

横浜市交通局 納
トロリーバス用電気品

Electric Equipment for Trolley Buses Supplied to the
Yokohama Communication Bureau

高橋 健造* 神谷 清**
Kenzō Takahashi Kiyoshi Kamiya

内 容 梗 概

横浜市に新設されたトロリーバスの電気品には複巻電動機を用い、発電制動時には分巻界磁を使用してノッチレスで広い速度範囲にわたりほぼ一定の制動力をえ、起動時には分巻界磁を直巻界磁と併用して起動特性を改善するなど独特の制御方式を採用している。機器はすべて小形軽量、操作简单で高性能のものである。

1. 緒 言

わが国のトロリーバスは京都市をはじめ川崎市、東京都、大阪市などで採用されており歴史は古いが広く普及するまでには至っていない。

従来路面電車は都市交通機関として、大都市はもちろん中小都市に至るまで、きわめて広く使用され、現在でも、自動車とともに、重要なものの一つであるが、近代都市のあり方として、美観、交通量の緩和、騒音の防止などの見地から、地下鉄への移行が叫ばれるようになった。しかしながら、地下鉄は、膨大な建設費を要するのでふたたびトロリーバスが取り上げられ、検討されている。

トロリーバスは、路面電車に比し、軌条および乗降施設を必要とせず、また乗合自動車と比較すると、通風、暖房、清潔、照明などのサービス面と、高加減速運転ができ、輸送量の大きいことなどの性能面で有利であり、今後の都市交通機関として発達すべき多くの要素をもっている。

今回、横浜市に新設されたトロリーバスは、横浜駅西口と住宅地を結ぶ環状線用の第一次計画によるものである。乗客定員 100 名の大形車にかかわらず、運転はもちろん客扱いも 1 人の運転手で行ういわゆるワンマンカーであって、最高速度は 50 km/h、電空併用制動を常用するきわめて近代化された車両である。この電気品は小形軽量、取扱い簡易、しかも高性能を有するもので以下その概要を述べる。

2. トロリーバスの主要要目

主要要目を第 1 表に示す。

3. 制御方式と特長

主回路、制御回路つなぎおよび機器番号表を第 1 図、電動および制動ノッチ曲線を第 2 図および第 3 図に示す。

本方式の特長とする点は、次のとおりである。

(1) 主電動機に特殊な複巻電動機を使用し、起動時に分巻界磁コイルを起動抵抗器に並列に接続して速度一けん引力特性を直巻電動機の特性に類似させ、分巻界磁コイルを起動時にも有効に使用している (特許第 190803 号)。

(2) 分巻界磁の強さは起動抵抗器の電圧降下に比例しているので、起動時のノッチ進めにしたがって、分巻界磁の電流は減少し、界磁制御用の接触器を多数用いることなしに、有効に界磁制御を行っている。

(3) 制動時には、主電動機は特殊な他励発電機として作用し、

* 日立製作所水戸工場
** 日立製作所日立工場

第 1 表 トロリーバスの主要要目

車 種	2 軸 6 輪自動車形
定 員	100 名 (立席 61, 座席 39) 運転手 1 名
車 両 重 量	空車時 約 8,577 kg 定員時 14,077 kg
1 時 間 定 格 速 度	30 km/h
1 時 間 引 張 力	1,160 kg
最 高 速 度	50 km/h
最 大 勾 配	50/1,000
駅 間 距 離	平均 350 m
加 減 速 度	平均 3.5 km/h/s
架 線 電 圧	600V
主 電 動 機	HS-506-Drb 複巻電動機×1 台
1 時 間 定 格	100 kW 600 V 184 A 1,800 rpm
減 速 比	11.675
タ イ ヤ	11.00-20-14 P (計算径 1,030 mm)
制 御 電 圧	32V
制 御 ノ ッ チ	電 動 前 進 6 ノ ッ チ 後 進 2 ノ ッ チ 制 動 4 ノ ッ チ
制 動 装 置	常 用 電空併用 駐 車 用 推進軸緊縛式ハンドブレーキ
操 作 方 式	足 踏 式

分巻界磁の励磁電流は制動電流の増減に対し逆特性となっているので、きわめて広範囲の速度変化に対しても、制動力はほぼ一定となり、直巻電動機のように多数の制動ノッチを必要とせず、スムーズに車両を減速させることができる。

(4) 力行中、誤って両ペダルを同時に踏み込んでも、制動回路が優先的に構成され、その状態から制動ペダルのみを離した場合でも、力行の途中ノッチからふたたび電動回路を構成しないよう、電氣的インターロックを設けて運転の安全を計っている。

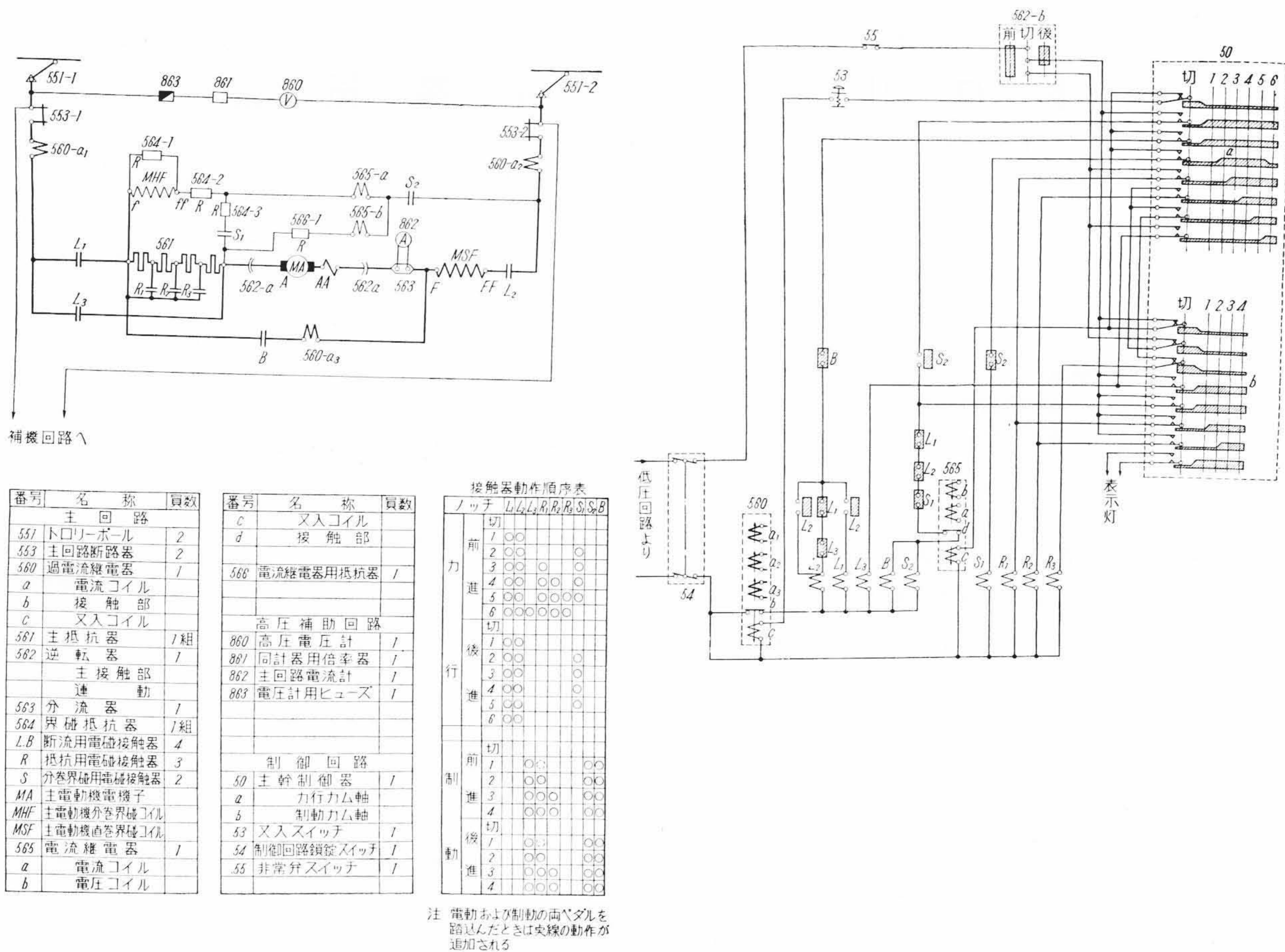
3.1 電 動 つ な ぎ

電動時の主回路つなぎを第 4 図に示す。

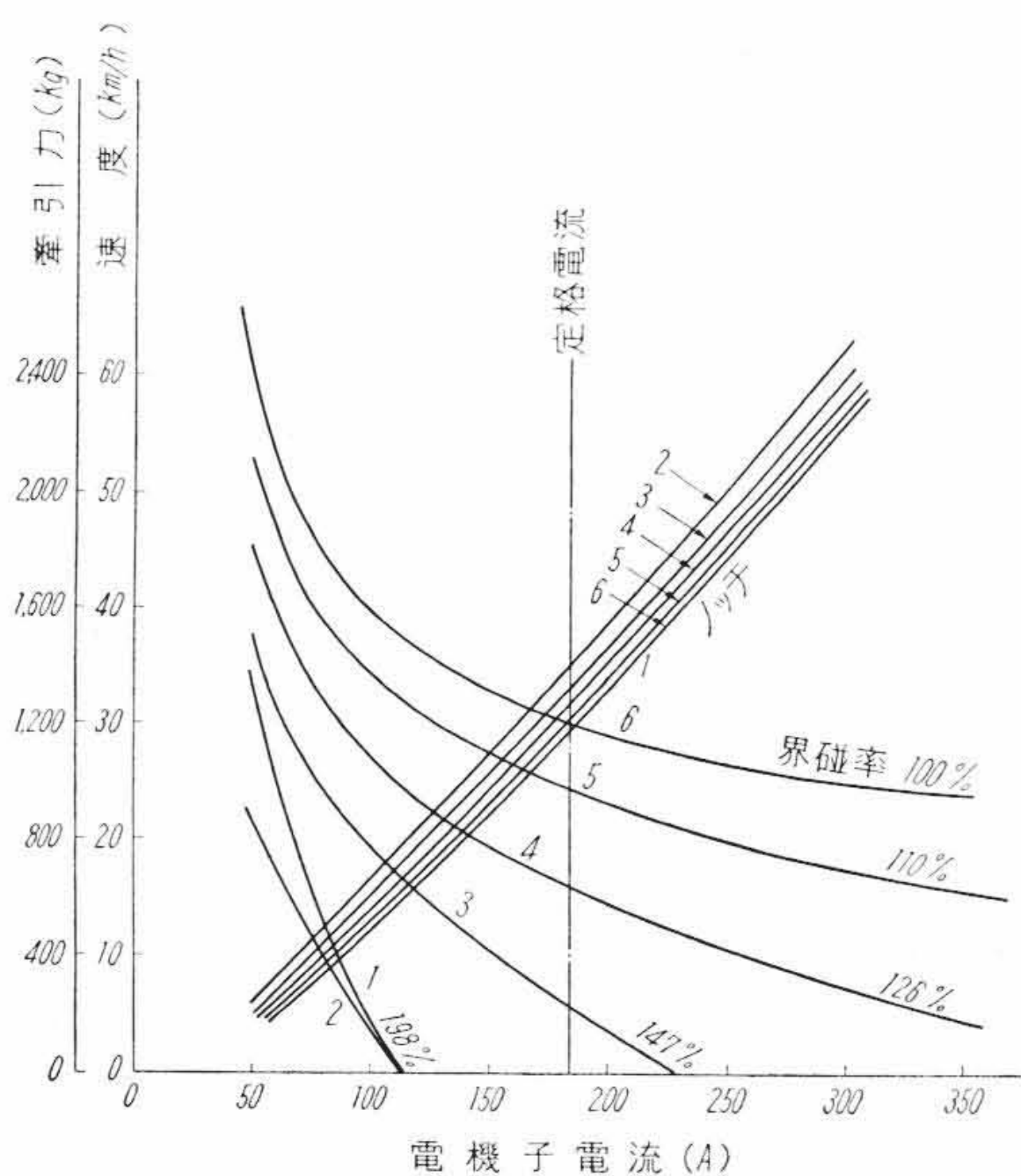
電動ノッチは 6 ノッチであるが、後進の場合は電氣的に 2 ノッチ以上に進まぬようになっている。1 ノッチで L_1 , L_2 断流器が入り、100%界磁で起動する。2 ノッチで S_1 接触器が入り、分巻界磁が起動抵抗に並列に接続され、198%の強め界磁となる。以下順次に起動抵抗が短絡されるにつれて界磁は 3 ノッチ 147%, 4 ノッチ 126%, 5 ノッチ 110%, 6 ノッチ 100%となるので、わずかなノッチ数にもかかわらず、円滑、有効な起動特性を発揮する。ノッチもどしに際しては、力行回路に順次起動抵抗をそう入したのち、回路を開くので、衝撃を生ずることはない。

3.2 制 動 つ な ぎ

発電制動回路を第 5 図により説明する。分巻界磁 f が架線より励磁されると電機子に誘起起電力 E を生じ、抵抗 r_2 を通じて電機子電流が流れ、制動力が発生するが、抵抗 r_2 には分巻界磁電流 I_f と電機子電流 I_a が共通に流れるため、高速で発生電圧が高く、電機子



第 1 図 トローリーバス主制御回路つなぎおよび機器番号表

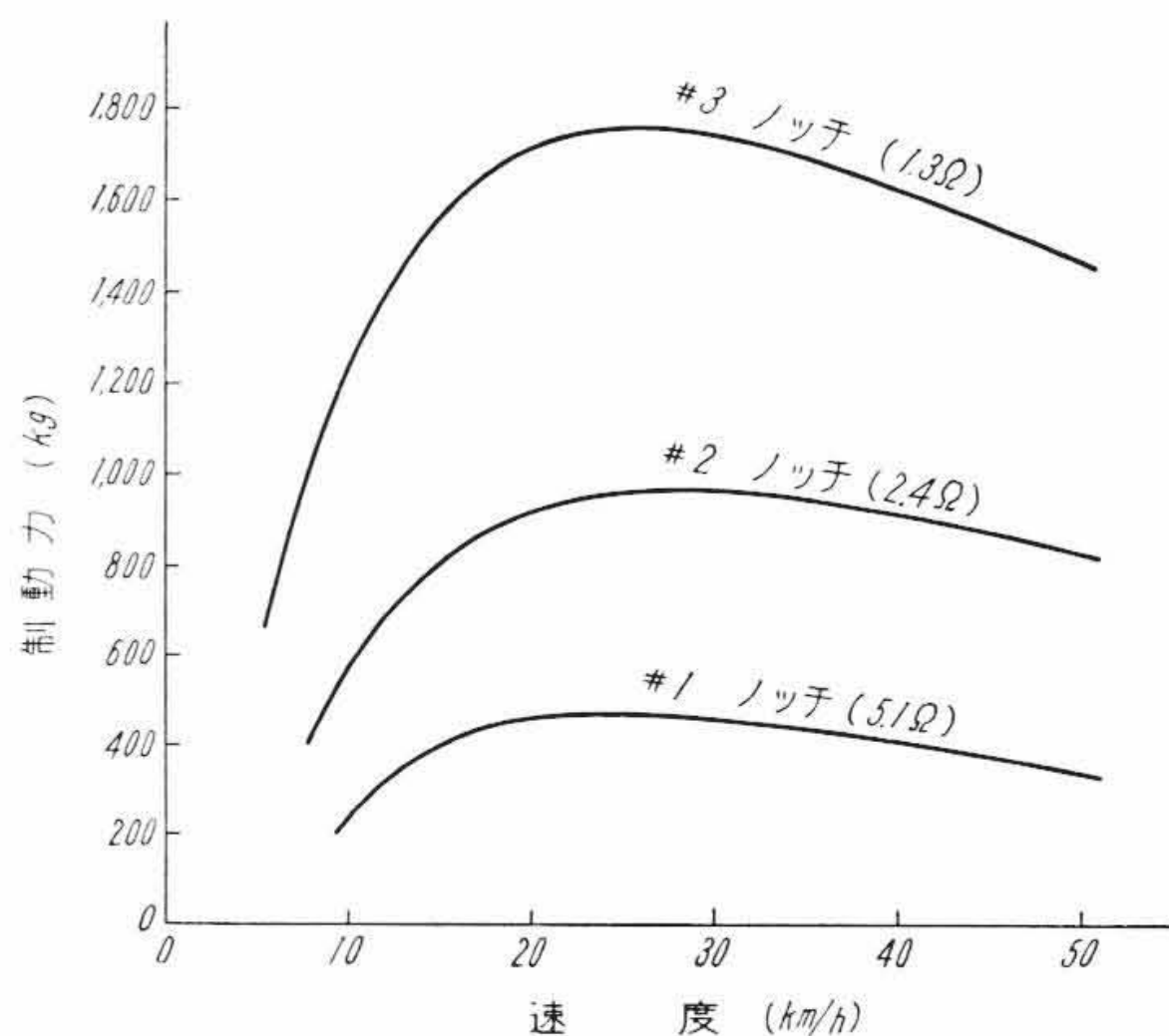


架線電圧 600V 歯車比 11.675
主電動機 HS-506-Drb タイヤ径 1,030
600V 100kW×1
第 2 図 電 動 ノ ッ チ 曲 線

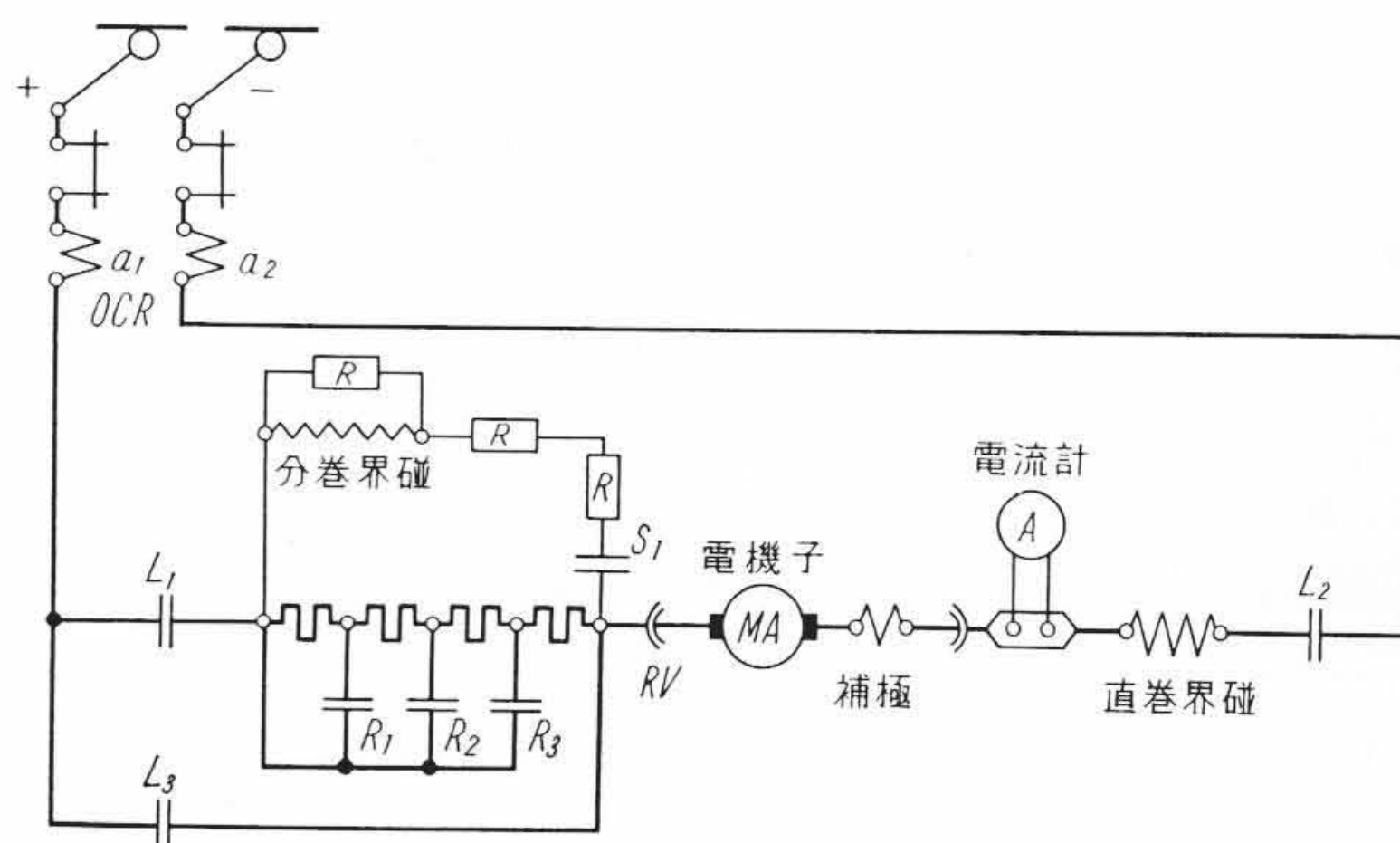
に過大電流が流れようとするとき、 r_2 の電圧降下が増して、 I_f が減少し界磁を弱め、また低速では、発生電圧が低く電機子電流が減少しようとするとき、 I_f が増して界磁を強めることになり、広範囲の運転速度に対して自動的に制動力がほぼ一定に保たれることになる。

制動力は次式で示される。

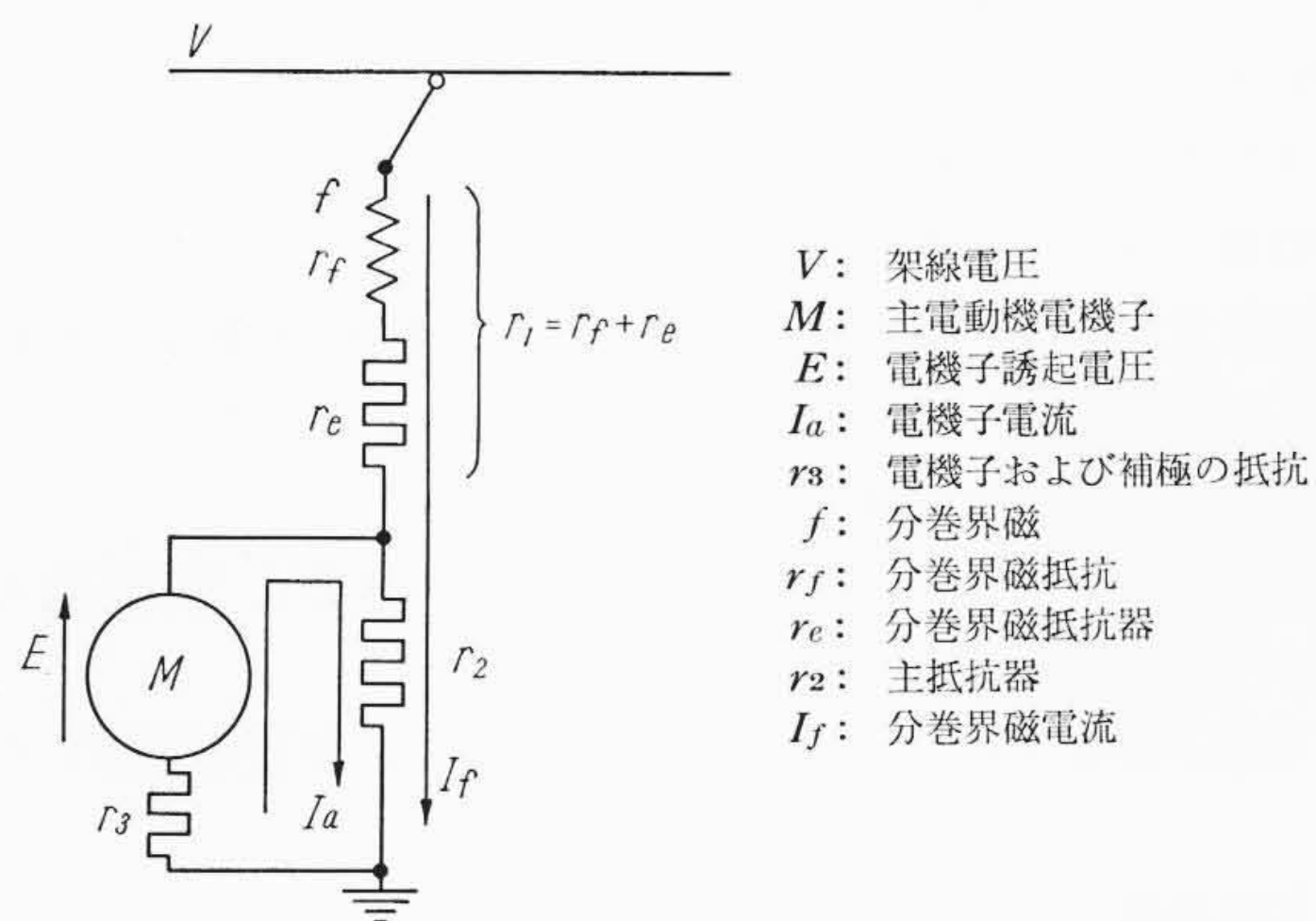
$$BE = k \frac{E I_a + W_0}{n} \dots \dots \dots (1)$$



架線電圧 600V 歯車比 11.675
主電動機 HS-506-Drb タイヤ径 1,030
第 3 図 制 動 ノ ッ チ 曲 線



第 4 図 電 動 時 主 回 路 つ な ぎ



第5図 発電制動回路説明図

ここに BE : 制動力 k : 定数 n : 回転数 W_0 : 電動機無負荷損失

今主電動機の誘起電圧が界磁電流に比例するものとする、第5図の回路において、次の諸式が成立つ。

$$E = k' n I_f \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$I_f = V(r_2 + r_3) / (r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1 + k' n r_2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I_a = \frac{V}{r_2} \left\{ 1 - \frac{(r_1 + r_2)(r_2 + r_3)}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1 + k' n r_2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに k' は分巻界磁巻線の巻数 T に比例する比例常数であって、界磁コイルの寸法および起磁力を一定とすると、コイルの抵抗値はほぼ巻数の2乗に比例するから k' は $\sqrt{r_1 - r_e}$ に比例することになる。電動機の無負荷損失を省略して考えると(1)、(2)式より

$$BE \div k \frac{EI_a}{n} \propto I_f \cdot I_a \quad \dots\dots\dots (5)$$

(3)、(4)、(5)式より制動力が最大になる速度 n_0 を求めると(6)式が得られる。

$$n_0 = \frac{1}{k'} \left(r_1 + 2r_2 + r_3 + \frac{r_1 r_3}{r_2} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

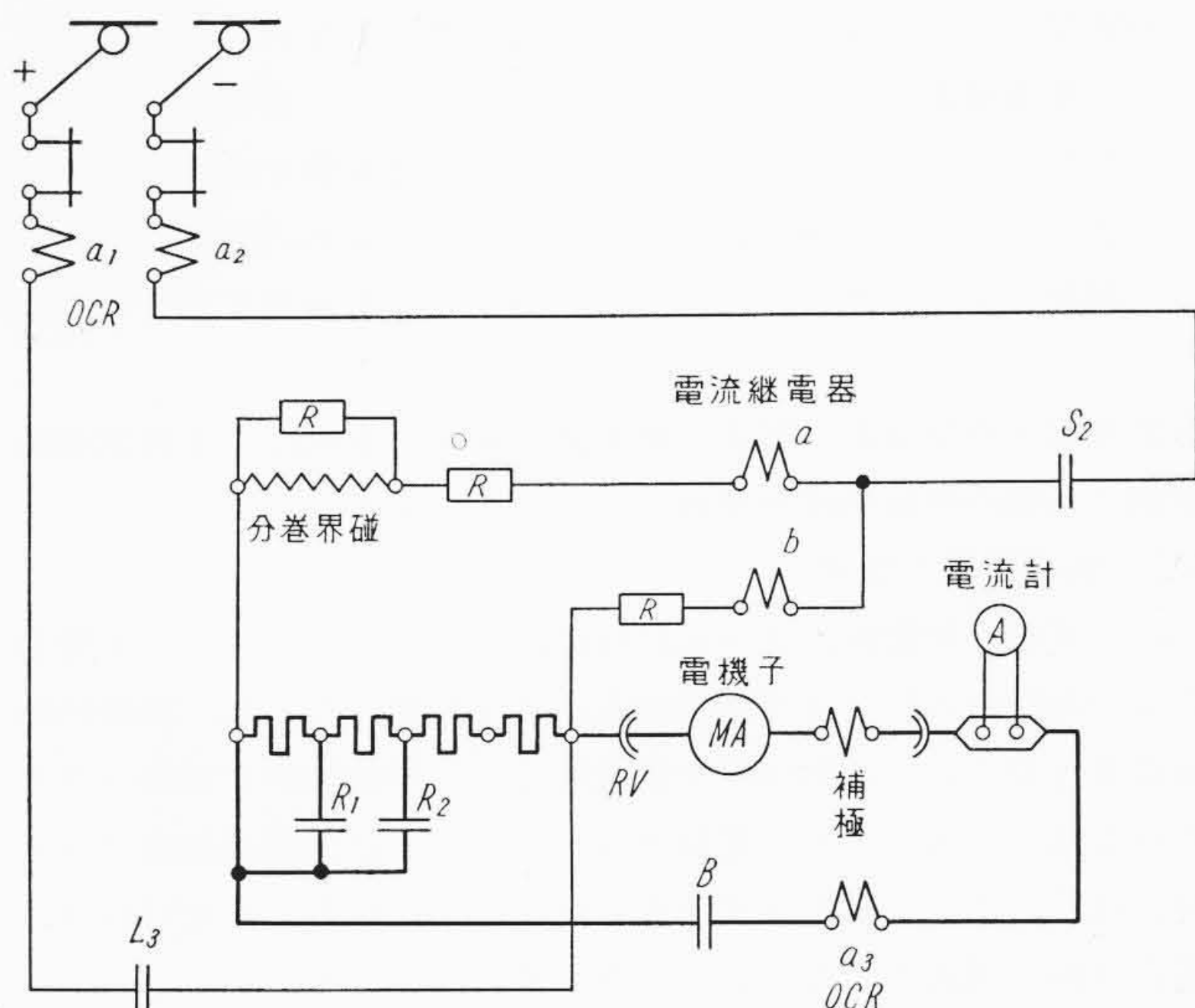
n_0 は制動力がほぼ一定に保たれる速度の目安となるもので、最大制動力 BE_0 は(7)式で表わされる。

$$BE_0 = k'' \frac{V^2}{(r_1 + r_2)r_2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

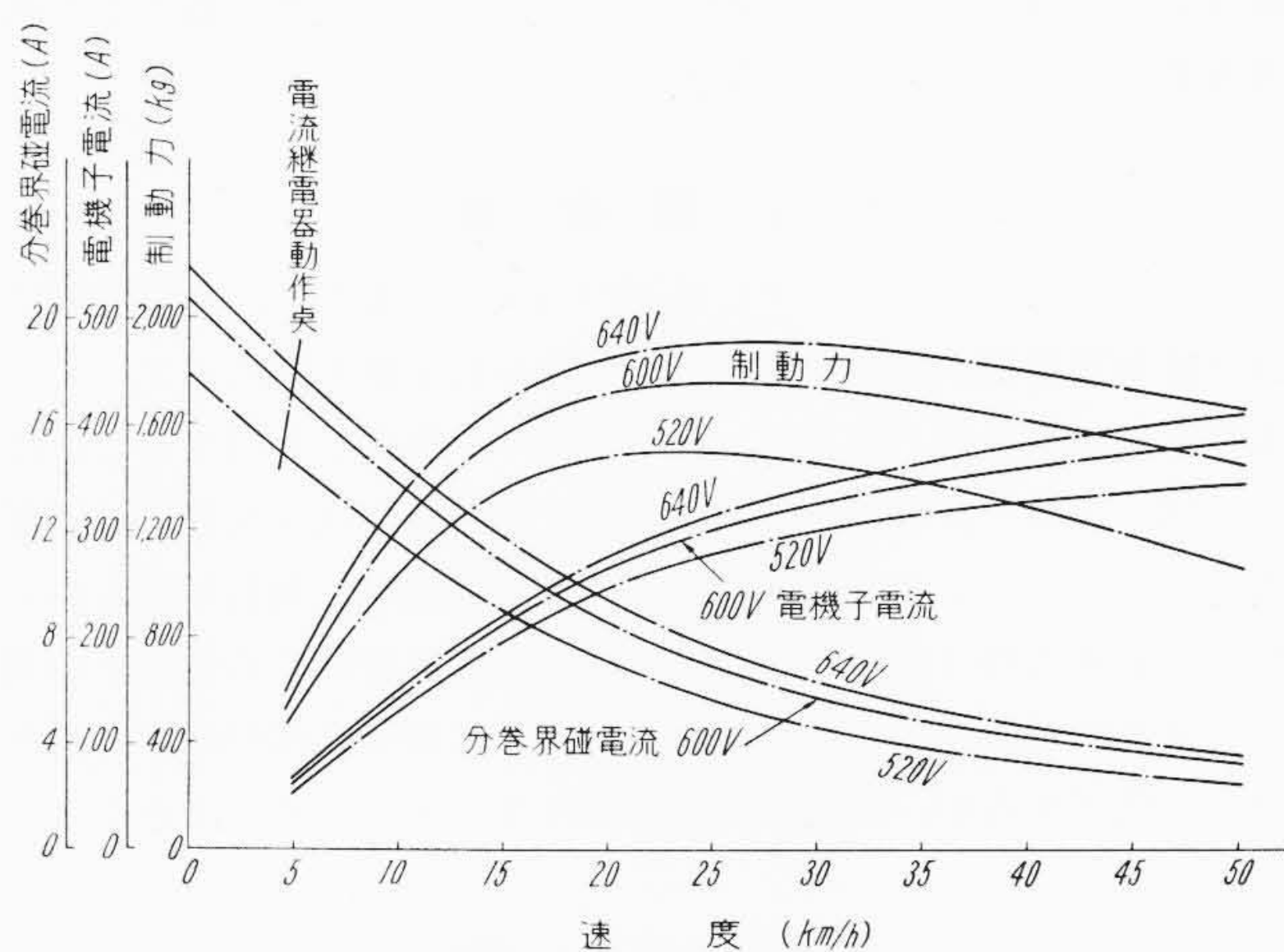
制動時のノッチ選択には、 r_1 または r_2 の抵抗を加減すればよいが、本機では r_2 を加減している。(6)式より明らかなように、 r_1 を適当に選ぶことによって、 n_0 を設定し、 r_2 を加減して(7)式の BE_0 を変化させ、所要の制動特性をうることができる。 r_2 は起動用直列抵抗を使用しており、接触器も起動用のものを共用しているので、回路はきわめて簡単となり、器具も少なくすむ。

制動時の主回路つなぎを第6図に示す。

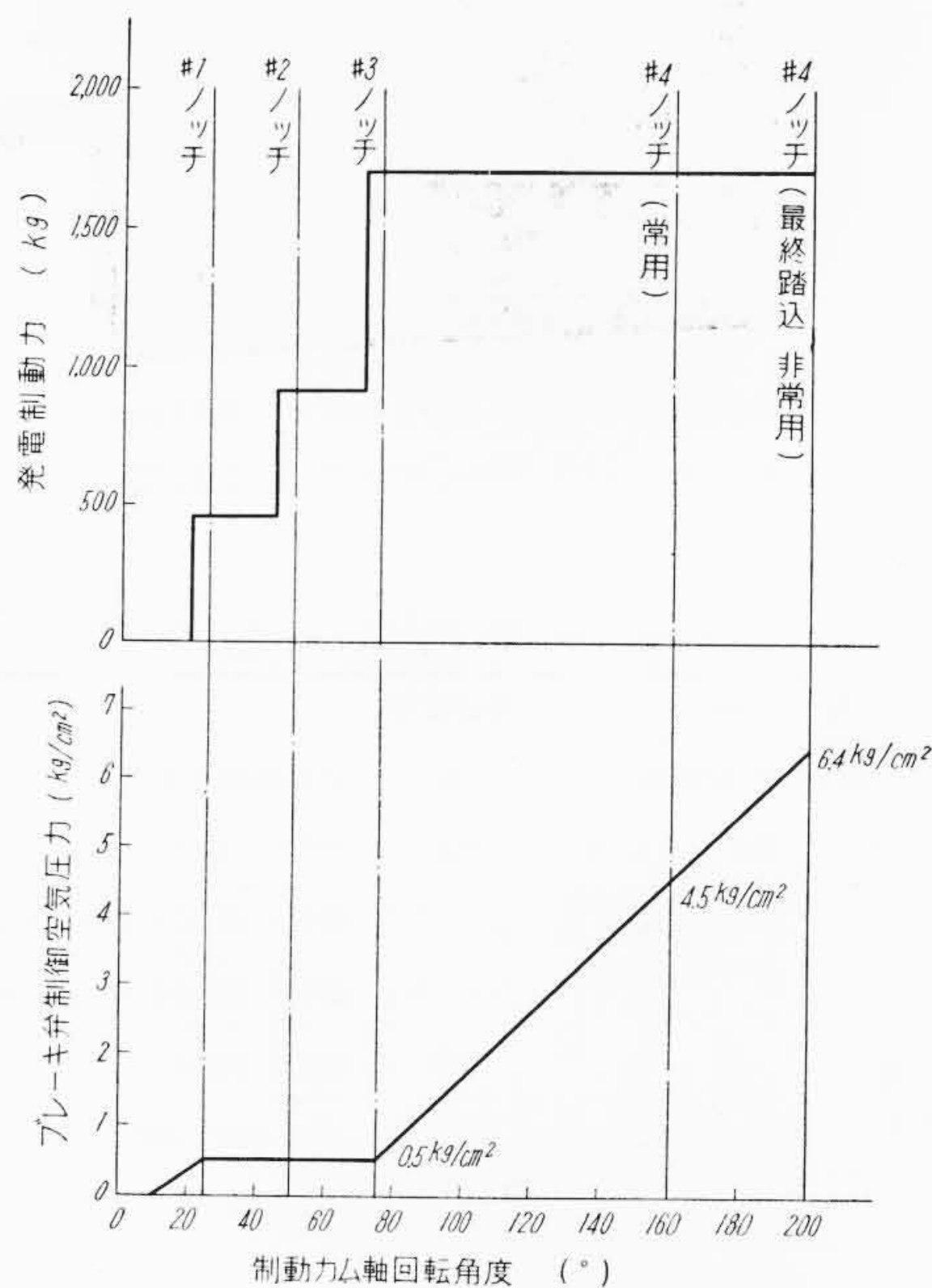
制動ノッチは4ノッチであるが、電気的には3ノッチと4ノッチはまったく同じである。空気制動は、大形バスの取扱上の慣習から、停車時にも制動ペダルを軽く1ノッチ程度に踏んでいるので、1～3ノッチでは 0.5 kg/cm^2 程度の弱い制動力を付加している。4ノッチでは、制動ペダルの角度に応じ 6.4 kg/cm^2 までの空気制動が併用される。発電制動力は架線電圧により変るが、定格電圧 600 V の場合には、1ノッチで約 450 kg 、2ノッチで約 950 kg 、3ノッチで約 $1,750 \text{ kg}$ の3段階のほぼ一定の制動力をうることができる。発電制動は実車においてもほとんど停車直前まで有効に作用して円滑な減速が行われ、停車時の4ノッチの空制圧力は 2 kg/cm^2 程度できわめて低く、ブレーキライニングの損耗が非常に少ないという



第6図 制動時主回路つなぎ



第7図 #3ノッチにおける制動特性



第8図 操作角度と電制力および空制力の関係

好結果が得られた。発電制動力は架線電圧の変動により変るが、#3ノッチにおける制動力、電機子電流、分巻界磁電流の関係は第7図に示すとおりである。

制動終期において速度が低下し、電機子電流すなわち制動力が減少すると電流継電器により分巻界磁回路を開くが、発電制動力は減少しており、空気制動が併用されているので、衝撃を感じることはない。また分巻界磁電流は低速ほど大きい、停車直前に切離されるので制動ペダルを踏みつづけても界磁コイルを過熱することはない。

発電制動と空気制動の関係を第 8 図に示す。本図は、主幹制御器の制動カム軸の回転角度を横軸にして示してある。

3.3 制御回路つなぎ

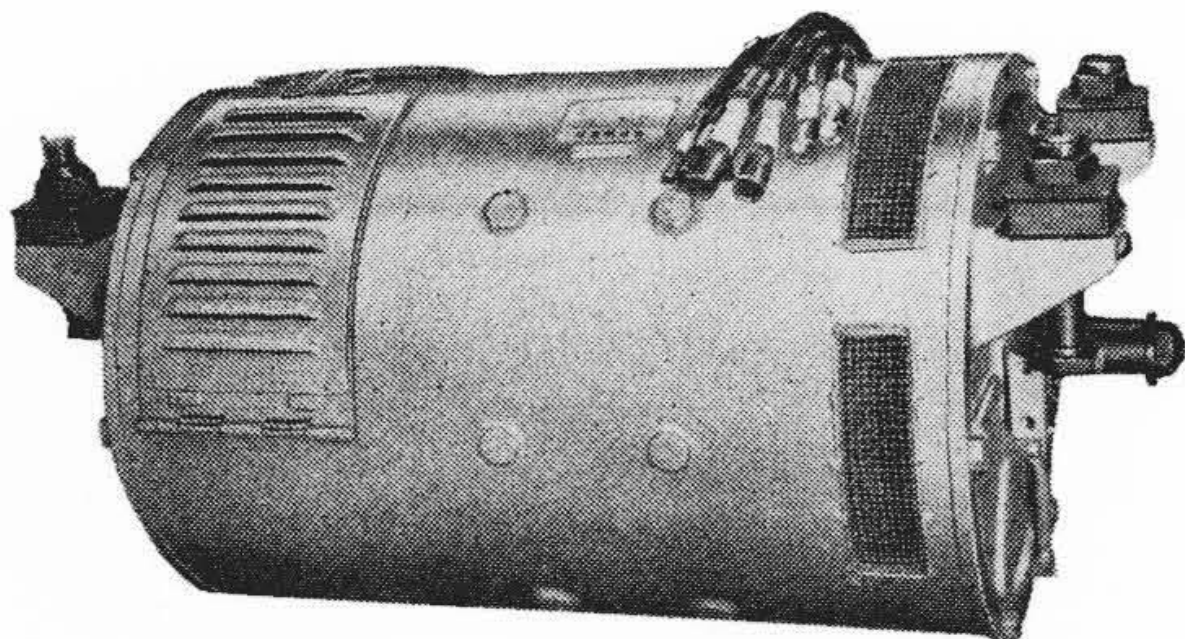
- (a) 電動、制動両ペダルを同時に踏み込んだ場合には、主幹制御器の制動カム1〜1aで断流器L₁、L₂を開いたのち、制動用断流器Bを投入して制動回路を閉成する。この状態から制動ペダルのみを離した場合にも、電動カム1〜3および制動接触器S₂の補助接点により、電動ペダルを一たん「切」にもどさなければ、電動回路は閉成されない、きわめて安全である。
- (b) 断流器L₂は常に無電流で投入されるようにしてある。
- (c) 電動時の過電流または事故電流は過電流継電器により断流器L₁、L₂、L₃を開き、制動時には同一の過電流継電器により断流器BおよびL₃を開いて保護する。

4. 主 電 動 機

上述のようにトロリーバスに最適の方式とするため、主電動機に特殊な複巻電動機を使用している。外観写真を第 9 図に示す。

本機は複巻電動機であるが、分巻コイルを有効に利用することにより、同一仕様の直巻主電動機に比して重量増加は5%程度に過ぎず複巻にしたことによる制御の簡易化、高性能化の利益が著しい。

発電制動使用時は高速の場合には極端な弱界磁による整流上の制限から最高使用速度がおさえられ、低速では磁気回路の飽和により制動力が低下するが、本機は界磁率25%まで安全に使用できるよう



1時間定格 100 kW 600V 184A 1,800 rpm
第 9 図 HS-506-Drb 形主電動機

第 2 表 制 御 機 器 一 覧 表

機 器 名 (形 式)	機器番号	仕 様
主幹制御器 (MNHP DB-64)	50	連動機構を含む
逆 転 器 (RS HAL-18)	562	600V 180A
第 1 制 御 箱 (CPB L-15-6)	断流用電磁接触器 (UC ML-15M-01)	L ₁ 〜L ₃ B 600V 20mH 1,000A 遮断可能
	界磁用電磁接触器 (CM L-10B-11)	S ₁ , S ₂ 600V 80mH 50A 遮断可能
	主 断 路 器 (DS L-15)	553 600V 150A
	過電流継電器 (RO BL-15-1)	560 目盛 350, 400, 450A
	電 流 継 電 器 (RCR L-05-1)	565 目盛 16, 17, 18A
	電流計用分流器	563
第 2 制 御 箱 (CPB L-15-3)	抵抗用電磁接触器 (UC ML-15N)	R ₁ 〜R ₈ 600V 20mH 500A 遮断可能
	分巻界磁用補助抵抗器 (ER L-110-18)	564 R T-2形
主 抵 抗 器 (SGR L-100K-1)	561	特殊クローム鋼板打抜抵抗体使用 4 箱
リセット用押ボタンスイッチ (BP 20-1A)	53	
制 御 ス イ ッ チ (CC K-2A)	54	

設計されており、最高速度 3,000 r/m (50 km/h) より約 500 r/m (8.3km/h) まで有効に制動力を発揮させている。

本機はまた次のような特色もっている。

- (1) 特殊ブラシの採用
整流良好なカーボンブラシを使用し、日立独特の丸頭 3 分割形を採用している。
- (2) 特殊整流子片の採用
高速、高温に対し安全で、良好な整流を確保できるよう特殊銀入硬銅整流子片を使用している。
- (3) 電機子溝をスキューして磁気音をおさえ、整流を改善している。
- (4) F 種絶縁を全面的に採用している。

5. 制 御 装 置

前述のように種々特長ある制御方式を採用することにより制御装置を小形軽量化することができた。主要機器の仕様を第 2 表に示す。

5.1 第 1 制 御 箱

第 10 図はその外観写真である。

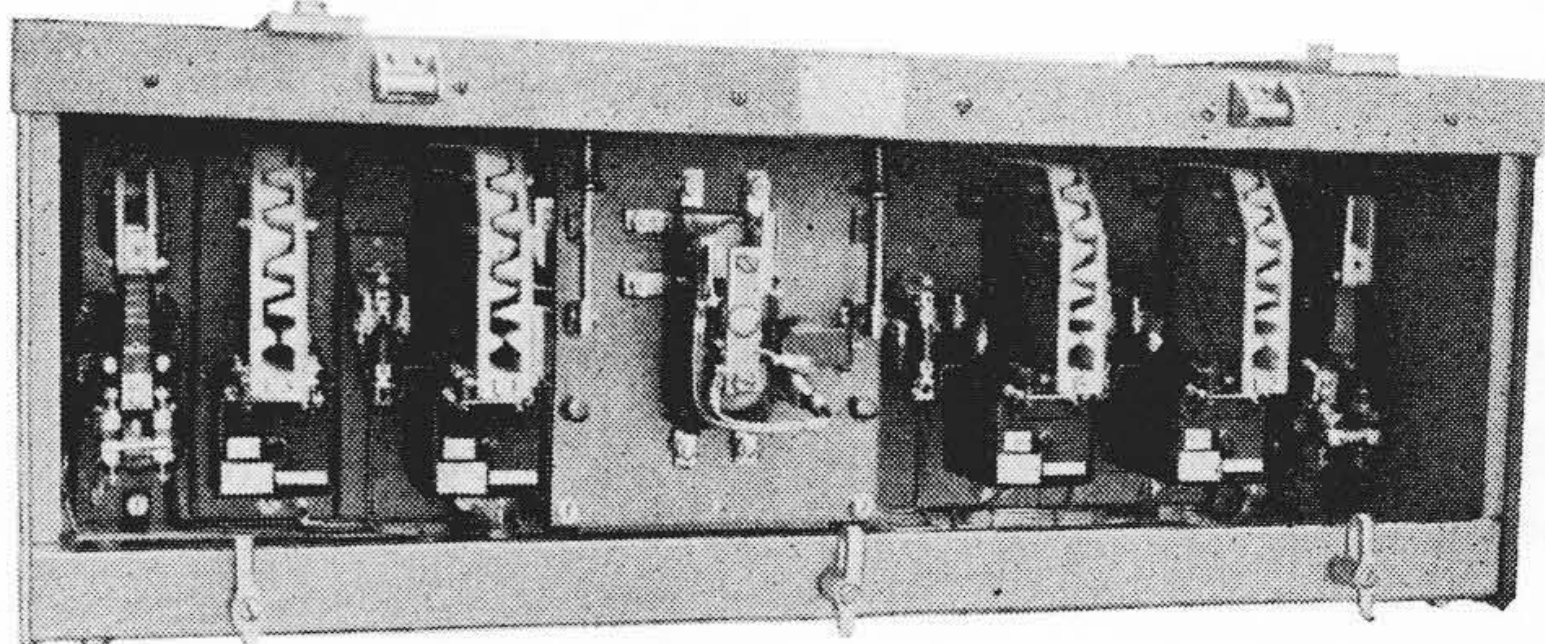
- (1) 過電流継電器は多コイル付バランス形で、1 個の継電器により架線の極性のいかにかわらず、電動、制動回路の保護ができる。第 1 図において、a₁、a₂ コイルはそれぞれ主回路の両端部に設けられ、a₃ コイルは制動回路に設けられている。電動過電流時においては、a₁、a₂ コイルが和動に働き、主回路接地などの場合は、正極側のコイル a₁ (または a₂) のみで動作する。制動時には a₃ コイルにより動作し、それぞれ断流器を開放して回路を保護するものである。すなわち 1 個の過電流継電器で各回路の保護を行っており (実用新案申請中)、重量軽減を計っている。平衡形可動子を用い、止め部にはローラを使用しているので、振動の影響もなく、目盛はきわめて正確である (実用新案第 432647 号)。
- (2) 断流器は曲壁形の火花箱を使用し十分な遮断容量を有している。
- (3) 電流継電器は分巻界磁を低速時に切離すものであるから、その動作時期はできるだけ低速であることが望ましい。分巻界磁電流は架線電圧の変動により変るから本継電器では電圧補償コイル b を設け架線電圧の変動による動作電流値の変化を補償して常にほぼ一定の速度で動作させている。第 7 図に電流継電器の動作点を示す。

5.2 第 2 制 御 箱

抵抗短絡用接触器は、火花箱が小形であるほかは断流器とまったく同一である。第 11 図はその外観写真である。

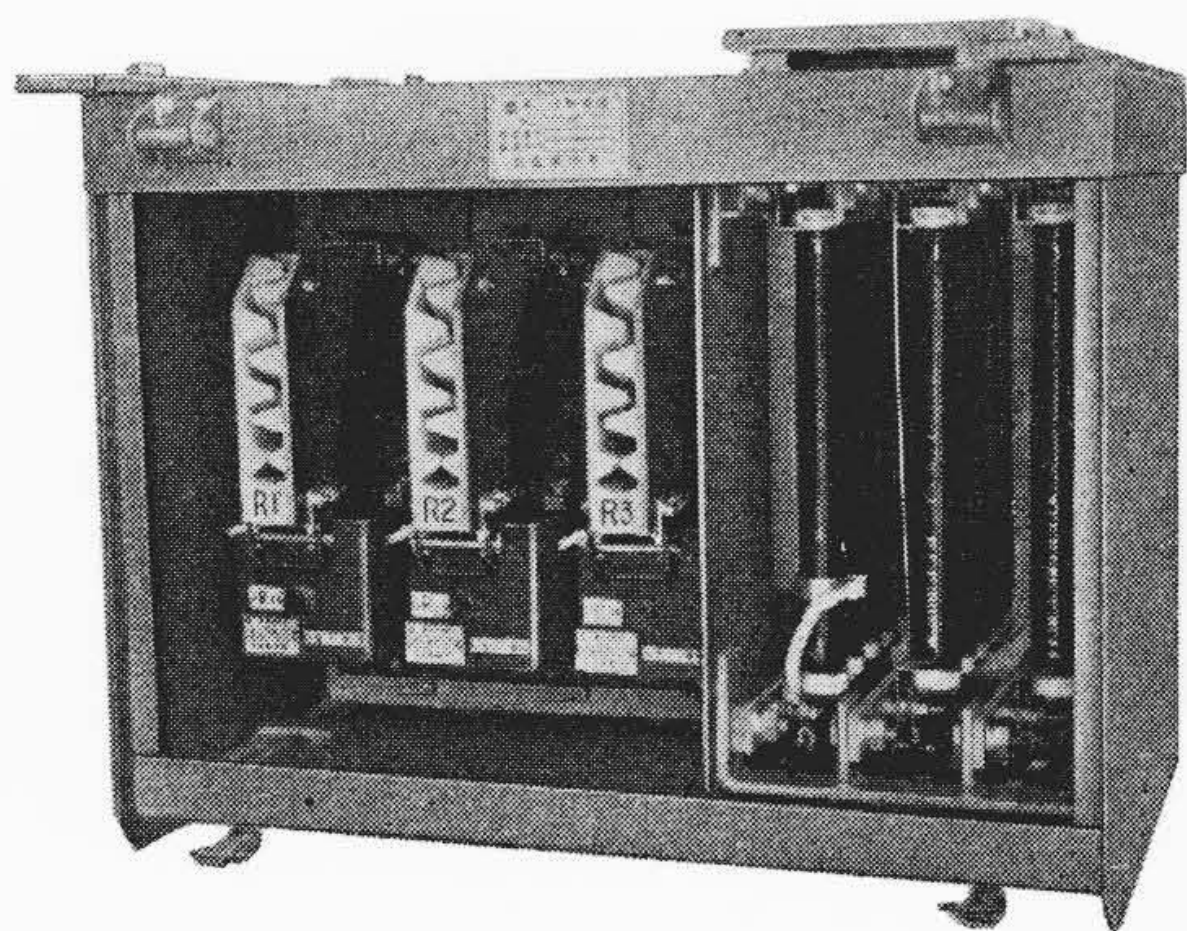
5.3 主 幹 制 御 器

運転手の腰掛下に取付けられ、カバーにより完全にちりよけされている。カム接触器式で電動用、制動用にわかれて並置され床下に操作部があり、それぞれのカム軸は扇形ギヤーを介して足踏みペダ

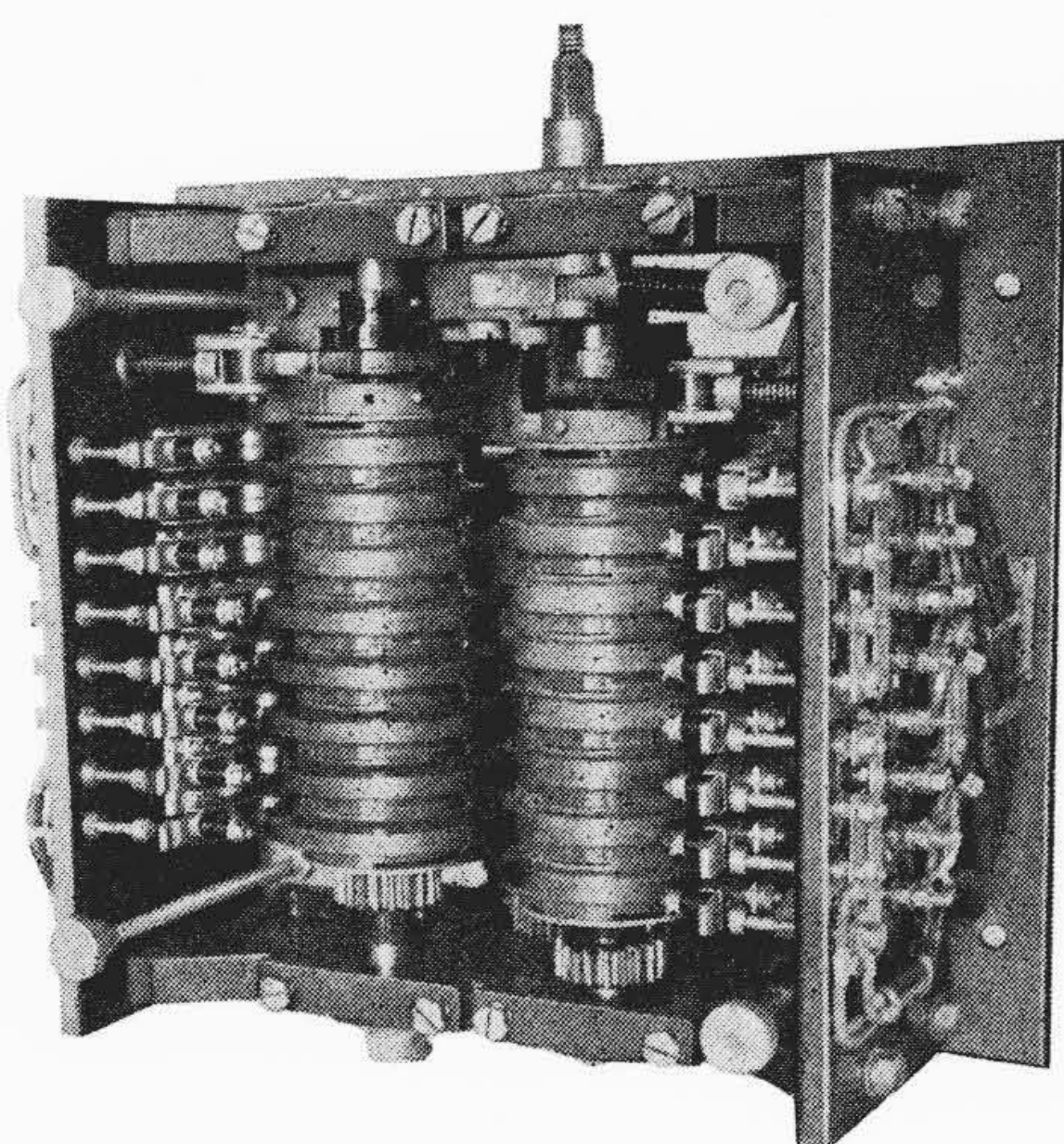
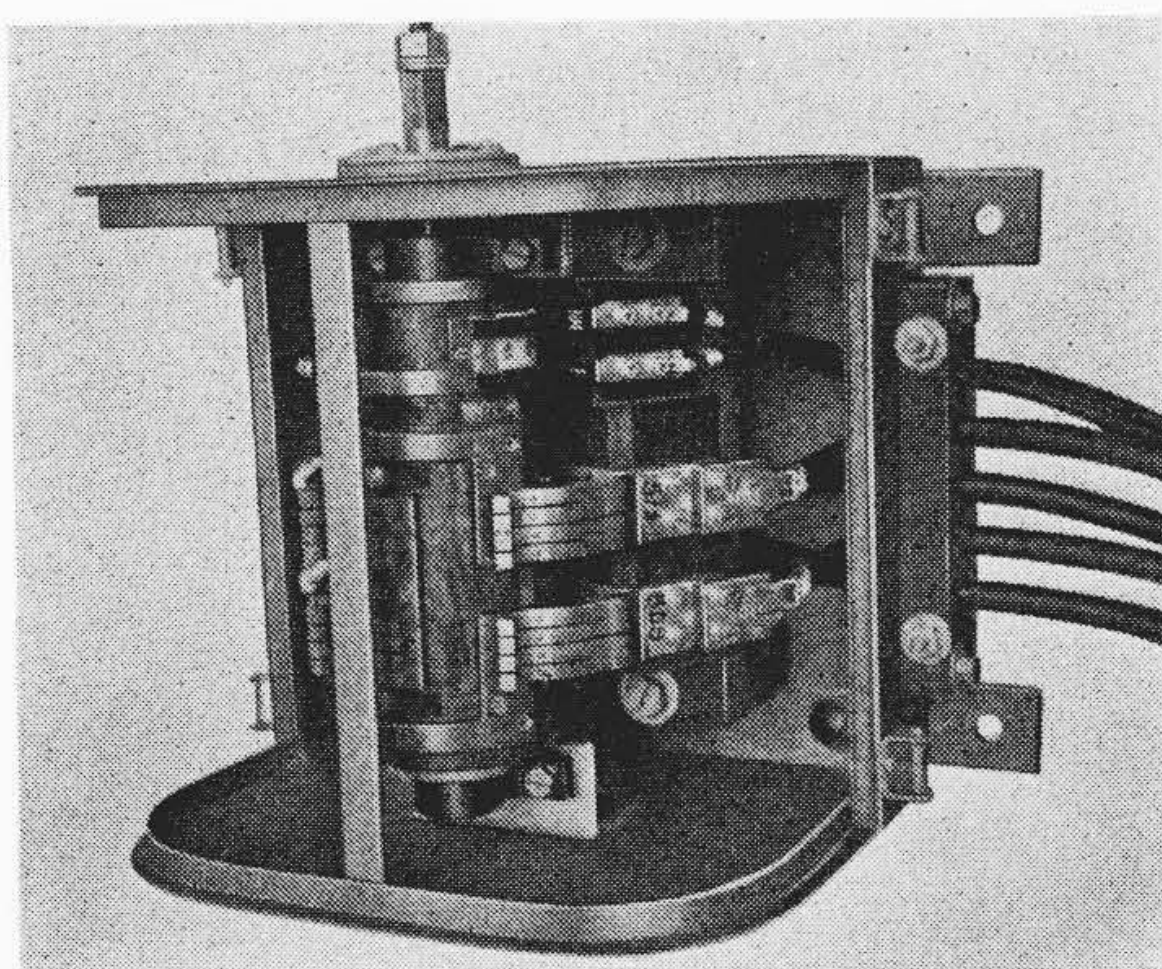


形 CPB 式 L-15-6

第 10 図 第 1 制 御 箱



第11図 第2制御箱

形 MNHP 式 DB-64
第12図 主幹制御器形 RS 式 HAL-18
第13図 逆転器

ルに連結されている。カムには絶縁カムを使用し、接点には銀接点を使用しており、32V回路でも接触不良のおそれはない。

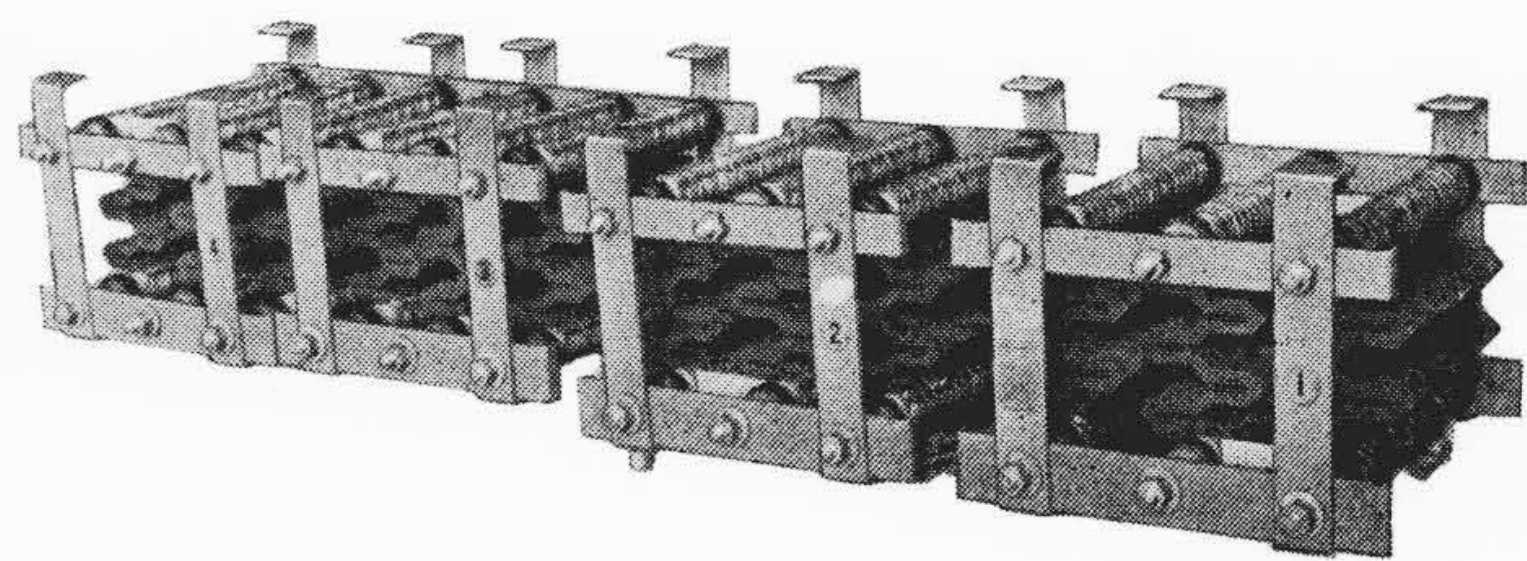
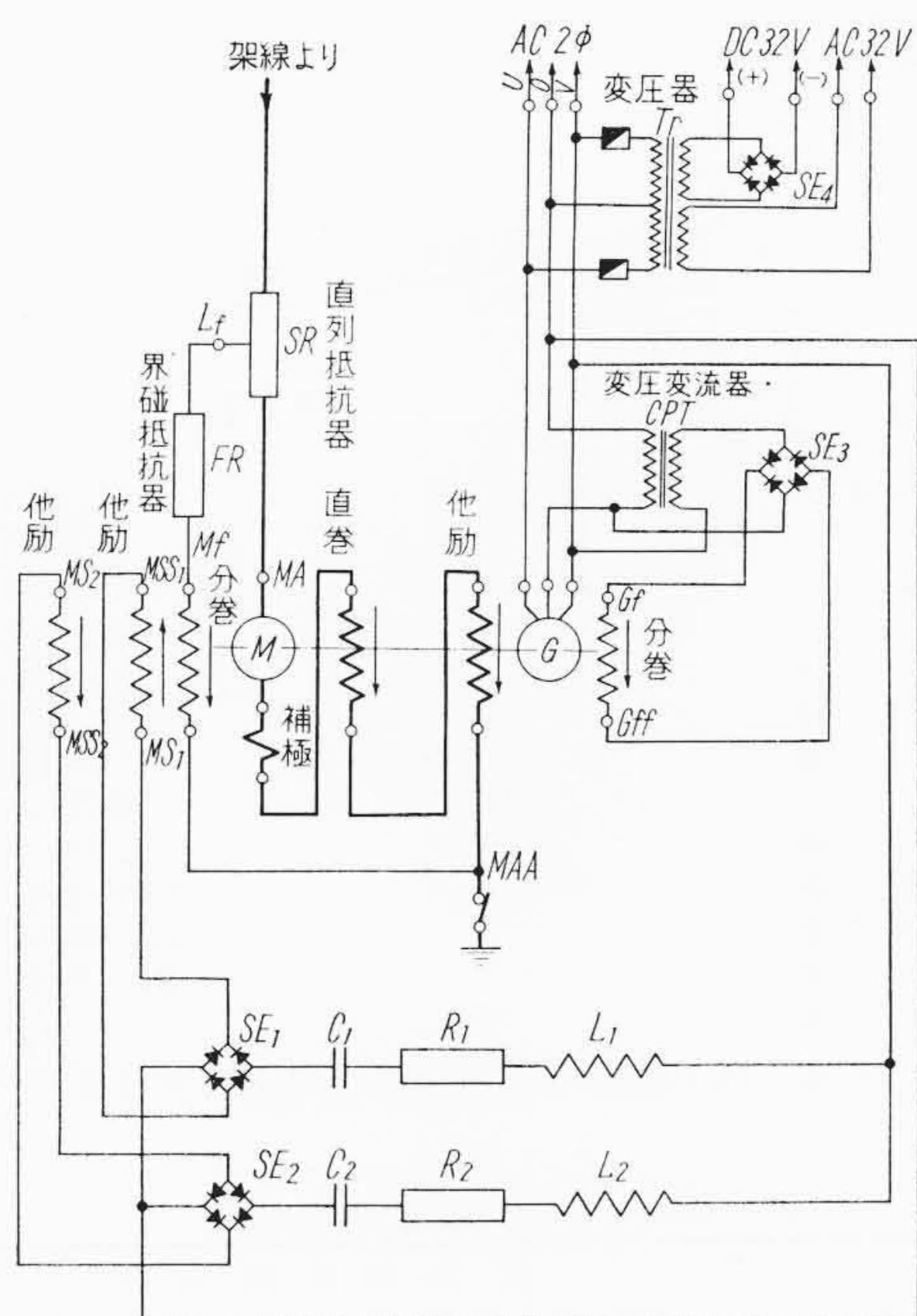
5.4 逆転器

ドラム形で主幹制御器の床下に取り付けられ、回路の前後進の切換えを行うものである。操作レバーは主幹制御器の軸に取り付けられ、電動、制動の両軸とインターロックされている(実用新案第379029号)。主幹制御器とは絶縁リンクで連結されているので、主回路は完全に床下のみとなり、保守および操作上きわめて安全である。

第12、13図は主幹制御器および逆転器の外観写真を示す。

5.5 主抵抗器

抵抗鋼板打抜のスチールグリッドを使用しており軽量で十分な容量を有している。グリッドの欠損はなく、抵抗値の経年変化はきわめて少ない。第14図にその外観写真を示す。

形 SGR 式 L-100K-1
第14図 主抵抗器

SE₁, SE₂, SE₃, SE₄: セレン整流器
C₁, C₂: コンデンサ
L₁, L₂: リアクタ
R₁, R₂: 抵抗器

第15図 電動発電装置つなぎ

6. 補助電源設備

照明装置、放送装置および制御回路用の電源として、交流電動発電機と調整装置および蓄電池が使用されている。照明装置としては快適な照明を行うため蛍光灯を採用し、電源には交流電動発電機を使用し、電圧調整器により、広範囲の架線電圧、負荷の変動にかかわらず、その出力電圧および周波数はほぼ一定に保たれる。放送装置および制御回路に必要な直流32Vの電源は、調整器内に設けてある整流装置により交流出力の一部を降圧整流して得ている。

電動発電装置つなぎを第15図に、特性曲線を第16図に示す。

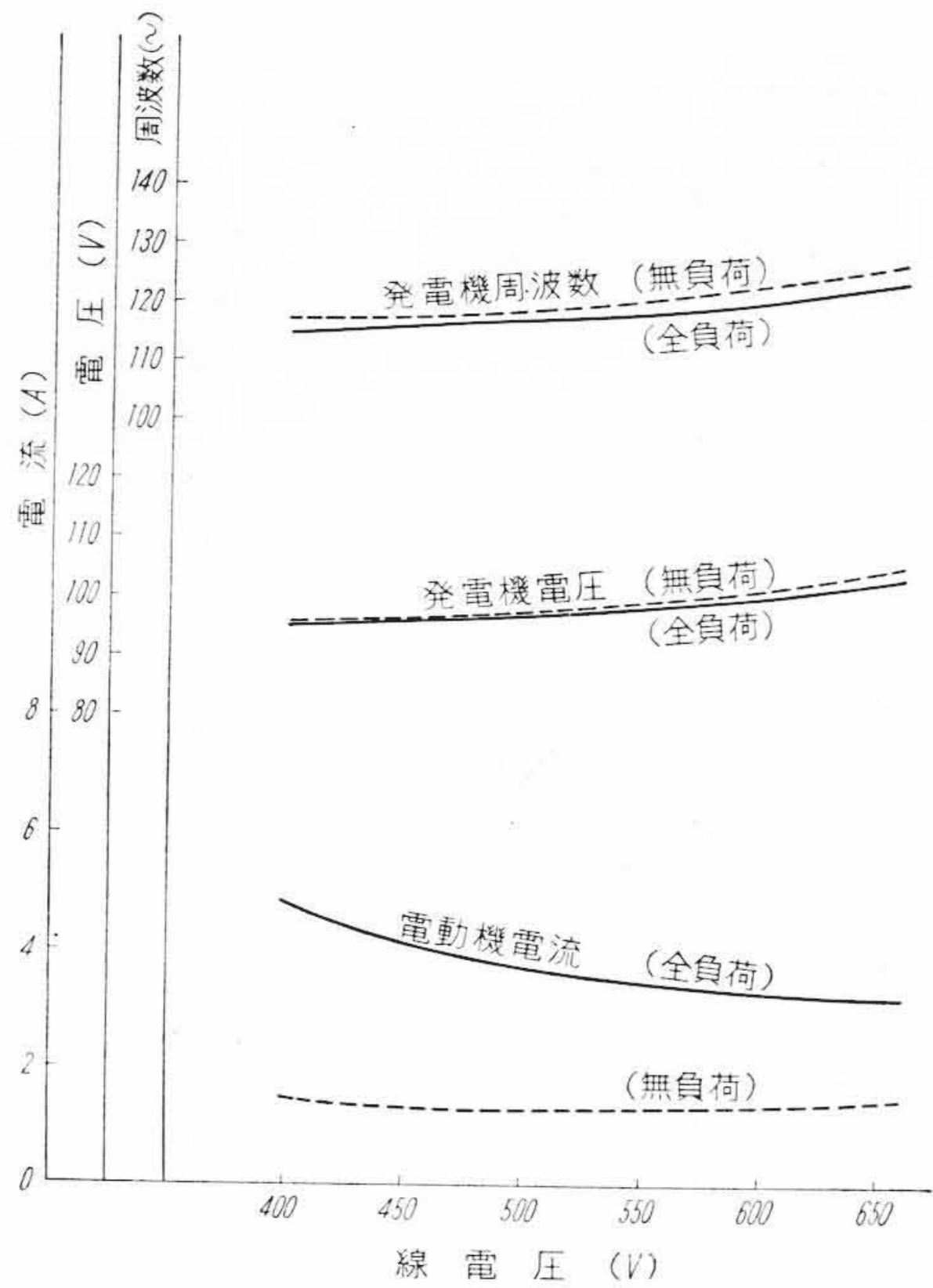
6.1 本装置の特長

(1) 2組の直列共振回路により周波数の変動を検知し、その出力を整流して、電動機側の他励界磁コイルに加える定周波制御方式であるから回路はきわめて簡単で、回転、可動部分もなく、一度調整すれば以後の保守に手を要しない。

400~660Vの架線電圧変動に対して発電機の電圧変動は100V±5V以内になっている。

(2) 発電機負荷は2相間の電圧のアンバランスを生じないように適当に配分されている(第3表参照)。

(3) 負荷の大小、力率の変動は電流電圧変成器により検出され、その出力を整流して発電機の分巻界磁コイルに加え、良好な特性補償を行っている。

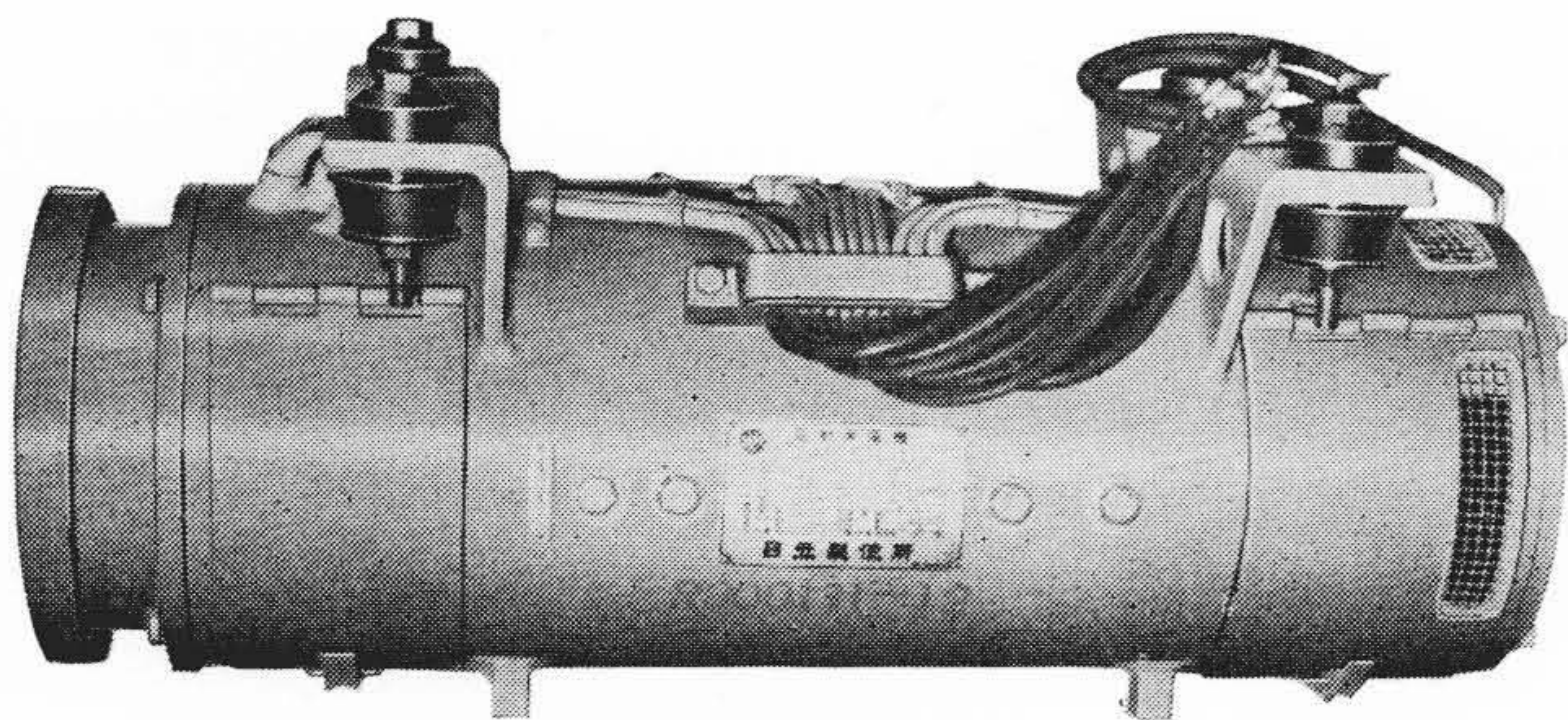


形 式	定 格	電 動 機		発 電 機	
		EFCO-SP		EFCO-S	
容 量	量	連 続		連 続	
電 圧	圧	入 力 2kW		出 力 1kVA	
回 転	流	600V		100V	
相 数	数	3.3A		5A	
周 波 数	率	3,600 rpm		3,600 rpm	
力 率	数	—		2φ 120~	
極 数	数	—		遅 れ 90%	
		2		4	

第 16 図 HG-532-Drb 形電動発電機特性曲線

第 3 表 電動発電機回路別負荷

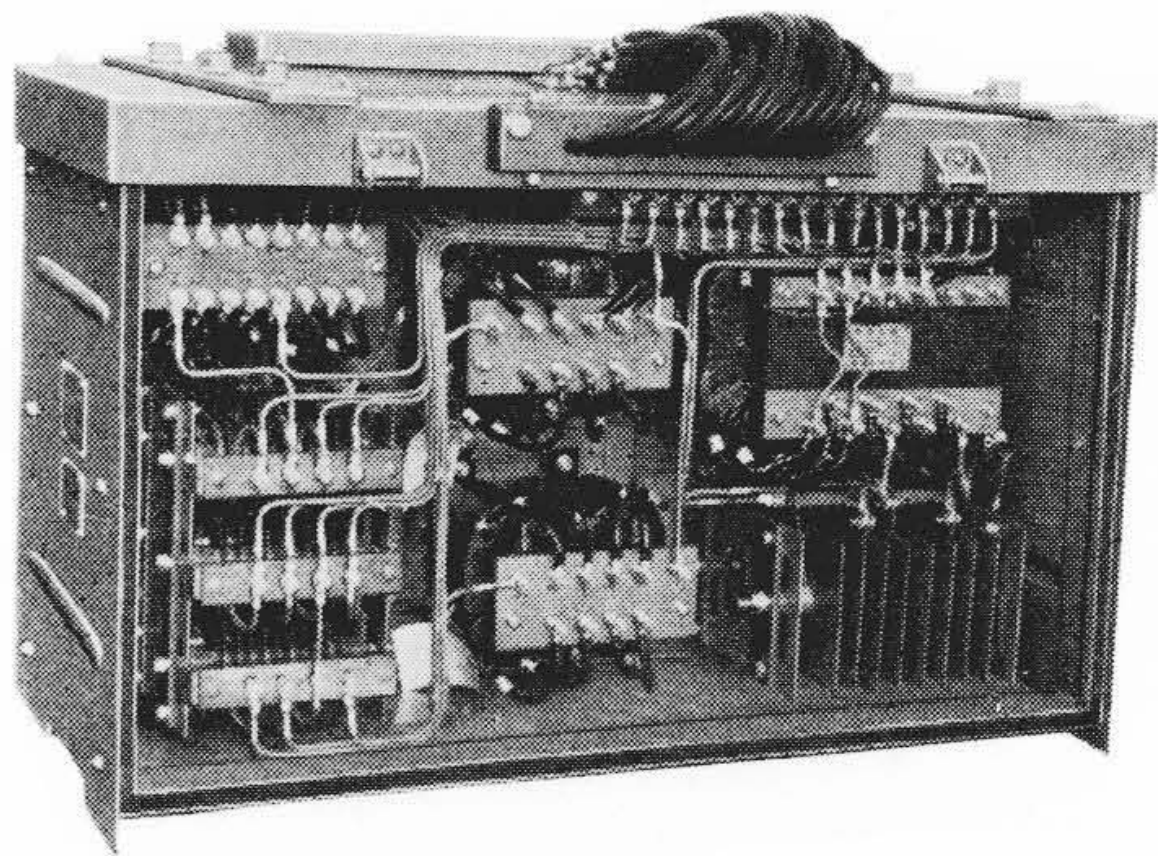
回 路	電 動 発 電 機 負 荷	
	U 相	V 相
交 流 100V 回 路	蛍 光 灯 175W	蛍 光 灯 175W
交 流 32V 回 路		前 照 灯 60W×2=120W
		車 幅 灯 10W×4= 40W
		標 識 灯 20W×1= 20W
		標 識 灯 10W×2= 20W
		系 統 板 灯 20W×1= 20W
直 流 32V 回 路	尾 灯 20W×2=40W	
	計 器 灯 10W×2=20W	
	充 電 96W	
	制 御 回 路 200W	



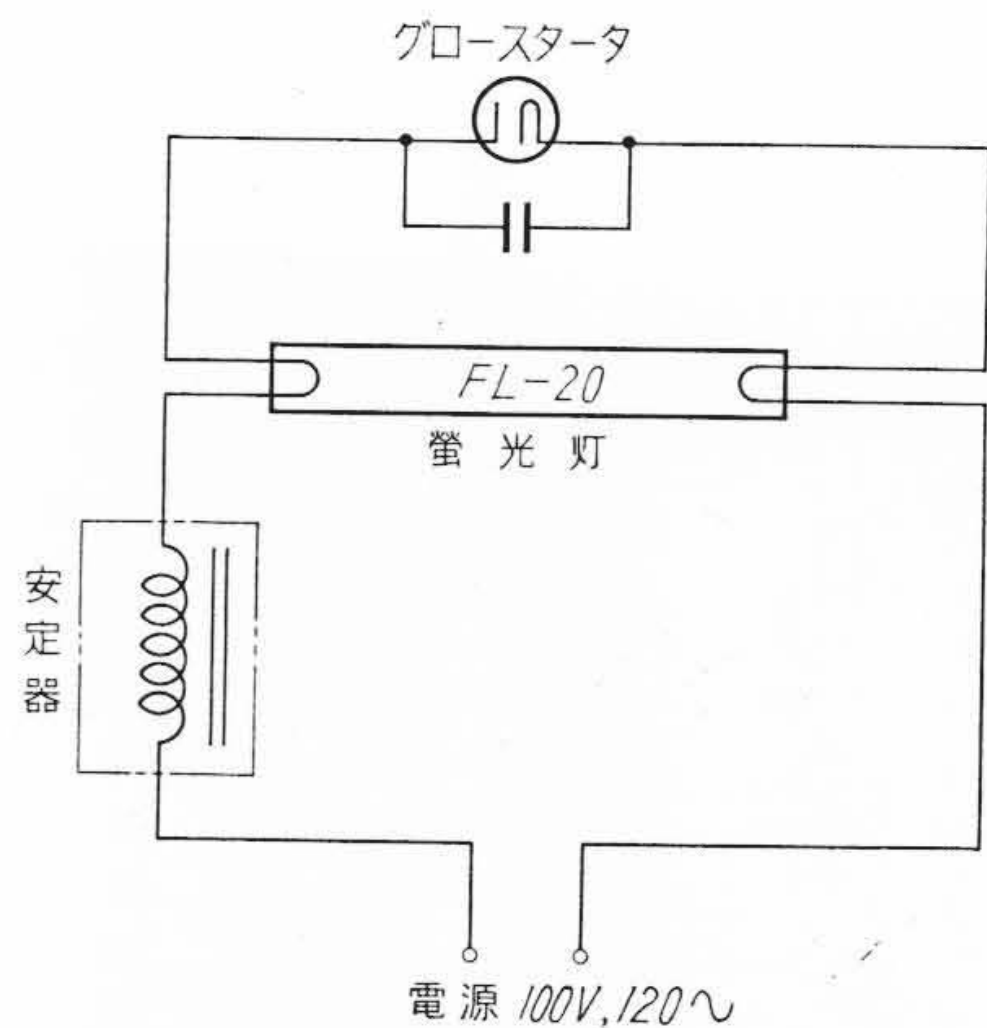
形式 HG-532-Drb
第 17 図 電動発電機外観写真

6.2 電 動 発 電 機

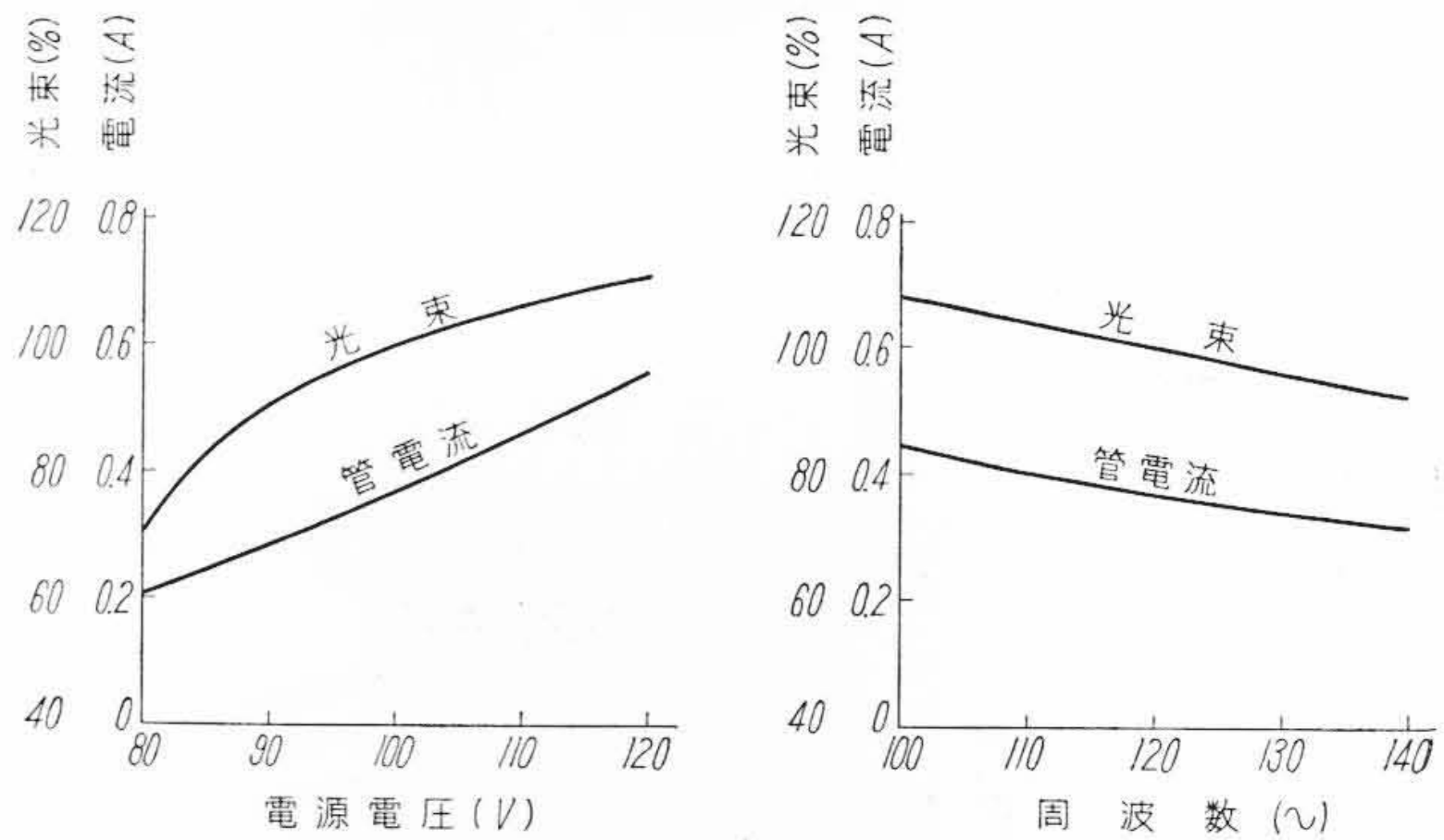
第 17 図 はその外観写真である。電動発電機は回転数を 3,600 rpm とし、小形軽量に設計されており、電動機の整流はきわめて良好である。また電機子は電動機側、発電機側ともにスキューして磁気騒音の減少を計っている。



第 18 図 電 圧 調 整 器



第 19 図 20 W 蛍光灯つなぎ図



第 20 図 20 W 蛍光灯の点灯中の諸特性に及ぼす電源電圧および周波数の影響

6.3 電 圧 調 整 器

本器の外観写真を第 18 図に示す。L-C-R よりなる 2 組の直列共振部、負荷変動補償用電流電圧変成器、DC 32V 電源用降圧変成器および整流器、電動機の直列抵抗器、分巻界磁抵抗器などを一箱に収納し、小形軽量にまとめたものである。

6.4 蛍 光 灯

蛍光灯は 20W 1 灯用器具 9 灯を設け、その中 4 灯は予備灯を内蔵している。グロースター点灯方式を採用し電源側に一括して力率改善用コンデンサをそう入しているの、装置として高力率になっている。

蛍光灯つなぎ図を第 19 図に、点灯中の諸特性に及ぼす電源電圧および周波数の影響を第 20 図に示す。

7. 結 言

わが国においても今後、路面電車に代ってトロリーバスが広く採用されると考えられるが、上述の日立特許の電気方式は取扱いが簡易できわめて良好な特性を有しているので、広く迎えられることと確信する。