U. D. C. 621.337

大　阪　市　交　通　局　納

6000形電車用MMC-HTB20A制御装置

MMC-HTB 20A Control Equipment for Type 6000 Rapid Transit Motor Coaches Supplied to Osaka Municipal Transportation Bureau

今　泉　藤　麿*　　山　田　行　雄*
Fujimaro Imaizumi　　Yukio Yamada

内　容　梗　概

大阪市の高速鉄道東西線として計画されている第4号線の一部，大阪港-弁天町間が完成し，ここに6000形電車6両が新造された。

この電車には，高性能電車用日立1回転式MMC制御装置が装備されている。そのおもな特長は，

（1）　日立1回転式MMC制御器を主体とした総括制御自動加減速多段式の制御装置である。

（2）　地下鉄電車用として特に不燃構造が採用されている。

（3）　同時に高架線をも走行するため，各機器の防水防じん構造についても十分考慮して設計製作されている。

（4）　単車運転が可能なように車両は両運転台となっているので，制御装置，空制装置，電源装置など一式を各車ごとに備えるとともに，総括制御も可能である。

（5）　各車にそれぞれ装備されるので制御装置は特に小形軽量としてある。

（6）　将来地下から高架，高架から地下へ移行する個所に35‰のこう配区間ができるため，従来の地下専用車両と異なり，こう配下降用抑速発電ブレーキ付である。

この電車用制御装置は昭和36年6月に大阪市交通局に納入され，大阪地下鉄第1号線および第4号線における幾多の試験を経て12月より営業運転にはいり，目下好評のうちに運転中である。

1.　緒　　言

大阪市の東西交通を円滑にするために，市東部の放出と西部の大阪港間を，都心を通じて結ぶ高速鉄道第4号線が計画され，その一部大阪港-弁天町間が高架で完成し，6両の新造車両（6000形電車）が投入された。この路線は第1図に示すように，将来都心部を地下として本町で現在の南北線（第1号線）と交さし，さらに東に延びて東端はふたたび高架で建設される予定である。

6000形電車用制御装置としては，第4号線の特殊事情による地下鉄電車としての不燃構造，高架を走る電車としての防水，防じん構造，高架より地下へ移行する場所のためのこう配性能をもたせ，しかも，単車運転も可能なように18mの車両にすべての機器をとう載しなければならない。そのため，特に各機器の小形軽量化が要求され，これに合致した日立1回転式制御器を主体としたMMC-HTB 20A制御装置が製作された。

以下その概要について述べる。

2.　6000形電車の概要

6000形電車の仕様を第1表に，その外観を第2図に示す。

3.　制　御　装　置

3.1　制御装置の仕様

MMC-HTB 20A形制御装置の仕様を第2表に示す。

3.2　つなぎおよびノッチ曲線

MMC-HTB 20A形制御装置の主回路つなぎを第3図に，電動および制御ノッチ曲線をそれぞれ第4，5図に示す。

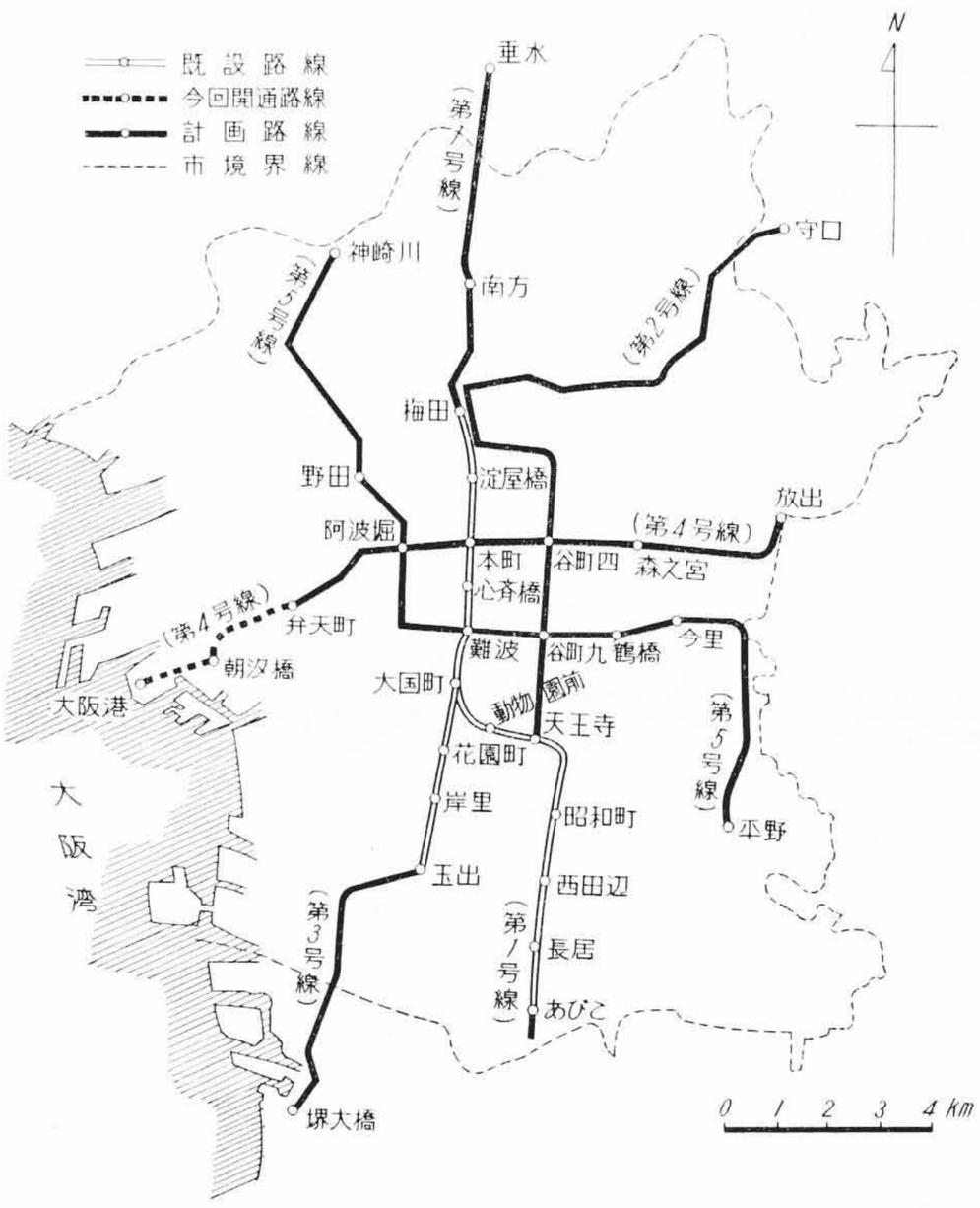
3.3　制御装置の特長

MMC-HTB 20A形制御装置のおもな特長は次のとおりである。

（1）　全電動カム軸式制御

抵抗短絡，直並列切り替え，弱め界磁制御，電制切り替えおよび前後進切り替えをすべて電動機操作のカム軸式とし，抵抗短絡と直並列切り替え，弱界磁制御を一組のカム電動機とカム軸で，電制切り替えと前後進切り替えを他の一組のカム電動機とカム軸で操作している。これらのカム軸の角度展開を第6図に示す。

このように主カム軸と転換カム軸とを別個の電動機で独立して操作するので，1個の電動機で2本のカム軸を交互に操作する方式に比べて再力行，電制切り替えなどの遊び時間を短くすることができる。この結果主制御器から保守のめんどうな空気式の操作機構を排除することができた。

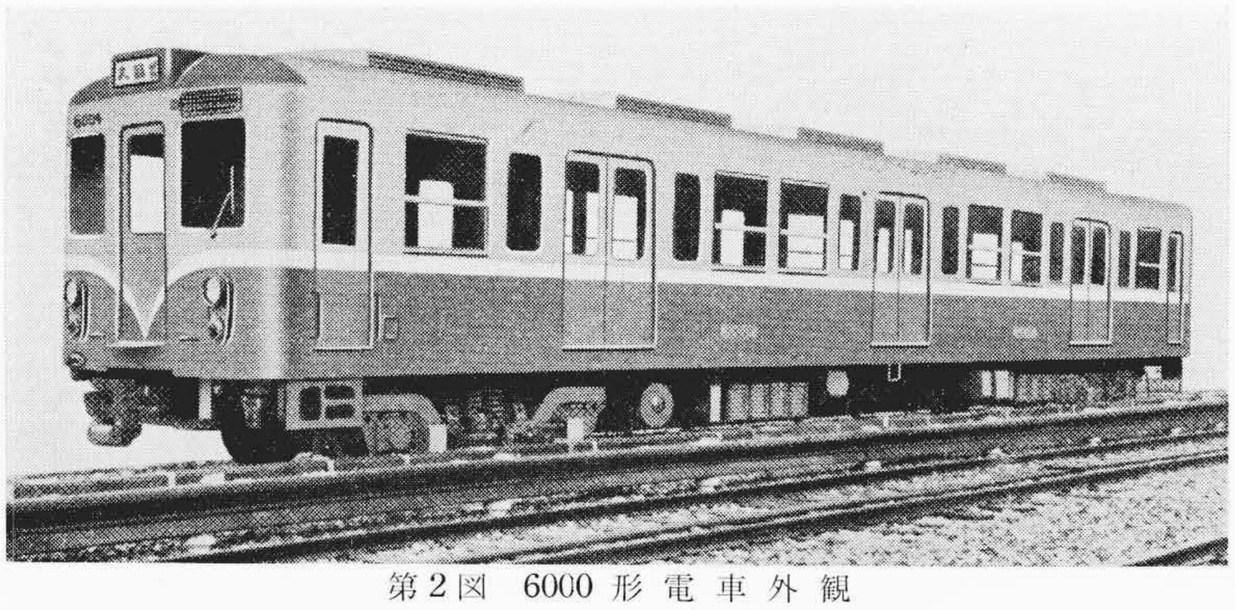


第1図　大阪市高速鉄道路線計画

*　日立製作所水戸工場

第1表　6000形電車仕様

項番	車両形式	6000形
1	車両番号	6001～6006
2	車種	全鋼製ボギー式電動客車
3	軌間	1,435 mm
4	定員	130名（座席48名，立席82名）
5	自重	36 t
6	車体寸法	最大寸法(連結面間) 18,600mm　最大幅 2,890mm 最大寸法(妻外端間) 18,000mm　最大高さ 3,746mm
7	ボギー中心間距離	12,400mm
8	電気方式	DC 750V，第3軌条式
9	台車	軸バネ式全溶接構造
10	台車固定軸距離	2,200mm
11	車輪直径	860mm
12	駆動方式	平行可とう方式
13	主電動機	SE-528形，375 V，262 A，90 kW，1,800rpm(85% WF)，直流直巻電動機×4台
14	歯車比	103：14＝7,357：1
15	制御装置	MMC-HTB20A形，電動カム軸式，電空併用ブレーキならびに可変荷重機構付き，複式制御方式
16	空気制動装置	HSC-D形，ユニットブレーキ方式(自動列車停止装置付き)
17	集電装置	第三軌条上面接触式，4個
18	電動発電機	AC 200 V，7 kVA，60～，二相3線式
19	蓄電池	カドミウム-ニッケル式アルカリ蓄電池 100V 20AH 1個，12V 15AH 1個
20	連結装置	電気連結器付自動密着連結器　2個
21	戸じめ装置	電磁空気差動式　6個
22	照明装置	客室灯 AC 200V，40W 白色蛍光灯40灯
23	通風装置	40 cm ファンデリヤ 10個
24	拡声装置	トランジスタ式増幅器，スピーカ6個付き
25	誘導無線装置	乗務員間連絡電話付き，メタリック方式
26	非常警報装置	客室引スイッチ-ブザー方式，確認表示灯付き
27	電車性能	一時間定格速度 37.8 km/h，一時間定格出力 360 kW 一時間定格けん引力 3,490 kg
28	主要運転性能	平均速度 45 km/h　平均加速度 3.5 km/h/s 最大速度 70 km/h　平均減速度 4.0 km/h/s



第2図　6000形電車外観

（2）　カム軸1回転による多段制御

従来別個に設置されていた抵抗短絡，直並列切り替え，弱め界磁制御の三つの部分を1本のカム軸にまとめ，カム軸1回転でその全制御を完了するようにしたもので，構造が格段に単純化された。このように1回転に多数のノッチを入れるためには，1ノッチ当りの角度が極度に縮少されなければならないが，この目的のためには

（a）　**第7図**の構造で，ローラ直径を小さくし，応動角度が小さく十分な電流容量をもったカム接触器の完成。

（b）　軽量で剛性が高く，角度誤差を従来の約半分に減少させた中空カム軸の採用。

（c）　カム軸を極力小さなすべり角度で止める方法として，カム電動機の電機子と並列に直流リアクトルと調整用抵抗を入れてカム軸を停止させるリアクトルブレーキ法の採用[1]。

第2表　MMC-HTB 20A 制御装置仕様

項番	制御装置形式	MMC-HTB 20A
1	電車線電圧	DC 750V
2	制御電圧	DC 100V
3	制御空気圧	5 kg/cm²
4	制御容量	主電動機 90 kW（375V，262A）×4台
5	制御方式	1回転電動カム軸式，電空併用ブレーキ可変荷重機構付き，抑速ブレーキ付き，複式制御方式
6	主電動機接続	電動　主電動機4個を2個直列の2群に分け，その2群を直並列制御
		制動　主電動機4個を2個直列の2群に分け，その2群の界磁を交さして並列接続として制動用抵抗器に接続
7	渡り方式	橋絡式
8	弱界磁	誘導分路式
9	制御段数	電動（主幹制御器操作）　限流ノッチ 1段，直列 11段，並列 8段，弱界磁 4段　合計24段
		制動（制動弁操作）　限流ノッチ 1段，並列 17段　合計18段

（d）　前記リアクトルブレーキ法の採用により，従来の短絡ブレーキ法で保守の最大の難点であった短絡継電器b接点の省略。

（e）　主電動機電流の立ち上がりのおそい弱め界磁制御では，各ノッチごとに限時継電器を働かせ，主電動機電流の立ち上がるのを待ってノッチ進めを行なう限時限流制御の採用。

などが行なわれている。この結果従来の2回転式制御装置に比べて応動速度が約2倍となり，ノッチ追従時間が短縮されるため，スポッティングの必要がなく，回路も非常に簡単になった。

（3）　予備励磁の省略と発電ブレーキ制御

発電ブレーキ回路形成後の電流の立ち上がり時間はほとんど主電動機の設計定数，回転数，飽和曲線の形によって定まり，ブレーキ回路を閉じてからブレーキ電流が確立するまでに時間のかかる電動機では発電ブレーキ初期に予備励磁が不可欠と考えられていた。

弱界磁率があまり大きくない電動機で高速性能を出させようとした場合，飽和曲線の直線部が長くなりブレーキ回路の抵抗降下線と接近するため電流の立ち上がり時間が長くなる。

本装置ではこの種電動機の発電ブレーキを予備励磁なしで制御するため回路を簡単にし，特に検出感度の高い電流継電器と限時継電器による限時限流方式を採用した。すなわち，発電ブレーキの立ち上がりのきわめて初期においてブレーキ電流を検出し，その後カム軸は各ノッチごとに働く限時継電器によって限時限流的にノッチ進めを行ない，カム軸のノッチ進めとブレーキ電流の立ち上がり時期とを適合させるようにしたものである。

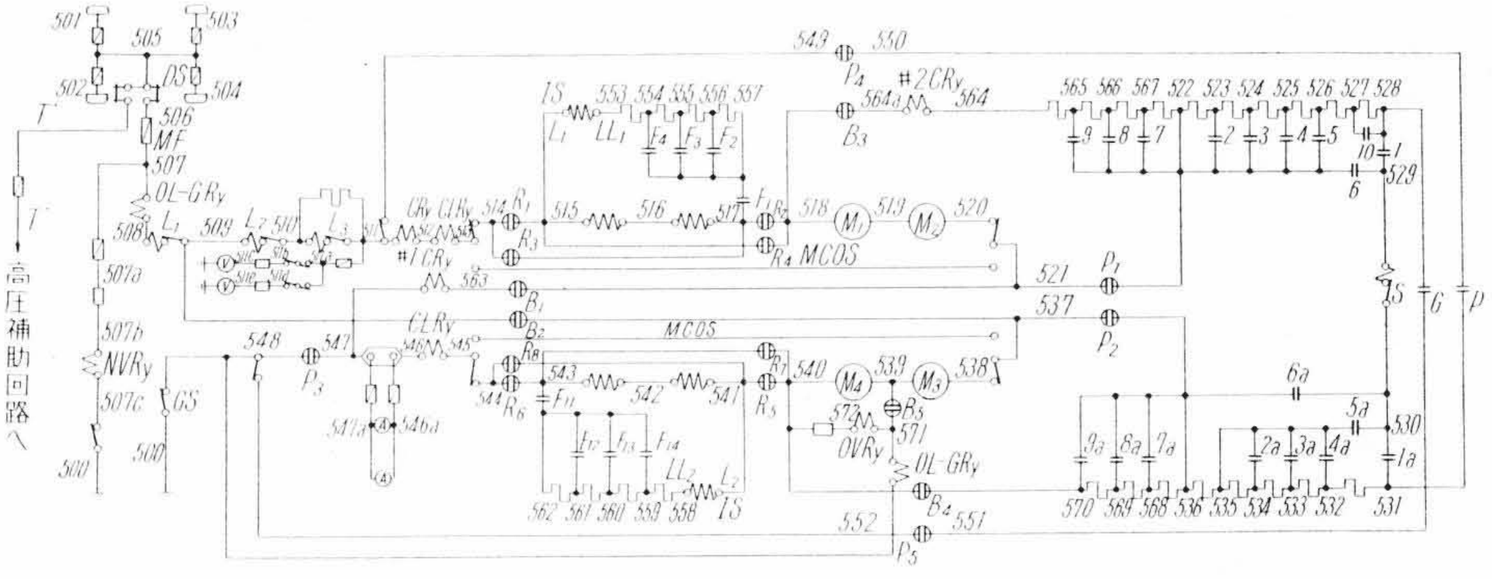
この方式で発電ブレーキを安全円滑に制御できることが現車試験によって確かめられ，予備励磁を行なわないほうが予備励磁付きよりも良好な乗りごこちであった。

（4）　ブレーキ回路の簡単化と平均制動電流の増加

第3図の主回路つなぎ図に示すように発電ブレーキ用抵抗器は直並列切り替えを行なわず，制動専用の抵抗器とカム接触器とを設けてあるため，従来のように直並列切替時のピーク電流が出ず，また電流の変化が規則正しく行なわれるので，平均制動電流を増加させることができると同時に回路が簡単になる。

（5）　保護方式の簡単化

過電流保護には主電動機2群回路と1群回路にそれぞれ過負荷接地継電器，過電流継電器を設け，ブレーキ時の過電圧保護には



電　動

刻	つなぎ	段	断流器 L1	断流器 L2	限流器 L3	組合ctt S	カム軸 抵抗短絡ctt 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	9a	8a	7a	6a	5a	4a	3a	2a	1a	組合ctt PG	界磁弱めctt F1	F2	F3	F4	F11	F12	F13	F14	制動転換器 P	B
	切						○																		○					○				○	○	
1	直列	S1a	○	○		○	○																		○					○				○	○	
		S1	○	○	○	○	○																		○					○				○	○	
2		S2	○	○	○	○	○	○																	○									○	○	
		S3	○	○	○	○	○	○																○	○										○	
		S4	○	○	○	○	○	○	○															○	○										○	
		S5	○	○	○	○	○	○	○														○	○	○										○	
		S6	○	○	○	○	○	○	○	○													○	○	○			○							○	
		S7	○	○	○	○	○	○		○												○	○	○	○			○	○						○	
		S8	○	○	○	○	○	○		○	○											○		○	○				○	○					○	
		S9	○	○	○	○	○	○			○										○	○		○	○					○					○	
		S10	○	○	○	○	○	○			○	○									○			○						○					○	
		S11	○	○	○	○		○				○								○	○			○						○		○			○	
3	渡	T	○	○	○	○		○				○				○				○	○			○		○						○			○	
	並列	P1	○	○	○			○				○	○			○				○	○			○		○						○	○		○	
		P2	○	○	○			○	○			○	○			○			○	○	○			○		○							○	○	○	
		P3	○	○	○				○			○	○	○		○			○	○	○		○	○		○								○	○	
		P4	○	○	○				○	○		○		○		○		○	○	○	○		○			○								○	○	
		P5	○	○	○					○		○		○	○	○		○		○	○	○	○			○								○	○	
		P6	○	○	○					○	○	○			○	○	○	○		○	○	○				○									○	
		P7	○	○	○						○	○			○	○	○			○	○	○			○	○									○	
		P8	○	○	○		○				○	○			○	○	○			○	○				○	○									○	
4	弱め界磁	WF1	○	○	○		○					○			○	○	○			○					○	○	○				○				○	
		WF2	○	○	○		○					○			○	○	○			○					○	○	○	○			○	○			○	
		WF3	○	○	○		○					○			○		○			○					○	○	○		○		○	○	○		○	
		WF4	○	○	○		○					○			○		○			○					○	○	○		○	○	○		○	○	○	

制　動

刻	つなぎ	段	断流器 L1	断流器 L2	限流器 L3	組合ctt S	カム軸 抵抗短絡ctt 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	9a	8a	7a	6a	5a	4a	3a	2a	1a	組合ctt PG	界磁弱めctt F1	F2	F3	F4	F11	F12	F13	F14	制動転換器 P	B
	切						○																		○					○				○		○
	並列	B1a		○		○	○																		○					○				○		○
		B1		○	○	○	○																		○					○				○		○
		B2		○	○	○	○	○																	○									○		○
		B3		○	○	○	○	○																○	○											○
		B4		○	○	○	○	○	○															○	○											○
		B5		○	○	○	○	○	○														○	○	○											○
		B6		○	○	○	○	○	○	○													○	○	○			○								○
		B7		○	○	○	○	○		○												○	○	○	○			○	○							○
		B8		○	○	○	○	○		○	○											○		○	○				○	○						○
		B9		○	○	○	○	○			○										○	○		○	○					○						○
		B10		○	○	○	○	○			○	○									○			○						○						○
		B11		○	○	○		○				○								○	○			○						○		○				○
		B12		○	○	○		○				○	○			○				○	○			○		○						○	○			○
		B13		○	○	○		○	○			○	○			○			○	○	○			○		○							○	○		○
		B14		○	○	○			○			○	○	○		○			○	○	○		○	○		○								○		○
		B15		○	○	○			○	○		○		○		○		○	○	○	○		○			○								○		○
		B16		○	○	○				○		○		○	○	○		○		○	○	○	○			○								○		○
		B17		○	○	○				○	○	○			○	○	○	○		○	○	○				○										○

R1, R2, R5, R6：前進時閉，後進時開
R3, R4, R7, R8：前進時開，後進時閉

第3図　主　回　路　つ　な　ぎ　図

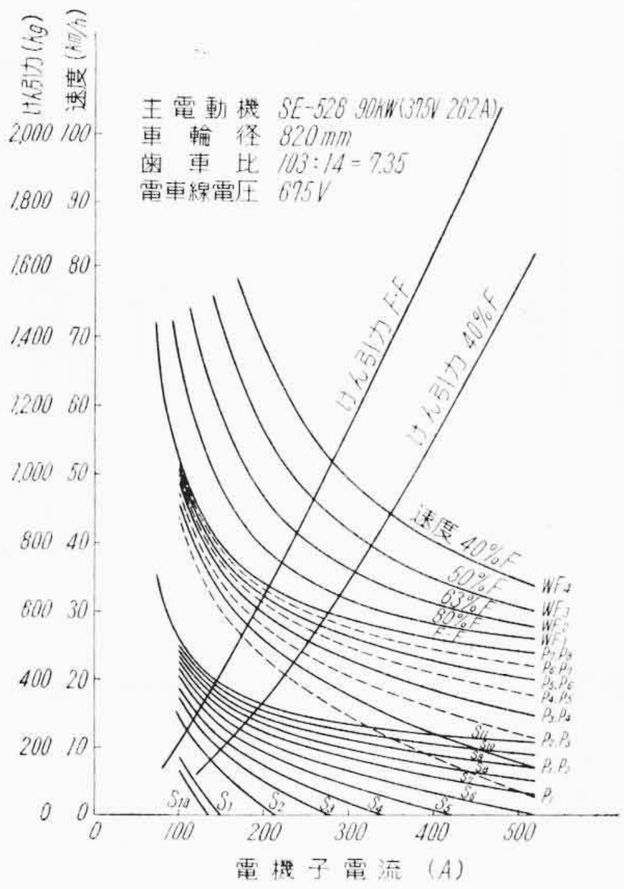
過電圧継電器を設けている。また，接地保護は過負荷接地継電器の一方の脚に巻いた接地コイルによっており，発電ブレーキ時には，直列に接続された2個の電機子の中点を接地コイルによって接地し，高速から発電ブレーキをかけたときに誘起する過電圧を2分割して絶縁上の安全を期している。

4. 主要機器の構造

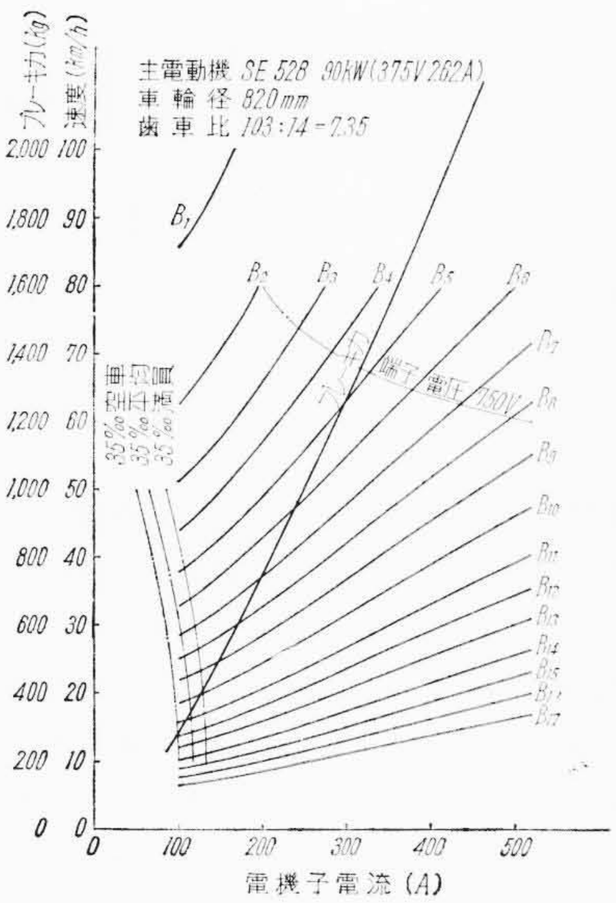
4.1 共通事項

(1) 不燃構造の採用

本制御装置は地下鉄電車用であるため，特に不燃構造化に留意し，断流器の木わく，補助アーク流し，各機器の電線クリート，断路器箱，高圧ヒューズ箱，接地スイッチ箱など従来木材を用いていた個所はすべてガラスポリエステル形造品，硬質塩化ビニル



第4図　電動ノッチ曲線



第5図　制動ノッチ曲線

樹脂，ポリセット積層板または鉄箱に変更した。

（2）　多心接栓の採用

制御回路電線のぎ装配線への接続には多心接栓を使用し，制御器のつり降ろし，取り付けに際して結線作業の容易な構造とした。

（3）　カバー類取り付けの確実化

第3軌条方式のため，走行中に機器のカバーなどがはずれると第3軌条の接地事故を起こすおそれがあるので機器のカバー締め付けには特に留意した。

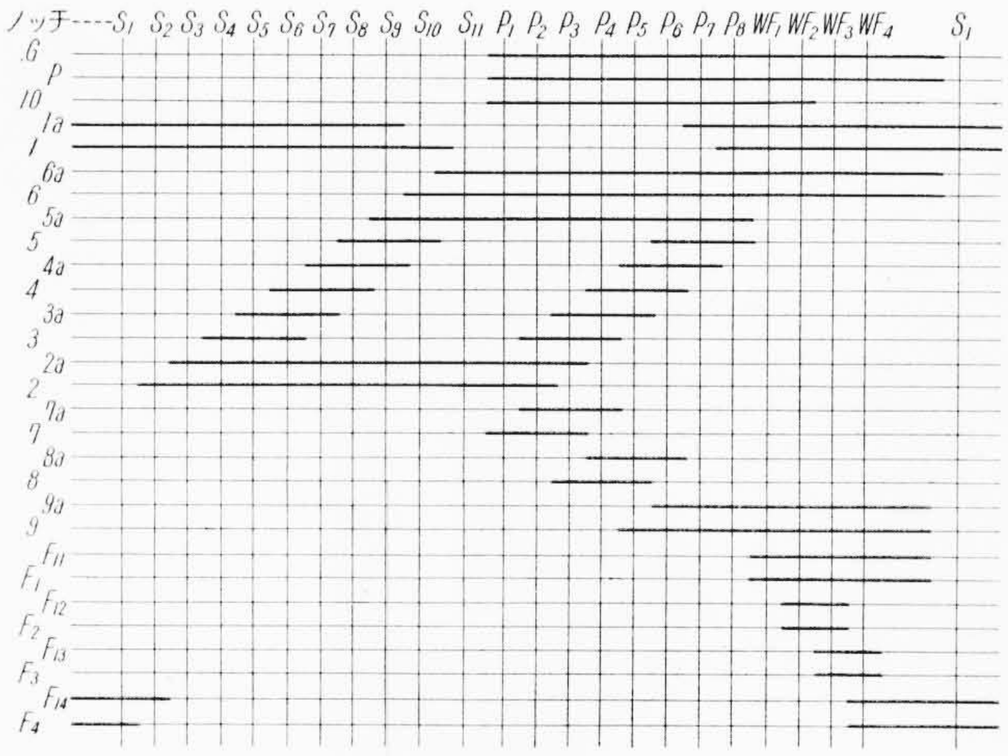
4.2　MMC-HTB 20 A 形主制御器

（1）　コンビネーションタイプ

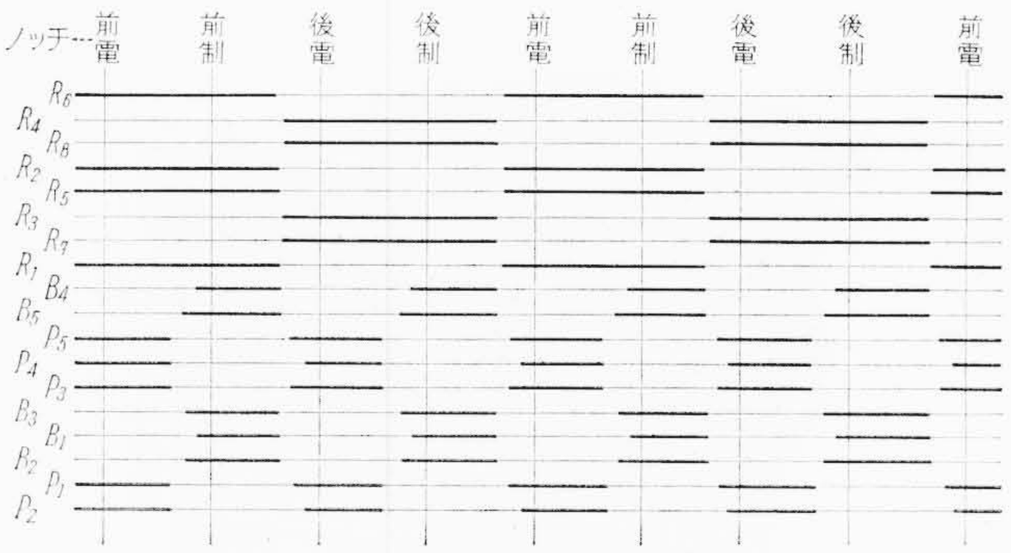
MMC-HTB 20 A 形主制御器は主カム軸，転換カム軸，カム接触器，カム電動機，直流リアクトル，主電動機開放器，各種継電器，抵抗管など主要器具を1箱に納めたコンビネーションタイプで床下ぎ装面積は非常に縮少されている。この主制御器の外観を**第8図**に示す。

（2）　全電動カム軸制御器

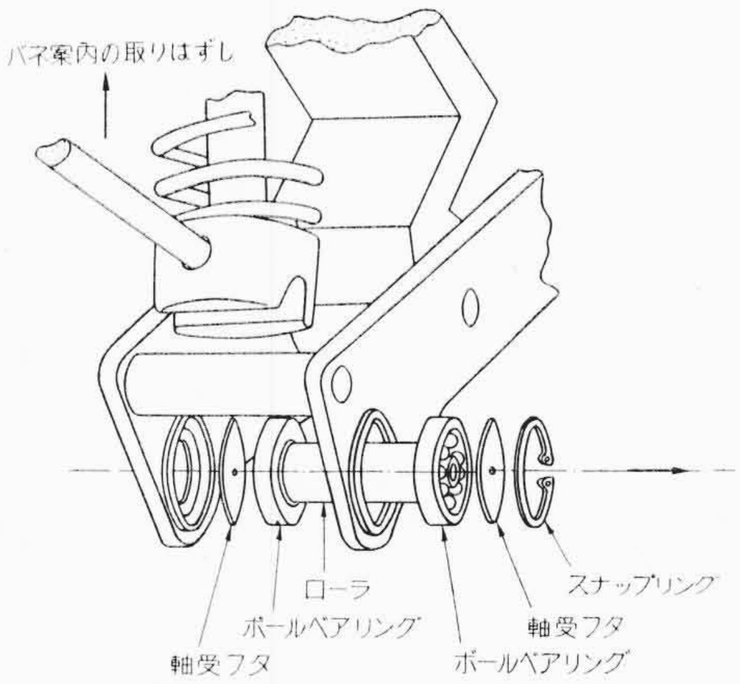
主制御器は全電動式で，すべて同一形式のカム接触器を用いているため，空気操作機構がなくなり，保守取り扱いが簡易化すると同時に，消耗部品の種類の減少が図られている。



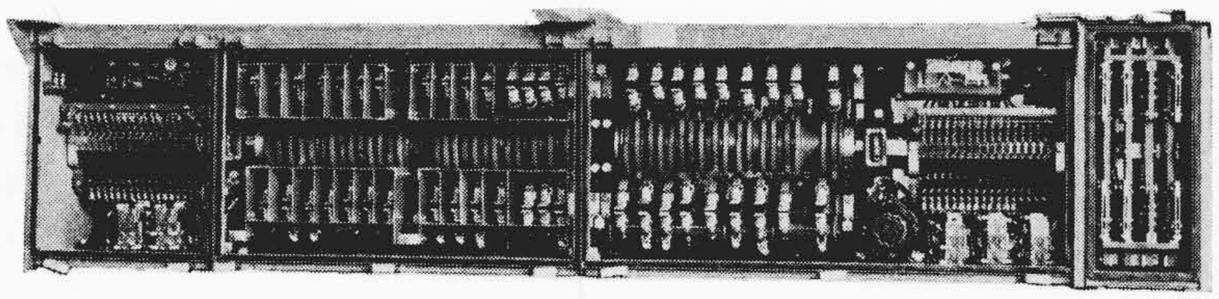
第6図(a)　主カム軸角度展開



第6図(b)　転換カム軸角度展開



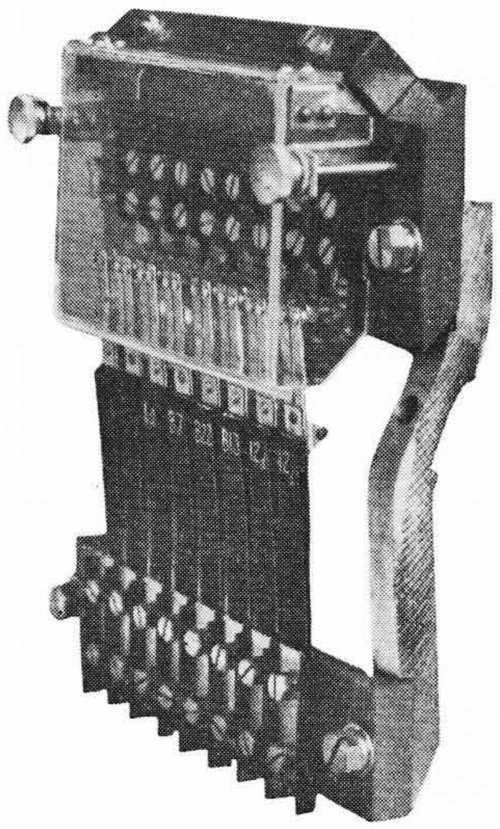
第7図　カム接触器ローラ部分の構造



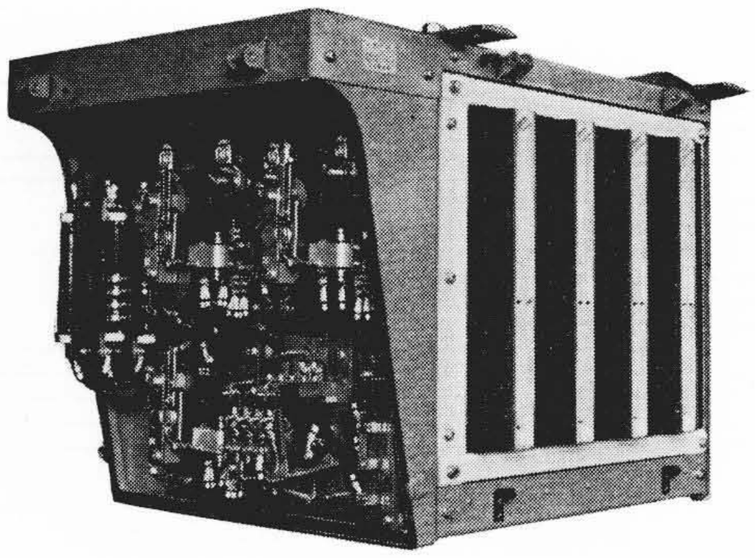
第8図　MMC-HTB 20 A 形主制御器外観

（3）　カム接触器式制御回路接点

1回転式MMC制御器用として開発完成したもので，ローラに外形8mmのシールド付きボールベアリングを使用し，接点を双子形の銀接点とし，従来とかく難点のあったリード線を廃してステンレス板バネを使用した常時閉路形（Normal Close Type）カム接触器である。この結果動作が確実で接触不良のない，信頼度の高い接点をうることができた。この外観を**第9図**に示す。なお



第9図　制御回路カム接触器



第10図　URB-PH 60-4 形断流器外観

接点部分には透明なアクリル樹脂の防じんカバーをつけている。

(4)　カバーの材質の絶縁物化

主電動機開放器部分のカバーは，主電動機の開放が必要なときいつ，どこでも取りはずす必要があるかも知れない。この場合もはずしたカバーが第3軌条へ接触する危険があるため，これをガラスポリエステルで成形した絶縁物のカバーとし安全度を高めている。

(5)　圧力放出装置の設置

主制御器は不燃構造であるが，万一の事故で主制御器箱内で電弧を発した場合には電線被覆のゴムなどが急速にガスを放出し，密閉度の高い主制御器箱では内部圧力の上昇をきたす。特に第3軌条方式であるため事故の拡大も考えられるので，内部圧力を急速に放出できるようビニルスポンジフィルタを組み合わせた圧力放出装置を設けている。

4.3　URB-PH60-4 形断流器

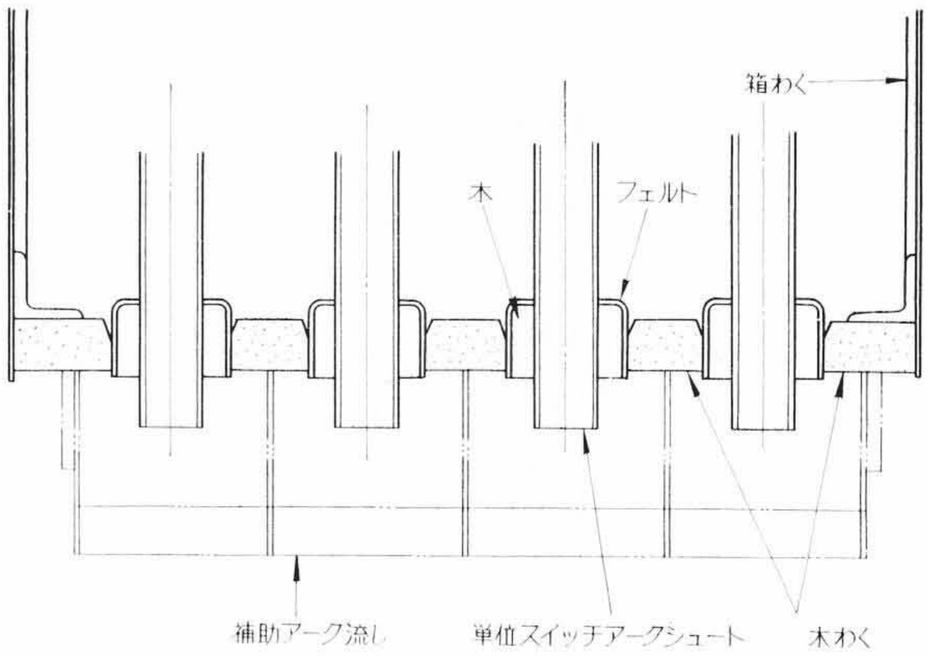
(1)　内蔵機器

URB-PH60-4 形断流器は，単位スイッチ，過負荷接地継電器，過電流継電器，過電圧継電器，無電圧継電器，抵抗管を納めコンビネーションタイプの主制御器と合わせて制御機器のほとんどを収納している。**第10図**はその外観を示す。

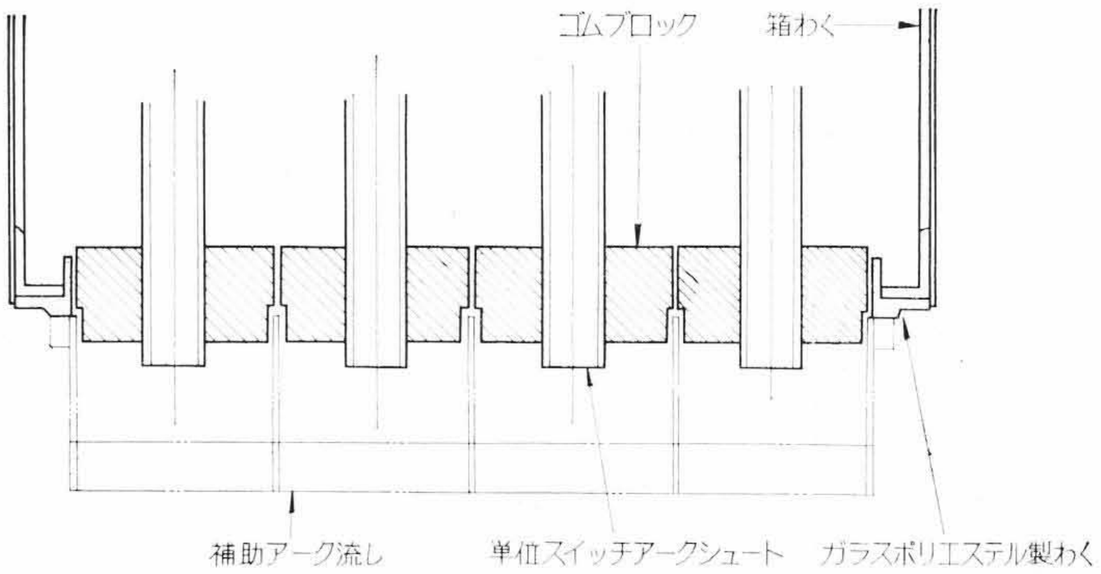
(2)　単位スイッチ部アークシュート回りの密閉構造

従来の断流器では，単位スイッチのアークシュート回りの密閉には，木製の格子をはめ込んだ**第11図**の構造が用いられ，アークシュートをはずす場合はこの格子状のわくを全部取りはずさなければならない不便があり，さらに木材を用いているため可燃性であった。

この断流器では，わくの材料をガラスポリエステル形造品とし，



第11図　アークシュートまわりの密閉構造(旧)



第12図　アークシュートまわりの密閉構造(新)

構造を**第12図**に示すように上下左右のみ別個にはずせるようにし，中間のわくを廃して，代わりに隣どうし互いに接する大きさのゴムブロックをもった単位スイッチのアークシュートを取り付けるだけで前面が閉ざされる構造とした。このため上下のガラスポリエステル製の押えをはずせば，単位スイッチのアークシュートを個々に取りはずすことができ，前面がすべて開放されるようになっている。

(3)　アークシュートの長寿命化

アークシュート内壁の発弧部周辺にジルコン磁器板を埋め込み耐弧性を増しているので，アークシュートの寿命を長くすることができる。

(4)　単位スイッチ補助接点の防じんおよびブロック化

従来点検調整の困難であった補助接点部を固定側，可動側をまとめてブロック化し，ブロックごとに取り出して接点間げきの調整，部品の取り替えなどが容易にできるようにしたもので，保守上きわめて有利となっている。これに防じんカバーを取り付けてある。この外観を**第13図**に示す。

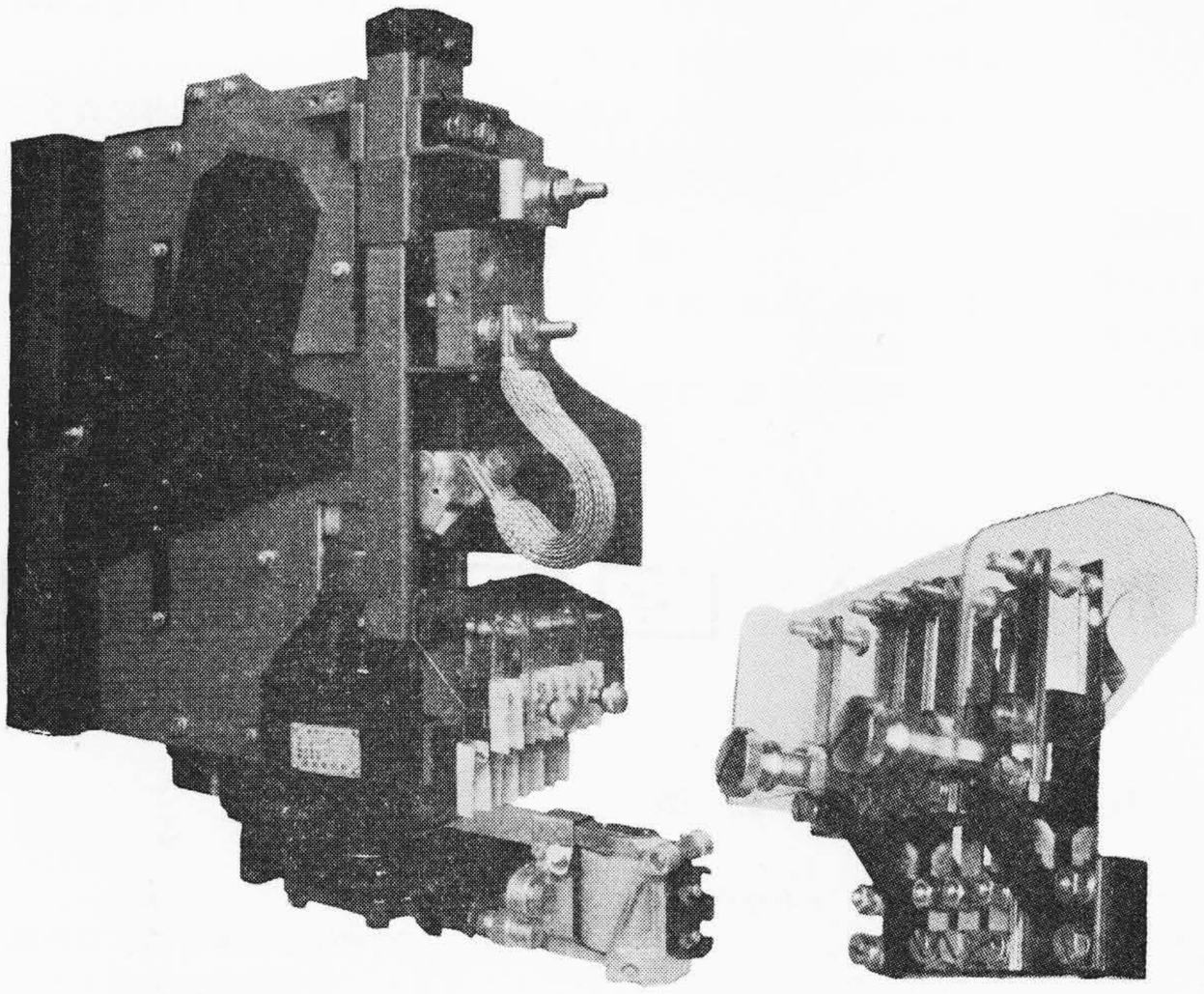
(5)　過負荷接地継電器

過負荷接地継電器は電流コイルと接地検出用の電圧コイルとを持ち，磁気回路，制御回路を共通としたもので，電動時は過負荷継電器，制動時は接地継電器として動作するいわば多目的継電器である。

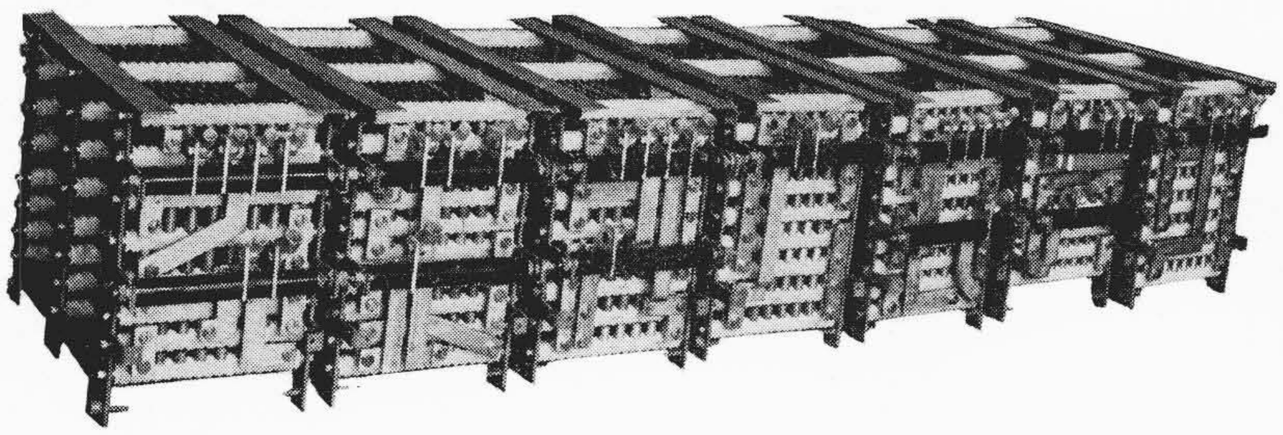
4.4　RRW-H-90K-4 形主抵抗器

(1)　波形リボン抵抗器

電動，制動に使用される主回路用抵抗器で，従来の抵抗器に見られるように多数のグリッドを組み合わせた構造を廃し，長いリボン状の抵抗体を波形に折り曲げて，特殊耐熱がい子で支持し，特に保守再組立時の難点とされたマイカ製絶縁物をまったく使用しない新しい構造を採用している。この外観を**第14図**に示す。



第13図　ブロック化された単位スイッチ補助接点



第14図　RRW-H-90K-4形主抵抗器群

（2）　部品の数および種類の減少

この抵抗器は波形リボン抵抗体，がい子，取付スピンドル，取付わくより成り，部品の数および種類が少なく工作，組み立てが簡単で保守点検がほとんど不要となっている。また補修の際にもきわめて作業が容易である。

（3）　容量増加

この抵抗器は構造上端子以外の通電部分には機械的接触部がなく，簡単な構造のため許容温度上昇が高くとれるので，小形軽量とすることができた。

特に主制御器と抵抗器の小形軽量化の成功は，18mの電車で単車運転するに必要な全機器を装備することを可能にした。

4.5　MADF-22C形主幹制御器

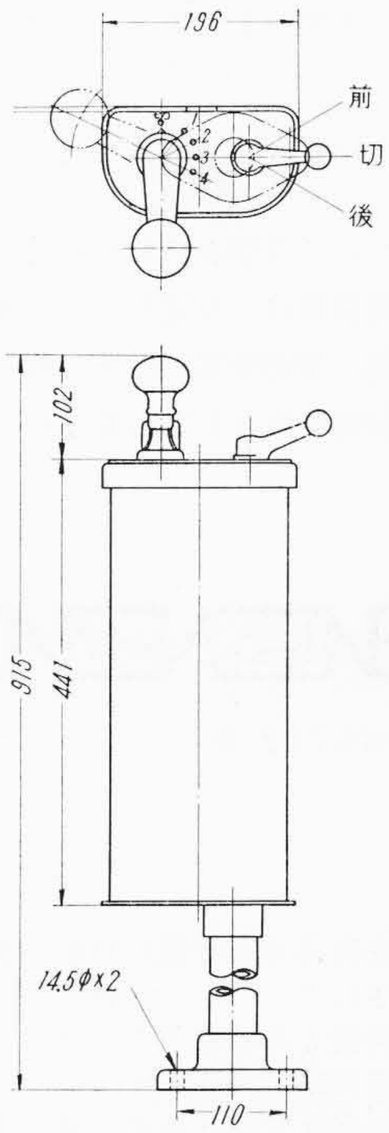
新路線の電車にふさわしいものとするため，外観にも留意してあり，逆転ハンドルの「前」，「中」，「後」，主ハンドルの「切」，「1」，「2」，「3」，「4」のノッチ表示のマーク，文字についても十分の注意を払った。

バネもどし式のデッドマン装置，ブリッジ式のカム接触器を用いた制御回路接点を採用して，全体を小形にまとめている。第15図はその外観を示す。

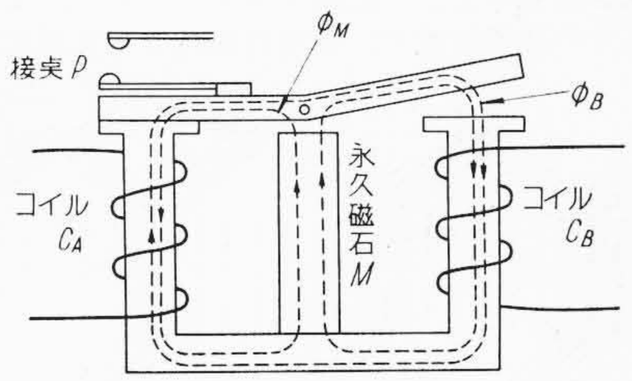
4.6　電灯継電器箱

箱内には2個の磁気保持継電器と補助継電器などが収納されている。

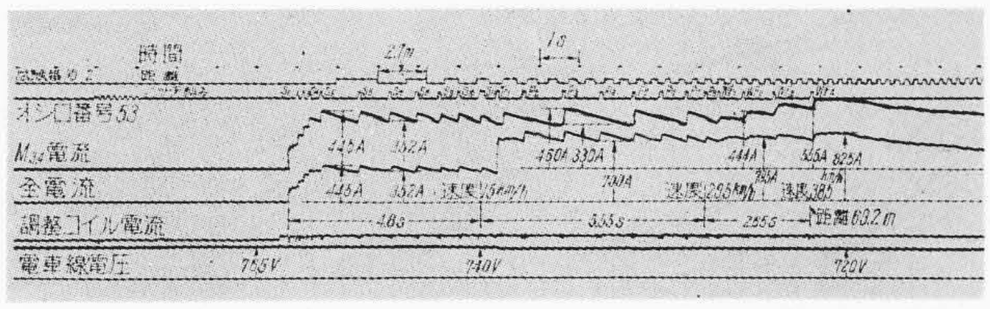
客室蛍光灯の制御には，トンネルにはいったり高架線に出たりする第4号線の特殊事情により磁気保持継電器が使用された。磁気保持継電器は第16図に示すように，磁気回路中に永久磁石を有し，



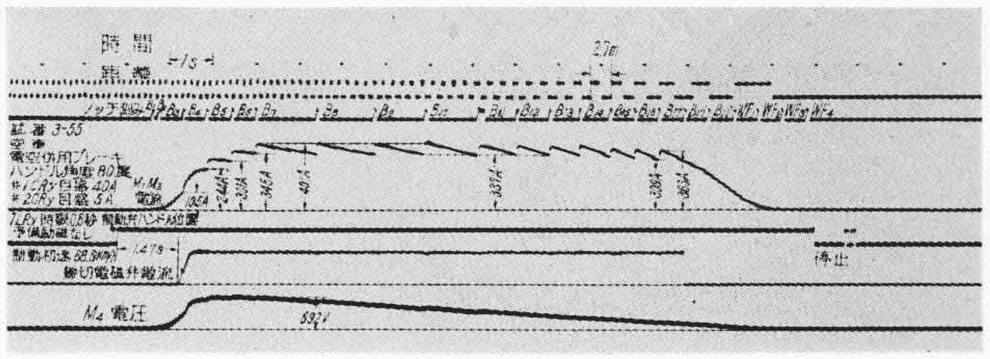
第15図　MADF-22C形主幹制御器



第16図　磁気保持継電器原理図



第17図　起動試験オシログラム



第18図　発電ブレーキ試験オシログラム

操作コイルをいったん励磁し，可動片が動作したのち消磁しても操作した側に機械的に可動片が保持される構造の継電器である。

5.　現車試験結果

昭和36年11月24～26日，第4号線大阪港-弁天町間において単車で現車試験を行ない，電動，発電ブレーキの性能が確かめられた。起動試験および電空併用ブレーキ試験の代表的オシログラムを第17，18図に示す。このオシログラムからもわかるように，ノッチ追従速度が高く，特に留意した制動の立ち上がりの制御も円滑でショ

ックがなく，ノッチ刻みも確実であり，予期したとおり正確な制御を行なっている。

6. 結　言

本制御装置について各項目にわたって紹介したが，このMMC-HTB 20A形制御装置は，全電動式カム軸制御による電動および発電ブレーキの制御，制御機器の改善，機器の不燃化など，最近の地下鉄高速電車用制御装置として具備すべき条件を，あらゆる角度より検討して設計製作されたものであり，昨年12月11日開通以来好評裡に営業運転を続けている。

本制御装置の完成は，大阪市交通局の関係各位のご指導に負うところが大きいのでここに厚くお礼申しあげる次第である。

参　考　文　献

(1) 伊沢，今泉，坪井：昭和36年電気学会東京支部大会予稿 p. 407
(2) 川野，立川，今泉：日立評論 **42**, 998 (昭35-9)

特　許　の　紹　介

特許 第286712号

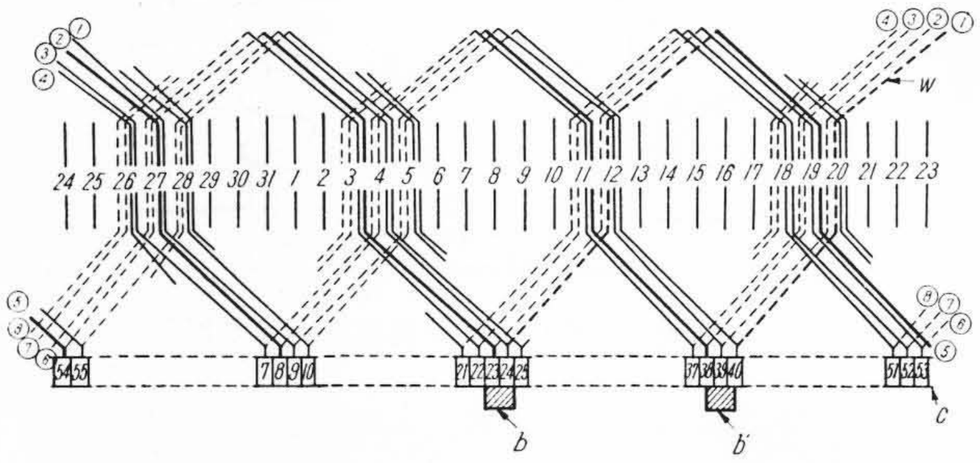
園山　裕・蓮池公紀

反ぱつ起動形誘導電動機

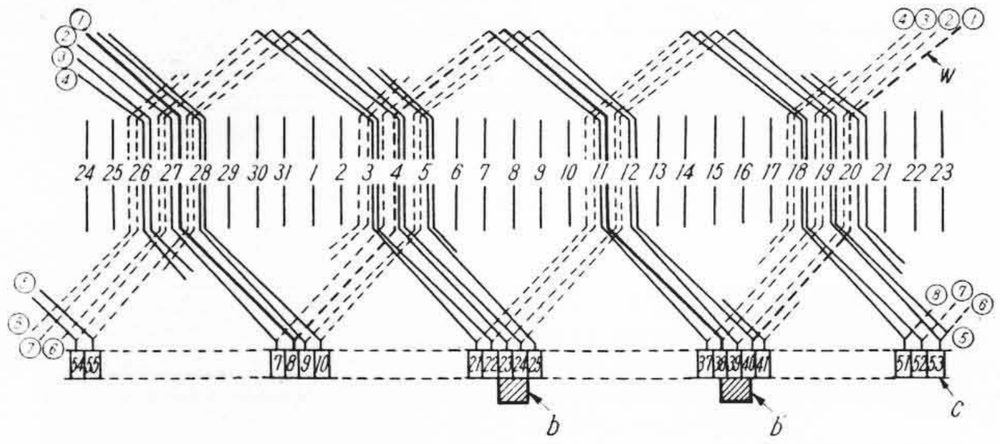
従来反ぱつ起動形誘導電動機の回転子巻線には**第1図**に示すような一重巻が採用されていたが，これでは全部の巻線が直列に接続されているため，隣接した整流子片にまたがる刷子 b, b′ によって最大4つまでの短絡回路がつくられ，これに流れる短絡電流により起動時**第3図C**のような負のトルクが発生する。起動時の速度トルク特性は反ぱつ電動機本来の性質によると**第3図A**のような直巻特性を示すはずであるが，実際には上記の短絡電流による負のトルクの影響で**第3図B**のように起動トルクが下がり，またこの傾向は刷子と整流子片の関係位置や，接触状態によって変化し，起動トルクに大きなバラツキを生ずることがわかった。

本発明は以上のような考察の結果，起動特性を改善するには短絡回路の成立を極力防げばよいことに着目し，その有効な方策として回転子巻線を二重巻あるいは三重巻のような多重巻とすることを提案するものである。**第2図**に示す二重巻回転子の場合を例にとれば，隣り同士の整流子片はそれぞれ別回路に接続されているので，刷子 b, b′ によってつくられる短絡回路の数は最大2つまでとなり，一重巻の場合に比べて短絡電流による負のトルクは**第4図C′**のように減少する。この結果同図B′のように速度トルク特性が直巻特性に近ずき，起動トルクを平均30～40％増加させることができる。また起動トルクのバラツキは従来の半分以下になり，さらに起動電流も減少する(曲線 D, D′ 参照)など起動特性の改善に大きな効果が認められた。

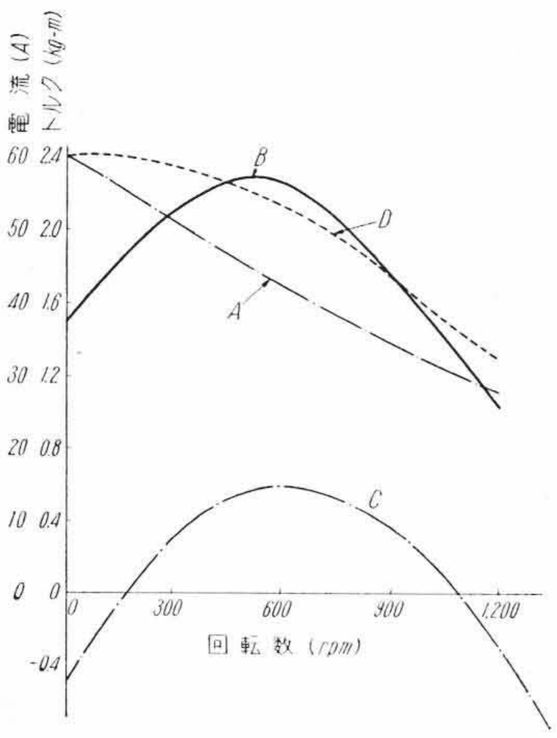
(坂　本)



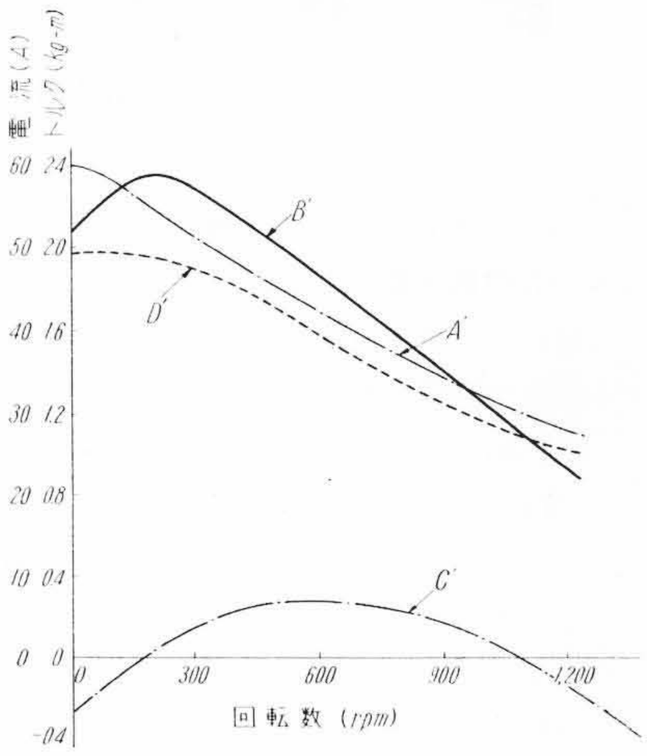
第1図



第2図



第3図



第4図

訂　正

本紙第44巻第6号掲載論文「軸流圧縮機段特性とそのマッチング」に誤りがありましたので，下記のように訂正いたします。

記

訂正個所	誤	正
942頁下から7行目の(18)式	面積比(常数)$=\dfrac{A_L}{A_0}=\dfrac{1}{\pi^*}\left[1-\eta_{b.ad}{}^*\left(\pi^{*\frac{k-1}{k}}-1\right)\right]$ $=\dfrac{1}{\pi}\left[1-\eta_{b.ad}\left(\pi^{\frac{k-1}{k}}-1\right)\right]$ .....(18)	面積比(常数)$=\dfrac{A_L}{A_0}=\dfrac{1}{\pi^*}\left[1+\dfrac{1}{\eta_{b.ad}}\left(\pi^{*\frac{k-1}{k}}-1\right)\right]$ $=\dfrac{1}{\pi}\left[1+\dfrac{1}{\eta_{b.ad}}\left(\pi^{\frac{k-1}{k}}-1\right)\right]$ .....(18)