

# 電 動 力 応 用 の 手 び き

稲 木 利 市\*

## The Motor Application for General Purposes

By Riichi Inaki

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

As the motorization or the application of electric motors for the machine drive can be designed in many fashions, such as A.C. or D.C.; constant-voltage system or Ward Leonard system; motor-generator system or mercury rectifier system, etc. the writer first describes the merits and demerits of each of them in relation to the given purposes.

Since the motorization owes its development chiefly to the progress of automatic control system, the writer next gives a terse description of the automatic control and the comparison among several types of amplifiers, touching the significant contribution of the analog computer to the design of automatic control systems.

In the third place, the writer discusses the subject from the viewpoint of motor speed and torque, since these two constitute the most important factor in the driving power requirements.

### 〔I〕 緒 言

電動力応用というのは電氣的勢力を機械的勢力に変換利用するものゝ総称で、製鉄、製紙、起重機、巻上機、ポンプ、送風機、電車、エレベータなど、生産、輸送、交通に関する施設の大部分を包含している。したがってその技術の優劣は一般産業の能率増進、品質改善、経費節約などにつながるものであり、関係技術者の使命は誠に重大である。

技術の進歩を計るには、なにが要求されているかを把握することが第一要件であるが、電動力応用はあまりに多方面にわたっているので、そのすべてに通暁することが困難であり、こゝに進歩をはばむ一因がある。したがって使用者側とメーカーとのいつそうの協力が切望されるのであつて、仕事の内容と要求がさらに的確にメーカーに伝えられ、電気方式の性能がいつそう明瞭に使用者側に理解されるならば、その進歩は一段と促進されるものと信ずる。

電動力応用は多種多様であり、電動機の種類、制御方

\* 日立製作所日立工場

式等も千差万別であるから、すべてを詳論することは紙面が許さないので、本特集では数種の代表的なものを説明するに止め、電車などの特殊部門は別の機会に譲ることゝして割愛した。

最近における電動力応用の躍進は自動制御の進歩に負うところが大きいのであるが自動制御に関しては多くの文献があるので、本特集では回転増幅機、磁気増幅器などの進歩と、アナログ電気演算器の利用実績を述べるに止めた。

なお二、三の一般的な問題の説明と、電動力応用における諸要求を整理した鳥瞰的説明とは、機種別詳論の手引として便利と考えたので、その要点を述べた。

### 〔II〕 二、三の一般的な問題

#### (1) 交流か直流か

交流にするか、直流にするかは広い意味の経済的判断できまる問題であるが、まず両者の技術的得失について考える。

交流電動機は構造簡単で小型軽量安価であり、直流機のように整流の問題がないから信頼度高く、取扱いも容

易、保守も楽である。その上交直変電設備の費用が省け床面積が減るから建家も安上りになる。

直流電動機は速度、トルクなど性能の点ですぐれている。交流電動機の無負荷速度を変えるには極数または周波数を変えねばならぬが、直流の場合は電圧または界磁を変えればよいのであつて、交流の場合よりはるかに簡単であり、特にレオナードにすればきわめて広範囲、連続的な制御ができる。なお、自動制御を採用した場合は電動機自体が制御可能な特性をもつことが必要なので、主として直流電動機が使用される。要するに交流は安価、直流は性能を長所とするので、要求がむつかしく技術的に直流に限られる場合以外は、設備費、保守費、品質、歩留り、運転能率などを含めた総合的経済比較で判断する外ないが、直流式によらねば要求を満足しえない場合もかなり多いので、作業の内容と要求を慎重に検討することが必要である。

## (2) 直流の諸方式

直流としては定電圧式と可変電圧式の二方式がある。

定電圧式は簡単であり、可変電圧式より勿論安価である。直流電動機の速度は電圧と界磁の二要素で定まるが、定電圧式の場合の速度調整は一応界磁制御に限定される形となるから、制御の範囲も自由度も減ることになるが、実際には負荷時は直列抵抗で、無負荷時は電機子分路抵抗と直列抵抗の組合せで、ある程度電圧制御が可能であるから、相当広範囲な速度制御ができる。ただし、この場合は主回路操作であるから、制御器具が面倒で能率も悪く、大容量には不向である。

可変電圧式にはレオナード式とブースタ式があり、いずれも設備費はかさむが、発電機または昇圧機の界磁調整で電圧を広汎かつ連続的に制御できるから、制御器具も小型、操作も簡単、能率良好でいかなる大容量にも適用できる。

したがつていずれを選ぶかは制御範囲、精度、容量その他によるが、一般に小容量で精度のやかましくない場合は定電圧式が、大容量で広範囲、連続的高精度の速度制御を要する場合とか、自動制御を使用する場合とかは主として可変電圧式が採用されている。

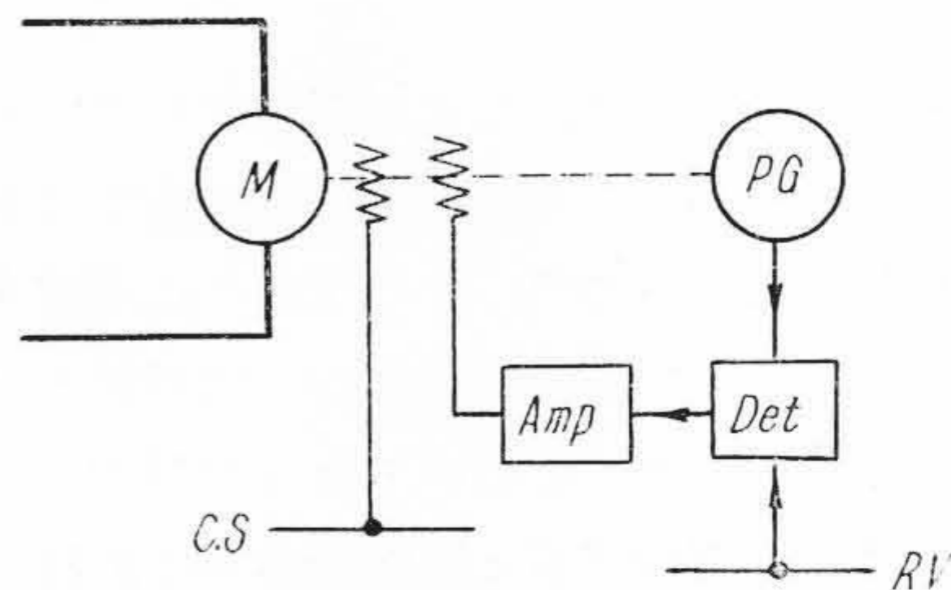
つぎに交直変電方式として電動発電機とアーク変換器のいずれを選ぶかの問題がある。アーク変換器は電動発電機に比し一般に能率よく小型軽量であり、風冷型、封じ切り型などの進歩で信頼性を増し、保守も楽になつたので急速に電動発電機の領域に進出しており、電力応用においても静止レオナードが漸次進出しつつあるが、正逆転の頻繁な場合、回生制動を行う場合などではやはり主として電動発電機が使用されている。

静止レオナードの特長は主としてその速応性にある。

アーク変換器の作用は電子的であるからほぼ無慣性であり、磁気作用に依存する電動発電機に比し、速応性が格段に向上する。したがつて、ロッドミル、チューブミルなどにおけるインパクト、ドロップ補償の場合のごとく、速度の過渡変動が重視される場合は電動発電機に比し断然有利である。

## (3) 自動制御

いま負荷に無関係な一定速度の要求に対し、直流分巻電動機を使用する場合を考えると、もし100%負荷変動に対する速度の許容誤差が5%程度ならば、これに合格するような速度特性をもつ分巻電動機を設計することは困難でないが、精度が2%となると機械の大きくなるのを忍んで特殊の設計にしても、おさまるかどうかわく疑問であり、精度が1.5%あるいは1%となるとほとんど不可能に近い。すなわち要求が苛酷になると設計的考慮による電動機自身の特性改善だけでは応じきれない限度がくるのであつて、これを解決したものが自動制御である。第1図はこの場合の自動制御の原理を示す。すなわち電動機速度をそれに直結した指速発電機PGの電圧に置換し、それと一定不変の基準電圧RVとの差を増幅して電動機補助界磁に加え、常にPGの電圧がRVと等しくなるごとき一定速度に自動制御するのである。いま規定速度のときPGの電圧がRVと等しいものとする、速度したがつてPG電圧が1%下つてRVとの間に1%の差を生ずると、これが増幅されて電動機補助界磁にあるアンペアターンを供給するのであるが、このアンペアターンの値が電動機速度を50%上げる(制御しない場合)ような大きさだつたとすると、この制御系の増幅率は50であるという。いま100%負荷による電動機の固有速度低下率を10%とすると、この場合の実際速度低下は $\frac{10}{1+50}=0.196\%$ に制限される。なんとなれば0.196%の速度低下は50倍に増幅されて9.804%の速度上昇作用を生じ、10%の固有速度低下を $10-9.804=0.196\%$ に押えるからである。このように自動制御を採



M: 直流電動機 PG: 指速発電機  
Det: 検出器 Amp: 増幅器  
RV: 基準電圧 C.S: 定電圧電源

第1図 自動制御説明図

Fig.1. Simplified Diagram of Automatic Speed Control System

用すればその増幅率の適当な選定により、電動機固有の性能を任意に改善し、確実に要求精度を満足することができるのであつて、単に負荷速度特性だけに限らず各種の問題に応用して、電動力応用の進歩に少なからず貢献している。

図からあきらかなように自動制御では一定不変の基準電圧  $RV$  が必要で、この  $RV$  に一致するごとく  $PG$  の電圧すなわち電動機速度を制御するのであるから、基準電圧が変れば増幅率をいかに大きくしても電動機速度はそれに応じて変化する。したがつて基準電圧が不変であることは自動制御の精度向上の基本条件である。普通基準電圧としては第2図A線のごとく電流電圧特性の直線的なものと、B線のごとく非直線的なものととの交点の電圧  $V$  が使用されており、非直線要素としては普通磁気飽和またはランプ抵抗などのごときものが利用されておる。第2図(a)は前者、(b)は後者の場合を示す。

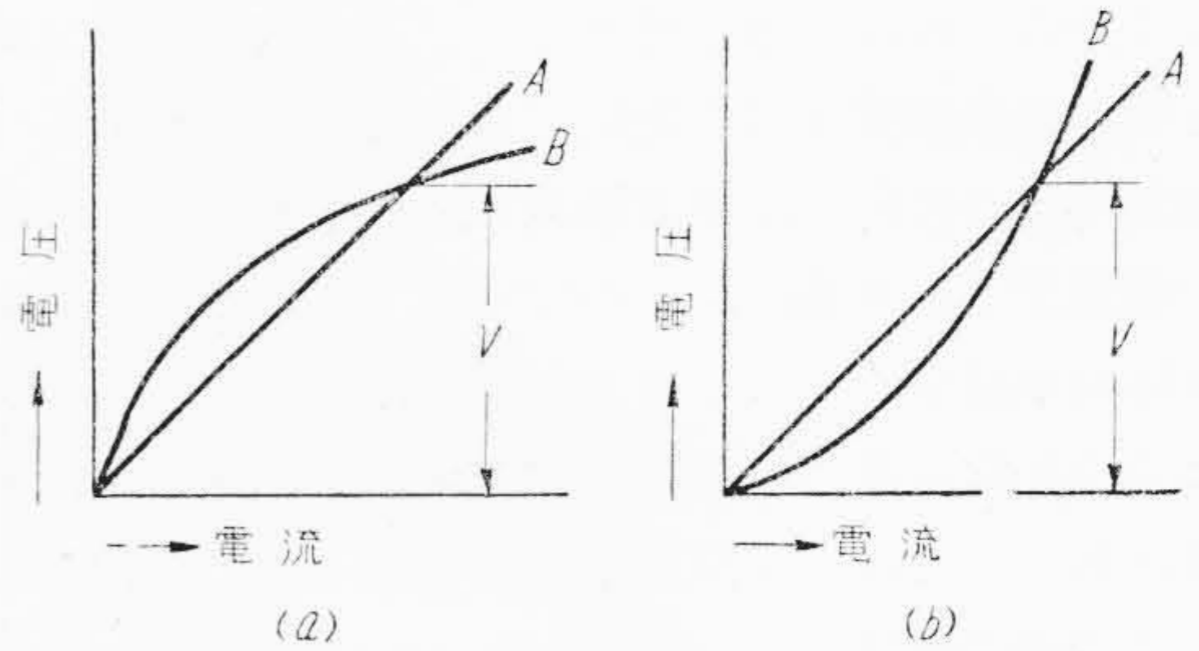
(4) 増 幅 装 置

増幅装置の優劣は主として増幅率、速応性、直線性などの要素で判定される。増幅率は出力と入力の比であり、その値は勿論大きい程よい。速応性は入力を与えられてから、それに相当する出力に達するまでの時間の長短を示す尺度であり、その短い程、すなわち速応性の大なる程よい。直線性は出力と入力の比すなわち増幅率の一定度を示すもので、使用範囲内は不変に維持されることが望ましい。

自動制御の性能は増幅装置の優劣に依存するところが大きいので、いかなる増幅器を使用するかはきわめて重要な問題である。現在使用されているのは主として回転増幅機、磁気増幅器および電子管増幅器の三種で、それぞれ一長一短あり用途に応じた適切な選択が肝要である。

回転増幅機には HTD、アンプリダイン、ロトトロールなどがあり、アンプリダインは横軸刷子式、HTD、ロトトロールなどは自励同調式であり、それぞれ特色をもっている。回転増幅機の研究は近年特に盛んであり、その成果にも分極 HTD のように注目すべきものがある。

磁気増幅器は最近における異方性磁性材料の急速な進歩に伴い、その性能も飛躍的に向上し、電動力応用の各分野で回転増幅機の領域を侵しつつある。磁気増幅器は静止器であるから保守の手数を要せず、400~ 程度の高周波交流を使用するものは小型軽量、性能優秀で小容量の場合または回転増幅機の前段増幅器などとして特に賞用されている。たゞセレン整流器を使用することがその信頼度の点から難点とされていたが、セレンの品質も最近急速に向上したのでこの不安はほぼ一掃された。たゞし市販品は玉石混濁の傾向があるから選択に注意を要する。



第2図 基準電圧説明図  
(a) 磁気飽和 (b) ランプ

Fig.2. Two Systems of Constant Reference Voltage

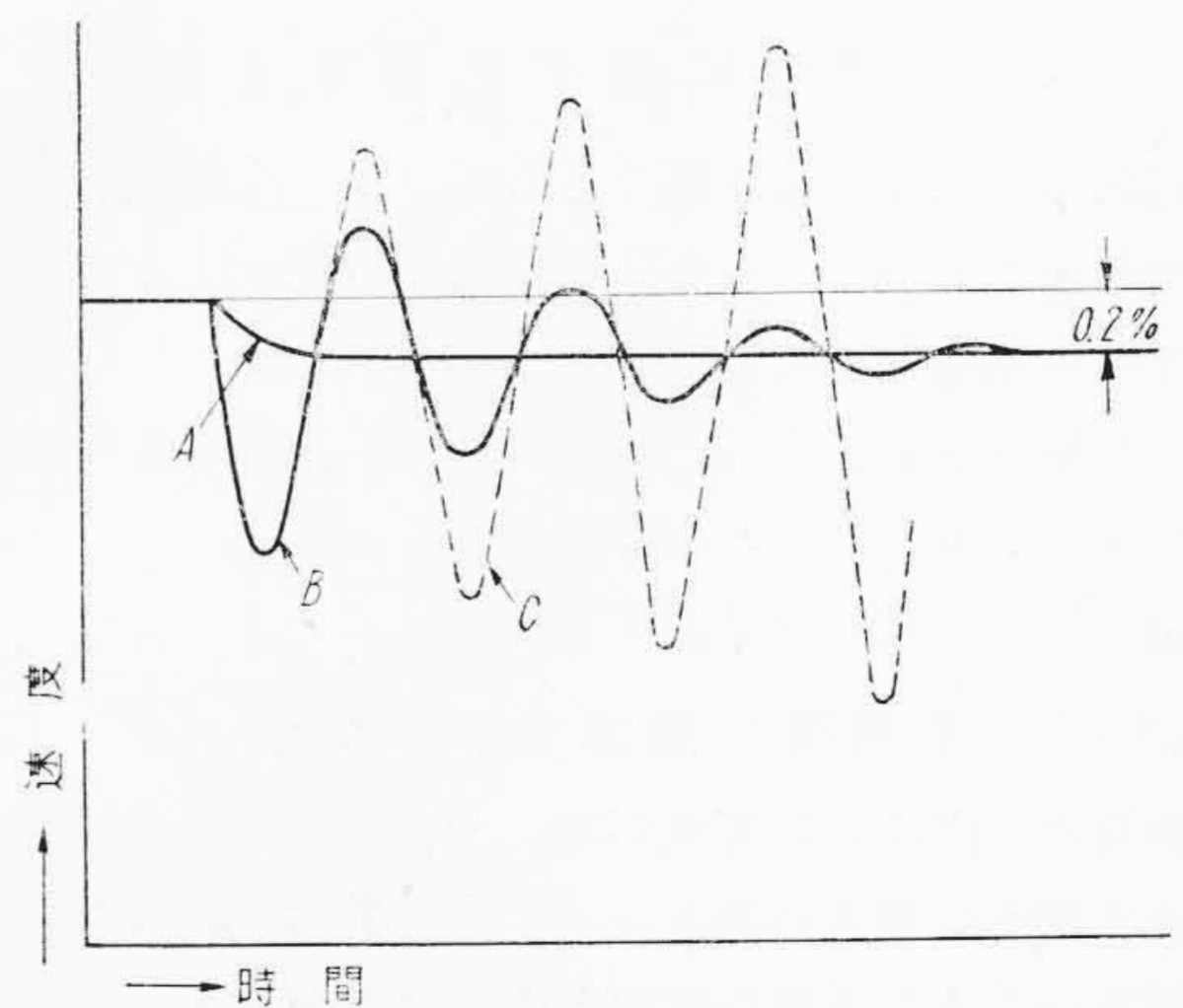
(a) Magnetic saturation (b) Lamp

電子管増幅器は増幅率、速応性とも大で三者中最高の性能をもっているが、真空管の信頼度の点から、電動力応用に広く使用されるに至らず、極めて高級な精度、または特に大なる速応性を要求される場合などの特殊用途に使用されるに止まる現状であるが、真空管の進歩とともに漸次利用範囲が拡大するものと思われる。

(5) ア ナ ロ グ 演 算 器

第1図の場合、速度の固有変動率 10% が自動制御によりほぼ 0.2% に圧縮されることはすでに述べた通りであるが、このことは単に 100% 負荷による速度の整定誤差が 0.2% であることを示すに過ぎず、負荷がかかった瞬間から -0.2% の整定値に落付くまでに、速度がどのような経過を辿るかという点には全然無関係である。なんとなれば、整定後の状態は増幅率のみで決定されるが、過渡期の現象は増幅率だけでは決定できないからである。

過渡変化が第3図A曲線のような場合はよいが、B曲線のように整定誤差以上の振幅で振動し、なかなか整定しないのは困るし、特にC曲線のように振幅が漸増する



第3図 速度の過渡変化  
Fig.3. Transient Speed Change

よくなると危険で運転できない。この場合はハンチングと称し自動制御系が不安定であるという。したがって自動制御系の設計では要求精度を満足するように、増幅率を選定するとともに、その安定度すなわちハンチングの有無を確認することがぜひ必要である。

ところが安定度の決定には過渡現象をあきらかにする必要があり、それには制御系のあらゆる常数すなわちすべての回路の抵抗、自己誘導係数、相互誘導係数、各回転機、増幅機などの増幅率、時定数、電動機の慣性能率などをとり入れた微分方程式を解く必要があるが、実際の制御系ではこの方程式が四次、五次以上の高次となり、解けない場合が多い。仮りに解きえても結果が不安定の場合には各常数を色々に変えて計算を繰り返すほかなく、その煩さに耐えないばかりでなく最良の結果を与える常数とその組合せを発見することは不可能に近い。

アナログ演算器はこの難問を解決するもので、計算を要せずして実際の過渡現象をブラウン管上に直視しうるのみならず、ダイヤルを回すだけで任意の常数を任意に調整しえて、容易に最良の結果を与える常数の値とその組合せが決定され、安定にして所要の精度をもつ最良の設計を确实迅速に完成することができる。

以上からあきらかなように自動制御の設計には、アナログ演算器による解析が非常に重要である。自動制御の安定度は系の全常数の相互関係に依存し、抵抗、線輪などの部分的な相異によつても結果を異にする場合があるから、経験や参考例だけに頼ることは危険で、箇々の設計につき解析検討する必要があるからである。

欧米では早くからアナログ演算器が利用されているが我国でも近来ようやく実用化に向いつゝあり、自動制御の躍進が期待される。日立製作所ではいち早くこれを設置し、すでに数年前より自動制御の解析に活用し、多大の成果を取めている。

〔III〕 速度に関する要求と対策

電動力応用は多種多様であるが、すべて機械的パワーを利用するものであるから、使用上の要求はその二要素すなわち速度とトルクに関するものが多い。したがってこれを整理検討すると比較的各機種に共通な基礎的事項をあきらかにすることができる。

以下その主な点を略記する。

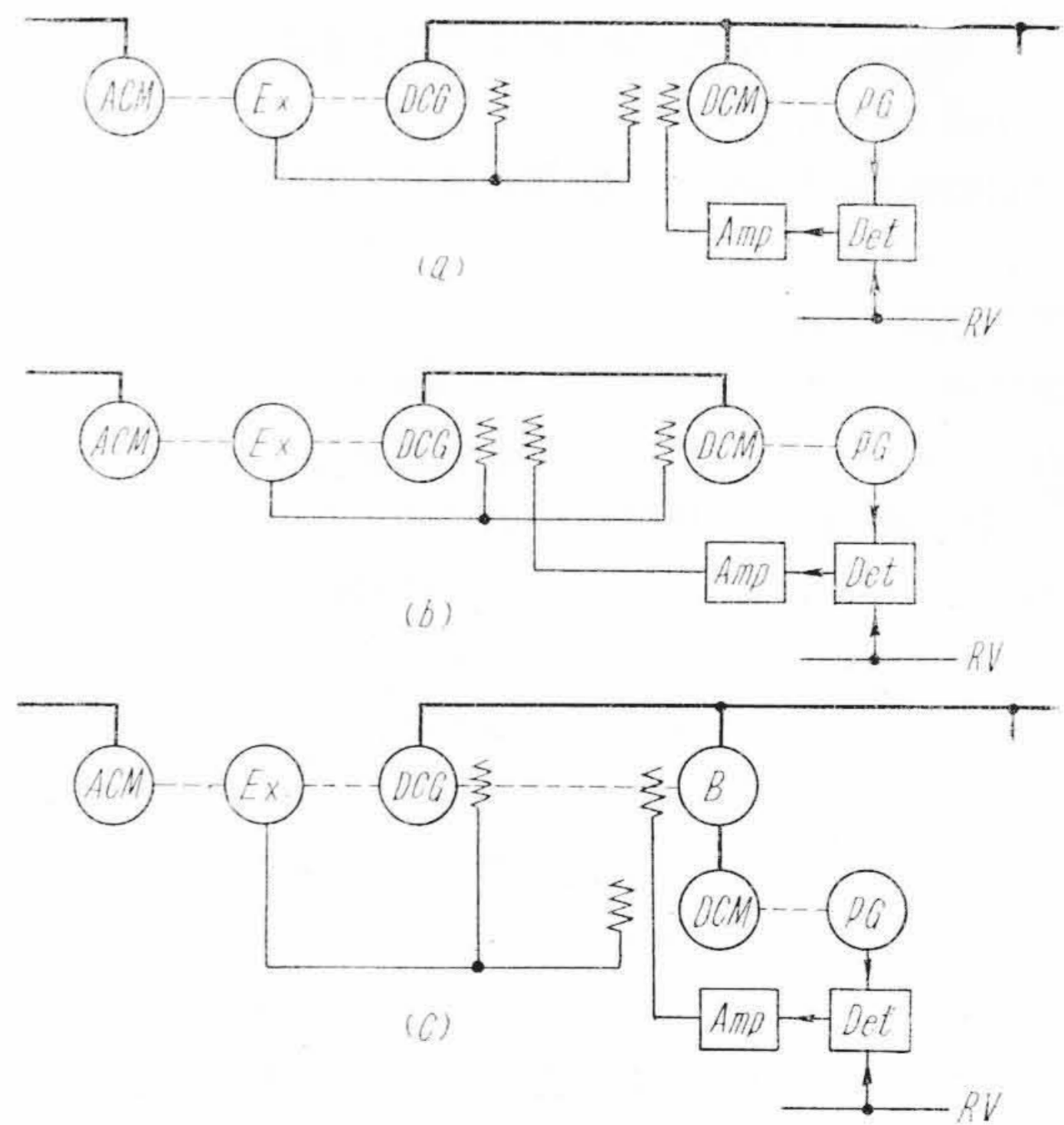
(1) 一定速度が要求される場合

負荷の変化に対し速度がほぼ一定に維持できればよいという程度の要求の場合は、同期電動機、誘導電動機、直流分巻、または複巻電動機のいずれを使用してもほぼ要求を満足できる。負荷のみならず電源電圧、周波数、温度その他いかなる擾乱に対しても、速度を指定精度内

で一定に維持することを必要とするようになると、交流電動機はあきらかに不適格となる。

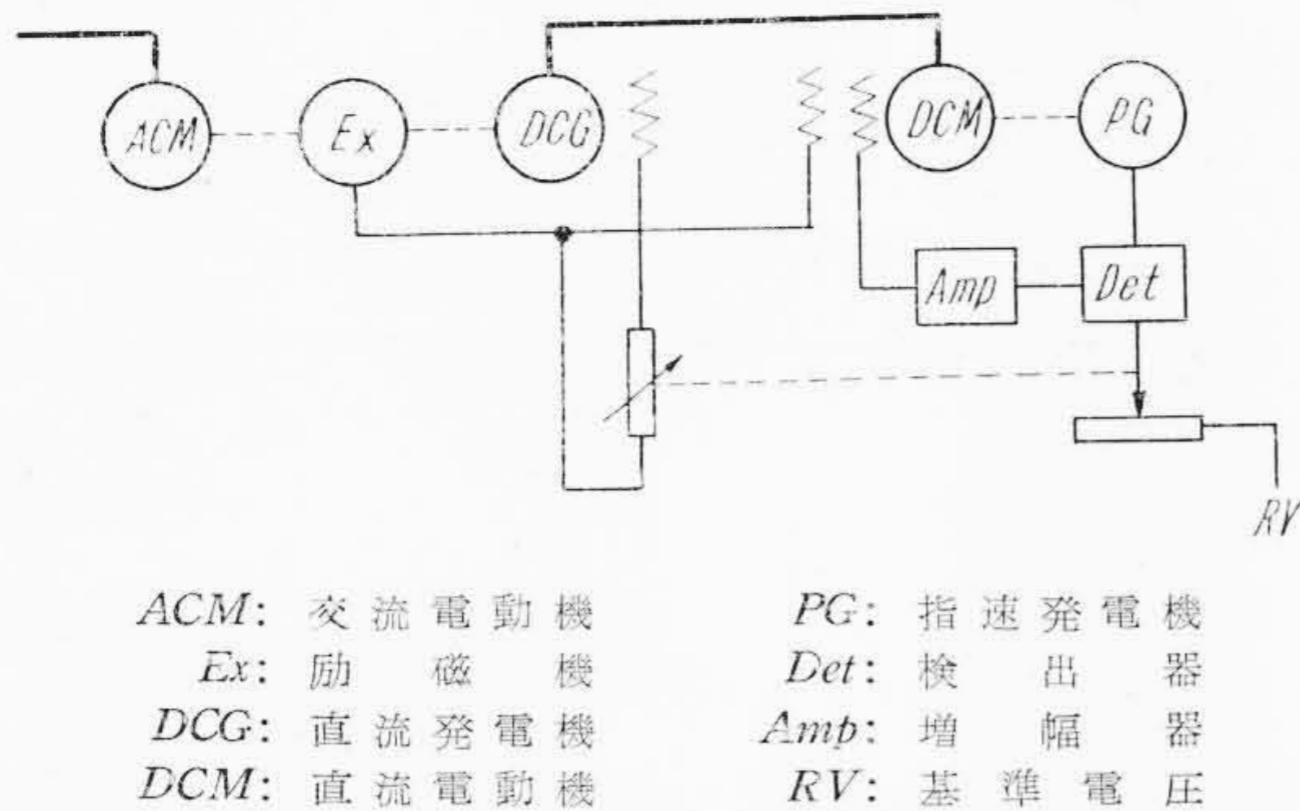
直流分巻電動機は速度は反起電力と磁束の比で決定するが、反起電力は電源電圧と負荷に、磁束は界磁電流したがって電源電圧と界磁温度に依存するから、電源電圧、負荷、温度にかゝらず反起電力と磁束の比を一定に維持できれば、速度も一定に維持される。したがってまず低飽和として磁束を励磁電圧に比例せしめ、界磁回路に大なる外部抵抗を挿入して界磁電流におよぼす温度の影響をおさえ、電機子内部抵抗したがって、その電圧降下を小さく設計すれば、速度を負荷、電圧、温度などに無関係にほぼ一定に維持することができる。しかしこの場合電動機は大型となり、精度も不十分なので普通自動制御が採用される。

第4図 (a)~(c) はこの場合の自動制御方式の代表例を示す。すなわち PG の電圧と RV との差を増幅して、電動機界磁 (a) または発電機界磁 (b) または昇圧機界磁 (c) に加えて、電動機速度を RV で指令された一定値に維持せんとするもので、制御系の増幅率を適当に選定することにより、精度を任意に向上させることができる。(a) (b) (c) はそれぞれ一長一短あり、事情に応じて適当に選択せねばならぬ。



- ACM: 交流電動機
- Ex: 励磁機
- DCG: 直流発電機
- DCM: 直流電動機
- PG: 指速発電機
- Det: 検出機
- Amp: 増幅器
- B: 昇圧機
- RV: 基準電圧

第4図 定速自動制御方式  
Fig. 4. Automatic Control Systems for Constant Speed



第5図 広範囲の速度制御を行う方式  
Fig.5. Wide Range Speed Control System

(2) 広範囲の速度制御が要求される場合

一定負荷に対して数種の色度が必要な場合は巻線型誘導電動機の二次抵抗制御または直流分巻電動機の主回路抵抗制御あるいは界磁抵抗制御を使用することができる。

負荷に無関係にほゞ一定な数種の色度を必要とする場合は、誘導電動機の極数変換または直流分巻電動機の界磁制御あるいは直流レオナード方式を使用せねばならぬ。

負荷に無関係にきわめて広範囲の連続的の色度制御が必要な場合は、レオナードが唯一の実用方式である。

広範囲、連続的な速度制御が可能であるとともに、一度設定した速度はいかなる外部擾乱に対しても、所定精度で一定に維持する必要がある場合は、レオナード方式を採用し、適当な自動制御を行う外ない。第5図にその一例を示す。方式としては第4図(a)の場合と全く同様であるが、速度の設定値を変化するため直流発電機の界磁抵抗と、基準電圧RVの分圧器に連動調整装置を設けた点が相異している。

(3) 大なる加、減速度を必要とする場合

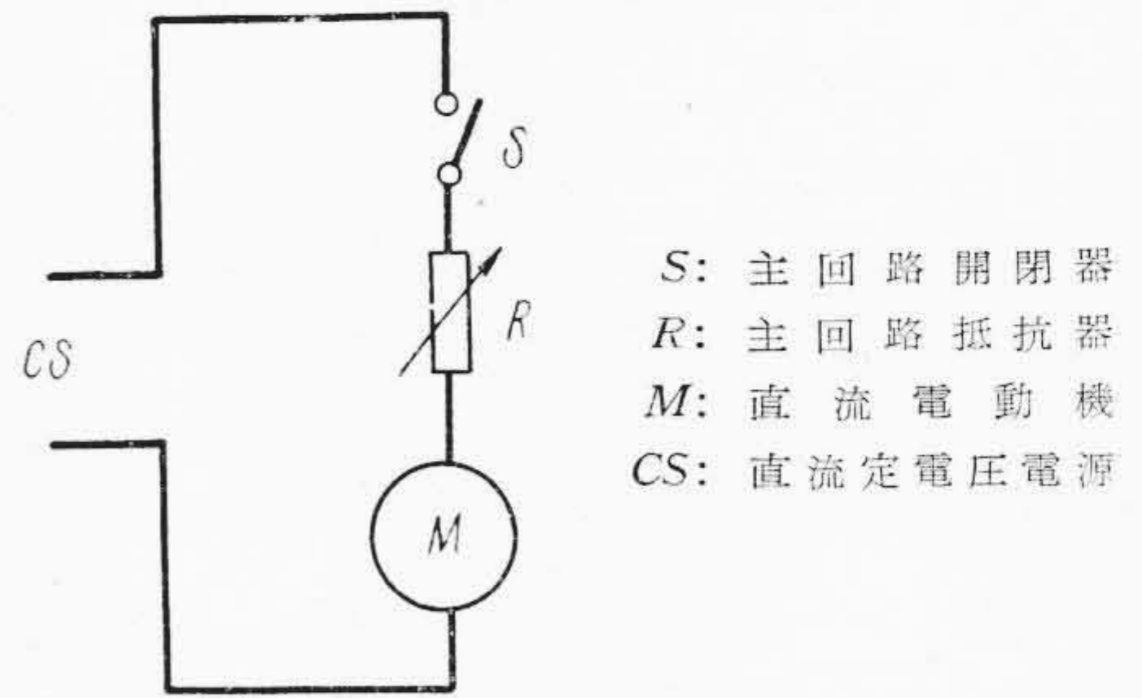
分塊圧延機のように起動、停止を頻繁に行う場合は、加減速度を大とすることが生産能率向上の要件となる。

直流電動機の発生トルクは界磁と電流の積に比例するから、全界磁、許容最大電流の場合トルクは最大となるのであつて、加速中この状態を持続すれば加速時間を最短とすることができる。

最も簡単な方法は第6図のように主回路開閉器Sを閉ぢると同時に、主回路電流を許容最大値に維持するように主回路抵抗Rを調整することであるが、主回路操作であるから小容量の場合以外は実施困難である。

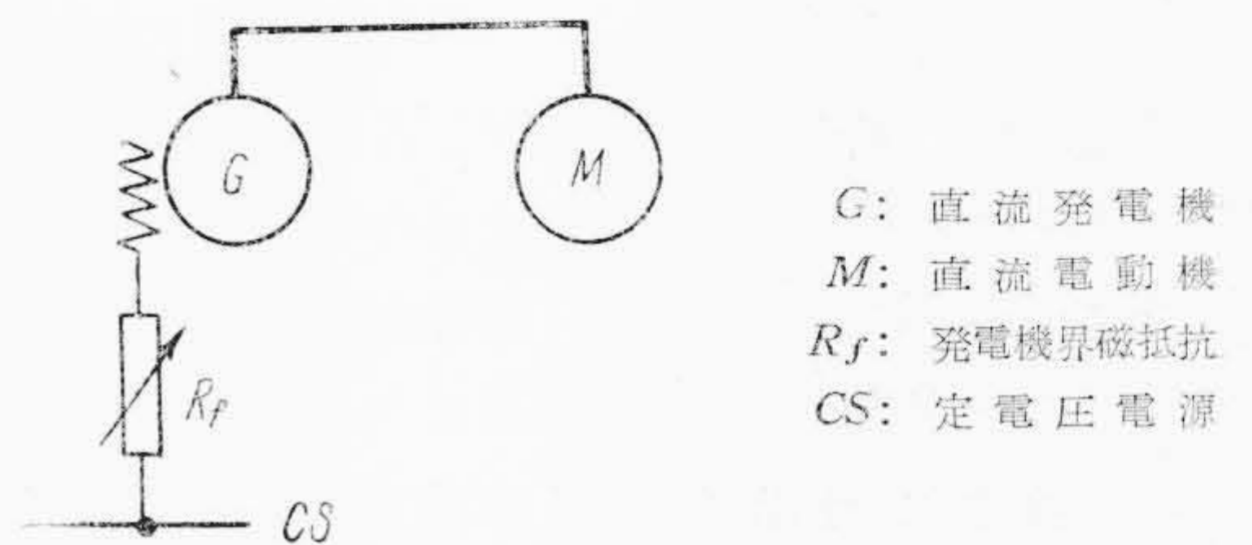
大容量の場合は第7図のようなレオナード方式とし、発電機界磁抵抗R<sub>f</sub>を調整し、電圧を上げて加速する方法が考えられるが、R<sub>f</sub>の調整が面倒である。

一般に電動機に一定加速度を与える場合はGD<sup>2</sup>を加速



第6図 急加速方式説明図  
(主回路操作)

Fig.6. Explanatory Connection for High Acceleration System  
(Main Circuit Control)



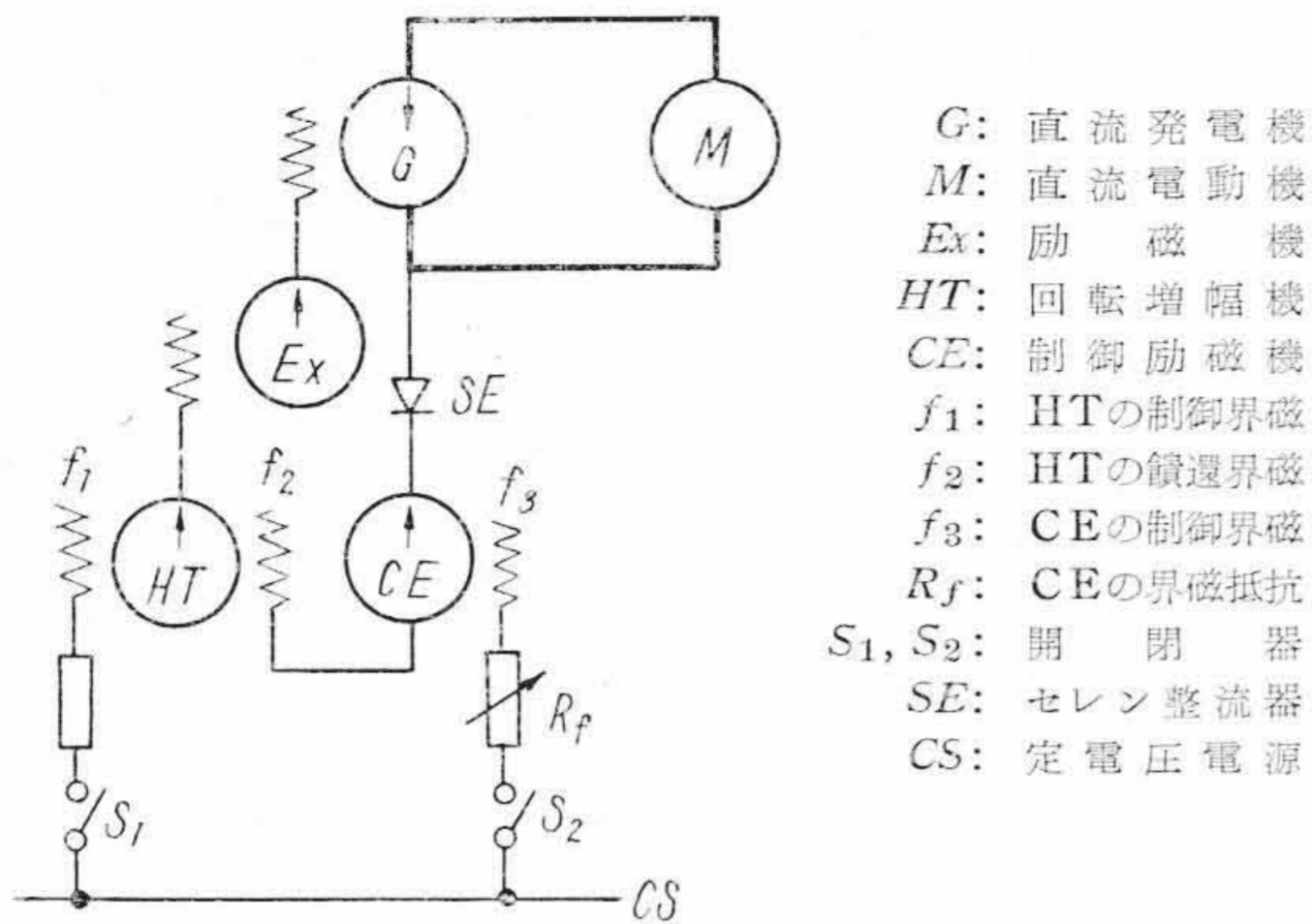
第7図 急加速方式説明図  
(界磁操作)

Fig.7. Explanatory Connection for High Acceleration System  
(Field Control)

するに必要な電流と負荷電流との和による抵抗降下と、直線的に上昇する電動機逆起電力との和が所要の発電機電圧上昇曲線となるのであつて、これに対応するR<sub>f</sub>の時間的变化は界磁回路の時定数、飽和曲線などから一義的に決定する。

したがつて電動機を所定加速度で昇速するためには、R<sub>f</sub>を上記条件を満足するよう変化する必要があるが、分塊圧延機などの場合R<sub>f</sub>は運転者が鋼塊の状況を見ながら操作せねばならぬので、この条件を満すことは不可能である。

この問題を解決する自動制御の一例を第8図に示す。起動の場合運転者が主幹制御器を操作するとS<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>が閉路すると同時にR<sub>f</sub>が進められ、f<sub>1</sub>のためにHT, Ex, Gに、f<sub>2</sub>のためCEに、それぞれ矢印のように電圧を発生する。Gの電圧がCEの電圧より低い間はSEに阻止されf<sub>2</sub>は無電流で、HTはf<sub>1</sub>のみの作用で昇圧する。Gの電圧がCEの電圧以上になればf<sub>2</sub>に通流しHTの電圧を下げGの電圧上昇を押えて、CEの電圧に等しくなるように自動制御するのである。この場合HT, Ex, Gなどを十分低飽和に設計すれば、それらの電圧は互いにそれぞれの界磁時定数に該当する時差をもつて、



- G: 直流発電機
- M: 直流電動機
- Ex: 励磁機
- HT: 回転増幅機
- CE: 制御励磁機
- f<sub>1</sub>: HTの制御界磁
- f<sub>2</sub>: HTの饋還界磁
- f<sub>3</sub>: CEの制御界磁
- R<sub>f</sub>: CEの界磁抵抗
- S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>: 開閉器
- SE: セレン整流器
- CS: 定電圧電源

第8図 急加速自動制御方式  
Fig. 8. Automatic Control System for High Acceleration

ほぼ直線的に上昇するのであつて、 $f_1$ の強さを適当に設計することにより、主幹制御器の操作いかに、すなわち  $f_3$ の強さいかにかわらず、電動機に所定加速度を与えるように一定発電機電圧上昇率をうる事ができる。

(4) 数台の電動機の関係速度を一定に維持する必要がある場合

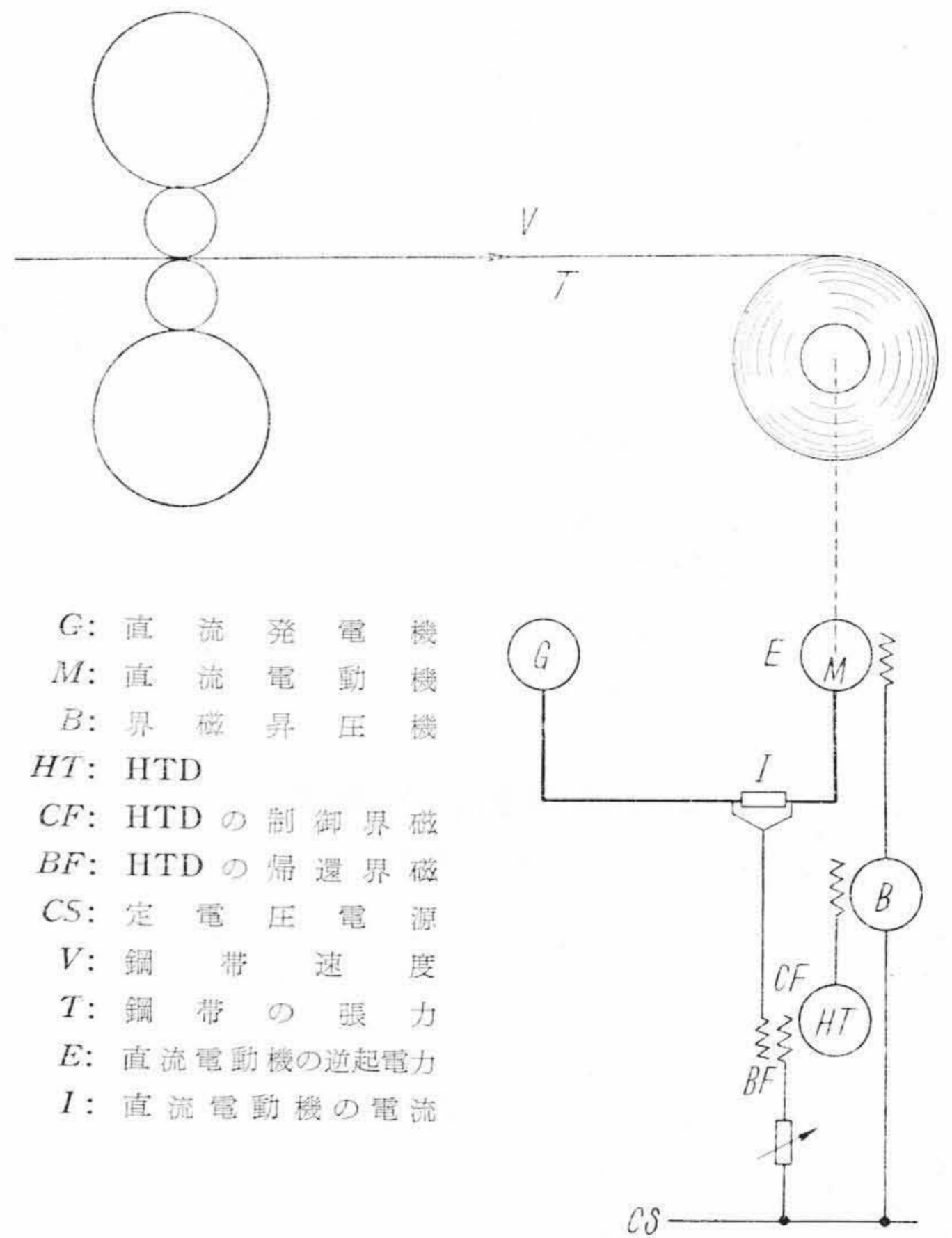
抄紙機やストリップミル、ロッドミルなどのように製品が数台の電動機に跨つて流れている場合には各電動機の関係速度を厳密に所定比率に維持しないと、製品の破断その他の事故が起る。この場合の自動制御は製品の種類、作業の内容に応じそれぞれ特殊の方式が必要である。以下その二、三を説明する。

(A) 張力制御

電動機の関係速度が変り製品が破断する場合はその前にかならず張力が増大するから、張力を一定に自動制御すれば、関係速度を所定値に維持することができる。鉄のように強度が高い材料の場合はこの方法が精度も高く実際の要求にも適合している。

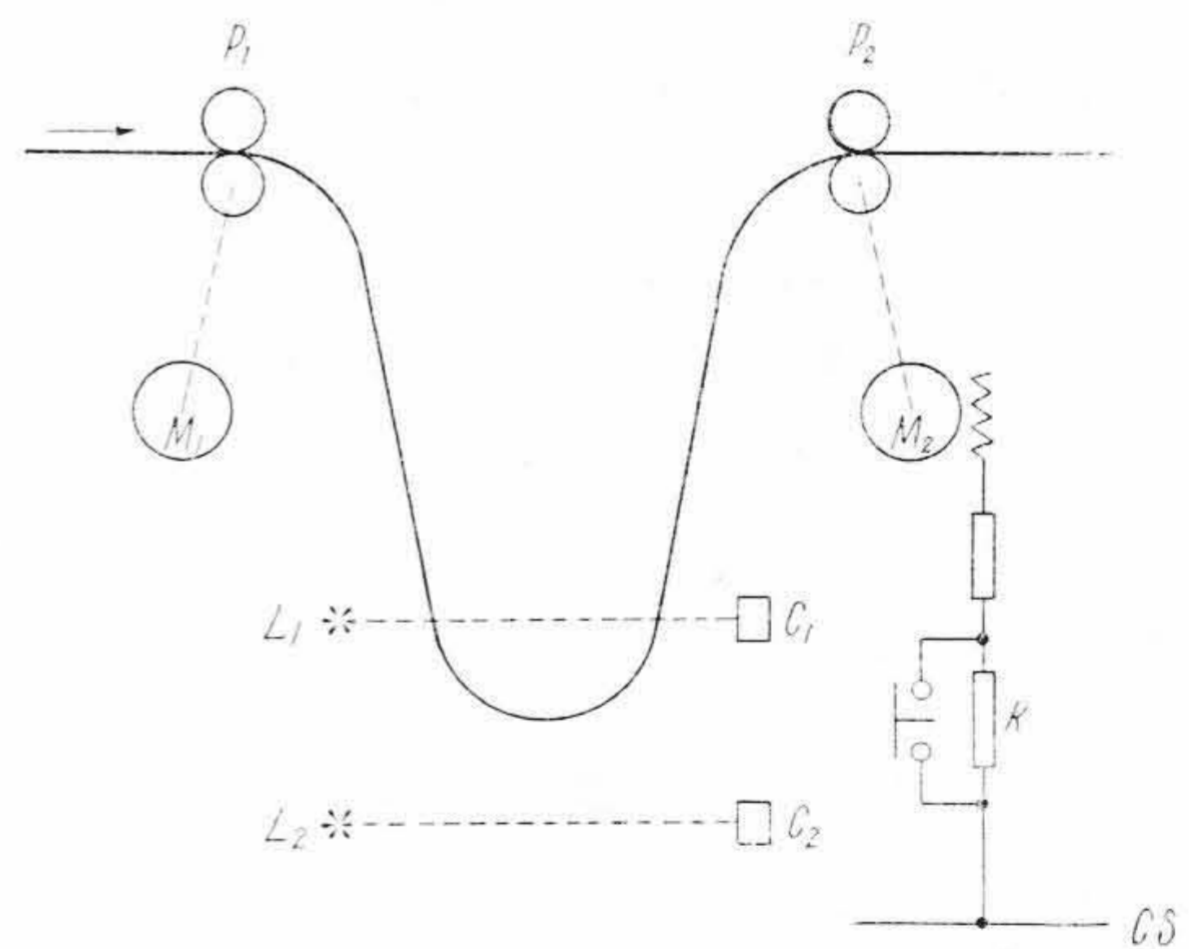
第9図はこの張力制御を可逆冷間鋼帯圧延機に適用した一例を示す。この場合張力が不変に維持されるためには巻取電動機速度は巻太りに応じ、コイル径に逆比例的に低下するように制御される必要がある。図において鋼帯に与えられる張力パワーは電動機出力  $EI$  の変形したものであるから  $TV=EI$  である。したがつて  $E \propto V$  の場合は  $T \propto I$  となり電流を一定に制御すれば張力も不変に維持される。すなわち図のように HT の制御界磁 CF を一定励磁し、饋還界磁 BF を電流に比例した電圧で励磁すれば常に電流したがつて張力を一定に維持するよう昇圧機を通じて原動機界磁を制御し、電動機速度は巻太りとともに比例的に低下するのである。

(B) ループ、コントロール



- G: 直流発電機
- M: 直流電動機
- B: 界磁昇圧機
- HT: HTD
- CF: HTDの制御界磁
- BF: HTDの饋還界磁
- CS: 定電圧電源
- V: 鋼帯速度
- T: 鋼帯の張力
- E: 直流電動機の逆起電力
- I: 直流電動機の電流

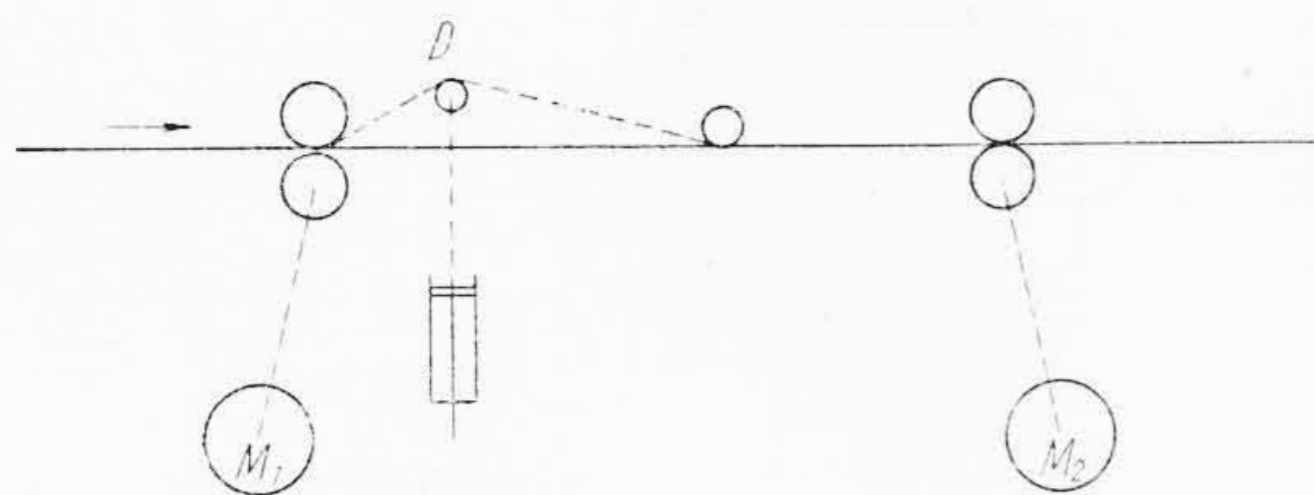
第9図 張力制御方式  
Fig. 9. Tension Control System



- P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>: ピンチロール
- M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>: 直流電動機
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>: 光源
- C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: 光線検出器
- R: 界磁調整抵抗
- CS: 定電圧電源

第10図 光電管によるループ制御方式  
Fig. 10. Loop Control System by Photoelectric Cell

2台の電動機の関係速度を所定比率に維持する方法の一つにループ・コントロールがある。第10図にその一例を示す。すなわち P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> のピンチロールを M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> の電動機で駆動する場合、P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> 間の製品にループを設けその下端が常に一定範囲にあるよう光電管により M<sub>1</sub> の界磁制御を行うもので、ループ下端が L<sub>1</sub>-C<sub>1</sub> 以上になると M<sub>2</sub> の界磁抵抗 R を短絡して速度を下げ、L<sub>2</sub>-C<sub>2</sub>



$M_1, M_2$ : 直流電動機       $D$ : デフレクタ

第11図 デフレクタによるループ制御方式

Fig.11. Loop Control System by Deflector

以下になると  $R$  を挿入して速度を上げるようにし、常に下端が  $L_1, L_2$  間にあるよう  $M_2$  速度を自動制御するものである。

タンデムミルの場合は第11図  $D$  のようにデフレクタを設け、ストリップにタルミができると圧縮空気により  $D$  を点線のように上昇させ、その運動を利用して手動または自動的に速度制御を行う方式も使用されている。

(C) 自動揃速制御

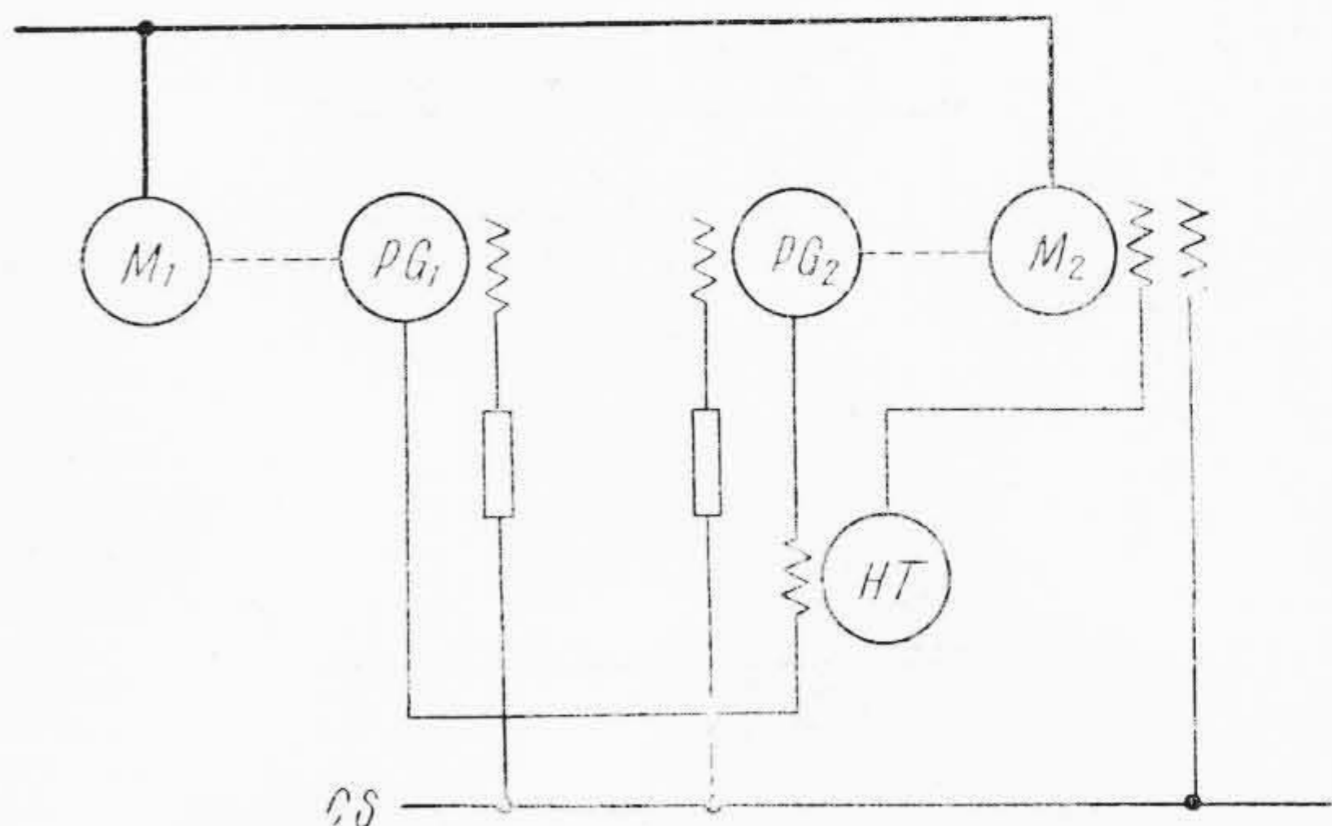
製品が紙のように弱くて張力をかけられない場合は、張力パワーは僅かで、電動機出力は大部分摩擦に消費されることになるから、張力は電流に比例せず(A)項の張力制御は利用できない。また紙はたるむとシワができるのでループ・コントロールも不適當である。このような場合の自動揃速制御の一例を第12図および第13図に示す。

第12図は2台の電動機  $M_1, M_2$  にそれぞれ指速発電機  $PG_1, PG_2$  を設け、その電圧の差を増幅して  $M_2$  界磁に加え  $PG_1$  と  $PG_2$  の電圧したがつて  $M_1$  と  $M_2$  の速度が等しくなるように自動制御するもの、第13図は別箇の基準発電機  $LG$  を設け  $M_1, M_2$  の速度をすべてこの  $LG$  の電圧指令に合致せしめるように制御したものである。いずれの場合も  $PG_1, PG_2$  の界磁調整により  $M_1$  と  $M_2$  の速度比率は任意に設定することができる。

第14図はこの目的に使用される無定位制御の一例を示す。すなわち  $M_1, M_2$  はそれぞれ円錐調車を介して差動歯車の第一および第二軸に結ばれており、両者の速度比率が所定値と相異すれば第三軸が回転して、 $M_2$  の界磁を加減して速度比率を所定値に復せしめるものであり、差動歯車の第三軸は両電動機の関係速度差の積分で作動するから、制御誤差はかならず零となる。所定速度比率は円錐調車により任意に調整できる。なお本方式と第12図および第13図のような定位制御を適当に併用すると非常に特色ある制御方式がえられる。

(5) 速度の瞬時変化が問題となる場合

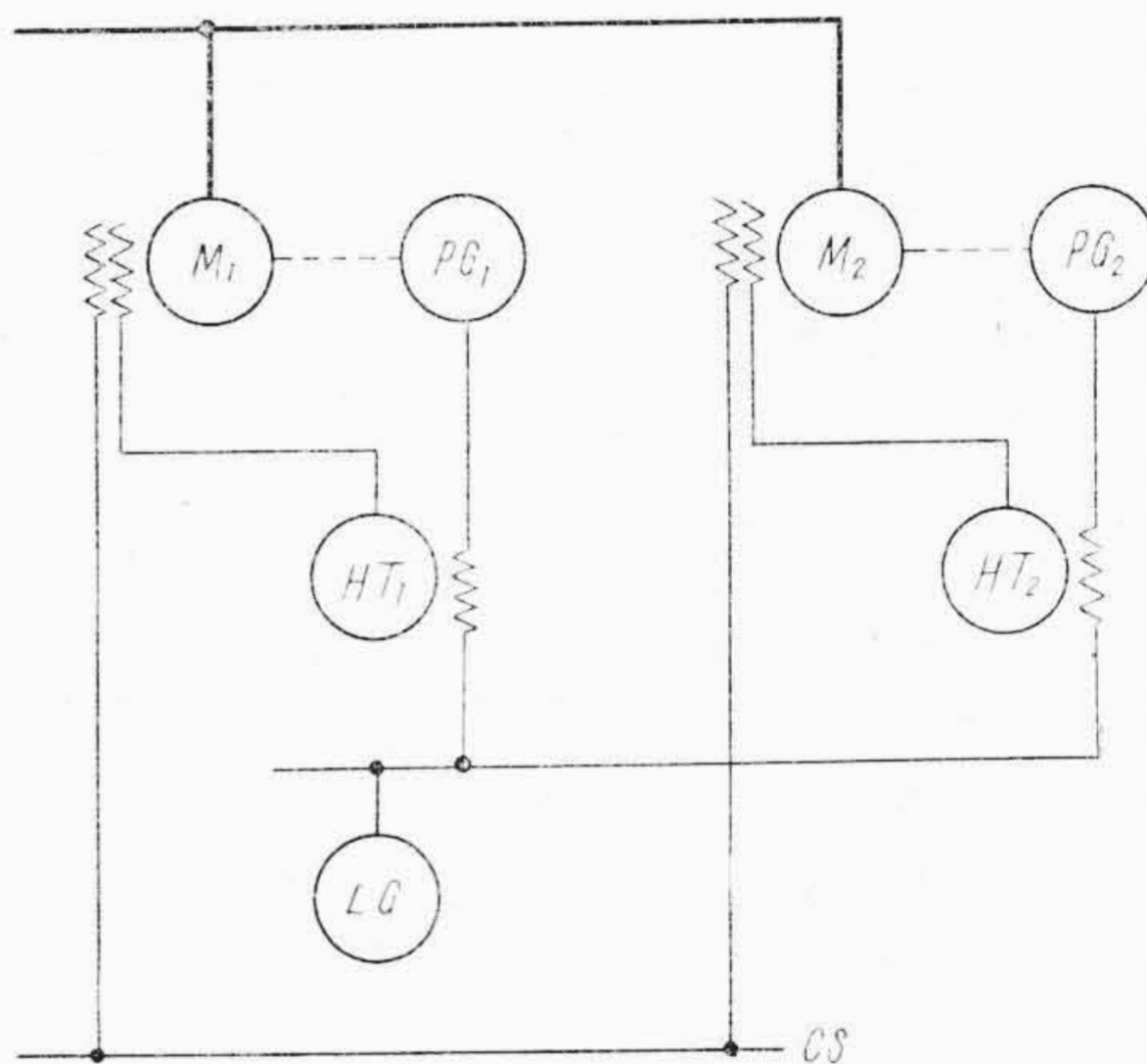
急に負荷がかゝった場合第15図(次頁参照) A線のような速度変化を起す電動機に、自動制御を加えた場合、速



$M_1, M_2$ : 直流電動機       $HT$ : HTD  
 $PG_1, PG_2$ : 指速発電機       $CS$ : 定電圧電源

第12図 自動揃速制御方式

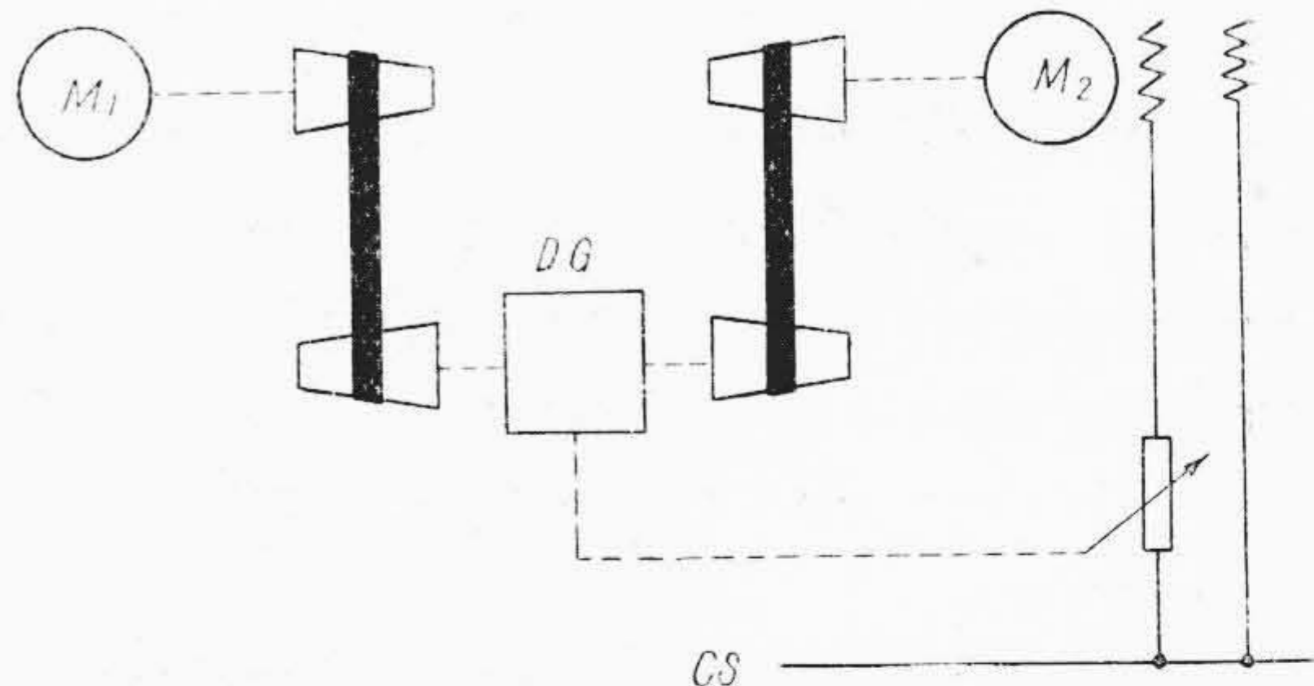
Fig.12. Automatic Controlling System of Speed Matching



$M_1, M_2$ : 直流電動機       $LG$ : 指導発電機  
 $PG_1, PG_2$ : 指速発電機       $CS$ : 定電圧電源  
 $HT_1, HT_2$ : HTD

第13図 自動揃速制御方式

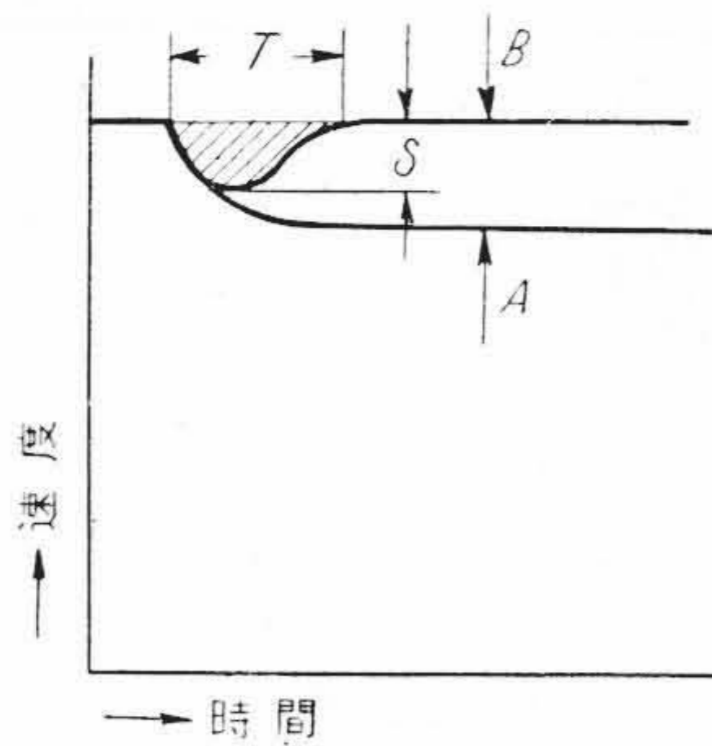
Fig.13. Automatic Controlling System of Speed Matching



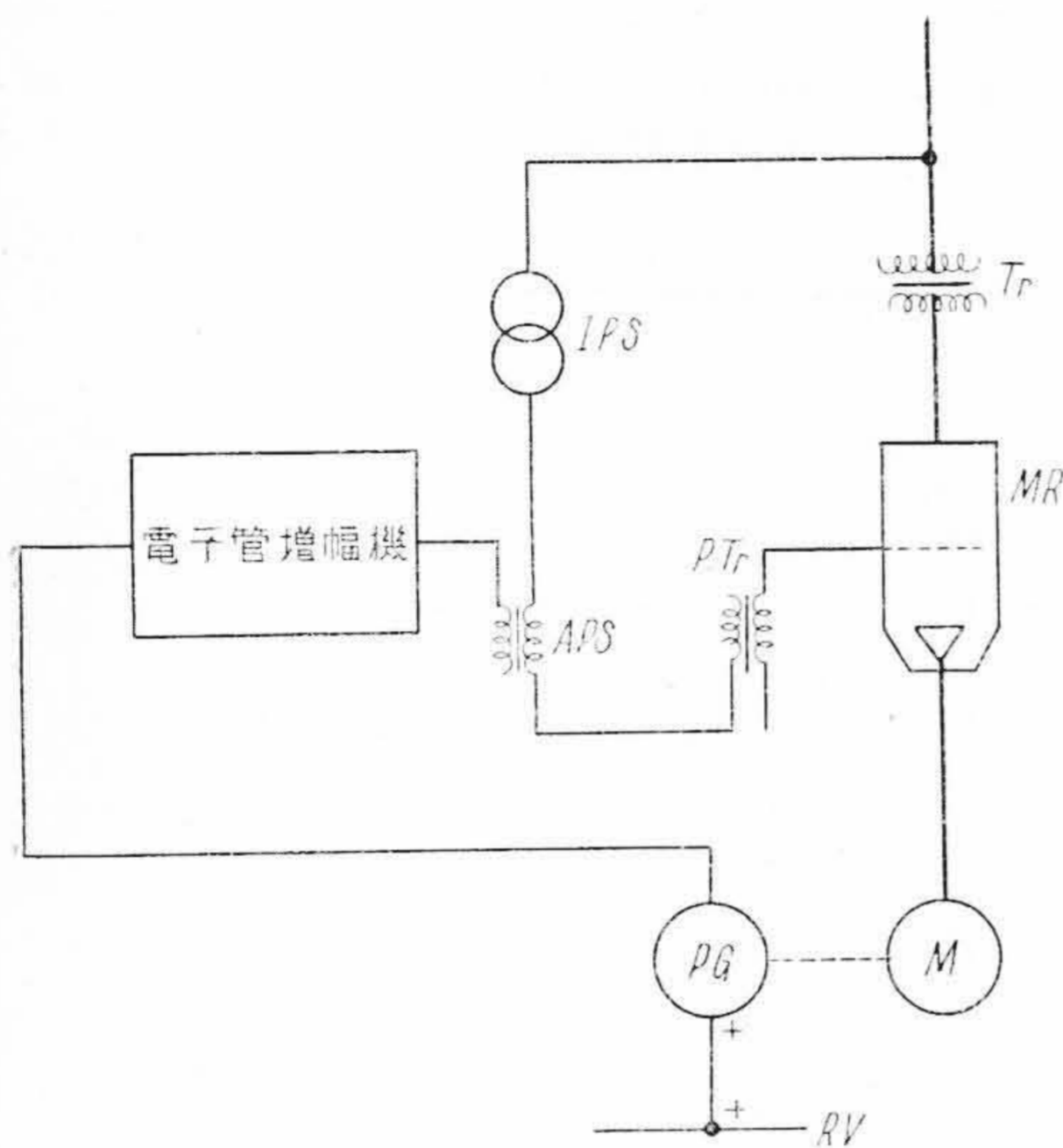
$M_1, M_2$ : 直流電動機       $CS$ : 定電圧電源  
 $DG$ : 差動歯車

第14図 差動歯車による無定位速度制御方式

Fig.14. Astatic Speed Control System with Differential Gear



第 15 図 インパクト、ドロップ説明図  
Fig.15. Impact Drop of Speed

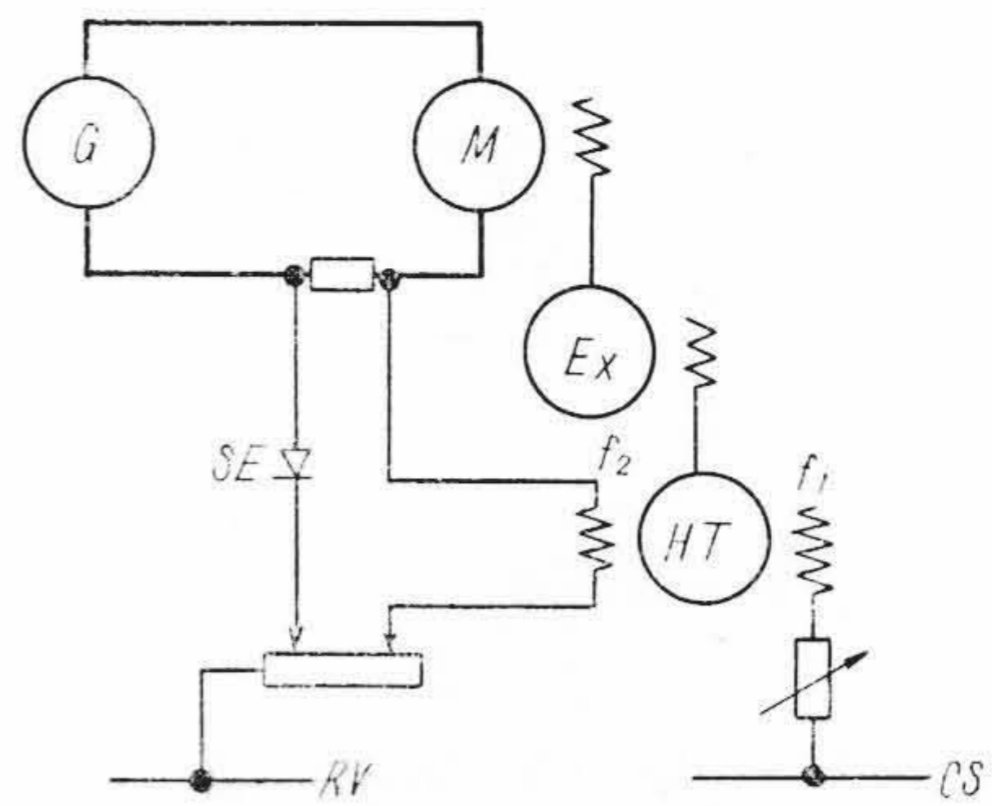


- M: 直 流 電 動 機
- MR: 水 銀 整 流 器
- PG: 指 速 発 電 機
- Tr.: 水 銀 整 流 器 用 変 圧 器
- P.Tr.: 飽 和 変 圧 器
- IPS: 誘 導 複 相 器
- APS: 自 動 移 相 器
- RV: 基 準 電 源

第 16 図 静止レオナードによる速度制御方式  
Fig.16. Static Leonard Speed Control System

速度変化がB線のようになるものとする、斜線部をインパクト、ドロップと称し、その大きさすなわち振幅Sと回復時間Tとを極力減少するよう要求される場合がある。一般には速度の過渡変化は振動的となる場合が多く、整定誤差も零ではないが、ともかく負荷がかゝた瞬間過渡的速度低下を生ずることは免れないのであつて、できるだけこれを防ぐ方法としては極度に速応性の高い制御方式を使う外ない。

一般に直流電動機を速度を上げるには電圧を上げるか、界磁を弱めるかであるが、前者は発電機界磁の、また後者は電動機界磁の時定数のため、いずれも十分の速応性をえがたく、上記要求に対しては無慣性制御の可能なアーク変換器を使用し、電子管による格子制御を行う



- G: 直 流 発 電 機
- M: 直 流 電 動 機
- Ex: 励 磁 機
- HT: 回 転 増 幅 機
- f<sub>2</sub>: 回 転 増 幅 機 の 電 流 制 限 界 磁
- SE: セ レ ン 整 流 器
- RV: 基 準 電 圧
- CS: 定 電 圧 電 源
- f<sub>1</sub>: 回 転 増 幅 機 の 制 御 界 磁

第 17 図 電 流 制 限 方 式 (その一)  
Fig.17. Current Limiting System

のが最も得策である。第16図にその一例を示す。

#### [IV] トルクに関する要求と対策

##### (1) 最大トルクを制限する必要がある場合

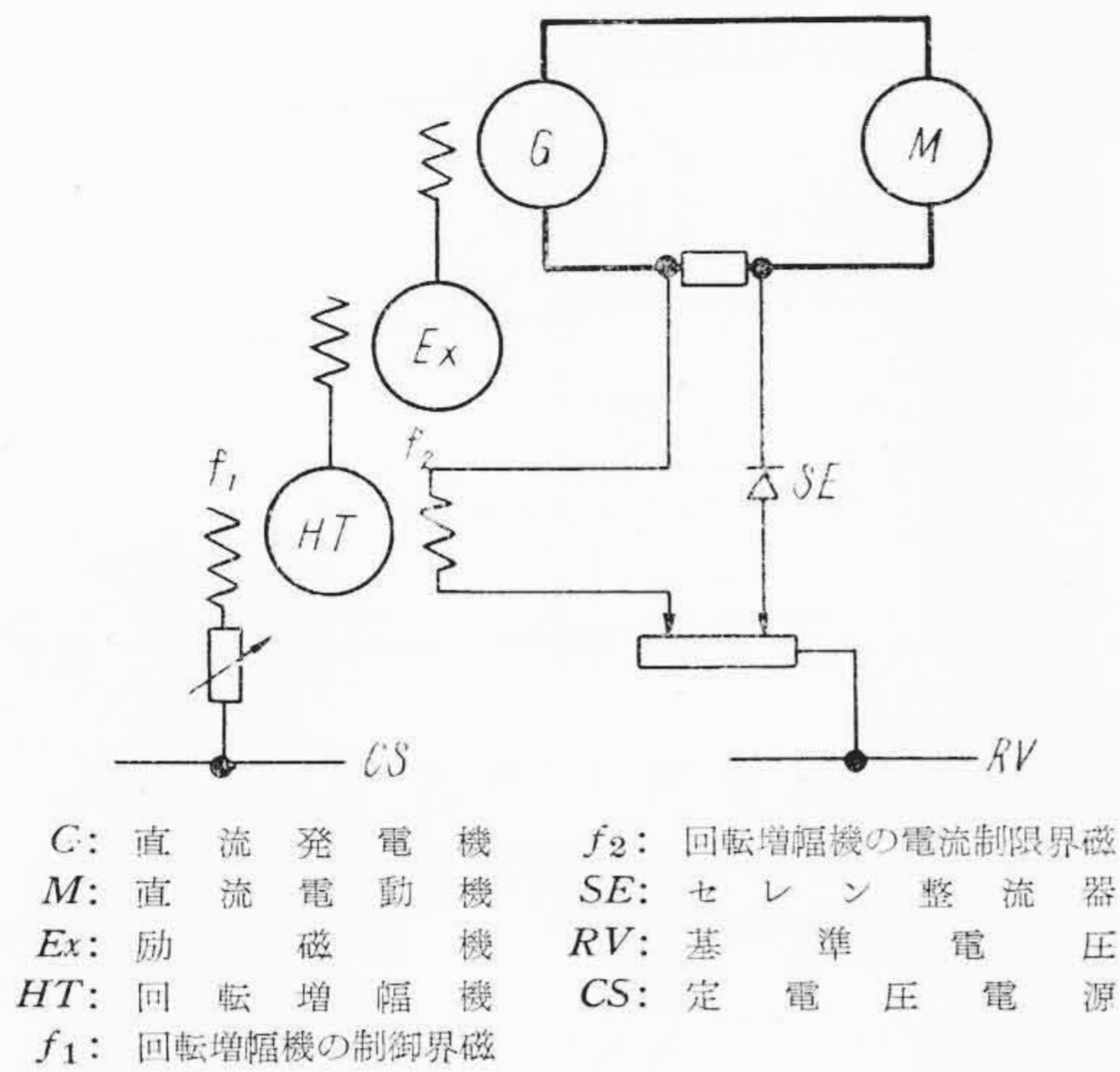
電動機の起動停止などの場合は運転者の操作いかんにかゝわらず、トルクしたがつて電流が許容限度以下に制限されることが望ましい。またウインドラス、キャプスタンなどでは急に過負荷がかゝつて電動機が停止した場合でも、その停動トルクをある値に制限することが望ましい。また圧延補機のスクリュウダウン、マニピュレータなどのように頻繁に起動、停止、逆転を行う場合は、操作を簡単にするため主幹制御器を正逆一段操作とした起動を行つても過電流を生ぜず確実に加速できることが望ましい。以下これらの場合に対する二、三の方式を述べる。

第17図は一般的電流制限方式の一例で、電動機電流がRVの分圧器で定まる制限値を超過すると、SEを通じてHTの電流制限界磁f<sub>2</sub>に電流を生じ(制限値以下の場合にはSEのため通流しない)HTの電圧を上げ電動機の界磁を強めて電流増加を阻止するのである。

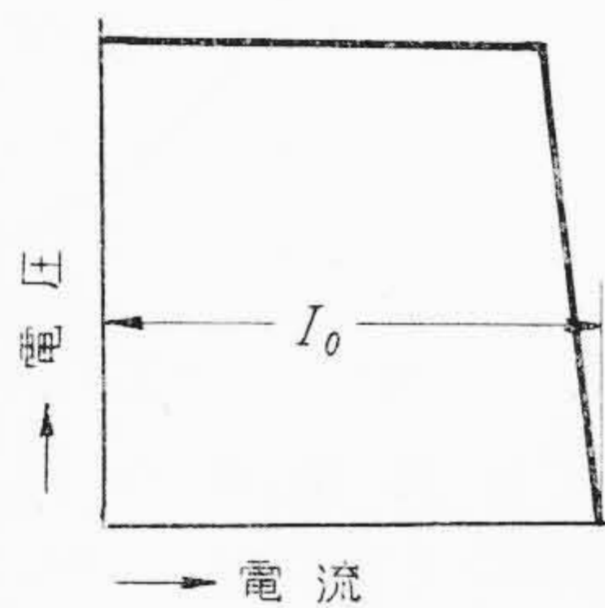
第18図は電流制限界磁を発電機用HTに設け、電流が制限値を超過すると電圧を下げ過電流を防止するもので、発電機電圧と負荷電流の関係はほぼ第19図に示すようになる。したがつてこの場合は一段起動を行つても起動電流は制限値I<sub>0</sub>以下に制限される。またウインドラスなどの場合電動機が停止してもその停動電流はI<sub>0</sub>を超過しない。

第20図は自動制御を行う代りに他励、自励、差動直巻の三種の界磁を有するいわゆる三界磁発電機を使用した一例であり、各界磁の強さを適当に設計することにより、第21図のような電圧特性をもたすことができる。し

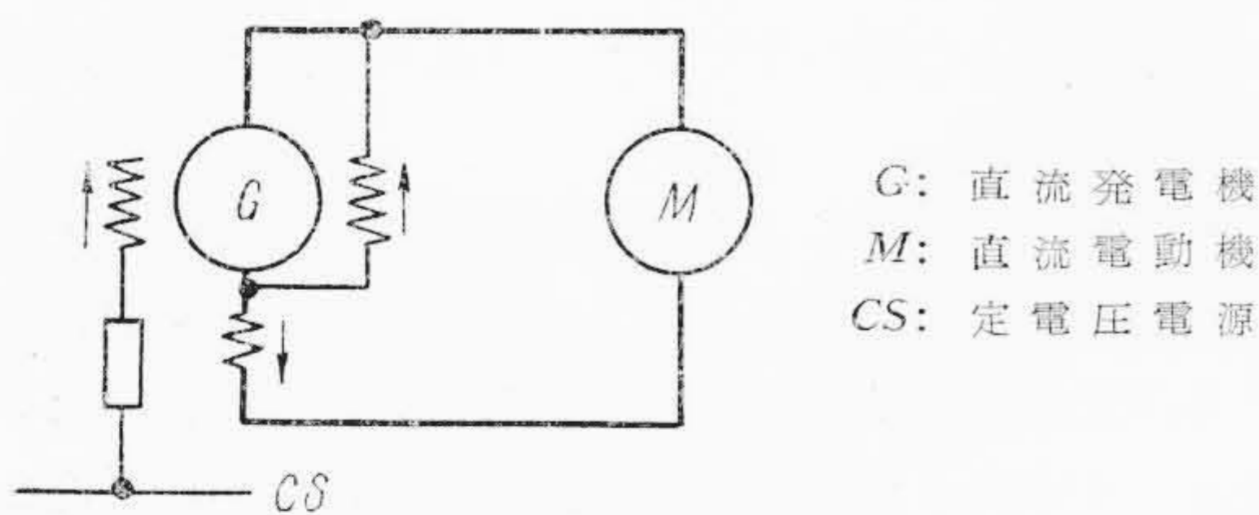




第18図 電流制限方式 (その二)  
Fig.18. Current Limiting System



第19図 電流制限方式の電圧特性  
Fig.19. Voltage Characteristic of Current Limiting System



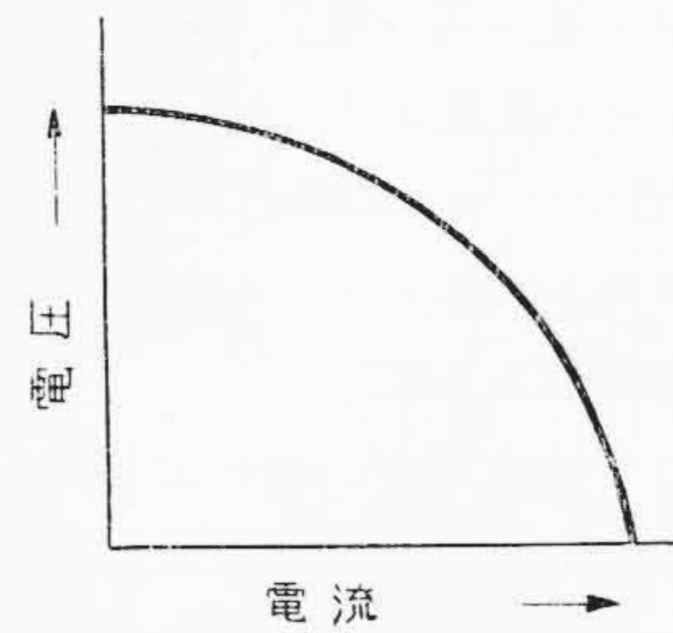
第20図 三界磁発電機  
Fig.20. Three Field Generator

たがって第18図とほぼ同用途に使用される。

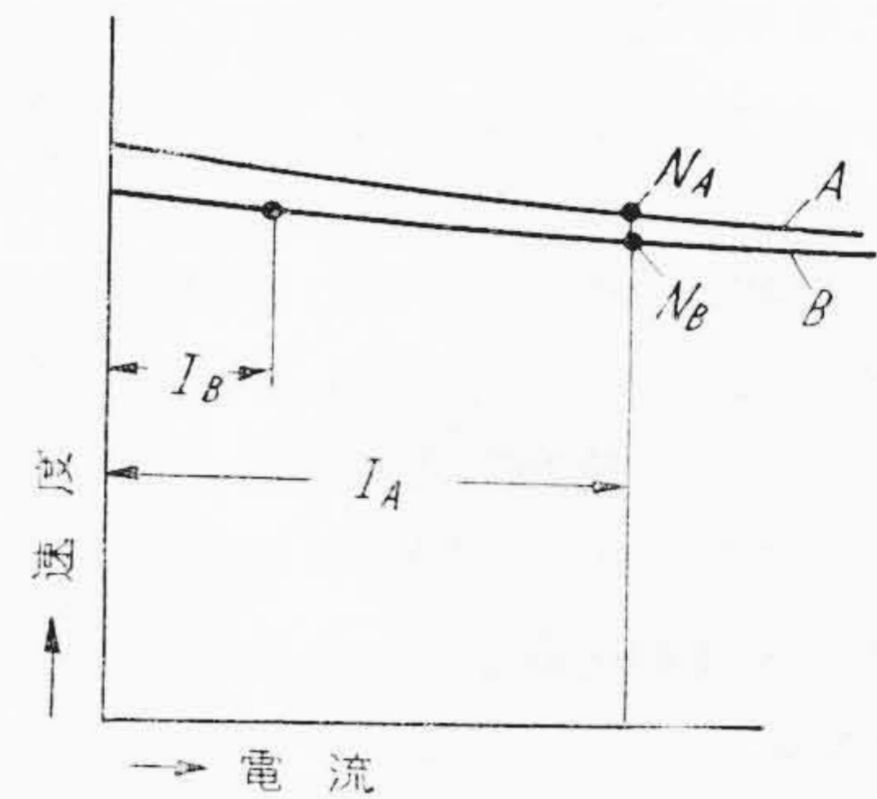
(2) 2台の電動機のトルクを一定比率に制御する必要がある場合

同仕様の2台の電動機が機械的に結合されて同一負荷に結ばれた場合は、一般に各電動機のトルクを一定比率(普通は同一に)に維持することが必要である。

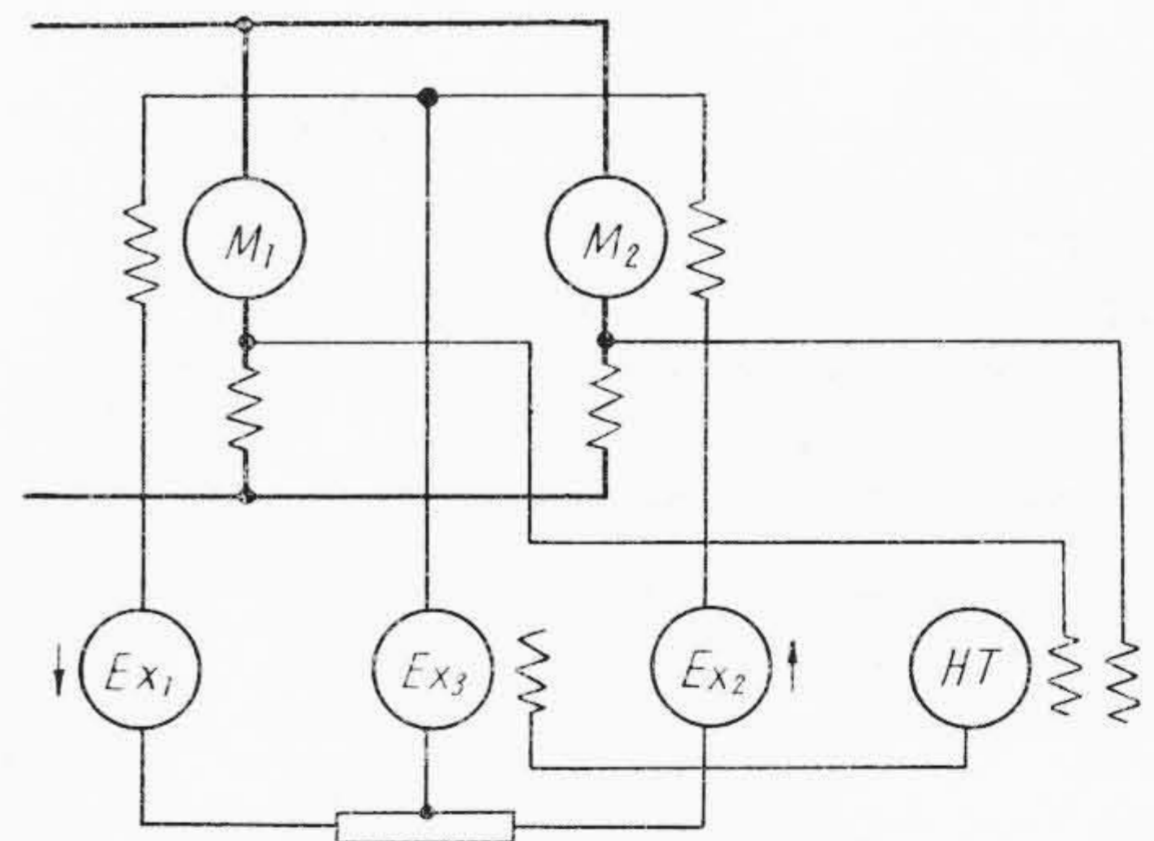
まず2台の電動機が直列に接続された場合を考える。同一端子電圧における両機の負荷速度特性を第22図 A, Bとし、共通の電流を  $I_A$  とすると、機械的結合がなけ



第21図 三界磁発電機の電圧特性  
Fig.21. Voltage Characteristic of Three Field Generator



第22図 負荷不平衡説明図  
Fig.22. Explanatory Diagram Showing Load Unbalance



第23図 負荷平衡方式  
Fig.23. Load Balance System

ればA機は  $N_A$ , B機は  $N_B$  の速度となるはずであるが、機械的結合のためAの電圧したがつて速度は下り、Bの電圧したがつて速度は上つて同一速度となるのである。この場合両機のトルクはその磁束に比例することとなるが、磁束の相異は工作上的誤差によるものであり普通きわめて僅少であるから、トルクの不平衡もまた僅少で問題とする程のことはない。

つぎに2台の電動機が並列に接続された場合を考え

る。この場合は両機は同一電圧を受けるから、同一速度  $N_A$  に対する各機の電流は  $I_A$  および  $I_B$  となり、負荷速度特性が比較的フラットの場合は相当大なる開きを生じ、 $A$ 機が過負荷となるおそれがあるから、負荷平衡を特に考慮する必要がある。

第23図は負荷平衡方式の一例を示すもので、両機電流の差に比例するアムペアターンで励磁されるHTDで、両機界磁をそれぞれ和動および差動的に励磁することにより、両機電流が平衡するごとく自動制御するものである。

### (3) 負トルクが要求される場合

急停止の場合または起重機揚貨機などにおける下荷の場合などにはトルクが負となり、電動機を制動機として働かせることが必要になる。

直流分巻電動機はトルクが負になるとそのまま分巻発電機となり、無負荷速度よりやや高い速度で回生制動を行うことができる。第24図A線はその場合の速度トルク特性を示す。なおこの場合電機子分路抵抗と主回路直列抵抗を併用すれば同図B線のような任意の低速特性をえることができる。

複巻電動機は負トルクの場合差動複巻発電機となるから、第25図のように速度が急上昇して危険なので、普通直巻界磁を短絡するか、抵抗を挿入し分巻界磁に変更して使用する。この場合の速度特性は第24図とほぼ同様である。

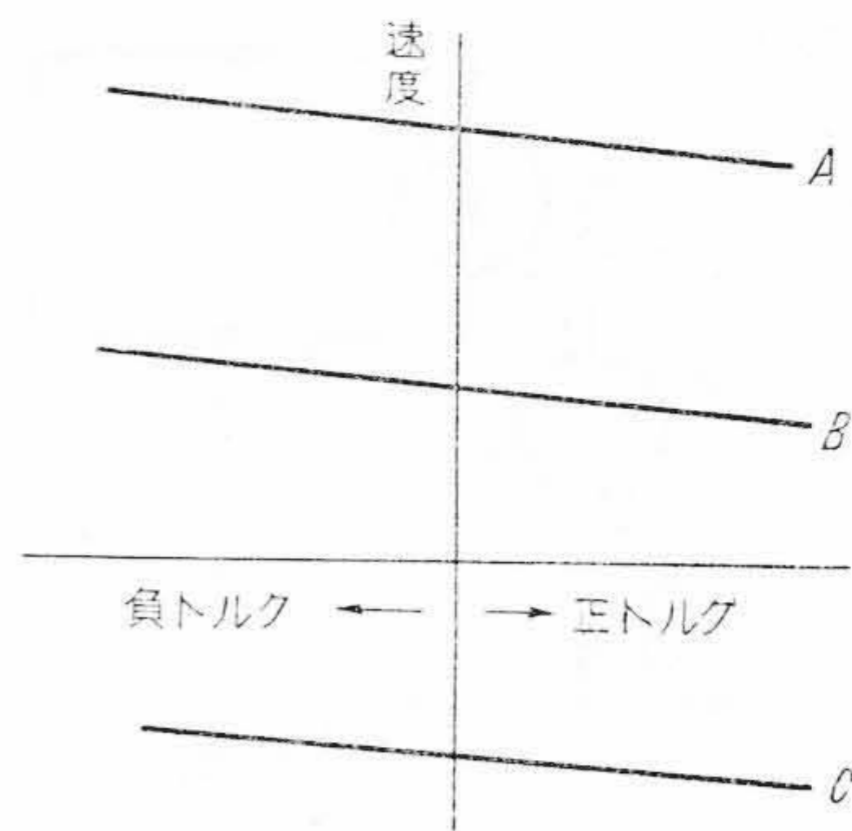
誘導電動機もトルクが負になれば同期速度よりやや高い速度で誘導発電機として回生制動を行うことができる。ただし同期速度以下の低速制動は困難なので、まず同期速度以上で回生制動をかけ、つぎに機械的制動または油圧押し上機制動と逆相制動の併用により停止するものあるいは極数変換や、直流による発電制動を行うなどの方法が採用されている。

## 〔V〕 結 言

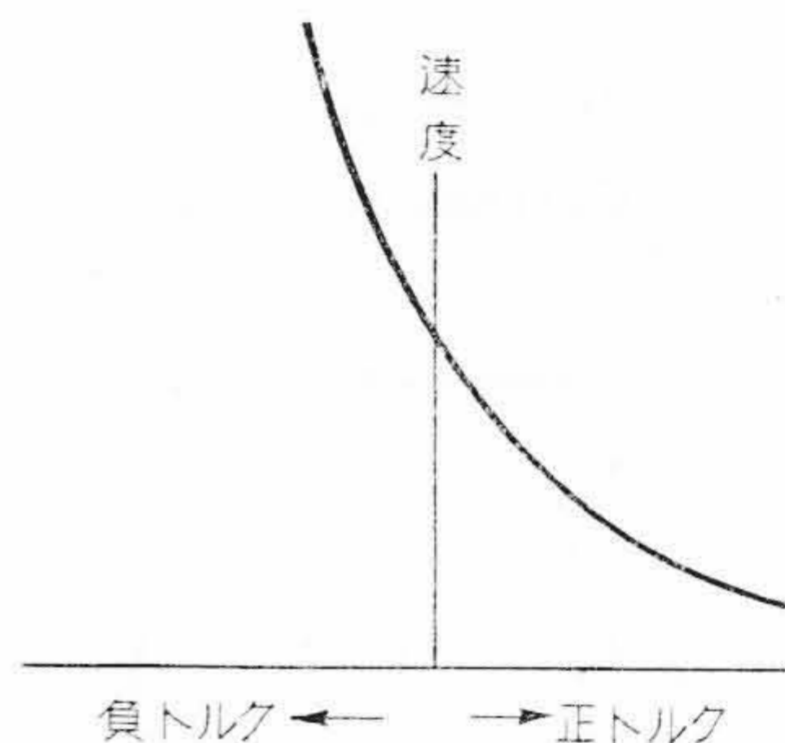
電動力応用は産業合理化の主役であり、低能率な旧式工場がこれにより近代的な高能率工場に変貌した実例も少くないが、旧態依然たる低能率工場もなお随所に存在しており、その普及徹底は今後の課題である。

電動力応用は最近急速に進歩したが、その一層の進展には、使用者側とメーカーとのより緊密な協力と、機械および電機メーカー間の技術的協力が必要である。

最近における電動力応用発展の基礎をなしたものは自



第24図 分巻電動機の制動特性  
Fig. 24. Braking Characteristic of D.C. Shunt Motor



第25図 複巻電動機の制御特性  
Fig. 25. Braking Characteristic of D.C. Compound Motor

動制御であるが、自動制御進展の基礎をなしたものは各種増幅器の開発とアナログ演算器による解析研究である。前者は近年長足の進歩を遂げているが、後者はようやく緒についたばかりであり、今後の発展と成果が期待される。

直流レオナードによる自動制御方式はあらゆる方面に進出して華々しい盛況を呈しているが、交流電動機における自動制御の応用も可飽和リアクタ、押し上機などと組合せてすでに多くの実用化をみており、なお、熱心な研究が継続されておるから、その進展に伴い、交流電動機の利用範囲は急速に拡大するであろう。

電動力応用におけるアーク変換器の利用は、その進歩と本質的長所により遠からず直流レオナードを凌駕するものと期待される。特に真空管および各種制御機器の進歩によりアーク変換器の電子管による格子制御方式が一般化するに至れば、電動力応用に飛躍的進歩をもたらすものと期待される。