

磁気式列車自動制御装置

Magnetronics System Automatic Train Operation Equipment

小野田芳光*
Yoshimitsu Onoda

木 脇 久 勝**
Hisakatsu Kiwaki

山崎 正親**
Masachika Yamazaki

内 容 梗 概

列車の自動制御装置は所要の性能を満足すると同時に信頼度がきわめて高いことが必要である。

日立製作所ではこの点にかんがみ、信頼度の点ですぐれている磁気増幅器などの非線形磁気応用装置を採用した列車自動制御装置について開発研究を行ない、車内信号に連動して列車速度を制限する自動列車制御装置、車内信号送信機、自動運転用列車自動制御装置、自動運転用車上プログラム装置などを開発した。

1. 緒言

最近の大都市交通機関の輸送能力はほとんどその限界に達しており、急速に増強する必要に迫られている。特に、各国共通の問題は自動車の氾濫(はんらん)によってバスを含む自動車交通がまひしつつあることで、欧米においても都市輸送能力の増強の重点を再び高速電車におく傾向が認められるようになってきた。

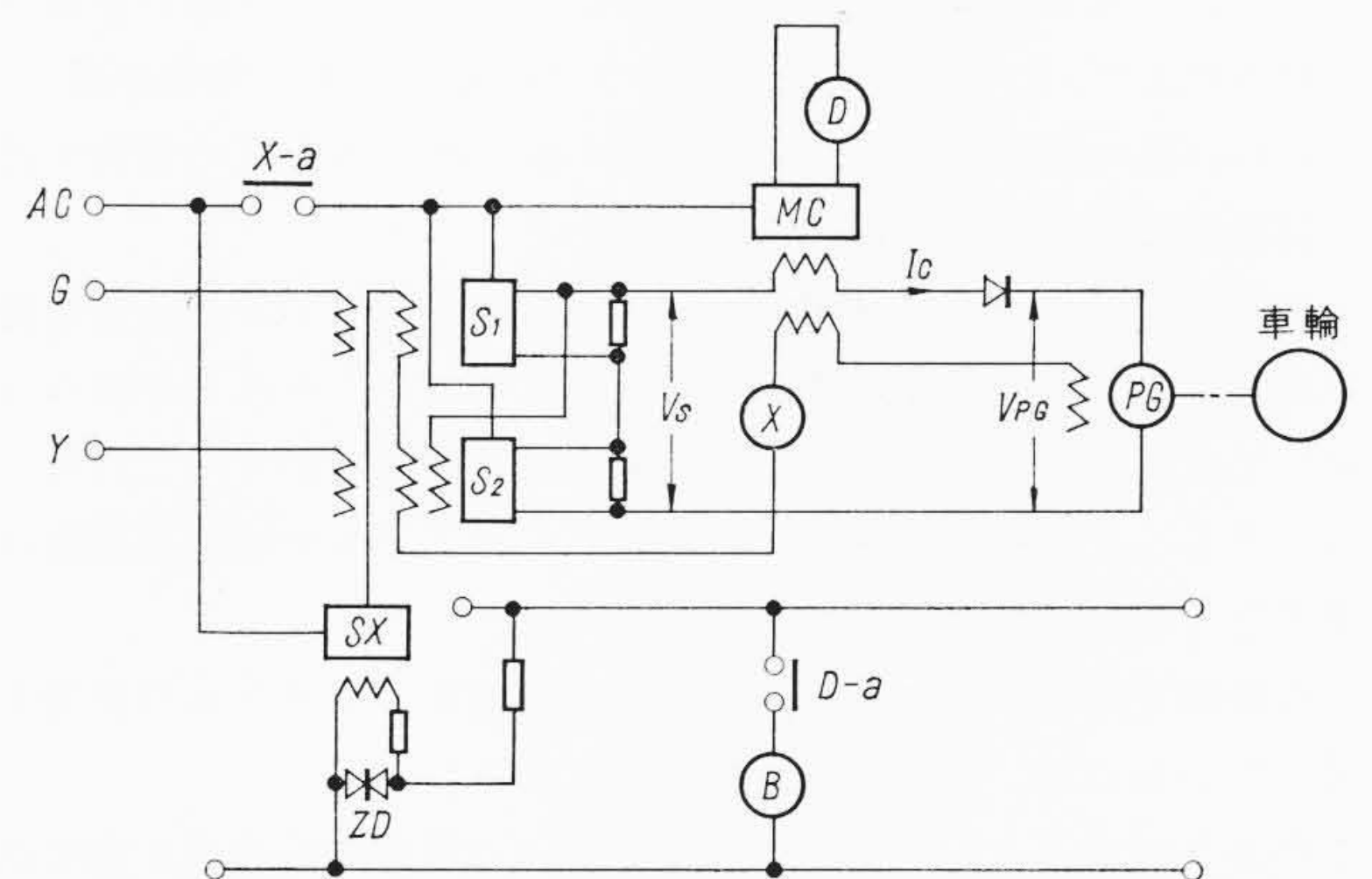
高速鉄道の輸送能力を強化するためには、抜本的には線路の新設および増設にまたねばならないが、限られた線路の能率を最大限に発揮しうるよう車両の性能向上をはかる必要がある。すなわち、市内高速度鉄道においては高加速高減速車の採用、長距離市間高速鉄道においては最高速度の増大によって表定速度の上昇をはかるとともに、運転間隔を短縮せねばならない。このためには保安上高度の運転技術を必要とし、従来のような運転士の熟練に依存するのみでは不十分であって、列車運転の自動制御装置、すなわち列車自動制御装置の採用が必要である。

この列車自動制御装置として最初にあらわれたのが打子式の自動列車停止装置（ATS）である。これは信号機に連動する打子を軌道内に設置し、列車が信号冒進するとこれが起立して車上の空気制動装置を動作せしめるものである。

この装置は欧米で広く採用され、わが国でも一部採用されたが、構造上損耗が早く、保守に手数を要するため高速鉄道に適した方法でなかった。続いて低周波の交流を軌条に与え、これを継電器でそのときの信号に応じて1分間に80, 120 および180回の割合で開閉して信号を送り、これを車上で受信し、一方列車速度は機械式ガバナで検出し、これと組み合わせて列車速度が制限速度以上のときは制動装置を動作せしめる連続誘導方式が開発された。このように信号に連動して列車速度を制限する装置を普通、自動列車制御装置(ATC)と称している。

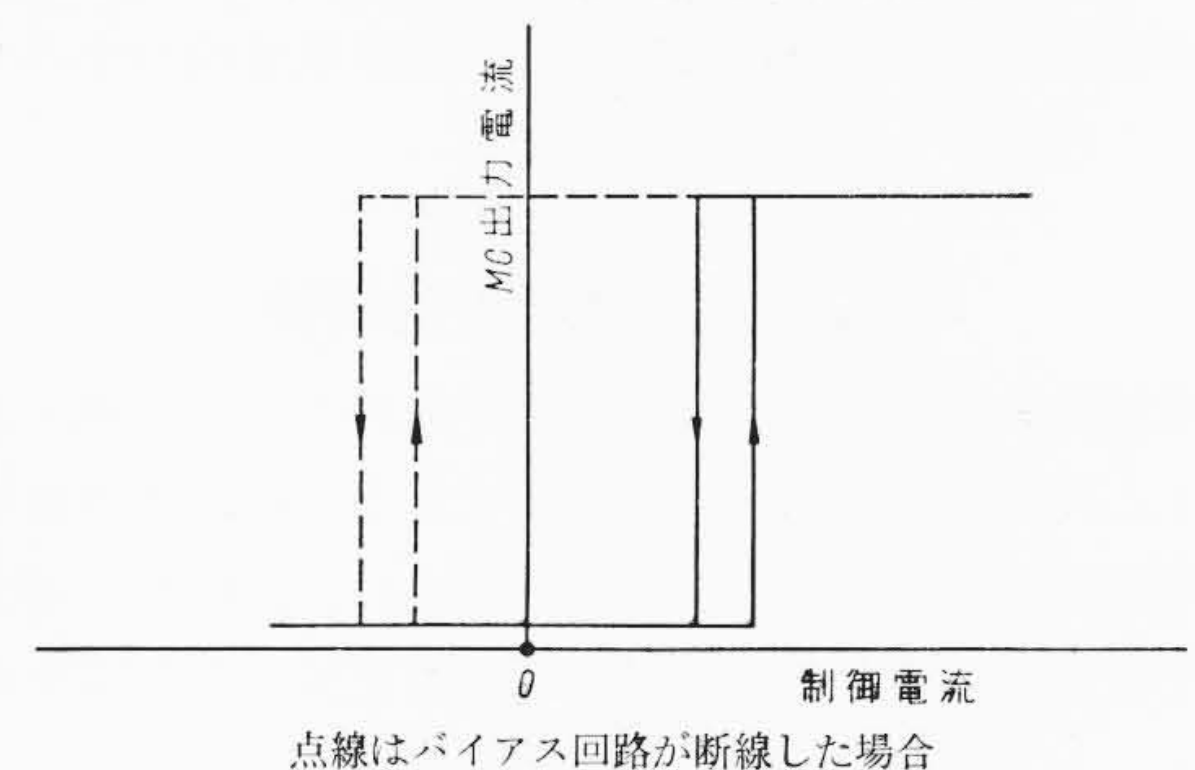
最近は運転の安全性のみならず、輸送効率の向上、すなわち運転間隔の短縮、列車時刻表とおりの正確な運転、駅ホームの停車位置に正しく停車することなどを目的とした自動列車運転装置（ATO）の研究が行なわれている。すなわち、パリ地下鉄、ニューヨーク地下鉄に続いてわが国では1960年より名古屋地下鉄で試験が行なわれ、1963年2月から3月にかけて約1ヶ月間営業運転に使用された。この装置は日立製作所がわが国で初めて完成した自動運転装置である⁽¹⁾⁽²⁾。

このような自動運転装置では制御のみならず力行をも行ない、運転士の操作をほとんど不要とするものであるから信頼度が特に要求されるが、その他の列車自動制御装置でも所要の性能を満足すると同時に、信頼度の高いことが必要であることはいうまでもない。



AC :	交 流 電 源	MC, S ₁ , S ₂ :	磁気無接点継電器
B :	制動回路形成継電器(無励磁のとき形成)	SX :	可飽和リアクトル
D :	継 電 器	X :	励磁断線保護継電器
PG :	パイロット発電機	D-a, X-a :	DおよびXの接点
G :	進 行 信 号	ZD :	ゼナーダイオード
Y :	注 意 信 号		

第1図 磁気式自動列車制御装置

第2図 磁気無接点継電器 MC および S_1 , S_2 の特性

日立製作所では高信頼度実現のためにトランジスタを使用する方式を開発し、実用化すると同時に磁気増幅器などの非線形磁気応用装置を採用した列車自動制御装置、すなわち磁気式列車自動制御装置の開発研究をも行ってきたが、ここではこの装置について述べる。

2. 磁気式自動列車制御装置

第1図にこの装置の原理を示す。進行信号のときは図のGに信号がはいり磁気無接点継電器 S_1 が出力をだすが、その出力が磁気無接点継電器 S_2 の制御巻線に与えられるので S_2 も出力をだす。

注意信号のときはYに信号がはいり S_2 のみ出力をだし、停止信号のときはいずれにも信号がはいらず、 S_1 、 S_2 がともに出力をださない。その結果、制限速度電圧 V_s はそのときの制限速度に比例した値となる。

一方、列車速度は車軸に直結されたパイロット発電機 PG により電圧に変換され V_{PG} となってあらわれている。両者の差電圧が磁気

* 日立製作所日立研究所水戸分室 工博

** 日立製作所日立研究所水戸分室

無接点継電器 MC の制御巻線に与えられる。

磁気無接点継電器 MC の特性は第 2 図のようになっているため、もしも列車速度がそのときの制限速度よりも大きく V_{PG} が V_s よりも大きくなると制御電流 I_c が零となって制動状態となる。制御速度以下に列車速度が減速すると V_{PG} が V_s よりも小さくなり、 I_c が再び大きくなって MC が出力をだし制動状態は終わる。

この装置でパイロット発電機 PG の電機子回路が断線すると制御電流 I_c が零となるので制動がかかる。しかし、磁気無接点継電器のバイアス回路が断線した場合は第 2 図点線のような特性となるので、 S_1 、 S_2 あるいは MC の出力がでたままの状態になり、制動すべきときに制動せず危険である。また、パイロット発電機 PG の界磁回路が断線しても同様に危険である。

そこで、これらのバイアス回路およびパイロット発電機の界磁巻線を直列にして、その回路に継電器のコイルをそう入し常時励磁し、これらの回路の断線時にはこの継電器の接点により MC の電源を遮断し制動回路が形成されるようにしている。

おのおのの磁気無接点継電器のバイアス巻線とパイロット発電機の界磁巻線は巻数の異なる巻線を数組もっていて、それらの組み合わせにより電流がすべて同じになるようにしているのので、これらを直列にすることが可能である。すなわち、バイアスや励磁の調整は電流でなく巻数の変化で行なう。

この励磁電流には、制御電流が一定の可飽和リアクトルの出力を使用しているので、電流は一定にたもたれる。

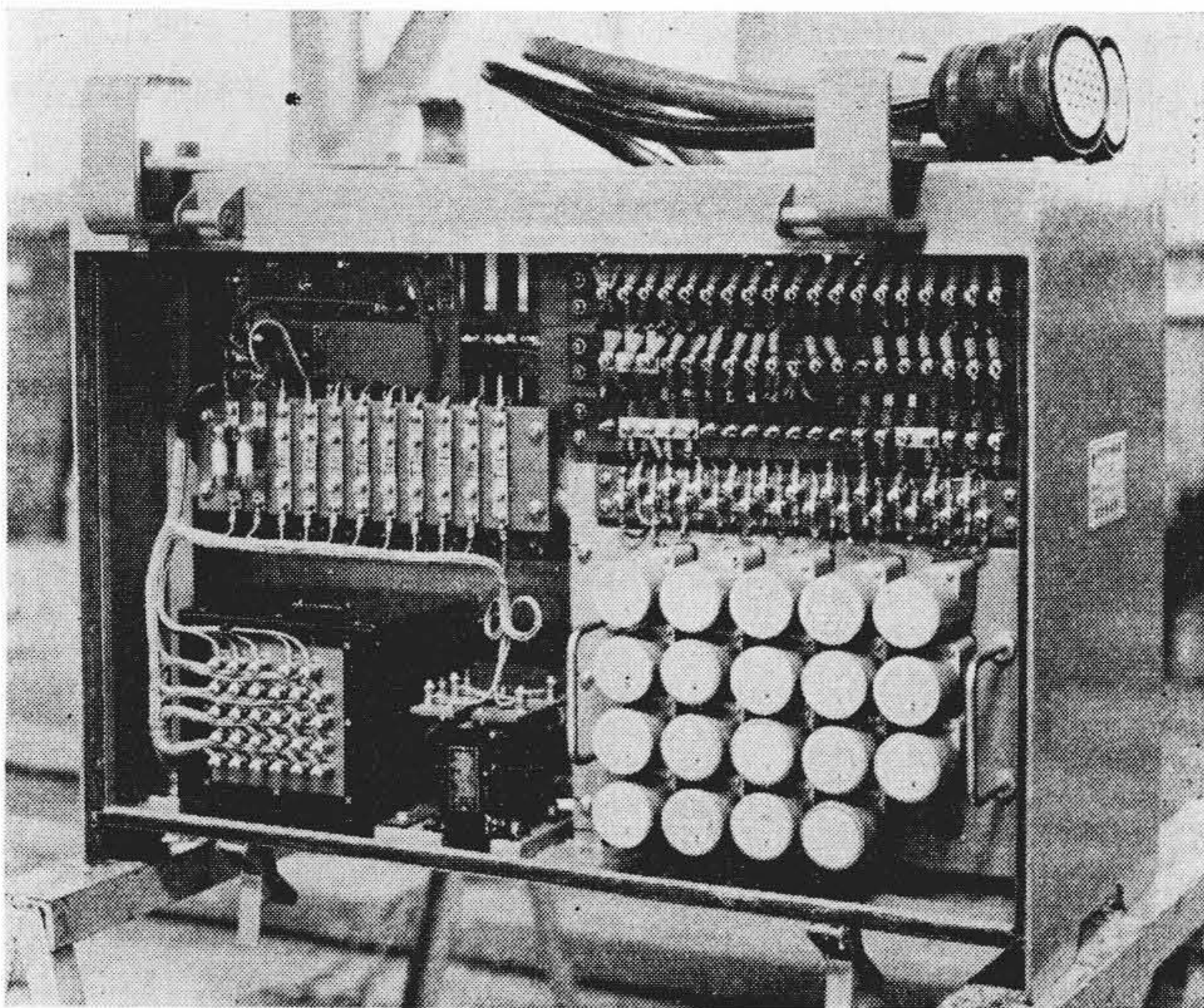
このようにすると、バイアスおよび界磁の断線の保護が 1 個の継電器でできるばかりでなく、バイアスおよび界磁回路にそう入すべき抵抗が不要となり、また各磁気無接点継電器のバイアスとパイロット発電機の界磁が常に一定に保持できるので動作が正確になる。これらの回路に消費される電力はもちろん小さくなる。

第 3 図はこのような原理を適用して製作された東武鉄道株式会社納自動列車制御装置で、この装置ではまた継電器類がすべて磁気無接点式という特長をもっている⁽³⁾。

3. 磁気式車内信号送信機

自動列車制御装置 (ATC) は車内信号装置によって現示される制限速度以下に列車速度を制限するものであるから、車内信号装置に安定確実に信頼性の高いものが得られなければ、いかに車上制御装置自体の性能を高めてもすぐれた制御結果を望むことは不可能である。

この車内信号装置には軌道に信号電流を送り、車上でこれを受信

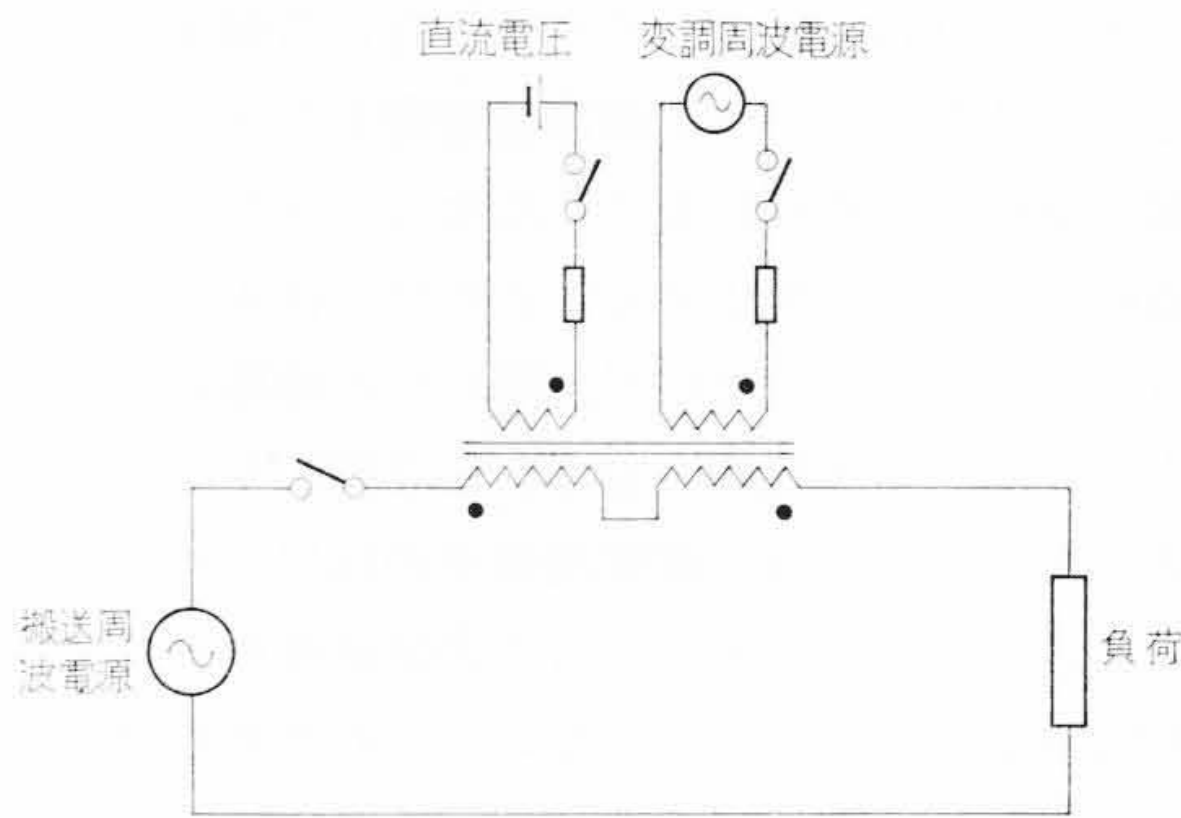


第 3 図 東武鉄道株式会社納磁気式自動列車制御装置

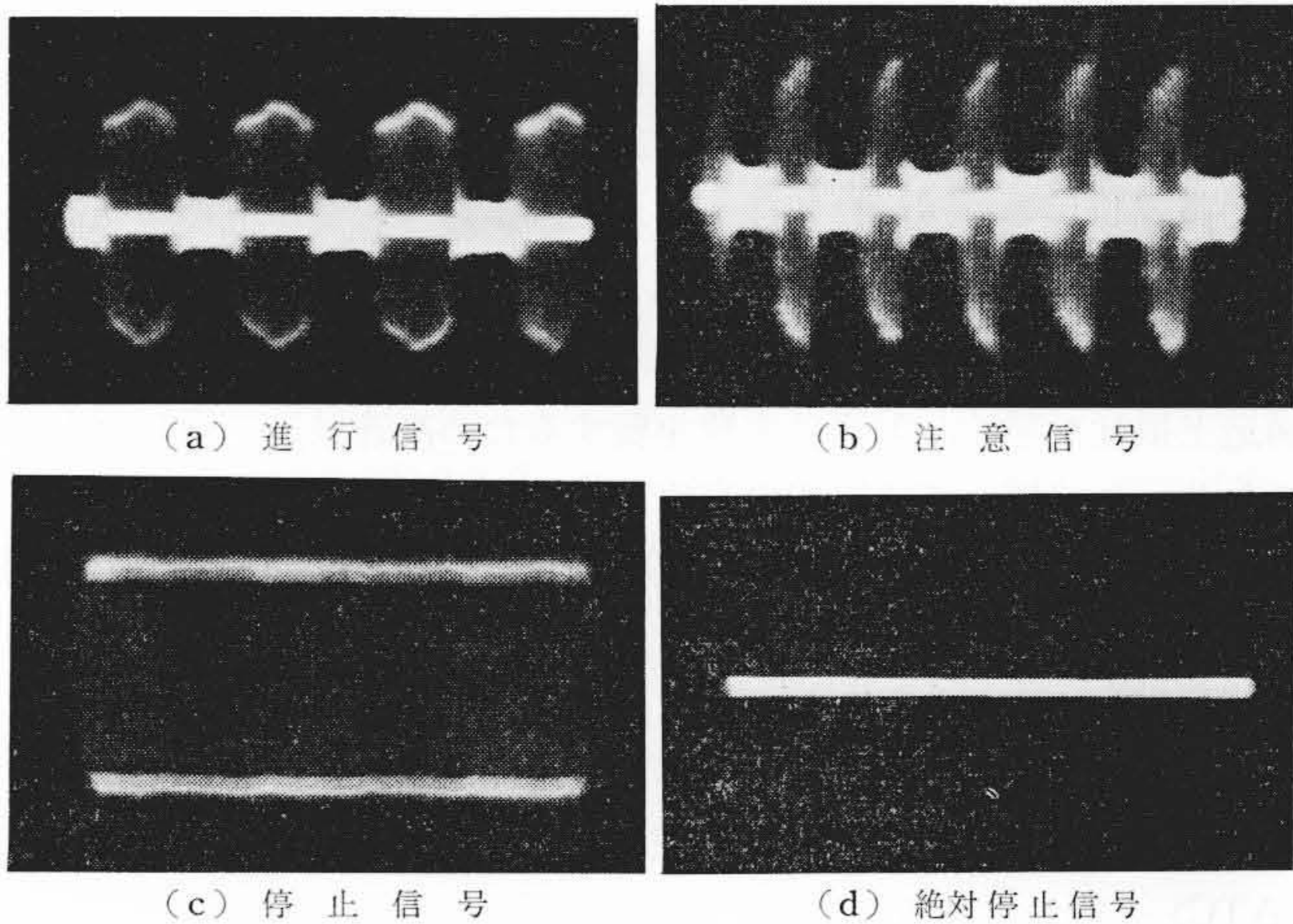
する連続誘導式が多く使用されている。この装置の送信機としては従来継電器もしくは電子管を使用していたが、前者は保守に不便があり、後者は信頼性と大きな出力が得られない点で問題がある。そこで、われわれは磁気変調器を使用する方式の開発研究を行なった。

磁気変調器は第 4 図に示すように搬送周波電源を交流電源とし、変調周波電源を制御電源とした可飽和リアクトルである。したがって、振幅変調を行なう場合には所要の現示数に応じてその数だけの変調周波電源を設ける必要があるが、直流バイアスがないときは変調周波電源の 2 倍の周波数で変調されるため、1 種類の変調周波電源により 2 種の変調を行なうことが可能となり、無変調、無電圧とあわせ 4 種類の信号を得ることができる。第 5 図は試作した送信機の出力波形である⁽⁴⁾。

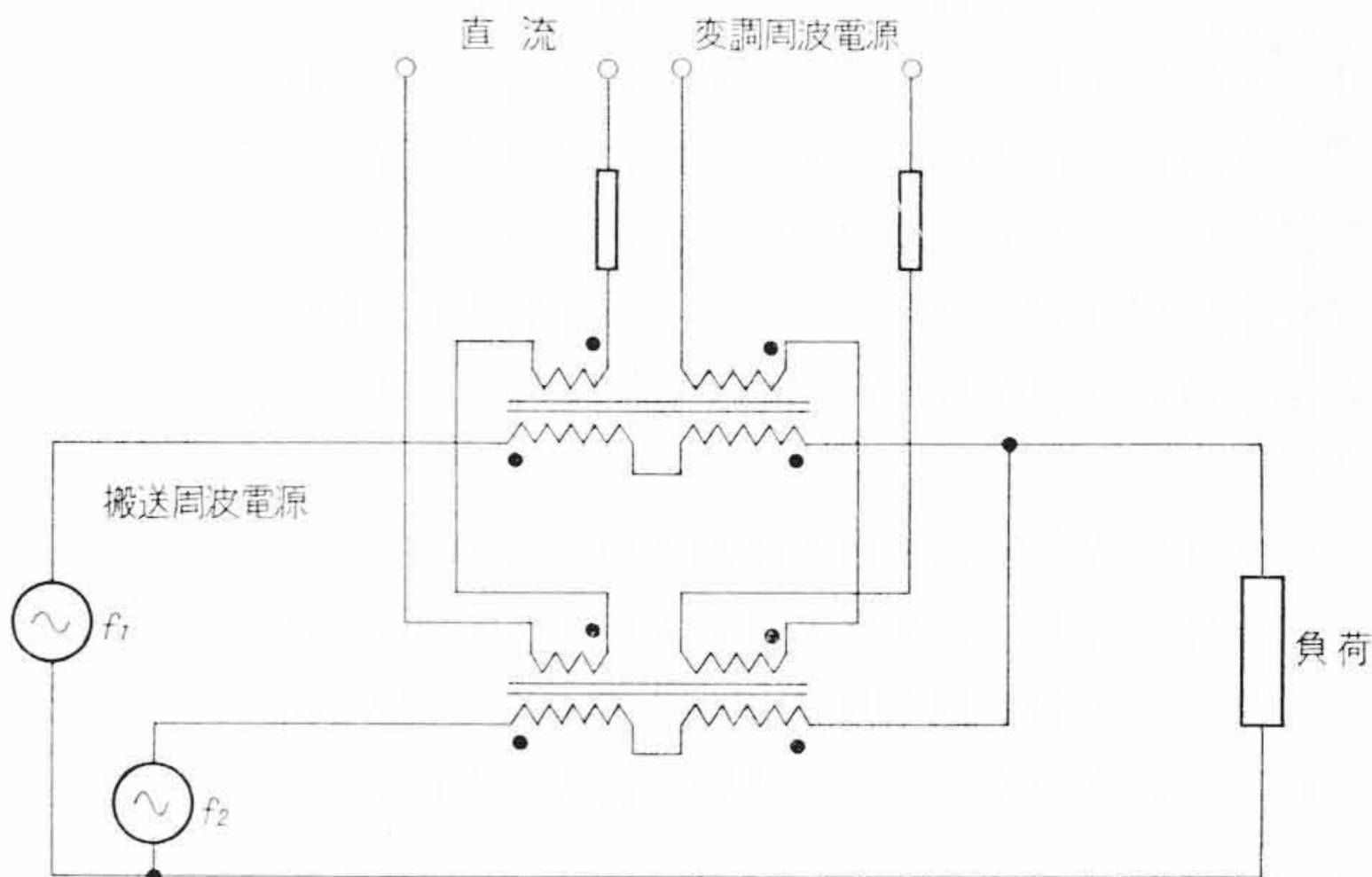
また、周波数変移 (FS) 方式が SN 比 (信号対雑音の比) の点ですぐれているとされ、採用されることがあるが、これも上記の磁気変調器を第 6 図のように 2 個組み合わせることにより発生することが



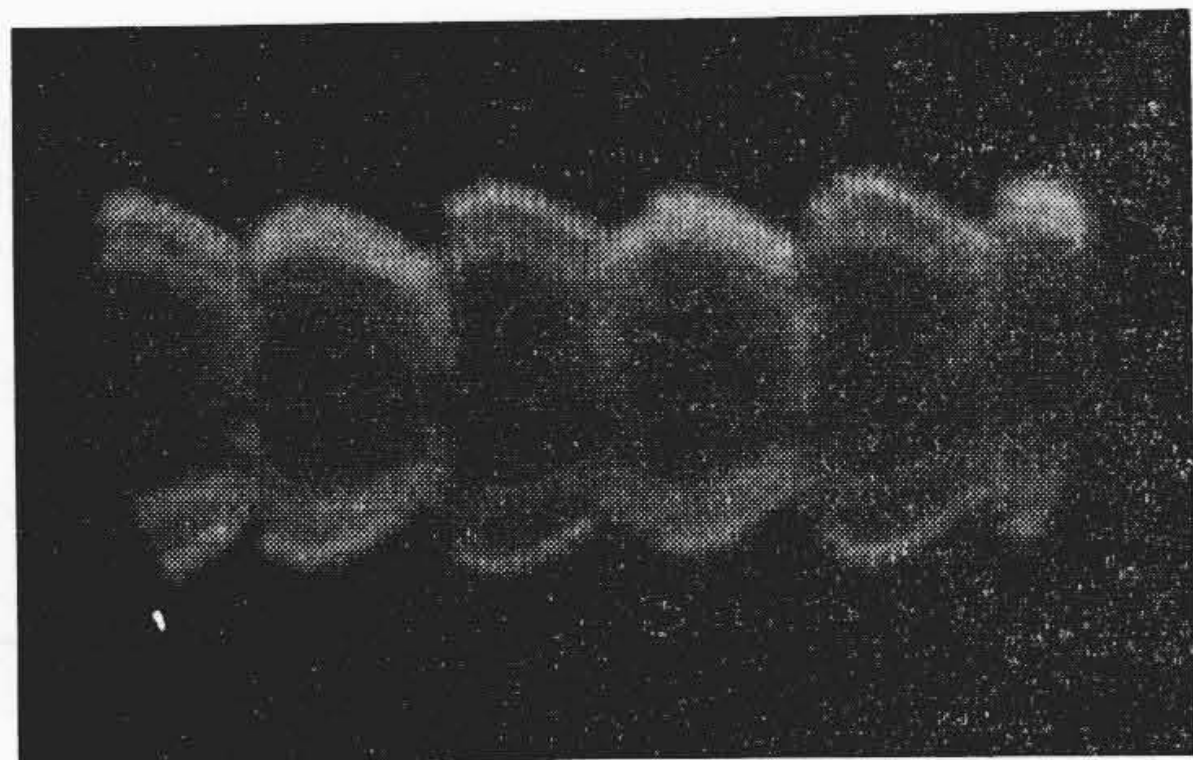
第 4 図 磁 気 変 調 器



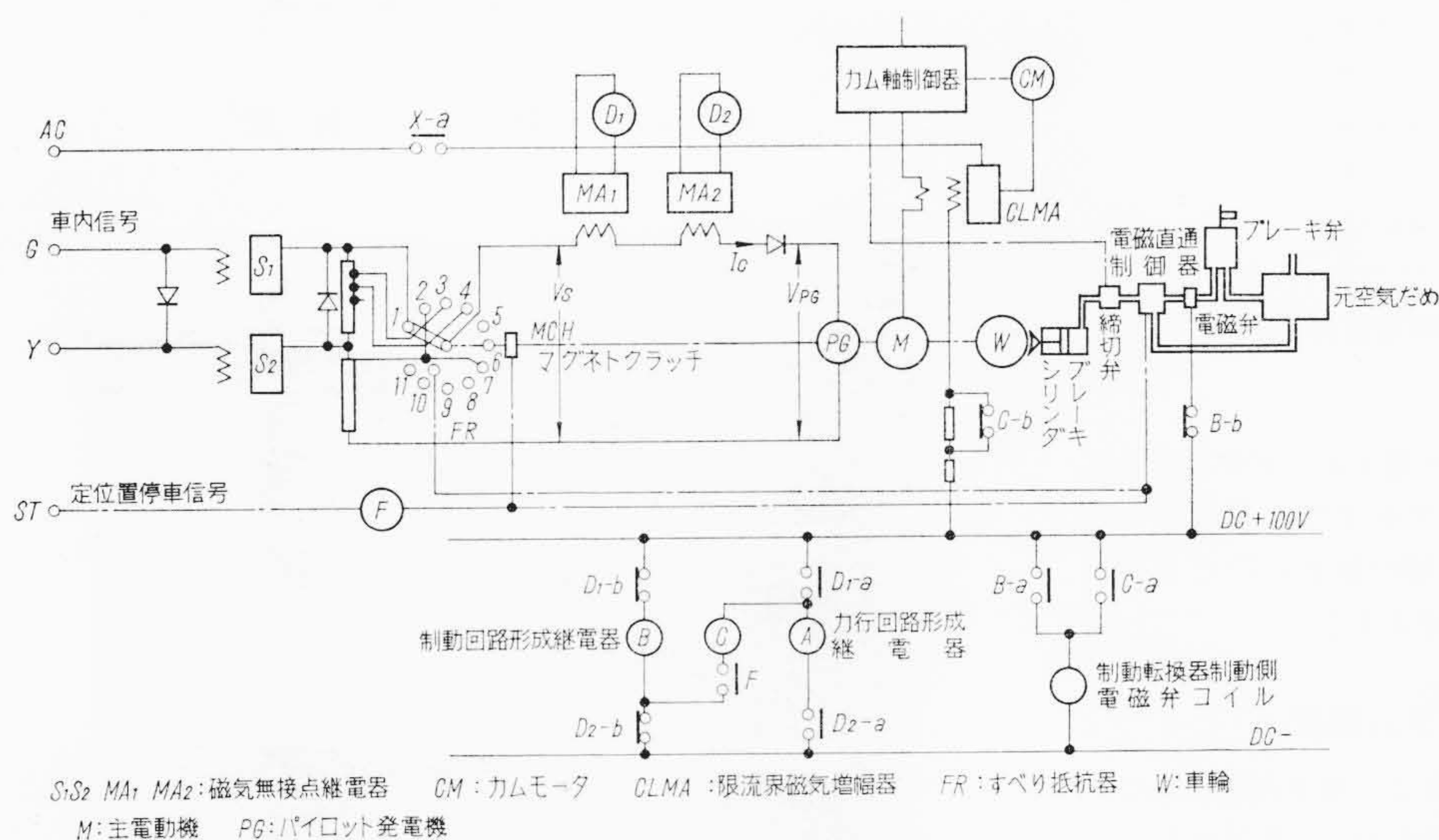
第 5 図 振幅変調出力波形



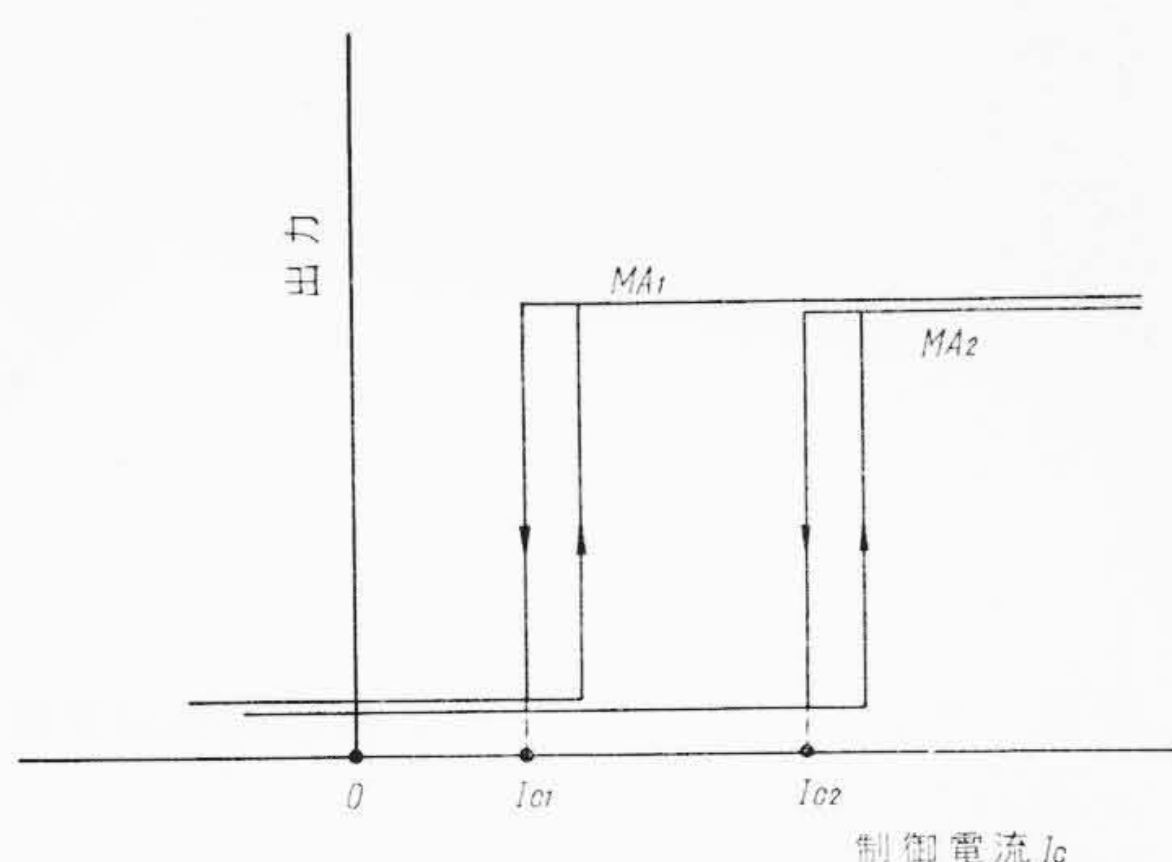
第 6 図 周波数変移信号発生回路



第7図 周波数変移信号出力波形



第8図 磁気式自動運転用列車自動制御装置

第9図 磁気無接点継電器 MA₁, MA₂ の特性

できる。第7図はこの出力波形の一例である。

このような方式を採用した場合、搬送周波電源のほか、幾種類かの現示数に応じた変調周波電源と直流電源を必要とする。直流電源は搬送周波電源を整流することにより容易に得られるが、変調周波電源も搬送周波電源を電源とするキロサイクル磁気増幅器で発振させて得ることができる。

4. 磁気式自動運転用列車自動制御装置

第8図が本装置の原理図である。この装置はさきに述べた磁気式自動列車制御装置を発展させたものである⁽⁵⁾。

駅間の速度プログラムは地上に設け、適当な手段で車内に導く。駅ホームの停車の場合は車上のプログラム装置を動作させる。

駅間において地上プログラムから与えられる基準速度が最高ときはGに信号がはいり、S₁, S₂ がともに出力をだす。定位置停車プログラム発生用抵抗器 FR の接点は駅間では1の位置にあるため基

準速度電圧 V_s はもっとも高い電圧、すなわちそのときの基準速度に相当した値となっている。列車速度は軸に直結されたパイロット発電機 PG により電圧に変換され V_{PG} となって現われている。MA₁, MA₂ は磁気無接点継電器でその特性が第9図のように調整されている。そのため V_{PG} が V_s に比べて十分小さい、すなわちそのときの基準速度に比べて列車速度が十分に低いときは大きな電流 I_c が制御巻線に流れ MA₁, MA₂ がともに出力をだし、D₁, D₂ がともに励磁されて力行回路が形成される。列車速度が大きくなると I_c が小さくなり、 I_{c2} に達したとき MA₂ の出力がほとんど零となるため惰行状態となる。その結果、列車はゆっくり減速し、ある程度減速すると再び力行状態にはいる。

このように力行惰行がくり返されるが、そのくり返しがありひん繁であると乗心地が悪く、またカム軸制御器を損傷する恐れがあるので、その動作にヒステリシスをもたせ、そのヒステリシスの幅を適当に調整し得るようにしてある。

惰行状態のとき列車速度がなんらかの原因で増加すると制御電流は I_{c1} に達し、MA₁, MA₂ の出力がともにほとんど零となり、D₁, D₂ がともに無励磁となって制動回路が形成される。

以上は基準速度が最高の場合であるが中間のときも同様に説明される。

次に、地上プログラムから与えられる基準速度が最高の状態で駅ホームの停車位置のある一定距離手前に列車がくると定位置停車開始信号 ST を受けてマグネットクラッチ MCH が働き、FR は車軸により駆動されて回転をはじめる。同時に接点 F が閉じる。そして、列車は定位置停車のプログラムの標準曲線にしたがって減速する。

この場合も列車速度が基準速度に比べ高いときは前に述べた理由から D₁, D₂ が無励磁となり、その結果 B が励磁されて制動回路が形成される。

基準速度にほぼ近づくと MA₁ が出力をだして D₁ が励磁され、B が無励磁となるが、この場合は C が励磁され C-a が閉じて制動転換器が制動側に励磁されたままになっているためカム軸制御器は元にもどらず惰行状態にならない。しかし、C-b が開くので限流用磁気増幅器 CLMA の限流値は小さくなり、電動機電流がその値になるまでカムモータは停止している。このようにして電気ブレーキの動作している間は CLMA の限流値を調整しながら標準曲線に沿って減速を続ける。

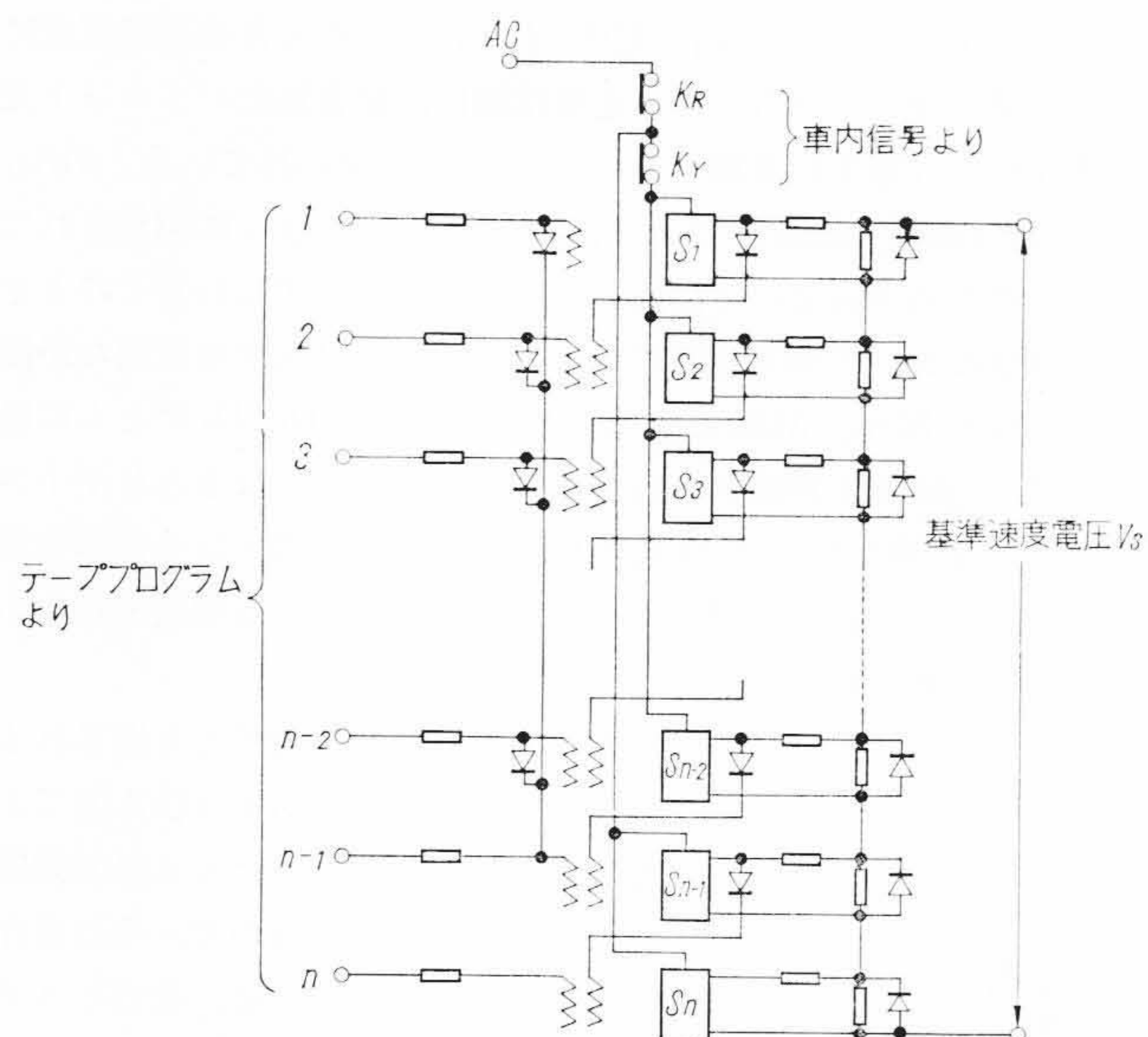
電気ブレーキが最終段に達すると締切弁が開き、電磁弁の操作によって制御される。すなわち、基準速度よりも列車速度が高いときは電磁弁が励磁されなくなって空気制動がかかり、両者の速度がほぼ等しくなると励磁されて空気制動がかからなくなる。

停車寸前になると列車速度がかなりおそくなるので車輪周と制輪子間の摩擦係数が増加する。それゆえ、制動空気圧も弱めねばならないが、それには FR の接点 w により電磁直通制御器の切換電磁弁を励磁し、制御空気圧の最大値をそれまでの 50% の値にする。

その後は空気圧が 0 と 50% の間を on-off 的に調整され列車は標準曲線に従って減速する。

停車位置に達すると地上から停車点信号をうけて切換電磁弁を無励磁にして 100% の空気圧を与えて列車を停止させる。

地上プログラムから与えられる基準速度が中間の値、すなわち Y



第10図 プログラム制御用基準速度電圧発生回路

に信号がはいって S_2 が出力をだしている状態で定位置停車開始信号を受けたときはFRのスライダが8に達するまで基準速度電圧 V_s は変化しないが、その後はこれまでと同様の標準曲線にしたがって基準速度電圧 V_s が変化し電車は減速停止する。

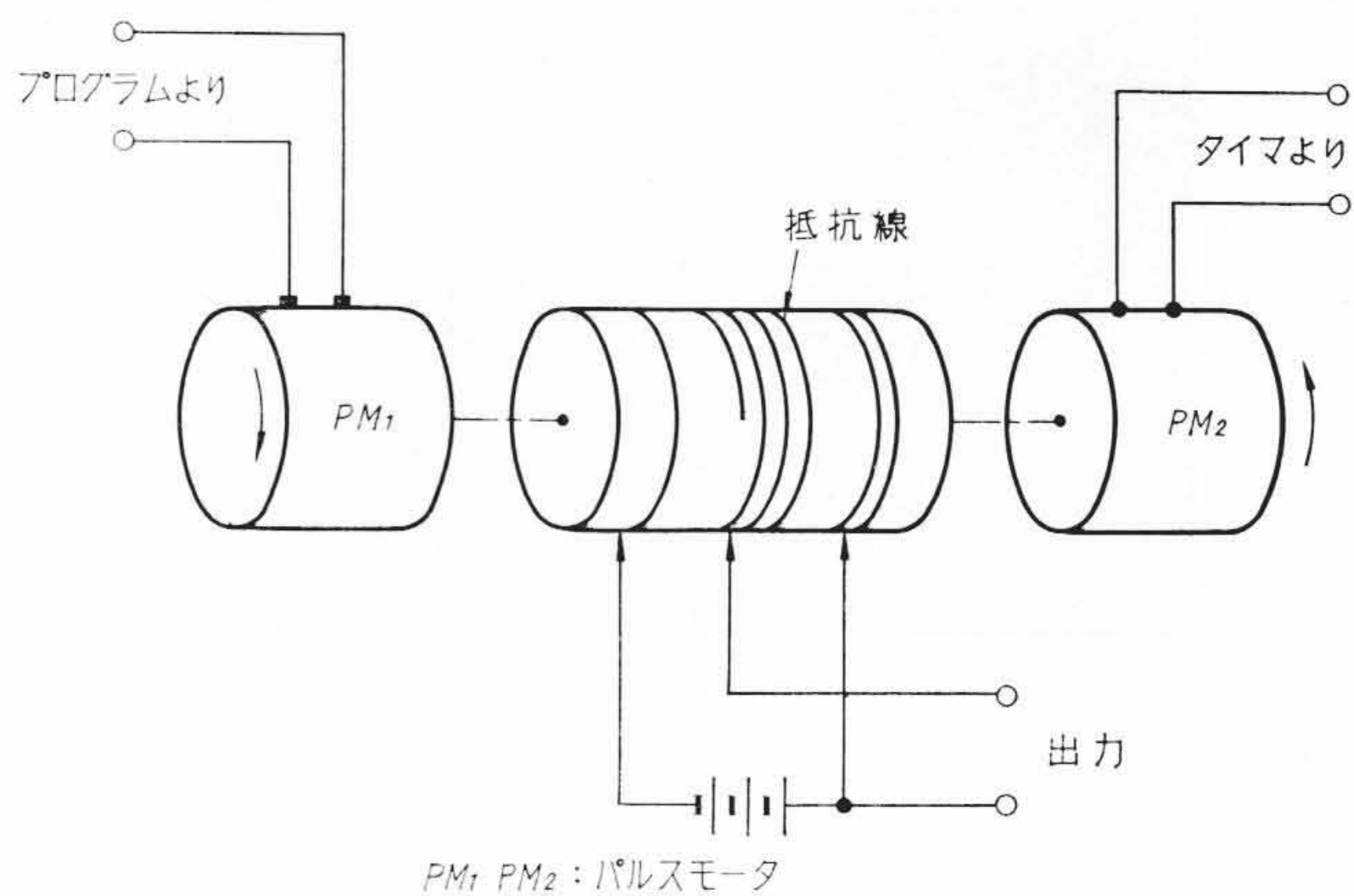
5. 自動運転用車上プログラム装置

上記の自動運転用列車自動制御装置は地上より標準運転曲線のプログラム信号を受けるものであるが、標準運転曲線が複雑になると地上プログラム装置がきわめて複雑になる。そのようなときは車上に標準運転曲線のプログラム発生装置を設け、地上からは列車速度の制限のみを行なうATC装置の場合と同様に主として制限速度信号のみを受けようとしたほうが有利である。特に列車によってプログラムが異なる場合、またはさらに時間補正をも行なわねばならない場合には、地上プログラムによる方式のみではほとんど不可能で車上プログラム装置を採用する必要がある。

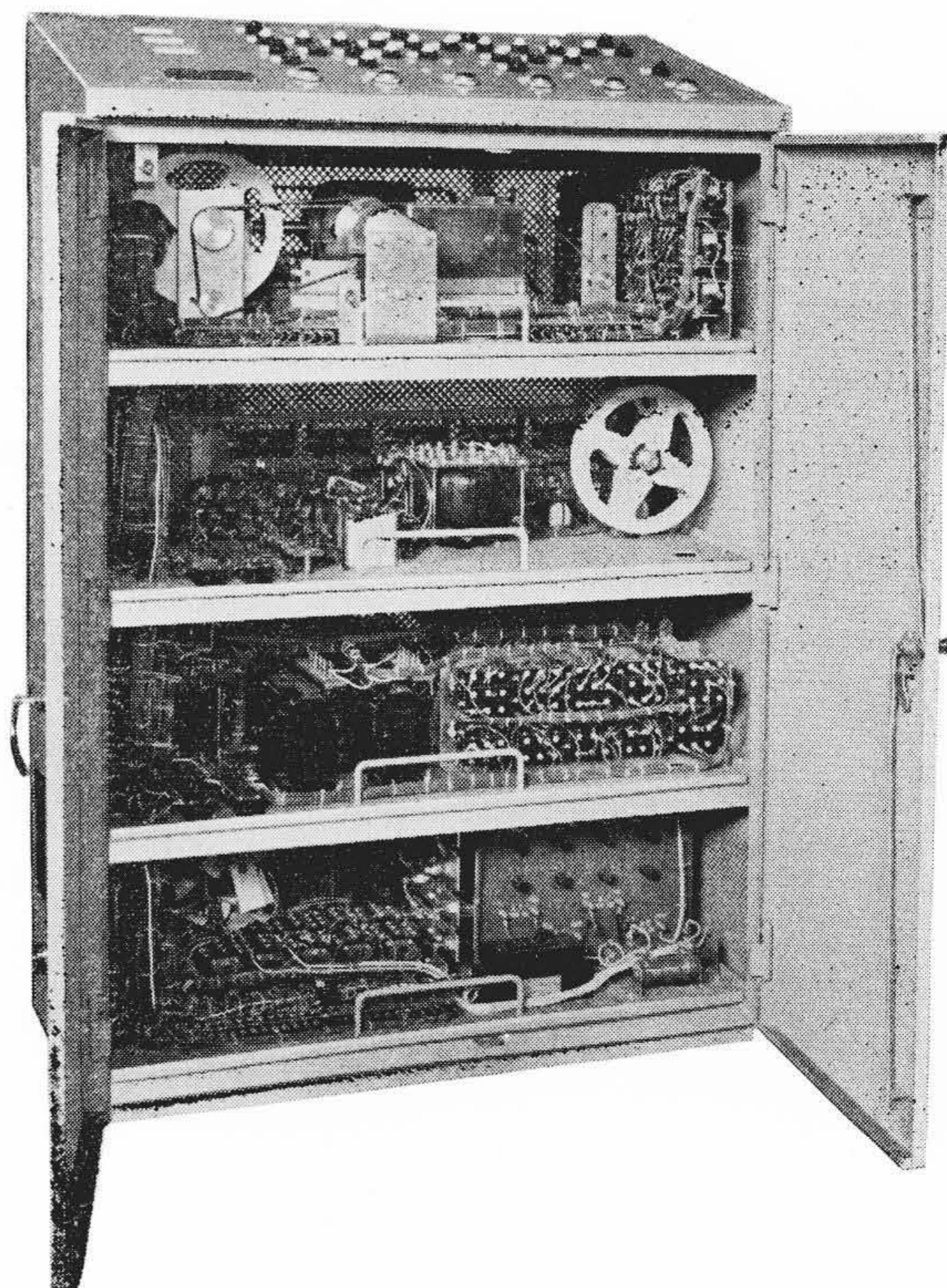
第10図が車上プログラム装置の中で特に重要な部分である磁気無接点継電器を使用した基準速度電圧を発生するための論理回路である。

すなわち、さん孔テープに標準運転曲線のプログラムをさん孔しておき、これをテープリーダーにセットし、車軸とテープリーダーの間をシンクロ送受信機で接続し、車軸の回転によりテープを送りプログラムを判読する。車内信号が進行信号のとき、このプログラムから送られてきた信号が図の端子1, 2, ..., n のいずれか、たとえば3にはいると磁気無接点継電器 S_3 が出力をだし、その出力によって S_4 以下順次 S_n まで出力をだし、出力端子電圧はこれらの総和となり、プログラムに相当した基準速度電圧を与える。車内信号が注意信号のときは接点 K_Y が開放され、基準速度電圧は注意信号に相当した値となり、停止信号のときは K_R が開放されるので基準速度電圧は零となる。すなわち、車内信号がプログラム信号に優先する。ところで、車軸の回転によりテープを送るのみでは車輪径の誤差やスリップ、スキッドなどによりテープ送りが予定よりはずれることがある。それゆえ、テープを適当な間隔ごとに予定送り位置にリセットして、はずれを補正する必要がある。

そこで、制限速度の指示を与える車内信号の搬送周波数を閉そく区間ごとに異なったものにしておき、次の閉そく区間まで基準速度が一定のときはテープの送りを停止せしめ、次の閉そく区間に進入したときに搬送周波数が変化したことを検出してテープ送りを再開



第11図 時間補正装置

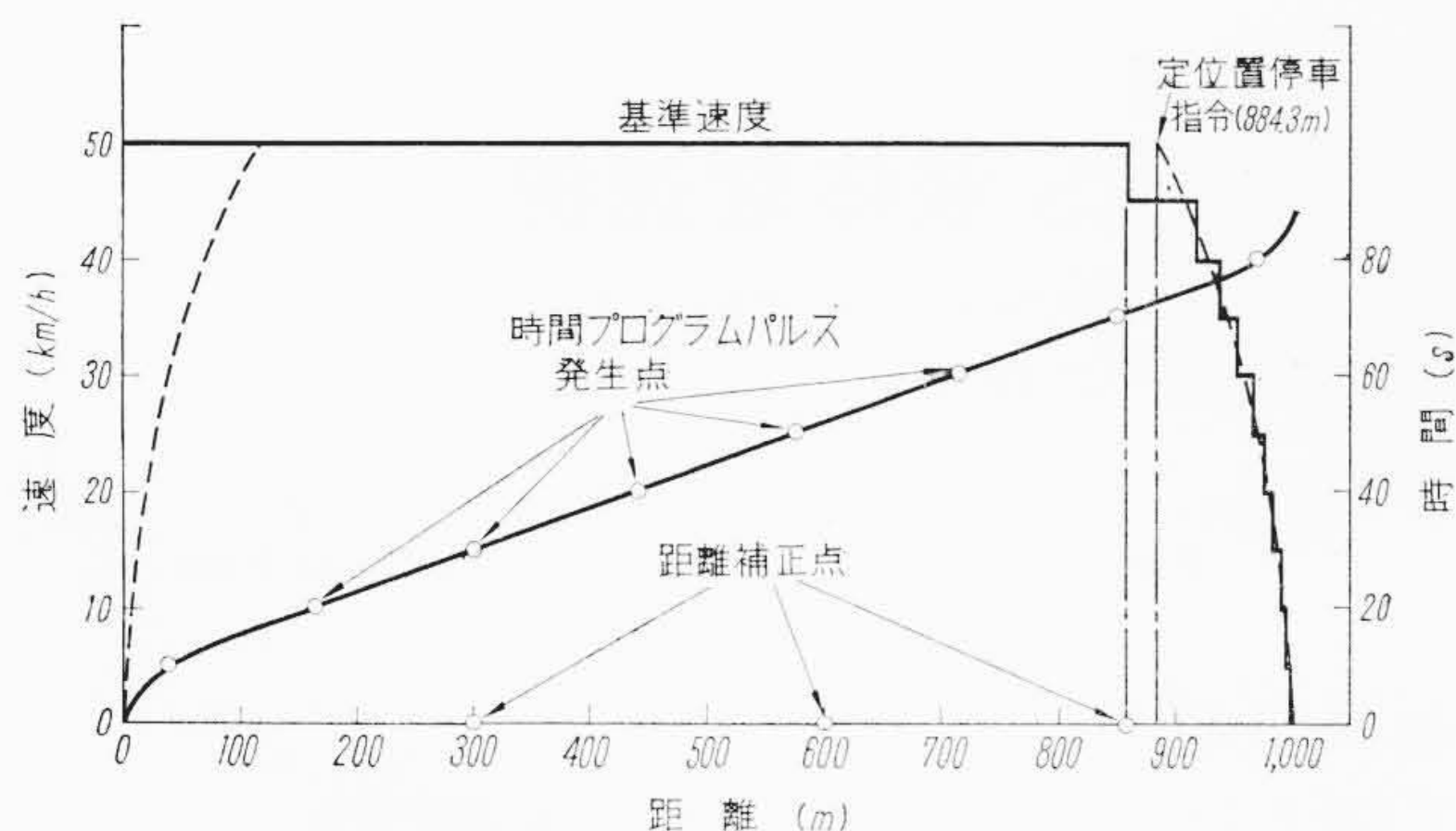


第12図 車上テーププログラム式自動運転試作装置

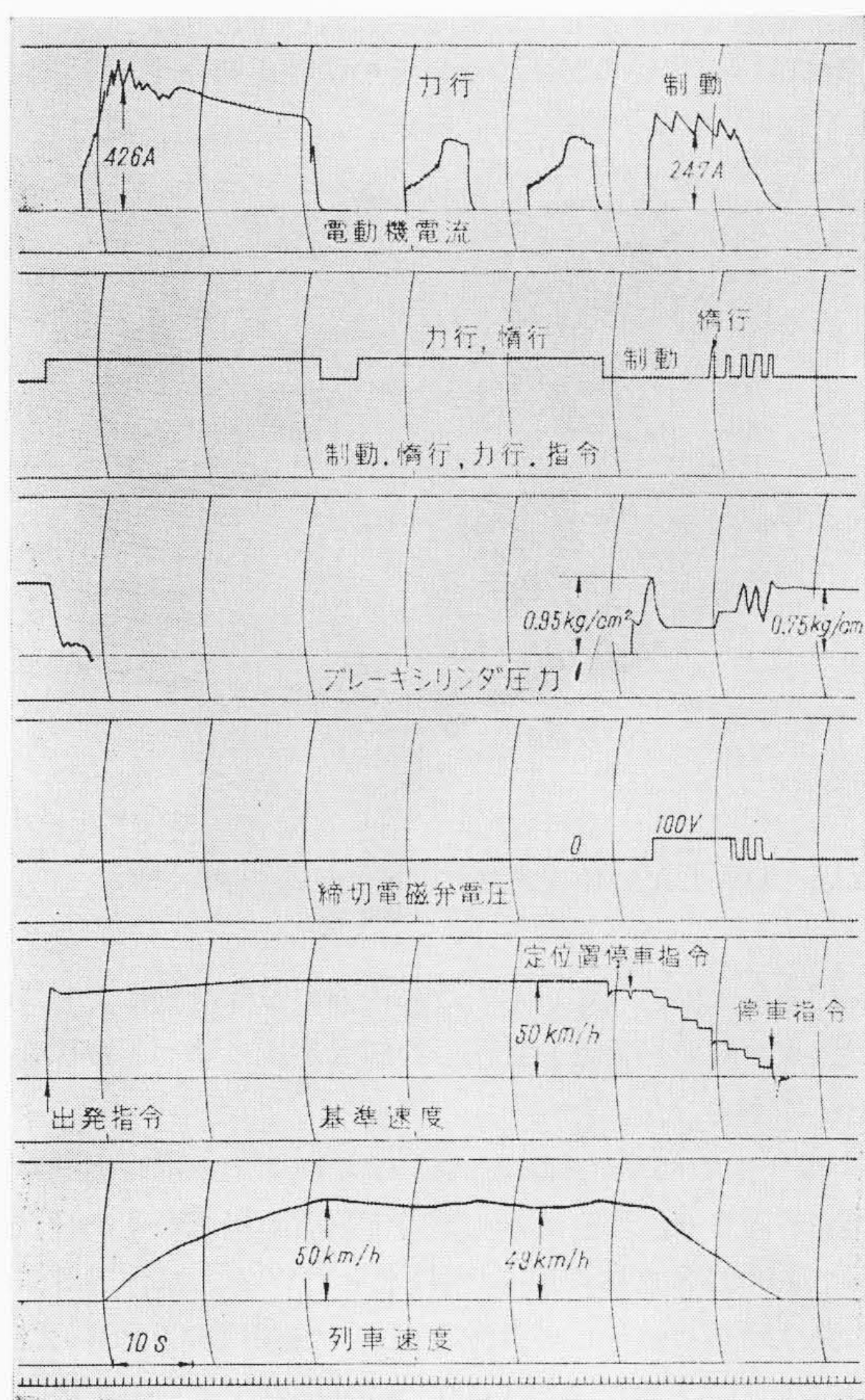
させる。このようにして閉そく区間の入口でテープの送りの誤差が補正される。テープ送りがあまりにも遅れすぎているときは一度で完全に補正することができないことも生ずるが、ある程度補正され、残りは次の閉そく区間の入口で補正される⁽⁶⁾。また、このようにするとテープの長さも短くなり、テープリーダーの動作ひん度もいちじるしく減少するので信頼度が向上する。

列車の走行時間が予定走行時間からずれるのを防ぐための装置の原理図が第11図である。すなわち、テープに適当な予定走行時間間隔、たとえば10秒間隔ごとに穴をあけてパルスが発生する。一方、時計からも10秒間隔ごとにパルスが発生させる。この両者をそれぞれ互いに反対方向に回転するパルスモータ PM_1 , PM_2 に与える。

予定走行時間と実際の走行時間が等しいときは両者から与えられるパルスが等しいため2個のパルスモータはつりあって動かない。列車が遅れるかまたは早すぎる場合はいずれか一方のパルスが多くなり、そのほうに回転し列車の進み遅れを検出することができる。これによって、第10図に示す基準速度電圧発生論理回路の電源AC



第13図 標準運転プログラム



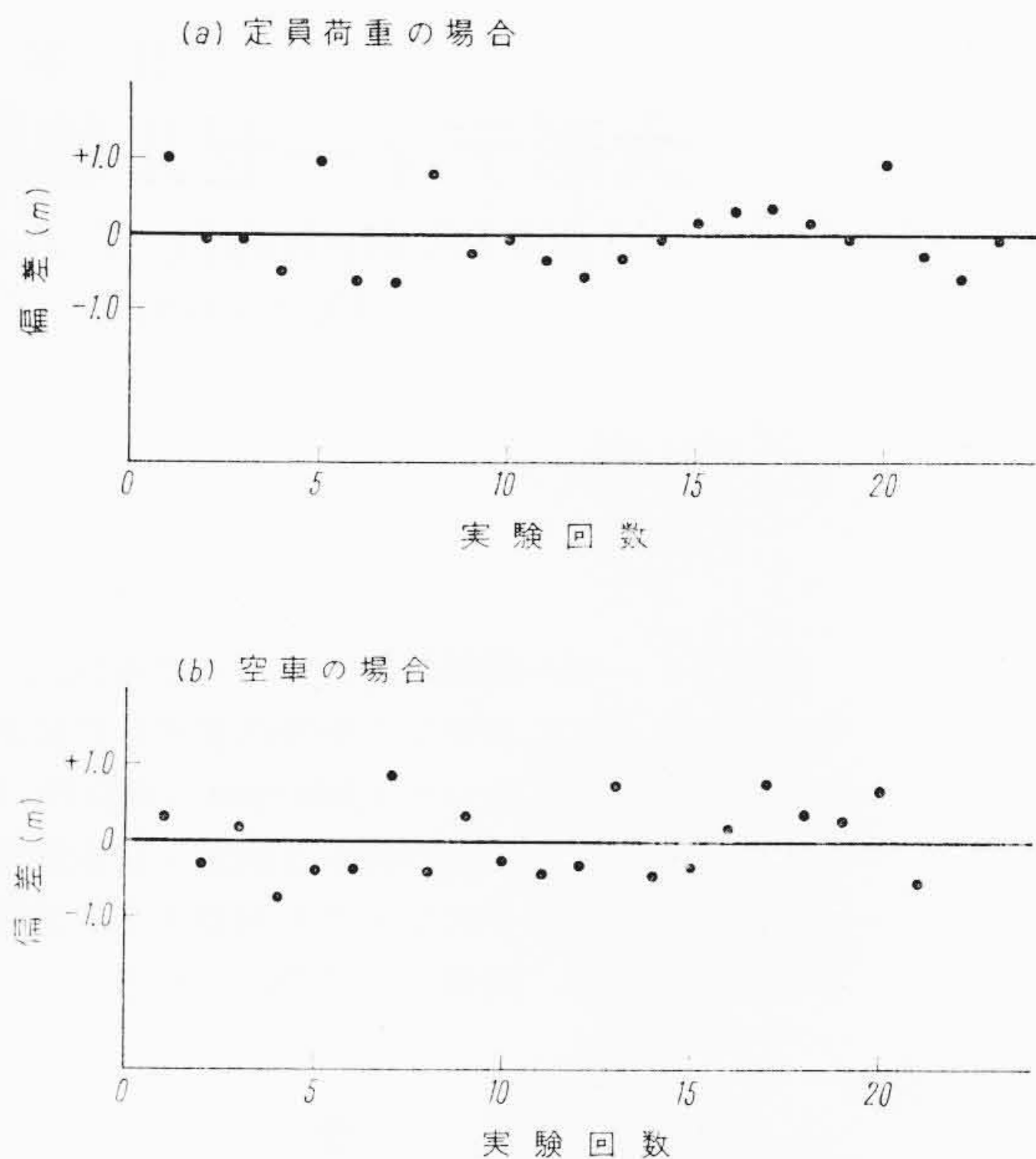
第14図 等価試験装置による実験オシログラム

の電圧を加減し、基準速度電圧を $+10\%$ ～ -10% の範囲に調整して列車速度を調整し、走行時間をもプログラムどおりにする。

第12図はこの車上プログラム装置をもった列車自動運転装置の外観である⁽⁷⁾。この装置で第13図に示すプログラムにより電車等価実験装置⁽⁸⁾で実験を行なった結果、各機器の動作はきわめて安定で、所定の性能を確認することができた。

第14図は実験のオシログラムの一例であるが、基準速度プログラムにしたがって列車速度は確実に制御されており、定位置停車の場合も停車するまで予定した減速度で円滑に制御されていることがしられる。

予定走行時間88秒に対し83秒で走行しているが、これは時間補正装置が10秒以上誤差を生じたとき補正するようにしたためであ



第15図 停車位置のばらつき

る。

空車の場合と定員荷重の場合についてそれぞれ連続20回程度の実験を行なったときの停車位置のばらつきは第15図に示すとおりで、標準偏差で空車の場合0.45m、定員荷重の場合0.55mの結果を得た。

6. 結 言

以上、日立製作所で研究開発した磁気式列車自動制御装置の概略について述べた。すなわち、まずATC装置として比較器その他に磁気無接点継電器を採用した磁気式自動列車制御装置について述べ、次に車内信号送信機として磁気変調器を採用した方式を、続いて自動運転用の列車自動制御装置、最後に自動運転用車上プログラム装置として磁気無接点継電器を採用した方式の動作原理と、これらの方式を採用して製作した自動運転装置の電車等価実験装置による実験結果について述べた。

列車の自動制御装置は鉄道の近代化にとってもっとも重要なものの一つであり、今後次第に高度の機能を有するものが要求されるものと考えられる。そして、それらはいままでも信頼度の高いことが必要で、ここで述べたような磁気無接点継電器などの非線形磁気応用装置を採用した方式のものも多く使用されよう。

終わりに、本研究に対しご指導いただいた日立製作所日立研究所水戸分室長平田博士、ならびに水戸工場、神奈川工場、本社車両事業部の関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 和田他：日立評論 別-39, 67 (昭36-3)
- (2) 竹村他：日立評論 別-40, 99 (昭36-4)
- (3) 福岡，後藤：日立評論 44, 1583 (昭37-10)
- (4) 小野田：昭和37年電気4学会連大 758
- (5) 小野田，山崎：昭和36年電気学会東京支部大会 381
- (6) 木脇，小野田：昭和36年電気学会東京支部大会 380
- (7) 木脇：昭和37年電気4学会連大 760
- (8) 平田，坪井：日立評論 44, 617 (昭37-4)