

交直両用電車の制御装置

A Control System for A.C.-D.C. Car

竹村伸一* 益富文男*
Shinichi Takemura Fumio Masutomi

内容梗概

交流電化の進展につれて、東北本線、常磐線など既設の直流1,500V電化区間と、新設される交流20kV電化区間との接続方式が、一番重要な問題として取り上げられるに至った。

そこで車輦内に交直切替装置を設け、電車線の切替区間を通過する際に、手動操作あるいは自動的に進入すべき電圧側に切り替えられるエキサイترون整流器式交直両用電車を製作し、昭和33年2月、国鉄に納入し、仙山線で試験した。

その結果は、無加圧区間通過時の車上切替えおよび誘導器による自動切替え、各場合の保護装置などに予期以上の好成績を得て、この方式の十分な実用性を示した。

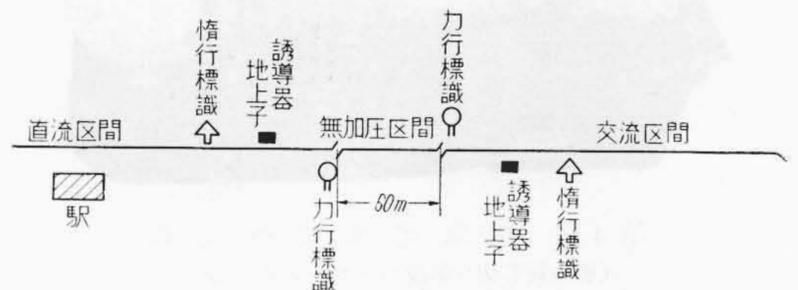
1. 緒言

商用周波数による幹線の交流電化の進展に伴い、新設される交流20kV電化区間と、既設の直流1,500V電化区間との接続方式が重要問題として取り上げられるに至り、東北本線、常磐線、関門地区などの電化進展を計るため交直両用電車の出現が強く要望せられるに至った。

国鉄では、この交直接続点において第1図に示すように、駅構外の電車線に一定距離の無加圧区間を設け、交直切替装置を搭載した電車が、この区間を通過するにあたって、自動的にあるいは運転士の簡単な操作によって車輦内の回路を切替える方式をとることを決定された。

日立製作所では、さきに直接式交流機関車ED441号車およびエキサイترون水銀整流器式交流機関車ED4521号車を納入したが、今回交直両用電車の電気品としてこれらの経験を生かしさらに屋上機器高さ595mm以下、床下機器高さ712mm以下という苛酷な条件のもとに設計し納入した。

これらの電気品は、クハ5901号車を改装して取り付けられ、これと連結運転されるモハ73034号車の主電動機



第1図 交直切替地上施設略図

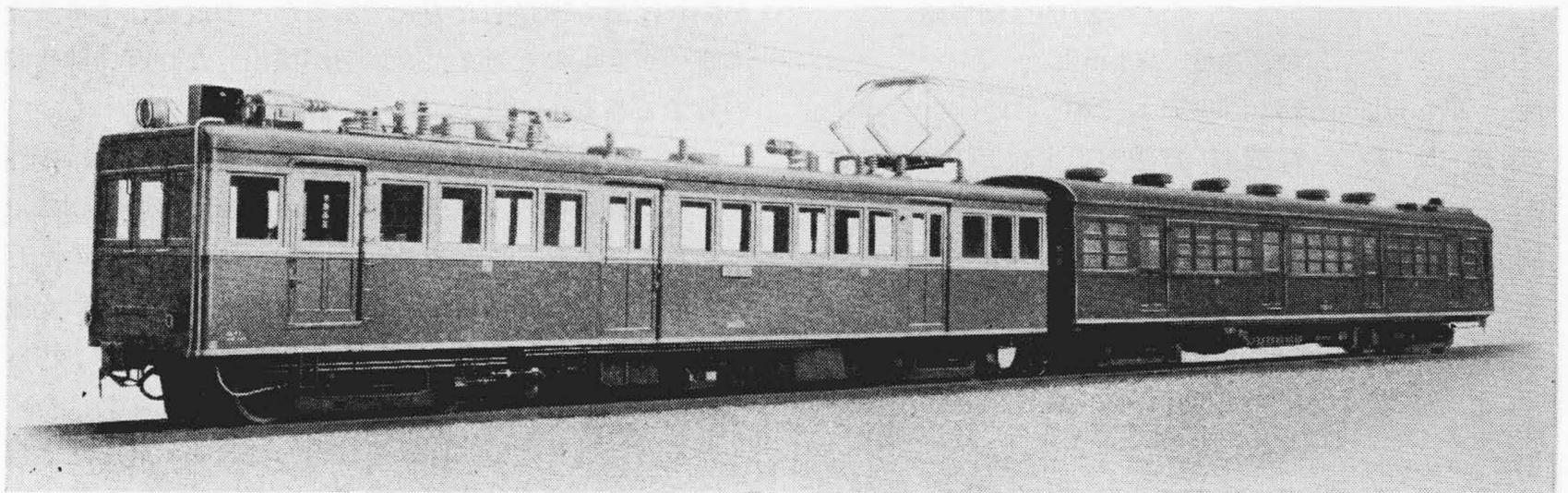
および補助回転機には耐脈流改造を行った。このようにして、33年2月、単極風冷エキサイترون整流器式交直両用電車を完成し、同年3月以降仙山線における鉄道技術研究所による各種の試験において好成績を得た。

本電車はわが国最初の交直両用電車であるばかりでなく、簡易な方式によって交直切替えに成功したという点で注目すべきものとする。

第2図に電源車および電動車の外観写真を示す。

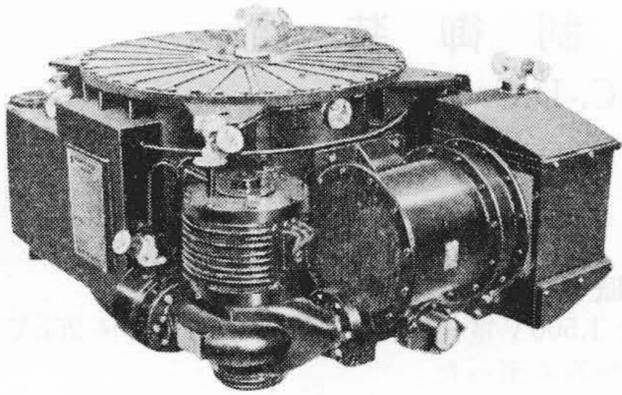
2. 主要諸元

編	成	電源車(クハ5901号車)	} 固定編成
		電動車(モハ73034号車)	

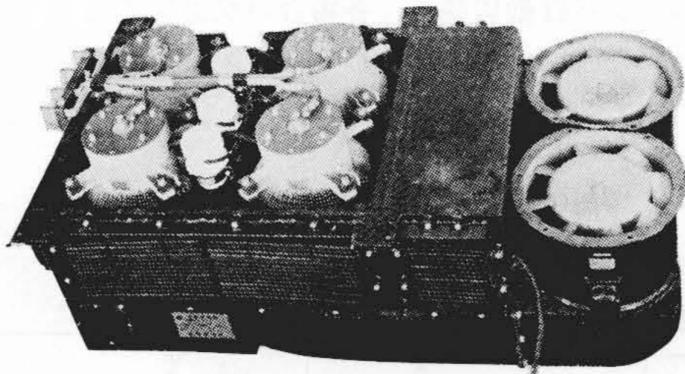


第2図 交直両用電源車クハ5901号車と電動車モハ73034号車

* 日立製作所水戸工場



第3図 電車用主変圧器
(送油風冷式ラジアルコア形不燃性油密封形)



第4図 電車用水銀整流器
(風冷封じ切り単極エクサイトロン形)

重量	電源車 35.310 t
	電動車 45.400 t
主要寸法	電源車車体長さ 15,850mm
	パンタ降下時高さ 4,037mm
	車体幅 2,870mm
	車輪径 910φ
	軌間 1,067mm
電気方式	AC 1φ 50~ 20 kV および DC 1,500 V
主要性能 (一時間定格)	
	出力 568 kW
	牽引力 4,080/3,230 kg (全界磁/60%弱界磁)
	速度 49.7/62.8 km/h (全界磁/60%弱界磁)
	最高速度 90km/h
歯車比	23: 66=1: 2.87
制御方式	電磁式, 電磁空気式および電磁空気 操作カム接触器式
制御回路電圧	DC 100 V
ブレーキ装置	空気ブレーキおよび手ブレーキ
主要機器	
主電動機	形式 XMT 40 (MT 40 B を耐脈流 改造)
	一時間定格 142 kW, 750 V, 210 A 870/1,100 rpm (全界磁/60%弱界磁)
主変圧器	形式 AFOVJ-MCC 屋外用送油風

冷式ラジアルコア形不燃性油密封形

連続定格 1次	20 kV	425 kVA
2次	1,820 V	556 kVA
3次	1,515 V	22 kVA
4次	206 V	5 kVA
5次	69 V	

相数 単相

周波数 50/60~ (ただしポンプは
50~ を取付)

水銀整流器 形式 ISFO-4 GT
風冷封じ切り単極エクサイトロン形
定格 620 kW, 1,500 V, 413 A 連続
モハ 73034 号車主要機器

主制御器 形式 CS-5

界磁弱め制御器 形式 CS-11

遮断器 形式 CB-8 A

3. 交直切替方式の特長

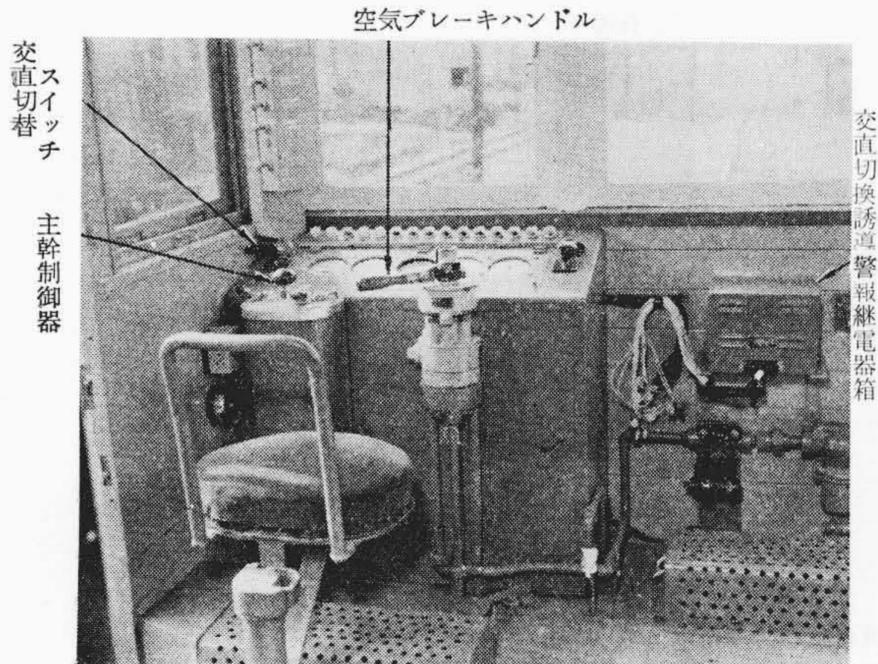
交直切替方式を立案するにあたっては、無加圧区間 60m を有する切替区間を 300 m にも及ぶ長大編成列車が通過する場合を考えて、車の減速が少なく、また無加圧区間途中における再起動が可能であり、しかも運転操作が簡易な方式を選定する必要があった。これらの点を考慮して無電圧区間に進入する前に先頭車の指示により編成中の各電動車の力行回路はいっせいに遮断され次に交直切替器および交直転換器が転換した後、新電圧区間に進入した車から順次遮断器が投入されて力行運転に移る方式を採用することとした。

さらに、運転士はなんら操作することなく、あらかじめ地上に設けられた誘導器により、この上を通過した車から各個に切替装置を切替え、新電圧区間に進入した車から主回路を各個投入して力行できるいわゆる全自動切替方式も試験できる結線とした。これは誘導器に信頼性があれば最も理想的な方式であるがその成否は現車試験にまつべきものと考えた。以上が採用した交直切替装置の骨子であるが、以下これらの詳細について述べる。

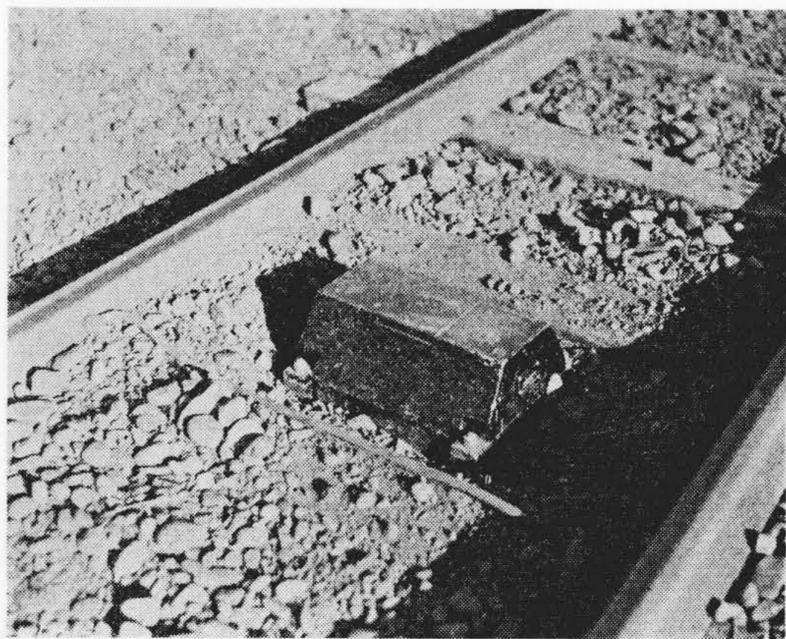
(A) 手動切替の場合無加圧区間に進入する前に操作する交直切替スイッチは第5図の運転士席の写真に示されているが、このスイッチを交流側に置けば、ただちに各車の交直切替器と交直転換器がいっせいに交流側に切替えられ、またこれを直流側に置けば、これらはいっせいに直流側に切替えられるようにした。

いっせい切替えの状況は運転台の交流表示灯または直流側表示灯の点灯により確認できる。

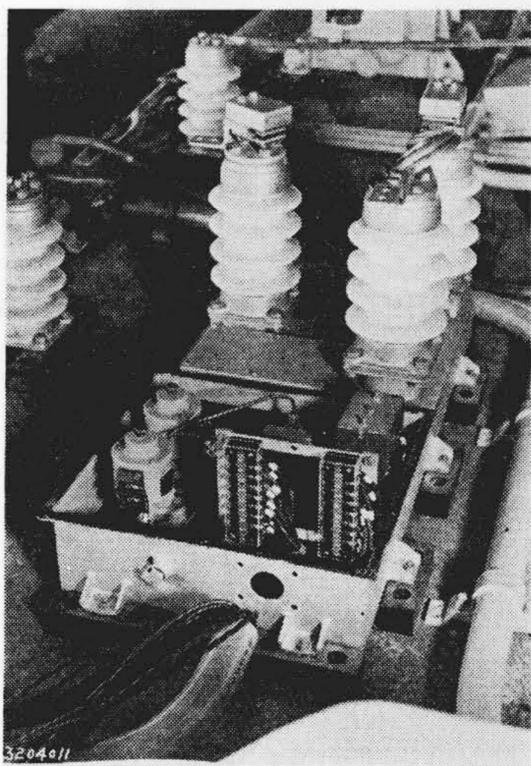
(B) 新しい電圧区間に進入した車を順次力行運転させるためには架線電圧に応じて動作する交流電圧継電



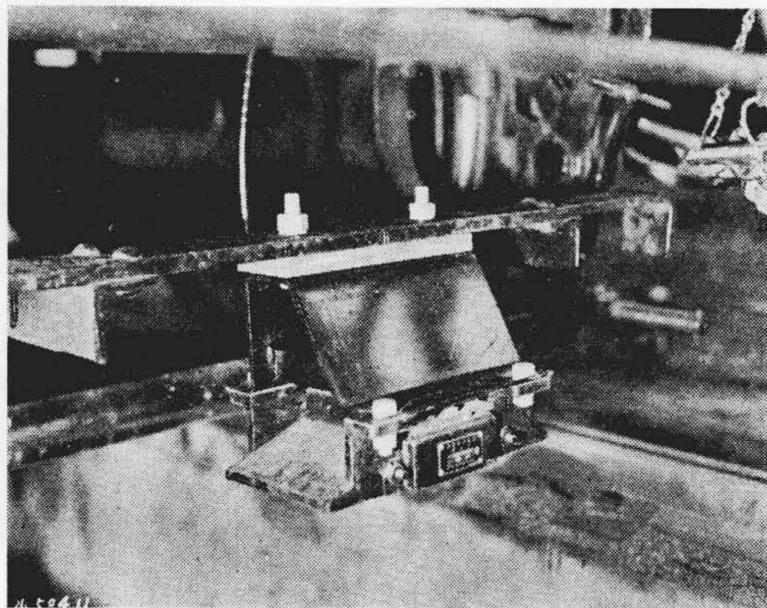
第5図 電源車運転士席外観



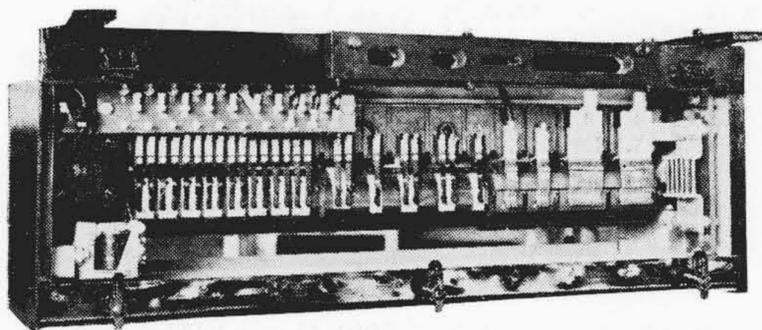
第8図 軌条間に敷設された交直切替誘導器



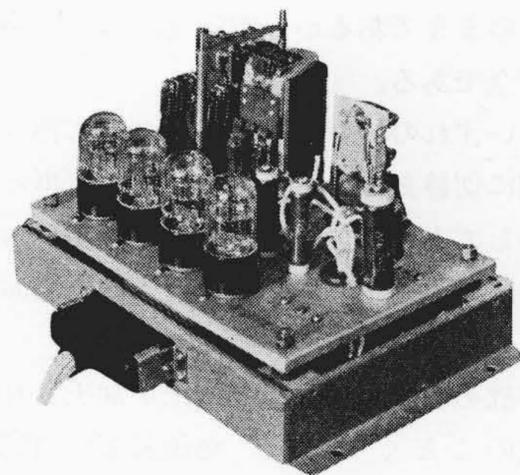
第6図 交直切替器外観



第9図 電源車端に取り付けた交直切替誘導器車上子



第7図 交直転換器外観



第10図 電源車運転室に取り付けられる交直切替誘導器継電器

器および直流電圧継電器を備えている。これらの継電器の指示が交直切替スイッチ、交直切替器および交直転換器の転換側と一致している車は自動的に空気遮断器が順次各個投入されて力行できるようにしてある。第6、7図に交直切替器と交直転換器の外観写真を掲げる。

(C) 全自動切替運転の場合は、走行中運転士はなん

らの操作もする必要がなく、交直切替誘導器地上子の上を通過した車から各個に力行回路が遮断され、続いて交直切替器と交直転換器が切替えられる。新電圧区間に進入したときは、各個に空気遮断器が閉じて力行できることは(B)で述べたとおりである。

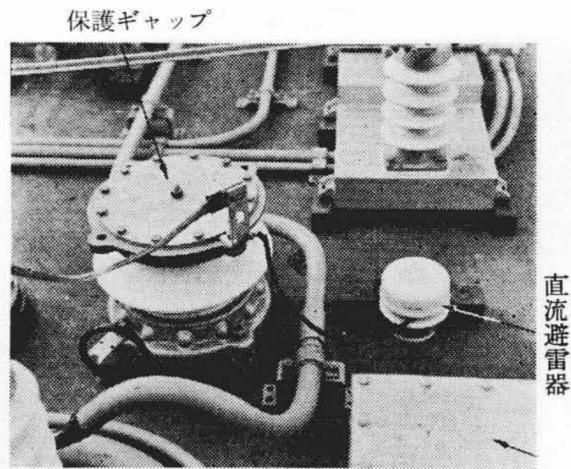
第8図に交直切替区間の軌条間に敷設された交直切替誘導器地上子を、第9図に電源車端に取り付けた車上子を、第10図に運転室に設置される誘導器継電器

を示す。地上子は永久磁石であって、鉄心にコイルを巻いた車上子が100~200mmの間隙をもって、この上を通過すると、発生する誘起電圧により誘導器継電器箱内の常時自己保持している主継電器をいったん開放することにより指示を伝えるようになっている。これら誘導器の感度は車の通過速度5.5 km/h以上で確実に動作するように選定してある。なお、地上子は交流区間と直流区間にそれぞれ同じものが一個ずつ敷設されている。

(D) 交直切替区間を通過するときの保安装置としては、手動切替運転の場合に運転士が交直切替スイッチの操作を忘れたときは、地上子上を通過した車から空気遮断器を開き、ベル警報によって運転士の注意を喚起するようにしてある。また手動切替運転において運転士が交直切替操作スイッチの操作を忘れ、かつ誘導器も動作しないとき、および全自動切替運転の場合に誘導器が動作しなかったときには、パンタグラフで主電流を切ることになるが、このときは電圧継電器により空気遮断器を開くようにしてある。そのまま異電圧区間に進入しても交直切替器および交直転換器の轉換側は旧電圧のままであるから空気遮断器は開路したままとなり安全である。

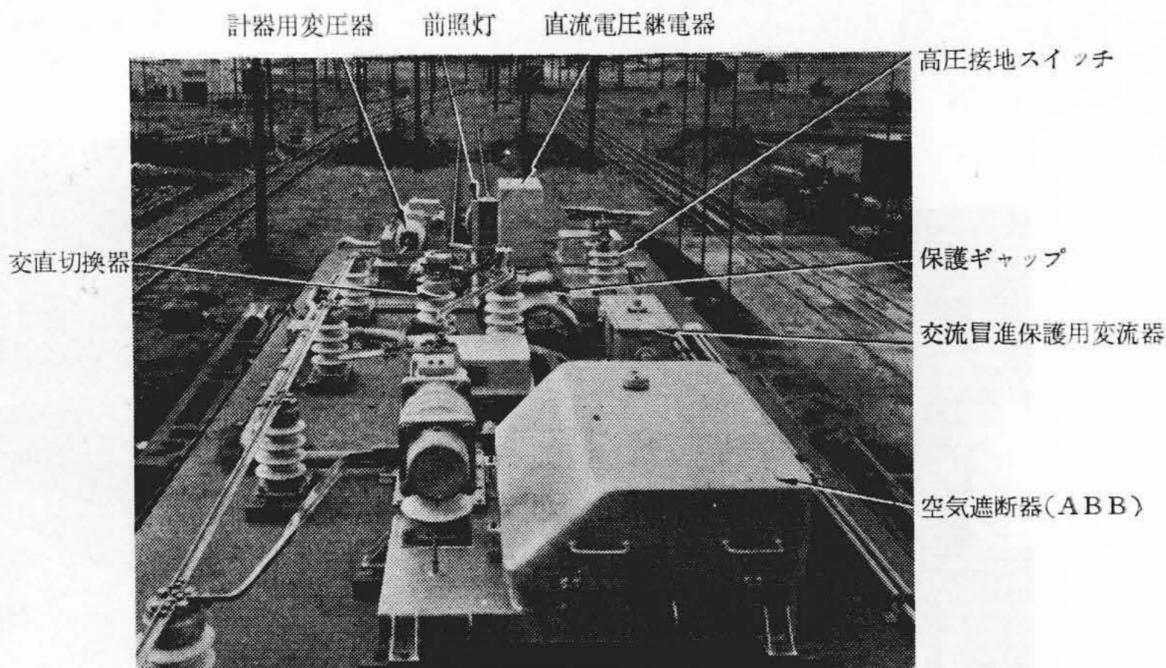
なお、いずれの場合も運転士が交直切替スイッチを新電圧側に切替えると新電圧区間にある車の空気遮断器が閉路して力行できる。また、交直切替スイッチは交直切替区間通過中、あるいは通過前後においていつ操作してもよい。

(E) 事故そのほかで車に異電圧が加圧された場合の保護は次のごとくである。交流接続の状態では直流1,500Vが加圧されると主変圧器一次コイルは過大電流が流れコイルを過熱することになる。また直流接続の状態では交流20kVが印加されると直流機器の絶縁破壊と焼損を招く。そこで異電圧加圧に対して(a)直流加圧の際は、主変圧器の一次コイル接地側に限流抵抗を挿入し、空気遮断器を開いて続流を遮断する。(b)交流加圧の場合は、直流1,500V避雷器の放電電流を変流器により検出し、保護継電器により空気遮断器を開き遮断する。なお、交流加圧時には直流避雷器が放電し短絡接地するが、さらに保安上から放電耐量の大きい保護ギャップを併置した。第11図に直流避雷器

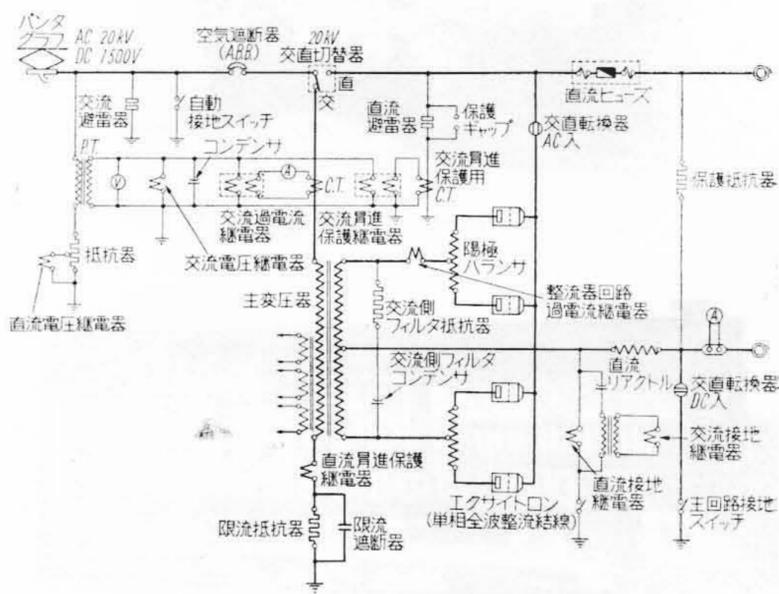


交流冒進保護用変流器

第11図 直流避雷器および保護ギャップ



第12図 電源車屋上機器取付状況

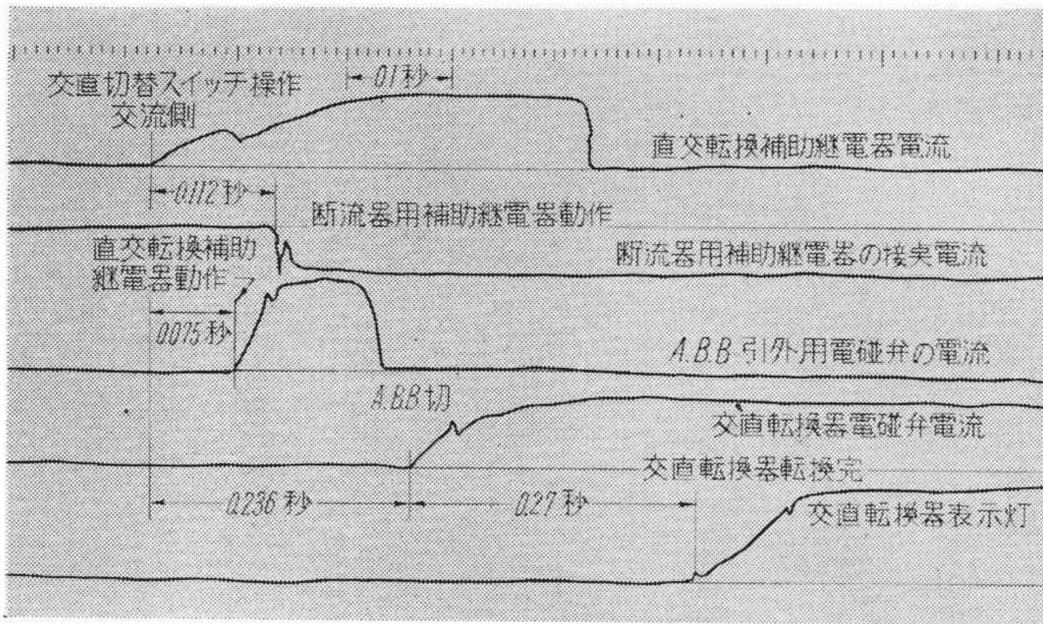


第13図 電源車クハ5901号車主回路つなぎ

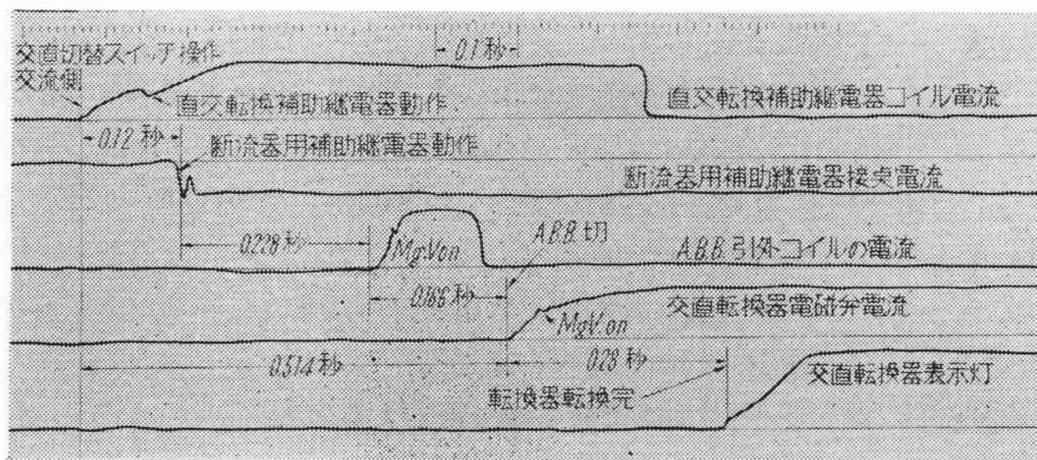
および保護ギャップの外観写真を示す。

(F) 空気遮断器は交直切替区間の前後において開閉動作をする必要がある。空気遮断の器操作気圧7kg/cm²以上を保持するよう配管途中に逆止弁をつけているほか、空気遮断器空気溜め圧力6kg/cm²以下では空気遮断器を自動的に開き、同時に小形空気圧縮機を運転し給気するようにしてある。

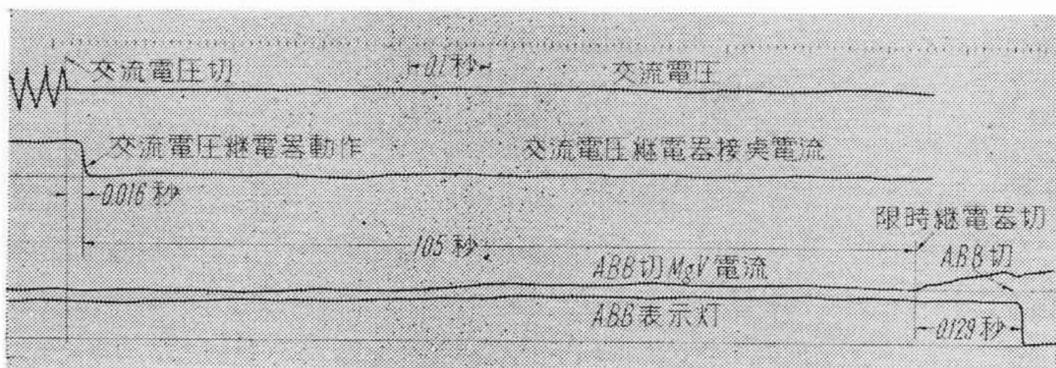
(G) 非常用および点検用として電磁バネ閉路の高圧



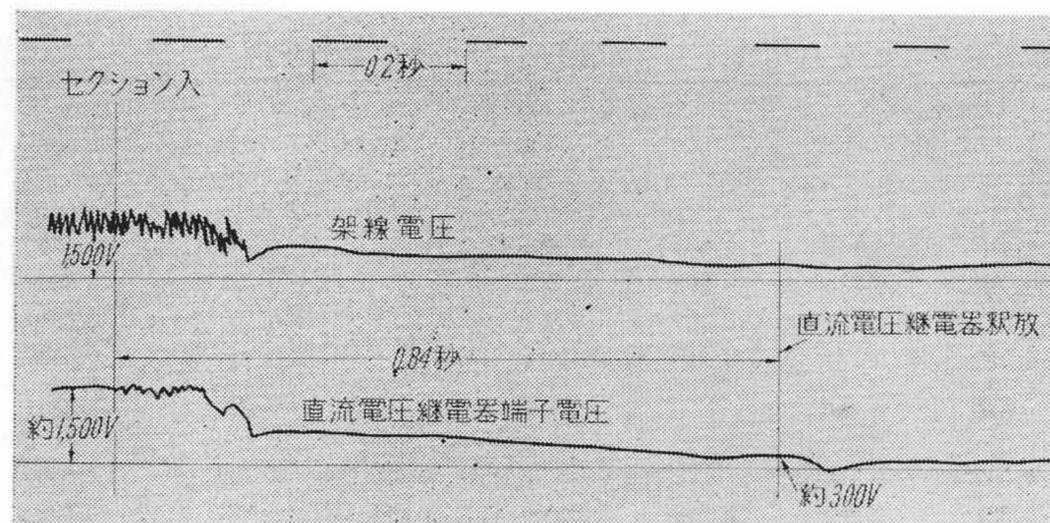
第15図 正規の運転をしたときの切替装置動作時間測定オシログラム



第16図 主幹制御器入のまま交直切替スイッチ操作したときの切替装置動作時間測定オシログラム



第17図 交流運転中無電圧となった場合の保安装置動作時間測定オシログラム



第18図 直流区間から無加圧区間へ進行した場合の保安装置動作時間測定オシログラム

示す。直流区間から無加圧区間へ進行した場合は電動車に搭載した電動発電機用電動機が発電機として作用することにより0.8~1.67秒の限時が与えられる。このときは最大1.9秒以内で空気遮断器が開路する。第18図にオシログラムの一例を示す。

したがって、無加圧区間通過時間は2秒以上あれば安全であることがわかる。

4.5 異電圧加圧試験結果

(1) 交流接続の状態で直流電圧が印加された場合

このときは主変圧器一次コイルの接地側の直流冒進保護継電器が動作し、主変圧器の一次コイルに限流抵抗を挿入し、直流電流を制限し空気遮断器で続流を遮断するようにしている。第6表に直流加圧時の試験結果を示す。事故の継続時間は0.5秒以下であり、異常電圧によって機器に損傷を与えることなくまた空気遮断器主接触部を損傷することもなく良好な結果が得られた。

(2) 直流接続の状態で交流電圧が印加された場合

このときは直流1500V回路用ドライバブルブ避雷器が放電し高圧を接地するとともに交流冒進保護継電器の動作により、車輛の空気遮断器を開き遮断する。現地試験においては変電所の空気遮断器が先に開き、続いて車輛の空気遮断器が開くという結果が得られたが、変電所の再閉路に対しては支障がないことがわかった。なお、避雷器は交流加圧後閃絡放電するから事故後新品と取替えなければならない。第7表に交流加圧したときの試験結果を示す。

5. 結 言

以上、交直両用電車の交直切替装置計画の概要と、33年3月、仙山線において行われた試験結果について述べた。簡易な方式による手動切替についてはもちろんのこと全自動切替運転に成功を収め得たことは特筆されるべきことであろう。無加圧区間の長さおよび通過速度につい

第2表 交流区間から直流区間への全自動切替運転試験結果

試番	速度 (km/h)	交直切替 誘導主 继电器 動作	交直転換 補助继電 器動作	空気遮断 器引外コ イル励磁	空気遮断 器表示 点灯	無電圧 区 間 進 入	DC区間 進 入	空気遮断 器投入コ イル励磁	空気遮断 器開路表 示灯消灯	モハ 断流器L ₄ 入	DC 1,500V 加 圧
1	4	0.098	0.080	0.156							
2	20	0.096	0.086	0.156	5.225		0.250	0.288	0.052	0.006	
3	47	0.100	0.078	0.154	2.150	3.506	0.415	0.288	0.048	0.018	
4	7	0.094	0.094	0.160							
5	21	0.102	0.086	0.158							
平均		0.098	0.085	0.157			0.333	0.288	0.050	0.009	

第3表 直流区間から交流区間への全自動切替運転試験結果

試番	速度 (km/h)	交直切替 誘導主 继电器 動作	直交転換 補助继電 器動作	断流器補 助继电器 励磁	モハ 断流器L ₄ 切	空気遮断 器引外コ イル励磁	空気遮断 器開路表 示灯点灯	無電圧 区 間 進 入	AC区間 進 入	空気遮断 器投入コ イル励磁	空気遮断 器開路表 示灯消灯	点励弧 回 路 形 成	DC 1,500V 形 成
1'	5	0.102	0.086	0.048	0.250	0.160							
2'	21	0.102	0.092	0.040	0.260	0.162	5.180	5.986		0.126	0.050	0.852	
3'	40	0.106	0.088	0.042	0.254	0.164	2.444	4.242	0.068	0.286	0.053	0.897	
4'	9	0.106	0.094	0.045	0.248	0.158			0.056	0.284	0.050	0.825	
平均		0.104	0.090	0.044	0.253	0.161			0.062	0.232	0.051	0.854	

第4表 交直切替誘導装置による保安動作時間

試番	速度 (km/h)	交直切替誘 導装置主 继电器 動作	空気遮断器 引外コイル 励磁	空気遮断器 開路表示灯 点灯
3	20	0.126		0.153
4	20	0.088		0.161
5	30	0.086		0.159
15	40	0.087		0.163
24'	51	0.088		0.156
24"		0.090		0.154
平均		0.095		0.158
6	41	0.094		0.163
8	50	0.074		0.164
14	40	0.097		0.154
24	40	0.097		0.159
22	41	0.095		0.159
30	39	0.098		0.155
平均		0.093		0.159

第5表 交流区間から無加圧区間へ進行した場合の保安動作時間

試番	速度 (km/h)	無電圧 区 間 進 入	交流電 圧继電 器消磁	モハ断 流器L ₄ 切	空気遮断 器引外コ イル励磁	空気遮断 器開路表 示灯点灯
1	5	0.029	0.099	1.071	0.159	
2	20	0.038	0.092	1.068	0.156	
3	41	0.040	0.105	1.047	0.162	
4	48	0.072	0.102	1.031	0.121	
平均		0.045	0.100	1.054	0.150	

第6表 交流運転接続の状態での直流加圧したときの試験結果

試番	事故前 電圧	事故中			遮断時 異常電圧	遮断後 電圧
		変電所 主電 引出 口 電 圧	事故継 続時間	最大 電流		
BD-1	1,560	1,520	0.479	205	変電所 主電 引出 口 に は 異 常 電 圧 発 生 せ ず	事故前 電圧に 同じ
BD-2	1,560	1,530	0.456	195		
BD-3	1,560	1,530	0.451	200		
BD-4	1,510	1,480	0.433	193		
BD-5	1,510	1,490	0.449	195		
BD-6	1,510	1,490	0.441	195		

第7表 直流運転接続の状態での交流加圧したときの試験結果

試番	事故前		事故中		事故 継続 時間	変電所 の再閉 路時間	備考
	電圧	電流	変電所 主電 引出 口 電 圧	電流 (交流分 実効値) 直流分			
BA-1	kV	A	kV	A	ms	秒	変電所の空気遮断器が先に遮断す
BA-2	22.4	僅少	12.4	625	76	0.73	変電所の空気遮断器が先に遮断す
BA-3	22.6	僅少	12.5	585	69	0.74	変電所の空気遮断器が先に遮断す

い見通しを得られたことは喜ばしい次第であった。

終りに臨み本電車の完成にあたり終始御懇篤な御指導を賜った国鉄臨時車輛設計事務所および現地試験に際して御世話になった鉄道技術研究所の各位に厚く御礼申し上げるとともに今後の御指導を御願ひする次第である。

では2秒以上で通過することを原則にして決められるべきであると考えている。

本電車の完成によってわが国電化の懸案であった交直接続の問題が具体的に解決され、交流電化の前途に明る