

パイロットワイヤー式及び逆限時式 饋電線保護方式

村山俊治*・小林哲郎**・三田勝茂***

Pilot Wire Feeder Protection System and Inverse Time Limit Feeder Protection System

By Shunji Murayama and Tetsuo Kobayashi, Katsushige Mita
Techucian, Division Electric Engineer, Tokyo Railway Operating Division
and Taga Work, Hitachi, Ltd.

Abstract

The high speed circuit breaker for D.C. substations of railway use has been greatly improved with the development of the rotary-converter, for the purpose of its flash-over protection. This circuit breaker contains the fault selecting function in itself, and this selecting function and the circuit breaking capacity were good enough at that time when the D.C. substations was built at first. But with the progress of railway service, the distance between the substations has become larger and so does the feeder current. This facts has brought us the new problems about the circuit breaker, that is the problem of the insulation, the selecting function, and the circuit breaking capacity, etc. Especially, on the occasion of the ground fault of the feeder, the damage was very frequently enlarged for the lack of the selecting function of the feeder protecting high speed circuit breaker, so it is greatly hoped to improve this selecting mechanism. But it is found that the improvement of the circuit breaker alone, does not solve the problem because it must break large D.C. current and receives strong electrical and mechanical shocks. So two new relay systems are recommended to compensate the characteristic of the selecting mechanism and complete the feeder protection. The one is the pilot wire feeder protection system, which is to protect the feeder by connecting the two circuit breaker running in parallel. The other is the inverse time limit feeder protection system, which is to protect the feeder by giving the inverse time limit characteristics to the breaker, using inverse time limit relay.

The writer describes in this paper about the selecting characteristic of the high speed circuit breakers for feeder protection, which are widely used now, and also about two newly developed equipments, which made a success in the field test carried out at the Musashi-sakai substation of National Railway Service Cooperation on the 29th and 30th of September, 1949.

* 東京鐵道管理局電氣長付

** *** 日立製作所多賀工場

[I] 緒 言

電鐵用變電所における直流高速度遮断器は回轉變流機の發達に伴いその閃絡防止のため高速度遮断を目的として開發された。この遮断器は故障選擇機能を内藏しており、その選擇特性は開發當初の電鐵負荷状態に對してはほぼ満足すべきものであつた。従つて氣中遮断器に代つて廣く普及するに至つたが、その後輸送量増加に伴い饋電電流が増加し、且つ饋電區間も延長するに及んで遮断容量絶縁並に選擇特性等の點でなお研究改善すべき點が生じて來た。近き將來廣範圍の幹線電化が豫想されるときこれらの急速な解決が要望され、昭和 23 年 10 月鐵道電化協會によつて高速度遮断器研究委員會が設置されて調査が進められた。

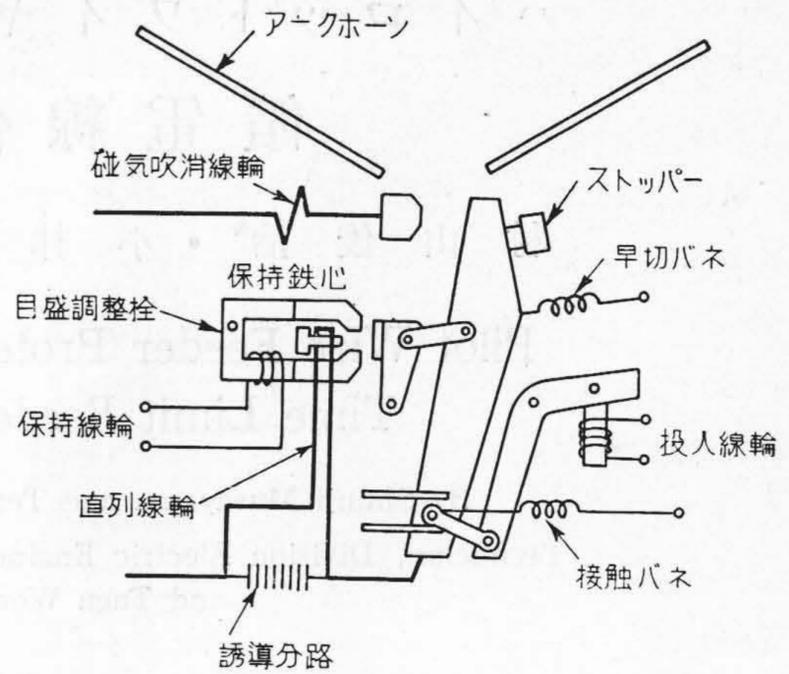
特に上記のうち饋電線の故障に對して饋電線用高速度遮断器による選擇が不可能のため事故を擴大する例が國鐵、私鐵とも各所に頻發して居り、調査の結果これが改善は單に遮断器自身の選擇要素の改良によつて解決することは困難であることが判明した。よつて日立製作所は同委員會の要望に沿つて、パイロットワイヤー式並に逆限時式の二種類の饋電線保護装置を試作した。兩装置とも保護繼電器により、高速度遮断器の選擇特性を補う方式であり、前者は並列饋電する饋電線兩端の高速度遮断器をパイロットワイヤーによつて連動遮断させる方式、後者は長限時の逆限時繼電器を使用して故障電流を選択させる方式である。

以下高速度遮断器の選擇特性並に試作せる兩装置の工場試験結果及び昭和 24 年 9 月 29、30 の兩日、國鐵武藏境變電所に於て行われた實地試験結果等について概要を述べる。

[II] 高速度遮断器の選擇特性と饋電線の故障電流

1) 高速度遮断器の選擇機構

高速度遮断器の選擇機構は第 1 圖に示す如く直列線輪に並列に誘導分路を設け、負荷電流に比べて電流上昇率の大なる故障電流に對しては直列線輪に流れる電流(引

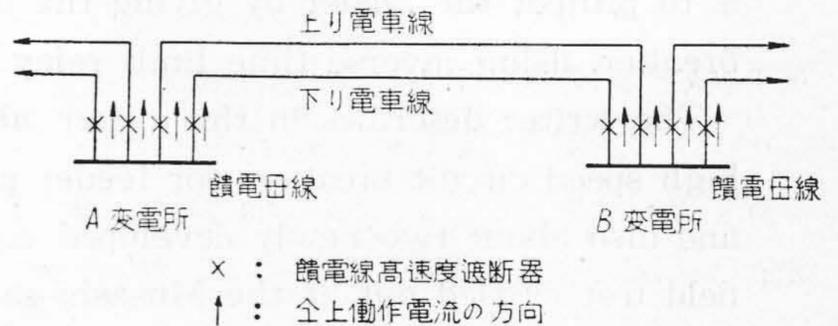


第 1 圖 高速度遮断器の選擇機構
Fig. 1 Fault Selecting Mechanism of High Speed Circuit Breaker.

外し電流)の割合を大ならしめて選擇特性を持たせている即ち負荷電流の場合は動作目盛電流値 I_s にて動作するに對して、故障電流の場合は電流上昇率が大なるため誘導分路の作用により I_s より小なる電流 I_b にて動作する。 $\frac{I_b}{I_s} \times 100\%$ を遮断器の選擇率と稱し、この値は遮断器の選擇機構の定數のみでなく外部回路の定數にも關係する。高速度遮断器委員會の調査によると現在の高速度遮断器の選擇率は 50~70% 程度になつている。

2) 饋電線の負荷電流と故障電流

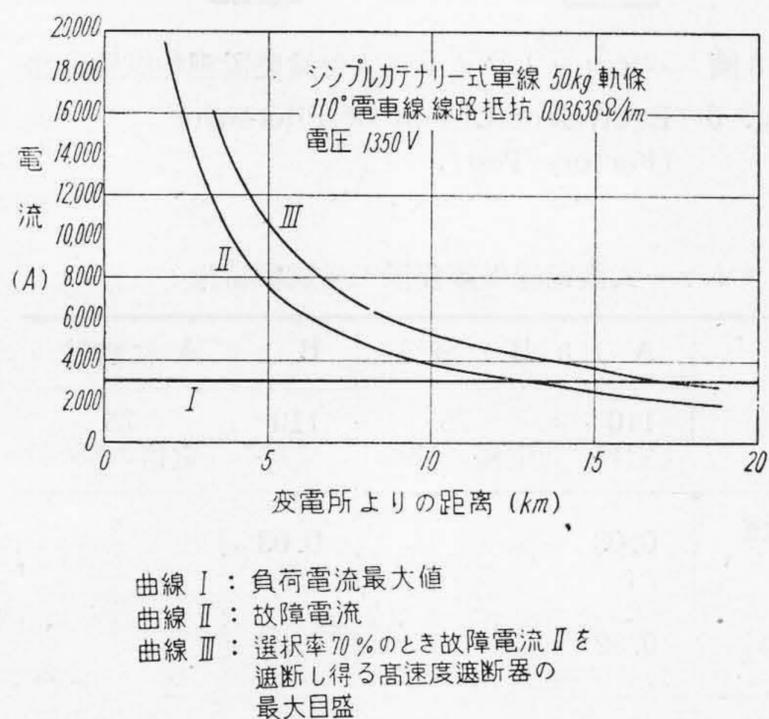
高速度遮断器が饋電線用高速度遮断器として採用された當初は負荷電流も少く、饋電區間も短かつたので故障電流は負荷電流に比べて遙かに大きく、従つて遮断器は高速度遮断に重點が置かれていた。しかるに近時輸送量の増大に伴い負荷電流は増大し饋電區間も延長するに



第 2 圖 標準饋電回路
Fig. 2 Standard Railway Feeding System.

及んで、故障点によつては負荷電流と故障電流が接近して来たので、各所に故障電流選擇不能による事故が頻發する様になった。

第2圖は國鐵に於て採用されている標準饋電回路でA B 兩變電所の距離は概ね 20 km 程度で兩所から並列饋電を行つている。饋電線用高速度遮斷器としては定格 1,500 V, 2,000 A のものが最も廣く採用されて居り、動作目盛電流は 2,000 A~4,000 A (或は 3,000 A~5,000 A) に調整出来るようになって居る。一方負荷はラッシュアワー時には 2,500 A 以上に達し、場所によつては 3,000 A 以上に及ぶ處もある。従つて動作目盛電流は、3,000 A 或はそれ以上に整定せねばならない現状にある。饋電線に流れる故障電流は變電所から故障点迄の距離によつて異なるが第3圖の曲線 II はその一例である。遮斷器の選擇率を 70% とすると曲線 II の故障電流を



第3圖 變電所よりの距離と故障電流

Fig. 3 Curves Showing the Fault-current and the Distance between the Fault Point and the Feeding Substation.

選擇遮斷し得る動作目盛電流の最大値は曲線 III によつて表わされる。従つて負荷電流の最大値が 3,000 A である場合、動作目盛が曲線 I と III の中間にあれば故障を選択し得る譯である。同圖より故障点が 17 km 以遠の場合には遮斷器自身による故障選擇は不可能なことが判る。一方、高速度遮斷器は大電流の開閉を高速度で行うため電氣的、機械的に強い衝撃を生ずるので目盛電流値

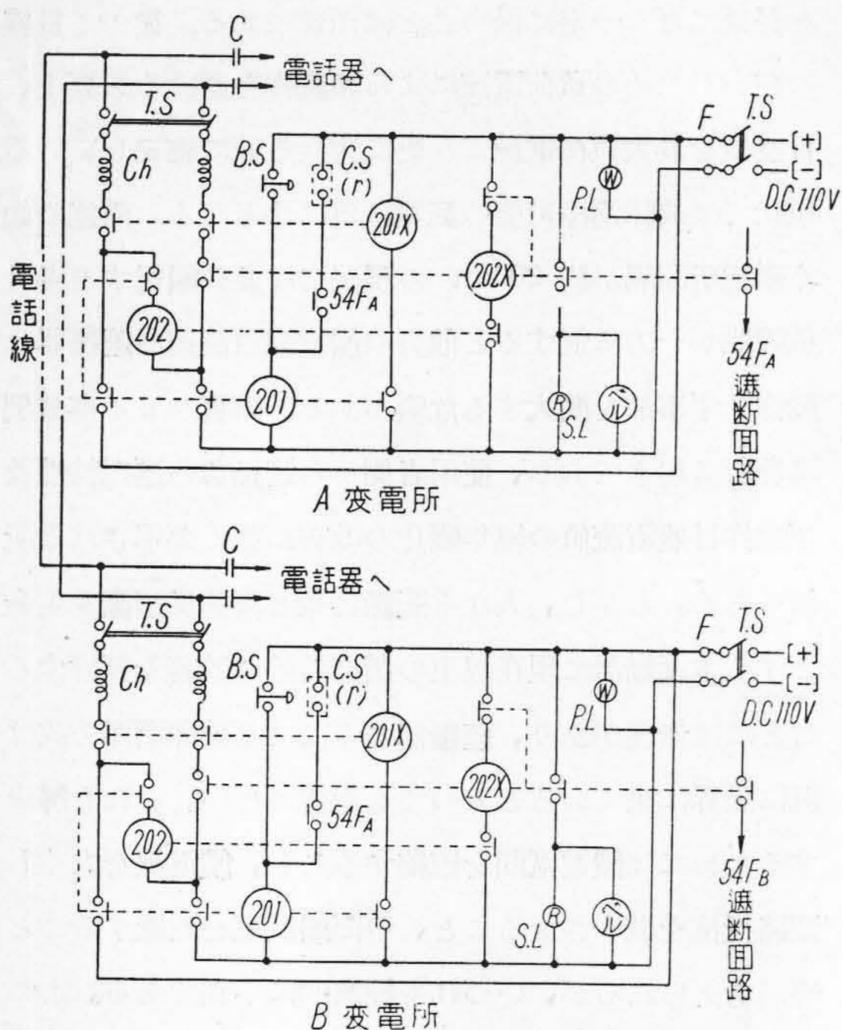
を長期に互り一定に保つことは至難である。従つて目盛の狂いのための負荷電流による誤動作を避ける必要上、目盛値を最大負荷電流より更に大なる値に整定している現状では故障選擇可能の範圍は更に小となる。前述の如く變電所間隔が約 20 km の現況では並列饋電する場合故障点が一方に偏すると他方の饋電線用高速度遮斷器は動作せず事故を擴大する危険がある。事實かゝる事故例は各所に起きており、使用者側から遮斷器の選擇特性及び動作目盛電流値の經年變化の改善が強く要望される所以である。しかし、大なる遮斷容量と高速度遮斷を生命とする本遮斷器に現在以上の選擇特性の改善を要求することには無理があり、遮斷器のみによる故障選擇方式は既に限界に来て居ると云つても過言でない。これを解決するためには饋電區間を短縮すること、饋電線を太くし回路抵抗を減少させること、中間饋電室を設置すること等が考えられるが、いずれも經濟的に不利である。よつて遮斷器自身の選擇性の不十分を補い確實に饋電線保護の目的を達せしめるために次に述べる二種の繼電保護方式を提案試作した。

【III】パイロットワイヤー式饋電線保護装置

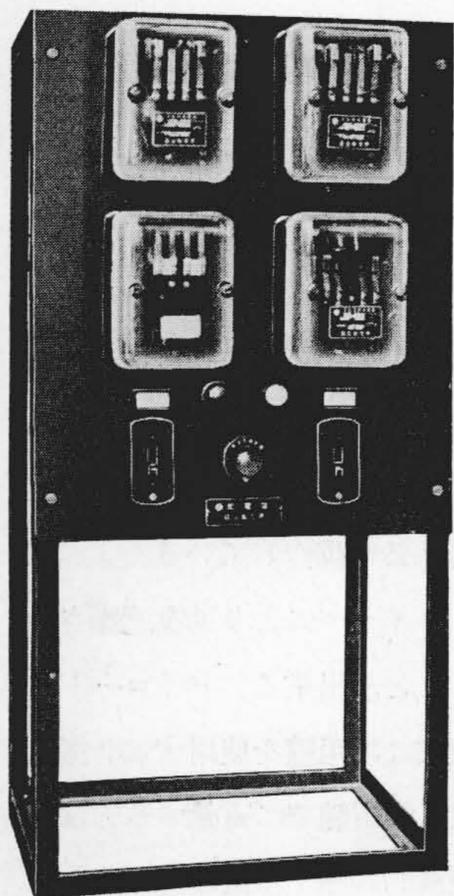
パイロットワイヤー式保護装置は並列饋電を行つている變電所の高速度遮斷器をパイロットワイヤーにより相互連動せしめる繼電装置である。變電所間隔 20 km で並列饋電を行つている場合、中間短絡故障の際にはその故障点はいづれかの變電所から必ず 10 km 以内にあるので、第3圖から明かな如く、又事故調査資料によつても近い方の變電所の遮斷器は必ず動作している。よつて兩所の遮斷器をパイロットワイヤーにより連動遮斷させれば確實に故障選擇を行うことが出来る。パイロットワイヤーとしては既設電話線或は専用線を使用する。搬送式として電話線又は配電線、饋電線等に重疊する方法も考えられるが信頼度及び經濟的觀點から避けた。

1) 構造並に動作

第4圖は本装置の展開接續圖で第5圖はその外觀を示す。専用連絡線を用いる場合には直流阻止用コンデンサー C 及び音聲周波阻止用塞流線輪 Ch. は不要である。



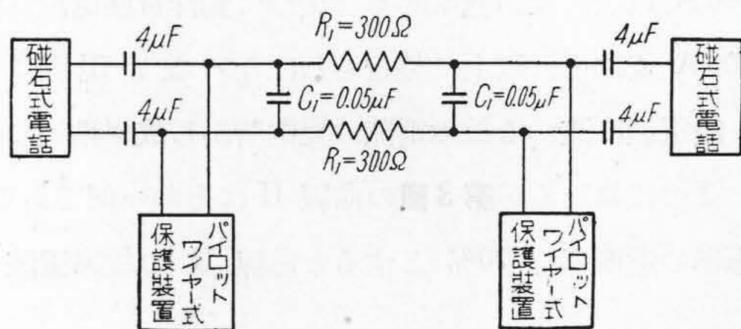
第 4 圖 パイロットワイヤー式饋電線保護装置展開接續圖
Fig. 4 Sequence Diagram of Pilot Wire Feeder Protection System.



第 5 圖 パイロットワイヤー式饋電線保護装置
Fig. 5 Front View of Pilot Wire Feeder Protection Equipment.

操作電源は變電所内制御用蓄電池を共用する。今 A 變電所の高速度遮斷器 54 F_A が自動遮斷した時は發信用繼電器 201 が附勢され、連絡線に直流電壓を印加する。同時に發信停止用限時復歸繼電器 201 X が消勢されるので印加電壓は暫時の後除去される。連絡線に印加された電壓によつて B 變電所の受信繼電器 202 が附勢され、補助繼電器 202 X が動作して高速度遮斷器 54 F_B を遮斷し、同時に警報表示を行うのである。54 F_B 自動遮斷のときも上と同様である。

2) 試験結果



第 6 圖 パイロットワイヤー式保護装置動作試験回路
Fig. 6 Equivalent Circuit of Pilot-wire (Factory Test).

第 1 表 パイロットワイヤー式饋電線保護装置工場試験結果

操 作 電 壓 (V)	A より B に發信		B より A に發信	
	110 (定格)	75 (定格の68%)	110 (定格)	75 (定格の68%)
引釦開閉器「入」より信號電流發信迄の時間 (秒)	0.03		0.03	
信號電壓印加時間 (秒)	0.32		0.20	
信號電流通電時間 (秒)	0.07		0.07	
引釦開閉器「入」より受信完了警報鳴る迄の時間 (秒)	0.10	0.27	0.10	0.26
信 號 電 流 (mA)	95	65	95	65

A) 工場試験結果

電話線の等價回路として第 6 圖の如き回路 (1.6φ 架空裸線 35 km 相當) を用い、兩端に磁石式電話機を設置し引釦開閉器によつて相互の連動動作試験を行つた。

第 1 表はその試験結果である。動作時間は 0.1~0.27秒

であつて、本装置は高速度遮断器が選擇出来ない程度の小さな故障電流に對する保護を目的とするので、この程度の時間は機器及び饋電線に何等悪影響を與えない。通話に對する障害の程度も同時に試験したが、本装置の動作時にガリッと云う雑音が入る程度で何等通話に差支えないことが判つた。

B) 現地試験結果

昭和 24 年 9 月 29, 30 の兩日、國鐵武藏境變電所において高速度遮断器研究委員會の主催により、饋電線保護装置の實地試験が行われた。本装置に對しては第 7 圖の回路により、八王子變電所より饋電し、武藏境變電所において弧光接地を生ぜしめ次の如き試験を行つた。

a. 弧光接地發生中に武藏境變電所において試験用引開閉器を引き、八王子變電所において警報を鳴らし、本装置が事故中異常なく動作するか否かを試験した。その際通話を行つて通話障害を調べた。

b. 特殊弧光接地（ヒューズボックス中の電弧）を發生させ本装置が誘導により誤動作するか否かを調べた。

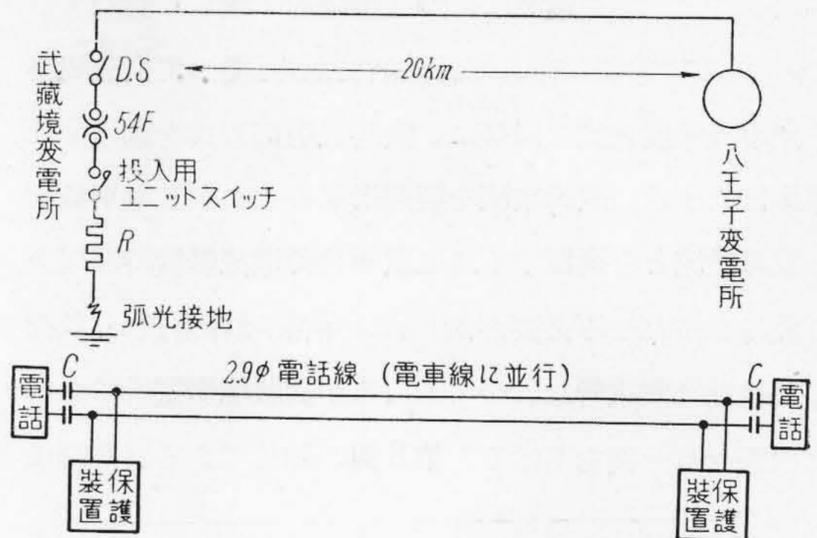
試験結果は第 2 表に示す通りで、その確實な動作が實

第 2 表 パイロットワイヤー式饋電線保護装置現地試験結果
2.9φ 通信線 20 km

電弧の種類	自由電弧	特殊電弧
線路電壓 (V)	1400	1400
故障電流 (A)	600	1000
同上通電時間 (秒)		3.8
傳達時間 (秒) (引開閉器を引いてから警報鳴る迄の時間)	O.S.C. ミス	0.09
パイロットワイヤーに信號電壓を印加している時間 (秒)	O.S.C. ミス	0.37
動作状態	良	良 (誤動作せず)
通話障害	誘導により多少の雑音入るが通話差支えなし 引開閉器操作時にガリッと云う雑音を感じずも實用上差支えなし	通話し得るも相當の雑音あり

備考 (1) 自由電弧：1吋φ丸銅電極、間隙約 200 mm 間にヒューズ線を張つて發生させた

(2) 特殊電弧：電車用ヒューズに遮断容量以上の電流を通じ、ヒューズ函内に電弧を發生させた。



第 7 圖 パイロットワイヤー式保護装置實地試験回路
Fig. 7 Circuits Arranged for Field Test of Pilot Wire Protection System.

證された。本方式は提案當初委員會の諸種の資料から短絡時の誘導障害による誤動作を懸念された。

即ち事故例によると、事故時には専用電話が誘導障害で不通になりその爲處置が遅れて事故を擴大している。よつて受信繼電器には電話繼電器の如き微電流で動作するものを使用せず電力用接觸器型繼電器を使用したか、現地試験のオシログラムより見て本装置の如く大なる信

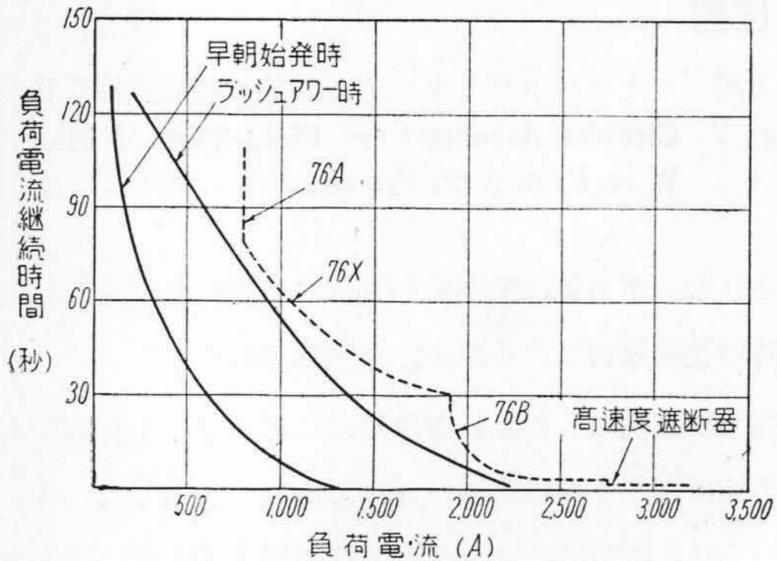
號電流に對しては誘導による影響は全然認められないことが明らかにされた。

[IV] 逆限時式
饋電線保護装置

パイロットワイヤー式は電話線或は専用線を必要とするので現在の變電所のすべてに直ちに實施し難い憾みがある。ここに述べる逆限時式饋電線保護方式は一變電所自ら單獨で故障電流を選擇する方式である。

電車の負荷電流は起

動及びノッチング電流によつて斷續的に激しく變動するに對し、故障電流は概して持續的である。従つて交流回路の過電流保護方式と同様に、限時式選擇方式を適用すれば比較的小さい故障電流を選択出来る。しかし電車負荷と故障電流とを選択するには電車負荷電流繼續時間以上の限時を持たせる必要があり、この時間は相當長い。負荷電流特性は變電所によつて異なるが武藏境變電所において調査せる一例をあげると第8圖の如くである。(同圖は

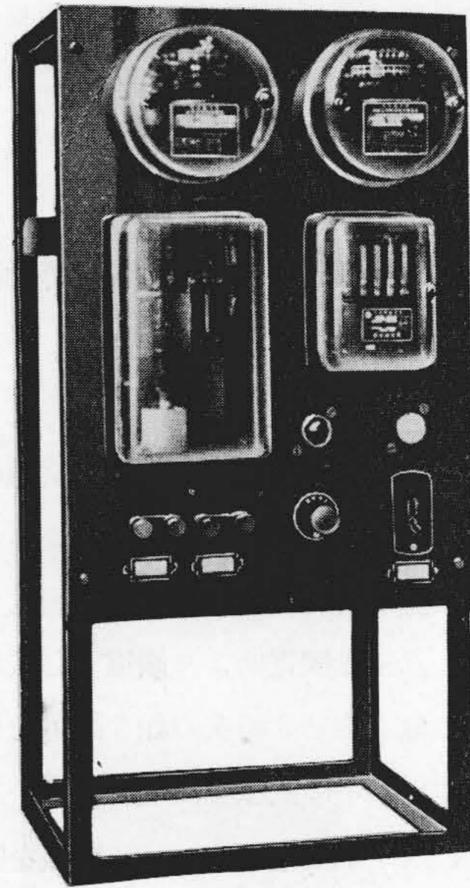


第8圖 武藏境變電所負荷曲線
Fig. 8 Load Curves of Musashi-sakai Substation.

長時間オシログラフにより測定した負荷電流特性から各電流の繼續時間の最大値を求めて得たものである。) 同圖より 1,000 A の故障電流を選択するには少くとも一分間以上の限時を必要とすることが判る。しかし限時を必要以上に長くすることはトロリー、饋電線を焼鈍して事故を擴大する虞れがある。それ故繼電方式としてはなるべく負荷曲線に接近した逆限時とすることが望しい。

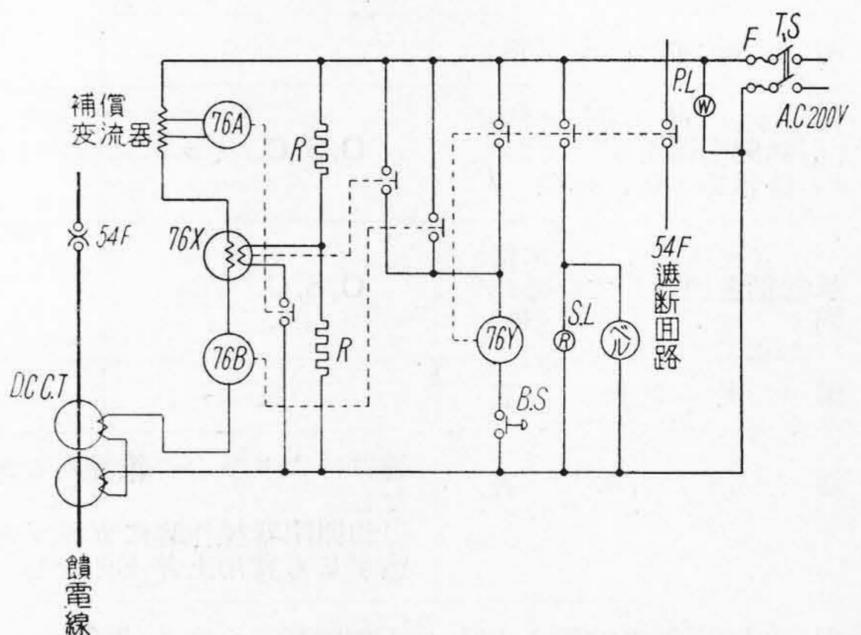
1) 構造並に動作

第9圖は本装置の外観で第10圖はその展開接續圖である。76A は浮子型の電流選擇繼電器、76X は誘導型の長限時繼電器、76B は誘導型過電流繼電器である。これらの繼電器には直流變流器によつて饋電電流に比例した交流が流れる。饋電電流が所望の値(800~1,700 A)に達すると76A は動作して76X の電壓線輪を附勢するので76X の接點は電流に比例した速度で起動廻轉する。76X 接點閉合に到れば補助繼電器76Y を動作させて遮斷器を遮斷させると同時に警報表示する。負荷電流の場合には限時整定値に達す



第9圖 逆限時式饋電線保護裝置
Fig. 9 Front View of Inverse Time Limit Feeder Protection Equipment.

る前に電流が減少して76A は復歸するので76X は接點閉合に到らない。尚76X は瞬時復歸特性を持つているので激しい負荷變動に對しても速應出来る。實際の變電所負荷は前述の如く 1,000 A, 1分と云う長限時が必要であり、且 5,000~6,000 A 程度に於ては變電所機器の保護上瞬時遮斷が要求される。かゝる特性を1個の繼電器に求めるのは無理である。このために76X の選擇



第10圖 逆限時式饋電線保護裝置展開接續圖
Fig. 10 Sequence Diagram of Inverse Time Limit Feeder Protection System.

電流より更に大なる電流値 (1,600~4,800 A) に達すると 76 B により比較的短時間内に遮断器を遮断させる。更に瞬時遮断を要求される電流値においては高速度遮断器自身により選擇遮断させる。これによつて第 8 圖點線の如く負荷電流と接近した逆限時特性が與えられる。この特性は各繼電器の電流整定値或は限時整定値を調整することによつて廣範圍に所望の特性が得られる。それ故 76 A の動作電流値以上の如何なる故障電流も選擇出來、高速度遮断器の動作目盛は負荷に較べて充分高くすることが出来る。

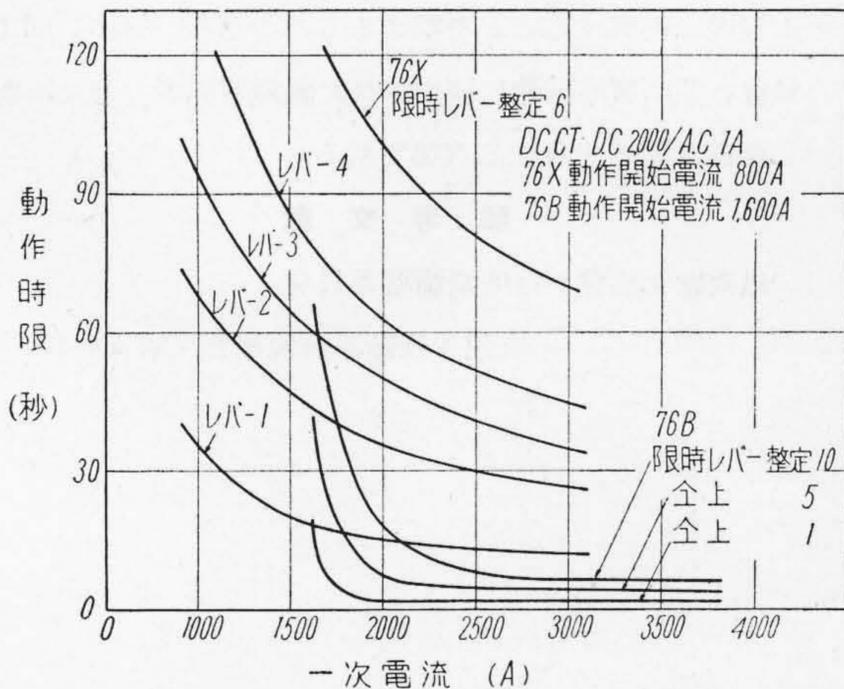
2) 試験結果

A) 工場試験結果

本装置は 10 V, 5,000 A の直流發電機を使用して動作試験を行つた。次にその概要を述べる。

a) 電流選擇繼電器 76 A の選擇電流 電流選擇繼電器 76 A は補償變流器のタップ接続を變更することにより 800~1,700 A の間に任意に變化することが出來た。饋電區間約 20 km の場合の故障電流は約 1,600 A (第 4 圖参照) であるからこの程度の整定範圍を有すれば充分である。

b) 長限時繼電器 76 X の限時特性 長限時繼電器 76 X の限時特性は第 11 圖に示す如く電流に逆比例する特性である。この時限は限時レバーによつて圖示の如く廣範圍に調整出来る。



第 11 圖 76 X, 76 B 限時特性

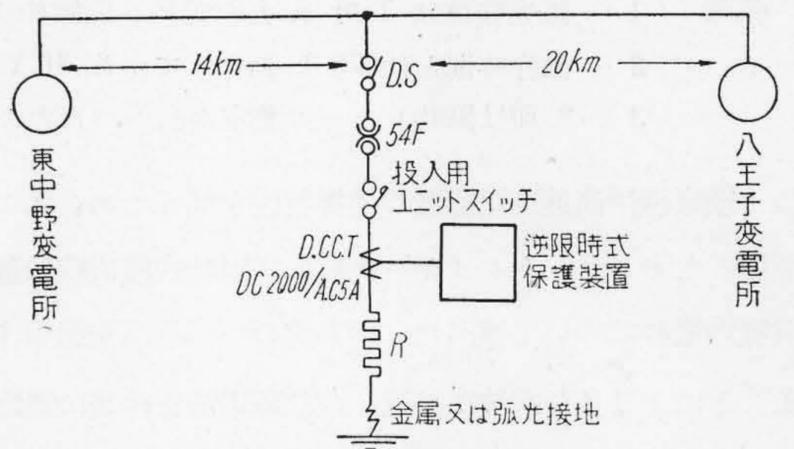
Fig. 11 Time Limit Characteristics of Relay 76 X and 76 B.

c) 限時過電流繼電器 76 B の限時特性 限時過電流繼電器 76 B の限時特性を本装置について試験した結果は第 11 圖の通りである。同圖は繼電器の電流整定タップを 4 A とした場合で最小起動電流は 1,600 A である。電流整定タップを變更することにより最小起動電流を 1,600~4,800 A の範圍に整定することが出來た。

かくの如く本装置は變電所負荷の實狀に應じて 76 A, 76 X, 76 B を整定することにより極めて廣範圍の故障選擇を行いうることが判る。

B) 現地試験結果

本装置についても昭和 24 年 9 月 29, 30 の兩日國鐵武藏境變電所において實地動作試験を行つた。第 12 圖



第 12 圖 逆限時式饋電線保護装置實地試験回路
Fig. 12 Circuits Arranged for Field Test of Inverse Time Limit Protection System.

に示す回路により東中野、八王子兩變電所より並列饋電し、武藏境變電所内に金属接地及び弧光接地を生ぜしめ動作試験を行つた結果は第 3 表の通りである。本試験においては接地回路に挿入した直列抵抗器の容量不足のため、大電流を長時間流すことが出來なかつた。従つて限時整定を極端に短時間に整定して試験を行つた。このため本装置の限時特性を完全に求め得なかつたが、實際に使用した場合豫期通りの動作特性が得られる確信を持つことが出來た。尙本試験においては本装置と高速度遮断器は連動せず、故障電流を一定時間流して本装置の動作時間をオシログラフにより測定した。

[V] 結 言

第3表 逆限時式饋電線保護装置現地試験結果 操作電壓 A. C. 200 V

試験 番 號	故障の種類	故障電流 (A)	繼續時間 (秒)	線路電壓 (V)	76 X 限時 レバー 整定位置	76 B 限時 レバー 整定位置	動作時間 (秒)	備 考
1	金屬接地	1000	30	1500	0.8		*	
2	//	1150	30	1500	0.4		25	76 X 動作
3	//	1100	30	1500	0.3		22	//
4	//	1100	20	1000	0		37	76 X 動作
5	//	1600	15	1100		3	7	76 B 動作
6	//	1950	5	1100		2	2.0	//
7	金屬接地	1950	5	1100		2	2.0	76 B 動作
8	弧光接地	500	3	1350		ミニマムギャップ	*	
9	//	600	5	1350		//	*	
10	//	600	5	1350		//	*	
11	弧光接地	900	5	1350		ミニマムギャップ	4.0	76 B 動作

備考 (1) 弧光接地は 1 吋 ϕ 丸銅電極、間隙約 200 mm 間にヒューズ線を張つて発生させた。

(2) 動作時間とは 76 A 動作してから 76 Y 動作し警報接点閉ぢる迄の時間

(3) * 印は限時レバーの整定が長かつたため接点閉路に到らぬ前に故障電流の通電を停止した場合

以上饋電線用高速度遮断器の選擇特性を補うため、新に開發したパイロットワイヤー式並に逆限時式饋電線保護装置の概要について述べた。兩方式のいずれかを適用することにより負荷電流に接近した故障電流を確實に遮断することが出来る。従つて遮断器の動作目盛電流の整定は負荷電流に對して誤動作せぬ程度に高く整定することが出来るわけ従来厄介視されていた目盛電流値の經年變化の問題に對する觀念も従来と變つて來る。

パイロットワイヤー式は電話線或は専用線等の連絡線を必要とするが現状では殆どすべての場合に適用して完全な保護効果を發揮出来る。これに對して逆限時式は連絡線を必要としないので實施が容易である利點があるが勾配區間が長く電車の力行時間の長い場合、或は列車數が多く常に相當の負荷電流が流れ、起動電流による變動の割合の少ない場合等には不向きであろう。従つて兩方式

のいずれを採用すべきかは各變電所の實狀を良く調査して決定すべきである。

兩方式とも武藏境變電所の實地試験において満足すべき結果を収め、従來の不完全な保護方式を一新し得る自信を深めた。電力資源の活用を目指して大規模な鐵道電化が行われんとするとき、鐵道電化協會高速度遮断器研究委員會による使用者側と製作者側との協力によつてこの完成を見たことは誠に喜びに耐えない。今後更に兩者の緊密な協力によつてその實施普及をはかり、鐵道電化の發展に寄與することを期するものである。茲に、同委員會、並に實地試験に協力された國鐵關係者の方々に對し深甚な謝意を表する次第である。

参 考 文 獻

鐵道電化協會高速度遮断器委員會：

高速度遮断器研究報告 (昭 24-12)