

車 両 用 制 御 器 の 無 接 点 化

Static Control Equipment for Rolling Stock

今 泉 藤 磨* 刈 谷 志 津 郎*
Fujimaro Imaizumi Shizuo Kariya

要 旨

現在、電気車両の制御方式は、基本的には一応定形化された状態に達しているものと考えられる。今後の具体的な技術的発展の方向として、制御方式として定形化されたものを前提として、機器の小形軽量化、保守の簡易化、信頼度の向上を目的とした、制御器具の無接点化は重要なものであると考えられる。特に、今回製作納入された近畿日本鉄道株式会社納入全無接点式 NMC HT-10A 形主制御器、日本国有鉄道 ED 93 形交流機関車制御回路においては、総合的な見地から無接点化が検討され、採用されている。これらの実施例を中心として車両用制御器の無接点化の方法と動向について述べた。

1. 緒 言

電気車両の制御方式としては、現在、車両の電気方式が直流である場合も交流である場合も、基本的な形は一応完成され、制御器具としても、直流車両におけるカム軸制御器のように、一応の定形化が果たされたと見る事ができよう。したがって制御器具面における技術的努力は、機器の小形軽量化、高信頼度化、保守の簡易化といった面に注がれている現状である。これらを実現する具体的な方法としては、従来の器具そのものを基本として、その材質、構造を検討していく方法と、最新の電子技術を駆使して、まったく新しい角度からこの問題に取り組んでいく方法の二つが考えられ、実際にこの二つのいずれの面にも鋭意努力が払われている現状である。本稿に述べる車両用制御器の無接点化とは、とりもなおさず、後者の方法を意味するものであり、これの背景となる電子技術の進歩は、大容量サイリスタ (SCR, シリコン制御整流素子) の使用によって電気車の動力方式そのものを革新し、さらに高度の意味における機器の無接点化が考慮されるにいたっているが、ここでは一応現在定形化されたと考えられる制御回路を前提とした、器具の無接点化について検討する。

実際の制御器における無接点化は、高ひん度動作を要求され損耗のはなはだしい一部の器具、たとえばカム軸制御器操作電動機制御用の短絡継電器などを手始めとして、なしくずしの形で行なわれ、多くの成果があげられて来たが、今回製作納入された、近畿日本鉄道株式会社向全無接点式 NMC HT-10A 形主制御器、日本国有鉄道 ED 93 形交流機関車制御回路においては、機器の総合的検討を行なって無接点化対象器具を決定し、それらに適した無接点化方式を選択、採用して、制御器全体としての小形軽量化、高信頼度化を実現した。このような形における無接点化によって、初めて本来目的とする効果を十分期待することができるものとする。この意味において上述の 2 装置の完成は、今後の制御器の発展の方向を示すものとして、その成果は注目に値するものがある。

2. 無接点化の方針

車両用制御器具の無接点化にあたって、主として特に車両用という特殊用途から要求される問題点を中心として、無接点化に関する基本的な設計方針といったものを検討してみよう。

実際設計にあたって、しばしば問題となるものの一つに、信頼度と安全度の協調の問題がある。無接点化の目的が、機器信頼度の向上に一つの重点が置かれる以上、その面に留意した設計がなされるべきはもちろんであるが、同時に車両用制御器として安全度を重視

した設計がなされなければならない。ここでいう安全度とは、自動列車制御装置などにおける“fail safe”の原則のように、故障時に安全側に動作することを意味する。従来のように継電器類を使用して制御回路を構成した場合は、この原則を満たすことは容易であるが、これに対して半導体類を使用した回路構成によって完全に故障時安全側の原則を守るためには、特殊な考慮が必要であって、回路の複雑化をまねくとともに信頼度を低下させる原因となる。この辺のかね合いが実際設計上の一問題であるが、たとえば運転士の意志に反して断流器類が投入される、またはされたままとなるといった最悪事故は、主幹制御器に接点を残すといった方法などにより完全に防止し得るようにして、全体回路の簡易化をはかり信頼度向上を主眼とする、といった方針によるのが实际的である。

次に回路の制御電源の問題がある。

たとえば制御素子として DCCT、磁気増幅器を用いる場合などには回路電源として交流が必要になり、電磁弁、その他の電磁コイル、操作電動機などは、直流電源によっても制御可能であるが、交流電源によって制御される場合に、回路がきわめて簡易化される。したがって制御回路電源として交流電源を用いたほうが回路設計の自由度が増し、かつ回路の信頼度を増す。この場合、従来の制御装置のように、一次電源として直流 100V による制御が可能であることが必要ならば、トランジスタ、またはサイリスタなどによる静止形インバータを搭載することになるが、回路方式を十分検討すれば、静止形インバータに要求される容量はきわめて小さいもので十分であり、総合的に見て得策である場合が一般である。

使用素子としては、トランジスタ、サイリスタ、ダイオードなどの半導体類、磁気増幅器などといったものが考えられるが、これらはそれぞれ固有の特性、特長を有しているものであるから、対象回路の必要特性に応じた素子を選択使用し、それぞれの特長を生かすように用いるべきは当然である。回路的にはほぼ同一の機能を要求されるものでありながら、接地継電器には磁気増幅器、限流継電器などの電流検出にはトランジスタ回路が用いられているのはその好例である。

さきに安全度確保の面から、有接点機器との協調が必要である旨述べたが、機器無接点化の目的が、小形軽量化、高信頼化、保守の簡易化にある以上、単なる無接点化のための無接点によって複雑な回路構成に走るのは避けるべきで、適当な有接点機器との協調によって、総合的なセットとして前述の目的を達成するように考慮しなければならない。特に一般制御用継電器に対しては、小形化、高信頼度化に関する多くの改良がなされている現状であり、経済的な面から見てもこのような面に対する検討は十分行なわれなければならない。

* 日立製作所水戸工場

表 1 車両制御器における無接点回路

#	回路機能	従来の対象器具
1	位置検出	高精度検出………カム軸制御円筒, それほど精度を} …… {断流器, 断路器の補助連動接点 要しないもの} …… {逆転器, 主幹制御器などの接点
2	目盛を有する回路	各種保護継電器, 限流継電器, 限時継電器
3	電磁コイル制御	断流器, 断路器, 逆転器などの操作回路
4	操作電動機制御	短絡継電器
5	一般論理回路	補助継電器

一方において、無接点化は新しい形の器具の導入を意味する。したがってその保守性について十分検討がなされなければならない。故障が発生した場合その原因究明が容易な構造に収納され、かつ各種の機能の是非を判定する簡易な試験法が確立されなければならない。故障回路の交換なども容易に行なえるよう、標準化されたトレイなどに収納されるべきであろう。

3. 無接点化の方法

車両用制御器の無接点化対象回路を、回路別に分類整理すると表1のようになる。本表に従って無接点化の具体的な方法について順を追って説明を加える。

(1) 位置検出器

位置検出器を、機械的位置を電気信号に変換するものとして考えるとき、車両用制御器においては表1に示されたような多くの用途を見いだすことができる。これらのうち、逆転器、断流器類の補助接点は、検出すべき機構部分の動作行程が大きく、検出精度上もそれほどのものが要求されないので従来開発されてきた各種の手法、器具が適用可能であるが、制御円筒の角度位置の検出には高精度が要求され、従来の方法によっては仕様を満足することが不可能であった。これに対して新しく開発されたものが、差動変圧器利用の精密位置検出器で、構成もきわめて簡単であるから、すべての位置検出に用いられている。

本精密位置検出器は図1のような原理によるもので、検出ヘッドはE形コアに巻かれた差動変圧器であるが、その二次コイル出力は、単一巻線ごとに整流され、トランジスタ式差動増幅器の別個の入力端に接続されて差動的な動作を行なうようになっている。したがってきわめて高感度、高利得の差動変圧器を構成したと同等になるとともに、検出ヘッド出力はトランジスタ回路駆動用の微小なものでよいから小形化することができる。

(2) 目盛を有する回路

各種保護継電器をはじめ、主回路の電流、電圧を検出するものとしての目盛を有する回路、その他特殊なものとしては限時動作を行なうもの、空気圧を検出するものなどがこれに含まれる。したがってまず検出端について考えてみる。

電流、電圧の検出端には変流器、変圧器の類が一般に賞用される。これは検出端より以後の電子回路において扱いやすい、微小信号に変換するとともに、主回路との絶縁をはかるために用いるものである。接地継電器の無接点化の場合などは、磁気増幅器の巻線間の絶縁によって主回路、制御回路間を絶縁することが可能である。

空気圧力の検出には、空気圧力を金属ペロー、ゴムペロフラムなどを用いて機械的変位に変換し、気圧スイッチのような場合は前記の位置検出器を用い、アクチュエータなどの場合は普通の差動変圧器を用いて電気信号に変換する。図2,3にそれぞれの検出器を示す。

さて電流、電圧が検出されたあと、これが所定値に対してどのような値であるかを検知する方法としては、ツェナーダイオード

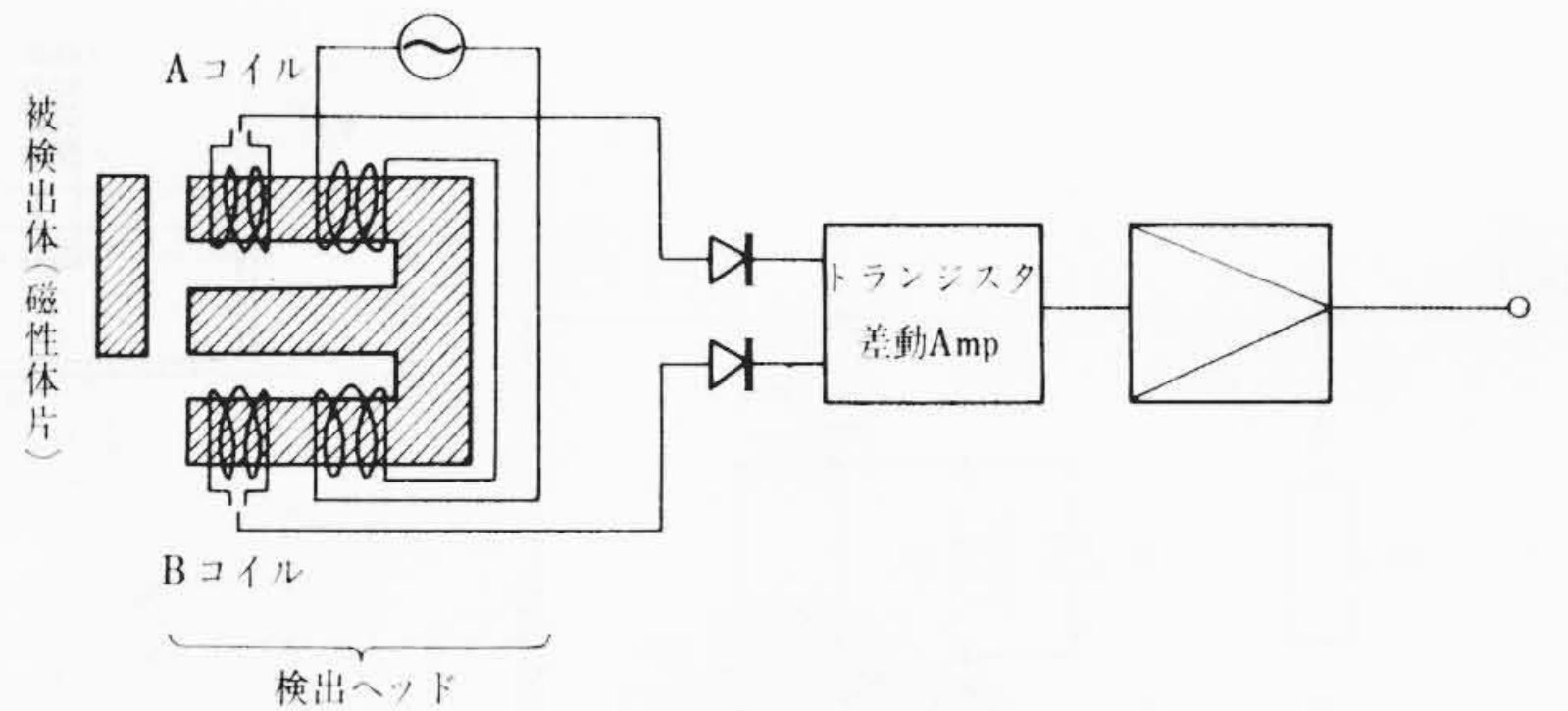


図 1 位置検出器の原理

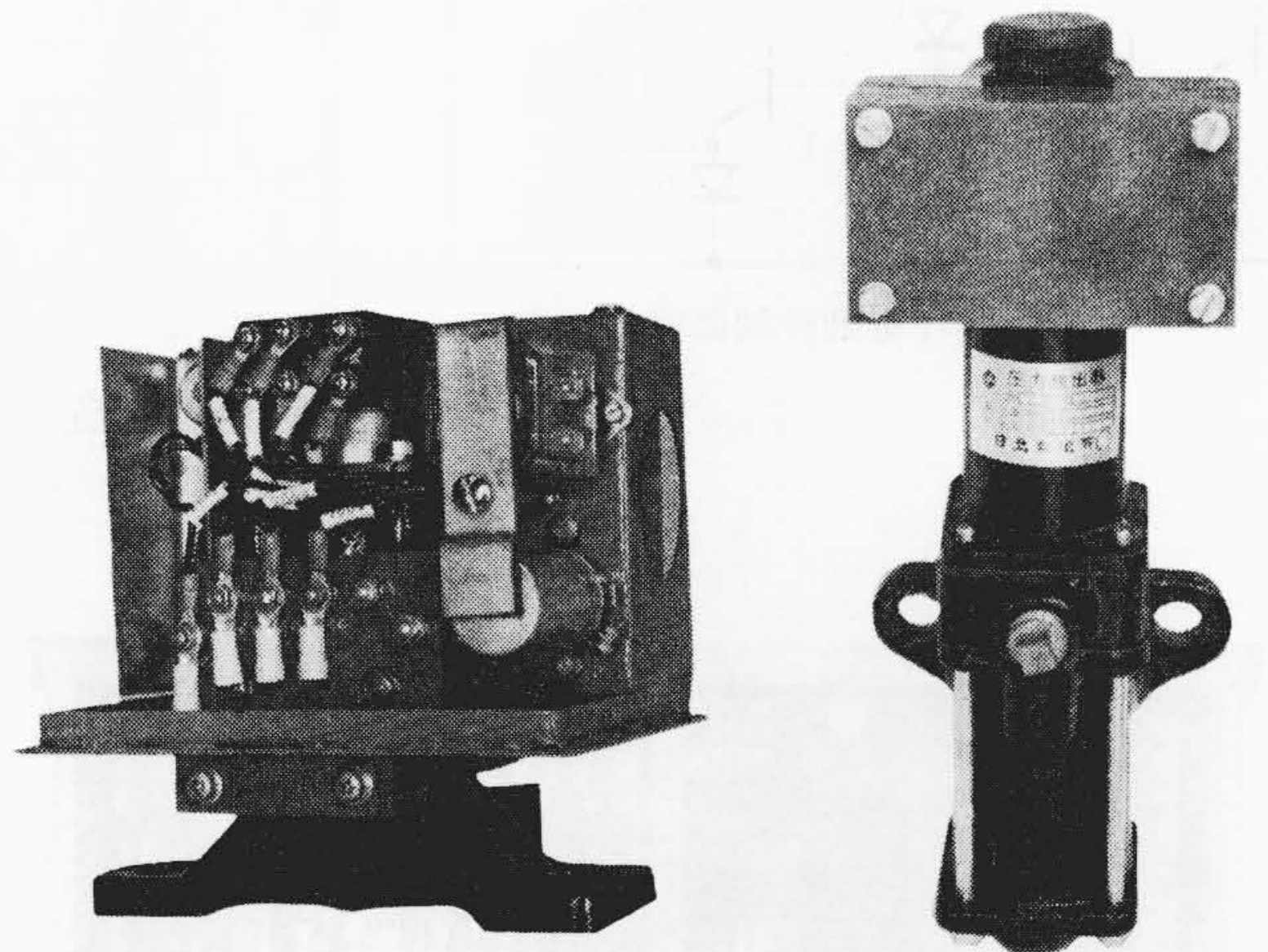


図 2 無接点式気圧スイッチ

図 3 無接点式空気圧検出器

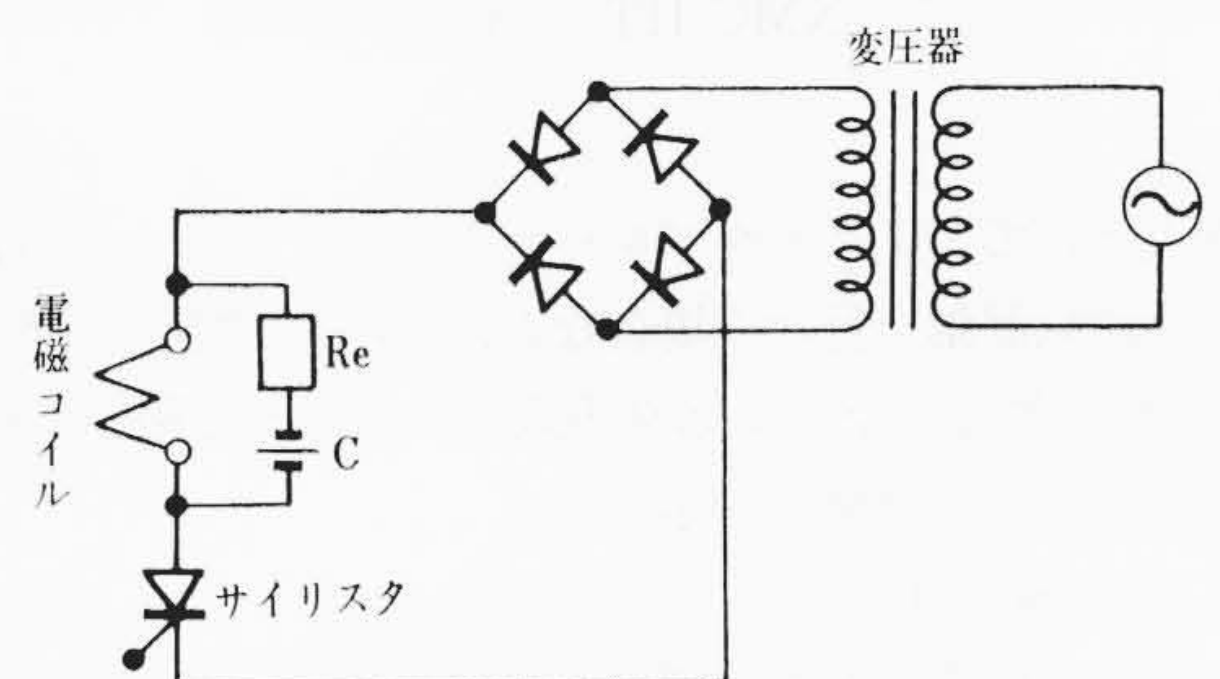


図 4 電磁コイル制御回路

を用いる方法、差動増幅器などのトランジスタ化回路を用いる方法、磁気増幅器を用いる方法などが考えられるが、所望の精度その他から上記各種比較方式中の一つを選んで使用している。

限時回路はC, Rの積分回路と各種比較回路との組合せによって実現される。この場合も回路仕様に最も適したものが選択使用されているのは当然である。

(3) 電磁コイル制御回路

電磁コイル制御回路としては図4に示すような、サイリスタが主として用いられている。もちろん、磁気増幅器その他を用いることも可能であるが、サイリスタを用いることにより小形軽量化、高速動作が可能である。また、図4とは異なった回路によるが保護継電器の場合要求される記憶作用なども実現することができる。

(4) 操作電動機制御回路

カム軸制御用の操作電動機には一般に直流電動機が用いられるが、これの制御用回路として、まず磁気増幅器による無接点化が行なわれ多くの実績が重ねられたが、現在はサイリスタ、トランジスタなどの半導体を用いた方式が多く実用されている。いずれの場合でも、操作電動機を一定速度で制御する場合と、速度を可変する場合、一方向回転の場合と正逆転制御を行なう場合、プレ

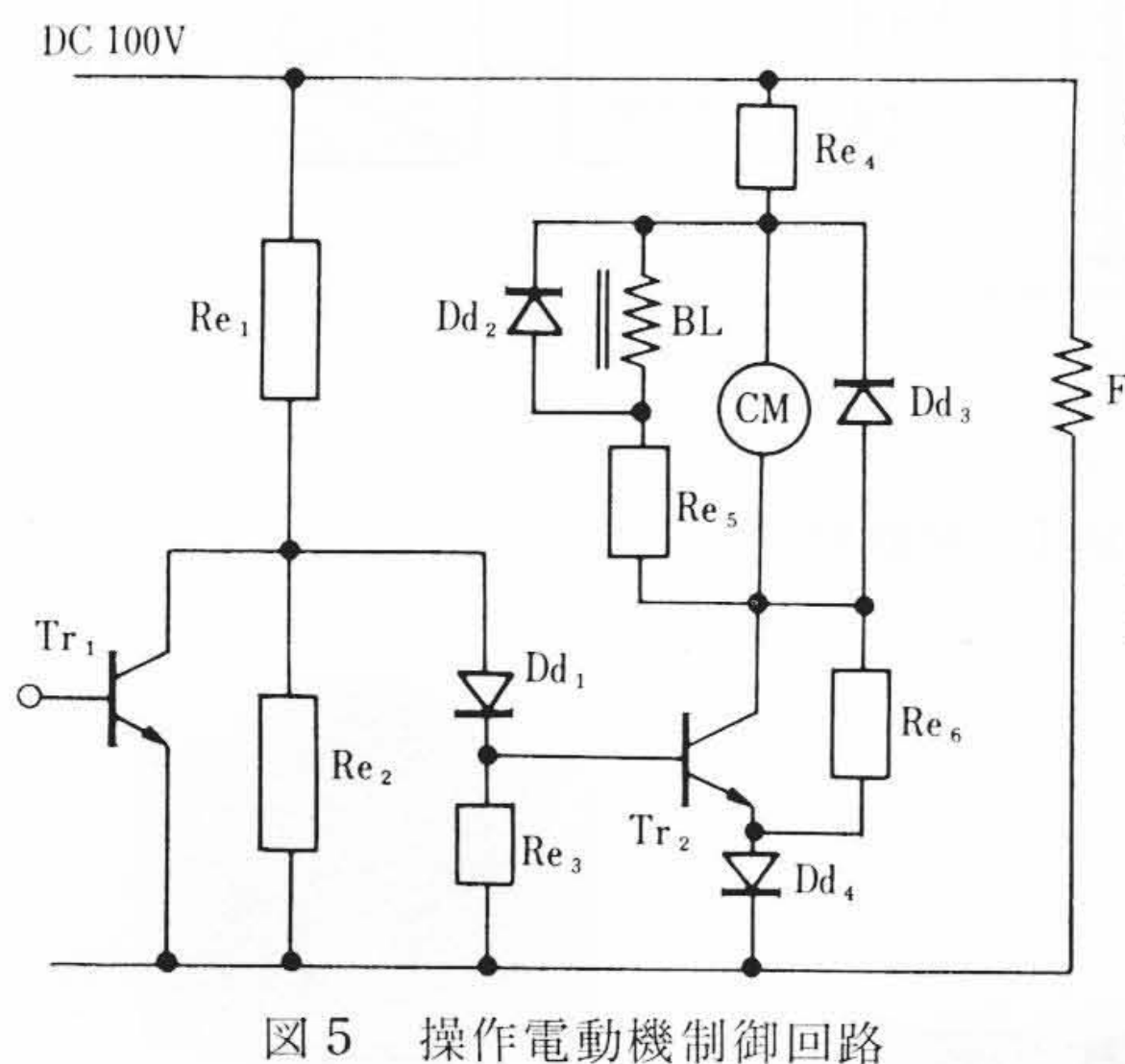


図5 操作電動機制御回路

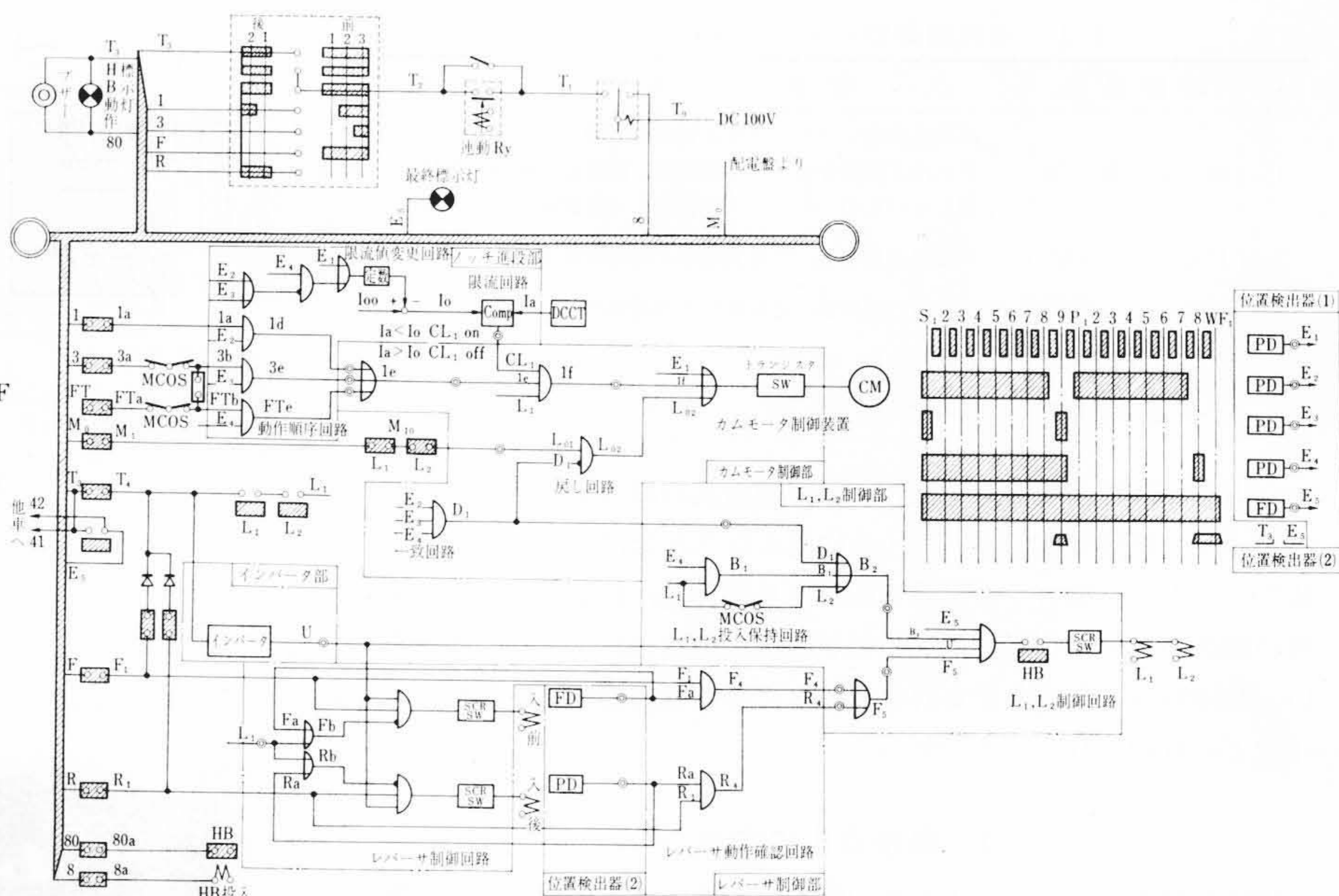


図6 NMC HT-10A 制御ブロック図

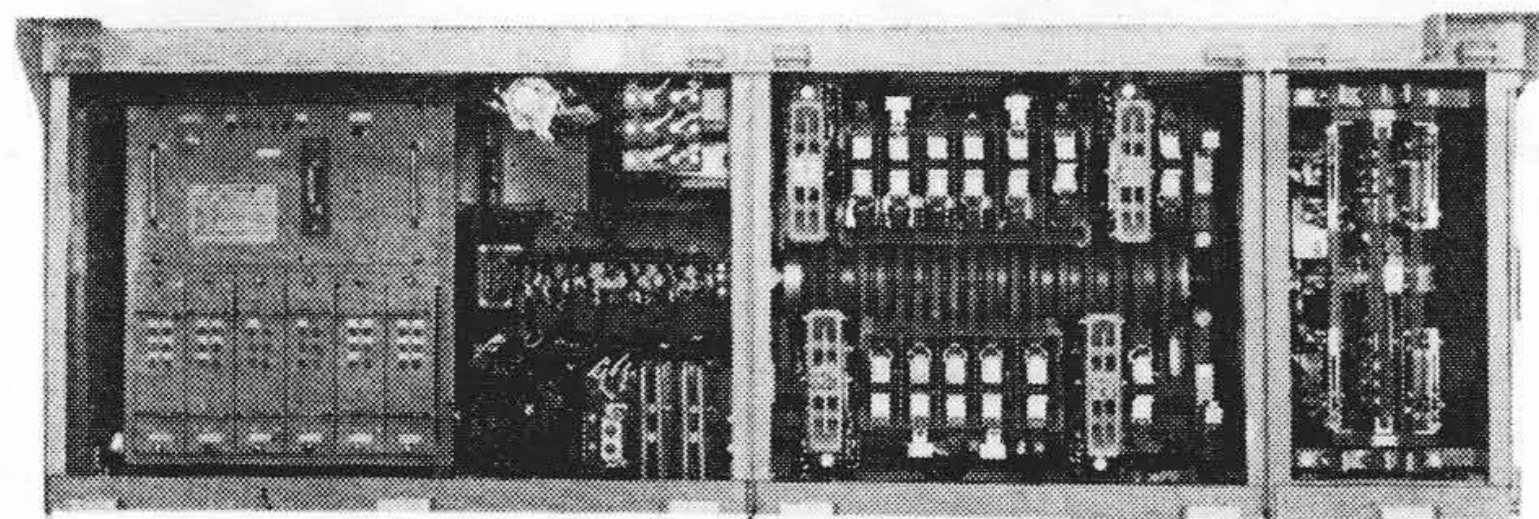


図7 NMC HT-10A 形主制御器

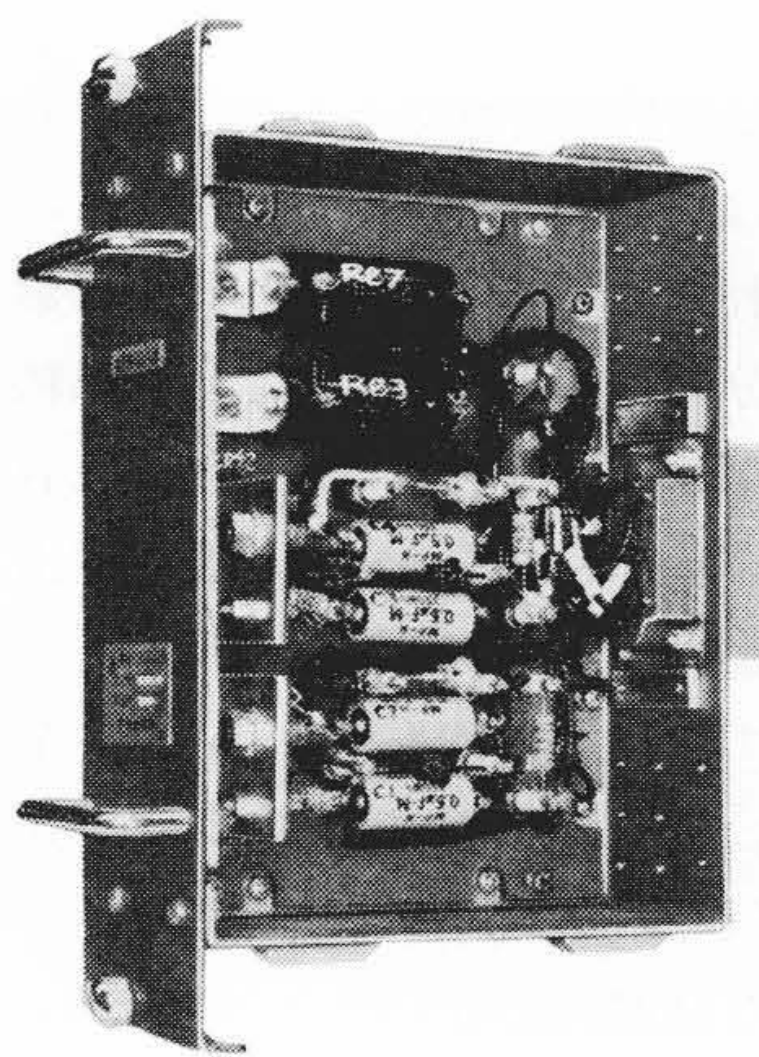


図8 空気遮断器投入制御部

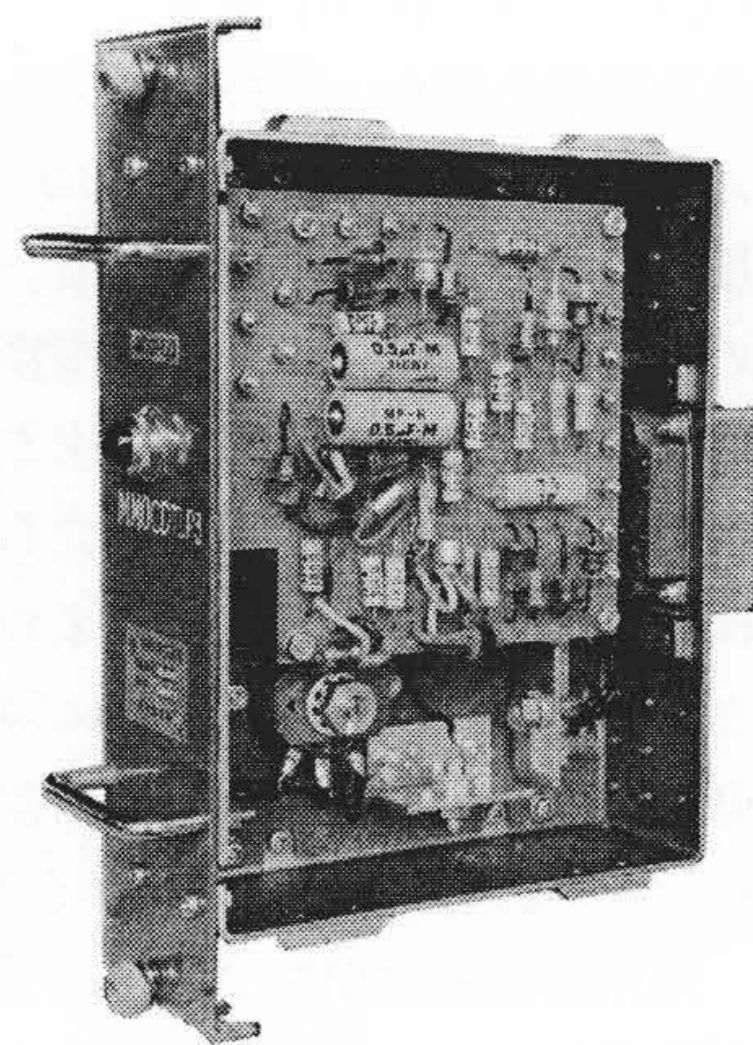


図9 主電動機過電流検出装置

一キ方式としてリアクトルブレーキを行なう場合と、短絡制動、あるいは逆転制動を行なう場合など、実際の回路には多少の相違がある。標準的なトランジスタ方式の一例として図5に後述NMC主制御器における回路例を示す。

(5) 一般論理回路

論理回路の構成にあたっては、簡単化による信頼度の向上をはかるため、ダイオード論理回路による方式が基本となっている。實際上、一般にそれほど複雑な論理構成を要しないので回路はきわめて単純である。

4. 電車で主制御器における実施例

先に述べたとおり一部高頻度動作を要求される機器、たとえば短絡継電器の無接点化のごときはきわめて早い時期より無接点化が行なわれて来たが、今回製作納入された近畿日本鉄道株式会社向NMC HT-10A 形主制御器は、断流器の補助連動接点を除き制御回路を全無接点化したもので、主制御器全体の保守の簡易化、小形軽量化、高信頼度化を旨とした画期的な主制御器である。今回無接点化されなかった断流器の補助接点も、断流器群が別箱設置となるため、無接点化回路の分散による保守上の難点を避けるためにこのような形になったものであり、無接点化を上記目的の手段と考えた場合の一つの正当なあり方を示すものといえる。

図6は本主制御器の動作機能を示すブロック図で、図示論理回路はダイオード論理回路を主体として簡易化された回路方式を採用し、限流制御部、カムモータ（操作電動機）制御部などにはトランジスタを用いた回路構成によっている。カム軸の角度位置検出には前述の位置検出器が用いられ、この出力と適当な論理回路とを組み合わせるにより、制御円筒部の展開図は従来のものに比べ簡単化されている。ちなみに、今回5個の位置検出器を中心として構成

された制御円筒部分に対応する、本制御器と同等の機能を有する有接点主制御器MMC HT-10A 形においては、制御円筒部が15組の制御カムおよびフィンガーによって構成されている。断流器、逆転器などはサイリスタによって制御されているが、これの交流電源と、主回路電流検出用直流変流器電源を供給するものとして、小容量のトランジスタインバータが組み込まれている。これの一次電源直流100Vは、主幹制御器より得ているため、運転士による断流器の制御が不能になることはない。

図7は本主制御器の外観を示すものである。本主制御器は昭和40年11月納入後、順調に営業運転に使用されている。

5. 交流機関車用制御回路における実施例

昭和40年11月に、日本国有鉄道に製作納入された、ED93形交流機関車は、一時間定格出力1,900kW 中間台車を有するB-2-B方式の機関車であるが、主回路方式として大容量サイリスタによる位相制御方式を採用して、従来のタップ切換方式を廃止した画期的な機関車である。一方制御回路においても、断流器、断流器などの補助連動接点を除き全無接点化方式を採用し、機関車としての面目を一新するものとなった。

無接点化回路は基本的には前述の各実施例と同一であるが、具体的に機能別に対象回路を列記すると、

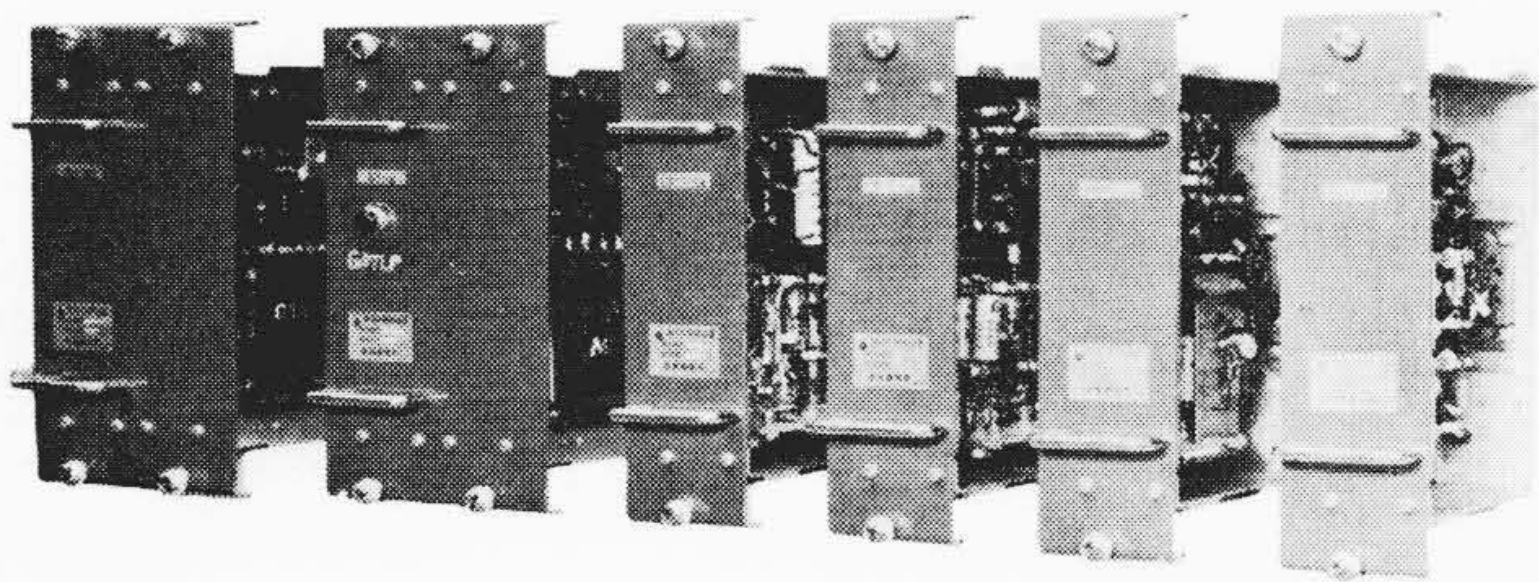


図 10 各 種 ト レ イ

- (1) 空気遮断器投入および遮断回路
- (2) 断流器投入および遮断回路
- (3) 相変換機起動回路
- (4) 弱界磁制御回路
- (5) 交流側、直流側過電流検出装置
- (6) 接地検出装置
- (7) シリコン整流器、サイリスタ保護装置
- (8) 中間台車空気パネ圧力制御装置
- (9) 主回路電圧制御装置

などをあげることができる。

以上の各回路はそれぞれ標準形のトレイに組み込まれ制御箱に装着されている。代表的な例として空気遮断器投入制御部を図8に、主電動機過電流検出装置を図9に示す。また図10は各種トレイ群

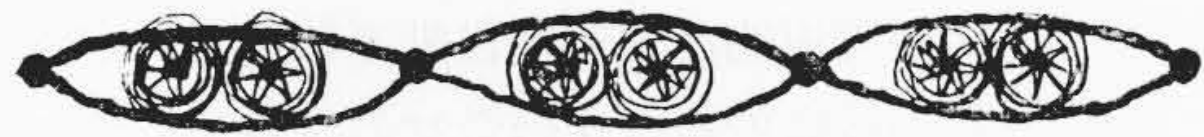
の外観である。本制御回路においてもさきの主制御器における場合と同様、最終的な回路の保護機器である空気遮断器は、機関士の意志に反して投入されることなく、また、いつでも遮断可能なように、主幹制御器との連動が考慮されている。

6. 結 言

以上、車両用制御器の無接点化について、特に直流電車用 NMC HT-10A 形主制御器、ED 93 形交流機関車用制御回路において総合的見地から試みられた実績をもとに述べてきたが、無接点化を従来の制御機器改良の延長として考えるとき、それはあくまでも、高信頼度化、小形軽量化、保守の簡易化を目的とした手段であるということが明らかである。この意味において、近畿日本鉄道株式会社、日本国有鉄道のご指導のもとに機器全体としての検討を行ない、製作納入された上記二つの実施例によって真の制御器無接点化の時代が始まったといい得るのではないかと考えられる。貴重な経験の機会を与えられた上記各顧客に心からなる謝意を述べる次第である。電子技術の進歩もさらに急速化しつつある今日、内容的に種々の改良が加えられ、電子回路によって初めて実現し得る性能といった面からの採用の事例も当然増加して行くものと思われるが、基本的な設計方針の面においてこれらの実施例は今後の資料になるものと考ええる。



新 案 の 紹 介



登録新案 第757760号

抜 山 誠

ト ラ ン ジ ス タ 限 時 継 電 器

抵抗とコンデンサとを限時素子とするトランジスタ限時継電器においては、継電器が復帰する際、コンデンサ C に充電された電荷は回路時定数により定められた値に沿って放電するため、充電が完了しないうちに補助接点が開路した場合は、コンデンサ C 、可変抵抗 VR_1 には十分な充電電流が流れず、この可変抵抗 VR_1 の両端電圧は図2 B (ロ)のごとく初期値が小さくなり、継電器の限時も T より T' に減少し、補助継電器接点を閉路していわゆる誤動作をするおそれがある。

この考案はこの点を改良するために、コンデンサ C と可変抵抗 VR_1 の限時回路の両端に抵抗 R_1, R_2, R_3 、トランジスタ TRS_1 、ダイオード D_1 などにより構成される強制復帰スイッチング回路を設けたものであり、図1はその一例を示す回路図、図2は動作説明図である。図1において C および VR_1 は限時素子用コンデンサと限時整定用可変抵抗、 VR_2 はポテンショメータ形の抵抗、 D_1, D_2 はダイオード、 Z はツェナーダイオード、 R_y は補助リレー、 $R_1 \sim R_{19}$ は固定抵抗、 $TRS_1 \sim TRS_7$ はトランジスタ、 AC は本継電器に外部から電圧を加えるための外部補助接点である。

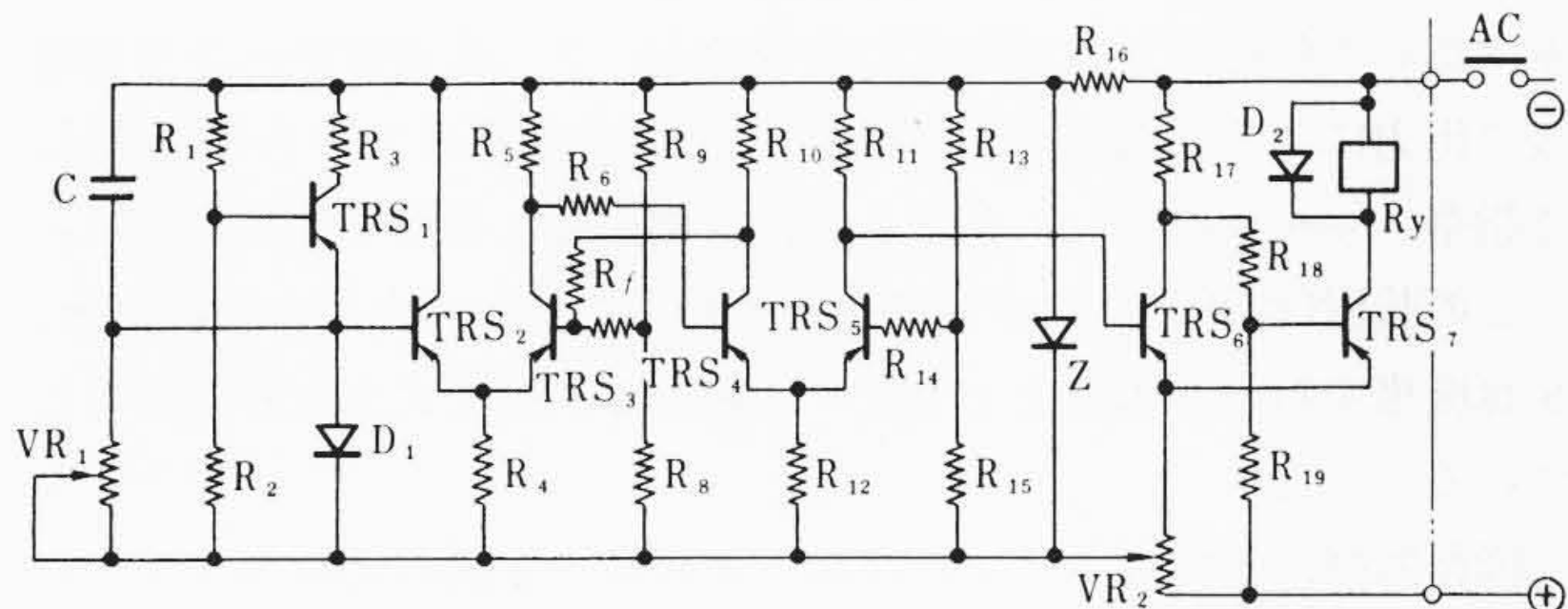


図 1

本継電器が所期の継電動作を完了すれば、補助接点 AC が開路し、コンデンサ C に充電された電荷はダイオード D_1 を通して抵抗 R_1, R_2 に加えられるが、ダイオード D_1 はこの場合順方向となるから電圧降下はほとんどなくなり、トランジスタ TRS_1 のベースはエミッタに比し負電位となる。したがってトランジスタ TRS_1 はオンとなりコンデンサ C 抵抗 R_3 の時定数で図2 D (ロ)のごとく速やかに放電する。

したがって強制復帰スイッチング回路を付加することにより、頻繁な繰返し動作にも正確に応動でき、瞬時復帰に近い限時継電器を得ることができる。(西宮)

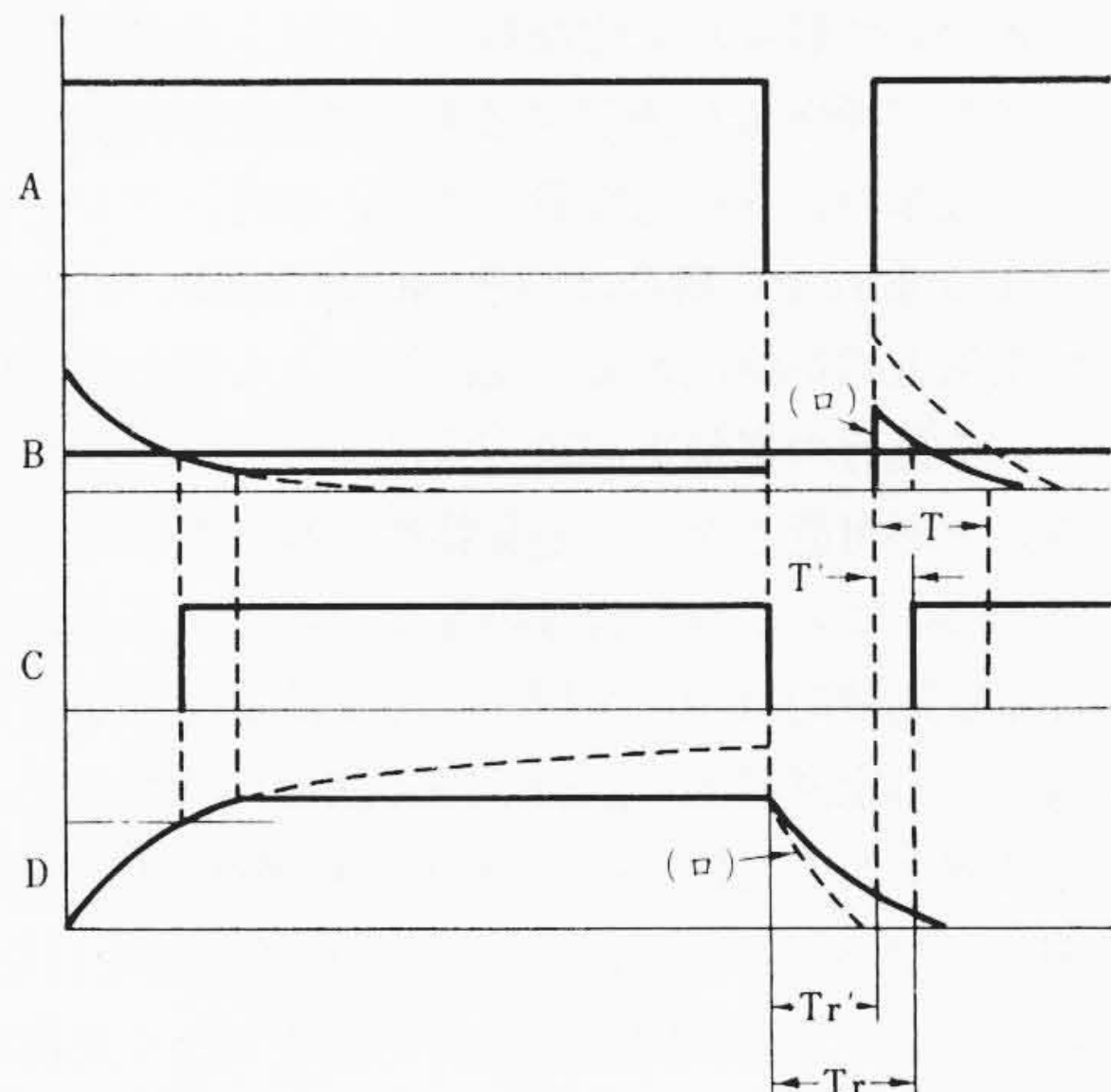


図 2