交流車両用水銀整流器とその応用

The Mercury Arc Rectifier for A.C. Rolling Stock and Its Application

桑島千秋*浅野弘*川上直衛*
Chiaki Kuwajima Hiroshi Asano Naoe Kawakami

内 容 梗 概

交流電気機関車は数年間の試作経験をへていまや量産の段階にはいった。これらの交流電気機関車にはほとんどすべて水銀整流器が使用されている。水銀整流器を含む主回路方式、補機方式は機関車性能上重要な点である。また最近の著しい特長として格子制御の応用があげられる。今回納入された東北線用交流電気機関車 ED711、常磐線用交直両用電気機関車 ED461には日立エクサイトロン整流器が使用されており、特にED71形機関車今年度発注分に対しては、日立エクサイトロン整流器が集中部品として使用されることに決定した。ここでは両者に使用されたエクサイトロン整流器の紹介を行うとともに、両者を例にとりながら、前述の問題点、新しい応用などにつき述べた。

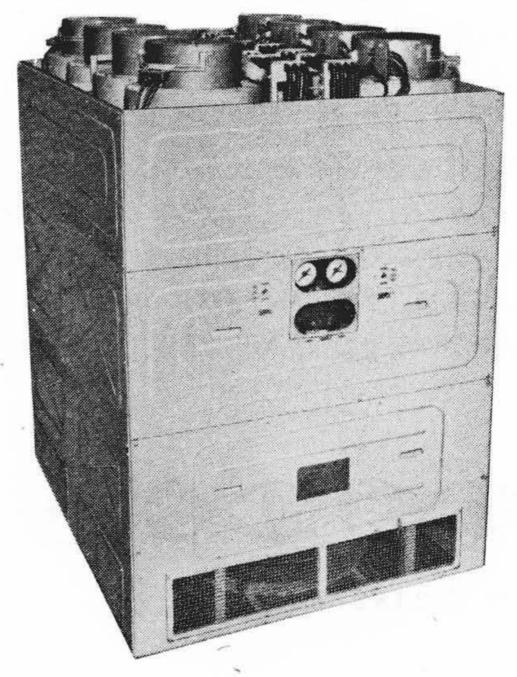
1. 緒 言

仙山線, 北陸線に引続き, 東北線黒磯一白河間が交流 電化され、本年7月から営業運転にはいった。秋にはさ らに福島までの交流電化が完成される予定である。この ため昨年よりED71形交流電気機関車3両の試作が進め られ、本年4月より現地で試運転が行われた。これらは 水銀整流器式交流専用機関車であって 10% の勾配を含 む区間で 1,100 t の貨物列車を所定の速度で牽引するた め機関車の連続定格出力は 1,900 kW となり、4 軸 64 t の機関車としては記録的な大出力のものとなった。これ に伴い車内各機器は極度の切詰めを余儀なくされてい る。またこの機関車では勾配起動時の期待粘着係数が 40%に達するため粘着性能向上のための種々の新しい試 みが行われ,この結果水銀整流器は高い逆電圧,大幅な格 子制御などきびしい条件にさらされることになったが, 日立製作所ではE D4521 の経験に基き許容占床面積, 重 量内で十分信頼度の高いものを製作することができた。

これと並行して、35年度に完成を予定されている常磐線交流電化のための交直両用電気機関車 E D461の製作が進められ、E D711に引続き国鉄に納入された。本機関車は旅客専用のため出力は連絡定格 1,400 kW で E D71流器は小さいが、最大起動電流は 170%に達し、水銀整形よりこの過負荷に耐える必要がある。この機関車の最大の特長は一台車一電動機方式、ならびに直流区間においてインバータ運転による電気暖房方式が採用されていることである。

これら水銀整流器の仕様は下記のとおりである。

- (1) E D711 用水銀整流器 (第1図)2,046 kW/660V/3,100A 連続ISFO-8GT ZF-04形8タンク
- (2) E D461 用水銀整流器 (第2図) 1,560 kW/1,500 V/1,040 A 連続



第1図 ED711 用水銀整流器キュービクル

ISFO-4GT ZF-05 形 4 タンク 逆変換装置として

出 力 AC 200 kW/1,040 V/192 A 連続

入 力 DC 1,500 V/180 A

相数単相

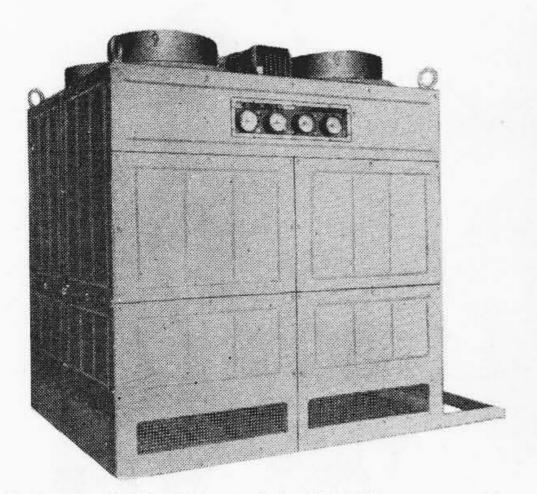
周波数 60∼

これら水銀整流器の完成を機会に、車両用水銀整流器の特殊性、新しい応用、今後の方向などについて述べて みようと思う。日立車両用エクサイトロン整流器の製作 実績を第1表に、整流タンクの外観写真を第3図に示す。

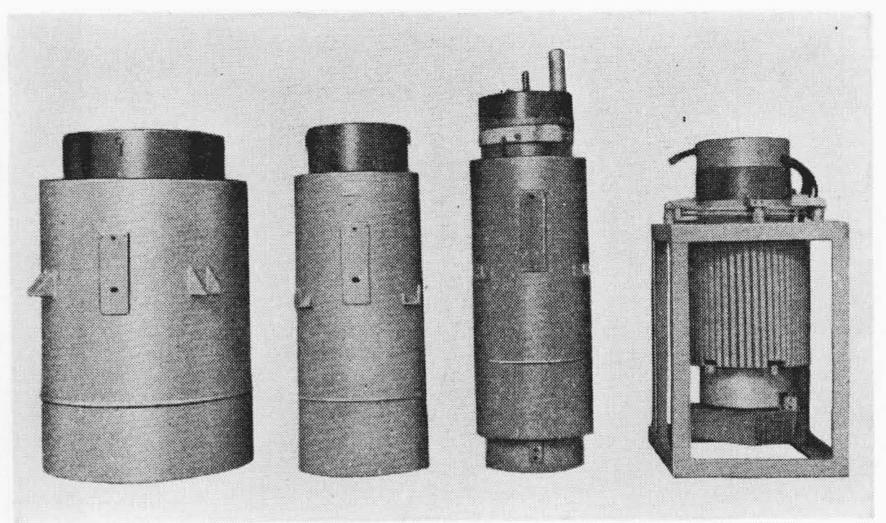
2. 車両用水銀整流器

車両用水銀整流器は与えられた占床面積,重量内で過 負荷(通常勾配起動時の過負荷が最も大きい)および過 電圧(オーバータップ使用時)に耐えること,十分な耐 振性を有すること,ちりの影響を受けぬこと,保守点検

^{*} 日立製作所日立工場



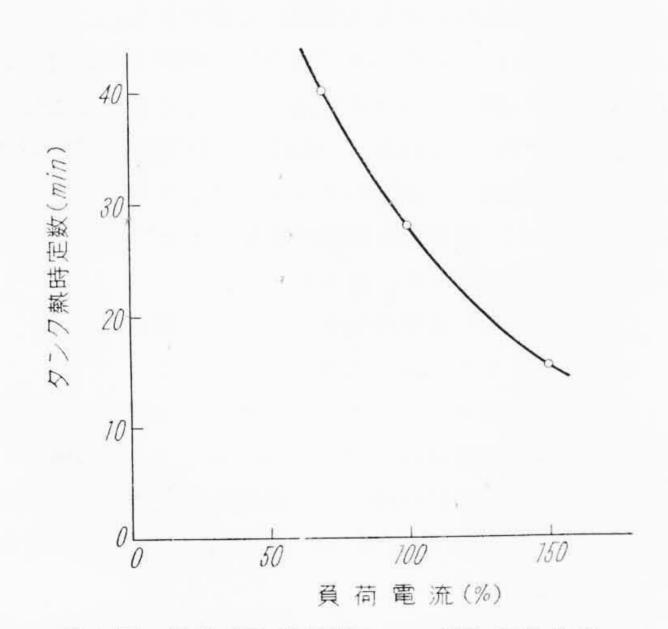
第2図 ED 461 用水銀整流器キュービクル



左から ED461 用, ED711 用, ED4521 用, 交直両用電車用 第 3 図 日立車両用エクサイトロン形整流タンク

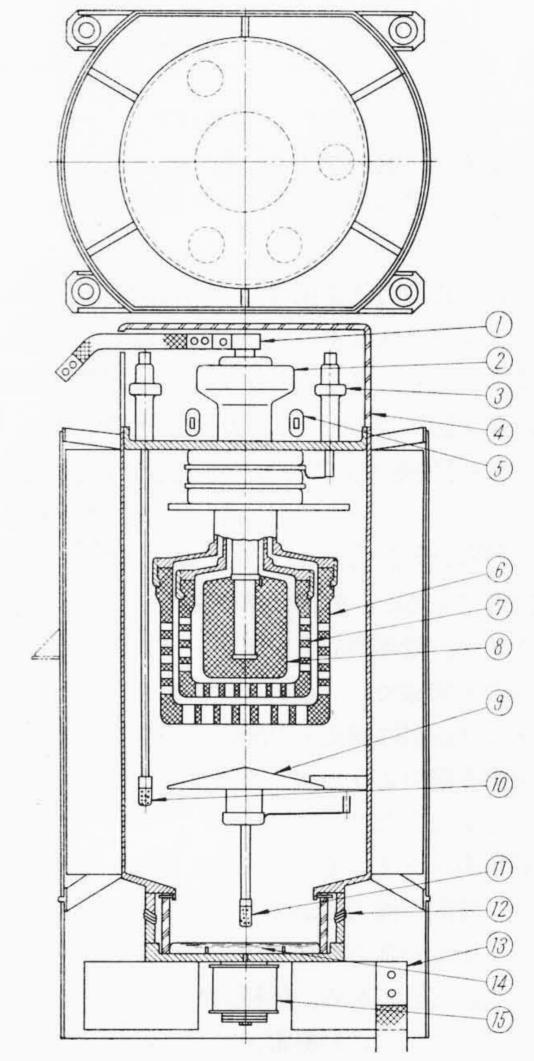
第1表 日立車両用風冷エクサイトロン 整流器製作実績

TIE 1/10 PM 324 1 1 2 4 3 4 3						
車両名	出力	直流電圧	一両当り タンク数	結線	製作員数	
E D4521	$1,600 \mathrm{kW}$	650 V	8	グループ	_ 1	
ED 711他	2,046kW	660 V	8	ユニット	1+29 (製作中)	
ED 461	$1,560 \mathrm{kW}$	1,500V	4	グループ	1	
交直両用電車	575kW	1,350V	2,	グループ	1	



第4図 ED711 用整流タンク熱時定数曲線

が容易なことなどの条件を満足する必要がある。冷却方式,点弧方式などについては従来より種々論ぜられているが(1),日立製作所では地上用,車両用とも風冷エクサイトロン方式を採用している。エクサイトロンはイグナイトロンに比較してイグナイターを有しないので,寿命が長く,徹底的なガス抜きが容易であり,格子制御が確実で特別な陰極水銀動揺防止対策を必要としない。問題は陰極封かん製作技術であるが,日立エクサイトロンは電気的強度,機械的強度ともにすぐれた特殊ほうろう封かんを完成し地上用,車両用にひろく使用している。従



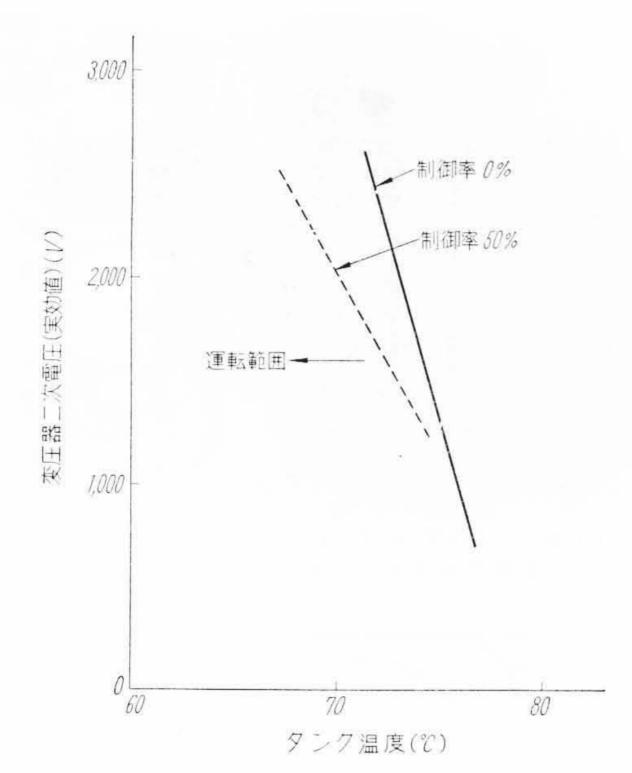
①陽極ターミナル
 ⑥第 1 格子
 ②陽極封かん
 ③第 2 格子
 ③格子封かん
 ⑥陽
 極
 ④カ バ ー
 ⑨スプラッシュバッフル

⑤陽極加熱器

(1) 陰極封かん(3) 陰極ターミナル(4) 陰極 水銀(5) 起動コイル

第5図 ED711 用整流タンク断面図

来風冷式は水冷式に比較し、構造簡単で取扱保守が容易であるが、熱伝達係数が小さいためタンクが大きくなり、また熱容量が小さいので熱時定数が小さいと考えられていた。しかし前者に対しては銅の冷却片のピッチをつめ



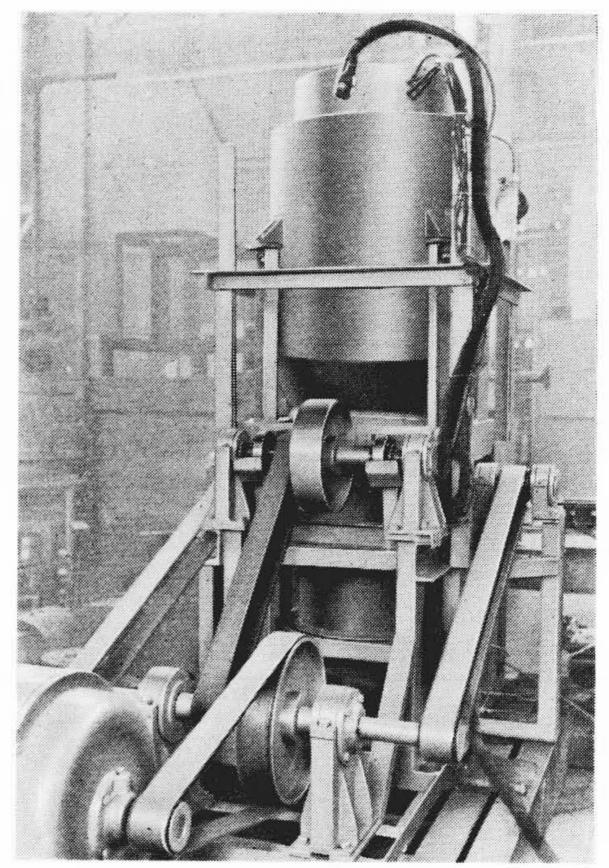
第6図 ED711 用 整 流 タ ン ク 変圧器二次電圧とタンク温度限界

てタンクにうえる方法を採用し、冷却能力を格段に増強したためタンク寸法は水冷式の場合とほとんど変らぬくらいのものとなり、後者に関しては陽極部熱時定数が長いため、第4回に示すようにタンク部熱時定数は 150%負荷にて15分程度であることが確認され、勾配起動時の過負荷に対しても十分な熱容量を有することが明らかになった。ED71形用タンクは取付けピッチをつめるため、内筒は円形であるが、外筒は第5回に示すように偏平形としてタンク占積率の向上をはかっている。内部構造は従来のものと同様で、二重かご形格子を採用している。過電圧タップ使用に耐えるため、格子構造を慎重に検討した結果第6回のようなすぐれた電圧特性を有するものとすることができた。

E D461 用タンクはインバータとしても使用されるので消イオン時間を極力短かくする必要があった。そのため消イオン能力を強めた格子構造にするとともに、タンクもやや大形としてある。陰極封かんは従来のものより一段大形のものとし、短絡電流容量が陰極部で制限されることのないようにした。各封かん部ならびに封じ切り部はカバーで密閉し機械的衝撃から保護するとともに防塵対策を完全なものとした。タンクは振動台にて約1箇月振動試験を受けたのち、ふた開け点検され、まったく異状ないことが確認されている。第7図に振動試験中の整流タンクを示す。

3. 整流器式機関車の主電動機

整流器式機関車の主電動機にとっては脈流対策および



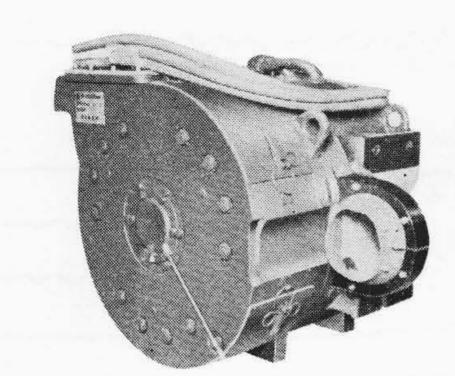
第7図 振動試験中の整流タンク

水銀整流器逆弧時の過電流対策が必要である。これらは 主回路方式とにらみ合わせて総合的に検討する必要があ るが、後者に関しては次章で述べることとし、ここでは 脈流対策についてふれる。一般に主回路電流の脈動率は 回路電圧に比例し、回路のインダクタンスと電流にほぼ 反比例するが、電動機を脈流で運転すると、温度上昇が 増大し整流が悪化する。すなわち

- (1) 脈流のため電流実効値が増大し銅損が増す。
- (2) 各コイルに表皮効果があらわれる。
- (3) 主界磁コイルに脈流が流れると主磁束に電源周波数の偶数波高調波 (50~の場合は主として100~) の脈動を生じ磁気回路,特に継鉄に渦電流を生じ,また電機子の磁束密度増大による鉄損の増大をひき起し,温度が高くなる。

また主磁束変動のため、ブラシで短絡されている電機子コイルに変圧器起電力を生じ、短絡電流が流れて整流を悪化させる。局部飽和も整流に悪影響を与える。 (4) 補極磁束の脈動分が渦流のため減少し、また電機子電流よりおくれて、電機子リアクタンス電圧に追従できないため整流が悪化する。ブラシ電流密度がピーク時に高くなることも整流に対し苦しい条件となる。

これらの悪影響を少なくするため、種々の対策が研究 されてきたが、日立製作所では多数のモデル試験ならび に実際の車両用電動機による試験研究を続けてきた結 果⁽²⁾⁽³⁾、水銀整流器式機関車用主電動機ではつぎのよう



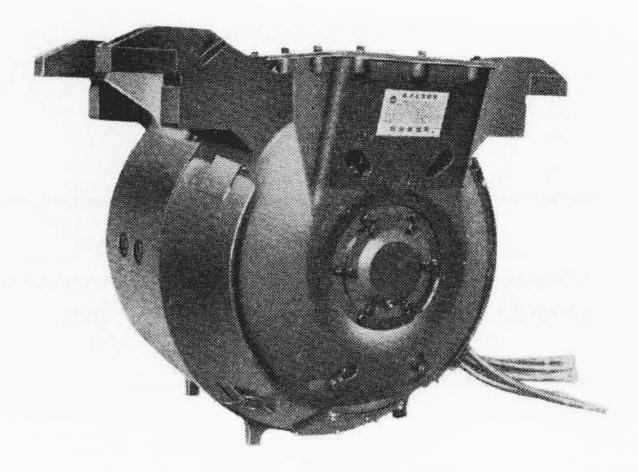
第8回 ED711用 475kW 主電動機外観

な方式が機関車全体として有利であることを明らかにした。

- (1) 主電動機電流の脈動を押える直流リアクトルのインダクタンスは主電動機の温度上昇を考慮し、リアクタンス電圧による残留火花電圧を許容値に押えるに必要な最小値とする。
- (2) 界磁巻線の分路抵抗は分路電流を変圧器起電力による残留火花電圧を許容値に押えるに必要な最少値とし、火花電圧の小さい電動機では使用しない(一般に分路電流は全電流の5%以下にできる)。
- (3) 弱界磁はタップ界磁の活用が望ましいが、分路による場合は逆弧時の逆流を押え、関絡などを起さぬために必要なインダクタンスを有する誘導分流器を使用する。タップによるか分路によるかは弱界磁ノッチ数、全体としての重量、寸法、保守などを考慮して決定する。
- (4) 電動機本体については次のような脈流対策を施し、極力大きい脈動率に耐えるものとして、直流リアクトルの小形軽量化を計る。
 - (a) 本質的に整流のよい電動機とすること。すなわちリアクタンス電圧、片間電圧を極力低くし、補極の形状を適当に設計すること。空隙磁束のひずみを小さくすることなどにより無火花整流帯を広くし、安定した整流が得られるよう設計する。
 - (b) **GH-135**, **GH-40B** などによる 2 分割また は 3 分割ブラシを使用する。
 - (c) 補極ならびに主極ツババネなど磁極鉄心のま わりに短絡回路を作らぬようにする。
 - (d) 補極鉄心は必要な場合積層鉄心とする。
 - (e) 各コイルは脈流による温度上昇の増大を考慮 して設計する。

これらのほか, ヨーロッパでは一部継鉄に積層磁気回路を設けるなど複雑な構造のものも実用されているが, 電動機が大形, 高価となって有利でない。

日立製作所ではエクサイトロン式交流電気機関車用と して E D4521 用連続 375 kW 650 V 610 A 1,070 rpm



第9図 ED 461 用 700 kW 主電動機外観

6極 (最弱界磁 45%), E D71 形用連続 475 kW 660 V 775A 1,140 rpm 6極主電動機 (第8図) を, 交直両用電気機関車E D461 用連続 700 kW 1,500 V 500 A 1,140/1,400/1,800 rpm (100/60/40% 界磁) 4極主電動機 (第9図)を製作した。エクサイトロン式交流電気機関車は粘着性能がきわめてすぐれており、軽量機関車で大きい粘着引張力を発揮できるため機器の小形軽量化に対する要求がきわめて強い。上記電動機は冷却効果の強化、整流改善、高速化などによりきわめて小形軽量化されている。

4. 主回路方式

主回路方式は機関車性能上最も検討を要する点であり,粘着性能,事故時の保護などの観点から各主回路機器の特性を吟味の上,制御方式とにらみ合わせて慎重に検討する必要がある。ここでは水銀整流器結線方式の得失,および逆弧電流の問題を述べる。

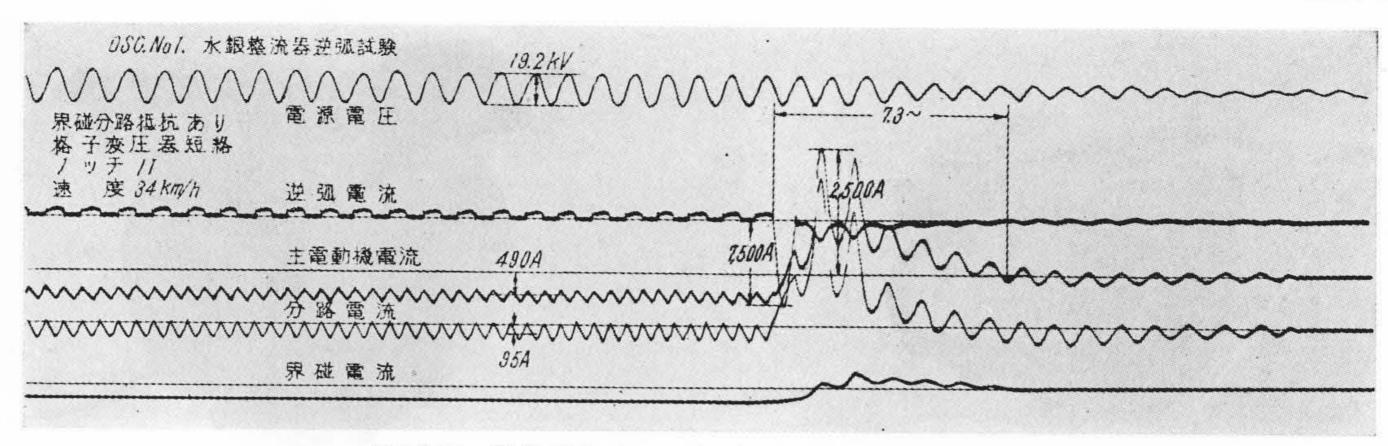
4.1 結線方式

水銀整流器と主電動機の結線方式としてはユニット結 線とグループ結線があり、水銀整流器間の結線方式とし ては単相全波結線と単相グレーツ結線が通常使用され る。

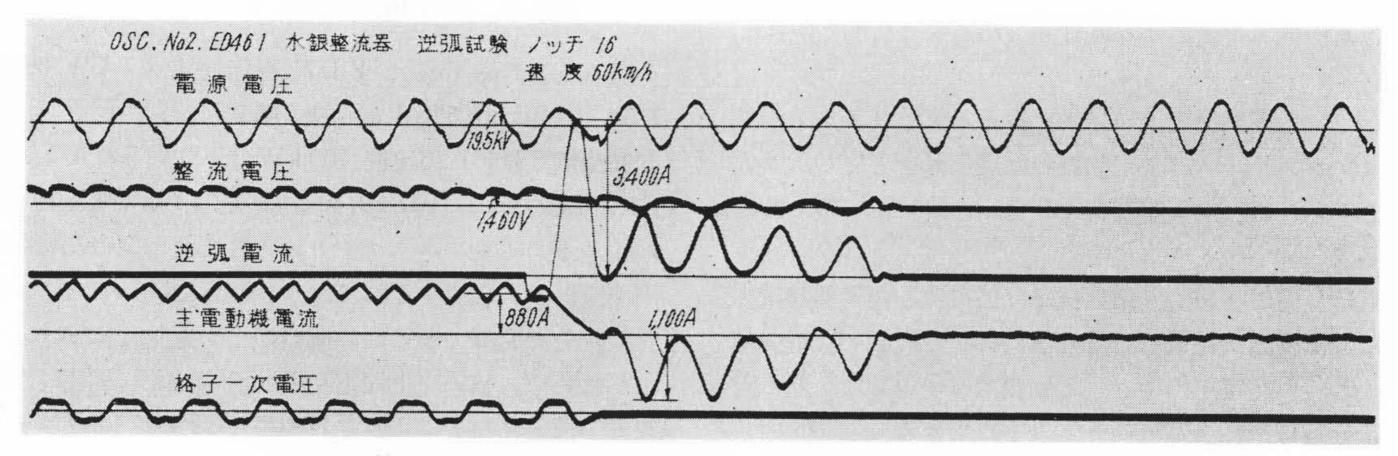
4.1.1 ユニット結線とグループ結線

ユニット結線は各主電動機回路を独立回路とするもの,グループ結線は各主電動機を共通母線で結んだものである。直流リアクトルは両結線方式において,共通の場合もあり,各主電動機回路に分割して設けることもある。各回路に分割して設けると直流リアクトルは重量,寸法が大きくなるが,機関車の粘着特性が改善されるので貨物用交流機関車では今後とも分割方式が採用されよう。ユニット結線はグループ結線に比較して次のような利点を有している。

- (1) 主電動機回路が独立しているため、水銀整流器逆弧時、直流側からの逆流が減少する。
- (2) 各主電動機電圧を格子制御により独立に制御



第10図 ED711 人工逆弧試験オシログラム



第11図 ED461 人工逆弧試験オシログラム

することができ, 粘着性能の向上をはかりうる。

- (3) 陽極バランサが不要になる。
- (4) 整流器過負荷継電器が半減される。
- 一方つぎのような欠点がある。
 - (1) 整流器事故時には主電機をも開放せざるを得ない。
 - (2) 点励弧格子制御回路を各ユニットごとに独立させる必要があり、付属機器部品が増す。
 - (3) 直流側短絡時にはそのユニットの短絡電流が大きい。

E D4521形においては格子制御を行わないので小形軽量となるグループ結線を採用したが、E D71形においては各ユニット独立に格子制御を行うためユニット結線方式とした。E D461 は交直両用機関車で主電動機の直並列制御を行うものであるからグループ結線方式を採用した。

4.1.2 単相全波結線と単相グレーツ結線

単相グレーツ結線は単相全波結線に比較し

- (1) タンクにかかる逆電圧が1/2となる
- (2) 主変圧器容量が約 1/1.2 となる などの利点があるが,
 - (1) 同一電流容量でタンク数が2倍となる
 - (2) 陰極共通でないので制御装置が複雑となる
 - (3) アーク損失が2倍となり、機関車効率が悪く

なる

などの欠点がある。機関車あるいは電車では主電動機電圧は 1,500 V 以下であるから、単相全波結線方式としてもタンクにかかる逆電圧最高値は最高 6,000 V,電圧変動を考慮しても 7,000 V 程度であり、二重格子構造の採用により十分耐えうるタンクを製作することができる。したがって主変圧器容量の増大を考慮してもタンク数が半分になることは機関車全体として著しく有利であるから、日立製作所で製作した車両用水銀整流器はすべて単相全波結線方式を採用している。

4.2 逆弧電流と回路構成

粘着性能向上に伴い、機関車内機器はますます小形大容量化を要求されつつあることはすでに述べたとおりである。このため整流器の事故電流が重要な問題となってきた。水銀整流器の発達がほぼ頂点に達した今日、逆弧の発生ひん度はきわめて小さいが、逆弧は水銀整流器にとって本質的にさけられぬ問題であり、逆弧発生時の事故電流に対して十分検討しておく必要がある。

逆弧発生時の短絡電流は主変圧器の層間短絡電流と主 電動機逆起電力による直流側からの逆流にわけられる。 水銀整流器にとって直流側からの逆流はユニット結線の 採用,主電動機に界磁分路抵抗を使用しないことなどに より低減することができる。しかし直流側からの逆流 は,その値自体が交流短絡電流に比較してはるかに小さ いうえ、逆流は逆弧発生後少しおくれて生ずるため、交流短絡電流最初の1サイクルにはほとんど重畳しない、1サイクル経過すれば水銀整流器過電流継電器が動作して健全タンクの格子を遮断する、この後 ABB が動作するまで逆弧発生後3サイクル程度は主変圧器1相および直流回路の短絡電流となり減少するため、水銀整流器にとっては直流側からの逆流よりも交流側短絡電流が問題となる。この交流短絡電流に対する対策としては

- (1) 主変圧器の電圧変動率を大きくする
- (2) 並列タンク数の減少をはかる
- (3) タンク自体のせん頭電流特性を向上する

などがあげられる。車両用変圧器の電圧変動率は普通 20~30%程度としており、これをさらに大きくすること は機関車の粘着性能、機関車力率、主変圧器の寸法、重 量の増加などの点より好ましくない。そこで主変圧器二 次巻線を二分割し、同一電圧変動率でも一巻線短絡時の 短絡電流の減少をはかる方式が, E D71 形機関車に採用 された。この方式によれば二次巻線の抵抗が分離される ほか、二つの二次巻線間の結合をなくすような変圧器の 設計とすればリアクタンスも分離することができる。一 次巻線のインピーダンスも同様に2分割すれば分離でき るが、これらの関係は主変圧器の設計・製作上の問題や 寸法・重量などを考慮して定量的に検討する必要があ る。格子制御による主回路電圧の定電圧制御が実施され れば,主変圧器の電圧変動率の増大による機関車の粘着 性能の低下はまったく問題とならないので、電圧変動率 増大に伴なう支障はなくなる。また交流き電電源は一般 にあまり強くないので短絡電流の予測にあたっては電源 インピーダンスの影響を考慮に入れる必要がある。

整流タンクを大形にし、タンク数を減らせば相対的に 事故電流の大きさを減らすことができる。たとえばED 71は4タンク並列、ED46は2タンク並列であり、1タ ンク当りの短絡電流と定格電流の比はED71のほうが約 2倍となっている。タンクの大形化は最近の傾向である が、ある程度以上になるとセット全体の寸法が大きくな る場合が多い。またユニット結線の場合は、タンク数は 主電動機数の2倍が最少タンク数となる。

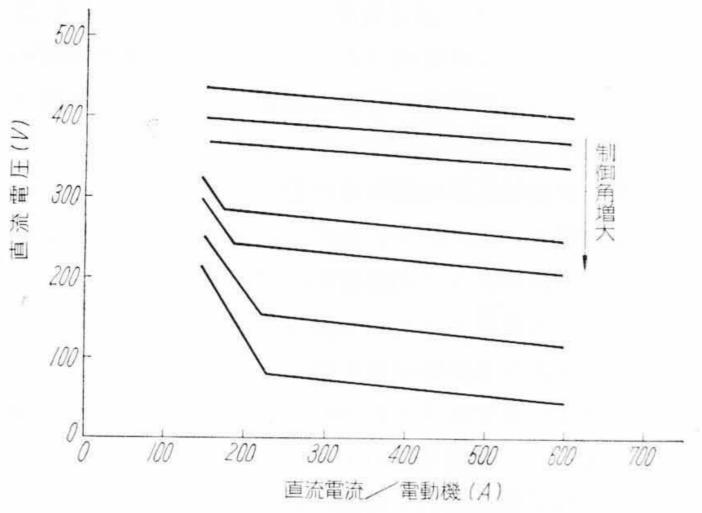
日立エクサイトロンが二重かご形格子構造を採用していることは前に述べた。通常電流密度の最も高いのは第 2格子孔であるが、かご形構造をとればせん頭負荷時の電流密度を下げることができる。ここで問題となるのは温度制御と関連して、低温警報継電器の動作点である。予熱方法と関係があるが、この動作点を下げればそれだけ運転上の便宜は増大する。タンクの耐電圧特性上、タンク内部構造でサージ限界を下げるには限度がある。同一タンクではせん頭電流容量は内部の水銀蒸気密度によって決定されるわけであるが、これはタンク外壁の温度

のみならずタンクの通電履歴によっても大きく左右され、直前までの負荷電流が大きいほど、また通電時間が長いほど許容短絡電流の増大は顕著となり、その影響は通電停止後もかなり長く残っているものである。したがって低温警報継電器の動作点の設定にあたっては各タップの短絡電流、各タップにおける最低負荷電流、およびタップ切換器のタップ切換所要時間を考慮に入れるべきである。一方最近ガス入り水銀整流器の発達が著しく、今後はガス入り水銀整流器がひろく使用されると思われる。日立製作所ではすでに600V級のガス入り水銀整流器を完成した。機関車用のように、大幅な過電圧ノッチを有し、格子制御を行う用途に対しては目下試験中であるが、これが使用されることになれば、温度にほとんど関係ない通電容量を持つタンクが出現することとなり、取扱上の不便は一掃される。

水銀整流器にとってあまり問題とならぬ直流回路の逆 流も主電動機にとっては重大視される。この逆弧時過電 流保護のため高速度遮断器を直流回路にそう入すること は重量,保安上有利でない。また短絡スイッチを使用し て主変圧器二次巻線を短絡し,健全側タンク格子遮断後, 直流側逆流に重畳する交流短絡電流を抑制することも行 われたが(2),これはただちに変電所遮断を招くので,幹線 用機関車に使用することは問題がある。直流側からの逆 流は界磁分路の設計により大きく左右されるが, 試験結 果によるとこの逆流は抵抗分路の電流にほぼ比例して急 増する(第10,11図)。 定常運転時には一般に界磁分路を 設けたほうが良好な整流が得られるが, 逆弧時の安全運 転を考えると前に述べたように弱界磁はタップを使用し 分路抵抗の電流は数パーセント以下に押えるほうが有利 である。E D461 用 700 kW 主電動機について 1,560 V 2,040 rpm 40% タップ界磁というきびしい条件で人工逆 弧試験を行ったが、主電動機になんら異常が認められな かった。

5. 格子制御と水銀整流器

最近半導体整流器,特にシリコン整流器の進歩はめざましく,車両用整流器としてもクローズアップされてきた。すでに日立製作所では仙山線において交直両用電車用整流器として現地試験を行い,十分使用に耐えることを実証した。シリコン整流器は水銀整流器に比較し,取り扱いが容易,予熱が不要,回路が簡単などの多くの特長を有しているが,現在発達途上にあり,まだ機関車用としては重量,占床面積,価格などの点で水銀整流器に代るまでには至っていないが,将来性はきわめて有望と考えられる。これに対し水銀整流器は迅速な格子制御を行いうる利点を生かす方向に応用分野を見出だすべきであろう。最近の水銀整流器式機関車においてはED71形



第12図 ED711格子制御時における軽 負荷電圧電流特性

において格子制御による速度制御と、粘着性能の改善、 E D461 において直流区間におけるインバーター運転に よる電気暖房源などのようにこの特長が極度に活用され ている。

5.1 格子制御による粘着性能の改善

5.1.1 機関車起動時の格子制御

さきにのべたようにED71形機関車は勾配起動時に 大きいけん引力を必要とし、高い粘着性能が要求され ている。このため試作機関車においては種々の対策が なされたが、その一つとして最低タップにおける格子 制御があげられる。これは低タップにおける主変圧器 の電圧変動率改善と関連して起動時のノッチ刻みをこ まかくし、ノッチアップ時のショックを少なくして完 全粘着をねらったものである。最低タップ($E_2=516$ V)において格子制御により、30 段の多段制御を行っ ている。実車試験の結果、粘着性能の向上は認められ たが、これだけでは十分でなく、主回路電圧変動率を さらに良くする必要が認められたので、量産車では格 子制御による定電圧制御方式を使用して見掛け上の回 路電圧変動率を改良することになった。

5.1.2 空転時の格子制御

ED711 では格子制御ノッチまたはタップ切換ノッチにおいて空転が発生したとき、再粘着させる目的で格子制御により電圧制御を行っている。この場合、空転電動機以外は正規の出力を維持させる必要があり、各ユニット個別の格子制御が必要である。このため空転発生時、格子変圧器一次回路にリアクトルをそう入し、ただちに主電動機印加電圧を下げて再粘着させる方式をとっている。すなわちリアクトルのそう入により格子尖頭波変圧器一次電圧の位相がおくれ、バイアス電圧と関連して水銀整流器点弧点を数十度おくらせることになる。この空転発生は低タップとは限らず、

線路状態,ノッチ扱いなどによっては相当高いタップでも発生することを考慮しておく必要がある。制御角には適当な値があり,小さ過ぎれば効果がなく,逆に大き過ぎると,空転は容易にとまるが,位相もどしのとき主電動機に過大電流が流れる原因となる。また位相もどしのとき格子回路に振動が起きぬよう考慮する必要がある。

5.2 格子制御時の問題点

格子制御時のおもな問題点として次の各項があげられる。

- (1) 主幹制御器構造ならびに制御操作方式
- (2) 主電動機の整流
- (3) 格子制御回路特性

特に (a) 自動移相器の移相角

- (b) 各ユニットの特性の一致
- (4) 水銀整流器の回路責務増大

主幹制御器の問題としては格子制御ノッチの取扱い, 格子制御ノッチとタップ制御ノッチとの渡り,主幹制御器構造などの問題があるが別の報告にゆずる(4)。格子制御を行えば電流脈動率が増大するので主電動機の脈流対策につき検討する必要がある。しかし第3章で述べたように合理的に設計された電動機では格子制御による起動頻度があまり大きくなければ、後に述べる限界電流以上の加速電流で加速する場合、広範囲の格子制御を行っても実用上問題ない。以下(3),(4)項につき検討する。

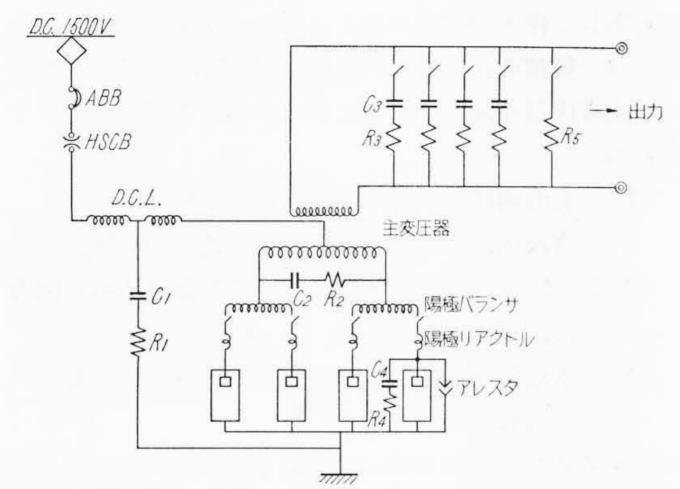
5.2.1 格子制御回路の問題

(1) 自動移相器の必要移相角

起動時格子制御を行う際の移相器の必要制御移相角 の問題がある。軽負荷格子制御時には, 回路のインピ ーダンスおよび主変圧器二次電圧により決まる限界電 流以下になると電流が断続し、電圧が上昇する。この 限界電流以下では主電動機は激しい火花を発生し, ま た限界電流が大きすぎると起動時のショックが大きく なるため格子制御角を90度以上として,起動電流をお さえる必要がある。一方タップ制御ノッチにおいては 誘導障害,主電動機の整流,タンクの回路責務などか ら格子制御されたままにならないようにすることが望 ましい。自動移相器はこれらの条件を満たす移相角を 必要とする。ED711 においてはこの電流断続限界は ユニット1回路当り250A程度であることが計算上か らも実測上からも確認されている(第12図)。このた め制御角90度では250A程度の起動電流が流れ、ショ ックが大き過ぎるため、制御角を100度程度として1 ノッチ電流を 200A 程度におさえている。

(2) 格子制御回路各ユニットのバランス

起動時の主電動機電流のバランスは重要な問題で, これが良好でないと,機関車各軸の引張力に不平衡を



C1, R1: DC フィルタ

 C_2 , R_2 : AC フィルタ (転用コンデンサ兼用)

C8, R8: 転流コンデンサおよび同上用直列抵抗

C4, R4: 陽極一陰極間振動防止回路

R5: ベース負荷

第 13 図 E D 461 インバータ主回路結線図

生じて大きい起動引張力を発揮できず、また電流の大きい回路の機器を過熱することになる。このアンバランスは主電動機、車輪径のアンバランスを除くと、格子制御回路、主として尖頭波変圧器、自動移相器、自動移相器制御回路の特性不一致より生ずる。 E D711ではこのため自動移相器、自動移相器制御回路は各ユニット共通とし、せん頭波変圧器のみ独立として制御位相のバランスをはかり、粘着上必要な範囲内に電流アンバランスをおさえている。

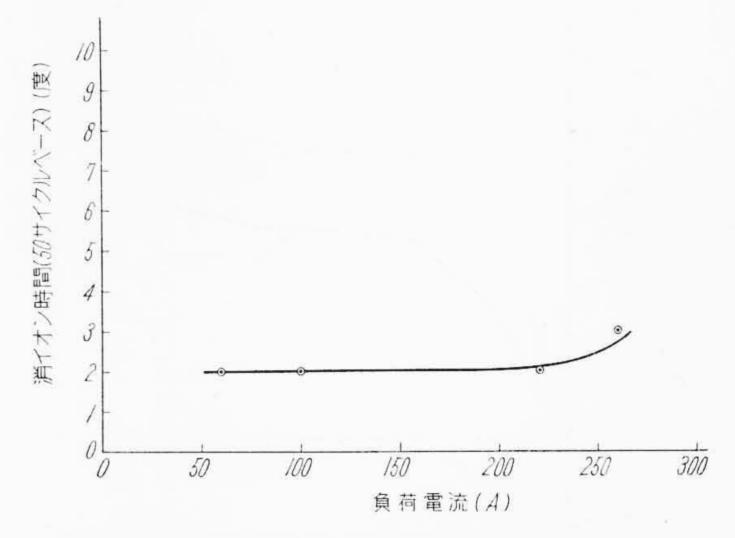
5.2.2 水銀整流器の格子制御対策

格子制御時生ずる水銀整流器の事故としては

- (1) 飛躍逆電圧増大に伴う逆弧確率の増加
- (2) 格子が制御能を失って生ずる通弧,失弧
- (3) エクサイトロン整流器の場合,陰極点が消滅し,点励弧電弧の消える消弧

がある。

エクサイトロン整流器においては,通常の格子構造のタンクでは失弧はほとんど考える必要がない。またタンク構造上の原因により生ずる消弧,点励弧電流の過少による消弧の問題はすでに過去のものとなった。問題は格子制御時の高い飛躍逆電圧およびそれに伴う陽極回路,格子回路の振動である。これに対しては陽極一陰極間振動防止回路の設置,陽極リアクトルのそう入,格子バイパスコンデンサの使用などが実施されている。陽極一陰極間振動防止回路はコンデンサと抵抗器の直列回路である。転流終期においては,飛躍逆電圧により主変圧器の漏洩リアクタンスおよびストレイキャパシタンス間に振動電圧が発生し,これが飛躍逆電圧と重畳して陽極一陰極間に加わることになる。これを防止するため設けられたのが,この振動電圧吸収回路である。この回路は単に振動電圧を吸収するの

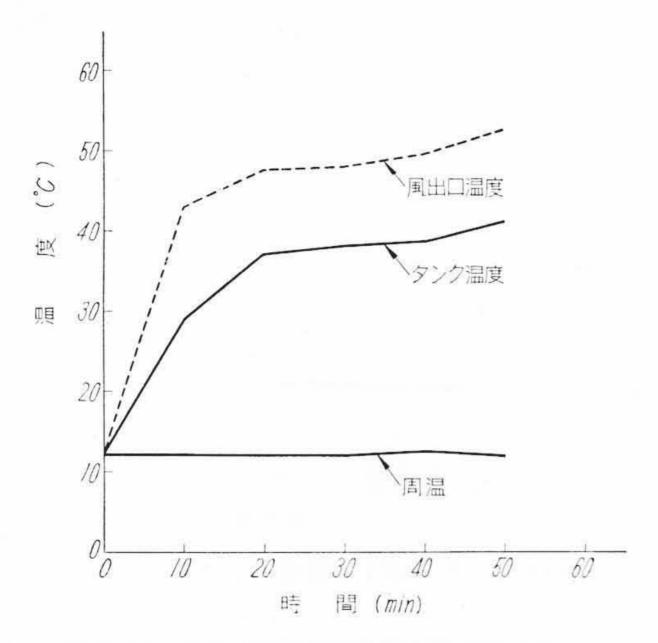


第 14 図 E D 461 用整流タンク消イオン時間

みならず、飛躍逆電圧の勾配を大幅に減じ、実質上回路責務を小さくしている。格子バイパスコンデンサは第2格子―陰極間に取付けられ、格子ダンピング抵抗と相まって格子に振動電圧の加わるのを防止している。これら振動防止回路の設置により、ED711用タンク、ED461用タンクとも消弧、失弧、逆弧の発生を完全に防止することができた。逆弧に関しては、格子制御時においても、タンクの逆弧温度限界があまり低下しないことが試験の結果確認された。これは単極形タンクの一つの特長でもあるが、振動防止回路の効果を見落すことはできない。

6. 電気暖房とインバータ運転

車両暖房方式として通常使用されるものに蒸気暖房方 式と電気暖房方式とがあるが, 東北本線および常磐線に おいては電気暖房方式の採用が決定された。交流専用車 の場合は機関車主変圧器に 1,500V の暖房巻線を設け, 各客車に分配する。各客車には変圧器, スイッチ, 加熱 器などが設けられている。 交直両用機関車の場合, 交流 区間は上記と同様であるが、直流区間では暖房用交流電 源が必要となる。各客車に電源装置(車軸発電機など) を置くのは経済上好ましくなく,機関車に一括設備をお くことが必要である。機関車に直流一交流の電動発電機 をおくことは下記に比して, 価格, 重量などの点より有 利でない。E D461 においては直流区間で遊んでいる主 変圧器,水銀整流器,直列リアクトルなどを利用し,水 銀逆変換装置として使用することにした。この逆変換装 置は単相他制自励式インバータ(4)で、直流 1,500V を交 流 1,040 V に変換するもので出力は 200 kW である。 負 荷に応じて転流コンデンサの制御を行っており, 交流フ ィルタも初段の転流コンデンサとして利用されている。 無負荷時の変圧器鉄共振現象防止のため, ベース負荷を 設置し、これも負荷に応じて切入制御される(第13図)。



第15図 ED711用水銀整流器予熱曲線

鉄共振現象の発生しない範囲を拡大するため, 出力周波 数を60サイクルとした。制御電源である三相交流発電機 (車両用送風機付電動発電機)の周波数は60サイクルと して,このインバータ運転を行う際,水銀整流器として 問題になる点は運転制御角 γ と消イオン時間の関係、格 子制御に伴う陽極回路および格子回路の振動の発生防止 である。タンク消イオン時間は運転範囲の電流に対して は2~3度(50 サイクルベース)で十分小さく, 運転時 γ に対し相当の余裕がある(第14図)。後者については前 章で述べたとおりである。インバータ回路としては運転 範囲の設定、転流コンデンサの制御、電源変動および負 荷変動に対する安定度などの問題がある。タンク消イオ ン時間が十分小さく, また周波数を上げて鉄共振発生限 界を遠ざけた結果,最初計画した運転範囲 γ=20~35 度 は十分余裕のあるものとなり、制御の速応度も問題なか った。電源変動、負荷変動に対しても十分安定であるこ とが試験の結果確認された。

これらインバータセット内部の問題とならんで、インバータの直流電源側に与える高調波が問題となる。ED 461 では直列リアクトルおよびコンデンサからなるフィルタを直流回路にそう入し、電流の脈動を十分小さくおさえている。

7. 水銀整流器補機

7.1 補機方式

水銀整流器の補機としては点励弧装置,格子制御装置, 温度制御装置がある。補機は簡単にして確実であること が必要である。この点からいえば風冷エクサイトロンの 単相全波結線,特にグループ結線が最も簡単,確実であ る。水銀整流器の補機も一般補機の一環として考える必 要があり,機関車用途,車内電源,他補機の種類,容量 に対応して種々の方式が考えられる。交流専用車両用の 場合は一般補機に準じて考えればよく割合簡単である が,交直両用車両用の場合はかなり趣きを異にする。す なわち

- (1) 交直両区間における補機電源の相違
- (2) 直流区間における水銀整流器使用の有無
- (3) (2)に伴い直流区間における水銀整流器補機方式,補機容量の決定
- (4) 水銀整流器補機は水銀整流器運転前に運転に入れる必要があること

などを考慮し、車両全体として最も経済的になるよう水 銀整流器用補機方式を決定する必要がある。

E D461 はインバーター運転を行うので第2表に示すような特殊な補機方式を採用した。

7.2 電源変動と点励弧格子回路

水銀整流器補機のうち、電源変動の影響を最も受けやすいのは点励弧回路である。ED71形では相変換機の三相出力を全波整流して点励弧電源を得ている。この相変換機出力は主回路電源変動の影響を直接受けるうえ、主回路ならびに補機回路の負荷変動により変化する。また空気圧縮機の起動時には三相電圧の平衡が相当くずれる。このような条件においても点励弧電流値(瞬時値)が過少とならぬよう出力電圧には適当な余裕を持たせて設計してある。リアクトルをそう入すれば波形ひずみの影響はあまり受けなくなるが、重量、寸法が増すので好ましくない。これらの考慮を払った結果、現車では受電電圧降下および波形ひずみが相当大きいにもかかわらず安定な運転を確保することができた。

格子回路においては尖頭波変圧器が可飽和形のため, 共振用コンデンサおよび自動移相器により一種の定電圧 回路を構成し,電源変動に対し安定な特性を有している。 また自動移相器および共振用コンデンサは低域ろ波回路 を構成し,電源ひずみの影響を除く性質をもっている。

7.3 温度制御方式

周知のように車両用水銀整流器はパンタグラフを上げてから温度制御を行うため、極力予熱時間の短縮をはかることが要求されている。一方では故障を少なくするため温度制御方式の簡易化が望まれる。日立車両用エクサイトロン整流器はこれらの点を考慮し、E D4521の経験に基いて下記のような独特の温度制御方式を採用し、好評を博している。

(1) 冷却扇は常時運転とし、温度継電器による切一 入制御は行わない。これにより冷却条件を常に一定に 保ち、また車内送風機吸込みによりタンク冷却気流が 逆流するのを防止している。この方式では温度継電器 が1個省略できるので、それだけ温度制御回路が簡単 となる。温度継電器による切一入制御は陰極加熱器の

第2表 ED461 用 MR 補機電源方式

	交流 区間	直流区間	備	考
冷却扇	主変圧器三次巻線より (7.5kW 1øファン)	3 φ A.C.G.より (0.5kW 3 φファン)	2 巻線電	直動 機
陰極加熱器	主変圧器 3 次巻線より (1,600 V, 10kW/タンク)	直流 1,500V より (1,500V, 7.6kW/タンク)	加熱器タッ	プ切換
点 励 弧	主変圧器 3 次巻線より (1 ø)	3ϕ A.C.G. \sharp \mathfrak{h} (3ϕ)	$\begin{array}{c} 3 \not \phi \rightarrow \end{array}$	· 結線 1ø)
バイアス	主変圧器 3 次巻線より (1 ϕ)	3 φ A.C.G.より (3 φ)	スコット (3 φ→	
格 子	主変圧器 3 次巻線 (1 ø)	3 φ A.C.G. よ η (3 φ)	A.C.G. を取出す	の1相

みである。

(2) タンク予熱方式としては、冷却扇および陰極加熱器併用による特殊加熱方式を採用している。これにより風量の割に少ない陰極加熱器容量で急速加熱を行うことができる。

温度制御の機能を十分発揮させるためには、温度継電器が良好なものであることが必要である。車両用温度継電器は精度、速応性にすぐれた特性を有するとともに、絶えざる振動に耐えるものでなければならない。従来より信頼度高い温度継電器の開発は懸案となっていたが、

現在ではバイメタル式がひろく使用されている。日立製作所で使用しているバイメタル式温度継電器は構造上耐 振性に富み、熱容量が小さく速応性に富むという特長を 持っているので車両用として好適である。

8. 結 言

以上車両用水銀整流器の特異点,回路上の問題,格子 制御の新しい応用などにつき述べた。当面の問題として はガス入り水銀整流器の完成がある。これが完成したあ とはシリコン整流器との経済比較が水銀整流器の今後の 方向を決定することになろう。その際水銀整流器は格子 制御の特長を有することを見落すわけにはいかない。

終りに,種々御指導,御援助を賜った日本国有鉄道臨 時車両設計事務所,運転局,鉄道技術研究所の各位に厚 く御礼申しあげる。

参考文献

- (1) 毛利, 浅野: 日立評論 40, 352 (昭 33)
- (2) 河井ほか: 日立評論別冊 No. 20, 11 (昭 32)
- (3) 一木ほか: 昭33年電学東京支部大会予稿(昭33)
- (4) 伊沢ほか: 日立評論 41, 976 (昭34)

日立水銀整流器の標準

昭和30年日立最初の封じ切り整流器完成以来,日立封 じ切り風冷エクサイトロン整流器は各種用途にひろく使 用されるようになった第1表にその標準を示す。

特 長

- (1) すべて封じ切り風冷エクサイトロンである。
- (2) 封かんはすべて VE シールを使用している。
- (3) 点弧は吹上方式であり、点弧子の寿命の心配はない。励弧は直流励弧である。
- (4) 格子は二重籠形格子を採用している。
- (5) 陽極は真空炉で予備処理をした良質グラファイトを使用している。

日立水銀整流器の標準

タンク 形 式	CF - 03	BF - 02	AF - 01	ZF - 04	ZF-05
容 量 (kW)	3,000/2,000	2,000/1,000	1,500/ 750	2,046	1,560
電 圧 (V)	1,500/ 600	1,500/ 600	1,500/ 600	660	1,500
電 流 (A)	2,000/3,333	1,333/1,667	1,000/1,250	3,100	1,040
定格	E 種	E 種	E 種	連続	連続
連続最大 電流(A)	4,000	2,500	1,875	3,400	2,000
整流方式	相間リアクト ル付二重星形	相間リアクト ル付二重星形	相間リアクト ル付二重星形	単 相全 波	単 相全 波
タンク数	6	6	6	8	4
主用途	電鉄地上SS用 電動力応用	電鉄地上SS用 電動力応用	電鉄地上SS用 電動力応用	交 流 車両用	交 流 車両用
1 タンク 重量(kg)	425	370	240	250	390
高 さ (mm)	2,320	2,180	2,020	2,040	1,910
奥 (mm)	1,590	1,450	1,200	1,300	1,710
幅 (mm)	2,660	2,450	2,000	1,660	1,510
全重量 (kg)	4,000	3,440	2,250	2,850	2,800

- ※ 寸法,重量は冷却扇,ベースを含む
- ※ CF 形は世界的にも最大容量である
- ※ BF 形は製作数最も多いものである
- ※ ZF 04 形は交流車両用整流器の標準形として目下量産のものである