

東京駅地下乗入れ車用ATC装置

ATC Equipment for Sobu Subway Line Cars

The Sobu Line was extended to Tokyo Station and launched into business operation from July, 1972. This article describes Type TS-7 ATC for electric cars operated on the new subway line. This ATC equipment employs triple system totally digital ring calculation system and features high accuracy, high reliability, and fail-safe performance.

The most noticeable feature of all is its ring calculation system which enables dynamic controlling. It is composed of a reduced number of parts and simplified circuits, still ensuring high reliability and positive detection of faults, and on this account, expected to find wide application.

高岡 征* *Tadashi Takaoka*

安波政弘* *Masahiro Yasunami*

1 緒 言

最近の激増する輸送需要に対処するため、列車を高速化し輸送効率を増大させる必要があるが、一方、安全性の確保がますます重要な問題となっている。特に曲線やこう配の多い地下鉄区間に対しては安全の面で万全の配慮が必要である。

本ATC（自動列車制御）装置は現東海道・山陽新幹線と同じく三重系構成であるが、新幹線ATCがアナログ演算であるのに対し、本ATCはリング演算による全デジタル演算となっている。

デジタル演算採用の一つの背景は、最近のめざましい半導体技術の進歩であり、IC（集積回路）、MSI（中規模集積回路）、LSI（大規模集積回路）の出現は一挙にデジタル化への距離を短縮する結果となった。一方、演算方式の開発および進歩も急速であり、従来のアナログ演算からデジタル演算へ、さらにはデジタルでありながらフェイルセーフ可能で簡易なリング演算方式に至っている。

いまや高精度を要するATC装置やATO（列車自動運転）装置において、デジタル演算が有利である場合が大部分となるに至った。

本稿においてはリング演算のATCへの適用を述べるが、リング演算の特長はATCよりも複雑なATO装置においていっそうその特長を発揮するため、今後の広範な用途への適用が期待される。

2 装置の概要

2.1 構 成

本ATC装置は、ICなどの電子部品を主とした三重系の速度照査部、リレーを主とした共通部および電源部より構成され、一つの装置にまとめられている。図2はATC全体構成説明図である。

速度照査部で処理するおもな機能は次の6種である。



図1 東京駅地下乗入れ用電車 ATC装置は電車の前後の運転台に設置されている。

Fig. 1 Cars for New Sôbu Line (JNR)

* 日立製作所水戸工場

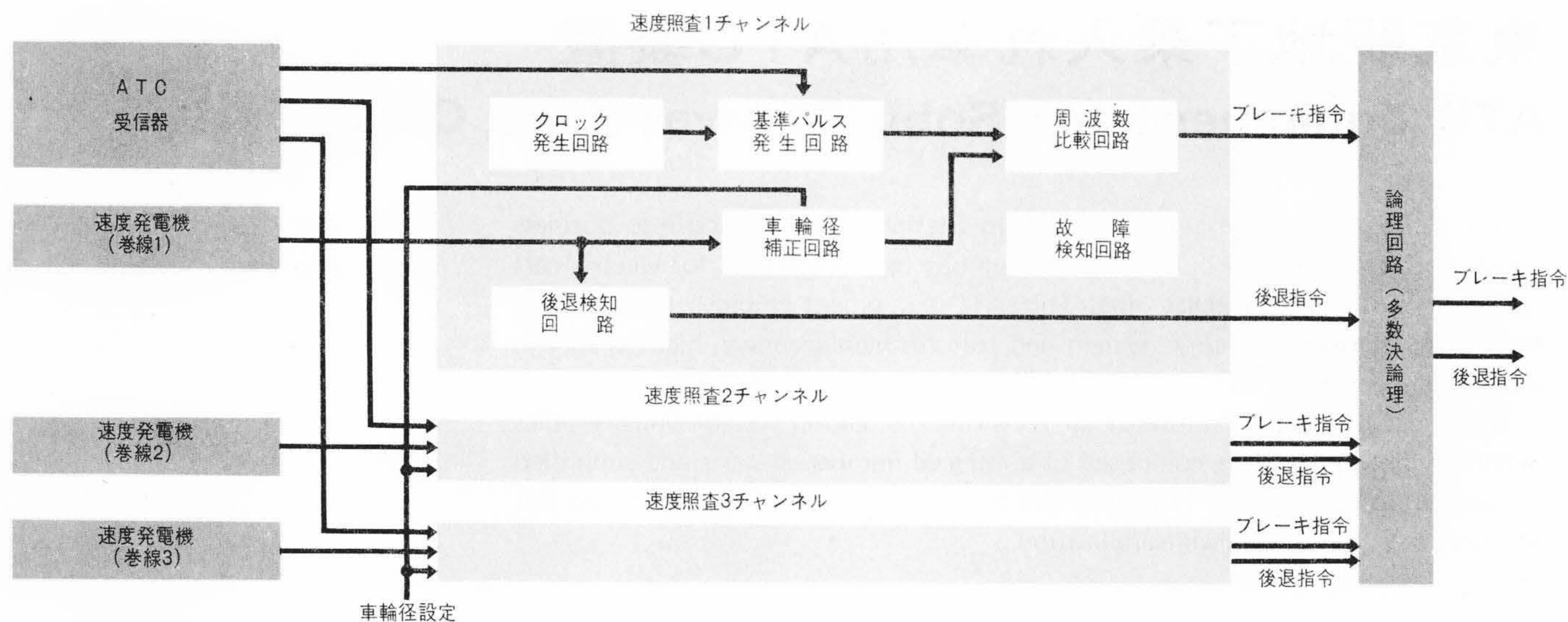


図2 ATC全体構成図 演算の主要部分は、リング演算化されており、簡易化と高精度化が図られている。

Fig. 2 Block Diagram of Automatic Traffic Control Equipment (ATC)

(a)クロック発生、(b)基準パルス発生、(c)車輪径補正、(d)周波数比較、(e)故障検知、(f)後退検知

これらの機能は、すべて半導体集積回路 (ICおよびMSI) により構成され、保守点検が容易なようにトレイ構造となっている。

この速度照査部は、外部にある三重系構成のATC受信器からのATC制限速度信号および車軸に取り付けられた速度発電機からの速度周波数を入力とし、列車速度がATC制限速度信号以上か否かを常に周波数比較器によって比較し、以上であればブレーキ指令を出し列車速度をATC制限速度以下に低下させる機能を有する。

また、車輪径の変化に対しては、常に一定の速度対出力周波数の関係が保たれるように、車輪径に応じた一定の比率を掛算する車輪径補正回路が設けられている。今回のATC装置においてリング演算を適用したのは、図2中の基準パルス発生、故障検知および車輪径補正の最も重要な各機能に対してである。これにより、従来の装置に比較して、はるかに信頼性の高い演算が実現できた。

共通部すなわち論理回路 (多数決論理) は、同一のものを3系列有している各速度照査部からのブレーキ指令について三者択二 (2 out of 3) を行ない、車両制御器へブレーキ指令として出力する。さらに、各系の故障検知を同様の三者択二方式により行ない、故障チャンネルをターゲット表示し、保守点検を容易にしている。

この共通部は、従来から新幹線ATCなどで実績のあるワイヤスプリングリレーなどで構成し、常時励磁方式によるフェイルセーフ化を図っている。

電源部は、車両の直流電源であるDC100Vを受け、これを交流電圧100V 60Hzに変換するサイリスタインバータである。ATCシステムとしての電源は、この電源部出力と車両のけい光灯などの電源である電動発電機 (MG) 出力との二重系から成り、電源部にある故障検知により、MG電源に自動切換えする待期予備自動切換方式を採用し、簡易化とともに信頼度を上げたシステムとしてある。

特に後退検知を設けたのは、こう配区間があり、こう配区間で停止したときに後退する危険を防止するためで、これは速度発電機からの各巻線間の位相の差を検知する原理によりIC2個でできる簡単な信頼性の高いものである。

以上がATC装置の概略構成である。この構成によると、装置のMTBF (平均無故障時間) は約3万時間で信頼度の高いものが構成された。

各部の詳細説明については、3.1、3.2および3.3項において述べる。

2.2 性能

本ATC装置は運転室に取り付けられ、一般仕様は表1に示すとおりである。

特に表中の温度仕様の項は $-10 \sim +50^{\circ}\text{C}$ で連続動作保証、かつ $+60^{\circ}\text{C}$ の状態でも電源投入しても異常動作しないように、

表1 ATC仕様一覧表 速度照査部、共通部および電源部の詳細仕様を示している。

Table 1 A Table of ATC Specification

該当部	項目	仕様
速度照査部・共通部	1. 形式・方式	TS-7形、リングカウンタ方式
	2. 温度仕様	$-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
	3. 入力電源電圧 (V)	交流 $100 \pm 10\%$ (連続), $60\text{Hz} \pm 5\%$ (正弦波)
		交流 $100 \pm 20\%$ (10秒間)
		直流 $100 \pm 10\%$
	4. 検出速度 (km/h)	25, 45, 65, 75, 90
	5. 制御信号	0.25, 45, 65, 75, 90
	6. 速度照査精度 (km/h)	± 2.0
	8. 後退検知精度 (km/h)	6.0 ± 2.0
	9. 車輪径補正 (mm)	780~860 (10mm間隔9ステップ)
	10. 速度入力電圧 (Vrms)	0.8(2km/h)~10 (負荷抵抗 517Ω)
	11. 応答速度 (秒)	0.3以内 (常温・定格において)
	12. 消費電力 (VA)	130
電源部	1. 入力電圧変動 (V)	$100 \pm 10\%$
	2. 出力電圧 (V)	AC $100 \pm 10\%$
	3. 出力周波数 (Hz)	60 ± 3
	4. 定格出力 (VA)	200
	5. 出力負荷変動 (VA)	0~200 (力率0.9遅れ)
	6. 出力波形	正弦波
	7. 波形ひずみ率 (%)	10以下
	8. 過負荷耐量 (VA)	300 (2分間) (定格入力電圧において)
	9. 絶縁耐力 (V)	AC 1,200V 1分間
全体	1. 振動耐量	JIS E4031 種別Iによる。

回路の構成および構造について考慮されている。

そのほかおもな性能としては、次のとおりである。

- (1) 速度照査部は三重系で共通部により三者択一の多数決論理をとり、ブレーキ指令を出力するとともに、各チャンネル間の故障検知を行なう。
- (2) 電源は、ATC内組込みのサイリスタインバータ電源部と車両電源のMG装置との二重系で、主をサイリスタインバータとする待期予備自動切換方式。
- (3) 3チャンネル間のブレーキ動作は同期回路により三者の協調を図る。
- (4) 故障検知されたチャンネルは系より自動的に切り離され、ターゲット表示が行なわれる。
- (5) 三重系の各系の車輪径補正指令および運転台の速度計の車輪径補正指令を共通部に一括操作し補正する方式。

3 ATCの動作

3.1 リング演算方式

自動運転制御に対しては、従来日立製作所ではリング演算方式によるデジタル制御を採用し、ハードウェアの画期的簡易化に成功している。

このリング演算方式はATCやATOなど列車の走行や停止を指令する運動力学的制御に対して、特に高精度な速応性を有する。

また時分割演算採用による故障検知機能や簡易高信頼化など種々のすぐれた特長を有している。

特長のおもなものは次のとおりである。

- (1) 故障検知容易でフェイルセーフ化に適している。
リングに故障検知要素を1ワード追加し、これに特定の演算を行なわせ故障検知を行なう。
- (2) 回路構成が簡易である。
時分割演算採用により、演算素子を共用できるため、部品点数が大幅に減少する。約従来方式の $\frac{1}{2}$ 程度となる。
- (3) 高信頼度である。
部品点数が減少し、熱損失も減少し、大幅に信頼度が向上する。
- (4) 高精度である。
本リング演算方式によれば連続的な(折線近似でない)放物線パターン発生が可能で、かつ微、積、乗、除などにも適した演算方式である。
- (5) 融通性が高い。
汎用制御用コンピュータなどと同様に制御はデータマトリックスにより一括して与えられる。よってこのデータマトリックス(ROM)を交換するだけで制御内容が変更できる。
- (6) 多機能である。
一般に数式で示される演算はすべて演算可能である。たとえば、微分、積分、掛算、割算、二次曲線、比例制御、A-D変換、デジタルフィルタ、比較など車両制御に必要なすべての演算が可能。
- (7) 将来性に富む

リング演算方式は、MSI、LSI化に適しているため、将来ますます高度化する制御に対して、従来のデジタル方式よりむしろ簡易となり、半導体技術の進歩を十分に取り入れられる。

また、汎用デジタルコンピュータとの結合が容易で、万能デジタルコンピュータとなし得、車両制御の面ではコスト対パフォーマンスに最もすぐれた演算方式である。

- (8) 試験の自動化に適している。

すべての情報が一つのリングになっており、リングの一端で大部分の情報がキャッチできるので、容易に自動試験器と接続が可能である。

以上に述べたように、このリング演算方式は多くの特長を有しているので、今回、このリング演算方式により東京駅地下乗入れ用ATCを構成し納入した。以下各速度照査部および共通部について述べる。

3.2 速度照査部の動作

速度照査部は、速度発電機から得られる速度信号(速度周波数)とATC受信器からのATC信号に対応した制限速度周波数(基準速度パターン周波数)とを比較し、前者が後者より大となれば、常用ブレーキ(NB)指令を出し、小となれば、ブレーキ緩解指令を出す。また、列車が停止中、なんらかの原因で後退したとき、後退速度が5km/h以上になると後退検出器により検出され、非常ブレーキ(EB)指令を出すといった機能をもつものである。

速度照査部は、前述したリング演算方式で構成されており、回路の構成素子は、半導体集積回路(IC, MSI)を主体とした全デジタル回路である。このリング演算は、従来のデジタル演算と異なり、各機能(パルス分配、車輪径補正、故障検知および5km/hパターン発生)を1個のリング状に構成されたレジスタに時分割でデータセットし、このデータに基づき、逐次演算する方式である。このため全機能がリング状に常にぐるぐる回転しているので、どの機能が異常を発生しても、この動作がストップし、故障検知できる。といったフェイルセーフ化が容易にできる。

このリング演算方式の基本演算回路は、基準周波数を発生する発振回路、リング状に構成されたレジスタ回路、制御データを格納するデータマトリックスおよびレジスタの内容とデータマトリックスのデータを加算減算する加算回路から構成されている。

図3は速度照査部の詳細ブロック図である。構成および動作について以下説明する。

$I_0 \sim I_3$ は各機能を演算するワード指定でそれぞれ I_0 はATCの基準速度周波数を作成するパルス分配指定、 I_1 は車輪径補正指定、 I_2 は故障検知用データ指定、 I_3 は後退検知用5km/hのデータ指定を行なっている。

基準発振器は512kHzで、 $I_0 \sim I_3$ のワードは各8ビット構成であり、演算周波数は8kHzで、1機能は0.125msごとに演算するので車両制御には十分な速度である。

ワードおよびビットパルス発生回路は、各演算機能を指定する $I_0 \sim I_3$ の演算要素と $I_0 \sim I_3$ ワード内のビット指定 $P_0 \sim P_7$ を行なう。これらの演算要素 $I_0 \sim I_3$ の指定時に演算切換回路が生き、時分割で前記の機能を演算する。たとえばATC信号の基準周波数発生は、ATC信号0S₁~90S₁のいずれかが入力されると、レベル変換回路でICレベル(5V)に変換される。次に入力された信号たとえば90S₁の信号に対応したデータがデータマトリックスより I_0 指定時に読み出され、リング演算によりパルス分配が行なわれ、 f_p 周波数を発生する。一方、速度発電機から入力された速度周波数は I_1 指定時にリング演算で車輪径補正された周波数 f_v と比較される。 $f_v > f_p$ のとき出力アンプの交流励振が停止し、出力リレー(NBRR)がオフし、速度照査部より常用ブレーキ指令を出す。この速度照査部は完全三重系で構成されているため、各チャンネル間のブレーキ照査ばらつきを防ぐため、ブレーキ同期回路により、相互間の照査の同期化を図っている。たとえば、ある1チャンネルがブレーキ指令を出すと、他の2チャンネルの照査レ

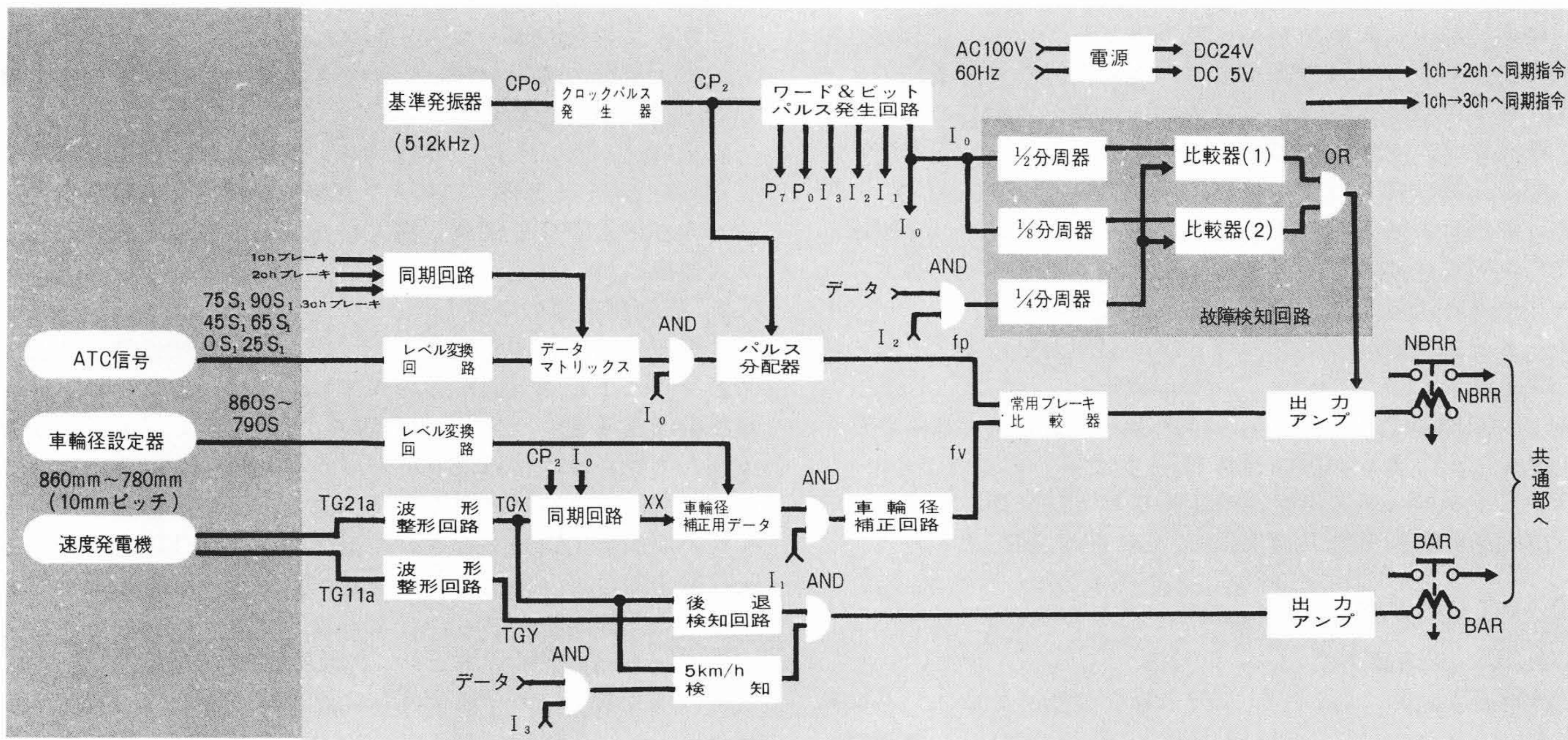


図3 速度照査ブロック図 速度照査部の主要演算部はリング演算化されて、回路の簡易化および高精度化が図られている。

Fig. 3 Block Diagram of Operating Logic Parts

図4 東京駅地下乗入れ車用
ATC装置

リング演算方式の採用により画期的ハードウェアの簡易化と確実な故障検知が可能である。

Fig. 4 Automatic Traffic Control Equipment (ATC) for New Sôbu Line (JNR)

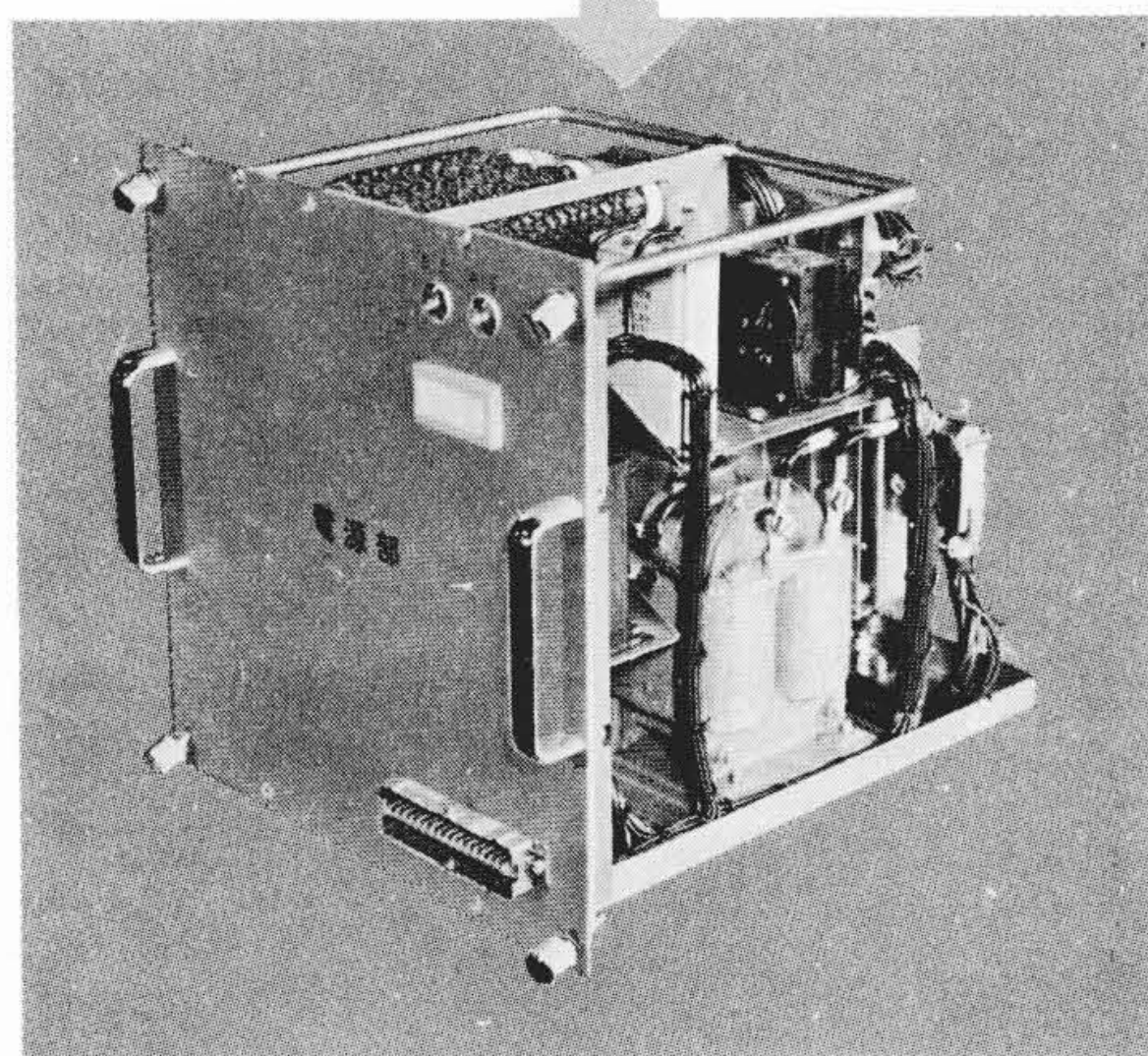
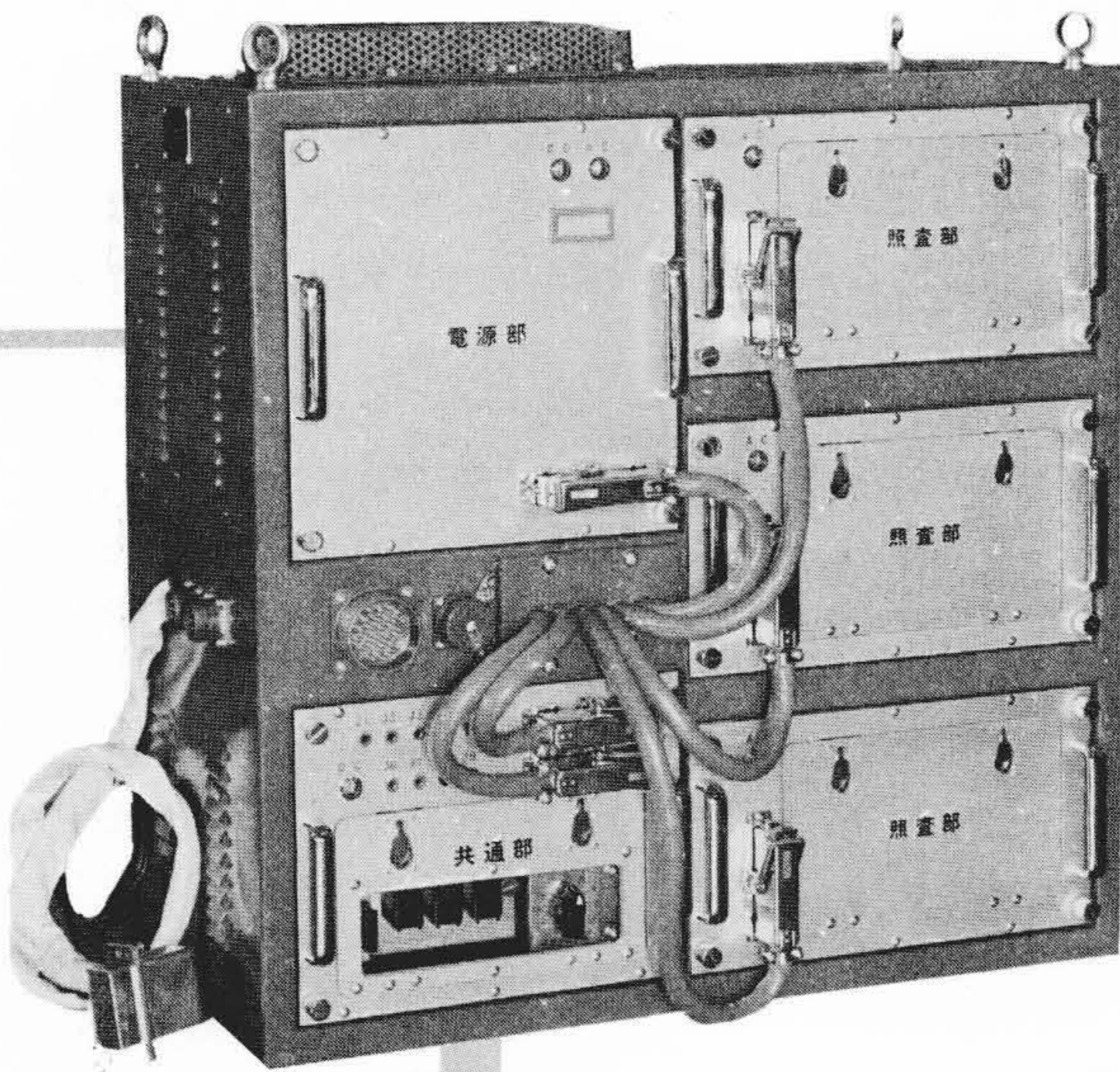


図 5 電源部外觀

CVT式サイリスタインバータで、入力DC 100Vで出力AC 100V、60Hzである。

Fig. 5 Exterior View of Power Source Parts

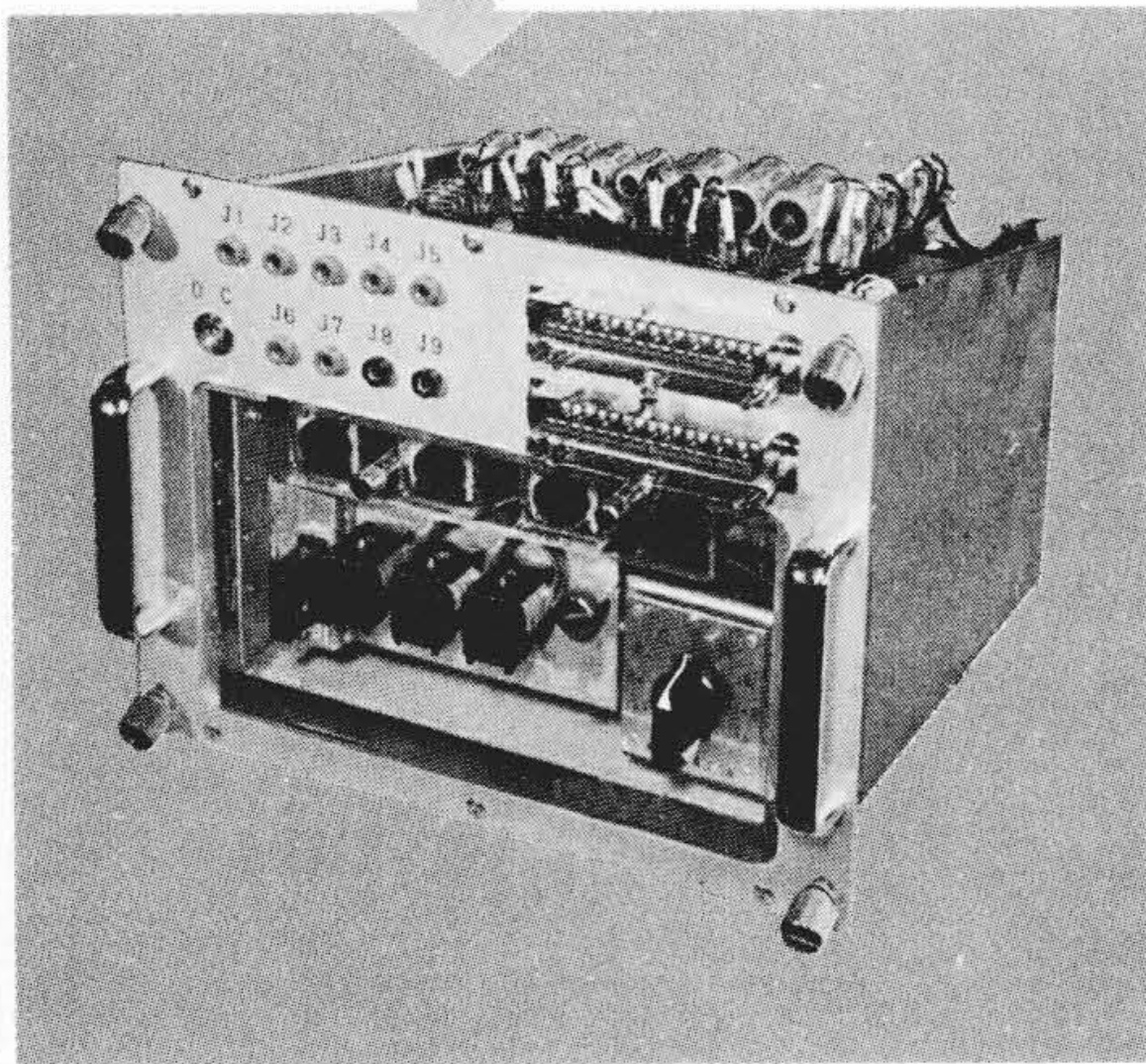


図 6 共通部外觀

三重系照査部間の三者択二をとり、三者間の協調を図るもので実績のあるリレー論理で構成される。

Fig. 6 Exterior View of Relay Logic Parts

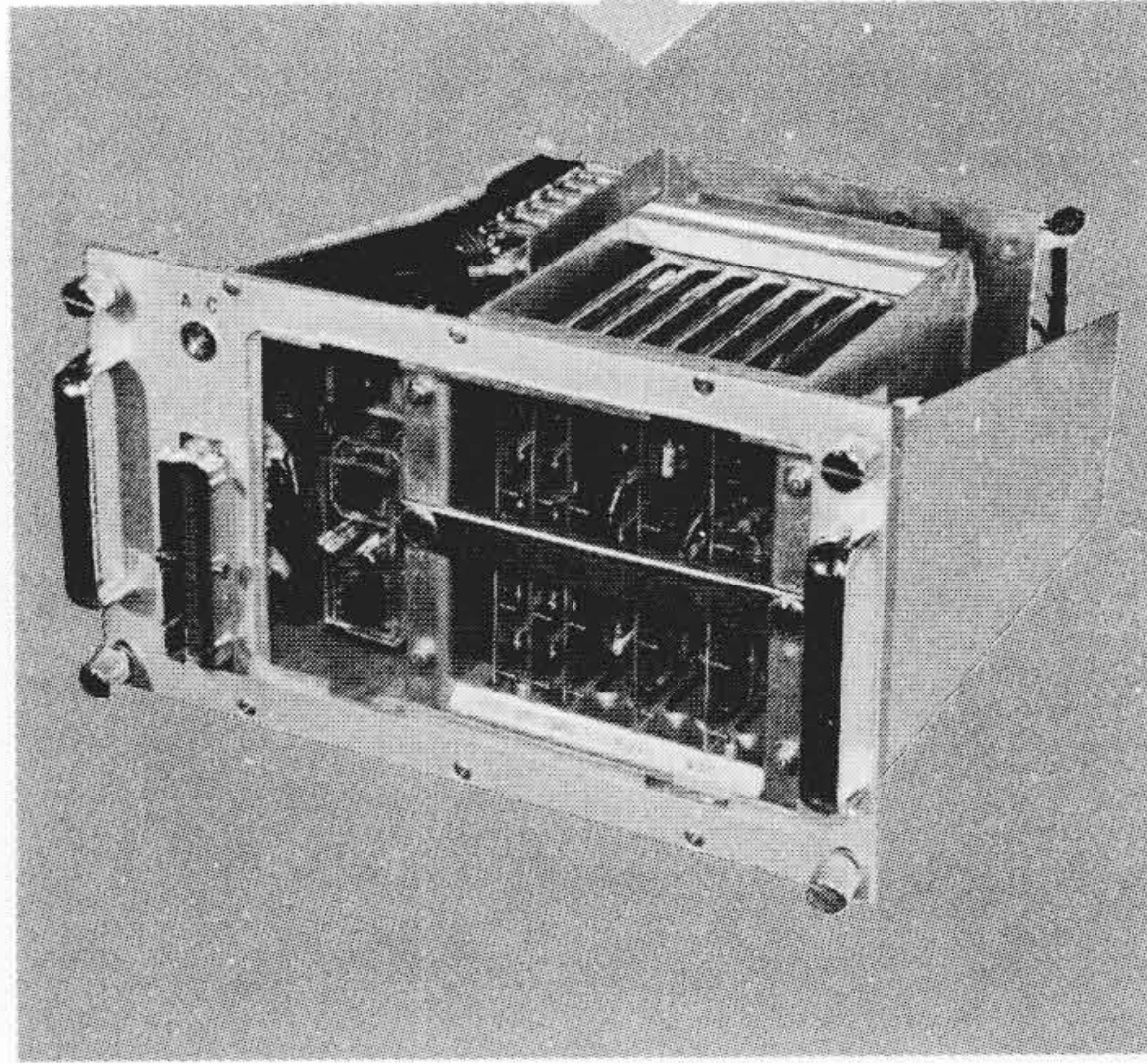


図7 速度照査部外觀

リング演算方式で構成された速度照査部で、トレイ構造で保守点検が容易である。

Fig. 7 Exterior View of Operating Logic Parts

ベルを2km/h一時的に下げて、他の2チャンネルもブレーキ指令が出るかどうかチェックする。このとき、他の2チャンネルからブレーキ指令ができれば正常と判断されるが、このときブレーキ指令が出ないと、最初にブレーキ指令を出したチャンネルが異常であると判断され、系から切り離される。このように完全三重系構成の場合は、同期化が必要である。

また、速度照査部内の故障検知は、リング演算で演算された基準周波数の $\frac{1}{4}$ 周波数と、ワード指定周波数を $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{8}$ にした周波数をそれぞれ比較し、 $\frac{1}{4}$ 周波数が $\frac{1}{2}$ と $\frac{1}{8}$ 周波数間であれば正常とし $\frac{1}{2}$ と $\frac{1}{8}$ 周波数間をはずれば異常とし、故障検知される。この方式によりほとんどの故障が検知できることになる。

以上述べた演算構成で、回路は実用上十分にフェイルセーフ化される。従来のデジタル方式でこのATC機能を構成した場合と比較すると、部品点数が約 $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{2}{3}$ 、プリント板枚数が約 $\frac{1}{2}$ 程度で構成される。本装置ではIC組込みのプリント板3枚と、入出力バッファ回路が2枚の計5枚で、装置も小形化する。

また速度照査部は、トレイ構造で、持運び、保守点検が容易である。また、トレイ構造なため、たとえばあるチャンネルが故障したときは、トレイの交換のみでよくなる。

図7は速度照査部の外観を、図4はATC装置全体の外観を示す写真である。

3.3 共通部および電源部の動作

3.3.1 共通部の動作

共通部は速度照査部三重系からの各ブレーキ指令により多数決論理（三者択二）をとり車両制御器への出力指令を行なう。また各チャンネルからのブレーキ指令によりそれぞれ三者択二論理をとり、どのチャンネルが故障したかを判別する故障検知回路（CHR1～2）を設けている。さらに、2チャンネルとも故障したことを検知する回路をも設け、システムフェイルを検知し、ただちに車両制御器へ非常ブレーキ指令を出すことにしている。

また、どのチャンネルが故障したかを表示するターゲット表示器を設け、保守点検を容易にしている。

また、速度照査部において列車が後退したことを検知した出力は共通部において、突合せ（論理和）がとられ、車両制御器へ非常ブレーキ指令を出す。

以上の論理は、従来から実績のあるワイヤスプリングリレーおよび小形補助リレーで構成され、すべて常時励磁方式で、フェイルセーフ化が図られている。すなわち、ブレーキ指令系統のリレーは非ブレーキ時は励磁（ON）し、ブレーキ時は非励磁（OFF）する方式である。

その他の機能として、従来は速度照査部ごとに車輪径補正用スイッチを設けていたものを、保守、取扱いを容易にするために、共通部の中に速度照査部3チャンネル用および速度計用の車輪径補正スイッチを1個設けて、ワンタッチで切り換えできる構成としてある。図6は共通部の外観写真である。

3.3.2 電源部の動作

電源部は車両電源DC100Vを受けて、これをAC100V、60Hzに変換するサイリスタインバータである。

この電源部は、サイリスタスイッチング回路、定電圧トランス（CVT）、およびゲート制御回路から構成され、定電圧トランスにより、サイリスタスイッチングによる矩（く）形波を正弦波に変換し、交流出力とする。

ATC装置の電源装置は、本電源部のサイリスタインバータと、車両交流電源である電動発電機（MG）の二重系構成

で、常時サイリスタインバータ電源部が使用され、このインバータが故障検知されると、待期予備の電動発電機（MG）へ自動切り換えが行なわれ、電源系統の冗長度を大きくしている。またこの電源部は、従来床下取付けであったが、これをATC装置内に1個のトレイ構造で組み込み、ATC装置全体として小形に構成した。図5は電源部の外観写真である。

4 試験結果

本ATC装置は、東京駅地下乗入れ車用総武線用113系電車および183系特急電車に設置されるもので、新総武線が昭和47年5月に完成し、前記電車のならし運転が開始され引き続き7月より営業運転が開始されている。

ATC関係の現車試験は昭和47年5月26日～6月1日および6月28日～6月30日の2回にわたり東京～錦糸町間で各種試験が実施された。この結果すべての試験に良好な結果を収めることができた。おもな試験内容は次のとおりである。

(1) 定置試験内容

幕張電車区内において次の試験を実施した。

- (a) 電源投入試験
- (b) ATC信号（O₂～90信号）受信時の動作確認およびシーケンス確認試験
- (c) ATC—ATS切換シーケンス試験
- (d) インバータ故障および瞬時停電試験
- (e) その他

(2) 本線走行試験

東京～錦糸町間において次の試験を実施した。

- (a) ATC信号受信時のATCの各種動作試験
- (b) 錦糸町駅でのATC—ATS切換シーケンス試験
- (c) ブレーキ動作試験
- (d) こう配区間での後退検知試験およびこう配起動試験
- (e) インバータ故障およびMG電源切換試験
- (f) その他

以上の定置試験および本線走行試験において、車両搭載（とうさい）で、ノイズなどの影響がなく、各部の動作、シーケンスとも良好な結果を得た。本装置は現在7月15日開業以来、好調に作動している。

5 結 言

東京駅地下乗入、総武線用TS-7形制御装置の紹介をしたが、この装置の特長は、前記のように、全デジタル式リング演算方式を採用したことである。

このリング演算方式は、従来のアナログ式に比べて、全デジタル化したことにより、信頼性が高く、さらに従来のデジタル回路では実現できなかった各部の故障検知も、1個のリング状に接続したレジスタ内でのリング演算により、各部の機能の故障が一個所で容易に検出できるとともに、フェイルセーフ化された。また、従来のデジタル方式の半分のプリント板枚数で実現できるなど一段とすぐれた特長を多々有しており、今後ATC、ATO装置のベースとなり、各電鉄会社での自動運転装置への発展性が大いに期待される。さらにこのリング演算方式は、コンピュータとの連系が容易にできるため、中央運行管制用コンピュータと、車上装置との情報の授受なども容易に行なわれ、将来の完全自動運転への道を開くものである。

終わりにあたり、本装置の開発、設計に終始懇切なご指導を賜った日本国有鉄道車両設計事務所関係各位に対し深く感謝の意を表する次第である。