

## ED 71 形 交 流 電 気 機 関 車

## Type ED 71 A.C. Electric Locomotives

伊 沢 省 二\* 水 越 正 義\*

Shōji Izawa

Masayoshi Mizukoshi

浅 野 弘\*\* 河 井 貞 治\*\*

Hiroshi Asano

Sadaharu Kawai

## 内 容 梗 概

このほど完成した ED 71 形交流電気機関車は、わが国最初の幹線用交流機関車であり、客貨両用で使用され、重量列車を牽引する必要から機関車出力も記録的に増大されているばかりでなく、各種の新設計が適用されている。たとえば平滑起動のため低速ノッチに水銀整流器の格子制御を採用したこと、粘着特性向上のため軸重補償および空転検知装置を装備したことなどである。

さらに大容量機に適した高圧タップ切換方式を採用し、また重連総括制御に磁気増幅器を利用した特殊なノッチ追従制御方式を開発するなど、そのほか多くの新方式を採り入れた本機関車は、今後の交流電気機関車の方向を決定するものとして注目されると考えられる。

## 1. 緒 言

わが国の商用周波による交流電化も、国鉄仙山線における発足以来、着々進展し、北陸線の一部に引き続き東北本線の黒磯以北も同方式により電化されることになった。

ED 71 形交流電気機関車はこの状況に応ずるため、はじめて幹線用として設計された機関車で、このほど3両製作することになり、そのうち1両 (ED 711 号車) が日立製作所において完成した。

今回製作された3両はいずれも各部品は極力統一された標準部品を使用し、交流電気機関車としてはじめて統一設計の原則のもとに製作された機関車である。

しかし一部の機器、すなわち主変圧器、水銀整流器、および制御装置の一部は各製作会社の独自の設計が採用されているので、これらの機器については今後の実績検討をまつことになろう。

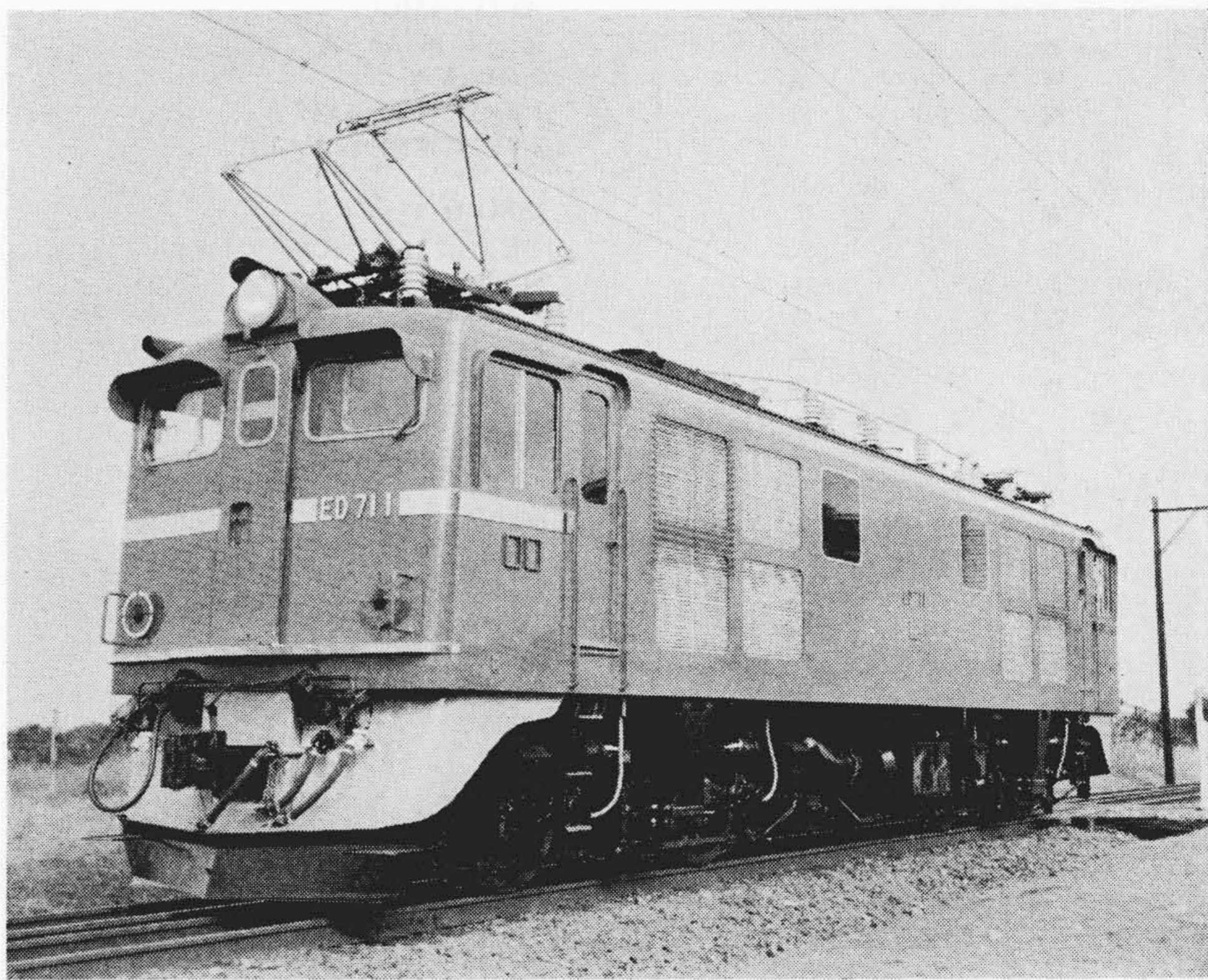
以下 ED 711 号車の概要について紹介する。

## 2. 一般仕様および性能

機関車の一般仕様を第1表に示す。第1図は機関車の外観を示す。

\* 日立製作所水戸工場

\*\* 日立製作所日立工場



第1図 機 関 車 外 観

また第2表はこれまでの国産交流機関車の比較を示すもので、ED 71 形においては従来のものに比して機関車出力が大幅に増大され、10%の勾配を含む幹線で1,100 tの貨物列車を所定の速度で牽引できるよう特に粘着特性の向上に考慮が払われている。

速度-引張力曲線は第2図、ノッチ曲線を第3図に示す。10%勾配における荷重曲線を従来の機関車に比較すると第4図のようになる。

## 3. 特 長

本機関車が従来の交流電気機関車と比べて、特長とする点をあげると下記のとおりである。



第2表 国内交流機関車の比較（順序は製作年月順）

機 関 車	ED 441	ED 451	ED 4511	ED 4521	ED 70 形	ED 711 形
項 目						
機 関 車 形 式	直 接 式	整 流 器 式	整 流 器 式	整 流 器 式	整 流 器 式	整 流 器 式
製 作 メ ー カ ー	日 立	M 社	T 社	日 立	M 社	日 立
電 気 方 式	単 相 交 流 20 kV, 50~	単 相 交 流 20 kV, 50~	単 相 交 流 20 kV, 50~	単 相 交 流 20 kV, 50~または60~	単 相 交 流 20 kV, 60~	単 相 交 流 20 kV, 50~
用 途 お よ び 軸 配 置	客 貨, B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub>	客 貨, B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub>	客 貨, B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub>	客 貨, B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub>	客 貨, B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub>	客 貨, B-B
連 続 定 格 出 力	1,120 kW	1,000 kW	1,100 kW	1,500 kW	1,500 kW	1,900 kW
連 続 定 格 速 度	54.9 km/h	35 km/h	47 km/h	39.8 km/h	36.5 km/h	42.5 km/h
連 続 定 格 牽 引 力	7,260 kg	10,600 kg	8,600 kg	13,440 kg	14,700 kg	16,000 kg
最 高 運 転 速 度	70 km/h	85 km/h	100 km/h	100 km/h	90 km/h	95 km/h
機 関 車 重 量	60 t	60 t	60 t	60 t	62 t	64 t
機 関 車 全 長	13.5 m	14.2 m	13.2 m	13.8 m	14.26 m	14.4 m
電 動 機 支 持	釣 掛 式	台 車 装 架	釣 掛 式	台 車 装 架	台 車 装 架	台 車 装 架
制 御 方 式	低 圧 タ ッ プ 切 替 電 圧 制 御	低 圧 タ ッ プ 切 替 電 圧 制 御 位 相 制 御	低 圧 タ ッ プ 切 替 電 圧 制 御 抵 抗 制 御	高 圧 タ ッ プ 切 替 電 圧 制 御	低 圧 タ ッ プ 切 替 電 圧 制 御 位 相 制 御	高 圧 タ ッ プ 切 替 電 圧 制 御 位 相 制 御
ノ ッ チ 数	16	35	32	35	34	10(30)+25
整 流 器	—	液 冷 式 イ グ ナ イ ト ロ ン	風 冷 式 イ グ ナ イ ト ロ ン	風 冷 式 エ ク サ イ ト ロ ン	液 冷 式 イ グ ナ イ ト ロ ン	風 冷 式 エ ク サ イ ト ロ ン
主 回 路 結 線 方 式	—	ユ ニ ッ ト	グ ル ー プ	グ ル ー プ	ユ ニ ッ ト	ユ ニ ッ ト
単 位 重 量 あ た り 連 続 出 力	18.7 kW/t	16.7 kW/t	18.3 kW/t	25.0 kW/t	24.2 kW/t	29.7 kW/t

3.1 大 容 量

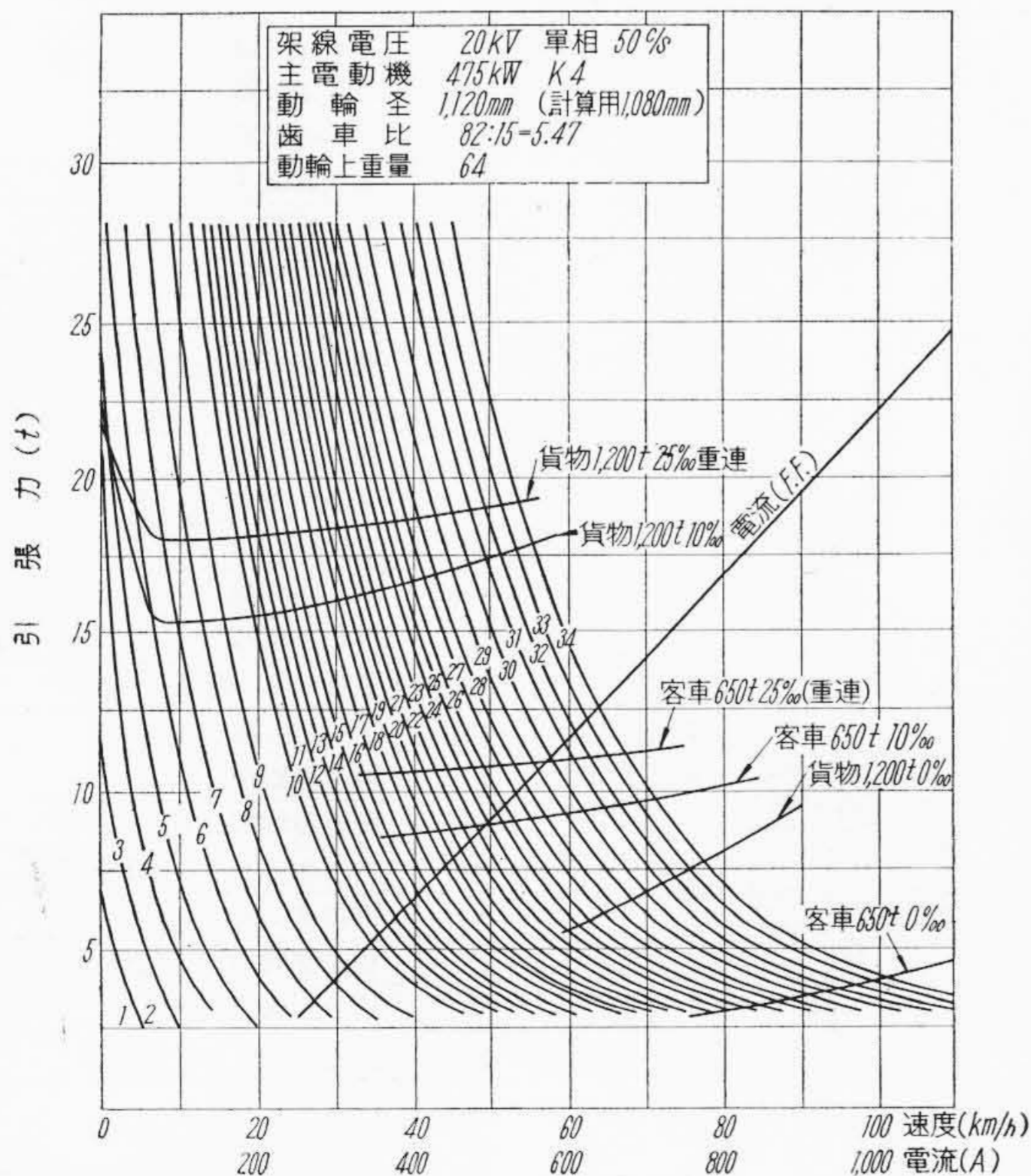
1時間定格 2,040 kW，連続定格 1,900 kW で狭軌用としては記録的な大容量機であり，4軸 64 t 級としては最大の性能を有する機関車である。

3.2 粘着性能の向上

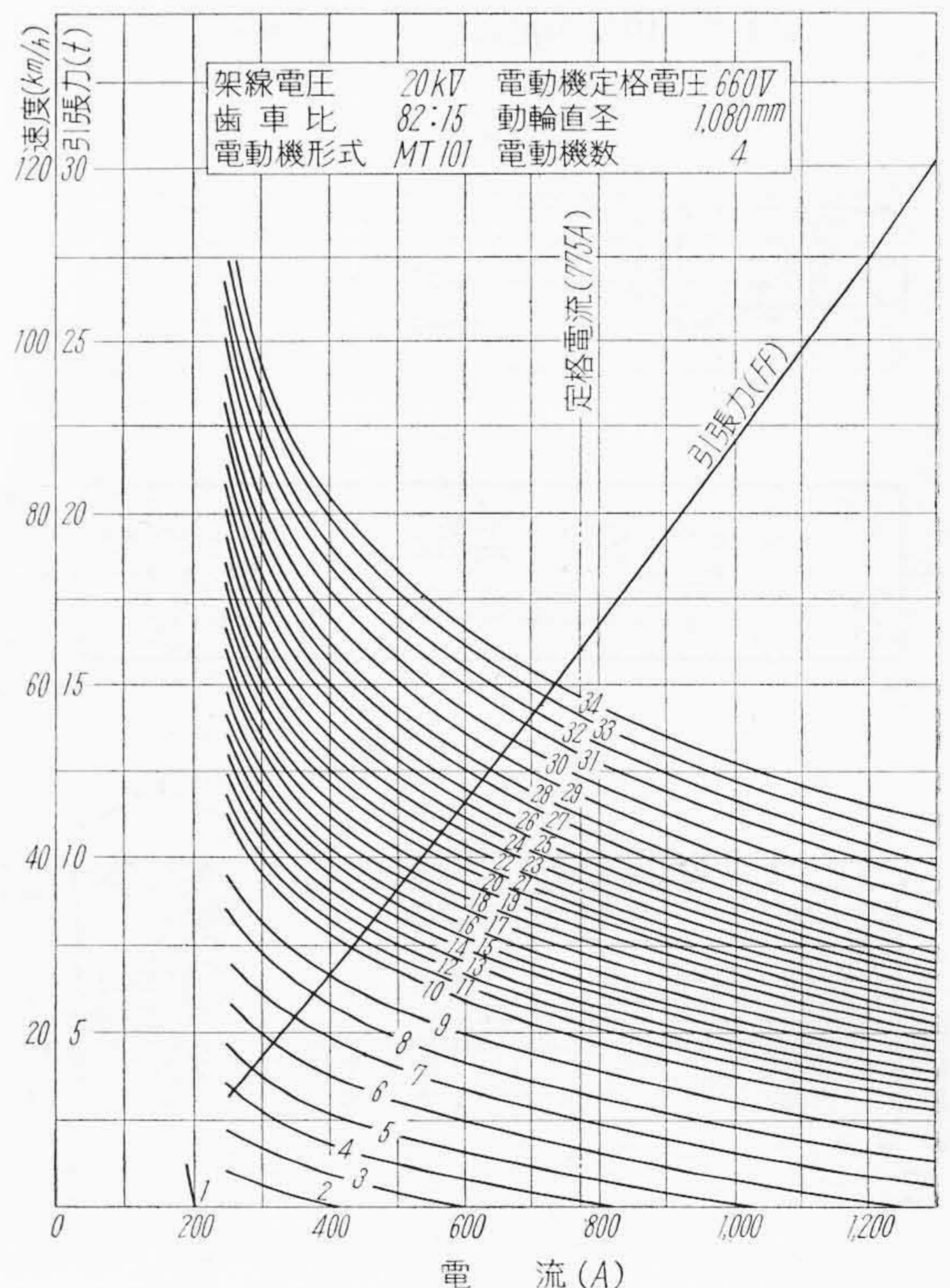
従来より整流器式交流機関車は直流機関車に比し，粘着性能がすぐれていることがわかっていたが，ED 71 においては勾配引出時の期待粘着係数として40%程度を必

要とするため，さらに次のような考慮が払われている。

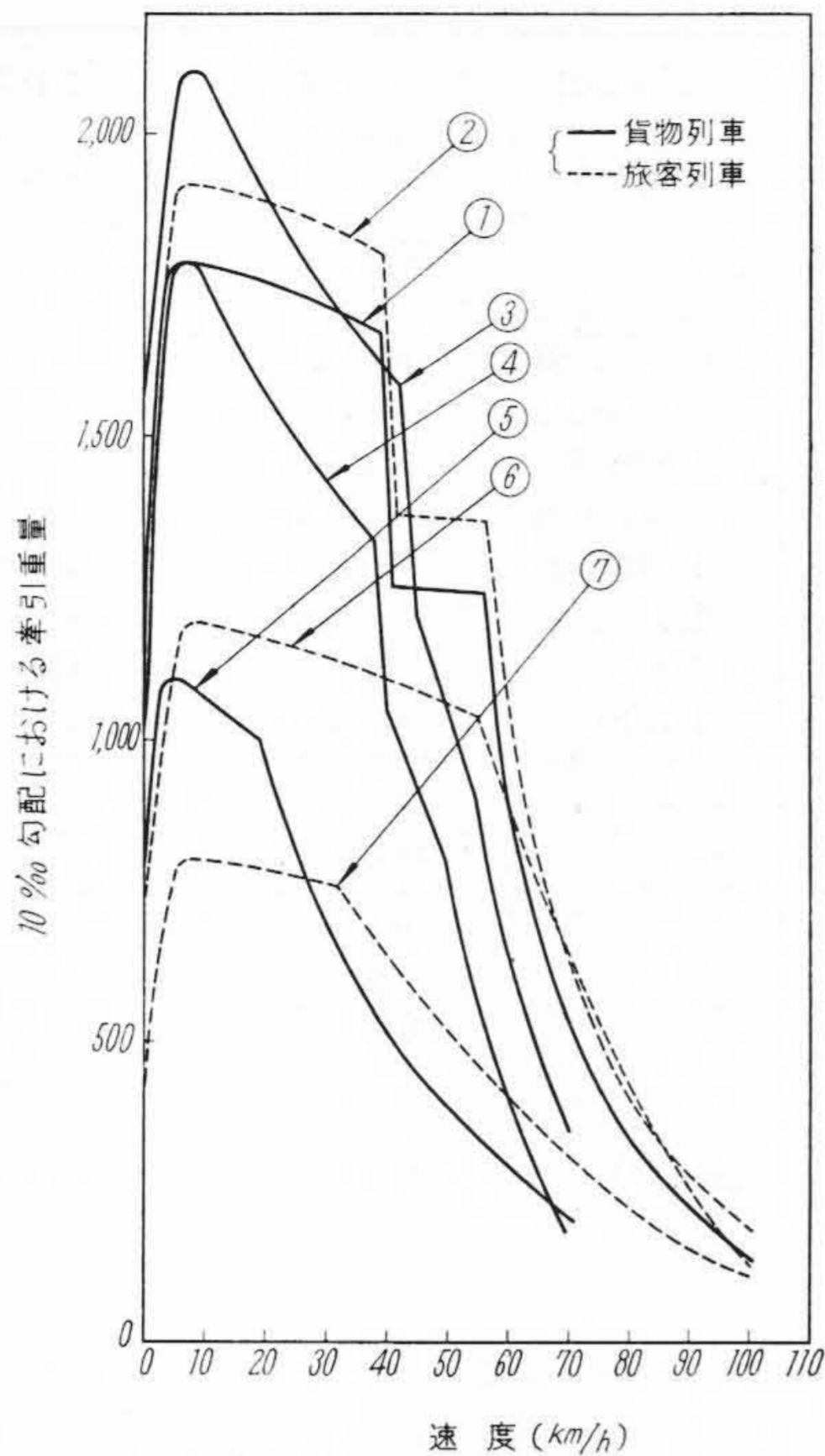
- (1) 水銀整流器の格子制御および高圧タップ切換器の採用により，ノッチレスに近い超多段式（実際のノッチ数は54）電圧制御を行っている。
- (2) 台車構造は ED 441 以来開発してきた側受支持



第2図 速度—引張力曲線

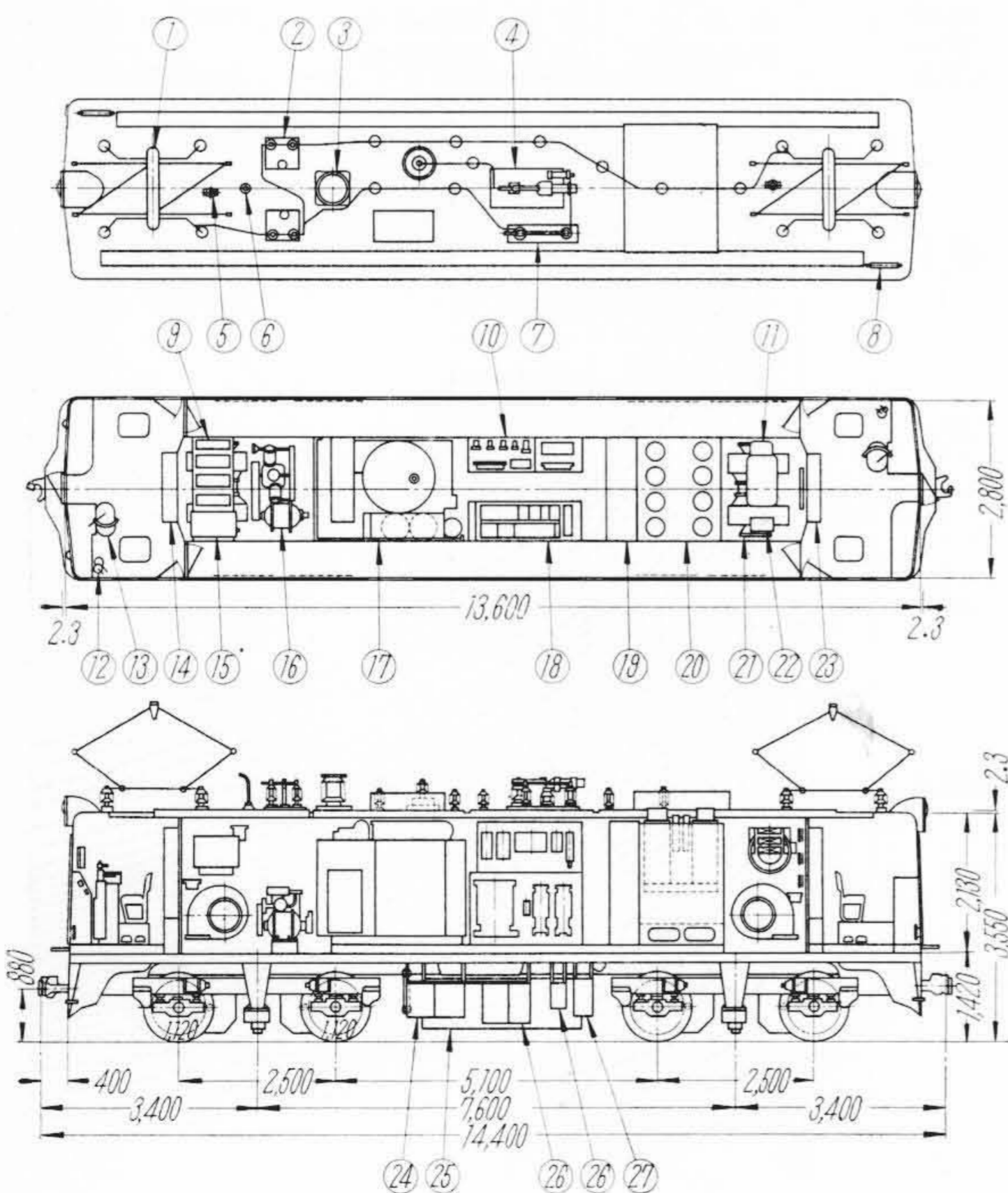


第3図 ノッチ曲線

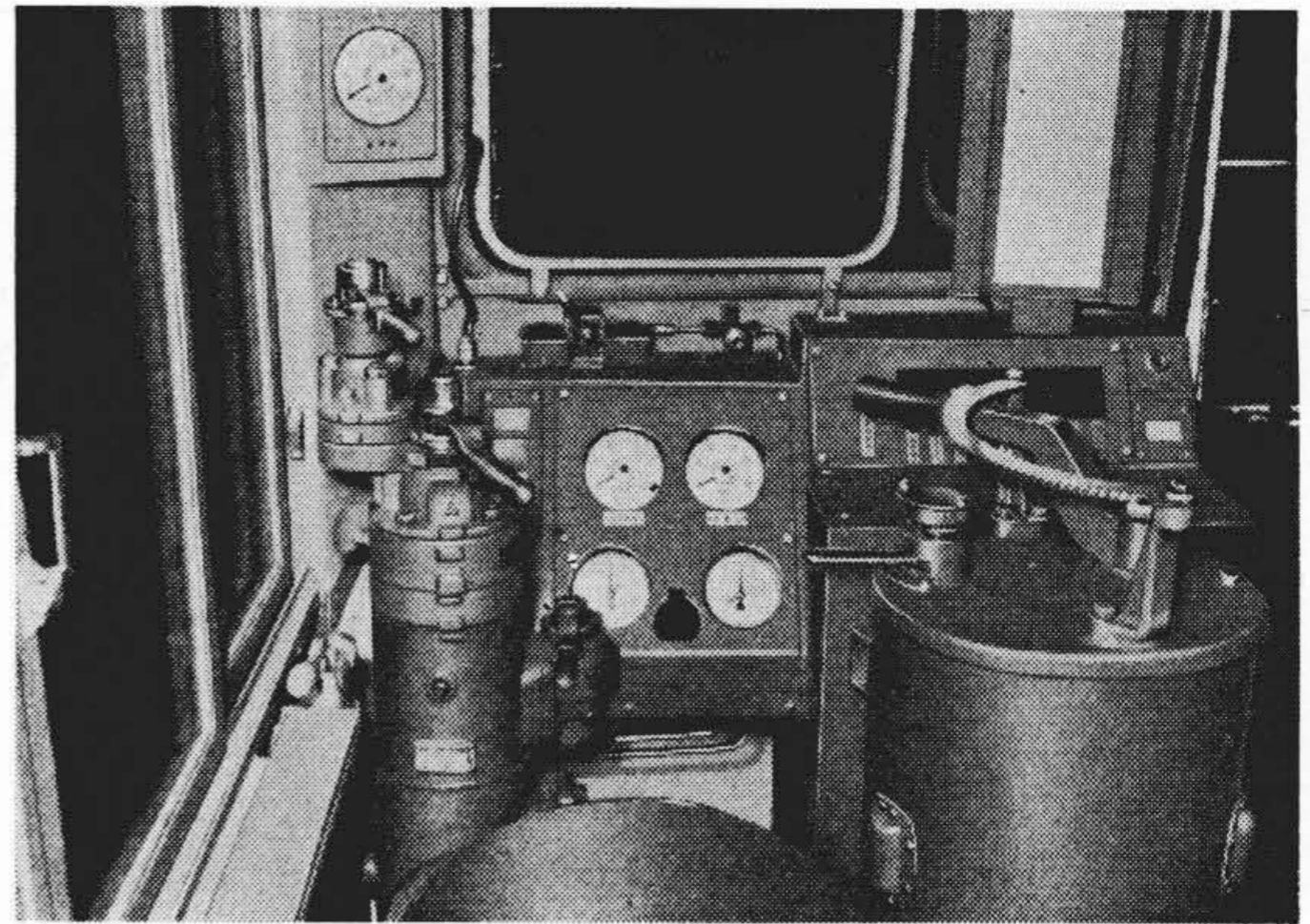


- ① ED 71 形交流機関車 (B<sub>0</sub>B<sub>0</sub> 形 64 t)
- ② EH 10 形直流機関車 (B<sub>0</sub>B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub>B<sub>0</sub> 形 120 t)
- ③ EF 15 形直流機関車 (1C C<sub>1</sub> 形 102 t)
- ④ D 51 形蒸気機関車 (1D<sub>1</sub> 形 124 t)
- ⑤ EF 58 形直流機関車 (2C C<sub>2</sub> 形 115 t)
- ⑥ C 62 形蒸気機関車 (2C<sub>2</sub> 形 137 t)

第 4 図 10% 勾配における荷重曲線



第 5 図 機 器 配 置



第 6 図 運 転 室 配 置

構造を採用し、心皿位置を特に低くし、車体と台車間の引張り伝達高さをレール面上 334mmにまで下げることにより、軸重移動量を減少させている。

(3) 駆動装置は ED 4521 と同様、バネ入り固定中空軸式を採用して引張力の衝撃的变化をおさえている。

(4) 電気的軸重補償装置を設けて機械的構造によって生ずる軸重の移動量に比例するように各軸のトルクを制御している。

(5) 動輪の空転が発生した場合も、敏感な空転検知装置により検出し、大空転にいたれば自動的に水銀整流器の格子を制御して再粘着させる。

(6) 主変圧器の電圧変動率を、低速ノッチにおいて

照 号	名 称
①	パンタグラフ
②	断 路 器
③	避 雷 器
④	空 気 遮 断 器
⑤	空 気 管 碍 子
⑥	電車線電圧検知用アンテナ
⑦	主ヒューズ
⑧	笛
⑨	交流側フィルタコンデンサ
⑩	第 2 機器枠
⑪	相 変 換 機
⑫	ブレーキ弁
⑬	主幹制御器
⑭	第 1 制御箱
⑮	位相制御器
⑯	電動空気圧縮機
⑰	主 変 圧 器
⑱	第 1 機器枠
⑲	整流器制御装置
⑳	エクサイترون水銀整流器
㉑	電動送風機
㉒	相変換機用起動抵抗器
㉓	第 2 制御箱
㉔	交流側フィルタ抵抗器
㉕	直流リアクトル
㉖	軸重補償用抵抗器
㉗	界磁分流抵抗器

特に改善し、起動時の空転再粘着をはかっている。

(7) 水銀整流器および直流リアクトルは主電動機ごとに別回路とし、再粘着性能を向上させている。

### 3.3 高圧タップ切換器の採用

高圧タップ切換方式は、先に記した多段式速度制御に対する利点のほかに、ED 71 のような大容量機においては床面積、重量ともに低圧タップ切換方式より有利となる。またカム軸接触器は2個で保守が簡易である。

これらの点が認められて高圧タップ切換方式が採用された。

### 3.4 重連総括制御

2両の重連総括制御が可能であるが、速度制御装置として超多段式の電圧制御方式を採用したことと関連して、磁気増幅器を使用したノッチ追従装置と呼ばれる特殊な位置制御方式を開発した。

これにより引通し線の本数を数本にとどめることができた。

### 3.5 電気暖房

東北線用客車においては交流による電気暖房が採用されたので、本機関車においても主変圧器四次巻線として420 kW 1,500 Vの列車暖房用巻線を有しており、客車との連結は特に新設計のジャンパ連結器によっている。

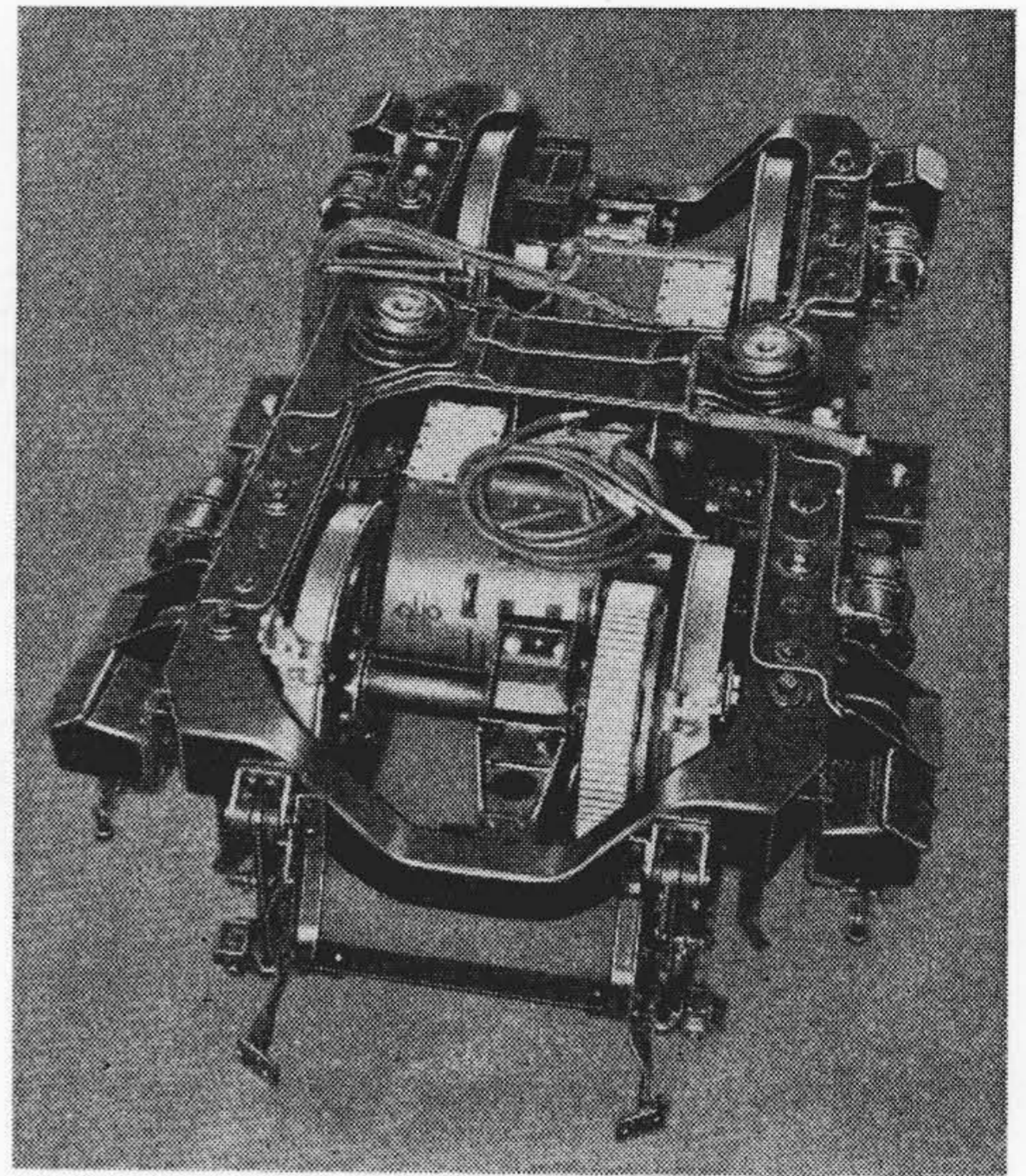
### 3.6 重量の軽減

連続定格出力1,900 kWの機器を64 t内に納めることは相当に困難であるが、車体台車はもちろん各電気機器も徹底した軽量化をはかり、所定の重量に納めることができた。

## 4. 機関車構造

### 4.1 機器配置

機関車の機器配置を第5図に示す。車体両端に運転室を設け、両運転室間は両側通路でつなぎ中央は機械室とし、第1端側より第1補機室、変圧器室、中央機械室、整流器室および第2補機室となっている。運転室は左運転席として前面の運転台には計器盤を設け、その右横には機関士使用のスイッチ類を配置し、左横および隅柱には表示灯、速度計を取り付けてある。助手側には手ブレーキハンドルのほか、テーブル内には小形空気圧縮機、ブレーキ部品などを配置し、第2端助手席テーブル上には記録式速度計を配置し、仕切壁に制御箱を設け、第1端制御箱にはスイッチ類、第2端制御箱には継電器類を主として配置してある。補機室には主電動機用送風機、空気圧縮機、相変換機そのほかを配置し、主変圧器は本体、補機、冷却装置およびタップ切換器を共通のベースに取り付けこのベースを車体床の取付台にボルトで固定してある。主変圧器は全周を保護板で囲み外部からは近づきにくくしてあり必要箇所には点検窓、マンホールな



第7図 台車組立

どが設けてある。主変圧器の冷却用空気は屋上より取り入れて床下に排気している。

整流器室は本体とその制御装置を一体として、車体床の取付台にボルトで固定し、エクサイトロンタンク冷却用空気は本体下部より室内空気を採って屋根上の通風器を経て車外に排気する。

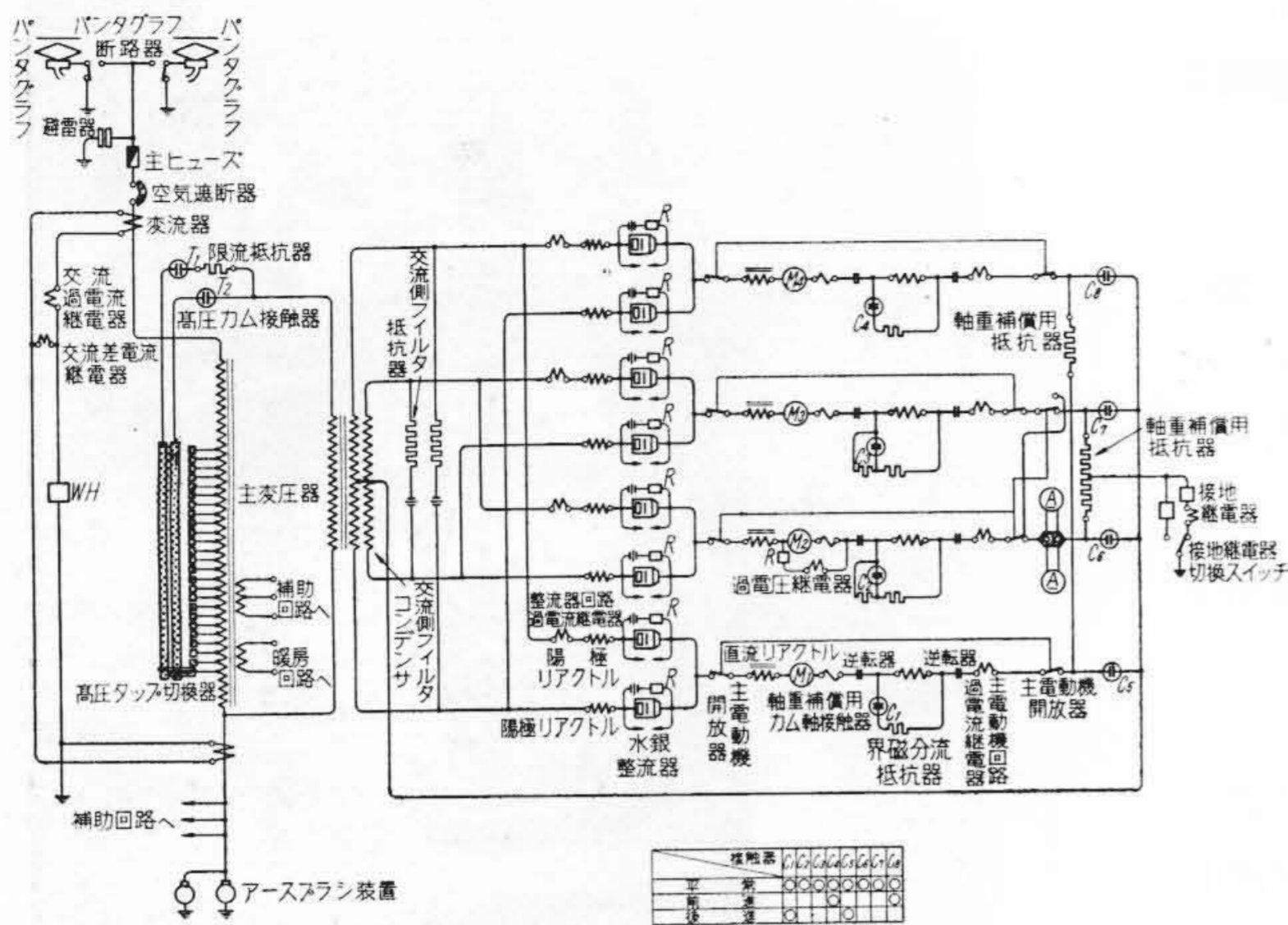
### 4.2 台車および駆動装置

台車は ED 60, ED 61 形機関車用と同様な構造の完全側受支持方式、揺れまくら式2軸ボギー台車で、駆動装置も ED 60, ED 61 と同様のクイル式で、主電動機および駆動装置は台車わくに完全装架式である。

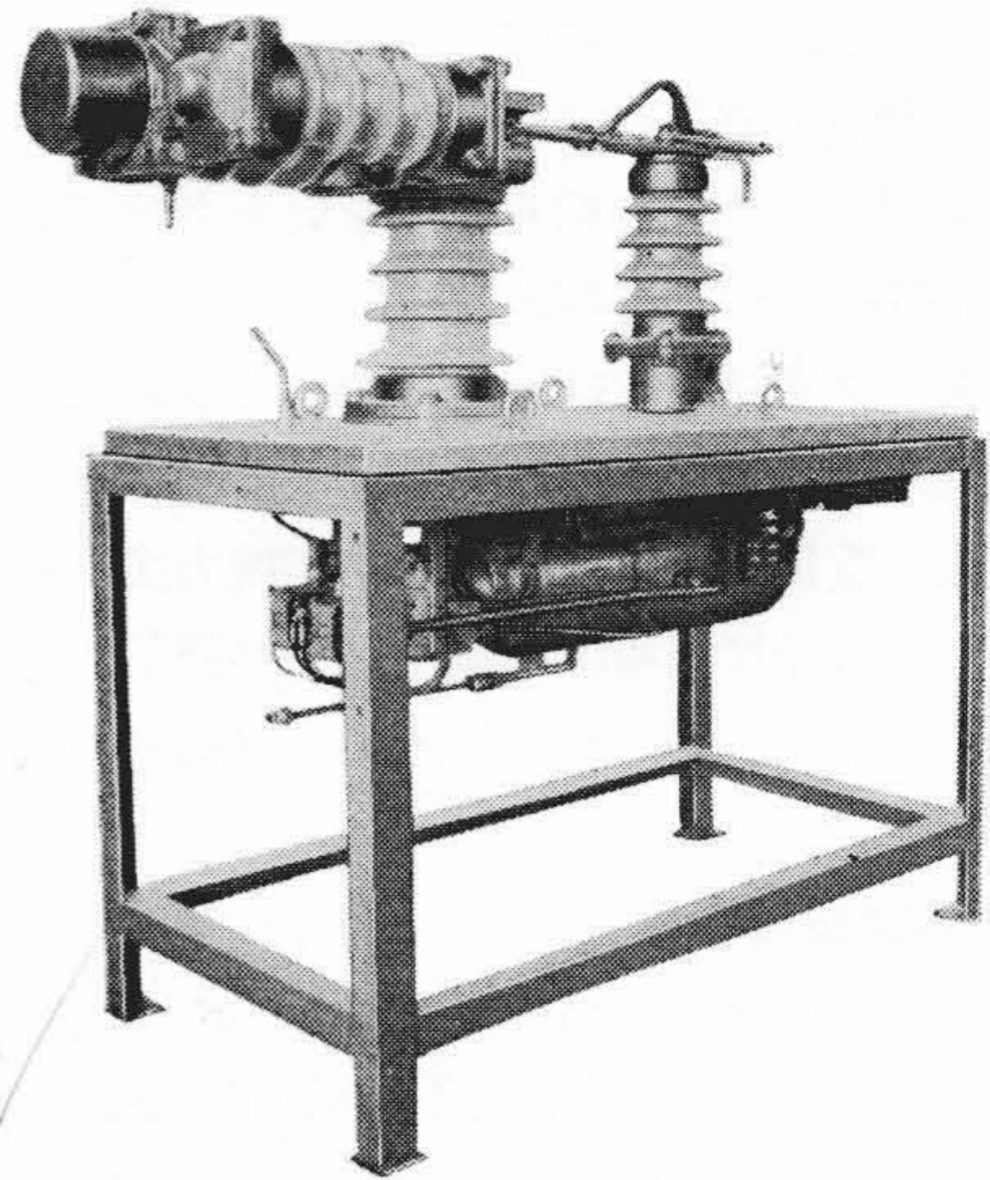
本台車の揺れ装置は車体側部の取付足下面で揺れまくらに固定されており、揺れまくらは1台車2本のつりリンクで台車わくにまくらバネおよび防振ゴムを介してつり下げられている。曲線通過に際しては台車わく下面に取り付けられた中心ピンと揺れまくらばりにはいっている心皿金具により、回転および変位し、主電動機の引張力を伝える。左右の摺動部分には耐摩レジンすり板を用い、回転する部分には中心ピンおよび心皿金具ともにマンガン鋼板を熔接し、無給油にて耐摩耗性を増している。なおまくらバネにはオイルダンパを併用している。

上述のごとき構造により本台車は引張力の作用点をレール面上334 mmと低い位置にして起動時の軸重移動を少なくして、機関車の引張能力を向上している。台車わくは重量軽減のため6 mm厚の鋼板を主材としたプレス一体熔接構造とし、簡単な形状の合理的な設計とし、その重量も約1,200 kgである。

ブレーキ装置は1車輪当り1個のブレーキシリンダを台車わくに取り付け、また制輪子取り付けは抱き



第8図 主回路ツナギ



第9図 空気遮断器

合わせ式である。

この台車は防振ゴムおよび耐摩レジンなどにより車体と電氣的に絶縁されているので、接地線により各部を結んでいる。

駆動装置はクイル式で、主電動機はクイルおよび電動機支持金具と互にボルト締めした状態で台車わくの横ばりと端ばりの間に固定されている。大歯車はクイルにこる軸受を介して取り付けられてあり、緩衝バネ8組に輪心に固定されたスパイダの腕がはまり、小歯車より大歯車へ伝わった動力をスパイダを介して車輪に伝達しているため、車輪から受ける衝撃は大歯車の緩衝バネによって緩和されるが、これらの可撓伝達部分には特に耐摩耗性の材料を用いている。歯車箱は4.5mm厚の鋼板を主材とした溶接構造で上下二つに分れている。

### 4.3 車体

車体は全長13,600mm、幅2,800mm、まくらばり間7,600mmの引張装置付箱形車体で前面の傾斜は3度である。

車体台わくは車端衝撃に対して十分な強度をもたせてある。その構造は鋼板の全溶接構造とし、300×150×10mm I形鋼2本を中ばりとし、側には□形鋼を通し、その間をまくらばりおよび横ばりで結んである。車端衝撃を受けもつまらばりまでは6mm厚の鋼板で中ばりを補強し、ほかの床板は3.2mm厚の鋼板とし軽量化を図っている。

まくらばりの左右に車体足を設け台車揺れまくらばりと結び、台車からの引張力を伝達する。また車体足には台車わくの横揺れのストッパとして特殊形状のゴム座が取り付けられている。

車体柱類はL形鋼、けた類には鋼板プレス材を使用し、屋根はキャビネット方式のため、機器わくが取り出せる

よう大きな開口部を持っている。

運転室には正面および側面に開戸を設け、重連運転時の便を図っている。側開戸には小開戸を取付けタブレットなどの受渡しに便利を図っている。また屋根に上る階段は正面開戸の室内側に設け、開戸を開いてから屋根に上る構造である。

機械室は片側2個の固定窓と8個のエアフィルタが取り付けられてあり、エアフィルタは金網のプレスしたものをわくに入れて形成したもので外側には取はずし可能なよろい戸を設けてあるのでフィルタの車外取出しに便利である。

主変圧器以外の冷却空気はこのエアフィルタを通じて室内から採って車外に排気される。

連結器は柴田式上作用自動連結器が用いられている。

### 5. 電気機器

主回路ツナギ(第8図)に掲げるように、主変圧器の一次側にはパンタグラフ、断路器、直流冒進保護用の主ヒューズ、100MVAの空気遮断器および高圧タップ切換器が接続されている。第9図は空気遮断器の外観写真を示す。主変圧器の二次巻線は、逆弧時の電流をおさえるためと第一軸の空転が第二軸、第三軸に波及しにくいよう特に二分割してある。主電動機は4個永久並列に接続され、各主電動機回路にリアクトルおよび2個の水銀整流器がユニットに接続されている。ユニット結線を用いることにより各主電動機回路の電流遮断は水銀整流器の格子制御のみによることができ、断流器を省いて主電動機回路を構成することができた。主電動機M<sub>2</sub>には過電圧継電器を接続し、900V以上で警報を発するようにしているが、これは接触器を減らす意図から、界磁制御を用いないで、高圧タップ切換器に過電圧タップを数個設け

ることにより、架線電圧の低下に対する補償および高速性能の向上をはかっており、架線電圧の上昇時の警報用である。各主電動機回路には界磁分流抵抗器、軸重補償用抵抗器、および軸重補償用カム軸接触器よりなる電氣的軸重補償装置が設けられている。

主回路には示されていないが、本機関車は起動するまでの10ノッチ以下の低速ノッチにおいては、水銀整流器の位相制御により、ノッチレス制御に近い30段の超多段式電圧制御を行っている。したがって、高圧制御

24段加えて54段の多段制御を行っている。このため、重連を総括制御は磁気増幅器を応用したノッチ追従装置を用いて、回路および機器の簡易化をはかっている。本機関車では、空転を検知するため、各車軸に速度発電機および磁気増幅器の回路を設け、小空転時には警報ランプを点燈し、大空転時には、空転した軸に対応する水銀整流器の位相制御によって主電動機の端子電圧を下げるることにより、再粘着せしめる方式としている。

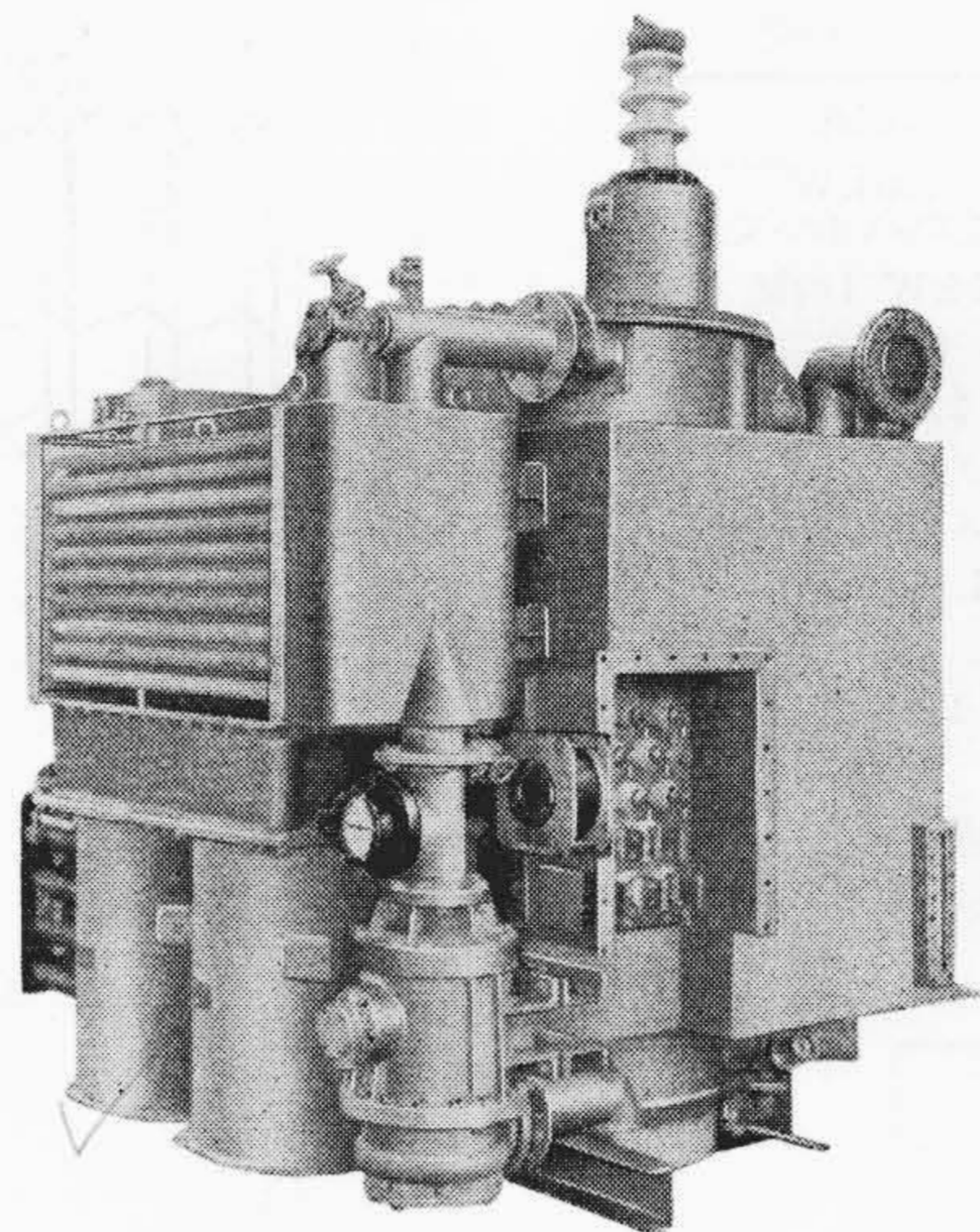
以下、主要な電気機器について特長を述べることにする。

### 5.1 主変圧器

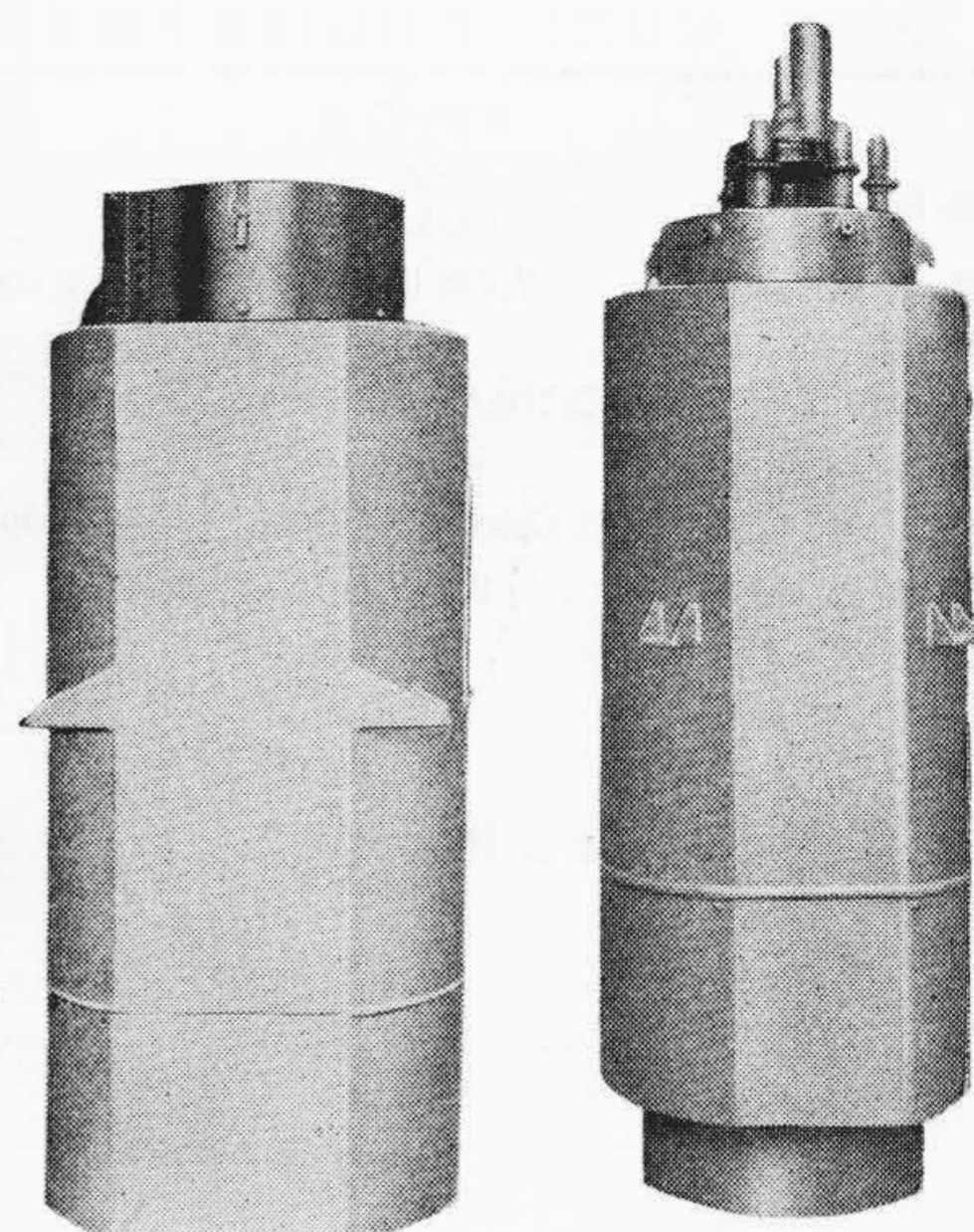
変圧器本体は、タップ付単巻巻線、整流器用主巻線の両巻線をそれぞれ6脚ヨーク2段形ラジアルコアに納め、密封形油槽に入れてある。ラジアルコアは円形で最も占積率がすぐれ巻線の機械的強度は頑丈で、巻線は上下方向においては60度おきにヨークに支持され、耐振動構造として理想的な形である。また油の循環が円滑に行われるから、特に小形軽量化を要求される車両用として理想的な形式である。

油槽の上部突出タンクには高圧側変流器を内蔵し、その外周には6脚ヨークの歯弁をも利用した圧力調整室、および冷却器、電動送風機、電動油ポンプなどの必要な付属品を配置して、一体ブロックとして組立てられている。窒素封入密封形であるから保守上手数を要すことなく性能を維持できる。高圧タップ切換器とは油の干渉がなく、また主変圧器の油を抜くことなく高圧タップ切換器との接続ができるようにしてある。

また本変圧器においては、起動時の再粘着性能を向上させるため、低速ノッチの電圧変動率を改善し、特に水銀整流器の格子制御を行う最低タップにおいては、定格タップにおける約60%にまで減少させている。

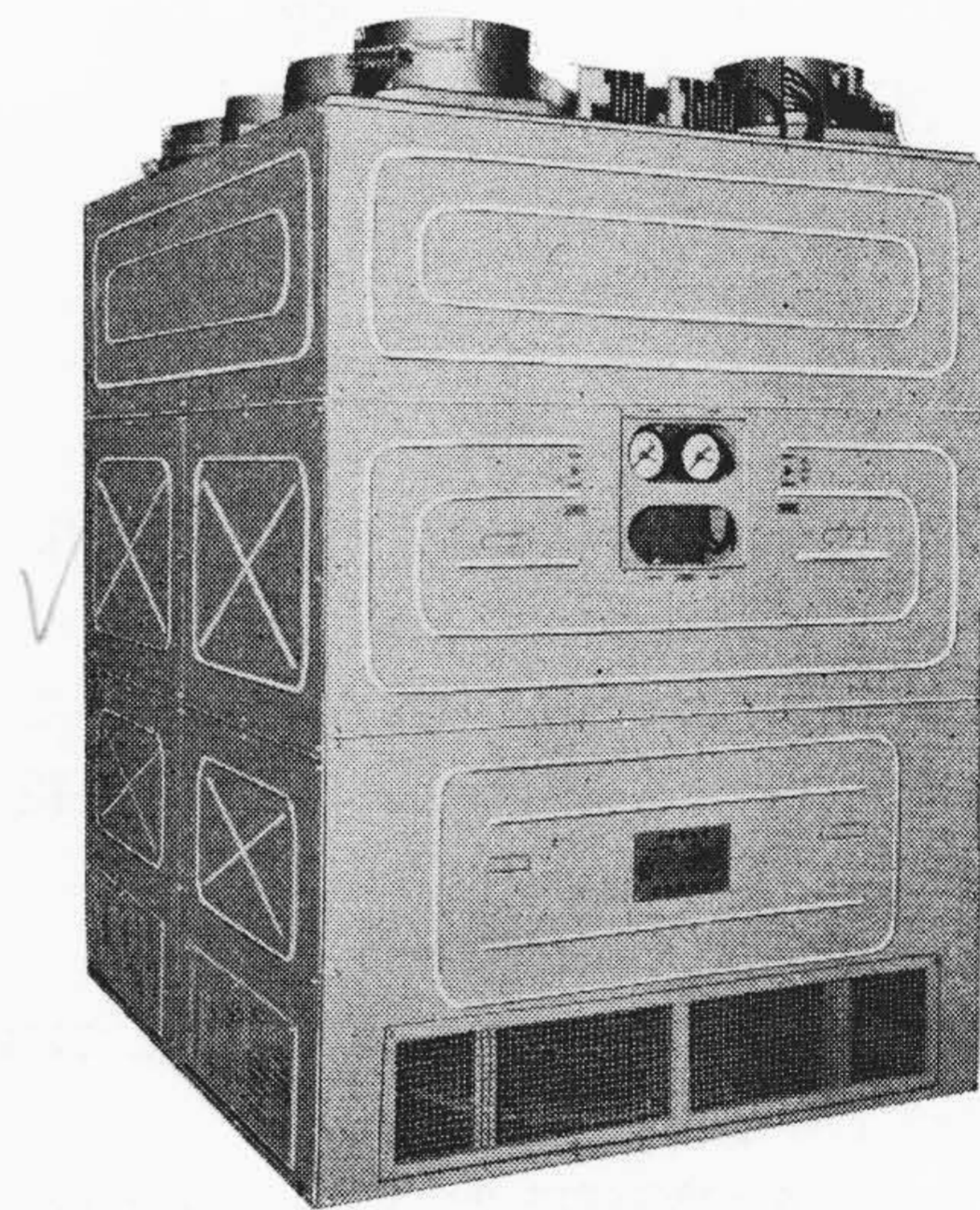


第10図 主変圧器



左側 ED 711 用  
右側 ED 4521 用

第11図 整流タンク外形比較



第12図 ED 711 水銀整流器ブロック

### 5.2 エクサイトロン整流器

#### 5.2.1 運転実績と ED 711 用水銀整流器

既納の日立製作所製交流電気機関車 ED 4521用水銀整流器は、過去約1年間逆弧発生は1回もなく、整流タンクの不良が皆無であり、特性が良好で長寿命の整流タンクであることが認識されつつある。

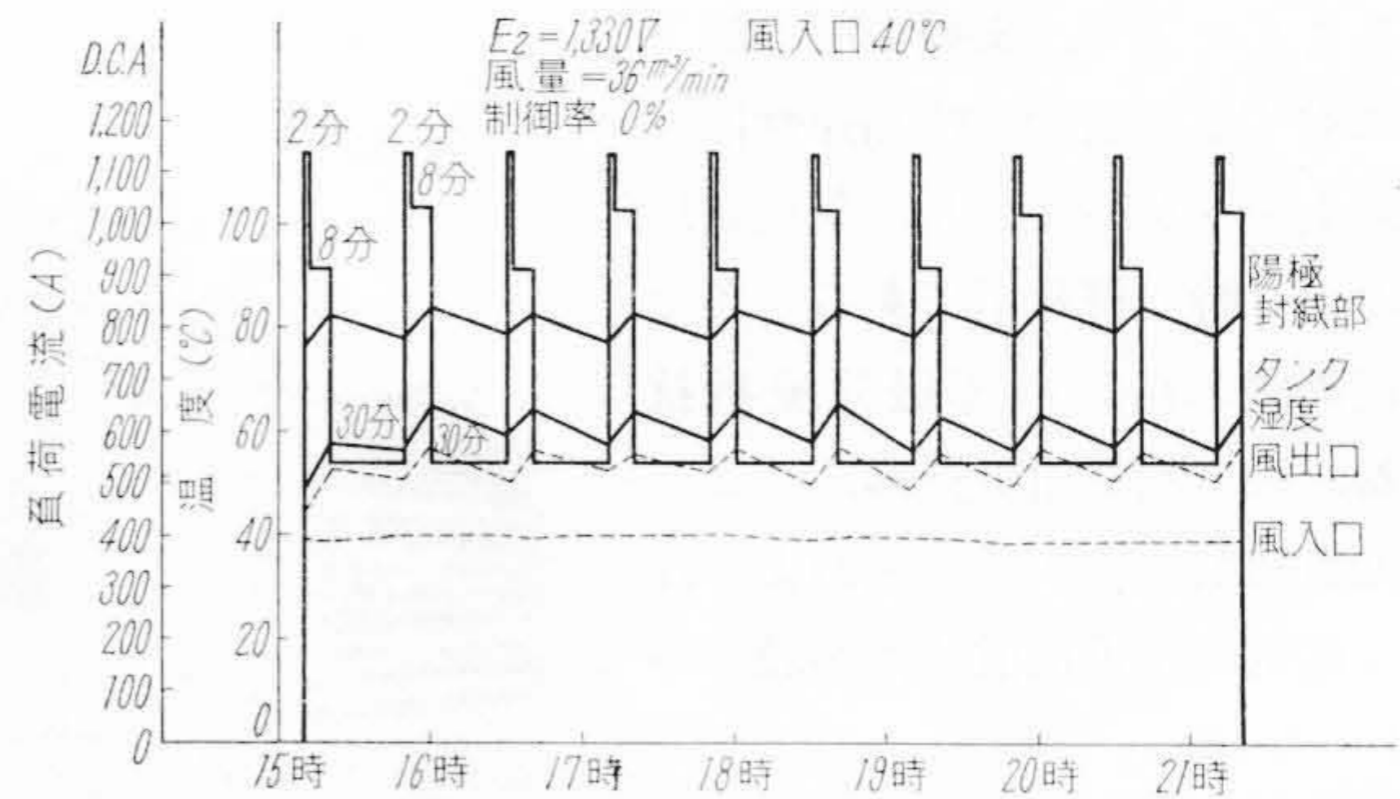
ED 711用水銀整流器は、機関車出力の増大、位相制御などを考慮して、整流タンクは新設計したものを採用している。

第3表に ED 4521用水銀整流器との比較を、第11図に整流タンクの比較写真を示す。

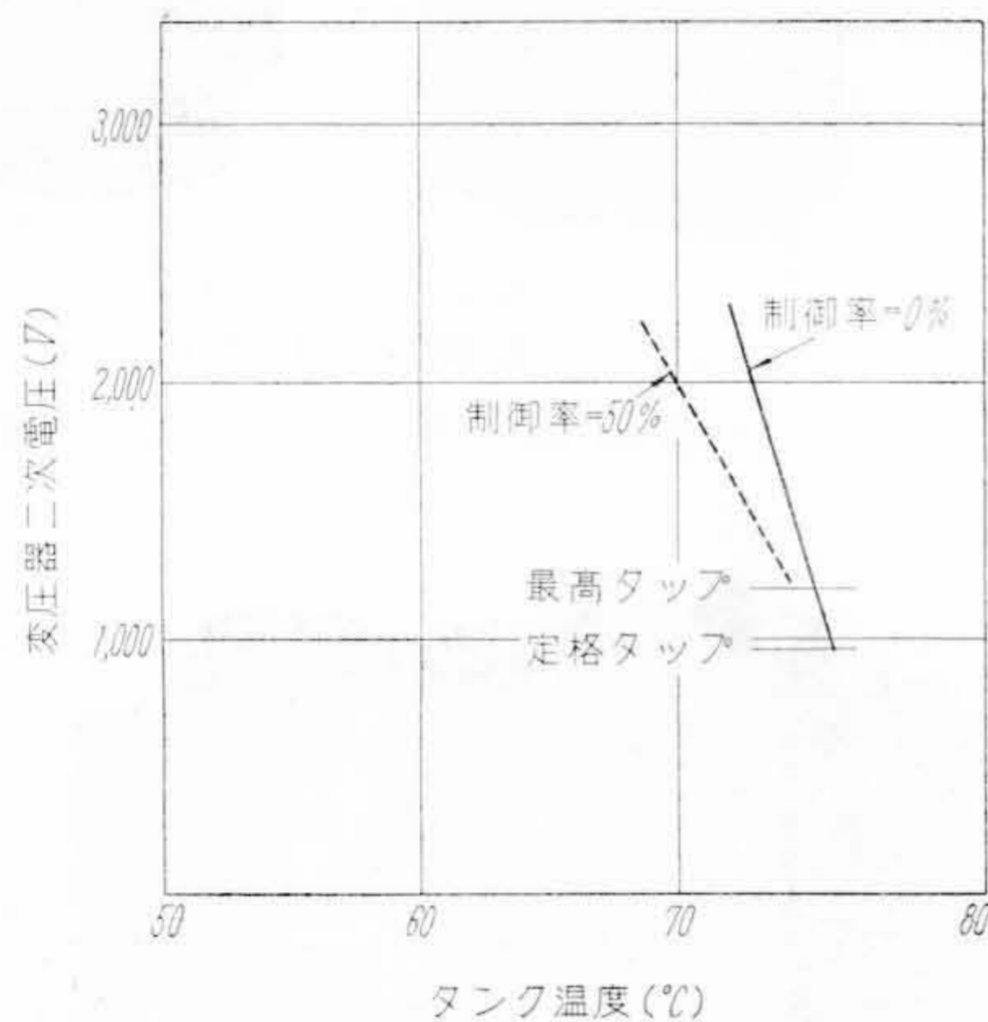
整流タンクはいずれも風冷封じ切りエクサイトロン

第3表 ED711, ED4512 用水銀整流器の比較

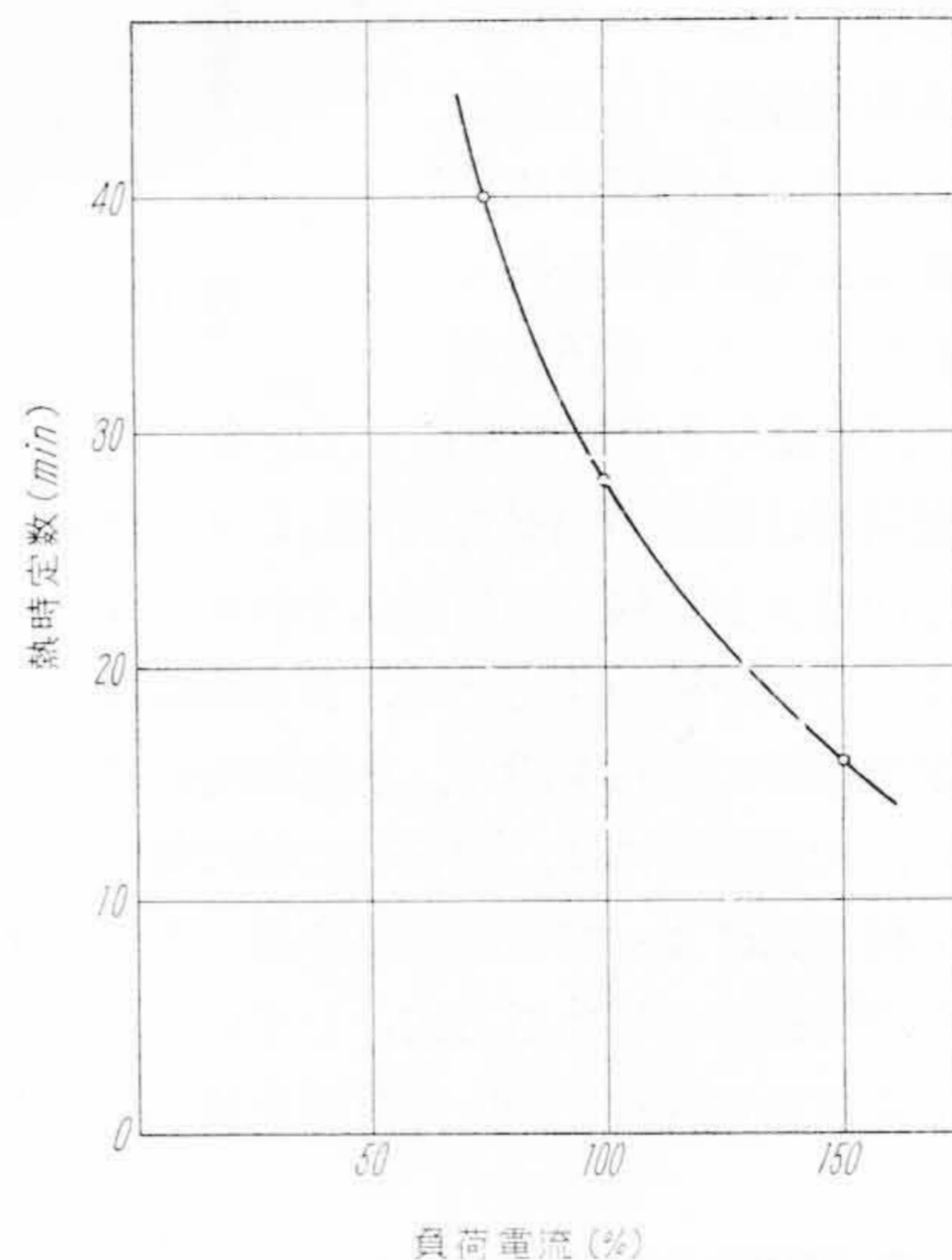
	ED 711 用	ED4512 用
機関車定格	1,900 kW (受電18kVにおいて)	1,500 kW (受電20kVにおいて)
整流器定格	2,046 kW連続	1,600 kW 1時間
直流電圧	660V	650V
直流電流	3,100A (775×4A)	2,460A
結線	ユニット	グループ
整流器寸法	幅1,650×奥行1,360mm	幅1,550×奥行1,100mm
整流器重量	2,750 kg	1,810 kg
整流タンク数	8	8
1タンク重量	200 kg	125 kg
タンク内径	310φ	279φ
格子制御	実施	実施せず



第14図 ED 711 用水銀整流器実負荷想定試験



第13図 整流タンクの電圧—タンク温度特性



第15図 ED 711 用水銀整流器整流タンクの熱時定数

形で、格子は二重かご形格子構造を採用している。

第12図は ED 711 用水銀整流器ブロックの外観写真である。

5.2.2 ED 711 用水銀整流器の特長

(1) 水銀整流器の容量を決定する因子としては耐逆電圧特性が重要なものの一つである。

本水銀整流器は受電電圧 22kV、最高タップにおける二次電圧 1,205V で定格出力電流(連続)に耐えるものとして設計され、工場試験では変圧器二次電圧を 1,330V として試験してある。

第13図は変圧器二次電圧(実効値)と許容タンク温度の関係を示したものである。本整流タンクの電圧に対する裕度がきわめて大きいことがわかる。

(2) ED 711 では、粘着係数 40%にて電動機当り 1,140A、1,200t 25%重連運転時の平衡電流は電動機当り 880A である。第14図はかかる負荷を想定した試験結果の一部を示す。第15図は試験結果より求めた ED 711 用整流タンクの熱時定数特性である。第15図および第16図より十分な余裕を有することが知られよう。

(3) 本機関車では低いノッチにおいて位相制御を常

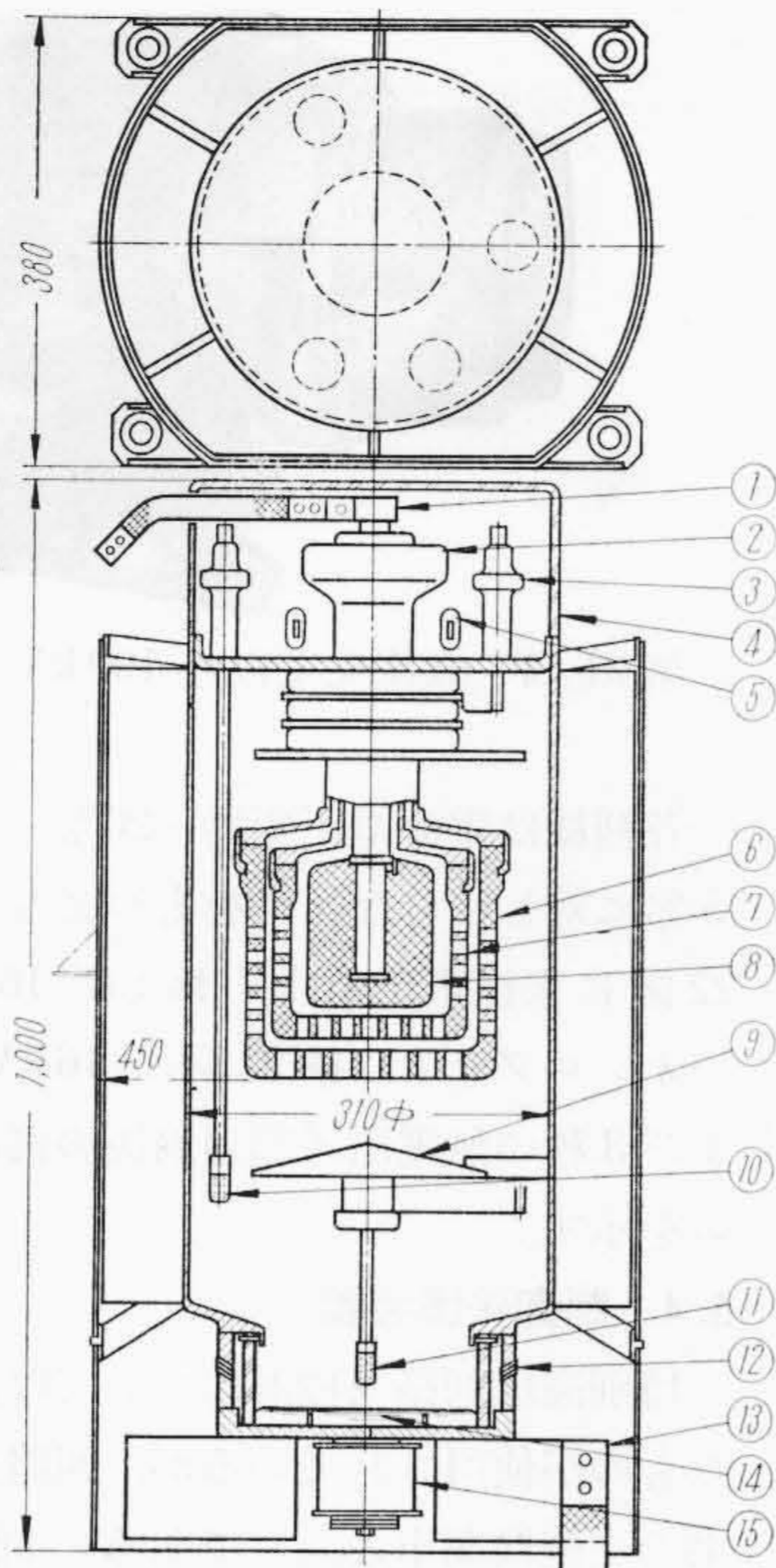
用しているが、今回製作された整流器は大空転時の位相制御の可能性を考慮し、タップ制御段も含めて使用全範囲において位相制御可能なものとした。第13図の点線に示されるとおり大幅な位相制御を行ってもほとんど使用許容温度を下げなくてよい整流タンクが完成した。

第16図に整流タンクの内部構造図を示す。

- (4) 整流器ブロックは次の点が特に考慮されている。
  - (イ) 空気回路は車内より吸込み直接車外に放出する形式を取り、ブロック下部に仕切り板を挿入することにより局部循環を防止している。
  - (ロ) 冷却扇および器槽加熱器の併用により、熱風を整流タンクに送り、予熱時間を短縮した。その結果 20°C/10分 の速度で整流タンク温度を上昇させることができるとともに、車外温度 -10°C でも異常なく運転できるものとした。
  - (ハ) ブロック占床面積利用率向上のため整流タンク



番号	名 称
①	陽極ターミナル
②	陽極封緘
③	格子封緘
④	カバ ー
⑤	陽極加熱器
⑥	第1格子
⑦	第2格子
⑧	陽 極
⑨	スブラッシュ パップル
⑩	励弧極
⑪	点弧極
⑫	陰極封緘
⑬	陰極ターミナル
⑭	陰極水銀
⑮	起動コイル



第 16 図 ED 711 用整流タンク内部構造図

冷却片材質に銅を使用して、第 16 図に示すとおり整流タンクの外周形状は整流タンク配列時の取り付けピッチを減少させた形状としている。

5.2.3 整流器制御装置

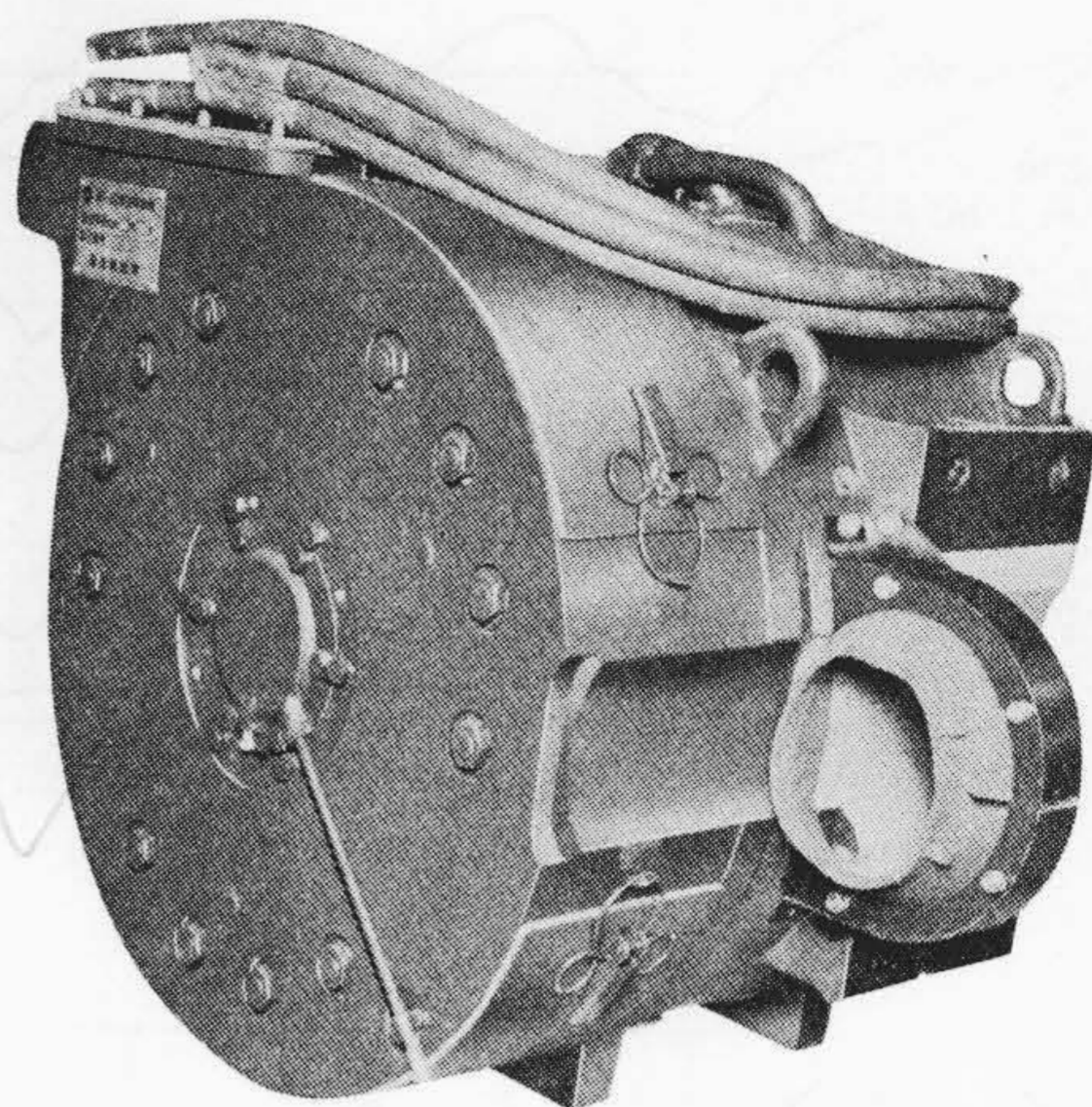
エクサイトロン制御装置の中で注目されるものは格子位相制御装置であり、E D 711 号車においては電圧変動、周波数変動に安定で、精度高く、かつ移相角の大きい相互誘導形広角度移相装置を使用し、確実な格子制御を行っている。

5.3 回 転 機

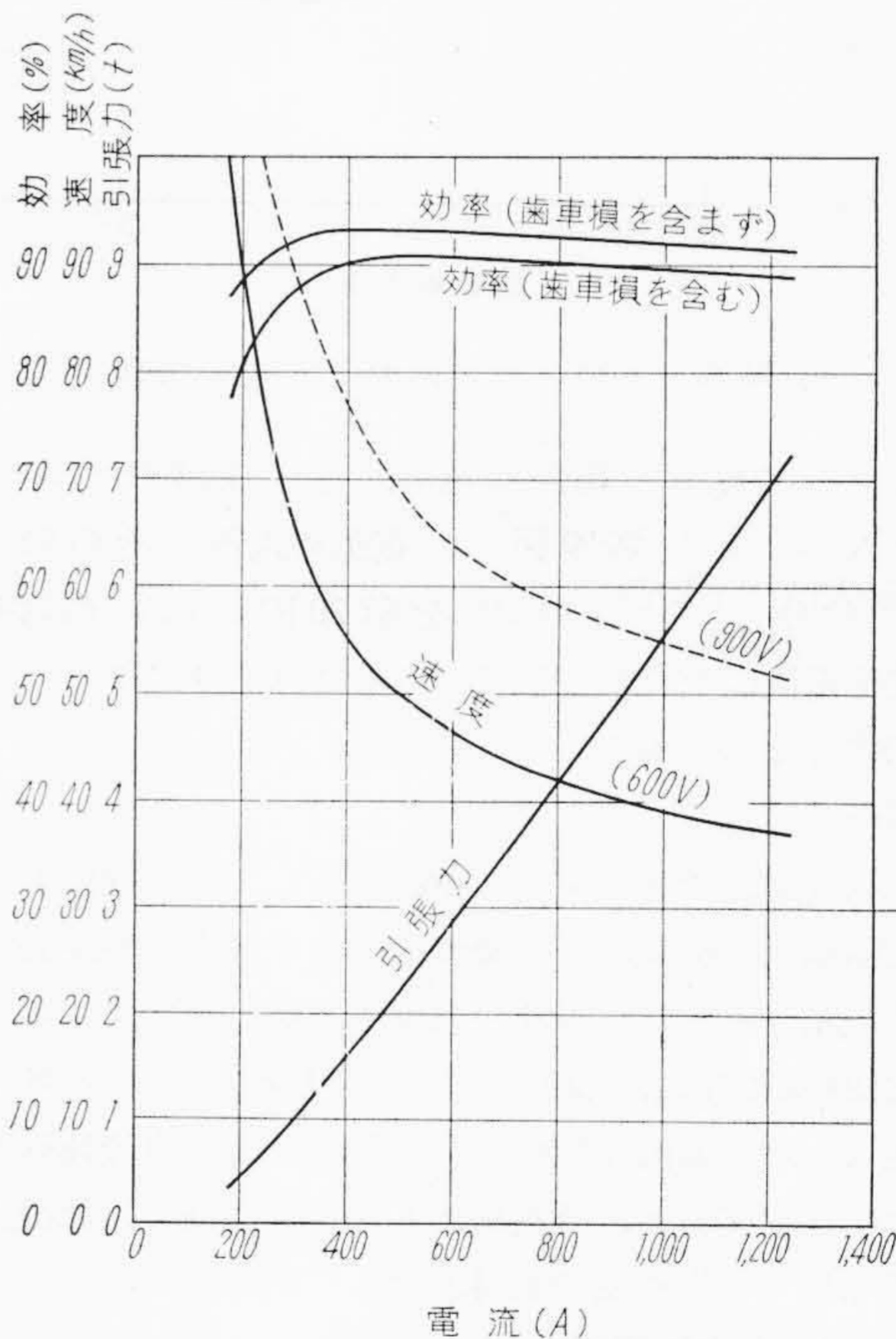
5.3.1 主電動機

(1) 概要 整流器式機関車の粘着特性の著しい向上に伴い、主電動機は4動軸狭軌用機関車としては限度に近い475kWという大きい容量が要求され、強力な客貨両用の性能を確保するものとなった。この主電動機は375kWのMT100形主電動機的设计を骨子とし、定格回転数ならびに外形をわずかに増して容量を27%増大したものである。従来のEF, EH形直流機関車用MT42, 43形と比較すると1時間定格で1.57倍、連続定格では1.9倍の容量であるが、重量は54%であって著しく小形軽量化されている。本機の外観を第17図に、特性曲線を第18図に示す。

本機は単相交流の全波整流による脈流電源により運転されるためED4521の場合と同様<sup>(1)</sup>の脈流対策をほどこしているが、高速運転のための弱界磁制御を使用



第 17 図 MT-101 形 475 kW 主電動機外観



連続定格 475 kW 660 V 775 A 1,140 rpm  
 動輪径 1,120 mm(計算用 1,080 mm)  
 歯車比 82:15=5.47:1

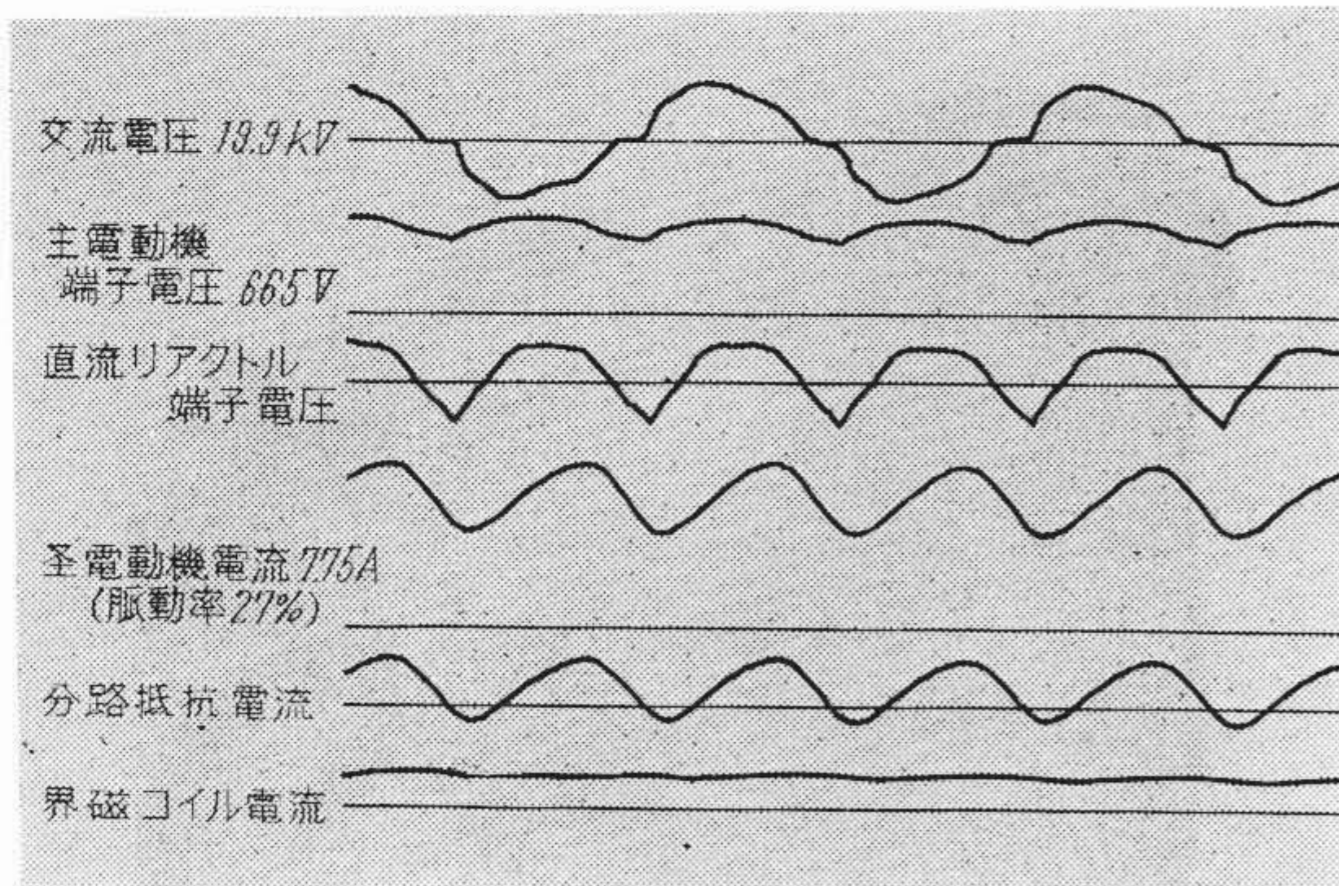
第 18 図 MT-101 形主電動機特性曲線

せず、主変圧器の過電圧ノッチの使用により900V(定格電圧660Vの136%)まで運転可能として高速特性の確保をはかっている。

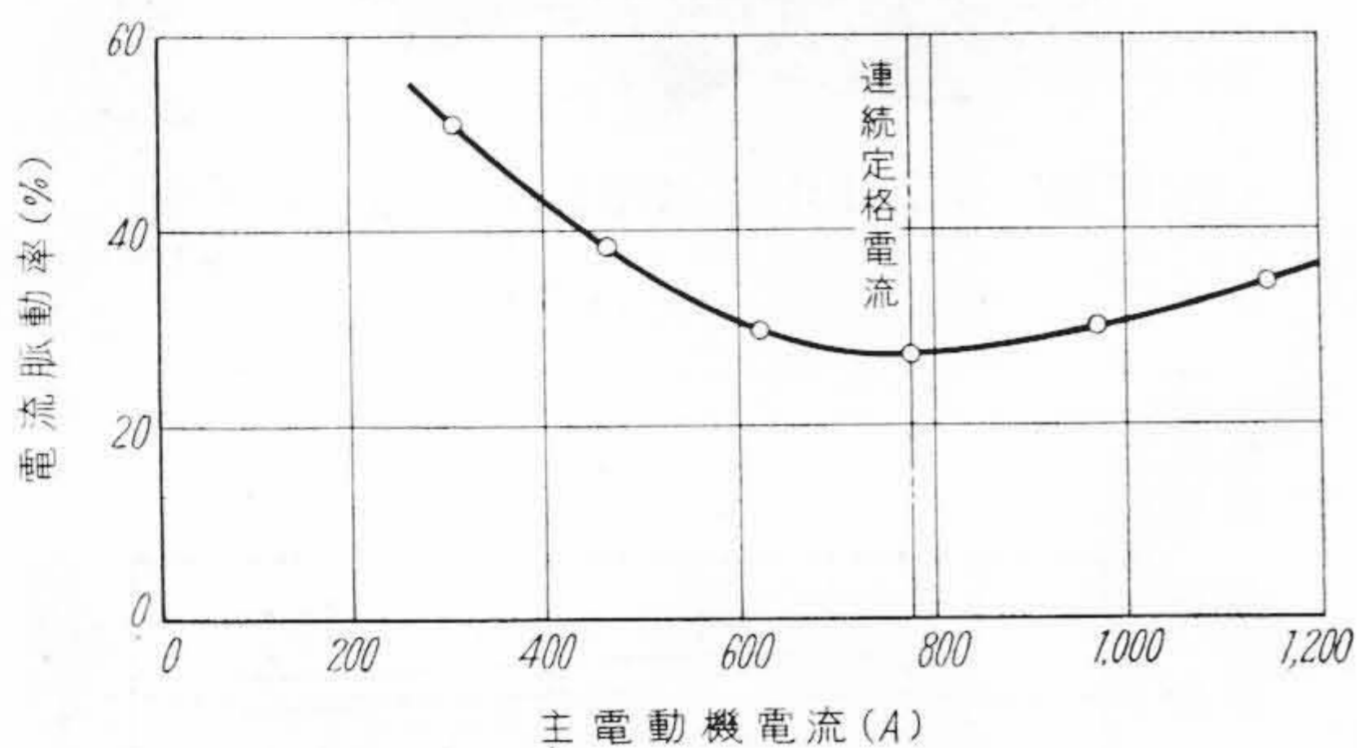
(2) 試 験 結 果

(a) 電 流 脈 動 率

主変圧器、水銀整流器および直流リアクトルと組



第19図 主電動機の電流電圧波形



第20図 定格ノッチにおける電流脈動率

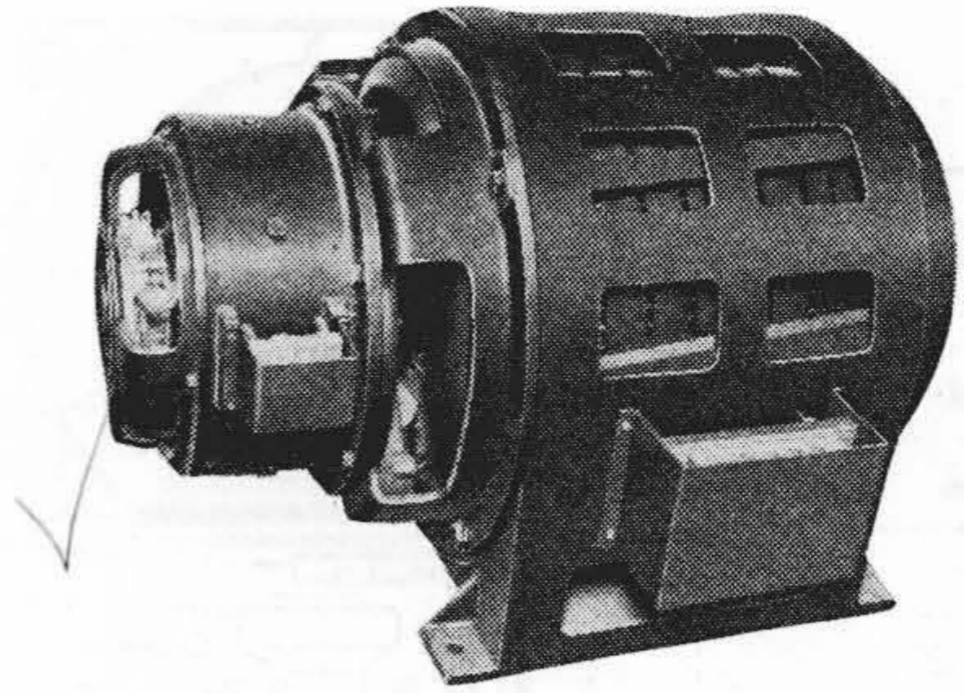
合せて運転した場合の電流、電圧波形のオシログラムの一例を第19図に、電動機電流とその脈動率（ $\frac{\text{最大値}-\text{平均値}}{\text{平均値}}$ ）の関係を第20図に示す。脈動率が定格電流以上で増大しているのは直流リアクトルが飽和するためである。

#### (b) 温度上昇

脈動電流で運転すると銅損が増し、また補極および主極電流の脈動による渦流損により温度上昇が高くなる。定格における電流の脈動率は28%程度であるが実効値の増大による銅損の増加は $0.28^2$ すなわち8%程度である。脈流運転の場合の温度上昇を直流運転の場合に比較すると、各巻線とも $10^{\circ}\text{C}$ 程度高く、直流運転に比して8%程度の上昇となっている。

#### 5.3.2 補助回転機

補助電動機として簡単頑丈で保守の容易なかご形誘導電動機の使用できることは交流機関車のすぐれた特長の一つである。本機関車では主変圧器の三次巻線より給電される単相交流を相変換機により三相交流に変換し、三相かご形誘導電動機を駆動する方式を採用している。相変換機には直流発電機を直結している。第21図に相変換機の外観写真を示す。本機は起動用抵抗を使用して分相起動形単相誘導電動機として無負荷起動させ、速度上昇後、起動用抵抗を切離して負荷を接続する起動方式を採用している。



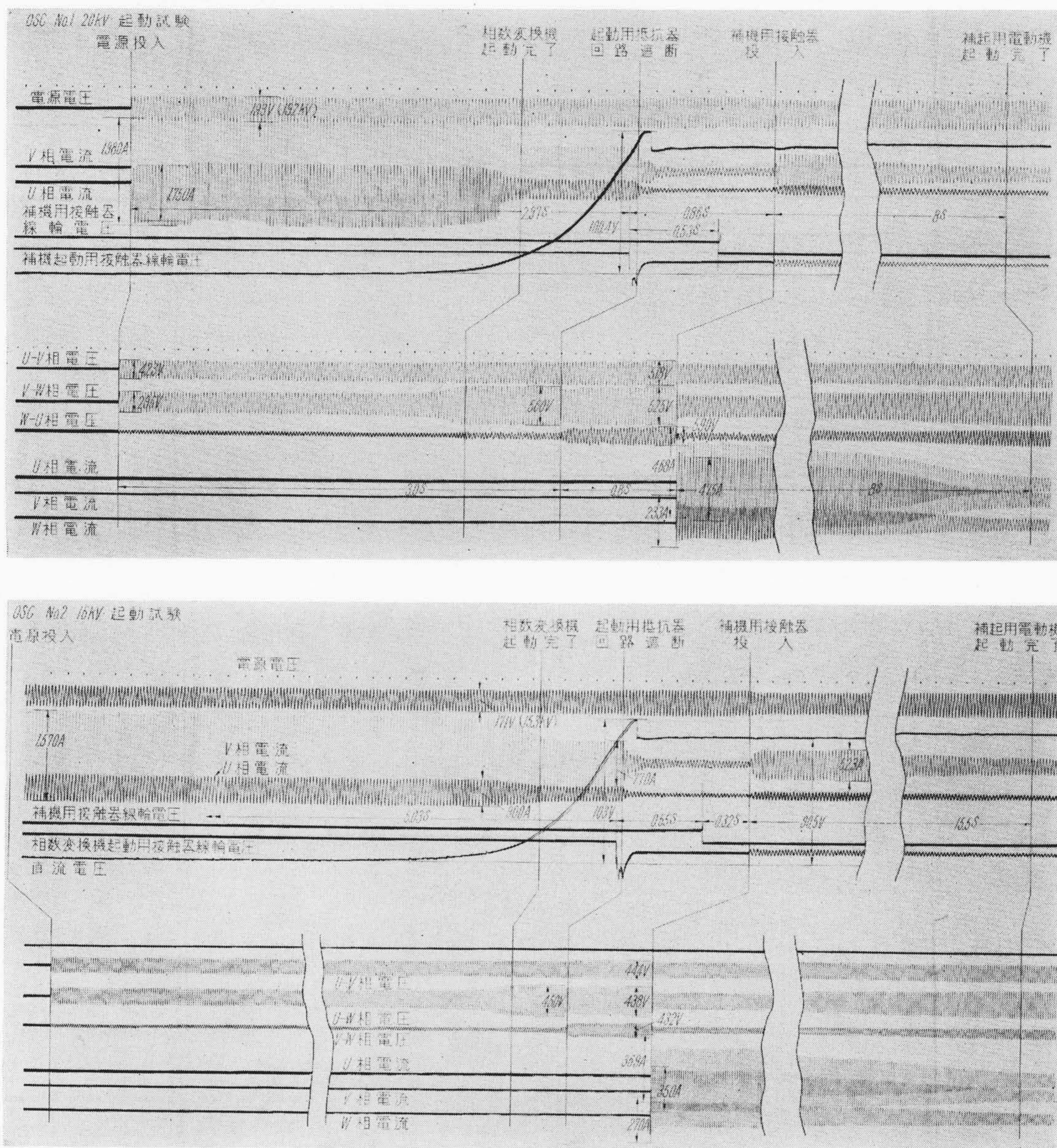
第21図 直流発電機付100kVA相変換機外観

各補機は電源電圧変動 $-20\% \sim +15\%$ 電圧不平衡率5%に対し十分な特性をもつよう製作されている。第22図に架線電圧20kVおよび16kVにおける起動時のオシログラム、第23図に16kVにおける1.5秒および3秒の無電圧区間通過後の再起動時のオシログラムを示す。

#### 5.4 制御保護装置

特別高圧回路用機器については、すべて新設計されたものが使用されているが、回路方式の変更はなく従来の交流機関車と同じである。制御用および保護用継電器もすべて新設計されたものが使用されている。これらはすべて幹線用標準機関車として、保守の簡易化をはかったものである。機関車の大容量化をはかる一方、制御機器の占床面積を減らすこと、保守の工数を要する接触器を減らす試みがなされた。すなわち、直流冒進保護装置は屋上設置の主ヒューズとし、主電動機回路は整流器のユニット結線により、断流器を省いて1個の格子接触器で整流器の格子開放によって電流を遮断する。高速性能をうるためには界磁制御をやめて過電圧ノッチを設け、さらに主変圧器の電圧切換方式としては、2個のカム軸接触器による高圧タップ切換を採用した。このようにして車両特有の電空単位スイッチは姿を消し、列車暖房用として1個残るだけになった。上記以外の接触器としては、軸重補償用カム軸接触器1個および補機運転のための電磁接触器4個が使用されるに過ぎない。これらの高圧機器は逆転器、過電流継電器、主電動機開放器などとともに、占床面積の小さい第1機器枠にまとめてある（第5図参照）。第2機器枠には保守の手数を要しない抵抗器、コンデンサ、磁気増幅器、逆弧継電器などが取り付けられている。機関車の運転に必要な配線用遮断器および切換スイッチ類は第24図に示す制御箱にまとめて1エンド運転室に設置されている。また、保護継電器補助継電器およびノッチ進めもどしをつかさどる短絡継電器は第25図に示す制御箱にまとめて2エンド運転室に設置されている。

次にED711に使用している制御保護装置の中で、



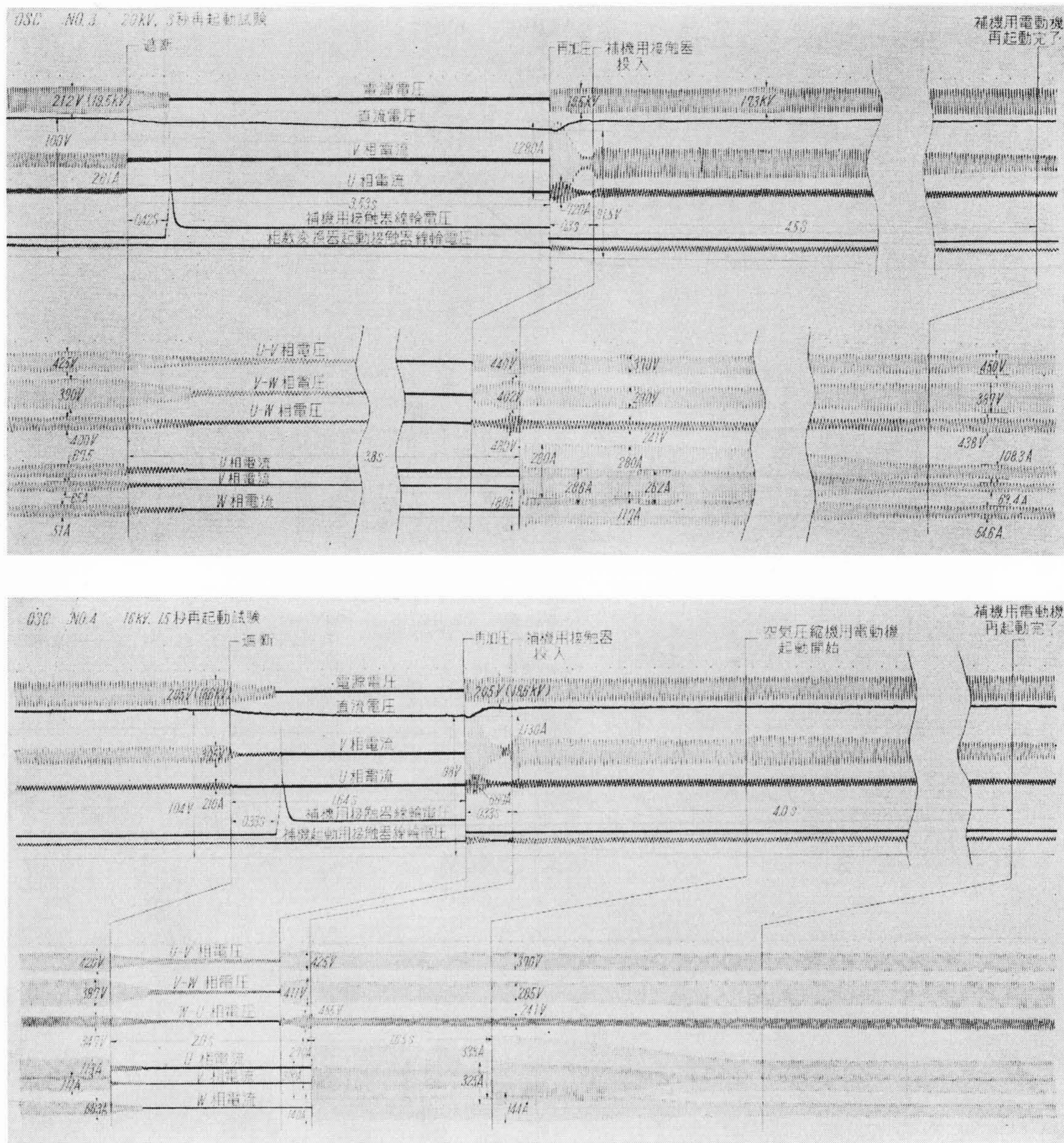
第 22 図 補 機 起 動 時 の オ シ ロ グ ラ ム

特に従来の機関車と異なっているものをあげれば次のとおりである。

5.4.1 高圧タップ切換器

E D 71 においては日立製作所が従来の経験を生かし、特に小形軽量化をはかって製作した新形高圧タップ切換器を使用している。この切換方式はノッチ渡りに際して、限流抵抗を挿入する25タップ切換多段スライダ式であって、負荷電流を2個のカム接触器で交互に遮断してタップ切換を行い、油中のブラシ装置は発弧しない構造となっている。

第 26 図は主変圧器に取り付けた高圧タップ切換器を示す。高圧タップ切換器タンクは主変圧器と別タンクとし、吸湿呼吸器、カム接触器および限流抵抗器を片側に取り付け上部に駆動機構、コンサベータおよび放圧弁を配してコンパクトな一体構造としたことが特長である。本体とコンサベータとはパイプにより接続され、車両の振動によっても、本体の油に気泡のまじることがない。主変圧器との接続は主変圧器油槽の側面フランジにより接続され、共通ベース上に固定される。主変圧器は密封形、高圧タップ切換器は呼吸形であり、



第23図 無電圧区間通過時の補機再起動オシログラム

相互干渉をさけ、油は変圧器側の絶縁仕切板で遮断し、流通しない構造となっている。

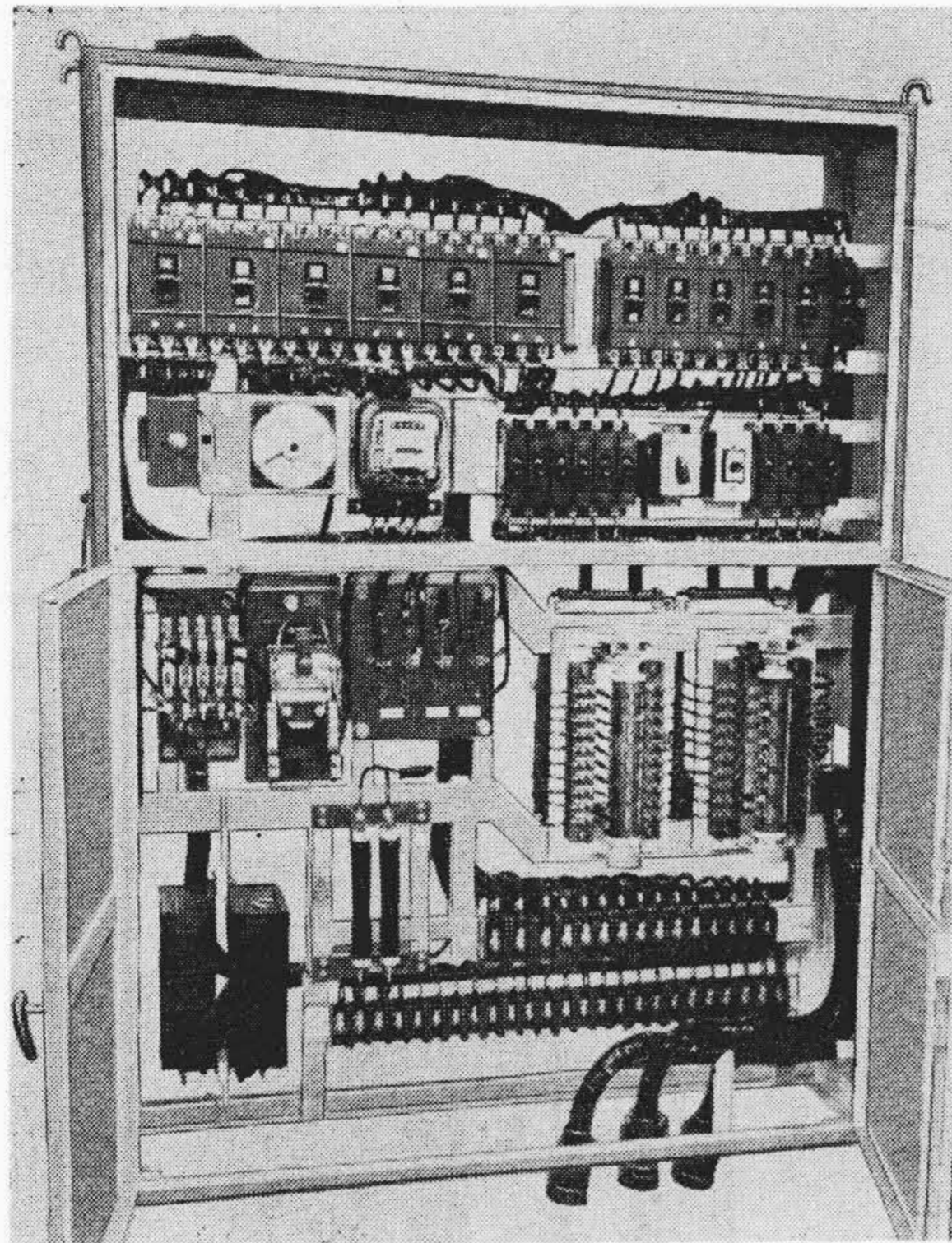
切換速度は操作電圧 DC110V において、1タップ当り 0.7 秒に調整してある。

### 5.4.2 ノッチ追従装置

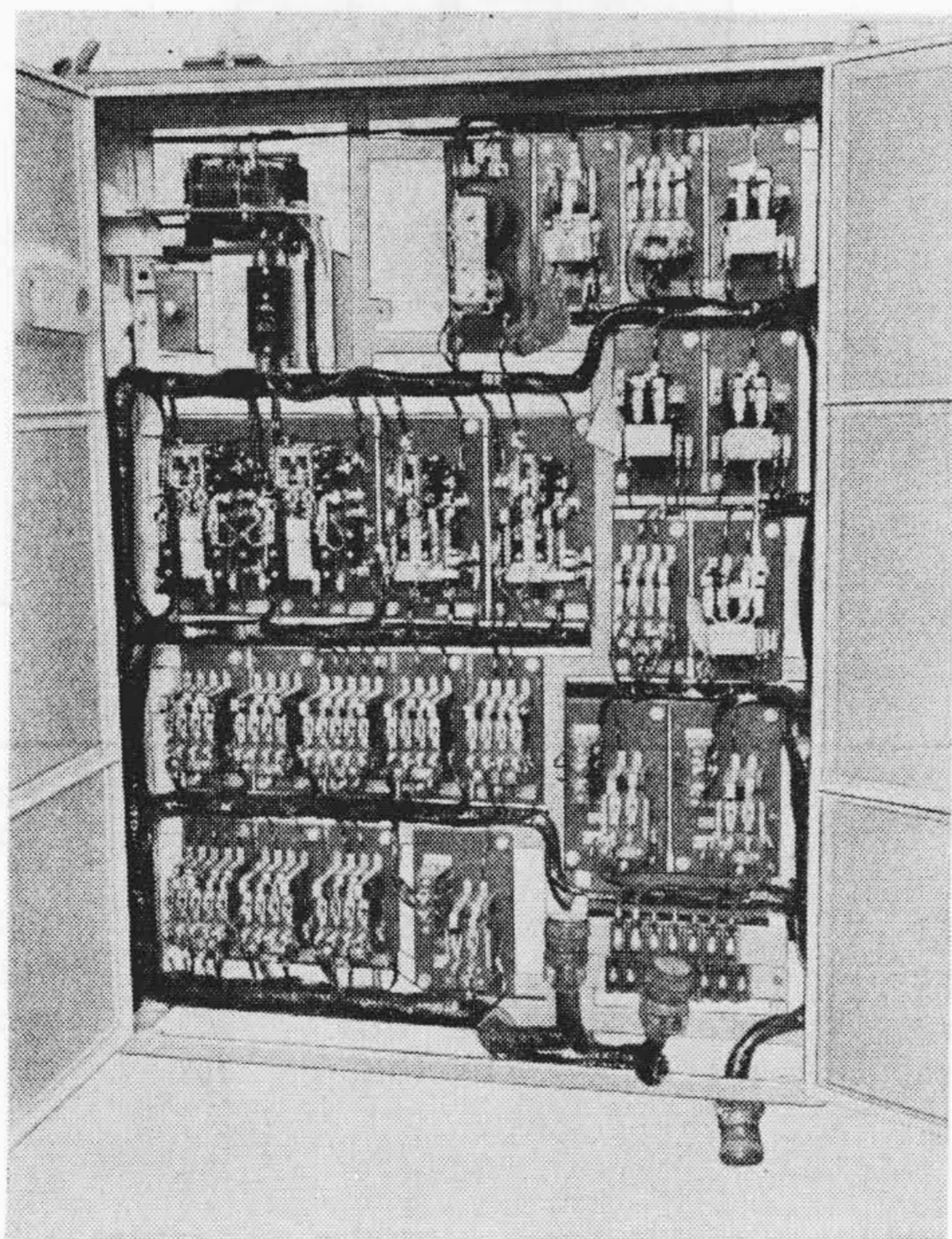
重連総括制御を行うため特殊な位置制御方式を採用した。これがノッチ追従装置であり、その原理を第27図に示す。図において先頭車の主幹制御器 (MC) のハンドルでノッチの進めもどしを行うと、摺動抵抗器 ( $r_1+r_2$ ) の上をハンドルに連動した刷子が移動し、ノ

ッチを規定する。一方被制御器である高圧タップ切換器および位相制御器 (第28図) もやはり同一の抵抗値を有する摺動抵抗  $r_1$  および  $r_2$  を持っている。

いまMCの指示するノッチ数と被制御器 (たとえば高圧タップ切換器) のタップ位置が一致している図の位置から、MCのハンドルを進め、刷子の位置を⊕側に移動すると、不平衡電流がMCより磁気増幅器  $MA_1$  を経て  $MA_2$  の方向に流れる。このため  $MA_1$  の出力側に接続された進め継電器 ( $Ry_1$ ) が動作して高圧タップ切換器を駆動し、高タップに切り換える。そして両



第24図 第1制御箱内機器



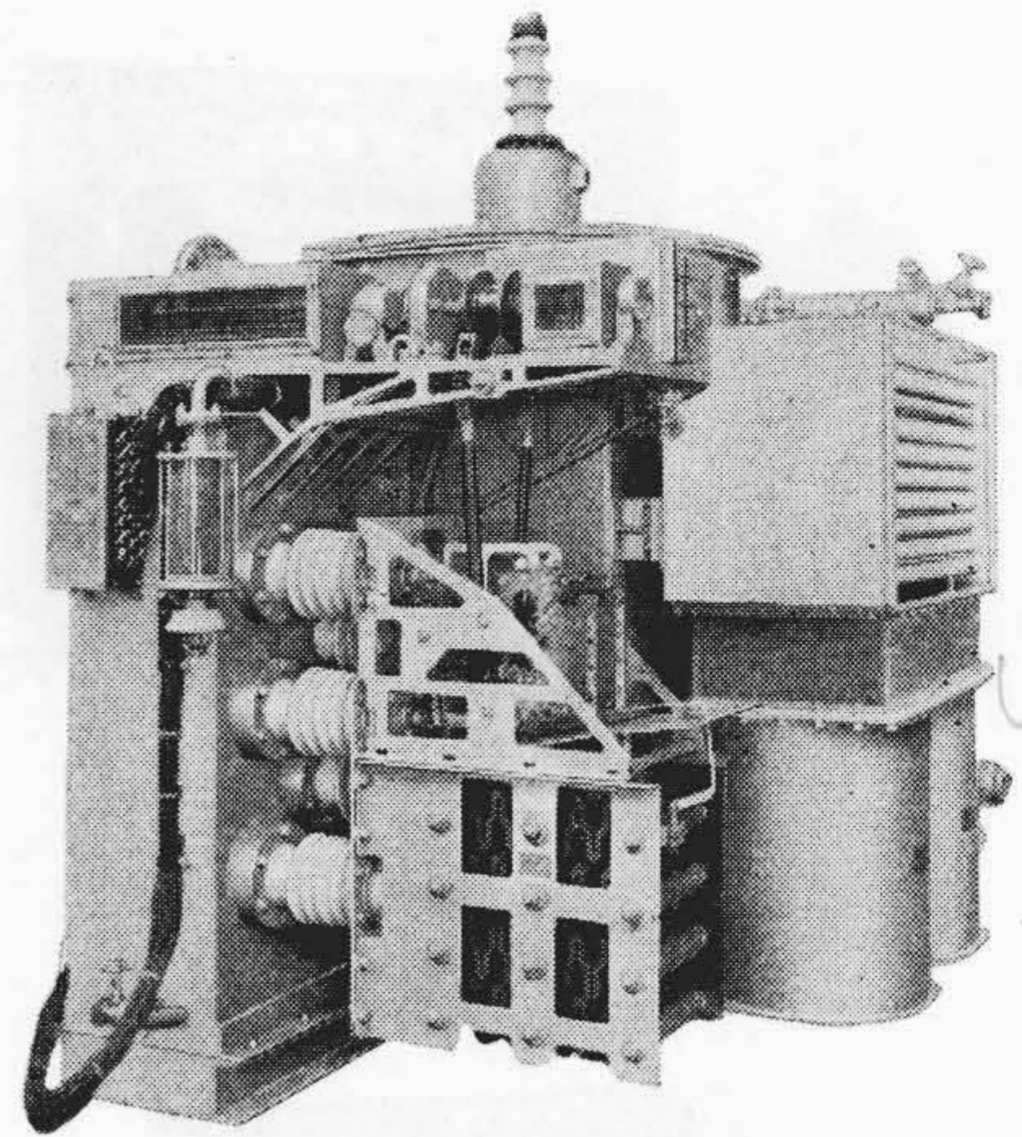
第25図 第2制御箱内機器

者の位置が一致したとき、 $Ry_1$  は積放し、高圧タップ切換器は停止する。

ノッチもどしの場合は反対に、磁気増幅器の制御電流が  $MA_2$  より  $MA_1$  の方向に流れ、もどし継電器 ( $Ry_2$ ) が動作してノッチもどしを行う。

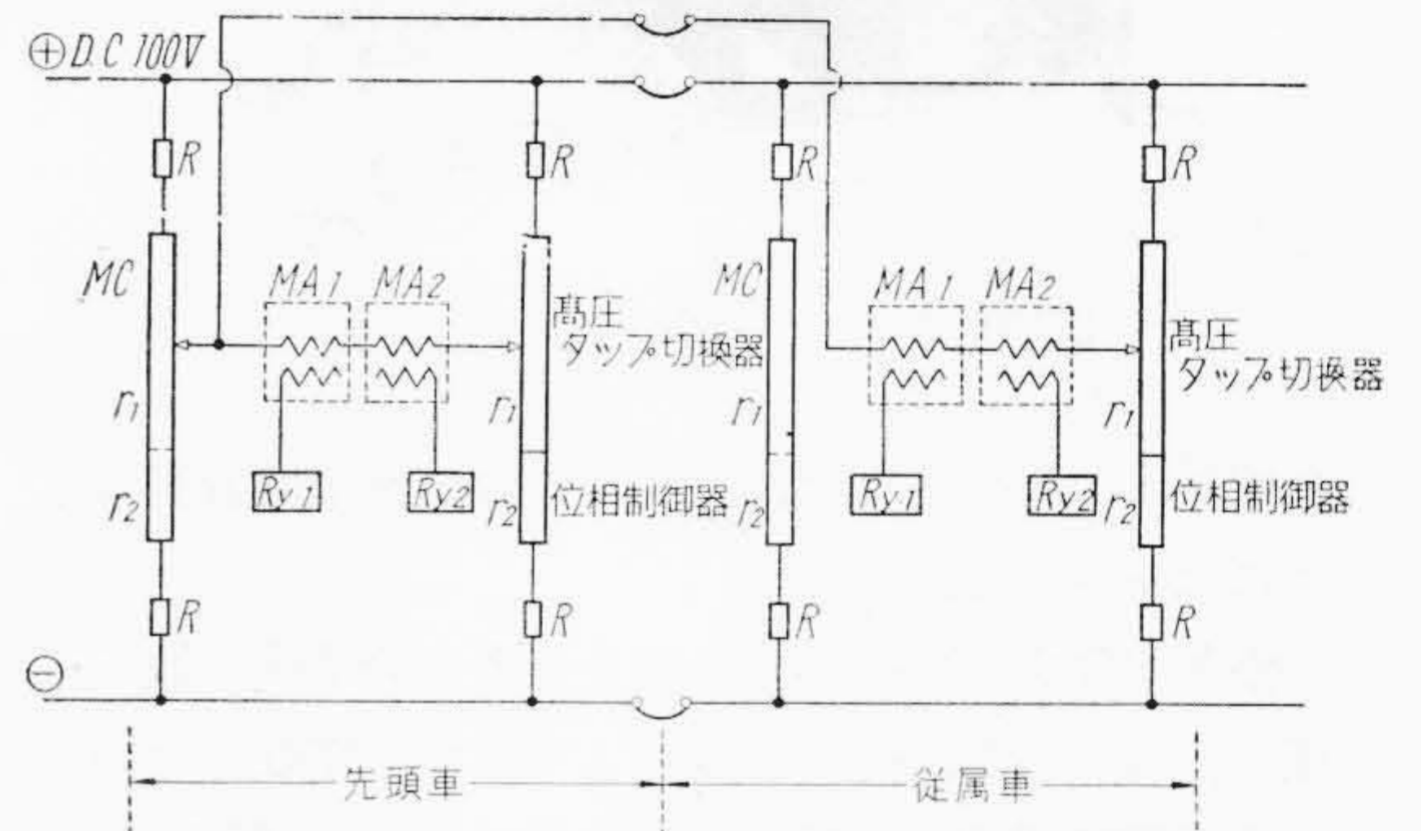
この装置の特長としては

(1) 引通し線3本により、数多くの位置制御を行うことができる。E D 71では位相制御段30タップ、タッ



(主変圧器と組合せた状態を示す)

第26図 高圧タップ切換器



第27図 ノッチ追従装置原理図

プ制御段24タップ、合計54タップの位置を制御している。

(2) 調整は磁気増幅部分のみであるから可動部分がなく、再調整の必要がない。

(3) E D 711, E D 712, E D 713 号車におけるように、駆動機構の異なる被制御器を同一の方式で制御できる。

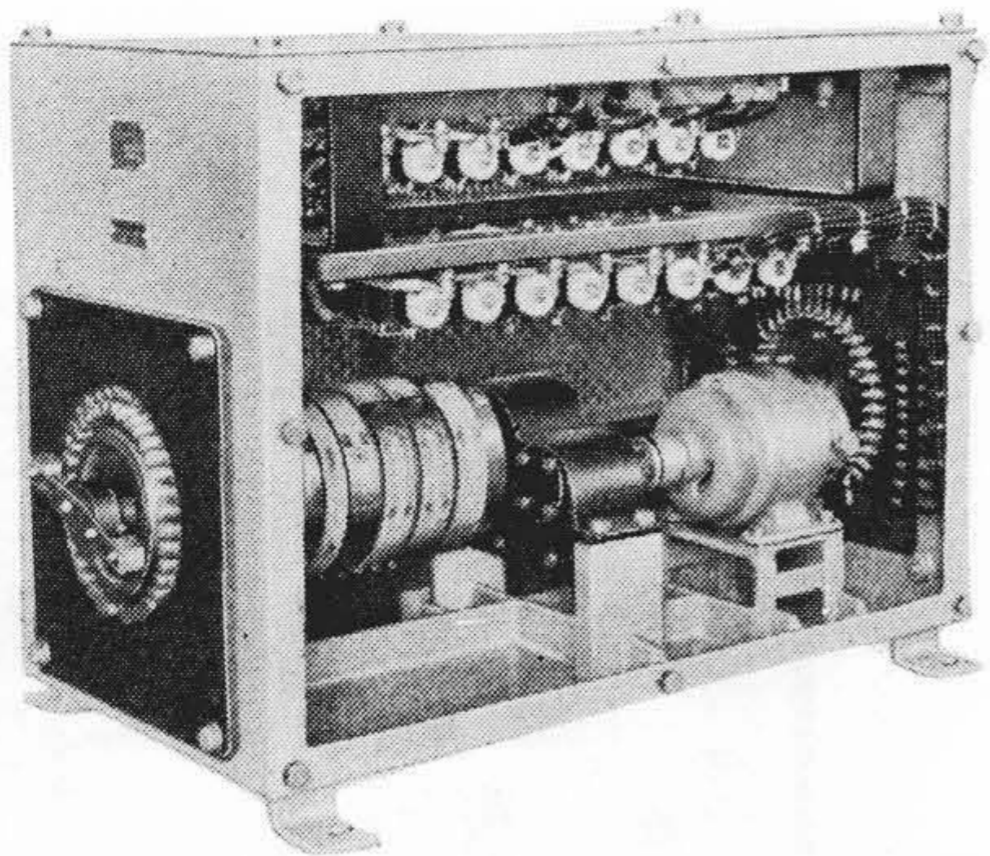
第29図はノッチ追従装置を示し、磁気増幅器2個と進めおよびもどし継電器各1個を収納している。

### 5.4.3 空転検知装置

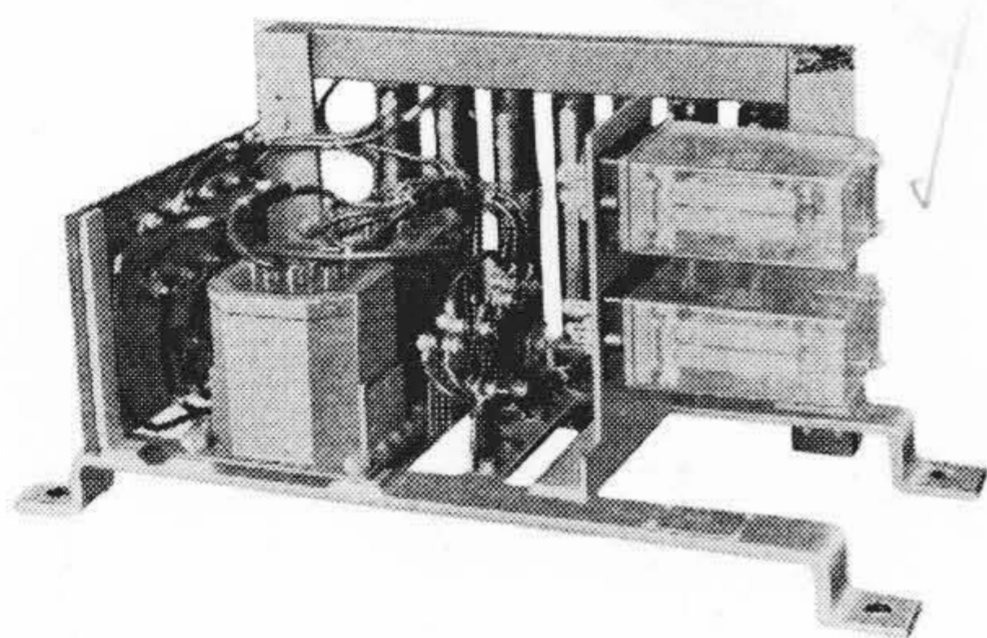
E D 71のように常に粘着限界に近い値で使用される機関車においては、一たん空転を生じた場合はすみやかに処置して空転をやめる必要がある。

E D 711号車に採用した空転検知方式を原理図によって説明すると第30図のとおりである。すなわち各軸に空転検知用速度発電機を取り付け、その電機子の一端は直接共通線で接続し、他端にそれぞれ磁気増幅器 ( $MA_1$  および  $MA_2$ ) を図のように接続する。

いま平常状態で各発電機の回転速度、したがって発



第28図 位相制御器



第29図 ノッチ追従装置

生電圧が等しいときは、各回路の磁気増幅器制御コイルには電流が流れない。

空転が発生してその軸に取り付けた発電機の端子電圧が上昇すると、その発電機よりほかの空転しない軸の発電機に電流が流出し、その量に応じて  $MA_1$  あるいは  $MA_2$  に接続された大空転継電器 ( $Ry_1$ ) または小空転継電器 ( $Ry_2$ ) が動作する。検出感度は小空転においては空転速度約 2km/h、大空転に対しては約 3km/h が得られるように調整してある。

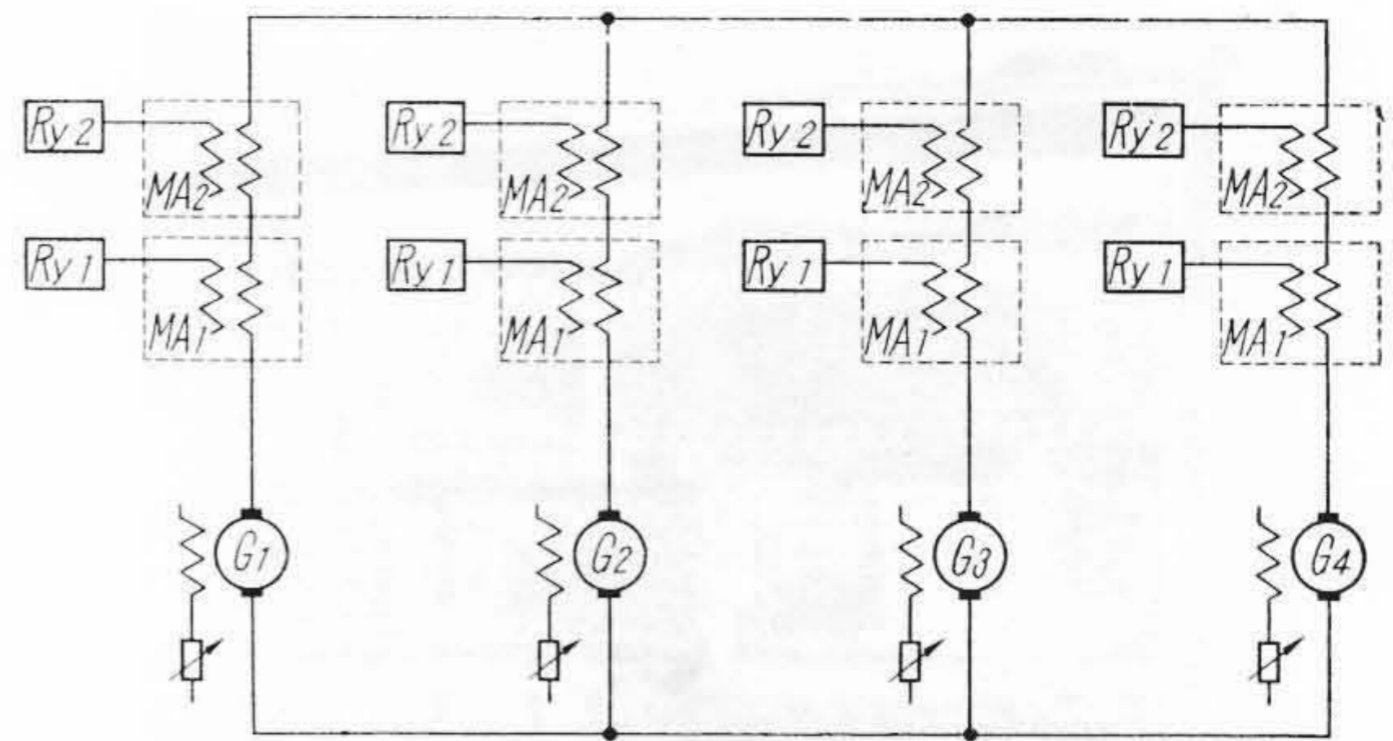
第31図は空転検知装置の外観を示し、1枚の絶縁板上に各列上より大空転継電器、小空転継電器、セレン整流器および抵抗器、大空転および小空転用磁気増幅器、調整抵抗、各発電機界磁抵抗器の順に配列し、また左より右に第1軸、第2軸……と各軸に分けて並べた。

5.4.4 軸重補償装置

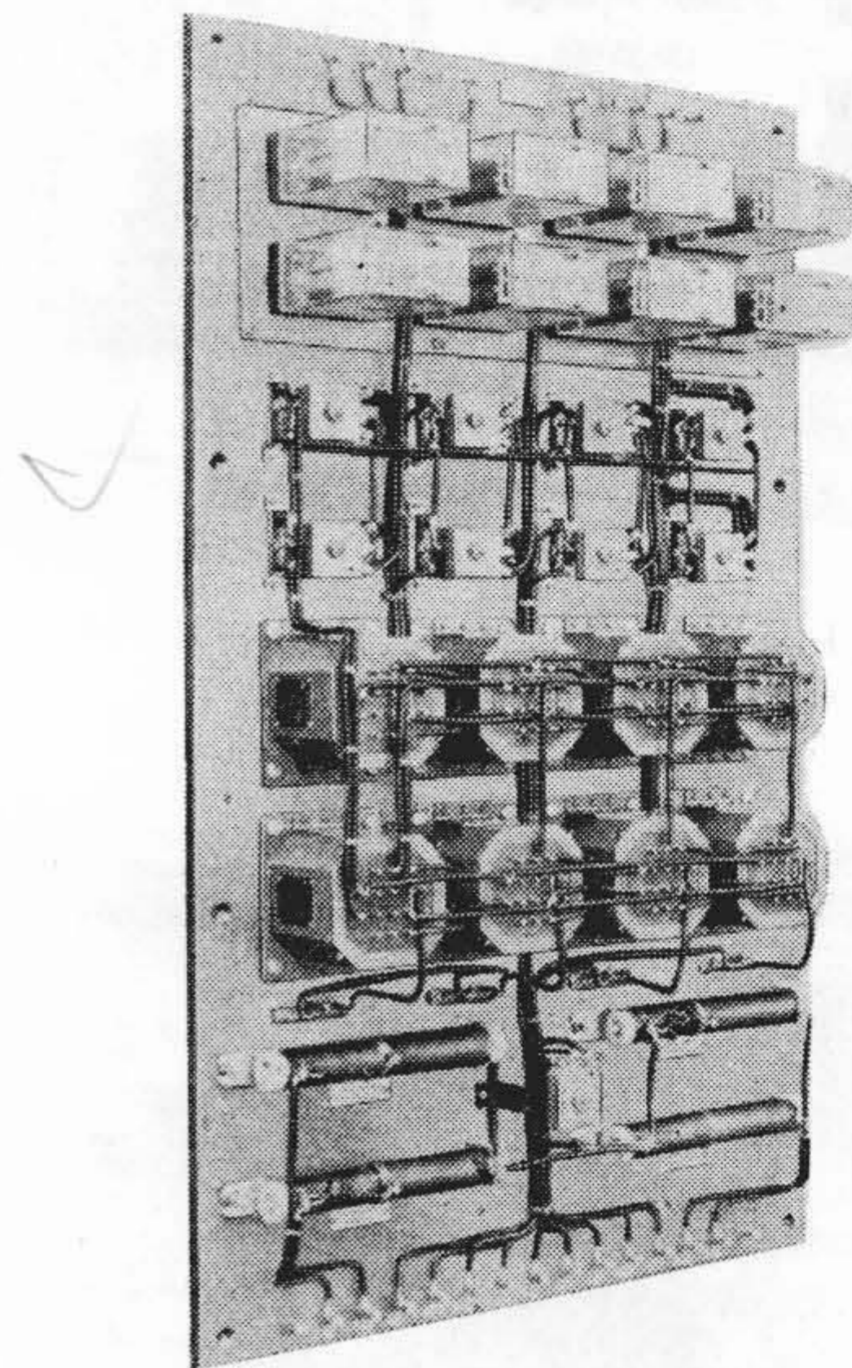
車体と台車間の引張力伝達高さを下げても、なお相当の軸重移動を生ずるので軸重補償回路を設けている。たとえば前進方向の場合は軸重補償カム軸接触器を動作せしめると第4表に示すように界磁分路率が変化し、また直列抵抗が挿入され、主電動機の過負荷の割合が5%程度で軸重補償の目的が果される。

6. 結 言

以上ED71形交流電気機関車の大要を述べたが、本機



第30図 空転検知装置原理図



第31図 空転検知装置

第4表 電氣的軸重補償計算値

主電動機	界磁分路 (%)	直列抵抗 (Ω)	負荷割合 (%)		$\mu=35\%$ の時
			電機子電流	主極電流	
#1	0	0.0065	89.5	105	37.3%
#2	8	0.003	97.5	105	34.0
#3	8	0.003	97.5	105	36.3
#4	15	なし	105	105	33

関車はすでに東北線黒磯—白河間において貨物列車を牽引して活躍中であり、近いうちに行われる現地試験においても所期の性能を示すものと考えられる。

短時日の間に幾多の設計検討を重ね、本機関車の誕生を見たことは、ひとえに日本国有鉄道御当局の絶大な御指導の賜であり、特に設計上終始御指導、御援助をいただいた臨時車輛設計事務所の方々に深く謝意を表して筆をおく。

参 考 文 献

- (1) 河井, 他: 日立評論 別冊 No. 20, 4 (昭32-11)
- (2) 毛利, 他: 日立評論 40, 352 (昭33-3)