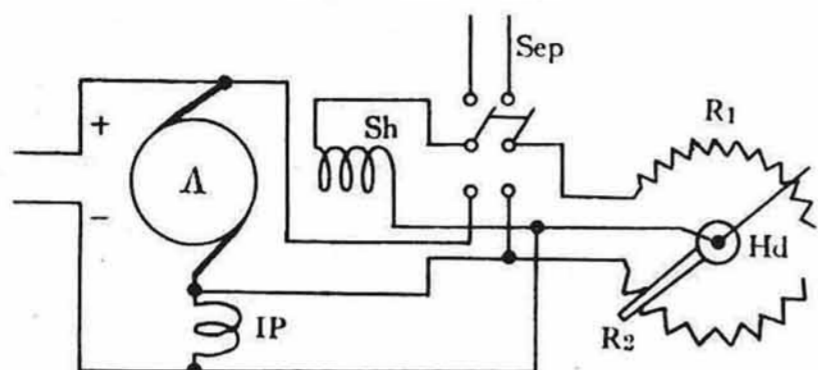


第四圖 主極の強さに對する飽和せる場合の補極の調整



Compensating Mechanism for Variable Main Field Magnetism

- Sep Separated D.C. Source
- Sh Shunt Field Winding
- Ip Inter Pole Winding
- A Armature
- R₁ Shunt Field Rho.
- R₂ Diverted Resist for Interpole
- Hd Common Handle

諸前論磁氣抵抗の鐵部の飽和は主極にせよ繼鐵にせよ或は又補極にせよ磁氣的には勵磁に比例せぬと云ふ事で整流には皆宜くないのであるが、主磁束の過大なる時は第三圖の I が過大となると正に相似て誠に不工合なる結果を來すのである。即ち主磁氣の強大なときは先づ漏洩過多となり補極を飽和せしむる外次には $R_m I$ なる電位差異の増大を來す缺點がある。

今主勵磁が強大なりと雖も一定なるときは不工合にしても其度合は甚しくないけれども主勵磁が變動すると比例性から懸離されるの程度が多くなる。これに打勝つ方策が第四圖の如く考へられる。第四圖に於ては主勵磁を増進すべく R_1 を抜き去つて進むと同時に補極用分路抵抗 R_2 を挿入し補極の磁化を強化するのである。 R_1 及 R_2 なる値は之を容易に實驗的に定め得るのである。然るときは $\alpha A T_a$ なる α の値を主勵磁の強弱に従ひて自動的に之を加減調節せしむるものである。發電機電流が急激突進變化を爲さずして、緩徐なる變化を爲すものとするれば此方式を以て所謂不工合即ち正比例より懸け離れる度合を取り戻す事は出来ぬ事ではないのである。

今主磁氣が零に近い低い勵磁とせよ、即ち R_1 が非常に大なる値を取るとせば、主極及繼鐵は飽和しない状態にある。然も補極の漏洩磁束も亦少くて補極自身の磁束も少くてよい。之等の状態に於ては第三圖に於ける $I R_m$ なる電位差が極めて小で、亦 R_2 が比例性を恢復し能く僅かなる電壓 e を以て必要な i を得ると云ふ形に等しい。然るときは第三圖に於て考へるならば e は小さき値で良くなければならない。之が實物電機では補極の捲數

を減ず可きに相當する。されども電機に於ける捲線は左様簡単に捲き着け捲き戻しは出来ないものであるから補極捲線の分路抵抗を減少して、其目的を達成し得るものである。之即ち第四圖に於て R_1 が増せば R_2 を減じて補極捲数を遞減せると同じ効果を得る所以である。

今主磁氣が一杯一杯に強化されるときは上記説明の正に反對に事柄が進むのであつて R_1 を減らせば R_2 を増す可きであつて、之等の仕事は二つの抵抗器に共通把手を具備せしめ、單純なる仕組で片付けられ得るのである。理論としては正に上説の如くに遂行し得るのであるが、只一つ是でも不適當な事は急進電流に對してはそちらこちらに磁氣的慣性があるためである。緩徐なる電流變化には上記の整流改善は決して意義少なきものではない。

上説の如き簡略等價説明は完全なる表示と云ふわけには行かない。例令磁氣的精論は線分 A C B の線積分としての追跡を要し夫が起磁力は補極と主極と兩方の存在であるわけであるが、等價電氣回路の説明圖に於ては主極起磁力を逸脱せるやに見へる。此が真相は逸脱したのではなくて、其主極起磁力の大部分が主極空際の磁氣抵抗に喰はれて居るので、つまり主極面上の空際なる大抵抗とそれに対する起磁力と二つながら、之を省略して本現象論に主要なる役割を演ずる部分のみを摘出せるもので間違つては居ないが少しく判かりにくいと思ふ。極めて大體の要領は第三圖の如き形にあると信ぜられる。要するに主極及繼鐵の飽和は所謂單純なる補極磁氣の重疊を許さぬと同時に、主勵磁の廣汎なる勵磁度の變化は著しく補極磁束と負荷電流との定比例性即ち整流勵磁の基礎的要求を阻害する。而して是が對策は無きには非ざれども主勵磁の變化の速さが急峻ならざる例令ば電氣化學用機の如き場合にのみ用ゐらる可きも、鐵の壓延現象の如き時間的に急峻の變化をする主勵磁には未だ遽かに用ひられぬ様式と考へる。

〔V〕 炭素刷子抵抗による整流三角形電壓分力の消殺

第五圖(A)及(B)は整流子刷子下で所謂刷子下の電壓降下の刷子内の分布狀況を示す圖である。整流子が時計の針の如くに廻りつゝあるものとするれば、此の電壓降下分布は品物に依り荷により、速度により誠に色々に変化し、其形狀は重要なる整流追跡の探照燈である。(A)に於けるが如きは稍理想的分布であつて、此の降下電壓が

約3Vを越ゆるときは、火花發生の傾向が顯著である。此の分布曲線の積分曲線は大約整流交番電流の波形を指示するものであることは、1918年執筆の筆者拙論本誌大正十二年十二月及同十三年十一月號等に考察せるが如くである。

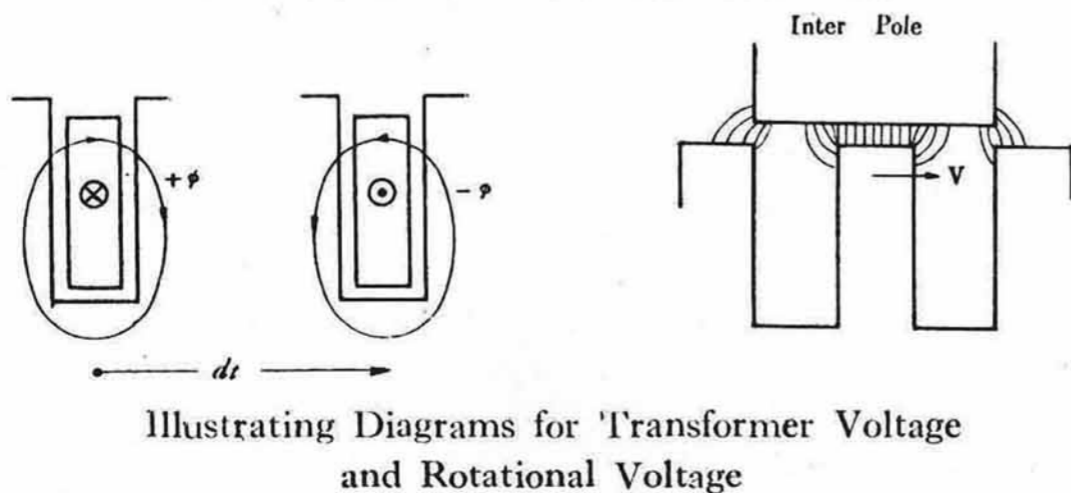
同圖(B)に示せる $-\Delta V$ はリアクテイヴなる整流で $+\delta V$ は餘りにコンデンシヴなる交流波である。一般に速度と電壓とを一定にしたる分捲電動機を簡單の爲めに考察して見ると、負荷全電流に於て第五圖(A)の如くせば過負荷に於てリアクテイヴとなり低負荷に於てはコンデンシヴとなる傾向を有する。直流電動機を使ふものは、先づ萬人の認知せる顯著なる現象で、一般に低負荷に於けるコンデンシヴなる交流波形は電流が少ないと云ふ有利なる方向にある爲めに一寸氣がつかぬ時もある。此現象の理論は前説補極磁氣回路に於ける磁氣線の線積分に於て鐵部が飽和せるに依るものである。

今第六圖左圖に於て正電流より負電流に變化する事が整流であつて、此時線輪を取捲ける磁氣も亦正より負に變らねばならぬが、此磁氣變換がその有する磁氣慣性により交番電流に對し所謂遅電流となるのである。之を完全に速進せしむるものが即ち補極であつて

$$B \cdot v \cdot 10^{-8} = -\frac{2\phi}{dt} \cdot 10^{-8} \dots\dots\dots (1)$$

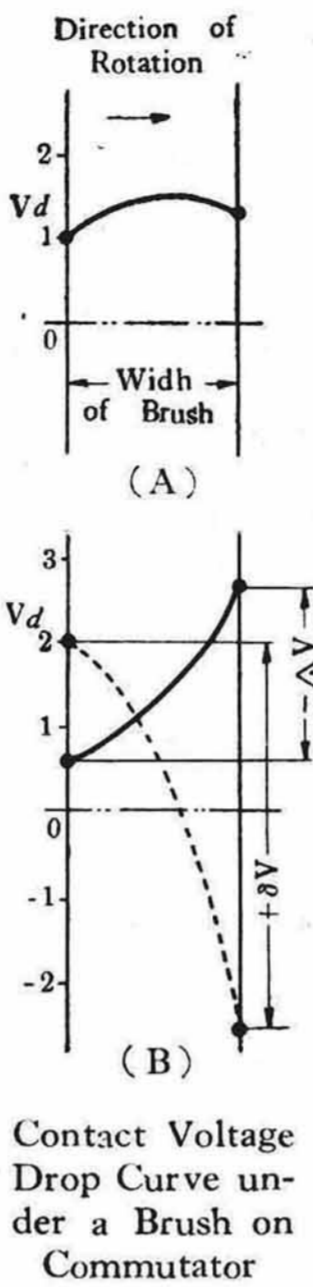
に補極を適當に選ぶと第五圖(A)の如き理想整流を實現せしむることは不可能なことではない。此間の關係は所謂變壓器式誘起電壓を廻轉式電壓を以て中和相殺せしむる仕掛けであつて、原理としては直截簡明である。然る

第六圖 變壓器式及廻轉式誘起電壓説明圖



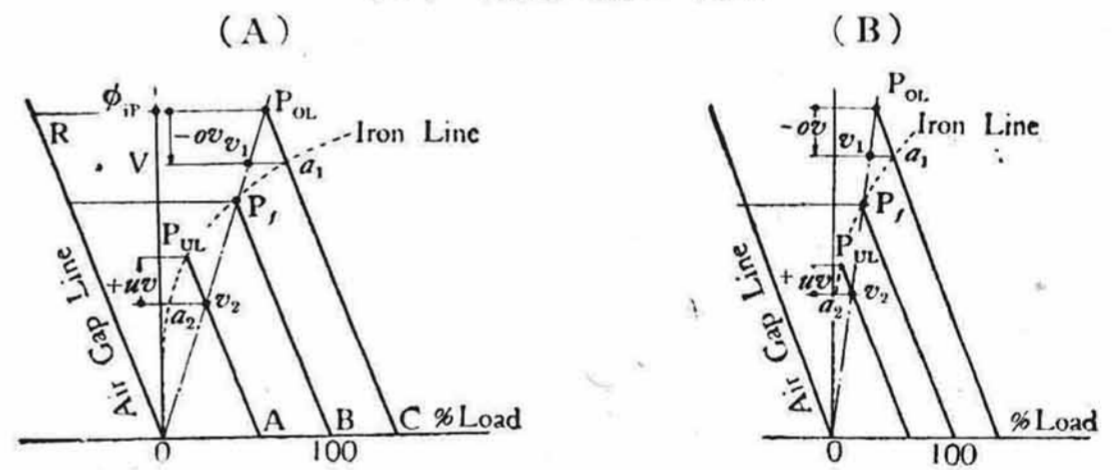
Illustrating Diagrams for Transformer Voltage and Rotational Voltage

第五圖 刷下電壓降下曲線圖



に變壓器式誘起電壓に於ては起磁電流の捲數に比例し空際大なるに反し、補極極面上の磁氣感應は主として補極の飽和及漏洩等により起磁力に比例しない事になる。換言すれば ϕ が電流の函數として、明かに殆んど直線的なるに拘らずBが電流の函數として不規則に變化する爲め此方程式は恒等的にならない。一般に過電流に對しては dB/dI は小となる、即ち左邊の値が不足する之が即遅電流系整流を生ずる所以である。猶之を圖上に明かならしむれば第七圖の如くである。第七圖(A)は補極磁氣が稍飽和せる形を示せるもので補極磁氣回路の飽和特性である。主極の飽和曲線ではない。本圖に於ては垂直線を以て磁氣抵抗を分割し其左側には空際に喰はるゝ起磁力を表はし、其右側には鐵部に喰はるゝ起磁力を表し之を合成して全起磁力と磁束とを一組の斜交軸坐標に示したものである。豎軸は磁束を示すが一定速度に於ては整流短絡線輪内に磁束に正比例する電磁感應電壓を誘發する。故に之の曲線は亦電壓と起磁電流との特性曲線を示すのである。空際線と鐵線との水平距離が補極回路の勵磁電流を表はすのである。今普通に行はるゝが如く全負荷に於て第五圖(A)の如く過不足を見ざる整流状態にあると

第七圖 甲 (A)一常規飽和補極の整流三角形説明圖 (B)一低飽和補極の同上



(A) Illustrative Diagram of Commutation Triangle for Ordinary Saturated Interpole (B) Ditto for Low Saturation

し、之を定速度定電壓下に負荷が増大したりと假想せよ、然るときは過負荷に於てはOを原點とすれば、其電流に應ずるOCなる起磁力を出現する。

鐵線上全負荷の點 P_l をOに結び之を引延し OP_{ol} とする。一般に刷子による短絡線輪を取捲ける ϕ は飽和して居ないから、過負荷に於て打消しを要する即ち相殺に要する電壓は P_{ol} なる點を過ぎる水平線と原點Oとの距離に依つて、其電壓を表はすのである。 OP_l P_{ol} の對角線は一定せる補極の捲數に對し定まり來る一定直線で本論

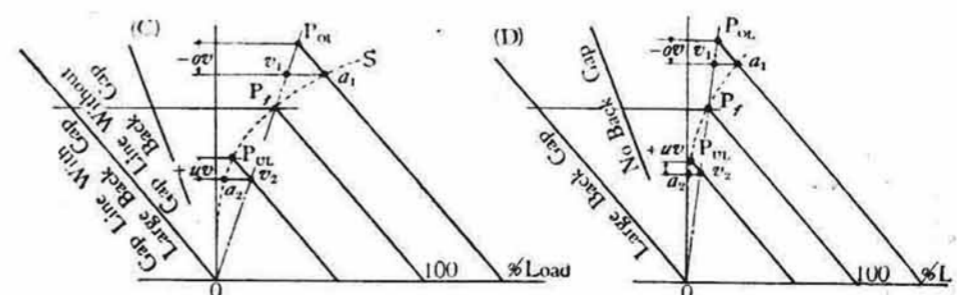
に於ては補極の捲数を論ずるを以て、對角線 OP_f の傾度は第五圖電壓降下曲線を左右するパラメーターである。今此のパラメーターは暫く不變なりと假想して説明すれば過負荷に於て補極に實在すべき磁束即實在誘起電壓は $OCP_{or}R$ なる四邊形を成さずしてそれより以下なる $a_1 v_1$ に於て止つて其處に三角形 $P_{or} a_1 v_1$ なる電流電壓の三角形を生ずる。稍同期論に於けるポーシェーの三角形に相似たるものなるも、今は整流三角形と名附ける。 $a_1 v_1$ は電流にして $a_1 P_{or}$ は實にその電壓でなければならない。故に之を電流電壓三角形とも稱する事を得。既に實在電壓が CP_{or} に達せずして遂に Ca_1 に止るとすれば誘起電壓が $a_1 P_{or}$ 丈不足するのである。之は即ち起磁力は負荷電流に正比例し、 RP_{or} 丈充分に嚴存はするが其一部分が鐵の飽和により $a_1 v_1$ 丈喰はれて不足を來し、 $P_{or} a_1 v_1$ なる欲せざる三角形を生ずるのである。斯くの如くして電壓に $a_1 P_{or}$ 丈の不足を來すの結果は第五圖(B)に示せる $-\Delta v$ なる遅電流式整流を生ずるのである。之を反對にして低負荷に於ては全然同様なる理論に依つて今度は過分の誘起電壓 $v_2 P_{or}$ を生ずる。低負荷に於ける整流三角形は然し電壓の不足を生ずるには非ずして、剩餘を生ずるのである。即ち $v_2 a_2$ は鐵の飽和が吐き出して生ずる過分の電流で、大體之に應じて $v_2 P_{or}$ なる剩餘電壓を生ずる。之の結果は第五圖(B)に於ける $+\delta V$ なるコンデンシヴなる電流狀況を示すのであつて、極めて大摺みに云ふとこれ等は對角線 OP_f と鐵線とが懸け離れて居るが故に生ずる現象であり、方程式(1)を眼に映する形に直したものと考へる事が出来る。故に學者が考へるが如く空論的に云ふならば、パラメーター即ち對角線傾度を負荷に従て自働應動的に過負荷に於ては多くの傾きに輕負荷に於ては傾度を少なからしむる事が出来るならば整流に於ける過不足電壓を防止し得べきである。即ち整流三角形を常に出来る丈小形に壓縮する如くに適當なる装置を施すならば、整流問題も亦容易に解決し得るのである。實際問題としてはさう云ふ事は仲々實行するに難儀がある。第七圖甲(A)に於ける $-ov$ 及 $+uv$ は異なる尺度に於て第五圖 $-\Delta v$ 及 $+\delta v$ に相等するものである。凡そ整流子には必ず炭素刷子を用ひ、其固有抵抗を利用して、此等の好ましからざる整流三角形の電壓分力を喰ひ殺し、其危害を外部へ表はさぬやうにして居るのであ

る。つまり $uv - (-ov) = uv + ov$ なる變動電壓を消殺して火花にせしめないのである。銅其他抵抗不足の刷子は之等三角形の大きい場合には使へないのである。補極に鐵を用ひる時は和働勵磁に於て必ず多少の飽和性を有する爲め第七圖甲(A)の全負荷點 P_f の上下に荷が變るだけでさへも金屬刷子では始末し切らないので炭素系刷子で消殺するのが大切である。三角形丈なるものに高抵抗刷子を用ふ可きは所謂抵抗整流の基本理論を成して居る。

〔VI〕 整流三角形壓縮雜論

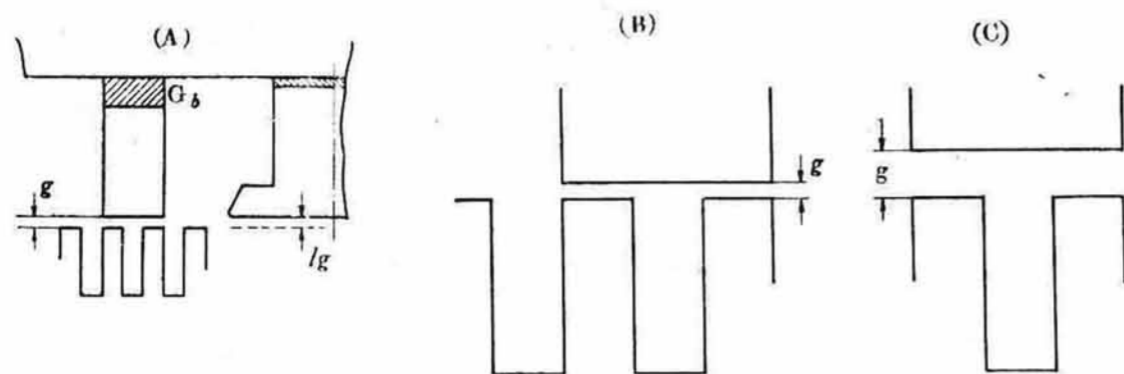
一般に此整流三角形の大形に表はるゝを抑制するに二三重要要領がある。其一つは云ふ迄もないが補極の飽和を防ぐと云ふことである。第一重要點であらねばならない。第七圖甲(B)は正に之を示すものであつて同(A)の鐵部の特性のみを低飽和に直したる形である。圖に於て明かなる如く、パラメーターの不變即ち一定補極捲線數に對し三角形 $P_{or} a_1 v_1$ 及 $P_{or} v_2 a_2$ は、何れも其(A)圖に於けるより大なる縮少を示すであらう。過不足分を遞減するから之を平たい語で云ふならば鐵線が豎形に近づき對角直線と離れる事が減する現象である。磁束の漏洩を防止し従つて飽和を少くすることが重要であるは實に之による。事實に於て主極と補極との間の漏洩を防止する筆者登録新案第106814號の實蹟は豫想以上の顯著なる効果を實現して居る。茲許に考へたる發電機及電動機にも勿論是を實施して若い人々が驚いたのであつた。補極に於ける方程式(1)の理想を脱する事を防止する第二様式は補極磁氣回路の空隙を遙かに増大する一策である。第七圖乙(C)は之を示すもので同(A)と同一鐵飽和曲線を有する補極に對し、其鐵心の背部即鐵心と鐵轂との間に偉大なる空隙を設置する要領である。此空隙は筆者多年愛用する空隙で之を極表面即ち發電子鐵心に向ふ面には置かないのである。前面に置くも後面に置くも同一空

第七圖乙 C—補極磁氣回路の空隙式磁氣抵抗の増進効果
D—磁氣抵抗増加と低飽和の共働効果



(C) Effect of Increased Gap Reluctance on Saturated Interpole
(D) Combined Effect of Reluctance Increment and Low Saturation for Suppression of Triangle

第八圖 空隙の置き方



Magnitude of Gap and its Position

隙なりと考ふるわけに行かない。

第七圖乙(C)に空隙線が二つあるは其一つは前面で其一つは背面のを示す。前面の空隙を過大にすると其短絡線輪に固有する ϕ の減増を生じ前面の大空隙はBの分布を阻害する。故に一般に前面は主極空隙の100—130%程度に確定し鉄心背部に非磁體を以て空隙を作るを至便とする。第八圖(A)に於ける G_b は是である。即ち $g = (1.0 - 1.3)lg$ を普通とする。第八圖(B)に於けるが如きは發電子捲線が餘りにリアクテヴになる。第八圖(C)の如きは補極の漏洩磁束のみの増大を生ずる。先づ第八圖(A)の如くにせねばならない。主極の下敷は非磁體を布くは馬鹿であつて之は必ず鐵に限る。補極には然らずして大部分は非磁體を可とする。第七圖乙(C)に於て前説第七圖甲(A)及(B)と同一要領に追跡すれば背空隙の増大は並行四邊形を非常に平たくする。従つて $P_{OL} a_1 v_1$ なる過負荷状態の整流三角形も $P_{UL} v_2 a_2$ なる低負荷状態に於ける整流三角形も何れも大いに縮小され、 $-ov$ 及 $+uv$ 何れも第七圖甲(A)よりも縮小せられる。即ち整流の改善は偉大なるものである。

第三は前説二策を併用する事である。第七圖乙(D)を以て之を示し補極の飽和を低くし且つ其背空隙を増大し補極起磁力を強化すれば、此等此策の表す改善度は相加はるを以て第七圖乙(D)に於ては同(A)圖に比し三角形 $P_{OL} a_1 v_1$ 及 $P_{UL} v_2 a_2$ は何れも顯著なる縮減を來し、従つて整流に有害なる $-ov$ 及 $+uv$ を大いに減ずることが出来る。従つて第五圖に於ける $+ov - (-\Delta v) = +ov + \Delta v$ なる電壓降下の變動を縮減する。

普通の場合は炭素刷子で此第七圖乙(D)の方針にて必ず充分である。進んで第九圖に於てはパラメーター即ち對角線の傾度を調節せる事を圖示するものである。換言すると補極の捲數に適當なる變更をして根本的に整流三角形の壓縮を企てたるものである。

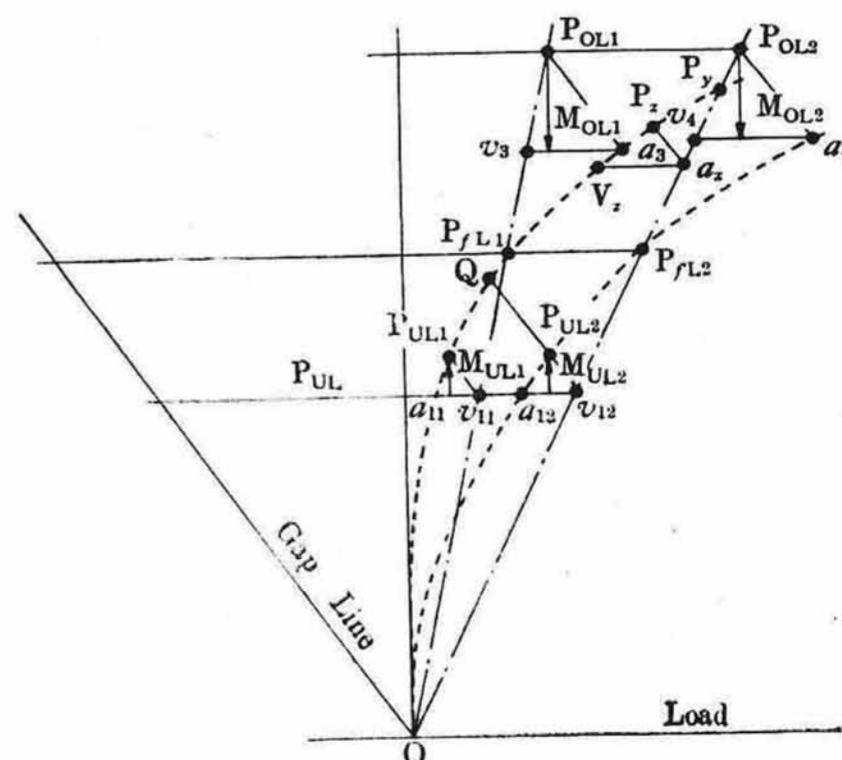
上記説明は負荷電流に對して生ずる不規則整流三角形の論議であるが、鐵線Sは主電流にのみ依らずして主極の勵磁に依つても亦其影響を受ける。第一圖で和となる場所に於て主極の勵磁が強大なるか零なるかはS曲線を右か左かに移動する。即ち主極の和勵磁が零なる時はSは飽和性ならざるも主極が低速度の場合或は高電壓の場合の如く大いに強化せ

らると OP_{fL1} になつたり OP_{fL2} になつたり移動する。此の鐵線が OP_{fL1} 又は OP_{fL2} の如くに移動する場合は單一對角線では或は整流三角形は意外に大となるかも知れない。

例令全勵磁に於て全負荷點を P_{fL2} としパラメーター即ち補極勵磁様式を $OP_{fL2} P_{OL2}$ の特定對角線に置くとせよ、此の傾度大なるものは捲數の多きに相當し、傾度少きは捲數の少きを示せるものである。之を低負荷點 P_{UL2} とすると勵磁が變らないならば三角形は $P_{UL2} v_{12} a_{12}$ となり驚くには當らない小なる形なるも、同低負荷に於て同時に主勵磁が減るとS曲線が $OQP_v P_v$ に移動するを以て三角形は $Q v_{12} a_{11}$ の如く其殘存不平衡電壓が大となる。之を壓縮するにはS曲線が $OQP_v P_v$ の時には捲數を減じて對角線の傾度を OP_{fL1} と改むれば、 P_{OL1} 以下の低負荷は無事に整流が出来るのである。

故に對角線調節を整流三角形が絶對的零に壓縮されるには到らずとも OP_{OL1} 及 OP_{OL2} の如く二つ或は三つ程の調整を加へると異常に有利なる整流の改善を期し得るのである。第九圖に於て $OP_{fL2} P_{OL2}$ なるパラメーター設定

第九圖 主極磁氣の大變化に伴ふ整流三角形移動説明圖



Change of Triangle of Commutation in Wide Range Affected by Main Pole Magnetism and Load

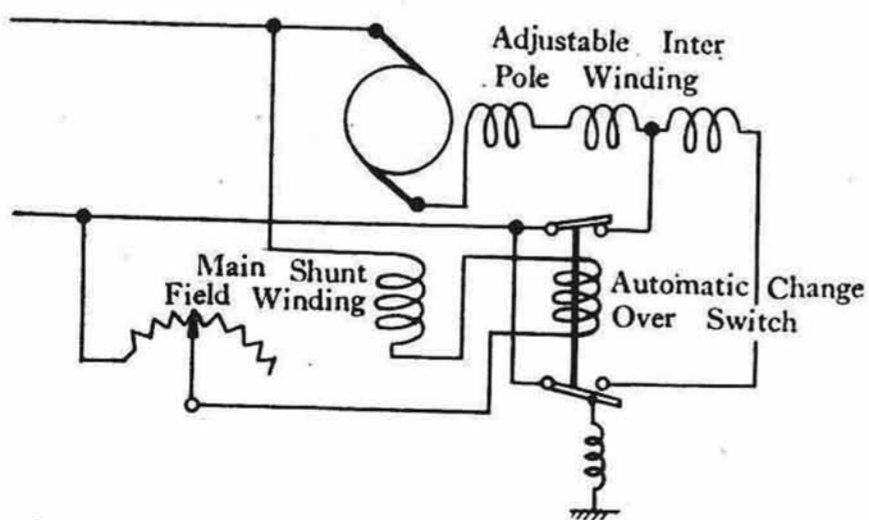
を $O a_1$ なる鐵曲線に應用し $OP_{f1} P_{of1}$ なるパラメータ一設定を $OP_x P_y$ なる鐵曲線に相當するが如くに計畫するならば、僅かに二段の調節で整流不規則三角形は大なる縮少を見るものである。

即ち主極高勵磁の場合には $-P_{of2} M_{of2}$ なる不足電壓より $+P_{uf2} M_{uf2}$ なる過剩電壓に止まる範圍となし、主極低勵磁に對しては $-P_{of1} M_{of1}$ なる不足電壓より $+P_{uf1} M_{uf1}$ なる僅少なる過剩電壓の範圍に不足及過剩電壓の範圍を縮減する事が出来るのである。

茲許に P_{of1} 及 P_{of2} は同程度の過負荷であるが妙に見えるは、夫等以上の過負荷に對しては主極が低磁氣なる時も OP_{f2} を特性パラメータとする方が三角形を $P_{of1} a_3 v_3$ より $P_x a_x v_x$ に縮少する利を見る事が出来るのがそれ等は隴を得て蜀を望むの感がない事もない。之が實現は全裝備に可成の複雑味を引入れるのである。

要するに主勵磁が強くして $O a_4$ なる S 曲線には OP_{f2} を用ひ、主勵磁が弱くして $O Q P_x$ なる S 曲線なるときは OP_{f1} なる特定對角線を用ひるとき整流は益理想に近づくのである。之を實用化せんとする企てが第拾圖の如くである。第十圖はつまり補極の捲數を主極磁氣の強弱に従つて之を増減する實際的の圖である。廣汎に主勵磁を變ずる機械に應用せらるべき一新案である。圖中に示されたる切替へは切れてから次の續きが出来るのでなく、次の續きが出来てから切れる可きが切れるので、所謂重接續替である。但し主磁氣の強弱變化が餘りに度々なる時は茲許に特種の繼ぎ替へ機構を要し、之が實現は必ずしも容易ではないが、將來必ず此方面の機械は進歩して行かねばならない道程の前途と思ふ。若し又主極勵

第十圖 補極勵磁の主極飽和に對する應動的切替圖



Automatic Change Over Connections for Variation of Main Field Magnetism with Excessively Wide Range

磁の制御要領が緩徐にして急峻でない時は、此繼ぎ替へは或は割合に容易に出来得る。尤も緩徐なる勵磁制御に對しては捲數の口出しに依らずして分流抵抗を制御する第四圖様式が容易となると思はれる。

〔VII〕 理論と實際

前數節に述ぶる處は製作着手以前に於て理論的に考究したのであつた。大體其論據により偉大なる現品を完成し先づ工場の試験を、續いて實地運轉に依る成績を顧みる。凡そ理論と實際とは百パーセント一致せざるを極めて頻度に経験を有する故を以て、可成の心配に拘らず本論に於ける其大綱は幸にして過誤がなかつたので、現品に於ける加工改修も議論の訂正も共に二つながら是を必要としなかつたのである。整流以外にも此種の複雑なる使用用途に對しては理論と實際との對照は多くの問題があつたのであるが、本論整流三角形壓縮は充分なる目的達成を得たる事は、筆者自ら製鐵所第三大型工場内の熱鐵壓延に於て實證したのであつた。尤も半ヶ年の如き短期間に完成を期する仕事故一寸でも間誤付いては到底駄目なる事を深く考へた爲め、可成の杞憂も含まれ實物に於て表れて來た。其一例は發電機補極を 2 回半捲きとし後半回分を和働差働即ち (+) 或は (-) に自由に切り替へんと志したのであつたが、極面裏非磁性金屬の挟み込み厚さが思ひ切り著大なる爲め全然補極の飽和なる特性を壓殺し、初志の必要を認めぬ事になつた。従つて現品に於て二極目毎に一回の馬鹿捲線がついたまゝになつて居る。是は工場試験期間充分ならず且つ引渡し期日の切迫は不要捲線の取除きを顧みるの違なかりしと、又一つには後日の備へとし殘存せしめたのであつたが、遂に其必要はなくなつて全然案山子となつたのである。

補極の電流捲線數は莫大であつたから補極の表面及裏面に、偉大なる磁氣抵抗即ち世に類例乏しき大空隙を加へた。然るに此等の磁氣抵抗は漏洩磁束が根元の方に集まらずして、普通とは逆に表面側に集つて來た爲め、裏面の空隙では充分に達成せず表面に於てのみ特に顯著に働くを見たるは、試験に於て始めて味つたのであつた。即ち空隙効果は極の表裏で其差大であつた。

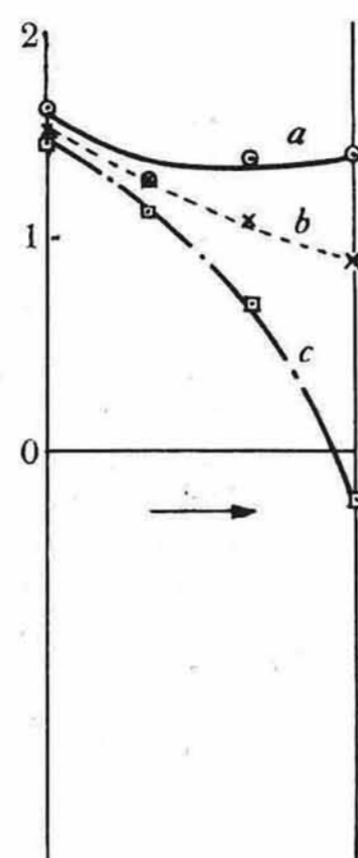
緒試験して見ると補極の飽和性即ち第七圖鐵線は約一倍半負荷位迄は少しの屈曲をも表はさずして、全然無飽和の直線である成績を示した。夫は發電機に於ては其電

壓を一つは超過高電壓に一つは無勵磁式低電壓に各の場合に負荷を大幅に變化して、つまり無勵磁の低負荷より高勵磁の過負荷迄の變化を以て、整流の追跡的觀測をなして見るに屈曲鐵線の與ふるが如き三角形の變遷は顯はれては來ずして寧ろ其が直線的であると言ふ實績を示して居るのである。試験の結果に於て主極勵磁の強弱が及ぼす整流への干涉効果は實驗上極めて顯著であつた。今其一端を例示する爲めミルモートルの整流電壓曲

線を取つて見ると第十一圖及第十三圖の如くであつた。第十一圖及第十二圖に於ける(c)曲線は主極極めて弱き場合の整流電壓降下分布で、之を順次強磁化すれば夫々

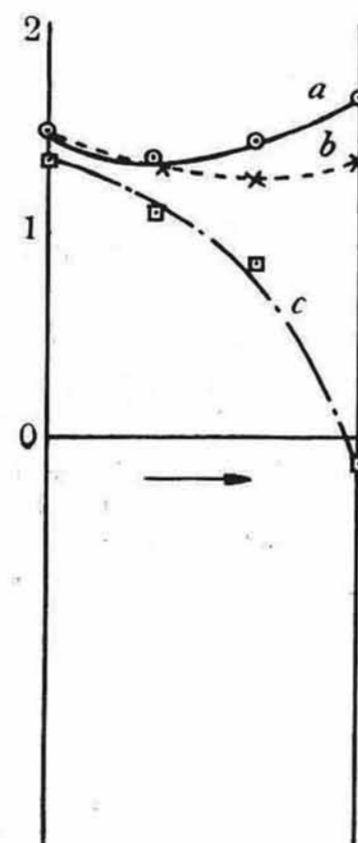
(b)及(a)の如く分布状態を變化し、補極による廻轉誘起電壓は漸減して居る。是を前數節理論説明圖に改むれば第十三圖の如くである。即ちリアクタンス電壓がOCである時に於て低勵磁なる主極を以てする整流補償誘起電壓はOAであり補極過強の故 $\triangle abc$ 及 $\triangle a'b'c'$ の如きを生ずるのである。即超過電壓 $a'c'$ 及 ac の如きは第十一圖及第十二圖に於ける(c)曲線の如き先降りの形を表はすのである。然るに之に主極の強磁化を加ふと

第十一圖 23,600 馬力ミル電動機刷子下電壓降下分布實測圖 3150A 900V



Contact Drop Distribution of Brush for 23,600 HP Main Mill Motor at Rated Full Load (with varying main pole excitation)

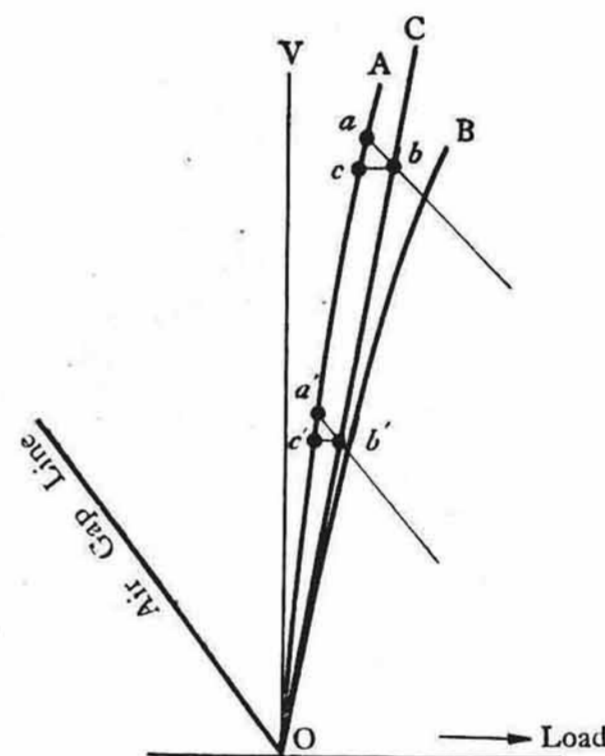
第十二圖 中位過負荷時の刷子下電壓分布實測圖 5,000A 900V



Contact Drop Distribution of Brush at Medium Over Load (with uarying main pole excitation)

ば、前理論の如くOAは右方OBの如きへ移動する。OCに甚だ近きOBへ移行せる場合は整流三角形は極度に小型に壓縮減殺せらるるを以て之を第十一圖及第十二圖に於て見るが如く、各(a)曲線は先降りの特性ではない。即ち理想整流に近づいて居る。又負荷の増進による整流の變化は第拾壹圖の(a)(b)及(c)三曲線が、第十二圖の(a)(b)及び(c)に夫々移り變るが如き働きがあり、是は從來能く人の知れる形であつて、即ち荷が増せば曲線の尻が昇るのである。然れども此機械に於ては其尻の揚り方が甚だ僅少にして實に異數とする程度の變化小なる形であつて、是は整流極磁性が根本的に飽和して居ない事を示すもので、つまり $\triangle abc$ 及 $\triangle a'b'c'$ とが餘り變らぬと云ふ事である。斯の如くして所期理論と現品の成績は何等の扞格無きを知り得たのである。即ち鐵線の移動 $OA \rightarrow OB$ 及負荷の増進による整流三角形の移

第十三圖 23,600 馬力ミル電動機補極磁氣特性實測表



Magnetic Characteristics of Main Mill Motor with Full and Low Main Field

動を凡ての狀況に組合はせ、猶且整流三角形電壓分力の電壓の變化數値を刷子の電壓差下許容範圍内に留めんとする根本計畫は大體に於て完全なる達成を得たのであつた。

發電機に於ける整流現象も亦略前一小例と相等しき結果を示し、其極めて廣汎なる狀況の變化に對する整流三角形の電壓分力の大きいさは刷子の喰ひ殺す許容電壓範圍を逸脱しなかつたのであつた。發電機に於ては速度の變化極めて僅かであつて、廻轉子側に於ける變壓式誘起電壓の定常性を確保し電動機に於けるが如き高速度に依る其遞減がないから稍有利である。電動機では最高速度と

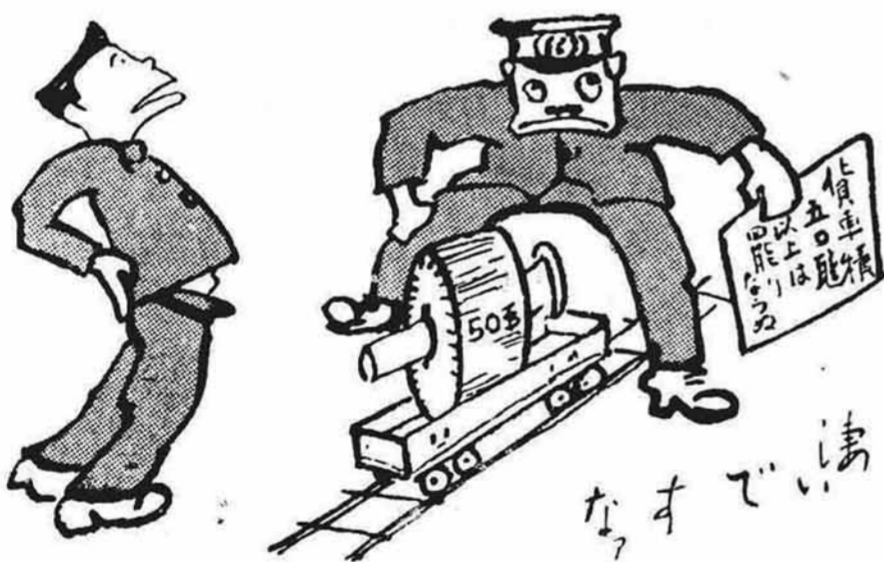
最低速度と差大にして、短絡捲線のインダクタンスが變化するのであつて、第十三圖OCが右に傾きOAと益相離れんとするが、發電機ではOCは一定不動と考へてよい。然し速度それ自身が稍高いから整流子周速自ら高く此方面は電動機よりも困難である。補極磁氣の變化速度が廻轉子電流の變化速度より時間的に位相の遅れを生ずる度合に就ては、電動機の方が相差稍少きを思はしめた。此は計器の測定ではないが製鐵所内第三大型工場に於ける壯快なる熱鐵の大量壓延の實動狀況下に於ける筆者の目測であつた。此時差は磁氣的慣性によるのであるが、是の慣性も本機の計畫に於ては先づ充分なる微量に止むるを得て其害を免れた。

本機の試験中發電機の閃絡及其高速遮斷を試みた。又

其制御要領も精細試験したのであつたが、大體夫を實働状態と對照して見るに、概ね所期の成果を得て居る。夫等に就きては本論論旨外として茲許には省くこととする。

以上之を要するに理論と實驗とはピッタリ符合した。そして本論論旨は確であるつもりであるが、それよりも猶確かなりと信ずるは、實動現品の整流實際良好なる事である。終りに學術研究用の試験としては品物が大に過ぎ且つ時間も尠く聊か適切を缺くと信ずる。蓋し二萬數千馬力世界に稀なる本品を供試とする時、己むを得ぬ事であつた。是學術研鑽が主ではなくして我邦家の爲め重要な任務を有する本品が、完全なる偉力を發揮し熱鐵輕く見ゆる事猶餘の如きを視て慶賀すべきを思ふものである。 (了)

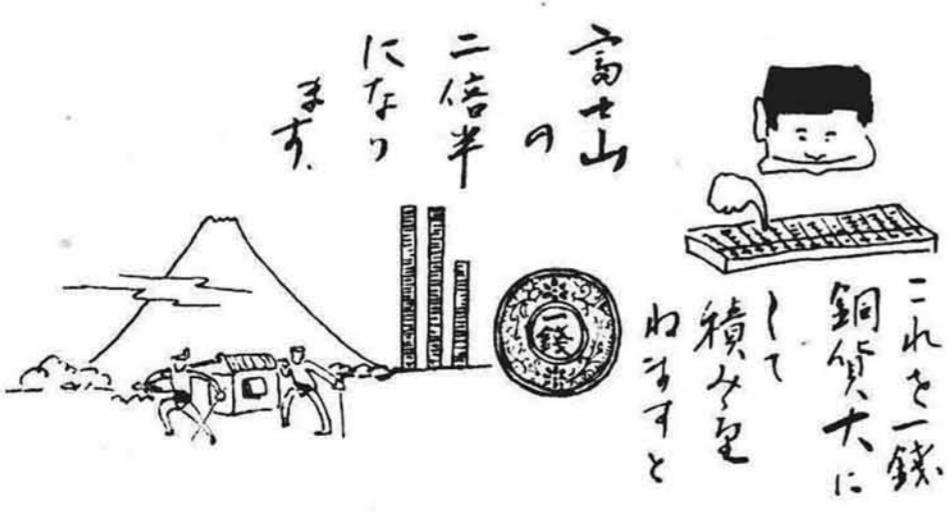
ミル電動機を漫畫的に見たら



電機子も
二つに分けても
最大限
なすでい



本機に使用した
電気鉄板で
防弾着物を
作り出すと
一万人か
着られ
ます。



銅は分論日之鏡山
で出来たものを
日立製作所電線
工場加工した北の
これを一錢
銅貨大に
積むと
ねますと

富士山の
二倍半
になり
ます。

壓延機用イルグナー装置に於ける高速勵磁

和 島 藤 助

High Speed Excitation on Ilgner System for Rolling Mills

By TOSUKE WAJIMA

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The author, in this paper, intends to emphasize the importance of high speed excitation in Ilgner system for a rolling mill, pointing out that it is really necessitated by actual operation, and is not as fashionable as so-called quick response excitation for synchronous machines recently propagandized for the purpose of commercial policy under the subject of stability of transmission lines.

From this point of view, the author proposed a new high speed excitation system which has been applied to 23,600 HP mill motor equipment with good results.

The excitation system is based on the over-shooting principle as seen in the general return mechanism of governor, without employing any mechanism at all, but by ingeniously utilizing the properties of inductance and resistance, therefore the system may be said to be a true electrical method.

The author explains these matters under the following items ;

1. The reason why high speed excitation is important for the rolling mill of Ilgner system.
2. General idea for practice of high speed excitation.
3. Hitachi high speed excitation system and its theoretical solution with an example of calculation on 23,600 HP mill motor of Ilgner system.
4. Theoretical investigation on speed change with an example of calculation on the mill motor.
5. Combined test to determine the changing rates of the generator voltage and the mill motor speed.

〔I〕 緒 言

鐵は熱きうちに打つべしとは古來の名言と聞く。蓋し往時の鑪展式製鐵法と機械化せる現代の壓延式製鐵法とを比較すれば雲泥も只ならざる大差あれど、同名言には渝りなく、之は不易の定理として永久に嚴存す



べきものと思ふ。工業の要諦は良質の品を廉價に大量製産するにあるを以て、製鐵壓延事業に於ても大馬力の壓延機を設置して之を可及的高速度にて運轉せざるべからざることは吾々素人にも容易に想像し得られる所、實にこの高速運轉は鐵は熱きうちに打つべしとの定理を果たすものと云ふべきである。然し之は一般論で終始一定の高速運轉するは操業の部分的個所に於て甚だ不適當とする所、即ち鋼塊又は鋼片をロールに嚙込ますに當り高

速度では嚙込み困難で餘分の時間を要し時に不能に陥ることあり、且つ甚しき突電流を流す缺點がある。之の結果は引いて品質の低下を來たす。之を防ぐには速度を相當低下して樂に嚙込ませ、一旦嚙込みたる後は迅速に加速して全速度に到らしめ、こゝで急速に壓延し、壓延が終りに近づき被壓延材がロールより吐出される時は再び適當の速度迄低下せしめねばならない。即ち速度の大なることは根本的に必要なるも、これは一定のものでは不可で可變的たるを要し且つ低速度より全速度に又全速度より低速度に出来る丈速く加速又減速することが甚だ重要である。斯くして古來の名言が理想的に實現せられるものと云ふべきである。

之の速度可變なる要求を實際的に能く果たすものは直流電動機で、これが爲めには交流電源との間に交直變流機を必要とする。而して急激負荷を直接電源に負はすことは不可なる故變流機には大なる蓄勢輪を附加し斯かる時自動的に其速度を低下して蓄勢輪より其蓄積されたエ

エネルギーを吐出させる様にせねばならない。之がため交流側には滑り調整器付誘導電動機を使用する。之は所謂イルグナー式變流機である。

然し元來直流機の大容量のものは其界磁誘導係數著しく大で普通の設計其儘では電壓の確立遅く重要素たる加速及減速が意の如く行かない。皮相的觀察を以てすれば尨大なる回轉子を有するミル電動機が安々と加速又は減速するものとは思はれない。然し之は全く素人的の觀察で、機械的慣性は界磁の誘導係數即ち磁氣的慣性に比すれば僅少で、磁氣的慣性の少い機械さへ作ればさして問題はない。茲に於てか界磁回路の時定數を出来る丈小とし以て高速勵磁を行ふの必要が起つて来る。

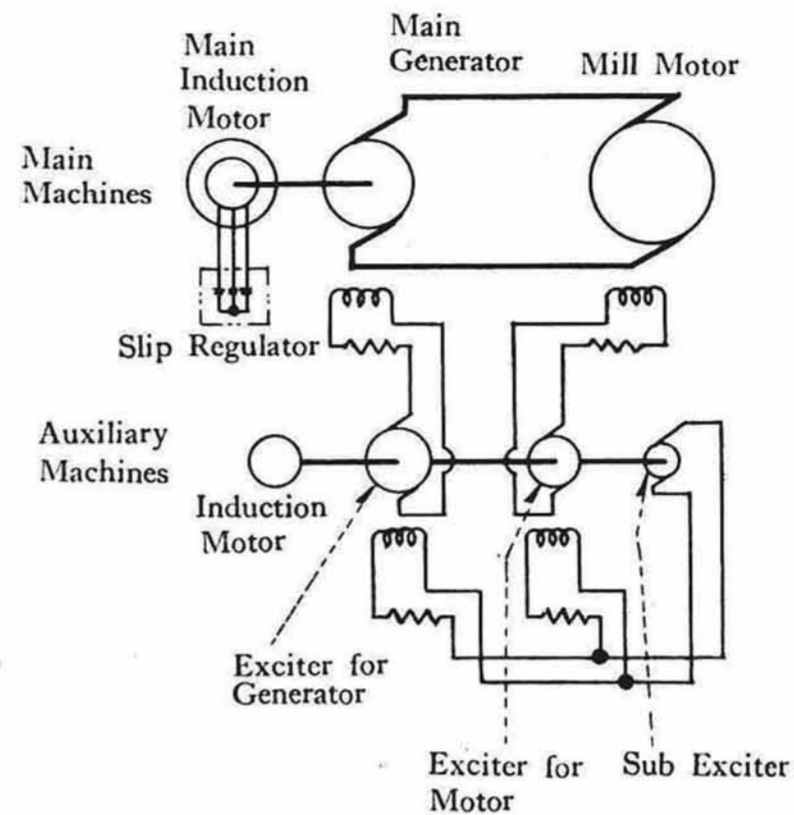
斯く觀すると壓延機用イルグナー装置に於ける高速勵磁は眞實其の必要に迫られて起る問題にして、所謂速應勵磁、即ち送電の安定なる美名の下に漫然宣傳せられる同期機の速應勵磁とは大いに其趣きを異にする。茲に速應勵磁と言はず敢て高速勵磁と稱する所以のものは速應と言へば單に時間的遅れ少く應働するものと感ぜられる傾きあり且又之が提唱の本元たる米國の後塵を拜する嫌ひなしとせず、然るに高速勵磁と言へば應働の速きは勿論勵磁の程度が大なる様感ぜられ、よりよき適切の言葉と思はれるからである。

尙壓延機に於ける電動機の世界調整は運轉者が制御器のハンドルを動かすことによる手働調整なる故高速勵磁に必要なオーヴァーシューティング(瞬間過勵磁)を如何に實施するか大問題である。之が一方法として筆者は抵抗補償法なるものを案出し日立製作所製本邦記録品製鐵所の23,600HPミル電動機に實施して好成績を挙げ得た。茲に其概要を記し併せて電壓及速度變化の理論的考察を試み、且つ試験結果を掲げ理論的考察による計算結果と比較してみたいと思ふ。同方面關係の方に多少なりとも参考になれば幸甚である。

〔II〕 勵磁様式

イルグナー變流機を設備せるミル電動機の概線圖を示せば第一圖の如くである。普通ミル電動機の世界調整は低速及高速の二重式となり、日立製作所製の製鐵所のは $\pm 80 \pm 180$ r.p.m.となつて居る。低速の場合には電動機の世界電流を一定に保ち其端子に加はる電壓即ち發電機の世界電流を調整して電動機の世界電流を加減し、高速の場合

第一圖 イルグナー式ミル電動機接續概線圖



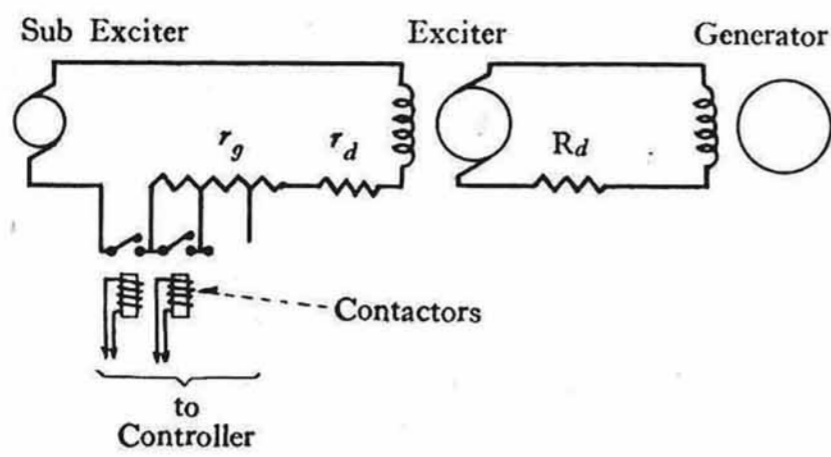
Schematic Diagram of Connections of Ilgner System for Mill Motor

には發電機電壓を定格値に保ち電動機の世界電流を調整して之を行ふ。而て發電機及電動機には夫々専用の勵磁機を設け各勵磁機の世界電流としては別に副勵磁機を設ける。發電機及電動機の世界電流を加減するには主機の世界電流抵抗を制御する直接法もあれば、又勵磁機の世界電流抵抗を制御する間接法もある。兩者何れの方法によるも一長一短のあるは當然であるが、其主なる點の比較を簡単に列記すれば次の如くである。

直接法は高速勵磁の點より云へば望ましきも主機の世界電流が大なる爲め之が制御を司る接觸器の任務が大となる缺點がある。殊にミル電動機に於ては高速及低速の全範圍に亘り制御器一つで全操作を行ひ然もノッチの數が僅か10前後なる故一つ當りの接觸器の任務が甚だ大となり普通發電機の世界電流抵抗器に於ける多數タップを有するものとは大いに其趣きを異にする。従つて接觸開放の際著しく弧光を發し且つ異常の音響を發する。勵磁機の世界電流抵抗を制御する間接法は直接法とは逆なる利點及不利點を有する。即ち最も利點とするは接觸器の樂なことで弧光及音響少く且つ構造が輕小なる故時間的遅れ少く働作が輕快に行はれる。不利とする點は高速勵磁の劣ることであるが、然し勵磁機の容量を増し自身世界電流回路の時定數を極力改善するのみならず發電機の世界電流にも死抵抗を入れて好條件とし之に適當のオーヴァーシューティングを施すに於ては是等不利を防ぎ得るがそれでも少し複雑にはなる。

之等の諸點を綜合し製鐵所品に對しては間接法を採る

第二圖 間接勵磁方式簡略接続圖



Simplified Diagram of Connections of Indirect Excitation System

こととした。間接法にすれば其接続は普通第二圖の如くなる筈である。但し簡單の爲め發電機側のみを示した。發電機界磁に死抵抗を入れ、勵磁機側には死抵抗 r_d と調整抵抗 r_g とを入れる。 R_d は前記の如く時定數を改善するためそれ丈勵磁機は負荷を餘分に多く負ふこととなる。勵磁機は其界磁回路の時定數を極力改善すること勿論なるが、其結果最高電壓は著しく大となり定格電壓を出すためには可なり大なる死抵抗を必要とする。 r_d は此のため r_g を全部短絡した時之の r_d にて定格電壓が出る様に其値を決定する。 r_g は數個に區分せられ各區は夫々接觸器により制御せられる。

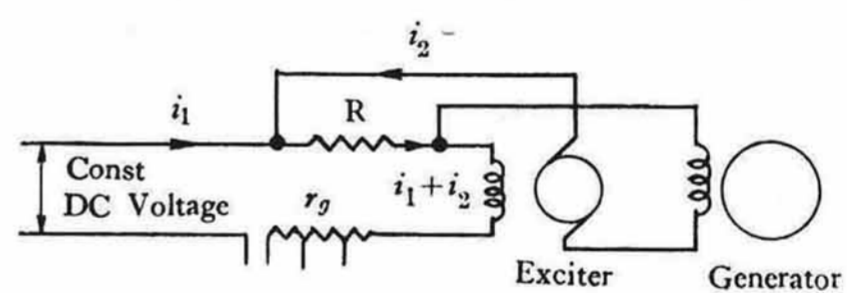
〔III〕 日立式高速勵磁法

間接勵磁方式にすれば普通第二圖の如くなること前説の如くである。今ミル電動機を速度を上げるため發電機電壓を上昇せしむべく勵磁機の調整抵抗 r_g を所定區分迄短絡したとする。勵磁機電壓は直ちに所求値迄上昇するも發電機電壓は、其界磁が誘導性なる爲め之と同相的には上昇し得ず可なり時間的に遅れる。之を救ふには制御器のハンドルを急に最後ノッチ迄動かして r_g を全部短絡し然る後所定ノッチ迄返すことである。即ち勵磁機電壓を一時所要値以上上げるもので所謂オーヴァーシュューティングを手働によつて行ふものである。然し r_d なる大なる死抵抗が結ばれてある故 r_g を全部短絡するも勵磁機電壓の過昇程度は少い。即ちオーヴァーシュューティングが思ふ様に行かない。之を果たすには r_g 及 r_d を全部一時短絡することである。之は高速勵磁の點のみより考ふれば最も有効の方法なるも制御器の動きに關聯して自動的に行はしむることは可なりの難事に屬し、且其短絡接觸器が何等かの原因により直ちに復歸せぬことありとすれば甚しき過電壓を誘起するの危険がある。殊に逆轉又は減速の時には働かせぬ様閉鎖するする必要あり制御

器の設計に餘程困難を感じる。何分壓延作業は荒つまい故あまり複雑巧妙の器具を設計することは思はしくない。この見地より案出せられたのは以下記する抵抗補償法である。これは極めて簡單なもので第三圖に示す如くである。早く云へば發電機界磁の死抵抗と勵磁機のそれとを一緒にした様なもので、發電機界磁電流の時間的遅れを巧みに利用したオーヴァーシュューティング方式である。即ち圖の如く死抵抗 R を勵磁機及發電機の兩界磁にまたがらせ主として發電機の界磁電流によつて電壓降下を起すものである。從而 R は r_g に比して極めて小なる値を有すること明かである。

今發電機電壓を零より全電壓迄急昇せしめんとする。これには制御器のハンドルを急に全ノッチ迄動かせばよろしい。然る時は勵磁機の界磁回路は勵磁電源に接続せられ直ちに r_g が短絡せられる。初めの中は發電機の界磁電流が流れざる故 R 部には勵磁機自身の界磁電流による電壓降下が生ずるのみで至つて僅少である。従つて最初の中は勵磁機の界磁抵抗は全部短絡せられたのに略等しい。故に勵磁機電壓は急速に上昇する筈である。然るに時間の経過と共に發電機界磁電流が流れ R 部に抵抗降下を生ずる。故に勵磁機電壓の上昇率が減すべく更に時間が経過して發電機界磁電流の流れが急増すれば R 部の電壓降下が急増し之がため勵磁機電壓は却而降下し初め

第三圖 日立式高速勵磁抵抗補償法接続圖



Schematic Diagram of Connections of Hitachi High Speed Excitation System by means of Resistance Compensation

第四圖 抵抗補償法による勵磁機及發電機界磁電流變化説明圖

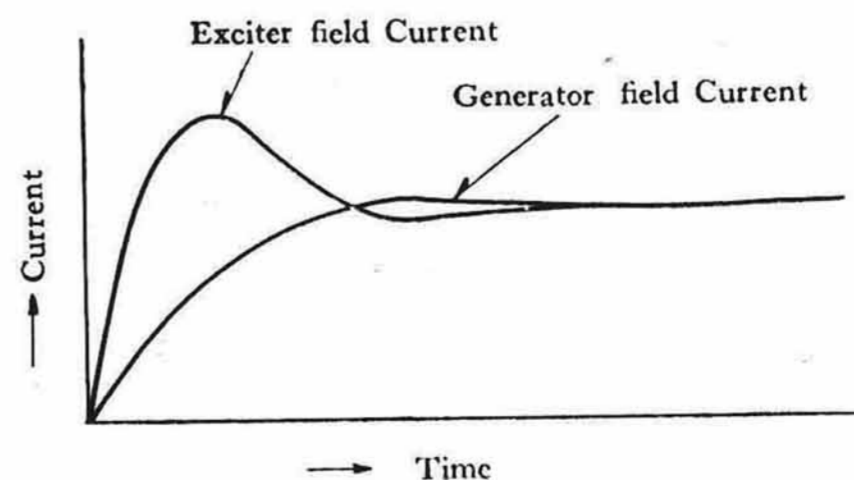


Diagram Illustrating Changing States of Exciter and Generator Field Currents by means of Resistance Compensation

る。斯くて最後に所要値に達し發電機の界磁電流從而其電壓も一定値となる。之を簡単に圖示すれば第四圖の如くである。この傾向は一般に調整動作の理想とする所である。

減速の際には r_g が挿入せられる。然し最初には發電機界磁電流が降下せぬ故 R部の電壓降下は依然同様從而勵磁機界磁電流は急減する筈である。逆轉の場合には勵磁機界磁回路の副勵磁機への接續が逆となる故界磁電流の降下逆轉が一層加速せらるること明かである。之等の關係を電壓平衡圖を以て示せば第五圖の如くなる。(A) は全電壓定常運轉状態の場合で副勵磁機電壓

EがR部に於ける電壓降下 E_R 及勵磁機界磁端子電壓 E_f とによつて平衡される。即ち $E = E_R + E_f$ である。 E_R は E_f に比して遙かに大なることは前説より明かである。逆轉の場合には(B)の如くEの方向が逆となる故最初界磁端子に $(E + E_R)$ なる電壓が加はる。即ち $E_f = E + E_R$ となる。之がため界磁電流は急降して逆轉する。(C)はこの變化状態を示したものである。

以上は簡單なる説明であるが、然らば實際に斯く理想的に行くや否や、之の疑問を解くべく實際に試験して撮れるオツシログラムを示すこととする。第六圖は夫れであつて(A)は r_g 短絡による全正勵磁に於ける上昇状態、

第五圖 電壓平衡圖及逆轉時における界磁電流變化説明圖

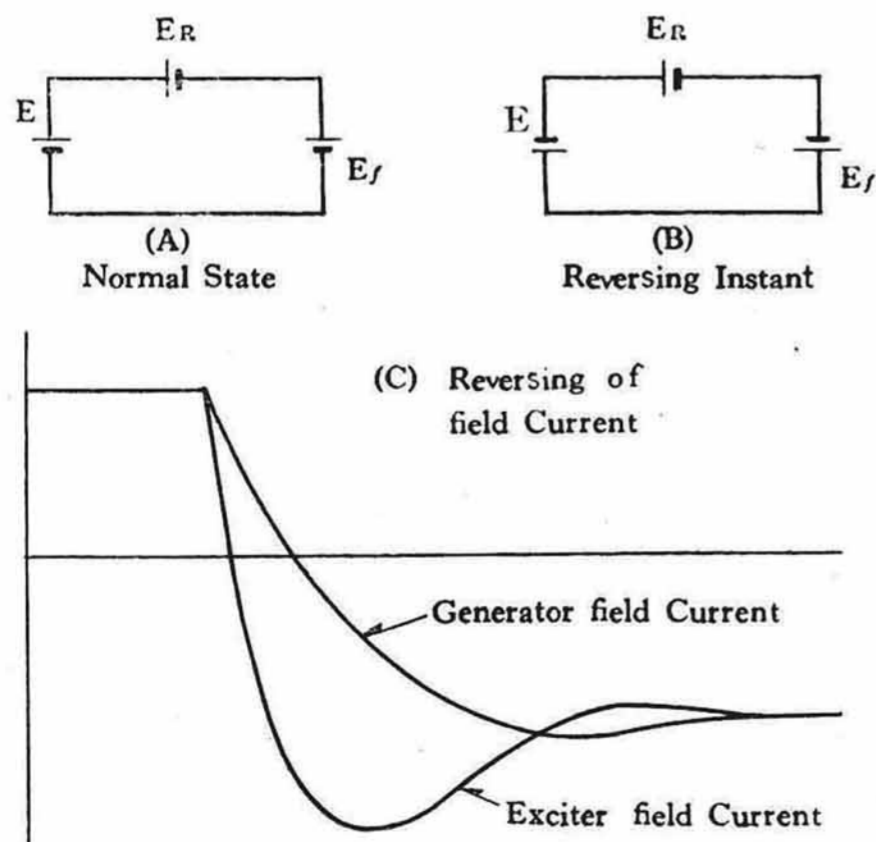
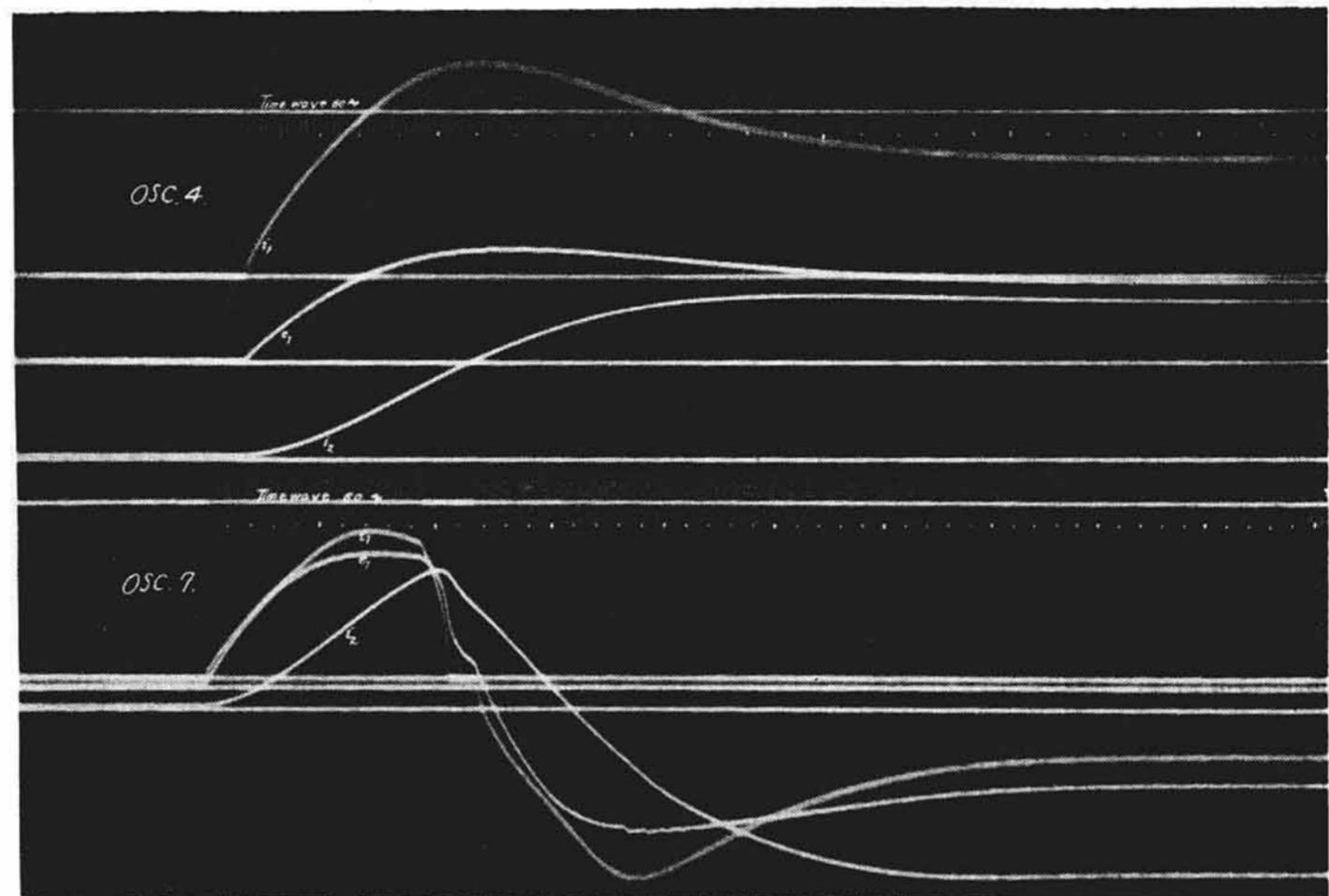


Diagram Showing Voltage Equilibrium and Overshooting States of Field Currents at Reversing

第六圖 日立式高速勵磁法による勵磁機及發電機界磁電流並に勵磁機電壓のオーヴァーシューティング働作状態を示すオツシログラム



Oscillograms Showing Overshooting States of Exciter and Generator Field Currents and Exciter Voltage, Hitachi High Speed Excitation System Being Applied (A) Building Up (B) Reversing

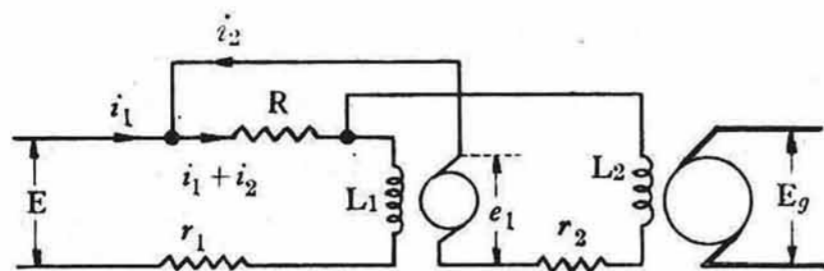
(B)は逆接續して全逆勵磁せる場合の逆轉状態を示すもので、正に第四圖及第五圖(C)に示す如くである。

以上の説明より明かなる如く本方法の原理はガヴァナーに於ける復原機構のそれに似た所がある。同機構は周知の如く撥條と彈壺とを巧みに組合した針狀辨とガイドベーンの動きを之に傳ふるアームとより成つて居る。極めて巧妙なれども複雑に出来てゐる嫌ひがある。本方法の装置は上の如く極めて簡單である。固よりオーヴァーシューティングをなさしむると云ふ根本原理に於ては變る所がない。蓋し高速勵磁にも機械的方法たるこの種の復原機構を適用し得べきことを俟たない。然し此電動機の如く塵埃の甚しく且つ荒仕事をする場所に複雑巧妙なる装置を用ふるは如何かと思はれる。寧ろ簡單確實なる電氣的方法たる本装置を適當とすると思ふ。要するに之はインダクタンスと抵抗との性質を巧用した電氣的自働補償法である。他にも或は應用の途があるかと思ふ。

尙之が理論的考察を簡単に述べてみれば次の如くである。先づ各部の記號を次の如く定める。(第七圖参照)

- E = 副勵磁機電壓 一定
- i_1 = 勵磁機界磁電流
- i_2 = 發電機界磁電流
- r_1 = 勵磁機界磁回路全抵抗 (Rを除く)
- r_2 = 發電機界磁回路全抵抗 (Rを除く)
- R = 補償抵抗

第七圖 記號說明圖



Notation Diagram

- L_1 = 勵磁機界磁誘導係數
- L_2 = 發電機界磁誘導係數
- e_1 = 勵磁機誘起電壓
- E_g = 發電機誘起電壓

計算を簡単にする爲め飽和を考へず L_1 及 L_2 を一定と假定する。然る時は誘起電壓は界磁電流に比例すべく、勵磁機に於けるこの比例定數を k_1 とする。依つて次の關係式が成立する。

$$e_1 = k_1 i_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$L_1 \frac{di_1}{dt} + (r_1 + R)i_1 + Ri_2 = E \dots\dots\dots (2)$$

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + (r_2 + R)i_2 + Ri_1 = e_1 = k_1 i_1 \dots\dots\dots (3)$$

(2) 及 (3) 式より i_1 及 i_2 を求め得べく、其解は次の如くである。

$$i_1 = i_1' + P\epsilon^{-\alpha t} \dots\dots\dots (4)$$

$$i_2 = i_2' + Q\epsilon^{-\alpha t} \dots\dots\dots (5)$$

i_1' 及 i_2' は最後の定状態に於ける値にして (2) 及 (3) 式に於て $L_1 \frac{di_1}{dt}$ 及 $L_2 \frac{di_2}{dt}$ を零とおきて簡単に求められる。第二項は夫々過渡電流を示し α は次の如き式をとる。

$$\alpha = \frac{1}{2} \left\{ \frac{r_1 + R}{L_1} + \frac{r_2 + R}{L_2} \pm \sqrt{\left(\frac{r_1 + R}{L_1} - \frac{r_2 + R}{L_2} \right)^2 - \frac{4R(k_1 - R)}{L_1 L_2}} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

根號の中が正なるか負なるかによつて α が實數又は虚數となる。實數の時には i_1 及 i_2 が非周期的變化をなし虚數の時は周期的變化をなすこと明かである。何れの變化をなすも最後には一定の値となることを俟たない。今 α が虚數をとる場合に就て究明して見ることにする。蓋し自動的にオーヴァーシュートする時は周期的變化をなすべきこと容易に想像せらるゝを以てある。便宜のため次の如き記號を用ふ。

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{r_1 + R}{L_1} + \frac{r_2 + R}{L_2} \right\},$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4R(k_1 - R)}{L_1 L_2} - \left(\frac{r_1 + R}{L_1} - \frac{r_2 + R}{L_2} \right)^2} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{依つて } \alpha = \alpha_1 \pm j\alpha_2 \dots\dots\dots (8)$$

然る時は (4) 及 (5) 式は次の如くなること明かである。

$$i_1 = i_1' + \epsilon^{-\alpha_1 t} (A \cos \alpha_2 t + B \sin \alpha_2 t) \dots\dots\dots (9)$$

$$i_2 = i_2' + \epsilon^{-\alpha_1 t} (C \cos \alpha_2 t + D \sin \alpha_2 t) \dots\dots\dots (10)$$

A, B, C 及 D は常數にして各式の一つ宛が任意である。之は初條件によつて決まるもので、假りに

$$t=0 \text{ の時 } i_1 = i_2 = 0 \dots\dots\dots (11)$$

とすれば

$$A = -i_1' \quad C = -i_2' \dots\dots\dots (12)$$

となり、これらの關係を (2) 及 (3) 式に代入すると B 及 D は簡単に次の如く求められる。

$$B = \frac{E - L_1 \alpha_1 i_1'}{L_1 \alpha_2}, \quad D = -\frac{\alpha_1}{\alpha_2} i_2' \dots\dots\dots (13)$$

(12) 及 (13) 式を (9) 及 (10) 式に代入すると i_1 及 i_2 の一般解となる。

計算例

以上理論的考察の下に得たる式に従ひ製鐵所納入品に就て計算を試みることにする。但し初め勵磁機の界磁を開放しおき勵磁機及發電機の界磁電流が零なる所を勵磁機の界磁を勵磁電源に結び之と同時に調整抵抗を r_f を短絡するものとする。(第三圖参照)

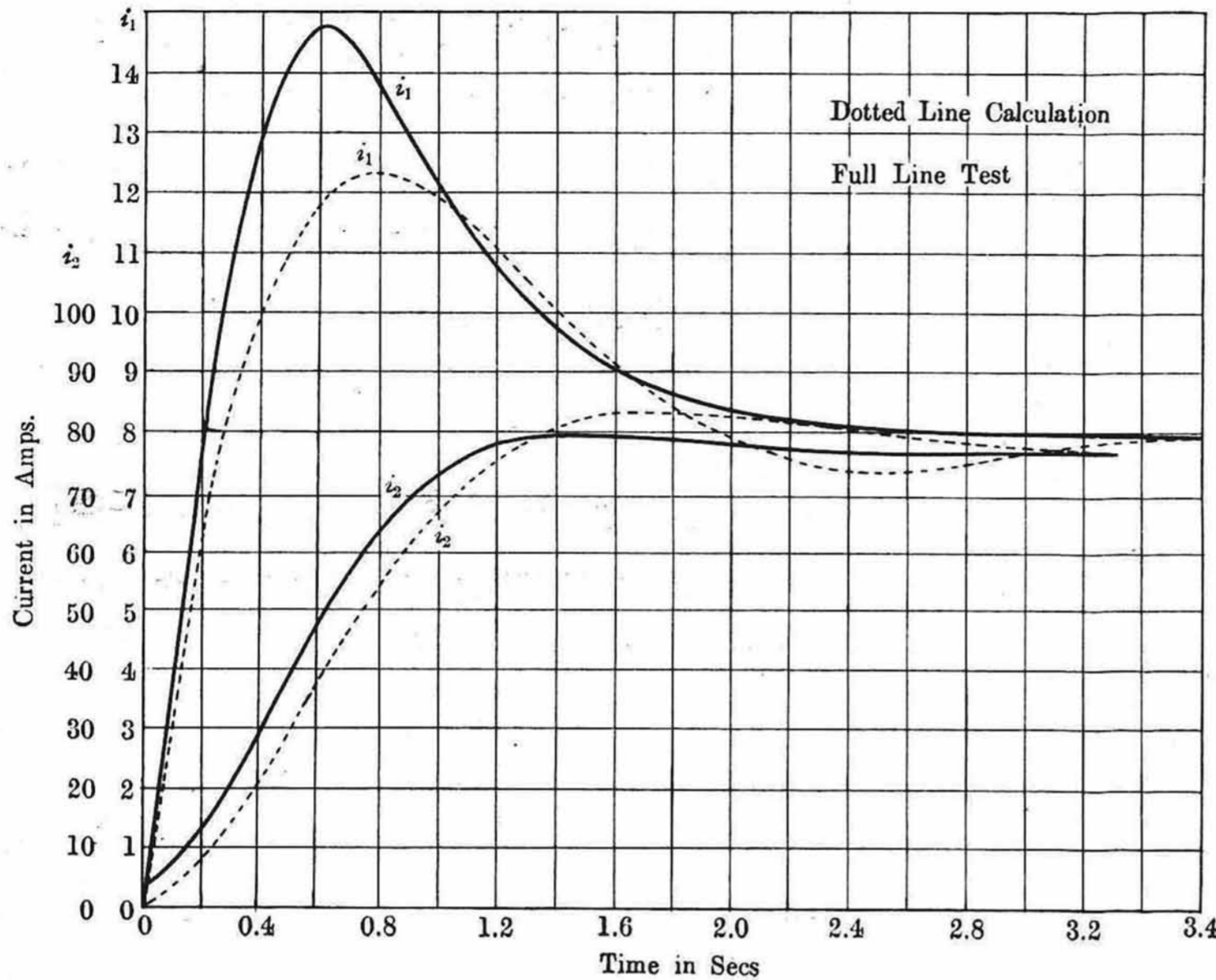
各部の定數及計算値を一々提示するは煩しき故簡単に結果を曲線圖として示すことにする。第八圖點線はこれである。同圖の實線は先きに述べたる實際試験のオツシログラム第六圖(A)より整算描寫せるものである。兩者若干異なるも傾向は全く同じく理論の正しきを證明する。兩者の差異は L_1 及 L_2 を一定と假定したることを始め回路の條件が必ずしもよく一致せざりしによる。

〔IV〕 速度變化の考察

高速勵磁を兎や角云々するも要はミル電動機の迅速なる速度變化を得るにあるを以つて、茲に章を更め本問題に就て少しく詳細に論究して見度いと思ふ。先づ各部の記號を次の如く定める。

- E_g = 發電機誘起電壓
- E_m = ミル電動機誘起電壓
- I = 發電機主電流
- R_a = 發電機及ミル電動機發電機合成抵抗
- E_o = 刷子電壓降下合成値
- n = ミル電動機回轉速度
- T = ミル電動機全廻轉力

第八圖 勵磁機及發電機界磁電流確立曲線圖



Build up Curves of Exciter and Generator Field Currents by Calculation and Test on Hitachi High Speed Excitation System

T_α = ミル電動機加速廻轉力

T_0 = ミル電動機摩擦及壓延廻轉力

Φ = ミル電動機界磁々束一定

然る時は次の如き諸式が得られる。

$$IR_a = E_g - E_m - E_0 \dots\dots\dots (14)$$

E_0 は負荷に無關係に一定と見なす。

$$T = (T_0 + T_\alpha) \propto I\phi = k_1 I (\because \phi = \text{一定}) \dots\dots (15)$$

(14)及(15)式より

$$\frac{1}{R_a} (E_g - E_m - E_0) = \frac{1}{k_1} (T_\alpha + T_0) \dots\dots (16)$$

又 ϕ が一定なる故 E_m は速度 n に比例する。之の比例定数を k とする。即ち

$$E_m = kn \dots\dots\dots (17)$$

E_g は實際には前章に述べたる如く時間 t に對し複雑なる變化をなすも斯くしては解法困難なる故今簡単に次に示す如く t の一次函數とする。

$$E_g = et + E_{g'} \dots\dots\dots (18)$$

e は明かに毎秒の電壓上昇率、 $E_{g'}$ は $t=0$ に於て發生し居る電壓を示したものである。又 T_α 即ちミル電動機の加速用廻轉力は其慣性モーメントと加速度との積に比例する筈にして前者は一定なる故次の如く表はし得る。

$$T_\alpha = m \frac{dn}{dt} \dots\dots\dots (19)$$

(17)(18)及(19)を(16)式に代入して整理すれば次の如くなる。

$$\frac{dn}{dt} + \frac{k_1 k}{m R_a} n = \frac{k_1 e}{m R_a} t - \frac{k_1}{m R_a} \left(\frac{T_0}{k_1} + \frac{E_0}{R_a} - \frac{E_{g'}}{R_a} \right) \dots\dots\dots (20)$$

(20)式の一般解は次の(i)なる特解と(ii)なる同次方程式の一般解とよりなること明かである。

$$(i) n = A + Bt, (ii) n = C e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (21)$$

A, B 及 C は夫々常數で、この中 A 及 B は(20)式より直ちに求められるが、C は初條件によつて決まる。A 及 B を求むるには(i)を(20)に代入し t の有無により整理して兩者の簡單なる一次聯立方程

式を作ればよろしい。斯くして求めたる A 及 B は次の如くである。

$$A = -\frac{R_a}{k} \left(\frac{E_0}{R_a} + \frac{T_0}{k_1} + \frac{me}{k_1 k} - \frac{E_{g'}}{R_a} \right),$$

$$B = \frac{e}{k} \dots\dots\dots (22)$$

又 α は(20)式より直ちに次の値をとること明かである。

$$\alpha = \frac{k_1 k}{m R_a} \dots\dots\dots (23)$$

それ故(20)式の一般解は次の如くなる。

$$n = \frac{e}{k} t - \frac{R_a}{k} \left(\frac{E_0}{R_a} + \frac{T_0}{k_1} + \frac{me}{k_1 k} - \frac{E_{g'}}{R_a} \right) + C e^{-\frac{k_1 k}{m R_a} t} \dots\dots\dots (24)$$

C を決定すべく初條件を次の如く定める。

$$t=0 \text{ の時 } n=n', \text{ 勿論 } E_g = E_{g'} \dots\dots (25)$$

然る時は(25)式は次の如くなる。

$$n = \frac{e}{k} t + \frac{R_a}{k} \left(\frac{E_{g'}}{R_a} - \frac{E_0}{R_a} - \frac{T_0}{k_1} - \frac{me}{k_1 k} \right) - \frac{R_a}{k} \left(\frac{E_{g'}}{R_a} - \frac{E_0}{R_a} - \frac{T_0}{k_1} - \frac{me}{k_1 k} - \frac{kn'}{ka} \right) \times e^{-\frac{k_1 k}{m R_a} t} \dots\dots\dots (26)$$

(26)式は即ち求めんとする速度の一般式である。

速度上昇率は(26)式を微分することによつて求められる。即ち

$$\frac{dn}{dt} = \frac{e}{k} \left(1 - \epsilon^{-\frac{k_1 k}{m R_a} t} \right) + \frac{k_1}{m} \left(\frac{E_g'}{R_a} - \frac{E_0}{R_a} - \frac{T_0}{k_1} - \frac{kn'}{R_a} \right) \epsilon^{-\frac{k_1 k}{m R_a} t} \dots\dots\dots(27)$$

扱て E_g' と n' との間には一定の関係ある筈にて之は(14)(15)及(17)式より次の如く求められる。

$$E_g' = k_a n' + \frac{T_0}{k_1} R_a + E_0 \dots\dots\dots(28)$$

(28)を(26)及(27)式に代入すると夫々次の如くなる。

$$n = \frac{e}{k} t + \frac{m R_a e}{k_1 k^2} \epsilon^{-\frac{k_1 k}{m R_a} t} + n' - \frac{m R_a e}{k_1 k^2} \dots\dots\dots(29)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{e}{k} \left(1 - \epsilon^{-\frac{k_1 k}{m R_a} t} \right) \dots\dots\dots(30)$$

今(30)式に就て推論してみることにする。先づ過渡現象の指數定數たる $\frac{k_1 k}{m R_a}$ を調べるに、製鐵所納品に於ては15以上の値を示し極短時間の中に過渡現象の消失するを知る。故にこの項を省略して考ふると次の如く簡単になる。

$$\frac{dn}{dt} = \frac{e}{k} \dots\dots\dots(31)$$

之は容易に想像し得る所である。 k はミル電動機の定格電壓及速度が決まれば自ら決まる定數で如何ともすることが出来ない。従つて $\frac{dn}{dt}$ を大にするには e を大にするより外に途がない。これ最初より高速勵磁を云々する所以である。之を要するに尨大なるミル電動機も其慣性モーメントに拍束せらるゝことは僅少で、殆ど發電機電壓に追従して速度變化をなすを知る。

上の理論的考察に於ては最初斷れる如く電壓上昇率を一定と假定した。實際には前章の如く界磁誘導係數が入り來りて複雑なる變化をする。然し斯く可變的としては解法は並大抵でない。ミル電動機に於ては發電機電壓を廣範圍に變化し、其飽和特性曲線は直線的部分が可なりある故、直線的電壓變化として大體の速度變化の狀況を知ることは要領を得た方法であると思ふ。此の速度變化を計算した結果は發電機電壓の $1,000V / sec$ なる變化に對し $44.5 r.p.m./sec$ なる値を示した。次の組合試験結果によれば之によく接近せる値を示す。

〔V〕 組合試験

製鐵所納品の主機仕様を簡単に摘記して見れば次の如くである。

イリグナー變流機

直流發電機 連続 2,000 kW 0 ± 600 V, 500 r.p.m. 3 臺

連續全容量 6,000 kW 全電壓 0 ± 1,800 V

誘導電動機 連續 7,000 HP 3φ, 25~, 3,300 V 6 極

1 臺

蓄勢輪 $GD^2 = 480 t - m^2$

1 臺

ミル電動機

容量連續 7,000 HP 最大 23,600 HP 0 ± 1,800 V 廻

轉力連續 63 t-m 最大 240 t-m 1 臺 斯かる尨大なる

機械の組合試験を實施するの困難なるは容易に想像せら

れる所、殊に誘導電動機の25~は最も苦痛とする所である。

幸ひ 2,000 kW 水銀整流器ありし故之を電源とし第九圖の如く發電機の一臺を電動機として同電源より廻した。

各發電機は全勵磁しおきミル電動機も亦勵磁して發電機に接続しおく故電動機は發電機に追従して回轉する。

斯くて全電壓全速度の状態たらしめる。茲に於て發電機を整流器より切離して直ちに全逆勵磁する。發電機電壓從而電動機は逆轉する。之より電壓及速度變化を試験せんとするものである。

因に變流機の運動エネルギーはミル電動機のそれに比して遙かに大なる故之により大體運轉に近き速度變化の試験をなし得る譯である。勿論電動機の減速逆轉の際に突電流を生じ電氣的エネルギー損失を來す故逆轉全速度には達し得ない。電動機の全速度は 80 r.p.m. なるが本試験にては 82 r.p.m. を示した。本試験は勿論制御器によつたもので正轉全ノッチより逆轉全ノッチ迄急に動かした。第十圖オツシログラム(No

第九圖 組合試験接続圖

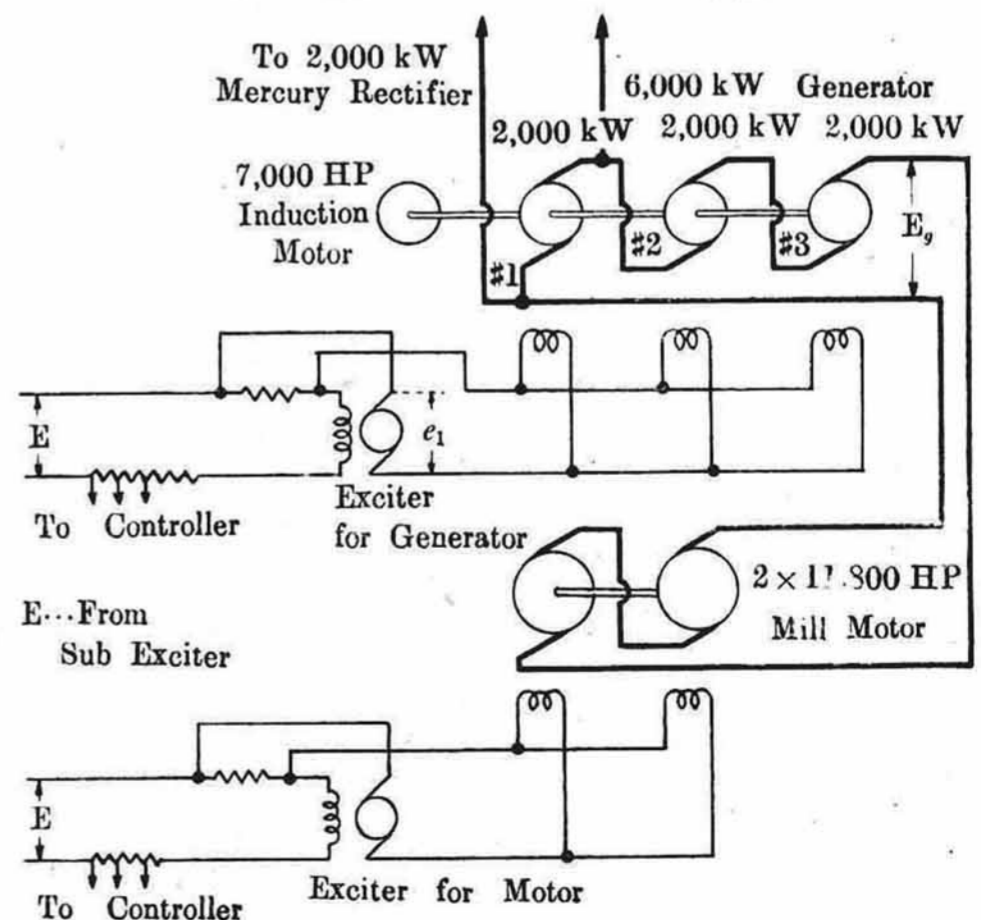
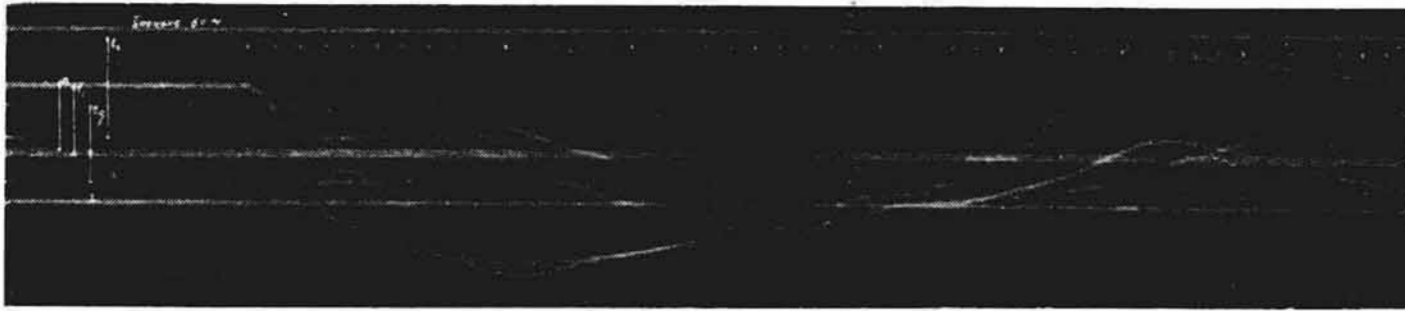


Diagram of Connections for Combined Test of Mill Motor

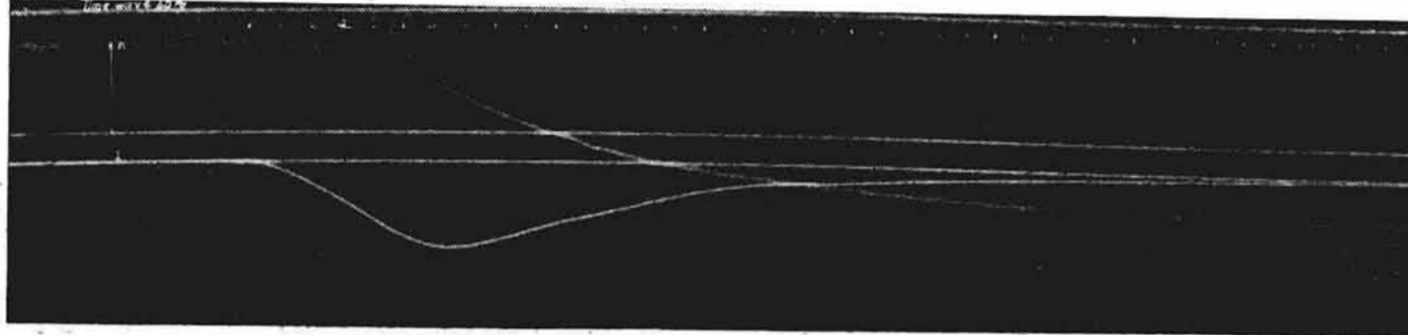
第十圖 組合試験 オツシログラム



Oscillogram at Combined Test

i_1 Exciter Field Current i_2 Generator Field Current
 E_g Generator Voltage n Mill Motor Speed
 I Mill Motor Armature Current

第十一圖 組合試験に於ける電動機速度及發電子電流を示すオツシログラム



Oscillogram Showing Speed and Armature Current of Mill Motor at Combined Test

B-696) は此の結果である。

今制御器の始動時を $t=0$ として速度 n 及發電機電壓 E_g を算出すれば次の如くである。

t	0	0.8	1.3	sec
n	82	52.3	0	r.p.m.
E_g	1,800	1,008.8	-100.8	Volts

n 及 E_g の變化率を求むると次の如くである。

(i) 最大變化

第十圖を見ると $t=0.8$ より $t=1.3$ sec の間にて最大變化をなしをる故其所に切線を引きて最大變化を求むると次の如くなる。

速度 n $52.3/0.5=106.4$ r.p.m./sec
 電壓 E_g $1,109.6/0.5=2,219.2$ V/sec

(ii) 平均變化

$t=0$ より $t=1.3$ sec 迄の平均値を求むると次の如くである。

速度 n $82/1.3=63.1$ r.p.m./sec
 電壓 E_g $1,900.8/1.3=1,463$ V/sec

今電壓が 1,000V/sec の變化をなすものとして速度の變化率を換算すれば次の如くなる。

(i) より $104.6 \times 1,000/2,219.2 = 47.2$ r.p.m./sec
 (ii) より $63.1 \times 1,000/1,463 = 43.2$ "

前章の速度變化の理論的考察に基く計算結果に従へば 1000V/sec の電壓上昇率に對し加速度は 44.5 r.p.m./sec である。故に彼我よく一致するを知る。機械的問題なる故

この程度の結果は良好のものと云ふべきであると思ふ。

第十圖オツシログラムに於て勵磁機電流に段階のつき居るは制御器ハンドルの動かし方が瞬時的ならざりし爲め接觸器が順に働いた結果である。然しこの状態にしても同電流が可なりオーヴァーシュートして抵抗補償法の有効に利きをるを示してをる。尙同オツシログラムには諸種量が重合つて混沌として居る故確然と速度變化を示す爲め第十一圖オツシログラムを撮つた。但し發電子

電流を入れた。この場合の制御器ハンドルの動かし方が前の場合より速かりしと見え最大 1.185 r.p.m./sec を示して居る。

〔VI〕 結 言

以上壓延機用イルグナー式ミルモーターに於て高速勵磁の必要な所以及之に對應すべく案出せられたる日立式高速勵磁法の説明を掲げ、併せて電壓及速度變化の理論的考察を述べそれによる計算結果と實際に近き試験結果とがよく一致することを紹介した。特に茲に強張り度きは壓延作業に於ける高速勵磁は眞實其必要に迫られて起る問題にして若し之が不成績なる時は壓延機用として落第する程然様に重要性を帯びるものであるといふことである。日立製作所にては茲に鑑みる所あり勵磁機の時定數を極力改善し、且つ機械をして充分其効果を發揮せしむべく抵抗補償なる特殊方法を講じた。之は大いに機宜に適した處置と云ふべきである。

更に特記し度きは斯かる尨大なる機械の實際に近き組合試験を果したることである。殊に最短納期にかゝはらず之を實行したるは日立製作所の意氣を示すものと云ふべく、勿論之は非常の努力と緊張とを以てなされ、馬場副工場長總指揮の下に鎌居試験係長及前原試験係員其他諸氏の熱誠が能く之を果したものである。尙本稿記載の理論的考察に於ける計算は久保俊彦氏及中村元和氏の努力に負ふ所大である。茲に記してこれら諸氏に深甚感謝の意を表する。 (完)

大容量ミル電動機製作一般

工學博士 馬場 桑 夫

General Description of a Large Rolling Mill Motor Set

By Kumeo BABA, *Kogakuhakushi*

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

A general description of a rolling mill motor set of the Ilgner system manufactured for the Imperial Government Steel Works by Hitachi, Ltd. is given here.

The set is not only the largest in our country but also may be one of the largest in the world. The complete set has been finished in 150-160 days, that is about 5 months, with remarkable rapidity and success.

As the load of the total set is very great and, moreover, the speed of the mill motor variable, the following points were carefully considered;

1. Safety and reliability in commutation.
2. Rapid and easy control both for reversing direction and for changing speed.
3. Ruggedness in mechanical design and construction.
4. Shop test as severe as in actual condition.

Moreover careful consideration was paid to the scheme of transporting the mill motor on account of its enormous size and weight.

〔I〕 緒 言

過ぐる昭和七年七月突如製鐵所より大型ミル電動機製作の見積を要求された。與へられたる仕様によれば差當り鋼條壓延用の三段ロール式で、將來大型分塊可逆式壓延に適する様にすべしとあり、壓延機は中間加熱をせぬ式で、壓延容量及壓延材の仕様は下の如くなつて居る。

壓延容量毎時	100 tons
壓延前每米重量	300 乃至 650 kgs
壓延後每米重量	30 乃至 150 kgs
一塊重量	2 乃至 5 tons

製產品は I 形鋼、溝形鋼、鋼矢板等々である由である。是が電力運轉の全設備を請負はぬかと云ふ御話で製鐵關係の事柄は詳細に教へられ且つ充分なる指定を受けるのであつた。所謂イルグナー式 (Ilgner system) で、主電動機は連続 7,000 HP 其定格速度は 80 r.p.m. である。

交流は 25 サイクルであり、變流機の直流側は三基の 2,000 kW とする、其他詳細仕様はあるが概観してなかなか大物である。全設備はざつと五六百種のものだと見當はつけたが諸製作期間は帝國政府の年度決算期前に納

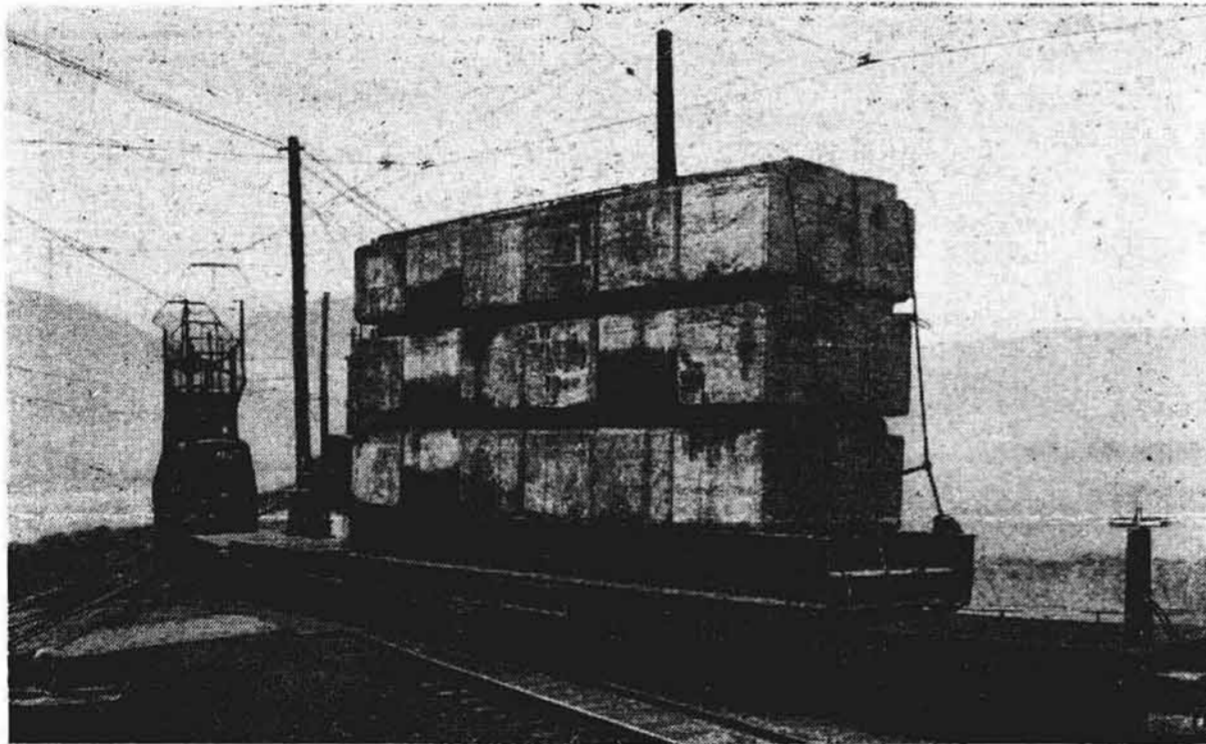
入す可き事が嚴定せられた。設計は持合して居ないし、運送日数を差引くとつまり一百餘日しかないので、本品製作の最大難點が其工程に歸する事を直覺した。元來此位の設備は云ひ出してから半歳内に完成するは異例であると考へられる、先づ一年を要する筈故可成仕事に無理が來るものと憂慮された。然し衆良く一致協力の實を挙げ如實に一百餘日内の完成を實現したるを見た時に今更ながら協力の効果に感嘆させられた。従つて本設備完成に對し人目につき難き所謂下積的工作に當れる人々の勞苦を深く感謝するものである。要するに仕事が急ぐと云ふ點が最難點の一つで晝夜の連業の如きは引續いて行はれた。仕事の始めに於て機械仕上、絶縁、組立等の工程表を作つて見ると時間の餘裕が零と云ふ形でそれから考へると一つ間違付いたらもう駄目だと云ふ實にキワドイ形なので品物は優等に安全にと云ふ氣分が加へられ種數は聊豫定の上に出る事になつた。幸にして豫期以外の製品に於ける失敗は絶無であつたが斯く安全主義を採れる關係上此時間的窮屈を考への外に置いて見るとおかしいなと云ふ點が製品に表はれてをるかと思はれる。注文は八月十日頃の決定であつて精細なる設計は約五十日位を要したと思ふ。現品の試験は一月二十日に始まり正味

百十日の工作であつた。根本の考へを工程第一主義とした。複雑せる製品で一つも失敗を許さぬと云ふ仕事は容易ではなかつた。期間制限難に續いて亦運送上の難儀も大であつた。工場から持出す時に30吋軌道なので運送の模擬試験を幾回も繰返した。之は第一圖が明かに物語る所である。之に就き日立鑛山の運輸方面の方には非常なる援助を受け茲許に厚く謝する所以である。

〔II〕設備概要

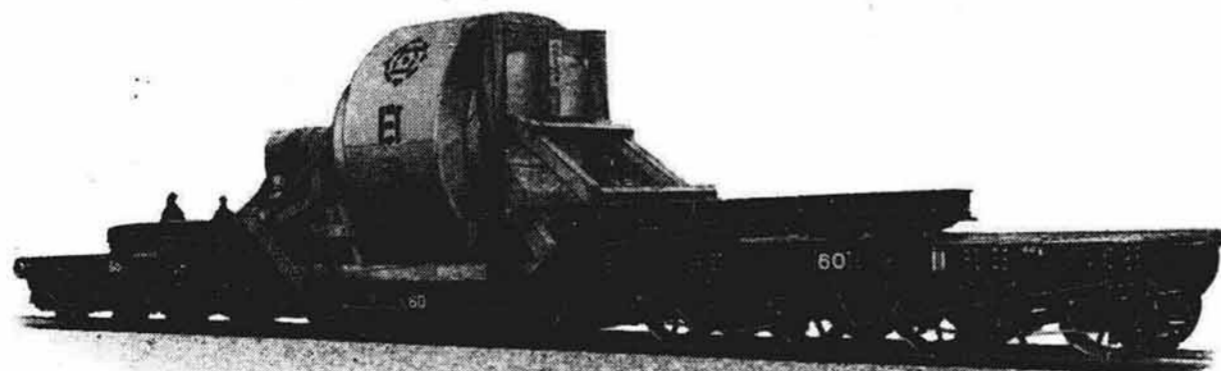
イルグナー式の事として全設備には偉大なる蓄勢輪が附隨して居つたのであるが、仕事やら運送費用の都合で是を製鐵所自作に其下請を御願ひした。但し輪板以外の車

第一圖 ミル電動機運送の豫備試験（専用電車軌道に於て）



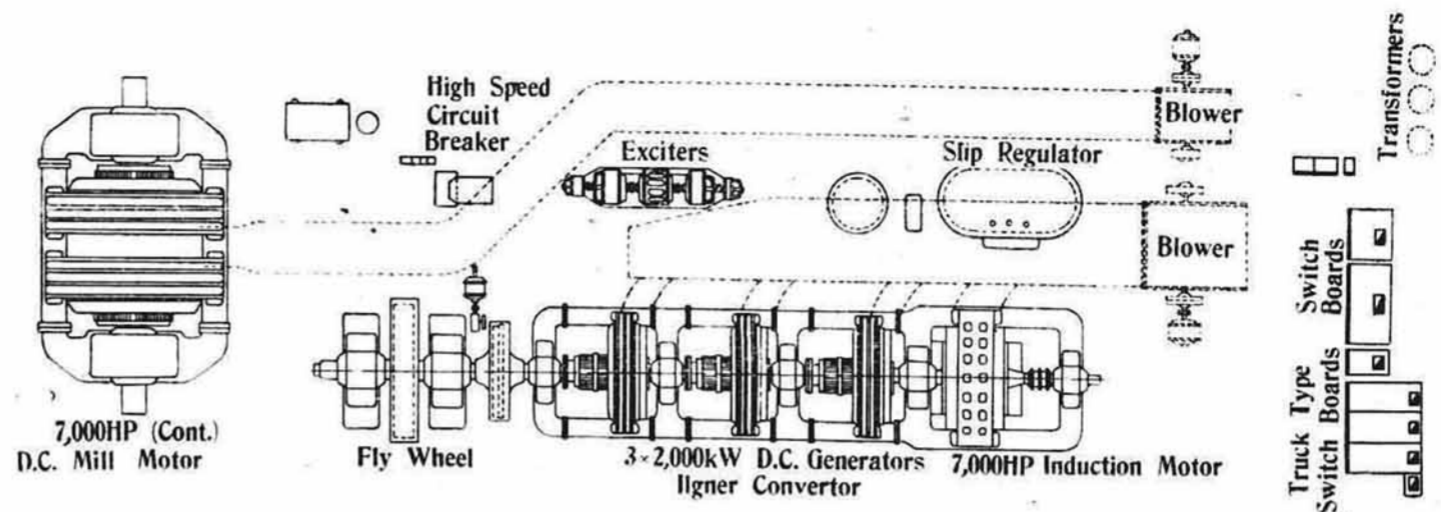
Preliminary Test for Transportation
The artificial load consists of concrete blocks and is 63.5 t in weight. The test is carried out for the purpose of insuring the safety of the railway of 30 pound narrow gauge which connects Hitachi Works to the Government Railway

第二圖 二月二十八日助川驛出荷のミル電動機電動子



One of Double Armatures of 7,000 HP Mill Motor, Forwarded on February, 28 th Being Loaded on Special Trucks

第三圖 製鐵所第三大形工場機械据付平面圖



Arrangement of Electrical Equipment at No. 3 Rail and Structure Mill Plant, The Imperial Government Steel Works

軸やら軸受やらは供給した。依つて四米餘の巨大なる輪板を除いた以外の全部を製作した事になつて居る。

7,000 HP は換算して約 5,300 kW である。鐵の壓延は壓延の仕方にも依るが大體一砲當り 50 乃至 55 kWh を要すると云ふ。故に本設備は明かに毎時一砲が目安である。第三圖は据付けられた現場の平面略圖であるが、

既設 B B C 社機の隣りであつてミル電動機は既設品と一直線上に軸心が一致し、其何れの壓延機を何れの側からも運轉し得可き關係にある。本設備の主機は次の如きものである。

1—7,000 HP 二重電動子式直流ミル電動機

- 電 壓 2×900=1,800V
- 速度全勵磁にて 0—80 r.p.m.
- 同弱め界磁にて 80—180 r.p.m.
- 定格廻轉力(3,150A 相當)63½ t-m
- 最大廻轉力(9,500A 相當)180 t-m
- 極限廻轉力(13,000A 相當)240t-m

1—7,000HP 25サイクル三相誘導電動機

- 電 壓 3,300V
- 速 度 500r.p.m.
- 滑り調整器付き

3—2,000 kW 500 r.p.m. 直流發電機

- 電壓各 600 V 即 3×600=1,800 V
- 但し +1,800 V→0→-1,800 V 可逆式

1—フライホイール

- 容 量 GD²= 480 t-m²
- 速 度 常用 500 r.p.m. 乃至 400 r.p.m.

である。尙是に下の如き品々が附隨する

- 滑り調整器 一 式
- 交流配電盤 一 式

電動機用勵磁機	一 臺
發電機用勵磁機	一 臺
副 勵 磁 機	一 臺
複捲用勵磁機	一 臺
全勵磁機用電動機	一 臺
接觸器及繼電器類取纏盤	一 揃
主幹制御器	一 臺

外に諸抵抗器、遮斷器、小計器盤配電函及變壓器等必要器具一式が付く。イルグナー變流機には(始動及空轉用)バリングギヤ (Barring gear) と云ふものあり、又主機が強通風冷却の爲めイルグナー變流機に一臺と主ミル電動機に一臺と夫々電動送風機を具へてある。場所柄塵埃が多過ぎる故に空氣清淨器を通し清められたる空氣で冷却する事になつて居る。

〔III〕 本設備の特徴

諸本設備に於て聊か特種と考へらる要點あり今日發達せる強電流工業でも必ずしも容易と云へぬ筋が數項あつた。即ち

整流の安定は其第一點である

制御の確實迅速は其第二點である

機構の堅牢は其第三點であらねばならねばならぬ

凡そ鐵の壓延は仕事が荒つほい。そして品物には大塊あり或は細き長尺物もあり、又熱に高低あり形に幅の廣狭あり、ロールに太き細きありと云ふ風に數學の所謂變次元が夥しい。此等の夥しき次元の變化要素に全部要領宜く應動する爲めには機嫌只さへ宜敷からざる整流は可成面倒となる。大體として廣汎に速度を變化し従つて電壓或は磁氣の變動甚しく同時に負荷も不定で急峻變化ある爲めである。是等の細論は項を別つて論ずべきも要するに容易なる整流と云ひ難い。深甚なる考慮を拂はねばならなかつた第一點である。

制御様式の要領に到つては鐵の可逆回轉式壓延に電氣を應用して可なりや否やの懸つた點であると思ふ。凡そ鐵の壓延に電氣方式採用せられたるは今世紀になつてからである。そして先づ誘導電動機とフライホイールとを壓延機に直結せる單純なる電動様式が應用せられたのであつた。此の様式は明かに可逆式運轉に可成不向きである。そこで可逆式壓延にはイルグナ

ーが用ゐられ出した。されど第一此方式は直流の電動機と發電機とをロールと電動機との間に挿入せる形とて高價になるし場所も廣く急速に其電化は進みにくかつたらしい。直流運轉では明かに速度變化の自由度は充分であるが速度變化の速さ即ち逆轉なら、其逆轉への加速度が割合に遅い。蒸汽の方が速く速度を變へ得る。加速度は直ちに壓延鐵の製産量を支配する。故にイルグナー式に電化する場合に其加速度を追求せらるゝ事は頗る急である。加速率の大小が直流化の死命點となるは此爲である。一般に電動機は其回轉子が機械的慣性を有する其上イルグナーでは發電機の磁氣的慣性が偉大である。此等機械的及磁氣的慣性は速度變化の加速率を著しく遞下する。故に茲許に制御様式の重大使命があるわけで此事に關しても詳論は別項になつてをるが、要約して考へるとミル電動機自身の電動子機械的慣性は發電機の磁氣的慣性に比し極めて小さい。試験はミル運轉の加速率は發電機電壓變化の速度にのみ依る事を示し百餘種の電動機電動子の機械的慣性は何等電壓と速度との間に相差を與へぬ事を明かにして居る。従つて制御様式として確實簡易に續き發電機電壓の變化速度即ち Volts per sec を大とす可く可成の努力を拂つたのであつた。

第四圖は誘導電動機蓄勢輪を以てする簡易なる壓延機の電化様式である。此式は速度變化の範圍は狭いが最も汎く行はるゝ標準電化様式である。細き長尺物壓延には好適である。通過の進みに應じ速度を増加す可き場合は

第四圖 誘導電動機及蓄勢輪運轉單純ロールミル

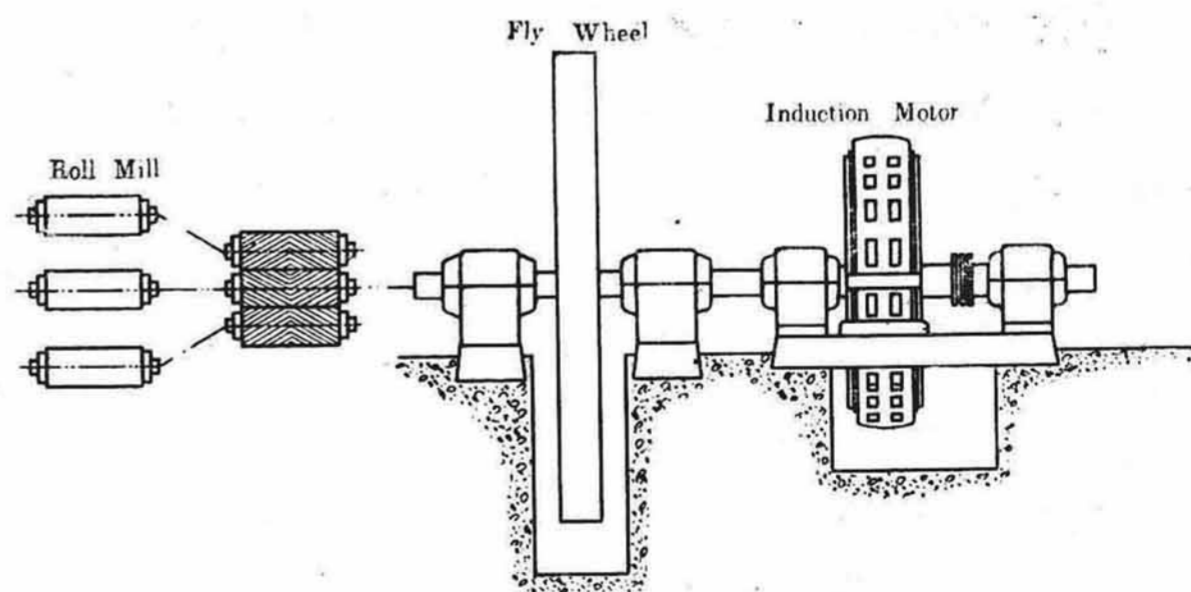


Diagram Showing Roll Mill Simply Operated by Induction Motor Equipped with Fly Wheel

スタンド(stand)を分つて増速すれば、線材伸延の如くもやれる。滑り調整器と蓄勢輪との働きはイルグナー變流機と同要領である。然し被壓延品が太くて短かき時は咬み込み速度を落す可き要求を來しつまり速くては咬まな

第五圖 イルグナー式電動ロールミル

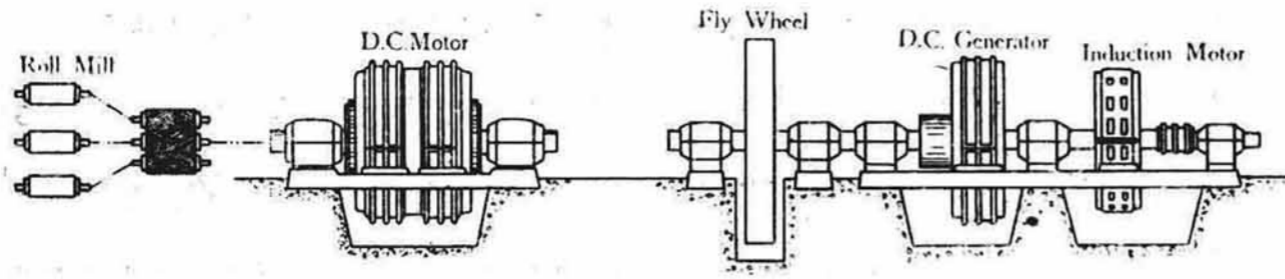


Diagram Showing Roll Mill Operated by Ilgner System

い。咬み込んだが最後加速したいそして太短き初期壓延は可逆運轉が望ましい相である。此等の要求が切なる時は即ち誘導電動機と壓延機とを分離して前者に直流發電機を後者に同電動機を付ける第五圖様式にすれば、是がイルグナーで速度の調整及方向轉換は自由自在である。只残るは其加速率問題であらう。是等の關係はガソリン機關又はデイゼル機關で車輛を運轉する時直流發電機を機關側に同電動機をタイヤ側に聯結すると同原理である。ガソリンの場合も直流發電機及電動機を除き直接運轉の多いが大型車輛は是を挾むを有利とするが如く鐵壓延にも相似たりと思はれる。且つ熱鐵は壓延通過の進むに従つて溫度は冷へて來る品物は細永くなる壓延力は遞減すると云ふ形であるから直流機一組を挿し挾めば極めて望むに近い運轉を爲し得ると思ふ。兎に角斯くの如き理に據りイルグナーとなつたとして偕て其繰返し可逆運轉を迅速化する制御方式如何を略考する。

第六圖は可逆壓延に於ける時間と速度とのサイクルである。已述速度は電壓に比例するから電壓と時間とのサイクルと考へてよろし。第七圖は今回吾々の採れる式で所謂間接勵磁式である。時間的遅れが重要視せらるゝ所に直接發電機勵磁回路の制御を採らざりしは、別に説かるゝが如き吾が確信を有せる爲である。今 C_0 及 C_1 を定數とせば

第六圖 可逆壓延サイクル

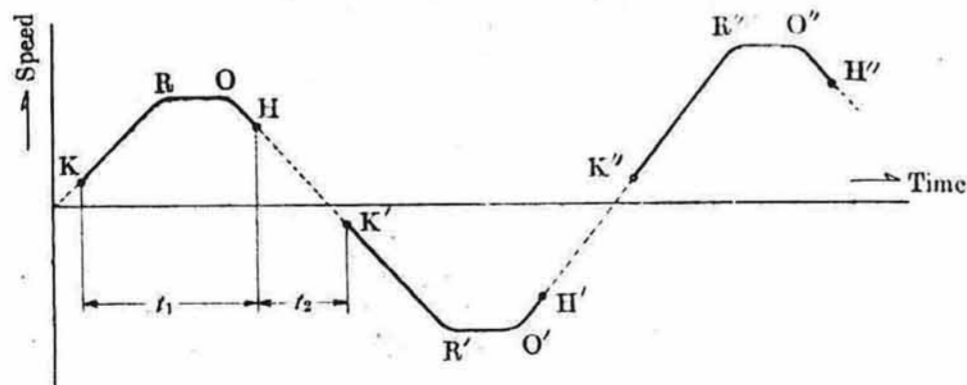


Diagram Showing the Operating Cycle of Reversible Mill

- K Point of Rolling in
- KR Speed up
- RO Speed constant
- O Point of interruption of power supply
- H Point of rolling out
- HK' Reverse acceleration
- K'H' Normal acceleration

$$N = \frac{1}{C_0} : V_g = \frac{1}{C_0 C_1} \cdot I_{fg} \dots \dots \dots (1)$$

N は壓延速度で V_g 及 I_{fg} は發電機の電壓及其勵磁電流である。故に第六圖の如き速度サイクルは發電機勵磁電流の交番サイクルを要する筈となる。茲許に交番サイクル數は運轉把手の實際速度を比例直示する。故に逆轉

の速さの限度は此サイクル數の限度に相當する。第八圖

第七圖 イルグナー式電動ロールミル制御方式結線圖

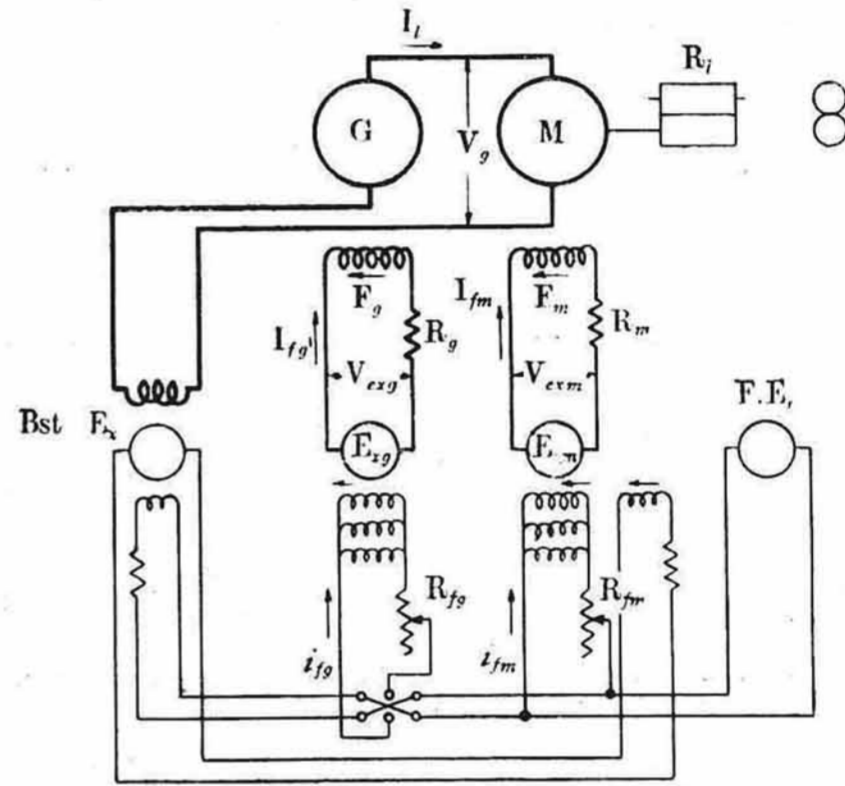


Diagram of Connections Showing Indirect Control Scheme for Mill Motor on Ilgner System

はイルグナーの逆轉の速さを論ずる等價交流回路である。 V_g を甚だ速い交番をやらす爲めには夫に相當する速さの交番界磁電流 I_{fg} を要し、従つて亦 E_{xc} の端子交番電壓の迅速なる周波數の變化を要求する。

$$\begin{aligned}
 V_{AC} &= I_{fg} \cdot \sqrt{R^2 + X^2} \\
 &= C_0 \cdot C_1 \cdot N \cdot \sqrt{R^2 + X^2} \\
 &= C_0 C_1 N_{mx} \sin \omega t \cdot \sqrt{R^2 + X^2} \\
 &= C_0 \cdot C_1 N_{mx} \sqrt{R^2 + (2\pi f)^2 L^2} \sin 2\pi f t \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

茲許に N_{mx} は正の定最大速度で L は自己誘導である。瞬時速度を慮外とすれば

第八圖 直流高速可逆電動機等價回路圖

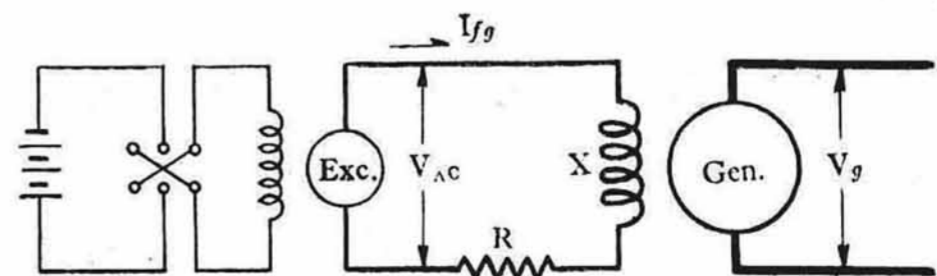
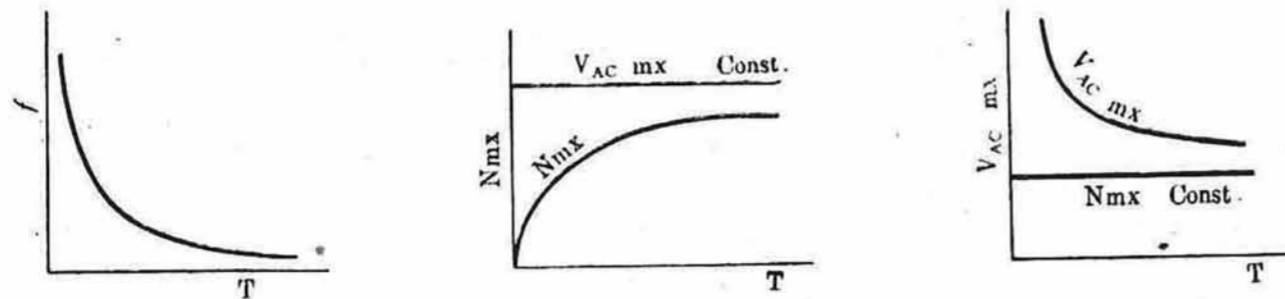


Diagram of Equivalent Circuit of Reversible Mill Motor on High Speed Excitation System

- V_g Voltage of Generator
- V_{AC} Alternating Magnetizing Voltage
- R Total Resistance of Field Circuit
- I_{fg} Field Current of Generator
- X Field Reactance
- E_{xc} Alternating Voltage of Exciter

第九圖 加壓電壓と運轉可逆周期及最高正逆回轉數と同周期との關係圖



Relations Among Exciter Max. Voltage $V_{AC\ mx}$, Motor Max. Speed N_{mx} and Operating Period $T (= \frac{1}{f})$

$$V_{AC\ mx} = C_0 \cdot C_1 \cdot N_{mx} \sqrt{R^2 + (2\pi L)^2 f^2} \dots\dots (3)$$

勵磁電壓と正逆轉の最高速度と周波數 f との三者の基礎關係が最も簡潔なる形に表はされる。

- (1) 交番の速さ即ち f を一定とすれば、最高速度値と勵磁機電壓とは略正比例する。
- (2) 勵磁機電壓の最高値を一定と考ふれば交番の速さ f の大即ち把手の高速運轉(或は運轉周期 T の小)は達し得る最高速度を遞下する。
- (3) 正逆最高回轉速度を一定とすれば、交番速度 f 即ち運轉速度の最高限度は勵磁機電壓に支配される。

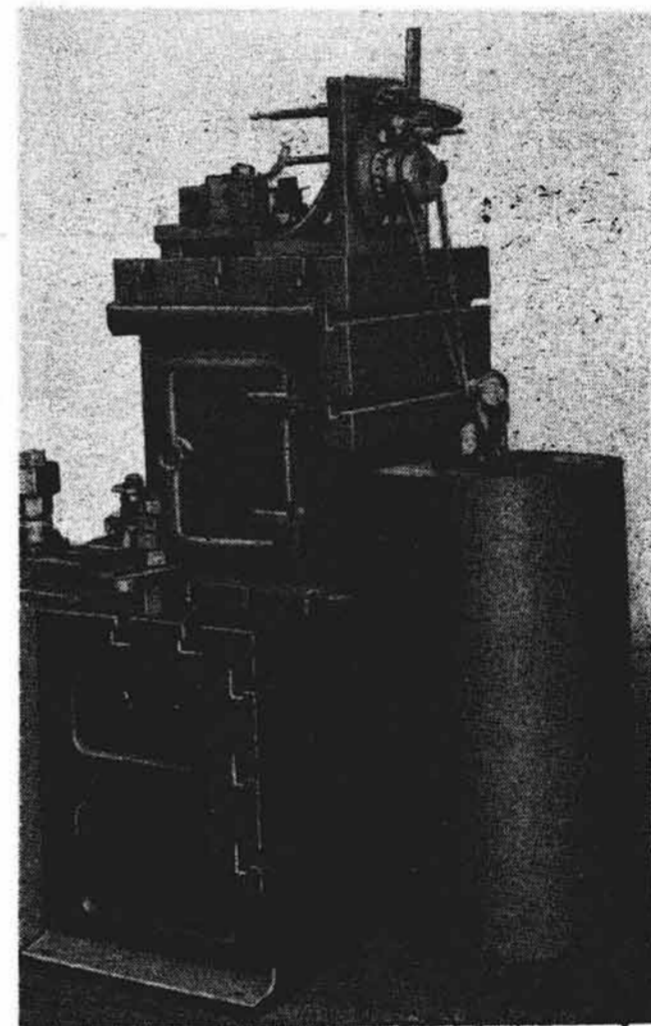
等々にして所謂運轉のコツなるものを或程度に會得せしむる所で是を圖示すれば第九圖に示す如くである。運轉把手の運動は純正弦波的ではないが、大局的に現象の要領を明確に把握せしむるに充分である。斯くの如くして今或回轉數 N_1 から他の回轉數 N_2 迄急速なる變化を要求する此種運轉に於ける秘傳は微分的に考察すれば變化の初期に於て加壓電壓の變化を過剰に與へ回轉數の初期變化を充分大ならしめ回轉數が N_2 に近づくに從つて漸次其加壓電壓を式(3)中 $f=0$ により定まる値迄初期過剰分を引戻すにあり。是即ち所謂初期過剰加壓及漸近復原の原理にして大約諸原動機の世界調整機の動作と同一なる理論である。ガバナーに於ける分配弁作用及其鋭敏なる復原機構と相等しく動作する電氣的自動復原急速勵磁方式を本設備に巧妙に應用した。是が優良なる整流に踵ぐ私かに誇りと信ずる第二特點である。

次ぎに本設備は仕事の荒々しい關係上各部機構が極めて頑丈に造られて居る。此事に就き詳細なる説明是亦別記の通りであるが雄大偉風の車軸は先其點を物語つて居る、整流子と發電子との關係捩れ鐵心捲線間の夫と共に甚深の考慮を以て防止されて居る。變流機に於ては高速回轉の爲め可成りの遠心力を發現するも何と云つても此全體の内ミル電動機中起り得可き急突なる廻轉力變化及

回轉數急變によるタンジエンシャルストレス即ち圓周方向應力が他に比類を見ない莫大なるものであつた。各部の捩り留めに對し慎重なる工作が施されたのは此爲めである。ミル電動機は二重電動子式で其二つはカップリング聯結となつてをり軸は二體である。本カップリングの如きは第十圖に示

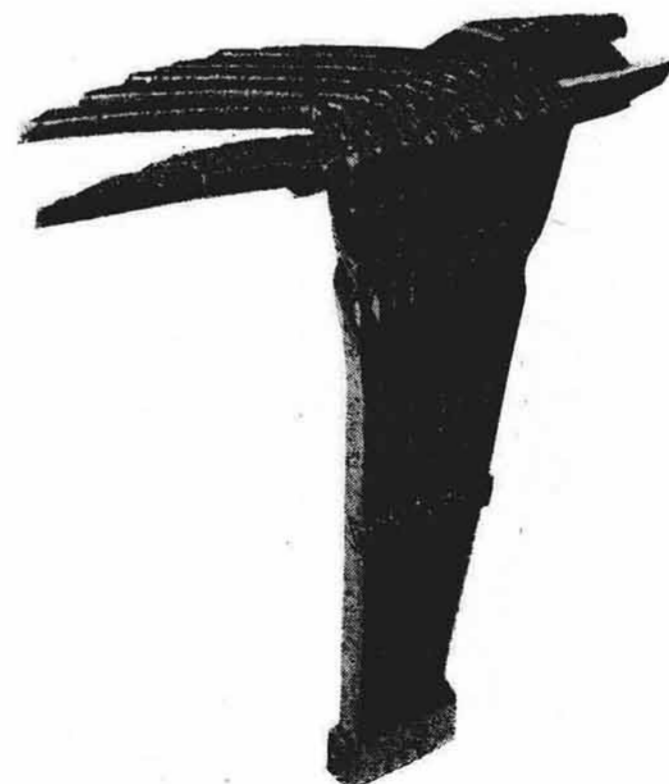
すが如き基本的模擬試験の研究を以て設計せられたのである。慎重に事を決する要領の一端であらうと思ふ。斯くの如き事前の豫備研究と相俟つて二月中旬の實地試験に於ては二電動子を相反回轉方向とせる極限廻轉力實負荷を加へたのであつた。勿論極限實負荷試験は同時に極限廻轉力發生時に於ける整流子閃絡試験となつてをりフ

第十圖 カップリング模型試験



Model Test for Coupling

第十一圖 均壓線部分試造



Equalizing Coil Partially Manufactured on Trial

ラツシュオーバーリミットが猶其上に座して居る事を實證した。

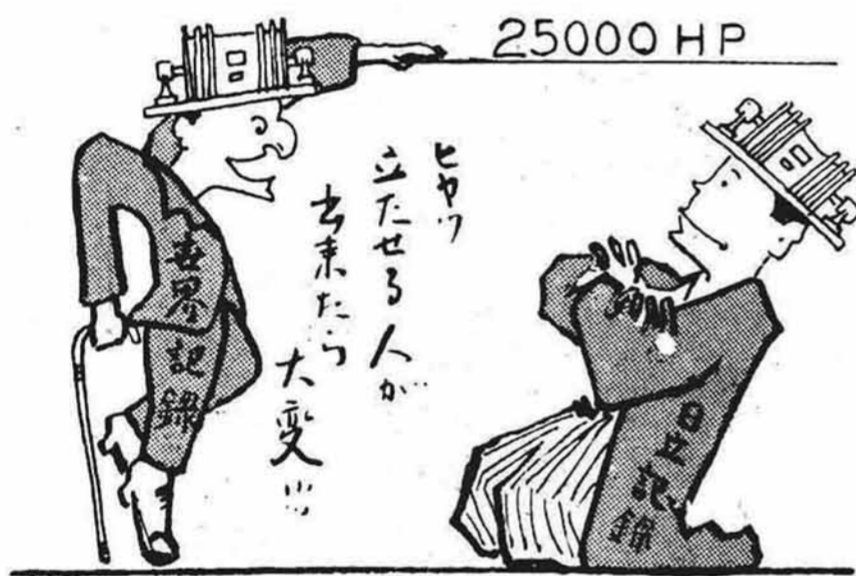
次に第十一圖は均壓線輪を頑丈に保持する實寸法部分豫備工作研究である。其外ライザーと銅帯との聯結點研究、絶縁難點研究、蓄勢カップリング用木材強度の研究等々凡そ注意を要すると思ふ節々は皆極めて慎重にしたのであつた。木質栓を利用する極限力限定のカップリングは本變流機の一特點であらう。以上の外最も苦心を要せし他の一點は絶縁工作であつたが茲許に是を略する。

〔III〕 結 言

要するに本イルグナー變流機及ミル電動機全系統に於て最も慎重なる留意點は(1)整流の安定閃絡極限の昇騰

(2)峻敏確實なる制御様式(3)機構の頑丈及絶縁の強化等で之等を主題と考へた。然して一月下旬より約四週間一ヶ月充分なる試験を爲し幸にして豫期以上の良好なる實蹟を收得した。斯くの如くして雄偉なる本機が帝國製鐵事業の第一線に於て威力を發揮し多事多忙なる本邦の一面に構はり得る事を聊の慰めと感ずる次第である。全試験に於ても直流として屢々人が注意を缺く感電危険の失に陥らなかつた。限られたる時間内に補極調整とか回轉體釣合ひ或は亦各種のオツシログラム等々勞苦尠からざりし人々に深く謝するものである。要するに短期ではあつたが衆能く心を一つにし努力撻まざりし賜たるを思はせられるのである。(完)

ミル電動機を漫畫的に見たら



坐つて
二万三千六百馬力
の記録とは
凄いでせう。

ヒヤッ
立たせる人が
去来たら
大変だ



ミル
モーターの
主軸から
五馬力モーター
の主軸を
いぬり出すと
一万四千台を
去来する



この機械一台
あれば
一万五千トンの
商船の
建造に要する
鋼材が
僅か二日で
出来
ます。

お解りのことと
存じます。

如何に
世界的
大容量の
ものであ
るか。

以上

壓延機用電氣設備の回轉機一般

森 島 貞 一

The Rotating Machines for Electrical Equipment of the Rolling Mill

By Sadaichi MORISHIMA
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The electrical equipments of the three high roll structural mill which has been installed in the Imperial Government Steel Works to produce billets of large sizes at the rate of 100 tons per hour consists mainly of a D.C. motor directly coupled with the rolling mill, an Ilgner converter, control devices, with other accessories such as an exciter set, a blower set, and an air cleaner.

The reason why the Ilgner system was adopted was to control the speed of the rolling mill according to the kinds and sizes of products, and to minimize the effect upon the electrical source in case of a sudden change of load.

The D.C. motor directly coupled with the rolling mill has 240 ton-meters in max. cut-out torque, and 23,600 HP in maximum capacity.

The Ilgner converter consists of a 7,000 HP three phase induction motor, three 2,000 kW. D.C. generators, a 70 ton fly wheel, a slip regulator and others.

In this article the writer describes the ratings, merits, characteristics, and construction of the rotating machines under the following heads.

- I. Introduction
- II. 23,600 HP D.C. Mill Motor
- III. Ilgner Converter
- IV. Other Accessories
- V. Conclusion



〔I〕 緒 言

最近我が工業界に於ける技術の進歩には目覚しきものがある。其内容に於て或は其容量に於て、世界的記録品が續々として製作されるに到つた。今回日立製作所に於て製作完成せる壓延機運轉用電氣設備の如きは

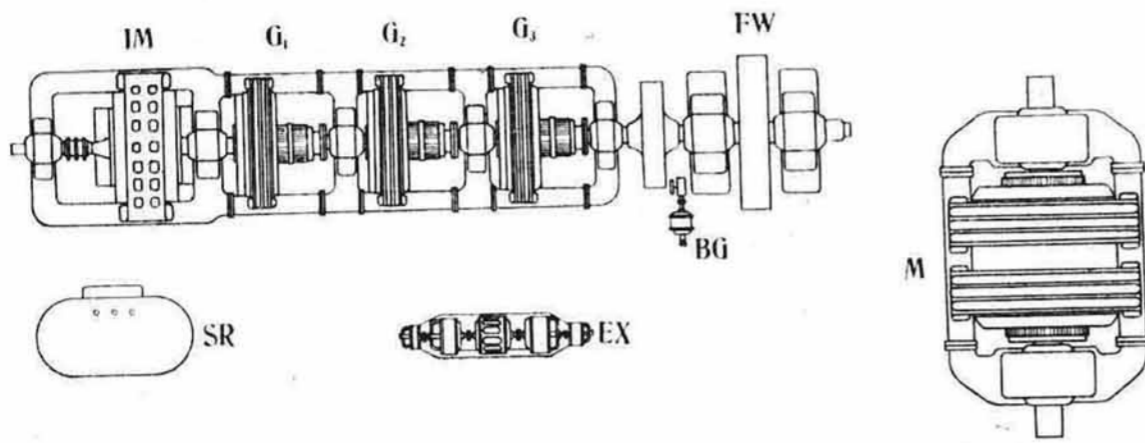
特に此の事實を有力に物語るものである。本設備は製鐵所に於ける大型鋼増産計畫に使用せらるゝもので、該計畫に依れば、大型のアンゲル鋼、I型鋼、シートパイル等を 100 t/hr の割合に製産せんとするものである。斯の如き大なる生産力を有する壓延機は世界にもあまり其例が無いものである。従つて本壓延機を運轉する電動機イルグナー變流機等も亦大なるもので、本邦使用中の内外製品を通じて、最大容量たるのみならず世界有数の劃期的記録品である。

本電氣設備は其製品の種類並に断面に夫々適應して速度を極めて容易に能率よく作業し得る事が出来、且つ負荷の變化が急激であつても電源には影響を及ぼす事が少いと云ふ利點から、所謂イルグナー方式となつて居る。此のイルグナー方式は周知の如く壓延機に直結される、直流電動機と巨大なる蓄勢輪を有する、イルグナー變流機との組合せで、變流機に依つて變流された直流を電動機に供給し壓延機を運轉せんとするものである。それ等の配置は第一圖に示した如くである。本稿に於ては此の壓延機運轉用電氣設備の主機であるところの直流電動機、イルグナー變流機及附屬品に就て夫々大要を紹介せんとするものである。

〔II〕 23,600 HP 直流ミル電動機

壓延機に直結される 23,600 HP 直流ミル電動機は申すまでもなく本電氣設備の中主要機器の一である。其最大廻轉力は 240 t-m にして東洋第一、世界屈指の大容量直流機であり、第二圖及第三圖は其外觀を示したものである。其仕様の大要を列記すれば次の如くである。

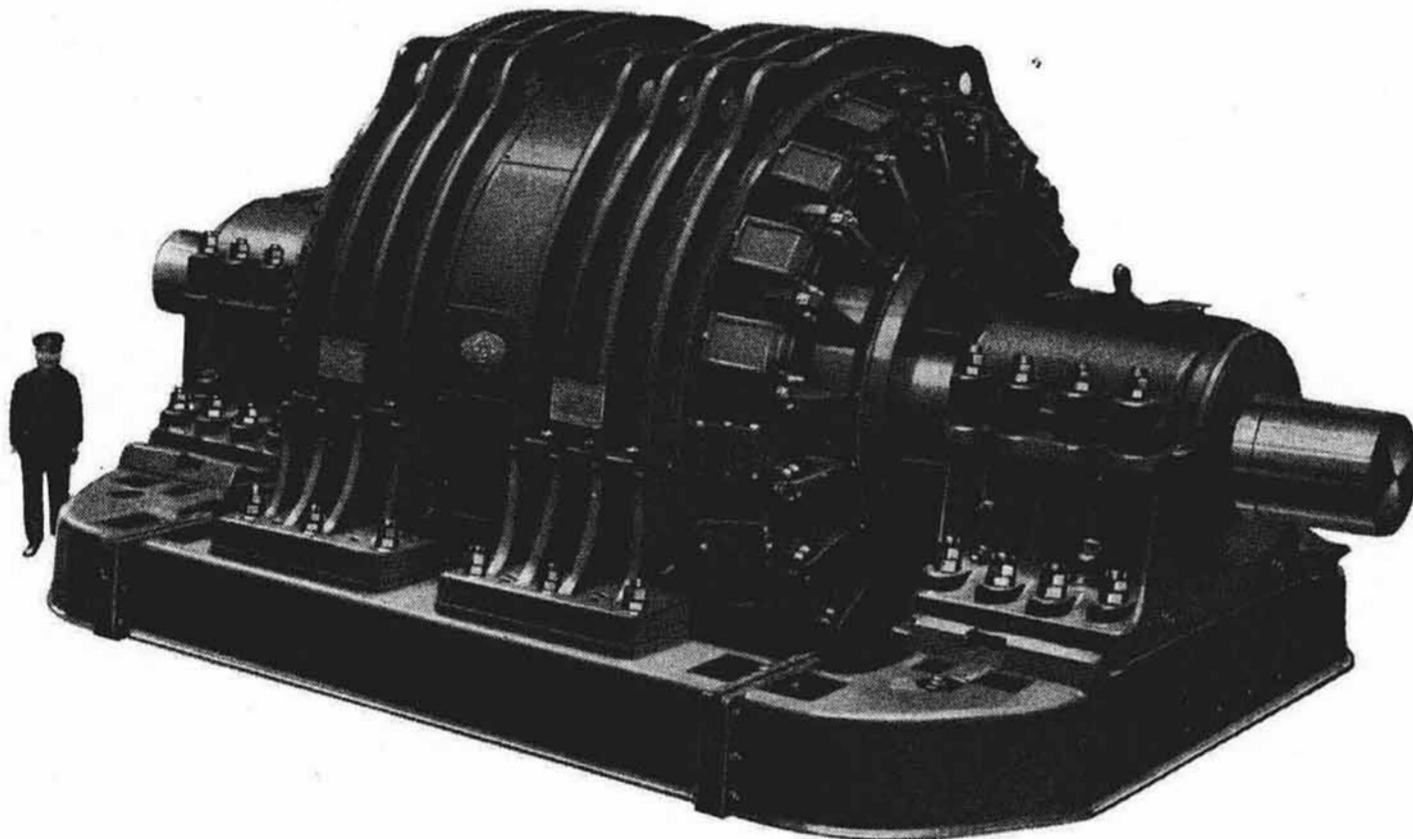
第一圖 壓延機用電気設備回轉機配置圖



- M : 23,600 HP D. C. motor to be coupled to the three high roll structural mill
- G₁G₂G₃ 2,000kW D.C. ilgner generators
- IM 7,000 HP 3 φ ilgner induction motor
- FW Fly wheel GD 2,480 ton-m²
- BG Barring gear set
- EX Exciter set
- SR Slip regulator

Arrangements of Rotating Machines of the Rolling Mill Electrical Equipment

第二圖 双電動子型 23,600 HP 可逆直流電動機の外観



View of 23,600 HP Double Armature Type Reversing D.C. Motor

連続容量	7,000 HP
最大非常廻轉力	240 t-m
最大運轉廻轉力	180 t-m
最大非常容量	23,600 HP
最大運轉容量	18,500 HP
速度 電動機界磁全勵磁の場合	80 r.p.m.
電動機界磁弱勵磁の場合	180 r.p.m.
電動子	2 個
勵磁方式	他勵磁和働複捲
回轉方向	可逆

本電動機は現在は三段式孔型壓延機運轉に使用されて居るが、將來は分塊壓延機にも使用し得る様に要求されて居る。本機は其全重量約 250 ton 軸全長約 10 m に亘る老なるものである。

(1) 壓延機用直流電動機として具備された本機の特長

イルグナー方式を採用して直流電動機を壓延機にユニバーサルカツプリングに依り直結し壓延作業を爲す場合に、此の直流電動機の具備せねばならぬ必須條件は數多あるけれども、其中の主なる二三の條件を擧げて簡單なる説明を加へ、それ等に對する本機の特徴を述べて見ることにする。

(a) 整流 壓延作業は其性質上短時間の間に急激に負荷の變化をなすものである。電動機の傳ふべき勢力も亦其大きさに於て或は時間的變化に於て他の電気機械では見られぬ程度の激變をなす。不注意或は其他の事故に依つて、冷却し過ぎた鐵塊が壓延機に嚙込んだ場合には平常負荷の數

倍の電氣的衝擊を受ける。これ等の場合に、電動機は整流作用の惡化を來たし應々閃絡を惹起する恐れがある。従つて如何なる負荷の激變に對しても何等危懼することなく、良好なる整流を保ち、機械の損傷を少からしめねばならない。

本機は前に掲げた仕様に依つて明かなる如く其使用さるゝ速度が 0—80—180 r.p.m. まで廣い範圍に變化する。80 r.p.m. 以上に於て電動機の勵磁を弱めて使用する場合は、整流作用は困難

となる。この整流問題に就ては別項に馬場博士により理論的に詳述されてある故こゝでは省略することとし主として設計上より見た特徴を述べる。

第三圖 側面より見たる双電動子型 23,600 HP 可逆直流電動機



Side View of 23,600 HP Double Armature Type Reversing D.C. Motor

本機はその主磁極面に補償捲線を設け、發電子反作用を十分に補償し、主磁界の變形を少からしめ、別に設けられた補極捲線の作用と相俟つて完全なる整流作用を期して居る。この補償捲線の回数を大きくとつてその作用を益々有効ならしめた事は特筆すべき特徴の一つである。然し徒らにこの回数を大きくとることは主磁極面を磁氣的に飽和せしめる缺點があるが、本機に於ては、特許106814號による特殊の配列に依つてこの缺點を除き補償回数を増しその効果を有効に使用して居る。補極面は刷子によつて短絡される發電子捲線に依つて生ずる磁界に順應する様に工夫され、繼鐵に近き部分は特に面積を廣めて補極回路の磁氣的飽和を防ぐ外補極捲線の配置にも深甚なる考慮が拂はれて居る。周知の如く補償捲線と補極捲線との起磁力の和は、電動子の起磁力と一定の関係がある。本機は特に補償効果を大ならしめてある關係上補極捲線の捲くべき回数は少くてよいが特に此の回数も増して、其剩餘の部分は繼鐵と補極鐵心との間に無磁性體を挿入し平衡を保たしめてある。斯の如く補極回路の飽和の影響を少からしめてある事も特筆に値するものである。此の外整流子片の数を多數にとつて平均片間電壓を小とし、尙均壓線輪を電動子捲線一つ宛に設け、且つ其取付位置を整流子側に設けて整流作用の良好を期してある。

(b) 加速度及減速度 比較的面積の大なるインゴットが壓延機に噛み込まれ何回かの行程を経て細長い製品になるまで、各行程に於ては順次速度を高めねばならぬ。即ち壓延機を直結された電動機を出来るだけ迅速に變化せしめねばならぬ。猶將來分塊ロールに應用される場合には迅速に逆轉することを要求される。故に此の電動機の加速度及減速度は壓延作業の製産能率に大なる影響がある。其割合の大なる事は必須條件の一つで、此の問題に就ては速度制御方式、イルグナー變流機及電動機の特性の三つを考へねばならない。最初の制御方式に就ては別項に詳述されて居るから、後者の二つに就て考へて見ると、電動機の加速度及減速度を大ならしめる爲めには、磁氣的慣性の小なる事と機械的慣性の小さい事との二つの要素が重要である。

本機は相等しき電動子を二つ連結したもので所謂双電動子型である。回轉部分の直徑を小とし、軸方向に長い

電動機として、其蓄勢輪効果即ち GD^2 を小ならしめてある。電動機は 80 r.p.m. まではイルグナー變流機の發電機の發生電壓、即ち電動機の端子に加はる電壓を加減し、其大きさ及方向を變化せしめて加速、減速及逆轉をなす。即ち發電機及び發電機用勵磁機の磁氣的飽和及び勵磁捲線の設計製作に工夫をこらして磁氣的慣性を少くした。80 r.p.m. 以上は電動機の勵磁を加減するのであるから、電動機の界磁及同機用勵磁機に對しても同等な考慮が拂はれて居る。

(c) 機械的強度 壓延作業の特徴として壓延機に直結されて居る電動機は加速減速及逆轉時に急激なる速度の變化を要求される。或は常に壓延機側よりスラストを受ける。電動機各部の構造は夫れ等の激衝に對して十分なる強度を保たしめねばならぬ。此の點に關する本機の特徴は次項の『構造の大要』に於て述べる。

(d) 鐵塵に對する處置及其他 壓延作業場は豫想以上に塵埃の多い處である。殊に鐵塵に對して十分なる考慮が拂はれて居らぬ場合は、應々にして絶縁の破壊及整流作用の變化等をかもす事は明かである。猶此の設置場所の室温は非常に高く夏期に於ては 40°C を超過する事は珍しい事ではない。加ふるに電動機は比較的低速度で運轉されるが爲めに、各部の温度上昇は一般機械のそれよりも低くとらねばならぬ。此の目的の爲めに送風装置を附してある。此の送風機に依つて冷却された清淨なる空氣を電動機に送り込むため、其風道の入口には防塵装置が設けられて居る。此の清淨な空氣は電動子の中央より入り、一部はスパイダーを通つてライザーの間の空隙より整流子面へ、或はスパイダーより鐵心のエアークトを通つて、磁極面に導き出され整流子面へ夫々各部を冷却しながら放出され、又一部は直接磁極の間を通つて整流子面へ放出される。此の通風方式は電動子の左右何れも同様である。整流子は所謂フラッシュマイカを使用して整流子片間のマイカ絶縁はアンダーカットされて居らぬ。即ち鐵塵がこの部分に堆積して整流子片を短絡し整流作用の惡化する心配はない。其の他各捲線の絶縁及それ等の接續部も完備せる絶縁處理を施したもので鐵塵に對して毫も不安を感ずることがない。

(2) 構造の大要 壓延機用電動機はその使用される特性から、構造上に關して一般直流機に比較して特異な

第四圖 23,600 HP 直流電動機の固定子



Stator of 23,600 HP D.C. Mill Motor

る點が多い。

(a) 固定子 第四圖は 23,600HP 電動機の固定子の外観を示したものである。鐵心は磁氣的に良質の鑄鋼製にして、其断面は山形を爲し、自重主磁極及補極の重量並に磁氣的原因より生ずる機械力等に對して十分の強度を有して居る。製作上或は組立上の便宜から上下に二分して居るので、上半分を釣り上げて電動子の各部の些細な故障は容易に修理することが出来る。鐵心は單に機械的強度から算出した、面積以上に大として磁氣的に未飽和なる様に充分の面積を有して居るから尖頭負荷の場合に磁束の漏洩することが少い。平常に於ては補極磁氣回路の全起磁力に對して、鐵心の起磁力は省略する事が出

第五圖 直流電動機の鐵心、標準 1,000 kW 回轉變流機との比較



Yoke of 23,600 HP D.C. Mill Motor Compared with That of the 1,000 kW Standard Rotay Converter

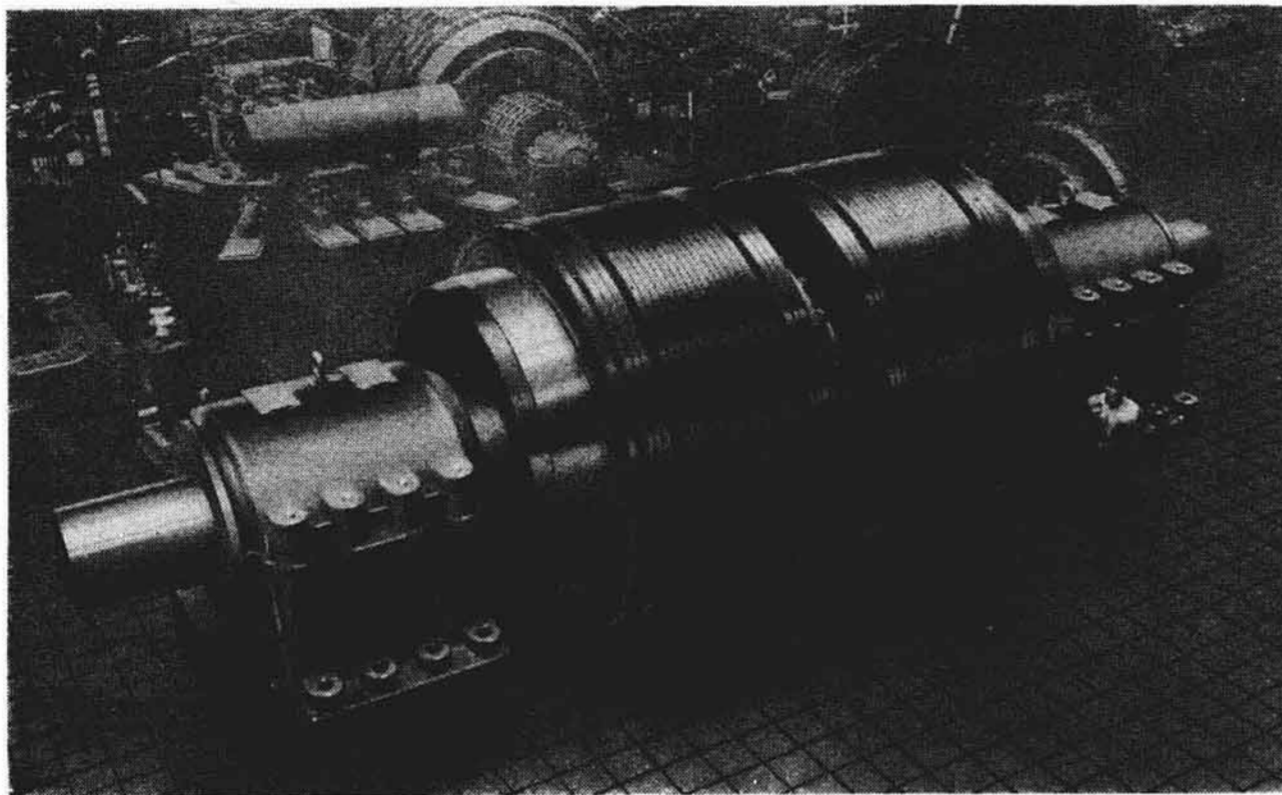
來る。第五圖は鐵心の一つを示したものである。内に優に 170 人を收容する程の老なるもので、寫眞は標準型 1000 kW 回轉變流機の鐵心と比較せるものである。此の鐵心を取りつける基礎ボルトは床盤を通つて基礎コンクリートの中に取付けられる。主磁極及補極は共に全部薄鐵板を打ち抜きたるものよりなり、精密に仕上げられボルトに依つて鐵心に充分密着して取付けられて居る。主磁極面には軸方向に平行に半開溝が適當數丈打ち抜かれこゝに補償捲線を挿入する。此の補償捲線の回数は整流及磁氣的飽和の二つの相異なつた性質を、満足すべき様に配列されて居る事は前述せるところである。

補極の根本面積は尖端のそれよりも、遙かに大としホールチップの形狀は前述せる如く、特殊構造なる爲め整流方面より見て有効である。薄鐵板を積重ねたものであるから、此の部に於ける渦流損失を軽減する外、負荷電流の方向及大きさに、直ちに順應して磁束が變化することが出来て、良好なる整流作用の一助となる。主磁極捲線は 100 kW 勵磁機より勵磁される。銅帶をエッジワイズに捲き各層間はアスベストによつて絶縁され、鐵心との間には適當の空隙を設けて通風作用を良好ならしめてある。補償捲線は太い銅棒を主極面に設けられた半開溝に電動子捲線と同一の絶縁法によつて堅く押し込められて居り、溝より突出せる部分も充分に長く絶縁されて、鐵塵に對する考慮が拂はれて居る。各捲線の接續部は充分なる接觸面積を有し、凡てボルト締めで分割及組立てに便利になつて居る。

補極捲線は鐵心の傾斜面に平行に太い裸銅棒を折り曲げてあるから、取付面積は極小で其配置も出来るかぎり回轉子面に近づけて空隙に於ける補極磁束分布を安定ならしめて居る。上記の捲線の絶縁は勿論のこと、これ等の接續線に就ても、苟も絶縁に不安なる所は凡てテープにて包みワニス處理を施し、嚴重なる検査を経て組立てられたものである。凡て捲線は整流子側に於て接續されて居るから修理點檢に甚だ便利である。

(b) 電動子 第六圖は完成された電動子を示したものである。寫眞に見る如く二つの電動子を連結せる故に、徑方向に短く軸方向に長い電動子である。故に其慣性モーメントは少いものである。軸は半硬鋼にして最大非常廻轉力 240 t-m に耐える事は勿論のこと、逆轉の際

第六圖 完成された電動子



General View of Complete Armature

の急激なる加速及減速によつて生ずる、捩れ及衝撃にも十分信頼し得る強さを有する。軸の焼きばめは多年の経験に依る、スパイダーは鑄鋼製にして其アームには軸と徑との兩方向に夫々補強用リムを附してある。このスパイダーの一端は整流子をオーバーハングする爲め特殊の箱型状を爲す。整流子と輻鐵との機械的捩れには十分なる理論的計算を行ひ、殊に完全なる電動子に組立てる爲め、各々の電動子を連結せる部分には多額の研究費を費し數回のモデルテストを繰返して之を決定した。その機械的強度は甚大にして、工場試験に於て實際に加はる廻轉力の數倍の衝撃を此の部分に加へて試験せるも何等異常を認め得なかつた。輻鐵は單に機械的強度のみの見地より設計されたものでなく、出来るだけ駄肉を削り電動子重量の軽減を計り、慣性モーメントの減少と通風作用の有効を期して居る。普通一般の電動子にありては、其電動子捲線を溝中に挿入し、楔によつて締付け、其捲線の端は絶縁された端板の上に載せ、捲線の上をバインド線で締付ける。捲線と端板及び捲線とバインドとの接觸摩擦によつて捲線と鐵心との相互的運動を防止する。然しながら壓延機用電動機に於ては前述の工作では不十分にして、電動子の逆轉及急激なる速度の變化する場合には、必然的に捲線と鐵心とは相互的に動き、溝の出口に於て捲線の絶縁を損傷し、接地故障の原因となり又機械的にも不安心である。本機に於てはこのエンドコイルの締付けは目下特許出願中の獨特の方法によつて製作してある爲めに前記の懸念は絶無である。

電動子捲線は銅帯をマイカを主成分とした絶縁物で包みて型捲きとしてある。大容量の捲線は反整流子側に於

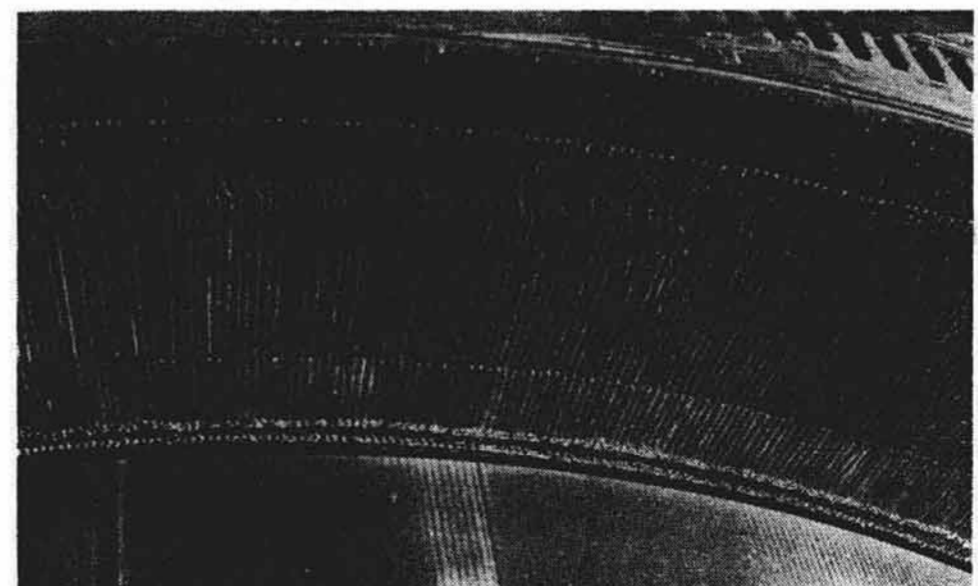
て、上下二つのコイルエレメントを通常袴と稱するものを以て、締付け半田揚げをなし絶縁処理をして捲線とする。此の方法は其絶縁処理工作が困難であるから、本電動機の如く殊に鐵塵の多き場所に設置されるものには、この部分の絶縁破壊の恐れがある。此の危惧は今回の捲線にては溝中の捲線をそのままの所謂蛙又に折り曲げて製作することに依つて解決せられた。

整流子は輻鐵の片側に取り付けられて居る。整流子ボスは特殊な構造であつて、輻鐵

との相互的運動を防止して居る。塵埃によつて整流子片間を短絡されぬため本機は特に所謂フラッシュマイカを採用し、整流子片間の絶縁は切り込んで居らぬ。片間の絶縁に使用されたマイカナイトは、其消耗の度合が整流子片と同一のものを撰定し、整流作用を完全にし、整流子の過度に消耗する事を防止して居る。整流子組立後の熱処理は大容量の整流子を、數多製作せる多年の経験に基いて優秀なシーゾニング作業を施せるものである。電動子捲線と整流子片とを連結するコミュテーターライザーは各々編狀の絶縁袋によつて包抱されワニス絶縁を施してあるから鐵塵によつて短絡される心配もなく、工作も亦容易である。第七圖は其一部を示したるものである。

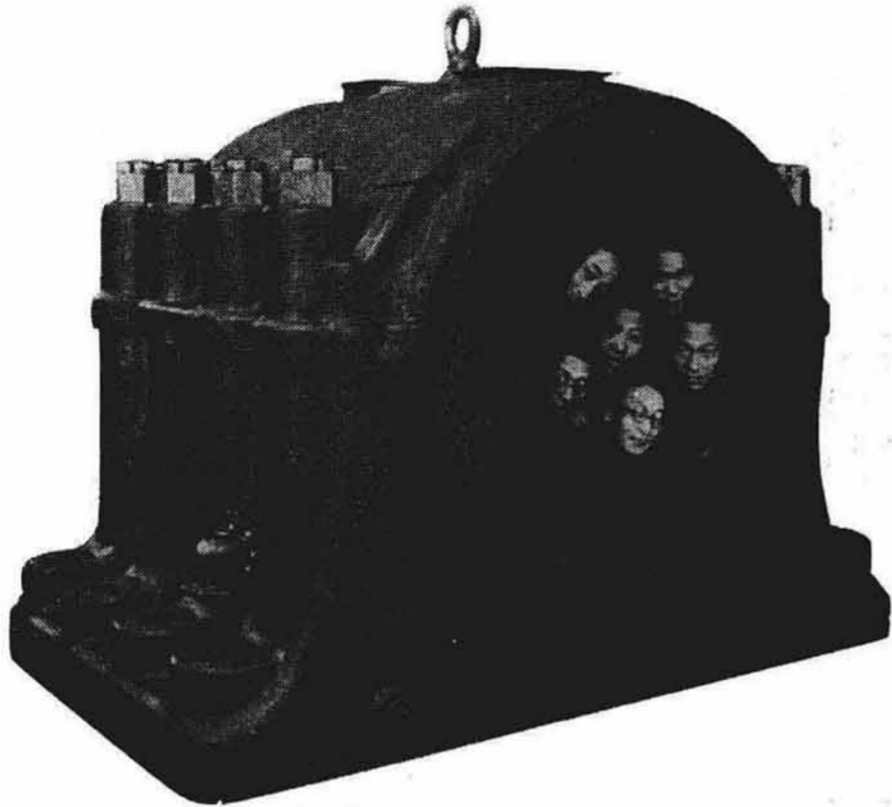
(c) 軸承臺及其他 電動機の兩端の軸承は同一構造のものである。一端は三段式壓延機にカップリングによつて直結され他端は既設 BBC 社製 5,400 HP 電動機に連結し得る構造となつて居る。壓延機軸の切斷或は中間軸の切斷に依つて生ずべき推壓力に對しては特別に設計及製作に注意が拂はれ、軸承臺の中心高さは可及的に

第七圖 ライザーの一部



A View Showing Commutator Risers

第八圖 軸 承 臺



Pedestal Bearing

低くなり、ベアリングの側面にはスラストベアリングを設けて居る。壓延機より来る推壓力は中間軸及カップリングを傳つて、このスラストベアリングで喰ひ止められ、電動機には衝撃を與へぬ工夫が施されてをる。このベアリングは絶えず、別個の給油装置より注油されてをる。ベアリング面に塵埃の入り込まぬ様鐵板製のカバーにて防護される。軸承臺は強固なる基礎ボルトにて床盤に取り付けられる外、特別にクロスキーを床盤に設置し、これによつて床盤と軸承臺とは同一體の如き強固なる構造となつて居る。従つて軸に傳はる推壓力は軸承を推し上げる力を生ずる。此力の爲めベアリングキャップの締付けボルトは單に軸承臺にのみ取付ける方法では不十分で、本機に於ては軸承臺床盤を経て基礎コンクリートにまで達する十分に太く、且つ長いボルトを用ひてキャップを支へて居る。軸承の給油は自動式であるが、油は別に設けられた給油装置により油管を通つて外部に導き出され、冷却された清淨な油となつて再び軸承に注がれる。軸承臺は第八圖に示す如く中に數人を收容し得る尨大なるもので、其重量は約 35,000 kg を算する。床盤は鑄鐵製にして4個に分割される。解体、運搬及組立て等に際して、其取扱ひに便利ならしめてをる。新鮮なる冷却空氣を機内に送り込む爲め、送風機及防塵装置をも具備して居る。

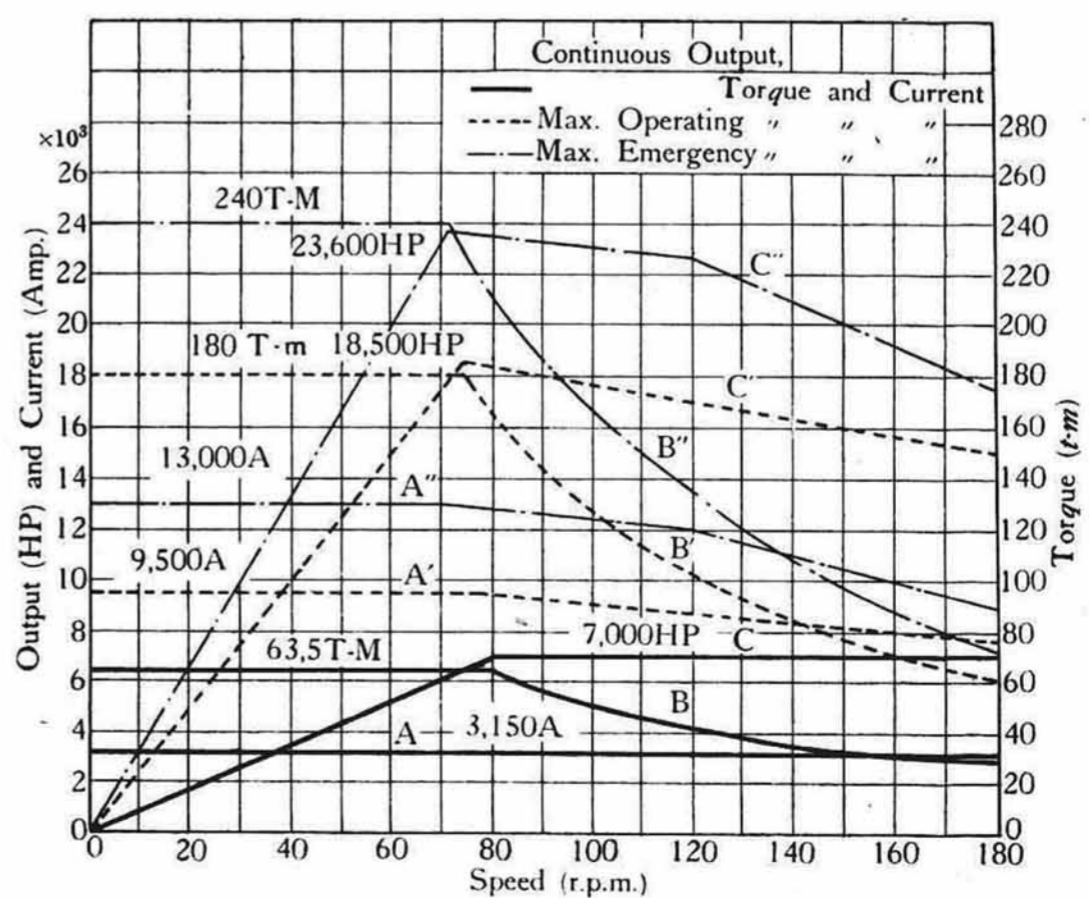
(3) 本機の特性 第九圖は電動機の特性曲線を示したもので、即ち任意の回轉數に對して電動機の發生する出力、廻轉力及電流の値を示せるものである。實線は連続定格に於ける又點線は最大運轉時に於ける、及鎖線は最大非常運轉時に於ける夫々の特性を示して居る。

本機は速度調整は別項西氏制御方式の論文中に詳述されてをる如く、毎分80回轉までは電動機の端子に加はる電壓の大きさ及方向を變化して加速、減速及逆轉を行ふものである。毎分80回轉以上の速度を得る爲めには電動機界磁の強さを加減する。第九圖に於て實線にて示されて居るA線は回轉數と電流との關係を示す曲線で、電動機が180 r.p.m. まで、如何なる速度に於ても連続的に3,150 A を出し得る能力あるを示して居る。前述の如くこの電動機は 80 r.p.m. までは自身の界磁は全勵磁されて不變なものであるから、電流及磁束が一定となり廻轉力も亦一定である。この場合容量は回轉數に正比例して増加する。80 r.p.m. に於ては 7,000 HP である。80 r.p.m. 以上は界磁を弱め 180 r.p.m. に於ても 7,000 HP を出し得る。B 及び C 曲線によれば明かなる如くである。

最大運轉曲線 A'B'C' 及び最大非常運轉曲線 A''B''C'' も上述の理による。即ち最大運轉廻轉力 180 t-m 及最大非常廻轉力 240 t-m に對する容量は夫々 18,500 HP 及び 23,600 HP となる。但しこの場合の回轉數は 80 r.p.m. ではない。界磁抵抗器との組合せ、電動機の複捲作用、イルグナー變流機の負荷特性等との關係から本機に於ては夫々 74 r.p.m. 及 71 r.p.m. となる。過負荷に際しては弱磁界の場合は整流作用が困難となる故に、80 r.p.m. 以上の速度に於ては本電動機の發生する容量は幾分減少する事は止むを得ない所である。C' C'' はその割合を示して居る。

工場試験に於ては負荷返還法によつて全負荷は勿論、

第九圖 23,600 HP 直流電動機特性曲線圖



Characteristic Curves of 23,600 HP D.C. Motor