U.D.C. 621.316.925 : 621.318.57

超高速度方向比較搬送継電装置

Very High Speed Directional Comparison Carrier Relaying Equipment

三木義照* 黒木正明** 抜山誠***
Yoshiteru Miki Masaaki Kuroki Makoto Nukiyama

要旨

500 kV 超々高圧系統は電力系統全体の主幹となり短絡容量も大きいため，系統事故を高速度で確実に除去することが必要である。今回，究極の1サイクル動作を目標とした超高速度方向比較搬送継電装置を研究，開発し，試作装置を完成した。本稿では，主として本装置の特長，継電方式および動作時間の検討結果について述べる。

1. 緒言

500 kV 系統は大電力系統の主幹となり短絡容量も大きいから，系統事故を高速度で確実に除去することが必要であり，保護継電装置にとっては高信頼性と高速度動作がもっとも重要な課題である。高信頼性を確保するために，装置自体の信頼度を向上するほか，近年，装置の2系列化によってシステム信頼度を向上する方策が考えられている。一方，高速度動作を得るには，エレクトロニクス技術をとり入れた新らしい継電器技術の開発と，事故発生時の過渡応動の究明が必要である。そこで高速度保護継電装置の中でもっとも実績が多く，適応性に富んだ方向比較搬送継電装置について，高速度化の検討を行なった。

従来の方向比較搬送継電装置は，主として電磁形継電器により構成されているため，動作時間は事故電流が継電器感度電流に比べてじゅうぶん大きいとき2ないし3サイクルを要している。500 kV 系統では送電線が比較的長距離になるため，事故電流は継電器側から見て必ずしも大きいとは限らないが，この場合電磁形継電器によれば動作時間が長くなり不利である。その点トランジスタを中心とする静止形継電器は可動部分を持たないため，事故電流が継電器感度電流のごく近くまで高速度動作が確保できる。

日立製作所では早くから静止形継電器の開発に着手し，方向比較搬送継電装置では長期現地試験(1)を経てすでに多数の納入実績をもっている。今回，これらの経験をもとにして，とくに継電器の過渡応動を吟味し，究極の1サイクル動作を目標とした超高速度方向比較搬送継電装置の試作装置を完成し，試験した結果，所期どおりの好成績を収め得た。本装置は高速度2サイクル遮断器と組み合わせて3サイクル遮断を目標としている。

2. 超高速度方向比較搬送継電装置の特長

本装置の特長は，超高速度動作をはじめとして次のように表わされる。

2.1 超高速動作

搬送継電装置の動作時間は，継電器入力電流が継電器定格値の20% 以上の広範囲で1サイクル以内が可能である。事故発生時の継電器過渡応動について，系統定数，継電器定数を考慮してディジタル計算機により解析し，正動作を行なうことを確認した。信号伝送時間は信号伝送装置と継電器盤との受け渡し回路を含めて0.15サイクルとしているが，これは500 kV 系統においてはマイクロ波使用が考えられることから満足できる。また引はずし回路は対サージの安定性を考慮したうえでサイリスタを使用した。

後備保護用距離継電器第1段は，継電器入力電流が継電器定格値以上のとき整定値の80% 地点まで1.5サイクル以内の高速度動作を行なう。

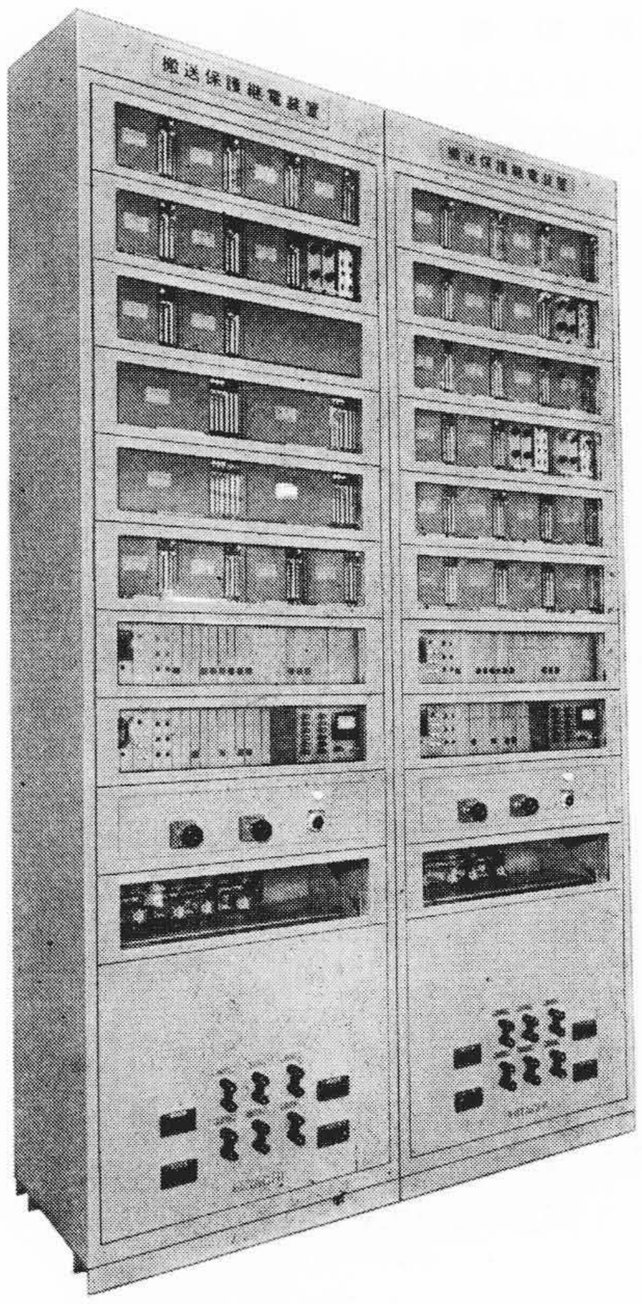


図1 超高速度方向比較搬送継電装置

2.2 PD. CT 回路消費 VA の減少

搬送継電装置用主継電器および後備保護用距離継電器を総合して，PD 二次回路は1相当たり 8.5 VA 以下，CT 二次回路は1相当たり 10 VA 以下の低負担であり，電磁形継電器に比べるとそれぞれ 1/10，および 1/4 に減少している。

2.3 装置の小形化

図1は本装置2端局分の外観である。1回線1端局が1面であり，電磁形装置に比べて1/3小形化できた。構造はラック式キュービクル形であるため装置内部の占積率が高い。裏面端子が外部に露呈しないため導電物の裏面端子接触によるトラブルを防ぐことができる。

3. 装置の構成と継電方式

3.1 装置の構成

本装置は超高速度方向比較搬送継電方式による主保護と，高速度距離継電方式による後備保護からなる。

搬送継電方式は距離方向継電器を用いた方向比較方式であり，背

* 日立製作所日立研究所
** 日立製作所国分工場
*** 日立製作所那珂工場

後電源条件は両端とも電源ありとしている。信号方式は事故時送出阻止釈放方式であり，信号伝送時間は継電器盤との受け渡し回路を含めて0.15サイクルの高速度である。

後備保護用距離継電器はモーリアクタンス複合特性を有し，短絡3相地絡3相分を組み込んでいる。また事故相検出継電器の動作を条件に地絡主保護または高速度後備保護装置が動作したとき単相再閉路を行なうことができる。

トランジスタ回路の回路電圧は24 Vで，これを所内バッテリーDC 110 Vから抵抗分圧式の簡単な回路によりとり出し信頼性を高めるよう留意している。

トランジスタ回路は，温度影響を受けがたいシリコントランジスタスイッチング回路を用い −10～50℃ の範囲で安定した温度特性を得ている。PD，CT 回路および直流入力回路には，リミッタ，サージ吸収回路を設け耐サージ性を向上した。また装置自体の信頼度を向上するために，とくに電子回路部品に対しては詳細な試験を行なって従来より一段と信頼度の高いものを選択採用し，回路設計において部品のディレィティング使用を徹底し，かつ回路の冗長性をじゅうぶんもたせるよう考慮している。

3.2 継 電 方 式

図2は継電方式の概要を示すもので，本装置1端局分のブロック図である。主要継電器の仕様は表1に示すとおりである。

（1） 短 絡 保 護

短絡主保護距離継電器の位相特性は図3に示すように44SIがモー特性，44SO，44OMがオフセットモー特性である。継電器は44SI，44SOおよび感度協調用過電流要素を合わせて1相分1ユニットを構成してあり，1相分の外観を示したのが図4である。事故相検出継電器27 ϕ は電流補償付不足電圧特性をもっている。

区間内事故が発生すると，保護区間の両端で44SIが動作するから搬送信号はなくなり，27 ϕ が2相以上動作または51G不動作によって2相以上事故を確認して3相トリップを指令する。

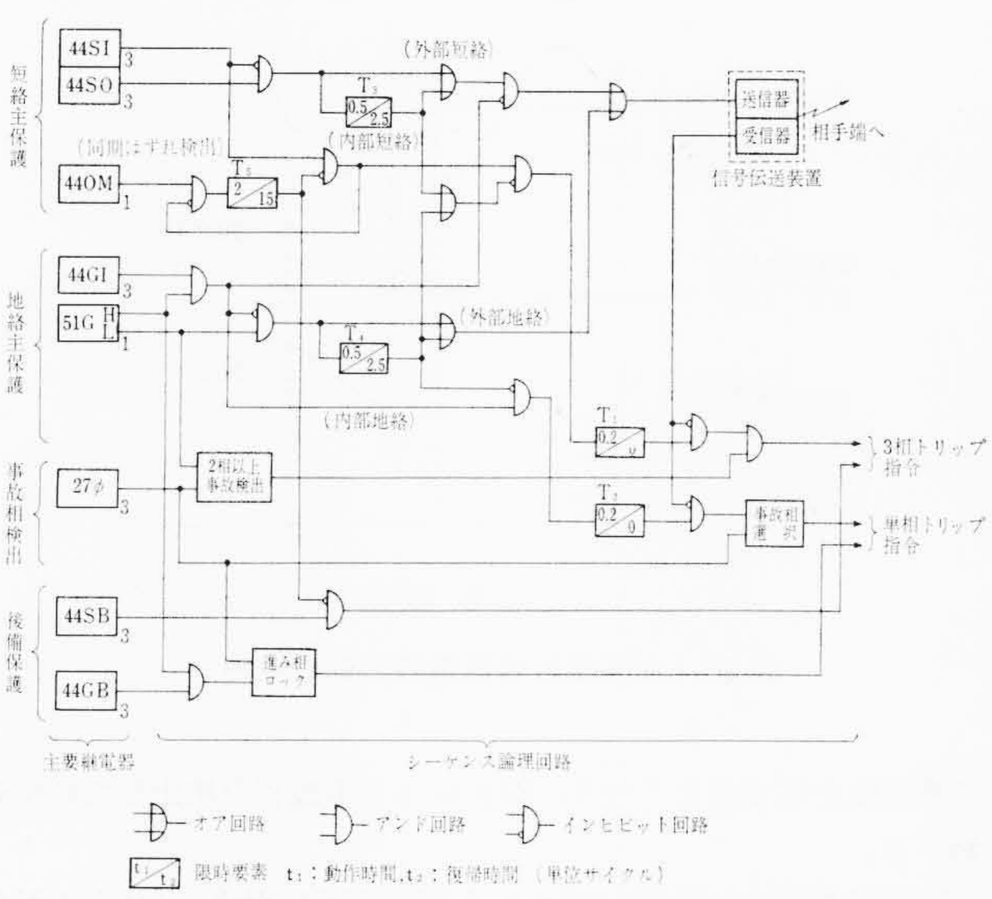


図2　超高速度方向比較搬送継電方式説明図

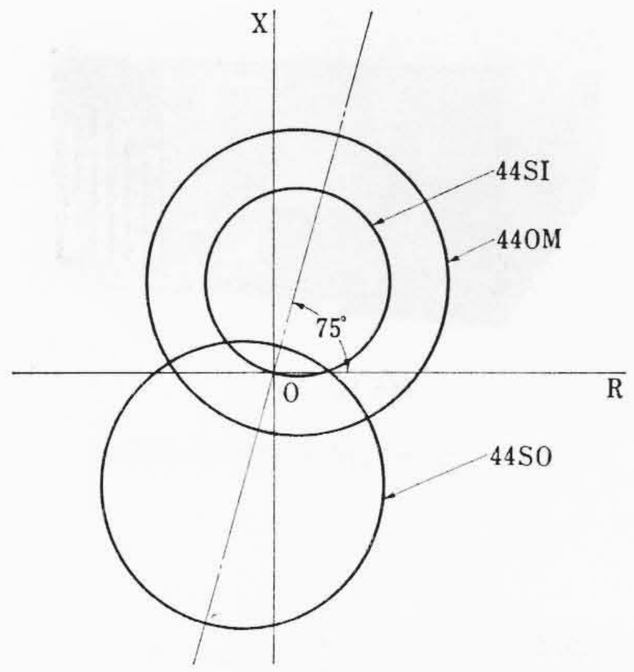
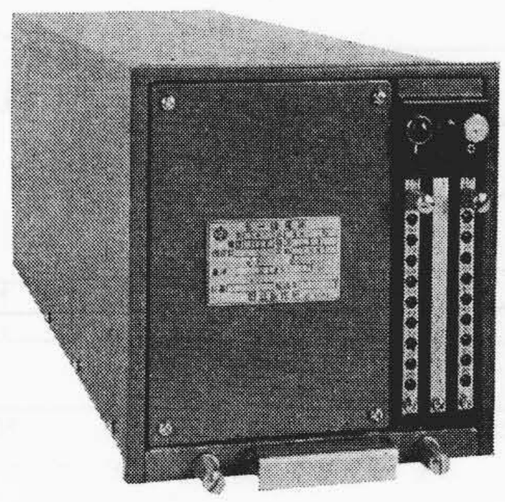


図3　短絡主保護距離継電器の位相特性



(44 SI，44 SO 1相分)

図4　短絡主保護距離継電器

表1 主 要 継 電 器 一 覧 表

器具番号	名称	用途	形式	定格	仕様
44SI	短絡距離継電器	短絡内部検出	SHY-QN-6K$_2$	110 V，5 A DC24 V	3～15Ω，10% ステップ，過電流要素付
44SO		短絡外部検出			前方 3～15Ω，10% ステップ，後方2Ω過電流要素付
44OM	距離継電器	同期はずれ検出	SHY-QN-7K$_2$	110 V，5 A DC24 V	前方 3～15Ω，10% ステップ，後方3Ω
44GI	地絡距離継電器	地絡内部検出	SHYG-N-6K$_2$	110 V，63.5V，5 A DC24 V	3～15Ω，10% ステップ
51G	地絡過電流継電器	地絡事故検出	SO2-QN-6K$_2$	5 A DC24 V	0.5～2.5 A，0.5 A ステップ　H要素，L要素組込み
27 ϕ	不足電圧継電器	地絡相検出	SVO3-QN-6K$_2$	63.5 V，5 A DC24 V	30～45 V タップ，5 V ステップ電流補償付 3相分組込み
44SB	短絡距離継電器	後備保護	SHX-QN-6K$_2$	110 V，5 A DC24 V	モーリアクタンス複合特性，過電流要素付 モー整定　3～15Ω，10% ステップ リアクタンス整定　1～10Ω，1% ステップ
44GB	地絡距離継電器	後備保護	SHXG-QN-6K$_2$	110 V，63.5 V，5 A DC24 V	モーリアクタンス複合特性 モー整定　3～15Ω，10% ステップ リアクタンス整定　1～10Ω，1% ステップ

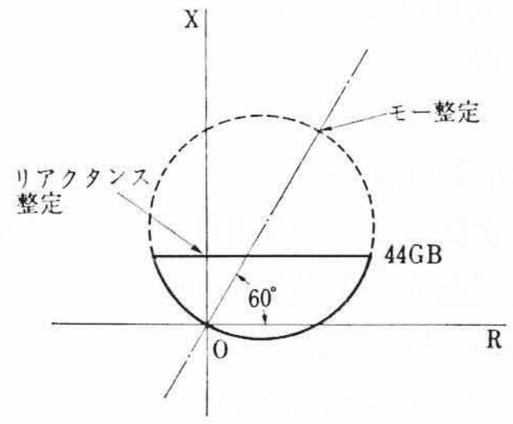
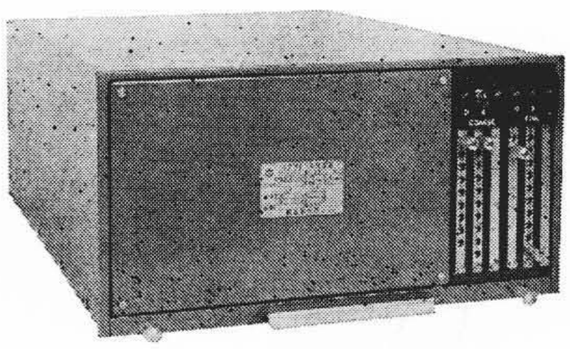


図5　短絡後備保護距離継電器の位相特性



(44SB，1相分)

図6　短絡後備保護距離継電器

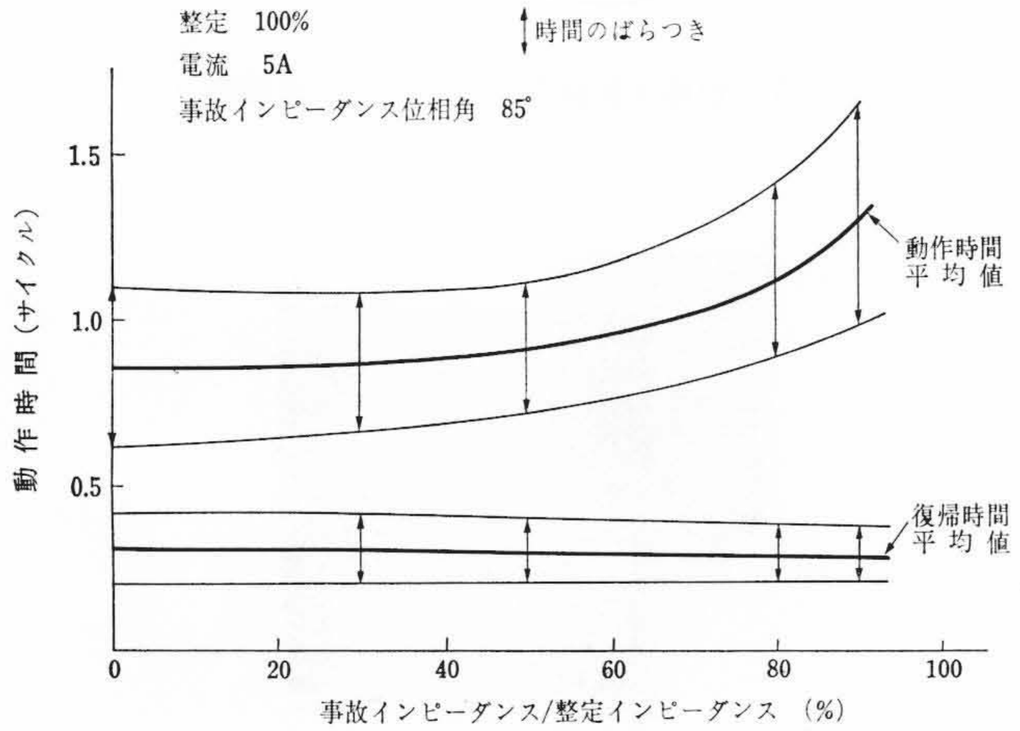


図7　短絡後備保護距離継電器(44SB)の動作，復帰時間特性

区間外事故のときは，いずれか1端の44SOが動作し搬送阻止信号を放送するので，両端のトリップ指令をロックする。

短絡後備保護用距離継電器の位相特性は図5に示すようにモーリアクタンス複合特性となっている。継電器は過電流要素も内蔵しており，図6は1相分の外観である。本継電器には第一段のほか，第二段，第三段を組み込むこともできる。第一段のオーバリーチは1%以内であり，動作時間は図7に示すように定格電流において整定値の80%以内の地点で1.5サイクル以内の高速度である。

同期はずれ時は，44OMと44SIの動作時間差でこれを検出し，短絡主保護および高速度後備保護回路をロックする。

(2)　地　絡　保　護

地絡主保護距離継電器44GIの位相特性は，図8に示すようなモー特性である。事故検出用地絡過電流継電器51Gは感度協調のため高整定H，低整定Lの2要素を有している。

区間内事故が発生すると，両端で44GIと51GHが動作するので搬送阻止信号はなくなり，27ϕにより事故相を検出して単相遮断する。

区間外事故のときはいずれか1端で51GL動作，44GI不動作の条件がそろうので搬送阻止信号を送信し両端のトリップ指令を阻止する。

地絡後備保護用距離継電器も短絡用と同様に図9に示すようなモーリアクタンス複合特性となっている。トリップ指令は事故相のみに行なわれるが，27ϕにより2線地絡事故時の進み相のオーバリーチを防ぐ。

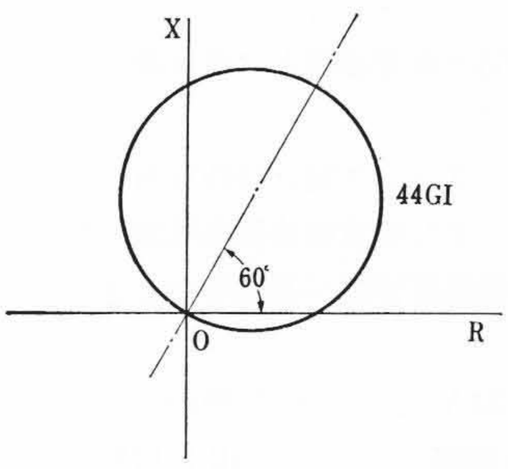


図8　地絡主保護距離継電器の位相特性

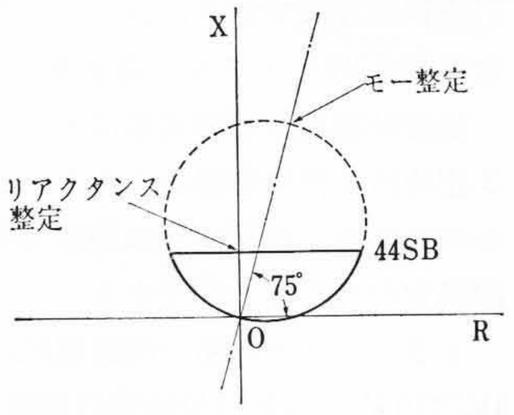


図9　地絡後備保護距離継電器の位相特性

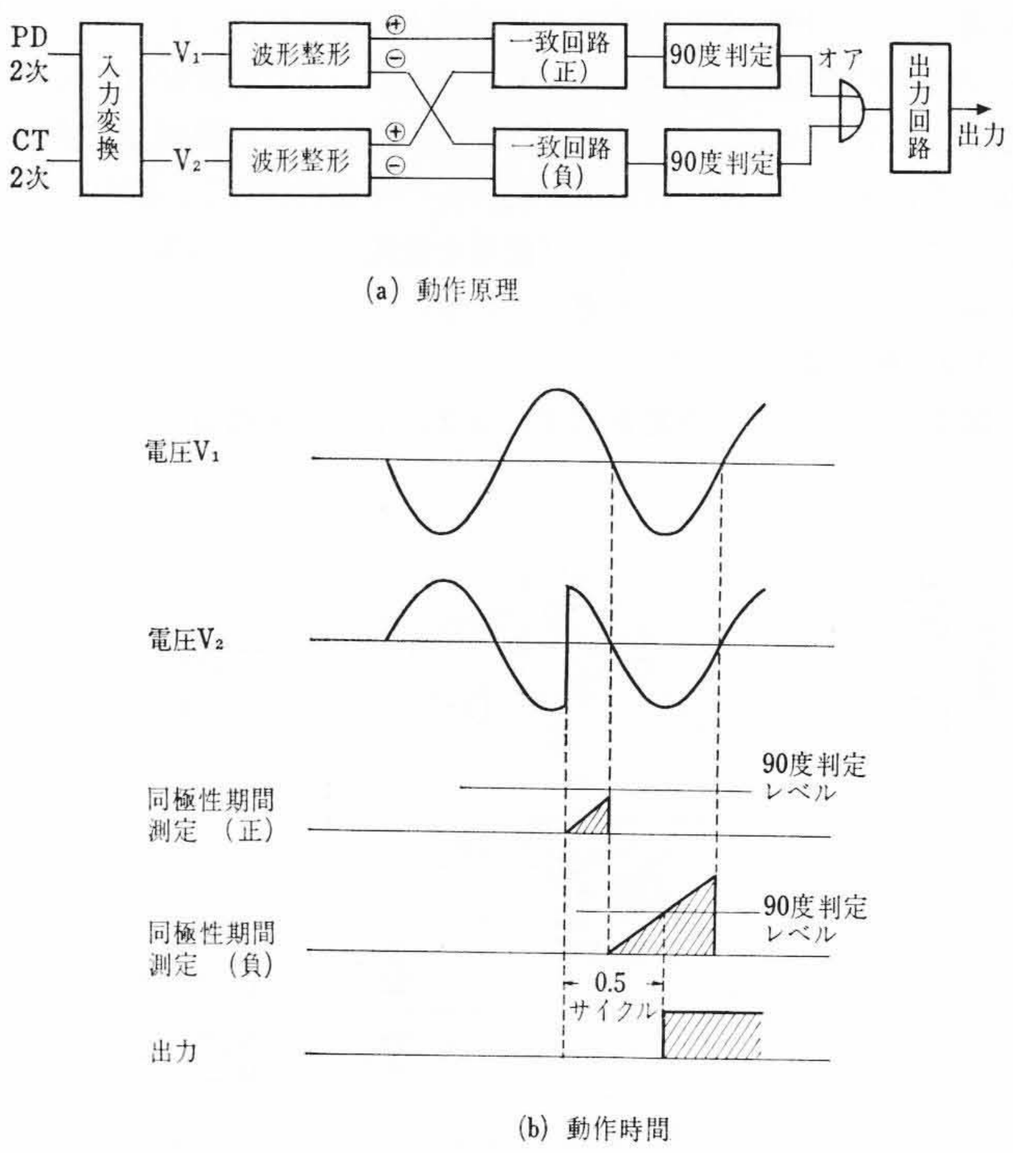


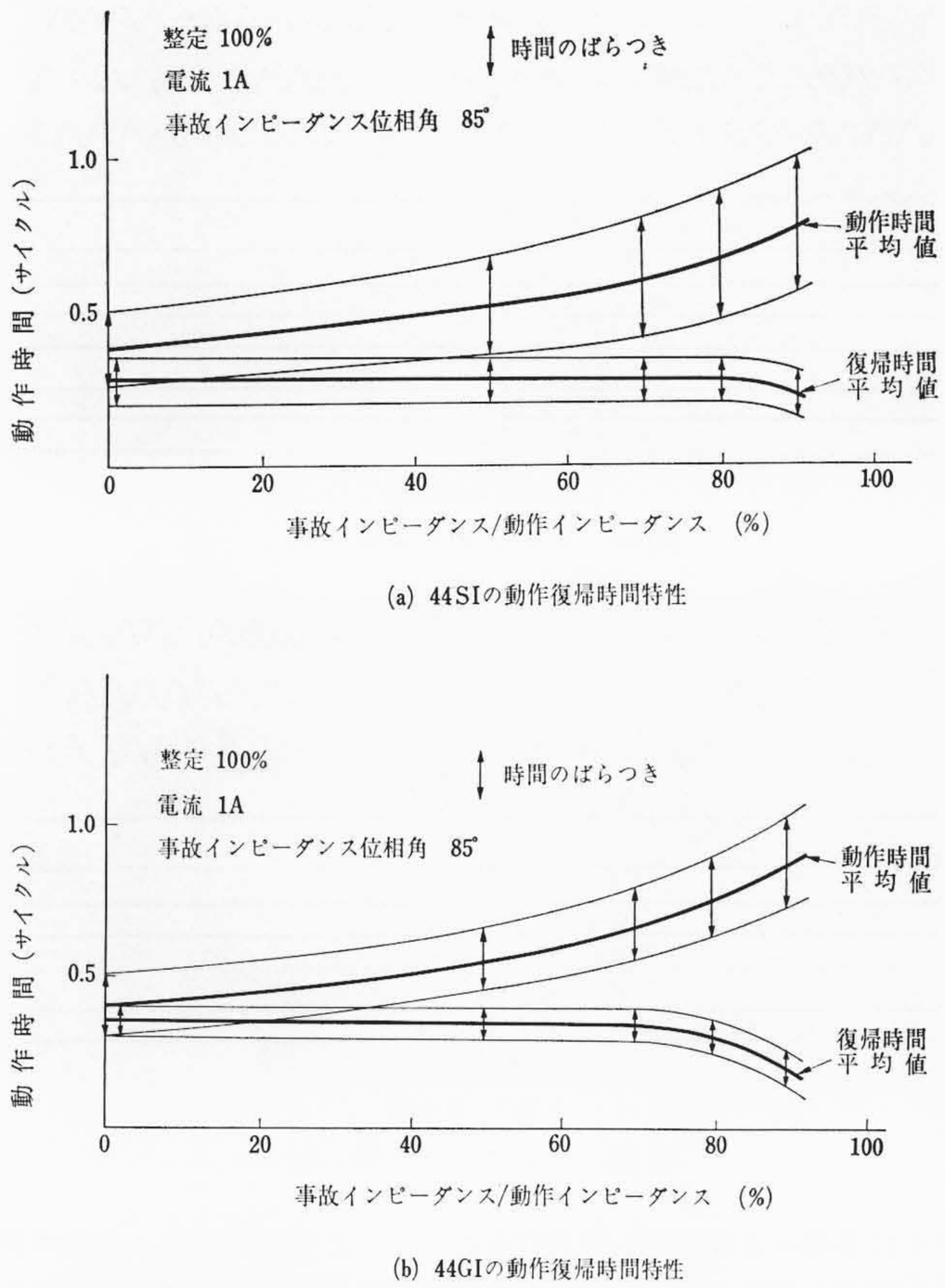
図10　主保護距離継電器の動作原理

4.　主保護用距離継電器

主保護用距離継電器は本装置の中心的役割を果たすものであり，その動作時間について検討した結果を述べる。

4.1　距離継電器の原理と動作

距離継電器の動作原理は，図10(a)に示すように，PD，CTよりの入力を合成した二つの交流電圧V_1，V_2[2]が同極性にある期間が電気角90度以上のとき動作するものである。90度判定回路を正，負別に設けたのは，事故発生直前の反対極性の影響をなくし過渡応動を安定にするためである。したがって動作時間の最小値は原理的に90度(0.25サイクル)になるが，事故発生時の電圧位相角が図10(b)のような場合には最初の判定(正)では90度にわずかに達せず



(a) 44SIの動作復帰時間特性

(b) 44GIの動作復帰時間特性

図 11 主保護距離継電器の動作，復帰時間特性

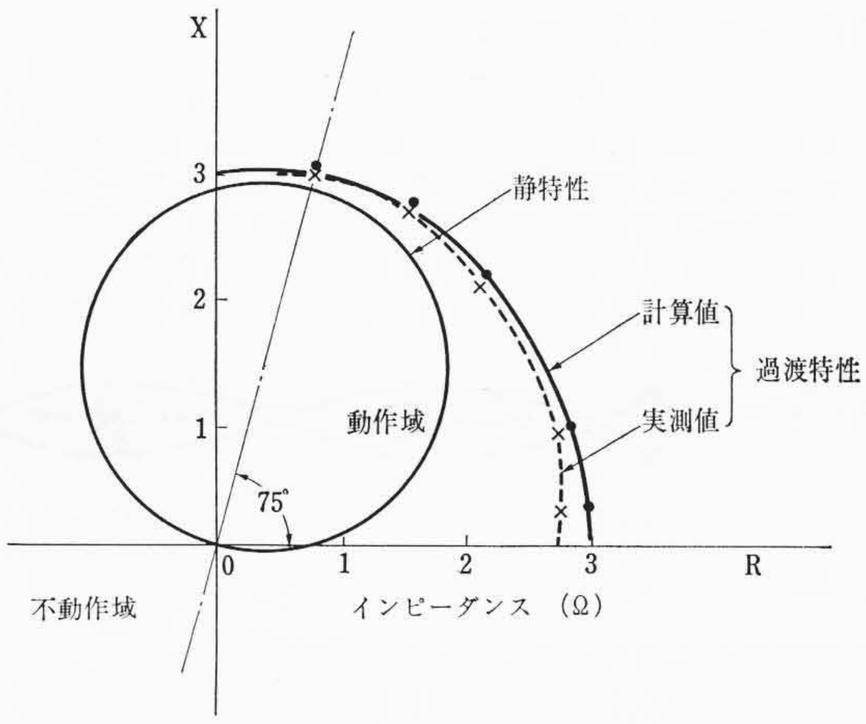


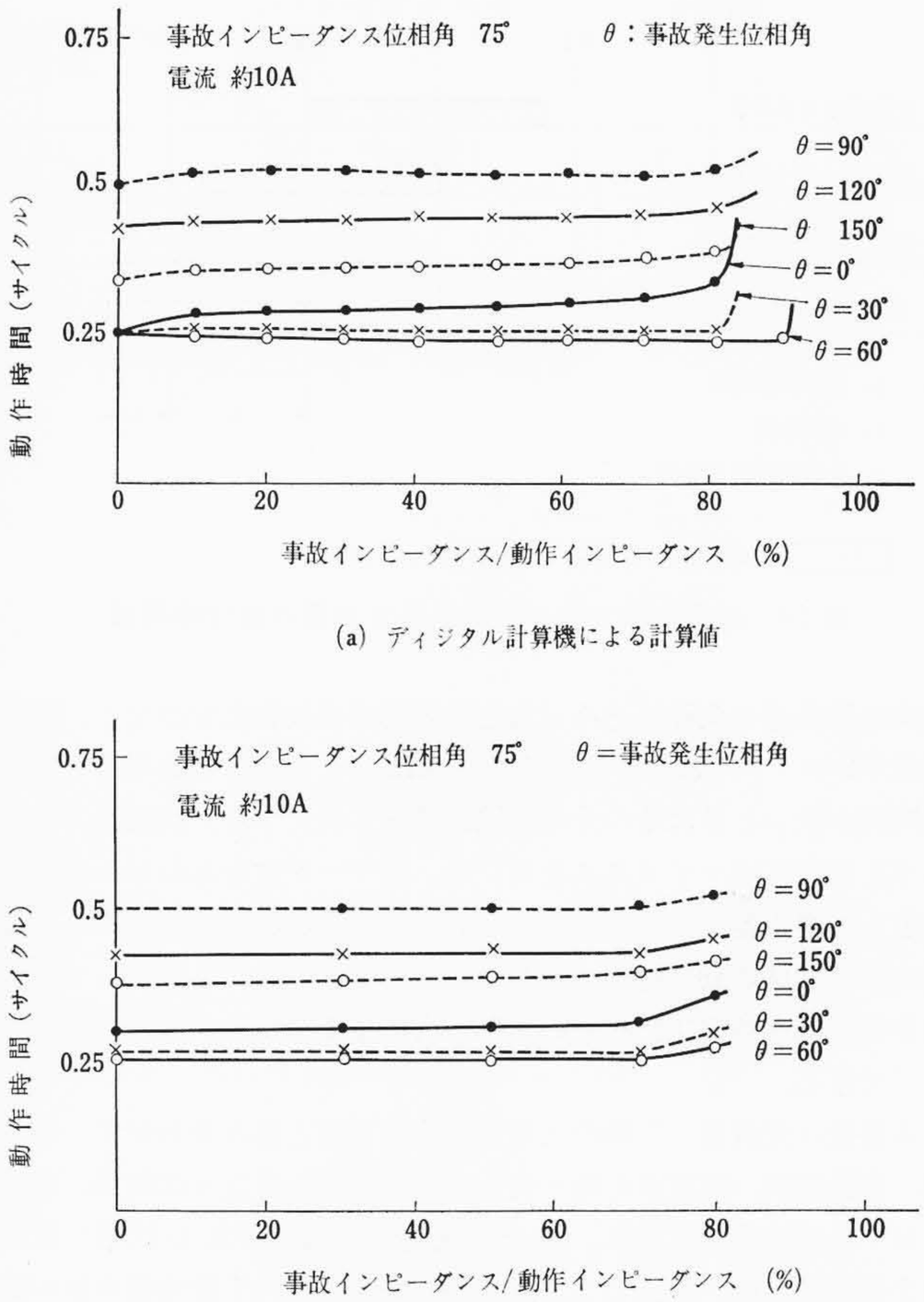
図 12 主保護距離継電器の過渡応動の解析例

次の判定（負）で90度に達するので，この場合の動作時間は最大値0.5サイクルとなる。もっとも事故点抵抗が大きく事故点がモー特性の周辺近くになると動作時間の最大は0.75サイクルとなるが，一般に事故点はモー特性の最大感度角付近にあるので，動作時間は原理的には0.25～0.5サイクルと考えればよい。

図11は事故電流が継電器定格値の20%における動作復帰時間特性であり，保護区間インピーダンスが整定値の30%以下になるように整定すれば，動作時間は0.6サイクル以内となる。

4.2 距離継電器の過渡応動

距離継電器を高速度動作とするに当たって，事故発生時の事故電流直流分の影響を受けないように，継電器内部の回路構成をとくに注意した。そこでその結果が正しいことを解明するために系統定数と継電器回路定数を考慮してディジタル計算機により計算した。



(a) ディジタル計算機による計算値

(b) 模擬送電線による実測値

図 13 系統定数，継電器定数を考慮に入れた動作時間解析例

図12は短絡距離継電器44SIについて過渡特性を解析した結果を位相特性で表わしたものである。ディジタル計算機による計算値と模擬送電線によって実測した値とはほぼ一致している。第一象限では，過渡特性が静特性の動作範囲より大きくオーバリーチしているが，44SIの目的が距離測定でなく方向判定であるから正動作であり，むしろアーク抵抗分をカバーした形となっている。一方，外部方向事故に当たる第三象限について同様の解析を行なったが，計算値，実測値ともすべて不動作であり，方向判定を正しく行なうことが明らかとなった。

また，継電器の過渡応動には，PD，CTの過渡特性の影響があり[3][4][5]，実系統への適用に当たっては事故現象とPD, CT特性の関連に注意を払う必要があるが，その詳細は別の機会に報告したい。

次に内部方向事故時の動作時間について，事故発生位相角を種々変えた場合の解析例を示すと図13のようになる。（a）は計算値，（b）は事故発生位相角を制御して行なった実測値であり，両者はほぼ一致している。事故電流は継電器定格値の約2倍である。動作時間は事故発生位相角によって決まり，0.25～0.5サイクルの範囲にあることがわかる。

5. 総合動作時間

搬送継電装置の総合動作時間は各要素の動作時間の積み重ねで決まるが，各要素および総合の動作時間は以上述べたことにより図14のように示される。

主保護距離継電器44SIまたは44GIの動作時間は事故発生位相角により変わるが，0.25サイクルから0.5サイクルまでの範囲にある。主保護距離継電器が動作すると搬送阻止信号を停止し，これと

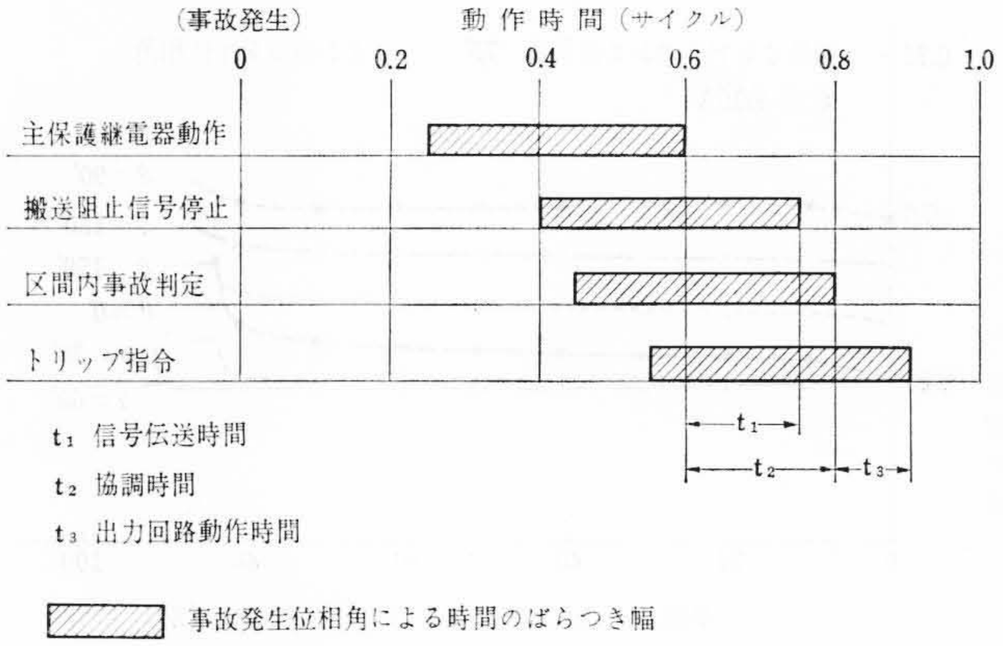


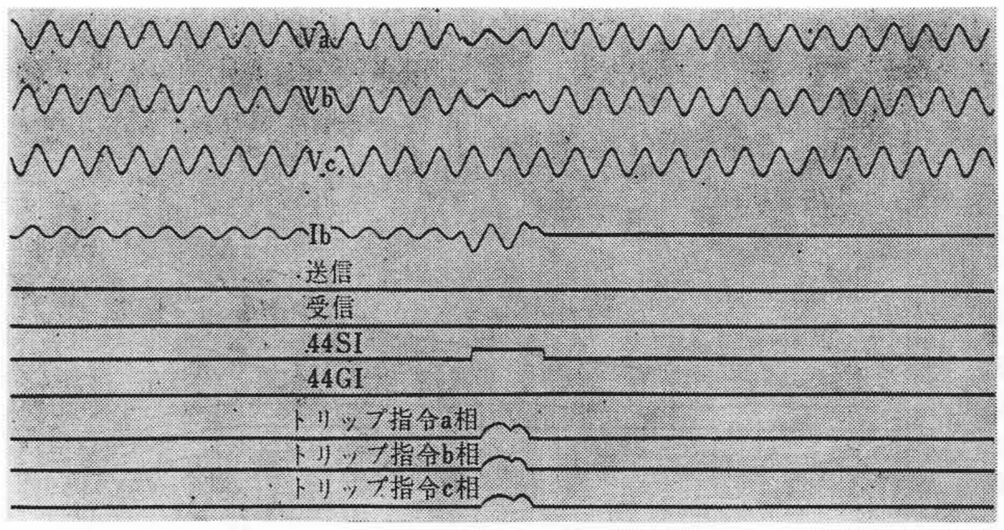
図 14　超高速度方向比較搬送継電装置の動作時間図

協調時間経過の条件がそろったとき区間内事故判定を行なう。協調時間 0.2 サイクルは信号伝送時間が 0.15 サイクルの場合であり，伝送時間が長いときはその分だけ協調時間も長くする。装置出力の引はずし回路にはサイリスタを用いた。耐サージ性をもたせるため高速度小形継電器により駆動し，さらにサージ吸収回路を設けた結果，引はずし回路の動作時間は 0.1 サイクルとなった。したがって総合動作時間は事故発生位相角の影響を含めて 1 サイクル以内とすることができる。

本装置は完成後，工場の大容量模擬送電線と組み合わせて，事故相，事故種類，事故点を種々変えて詳細試験を行なった結果，所期どおりの好成績を収めた。**図 15** は通過負荷電流がある状態で区間内 2 線短絡事故が発生した場合，**図 16** は区間内 1 線地絡事故が発生した場合のそれぞれ片端局分のオシログラム例であるが，いずれの場合も 1 サイクル以内のトリップ指令を行なっている。

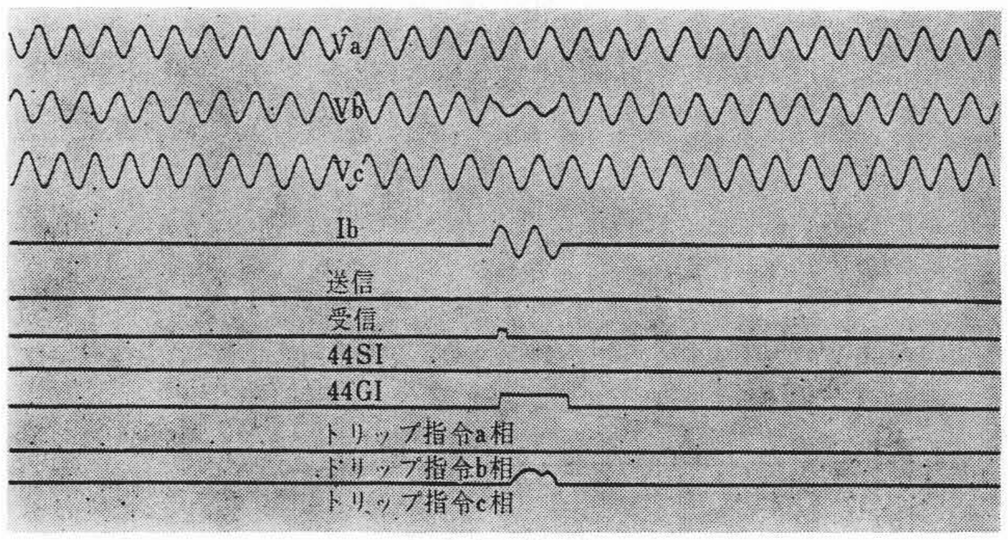
6. 結　　言

以上，500 kV 送電線保護用超高速度方向比較搬送継電装置の概要について述べた。本装置は，1 サイクル以内の超高速度動作が可能であり，PD, CT 回路の消費 VA を減少したこと，装置を小形化したことなどの特長を持っている。継電器の過渡応動についてもディジタル計算機により解析し正動作を行なうことを確認した。今後は簡単な構成を特長とする位相比較搬送継電装置の超高速度化の検討を進める考えである。



（区間内 2 線短絡）

図 15　オシログラム例（1）



（区間内 1 線地絡）

図 16　オシログラム例（2）

終わりに，本装置の開発に当たり，ご指導とご協力をいただいた関係各位に心からお礼を申しあげる。

参　考　文　献

（1）　狩野，三田，黒木：　日立評論　**47**，1947（昭 40-12）
（2）　抜山，三木：　日立評論　**47**，1942（昭 40-12）
（3）　三木ほか 3 名：　昭 44 電四連大　No. 1202
（4）　三木：　昭 42 電気学会東京支部大会　No. 263
（5）　三木，森戸ほか 2 名：　日立評論　**51**，559（昭 44-6）

特　許　の　紹　介

特許 第479272号（特公昭41-3347号）

故　障　検　出　継　電　器

渡　井　三　夫

この発明は送電線などに事故が発生した際電圧が降下することに注目し，低電圧継電器によって健全相の電圧より下がったとき，異常状態とみなして動作する故障検出継電器に関するものである。

図について説明すると磁極 1, 2, 3, 4 を有する主鉄心 5 と磁気的に関連づけられる中心極 6 を設け，主鉄心 5 と中心極 6 の形成する空げき 7 に回転可能に誘導円筒 8 が設置される。また磁極 1, 2, 3 にはこの継電器の入力電圧となる線間電圧 V_{AB} が印加されるべき電圧コイル 9 が巻かれ，磁極 4 にはこの継電器の入力電流となる電流 (I_A-I_B) が流入するよう電流コイル 10 が巻かれる。したがって継電器のトルクは変圧 V_{AB} に対する電流 (I_A-I_B) の遅れ角，すなわち送電線のインピーダンス角を φ，継電器固有の特性角を θ，継電器定数を K_1, K_2, K_3，制御バネの制御力を T_0 とし，抑制力を正，動作力を負とすると，

$$T=K_1V_{AB}\{K_2V_{AB}-K_3(I_A-I_B)\cos(\theta-\varphi)\}-T_0$$

となるので，電流がゼロの場合にある所定の電圧 V_0 以下において接点が閉路するように回転軸に設けた制御バネを張ると，この継電器は低電圧継電器として動作し，上式は

$$T=K_1V_{AB}\{K_2V_{AB}-K_3(I_A-I_B)\cos(\theta-\varphi)\}-K_1V_0^2$$

となる。したがって継電器の動作限界においてはトルク $T=0$ となるので動作特性は

$$K_1V_{AB}\{K_2V_{AB}-K_3(I_A-I_B)\cos(\theta-\varphi)\}-K_1V_0^2=0$$

となる。ここで $\theta=\varphi$ となるように特性角 θ を選定すると動作回転力は故障電流の位相角が θ なる場合に最大となる。

この発明は以上のように積応動継電器の 1 入力として回路の線間電圧（たとえば V_{AB}）を，ほかの入力として回路の線間電圧とそれらの各相の差電流のベクトル差（たとえば $V_{AB}-(I_A-I_B)$）を入力とし，可動部の制御力をこの継電器が低電圧継電器として動作することにより送電線路の故障検出器としてきわめてすぐれた特性を示すものである。長距離送電線などにおける遠端での故障に対してもじゅうぶんの検出動作が期待できるものである。　（西宮）

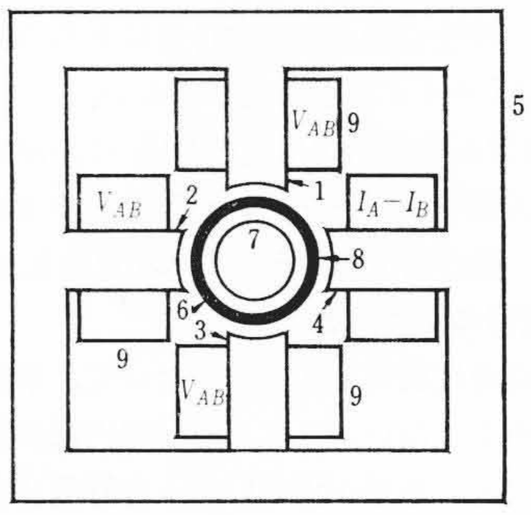


図　1