

電気回路および機器*

佐藤恒徳**, 久保 敏***

本稿では電気機器の特性から得られる電車の性能および電気回路と、これらを構成する電気機器の諸元、要目および性能について述べる。ただし電車性能のうち自動列車制御装置および空気ブレーキについては、それぞれ 1773 ページおよび 1778 ページに詳しく記されているので、本稿では深くふれていない。

また 1724 ページ「一般」で述べたとおり電車は 2 両が 1 ユニットの multiple-unit all motor car train であるから、特にことわらないかぎり 2 両単位で述べることにする。

1. 電車の性能

電車の性能をきめる要素として、列車の最高速度、表定速度、重量、線路条件、加速度、減速度および走行抵抗等があげられる。これらのうち最高および表定速度、重量については計画の段階できまり、線路条件すなわち最急こう配、連続したこう配の長さ、曲線による速度制限等は工事計画の段階でわかってくる。残るもののうち加速度は駅間距離、停車回数等から機器容量の経済設計できまり、減速度については高速度からのブレーキ力を車輪とレール間の粘着係数に見合うものにし、走行抵抗から電車の出力を算出する。

走行抵抗は下式によって設計をすすめてきた。

$$R = (1.6 + 0.035V)W + cV^2$$

ただし R : 走行抵抗 kg

V : 速度 km/h

W : 列車重量 t

$$c = (1/2)\rho c_x F$$

$$c_x = 0.45 + 0.00225 l$$

l : 列車長 m

F : 車体断面積 m^2

ρ : 空気密度 $\{(1/8) \times 1 / (3.6)^2 \text{ kg} \cdot \text{h}^2 / \text{km}^2 \cdot \text{m}^3\}$

速度—引張力曲線を第 1 図に示す。ここに示す走行

* 原稿受付 昭和 39 年 7 月 10 日。

** 正員、日本国有鉄道車両設計事務所（東京都千代田区丸の内 1 の 1）。

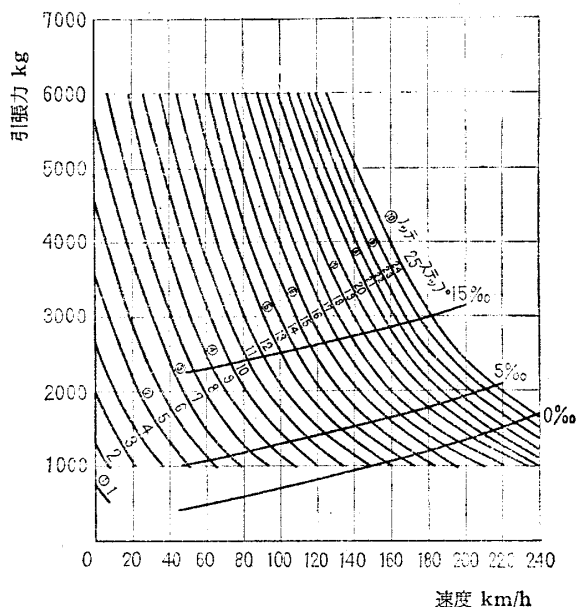
*** 日本国有鉄道車両設計事務所。

**** 車輪径は新製時 910 mm で摩耗限度は 830 mm としている。設計上は半摩耗の車輪径を計算に用いるから $(910 + 830) \times 1/2 = 870 \text{ mm}$ となる。

抵抗曲線は 12 両編成の 1 ユニット分であり、こう配 0% のときは 8 ノッチで、5% のときは 10 ノッチで 210 km/h をやや上回る速度が得られる。この特性は電車線電圧 25 kV、車輪径 870 mm**** の場合であるが、実際運転では電車線電圧はたえず変動し、車輪径も一定でないからこの図は設計上の特性である。

つぎに力行ノッチ曲線を第 2 図に示す。力行制御はタップ切換器で限流進段によって行なうので図には限流値を示してある。限流値を 570 A にした場合、進段の都度加速電流が増してのこ歯状の電流が流れるから、平均加速電流は約 600 A (引張力 4 100 kg) となり、160 km/h までの直線加速部分では 1.1 km/h/s、210 km/h までの平均加速度は 1.0 km/h/s に設計した。この加速度の設定は、新幹線では駅間距離が長いので加速度を高くしても運転時分の短縮に効果が少なく、主電動機の熱容量を増すために大形化するの、経済設計としてこのような値をえらんだ。

車両は高速になるほど車輪—レール間の粘着係数が減少し、しかもレール面の湿潤、汚損等によって粘着



線電圧 25 kV
 主電動機形式 MT 200
 主電動機個数 8
 動輪直径 910 mm (計算用 870 mm)
 歯数比 29:63=1:2.17

第 1 図 速度—引張力曲線

係数はいっそう低下する。したがってブレーキ力の設定にあたっては、レール面湿潤の状態でもブレーキ力過大による滑走をおこさないようにする必要がある。第3図の発電ブレーキノッチ曲線に示すとおり、ブレーキ力は速度に応じて4段階に制御し円滑な減速度を得るようにしている。ブレーキ力の切換はATCの速度照査器からの指令で自動的に行なわれ、万一の発電ブレーキ機器故障に際しては、発電ブレーキ力と同じ強さの空気ブレーキ力に自動的に切換わる。

速度域と減速度の関係を第1表に示し、ブレーキ初速とブレーキ距離の関係を第4図に示す。

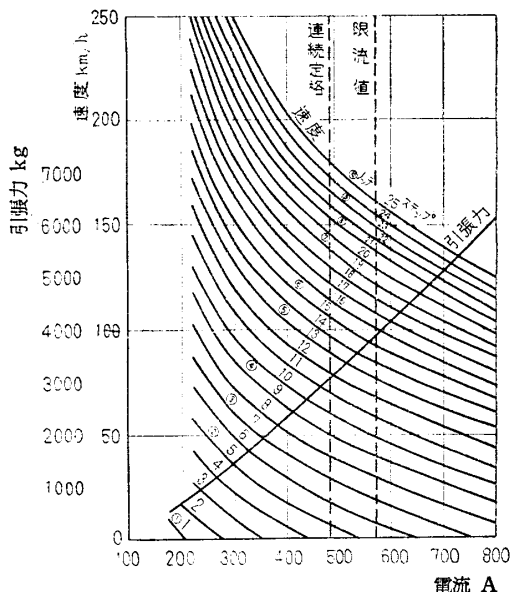
2. 電気回路と制御

2.1 概要 電気回路を説明する前に機器の構成を概念的にはあくするため第5図にブロック線図を示す。図で主変圧器の右側は二次回路で主電動機回路、左側は三次側で補助回転機回路となっている。

第1表 速度域ブレーキ力

速度域 km/h	常用ブレーキ		非常ブレーキ	
	ブレーキ減速度 km/n/s	列車減速度 km/h/s	ブレーキ減速度 km/h/s	列車減速度 km/h/s
210~160	1.5	1.9	2.1	2.5
160~110	2.0	2.3	2.8	3.1
110~70	2.4	2.6	3.4	3.6
70~0	2.7	2.8	3.8	3.9

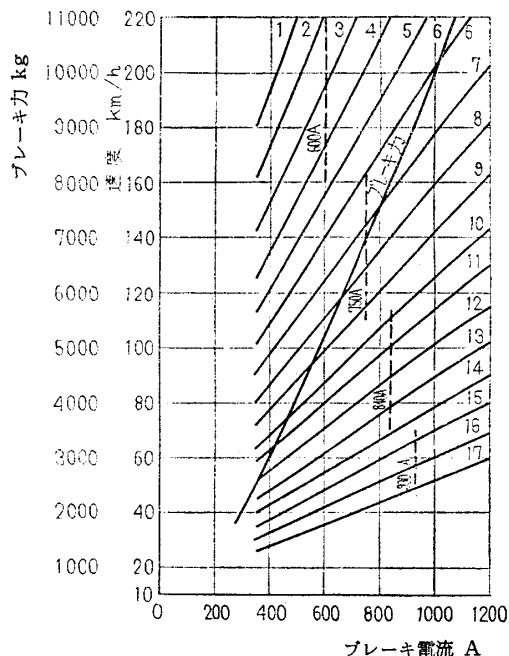
列車減速度とブレーキ減速度との差は走行抵抗による減速度である。



線電圧 25kV
主電動機形式 MT 200
主電動機個数 8
動輪直径 910mm (計算用 870mm)
歯数比 29:63=1:2.17

第2図 力行ノッチ曲線

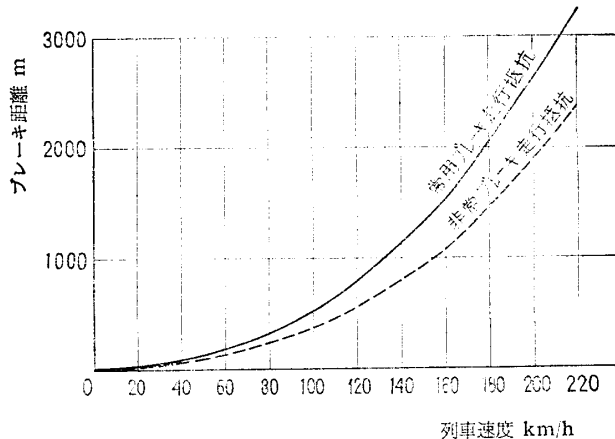
力行回路は主変圧器とタップ切換器とによって電圧制御を行なう。降圧された交流をシリコン整流器で直流に変換し主電動機に印加する。ここで電力は機械力に変換されて電車は力行し、電圧制御によって速度制御が行なわれる。主電動機は4個直列2並列回路に接続されており、直流電車のような直並列制御は行なわれない。



ノッチ	抵抗値Ω	ノッチ	抵抗値Ω	ノッチ	抵抗値Ω
1	4.460	7	2.157	13	1.030
2	3.970	8	1.920	14	0.891
3	3.480	9	1.700	15	0.775
4	3.050	10	1.480	16	0.663
5	2.740	11	1.340	17	0.560
6	2.440	12	1.180		

主電動機形式 MT 200
主電動機個数 8
動輪直径 910mm (計算用 870mm)
歯数比 29:63=1:2.17

第3図 発電ブレーキノッチ曲線



第4図 ブレーキ距離 (12両編成電気ブレーキ)

つぎに発電ブレーキ回路は図の主回路切換器のPをBに転換することによって構成される。すなわち主電動機4台と発電ブレーキ抵抗器を直列に接続し、1両単位の独立した発電ブレーキ回路が2回路構成される。

三次回路には電気機器冷却用の電動送風機、電動空気圧縮機、電動発電機および空気調和装置用の電動機が負荷として接続されている。

2.2 主回路つなぎ 第6図に主回路つなぎを示す。

(1) 力行回路 パンタグラフで集電した電流は空気しゃ断器 (ABB) を経て主変圧器に至り、低圧側端子から車体、接地ブラシを経て車軸、レールによって変電所にもどる。

パンタグラフからの電力は主変圧器と低圧タップ切換器によって電圧制御を行なう。主変圧器の二次巻線はタップ巻線と固定巻線の2群から構成され、これらを和働 (K₂) または差働 (K₁) に接続することによって、タップ数8と限流リアクトルの中間タップで電圧ステップを25とれるようにした。こうすると差働に接続して低圧を得るとき、主変圧器の漏れリアクタンスが大きくなり、電圧変動率が大きくなる。このことは電車起動時のステップ進段にともなう突進電流を抑制することができ、円滑な起動が得られる。タップ切換器による進段は図の力行作用順序表に示すとおりで、タップ選択スイッチ (S₁~S₈) と切換スイッチ (K₁, K₂) によって行ない、これを分解すると第7図に示すシーケンスとなっている。力行作用順序表でわかるとおりノッチ位置を常に奇数ステップに選んであるのは第7図で偶数ステップでは限流リアクトル (TCgL) に負荷電流と主変圧器タップ間短絡電流とのベクトル和の電流が流れるが、奇数ステップでは限流リアクトルに負荷電流が流れるだけである。そこで、進段時に通過するとき以外は偶数ステップにとどまらないようにして、連続運転は奇数ステップのみにすることによって限流リアクトルの容量を軽減することができる。

タップ切換器とシリコン整流器の間に交流ろ波器を設けてあるが、これは整流器式車両として避けられない高周波成分を短絡するためのもので、これによって一次側に流れる高周波電流を抑制して通信線に対する雑音電圧の誘導を軽減している。また交流ろ波器は、異常電圧に弱いシリコン整流器のサージ吸収の役目もかねている。

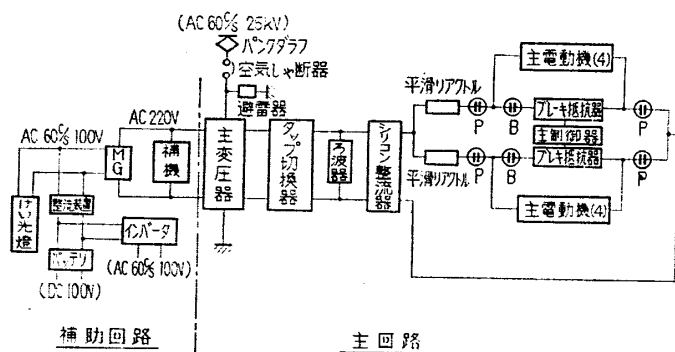
タップ切換器によって制御された交流は、シリコン整流器によって直流に変換されるが、この直流には60 c/sの2倍にあたる120 c/sの交流分が重畳しているため、このままで直流電動機を駆動することは整流と温度上昇の点で不可能に近い。そこで交流分を含んだ直流 (脈流と呼ぶ) を平滑にするために主電動機に直列に平滑リアクトル (MSL) をそう入している。しかしそれでもなお50% くらいの交流分が残るので、主界磁巻線 (MF_{11~14}, MF_{21~24}) に並列に分路抵抗を設け、交流分は分路抵抗にバイパスさせ、主界磁巻線には平滑な直流のみを流すようにしている。力行中は発電ブレーキ抵抗器を使用しないので、その一部を界磁分路抵抗器に用いている。

シリコン整流器の出力の脈流は2並列回路となって主電動機を駆動する。主電動機回路には主平滑リアクトル (MSL_{1, 2})、しゃ断器 (L_{11~14}, L_{21~24})、直流変流器 (DCCT_{1, 2}) および逆転器のほかに行行、ブレーキの主回路切換用接触器 (P, B) があり、力行時はPが閉じている。

(2) ブレーキ回路 発電ブレーキ回路は主回路切換器をPからBに転換し、主界磁の極性を反転させ二つの独立した回路が構成される。すなわち直巻発電機とこれに直列に負荷としての抵抗器が接続された閉回路となる。

発電ブレーキは最高速度から50 km/hまで作動し、50 km/hで空気ブレーキと自動的に切換わる。そして常時ATCによってブレーキ指令が出されるが、手動によってブレーキ操作を行なうこともできる。普通高速度域からATCによってブレーキ指令がでる機会がきわめて多く、指令がでてからできるだけ早くブレーキ力を作用させなければならない。それは200 km/hにおける秒速が55.5 mであるから、わずかな空走時間でもブレーキ距離は大幅に伸びることになる。このようなことからATCの速度照査器によって力行中、惰行中を問わず常時スポッティングを行なっているほか、発電ブレーキをかけるときは主電動機の主界磁を別電源で励磁しブレーキ電流の立上りを早めている。

また1章でも述べたように車両は高速になるに



第5図 電車2両 (1ユニット) の機器ブロック線図

したがって粘着係数が低下するから、速度域を4段階にわけてそれぞれ異なったブレーキ力を作用させるようにしてある。常用ブレーキは発電ブレーキのみとし、非常ブレーキは発電ブレーキ力の40%にあたる空気ブレーキ力を付加して、常用の140%のブレーキ力を与えている。

発電ブレーキのときは4台の主電動機の中央を接地し、発電電圧による対地電位の上昇をおさえている。

2.3 制御回路 制御回路つなぎをここに掲載することは煩雑にすぎるので、機能および特色について述べることにする。

(1) 一般 a) 回路別に配線用しゃ断器を設け接地または短絡事故時の被害範囲を最少限度におさえるようにした。

b) 配線用しゃ断器、各種スイッチ類が定位置にあることを確認したのち、ブレーキ弁ハンドルを扱って「運転位置」におくことで運転台であることの条件を与え、以後すべての運転操作が可能となる。

c) 指令線および電流容量の大きい回路、電圧降下を懸念される回路については、継電器接点、引通線、

電気連結器接点等を並列に使用して信頼度の向上をはかっている。

d) 高速運転であるためブレーキ優先回路とし、フェールセーフの考え方を強くいれてある。すなわち、ATCによるブレーキ指令、ブレーキ弁ハンドル操作、列車分離、緊急ブレーキスイッチ操作、直通管圧力(SAP)が立上らないときおよびブレーキ弁ハンドルはずし位置にしたとき等の場合は、力行回路をしゃ断しブレーキがかかるようにしてある。

e) 使用ひん度の高い接点を保護するため電磁弁、電磁コイル等に並列にサージ吸収用のコンデンサと抵抗器からなる火花消去装置を取付けることにした。

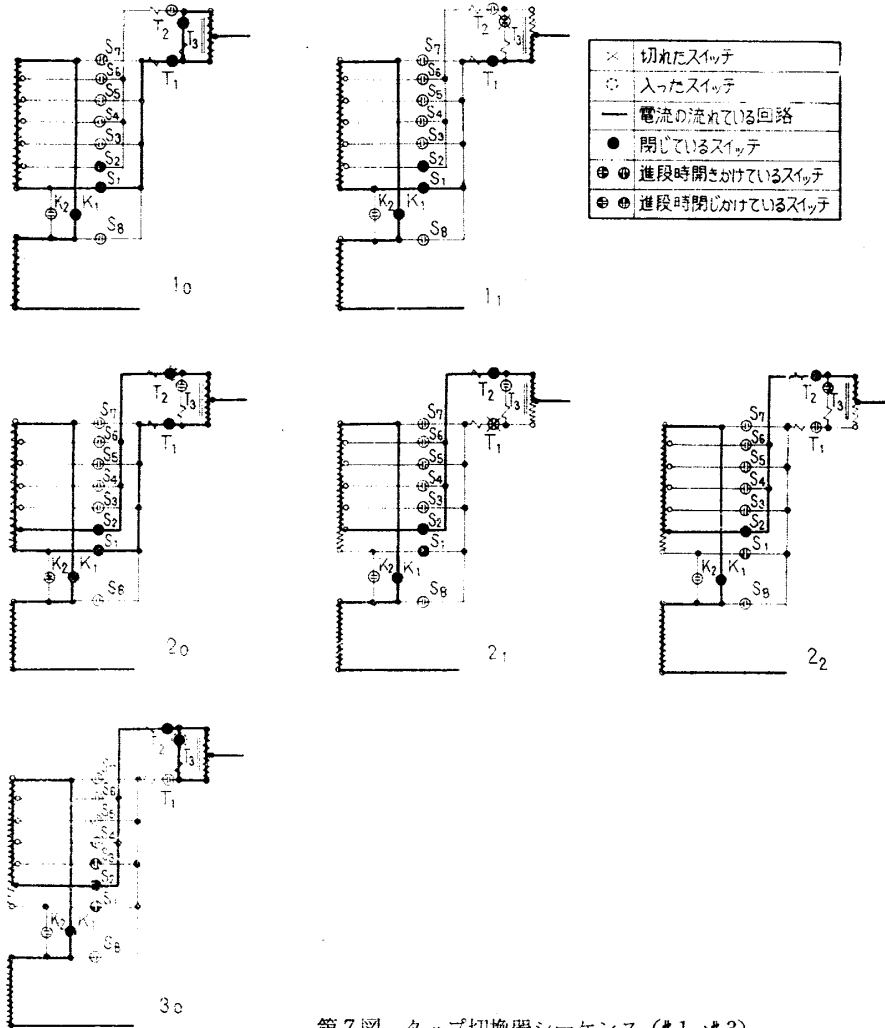
(2) 力行制御 a) 力行制御は運転台の主幹制御器からのノッチ指令によって行なわれる。すなわちノッチ指令によって主回路切換器はP位置をとり、主電動機回路のしゃ断器は閉じ、タップ切換器は進段する。

b) タップ切換器の進段は、主電動機電流を直流変流器(DCCT)*の出力に変換しこれと限流値パタンと比較して、後者が前者より大きいときステップ進めの指令を出す。この比較回路は磁気増幅器を用い無接点

化をはかっている。

c) 主幹制御器ハンドルをオフ位置にしたとき、および力行中ATCその他によってブレーキ指令がでたとき等は、直ちに主電動機回路を開く必要がある。このときしゃ断器を同時に全部開くことは、主電動機の回転力が瞬時になくなり衝撃となって乗りごちを害すので、減流しゃ断方式をとっている。すなわちはじめL₁₂, L₂₂を開いて減流抵抗器(CDRe_{1,2})をそう入して主電動機電流を減少させてから残りのしゃ断器(L_{11, 13, 14, L_{21, 23, 24}})を同時にしゃ断する。こうすることによって回転力急変による衝撃が緩和されるだけでなく、しゃ断器のしゃ断責務の軽減にも効果がある。

* 直流大電流を測定する場合に、交流電源を用い交流回路のインダクタンスが直流電流によって変化することを利用して、間接的に直流電流に比例した出力を得る方法である。



第7図 タップ切換器シーケンス (#1→#3)

d) 電車線は東京—大阪間を電気的には完全に接続されていない。すなわち電力会社の境界、同一電力会社の地域でも位相差の大きい地点等を通過するとき、電車線側でしゃ断器切換を行なう。この切換時間 0.25~0.35 秒間は完全に無電圧となるので、切換セクションを力行のまま通過するとき再加圧時に主電動機回路には過大な突進電流が流れる。この突進電流を抑制しないと主電動機回路の過電流継電器が動作するだけでなく、主電動機はフラシオーバの危険も伴うので、つぎのような対策をほどこしている。主変圧器三次巻線に低電圧継電器を設け、電車線電圧が 18 kV 以下になれば継電器は落下して、これにより主回路のしゃ断器 L₁₂, L₂₂ を開き減流抵抗をそう入し、この直列抵抗によって突進電流を抑制するとともにタップ切換器の進段もとめる。突進電流の継続時間は 30 ms くらいであるから、再加圧後低電圧継電器のピックアップによってしゃ断器 L₁₂, L₂₂ が閉じるときには、突進電流による過渡状態は終っている。主電動機回路は以上のような対策をたててあるが、主変圧器一次側の突流に対しては過電流継電器 (ACOCR) のセット値を上げるとともに、たとえセット値以上の電流が流れても 0.5 秒間は動作しないように時素をもたせている。ただし事故電流等に対しては 3 サイクル以内で空気しゃ断器はトリップする (2.4 節参照のこと)。

e) 主電動機その他の故障で 1 車の主電動機回路を開放するには、従来の電車では手動で断路器を操作したが、ここでは断路器を用いず、制御回路開放器によってしゃ断器の電磁弁励磁回路を開放することによって行なうようにした。

(3) 発電ブレーキ制御 a) ブレーキは発電ブレーキが主で、50 km/h 以下では空気ブレーキだけが作用する。ただし発電ブレーキ機器故障のときは、発電ブレーキ力と同一の空気ブレーキが自動的にかかる。

ブレーキ力の種類には常用、非常および緊急の三つあり、非常ブレーキは常用ブレーキの 140% のブレーキ

力にしてある。発電ブレーキ力は常用ブレーキ力のみとし、非常ブレーキのときは 40% の空気ブレーキ力がこれに付加される。緊急ブレーキは列車分離、緊急ブレーキスイッチ操作等の場合にのみ作用し空気ブレーキである。

つぎにブレーキ力の制御は ATC、ブレーキ弁ハンドルおよび緊急ブレーキがあり、通常のブレーキ制御は ATC によって自動的に行なわれ、停車するときのこまかい制御はブレーキ弁ハンドルによって行なわれる。また従来の貫通ブレーキ管のかわりとして引通し電気回路による緊急ブレーキを設けた。なお電気ブレーキ機器または電磁直通ブレーキ機器が故障した場合は、純直通ブレーキが使われる。

b) 力行中にブレーキ指令が出てから発電ブレーキ電流が立上がるまでのシーケンスを第 8 図に示す。

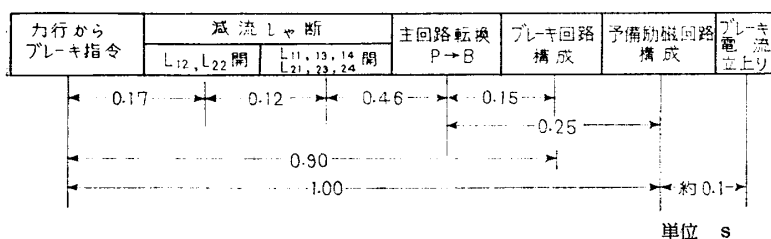
c) ブレーキ指令が出てからブレーキ力が作用するまでの時間、すなわち空定時間が長いとそれだけブレーキ距離がのびる。ブレーキ距離がのびることは閉そく区間長がのびることであり、列車密度を下げ輸送量の低下となってあらわれる。そこで秒速約 60 m の運転では空走時間の短縮はきわめて大事なことで、ブレーキ指令からブレーキ力が作用するまでの時間を短くするために力行、惰行を問わず常時スポッティングを行ない、また別電源による予備励磁を行なう等の手段を講じている。スポッティング位置は第 6 図主回路つなぎのブレーキ作用順序表に示すとおりで、ATC の速度照査器からの指令によって行なわれる。そして速度とスポッティング位置の関係は第 2 表に示す。

d) ブレーキ電流によって電車は逐次減速するが、これは発電ブレーキ抵抗器の短絡によって行なわれる。すなわち発電機電流を DCCT の出力に変換し、これと限流値パタンと比較して進段させることは力行の場合と同じであるが、限流値パタンは速度域によって異なった値で第 3 図に示すとおりで、200 km/h から 50 km/h まで 4 段階を設け、低速になるにしたがってブレーキ力を強めるような制御を行なっている。そして最終ステップまで進段すると自動的に空気ブレーキに切換わる。この電空切換の速度を 50 km/h に設定している。

e) ブレーキ作用中にブレーキ指令が解除になったとき、または過電流継電器が動作したときは、はじめ界磁短絡接触器 (FSCK) を短絡して界磁電流を減衰させ、これによって電機子電流が減少するから、その状態で主回路しゃ断器 (L₁₂, L₁₃, L₂₂, L₂₃) を開く。このことは力

第 2 表 スポッティング位置と速度域

発電ブレーキ, スポッティング位置	1	5	9
速度域 km/h	210~160	160~110	110 以下



第 8 図 ブレーキ指令から発電ブレーキ電流立上がりまで

行中のしゃ断に減流抵抗を用いたのと同様にブレーキ中もしゃ断責務を軽減させる方策をとっている。

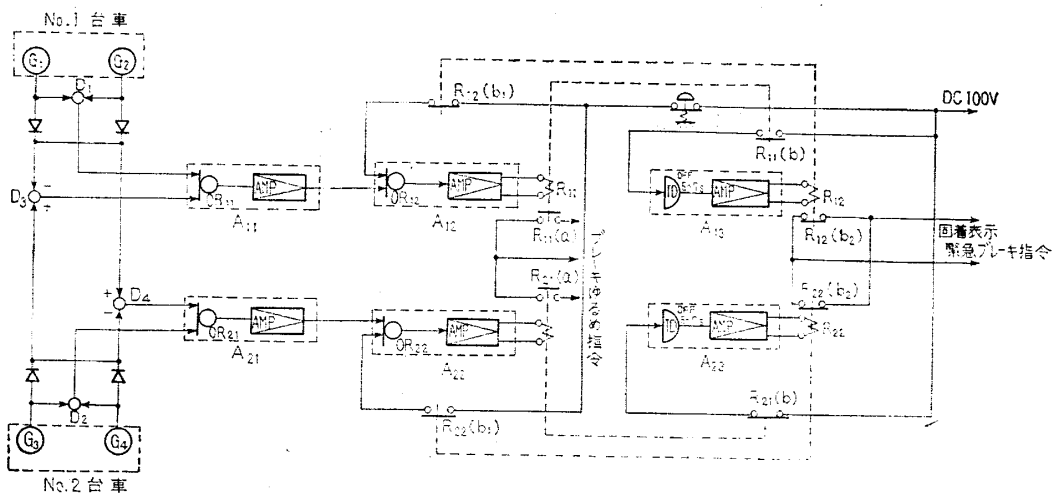
f) ブレーキ作用中にレール面の湿潤, 汚損等によって粘着限界が低下して車輪が滑走することがある。滑走をおこすと車輪踏面とレールとの摩擦熱のためにタイヤ踏面にフラットキズができる。フラットキズができると走行中車輪の回転周期でレール面をたたく打音を発して乗りごこちを著しく害するだけでなく, 車体, 台車にはもちろん軌道にも衝撃力を与えて走行の安全性をおびやかすことになる。また万一滑走のまま走りつづけると, 摩擦のためタイヤは摩滅し, ついには車輪割損, 脱線, 転覆等の重大事故にまで発展することも考えられる。それで一度滑走をおこしたときはただちに再粘着するような対策が必要であり, つぎに述べるような滑走固着検知装置を取付けている。

走行中におこる滑走は1台車内の2軸間の相対的な速度差および1台車の2軸が同時に滑走をおこしたときは2台車間の相対的な速度差を検出することによって行なう。すなわち速度差がある一定値以上に達すると, 低速側の車輪が滑走をおこしたとみなしてその車輪の空気ブレーキを急速にゆるめ, これらと同時に発電ブレーキ回路を開く。ブレーキ力をゆるめて再粘着した場合は, もとの状態に復帰して再びブレーキ力が作用する。もしある一定時間(5~7秒間)滑走が続いて再粘着しないときは, 車輪固着とみなして運転室には車輪固着表示灯で警告を発するとともに緊急ブレーキが作用する。固着検出がいったん動作するとリセットボタンを押すまでは自己保持するから, 停車後固着した車輪を容易に探し出すことができる。この装置のブロック線図を第9図に示す。図において正常の運転

状態ではいずれの OR 回路にも入力がなく, R_{12}, R_{22} は励磁し, R_{11}, R_{21} は消磁している。いま1軸(G_1)が滑走すると, D_1 に出力がでて D_3 には出力がないから2段の OR 回路と増幅器により R_{11} は励磁し, $R_{11}(a)$ によりブレーキゆるめの指令がでる。これによってただちに再粘着すれば D_1 の出力がなくなるから R_{11} は消磁する。もし R_{11} の励磁が5~7秒以上続くと $R_{11}(b)$ は開いているから限時回路(TD)によって R_{12} は消磁し, $R_{12}(b_2)$ で回路を閉じて固着と判断し, 固着表示を行なうとともに緊急ブレーキ指令をだす。このとき R_{12} の消磁によって $R_{12}(b_1)$ も閉じるから OR_{12} の両方に入力はない, R_{11} は消磁し $R_{11}(a)$ は開いてブレーキゆるめ指令は解除し, ブレーキ回路は構成される。

つぎに1台車の2軸(G_1, G_2)が同時に滑走をおこした場合, D_1 の出力はなく, D_3 から出力が出て OR_{12} の出力がでる。このあとは G_1 滑走と全く同様である。

2.4 補機回路 新幹線ではパンタグラフの電圧が30kVから22.5kVすなわち基準電圧25kVの+20%, -10%の範囲を変動し, しかも約30秒間は20kVまで低下することがある。主変圧器の三次巻線に直接補助回転機を接続すると, 回転機の端子電圧はパンタ点電圧と同様+20%, -10%のほかにも主変圧器三次巻線の電圧変動率が加わったより広い電圧変動幅を許容しなければならない。したがって補助回転機としては, 電動発電機を介して安定した電源から給電されることが望ましい。そこで電動発電機の容量を大きくして補助回転機をすべて三相誘導電動機とした場合と, けい光燈, 制御電源(DC100V), 充電装置等とくに安定電源を必要とするものだけを電動発電機負荷



$G_1 \sim G_4$: 各車輪に取付けた速度発電機 R_{11}, R_{21} : 励磁 → ブレーキゆるめ指令
 D_1, D_2 : 各台車内の速度差検出回路 R_{12}, R_{22} : 消磁 → 固着表示, 緊急ブレーキ指令
 D_3, D_4 : 各台車間の速度差検出回路

第9図 滑走固着検知装置ブロック線図

とし、その他はすべて単相誘導電動機とした場合とについて種々比較を行なった結果、後者のほうが重量的に大幅の軽減ができるみとおしをえた。一方技術的検討結果では、電動送風機と油ポンプモータは単相コンデンサモータを使用することに問題がなく、とくに起動トルクを必要とする電動空気圧縮機については、起動時にアンロード機構を設けることによって単相誘導電動機化することができた。

そして最後まで問題となって残ったのは、空気調和ユニットに内蔵されている小形電動圧縮機で、これは起動コンデンサを用い運転時はコンデンサランの方式を採用することで単相化しても実用できるみとおしはえられたが、電圧変動幅が広いため高圧時には励磁電流による温度上昇が苦しく、低電圧には起動トルクの減少によるロック電流のための温度上昇が苦しくなる。そのうえき電回路の相切換セクションで0.25~0.35秒間の無電圧となる回数が多いと、それだけ起動の回数が増して起動電流による温度上昇も問題となる。これらの問題にたいし相切換セクションの数が東京一大阪間で6~8箇所となったこと、電圧変動に対しては過電圧継電器と低電圧継電器を設けて常に一定の電圧範囲内で運転することとし、無電圧その他で停止した場合は圧縮機の背圧が高低バランスするまでの2分間は起動できないような制御回路とした。このようにして空調用電動圧縮機も単相誘導電動機化することができ、第10図に示すような補機接続となった。第5図も参照のこと。

以上は交流補助回転機であるが、このほかに列車の前頭および後尾の運転台機械室内には、それぞれ1台のインバータをとう載している。インバータはDC 100VをAC 100Vに変換する電動発電機で、ATC、ブレーキ制御、滑走固着検知装置および列車無線など良質の電気を必要とする機器の電源である。常時は整流装置からDC 100Vの供給をうけるが、停電停車の

場合でも列車無線を使用するために回転を継続し、このときは蓄電池から給電されるようになっている。インバータは1台で16両編成分の容量をもっているが、一方のインバータを回転停止のまま列車を走らせると軸受が損傷するので常時2台運転とし1台は無負荷で回転している。そしてもし負荷を供給している側のインバータが故障したときは自動的に他の一方のインバータに切換わるようにしている。

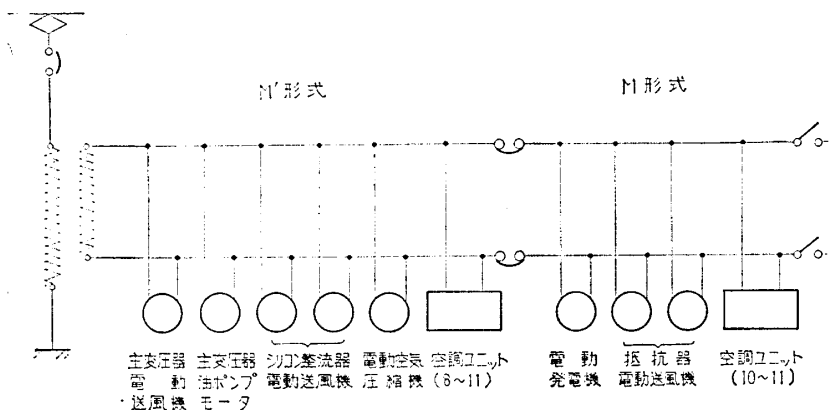
2.5 保護回路と表示 機器の故障に際して被害を最小限度にくいとめ、点検、修繕に際しては危険のないよう多くの配慮がなされている。

まず危険防止としては、25kV回路の空気しゃ断器、避雷器の点検のとき床下の高圧機器箱を開くが、これには保護接地スイッチをパンタグラフわく側に投入して接地し、パンタグラフ上げ電磁弁空気回路を閉じなければ、高圧機器箱点検カバーのかぎが取出せない構造にしている。すなわち逆に高圧機器箱点検カバーが開いているときは、パンタグラフを上げることはできない。

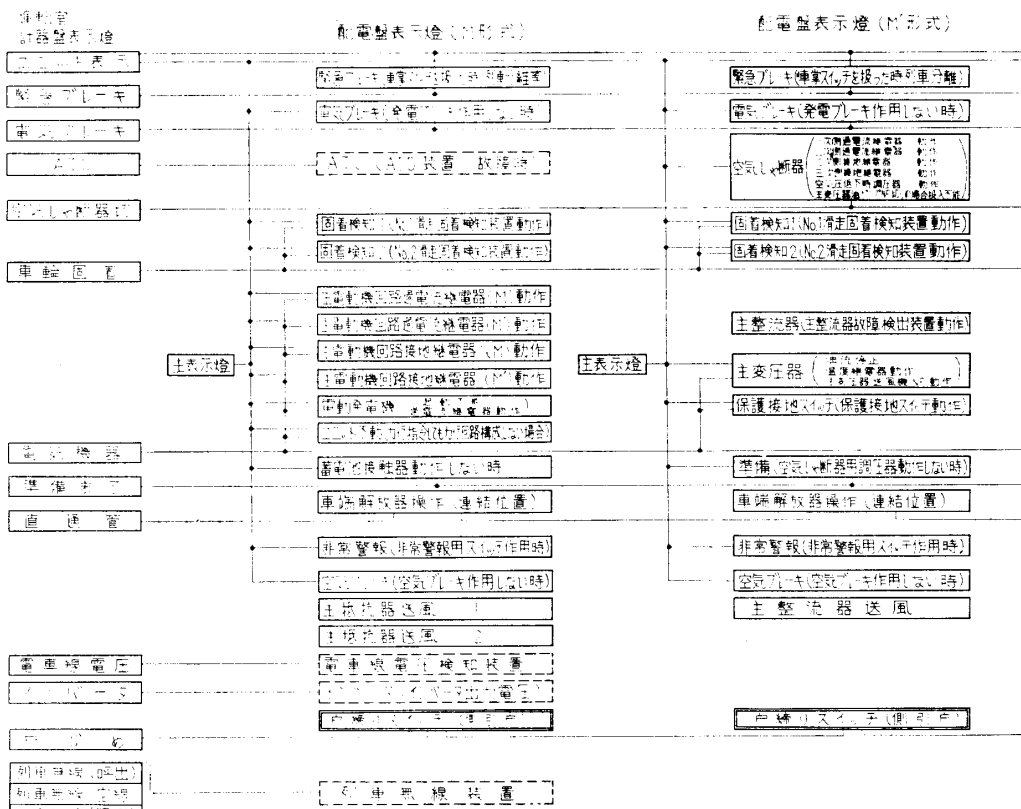
つぎに走行中架線垂下等の電車線事故を発見したときは、直ちに送電停止をさせる必要があり、このときは電車の保護接地スイッチを投入することによって電車線電圧を直接電車車体に接地させ、変電所の空気しゃ断器をトリップさせて停電させる。

電車内機器の故障については主変圧器一次電流およびシリコン整流器入力電流が過大となったとき、二、三次側負荷回路に接地事故があったとき、および圧縮空気低下、主変圧器油ポンプモータ回路が開いたときなどは3サイクル以内で空気しゃ断器がトリップする。また主電動機回路の負荷電流が過大になったときおよびシリコン整流器、ブレーキ抵抗器用送風機の風量が低下したときは主回路のしゃ断器を開く。これら以外の機器故障に対しては表示燈によって警報を発する。

新幹線旅客電車は前にも述べたとおり独立した2両ユニットからなる multiple unit motor car train であるため、1編成の機器の数はきわめて多く、故障に際しては故障機器とその位置を乗務員に知らせる必要がある。そこで各車の配電盤には機器別に表示燈またはターゲットによって故障または動作内容を記憶保持させ、運転台には総括的に分類した姿で表示させ、かつ何番めのユニットであるかその位置も知らせる。第11図に運転台および各車



第10図 補助回転機接続



備考 1. 事故表示灯が点灯したときは同時に警報が鳴動する。
 2. 点灯した緊急ブレーキ、電気ブレーキ、ATC、空気しゃ断器、固着検知、電機機器が故障準備または事故の場合、電車線電圧、インバータおよび列車無線(時出、空線、強迫)表示灯は正常の場合のみが表示灯および直通管は正常運転中点灯する。
 3. は表示灯指示、
 は運転台付の車両に取り付けられる
 は各車の側面に取り付けられる

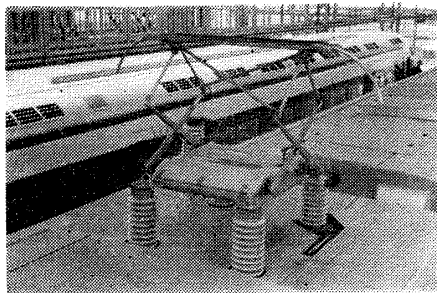
第11図 表示灯系統図

配電盤の表示灯系統図を示す。図において位置を知らせるユニット表示灯、緊急ブレーキ、電気ブレーキ、ATC、空気しゃ断器切、車輪固着および電機機器は事故表示灯であり、直通管、電車線電圧、インバータおよび戸じめは動作表示灯である。

3. 電機機器

3.1 パンタグラフ 安定な高速運転を行なう上にパンタグラフの集電性能は、電車線構造と相まって重要な課題のひとつであるが、量産車用のパンタグラフは四次にわたる風洞試験や3種の試作パンタグラフの現車試験をもとに設計したもので、つぎのような特徴をもっている。

- a) 電車線の状況から、作用高さの範囲が 500 mm であり、よいため、わく組寸法、主軸間距離が小さくなり、全体として非常に小形軽量となった。
- b) 全相当質量が小さくなり、このため共振による周期的な離線を生ずる限界速度、および離線速度が高くなった。
- c) 舟体の断面は長方形で、風速 60 m/s における押上力の変化は、2~3 kg の増をねらって高速時



手前の二本が空気かい管
 第12図 パンタグラフ

の離線を防ぎ、また迎え角による押上力の変化を極力小とした。

- d) 主ばねと並列に、オイルダンパ（下げに対して片きき）を1個入れて、上下動共振時の振幅の増加を防止した。
- e) すり板と平行にグリース受を設けた。
- f) 台わく全体を流線形の風防カバーに納め、風力による抗力の減少をはかった。

パンタグラフの主要諸元はつぎのとおりである。
 上昇方式 ばね上昇式
 高さ(がいし取付面から)

折りたたみ	250 mm
最低作用	550 mm
標準作用	750 mm
最高作用	1 050 mm
突放し	1 100 mm
標準押上力	5.5 kg
全相当質量	1.1 kg s ² /m
組立総重量 (がいしを含まず)	118 kg

3.2 高圧機器 新幹線電車は最高電圧 30 kV と従来線の交流区間に比べて高い電圧が採用されているが、高圧機器のぎ装は今までにない独特の方法がとられている。すなわち屋根上に取り付けるのはパンタグラフ支持がいし 4 本 (うち 2 本は空気がい管兼用)、保護接地スイッチおよびケーブルヘッドのみとし、ブチルゴムケーブルで床下に設けた高圧機器箱へ高圧を引込み、この箱の中へ空気しゃ断器、避雷器、主変圧器一次プッシングを納めている。この理由としては、

- 高速走行時にパンタグラフの周囲に突起物を設けて気流を乱さないようにする。
- 将来予想される塩害に対して直接被害を受ける機器を少なくする。
- 空気調和装置を全車室に極力均等に配置して、車内の温度分布を平均化するため、高圧機器の屋根上占有面積を小さくする。
- すべての電気品を床下に集中し、点検に便利なようにする。

などをあげることができる。しかし、床下に特高圧部分が存在することは保守作業上危険が伴う欠点があるので、高圧機器箱にはさ錠をもうけ、車内の配電盤で保護接地スイッチの投入を行なってはじめてかぎが取り出せるようにし、1 車ごとにかぎの形を変えてある。

がいしは高速走行時および新幹線沿線の塩害状況が十分はあくできないので、従来線で使用しているものを電圧に比例して大きくし、さらに多少余裕をみて 9 枚ひだのものを使用している。また内面ろうえい距離

を大きくとった新しい形の空気がい管を開発し、しかもパンタグラフ支持がいしと共用できる構造にし、屋根上に取り付けるがいし数をケーブルヘッドを含めて 5 本のみにするのができた。

空気しゃ断器は床下に取り付ける関係で横形にし、しゃ断部には耐アーク性の強いエポキシ積層管を使うなど軽量化を行なっている。しゃ断部には並列に非直線抵抗を接続して開閉サージを抑制しており、またしゃ断時の音響で乗客に不安を与えないよう消音装置付である。主要要目は次のとおりである。

- 定格電圧 30 kV
- 定格電流 200 A
- 定格しゃ断容量 100 MVA
- 定格投入容量 10 000 A 以上
- 定格開極時間 0.04 s
- 定格しゃ断時間 3 c/s
- 定格操作圧力 8 kg/cm²
- 制御電圧 DC 100 V
- 無負荷投入時間 0.1 s 以下

避雷器は地上設備と協調をとり、小形で制御電圧 110 kV の高性能のものを使用している。床下に取り付けるため放電した場合に、がいしが破損することなく確実に動作する防爆構造をもうけている。

主要要目は次のとおりである。

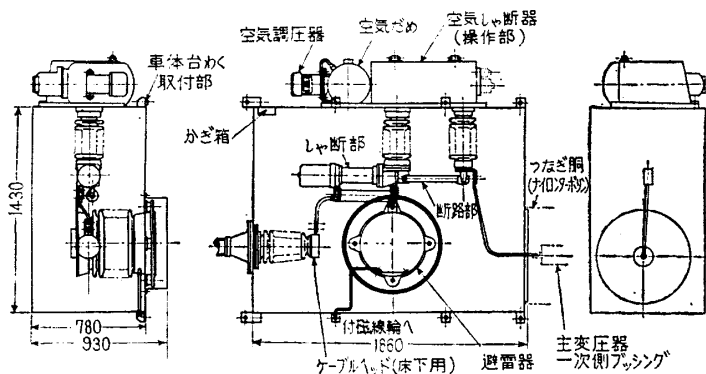
- 定格電圧 42 kV
- 公称放電電流 10 000 A
- 商用周波放電開始電圧 63 kV 以上
- 衝撃放電開始電圧 100% 110 kV 以下
- 緩波頭衝撃放電開始電圧 110 kV 以下
- 制御電圧 放電電流 5 kA 110 kV 以下
- 放電電流 10 kA 120 kV 以下
- 放電耐量

- 衝撃大電流 150 kA 5 × 10 μ 2 回
- 長波尾小電流 800 A 2 ms 20 回

そのほか屋根上には非常の場合にパンタグラフを接地し、また点検の際に特高圧回路を接地して人身事故を防ぐ目的で電磁空気式の保護接地スイッチをパンタグラフ支持がいしの 1 本に取り付けている。

3.3 主変圧器、タップ切換器 この電車の力行制御は低圧タップ切換による電圧制御のみによっており、抵抗制御および界磁制御は併用していない。

主変圧器の二次電圧は主電動機 4 台を直列接続で使用するため、直流電圧が定格点において 1 660 V になるように定め、タップ開電



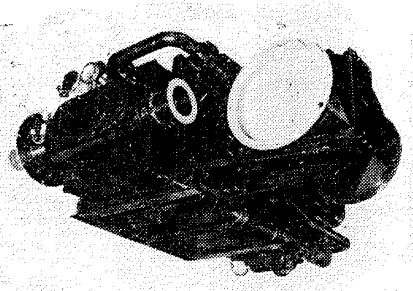
第 13 図 高圧機器箱機器配置

圧はタップ切換器の切換し χ 断器の極間電圧が 200V 以下になるよう選んでいる。

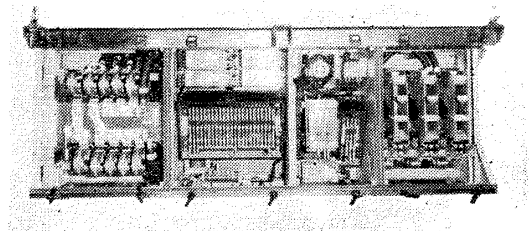
一方、三次巻線は单相誘導電動機を大幅に使用するため、変圧器としては変則であるが電圧変動率をきわめて小さくおさえ、補機が安定に運転できるよう考慮を払っている。

主変圧器の構造は床下に装備するため極力高さをきりつめ、かつ容量の割にきわめて軽量に作られている。外鉄形でいわゆるフォームフィット構造をとり、鉄心のしめつけをタンクで行なっているので、構造部材の占める重量が小さい特徴がある。タンクには高力鋼板を使って板厚を薄くしている。コイルはディスクコイルで、絶縁には耐熱絶縁紙を使い、温度上昇限度を 85 deg と高くとっており、絶縁油には添加剤入りの不燃性絶縁油(国鉄規格 SE 335)を使用している。

この変圧器の軽量化に大きな役割を果たしているものに付属品の軽量化があるが、その一つはエポキシ樹脂製高圧ブッシングの採用であり、もう一つは総アルミ製高能率冷却器の採用である。前者は準屋内用であることから従来の油入ブッシングのかわりに使用したもので、大きさ、重量とも軽減でき、機械的強度も大で、冷熱サイクルや機械的振動、電気的特性についても良好な結果がえられた。冷却器はメッシュフィン形と呼ばれているもので、アルミニウムをブレードングによって一体構造としたもので、熱交換係数がきわめて大きく、軽量である。主変圧器配管との接続には冷却器に加わる熱応力や組立時の応力を小さくするようステンレス製のたわみ管を使用している。



右側はアルミニウム製冷却器
第 14 図 主変圧器外観



左端が選択用接触器、右端が切換し χ 断器
第 15 図 タップ切換器外観

主要要目は次のとおりである。

定 格	連続定格	
周 波 数	60 c/s	
定格容量	一次側	1650 kVA
	二次側	1500 kVA
	三次側	150 kVA
電 圧	一次側	25 kV
	二次側	F 2435-R 2261
	三次側	以下 348V まで計 13 タップ
電 流	一次側	66 A
	二次側	663 A
	三次側	646 A

タップ切換器は大電流(1000A)し χ 断、多ひん度動作の切換接触器の実用化のみとおしが得られたので、切換用リアクトルを1個使用した1リアクトル方式を採用し、タップ数13に対して、25の制御段を有している。

構造は電動カム軸式で、カム電動機の制御には SCR 式無接点制御装置を使用している。接触器は切換用し χ 断器(Tスイッチ)3個、組合せおよび選択用接触器(K,S スイッチ)10個を有し、選択用接触器は通電のみを行ない、し χ 断器で限流リアクトルの循環電流および負荷電流のし χ 断を行ないながら進段する。切換用し χ 断器は常時閉路形のカム接触器で高ひん度し χ 断に耐えるよう、主接触子とアーク接触子を別にしようけ、接触子の取付角度はじんあいによる接触不良防止のため、水平に対して60°上方を向けてある。選択用接触器は切換用し χ 断器と同じく常時閉路形のカム接触器で、通電容量が大きい主接触子にフルフローティング構造を用いている。

箱わくは軽量で十分な剛性をもたせるため、鋼板を合理的に組合わせた溶接構造とし、交流電流による温度上昇を防ぐため非磁性材料等を部分的に使用している。点検カバーにはアルミ板を用い、防じんのために密閉構造としているが、トンネル通過時の気圧変動によってカバーが開くのを防ぐため気圧バランス用の通気フィルタをもうけている。

主要要目は次のとおりである。

方 式	電動カム軸式
制 御 段 数	25 ステップ
平均進段時間	0.5~0.7 秒/ステップ
定格主回路電圧	AC 2261V
定格主回路電流	700 A
制御回路電圧	DC および AC 100V
切換し χ 断器極間電圧	174V

切換しゃ断器定格電流	850 A
選択用接触器極間電圧	1 044 V
選択用接触器定格電流	850 A

切換に使用する限流リアクトルはH種の乾式リアクトルで、循環電流を366 Aに制限する。構造的には鉄心キャップを車体床面と水平に配置して、磁気振動の車体に与える影響を少なくするよう考慮している。

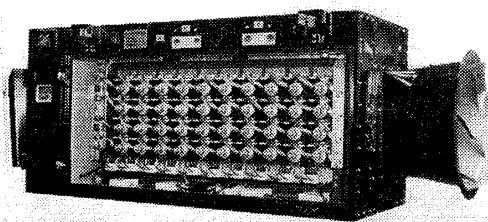
3.4 シリコン整流装置 この電車はシリコン整流器式で、素子には国鉄車両用として標準化した大容量素子を使用している。

方式	単相ブリッジ結線風冷式
容量	1 627 kW
直流電圧	1 660 V
直流電流	980 A 連続
周波数	60 c/s
冷却風量	45 m ³ /min×2
素子構成	10 S×4 P×4 A

特徴を上げれば次のような点である。

- 網目接続を採用、並列4素子間をお互いに結び付属部品点数を少なくして装置を簡単にした。
- コンデンサ分圧を採用、直列にダンピング用の低抵抗を接続している。
- 各社の素子が混用できるようにした。
- 冷却効果のよいひだ付アルミ冷却フィンを採用した。
- 降電時の接地事故などをなくすためスタックを二重絶縁構造とした。
- 風速リレーによって冷却風を直接チェックしている。
- 故障検出は差動CTにより中点電位の変化を検出し、SCRを使った無接点継電器を動作させて、素子故障を表示する。

整流装置は2箱にわかれ、それぞれ2アーム分の素子および付属品を収納している。箱は車体床下に進行方向と直角に取付けられ、冷却空気は高速走行時の風取入損失増が少なく、雨雪の侵入を妨げる対向V形エリミネータとフィルタを通して、2段軸流形送風機によって整流器に送り込んでいる。



第16図 シリコン整流器外観

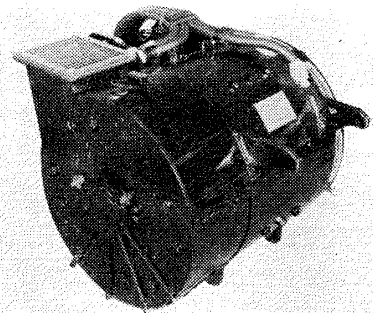
素子は3社のものを使用しているが、いずれも車両用としてヒートサイクルに強い構造で、取付は同一であり、同一並列の4個を同じ社の素子にする必要はあるが、直列方向に対してはすべて混用できるようにしてある。素子の主要要目は次のとおりである。

商用周波逆耐圧(波高値)	1 200 V 以上
衝撃波耐圧(波高値)	1 500 V 以上
連続定格順電流(半波平均値)	280 A
ジャンクション最高許容温度	150°C 以上

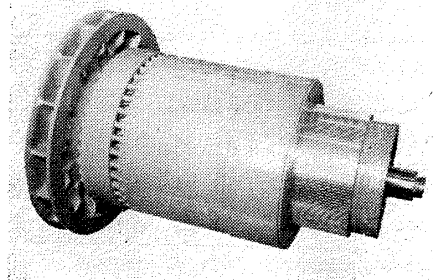
3.5 主電動機および主平滑リアクトル 新幹線電車の主電動機は台車装架式の高連脈流電動機で、可とう歯車継手(WN)をへて駆動装置と連結されている。1両分4個の電動機は永久直列接続で、力行時には50%の高い脈流率で運転されるため、主極に抵抗分路をもうけて主極電流を平滑化しているほか、磁束の追従性を良くし、鉄損を少なくするため磁気わくの一部分をけい素鋼板で積層した半積層ヨークを使用している。ブレーキ時には分路抵抗を除いた状態で抵抗発電ブレーキを行なう。

構造的には次のような特徴を有する。

- 磁気わくを厚みの約半分だけけい素鋼板で積層した。
- 固定子ファイルはエポキシ樹脂で固着し、放熱がよく、強固な構造とした。
- バインド線はポリエステルガラスバインドとした。
- 整流子締付にはリングばねを使用、高速回転の



第17図 主電動機外観



第18図 主電動機電機子

常用に対して安定な構造とした。

- e) 電動機を台車からはずさないで軸受の洗浄およびグリースの交換ができる構造とした。
f) ブラシの構造を改良し、ダストによる固渋が少なくなるようにした。

主要要目は次のとおりである。

方 式	脈流直巻補極付	
主 極 数	4	
通 風 方 式	開放自己通風式	
動力伝達方式	可とう歯車継手式	
装 架 方 式	台車装架式	
絶縁種別	F種 (固定子はエポキシ樹脂固着)	
連 続 定 格	出 力	185 kW
	電 圧	415 V
	電 流	490 A
	回 転 数	2 200 rpm
	脈 流 率	50%
	周 波 数	60 c/s×2
	界磁分流率	10% (純抵抗分路)
重 量	870 kg	

主平滑リアクトルも高い脈流率で使用するために、従来のような直流リアクトル的設計では十分ではなく、鉄損やか流損を小さくおさえる必要がある。この電車では軽量化に重点を置いて、鉄心の閉路していないいわゆるオープンコア形リアクトルとした。リアクトルは回路ごとにもうけてあり、1ユニット(2回路分)2個をならべて取付けるが、外部へのろうえい磁束を少なくするため、両方の極性が逆になるように接続している。

鉄心は接着鉄心で、磁束ができるだけけい素鋼板の面を貫通しないよう、積層方向を90°変えた鉄心を組合わせて、十形に構成している。コイルは無溶剤のエポキシ樹脂で固着したディスクコイルで、放熱特性が良く、機械的強度も大で、枯れがほとんどない。わくにはアルミ合金鋳物を使用し、構造重量をいちじるしく軽減している。

主要要目は次のとおりである。

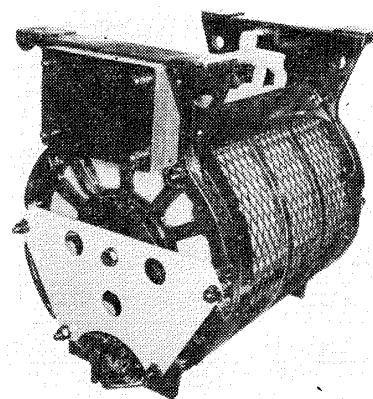
方 式	内鉄(オープンコア)形	
冷却方式	乾式 自冷式	
絶縁種別	F種(エポキシ樹脂固着)	
連 続 定 格	インダクタンス	6.5 mH (490 A において)
	電 流	345 A
	回路電圧	1 660 V
	脈 流 率	50%
	周 波 数	60 c/s×2
重 量	430 kg	

3.6 シャ断器, 主制御器および主抵抗器 この電車の力行時の電圧制御はタップ切換器によっているが、主電動機回路の切入はシャ断器で、前後進切換および発電ブレーキの制御は主制御器によって行なう。

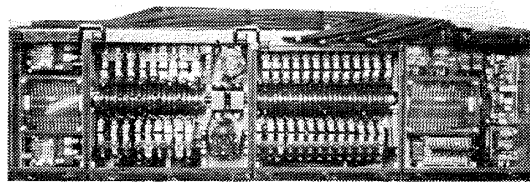
シャ断器は単位スイッチ8個を1箱にまとめたもので、力行回路は減流三重シャ断、ブレーキ回路は二重シャ断を行なう。

主制御器は1ユニットに1台であるが、各車別に制御できるようになっている。方式は2電動機操作カム軸式で前後進を切換えるPB転換カム軸で抵抗カム軸より構成されている。その特徴としては

- 電空式の回路切換器をいっさい使用せずすべて電動式とした。
- 主制御器の取付けには二重絶縁を行っていない。
- 常時スポッティングを行ない、電気ブレーキ時の空走時間の短縮をはかった。
- 回路切換とブレーキ抵抗制御を別個の操作電動機で行ない、回路切換は前進力行、前進ブレーキ、後進力行、後進ブレーキの4位置をカム軸1回転で3回行なえるようにしむだ時間の短縮をはかった。
- 従来用いられている限流継電器を使用せず、直流変流器と磁気増幅器を含む無接点の限流値制御装置を用いている。
- カム軸の制御回路接点はカム式2重接点とし、



第19図 主平滑リアクトル外観



中央左側がPB転換用接触器, 右側が抵抗短絡用接触器

第20図 主制御器外観

接触動作を確実にした。

- g) 制御器箱を一体溶接構造とし軽量化をはかった。
- h) 制御回路接点，継電器等に防じんカバーを取付け，箱には通気用フィルタを取付けてタップ切換器と同様，ごみの害を防いだ。

主抵抗器は熱放散のよい波形抵抗体を使った強制通風式抵抗器で，1車分を1箱にまとめており，力行時には一部分を界磁分路抵抗としても使用する。抵抗体の材料としては特殊鋳鉄と抵抗用鋼板を併用しており，いずれも温度上昇限度いっぱい設計して重量をきりつめている。

箱は雪害等による接地事故をなくするため二重絶縁とし，がいしで全体をつり下げる構造にしている。排風温度が高いため塗料には耐熱塗料を使用，冷却風の検出には風速リレーを送風機との間に取付けている。送風機は小形で良好な特性をもつ2段軸流形電動送風機を使用，冷却風量は 105 m³/min である。

3.7 交流補助回転機 この電車は運転用の補機のほかに冷暖房用の空気調和装置を数多く設備しているので，補機回路をいかに構成するかが大きな問題の一つである。従来の電車や試作車両ではサービス機器の電源は電動発電機より供給しており，3相誘導電動機を使用していたが，この電車では電動発電機を最小容量にとどめ，全体の重量を軽減するためすべての補機を単相誘導電動機とした。したがって一つの主変圧器には約 120 台の誘導電動機が接続されることになり，総容量は 120 kVA に達する。車両のように電圧変動が ±20% にも及ぶ電源で，単相誘導電動機を使用するのはきわめてむずかしい問題を含んでいるが，周波数を 60 c/s に統一した利点の一つは車両の電気機器を簡略，小形化できることであり，保守が簡単で重量容積とも小さい誘導電動機を広く活用している。

電動発電機は途中の切換セクションを通過するたびに電車線が瞬時停電するので，サービス上無停電とする必要のある照明電源，および電圧変動率を小さくする必要のある蓄電池充電電源に使用している。容量は

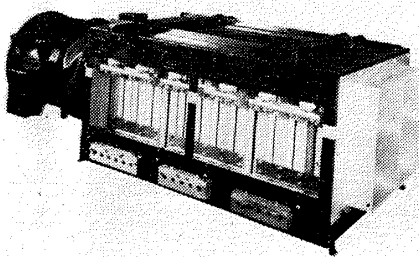
20 kVA で電動機側はコンデンサ起動形のかご形電動機，発電機側は回転界磁式の2相交流発電機で，単相負荷が多いので3相発電機とせず，2相3線式を採用している。付属装置と起動装置と自動電圧調整装置があるが，起動装置は回転数を検出して起動コンデンサを開放するようになっている。電圧調整は SCPT（可飽和電流電圧変成器）によっており，負荷電流，負荷力率の変化に応じて出力電圧を ±5% の範囲に保つ調整能力を有している。

主要要目は次のとおりである。

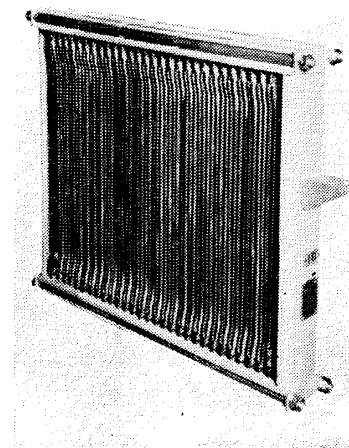
	電動機	発電機
方 式	かご形誘導電動機	回転界磁式
通風方式	開放自己通風形	
連続定格	出力	21 kW
	電 圧	220 V
	電 流	135 A
	相 数	1
	回転数	1 800 rpm
力 率	—	0.9
極 数	4	4
絶縁種別	B種	B種
起動コンデンサ容量	2 000 μF	—

電動発電機の次に容量が大きいのは電動空気圧縮機で，圧縮機は対向4シリンダで 1 000 l/min の容量のものである。電動機とはゴムタイヤ形カップリングで連結されており，起動時には必要な起動トルクを小さくするためアンローダを作用させて背圧を 0 にし，回転数が上昇してのち遠心力スイッチによってアンローダを閉じるようになっている。それでもピストンの摩擦が大きいため，かなり大きな起動トルクを必要とし，高抵抗アルミダイカストロータを使用して起動トルクを高くとっている。

主要要目は次のとおりである。



第21図 主抵抗器外観



第22図 主抵抗器抵抗箱

方 式	かご形コンデンサ電動機	
通風方式	全閉自冷形	
相 数	1	
極 数	6	
30分定格	出力	6.5 kW
	電 圧	220 V
	電 流	37 A
	周波数	60 c/s
回転数	1 140 rpm	
絶縁種別	B種	
コンデンサ容量	300 μ F	

数ある電動送風機および電動油ポンプも、すべてコンデンサ電動機を使用しており、電気機器冷却用の電動送風機は占有面積を小さくするため、2段軸流形のプロペラファンを使用している。換気送風機は車体気密化のための締切弁と組合せて使用されるもので、屋根上に取付けられる。

これらの諸元は次のとおりである。

	主変圧器 整流器用	主抵抗器 用	換気用
方 式	単相かご形誘導電動機		
通風方式	全閉外扇形		
出 力 kW	1.1	2.2	0.75
極 数	4	4	2
送 風 機	軸流二段形		多翼形
送風機静圧 mmAq	60/55	60	50
風 量 m ³ /min	45/60	105	16

電動油ポンプは不燃性油用の油浸形電動機を使用しており、出力 2 kW、ポンプはうず巻形で総揚程 4 m (不燃性油)、吐出し量 700 l/min である。コイルも耐不燃性油の絶縁材料を使用しているが、ケーシングもステンレス鋳物を用いている。

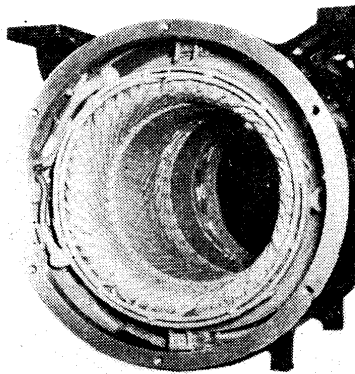
3.8 インバータ 新幹線電車は ATC 装置や列車無線を備えているが、これらの装置は無停電電源を必

要とするので、蓄電池 (100 V) を電源として単相 60 c/s, 100 V に変換するインバータを先頭車運転室内に備えている。このインバータは回転形を使用しており、一編成に 2 台取付けられているわけであるが、並列運転形が困難なので常時は運転士のいる側の 1 台で給電し、他方は無負荷運転状態としておき、故障の際や電圧が 85 V 以下となった場合は、自動的に切り換えが行なわれるよう回路が組まれている。

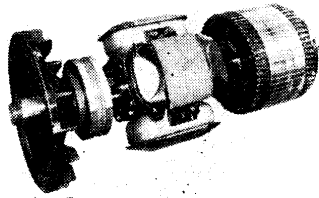
負荷のおもなものは ATC 装置、ブレーキパタン発生装置、列車無線装置、地点検知装置、滑走固着検知装置などで、いずれも電圧変動を小さくおさえる必要があるため、発電機には直巻界磁と和動および差動に働く二つの他励界磁巻線を設け、この他励界磁巻線を CPT とトランジスタを使用してプッシュプルに制御し、良好な過渡特性を得ている。また、このインバータは常時は電動発電機を電源とする整流装置 (蓄電池充電用) を通じて給電されるが、蓄電池のみでも起動できるように最低起動電圧を 50 V とし、また起動電流の最大値を低くおさえている。

主要要目は次のとおりである。

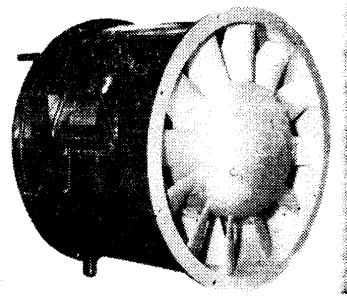
	電動機	発電機
方 式	直流直巻他励補極付	回転電機子式
通風方式	開放自己通風式	
極 数	2	2
連続定格	出力	4.5 kW
	電 圧 V	DC 100
	電 流 A	55
	回転数 rpm	3 600
力 率	—	0.9
相 数	—	1
周波数	—	60
最大負荷	—	5.0 kVA
絶縁種別	E種	



手前は発電機側
第23図 電動発電機固定子



右端が電動機、かご形回転子、
中央が発電機界磁
第24図 電動発電機回転子



第25図 二段軸流形電動送風機
(主抵抗器用)