

交流電気車用整流器制御方式

Controlling System to Rectifier for A. C. Electric Car

池田正一郎* 杉本光昭*
Shōichirō Ikeda Mitsuaki Sugimoto

内 容 梗 概

最近数年間に日立製作所は日本国有鉄道に納入する多数の交流電気機関車または電車の試作と量産を行ってきた。交流式車両には、直接交流電動機により駆動する直接式と、整流器を搭載して一たん直流に変換していわゆる脈流電動機により駆動する間接式とがある。整流器には水銀整流器またはシリコン整流器が使用されている。水銀整流器の制御方式は、格子による起動制御、空転防止のための自動定電圧制御、暖房用インバータ運転など次々と発展していった。本稿においては水銀整流器の制御方式についてその変遷と特長を説明し、またシリコン整流器の保護装置についても述べてある。

1. 緒 言

日本国有鉄道における交流電化はここ数年来急速な進展を示している。日立製作所においては昭和30年に始めて整流子電動機式ED-44形交流電気機関車を製作し、その後引つづいて第1表に示すとおり多数の整流器式交流機関車または電車の製作を行い現在いずれも好調な成績で営業運転を行っている。整流器式は第1表に示すとおり単極風冷封じ切り形のエキサイترون水銀整流器と風冷式シリコン整流器が使用されている。本稿においては整流器自体の制御装置についてその特長ならびに変せんを紹介する。

2. 水銀整流器の制御方式

2.1 変 遷 の 概 要

水銀整流器を車両に搭載するに当り最初の頃は安定運転ということが重点で、制御部品の耐振小形化、保護リレーの開発または選定、交流電圧の大幅の変化に対応して点弧、励弧、格子バイアスの安定、格子電圧の位相と波形の問題などが検討され格子による電圧制御を行うまでには至らなかった。したがって起動は変圧器の高圧側タップ切換方式が採用された。なお当時は交流区間からそのまま直流区間に突入する、あるいはその逆の冒進対策など保護方式に検討の重点がおかれた。その結果第1図に示すED-4521形または第2図に示す交直両用電車⁽¹⁾にみられるとおり、直流区間に冒進する

とまず主変圧器の一次コイル接地側に減流抵抗器をそう入して減流し、しかるのち遮断を行うこと、交流区間に冒進すれば直流アレスタの放電電流で検出することなどの対策がとられた。第3図は交直両用電車の水銀整流器制御用キュービクルである。

その後ED-71形の量産車に至ると格子による起動電圧制御が採用され、さらに各電動機ごとに整流器ユニットを分離し各個に主電動機端子電圧の自動定電圧制御を行う空転防止対策がとられるようになった。ED-46形になると直流区間においては水銀整流器をインバータ運転して交流を発生し車内暖房に使用するなど、水銀整流器はもはや単なる整流装置としてでなく機関車性能の向上に役立たしめる特別の制御が採用されるようになった。最近においては輸出車両に対しインバータ回生制動が大きく取り上げられている。

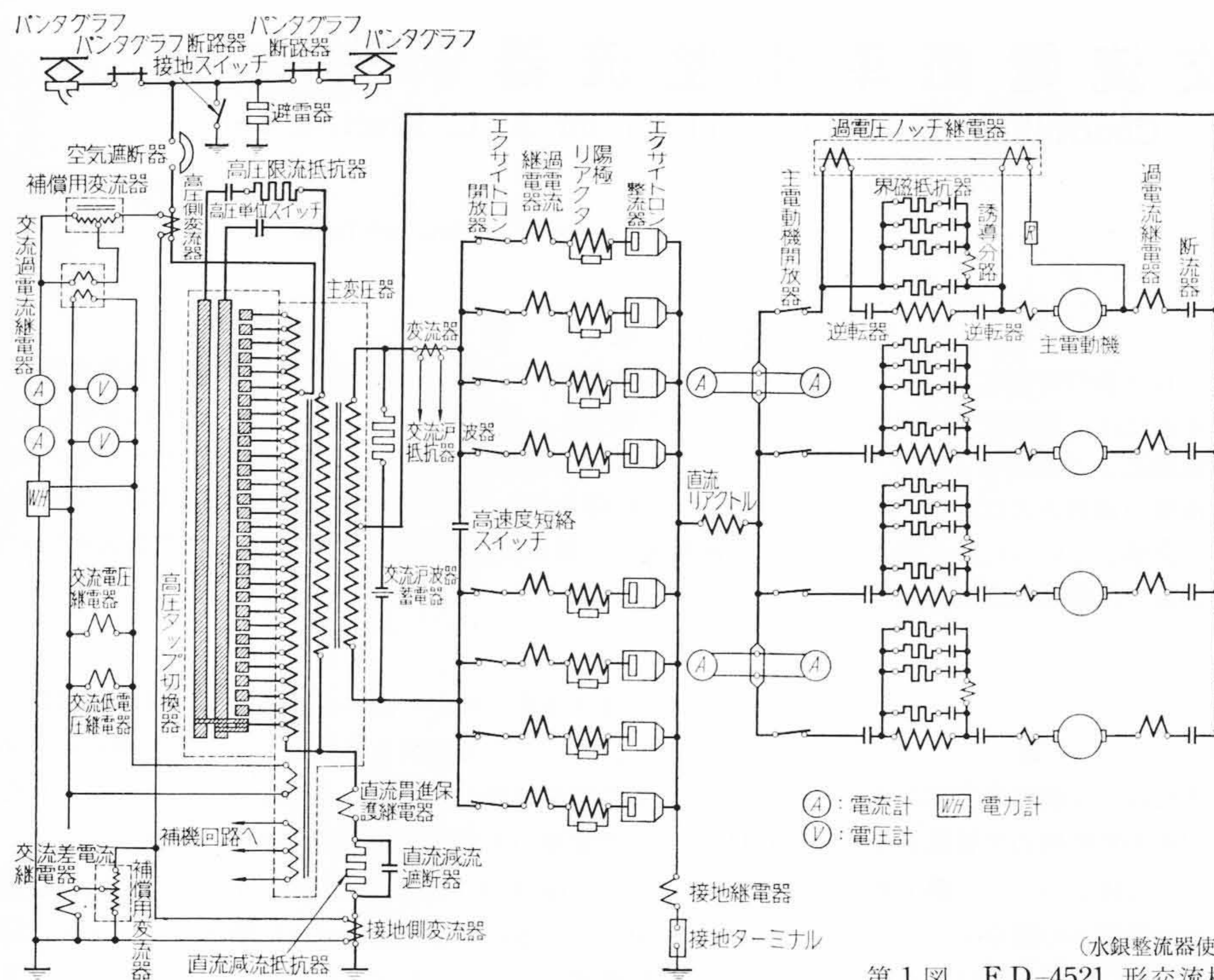
2.2 ED-71形交流機関車用水銀整流器制御方式

ED-71⁽²⁾形は東北本線用として製作された客貨両用交流専用機関車である。当初の3両の試作車のうち日立製作所は711号車の製作を分担した。これは低速範囲に限定されたが格子制御を行った記録品であった。その後東北本線における大がかりな現地試験が行われ日立製作所も国有鉄道の指導のもとに延べ百数十名の技術者を動員しあらゆる角度からの検討を行いその結果の改良を加えた第一次29両の量産が実施された。日立製作所は機関車の中枢部である水銀整流器とその制御装置の集中生産を担当した。第4図は量産車の主回路接続、第5図は制御用キュービクルである。第4図に示すとおり

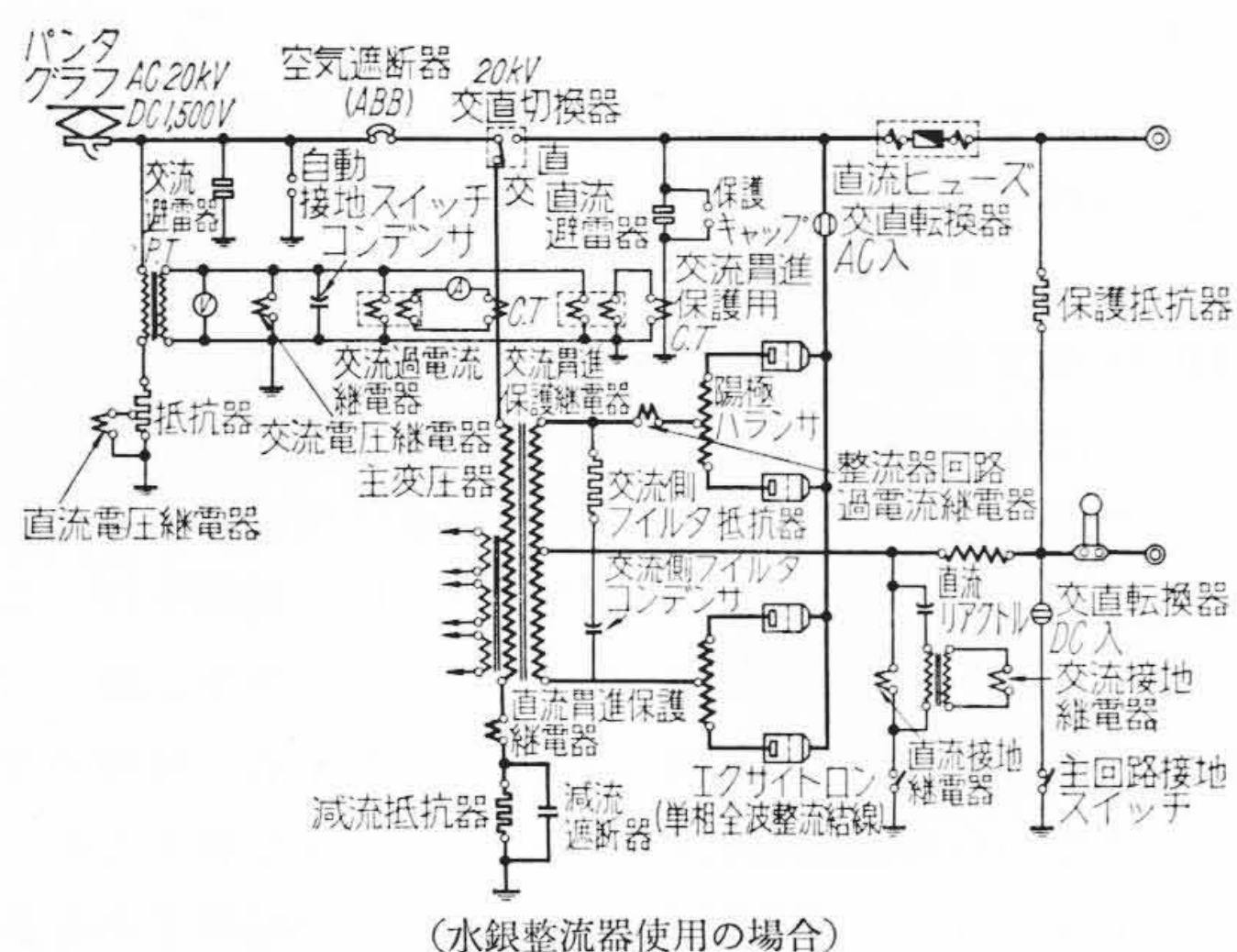
第1表 電 気 車 用 整 流 器

No.	製作年月	台 数	形 式	目 的	重 量	用 途	整 流 器	タンク数	出 力 定 格	交流・直流	摘 要
1	32/5	1	ED-4521 機 関 車	試 作	60 t	旅 客 用	単極風冷封じ切り エキサイترون整 流	8	DC 1,600 kW 650 V	交流専用	
2	33/2	1	電 車 (クヤ 490)	試 作		旅 客 用	単極風冷封じ切り エキサイترون整 流器	4	DC 620 kW 1,500 V	交直両用	
3	34/2	1	ED-711 機 関 車	試 作	64 t	客 貨 両 用	単極風冷封じ切り エキサイترون整 流器	8	DC 2,046 kW 660 V	交流専用	
4	34/10	1	ED-46 機 関 車	試 作	64 t	旅 客 用	単極風冷封じ切り エキサイترون整 流器	4	DC 1,560 kW 1,500 V	交直両用	
5	35/1~3	29	ED-71 機 関 車	量 産	64 t	客 貨 両 用	単極風冷封じ切り エキサイترون整 流器	8	DC 2,046 kW 660 V	交流専用	
6	35/3	1	ED-4521 改 造	試 作	64 t	旅 客 用	風冷式シリコン整 流器		DC 1,600 kW 650 V	交流専用	
7	33/12	1	電 車 (2)項改造	試 作		旅 客 用	風冷式シリコン整 流器		DC 575 kW 1,500 V	交直両用	
8	35/8	1	電 車 (401 系)	試 作		旅 客 用	風冷式シリコン整 流器		DC 810 kW 1,350 V	交流専用	
9	製作中	12	ED-71 機 関 車	量 産	64 t	客 貨 両 用	単極風冷封じ切り エキサイترون整 流器	8	DC 2,046 kW 660 V	交流専用	
10	製作中		電 車 (401 系)	量 産		旅 客 用	風冷式シリコン整 流器		DC 810 kW 1,350 V	交直両用	

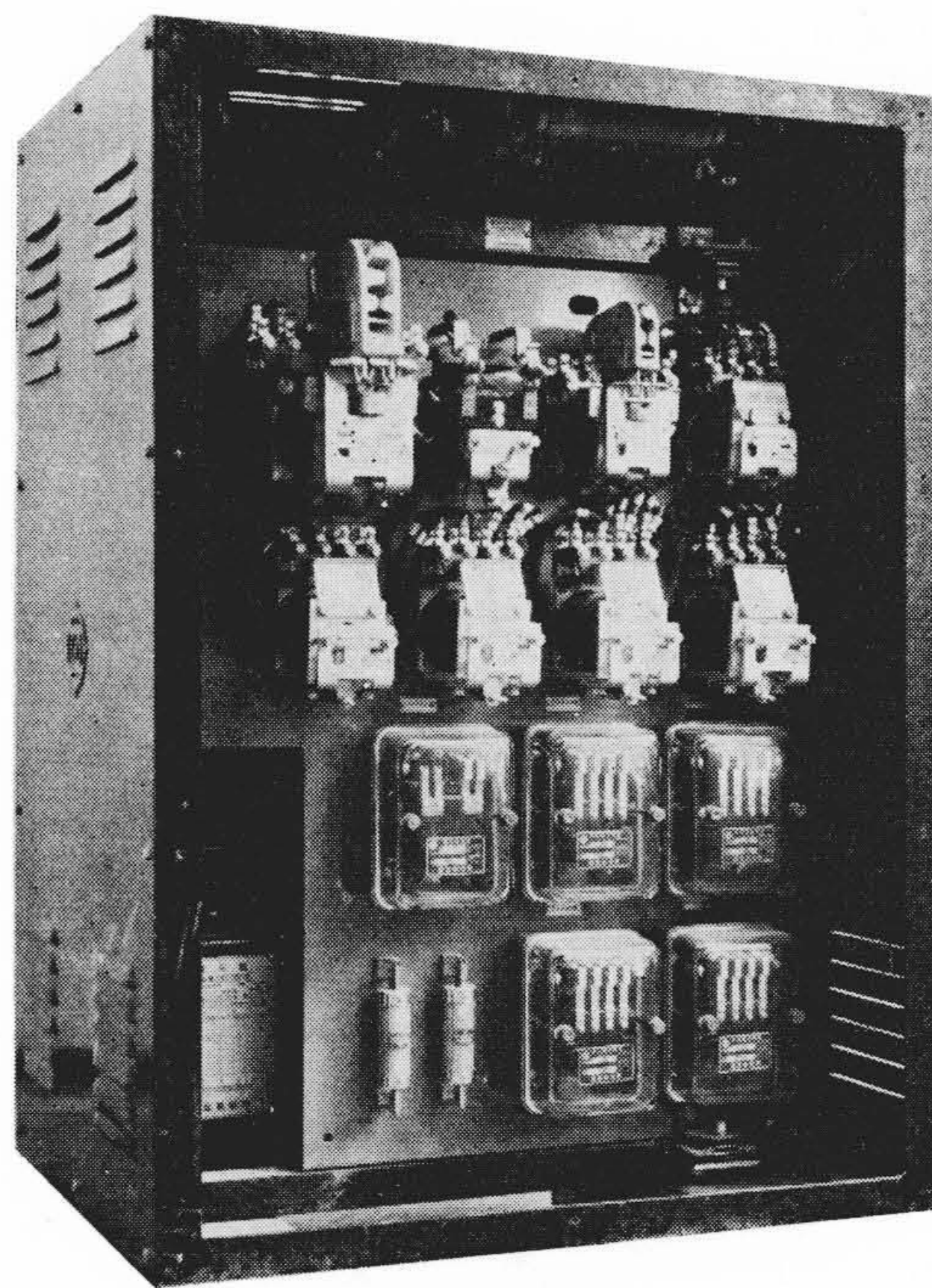
* 日立製作所国分工場



(水銀整流器使用の場合)
第 1 図 ED-4521 形交流機関車主回路つなぎ図



(水銀整流器使用の場合)
第 2 図 交直両用電車 (電源車) 主回路つなぎ図



(交直両用電車)
第 3 図 水銀整流器制御用キュービクル

主電動機 4 台はおのの独立に制御しうるよう水銀整流器 2 タンク点弧装置、格子制御装置は 4 組に分離されている。起動は変圧器の高圧タップ切換方式と格子制御の両方が可能である。

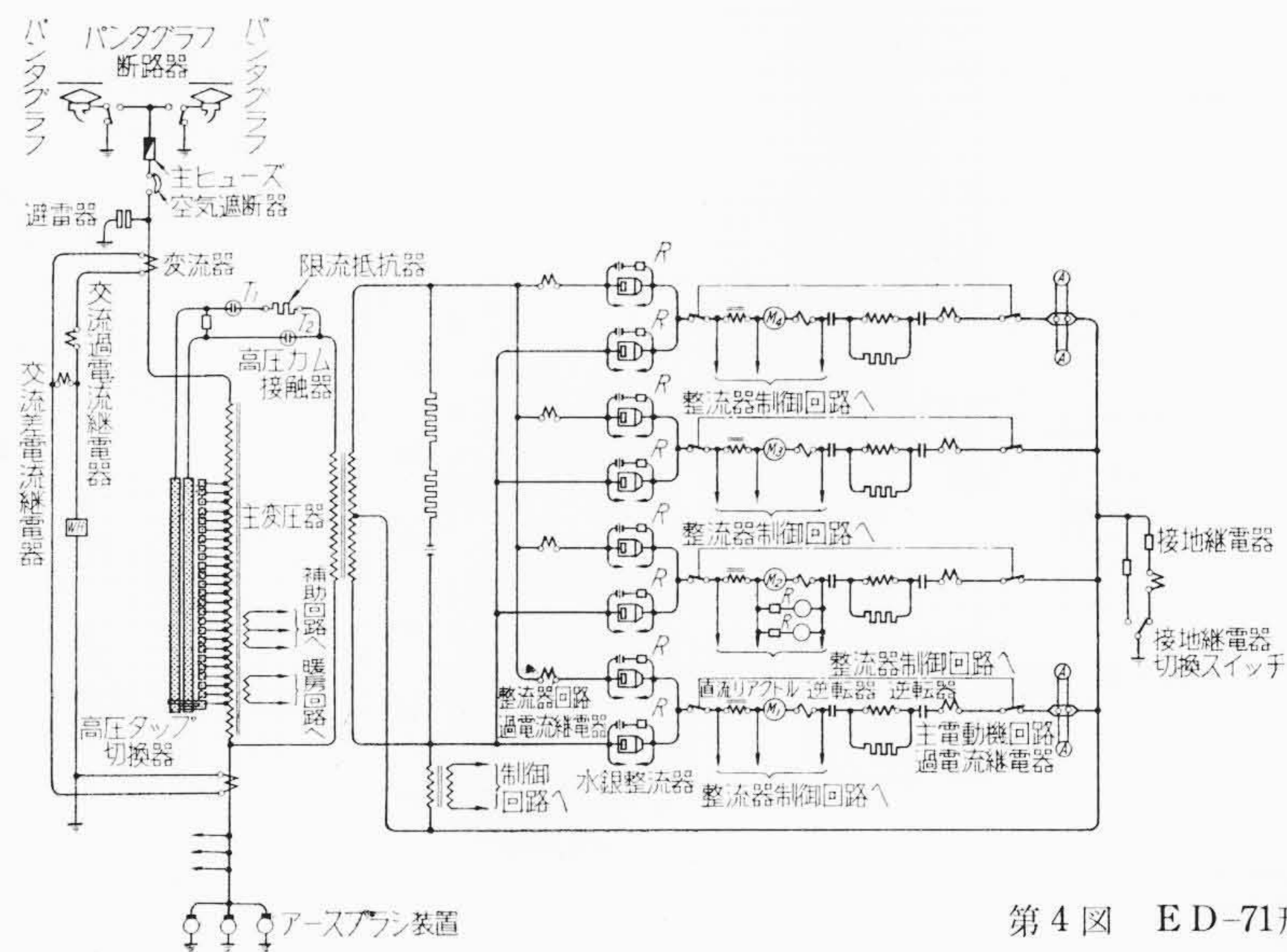
第 6 図は格子制御回路の説明図、第 7 図は各部の波形と位相関係を示す。運転室の主幹制御器(小形しゅう動抵抗器)を動かして指令電流を増して行くと磁気増幅器には主電動機の端子電圧を帰還しているの、これと指令電流の差を増幅した出力電流 i_p が自動移相器の制御巻線に流れる。 i_p の増加にしたがって入力側電圧 E_L と出力側電圧 E_p の位相関係が変化する。この関係を第 8 図に示す。 E_p の位相変化に応じて E_g も変化し最終的に整流器出力電圧 E_d が制御される。指令電流は 4 個の磁気増幅器制御巻線を直列に流れるので 4 組の主電動機を同時に加速して行くことができる。この方式の大きな目的は粘着限界ぎりぎりの起動における粘着特性の向上で、動輪が空転すると主電動機端子電圧が増加するので格子制御によって自動的に水銀整流器出力電圧を下げて再粘着させる。

以上の操作が制御電圧の大幅の変化、波形のひずみ周波数変化に対してもほとんど影響されないよう磁気増幅器、自動移相器、格子変圧器の製作に細心の注意が払われ、調整部品としての抵抗器コンデンサのそう入点やその定数の選定に慎重を期した。結果として当

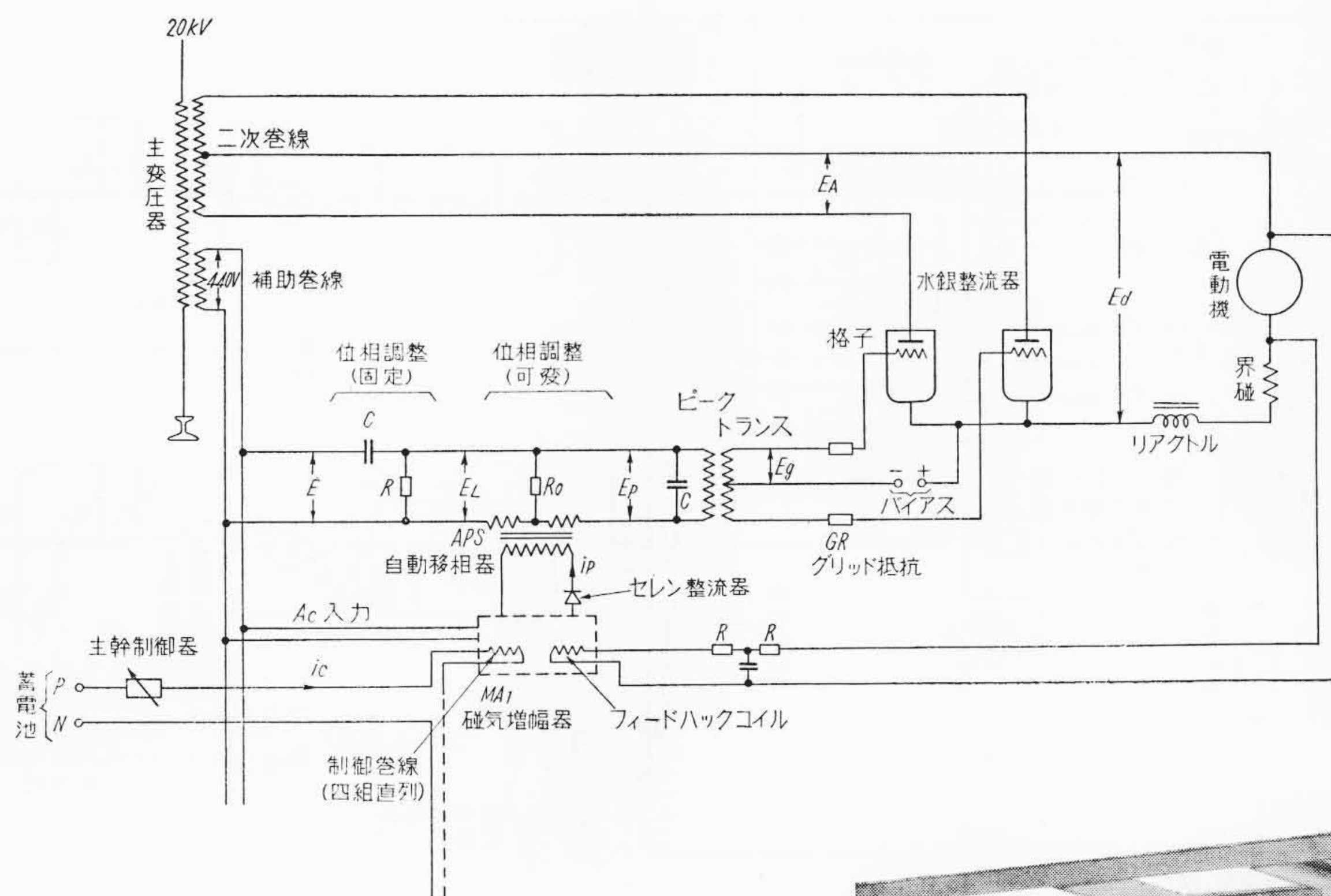
初心配された 4 個の電動機の電流不平衡は解消され、さらに機関車 2 両の重連運転にも好成績を上げることができた。

2.3 ED-46 形交直両用電気機関車用水銀整流器制御方式

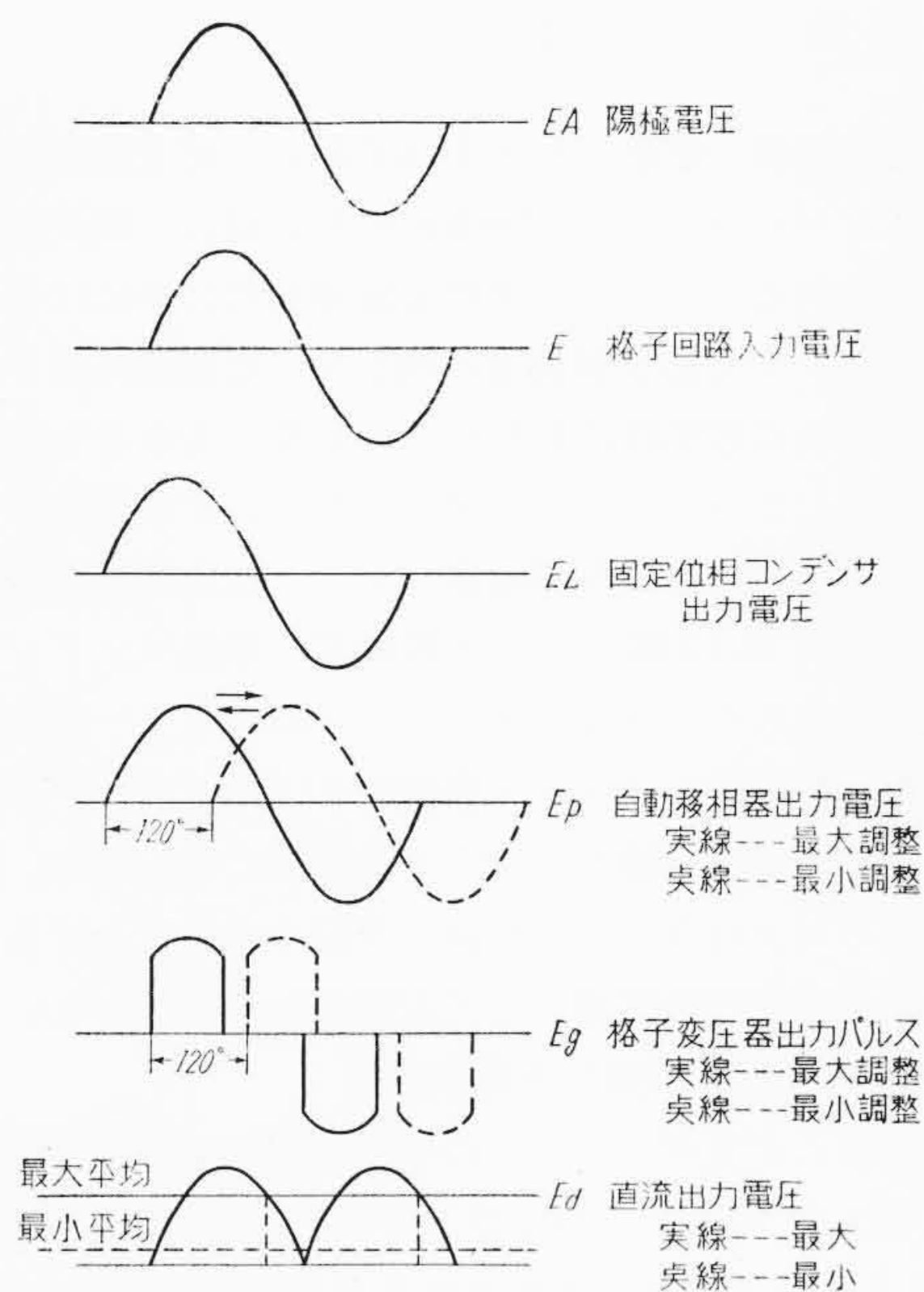
常磐線用⁽³⁾として試作されたもので第 9 図が主回路接続、第 10 図が制御装置である。この機関車でけん引する客車は交流による電気暖房が使用されるので直流区間においては水銀整流器をインバータ運転して直流を交流に変換して暖房電源としている。第 11 図はインバータ主回路の接続および運転特性を示し第 12 図は制御装置である。水銀整流器の点弧格子電源と器槽加熱器、冷却扇などの操作電源は交流区間では主変圧器の補助巻線单相 440 V を使用し、直流



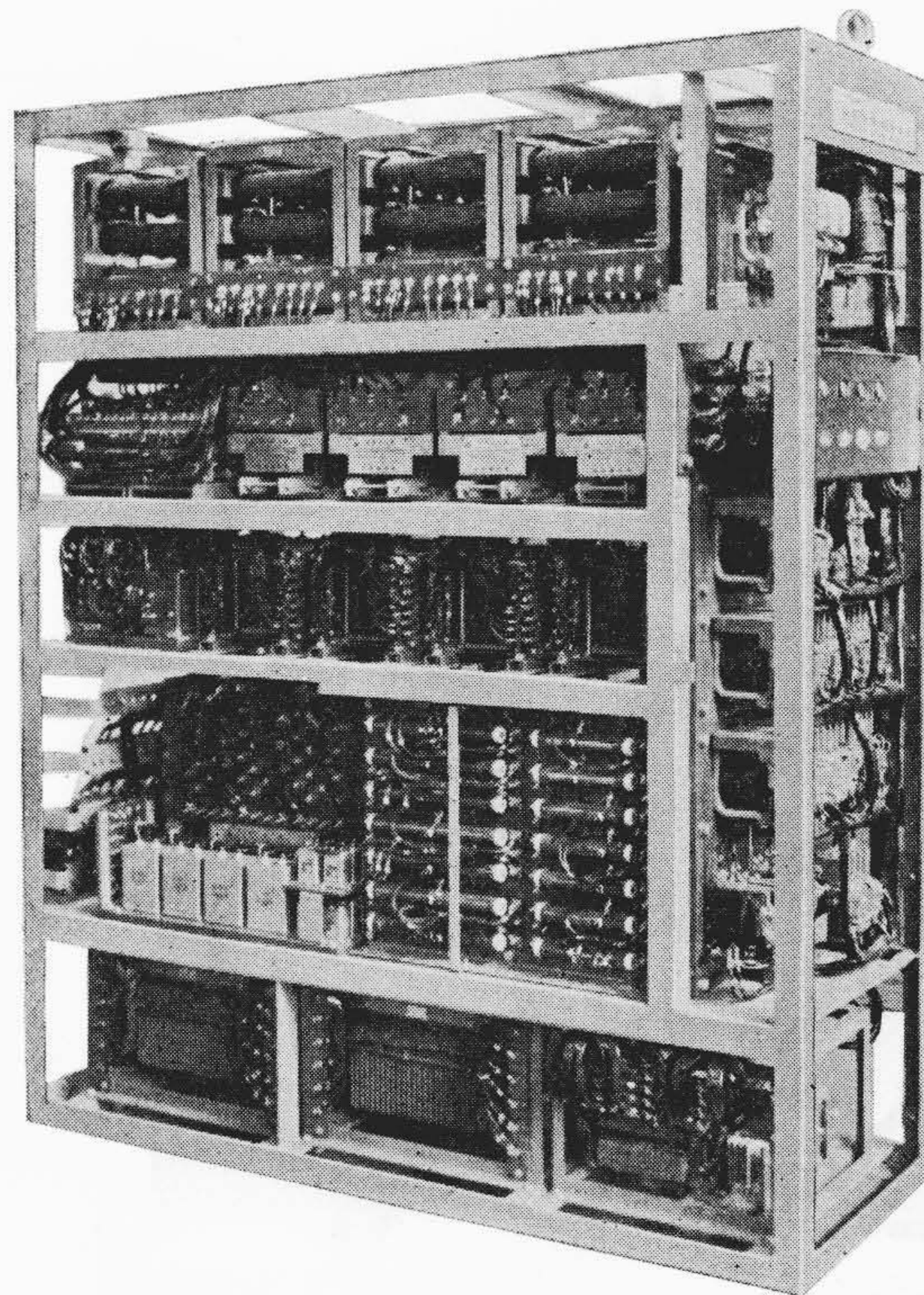
第 4 図 ED-71形交流機関車主回路つなぎ図



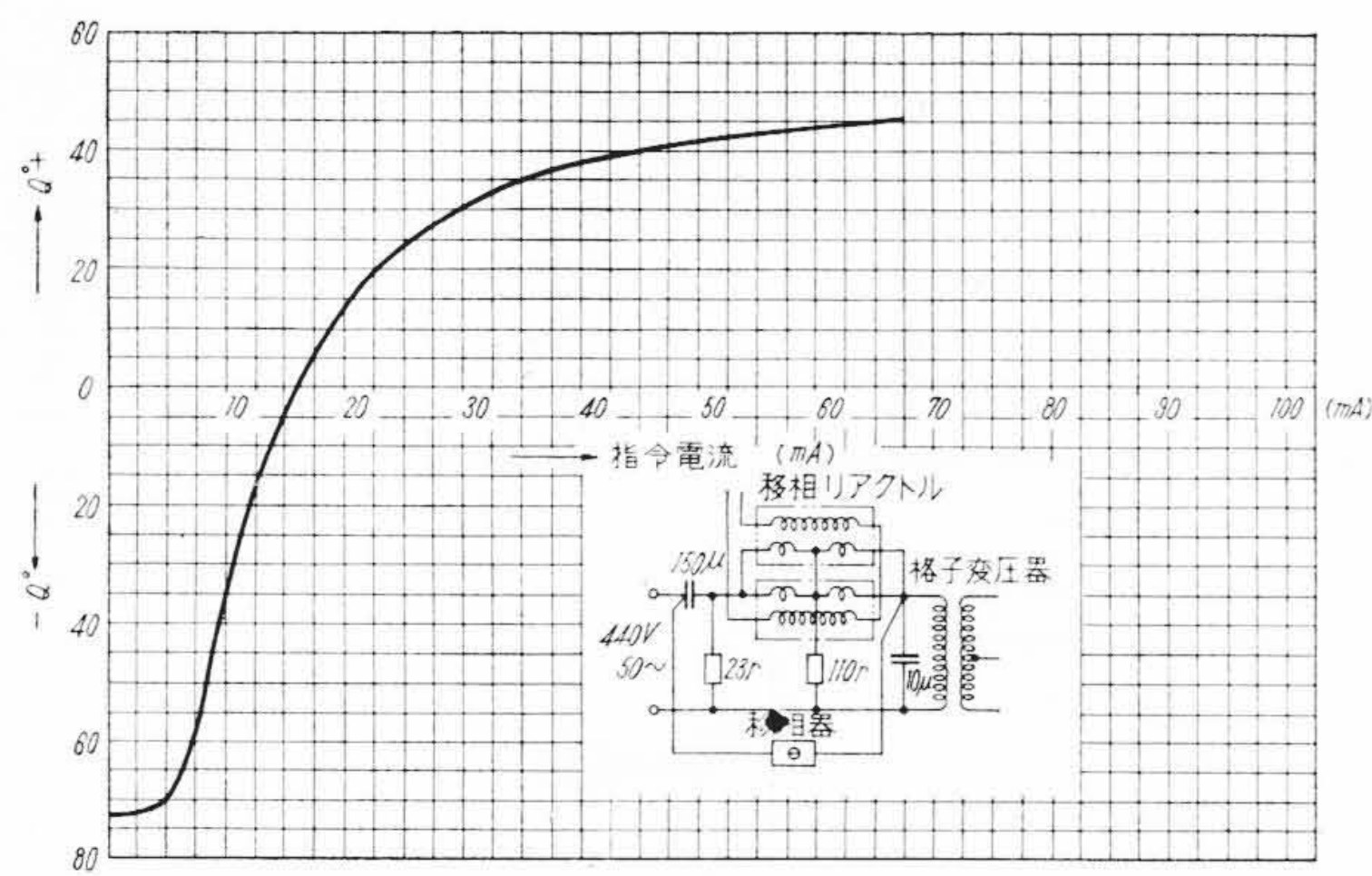
第 6 図 水銀整流器格子制御回路説明図



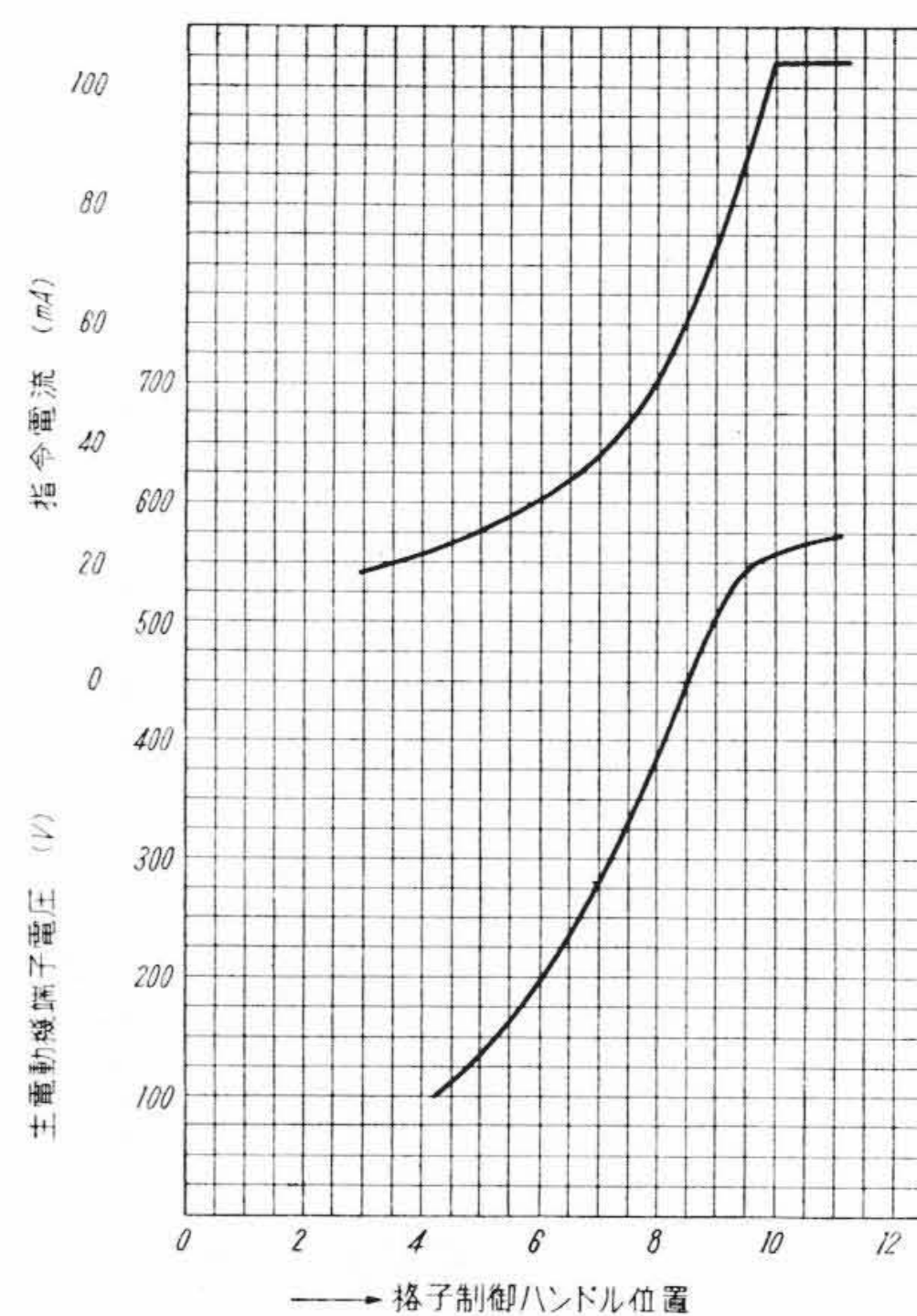
第 7 図 格子制御回路各部分の電圧位相



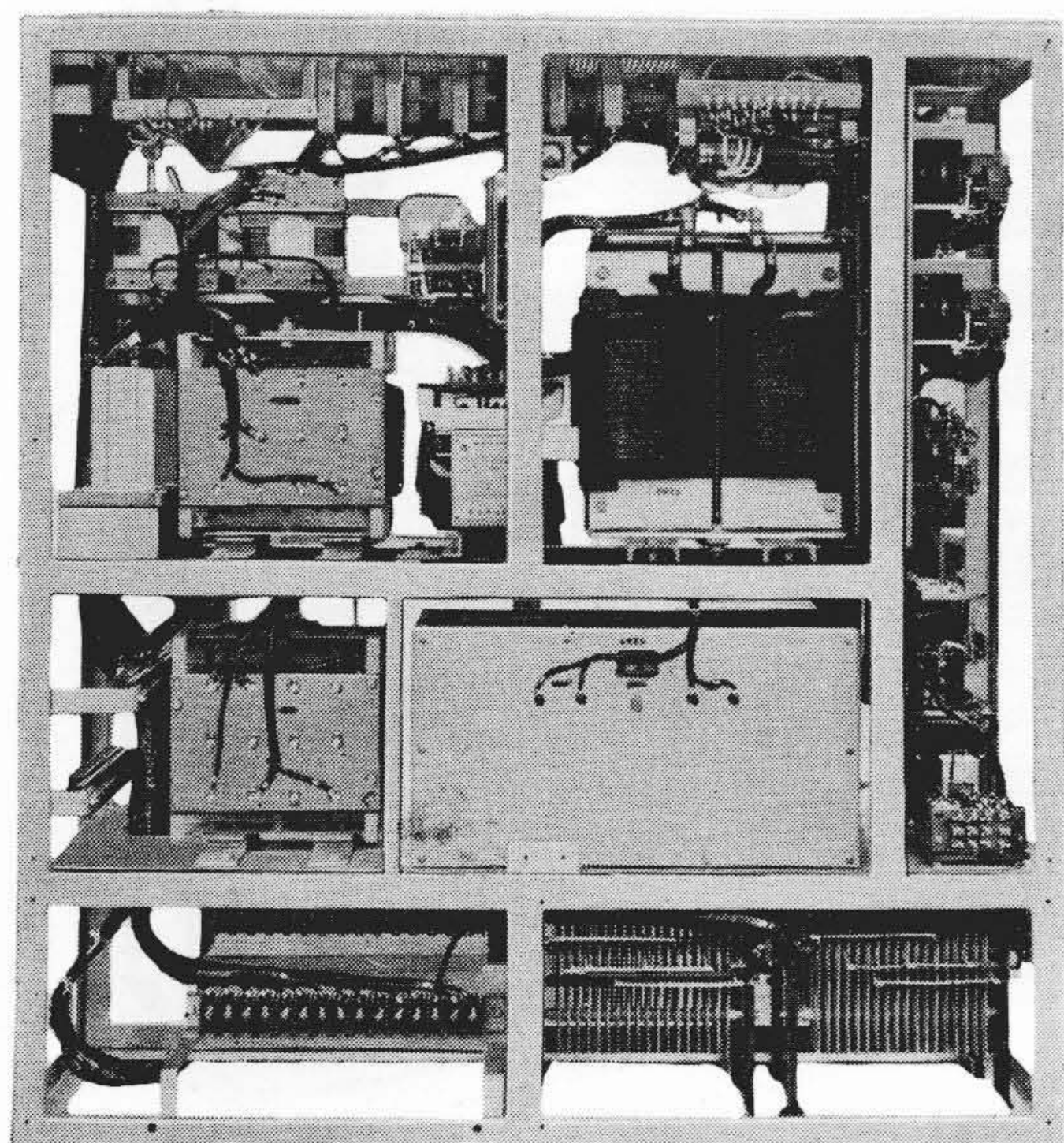
第 5 図 水銀整流器制御用キュービクル (ED-71)



第 8 図 移 相 特 性



第 9 図 ED-46 形 交 直 両 用 機 関 車 主 回 路 つ な ぎ 図

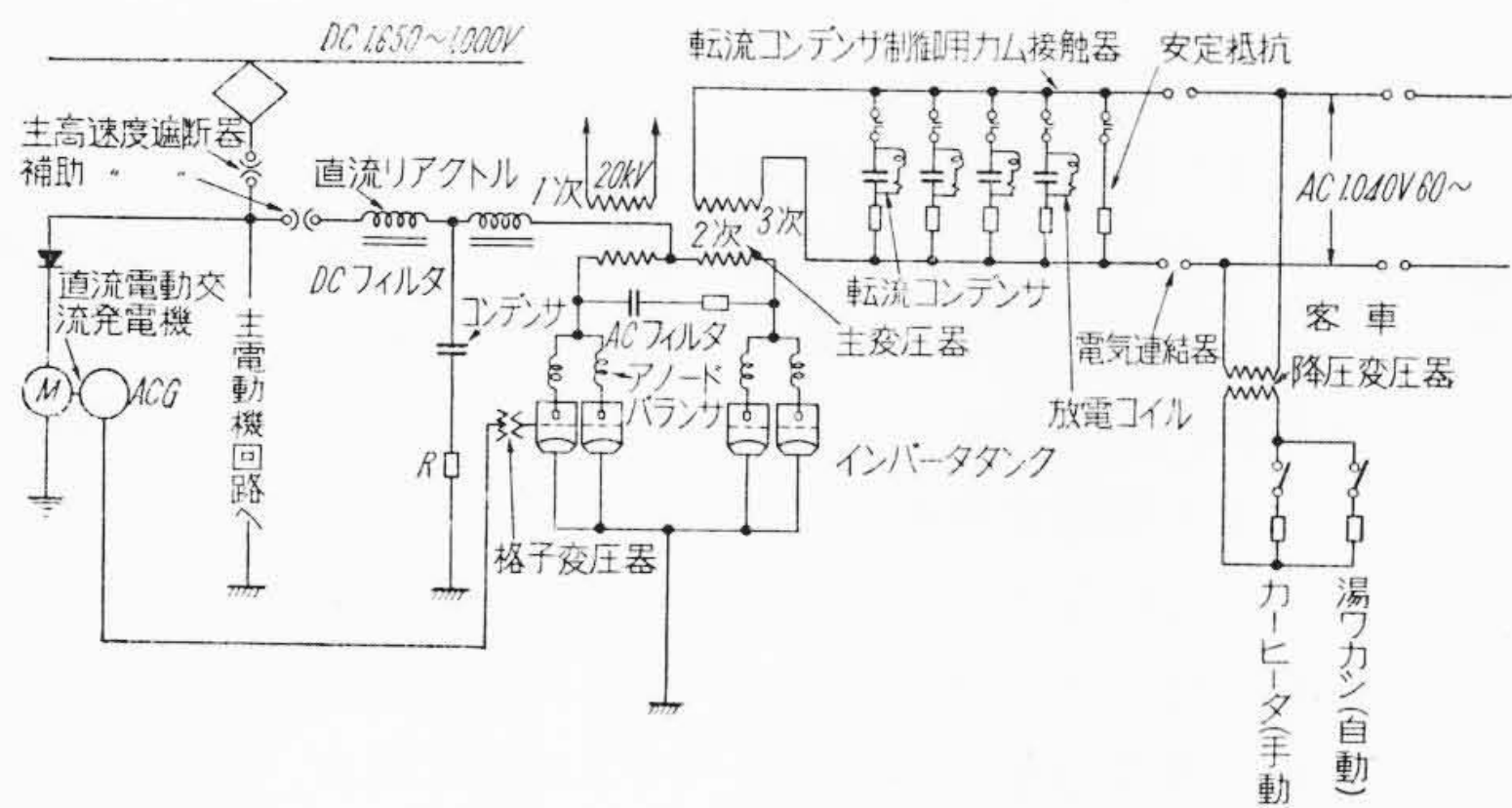


第 10 図 水 銀 整 流 器 制 御 装 置 (ED-46)

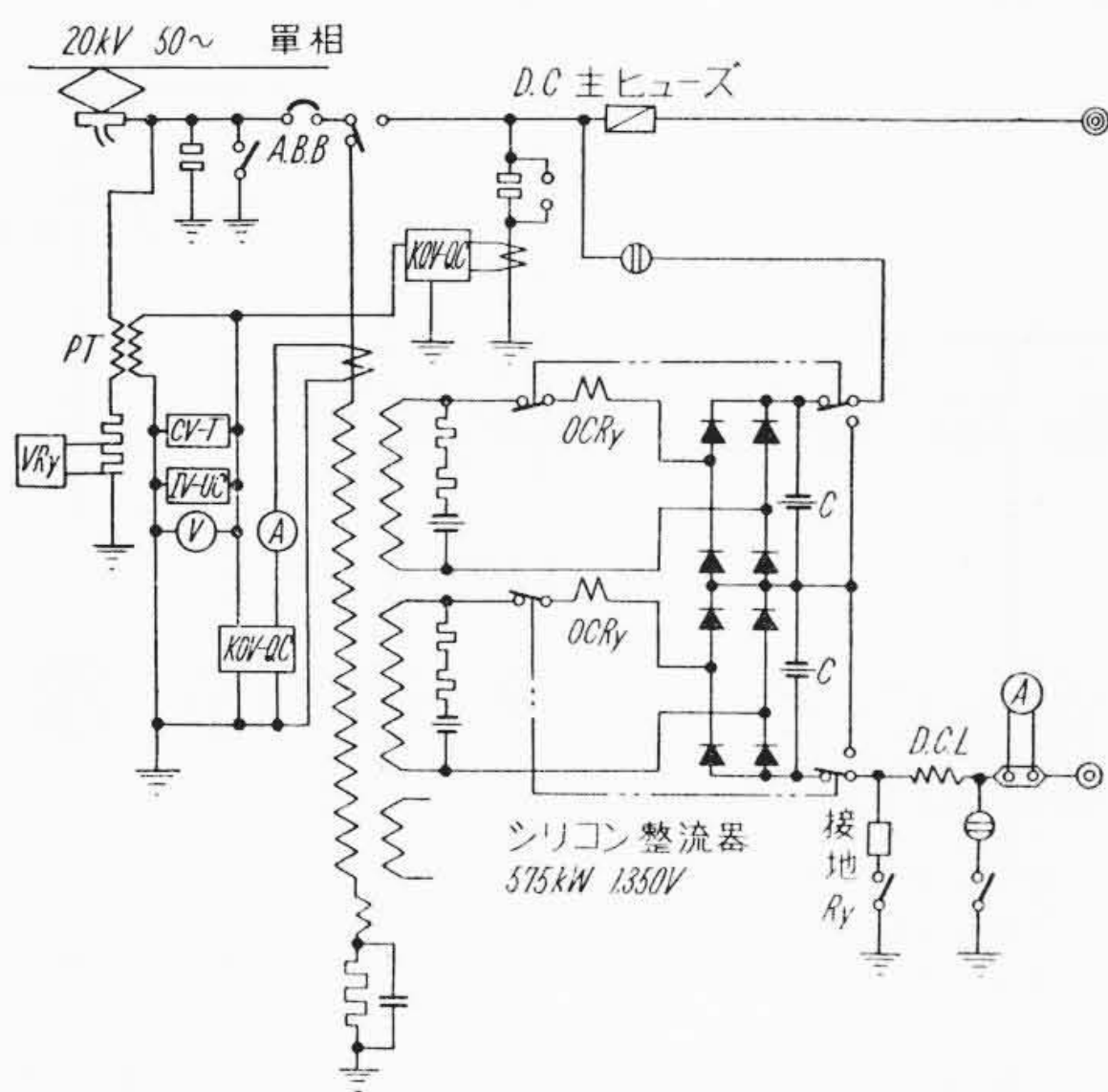
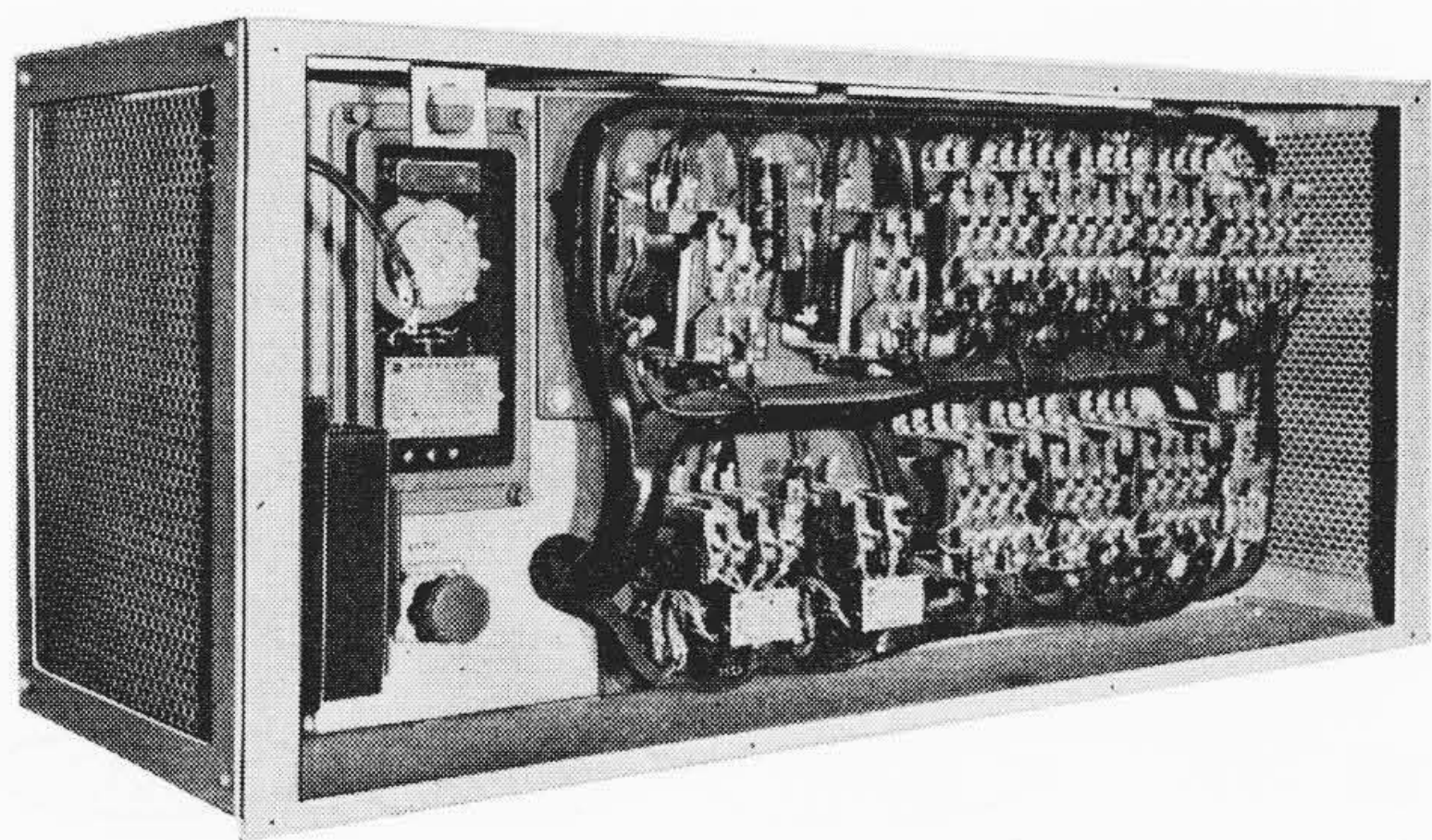
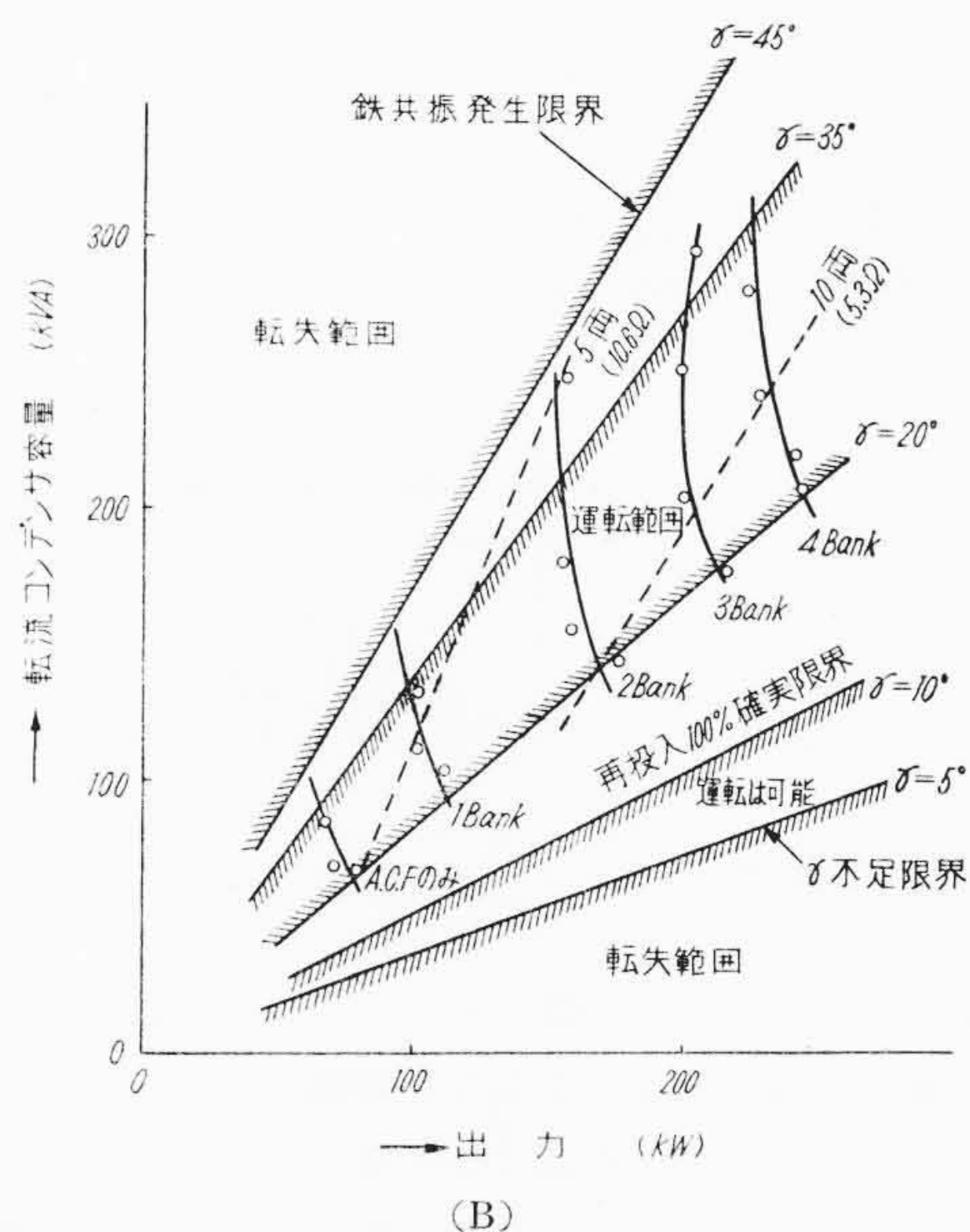
区間では直流電動機で駆動される 12 kVA の三相交流発電機からとっている。インバータは出力 200 kw 他制自励式で周波数は発電機の 60 Hz で規制される。インバータの安定運転のためには負荷に適応した転流コンデンサで格子制御進み角 γ を一定範囲におさえる必要がある。そのために起動時にあらかじめ負荷の大きさを継電器で検知しこれに適応したコンデンサとすること、および運転中負荷電流とコンデンサ電流の比を磁気増幅器を介して検出し両者の比を一定範囲にあるように第 13 図のカム形接触器で転流コンデンサを調整する。また転流失敗のときは再閉合リレーによって一定時間をおいて 3 回まで再起動を行う 3 回とも失敗すればインバータ停止を運転室に警報表示する以上の操作はすべて自動的に行われる。実際運転においてインバータはきわめて好調で予期の成果を上げることができた。このことは交流機関車として記録的なことがらといえよう。

2.4 性能改善のための第二次実験結果

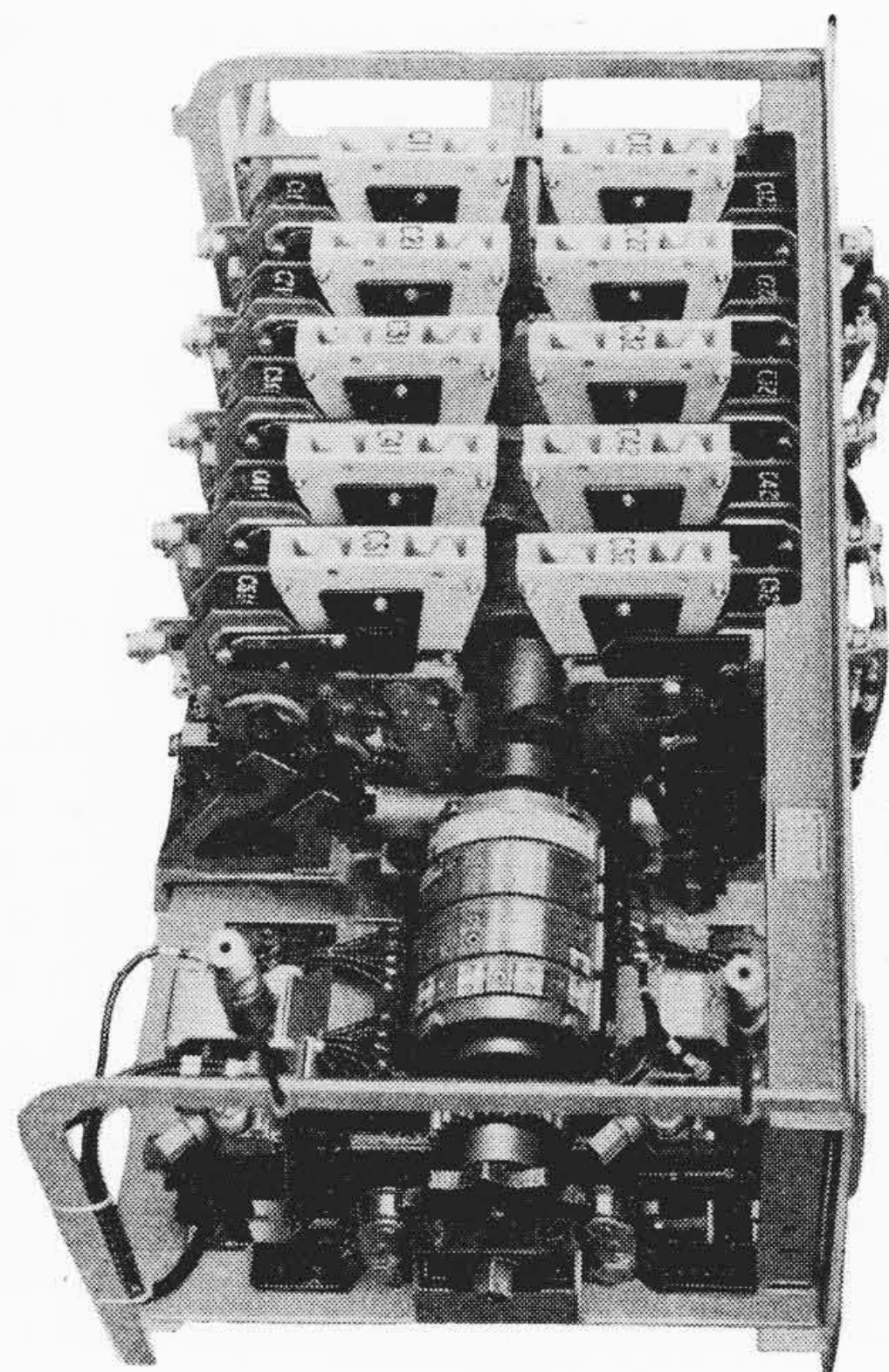
今後開発される北九州その他の交流機関車の設計改良の資料をうるために ED-71 形量産車および ED-46 形を使用した第二次実験が昭和 35 年 8 月東北本線で実施されたその結果次のようなことがわかった。



第 11 図 インバータ主回路接続 (A) および
運転特性 (B)



第 14 図 交直両用電車用シリコン整流器接続図

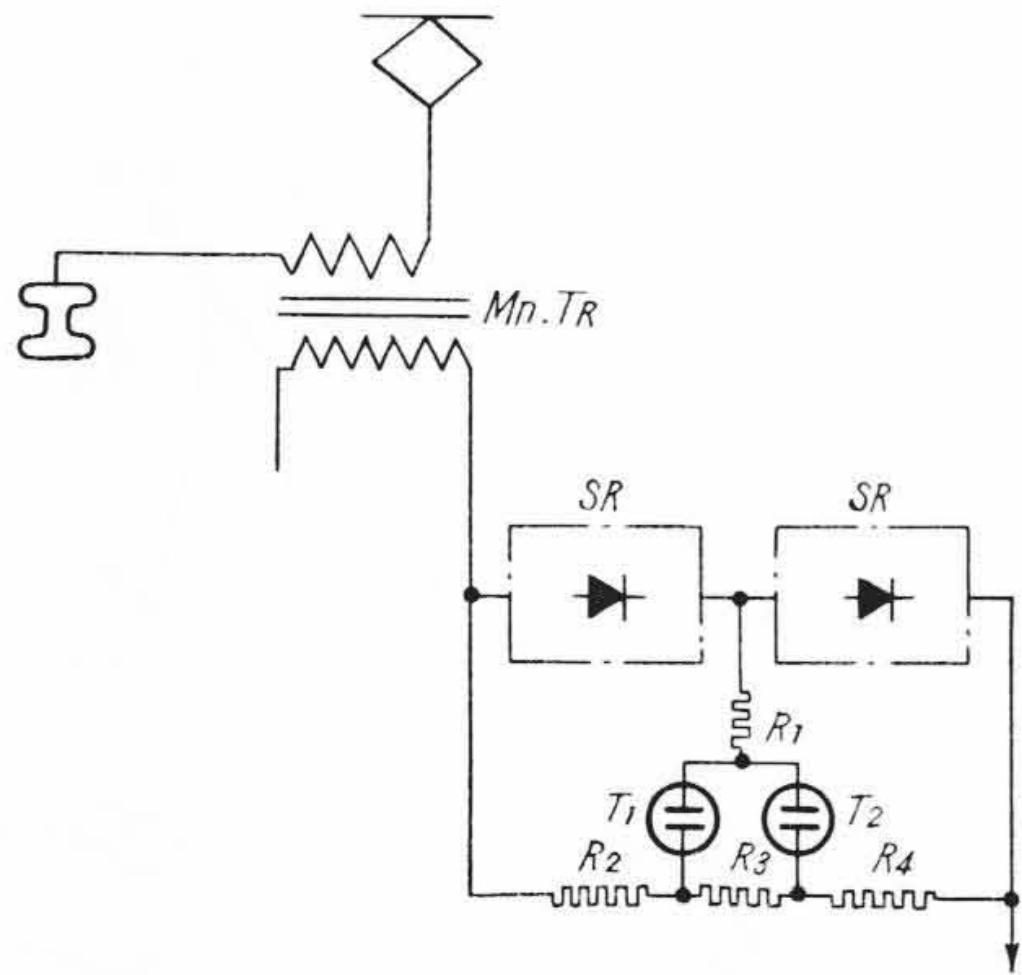


第13図 転流コンデンサ用カム軸接触器

3. 車両用シリコン整流器の保護装置

シリコン整流器の国産化に成功して以来その性能の進歩は著しいものがある。

日立製作所は第1表に示すように自家製シリコン整流器を用いてすでに3種類の試作車を完成し現在に至るまで無事故運転を続けている。最初の1台はED-4521 形交流機関車⁽⁴⁾の水銀整流器をシリコン整流器におきかえたもので、2両目は第2図に示す交直両用電車⁽⁵⁾を第14図のようにシリコン整流器に置換えたものである。3両目は常磐線用シリコン電車として試作されたものである。シリコン整流器用制御装置は水銀整流器用に比し極度になり補機としては冷却扇の開閉のみである。いずれの場合も保護装置は簡易化され直流短絡は交流側の高速度リレーで検出し20 kV 側空気遮断器を開放する。直列エレメントの一部短絡は第15図のようにネオンランプで表示する方法をとっている。異状電圧は20 kV 側のアレスタで制限し制限値以下のサージに対しては変圧器二次端子間にコンデンサを設けて吸収せしめている。サージ電圧の二次移行値は工場



第 15 図 エレメント故障表示方式

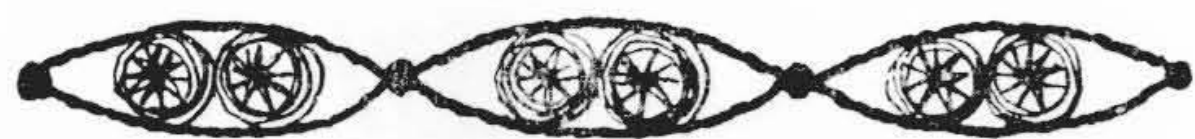
実験で確認してその安全が保証されている。また電車の場合冷却風の取入口が紙片でふさがるとかして冷却風量が少なくなった場合の対策として風の入口と出口の温度差を検出する温度リレーを製作した。以上述べたように車両用シリコン整流器はきわめて簡単な保護装置しか有していないが、すでに相当長期の実際運転になんらの故障を生じていない。このことはシリコン整流器自体の優秀性を示すとともに今後の採用範囲の拡大を予測することできると思われる。

4. 結 言

以上で交流車両用整流器の制御装置の概要とその変遷について述べた。車両における整流器の制御装置は全体の一部に過ぎない。しかし初期の頃の単に整流装置という段階から格子制御、自動定電圧制御、暖房用インバータ、さらにインバータ回生制動という段階になると問題も複雑となりその成否は機関車性能に大きな影響を与えることになる。東北本線における実験において磁気増幅器の代りに格子付シリコン整流器を試用して良好な結果を得たことも今後の制御の有り方を示す課題の一つであると思う。特に交流機関車の改良のために国有鉄道の強力なご指導によって現地において大掛りな重荷重けん引試験を数次にわたって行い得たことは計り知れない効果を与えた。これは単に電氣的制御系の解明のみならず、車体構造、電動機特性など車両全般の進歩のためにも貴重な資料が得られたものと信じている。ここに改めて深謝の意を表する。

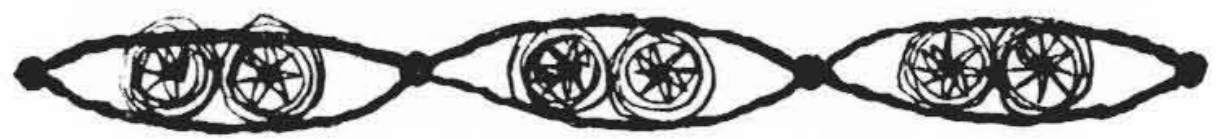
参 考 文 献

- (1) 竹村, 益富: 日立評論 41 (昭 34-4)
- (2) 伊沢, 水越, 浅野, 河井: 日立評論 41 (昭 34-8)
- (3) 高橋, 水越, 伊沢, 河井, 川上, 前川: 日立評論 42 (昭 35-3)
- (4) 曾根田, 川上: 日立評論 42 (昭 35-6)
- (5) 曾根田, 金原, 森田: 日立評論 41, 360 (昭 34-3)



登録新案第 509511 号

新 案 の 紹 介



秋田六郎・小谷政雄

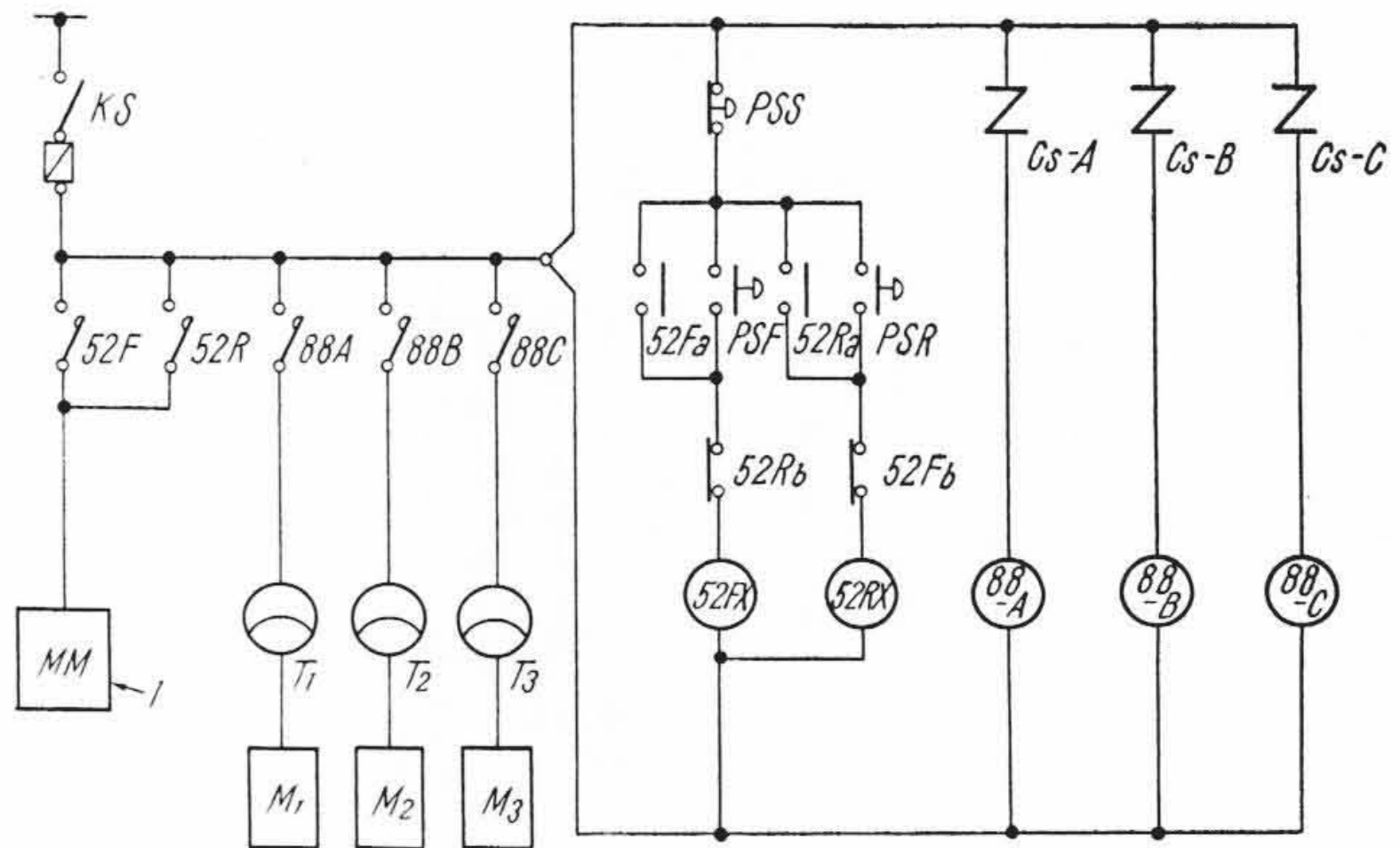
ス ク レ ー パ ホ イ ス ト の 遠 方 操 作 装 置

金属鉱山などの切羽においては、その作業場の条件によりスクレーパを遠方から操作する必要がある。この目的には、公知のサーボリフタがスクレーパホイストのクラッチ操作に用いられているが、本考案はこのサーボリフタの押上力を遠方から加減できるようにし、あたかも作業者が直接手加減をするのと同じに作業できるようにしたものである。

クラッチ操作用サーボリフタの操作電動機 M_1 , M_2 , M_3 の回路に速度制御用の可変電圧形変圧器 T_1 , T_2 , T_3 と、起動停止用の接触器 $88A$, $88B$, $88C$ をそれぞれ挿入し、別に設けたそれぞれのクラッチ操作ハンドルにより、前記それぞれの変圧器と連動的に操作される開閉器 $Cs-A$, $Cs-B$, $Cs-C$ の回路に接触器 $88A$, $88B$, $88C$ の電磁線輪 $88-A$, $88-B$, $88-C$ を挿入したことを特徴とするもので、この例は三胴式スクレーパホイストについて説明したものである。

クラッチ操作ハンドルを操作すると、接触器 $88A$ の開閉と変圧器 T_1 による電圧調整が同時に行われ、サーボリフタの電動機 M_1 の起動停止と加電圧の調整とが同時に行われる。 M_2 , M_3 についても全く同様である。

以上のようにしてスクレーパホイストの操作者は、遠方に設置し



た操作台の三本のハンドルを操作することにより、遠方から任意にサーボリフタの押上力を調整することが可能となり、スクレーパに加わるロープ張力を加減しながら円滑にスクレーパ作業を行なうことができる。(鳥塚)

Vol. 23

日

立

No. 3

- ◎巻頭随筆.....大宅壮一
- ◎インスタンと時代の照明
- ◎最近の大容量私設交換機
- ◎整流器の進歩
- ◎電線百話 その3 「クランク数と銀・銅・アルミ」
- ◎明日への道標「富士鉄 20t 積込機」
- ◎フライアッシュ回収装置

- ◎ハイライト「大阪日立サローン」
- ◎躍進する人工頭脳
- ◎電気機器のドクター日立メガー
- ◎新しい照明施設「東京商工会議所ビルの照明」
- ◎ヒタレックスフィルム
- ◎日立だより

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地 振替口座東京 71824 番
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018 番