

各種距離継電器の動向

The Recent Tendency of Distance Relays

渡井 三 夫*
Mitsuo Watai

内 容 梗 概

最近の送電線はその背後に大きな電力をひかえて運営されているので、安定度を確保するために故障の高速除去がぜひ必要とされている。高速度距離継電器は高速度動作とともに確実な選択性によつてこの要求にこたえ、広く重要幹線の保護に使用されている。

本文においては各種距離継電器の概要と、日立製作所において製造している短絡、接地保護用距離継電器およびその適用について記すとともに、今後の問題として着目されている電子管式距離継電器の動きなどについてその概要を述べる。

1. 緒 言

電源開発が進み系統が大きくなるにつれて、これらを結ぶ送電線の役割はますます重要になつていく。特に超高压送電線は送電距離も長く、送電電力の大きい重要幹線をなし、一度これらに故障が発生すると広範囲にわたり電力の供給に支障をきたすので、きわめて安定、強固なものでなければならない。そのためには送電線自体の無事故を期するとともに、保護継電方式も特に確実で信頼度の高いことが必要である。

超高压送電線においては過渡安定度の増加、故障による線路または機器の損傷の軽減、また直接接地系統においては通信線などに対する誘導障害の軽減などの見地から高速度遮断が要求されるが、さらに安定度を積極的に確保するため高速度再閉路方式を併用することが望ましい。

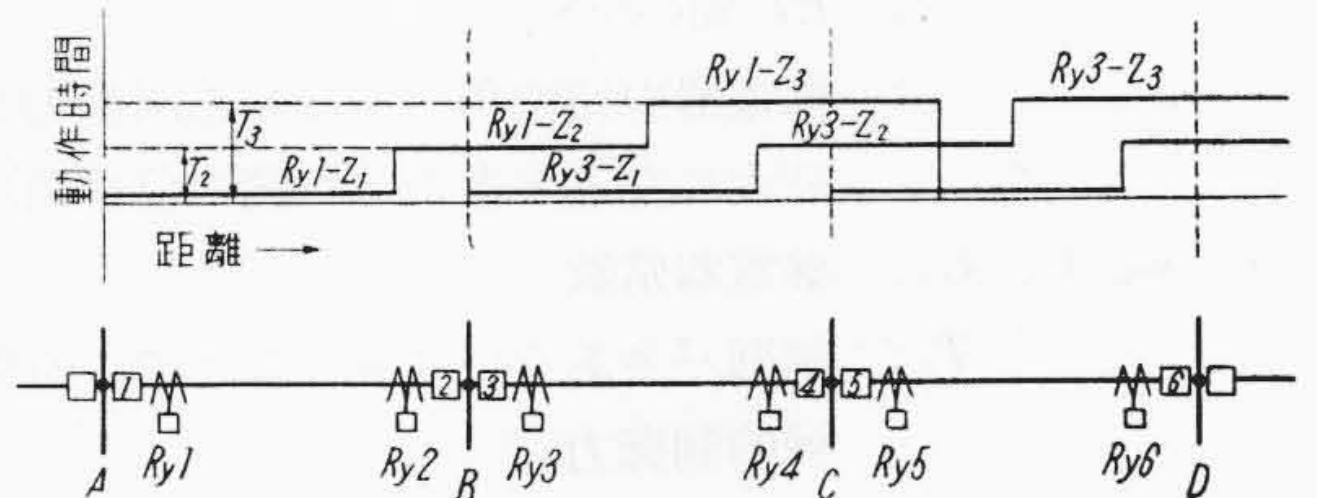
一方わが国の送電線は並行二回線構成のものが多く、したがつて保護継電方式は平衡保護継電方式を主流とし、一回線に対しては反限時過電流、または限時付方向過電流保護継電方式によるのが一般であつた。しかし平衡保護継電方式は一回線送電時にはその機能を失い、過電流保護継電方式は動作時間が長い欠点があり、いずれも超高压送電線の保護には不適當である。

これらの点より現在、超高压送電線の保護には短距離送電線では表示線保護継電方式、また中距離以上の送電線には距離保護継電方式が広く採用されるようになってきた。さらに搬送方式を組合せた距離搬送保護継電方式によれば、高速度同時遮断、高速度再閉路が可能で系統の安定度を著しく向上させることができる。

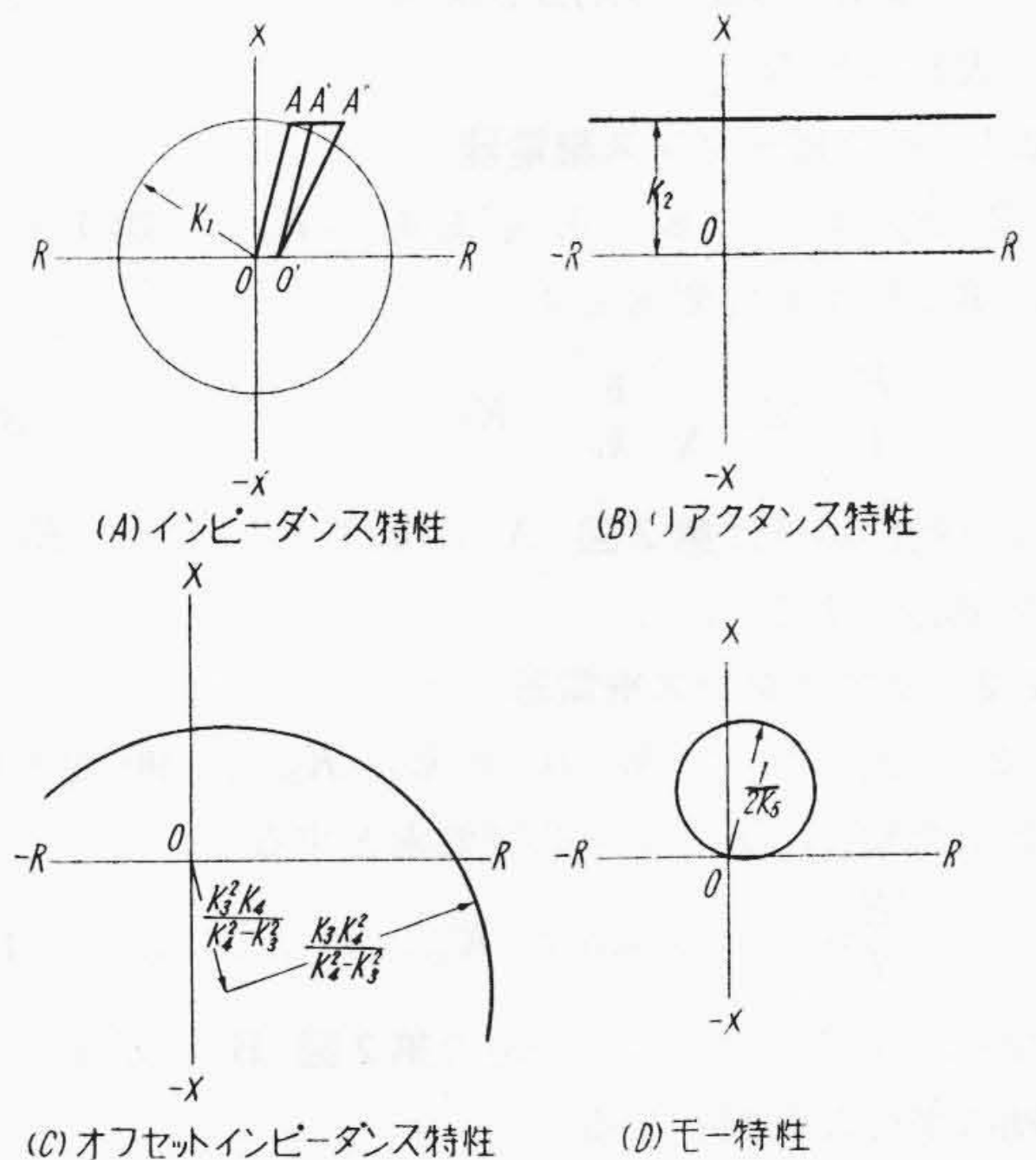
2. 距離継電器の概要

距離継電器とは故障点までの距離を測定して、故障区間の選択遮断に用いられる継電器で、単一送電線、並行送電線環状送電線のいずれにも使用でき、故障電流の大

* 日立製作所多賀工場



第1図 高速度距離継電器の整定および動作時間



第2図 各種距離継電器の特性

小によつて動作が影響されない特長がある。しかし中性点高インピーダンス接地系統においては接地距離継電器を使用することは困難である。

距離継電器は動作時間によつて限時動作および高速度動作に分けられる。高速度継電器は一般に3個の距離測定要素よりなり、これらは第1図に示すように限時継電器との組合せにより階段限時遮断を行うとともに第3段要素により同期はずれ時に誤動作せぬよう鎖錠を行つて

また送電線の故障時のインピーダンスは、線路インピーダンスのほかにアーク抵抗を考慮すると短絡継電器では第 2 図(A) $OAA'O'$ で、接地継電器ではさらに大地抵抗を考えると $OAA''O'$ の範囲で示され、これを検出動作する距離継電器も動作特性によつて分類すると次に述べるような 4 種類に大別される。

一般に継電器は可動接点を有する電機子または誘導回転子と電磁石よりなり、電磁石の巻線は電圧線輪、電流線輪あるいは両方の組合せよりなり、これらによつて発生される回転力は次式で示される。

$$T = k_e E^2 + k_i I^2 + k_{ei} EI \cos(\theta - \gamma) + T_0 \dots (1)$$

ただし EI : 継電器電圧および電流

θ : EI 間の位相角

γ : 継電器の特性角 (すなわち回転力が最大になるときの EI 間の位相角)

k_e, k_i, k_{ei} : 継電器常数

T_0 : 制御バネあるいは重力などによる機械的制御力

ここで $T_0 = 0$ と仮定すれば、継電器の動作限界においては $T = 0$ なるゆえ、継電器の動作特性は

$$k_e E^2 + k_i I^2 + k_{ei} EI \cos(\theta - \gamma) = 0 \dots (2)$$

にて表わされる。

2.1 インピーダンス継電器

(2) 式において $k_{ei} = 0$, $\sqrt{k_i/k_e} = K_1$ とし第 1 項を抑制、第 2 項を動作要素とすると

$$\frac{E}{I} = Z = \sqrt{\frac{k_i}{k_e}} = K_1 \dots (3)$$

となり動作特性は第 2 図(A) に示すように半径 K_1 、原点を中心とする円になる。

2.2 リアクタンス継電器

(2) 式において $k_e = 0$, $k_i/k_{ei} = K_2$, $\gamma = 90$ 度として第 2 項を動作、第 3 項を抑制要素とすると

$$\frac{E}{I} \sin \theta = Z \sin \theta = K_2 \dots (4)$$

となり、リアクタンスが一定で第 2 図(B) に示すように R 軸に平行な直線となる。

2.3 オフセットインピーダンス継電器

(2) 式の第 1 項より第 3 項までを使用したもので、 $k_e I^2$ で割るとインピーダンスの極座標式は

$$Z^2 - \frac{k_{ei}}{k_e} Z \cos(\theta - \gamma) = \frac{k_i}{k_e}$$

ここで $k_i = 1$, $k_e = \frac{1}{K_3^2} - \frac{1}{K_4^2}$, $k_{ei} = \frac{2}{K_4}$ として Z について解くと

$$Z = \frac{K_3^2 K_4}{K_4^2 - K_3^2} \cos(\theta - \gamma) + \sqrt{\left(\frac{K_3^2 K_4}{K_4^2 - K_3^2}\right)^2 \cos^2(\theta - \gamma) + \left(\frac{K_3 K_4^2}{K_4^2 - K_3^2}\right)^2}$$

$$- \left(\frac{K_3^2 K_4}{K_4^2 - K_3^2}\right)^2 \dots (5)$$

となり、第 2 図(C) に示すように半径は $\frac{K_3 K_4^2}{K_4^2 - K_3^2}$ 、中心は原点より $\frac{K_3^2 K_4}{K_4^2 - K_3^2}$ オフセットした円になる。

2.4 モー継電器

(2) 式において $k_i = 0$, $k_{ei}/k_e = K_5$ として、第 1 項を抑制要素、第 3 項を動作要素にすると

$$\frac{Z}{\cos(\theta - \gamma)} = K_5 \text{ あるいは } Y \cos(\theta - \gamma) = \frac{1}{K_5} \dots (6)$$

となる。第 2 図(D) にこれを示す。

3. AZ 型 QC 式高速度インピーダンス継電器—短絡距離継電器

短絡距離継電器としていかなる特性の継電器が適しているかは系統の状態、製作上の諸問題などによつて簡単に優劣を論ずることはできないが、日立製作所においては AZ 型 QC 式高速度インピーダンス継電器を短絡距離継電器として製作している。

本器の詳細についてはさきに本誌に発表されているので省略するが、本器は KHV 型 QC 式高速度方向継電器や、CM 型限時継電器を併用することにより、

(1) 距離測定精度が高く数パーセント以下の誤差で確実に選択動作する。

(2) 内部故障に対しては 2 c/s 程度の高速度で動作し、高速度遮断器と組合せれば 6 c/s 以下の遮断が可能で、安定度の確保上きわめて有効である。

(3) 同期はずれ時の誤動作は第 3 段要素によつて完全に防がれている。

(4) 外部故障で電力方向が反転するような場合があつても誤動作のおそれはまつたくない。

など、従来の保護方式では得られないすぐれた性能を有していることが人工故障試験⁽²⁾によつて確認されている。

4. AX 型 QC 式高速度リアクタンス継電器—接地距離継電器

わが国における超高圧送電線の計画は相当以前からあつたが容易にその実現をみるにいたらず、戦後新北陸幹線において初めて 275 kV 系統が実現した。

このような超高圧送電系統においては機器絶縁耐力を軽減するため変圧器の中性点を直接々地するのが一般である。したがつて接地故障の際といえども短絡故障に近い程度の故障電流が流れるので短絡保護と同様高速度距離継電器が必要となる。

接地距離継電器としてはアーク、あるいは大地抵抗を考えた場合、これらの影響を受けないリアクタンス特性

がよいが、一面一線接地と二線接地で電流の位相が異なると誤動作しやすかったり、また常時運転において動作することがあるなどのため阻止継電器を必要とし、これらの限時協調などに問題がある。

これに比しオフセットインピーダンス特性は抵抗分の影響をうけることも少なく、またリアクタンス特性の欠点も除去されており接地距離継電器として好適である。

日立 AX 型 QC 式高速度リアクタンス継電器はオフセットインピーダンス特性をもつた高速度接地距離継電器で、第 1, 2 段の 2 個の距離測定要素より、構造上は AZ 型インピーダンス継電器と類似であるが、特に線路のインピーダンス角に合わせて抵抗分の影響を最小にするための位相角整定タップを備えている⁽³⁾。

次に接地距離継電器において特に問題になる零相補償について略記する。短絡距離継電器においては線間電圧と△電流を用いることにより正確に距離測定を行うことができるが接地距離継電器においては若干様子が異なってくる。すなわち相電圧と線電流によつて継電器を動作せしめると継電器からみたインピーダンス Z_{Ry} は次式で与えられる。

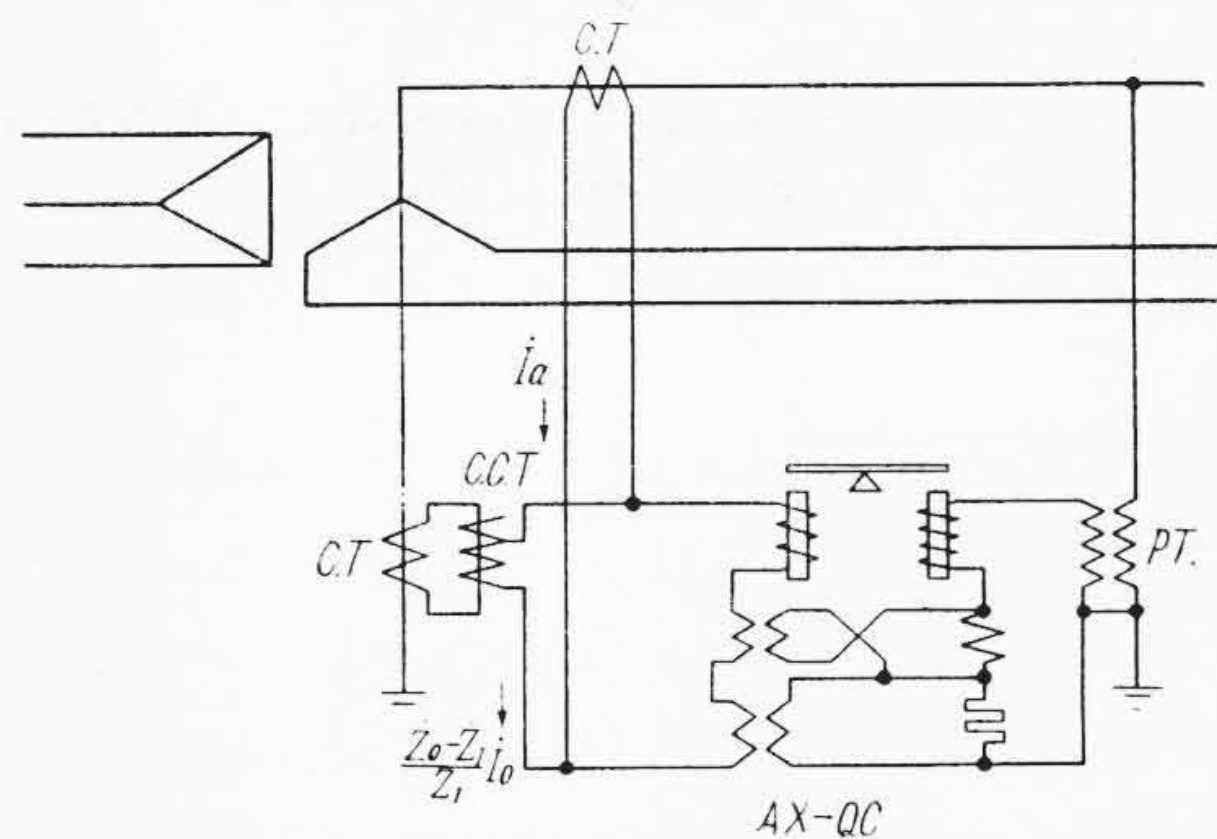
$$Z_{Ry} = \frac{E_a}{I_a} = \frac{Z_0 I_0 + Z_1 I_1 + Z_2 I_2}{I_0 + I_1 + I_2} \dots\dots\dots (7)$$

ここで I_0, I_1, I_2 : 対称分電流

Z_0, Z_1, Z_2 : 継電器設置点から故障点までの対称分インピーダンス

である。(7)式に示される測距特性は正相あるいは零相インピーダンスのいずれでもなく正確な距離測定ができない。この誤差を補償する方法には電圧または電流補償があるが、日立製作所においては次のような独特の方法を採用している。すなわち A 相一線接地の場合継電器設置点の電圧は、

$$\begin{aligned} \dot{E}_a &= \dot{Z}_0 \dot{I}_0 + \dot{Z}_1 \dot{I}_1 + \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{Z}_1 (\dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2) \\ &+ (\dot{Z}_0 - \dot{Z}_1) \dot{I}_0 = \dot{Z}_1 \left[\dot{I}_a + \frac{\dot{Z}_0 - \dot{Z}_1}{\dot{Z}_1} \dot{I}_0 \right] \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$



第 3 図 AX 型 QC 式高速度リアクタンス継電器の零相補償回路

$$\therefore \dot{Z}_1 = \frac{\dot{E}_a}{\left[\dot{I}_a + \frac{\dot{Z}_0 - \dot{Z}_1}{\dot{Z}_1} \dot{I}_0 \right]} \dots\dots\dots (9)$$

となる。したがつて継電器の電流回路に線電流と、零相補償電流を流してやれば正相インピーダンスによつて正確な距離測定を行うことができ、第 3 図はこの回路を示す。この結果きわめて正確な距離測定を行うことが昭和 29 年に行われた新北陸幹線新愛本一成出間の人工故障試験⁽²⁾によつて立証されている。

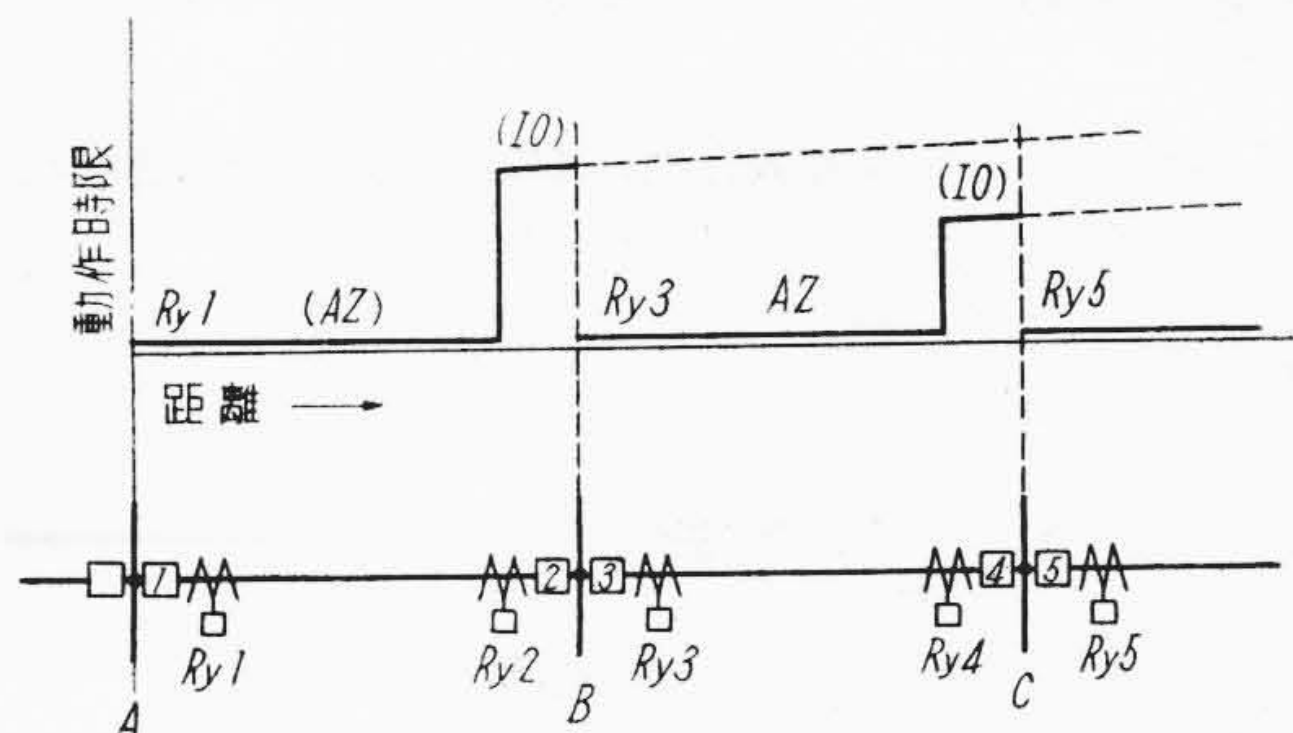
5. 距離継電器の適用

高速度距離継電方式は平衡保護継電方式あるいは限時付方向過電流保護方式に比して、動作時間、選択性などにおいて多くのすぐれた特長をもっているが、これが実用にあつてはさらに次のような諸方式としても適用されその応用範囲はいつそう広がっている。

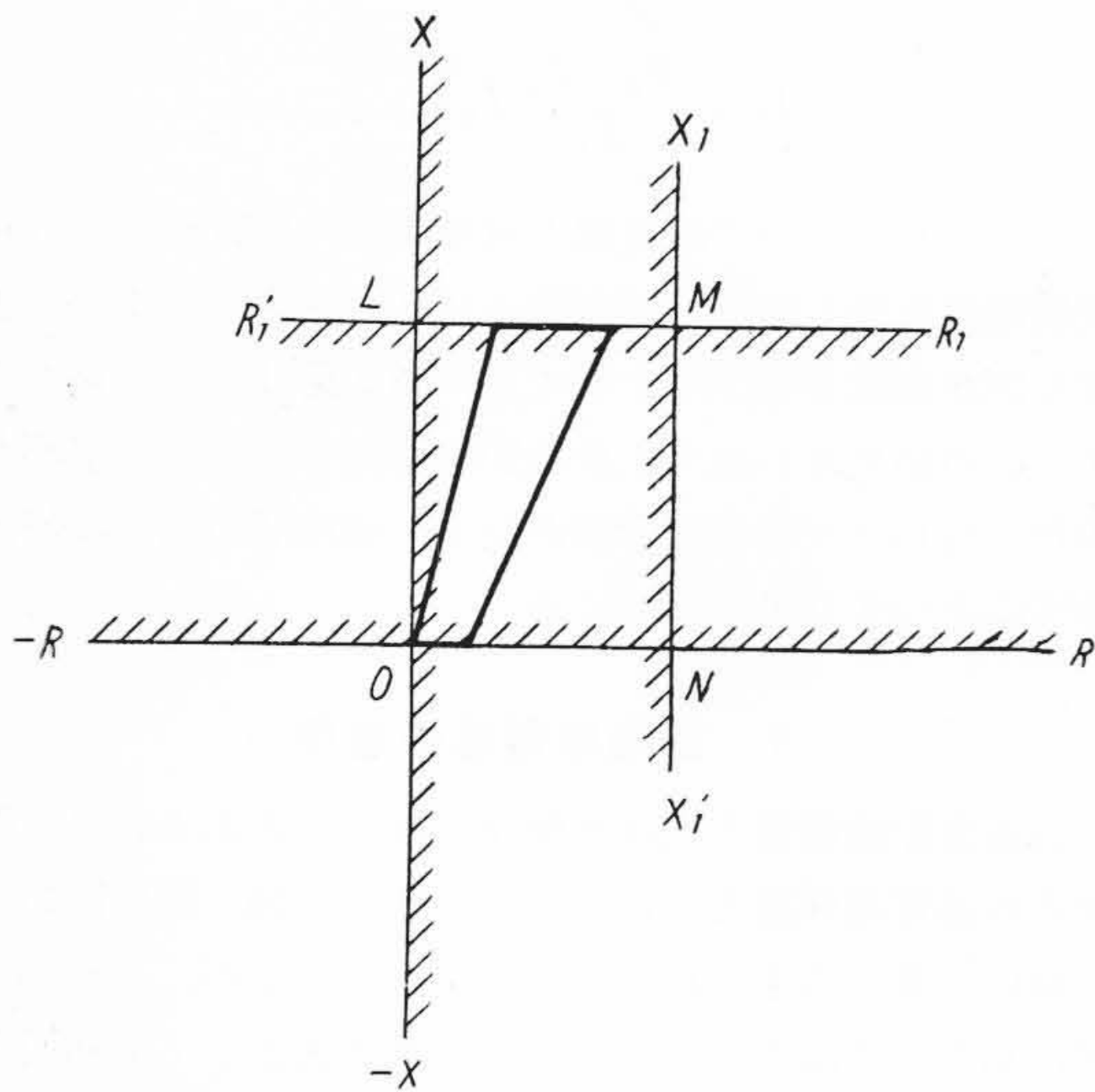
すなわち、距離継電器に搬送方式を併用し、保護区間内の故障に対して完全な高速度同時遮断を行う搬送距離継電方式⁽⁴⁾が現在実用に供されている保護継電方式中最高の保護能力をもつものといえよう。本方式については本号に別に述べているのでここでは省略する。

高速度距離継電方式、あるいは搬送距離継電方式は保護継電方式として、非常に進歩しているものではあるが、それだけに方式としては複雑で、従来の限時付方向過電流方式に比して高価になるのは避けられない。

しかし重要幹線以外の送電線で、それほど費用をかけるまでもない場合には距離継電器の第 1 段要素と限時過電流継電器を併用することにより簡易な距離継電方式が可能である。すなわち距離継電器の第 1 段要素は保護区間の約 80% 程度に整定し、この範囲内における故障に対しては高速度に動作せしめる。したがつて過電流保護方式のように限時整定を必要とせず、電源からの遠近にかかわらず高速度遮断が可能になり、故障の系統に与える影響や、故障の拡大、損傷を適切に阻止することができ



第 4 図 高速度インピーダンス継電器 (Z_1) と限時過電流継電器 (IO-C) を併用した場合の整定と動作時間



第5図 電子管式距離継電器の動作特性

る。保護区間端部の故障に対しては既設の過電流継電器をそのまま使用することができる。第4図は第1段要素のみのAZ₁型継電器とIO型限時過電流継電器を組合せた場合の保護特性を示す。

6. 電子管式距離継電器の動き

上記各種継電器はもちろん、在来の保護継電器はほとんど電磁式のもので動作時間の短縮にはおのずから限度がある。この点について考えても電子管、トランジスタなどを使用する継電器が取り上げられてくるのは当然のことである。電子管式継電器の動作時間は回路の時定数によつて決まり、電磁式のものに比し可動部の動作時間、チャタリングを省略することができる点きわめて有利である。

現在でもたとえば搬送保護継電装置の場合電子管は搬送装置の主要部品であるが、主継電器はほとんど電磁式になつている。これは主として信頼度の問題からきているが、最近米国において全電子管式方向距離継電器の運転実績も発表され⁽⁶⁾、相当信頼度の高いことが示されている。

これにかんがみ日立製作所においてもかねて実験研究

を続け、すでに多数の継電器を考案している。次にその一例として電子管式距離継電器⁽⁵⁾につき概略を述べる。いまP.Tの二次電圧 $\dot{E}$ を基準ベクトルとして $\dot{I} = I\angle -\theta$ とすると $\dot{E}$ が $\dot{I}$ より進んでいる条件は $\dot{E}\dot{I}$ の虚数部が正、すなわち $EI \sin \theta > 0$ となり、この条件をインピーダンスダイアグラム上に表すと、第5図の R_1R_1' で示すようなR軸に平行な直線になる。このほかに $\dot{E}$ と電流の抵抗あるいはリアクタンス降下の差などを考えると、たとえば第5図の4直線で示されるような特性が得られる。したがつてゲート回路によりこれら4条件がみたされたとき、すなわち四辺形OLMN内にあるときは区間内、そのいずれかがみたされないときには区間外故障と選択することができる。

7. 結 言

距離継電器は昭和25年、当時の日本発送電株式会社伊丹変電所においてわが国最初の人工故障試験が行われてから10年たらずの間に長足の進歩を遂げ、そのすぐれた選択性によつて並行送電線はもちろん、在来保護方式上最も問題になつていた単一送電線の保護に解決を与え、各方面に広く採用されている。これによつて高速度遮断器の進歩と相まつて高速度同時遮断、高速度再閉路が可能になり、最近著しく膨脹した電力系統の安定度の確保に重要な使命を果たしている。しかし一面わが国に多い多端子送電線の保護方式など残された問題も少なくない。

日立製作所においてはすぐれた性能を有し、かつ信頼度の高い継電器を需要家に提供するとともに、日立独特の継電器の開発に力を注いでいる。今後ともこれら残された問題については需要家各位の要望にこたえ順次解決していきたいと念願する次第である。

参 考 文 献

- (1) 猿渡：日立評論 34, 939 (昭 27)
- (2) 棚川，滝田，森田，猿渡，磯崎：日立評論 37, 1375 (昭 30)
- (3) 猿渡，渡井：日立評論 35, 1569 (昭 28)
- (4) 川井，中谷：日立評論 別冊 No. 5, 95 (昭 28)
- (5) 特許出願中
- (6) H. C. Barnes, R. H. Macpherson: T.A.I.E.E. Pt. III, 72, 1857~1865 (1953)