM\max}/A_{eM} = E_{HM\max} & (0 \le t \le \tau_{\alpha th}) \\ -\infty & (t = \tau_{\alpha th}) \end{cases}$$

$$= \begin{cases} \frac{E_{HM\max}}{\sqrt{2t/\tau_{\alpha th} - 1}} \left\{ 1 - \frac{(T_{eM} + T_{fM})/\tau_{\alpha th}}{2t/\tau_{\alpha th} - 1} + \frac{3T_{eM}}{(2t/\tau_{\alpha th} - 1)^2} \right\} \\ (\tau_{\alpha th} < t < \tau_{\beta th}) & (t = \tau_{\beta th}) \end{cases}$$

$$+\infty & (t = \tau_{\beta th})$$

$$E_{HM\max}(\omega_0/\omega_{\max}) & (\tau_{\beta th} < t)$$

これを図に画いたのが第8図である。

(B) 界磁が飽和する場合

(a) 励磁電流波形

この場合の $K(i_f)$ は第9図に示すように実用上つぎの函数形であらわすことができる。

$$K(i_f) = \frac{(1/u)\sinh^{-1}(i_f/U)}{i_f}$$
.....(3-42)

こ」に,

u, U: 電動機の飽和曲線よりさだめられる定数で次元は u (weber-1) U (amp) である。

このようにすると (3-4) 式はつぎのようになる。

$$i_f(t) = U \sinh u \zeta \phi(t) \dots (3-43)$$

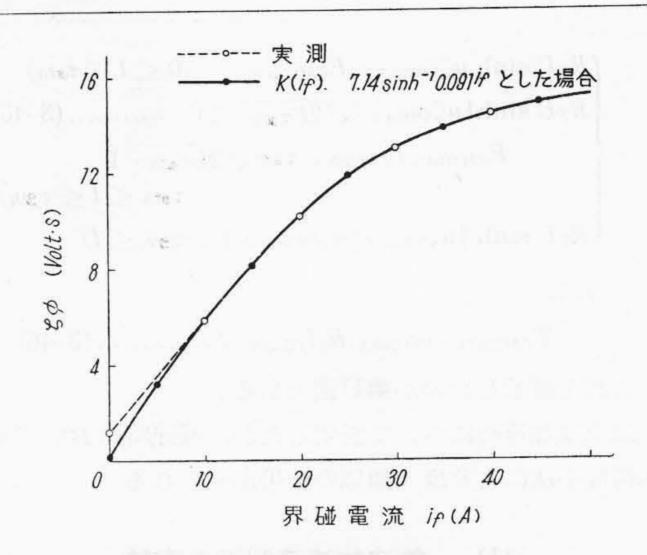
これと (3-33) 式より

$$i_f(t) = \begin{cases} U \sinh u \zeta \phi_{\text{max}} & (0 \leq t \leq \tau_{\alpha th}) \\ U \sinh \{u \zeta \phi_{\text{max}} / & (\tau_{\alpha th} \leq t \leq \tau_{\beta th}) \\ \sqrt{2t/\tau_{\alpha th} - 1} \} & \dots (3-44) \end{cases}$$

$$U \sinh \{u \zeta \phi_{\text{max}} (\omega_0 / \omega_{\text{max}})\} (\tau_{\beta th} \leq t)$$

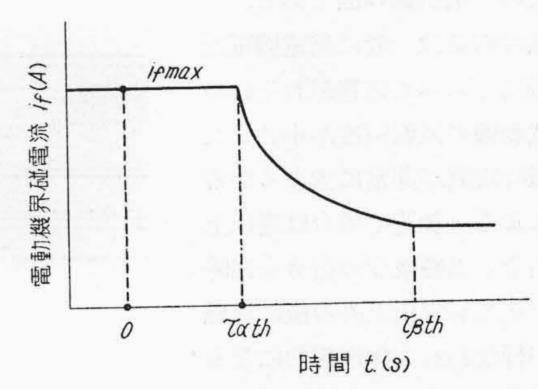
これを図示したのが第10図である。

(b) 励磁機電圧波形



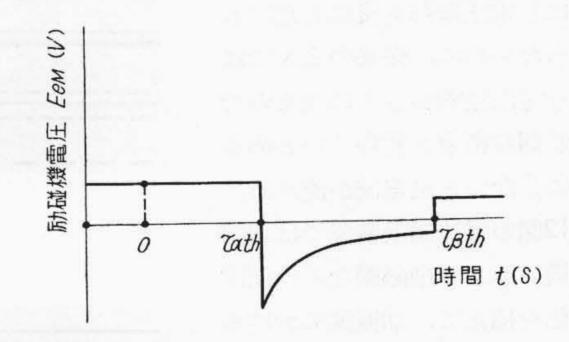
第9図 電動機の無負荷飽和曲線とその双曲線 函数表示

Fig. 9. No Load Saturation Curve of DC Motor and Its Hyperbolic Sine Expression



第10図 電動機界磁が飽和する場合の界磁電 流理想曲線

Fig. 10. Ideal Main Motor Field Current Curve When the Field is Saturated



第11図 電動機界磁が飽和する場合の界磁制 御系励磁機の理想電圧曲線

Fig. 11. Ideal Exciter Voltage Curve of The Field Control System When the Field is Saturated

電動機界磁が飽和する場合の励磁機電圧理想波形は (3-38) 式に (3-33), (3-44)式を代入することによりえられる。すなわち

$$E_{eM}(t) = R_f i_f(t) + \nu \frac{d\phi(t)}{dt}$$

$$= \begin{cases} R_f U \sinh u \zeta \phi_{\text{max}} = E_{eM\text{max}} & (0 \leq t \leq \tau_{\alpha th}) \\ R_f U \sinh \{u \zeta \phi_{\text{max}} / \sqrt{2t/\tau_{\alpha th}} - 1\} & \dots \dots (3-45) \\ -E_{eM\text{max}} T_{fM\text{max}} / \tau_{\alpha th} \sqrt{2t/\tau_{\alpha th}} - 1 & (\tau_{\alpha th} \leq t \leq \tau_{\beta th}) \\ R_f U \sinh \{u \zeta \phi_{\text{max}} (\omega_0 / \omega_{\text{max}})\} & (\tau_{\beta th} \leq t) \end{cases}$$

こ」に,

 $T_{fM\min} = \nu \phi_{\max}/R_f i_{f\max}$ (3-46)

これを図示したのが第11図である。

以上は加速時について説明したが、減速時においても 同様な手法によりほゞ類似の結果がえられる。

〔III〕 急速加減速制御の実験

(1) 電流制限装置と実験結果

日立研究所電動力応用実験室ではイルグナ装置の急速 加減速制御に関し多くのすぐれた方式を確立したが、そ のうちの一例が第12図である。

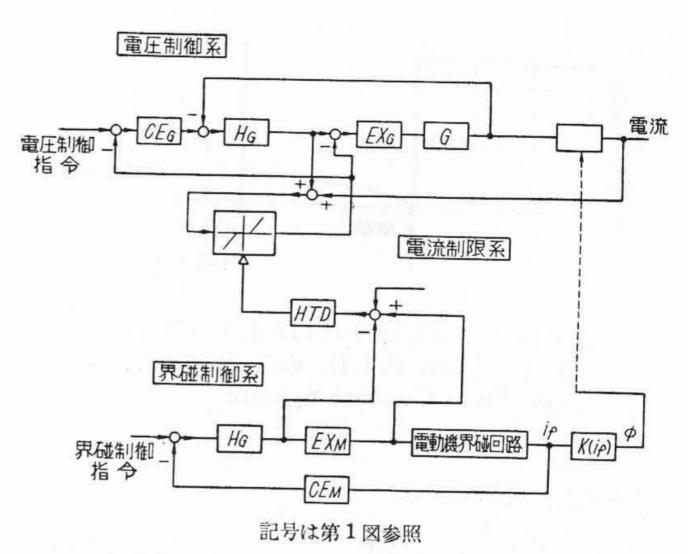
界磁制御系は一般に発電機電圧 制御系にくらべて応答がおそいの で(電動機の回転速度が小さいた め界磁時定数が非常に大きくなる ことによる。)加速の場合は電圧上 昇の指令と界磁減少の指令を同時 にあたえても電圧上昇の後に界磁 減少が行なわれ大体理想的になる ものが多い。それゆえ、加速の際 は従来でもあまり問題にされてい ない。

しかし、減速の際は界磁制御を さきにし電圧制御を後にしなけれ ばならないのに、従来のま」では やはり電圧制御がさきになるので 電圧制御の指令を暫時くいとめる ようにしないと過電流が流れる。

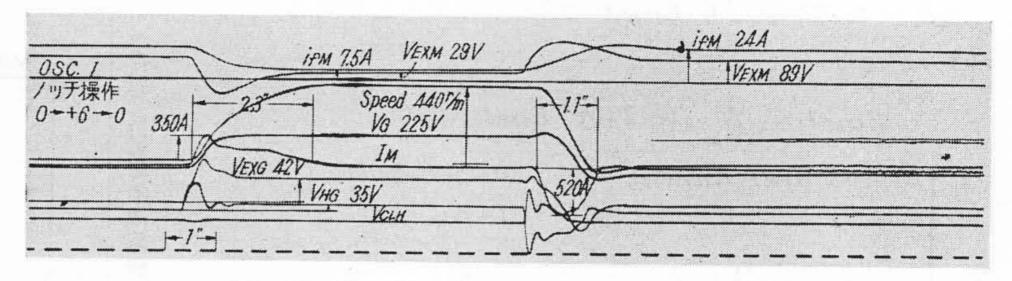
第12図の電流制限装置では増幅 発電機,および励磁機などの前段 の変化を捕えて,加減速における 順序が理論通りになるようにし た⁽²⁾。なお,これだけでは負荷の 増大などによる電流の増加を防ぐ ことができないので,負荷電流の 影響をも考慮したものにしてあ る。

第13図がこの装置の実験結果の オシログラムである。

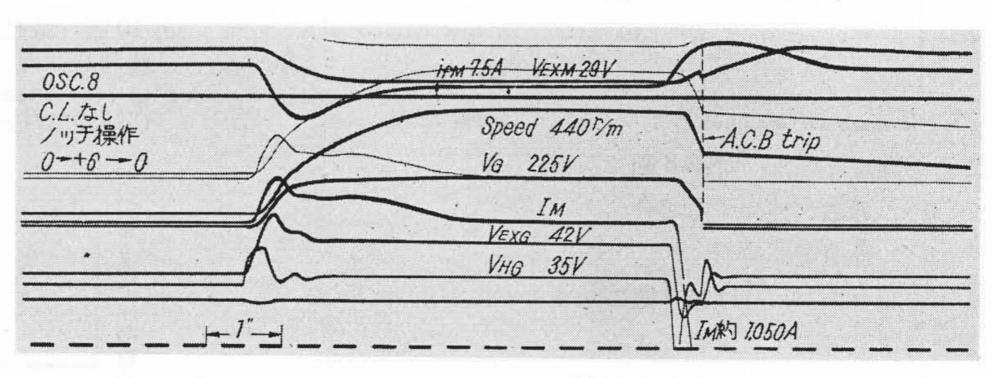
この実験は前篇にのべた手法によつて 10,000HP イルグナ装置と



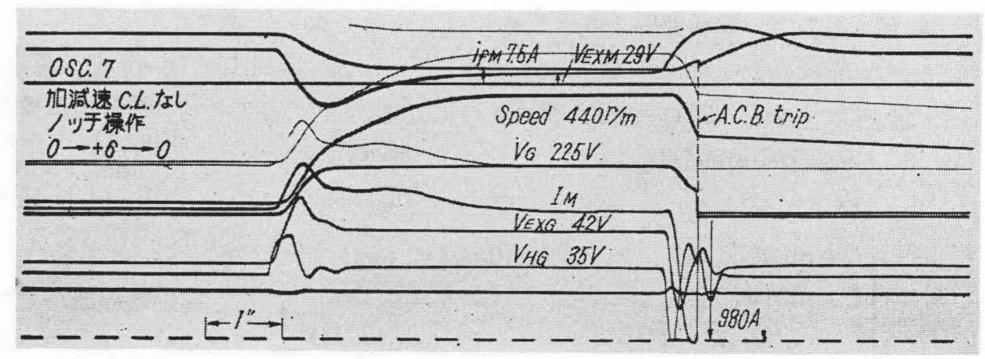
第12図 新しい急速加減速装置のブルック線図 Fig. 12. Blork Diagram of the New High Acceleration System



(A) 電 流 制 限 装 置 の あ る 場 合



(B) 加減速電流制限装置のない場合



(C) 電 流 制 限 装 置 が 全 く な い 場 合

第13図 実験結果のオシログラム Fig. 13. Oscillograms of Experimental Results

第 1 表 結 果 の 比 較 Table 1. Comparison of the Results

	加	速	時	減	速	時
	τβ	$k_{\boldsymbol{u}}^{\beta}$	m	τβ	$k_u\beta$	m
最近発表された例	sec 3.64	3.2	sec 8.0	sec 3.0	3	sec 6.0
日立研究所	1.1	1.43	0.47	2.3	2.0	2.3

相似になつているので、電流、電圧、速度の数字を換算 すれば実機の結果とおなじと考えてさしつかえなかろ う。

(2) 結果の検討

(A) 加速の場合

電動機の慣性能率 $\hat{\mathbf{H}}=67.5$ kg m², 基準速度 $\omega_0=46.2$ rad/sec であるので,この装置の理論的加速時間 $\tau^1\beta th$ は (3-22) 式より

$$\tau' \beta t \hbar = \frac{1}{2} \left(\frac{\widehat{\mathbb{H}} \omega_0^2}{E_{MO} I_{M\alpha}} \right) \left(1 + \frac{\omega^2_{\text{max}}}{\omega_0^2} \right)$$
$$= 1.14 \text{ sec}$$

実験でえられた加速時間 tg は 2.3 sec であるので

$$k_{\omega\beta} = \frac{2.3}{1.14} = 2.0$$

性能係数 m として

$$m = (k_{\omega\beta} - 1) \tau_{\beta}$$

をとれば

$$m = 2.3 \, (sec)$$

(B) 減速の場合

加速の場合と同様に理論的減速時間 τ¹βth を計算すれば

 $\tau'_{\beta th} = 0.77 \text{ sec}$

実際の減速時間 τβ は 1.1 sec であるので

$$k_{\omega\beta} = \frac{1.1}{0.77} = 1.43$$

第4編 負荷平衡装置

[I] 緒 言

大型圧延機においては上ロールと下ロールをそれぞれ 別の電動機でまわすいわゆる双電動機駆動方式 (Twin drive System)が採用される。負荷平衡方式には両電動 機の界磁電流を調整する方法と、主発電機を上下ロール 用の二群にわけそれぞれの電圧を調整する方法とが考え られる。後者は最近用いられるようになつてきたもので ある⁽¹⁾。

上下ロール径の違いによる不平衡調整については, 圧 延特性の上から種々の方法が論議されているが, われわ また,

$$m = (k_{\omega\beta} - 1) \cdot \tau_{\beta} = 0.47 \text{ (sec)}$$

従来,この種のオシログラムはあまり発表されていないが,最近発表された一例と比較すれば第1表となり, この制御装置のすぐれていることが知られる。

[IV] 結 言

電動機界磁制御をも行つて急速加減速する場合の理論, および日立研究所電動力応用実験室で行つた実験についてのべた。

理想的な急速加速は、零より基準速度までは発電機電 圧制御により、基準速度より最大速度までは電動機界磁 制御により加速電流がつねに許容最大値になるように加 速した場合で、このときの加速時間 τρτη は

$$\tau_{\beta th} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \left(\frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_0} \right)^2 \right\} \tau_{\alpha th}$$

の値となるが,電圧制御と界磁制御の時間関係がこのようになつていないと,かりに加速電流が許容最大値の矩 形波でも加速時間は

$$\frac{1}{2}\left\{1+\left(\frac{\omega_{\max}}{\omega_0}\right)^2\right\}$$
 $au_{zth}\sim\left(\frac{\omega_{\max}}{\omega_0}\right)^2$ au_{ath}

となる。

実際の急速加減速は、もちろん理想的にならないが、日立研究所電動力応用実験室で 10,000HP 級の装置と相似の回路で行つた実験では加速時 τ_{β} が 2.3 sec, $k_{\omega\beta}$ が 2.0, 減速時 τ_{β} が 1.1 sec, $k_{\omega\beta}$ が 1.43 という値がえられている。

しかも,この装置では継電器類はほとんど用いておらず従来のものに比しすぐれたものといえよう。

参考文献

- (1) 稲木, 他: 日立評論, 別冊 No.8., (1954. 10)
- (2) 特許出願中

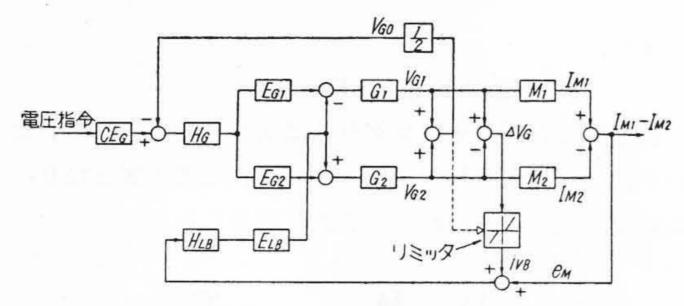
れは電気的特性のすぐれた発電機による負荷平衡方式に ついて検討した。

[II] 負荷平衡装置の原理⁽²⁾

第14図に装置の説明用ブロック線図を示す。 CE_G , H_G , E_G , $G_{1\cdot 2}$ などよりなる急速励磁装置は $^{(3)}$, G_1 , G_2 両発電機の電圧平均値 V_{GO} を電圧指令にしたがつて所要の値に制御する。 M_1 , M_2 の負荷電流に差ができると, H_{LB} を励磁して G_1 , G_2 をたがいに逆方向に励磁し,両発電機の電圧をかえて M_1 , M_2 の負荷電流がひとしくなるように制御する。これが負荷平衡装置で,もちろん負荷電流をある一定の比率に制御することも簡単にできる。

 CE_{G}

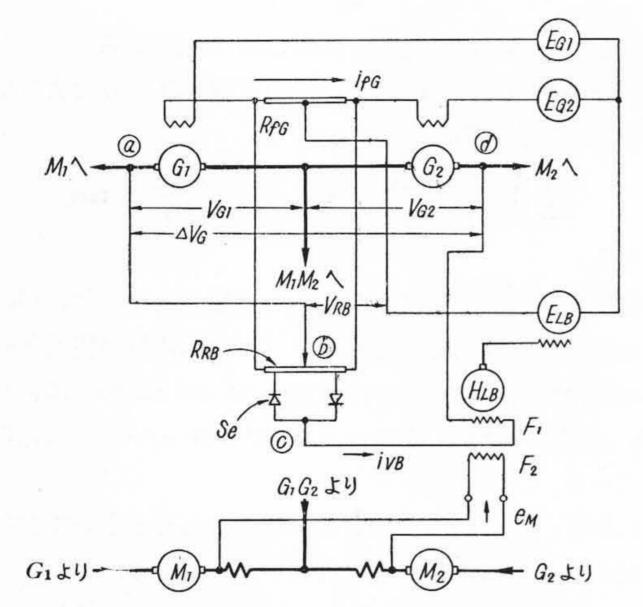
: 制御励磁機



 M_1 , M_2 : 主電動機 V_{G^1} V_{G^2} : G の端子電圧 G_1 , G_2 : 主発電機 I_{M^1} , I_{M^2} : M の負荷電流 E_{G^1} , E_{G^2} : 主励磁機 $V_{G^0} = \frac{1}{2} (V_{G^1} + V_{G^2})$ E_{LB} : 負荷平衡励磁機 $\triangle V_G = V_{G^1} - V_{G^2}$ e_M : 負荷電流差検出信号

第14図 負荷平衡装置のブロック線図 Fig. 14. Block Diagram of Load Balance System

 $\{\infty(I_{M^1}-I_{M^2})\}$



第15図 負荷平衡装置の概略結線図 Fig. 15. Schematic Connection Diagram of Load Balance System

ところでこの制御系において、 M_1 、 M_2 が無負荷の場合には V_G が変つても I_M はほとんど変らないから、上記の負荷電流平衡回路は開かれているにひとしい状態となる。このときなんらかの原因で V_{G1} と V_{G2} にはなはだしい差を生じたとしてもこれをおさえるものはない。このため G_1 、 G_2 の電圧差を適当におさえる「電圧差制限回路」が必要である。この回路が第14図の $\triangle V_G$ かりミッタ→ i_{VB} の部分である。 V_{G1} 、 V_{G2} の差 $\triangle V_G$ がリミッタの制限値以上になれば i_{VB} が流れ $\triangle V_G$ をそれ以上大きくしないように H_{LB} を励磁する。

つぎに第15回,第16回によつて「電圧差制限回路」の 機能を説明する。第15図において電圧差制限回路のリミ ッタは抵抗 R_{RB} とセレン整流器 S_e よりなり、 R_{RB} に は G の界磁抵抗 R_{fG} の電圧差 R_{fG} i_{fG} がかかつてい る。電圧差制限信号 i_{VB} は図において $\textcircled{a} \rightarrow R_{RB} \rightarrow$ $S_e o$ $\mathbb{C} o F_1 o$ \mathbb{C} なる回路を通る。 $V_{GO} = \left(\frac{V_{G1} + V_{G2}}{2} \right)$ は ほゞ i_{fG} に比例するから R_{RB} の端子電圧も V_{GO} に比 例する。したがつてこのリミッタの制限値も Vgo に比 例して変化する。 R_{RB} の中間タップを中央 ($V_{RB}=0$ に なる。) においておけば、 V_{GO} と " i_{VB} を流さない $\triangle V_{G}$ の範囲"との関係は第16図 (A)の(1)の斜線部分の ようになる。 R_{RB} の中間タップを移動すれば同図 (2)または(3)のように上の関係がかわる。この斜線部分 内では電圧差制限回路が働かないから、 H_{LB} の F_2 界磁 に入る信号 e_M (負荷電流検出部の信号) に対し $\triangle V_G$ は第16図(B)の(P)(Y)間の特性になる。 △ Va が制限 値をこえると i_{VB} のため $\triangle V_G$ が変らなくなるから第 16図(4)(中)間または(ハ)(中)間のような特性になる。負 荷平衡作用は、この図の(ロ)(ハ)間においてのみ有効に働 く。したがつて上下ロールの径に大差ある場合などで, 上記制限内での負荷平衡が不可能なときには、RRBの中

> 間タップを調整して動作域を適当に変え ればよい。

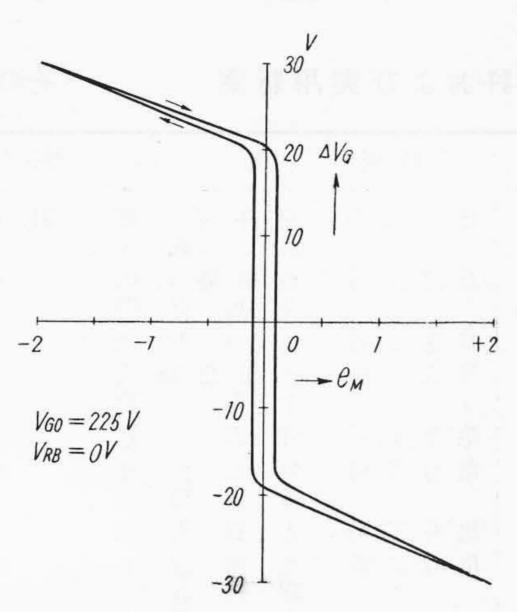
(A) Vaoと AVa 変化可能範囲との関係

(B) 負荷電流差とΔ16との関係

第16図 電 圧 差 制 限 回 路 の 特 性 説 明 図 Fig. 16. Explanatory Diagrams Showing the Characteristic of the Generator Voltage Difference Limitter

[III] 実 験 結 果

実験結果の静特性を第17図,第18図に示す。第17図の $\triangle V_G = \pm 20V$,第18図の負荷用発電機励磁電流が7~8.5Aの間が負荷平衡装置の動作する範囲である。この動作域以上に不平衡がでる場合には第17図の曲線を電圧平衡調整器によつて上下に移動させることができる。また負荷がなくなつた場合にも $\triangle V_G$ は $\pm 20V$ 以内にあり,上下ロールの速度に大差のつくことを防ぐ。



第17図 電圧差制限回路の特性 Fig. 17. Characteristic Curve of the Generator Voltage Difference Limiter

第19図は不平衡負荷状態の運転中に負荷平衡装置を投 入した場合で急速に負荷電流が平衡している様子が示さ れている。また第20図はある速度で運転中に負荷を投入 した場合の両電動機の負荷電流を示し,負荷平衡装置の 有無による状態をあきらかにしている。

(IV)

双電動機駆動方式における発電機側による負荷平衡装 置の研究を行つた。負荷平衡装置には、単に負荷電流を 平衡させる回路のほかに両発電機電圧差を適当に制限す る回路が必要なことを述べ, その具体的回路, ならびに 実験結果を示した。

考 文 献

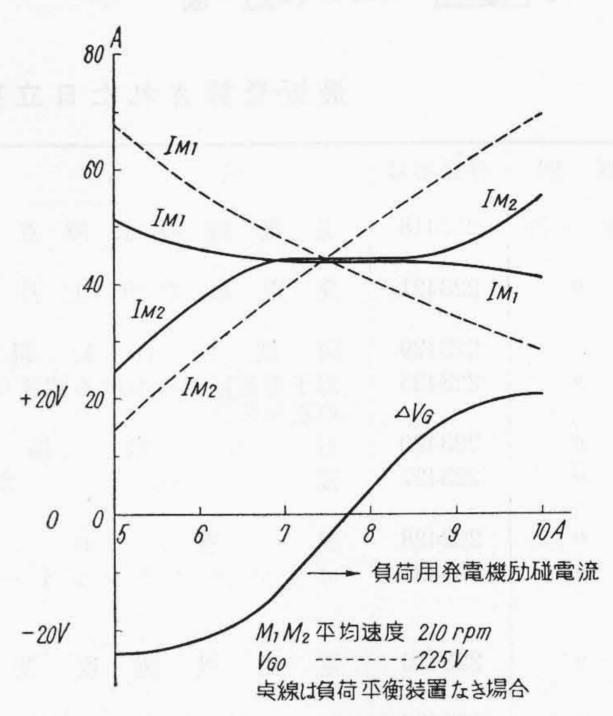
- (1) Harold, Hoeft: Iron & Steel Eng. 32, 2, P. 117 (1955)
- (2) 特許申請中
- (3) 第2編

全編の結言

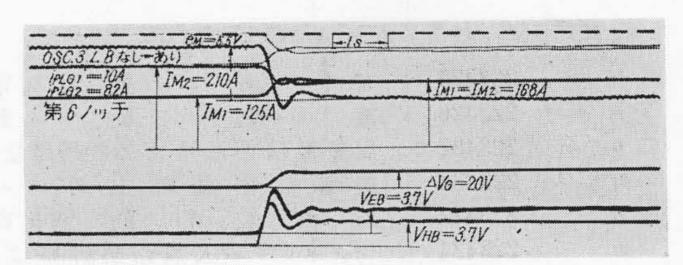
以上四編にわたつて逆転式熱間圧延機用電気設備の自 動制御装置中でもつとも重要な問題, すなわち急速励磁 装置, 急速加減速装置, 負荷平衡装置について述べた。 まずこれらの装置がいかにあるべきかを理論的に検討し て理想特性を求め、つぎにそれを目標に種々改良した制 御装置を組立てて実験を行つた結果十分すぐれた特性を うることができた。

ここでは一応全部回転機による制御装置を用いたもの について述べたが、最近磁気増幅器の応用や、あるいは 静止レオナード方式の導入などが考えられている。この 場合にも今回の研究結果を多少変形して導入しうる面が 多い。

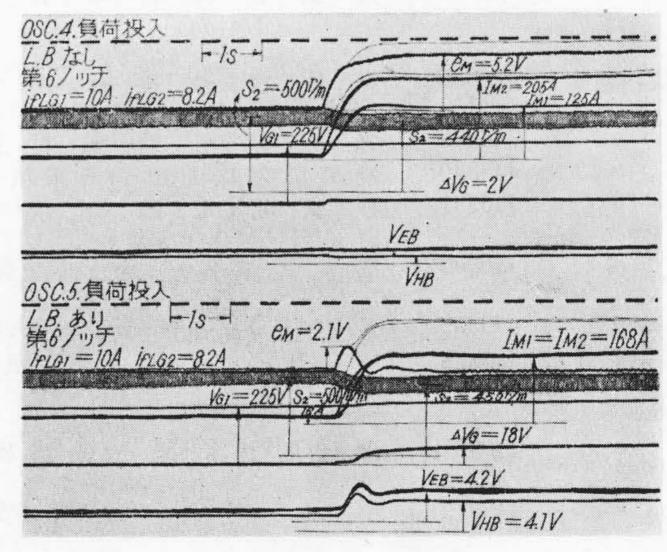
終りにのぞみ本研究に際し終始御指導をいただいた日



負荷平衡装置の静特性 Fig. 18. Static Characteristic Curves of the Load Balance Equipment



負荷平衡制御のオシログラム 第19図 Fig. 19. Oscillagram Showing Load Balance



電動機に負荷をかけた場合のオシログラム 第 20 図

- 負荷平衡装置なし (上)
- 負荷平衡装置あり

Fig. 20. Oscillograms of the Load Balance Performance When the Motor Take the Load

(up) Without Control

(down) with Control

立製作所日立工場稲木部長,泉,山本,田附各課長,日 立研究所三浦所長, 今尾, 小林両主任研究員ならびに実 験に協力された今橋,鈴木氏らに厚く御礼申上げる。

经历公司的 特許 本新秦 不知识到

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その1)

区別	登録番号	名	称	工場別	氏 名	登録年月日
特 許	223418	送電線の故	障点標定方式	日立工場	平井善一郎 武 夫	31. 6.29
"	223421	発 電 機 電 圧	上昇促進装置	日立工場	豊田隆太郎菊地克明	"
"	223429	同期機自	動 調 整 装 置	日立工場	広 吉 秀 高	"
"	223435	25 C 202/20 600-50 600-4	トる油流ピストン装置へ	日立工場	大田原康夫上久保 昭	"
"	223420	石 炭 水	揚 装 置	亀有工場	寺 田 進	"
"	223427	渦 巻	水車	亀有工場	堀 田 正 雄 宙 田 輝 男	"
"	223428	渦 巻	ポンプ	亀有工場	大 貫 康 志	"
"	223431	可変吐出プラン	/ ジャーポンプ装置	亀有工場	渡 部 富 治 細 田 益 三	"
"	223425	電 動 機 速	度 制 御 装 置	多賀工場	小 谷 政 雄 四 倉 輝 夫 山 家 正 道	"
"	223430	洗濯機	撹 拌 翼	多賀工場	林五郎	"
"	223433	直 流 蛍 光	灯 転 極 装 置	亀戸工場	鈴 木 繁 好 大 和 利 丸 西 岡 博	"
,,	222422		Alle EES BIT	- 1	居 駒 恒 雄	
"	223423 223426	有極	継電器	戸塚工場	二見二郎	"
"	The state of the state of	電磁	駆 動 器	戸塚工場	西口薫	"
"	223432	TOTAL TANK TRANS. AND D. THOUGH WHILE	る物理諸量の伝送方式	戸塚工場	岡 崎 彰 夫	"
"	223434	送電線振動防	Cast No. 10 Co.	日立電線工場	今 尾 隆	"
"	223422	周 波 数 自	動制御装置	中央研究所	字佐美 襄	- 1/
"	223424	マグネシウム入黒鉛	沿塗料による鋳造法	中央研究所	鳥 山 四 男 牟 田 明 徳	"
".	223419	共 重 合 材 料	の製造方法	絶縁物工場	奥 本 武 臣 鶴 田 四 郎 古 賀 弥	"
	446335	発 電 機 過 電	正 抑 制 装 置	日立工場	飯 島 貞 善坂 本 虎 雄斎 藤 武	31. 6.20
"	446338	電 気 鉄 道 軌	条 接 続 装 置	日立工場	滑川清	"
"	446340			日立工場	田附修	"
"	446341	抄 紙 用 電 動	r Parket trained training training toleran	日立工場	田附修和木利市	"
"	446350		净 装 置	日立工場	深栖俊一田中暢雄	"
ĺ,	446352	チューブミルレベルコ	ントロール装置検出管	日立工場	河 原 誠 二	"
"	446356	液体ポン	プ吸込管	日立工場	逸 見 文 彦 一 郎	"
"	446361	機械的連結部	の破壊検知装置	日立工場	小 松 好 房 大 森 敏 夫 加 藤 清	"
"	446372	小 水 車 運	転 保 安 装 置	日立工場	田中暢雄平野重光	"
"	446379	全 装 可 搬	式 変 圧 器	日立工場	宮 本 光 二	"/
"	446380	全 装 可 搬		日立工場	沢 幡 寅 治 宮 本 光 二	"
#	446383	全 密 閉	変 圧 器	日立工場	沢 幡 寅 治	"
"	446384	全 密 閉	型 変 圧 器	日立工場	宮本光二沢幡寅治宮本光二	"
"	446385	変 圧 器 用	呼 吸 装 置	日立工場	渡辺政巳	"
"	446390	ASS TO THE MEMORY OF THE PROPERTY.	機の固定子支持装置	日立工場	並沢功	"
		一人,一下五王电1	一一一人一人刊衣且	日 上 一加	土 橋 義 雄	1/