

HTD と その 應 用

田 附 修* 吉 田 正 吉* 笠 原 達 雄*

H T D (Hitachi Turning Dynamo) and Its Application

By Osamu Tazuke, Shokichi Yoshida
and Tatsuo Kasahara
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

HTD (Hitachi Tuning Dynamo) is a rotating type amplifier of high precision. Its saturation curve coincides with a straight line representing a relation between current and voltage of its field coil. It has three kinds of coils, i.e., self exciting field coils, controlling field coils and feed back coils, which renders a large amplification factor, quick responsibility.

The amplification factor reaches above 10,000 times with very little time lag. The principle of operation is to make use of change in resultant ampere turns of field coils. The handling is very simple. Its controlling action is decided from the property of total controlled system. Recently this unit has been applied for quick excitation of electric apparatus of roll mill, program speed control of winding machines, power factor control of synchronous motors and automatic voltage control of A. C. generators, giving very satisfactory results.

[I] 言

近來發送電系統の容量の増大に伴つて系統の安定度を高め、定電壓送電を維持するため、交流發電機の速應勵磁は必要不可欠なものとなつてゐる。鑛山、製鐵製紙等の電動力應用方面においては、生産量の増大と、品質の均一化等の目的から、電動機の世界或いは回轉力制御が、又急變負荷に對する配電系及び運轉の安定化のため、同期電動機の力率調整が要求される等廣い分野にわたつて自動制御が必要とされている。このために各種の繼電器、電動型抵抗調整器、振動電磁石型調整器、熱電子管型調整器等が從來廣く用いられている。HTD はこれ等從來方式と原理を異にするが、用途は同様の回轉増幅機であつて、保守に多くの勞力と經費を要し、調整の比較的複雑な他の制御方式にかわつて信頼度高く、精密な制御を行うことが出来る優秀な性能をもつてゐる。本文に於ては HTD の原理の説明制御性能の考察を行い併せて實際の應用例について記述する。

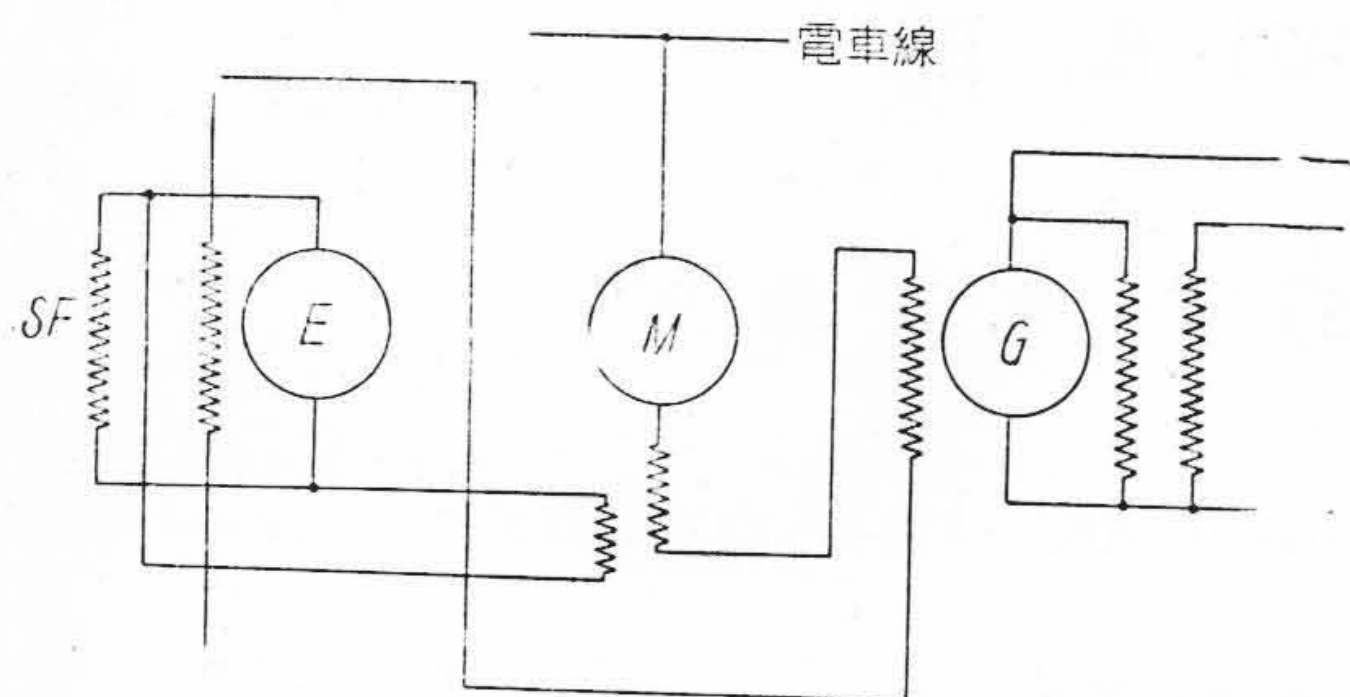
[II] 直流發電機を用いた制御方式

一般に直流發電機は微少な界磁電力を大きな出力電力に變換するという點からみれば一種の増幅裝置と考えられ、これを種々な形で自動制御に用いることが出来る。日立製作所に於ては此の種直流發電機を多數製作してゐた。HTD はこれらの原理及び設計を基礎として發展したものであるから、蛇足を嫌わず、以下その數例に就いて説明する。

(1) 可變電壓定速度電動發電機⁽¹⁾

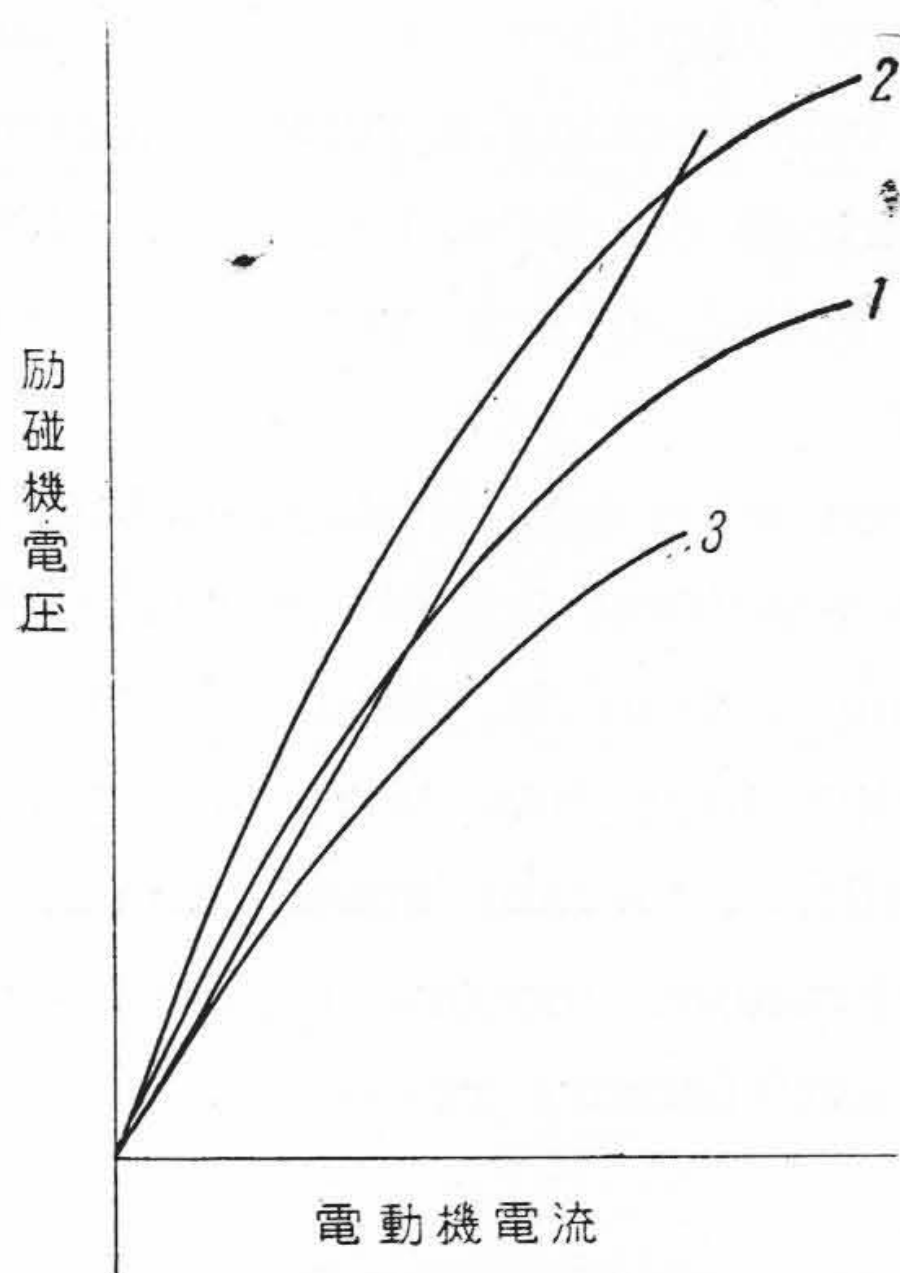
これは第1圖の如く直流電動機と直流發電機、勵磁機を直結したもので、勵磁機は極めて低飽和の狀態で使用され、速度の僅の變化によつてその電壓は非常に廣い範圍に變化する。第2圖の(1)は常規速度、(2)は僅か高い速度、(3)は僅か低い速度の場合の電壓と界磁電流の關係を示したものである。この勵磁機によつて勵磁される電動機は電車線電壓が高まり、速度が僅か上ろうとすれば、直ちに勵磁が増し、速度が少し下れば、直ちに勵磁が減じ、勵磁の急速な増幅的變化によつて速度は一

* 日立製作所日立工場



第1圖 定電圧電動發電機

Fig. 1. Constant Voltage Motor Generator



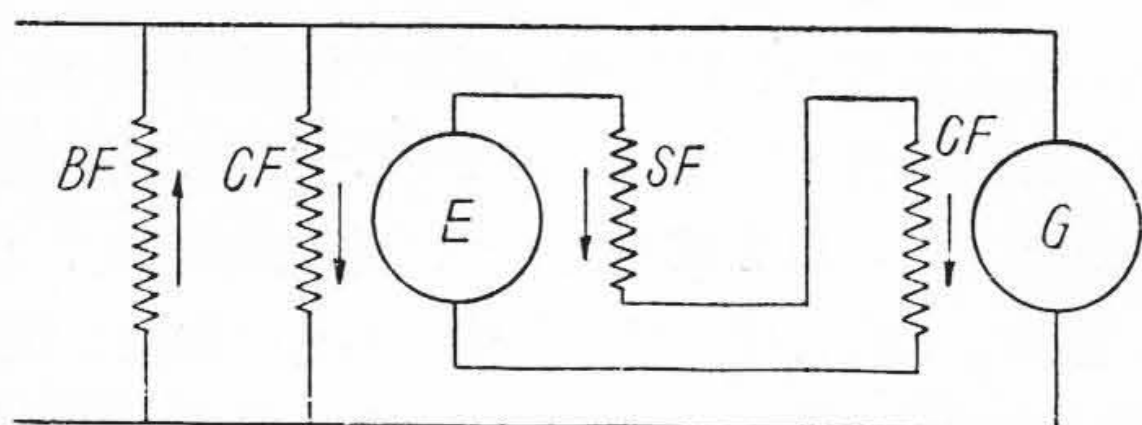
第2圖 定電圧電動發電機勵磁機特性曲線

Fig. 2. Characteristic Curve of Exciter of Constant Voltage Motor Generator Set

定に保たれる。

(2) HL 發電機⁽²⁾

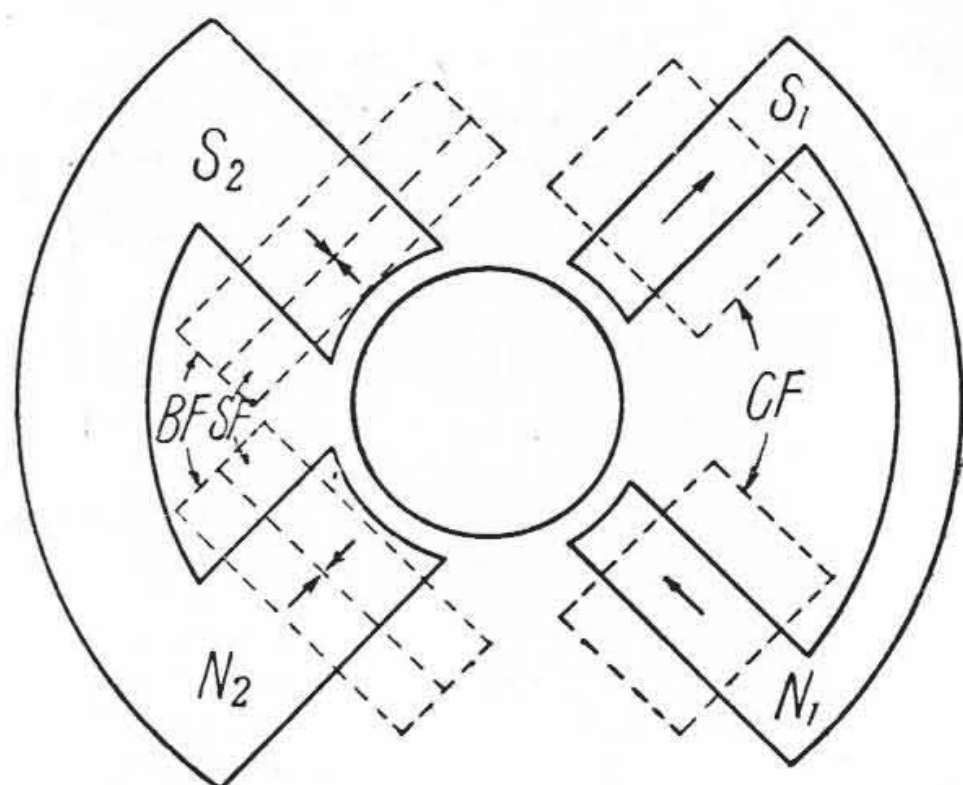
これは第3圖に示すように G の發電機と E の勵磁機があり、兩發電機は共通軸上に組立てられている。勵磁機 E は SF, CF, BF の三界磁があり、SF と CF は互に



第3圖 HL 發電機接續圖

Fig. 3. Connection Diagram of HL Generator

和動的に、BF はこれ等と差動的に接續されている。發電機は普通の構造であるが、勵磁機は第4圖に示すよう



第4圖 HL 發電機勵磁機構造

Fig. 4. Construction of HL Generator Exciter

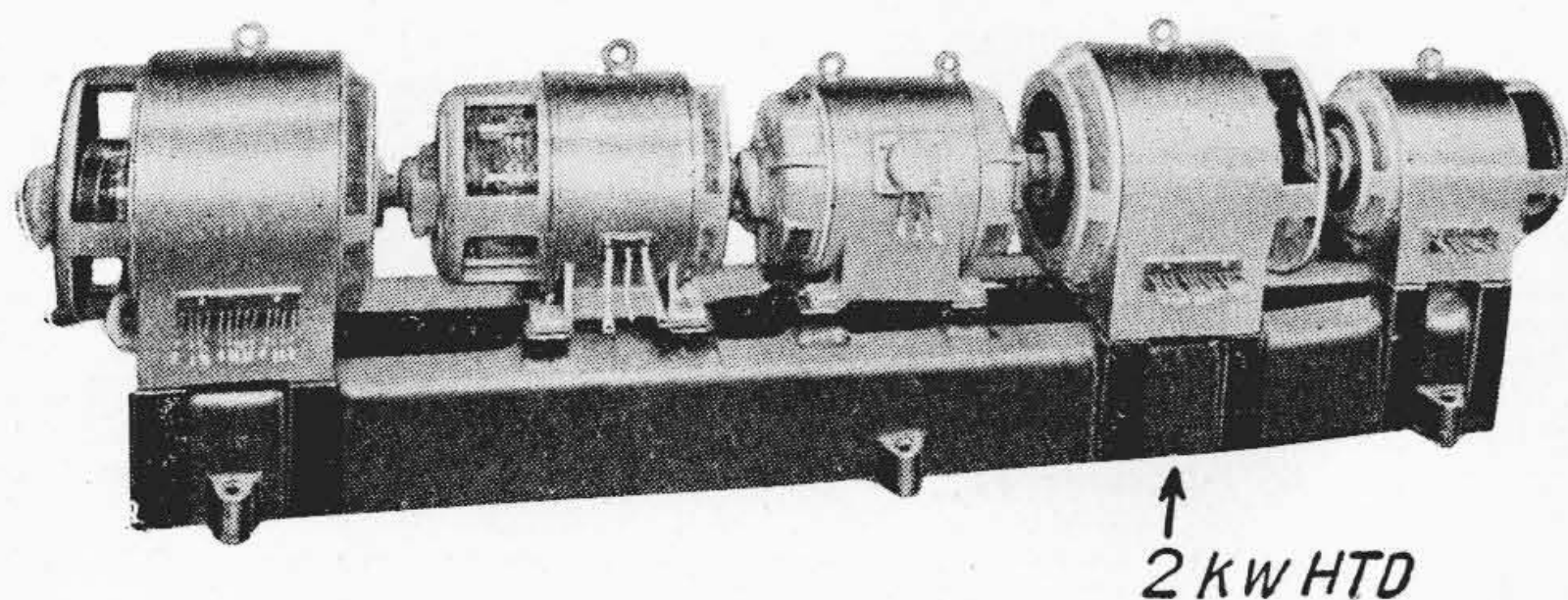
に N_1S_1, N_2S_2 の2組の磁気回路があり、兩者は磁氣的に絶縁され、獨立に働いている。 N_1S_1 は CF により高飽和に勵磁され、 N_2S_2 は SF と BF の差で低飽和に勵磁されている。運轉速度が變化して發電機 G の電壓が變化し、CF の界磁電流が變化しても N_1S_1 の磁気回路は高飽和のため、磁束は變化しない。従つて CF 界磁と BF 界磁による誘導起電力に差があれば勵磁機の電圧は、SF の作用と相俟つてその差を打消すように自動的に電圧が調整される。即ち BF 回路の電流が N_1S_1 極の高飽和一定磁束による誘起起電力を打消すように E の電圧が調整され、G の電圧は一定に保たれる。

以上のような用途に應じた數種の界磁巻線を持つ低飽和直流發電機を自動制御に用いることには已に 10 數年の経験がある。HTD は以上述べた直流發電機の持つ本質的な性質に新しい設計と被制御系の特性を考慮した制御理論を應用加味したものである。

[III] HTD の構造

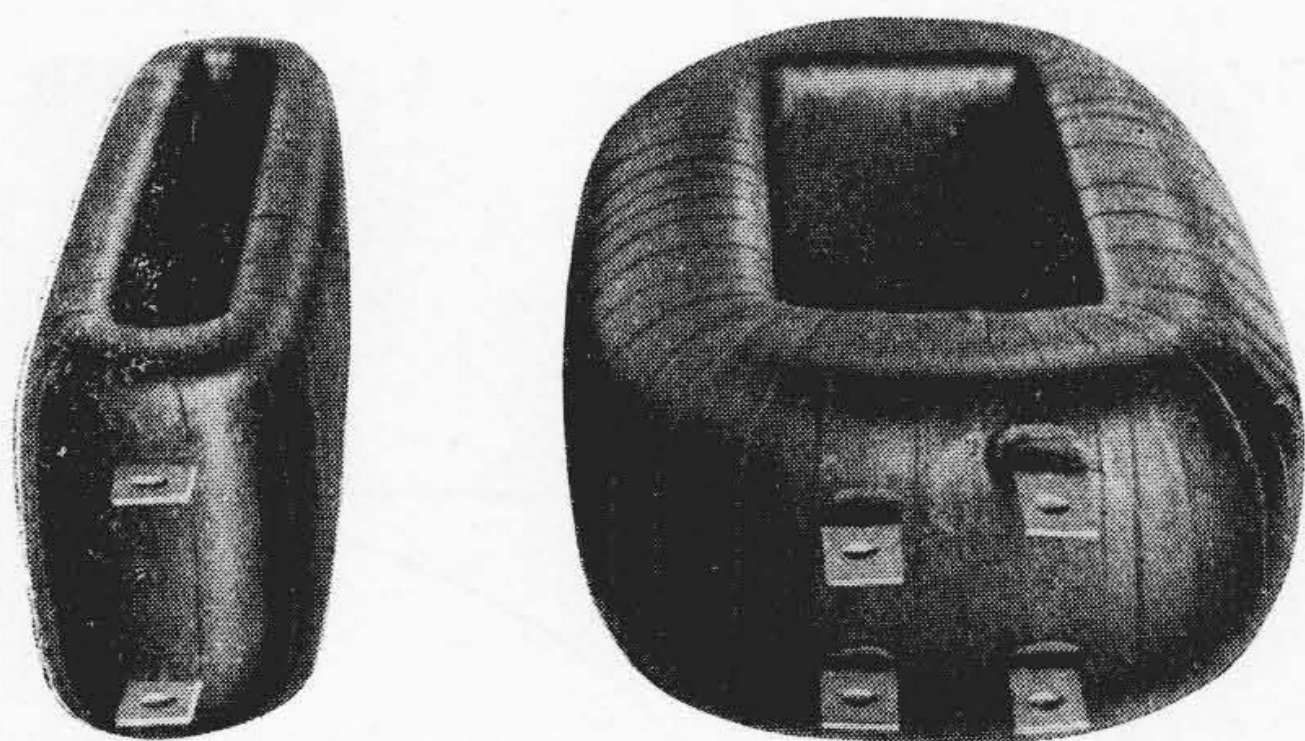
HTD の外觀は普通の直流發電機と殆んど變らない。

第5圖は其の外觀を示している。主界磁は自勵界磁巻線 SF, 制御界磁巻線 CF, 再生界磁巻線 BF の三界磁巻線を有しているが、特殊の制御に應ずるためそれ以上の巻線を具えたものもある。第6圖は其の外觀で寫眞の反對側の端子を含めて4組の端子が現われていて用途に應じ種々の接續を施す。自勵界磁巻線は其の抵抗値が溫度により變化しないように溫度係數の低い材料を使用している。何れの巻線もその自己誘導係數並びに相互誘導係數は極めて小さくなるように、又磁気回路の構成は使用状態で飽和しないように設計されている。速應性を高め、塊狀鐵心の渦流による磁束の遅れを防ぐために繼鐵を積層し又残留磁氣を少くして制御上の精度をあげるため繼



第5圖 HTD セット

Fig. 5. HTD Set

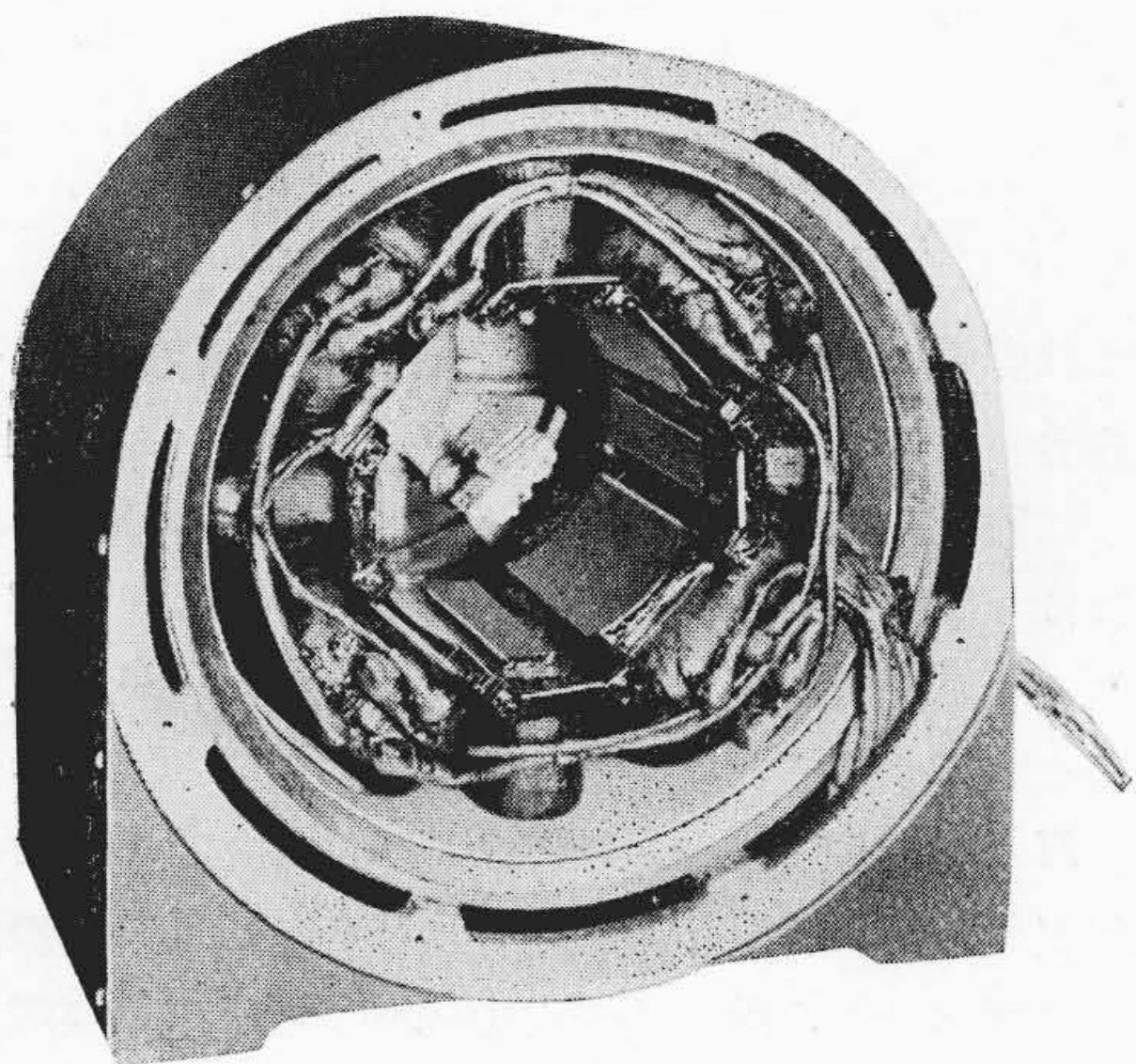


補極巻線

主極巻線

第6圖 HTD 巻磁巻線

Fig. 6. Field Coil of HTD



第7圖 HTD : 固定子内部

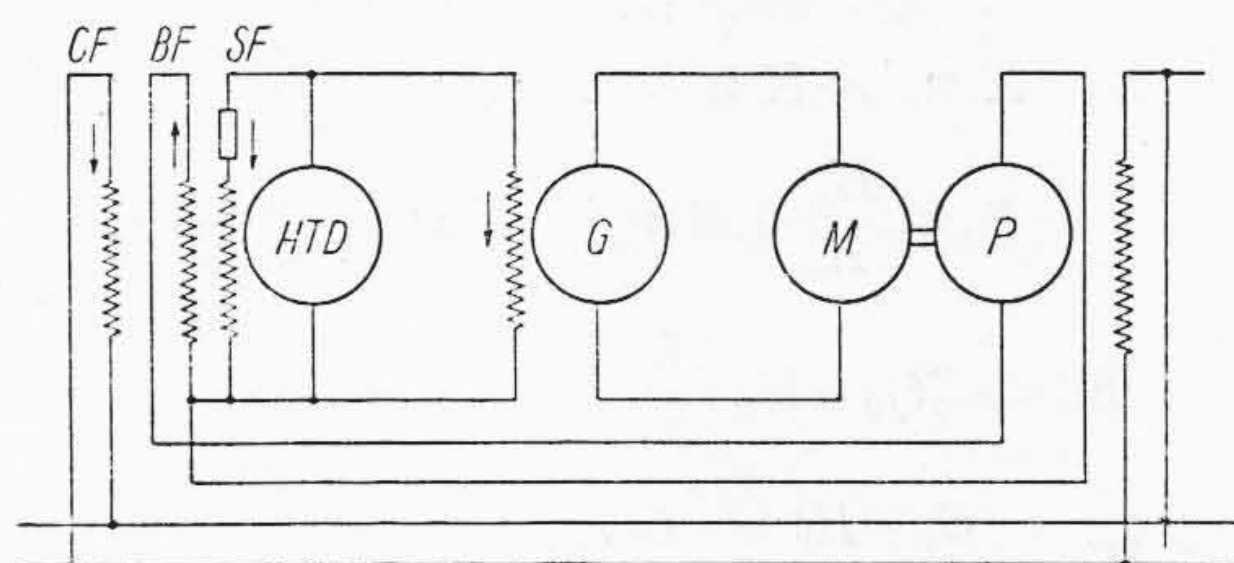
Fig. 7. Inside View of Stator of HTD

鐵、各磁極、電機子鐵心共硅素鋼板製とし特別の熱處理を施し、主磁極の構造、敷板等特殊の設計となつてゐる。第7圖は結線を施した固定子の内部を示す。整流子はHTDの動作時に發生する飛躍的高電壓に對しても十分安全に運轉出来るように整流子片間電壓は極めて低く、又刷子も瞬時的の大電流に對しても整流の悪化を來さぬよう考慮してある。

HTDは主發電機の驅動機に直結して驅動しても差支ないが、主發電機速度變化に關係なく一定速度で回轉することが必要であり、又機械を小型にし、制御電力を小さくするためにターボ發電機用等高速のものを除いては一般に主機と別個の誘導電動機又は直流電動機で驅動する。

[IV] HTD の動作原理

第8圖はHTDを使用したワードレオード方式による直流電動機速度制御の簡単な接續例で、電動機を負荷に拘らず、操作回路で定められた速度で回轉させるためのものである。HTDの自勵界磁起磁力はその端子電壓に比例するから、自勵界磁巻線の電流と電壓との關係を表わす直線（以下抵抗線という）が飽和曲線の直線部と一致している時制御界磁巻線CFを勵磁すればHTDの端子電壓は非常に高い値に達する。従つてHTD



第8圖 HTD による直流電動機速度制御

Fig. 8. Speed Control of D.C. Motor with HTD

により勵磁される發電機Gの電壓も高い値に達しようとし、それにより運轉される電動機Mの速度は高くなる。同時にMに直結されたパイロット發電機の電壓がMの回轉數に比例して高くなり、此の電壓がHTDのBF界磁巻線に與えられるのでHTDの端子電壓は下りCFの起磁力とBFの起磁力とが丁度打消しあう状態で安定する。負荷が増大し、主回路の内部電壓降下により電動機速度が下れば、パイロット發電機の電壓が降下しBFの起磁力はCFに比して減少し、其の差の起磁力によりHTDの電壓は上昇して、Mの速度を元の値に戻す。Mの速度が上ればBFの起磁力は増加してHTDの電壓を下げ常に電動機Mの速度を一定に保つ。

今 R_s : HTDの自勵界磁巻線抵抗

R_b : // BF界磁巻線の抵抗

R : 發電機G及び電動機Mの主回路抵抗

E_h : HTDの端子電壓

E_g : 發電機Gの誘起電壓

E_m : 電動機Mの逆起電力

E_p : パイロット発電機の端子電圧

W_m : 電動機 M の速度

K_h : HTD の端子電圧と界磁巻線のアンペア
回数の比

k_g : 発電機の誘起電圧と勵磁電流との比

k_m : 主電動機逆起電力と速度との比

k_p : パイロット発電機端子電圧と速度との比

n_s : HTD の自勵界磁巻線 SF の巻回数

n_c : // 制御界磁巻線 CF の巻回数

n_b : // 再生界磁巻線 BF の巻回数

i_s : // SF の電流

i_c : // CF の電流

i_b : // BF の電流

i_{gf} : 発電機の界磁電流

I : 電動機電流

R_{fg} : 発電機界磁抵抗

とし簡単のために自勵巻線が分巻の場合を考えると次の諸式が成立する。

$$\begin{aligned} E_h &= K_h n_s i_s + K_h n_c i_c - K_h n_b i_b \\ &= K_h n_s \frac{E_h}{R_s} + K_h n_c i_c - K_h n_b i_b \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$E_g = K_g i_{fg} = K_g \frac{E_h}{R_{fg}} \dots\dots\dots (2)$$

$$W_m = \frac{E_g - IR}{k_m} = \frac{E_m}{k_m} \dots\dots\dots (3)$$

$$E_p = k_p W_m \dots\dots\dots (4)$$

$$\therefore E_h \frac{R_s - K_h n_s}{R_s} = K_h n_c i_c - K_h n_b \frac{E_p}{R_b} \dots\dots\dots (5)$$

HTD の飽和曲線が界磁起磁力に比例し、飽和曲線が自勵界磁巻線の抵抗線と一致する時は

$$i_s R_s = E_h = K_h n_s i_s \dots\dots\dots (6)$$

$$\therefore R_s - K_h n_s = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$\therefore E_p = \left(\frac{n_c}{n_b} R_b \right) i_c \dots\dots\dots (8)$$

$$\therefore W_m = \left(\frac{1}{k_p} \frac{n_c}{n_b} R_b \right) i_c \dots\dots\dots (9)$$

$$E_m = k_m W_m = \left(\frac{k_m}{k_p} \frac{n_c}{n_b} R_b \right) i_c \dots\dots\dots (10)$$

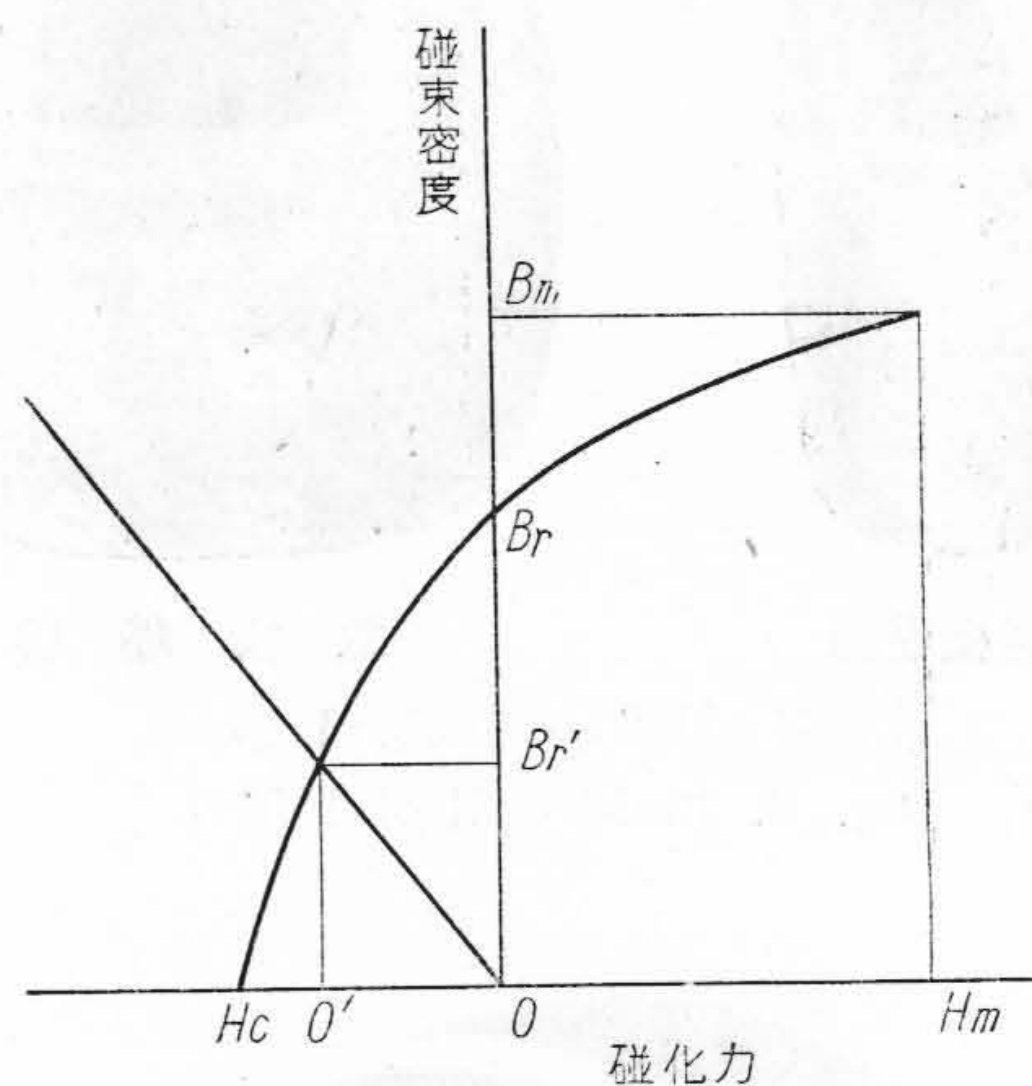
$$E_g = \left(\frac{k_m}{k_p} \frac{n_c}{n_b} R_b \right) i_c + IR \dots\dots\dots (11)$$

上式からわかるように電動機速度 W_m は常に i_c によつてのみ定められ、負荷電流 I には無関係に一定となり、発電機電圧は常に主回路の電圧降下 IR を補償するように調整される。従つて CF 界磁の電流 i_c を豫め定められた電動機速度時間特性に一致させれば電動機は常に豫定通りの速度で回転し所謂プログラム制御が出来る。

[V] HTD の特長

(1) 残留電圧が極めて少く同調率著大である。

HTD は其の原理上飽和曲線が略々直線状で、残留電圧が低いことが必要である。今一つの環状磁気回路を考最大磁化力 H_m 迄磁化した時の現象を考える。第9圖で B_m は最大磁束密度、 B_r は残留磁束密度、 H_c は保磁力である。 H_m が零になれば磁束密度は B_m から B_r になる。又磁気回路に空隙があれば更に減少して B_r' となる。但し圖で OO' は空隙に必要な磁化力であつて、その大きさは空隙長に關係し空隙長が大である程大となり B_r' は小さくなる。又直流機では、各部の磁気回路断面



第9圖 磁化曲線

Fig. 9. Magnetization Curve

積には非常に差があるが、 B_r は最大磁束密度によつて決定されるので、各部の磁束密度は大體均一の値となるように設計上の考慮をしてある。残留電圧の減少をはかるには B_r , H_c 共小さい材料を用いればよいが、 B_r は材料により又熱処理によつても殆んど大差なく、且磁気回路に空隙があるため最終残留電圧の値には影響は少い。 H_c は熱処理によつて低下する。従つて H_c の小さい材料を使用し、且熱処理を行つてゐる。其の他残留磁橋を附屬させる。此は兩極を磁氣的につないで空隙に對し並列磁気回路を作るもので、磁橋材料としては B_r なるべく大きく且つ飽和し易いものを用いてゐる。残留磁橋と共に磁極背部に非磁性敷板を用いれば残留電圧は著るしく低下する。上述の色々の方法を用いることにより一般直流機の残留電圧が頂上電圧迄上げた場合その5%以上であるに比し、HTD では0.5%以下となつてゐる。

(2) 種々の制御用界磁巻線を備へてゐる。

HTD には已に述べたように、自勵界磁巻線、制御界磁巻線、再生界磁巻線等の他、用途に應じて數種類の巻

線を備えている。例えば後述する壓延機用に用いた例では発電機電圧を定電圧に保つための再生巻線の他、定格負荷迄は電圧を一定に保ち、それ以上の負荷に対しては負荷が増加すれば却つて電圧を下げて電流を制限するための巻線、或いは速度を一定にするため電動機勵磁電流を一定に保つ制御を行う場合も、定格負荷迄は電動機勵磁電流を一定にするが、それ以上の電動機負荷の場合は電動機勵磁電流を増加させてトルクを増大し、結局電動機電流を或限度に制限させる作用を行わせる巻線もある。又発電機の電圧分及び電流分を共に取り出して停止時発電機の残留電圧を確實に零にする等複雑な制御をさせることが出来る。

又後述する如く HTD は感度が鋭敏であるが、被制御系の性質によつても亂調を生じないように亂調防止用の制動巻線も備えている。

(3) 巻線の温度上昇による影響が皆無である。

HTD はその各界磁巻線の抵抗値が變化すれば性能が變化してくる。即ち [IV] で述べた R_s が増加すれば、 $R_s - K_h n_s = 0$ の関係は成立しなくなる。従つて HTD では、自勵界磁巻線の抵抗値が温度に無關係になるように抵抗の温度係数が非常に小さい材料を自勵界磁巻線として用いている。例えばハルマン線（日立特許品）が屢々用いられるがこれの抵抗温度係数は 0.0000038 に過ぎない。又 CF 巻線と BF 巻線の抵抗値は温度に對し全く同一の變化をするようにしてあるので、両者は互に打消しあつて、HTD の温度による誤差は實用上全然零に等しい。

(4) 巻線のインダクタンス減少による速應特性の改良

HTD によつて速應勵磁を行う場合、各巻線のインダクタンスが大であると時間的遅れが大となり、速應特性を低下し又振動を起し易い。巻線のインダクタンスはその巻回数と磁束の積に比例するが、HTD では不飽和のため磁束数が少く、インダクタンスは通常のものに比し小さい。又回路の速應性は所謂時定數で決定されるが、HTD の各巻線の時定數は其の接續される回路の時定數に比較し極めて小さく、殆んど無視し得る程度である。一般の直流機では巻線の時定數を小さくするためには、勵磁電流を増加して巻数を減少させる、外部の界磁抵抗値を増加して抵抗分を大きくする勵磁巻線の電流密度を上げる等の方法が取られる。但しこの方法による時は勵磁入力が大となる缺點がある。HTD は増幅率の大きいため、勵磁入力が多くてすむので、上の方法を用いても勵磁入力の増加は大したことはない。次に各巻線の發生する磁束には相當の漏洩磁束があり、此がインダクタンスの増加を來す一因となるので、漏洩磁束は極力小さく

なるように設計する。

又 HTD には多種類の巻線が備えられているので、各巻線間の相互誘導を小さくすることも必要である。このために各巻線を別個の鐵心に巻く例もあるが、結局相互誘導は各巻線に鎖交する磁束によつて生ずるのであるから、巻線を N 極、S 極、別々に巻いても有効磁束の鎖交による誘導現象は軽減出来ない。HTD では自己誘導係數自身が小さくなるように設計されており、相互誘導の影響は通常認められない。

(5) 磁氣回路の磁束の遅れ減少⁽³⁾による速應特性の改良

一般に直流機の磁氣回路は塊狀鐵心部、成層鐵心部、空隙から構成される。今 $l_1(\text{cm})$ $l_2(\text{cm})$ $\delta(\text{cm})$ をそれぞれの長さを表わすものとし塊狀鐵心部の導磁率を μ_1 、成層鐵心部の導磁率を μ_2 とし

$$l = \frac{l_1}{\mu_1} + \frac{l_2}{\mu_2} + \delta \dots\dots\dots (12)$$

E : $t \geq 0$ に對して巻線に加えられた直流電壓 (V)

R : 巻線の抵抗 (Ω)

n : 巻線の巻回数

L_1 : $S + L_0$ (H)

S : 漏洩インダクタンス

L_0 : 鐵心内を通る磁束に關するインダクタンス

$$\sigma = \frac{S}{L_0}$$

$$T_0 = \frac{L_0}{R}$$

$$T_1 = \frac{L_1}{R}$$

$$\lambda = \frac{l_1}{\mu_1}$$

F : 塊狀鐵心の斷面積 (cm^2)

a, b : 塊狀鐵心の斷面の二邊の長さの二分の一 (cm)

$$f = \frac{2}{\frac{b}{a} + \frac{a}{b}}$$

ρ : 塊狀鐵心の比抵抗 (Ω/cm^2)

とし今 $\phi_{i\infty}$ を定常状態の鐵心内の磁束とすれば

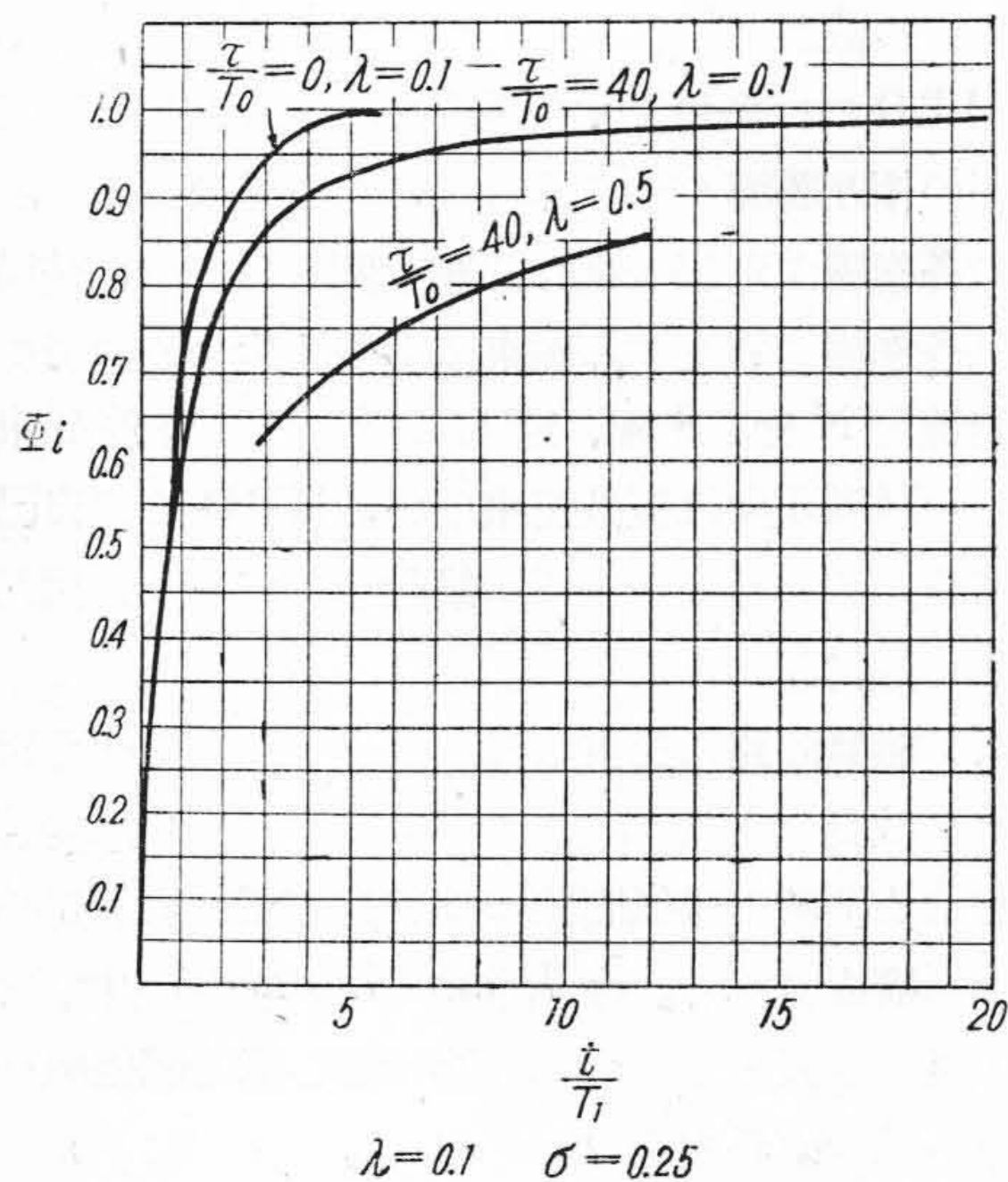
$$\phi_{i\infty} = \frac{L_0}{n} \frac{E}{R} \times 10^8 \text{ で} \dots\dots\dots (13)$$

鐵心内の磁束成立の経過は、次式で表はされる。

$$\phi_i = \left(1 - \sum_{m=1}^{m=\infty} \phi_m e^{-\frac{\theta_m}{\tau} t} \right) \dots\dots\dots (14)$$

但し ϕ_m, θ_m は $\tau, T_0, \lambda, \sigma$ 等を含む常數で

$$\tau = \frac{2 \pi a b}{\rho} f \mu_1 10^{-9}$$



第 10 圖 磁束確立曲線

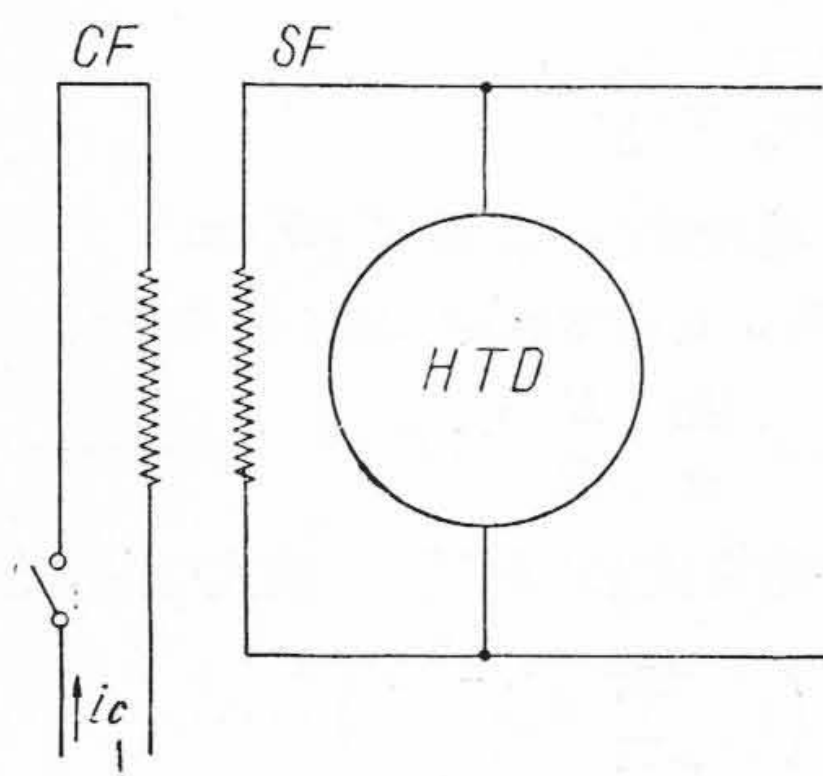
Fig. 10. Flux Build Up Curve

今 $\frac{\tau}{T_0}$ の種々の値、 λ の種々の値に對する磁束確立の狀況を表わすと第 10 圖のようになる。即ち $\tau=0$ 塊状鐵心を積層板とし、その厚さを零に接近させ、渦流を生じないようにすれば磁束の確立は早くなる。又 λ を小にすること、即ち塊状鐵心部の長さを短くし、空隙部の長さを大とすれば、磁束の確立は速になる。HTD では被制御量が速應性を要求するものに用いる時は、上記の點を考え、繼鐵、主極、補極、電機子鐵心共 0.35 厚さの珪素鋼板を使用し、空隙をなるべく大とし磁束の遅れを完全に防いでいる。

[VI] HTD による制御方式の過渡現象

(1) HTD の電壓上昇

第 11 圖で HTD の BF 回路を接續しない時 CF に i_c の電流を流した時の HTD の電壓上昇を考える。以



第 11 圖 HTD 接續圖

Fig. 11. HTD Connection Diagram Without Back Field

下各文字の意味は [IV] と同じである。HTD の端子電壓は各界磁のアンペア回数の和から定まり

$$E_h = K_h n_s i_s + K_h n_c i_c \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{又 } E_h = (R_s + pL_s) i_s = R(1 + pT_s) i_s \dots\dots\dots (16)$$

これを解けば

$$E_h = \frac{K_h n_c i_c}{R_s - K_h n_s} \left(1 - e^{-\frac{R_s - K_h n_s}{L_s} t}\right) K_h n_s + K_h n_c i_c \dots\dots\dots (17)$$

定常状態では

$$E_{h0} = K_h n_c \frac{R_s}{R_s - K_h n_s} i_c \dots\dots\dots (18)$$

$$\frac{dE_h}{dt} = \frac{K_h n_c i_c}{L_s} K_h n_s$$

即ち、電壓上昇率は制御界磁のアンペア回数と自勵界磁のインダクタンスから定めてくる。

上式中 L_s : 自勵界磁巻線のインダクタンス

T_s : 自勵界磁巻線の時定數

p : ヘビサイド演算子

(2) HTD—發電機—電動機—パイロット發電機方式による直流電動機速度制御の場合。

第 8 圖で IV に述べた文字の他

L_{fg} : 發電機 G の界磁巻線のインダクタンス

T_{fg} : // G の // の時定數

θ : 電動機の慣性能率

ω : 電動機回轉子角速度

$$T_m = \frac{\theta}{k_m^2 R_a} \quad \text{とすれば}$$

HTD の部分では

$$E_h = K_h \{n_s i_s + n_c i_c - n_b i_b\} \dots\dots\dots (19)$$

G の部分では

$$E_g = k_g \frac{E_h}{R_{fg} + pL_{fg}} = k_g \frac{E_h}{R_{fg}(1 + pT_{fg})} \dots\dots (20)$$

$$\text{M の部分では } \theta p \omega = k_m I \dots\dots\dots (21)$$

$$IR = E_g - k_m \omega \dots\dots\dots (22)$$

$$\therefore \omega = \frac{1}{1 + pT_m} \frac{E_g}{k_m} \dots\dots\dots (23)$$

パイロット發電機では

$$E_p = k_p \omega \dots\dots\dots (24)$$

$$i_b = \frac{E_p}{R_b} \dots\dots\dots (25)$$

の諸式が成立する。此を解けば

$$n_b i_b = \frac{K(1 + pT_s) \frac{1}{T_m T_{fg} T_s'}}{p^3 + p^2 \left(\frac{1}{T_m} + \frac{1}{T_{fg}} + \frac{1}{T_s'} \right) + p \left(\frac{1}{T_m T_{fg}} + \frac{1}{T_{fg} T_s'} + \frac{1}{T_s' T_m} + \frac{KT_s}{T_m T_{fg} T_s'} \right) + \frac{1 + K}{T_m T_{fg} T_s'}} n_c i_c$$

$$\dots\dots\dots(26)$$

但し

$$K = \frac{1}{R_b} \frac{k_p}{k_m} \frac{k_g}{R_{fg}} K_h n_c \frac{R_s}{R_s - K_h n_s} \dots\dots(27)$$

$$T_s' = T_s \frac{R_s}{R_s - K_h n_s} \dots\dots\dots(28)$$

此の特性方程式は

$$\begin{aligned} f(p) = & p^3 + p^2 \left(\frac{1}{T_m} + \frac{1}{T_{fg}} + \frac{1}{T_s'} \right) \\ & + p \left(\frac{1}{T_m T_{fg}} + \frac{1}{T_{fg} T_s'} + \frac{1}{T_s' T_m} + \frac{K T_s}{T_m T_{fg} T_s'} \right) \\ & + \frac{1+K}{T_m T_{fg} T_s'} = 0 \dots\dots\dots(29) \end{aligned}$$

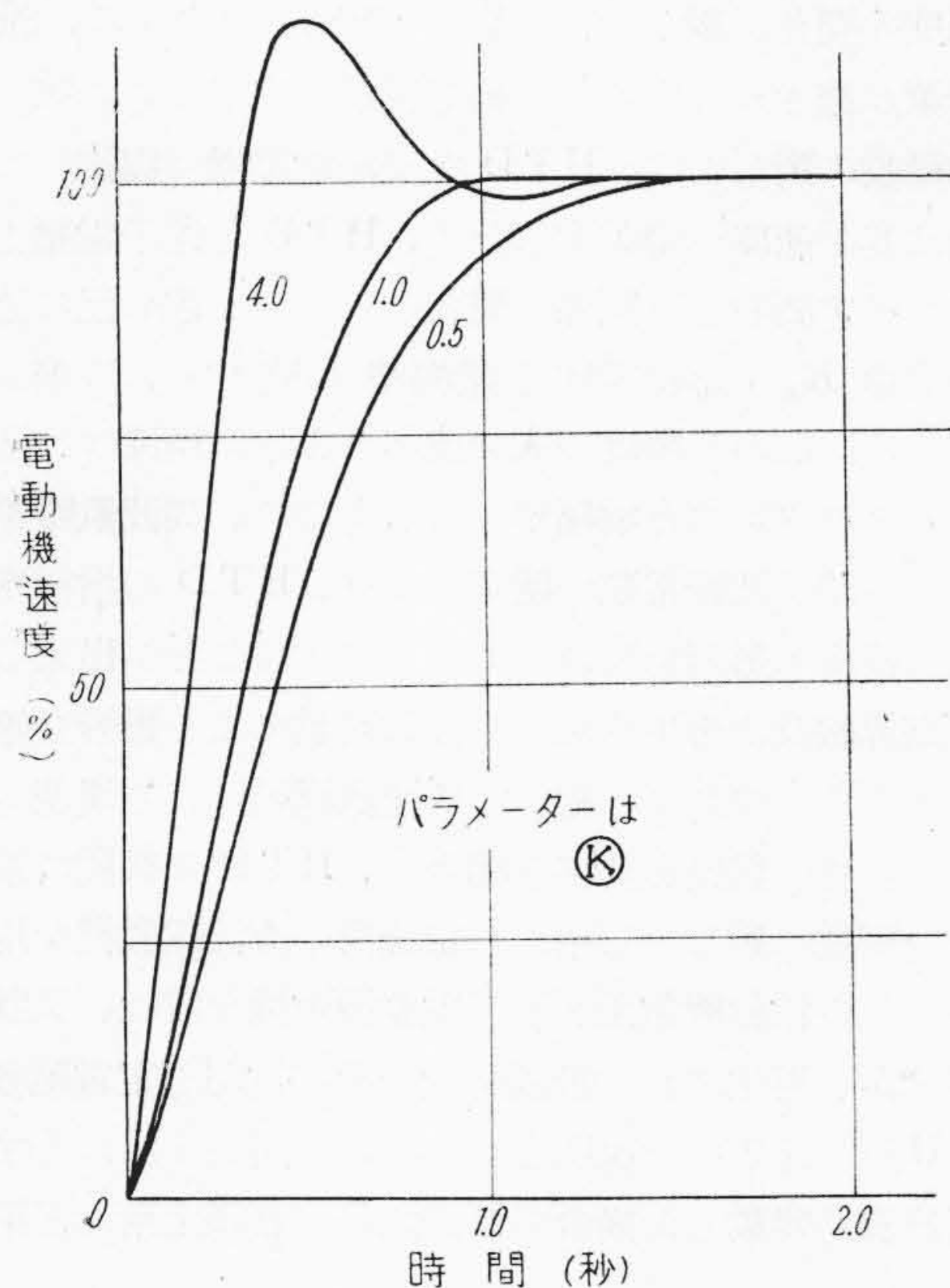
$$f(p) = p + \alpha (p + \beta + j\Omega)(p + \beta - j\Omega) \quad \text{とすれば} \dots\dots\dots(30)$$

$$n i_b = n i_{b0} [1 - A e^{-\alpha t} - B e^{-\beta t} \sin(\Omega t + \theta)] \dots\dots(31)$$

$$\text{但し } n i_{b0} = \frac{K}{1+K} n_c i_c \dots\dots\dots(32)$$

で表はされる。但し $A, B, \alpha, \beta, \Omega, \theta$ はそれぞれ回路常數を含む常數である。

今實際の回路に適用した場合の一例について K を變化させて i_b の値即ち電動機速度が如何に上昇するかを示すと第 12 圖のようになる。以上のことからわかるように HTD によつて制御作用を行う時は $\frac{R_s}{R_s - K_h n_s}$ という量が極めて重要になる。即ちこれは飽和曲線と自



第12圖 電動機速度上昇曲線
Fig. 12. Curve of Motor Speed Up

勵巻線の抵抗線の傾を表すもので HTD の性能を示すものである。

又その制御作用は被制御系の時定數によつて左右されるものである。

[VII] HTD の増幅率, 精度, 速應性

(1) 増幅率

[VI] で述べたように、HTD による制御は再生回路を構成するので、その制御上の特性は HTD の特性と被制御系の特性から定つてくる。今制御上の特性を、定常状態の精度と、過渡状態に対する速應度の點から考える。HTD の再生界磁を働かせない時端子電壓の制御界磁電壓に対する變化を、電壓増幅率と定義すれば、

$$\text{電壓増幅率 } \mu = \frac{K_h n_c}{R_c} \frac{R_s}{R_s - K_h n_s} \quad (\text{文字は IV と同じとす}) \dots\dots\dots(33)$$

(33) 式中 $\frac{K_h n_c}{R_c}$ は自勵界磁のない時、制御界磁巻線の端子に 1 V 加えた時の HTD の端子電壓で、これを固有増幅率 (μ_s) と定義する。又 $\frac{R_s}{R_s - K_h n_s}$ は飽和曲線と抵抗線の一致を示す係數で、同調率 (μ_t) と名付けると、

$$\text{電壓増幅率 } \mu = \text{固有増幅率}(\mu_s) \times \text{同調率}(\mu_t)$$

即ち、抵抗線が飽和曲線に一致すればする程、同調率従つて増幅率は大きくなる。尙増幅率に關しては、一定の定義はなく、上記の場合は便宜上電壓増幅率について説明した。勵磁電力の變化量でそれによつて生ずる出力の變化量を割つた數値で増幅率を示す例も多い。その場合は回路抵抗の比と、電壓増幅率の値の自乗との積になる。

一例として 0.5 kW 110 V 1,500/1,800 r.p.m. の HTD の増幅率と勵磁入力との實測値を示すと第 13 圖のようになる。僅少な勵磁入力で大きな出力が得られることが示されている。

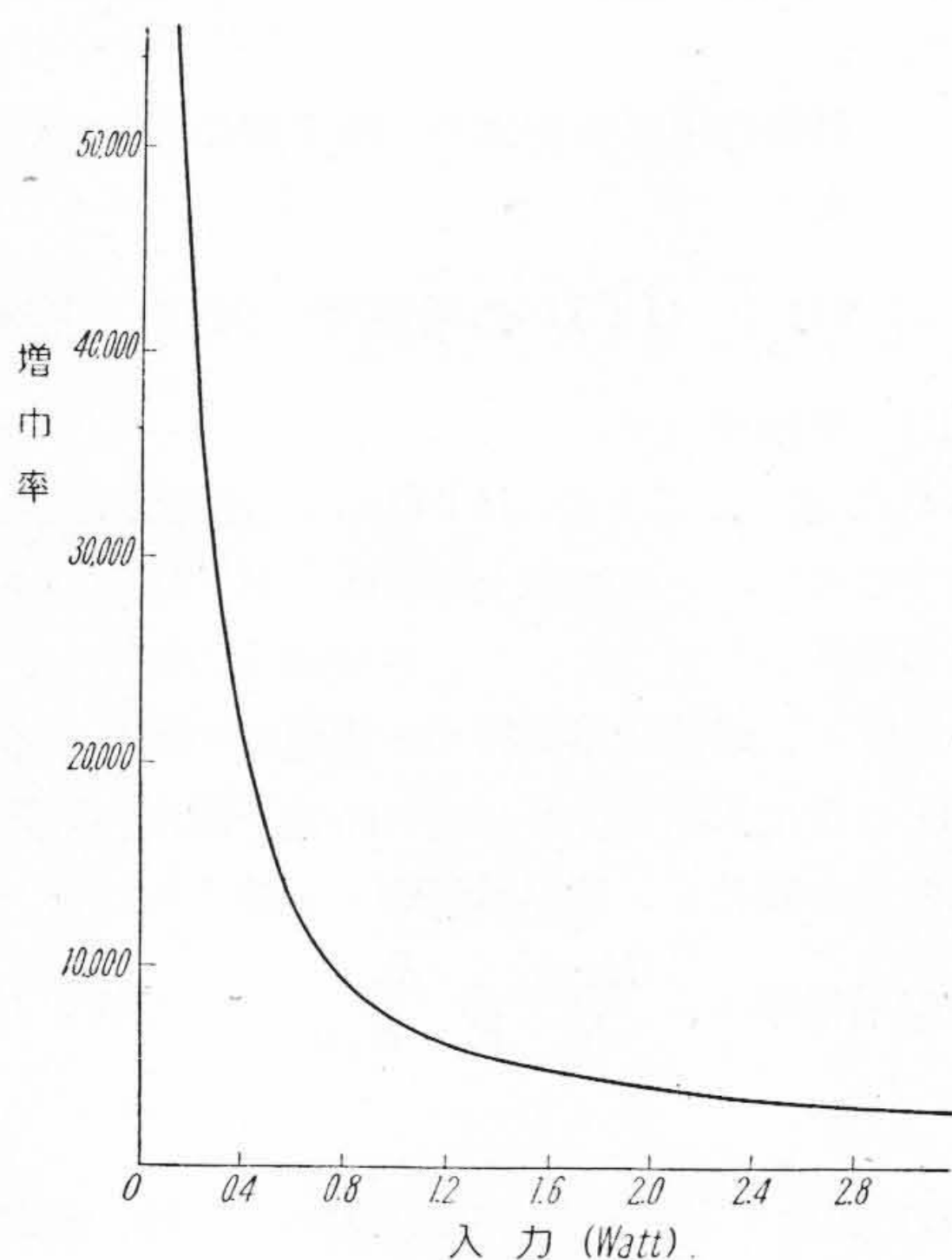
(2) 精度

被制御系の入力側の端子から再生回路を見たコンダクタンス、即ち HTD の端子電壓が 1 V の時 BF に流れる電流を G アンペアとすると、G の値は被制御系と再生回路の特性からのみ定つてくる。

制御の精度は、基準値に対する制御の誤差の大きさで定義される。HTD では、基準値は制御界磁 CF の起磁力で與えられ、被制御量は再生界磁起磁力で檢出されるから、誤差は兩者の差で表わされる。今

AT_c : CF 界磁アンペア回數

AT_b : BF 界磁アンペア回數 とすれば精度 S は



第 13 圖 HTD の 増 幅 率
Fig. 13. Amplification Factor of HTD

$$S = \frac{AT_c}{AT_c - AT_b} = 1 + GK_h n_c \frac{R_s}{R_s - K_h n_s} \\ = 1 + G\mu R_c \dots \dots \dots (34)$$

即ち精度は増幅率の大きい程高くなり、従つて同調率によつて定められる。HTD は或範囲内では、飽和曲線と抵抗線を完全に一致せしめているので、その範囲では誤差零の制御が可能となる。従來の實例によると 5~100% 制御の間で實用上誤差が殆んど認められない。

(3) 速應性

角周波数 ω の交流に對する HTD の増幅率を特性増幅率と云い μ_c で表わすと、

$$\mu_c = \mu f(p)$$

$f(p)$ は HTD の界磁のインダクタンスと同調率から定る。

被制御系のアドミッタンスを $Gg(p)$ とすれば定常状態では $g(0) = 1$,

制御回路 CF 及び再生回路 BF アンペア回数の瞬時値の間には、次の關係が成立する。

$$\frac{at_c}{at_c - at_b} = 1 + GK_h n_c \frac{R_s}{R_s - K_h n_s} f(p) g(p) \\ \dots \dots \dots (35)$$

但し $at_c \dots$ CF 界磁アンペア回数瞬時値

$at_b \dots$ BF //

過渡状態は此の式から論ぜられ速應性は $GK_h n_c$ によつて決定される。即ち速應性は被制御系の性質と、HTD の特性の兩方から決められるのであつて、常に回路全體

について考えねばならない。通常の接續では、被制御回路の時定数は相等大くなるので、綜合時定数を小さくするため HTD 制御方式と共に、抵抗補償方式⁽⁴⁾を採用した例もある。HTD 自體で考える場合、100% 電壓に達する時間は實績によると 0.06 秒程度で、非常に高い速應性を得られる。

(4) 安定度

HTD を使用する制御で問題になる他の點は、系の安定度である。HTD はすべて被制御量が再生界磁によつて檢出され、制御界磁によつて、豫め規定された量に調整されるように自動的に作用するものであるから、規定値より行き過ぎ、次いで戻り過ぎ等の過程を経て規定値に近接して定常状態になり、振動を伴い易い。振動の條件は HTD の増幅率と、被制御系回路の特性によつて定るもので、常に系全體として考えるべきであり、單に HTD の増幅率を下げ精度を落すことによつては解決されるものではない。振動を生じた場合、これを制動するためには、制御作用を解く微分方程式の制動に關する項を大きくすればよい。従つて振動抑制のためには被制御量の變化速度又は變化加速度を檢出加算すればよい。この目的のために HTD には制動用の巻線を設けて、被制御量から制動變壓器、蓄電器、電動機、發電機等を介してこれを勵磁させている。

(5) 周圍條件の變動による誤差

周圍條件の變動に對する精度の問題を考える。第一に溫度の變化に對しては [V] で説明したように、完全な對策が施されているので何等誤差を生じない。次に周波數變動に對しては、HTD を交流電動機で驅動している時は其の速度が變動するため、HTD の端子電壓と界磁アンペア回数との關係が變化してくる。即ち已に述べた諸式中 K_h の値が變化し増幅率が變化し、誤差が生じてくる。しかし精度の式で述べたように精度は、回路のコンダクタンスと増幅率によるもので、周波數變動が相當ある時は回路常數の選定により、HTD の増幅率の變動が精度に影響を及ぼさぬようにすることが出来る。又制御界磁及び再生界磁の周波數變動による影響を等しくなるようにすれば、相當の周波數變動による誤差も少くなる。更に嚴密を要する場合は、HTD の驅動に端子電壓の變動に對しても殆んど定速度の直流電動機を用い、別にその電動機電源として電動發電機を設け、又制御界磁電源、再生される被制御量の勵磁電源を定電壓發電機 ([II] の (2) で説明したもの) を用いる。かくすれば周波數が變動した場合の制御誤差は實際上殆んど認められない。

[VIII] HTD による速應勵磁試験

大容量の発電機では、制御回路の容量を小さくするため副励磁機を設け、主励磁機或は副励磁機の界磁回路を制御する。この場合励磁機或は発電機の界磁のインダクタンスにより主発電機の電圧はかなりの時間遅れて変化する。

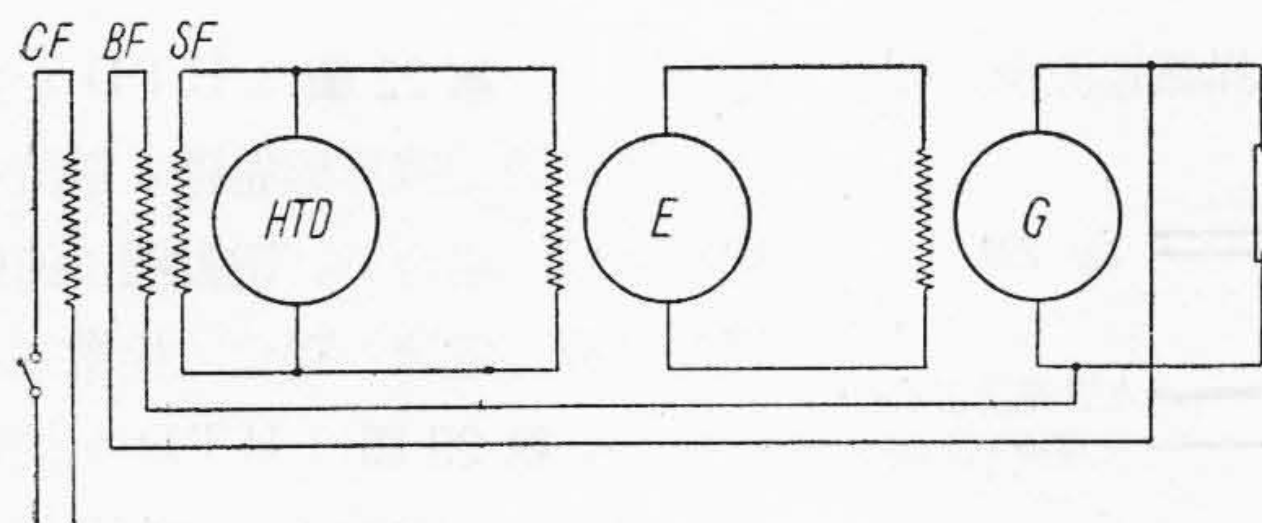
励磁機界磁回路に単位函数の電圧を加えた場合、発電機電圧は

$$E_g = E_{g\infty} \left(1 + \frac{T_{fe}}{T_{fg} - T_{fe}} \varepsilon^{-\frac{1}{T_{fe}}t} - \frac{T_{fg}}{T_{fg} - T_{fe}} \varepsilon^{-\frac{1}{T_{fg}}t} \right) \dots\dots\dots (36)$$

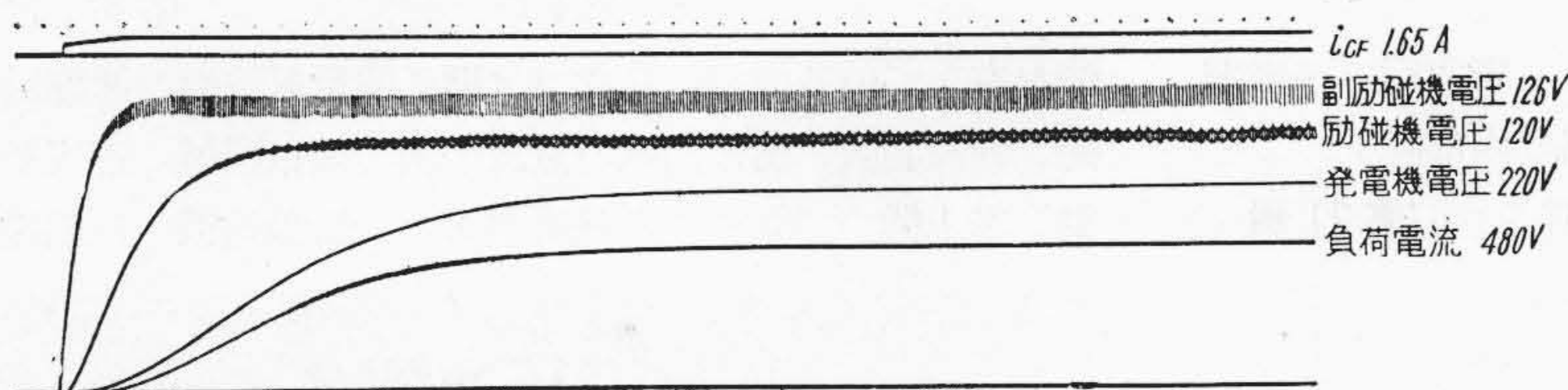
で表わされる。

- 但し T_{fe} : 励磁機界磁回路の時定数
- T_{fg} : 発電機界磁回路の時定数
- $E_{g\infty}$: 定常状態の発電機電圧

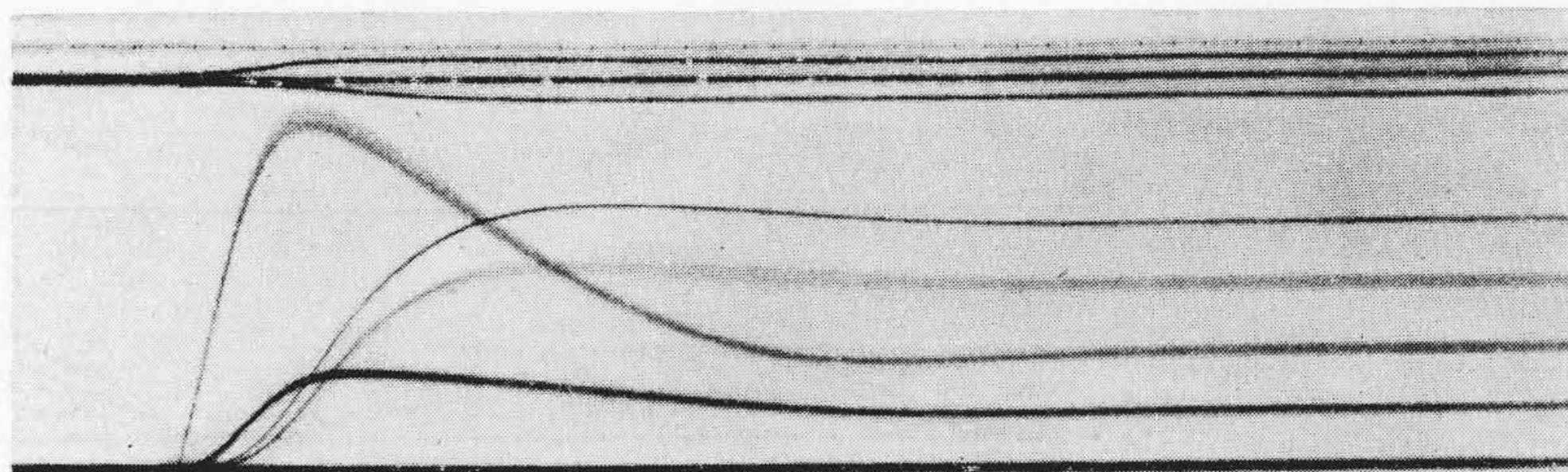
此の場合副励磁機の代りに HTD を置き (第 14 圖) その制御界磁に単位函数の電圧を与えた場合、発電機の電圧は



第 14 圖 直流發電機速應勵磁結線圖
Fig. 14. Connection Diagram of D.C. Generator Quick Response Excitation



第 15 圖 140 kW 直流發電機電壓上昇曲線 (HTD のない場合)
Fig. 15. 140 kW D.C. Generator Voltage Build Up Curve (Without HTD)

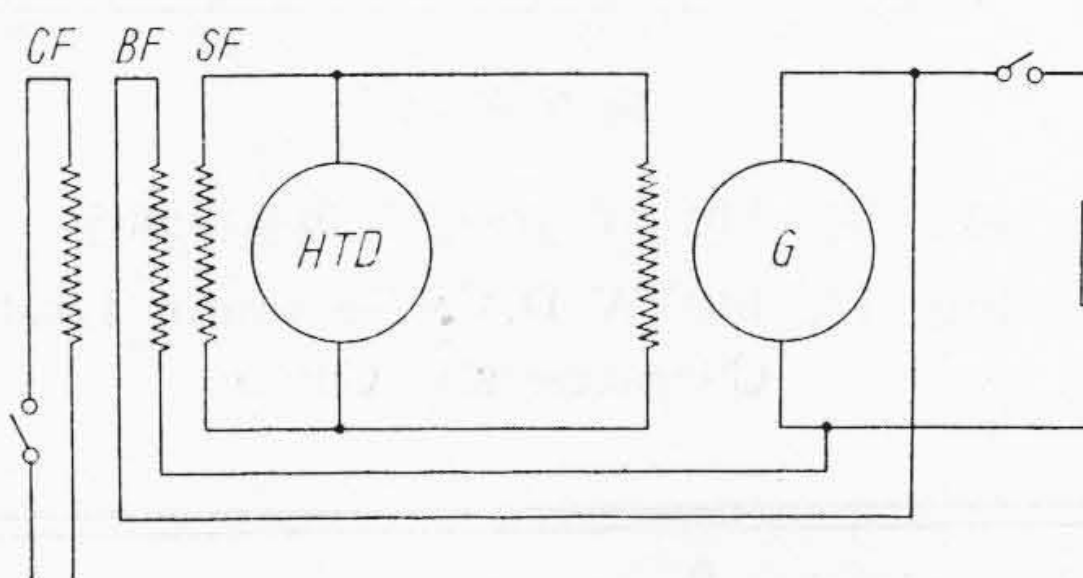


第 16 圖 140 kW 直流發電機電壓上昇曲線 (HTD のある時)
Fig. 16. 140 kW D.C. Generator Voltage Build Up Curve (With HTD)

$E_g = E_{g\infty} [1 - A\varepsilon^{-\alpha t} - B\varepsilon^{-\beta t} \sin(\omega t + \theta)]$ となり電圧の上昇が非常に早くなる。第 15 圖は HTD を用いない時の 140 kW の発電機の電圧の上昇を示し、定格電圧になる迄に 2.8 秒かかっている。第 16 圖は HTD を用いた場合の現象を示すオッシログラムで、定格電圧になる迄に 0.9 秒となつている。HTD を用いることによつて急速に電圧の上昇することを示している。

[IX] HTD による直流發電機自動電圧調整試験

直流發電機の負荷が急變した場合、端子電圧は内部電圧降下だけ急激に上昇又は下降する。この發電機の端子電圧を一定に保つために HTD を用い第 17 圖 (次頁参照) のように接続する。



第 17 圖 直流發電機自動電圧調整回路
Fig. 17. D.C. Generator Automatic Voltage Control Circuit

(1) 140 kW 發電機負荷試験

發電機電圧が定格電圧で負荷に拘らず、一定になるように HTD を調整した場合、各電圧で負荷に對する電圧の變動は、第 18 圖 (次頁参照) のようになる。本圖で點線は HTD のない場合である。

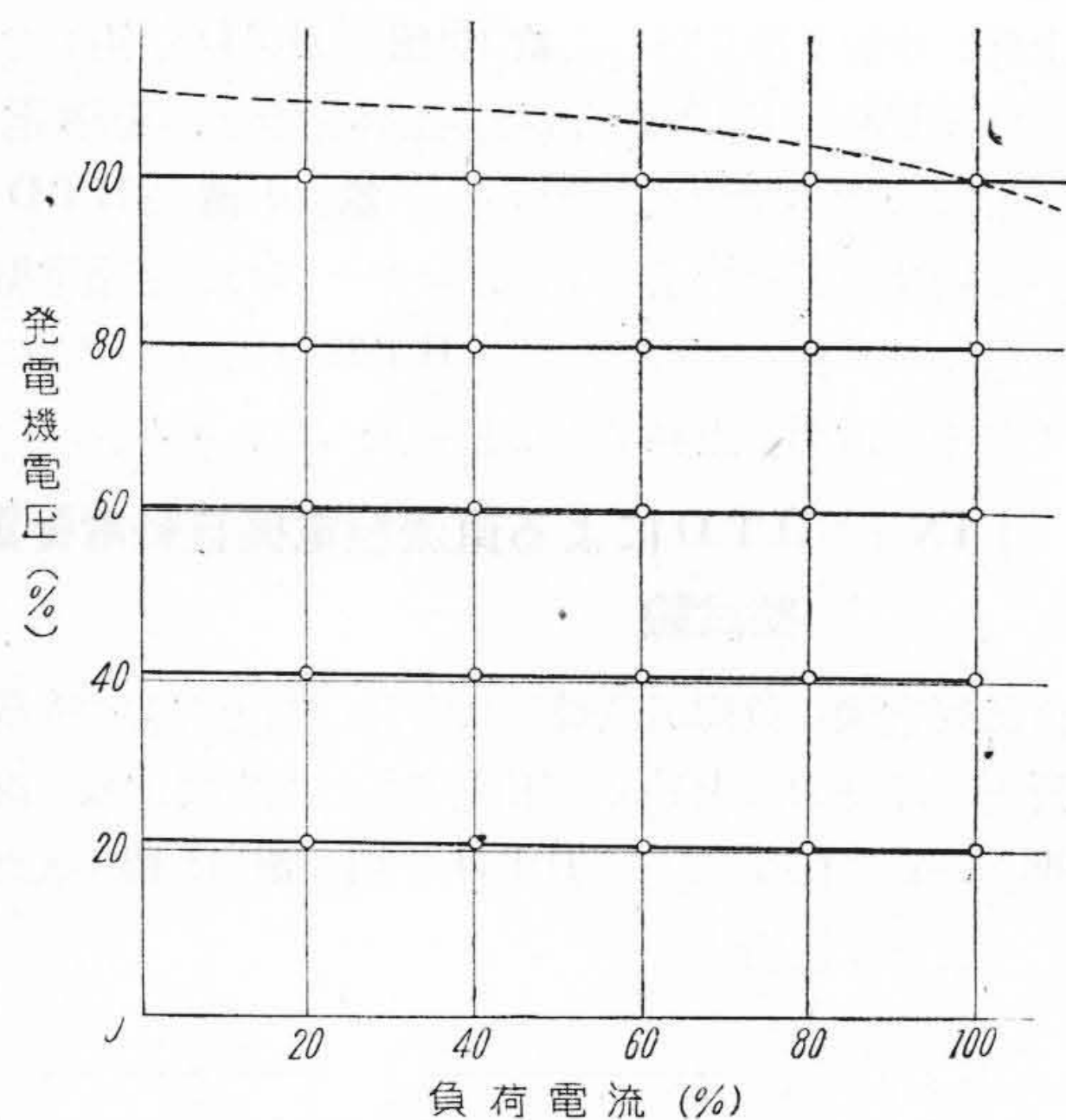
(2) 140 kW 發電機負荷投入試験

第 19 圖 (次頁参照) は HTD を用いた場合、急激に負荷電流を流した場合で、負荷投入の瞬間端子電圧は降

下するが同時に HTD の電は急激に壓上昇し、發電機端子電圧は速に元の値に復歸する。

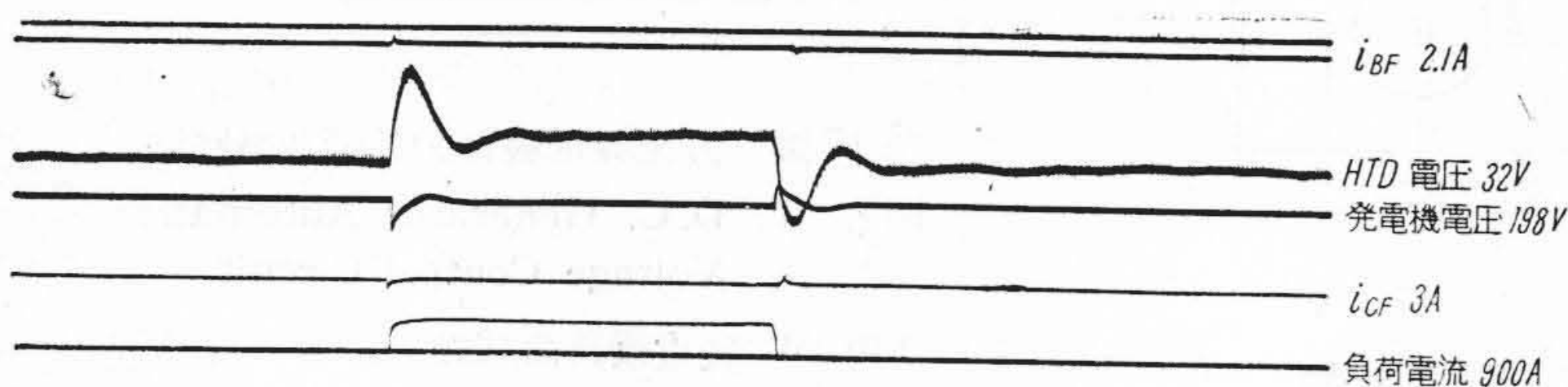
[X] HTD による電動機速度調整試験

(1) 電動機負荷變化



第 18 圖 140 kW 直流發電機負荷特性

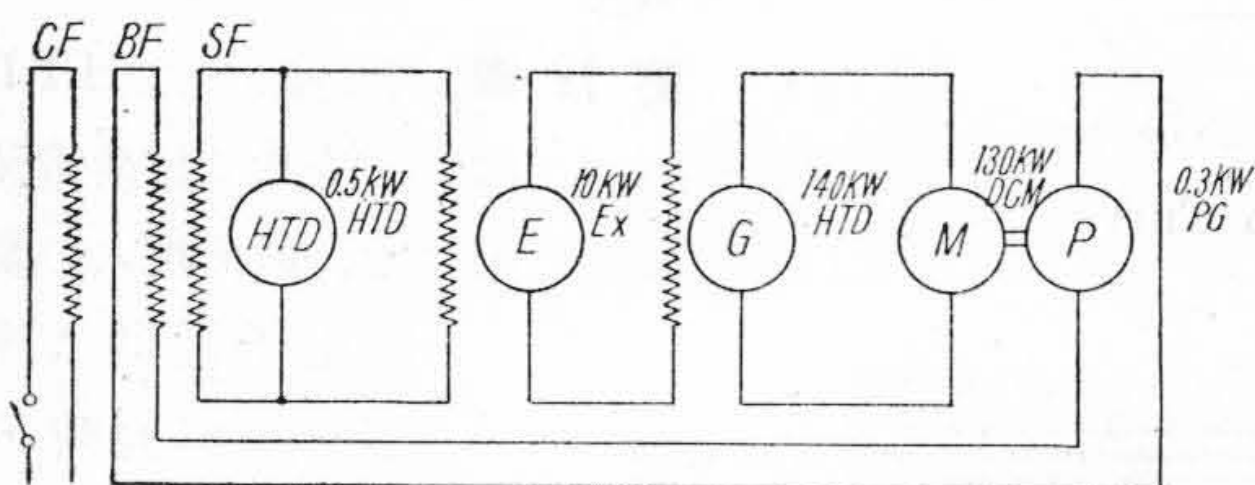
Fig. 18. 140 kW D.C. Generator Load Characteristic Curve



第 19 圖 140 kW 直流發電機電壓調整試驗

Fig. 19. 140 kW D.C. Generator Voltage Control Test

第 20 圖のワードレオナード法による電動機速度調整回路で負荷を増加した場合、主回路の内部降下による速度変化は HTD によつて完全に補償され、第 21 圖に示すように速度変動率は殆んど零になる。

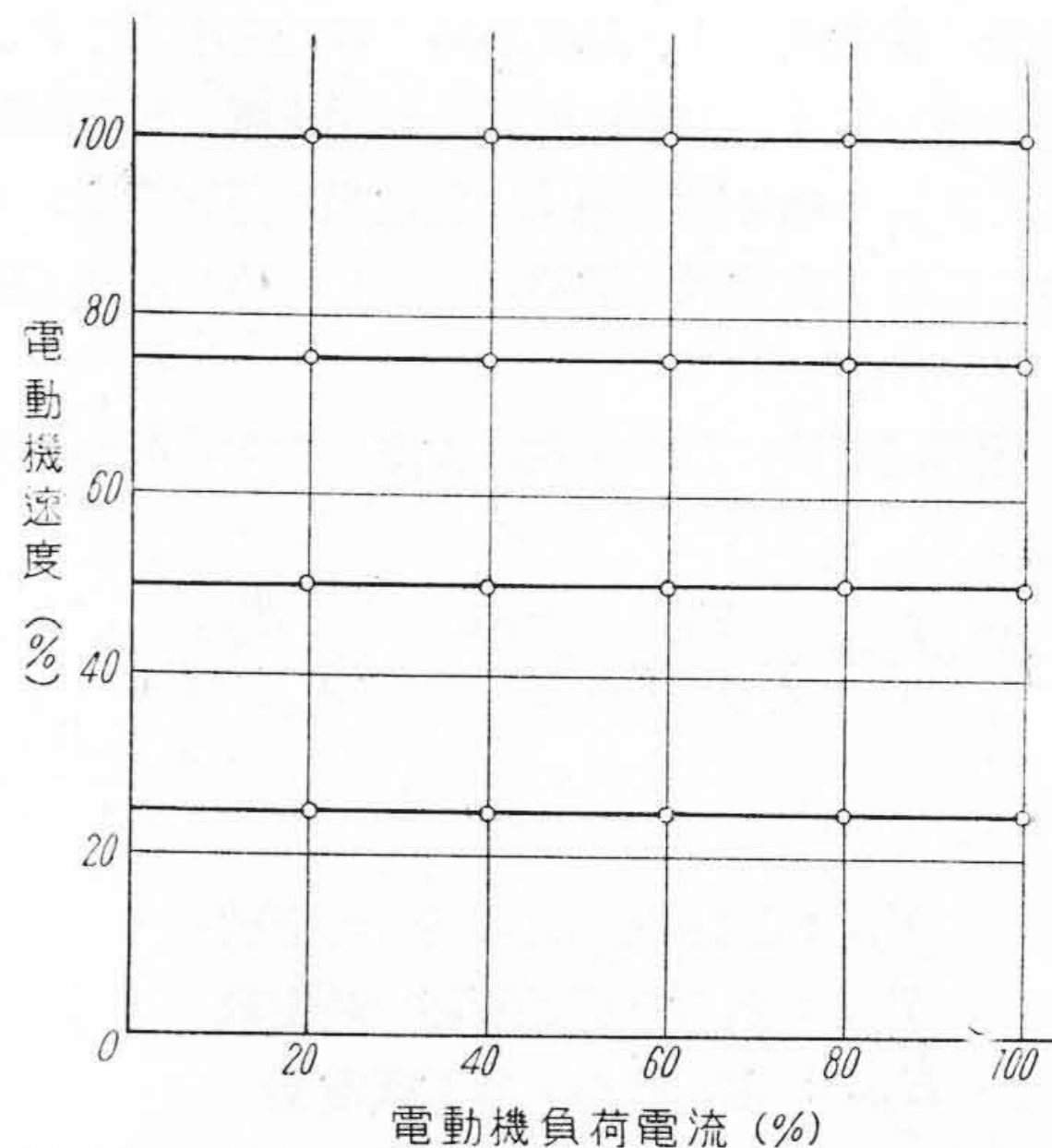


第 20 圖 130 kW 直流電動機速度調整接續圖

Fig. 20. 130 kW D.C. Motor Speed Control Circuit Connection Diagram

(2) 電動機速度變化

第 20 圖で制御界磁電流を 0 から最大値迄逐次増加し一定に保ち、次いで減少させる場合、HTD は電気回路のインダクタンス及び電動機の負荷慣性に基因する速度變化の遅れをよく補償し、電動機速度は極めて迅速に制



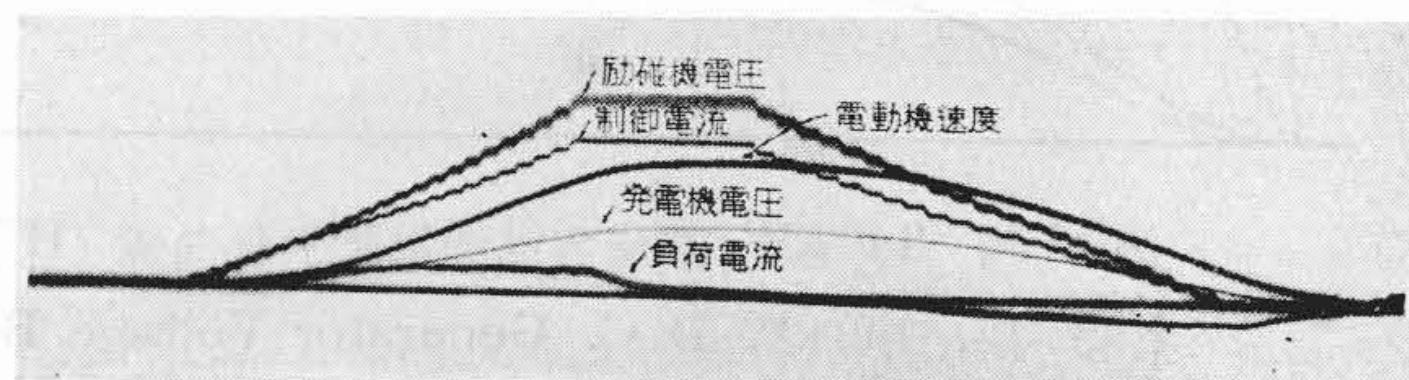
第 21 圖 130 kW 電動機速度特性曲線

Fig. 21. 130 kW D.C. Motor Load Speed Curve

御界磁電流値の變化に追隨する。第 22 圖は HTD を使用せずに勵磁機界磁巻線の電流を變化させた場合で、電動機速度變化は界磁電流の變化に相當遅れている。第 23 圖は HTD を使用した場合で、電動機速度變化の遅れは極めて少くなつてゐる。

[XI] HTD の應用例

HTD は前述のような優秀な性能を有しているので、日立では壓延機電気設備の速應勵磁、電流制限、壓延補機の電流平衡、製紙機械の速度制御、巻上機のプログラム速度制御、交流發電機の自動電



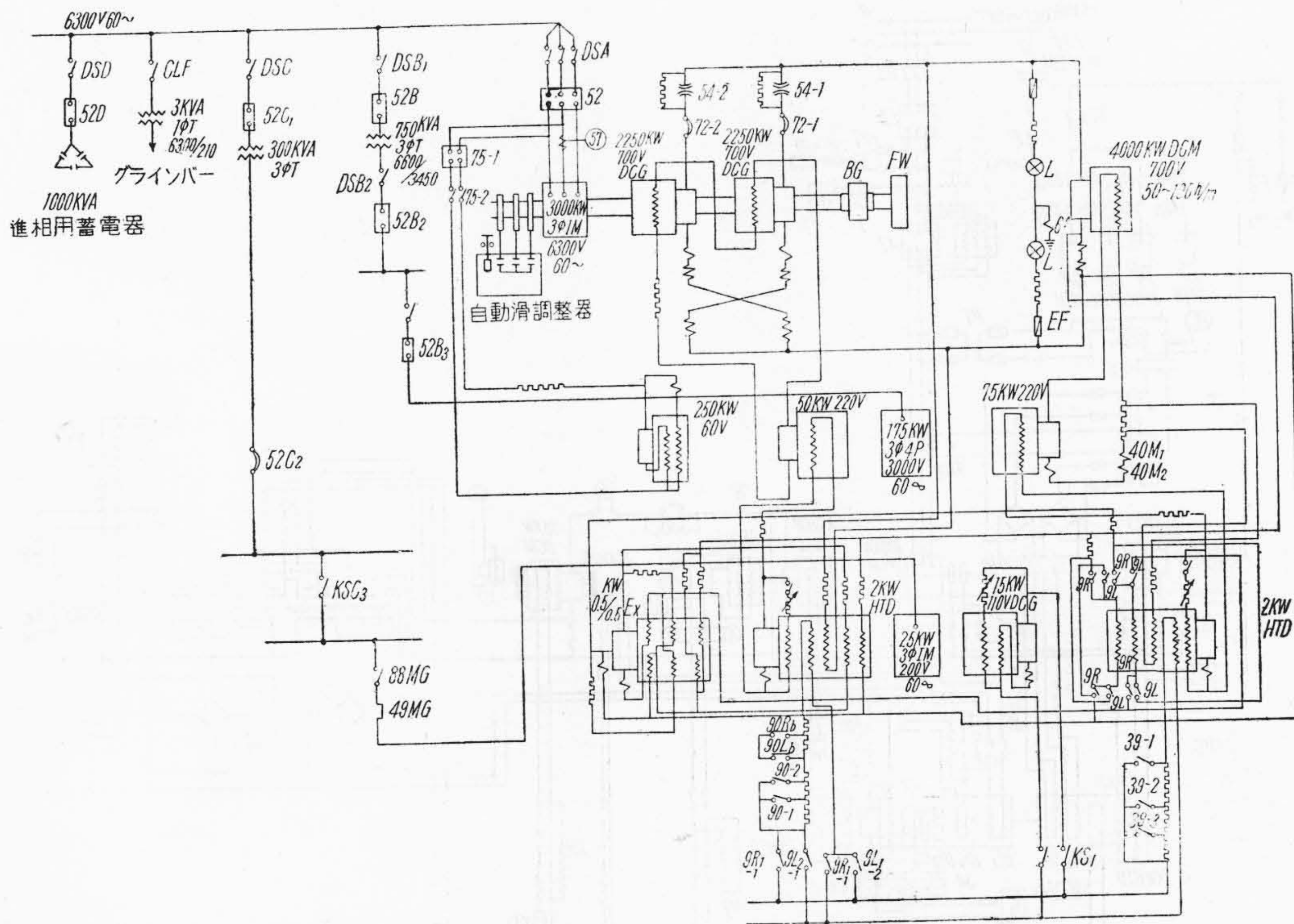
第 22 圖 直流電動機速度調整試驗 (HTD ない時)

Fig. 22. D.C. Motor Speed Control Test (Without HTD)

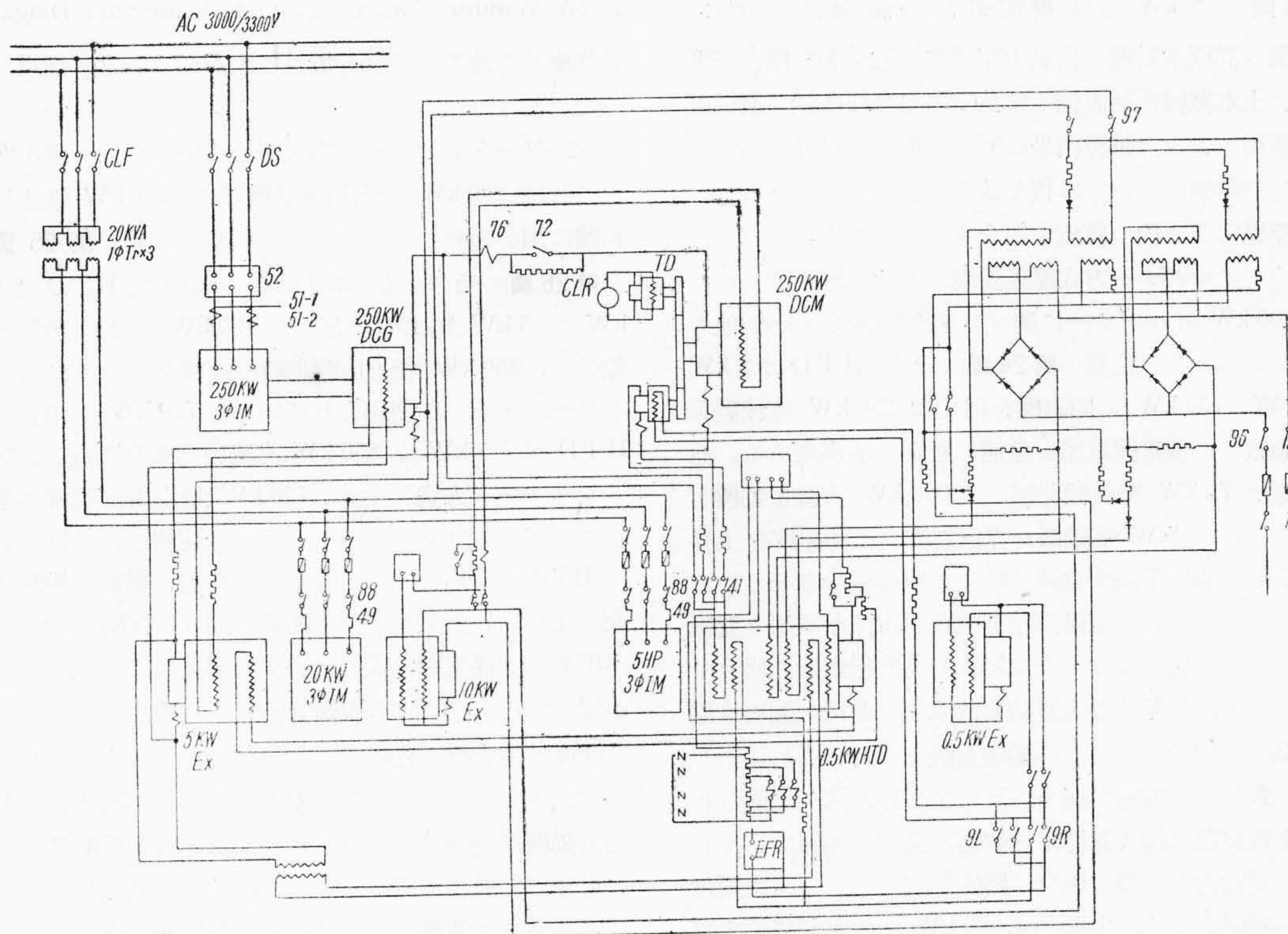


第 23 圖 直流電動機速度調整試驗 (HTD ある時)

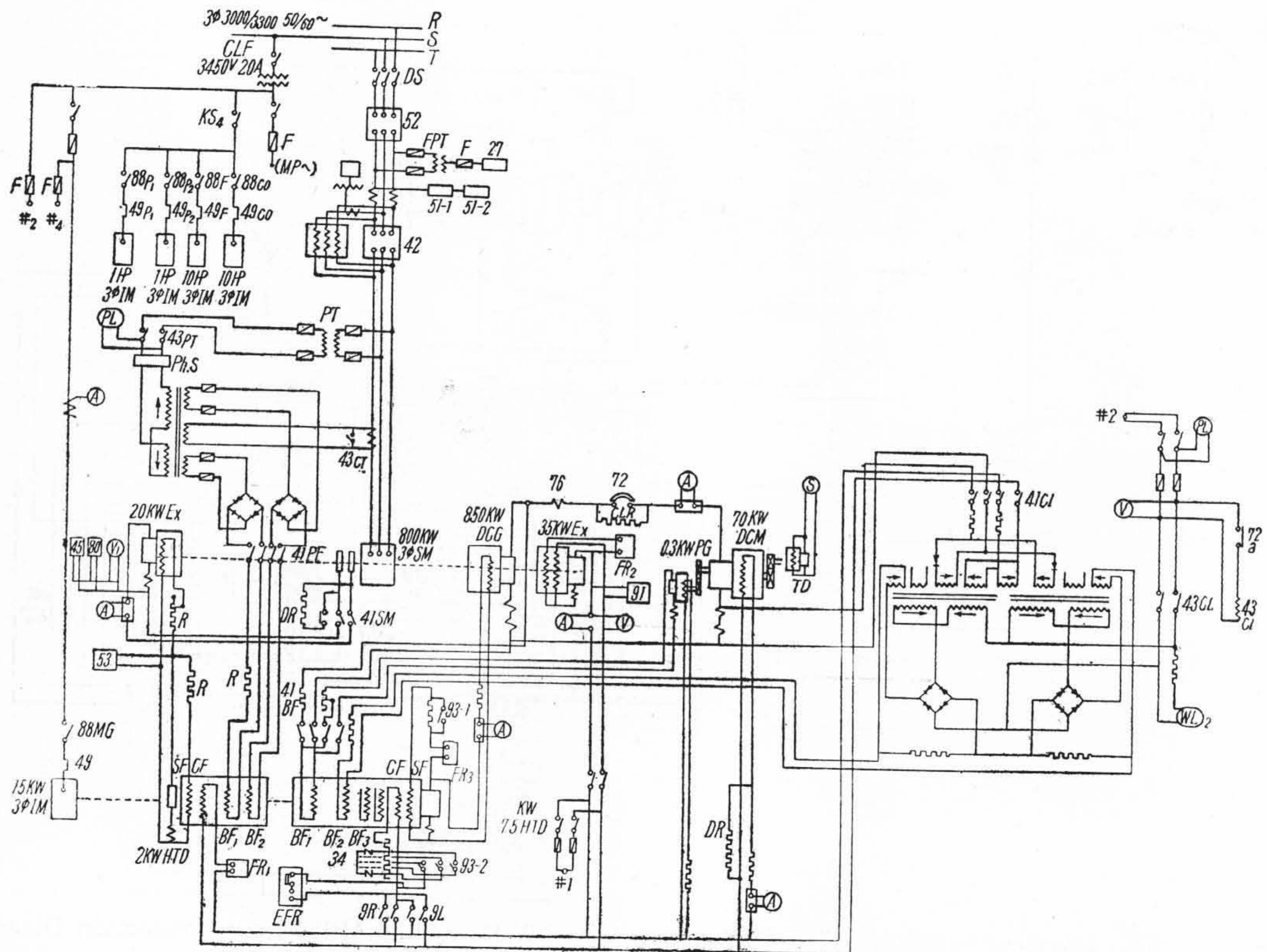
Fig. 23. D.C. Motor Speed Control Test (With HTD)



第 24 圖 4,000 kW ミルモーター制御回路結線圖 Fig. 24. 4,000 kW Reversible Mill Motor Connection Diagram



第 25 圖 250 kW 卷上機制御回路結線圖 Fig. 25. 250 kW Winding Machine Connection Diagram



第 26 圖 720 kW 卷上機制御回路結線圖

Fig. 26. 720 kW Winder Control Circuit Connection Diagram

壓制御、同期電動機の自動力率調整、電線巻取機の速度制御、土木機械電気設備の電流制限等多種多様の制御装置に應用し、その試験結果は何れも極めて良好であつたが、その詳細については稿を改めて報告することとし、以下簡単にその内の數例を紹介するに止める。

(1) イルグナー方式壓延設備における應用⁽⁵⁾

4,000 kW イルグナーに対する速應勵磁及びその他の應用である。その接續を第 24 圖に示す。HTD は 2 kW で、1 臺は 50 kW の勵磁機を経て 2,250 kW 直流發電機を勵磁し、發電機電壓を急速に所定の値迄高める。他の 1 臺は 75 kW 勵磁機を経て 4,000 kW 直流電動機を勵磁し、4,000 kW 電動機を界磁制御により速度を上昇させる際、界磁電流を急速に所定の値迄減少させるために用いられる。更に電壓降下補償及び電流制限用の巻線も具えていて別に設けた 0.5 kW の特殊勵磁機と組合せて働き主發電機は最大運轉電流値迄は負荷に關せず端子電壓が一定となるように勵磁を強められ、それ以上の負荷に對しては勵磁が弱められて主回路電流が制限される。主電動機は最大運轉電流値迄は通常の勵磁で、それ以上の回轉力が必要の場合は勵磁が強められて、主回路電流が制限される。主機は 4,000 kW という記録的大容量品であるが、發電機の電壓上昇、及び電動機に速度上

昇共極めて速で又制御装置及び配電盤は非常に簡單となつた。

(2) ワードレオナード方式巻上設備における應用⁽⁶⁾⁽⁷⁾

これは 250 kW 巻上用電動機及び 720 kW 巻上用電動機に用いられたもので、それぞれの接續は第 25 圖及び第 26 圖に示される。250 kW の場合は、HTD は 0.5 kW で 5 kW 勵磁機を介して 250 kW の直流發電機を勵磁し、250 kW 巻上用電動機に速度をプログラムコントロールするのに使用されている。720 kW の場合は、HTD は 7.5 kW で 850 kW 直流發電機を勵磁し、ワードレオナード方式により、720 kW 巻上用電動機に速度をプログラムコントロールするのに使用されている。共に HTD を使用せるため温度、負荷等の變動に無關係に豫め定められたプログラム速度の通りの運轉を行うことが出来る。従來の方式では負荷の變動により主回路電流が變化したとき、この電流要素により複巻作用を行わせて速度補償を行う程度で、その他の原因によるものは殆ど補償されていなかった。本方式では諸原因は、巻上機用電動機に結合されたパイロット發電機の電壓の變化としてすべて表われてくるので、HTD の制御界磁に與えるプログラム電壓と、パイロット發電機の電壓との僅の差も、急速に増幅され、補償される結果、巻上機用電動

機は極めて正確なプログラム通りの運転が可能である。更にそれぞれの HTD には電流制限用の巻線が具えられている。これは磁気増幅機を使用するもので、最大運転電流以上の負荷が掛つた場合は急速に HTD の電圧を下げ負荷電流を制限するものである。

(3) 自動力率制御装置⁽⁸⁾

これは第 26 圖の接続で用いられている。HTD は 2 kW で 850 kW 同期電動機の力率を制御する。圖で同期電動機の電流及び電圧分は、移相器を介してそれぞれ三脚變壓器に導かれ、主回路の力率に比例した電圧が HTD に與えられ、HTD の電圧が變化し、同期電動機の勵磁が強められ、又は弱められて、同期電動機の力率は負荷に拘らず所定の値に保たれるのである。

[XII] 結 言

以上自動制御用に設計製作された HTD についてその構造、性能、應用例について簡単に説明した。回轉増幅機としての HTD は本文に記したように日立に於て 10 數年來製作の經驗ある自動調整用途の直流機に獨得の改良を加えて完成したものであつて、已に受註製作したものは數十臺を超えんとしている。HTD は使用條件の如何にかかわらず、その増幅率の大きいこと、自動調整作用の精度の高いこと、速應性の大きなこと、保守調整が確實にできること等に於て從來發表されているこの種發電機に比し、優るとも劣らぬ性能を有することは、本文の解説で御承知頂いたことと思うが、紙數に制限あるため、その實績の説明は後日に譲ることとした。殊に

HTD の特長とするところは、その構造が殆んど普通の直流發電機と異らず、従つて整流上容量に制限を受けることもなく構造が堅牢で、取扱調整が非常に容易なこと又多年の基礎研究により進歩した磁性材料、導電材料を使用しているので残留電壓、ヒステリシス現象に基づく誤差も少なく、又溫度による影響は實用上皆無であること、用途、被制御回路の特性に十分適應した速應性を發揮させるため、電氣回路、磁氣回路に獨得の設計工作が施されていること、被制御回路全體につき過渡的及び定常狀態の解析が十分加えられた設計となつていること等である。

その利用分野は極めて廣いもので已に多種多様の制御装置に用いられ優れた實績を示しているが、今後とも自動制御機器として缺くべからざるものである。

終に臨み本機の完成に際して非常な御援助を賜つた藤久保副工場長、後藤部長始め毛利銓一、今尾隆、阿部忠正、中野義映、泉千吉郎、平川克己の諸氏に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 福田：日立 12. 529.
- (2) 稻木：日立 19, 611, 781.
- (3) 辻：電評 28, 55, 277, 347, 441.
- (4) 和島：日立 16, 463.
- (5) 田附、西：電學會連合大會豫稿(昭 26) (4.3)
- (6) 泉、藤木：同 上 (13.1)
- (7) 平川、中山：同 上 (13.1)
- (8) 櫻井、小林：同 上 (4.20)

蓄 電 池 の 充 電

日立製作所 多賀工場 若林圭次郎著

A 列 5 判 34 頁 定價 30 圓 千 6 圓

東京都品川区
大井坂下町 2717

日 立 評 論 社 發 行

特 許 紹 介

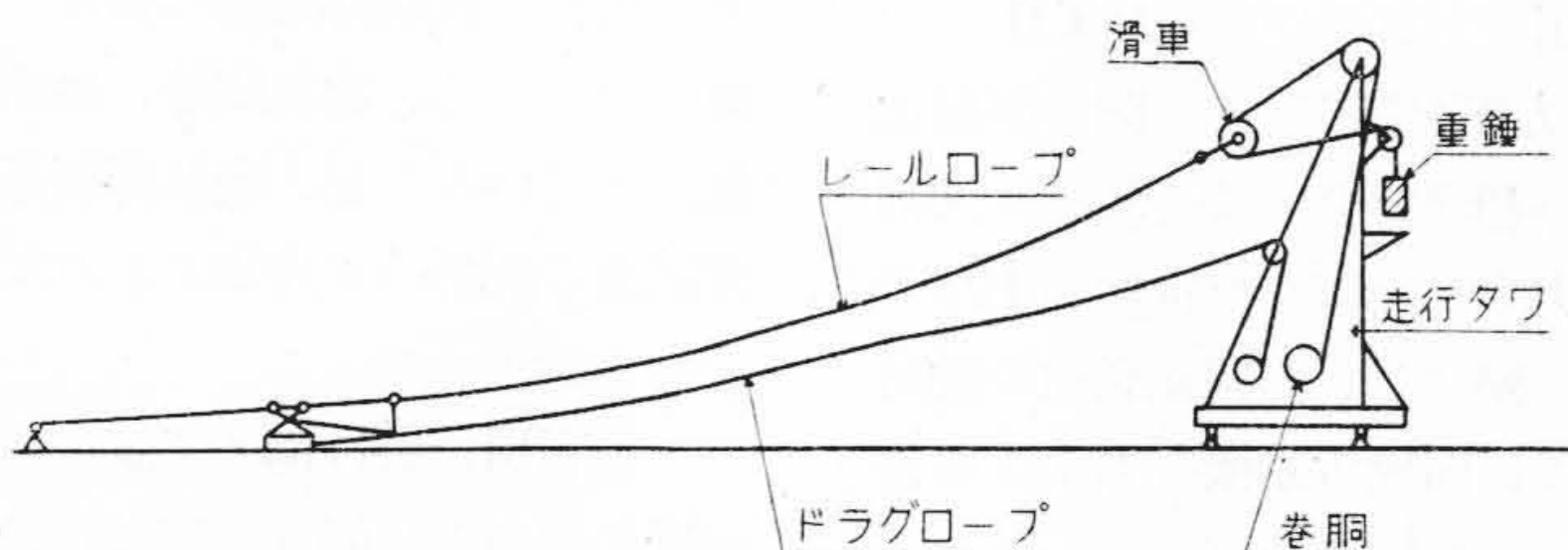
登録新案第 380760 号

大 西 昇

タ ワ エ キ ス カ ベ ー タ

この考案は、タワエ
キスカベータのレール
ロープの張力を一定に
保持するためのもので
ある。

レールロープを滑車
に掛けこの滑車を、一
端に重錘をつるしその
他端を巻胴に連結したロープにより支持する構造から成



る。

巻胴を駆動してロー
プを巻き込めば、レー
ルロープは緊張され張
力を増すが、その張力
が或る一定以上になる
と重錘が持上り、従つ
てレールロープの張力

は一定に保持される。(富 田)

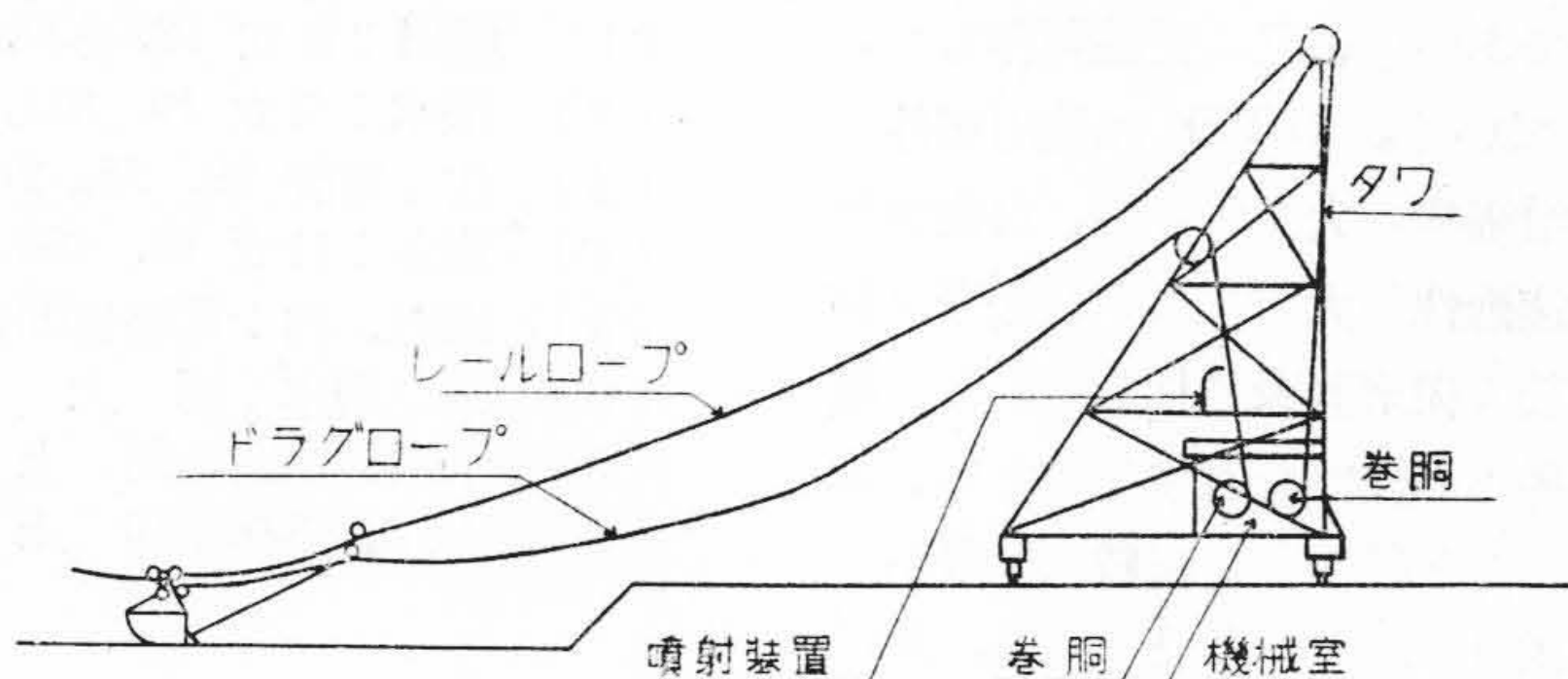
特許第 187666 号

大 西 昇

タ ワ エ キ ス カ ベ ー タ

タワエキスカベータ
のドラグロープは、ひ
んぱんに地面をすべり
土砂がついたまゝ巻胴
に巻きこまれるから機
械室の床面には土砂が
堆積する。

この発明は、機械室
の上部の適宜な所に、



空気或は水のような
流体をドラグロープ
に吹きつけるための
噴射装置を設けてこ
れより土砂を落すよ
うにしたものであ
る。(富 田)

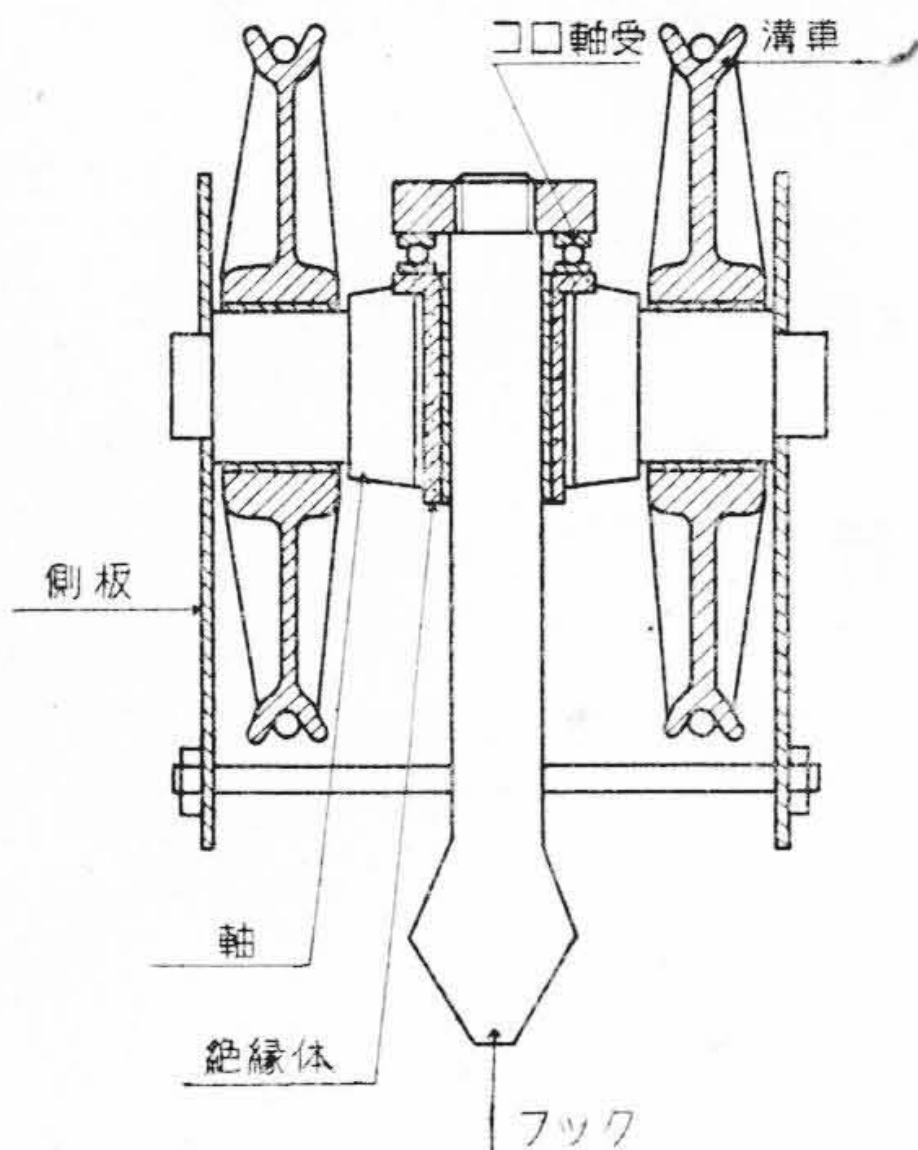
登録新案第 382247 号

山 本 憲

江 守 忠 哉

原 政 次

フ ッ ク 装 置



天井走行起重機により充電中の品物例えば電解槽をつり上げる場合は、フック装置をかい、その品物と起重機及び脚部間に電気回路が閉成されそのためにアース線が切斷したりその他有害なる電蝕作用が起る。

このフック装置は、軸受と軸との間及びフックが軸を貫通している部分にわたつて電気絶縁體をそう入する構造として上記缺點を簡単に除いたものである。(富 田)