

東京電力新川線表示線保護継電方式

高木利夫* 石田与吉** 藤沢成徳*** 三田勝茂****

Pilot Wire Protective Relay System for Shinkawa Transmission Line of Tokyo Electric Power Co.

By Toshio Takagi, Yokichi Ishida and Shigenori Fujisawa
Tokyo Electric Power Co., Ltd.

Katsushige Mita
Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The pilot wire protective relay system is classified into the A.C. pilot wire protective relay system (or direct comparison system) and the D.C. pilot wire protective relay system (or indirect comparison system). In the former method, it is imperative to match the ratings and characteristics of two current transformers installed on both ends of the line, but such inconvenience is far outweighed by such advantages as listed below :

- (1) No expensive potential transformer is needed.
- (2) Requirements on relays are very small.
- (3) The abnormal potential rise due to inductive disturbance and ground fault in the power house, is prevented by the use of an insulation transformer.
- (4) D.C. source for pilot wire is not necessary.
- (5) Only two pilot wires suffice the purpose.

These merits make this system an economical means for the selective protection of short distance transmission lines.

Recently a new transmission line has been completed between Shintsurumi S.S., of the National Railways and Kawasaki S.S., of Tokyo Electric Power Co., over the distance of about 700 meters. The line consisting of two circuits of 200 mm² ACSR is to transmit the power at 140 kV and is protected by the voltage opposing pilot wire protective relay system to make the first instance of its kind in Japan. This new protective system falls under the above mentioned direct comparison system, in which the secondary voltages of the current transformers on both ends are opposed for comparison, and features excellent capacity in high speed selection even in case of one circuit line application. On top of this, the system is able to comply with a wide variation in short-circuit and ground fault current. In November, 1953, previous to the Shinkawa Line being taken into service a field test was carried out to ensure performance characteristics of this system, which ended to reveal that the short circuit fault of 250 A at AB-phase, 130 A at AC-phase and ground fault of 30 A could be positively selected out. The writers describe details of this protective system as well as the field test results.

* ** *** 東京電力株式会社
**** 日立製作所日立国分分工場

〔I〕 緒 言

今回国鉄新鶴見，東京電力川崎変電所間に新たに 140 kV 二回線 ACSR 200 mm²，亘長約 700 m の送電線が完成した。この送電線は国鉄系と東電内輪系を連繋して電力融通を行う重要な使命を担うものであり，これに使用する保護継電装置としては，系統の運用を制約せず，かつ一回線の場合でも迅速にしかも確実に動作する必要がある，このため表示線保護継電方式を採用することとなった。

表示線保護継電方式には交流式（直接比較方式）と直流式（間接比較方式）があり，前者は両端変流器の定格および特性を一致させる必要があるが，その反面高価な電圧変成器を必要とせず，かつ所要継電器数が少く，また表示線用直流電源を必要とせず，絶縁変圧器を使用して誘導障害および電気所接地事故などによる異常電位上昇が避けられ，表示線は 2 本で足りることなどの利点を有しており，短区間送電線を経済的に選択保護するに適している。

本区間保護用として採用した電圧対向式表示線保護継電方式は前者に属するもので，一回線の場合でも高速度選択動作の性能を有すること，短絡電流および地絡電流の大幅な変化に応じること，電力潮流の激変に対し誤動作しないことなどの諸条件を満足する新方式のもので，装置一式日立製作所にて製作されたものである。以下本保護方式の概要および昭和 28 年 11 月末行われた現地試験の結果を述べ各位の御参考に供する次第である。

〔II〕 系統と故障電流

送電系統は第 1 図に示すごとくであり，接地方式は中性点高抵抗接地方式で接地点，および抵抗値は同図に示す通りである。今回新設された新川線は図中太線にて示す部分約 700 m で 140 kV 系は国鉄系，60 kV 系は東電の内輪系でこの両者を連繋するものである。

本系統の故障電流の計算値はほぼ第 1 表のごとくである。また地絡電流は中性点の接地点を千手，および武蔵境とすると，

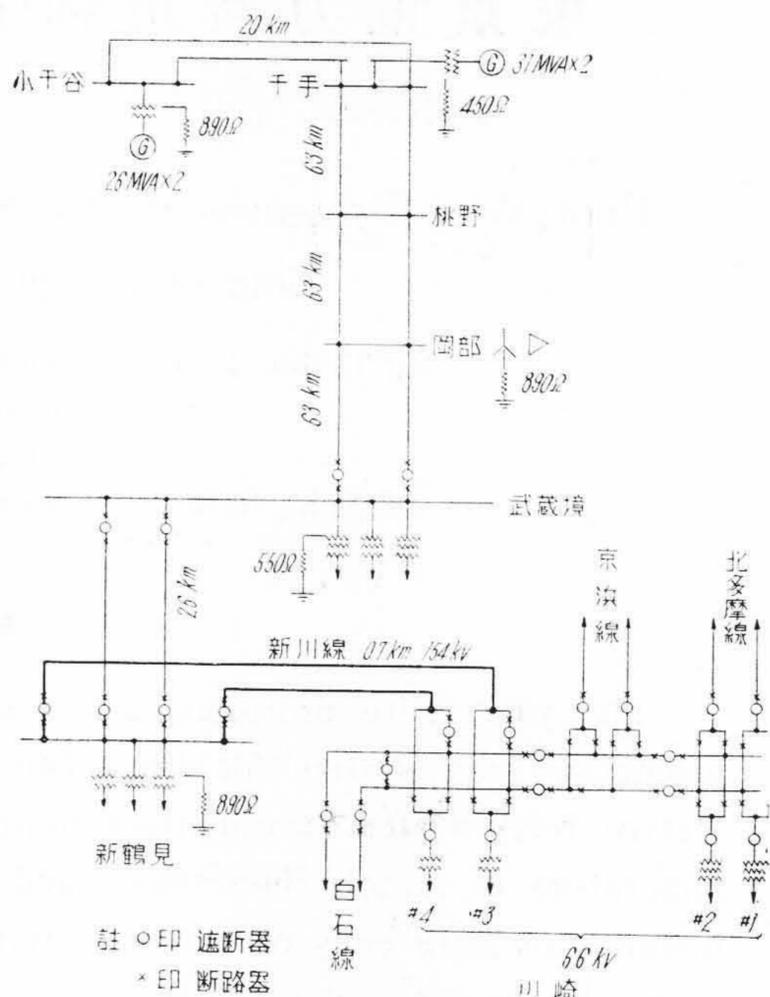
$$I_g = I_R + I_e = (360 + j90) A$$

となる。

〔III〕 新川線用表示線保護継電方式

本区間の保護方式としては

- (a) 送電線の内部故障を確実に選択し，両端を同時遮断すること
- (b) 一回線または二回線のいずれの場合においても上記同時遮断が可能なること



第 1 図 国鉄信濃川送電線，新鶴見，川崎変電所系統図

Fig. 1. Schematic Diagram of Shinanogawa Transmission Line of National Railway and Shintsurumi and Kawasaki S.S.

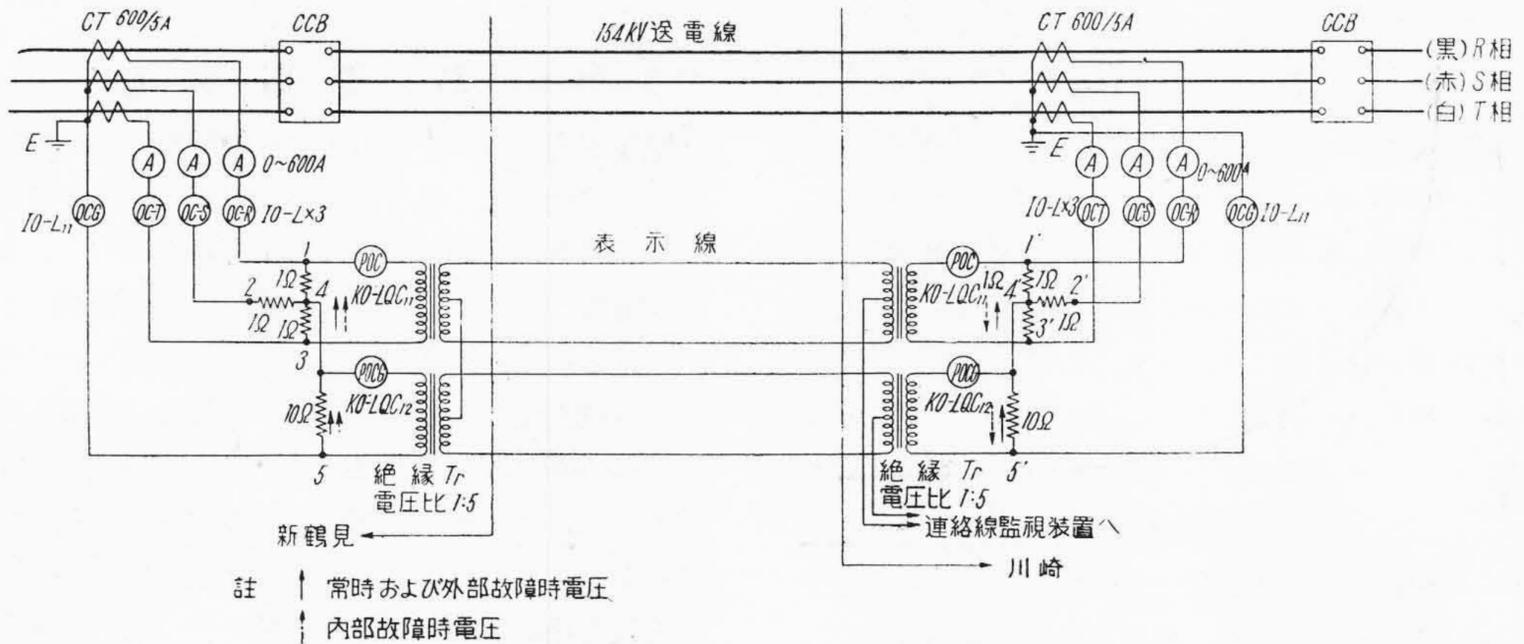
第 1 表 新川線故障電流計算値
Table 1. Calculated Fault Current of Shinkawa Transmission Line

場 所	三相短絡容量	インピーダンス (%)	短絡電流
短 絡 点	1,820 MVA	j 0.55	6,830A
国 鉄 系	500 MVA	j 2.0	1,880A
川 崎 系	1,320 MVA	j 0.758	4,950A

- (c) 区間外の事故，電力動揺時に絶対に誤動作しないこと
- (d) 選択遮断に要する時間は遮断器の遮断時間 (5 ~) を含めて

短絡保護	10~ 以下
接地保護	10~ 以下

 なること
- (e) 方式自体は簡単確実に保守容易なること
などを必須条件として保護方式の選定に当り，東京電力と日立製作所両者間で各種継電方式を比較検討の結果これを満足するものとして，電圧対向表示線保護継電方式が採用された。



第2図 新川線電圧対向表示線保護継電方式説明図

Fig. 2. General Diagram of Voltage Opposing Pilot Wire Protective Relay System for Shinkawa Transmission Line

(1) 電圧対向表示線保護継電方式

本方式は第2図に示すごとく区間両端変流器二次電圧を絶縁変圧器および表示線を通じて比較し、常時および外部故障時はこの電圧が対向するように接続したもので、内部故障時には両端電圧が逆方向となり、表示線に電流が環流して両端の電流継電器を動作させ遮断器の同時遮断を行うものである。

短絡保護用としては変流器二次に各1Ωの抵抗を星形接続し、この1, 3端子間電圧を対向させており、接地保護用には零相回路に10Ωの抵抗を挿入し、この抵抗の両端4, 5端子間に生ずる電圧を比較している。

本方式による故障保護性能は第2表に示すごとくであつて、高価な電圧変成器を必要とせず、きわめて簡単な回路でしかも継電器数も少く、広範囲に変動する故障電流に対し確実な保護を可能とするものである。

(2) 新川線用装置の詳細

新川線用表示線保護継電装置の詳細は下記のごとくである。(第2図参照)

(a) 表示線

1.2 mmφ, 20 芯, 亘長 1.1 km

片道抵抗 15 Ω 配電線添架

二回線保護用として計8芯を使用, 他は連絡用電話, テレメータおよび予備用

(b) 避雷装置

表示線の誘導電圧抑制のため両変電所に真空型避雷器を設置す。

放電開始電圧 A.C. 500 V ± 10%

(c) 主変流器および絶縁変圧器

主変流器 変流比 600/5 A (三次巻線付)

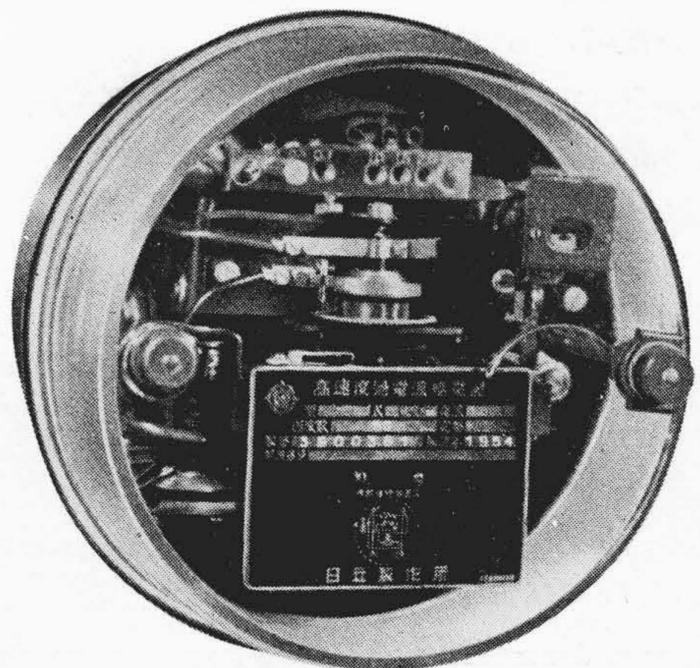
40 VA 1.0 級

過電流常数 10 以上

第2表 表示線保護継電器最小動作電流

Table 2. Minimum Fault Current Protected by Pilot Wire Protective Relay System

故障種類	電源	
	1 回線 1 端電源	2 回線併用または 両端電源
RT 相 短絡	260A	135A
RS または ST 相短絡	520A	260A
接 地	55A	25A



第3図 KO型LQC11式小勢力高速度過電流継電器

Fig. 3. Type KO Form LQC11 Low Energy High Speed Over-Current Relay

絶縁変圧器 電圧比 1:5

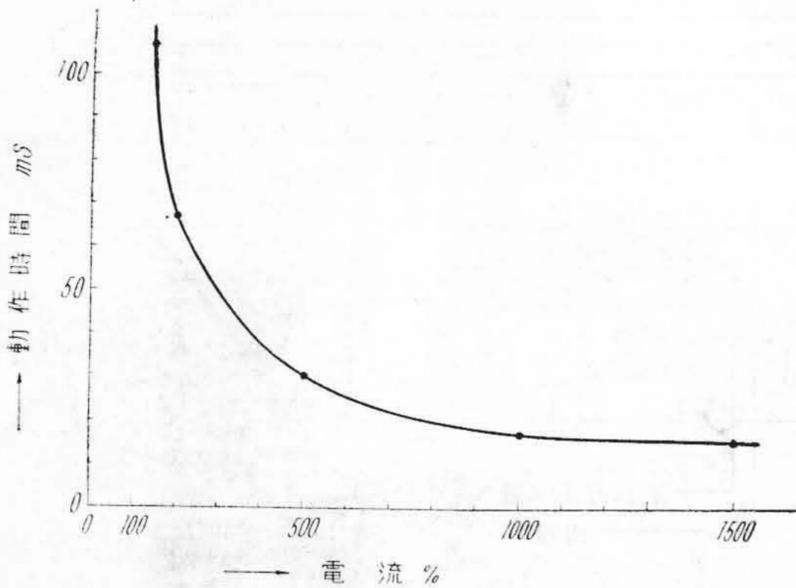
耐 圧 一次 2,000 V

二次 5,000 V

(d) 表示線保護継電器

短絡保護用

KO型LQC11式小勢力誘導環型高速度過電流継電器タップ 0.3~2A



第 4 図 KO 型 LQC₁₁ 式小勢力高速度過電流
継電器動作時間特性

Fig. 4. Operating Time Characteristics of Type KO Form LQC₁₁ Low Energy High Speed Over-Current Relay

接地保護用

KO 型 LQC₁₂ 式小勢力誘導環型高速度過電流継電器
タップ 0.1~0.25 A

第 3 図は KO-LQC₁₁ 小勢力高速度過電流継電器の外観を示し、第 4 図はその動作限時特性である。

(e) 後備保護継電器

短絡保護用

IO-L 小勢力過電流継電器
タップ 4~12 A

接地保護用

IO-L₁₁ 小勢力過電流継電器
タップ 0.5~2 A

(f) 表示線監視装置

常時表示線に直流を流しておき、断線および接地時に回路に直列に入れた継電器を動作させ、ブザー警報を行うもので川崎変電所に設置す。

[IV] 予 備 試 験

電圧対向方式による表示線保護継電方式の採用は我国としては始めてであり、かつ 140kV の重要幹線でもあるのでこれが運用に当つては十分慎重を期し、また実際の送電線を使用しての総合試験では試験電源が不足するのであらかじめ模擬回路による予備試験を行つた。すなわち川崎変電所 1 号線および 2 号線の 161kV 変流器一次側に 200 mm² の導線により互長約 30m の模擬送電線を作り、この模擬送電線に单相電源を接続して故障電流を流し、また継電器相互間には表示線に相当する抵抗を挿入し模擬表示線を作り試験を行つた。試験回路は第 5 図に示す通りである。

本試験においては下記に示す各場合の継電器の最小動作、限時特性試験を行うと同時に表示線保護継電器端子電圧、変流器負荷抵抗に生ずる電圧などを真空管電圧計により測定した。

試験内容は下記のごとくである。

(1) 黒相~赤相内部短絡

(a) 電源両端の場合

第 5 図 K₁K₂ 間, L₁'L₂' 間短絡

(b) 電源が 1 号線側のみの場合

第 5 図 K₁K₂ 間短絡

(c) 電源が 2 号線側のみの場合

第 5 図 L₁'L₂' 間短絡

(2) 黒相~白相内部短絡

電源 (1) の (a), (c) に同じ

(3) 黒相内部地絡

(a) 零相電源が 1 号線側のみの場合

第 5 図 K₁L₂ 間, K₁'K₂' 間短絡

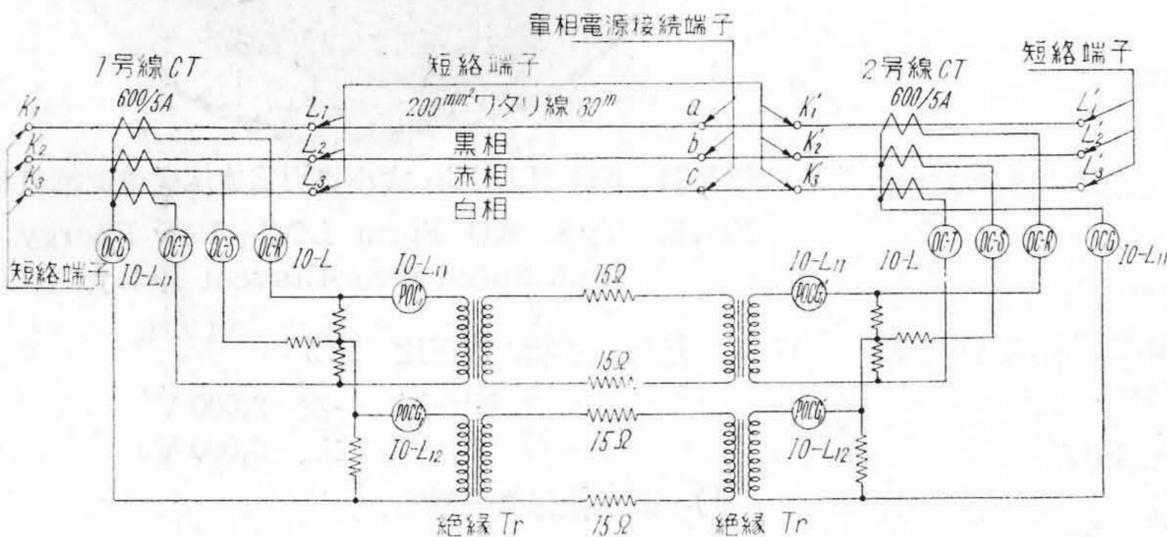
(b) 零相電源が両端にある場合

第 5 図 K₁L₂ 間, K₂'L₁' 間短絡

(c) 零相電源が 2 号線側のみの場合

第 5 図 L₁L₂ 間, L₁'L₂' 間短絡

試験結果は第 3 表および第 4 表に示す通りで、予期のごとく短絡保護の場合は黒相~白相両端電源のとき 135 A、片端電源のとき 260 A、黒相~赤相両端電源のとき 245 A、片端電源 520 A、また接地保護の場合は両端電源 25 A、片端電源 55 A の感度をうる事ができた。第 3 表および第 4 表中限時特性試験結果は高速度動作の KO-LQC₁₁, KO-LQC₁₂ 継電器



第 5 図 新川線表示線保護継電装置予備試験回路
Fig. 5. General Diagram for Preliminary Test of Pilot Wire Protective Relay System for Shinkawa Transmission Line

第3表 表示線保護継電器予備試験結果 (短路故障)

Table 3. Results of Preliminary Test of the Pilot Wire Protective Relay System (Short Circuit Fault)

故障種別	電源	試験種類 (POC タップ 0.5 A)	1次電流 (A)		2次電流 (A)		PW 正相回路電圧 (V)		PW Ry 動作時間 (s)	
			1号線	2号線	1号線	2号線	1号線	2号線	1号線	2号線
黒 — 赤相内部短絡	両端	POC ₁ 最小動作	245	275	2.2	2.1	1.18	1.1	—	—
		POC ₂ 最小動作	245	275	2.2	2.1	1.18	1.1	—	—
		限時特性	660	640	5.5	5.3	3.0	2.75	40	37
	1号線側み	POC ₁ 最小動作	510	0	4.25	0	3.2	1.05	—	—
		POC ₂ 最小動作	520	0	4.35	0	3.3	1.05	—	—
		限時特性	1,300	0	10.8	0	8.5	2.49	40	40
2号線側み	POC ₁ 最小動作	0	530	0	4.4	1.1	3.2	—	—	
	POC ₁ 最小動作	0	520	0	4.35	1.07	3.2	—	—	
	限時特性	0	1,300	0	10.8	3	8.5	40	38	
黒 — 白相内部短絡	両端	POC ₁ 最小動作	135	119	1.15	0.98	1.3	0.95	—	—
		POC ₂ 最小動作	135	119	1.15	0.98	1.3	0.95	—	—
		限時特性	690	610	5.7	5.1	7.1	5.7	20	19
	2号線側み	POC ₁ 最小動作	0	260	0	2.15	1.0	3.25	—	—
		POC ₂ 最小動作	0	260	0	2.15	1.0	3.25	—	—
		限時特性	0	1,300	0	10.8	5.92	16	20.5	19

第4表 表示線保護継電器予備試験結果 (接地故障)

Table 4. Results of Preliminary Test of the Pilot Wire Protective Relay System (Ground Fault)

故障種別	抵抗接地点想定	試験種類 (POCG タップ 0.15 A)	1次電流 (A)		残流回路電流 (A)		PW 零相回路電圧 (V)		PW Ry 動作時間 (s)	
			1号線	2号線	1号線	2号線	1号線	2号線	1号線	2号線
黒相内部地絡	1号線側み	POCG ₁ 最小動作	58	0	0.43	0	3.25	1.45	—	—
		POCG ₂ 最小動作	54	0	0.45	0	3.05	1.35	13	12
		限時特性	500	0	4.10	0	27	13.5	—	—
	両端	POCG ₁ 最小動作	24	30	0.19	0.22	1.12	1.12	—	—
		POCG ₂ 最小動作	22	28	0.17	0.21	1.1	1.1	12	10
		限時特性	240	260	1.92	2.10	10.5	10.6	—	—
	2号線側み	POCG ₁ 最小動作	0	44	0	0.36	1.3	2.5	—	—
		POCG ₂ 最小動作	0	56	0	0.47	1.6	3.16	—	—
		限時特性	0	500	0	4.15	14.0	27.9	10	12

が送電線の完成に間に合わぬため、これと同一性能の誘導円盤型の IO-L₁₁, IO-L₁₂ を使用したため動作時間が長くなっているが、これは昭和29年3月 KO 型高速度過電流継電器に取替えられた。(KO型継電器を使用した場合の動作特性は第8図参照。第8図は模擬回路を作り工場にて組合せ試験を行った結果である)。

なおまた同表中1号線、2号線一次電流の差は電源の接続位置の偏倚によるものである。

〔V〕 新川線を使用した表示線保護継電器の試験

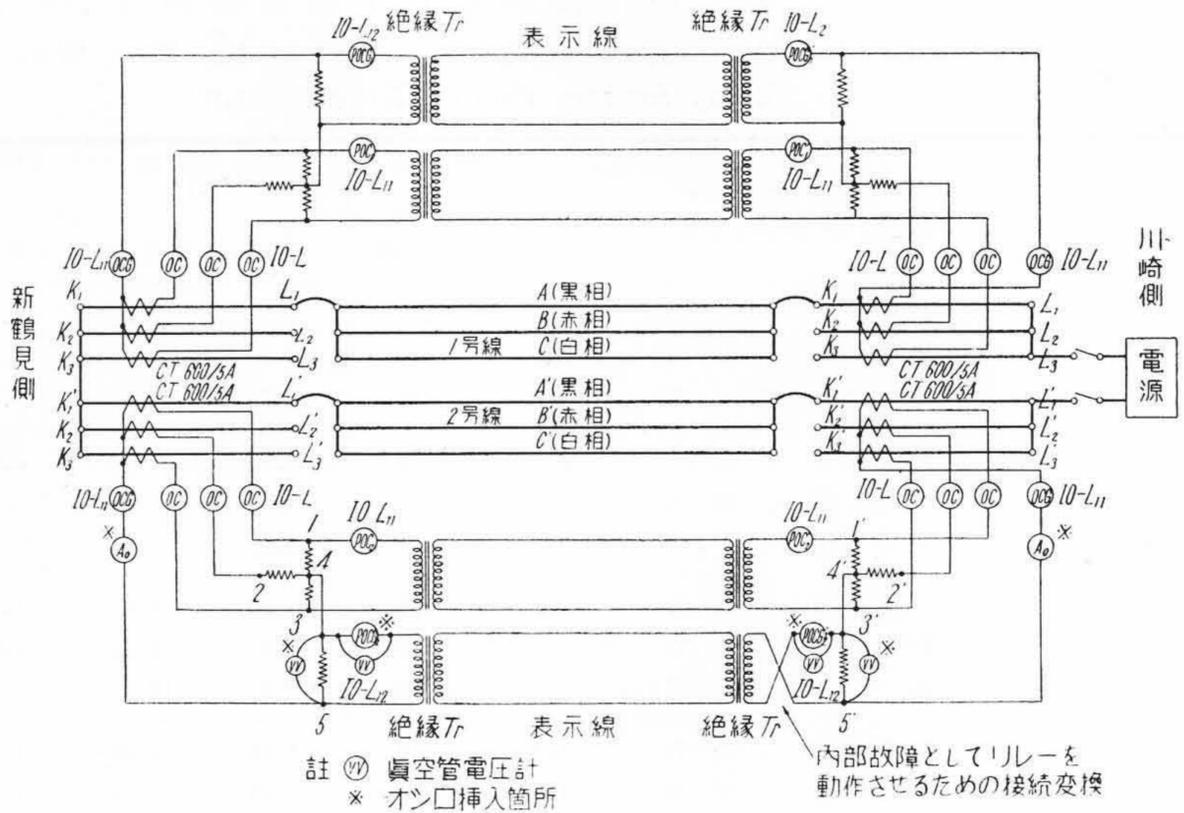
新川線を使用するの試験は電源の制約があり、短絡故

障を発生させることが不可能であるため短絡保護用表示線保護継電器に関しては総合極性のチェックにとどめ、地絡故障に対しては第6図(次頁参照)のごとく1, 2号送電線をそれぞれ三線一括とし、これを新鶴見変電所側において接続し、一方川崎側より同図に示すごとく単相低電圧電源を加えて行った。また内部故障、外部故障の発生も屋外配線の接続変更を避け第6図に示すごとく川崎側において表示線に加わる電圧の極性を反転して実施した。

本試験においては総合極性チェックのほか、接地保護用表示線継電器の最小動作、限時特性試験および外部故障による継電器の誤動作の有無の試験を行った。

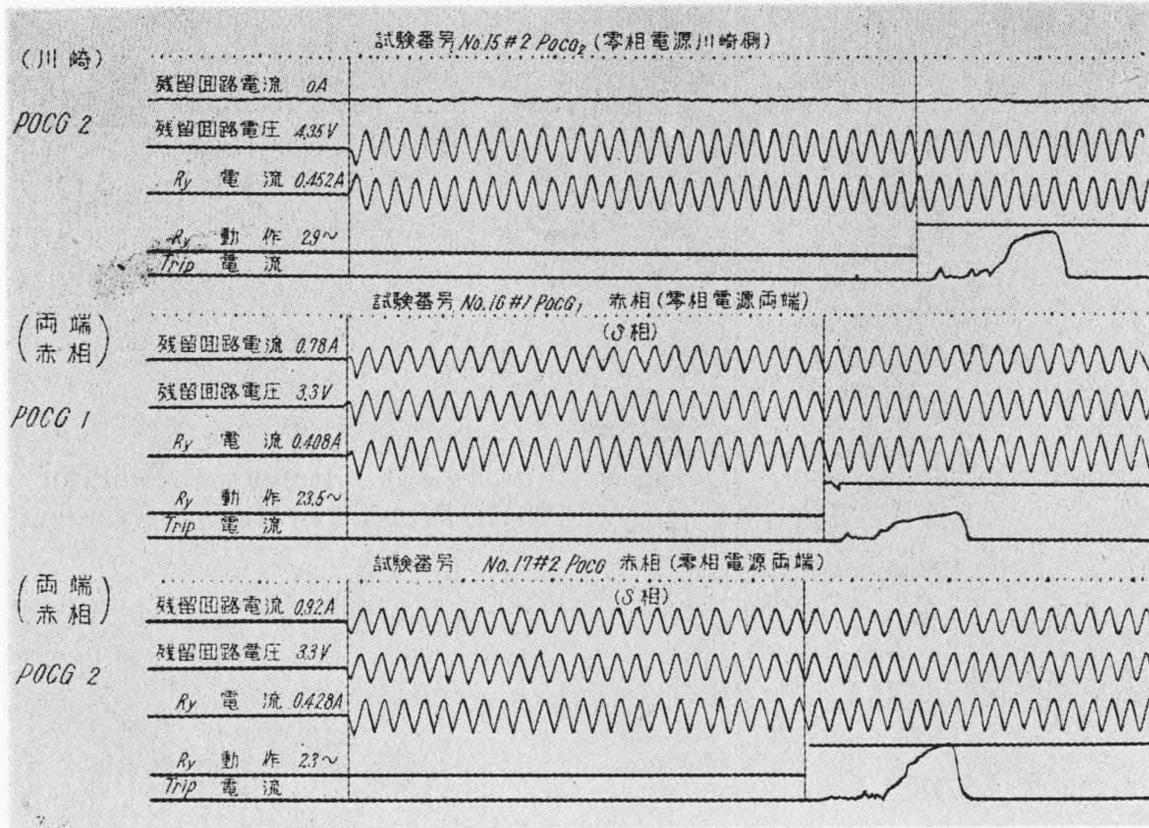
第 6 図
新川線表示線保護継電器現地綜合試験回路図

Fig. 6.
General Diagram for Field Test of Pilot Wire Protective Relay for Shinkawa Transmission Line



第 5 表 新川線表示保護継電器現地綜合試験結果
Table 5. Results of Field Test of Pilot Wire Protective Relay for Shinkawa Transmission Line

No.	故障線	故障種別	零相電源位置	試験種類 (POCG タップ 0.15 A)	1 次電流 (A)	残留回路電流 (A)		PW Ry 端子電圧 (V)		PW Ry 零相回路電圧 (V)		PW Ry 動作時間 (s)	
						新鶴側	川崎側	新鶴側	川崎側	新鶴側	川崎側	新鶴側	川崎側
1	# 1	内部故障	両端	POCG ₁ 最小動作	29	0.213	0.21	0.62	0.62	0.92	0.92	—	—
	# 1	内部故障	両端	POCG ₁ 最小動作	30	0.213	0.21	0.62	0.62	0.925	0.92	—	—
2	# 1	内部故障	両端	POCG ₁ 限時特性	100	0.75	0.79	2.2	2.15	3.1	3.3	24.0	25.0
	# 2	外部故障	両端	PW Py 不動作確認	100	0.75	0.78	0	0	7.2	7.2	—	—
3	# 2	内部故障	両端	POCG ₂ 最小動作	30.5	0.230	0.235	0.616	0.6	1.01	1.0	—	—
	# 2	内部故障	両端	POCG ₂ 最小動作	30	0.213	0.23	0.6	0.6	1.0	0.95	—	—
4	# 2	内部故障	両端	POCG ₂ 限時特性	100	0.79	0.772	2.0	2.3	3.3	3.3	22.5	25.0
	# 1	外部故障	両端	PW Py 不動作確認	100	0.786	0.79	0	0	7.2	7.1	—	—
5	# 1	内部故障	新鶴	POCG ₁ 最小動作	51.2	0.404	—	0.59	0.35	2.75	1.24	—	—
	# 1	内部故障	新鶴	POCG ₁ 最小動作	60.8	0.48	—	0.70	0.45	3.25	1.45	—	—
6	# 1	内部故障	新鶴	POCG ₁ 限時特性	180	1.4	—	1.95	1.75	9.22	4.25	25.5	31
7	# 2	内部故障	新鶴	POCG ₂ 最小動作	56.8	0.45	—	0.623	0.42	3.1	1.27	—	—
	# 2	内部故障	新鶴	POCG ₂ 最小動作	62	0.49	—	0.67	0.47	3.3	1.37	—	—
8	# 2	内部故障	新鶴	POCG ₂ 限時特性	180	1.4	—	1.8	1.85	9.4	4.15	25.5	32
	# 1	内部故障	川崎	POCG ₁ 最小動作	58.8	—	0.462	0.64	0.35	1.45	3.05	—	—
9	# 1	内部故障	川崎	POCG ₁ 最小動作	56	—	0.442	0.608	0.40	1.38	2.9	—	—
	# 1	内部故障	川崎	POCG ₁ 限時特性	180	—	1.4	1.85	1.8	4.38	9.0	30.0	28.5
11	# 2	内部故障	川崎	POCG ₂ 最小動作	60	—	0.47	0.61	0.425	1.50	3.10	—	—
	# 2	内部故障	川崎	POCG ₂ 最小動作	52	—	0.415	0.56	0.35	1.325	2.7	—	—
12	# 2	内部故障	川崎	POCG ₂ 限時特性	180	—	1.40	1.75	2.03	4.6	9.1	29	29
13	# 1	内部故障	両端	POCG ₁ 限時特性	100	—	0.75	2.18	2.15	3.3	3.2	23.5	26.5
14	# 2	内部故障	両端	POCG ₂ 限時特性	100	—	0.75	2.1	2.3	3.3	3.3	23.0	26.5

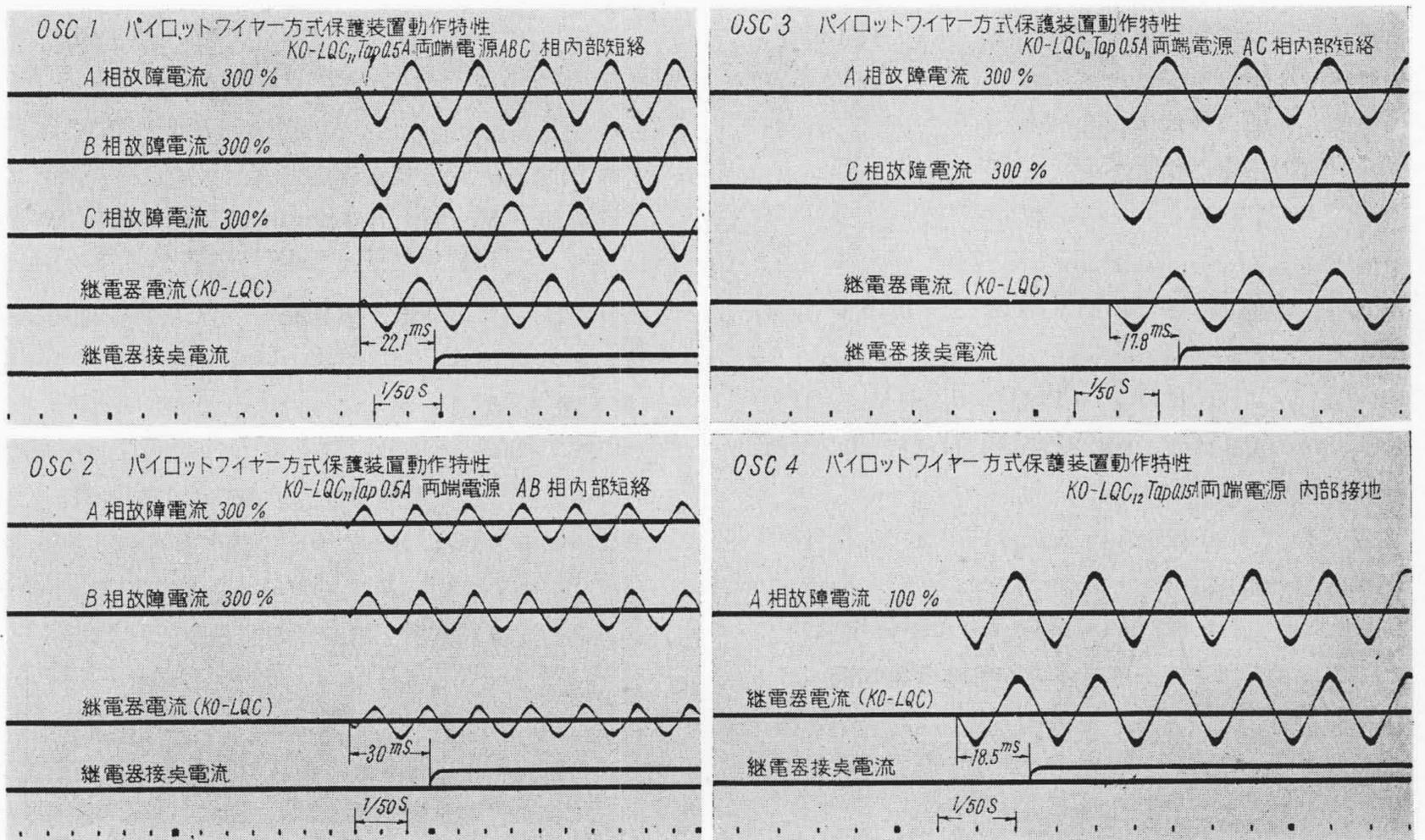


第7図

電圧対向表示線保護継電器動作オシログラム (IO型L式過電流継電器使用)

Fig.7.

Oscillogram Showing the Operation of Voltage Opposing Pilot Wire Protective Relay (Type IO Form L Over-Current Relay is Used)



第8図 電圧対向表示線保護継電器動作オシログラム (KO型LQC式高速度過電流継電器使用)

Fig.8. Oscillogram Showing the Operation of Voltage Opposing Pilot Wire Protective Relay (Type KO Form LQC High Speed Over-Current Relay is Used)

試験結果は第4表に示す通りで、予備試験結果とよく一致し、また外部故障に対しても誤動作皆無でその性能の確実なることが立証せられた。

第7図は本試験のオシログラムの一例である。前述のごとく本試験に使用した表示線保護継電器はIO型でその限時特性は表示線保護用としては満足すべきものでないがKO型高速度過電流継電器を使用した場合のオシロ

グラム(たゞし昭和29年3月工場立会試験時撮影)は第8図のごとくで高速度の選択保護が可能であることがわかる。

またKO型高速度継電器を現地据付後再度試験を実施したがtap値の300%の過電流で、KO型LQC₁₁式の場合は2~以下、KO型LQC₁₂式の場合は1~以下の結果がえられたことをつけ加えておく。

〔VI〕 試験結果に対する検討

(1) ベクトルダイヤグラム

総合試験の試験回路 No.7 について試験データを検討すると下記のごとくである。第 9 図はこの場合の等価回路を示す。

- CT 一次電流 (実測値)56.8 A
- CT 残留回路電流 (実測値)0.45 A
- 抵抗 4~5 端子電圧 (実測値)..... 3.1 V
- 抵抗 4~5 端子電流 (計算値)0.31 A
- 抵抗 4'~5' 端子電圧 (実測値)1.27 V
- 抵抗 4'~5' 端子電流 (計算値)0.127 A
- 表示線継電器のインピーダンス (測定値).....5Ω
- 表示線継電器の鉄損角 (オシロによる測定値) (φ) 約 47°
- 線路抵抗 (実測値)18Ω
- 往復線路抵抗の換算値..... $36Ω \times (1/5)^2 = 1.44Ω$
- 絶縁変圧器の励磁電流 (測定値).....約 0.01 A
- 絶縁変圧器のインピーダンス.....約 1.7Ω
- 絶縁変圧器の鉄損角 (推定値) (θ)約 45°

いま計算を簡単にするため

鉄損角 $\phi = \theta = 47^\circ$

と仮定すると

POCG₁ の電圧降下 $0.15(A) \times 5(\Omega) = 0.75 V \quad \angle 47^\circ$

絶縁変圧器の電圧降下

$0.15(A) \times 1.7(\Omega) = 0.255 V \quad \angle 47^\circ$

線路抵抗の電圧降下 $0.138(A) \times 1.44(\Omega) = 0.2 V$

絶縁変圧器の電圧降下

$0.127(A) \times 1.7(\Omega) = 0.22 V \quad \angle 47^\circ$

POCG_{1'} の電圧降下

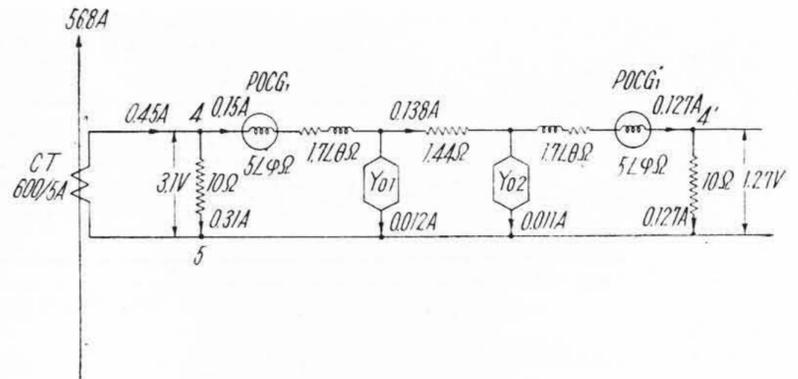
$0.127(A) \times 5(\Omega) = 0.635 V \quad \angle 47^\circ$

となる。この値よりベクトル図を画けば第 10 図のごとくなる。POCG₁ のコイル電圧に関しては計算値と測定値が大分異っているが、この点は測定の誤差と計算の簡略化によるものと思われる。

(2) 外部故障に対する検討

本方式において外部故障時には両端電圧の差が問題となるが、これは両端変流器、表示線用負荷抵抗器および絶縁変圧器の特性を吟味すればよい。絶縁変圧器としては電圧変成比の特性のほか外部故障により過大電流が流れるときは表示線用負荷抵抗端子間電圧が大となり、これに比例して励磁電流が増加するためこの励磁アドミッタンスは極力小としておく必要がある。

今回実施の新鶴~川崎変電所間のものでは短絡保護用は継電器タップ 0.5 A を使用しており、一方励磁電流は端子電圧(第 6 図 1-3, 1'-3' 間) 約 100 V に対し 0.3 A 程度であるので約 10 倍以上の外部故障電流に対しても



第 9 図 表示線保護継電方式等価回路
Fig.9. Equivalent Circuit of the Pilot Wire Protective Relay System



第 10 図 表示線保護継電方式ベクトルダイヤグラム
Fig.10. Vector Diagram of the Pilot Wire Protective Relay System

絶対誤動作しない(第 1 表参照)。また接地保護用は継電器タップ 0.15 A を使用しており、励磁電流は端子電圧(第 6 図 4-5, 4'-5' 間) 約 80 V で 0.1 A 程度であるので約 1,000 A の接地電流に対しても誤動作しない。一方この系統の最大接地電流は約 800 A であるのでこれで十分であると考えられる。なお上記のほか絶縁変圧器としては短絡インピーダンスが小で電圧変成比は電圧が大きいところほど正確であることが望ましい。

〔VII〕 結 言

以上新川線に應用された電圧対向表示線保護継電方式およびその現地試験結果について述べたが、本方式は高価な電圧変成器を必要とせず、また装置自体きわめて簡単で、しかも系統の構成状態、故障点の位置などに無関係に両端の遮断器を同時遮断させることができるから重要度の高い短距離送電線の保護方式として最も当をえたものであり、今後広く採用されるものと考えられる。今回新川線において我国最初の電圧対向方式が成功裡に運転に入つたことはきわめて意義深いものと信ずる。なお今後とも本方式の改良に努力し、その普及に役立ちたい所存である。

終りに臨み総合現地試験実施に際し多大の御援助と御協力を頂いた国鉄関係者各位に対し深甚な謝意を表する次第である。