

山陽電鉄納入 270形車用チョッパ制御装置

Thyristor Chopper Controller for Type 270 Electric Car

沢 邦彦*
Kunihiko Sawa

富田 博夫**
Hiroo Tomita

岡本 研一***
Kenichi Okamoto

I. ま え が き

サイリスタチョッパの車両への応用を旨として、種々の努力が払われ始めたのは、わが国においては昭和40年頃からである。その後の急速なサイリスタの高速化、大容量化、およびチョッパの制御技術の進歩とともに、既存施設、機器との協調などの検討、フィールドテストを経て、チョッパ装置の応用、製作技術は向上し、チョッパ車^{(1),(2),(3),(4)}が実用されるに至った。今後、新しいサイリスタあるいは回路方式を含めた、チョッパの質的な製作技術の向上をはかり、小形、軽量、安価な装置を供給すると同時に、検査および保守技術の向上、あるいは運用などの実用面でのチョッパ装置のメリットを発揮させる方向に努力が払われることになるであろう。

今般、実用上のフィールドデータの収集を一つの目的としたチョッパ装置を山陽電鉄に納入し、現車テストを経て営業運転に投入されたので、その概要を報告する。

II. 270形チョッパ車の主要要目

電動車3両編成の中間車はチョッパ制御装置付きであり、ほかの2両はカム制御器を搭載しているが、各車の性能および扱いはまったく同じである。第1表にチョッパ車の主要目を示す。

III. 主回路構成と制御方式

1. 主回路構成

第1図に主回路の接続図を示す。各電動機接続に各1箇のチョッパを直列に接続し、2組のチョッパを相互に180°の位相差を持って動作させる2相一重方式の主回路接続を採用している。この回路構成は2相二重方式と比べて電動機電流の脈動を抑えるために大きな主平滑リアクトル(MSL)を必要とするが、各電動機回路が、チョッパゲート制御回路の大半を含めて独立、単純化されて信頼性が高く、各電動機回路の開放運転が簡単であるという特長を持っている。また高脈流率電動機を用いれば電動機電流の平滑化のために要求されるMSLの値よりむしろチョッパの転流能力の面からチョッパのピーク電流を制限するためのMSLの値の方が大きくなり、

第1表 270形チョッパ車の主要要目

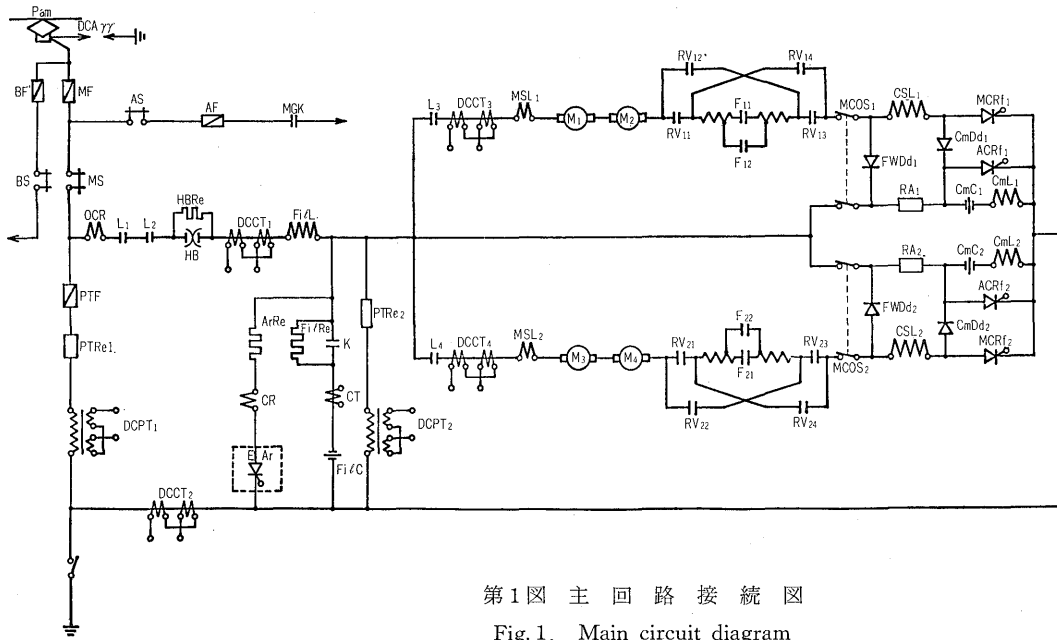
Table 1. Principal rating of type 270 chopper controlled car

(1) 電源電圧	
架線電圧	1,500V (900~1,650V)
アレスタ制限電圧	放電開始 \leq 5,500V 制限電圧 4,500V (at 2,000 A 放電電流)
制御電圧	(MG) DC 100V AC 200V 120Hz 2 ϕ
(2) 制御空気圧	5kg/cm ²
(3) 車両性能	
自重	空車 36.5 ton, 満車 54.3 ton
加速	空車 2.1 km/h/sec 満車 1.4 km/h/sec
減速	空気ブレーキ
(4) 電動機	
接続	2S \times 2G
定格容量	52.2kW (750V 82A)
定格回転数	825rpm
弱界磁	1段 60% 界磁
脈流率	\leq 10%
(5) チョッパ装置	
接続	2相一重
定格電圧	1,500V (900~1,650V)
定格電流	115A
最大転流電流	154A
素周波数	200Hz (始動時 100Hz)
合成周波数	400Hz (始動時 200Hz)
転流方式	単振動形
制御方式	定周波位相角制御, 電流平均値制御
素子形式	サイリスタ KGP 22-13 ダイオード KSP 03-30
周囲温度	-10°C~+40°C
冷却方式	強制風冷
転流コンデンサ	12 μ F
転流リアクトル	40 μ H
(6) 主平滑リアクトル	
インダクタンス	80mH (115A)
定格電流	82A
(7) フィルタ装置	
フィルタコンデンサ	500 μ F \times 2P
フィルタリアクトル	10mH 164A
共振周波数	50Hz
(8) 電子式放電器	
放電電圧	2,500V
放電抵抗	5 Ω

* 中央研究所応用開発部

** 神戸工場・設計部

*** 輸送機技術部



第1図 主回路接続図
Fig. 1. Main circuit diagram

多重化する利点は少なくなる。架線電流の高調波成分の軽減効果は2相二重方式とまったく同じであり、入力L-Cフィルタとあわせて十分に架線高調波成分を害のない値に減じている。

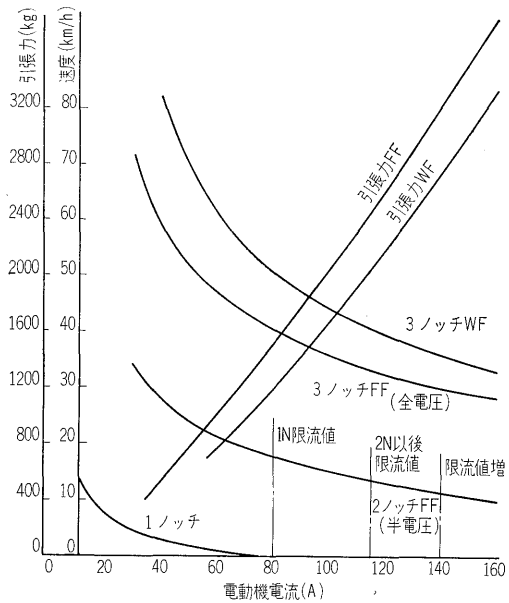
フィルタコンデンサを2群に等分割して各群の電流のバランス状態を監視して、断線あるいはコンデンサの劣化などの異常に備えている。また外来サージの大きさ、ひんどなどを知る目的もかねて電子式放電器をチョップの過電圧保護に用いている。

チョップは力行専用であり、回生ブレーキ電流立上げ時などの小電流域での安定動作などのきびしい責務がないので、接続図に示すよう単振動方式の転流回路を採用して、装置の小形化を図っている。

2. 制御方式

第2図にノッチ曲線、第3図に制御ブロック、第4図に制御フローチャートを示す。従来の抵抗制御方式の車両と並結して使用するので、運転扱い、始動加速性能、各ノッチでの最終特性を揃える必要があり、電動機電流一定制御および各ノッチでの電流値の設定およびチョップ通流率の制限を行なっている。またチョップは高調波障害対策上有利な定周波数位相制御方式を採用している。

運転制御指令には、マスコンの制御ノッチ{1(始動), 2(直列), 3(並列)}と弱界磁、強制進段の選択スイッチがある。1ノッチではチョップ周波数100Hzで運転し、マスコンを2ノッチに進めるとチョップは位相制御しながら、チョップ周波数を100Hzから200Hzへスキップさせる。この時電流の突入を抑えるために通流率をしばらく込む制御を行なっている。同様の制御を弱界磁進段時行なってショック緩和を図っている。最終ノッチで



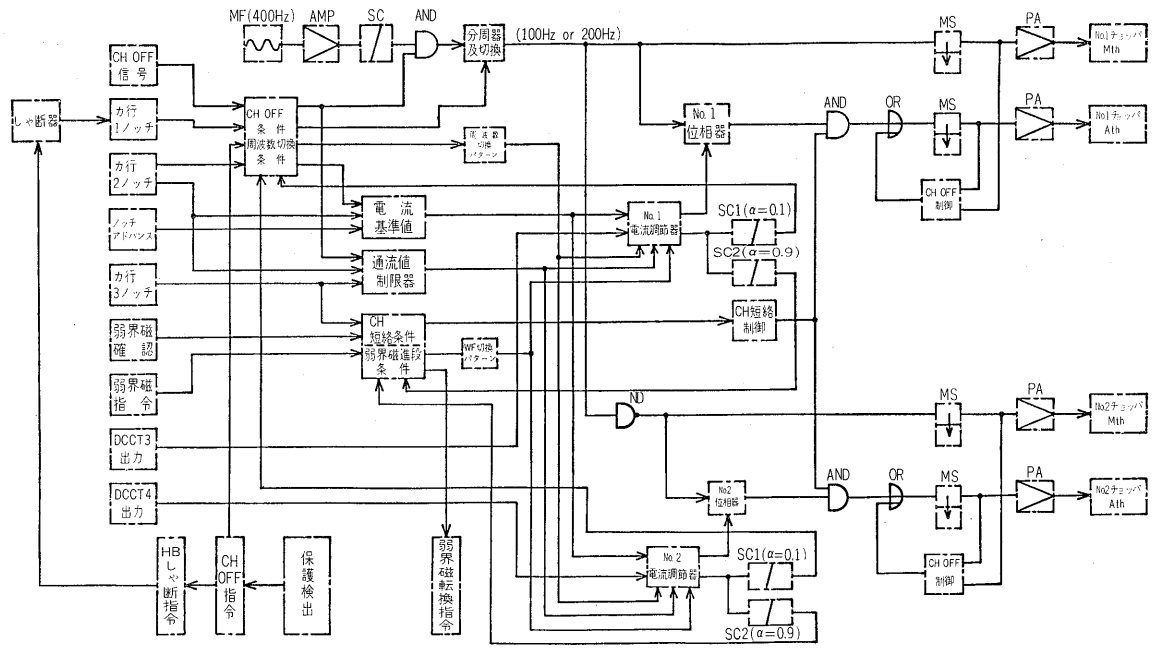
第2図 力行ノッチ曲線
Fig. 2. Powering notching curve

は通流率最大になるとチョップのロスの発生を少なくするためオフパルスをロックしてチョップ短絡状態にしている。この時チョップは架線電圧の急変などに対応していつでも動作できる状態に保たれている。強制進段に対しては電流設定値を増加してカム制御器の動作と協調を図っている。

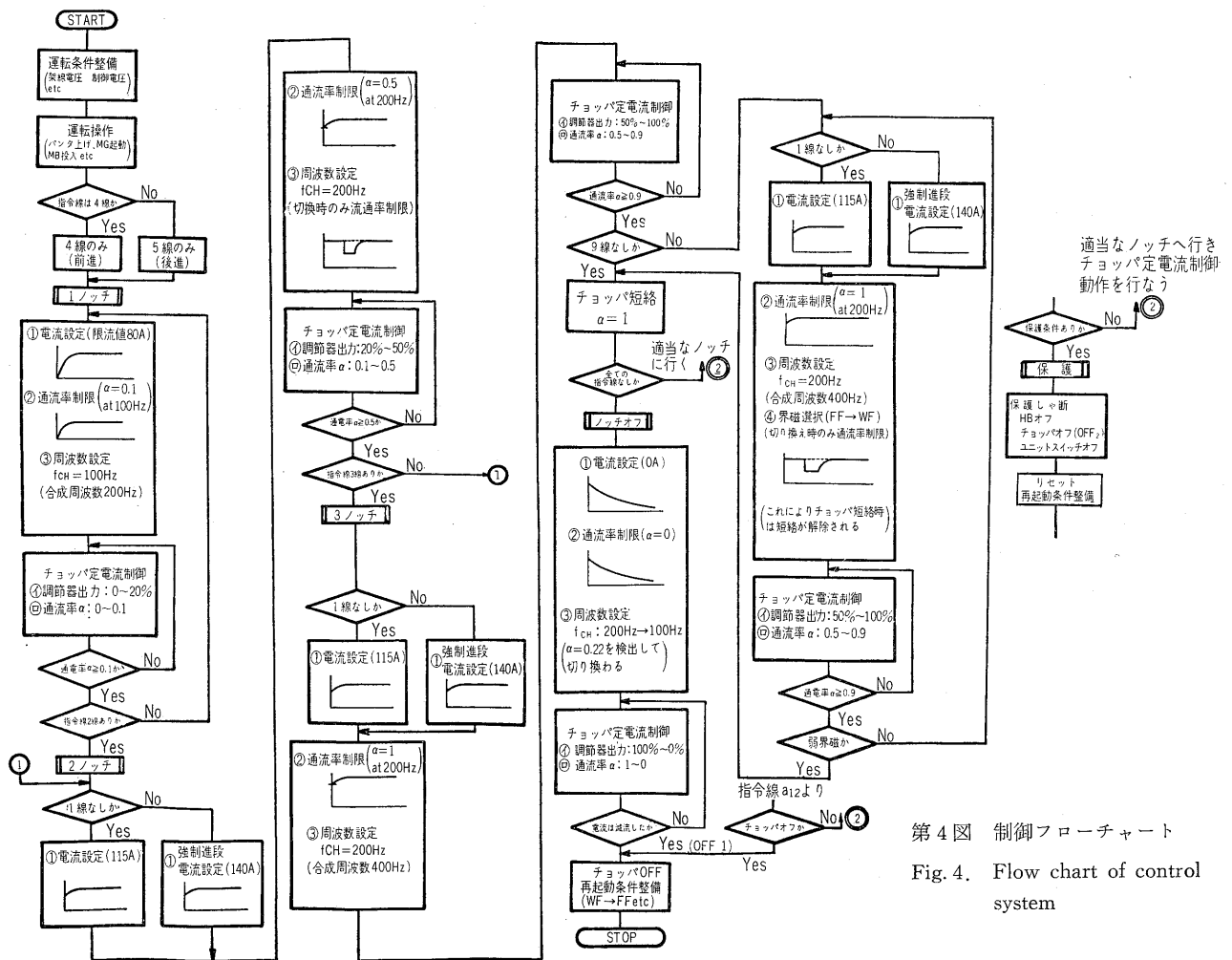
IV. 主要電気機器

1. チョップ装置

第5図にチョップ装置の外観を示す。電流量に対して充分余裕のある平形素子を使用しているため、素子冷



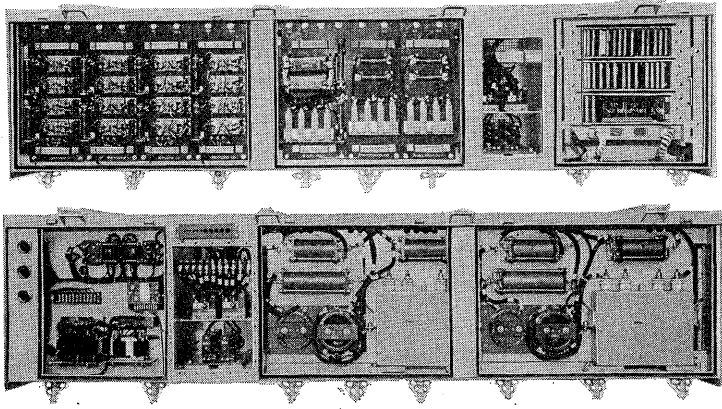
第3図 制御ブロック図
Fig. 3. Block diagram of control system



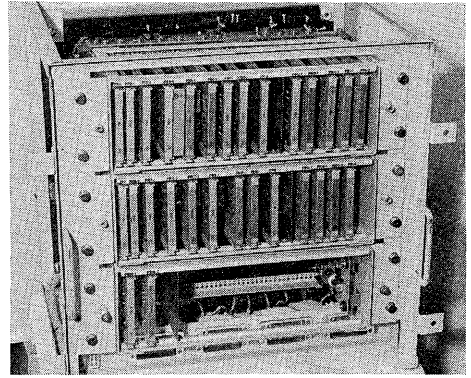
第4図 制御フローチャート
Fig. 4. Flow chart of control system

却フィンを小形に設計し、1スタックに4個のサイリスタ (ダイオード) を収納している。各スタックは機能別にトレイ化し、装置に装着すると同時に冷却風洞を構成

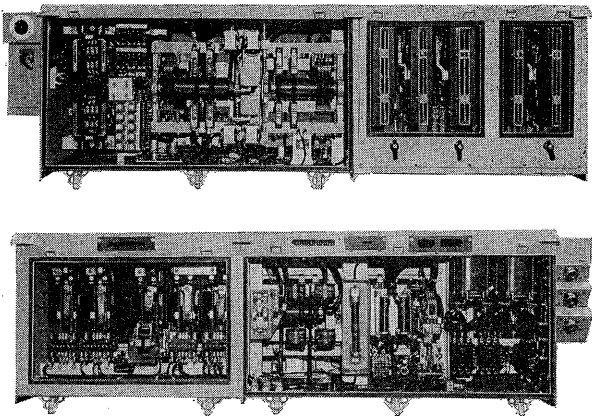
するように配置されている。またトレイの裏側には転流回路機器を配置し、コンパクトな構造となっている。



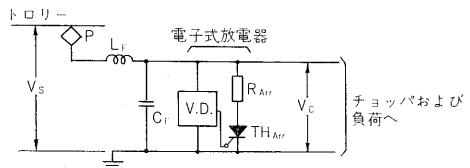
第5図 チョップ装置
Fig. 5. Chopper control equipment



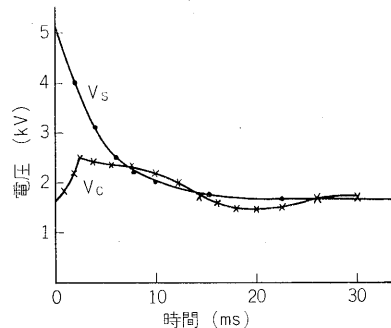
第6図 ゲート制御装置
Fig. 6. Gate control equipment



第7図 断流器, 転換器箱
Fig. 7. Breaker and reverser box



(a)



(b)

第8図 電子式放電器の基本回路(a)とサージ到来時の各部波形(b)

Fig. 8. Schematic diagram of electronic discharger and voltage waveform

2. ゲート制御装置

第6図に示すゲート制御装置はチョップ装置に組み込み、キャノンプラグを接続すれば、動作するように構成されている。この装置はチョップのゲート信号の制御および各種の保護動作を行なう重要な部分であり、信頼性の向上および小形軽量化を図るため、その主要部はすべてデジタルおよびアナログICを使用している。また各ユニットは、ノイズ対策および保守点検に便利のように、機能別、系統別に配置されている。

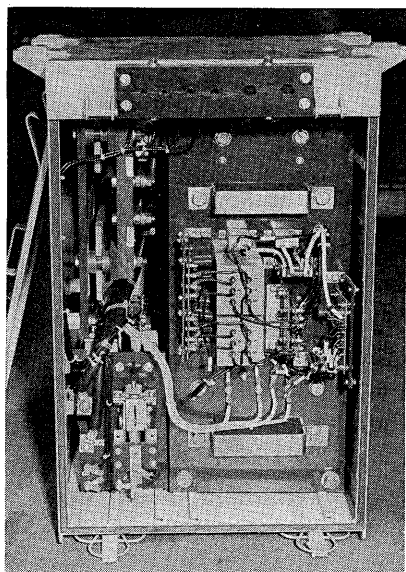
3. 断流器転換器箱

第7図に外観を示すように、チョップ装置保護用の高速しゃ断器、ユニットスイッチ、逆転器、界磁接触器などの可動部を有し、保守を必要とする主回路制御回路機器、リレー、ターゲット類を一括して収納している。

4. 電子式放電器

チョップを搭載した電車または電気機関車において、
 (1) 電源からサージが侵入した場合
 (2) 変換器につながる負荷が急激にしゃ断された場合
 (3) 回生負荷が急激に喪失した場合
 などに、フィルタコンデンサ C_f の電圧 V_c が異常上昇するのを防ぐために、電子式放電器を使用することは古くから行なわれており、また、その場合のサージ抑制の

様相も解析、報告されている^{(6),(7)}、今回のチョップ装置に対しては、電源トリオリから侵入するサージ電圧の抑制を主たる目的として、第8図(a)に示すように電圧検出器VD(トリガ装置を含む)、サイリスタ TH_{Arr} 、放電電流抑制用抵抗器 R_{Arr} からなる電子式放電器を設けた。電子式放電器は、ノッチオフ時に動作するのを避けるべく、放電開始電圧の設定値を2,500Vに選定した。第8図(b)は、電源電圧1,650V、負荷電流310Aで運転中に、波頭値5,000V、 0.1×4 msなるインパルスサージが侵入し、フィルタコンデンサ電圧 V_c が放電器の放電開始電圧に達すると、ただちに放電器用サイリスタ TH_{Arr} をトリガするとともに、チョップをオフさせた場合のパンタ点電圧 V_s およびフィルタコンデンサ電圧 V_c の様相(計



第9図 電子式放電器
Fig. 9. Electronic discharger

算値)である。図から明らかなように、フィルタコンデンサ電圧 V_c は 2,500V 以下に抑制されており、この放電器の設置により、チョッパは、十分な電圧余裕を持って運転に供され、高い信頼性が保たれている。

5. その他の機器

以上のほかに主要機器として、フィルタコンデンサ箱 (第10図) リアクトル箱 (第11図 MSL. Fil. L 収納) がある。

V. 現車試験結果

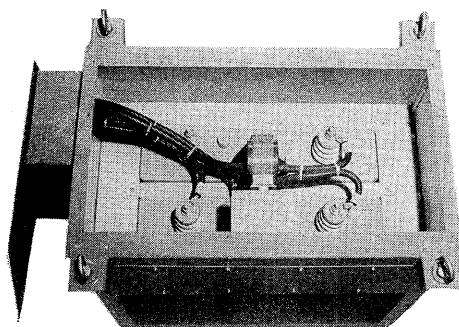
このチョッパ制御車は、山陽電鉄・東二見工場の構内および夜間に本線で試運転を実施し、所期の性能が確認され、47年8月より営業運転に投入された。現車試験では、主にチョッパ車の性能、チョッパ車の外部への影響特に信号障害などについて調査を行なった。

1. チョッパ車の車両性能

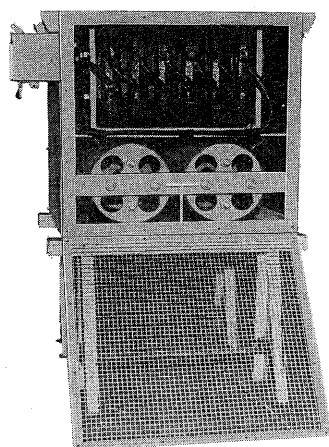
第12図にチョッパ車の、第13図にカム制御車との比較オシログラムを示す。いずれも編成の全制御器を動作させた状態である。加減速性能は、カム制御車と電動機が同じでしかも協調運転しており、空気ブレーキで制動しているため、全然差異は認められなかった。第13図より、チョッパ車とカム車の電動機電流はよくバランスしており、各車の負荷分担は良好である。カム車が若干早く始動される傾向にあるが、ショックとしては感じられず、乗心地はカム制御車単独より良くなっており、充分満足できる状態であった。

2. 消費電力

消費電力を限流加速期間についてのみ比較すると、チョッパ制御車はカム制御車の約 78% の電力消費であった。カム制御車は電動機の直並列を行っており、約



第10図 フィルタコンデンサ箱
Fig. 10. Filter capacitor box



第11図
リアクトル箱
Fig. 11.
Reactor box

25%が抵抗器に消費されているが、そのほとんどがチョッパ車では節約されることがわかる。

3. 騒音

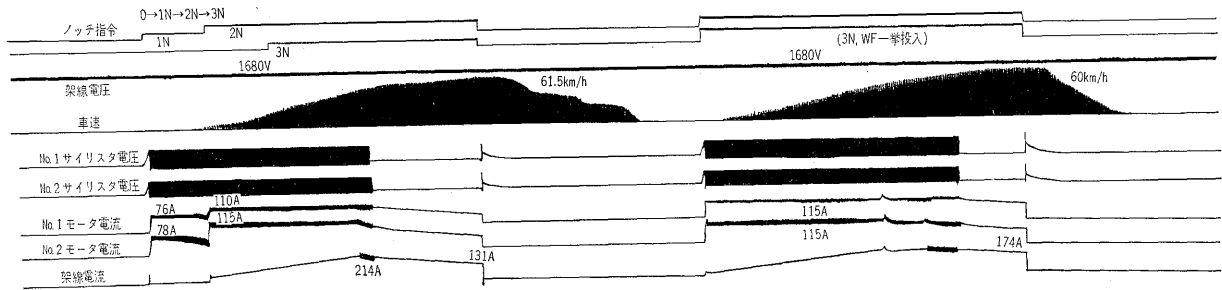
電動機の代わりに抵抗器を接続して、定置状態でチョッパを運転し、騒音について調査を行なった結果、冷却用ブロワの騒音が若干大きい程度で、チョッパの磁気騒音などは全然問題にならないほど小さい値であった。

4. 架線高調波電流

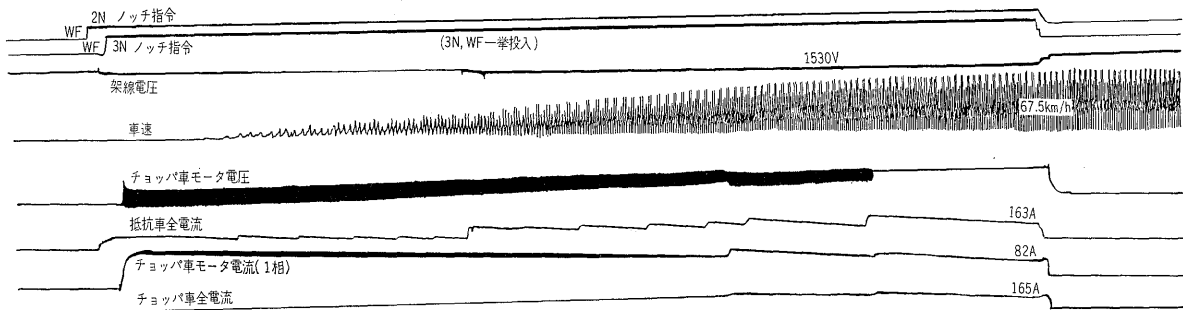
これまでチョッパ制御車を検討するに際して、誘導障害を起こす恐れのある架線電流の高調波成分については慎重に検討が行なわれ、実用上支障のない程度に高調波電流を低減するため、電源フィルタのそり入、チョッパ周波数の選定、チョッパの多相化などの対策が行なわれている。今回の現車試験においても、架線電流の調波分析、JPの測定などを行なったが、架線電流が少ないこともあり、まったく問題にならない値であった。

5. 通信・信号障害

業務用の電話回線に対する障害、ラジオ、テレビ、誘導無線、車内放送機器などに対する障害について、雑音測定、電界強度の測定などのほか、実際に使用している状態で調査したがまったく問題なく、AM放送の受信機に非同調時のみ若干の雑音が入る程度である。



第12図 チョップ制御車のオンログラム
Fig. 12. Oscillogram of chopper controlled car



第13図 チョップ制御車とカム制御車のオンログラム
Fig. 13. Oscillogram of chopper controlled car and cam controlled cars

架線電流高調波成分による、軌道信号機、ATC、踏切制御などの軌道電流あるいは電界によって働く装置に対してまったく障害を起さなかった。

VI. 保 守

サイリスタチョップ装置を直流電気車駆動の分野へ進出させた要因の一つとして、従来の車両保守作業に大きな比率を占めていた接点の保守を大幅に軽減せしめることがあった。すなわち、チョップの無段階全域制御性能を利用して主回路接触器を極力減らすとともに、回路しゃ断用単位スイッチ、P-B 転換用カムスイッチ、前後進切換用カムスイッチなど、省くことのできない接点部分の動作に際しても、チョップの電流しゃ断性能を利用して、主回路接点の無電流開閉を実現して接点部の損耗を激減せしめることが可能である。一方、チョップ装置の心臓部ともいべき制御装置部は、在来機器に比べて小形電子部品点数が多く、回路構成も複雑であるため、高信頼性を確保するために、部品の厳密な選定、スクリーニング、充分なディレーティング、製造工程の管理など慎重な配慮を要するばかりでなく、万一に備えて保守、点検を容易ならしめなければならない。当社では、こうした事情を考慮して、今搬納入のチョップ装置の保守、点検に対して下記のような配慮をした。

(1) チョップ部

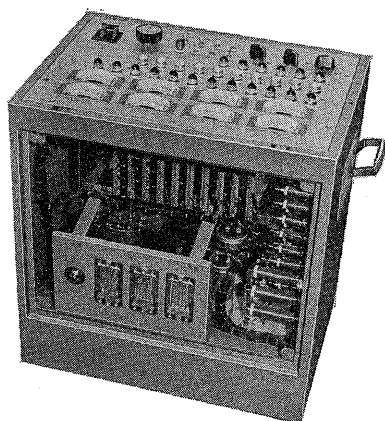
チョップ部を構成するサイリスタ、ダイオードなど

は、すべてトレイ構造にするとともに、保守、点検のために必要な端子はすべて前面に出した。

(2) 制御装置

制御装置は、有接点リレーから構成される部分と、トランジスタ、IC などから成るプリント板構造の部分とからなるが、これらを一括してチェックできる自動試験装置を開発し、納入した。第14図は、自動試験装置の外観ならびに内部構成を示す写真である。この試験装置は、模擬マスコンから模擬チョップに至るまでを持ったチョップ電車の一種のシミュレータであり、この試験装置と被試験チョップ車の制御装置の試験用端子を相互にキャノンプラグで結び、被試験チョップ車の制御装置に4枚のテスト用プリント板をそう入するだけで、この試験装置に設けられた模擬マスコンを用いて空ノッチテストが可能である。空ノッチテストにおいて、模擬マスコンから与えられたさまざまな運転モードに対応してチョップ装置が所期の正常動作を行わない場合には、試験装置は、どのプリント板が異常であるかを判別して表示する。また、この試験装置は、各種保護、検出回路の動作レベルも確認できるようになっている。

今回製作した装置は、各ノッチ操作を試験員が模擬マスコンを操作することによって行ない、試験結果も試験装置の表示部に示された結果を試験員が記録している点で完全な意味での自動試験装置とはいいがたいが、従来、シンクロスコープやビジグラフを用いて、プリント



第14図 チョップ制御装置用自動試験装置
Fig. 14. Automatic tester for chopper controller

板 1 枚ずつを試験していたことに較べると、保守、点検のための労力はいちじるしく軽減されたといえる。このようなシミュレータによる試験システムは、被試験装置に誤配線など製作上の極く初歩的な誤りなどが無いという前提で初めて成り立つものであるが、今後のこの面での要求は必須であり、その意味で方向づけができたと確信している。

なお、各ノッチ操作や、試験結果まで含めて完全自動化も可能であるが、どこまで自動化するかは、経済性との対比において決定されるべきものであると考える。

VII. む す び

この装置は車両性能、誘導障害などに関する総合的な現車テストを終了し、営業運転に投入されているが、現車テストあるいは今後得られる、フィルドデータを生かして、より実用的なチョップ車を生み出すために一層の努力を払っていきたい。

最後にこのサイリスタチョップ装置の設計、製作ならびに試験に際し、多大なるご指導とご協力をいただいた、山陽電鉄関係者の方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 松沢・白井・佐藤：富士高速サイリスタ KGP 22-13 富士時報 44 No.4 (昭46)
- (2) 沢・井村：鉄道直流電気車のチョップ制御に関する検討 富士時報 44 No.4 (昭46)
- (3) 宮上・岡本・沢：直流電車用サイリスタチョップ制御装置 富士時報 43 No.2 (昭45)
- (4) 刈田：営団地下鉄6000系電車のチョップ装置[1][2][3] 電気車の科学 昭和46年1月、2月、3月
- (5) Wolski: Thyristoren in Bahn triebfahrzeugen Siemens Zeitschrift H 6 Juni (1965)
- (6) 沢・木下・小笠原：逆 L-C フィルタを有する変換器用電子式放電器の動作 電気学会東京支部大会 343 (昭46)
- (7) 沢・木下・一条：逆 L-C フィルタを有する変換器用電子式放電器の動作(その2) 電気学会全国大会 641 (昭47)

技 術 論 文 社 外 公 表 一 覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
自家発電所の減圧、減温装置	計測技術部	小 松 隆 夫	火力発電誌特集号
油圧制御システム5年後のビジョン	中央研究所	内 田 條 治	油圧化設計誌 日刊工業新聞社
自家用蒸気発電プラントの計画	電力技術第一部	宮 川 清	火力発電誌
汎用化したサイリスタ式交流電力調整器	一汎技術部	杉 田 正吉郎	アルトピア誌 11月号 軽金属出版
72年ロンドン油空圧コンファレンス紹介	中央研究所	内 田 條 治	油圧化設計誌 日刊工業新聞社
油中ガス分析による変圧器の診断について(ソ連における状況)	中央研究所	山 岡 道 彦	地方講演会 10月2日 電気絶縁油研究会
これからの計装「最近の計測機器の動向」	計測技術部	小 島 洋	計量管理誌 計量管理協会
アルミニウム・ブスバーへの銀メッキ	松本工場	小笠原 友信	金属表面技術誌 金属表面技術協会
長距離石油パイプラインのデータ授受の実際問題	計測技術部	中 村 恭 輔 島 田 耕 司	ペトロケミカルエンジニアリング誌 重化学工業通信社
熱併給発電所の最適負荷運用	システム技術第一部 原子力技術部	島 山 純 一 島 津 明	火力発電誌 10号 火力発電技術協会



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。