

# 自動制御と磁氣增幅機器

福 田 節 雄

アンプリタイン、ロートトロール、アンプリスタットなど、回轉機または變壓器を利用した大電力の增幅法が最近發達してきた。これには電子管を用いる增幅器では得られない種々の

特長がある。その動作原理や特性を説明し、これを自動制御に應用した例として、電動機、速度の制御、電氣爐の入力の制御、および爐の温度の制御についてのべてある

## 1. 磁氣增幅機器

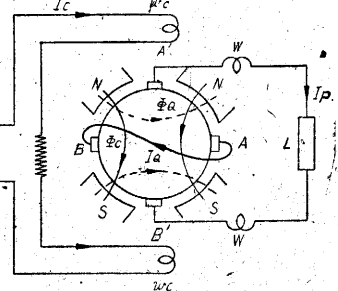
ここで磁氣增幅機器というのは、Amplidyne, Rototro', Regulex, Tuning Dynamo, Transductor, Amplistat 等とよばれている一群の機器のことである。これらはいずれも今般の大戦の前あるいは中頃から大いに發達し、同時に自動制御に非常に利用されるようになった。その名からもわかるように、大部分は米國、英國、ドイツ等の外國で生れ、また發展したものであるが、本邦でも最近、關心が高まり、すでに二、三の新しい應用例もみられる。いずれも電力の增幅器であるという点では在來の眞空管や放電管と同様のものではあるが、これら電子管にはない種々の特長があるから、今後は更に發展するものと思われる。以下その動作の原理や特性を説明し、新しい應用例をいくつかあげることにしよう。

## 2. アンプリタイン

發電子反作用による累積的な勵磁作用を利用した一種の直流發電機であつて、これをあらかじめ誘導電動機その他の原動機で驅動しておいて、その制御巻線と稱する勵磁巻線に小さい入力と與えると、それが數百倍、數千倍にも增幅されて、その出力端子に現われてくるものであり、小は數十 W ぐらいのものから大は數 kW 以上のものまでが作られている。米國の General Electric Co. で開發された名付けられたものであるが、その原理は以前から知られていたものである。しかしこれを自動制御に利用するとなると、なるべく小さい信號入力で大きな出力を得る。すなわち增幅率を高くするということのほかに、應動の時定數が小さいこととか、ヒステリシスがなないこととか、零點の浮動が少ないこととか、その他のいろいろの要求が起つてくるから、その磁氣材料、電氣的設計等に十分の研究が必要となつてくる。従つてその動作原理がわかつていたとしても、優秀な特性を出そうとするとその製作はそう容易ではない。

動作原理は次の通りである。いま 2 極機を例にとると、第 1 圖のように、2 極の直流發電機で、その N, S 兩極を整流の必要上更に二つに分割しておき、これに制御巻線と稱する勵磁巻線  $w_c$  をほどこす。これに入力として制御電壓  $V_c$  を加え、電流  $I_c$  を流すと、主磁束  $\phi_c$  が N-N 極から SS 極に向つて電機子を通つて生ずる、電機

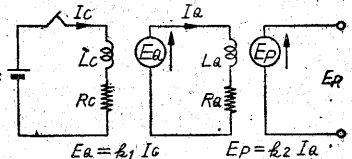
子は回つてゐるから、普通の發電機と同様の原理により電機子のブラシ AB 間に電壓  $E_Q$  が誘起される。ところが AB は圖のように短絡されてゐるので、比較的小さい起電力  $E_Q$  が發生しても、かなり大きい短絡電流  $I_Q$  が流れる。この横軸回路に



第 1 圖 アンプリタインの動作原理

$I_Q$  が流れると、その電機子反作用で新たな磁束  $\phi_Q$  が前の磁束  $\phi_c$  とは直角の方向に、すなわち横軸方向に生じ、電機子は更にこれを切るようになるから、新たにブラシ  $A'B'$  の間に起電力  $E_p$  を誘起する。  $E_p$  はすなわち出力電壓であつて、これより外部負荷  $L$  に電流  $I_p$  を端子電壓  $V_p$  を以て供給する。こゝに數 mA の小さい制御電流を入れると數 A の大きい出力電流  $I_p$  が出てくることとなり、數百から數千の電流增幅率を得る。しかしこのままでは、電流  $I_p$  を流すと、その電機子反作用で、  $\phi_c$  とちょうど逆の方向に磁束が作られることとなり、結局、元も子もなくなつてしまうから、ちょうど  $I_p$  の電機子反作用を打消すような補償巻線  $W$  をほどこし、これを負荷と直列に入れ、それに  $I_p$  を通すのである。必要に応じては、出力電流の一部あるいは出力電壓を制御巻線に重ねて巻いた別の巻線に加えてフィード・バックすれば增幅率を更に高めることもできる。

アンプリタイン  
— 一のロート  
ロールについて  
同様であるが—  
の應動特性は大體



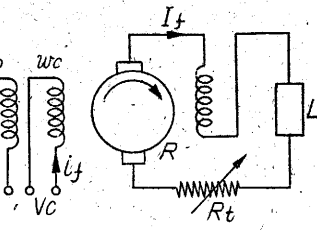
第 2 圖のような等 第 2 圖 アンプリタインの等價回路  
價回路で計算できる。筆者の手もとにある昭和 16 年ごろの製作になるもので本邦初期の 2kW 製品では、この等價回路の定數は、  $k_1 \approx 100$ ,  $k_2 \approx 2.90$ ,  $R_c \approx 655 \Omega$ ,  $R_q \approx 0.361 \Omega$ ,  $L_c \approx 20H$ ,  $L_q \approx 0.017H$  であつて、そのインディシャル應動レスポンス、すなわち制御巻線に突然 1V の入力電壓を加えたときの出力端子の無負荷電壓  $E_p$  の時間變化は、

$$E_p \approx 124(1 + 1.94e^{-33t} - 2.94e^{-21t})$$

で、  $E_p$  が最終値の 90% になるまでの應動時間は 0.1s ぐらいである。この例ばかりでなく、現在のアンプリタインの應動時間は大體 0.05~0.1s である。

## 3. ロートトロール

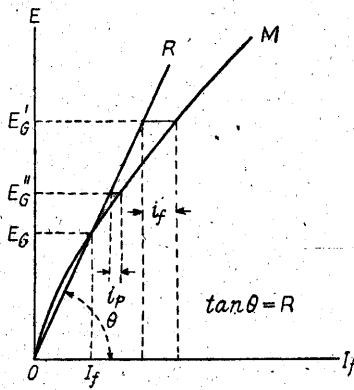
元來發電機は直流と交流とを問わず、そのままですで一つの増幅器である。すなわち僅かな入力を勵磁回路に與えると非常に大きな出力が電機子回路に得られるからである。米國の Westinghouse 社で開發されたロートトロール、あるいは本邦の日立でも製作している Tuning Dynamo 等は特に直流發電機の勵磁回路に手を加えて、勵磁入力の微小な變化により出力が大幅に變化するようにくふうしたものである 第 3 圖



第 3 圖 ロートトロール

3 圖はロートトロールの回路であるが、一つの分巻直流發電機に別に制御用の巻線  $w_c$  をほどこして、自勵のほかに他勵を加味できるようにしてある。

いま電機子を規定の回転數で回して分巻の自勵だけを行つたときの無負荷飽和曲線、すなわち自勵磁電流  $I_f$  と誘起電壓  $E$  との關係を第 4 圖の  $OM$  曲線のようにだとする。分巻全回路の全抵抗を  $R$  とすれば自勵だけでは  $R$  に対する界磁抵抗直線  $OR$  と  $OM$  との交點に相當する  $E_G$  まで電壓がビルド・アップし、そのときの自勵磁電流は  $I_f$  である。ここで制御巻線に電流  $i_f$  (ただし制御巻線の巻回数と分巻巻回数との比により分巻勵磁電流値に換算したもの) を流すと、その磁化方向が  $I_f$  と同方向のときは、誘起電壓は  $E_G'$  まで増大する。機的设计や磁氣材料を適當にし、 $OM$  が直線に近く  $OR$  がほとんどそれに外接するような形になっていると、極く僅かな  $i_f$  を入れると誘起電壓が飛躍的に飛び上り、非常に大きい増幅率が實現できる。第 3 圖の例では、分巻勵磁回路の全抵抗は負荷  $L$  によつて變るわけであるから、あらかじめこれと直列に抵抗  $R_t$  を入れておいて、これを調整して、全回路の抵抗  $R$  が臨界的な値になるように整定しておくことができる。この抵抗  $R_t$  を同調抵抗 (Tuning resistor) ともよんでいる。



第 4 圖 ロートトロールの動作特性

なお制御巻線の外にバイアスの目的でパターン巻線  $w_p$  をおきこれに適當な電流  $i_p$  を入れておいて制御入力のないときに誘起電力がちょうど  $E_G'$  になるようにしておけば、制御入力の正負に應じ誘起電壓を増減さすことができ便利である。

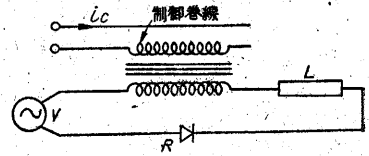
ロートトロールの應動時間は大體アンプリダインと同程度で、たとえば 1kW 機で 0.1s ぐらゐである。これを周期的に變化する一定な大きさの制御入力に対する出力の變化の振幅、すなわち周波應動レスポンスでみれば、入力周波數 0.4~ぐらゐまでは大體フラットで、それ以上の周波數になると應動度が下り、1~で 70%、5~で 20%、10~で 10% ぐらゐに下つてくるような代表例がある。ロートトロールは何かの原因でその驅動回転數が

下ると増幅率は非常に下ることに注意を要する。もつともフィード・バックによりこの影響を少くすることは可能である。

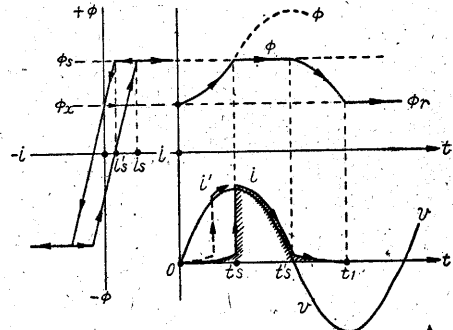
4. アンプリスタット

以上に説明したアンプリダインとロートトロールはいずれも回轉型の磁氣増幅機であつたが、次に靜止型の例としてアンプリスタットについて説明しよう。この種のもは結局、交流を電源として、それと負荷との間に鐵心リアクトルを直列に入れ、そのリアクトルに別に直流勵磁を加えてその磁氣飽和の度を變えると、リアクトルの實効リアクタンスが大幅に變るので、負荷の入力もそれに従つて非常に變るといふ周知の原理を利用したものである。これは直流勵磁巻線への入力が大きく増幅されて負荷に與えられるとみることが出来るわけである。従つてリアクトルの鐵心材料として、磁氣飽和曲線の曲りのシャープなものをを用いるほど、増幅率は高くできる。この原理はすでに古くから知られてまた一部利用されていたものであるが、最近になつて、磁氣材料として非常に飽和がシャープに起るものが工業的に生産され、同時に、上記の交流を最近とみに發達したセレン整流器あるいは酸化銅整流器のような金屬整流器で整流してこれを負荷へ入れる方法が加味されるようになって、この原理が非常におもしろい形で活用されるようになってきたのである。これが米國 General Electric 會社の商品でアンプリスタットとよばれるものである。

この動作原理を、第 5 圖の回路について説明する。この回路が定常状態にあるときを考えると第 6 圖で交流電源  $V$  の正弦電壓  $v$  が零値からはじまると、これをうける鐵心リ



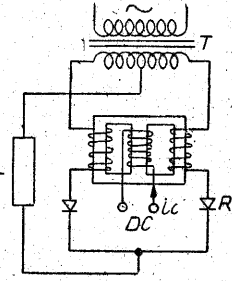
第 5 圖 アンプリスタットの原理を示す回路



第 6 圖 アンプリスタットの動作特性

アクトル中の磁束  $\phi$  は、そのときの殘留磁束  $\phi_r$  から出發して、 $\phi = k \int_0^t v dt = k(1 - \cos \omega t)$  に従つて上昇する。鐵心が飽和するまでは、これだけの磁束を作るために必要な勵磁電流は極く小さくてよいから、電源電壓のほとんど全部はリアクトルにかかり、負荷  $L$  にはこの勵磁電流だけが流れ、事實上これは 0 とみなし得る。これは

$t=0$  から  $t=t_s$  までの間の状況である。ところで  $t=t_s$  に至り  $\phi$  が  $\phi_s$  に、また  $i$  が  $i_s$  に達すると鐵心は突然飽和し、それ以後は磁束は事實上増加し得なくなるから、リアクトル中の反起電力は消え、電源電圧はまずその全部が負荷にかかる。従つて負荷が純抵抗であれば、それ以後は電流は急に電源電圧と同じ波形の大きな値に飛び上る。しばらくつうちに電流は波高値を過ぎて減少し始め、 $t=t_s'$  で  $i_s'$  まで下ると、ここで鐵心の飽和は急にやむので、これ以後は、前の  $t=0$  から  $t_s$  までの間と同じように、磁束は  $k\int v dt$  に従つて變化し、電流は微小な値になり、電圧の大部分はリアクトルにかかつて負荷にはかからなくなる。このようにして  $t=t_1$  で磁束  $\phi$  が  $\phi_r$  まで減少すると、 $\phi$  がこれ以上變化を続けるには電流は逆轉しなくてはならないが、これは整流器  $R$  により阻止されるから、結局電流は  $t=t_1$  で零となり、次のサイクルがはじまるまでは流れない。次のサイクルになつて再びこれと同様の経過をたどる。いまここでリアクトルに別に巻いた制御巻線にある制御電流  $i_c$  を流しておくと、もしその鐵心を磁化する方向が負荷電流と同じであれば、このバイアス磁化のため前の場合より鐵心の飽和が早目に起こることになるから、電流波は同圖  $i'$  のようになる。従つて負荷に流れる電流の平均値は増加する。これと反対に逆方向に制御電流を流すと平均負荷電流は減少する。いづれにしても、この電流波形は、ちょうど格子制御放電管の格子制御を行つたときの電流と同じであつて、 $t=t_s$  で急に負荷電流が流れ初めることは、格子に正電位が加つて放電管が點弧し放電電流が流れ始めるのと似ている。すなわち制御巻線の電流の方向や大きさを變更することはちょうど放電管の格子電位を變えてその點弧位相を變更することに當る。このようなわけでアンプリスタットは格子制御放電管と同様の性能をもつものといえる。



第7圖 アンプリスタットの回路例

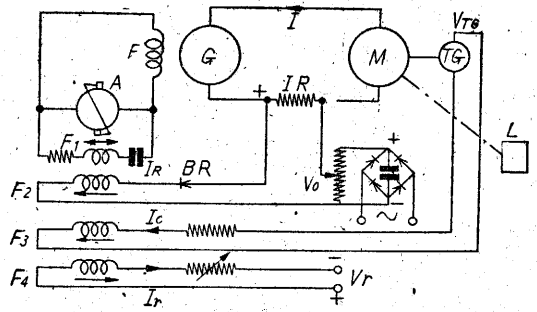
実際には、たとえば、第7圖のような回路構成のものが多く用いられるが、動作原理は上と變らない。その他種々の結線のものも用いられている。

アンプリスタットでも、制御電流に制御電圧を加えてから負荷電流が新たな値に落ちつくまでの時間、すなわち應動時間がその自動制御への應用上から問題となるが、最近のものではこの時間は 0.05-0.1s くらいで、アンプリダイナやロートロールの値と同じ大體同じ桁の値である。

5. 自動制御への應用

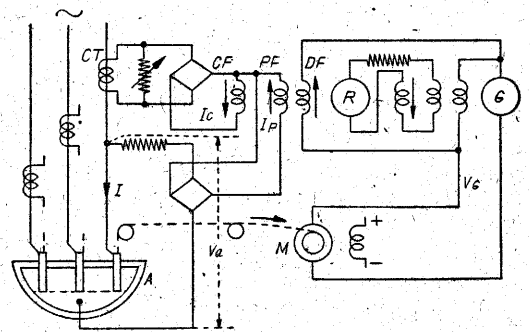
磁器増幅機器を自動制御へ應用した例は特に外國では毎月といつてよいくらい新しいものが發表されている。本邦でも最近はこの應用が大分活潑になろうとしている。ここでこれらの例を一一列挙していくことは紙數も許さぬから、その中の二、三の例を取つて、一般を推すことにしよう。なお、上述の通り、アンプリダイナ、ロートロール、アンプリスタット等はいづれも一つの増幅器であることに變りはないから、たとえばアンプリダイナを應用した例においてはそれを他のロートロールあるいはアンプリスタット等でおき換えることもできるのである。

第8圖はアンプリダイナを應用したワード・レオナード装置であつて、負荷  $L$  を駆動する電動機  $M$  (一定勵



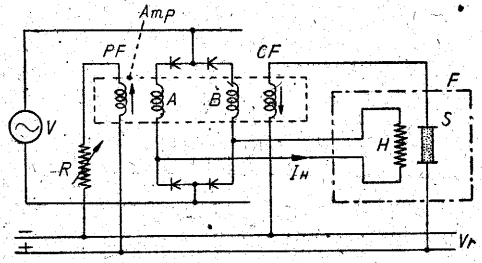
第8圖 アンプリダイナを利用した電動機制御

磁) の速度が整定値よりたとへば上ると速度發電機  $TG$  の發電電圧  $V_{TG}$  が上り、アンプリダイナ  $A$  の制御巻線  $F_3$  に流れる制御電流  $I_c$  が増し、そのボーターン巻線  $F_4$  の電流  $I_r$  の勵磁を打消す作用が増すので、 $A$  の出力電流が減じ、 $G$  の誘起電圧が下り、 $M$  の速度を整定値まで引下げる。 $F_1$  はこの際の亂調の防止回路である。また  $M$  にかかる負荷トルクが急増して、電流  $I$  が許容値以上に急昇すると、その抵抗降下  $IR$  により、第二の制御巻線  $F_2$  に流れる電流  $IR$  が急増し、アンプリダイナの出力電流、従つて發電機  $G$  の電圧も急減して、電流  $I$  を許容値以内に引下げる。 $I$  が定格値のときは  $IR$  は規準電圧  $V_0$  と平衡して上記の電流制限作用を起さないようになつている。



第9圖 ロートロールを應用した電氣爐の入力制御

第9圖はロートロール  $R$  を電氣爐  $A$  の入力の定値制御に應用した例で、爐内の電壓降下  $V_a$  で  $R$  のボーターン巻線  $PF$  を勵磁し、これによる  $R$  の出力で勵磁さ



第10圖 アンプリスタットを應用した爐の溫度制御

れる発電機  $G$  の出力電圧  $V_G$  は操作電動機  $M$  を矢の方向に回して電極を爐の中に押込もうとする。しかし他方爐の電流  $I$  により變流器  $CT$  を介して  $R$  の制御巻線に供給される電流  $I_c$  は上のパターン巻線の電流  $I_b$  と逆に働き、これは結局、電極を爐から引上げようとする。両者の作用の総合結果として、 $V_a I$  すなわち爐の入力が所定の値になるところまで電極が動いてそこで止るのである。 $R$  の巻線  $DF$  は  $G$  からのフィード・バック巻線

で動作の安定化用である。

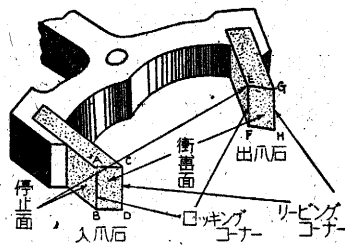
第 10 圖はブリッジ型のアンプリスタットを利用した恒温槽  $F$  であつて、たとえば爐の温度が整定値より少し上ると、サーミスター  $S$  の抵抗が大きく減少し、アンプリスタットの制御巻線  $CF$  への電流が増し、パターン巻線  $PF$  の規準電流を打消す度合いが強まり、その結果アンプリスタットの點弧位相を遅らし、爐の電熱器  $H$  の供給電流  $I_H$  を減じて槽の温度を整定値まで引下げる。

**速報 26** 携帯時計の爪石の磨料

古川 浩

時計の爪石にルビーを用いた場合、その磨耗はほとんど歩度に影響をおよぼさない微量であるとして従来等閑に附されてきた。しかし瑪瑙、ガーネット、鋼等を使用すると少し事情が違い、またルビーでも問題が運動状態における現象であるため事實は靜的に考えられる結果と異つたものが豫想される。今回暗視野金屬顯微鏡によつて使用年月、履歴、潤滑状態等の諸條件が明かな實驗用のものを中心に時計師に持ちこまれる修繕用携帯時計の爪石を数多く調べた結果、それら表面の磨耗状態から

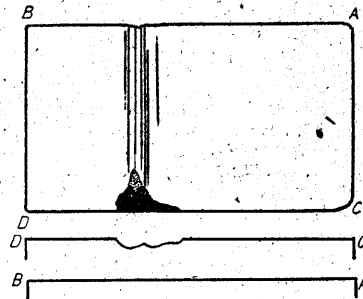
(1) ルビーを使用した場合でも短時間にできた人造寶石は内部に相當な歪を持つているため、天然のものにくらべると種々の衝撃によつてかけやすく、又表面にガンギ齒の通つた條痕が認められるような状態になると相手のガンギ齒の磨耗は更にひどいので爪石のうけるインパルスはやや減少し、これがかなり歩度にもきいてくることとがみとめられる。(2) ガンギ齒が



第 1 圖

爪石の Locking Corner を回りこむとき、両者はほとんどストレスの接觸を保つかないしはごく僅かはなれる傾向をもつ。(3) Locking Corner を回つてからの相對運動は、普通ガンギ齒の角(かど)が爪石衝擊面を滑る第一段階と、爪石の先端である Leaving Corner がガンギ齒の衝擊面を滑る第二段階との二つに分かれる。この接觸條件のため、普通の二面間接觸にくらべて比較的長い非定常

磨耗が終つて定常磨耗に移行すれば第一段階では爪石の表面に條痕を生じ、第二段階ではガンギ齒にあたる Leaving Corner

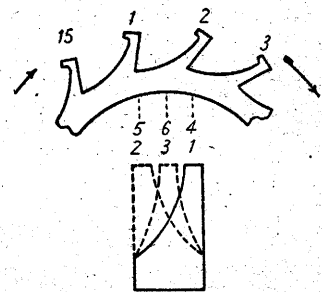


第 2 圖

の接觸點に壓力増加と應力集中が起る。その結果 Leaving Corner には磨耗や欠けが生じやすく、一般に爪石衝擊面は第 2 圖のような状態を示す場合が多い。

などの諸點が明かとなつた。従つてもし高精度が要求されるならば、人造寶石が天然のものと同じように内部に歪をふくまず完全な六方晶系の結晶としてでき上ること、耐磨耗度の最良な軸方向が簡単に見出され、これを利用できるようになることが望ましい。また爪石の表面を従来より一層美しくみがき、潤滑をよく行

つてガンギ齒の 2 枚ないし 3 枚が第 3 圖のように交互に違つた面を滑るようにしたら技術的にも幾分か解決が求められるものと思われ。もちろんかぎりある資料から複雑を極める磨耗機構の一般を論ずることは無理であるが、現場での今後の設計に何等かのお役に立つこともあれば幸いである。(詳しくは“時計とレンズ”9月號を御参照下さい)



第 3 圖

“生産研究”第 3 卷 第 8 號 (8 月號) 正誤表

頁	段	行	種別	正	誤	頁	段	行	種別	正	誤
1			口繪	右上圖面①		27	右	11	本文	第 3 圖	第 4 圖
4			"	中圖面①		"	"		第 3	電池をコンデンサ	
5		9	本文	として快削鋼、快削	として快削黃銅	29	左	15	本文	圖一になおす	
11	右	下 13	"	黃銅 最後に	最度に	33	最下		本文	イブシ	イブシ
									速報		第 1 圖と第 2 圖入換