

最近の表示線保護継電方式

The Recent Pilot Wire Protective Relay System

中山 敬 造* 柴 田 満 男**
Keizo Nakayama Mitsuo Shibata

内 容 梗 概

日立製作所では交流式表示線保護継電方式として、電流環流式と電圧対向式の二方式を標準とし、一般の送電線に対しては前者を、また多端子送電線などの特殊の場合には後者を主体として適用している。表示線保護継電方式は多端子送電線の保護の場合にも、変流器の特性を吟味すれば、原理上そのまま拡張してなんら支障はない。

またケーブル送電線に対しては、特に接地保護方式に慎重な検討を要するが、保護区間の充電電流に基づく不平衡電流は零相電圧と移相器によつて補償するとともに、過渡的な電流サージで誤動作することのないように、接地電力方向継電器と組合せ使用することが望ましい。

以上の点を含めて、最近の表示線保護継電方式の概略を説明する。

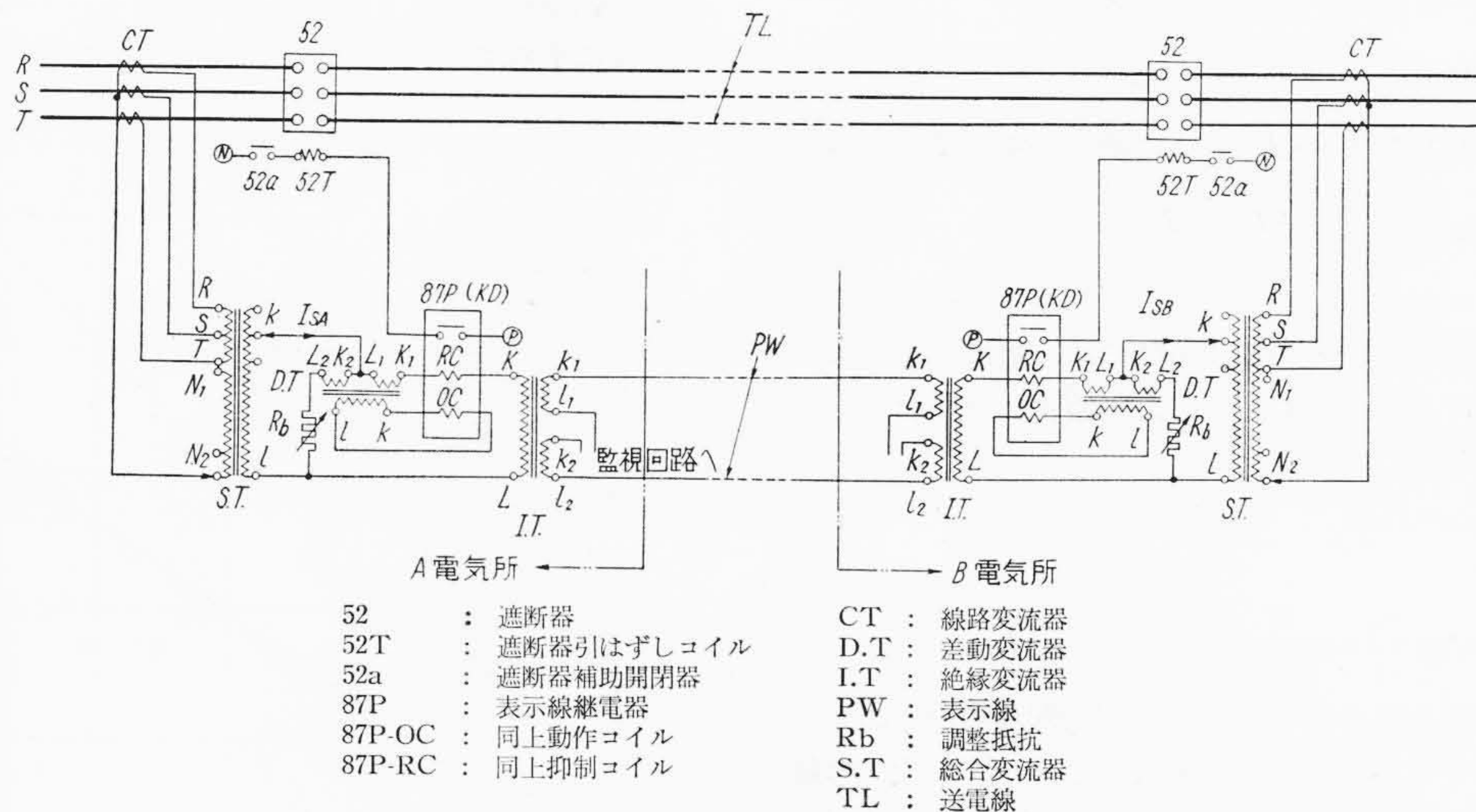
1. 緒 言

急激な電力需用の増加に対処するためには、電源の開発もさることながら、一方において、特に大都市のような集中負荷に対する電力供給設備にも、飛躍的な若返りが必要な段階にきており、その整備が着々と進められている。たとえば、一次変電所は相互に連絡され、また都市近郊に大容量火力発電所が続々と建設されて、これらの発生電力は高压ケーブルなどで直接に負荷中心の市街地変電所に導入され、それと並行して既設ケーブルの昇圧、配電ループ系の構成などが、盛んに行われている。

表示線保護継電方式は、このように短距離で重要な送電線の高速度保護に最適であることは広く認められてい

るが、特に最近では遠方監視制御、遠隔測定および電話などと併用されることが多く、表示線の布設費も割安となり、特に送電線がケーブルの場合には、その管路を利用することによつて、従来懸念された伝送回路の信頼度を非常に高めることができるので、装置全体の経済性とも相まって、今や汎用保護方式として盛んに賞用されるようになった。なかんづく、交流式表示線保護継電方式は、送電線各端の電流をベクトルの的に比較する方式であるから、難題とされている多端子送電線の保護も簡単に解決することができる。

日立製作所では電流環流式と電圧対向式の二方式を標準としているが、以下これらの方式を説明しあわせて今後の問題点を検討したい。



第1図 電流環流式表示線保護継電方式説明図

* 日立製作所国分工場

** 日立製作所日立研究所

2. 電流環流式表示線保護継電方式

第 1 図は電流環流式表示線保護継電方式の説明図である。以下同図について本方式の動作を説明する。

まず総合変流器は線路変流器の二次側に接続され、三相電流を单相電流に変換する。第 1 図は短絡、接地のすべての故障に対して共通に、各端局ただ 1 台の継電器と一対の表示線を使用して保護を行う場合を示しているが、この場合には総合変流器は RST の相巻線と N_1N_2 の零相巻線があり、前者には正相および逆相電流を、また後者には零相電流を流す。したがって総合変流器二次電流は下記のように表わされる。

$$\dot{I}_S = p\dot{I}_1 + q\dot{I}_2 + r\dot{I}_0$$

$\dot{I}_S$: 総合変流器二次電流

$\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_0$: 線路変流器二次正相、逆相および零相電流

p, q, r : 総合変流器各巻線の巻数より定まる係数

ここで I_0 は I_1, I_2 に比して一般にその大きさが小さいので、総合変流器零相巻線の巻数を適当に選ぶことにより、上式の係数 r を p, q より大にして、接地故障に対しても短絡故障の場合とほぼ同様の二次電流 I_S を得るようにする。総合変流器二次電流は、次に差動変流器に入り、その一次側二巻線に分流する。いま第 1 図に示すように A、B 両電気所の総合変流器二次電流をそれぞれ I_{SA}, I_{SB} と表わし、調整抵抗 R_b を表示線の等価片道抵抗 (表示線の片道抵抗値を絶縁変流器の巻数比で装置側に換算した値) とすると、 I_{SA} または I_{SB} は差動変流器の K_1L_1 巻線と K_2L_2 巻線に 1:3 の割合で分流する。したがって今 A 電気所の差動変流器について考えてみると、 K_1L_1 巻線を $L_1 \rightarrow K_1$ 方向に流れる電流 $I_{L_1K_1}$ は

$$I_{L_1K_1} = \frac{1}{4} (I_{SA} + I_{SB})$$

K_2L_2 巻線を $K_2 \rightarrow L_2$ 方向に流れる電流 $I_{K_2L_2}$ は

$$I_{K_2L_2} = \frac{1}{4} (3I_{SA} - I_{SB})$$

となる。

さて平常時および区間外故障時には、電流は単に保護区間を通過するのみであるから、両端電気所においてベクトルの的に相等しく、

$$I_{SA} = I_{SB}$$

となるので、

$$I_{L_1K_1} = I_{K_2L_2} = \frac{1}{2} I_{SA} = \frac{1}{2} I_{SB}$$

なる関係が得られる。したがって差動変流器の一次側二巻線はそのアンペアターンを相殺するため、二次側の継電器動作コイル OC には電流は流れず、 $I_{L_1K_1}$ なる電流が継電器抑制コイル RC と表示線を通じて環流するのみであるから、継電器は抑制回転力を生じ動作しない。一方区間内故障時には、線路電流の極性が一端において反転

する。今簡単のために両端から相等しい故障電流が流入する場合を考えてみると、

$$I_{SA} = -I_{SB}$$

となり、

$$I_{L_1K_1} = 0$$

$$I_{K_2L_2} = I_{SA} = -I_{SB}$$

となるため差動変流器一次側のアンペアターンの平衡は破れ二次側の継電器動作コイルに大きな差電流が得られる。

他方抑制コイル電流は零となり、継電器は高速度で動作する。また故障電流がたとえば A 電気所からだけ供給され B 電気所が無電流端となる場合には

$$I_{SB} = 0$$

となるので

$$I_{L_1K_1} = \frac{1}{4} I_{SA}$$

$$I_{K_2L_2} = \frac{3}{4} I_{SA}$$

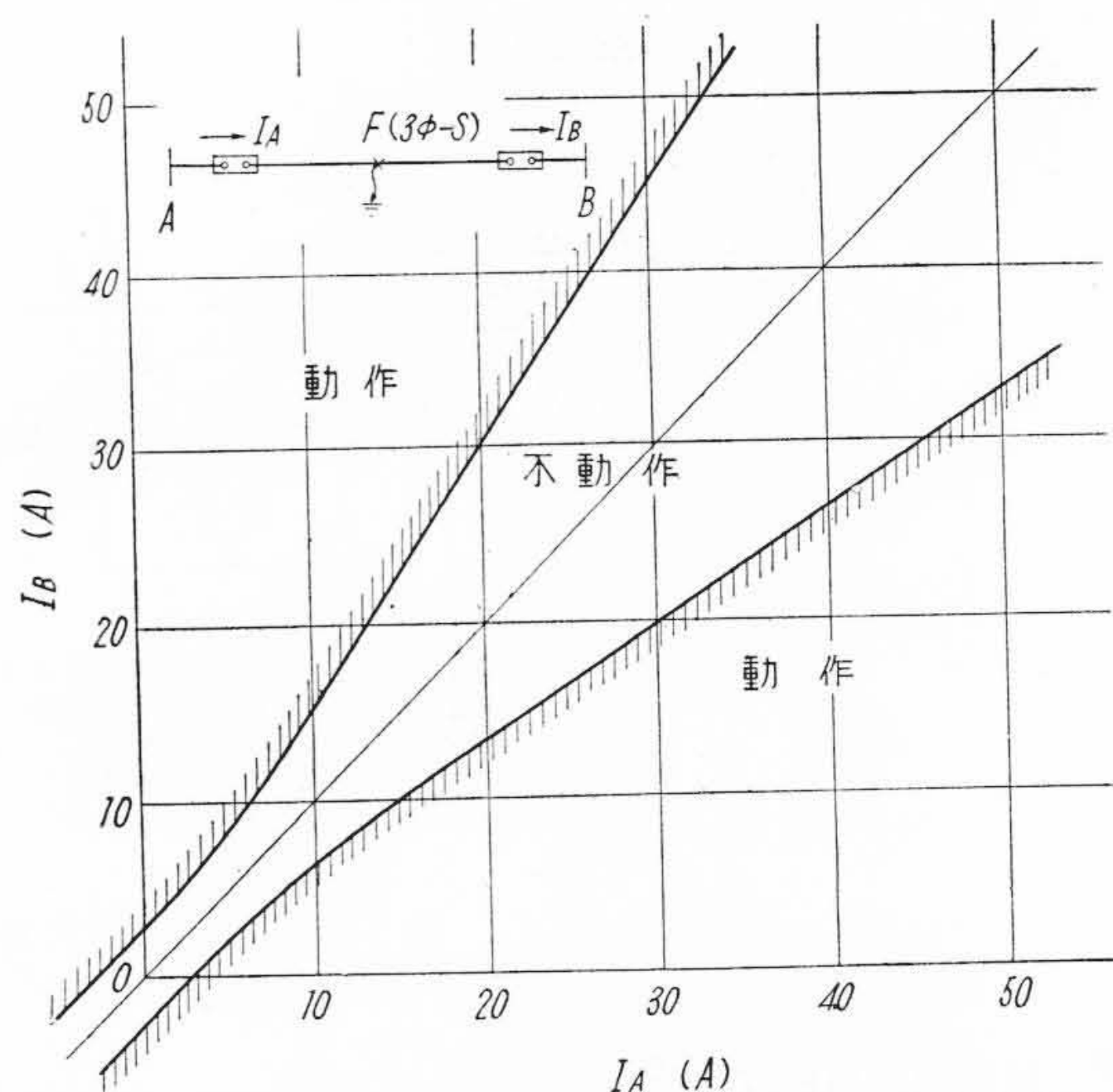
となり

$$I_{K_2L_2} - I_{L_1K_1} = \frac{3}{4} I_{SA} - \frac{1}{4} I_{SA} = \frac{1}{2} I_{SA}$$

に相当する一次側のアンペアターンにより、二次側の動作コイルに電流が流れて継電器は動作する。他方無電流端の B 電気所においては、A 電気所の $I_{L_1K_1}$ が表示線を介して B 電気所の差動変流器 K_1L_1, K_2L_2 両巻線を直列に流れるので

$$I_{K_1L_1} + I_{K_2L_2} = \frac{1}{4} I_{SA} + \frac{1}{4} I_{SA} = \frac{1}{2} I_{SA}$$

に相当する一次側のアンペアターンにより、A 電気所と同様に継電器動作コイルに電流が流れる。したがってこの場合にも両端を同時遮断させることができる。



第 2 図 電流環流式表示線保護継電方式比率差動特性

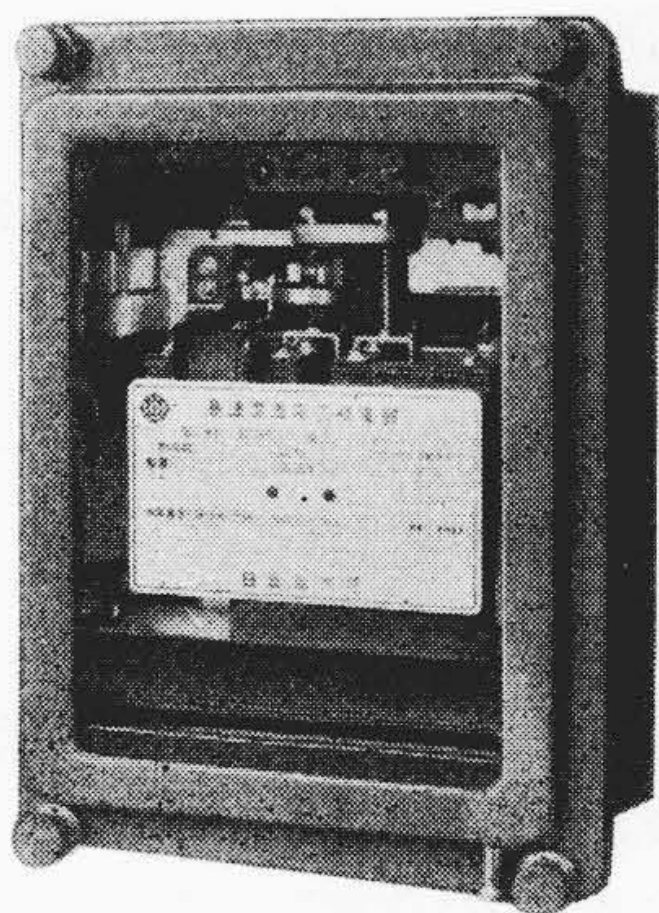
本方式は差動変流器を使用することによつて、継電器動作コイルには表示線の亘長、抵抗、故障電流の大小などに無関係に、両端電流のベクトル差に比例する電流を流すようにしている。しかし区間外故障時にも、線路の充電電流や線路変流器の特性差による不平衡分が動作コ

イルに現われることがあるので、これに基く誤動作を防止するために抑制コイルを設け、継電器に比率差動特性を与えている。このようにすることにより原理的に確実に継電器の誤動作は防止され、本方式の信頼度を一段と高いものにしている。第2図は本方式の比率差動特性の一例を示したものである。

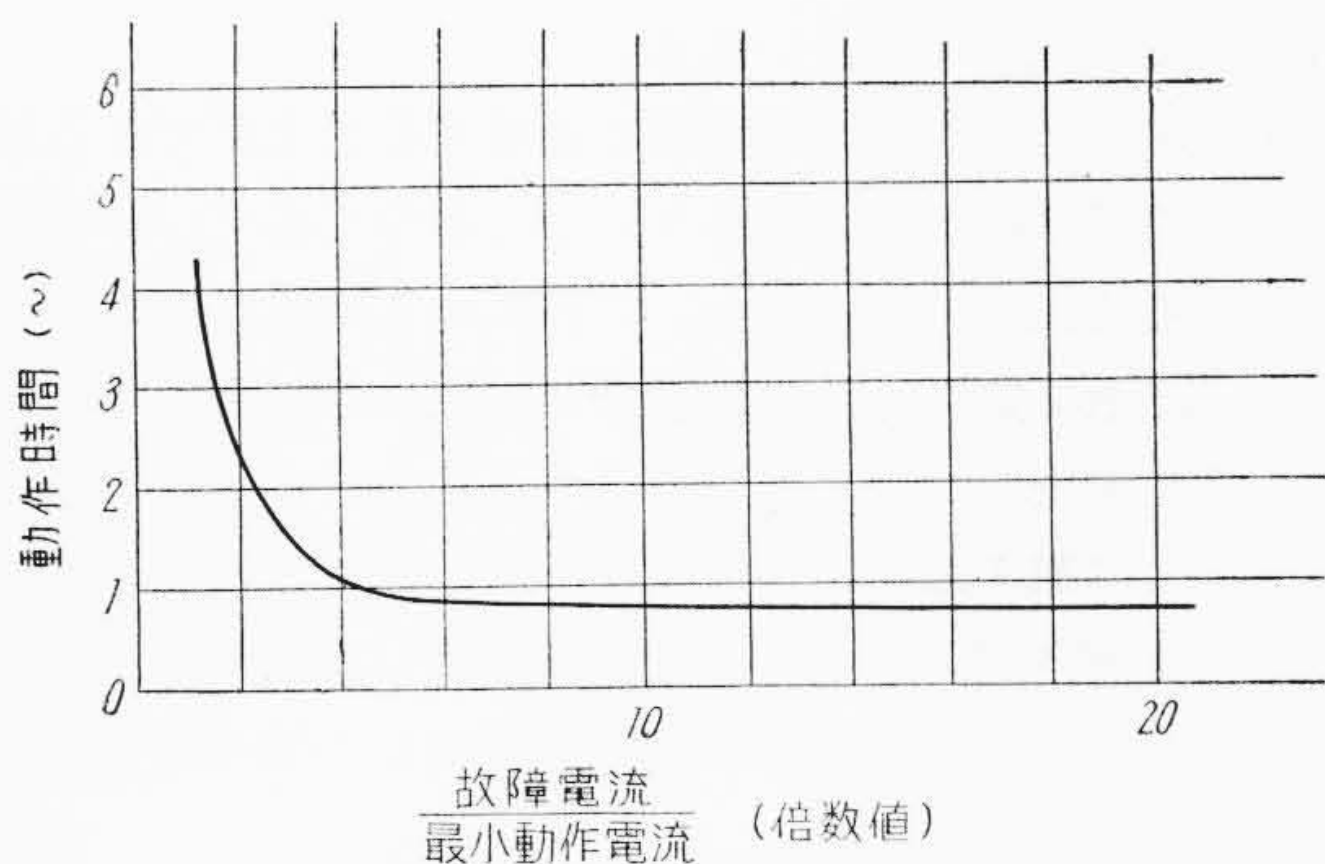
本方式に使用する主継電器はKD型高速度差電流継電器であつて、第3図にその外観を示す。本器は誘導環型の電流要素と電流抑制要素とよりなり前者の回転力が後者の回転力に打勝つたときに動作する。本継電器の動作時間特性が第4図である。

また絶縁変流器は表示線側と継電装置を絶縁するとともに、巻数比を大きくとつて表示線の等価抵抗値を小さくし、装置の消費VAの減少を図つている。

なお本方式は八幡製鉄株式会社そのほかに納入し好評をいただいている。



第3図 KD型高速度差電流継電器



第4図 KD型高速度差電流継電器動作時間特性

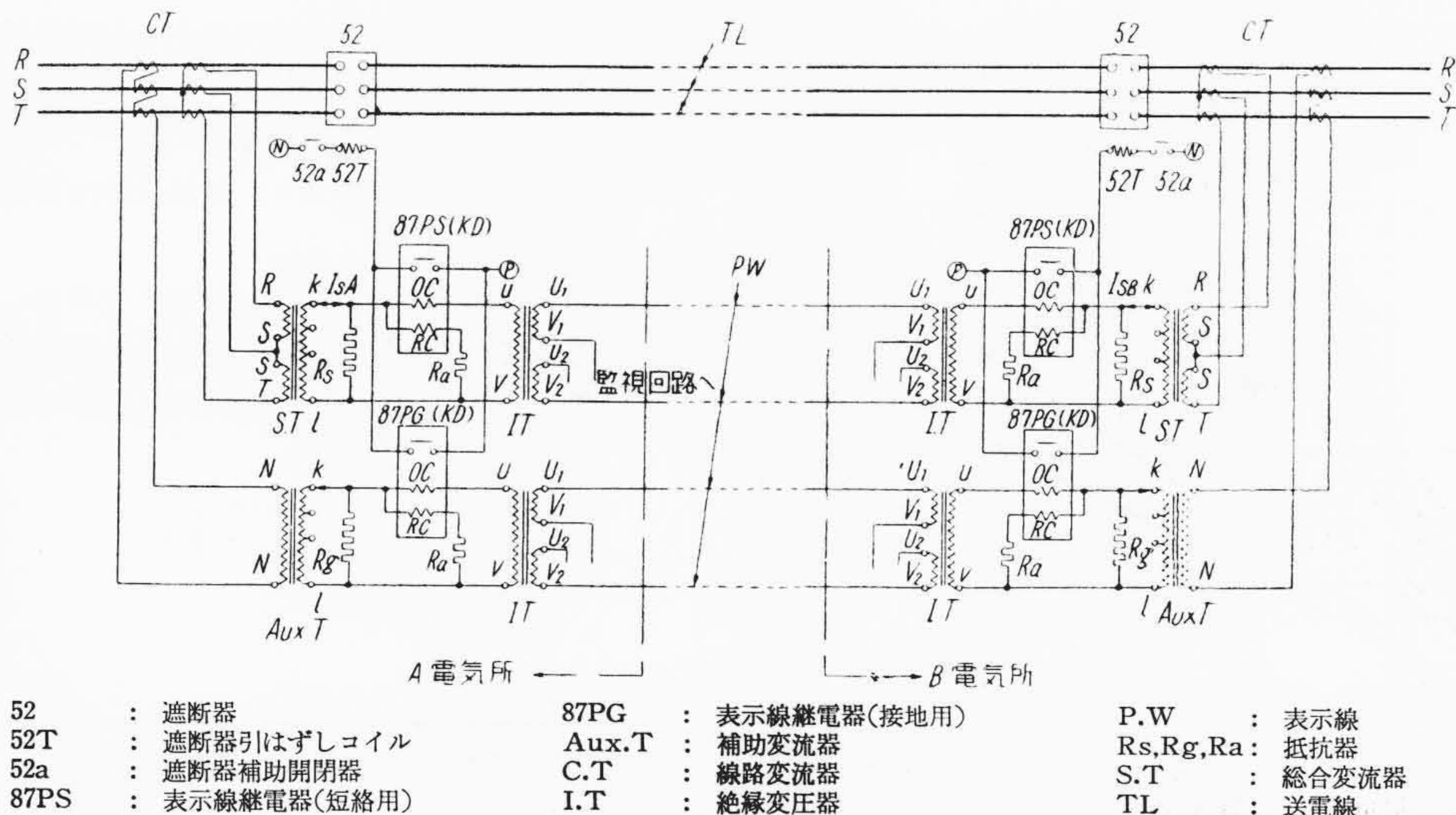
3. 電圧対向式表示線保護継電方式

第5図は電圧対向式表示線保護継電方式を二端子送電線に適用した場合の接続図であり、短絡および接地故障の保護回路を別回路としそれぞれ表示線を一对宛使用した場合を示しているが、第1図と同様に短絡、接地を共用することももちろん可能である。

まず短絡保護回路について説明する。線路変流器二次三相電流は総合変流器に入り、単相電流に変換され正相抵抗 R_s に流れて、ここに電圧降下を生ずる。この総合変流器は零相巻線がない以外は前章に説明したものと同様であり、その二次電流 I_s は次のように表わされる。

$$I_s = p\dot{I}_1 + q\dot{I}_2$$

いま第5図に示したようにA.B.両電気所の総合変流器



第5図 電圧対向式表示線保護継電方式説明図

二次電流をそれぞれ I_{SA} , I_{SB} とし、正相抵抗、継電器動作コイル OC 、絶縁変圧器および表示線により構成される回路を考え、この閉回路の全抵抗を R_l 、閉回路に流れる電流を I_{op} とすると

$$I_{op} = \frac{R_s}{R_l} (I_{SA} - I_{SB})$$

となる。

平常時および区間外故障時には

$$I_{SA} = I_{SB}$$

であるから

$$I_{op} = 0$$

となり、継電器動作コイルは電流は流れず、一方抑制コイル R_c は正相抵抗の両端に生ずる電圧降下によつて励磁されるため継電器は動作しない。

一方区間内故障が発生し

$$I_{SA} = -I_{SB}$$

のような場合には

$$I_{op} = \frac{R_s}{R_l} 2I_{SA}$$

となり動作コイルに電流が流れて、継電器は高速度動作する。無電流端がある場合にも、たとえば

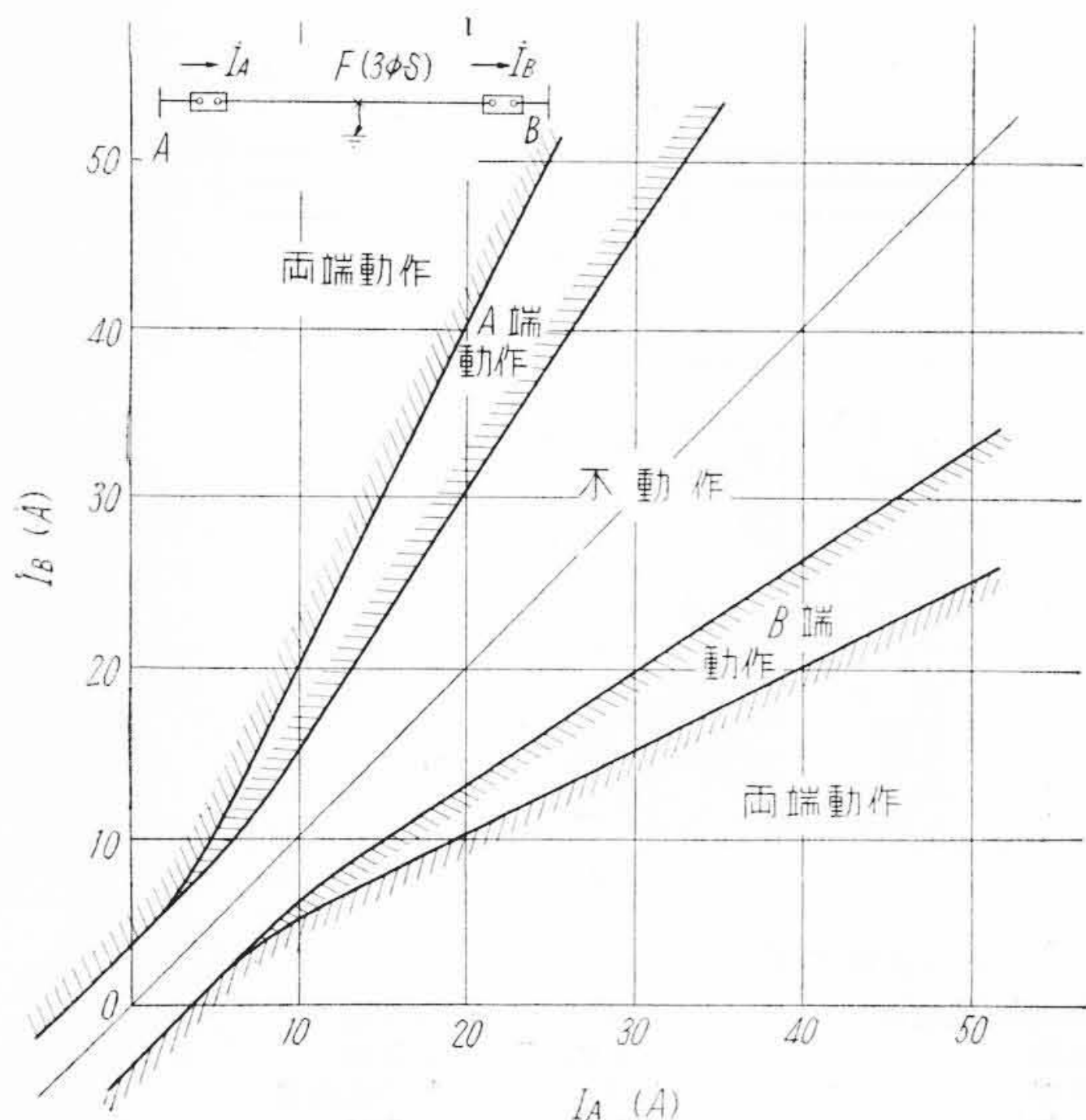
$$I_{SB} = 0$$

ならば

$$I_{op} = \frac{R_s}{R_l} I_{SA}$$

となり、この電流が両端局の動作コイルを直列に流れるため両端同時遮断が可能である。

次に接地保護回路は線路変圧器三次の零相電流を比較するものであり、その動作原理は短絡保護回路とまったく



第6図 電圧対向式表示線保護継電方式比率差動特性

く同様である。本方式の比率差動特性を第6図に示す。主継電器は環流式の場合と同様KD型高速度差電流継電器を使用している。電圧対向式は常時表示線に電流を流す必要がないから、連絡線を専用できない場合には本方式を使用するが、普通の二端子送電線に対しては前述の電流環流式を適用し、後に説明する多端子送電線および高圧ケーブル送電線用には本方式を拡張して適用するのを標準としている。

なお本方式は東京電力株式会社新東京火力線（三端子高圧ケーブル送電線）に最初に適用した。

4. 多端子送電線および高圧ケーブル送電線への適用

4.1 多端子送電線保護継電方式

多端子送電線の保護継電方式は、特に送電系統の運用に制約を与えぬ方式であることが望ましい。交流式表示線保護継電方式はすでに説明したように、保護区間に出入する電流をベクトル的に比較するものであるから、多端子送電線へ拡張して適用しても原理上なら支障ない理想的な方式であるといえる。

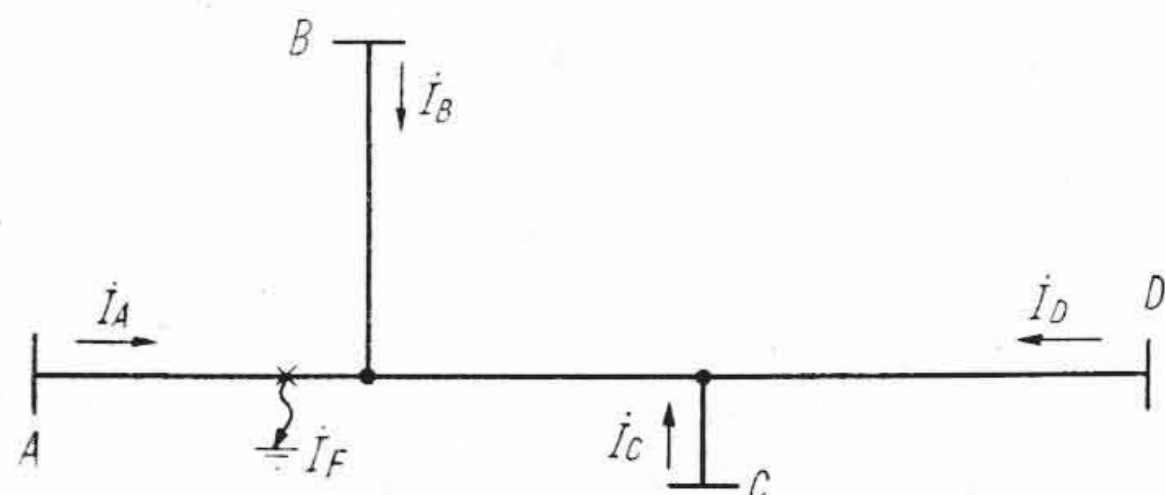
電流環流式も多端子送電線に適用することができるが一応三端子系統が限度であり、したがって必ずしも普遍性のある方式とはいえない。これに対し電圧対向式は原理上端子数に制約なく、端子数が増減した場合にもほとんど変更を要しないなど弾力性のある方式である。電圧対向式では第7図のような多端子送電線において、各端子から保護区間に流入する電流に比例した電圧をとり出し、これを表示線を介して直列に接続して閉回路を形成した場合

$$\text{区間内故障時 } \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_D \cdots = \dot{I}_F$$

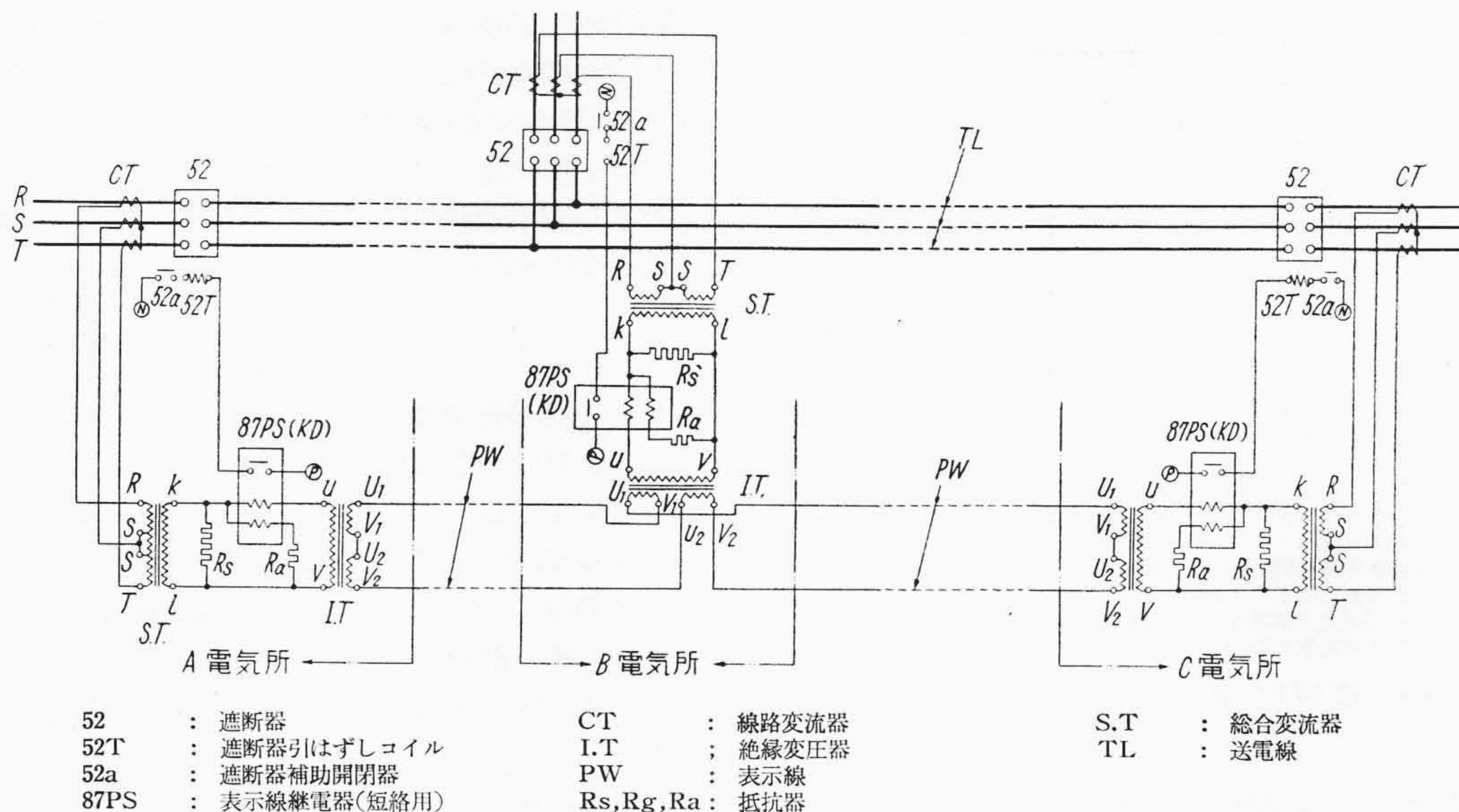
$$\text{区間外故障時 } \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_D \cdots = 0$$

が成立するから、区間内故障時のみ上記閉回路に故障電流に比例した電流が流れ各端子の継電器を動作させることができる。第8図は上記の原理に基づいて三端子送電線に適用した場合の一例であり、短絡故障保護回路のみを示している。

送電線が二端子の場合には、両端の交流器に多少の特性差があつても誤動作しないように比率差動特性をもたせているが、多端子の場合には区間外故障時に一部の端



第7図 多端子送電線



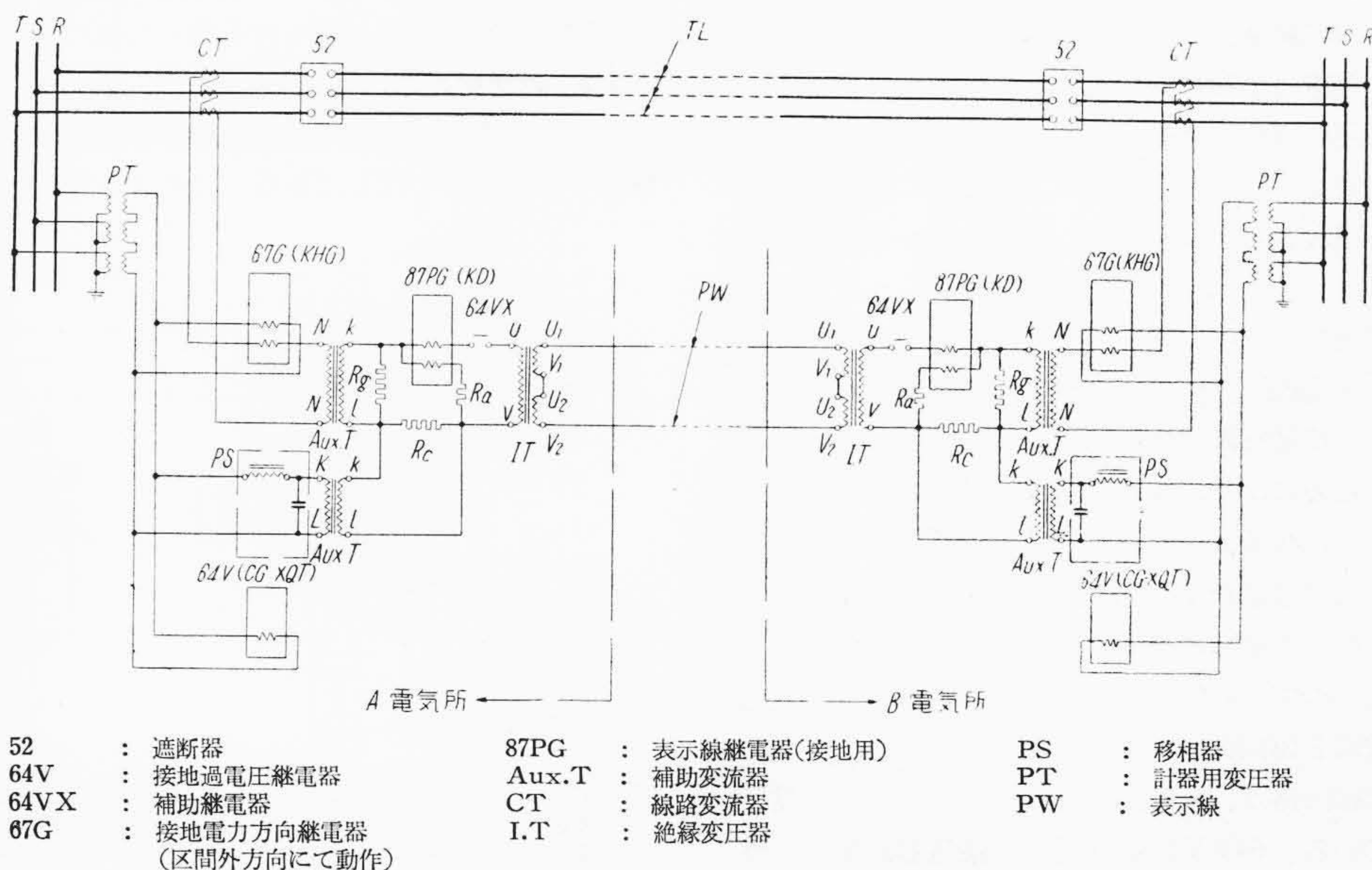
第8図 多端子電圧対向式表示線保護継電方式説明図

子だけを故障電流が通過しほかの端子は無電流端になることがある。この場合無電流端は抑制効果をもたないので、不平衡電流が大きいと誤動作を招来することになる。したがって特に多端子送電線においては保護区間各端の変流器を十分に吟味して、その特性の合ったものを使用するとともに想定される最大故障電流でも飽和しないようにすることが必要である。また表示線への誘導電圧に基く誤動作を防止するために第8図B端子に示すように2本の表示線は十分バランスするように考慮するなどの注意も必要である。

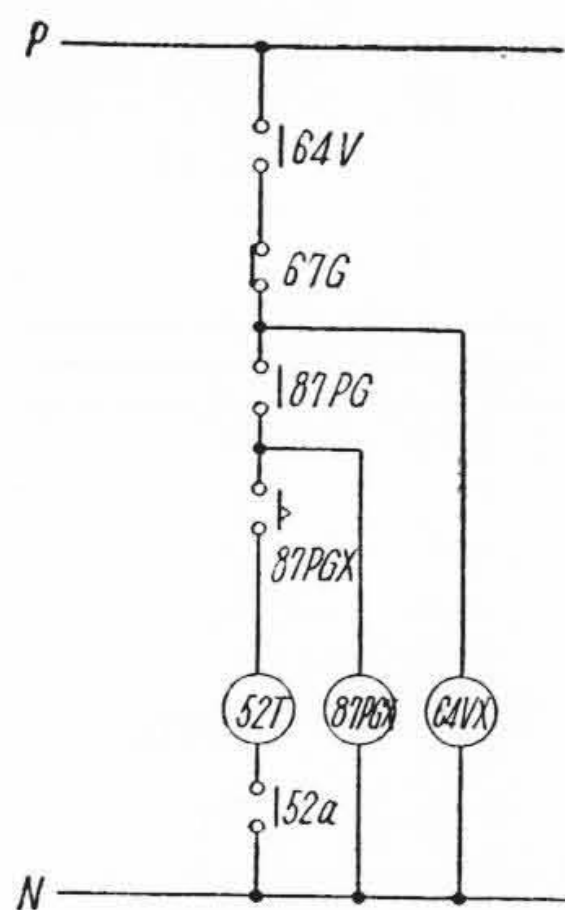
4.2 高圧ケーブル送電線保護継電方式

60~70kVの高圧ケーブル送電線が続々と敷設され、いずれは140kVのケーブル送電線の出現も近いと考えられる。これらの高圧ケーブル送電線の表示線保護継電方式は、特に接地保護に種々の問題点がある。第9図は高圧ケーブル送電線用の電圧対向式、表示線保護継電方式(接地保護回路のみを示す)の説明図であり、また第10図はその直流回路展開説明図である。以下第9, 10図についてその特異な点を説明する。

(1) 充電電流の補償



第9図 高圧ケーブル送電線用表示線保護継電方式説明図



52a	: 遮断器補助開閉器	67G	: 接地電力方向継電器
52T	: 遮断器引はずしコイル	(区間外方向にて動作)	
64V	: 接地過電圧継電器	87PG	: 表示線継電器(接地用)
64VX	: 接地補助継電器	87PGX	: 表示線補助継電器

第 10 図 直流回路展開説明図

高圧ケーブル送電線では、その充電電流が著しく大きい、これは区間外故障時にも、両端の差電流となつて現われる。短絡故障電流に対する影響は比較的小さく、特に考慮する必要はないが、抵抗接地系統の 1 線接地時などには保護区間の充電電流零相分が装置の最小動作電流より大となることが多いから、このような場合には適当な補償回路を付加せねばならない。

充電電流零相分 I_{C0} は

$$I_{C0} = 2\sqrt{3} \pi f c v$$

ここに f : 周波数(c/s)

c : 保護区間の対地静電容量(F)

v : 線間電圧(V)

となり、これは零相電圧より 90 度進んだ位相関係にある。したがつて第 9 図のように零相電圧を変流器側の位相特性をも考慮して移相器により適当角度だけおくらせて表示線回路に印加し、 I_{C0} に基づく影響を打消させることにより補償を行うことができる。第 9 図には補償を両端より行う場合を示しているが、片端より一括して行つてもよい。

(2) 電流サージの対策

ケーブル送電線においては初充電時遮断器投入の各相のばらつき、接地故障発生瞬時および故障除去時の対地電圧の急変などにより、線路の静電容量に基づく過渡電流が流れ、おもに接地保護回路に対する影響が大きい。従来経験された過渡電流は大体 $1/4 \sim$ 程度にて減衰するようであるが、高速度型の継電器の場合には誤動作が懸念される。したがつてこれに対しては、別に設置した接地電力方向継電器と協同動作を行わせるようにする。すなわち接地表示線回路は、第 9 図中 64VX の接点により常時開放されている。64VX は接地過電圧継電器が動作し外部方向継電器が不動作の場合のみ閉成するから、表示線

回路は区間内故障時にのみ完成され、両端電流を比較確認して両端同時遮断を行う。電力方向継電器は電圧と電流の積で動作するものであつて、電流サージに対する誤動作の懸念のないことは、実験的にも確められており、上記のような協同動作を行わせることにより、方式の信頼度を非常に高めることができる。

5. 補助回路

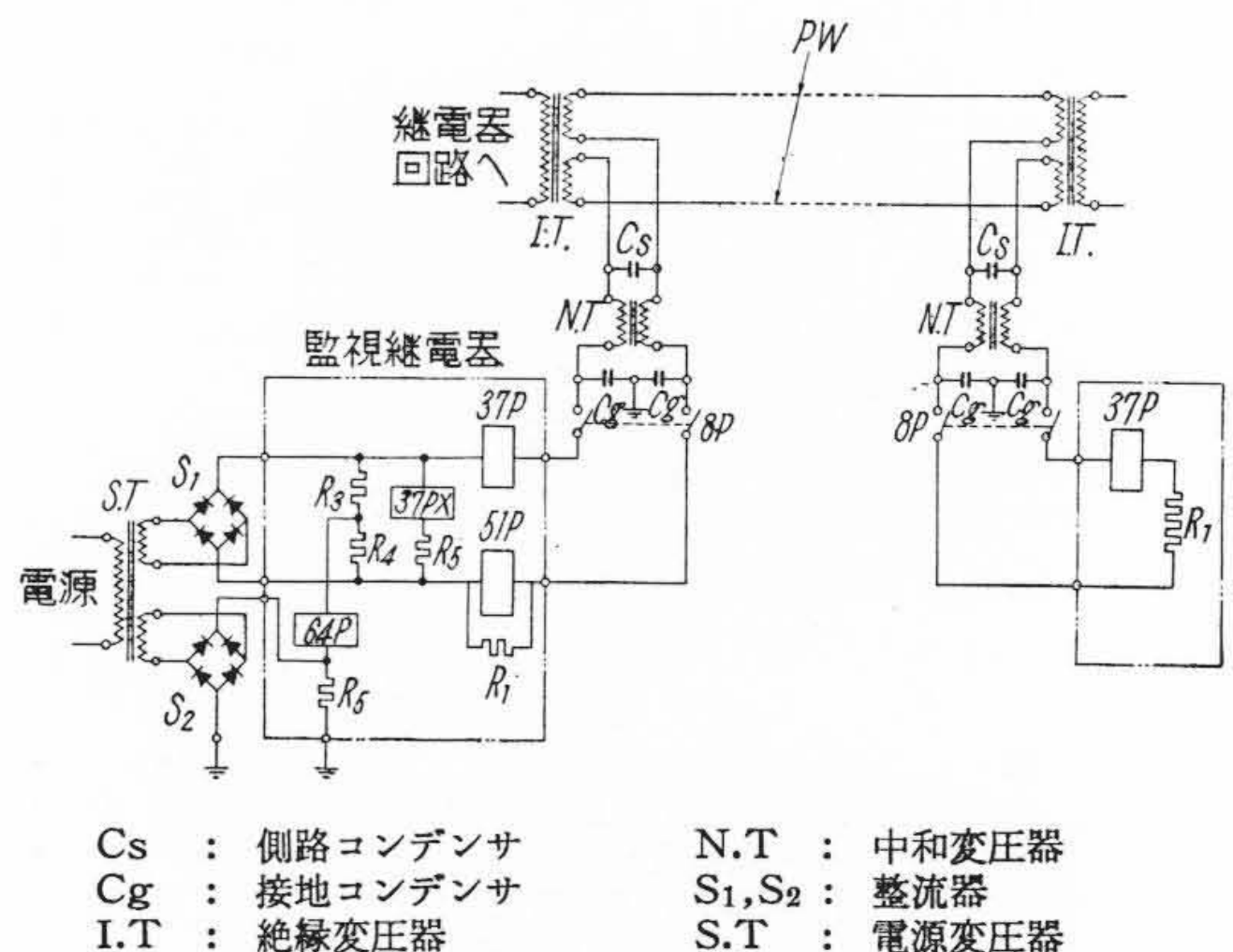
5.1 表示線監視回路

以上説明した表示線保護継電方式において、電流環流式は表示線の断線および短絡故障のいずれの場合にも、動作する可能性がある。一方電圧対向式は表示線の断線時は不動作、短絡時には、単なる過電流継電器となる。表示線自体が故障のとき、誤つて遮断器を遮断しないようにするためには、別に故障検出継電器を設ける必要がある。

いずれにせよ、表示線保護継電方式においては、常に表示線は健全な状態に保たれていることが必要であつてこのために監視回路を設備することが多い。第 11 図はその一例を示したものであり、常時微小直流電流を表示線に環流させ、37P は動作、51P は不動作の状態に保つ。いま表示線が断線すれば監視電流がなくなつて、37P が復帰し、また短絡すれば監視電流が増して 51P が動作する。さらに表示線が接地すれば、64P に電流が流れて動作する。監視電流の受信端においては、表示線の断線、短絡いずれの場合にも 37P が復帰する。したがつてこれらの継電器により、表示線の故障時に、警報や継電器の鎖錠を行うことができる。第 11 図中の中和変圧器は接地コンデンサとともに、表示線に誘起される誘導電圧が監視装置中に侵入するのを防ぐためのものである。

5.2 転送引外回路

最近、変圧器の高圧側線路遮断器を経済的な理由から省略する場合がしばしばある。このような変圧器に接続



Cs	: 側路コンデンサ	N.T.	: 中和変圧器
Cg	: 接地コンデンサ	S1, S2	: 整流器
I.T.	: 絶縁変圧器	S.T.	: 電源変圧器

第 11 図 表示線監視回路

された送電線に表示線保護継電方式を適用する場合、その保護区間内に変圧器を含ませることも考えられるが、一般には変圧器保護と送電線保護を別個にすることが望ましい。このような構成の場合には変圧器保護継電器が動作したとき転送引外によつて相手端子の遮断器を遮断させることが必要である。

転送引外方式としては、表示線回路と別に専用回線を設けて、常時の直流監視電流の極性を反転して信号を送る方式や、また交流表示線回路をそのまま利用する方式などがある。後者は変圧器内部故障検出端にて、たとえば変流器二次回路を短絡したり、極性を反転せしめたりして、強制的に送電線内部故障と等価な状態をつくらせようとするものであり、変圧器保護継電器と表示線継電器の最小動作電流の関係から上記の方式ではまだ確実な

動作が期待できぬ場合には、逆に変流器二次電流をあらかじめ整定された倍数だけ大きくみるようにすることによつて確実に動作させるなど、種々の方式が考えられている。

6. 結 言

以上最近の表示線保護継電方式について概略を説明したが、本方式は本文中にも述べたように、短距離重要送電線の高速度保護継電方式として最も当を得たものであり、今後ますます広く採用されていく傾向にある。

保護継電装置は原理、構造ともに、できるだけ簡単であることが装置の信頼度や保守の点からも肝要なことであると考える。したがって、今後とも本方式の改良に努力して、その普及に役だちたいと念願する次第である。



特 許 の 紹 介

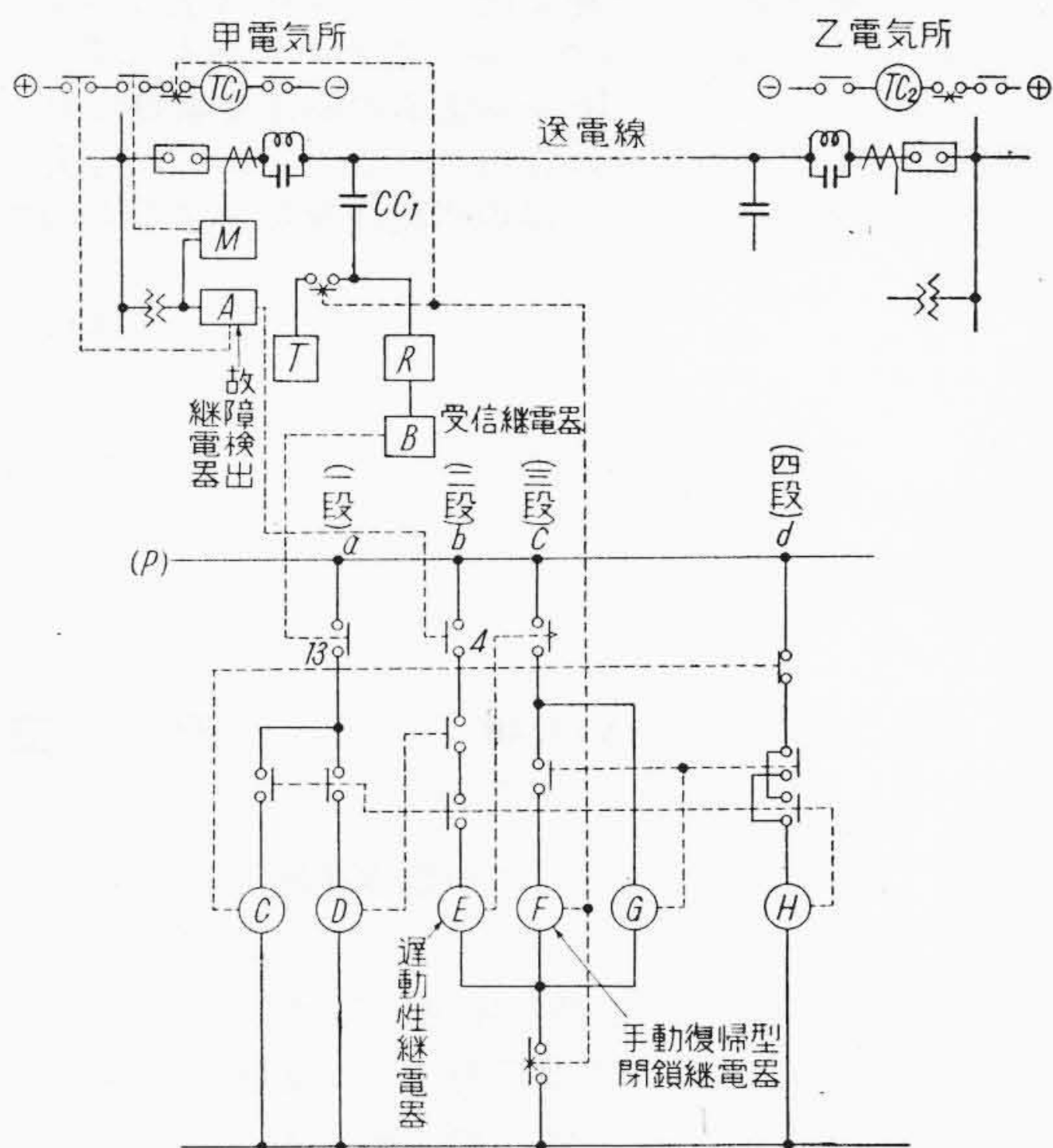


特 許 第 226613 号

滝 田 武 夫

搬送保護送受信器故障対応装置

この特許の権利の及ぶ範囲は次のように要約される。
すなわち、常時両端から搬送波を交信している搬送波保護区間の各端に設置された搬送波送受信器のおののに関連され受信継電器接触を含む第一段制御回路、故障検出継電器接触を含む第二段制御回路、手動復帰型閉鎖継電器を含む第三段制御回路および各制御回路を原状に復帰せしめる第四段制御回路にして、この回路は自端および相手端の送受信器故障復旧後各個に送受信器の動作を常態に復帰せしめる動作をなすものをそなえ、第一段制御回路は第二段制御回路を追動せしめる一方において第四段制御回路を開閉し、第二段制御回路は送電線の故障に際しこれを自動的に掃蕩するに支障を与えざる程度の一定時限の後第三段制御回路を開閉すべくし、送受信器の故障に対応して第三段制御回路が動作するときは自端および相手端の送信器を停止せしめると同時に両端遮断器の制御回路を不作動に鎖錠せしめる搬送保護送受信器故障対応装置である。これを要するにこの発明は両端の送、受信器が故障すればそれに応じて送信器回路を断つてそれを修復し、復旧したなら全装置を原状に復してやることに帰するのであるが、搬送波常時送出型の区間保護継電方式では送信を断つことはそれが故障修復のためであれとにかく内部故障の発生と見たてられるため、区間両端の自動遮断が行われるのであるが、本発明によれば送信器の故障修理のための発信中断に当つては両端遮断器をとばさぬように鎖錠が自動的に行われるようになってい。また送電線に実際に故障が生じたときは送信器の発信中断が自動的に行われるのは当然であるが、この場合には受信継電器の接点Bが第一段に入っており故障検出継電器の接点4が第二段に入っているから継電



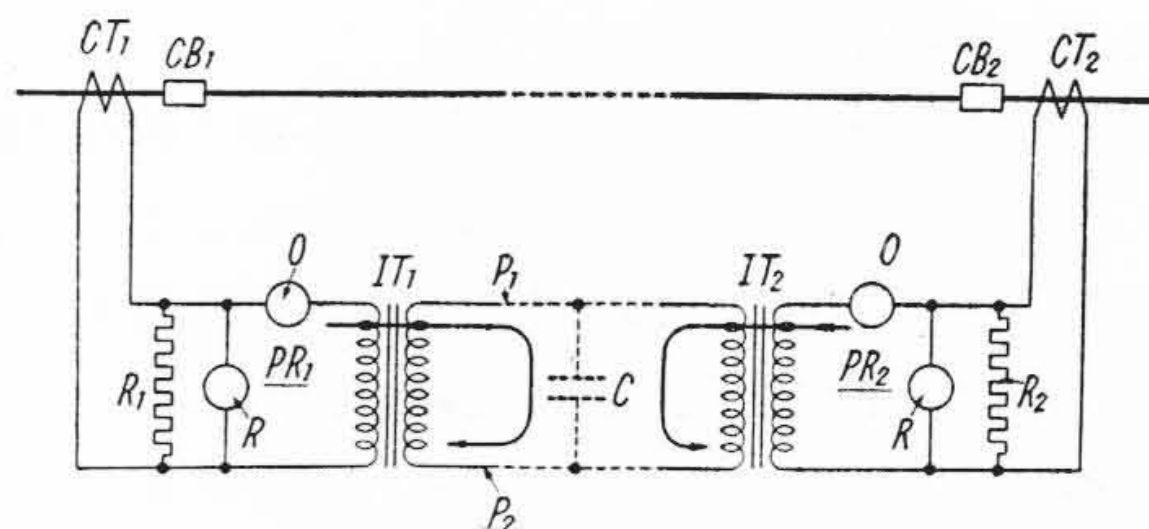
器はD—E—Fと順次動作が進められてFにより遮断器の自動遮断阻止の鎖錠が行われる心配があるが、第二段の継電器Eを限時遅動性となし接点4の実故障時のチャタリングにおける接触時間では動作せずしたがってF—Gの追従動作を生じないようにしてあるから万全である。
(宮崎)



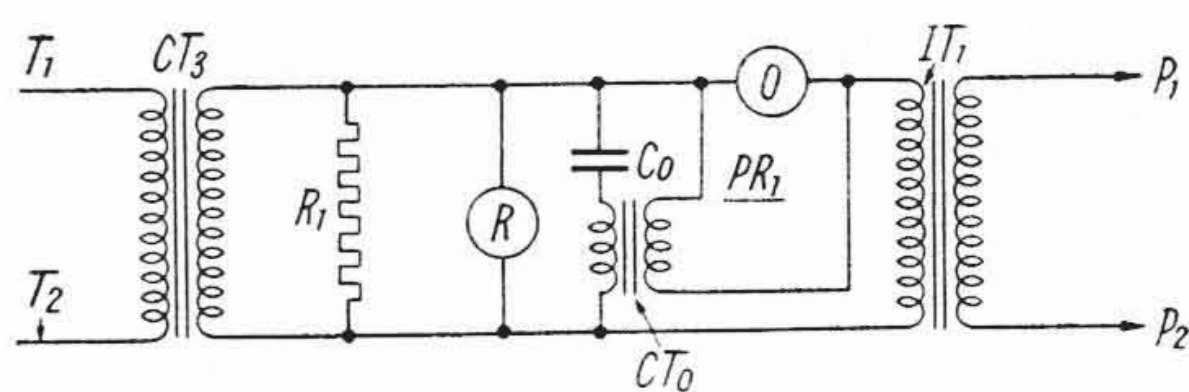
表 示 線 保 護 継 電 装 置

この特許の権利の及ぶ範囲は次のとおりに要約される。すなわち、送電線被保護区間の両端間を変流器を介して張設した表示線回路を有しこの等価線間容量または等価アドミッタンスに匹敵する容量またはアドミッタンスを両極に接続しこの接続回路に流れる電流によつて両端設置の継電器の動作を補償せしめる表示線保護継電装置である。第1図に示すのは従来一般に行われた表示線保護継電装置の結線図で従来は抵抗 R_1 , R_2 の電圧を表示線 P_1 , P_2 を介して保護区間両端に対しき合わせにしておき、継電器 PR_1 (動作要素 O および抑制要素 R よりなる) 同 PR_2 を両端に接続することで事たりと思つていたのであるが、実際使用してみると送電線 L の状態いかに影響されて誤動作することが認められ、その原因が表示線 P_1 , P_2 間の線間分布容量 C の仕わざであることがわかった。すなわち容量 C の存在を認識するときは R_1 , R_2 の電圧がつき合わせであつても PR_1 , PR_2 には各単独に電流の還流があることが容易に推察される。ただこの電流は通常状態であれば比較的少ない値であるため継電器を動作せしめるにいたらないだけのことであつた。しかるに送電線を流れる電流が過大でありその峻度も高いという場合にはそれが被保護区間外の故障に端を発したものであるにしても大なる還流電流を表示線内に生じ、それが継電器 PR_1 , PR_2 を誤動作せしめるに十分となることが往々に見られたのである。本発明はこの対策であつて第3図および第2図の容量 C_0 は表示線 P_1 , P_2 の等価線間容量に見合う容量でこれの電流を CT_0 を介して I_0 とし、この I_0 を継電器の動作要素 O に対して還流電流 I と反対方向に作用させることによつて I に対する補償を行わせ、継電器の誤動作を防止するものである。

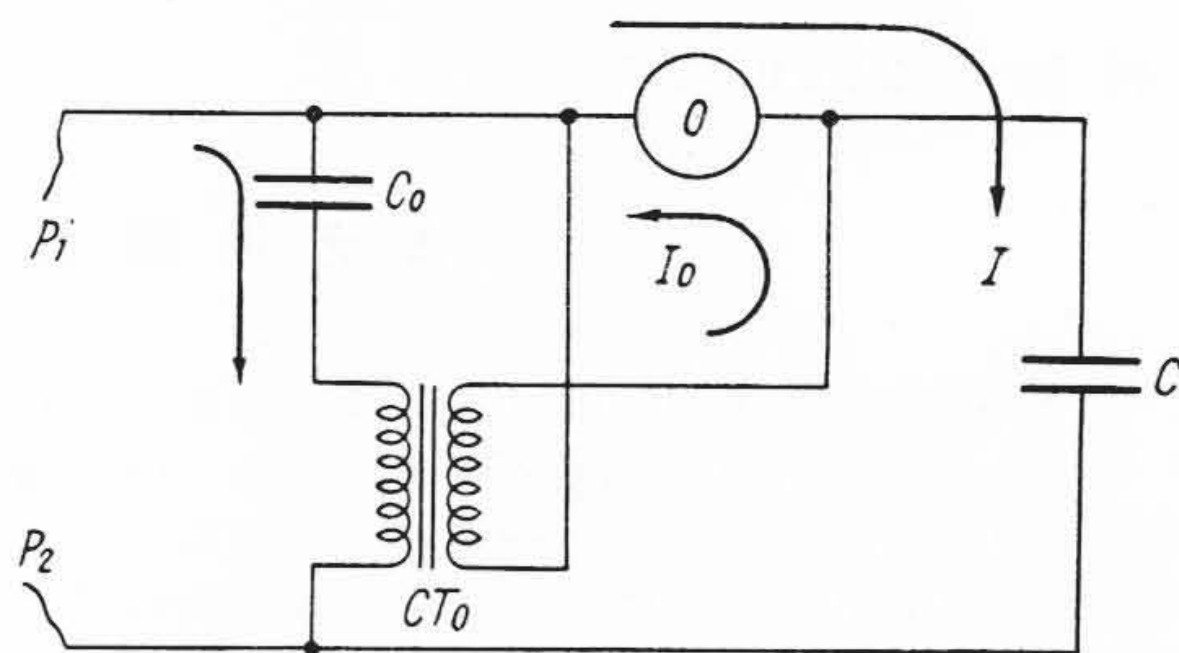
(宮崎)



第 1 図



第 2 図



第 3 図

- ◎大流量測定法としての塩水速度法に関する諸問題
- ◎火力発電所用配電盤
- ◎新しい二、三の負荷時タップ切換変圧器
- ◎珪素鋼板の磁歪
- ◎濡壁塔を利用する吸収反応装置
- ◎水素中の微量酸素分析計

- ◎タイ国鉄納 950 HP ディーゼル電気機関車
- ◎耗波試験装置
- ◎ビニル電線の高温特性の改善
- ◎最近の中子用特殊油粘結剤について
- ◎高周波加熱による焼入性に及ぼす各種元素の影響
- ◎けい光放電管の寿命に関する研究