

日立 AX 型 QC 式高速リアクタンス継電器

猿 渡 房 吉* 渡 井 三 夫**

Type AX Form QC High Speed Reactance Relay

By Fusakichi Saruwatari and Mitsuo Watai,
Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In general, the direct grounded system is used for the ultra high voltage transmission lines for the purpose of checking the abnormal voltage during the ground faults. Therefore, the grounding current tends to become as large as the shortcircuit current, and it makes the use of the high speed ground protective relay system essential. And, for that purpose, the carrier current relay system comprising ground protective distance relay has been adopted as a most complete method of protection.

Hitachi, Ltd., through its unremitting efforts over many years in the study and development of the distance relays, has completed this time the Type AX Form QC reactance relays. These relays have been supplied to Kansai Electric Power Co., Ltd. for the protection of its Shin Hokuriku trunk line, between Narude and Shin-aimoto, as a carrier current relay set.

This article relates of the factory test results of this new type of reactance relay which are summarized as follows:

- (1) The variation of operating reactance value in relation to the magnitude of the fault current is very small.
- (2) As the magnetic pole for voltage restriction is divided into two poles and their magnetic fluxes have 90° phase angle, the power factor characteristic of reactance sensitivity is almost perfect circular characteristic with negligible error.
- (3) In virtue of the use of high class offset reactor and current transformers, any error due to offsetting was hardly been recorded.
- (4) The relay operated in such a short period not exceeding 30 milliseconds for such faults that occurred within 60 percent range of the relay setting distance.

〔I〕 緒 言

日立製作所では曩に送電線の短絡保護用距離継電器として AZ 型 QC 式インピーダンス継電器を製作し、既に台湾電力公司天冷発電所をはじめ四国電力株式会社祖谷発電所、東北電力株式会社平変電所その他各方面に納入し好評を博しているが⁽¹⁾⁽²⁾、今回我国最初の 275 kV 直

* ** 日立製作所多賀工場

接々地式超高压送電線たる新北陸幹線の成出、新愛本間一回線（将来は二回線）用距離搬送保護継電装置の受註製作に当り、この接地保護用距離継電器として新たに AX 型 QC 式リアクタンス継電器を完成納入した。

超高压送電線に於ては接地故障時の異常電圧をできるだけ低く押えるため中性点接地方式として直接々地方式が採用されるのが一般であるが、このため従来の高抵抗接地方式に於ては必ずしも必要とされなかつた高速度

接地保護方式が絶対必要とされるようになった。即ち直接々地系統に於ては一線接地故障の際も短絡電流と殆ど同程度に大きな故障電流が流れ、機器に重大な損傷を与える機会が多くなるとともに、系統の安定度を脅かし、又通信線に大きな誘導障害を与えるので短絡保護と同様接地故障を区間の両端で同時に高速度遮断する必要がある。

高速度接地保護継電方式としては短絡保護の場合と同様接地距離継電器を主体とした搬送保護継電方式が高速度遮断器の使用と相まって現在の継電技術の最高水準を行く保護方式として推奨されるべきものであり、且つ単相再閉路方式を併用すれば直接々地系統の最大の欠点の一つとして考えられている過渡安定度の低下をも補償できる。

インピーダンス継電器は継電器設置点から故障点迄の送電線のインピーダンスを測定して動作するものであるが、接地故障の場合には電弧抵抗のほかに故障電流が大地を帰還するので大地抵抗の影響を受け、しかもその抵抗は気象及び季節により変動するのでインピーダンスの変化が大きく、継電器の整定が困難になる。

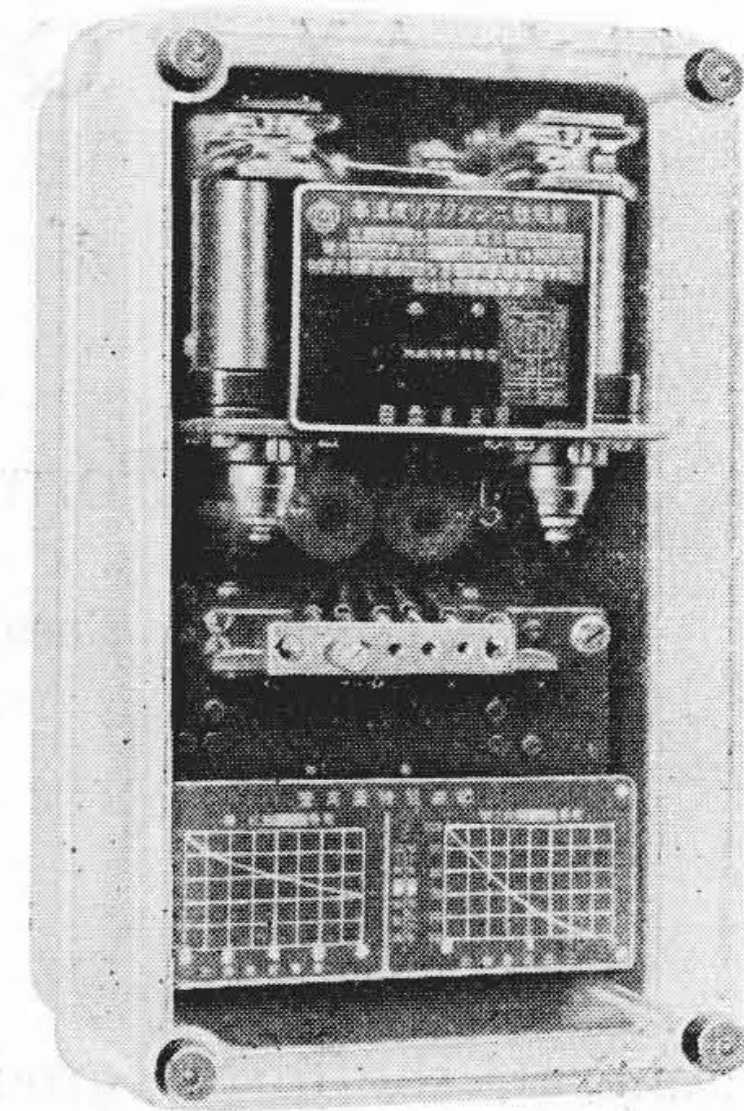
そこで接地距離継電器としてはリアクタンス型の継電器を使用する必要がある。これは線路のリアクタンス分により距離を測定するもので大地抵抗は純然たる抵抗と考えられるのでその影響は受けない。

第 1 図に本継電器の外観を示す。尚本器は別に方向継電器、限時継電器、その他補助継電器を併用することにより完全にその目的を達するものであるが、本文に於ては主としてその主体をなすリアクタンス要素に就いて述べることにする。

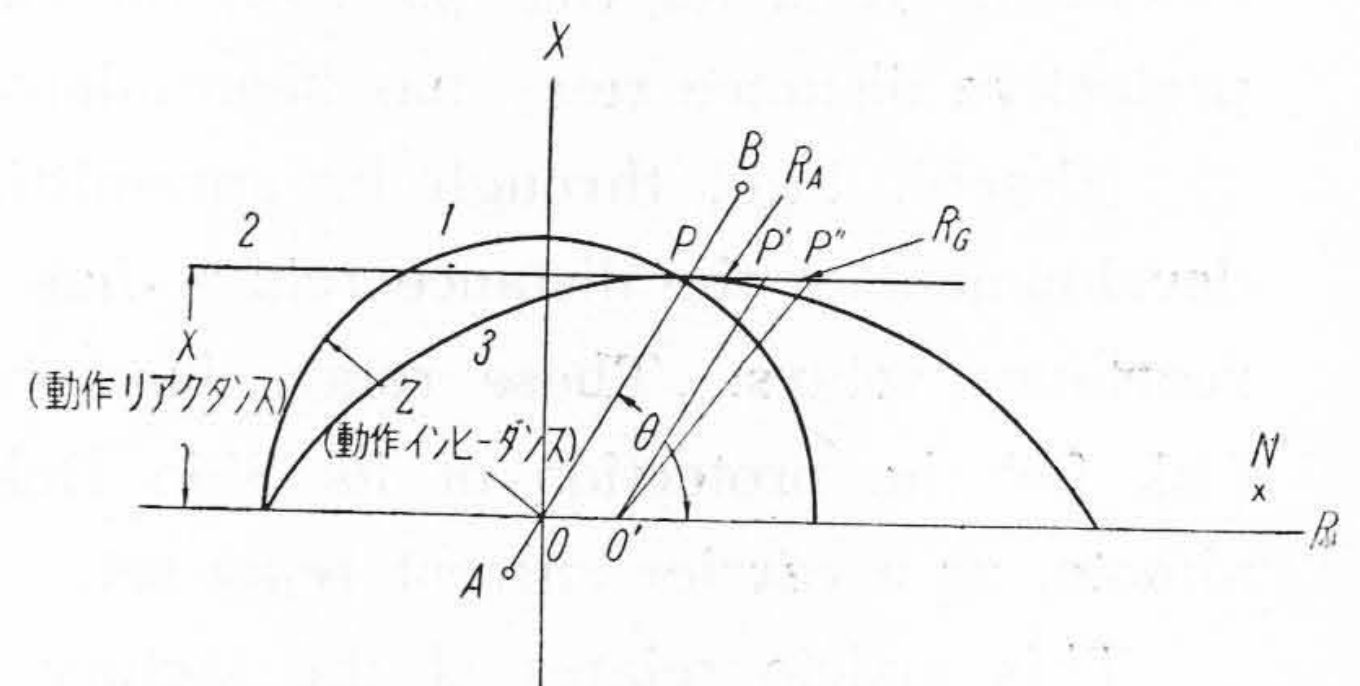
〔II〕 リアクタンス要素の概要⁽³⁾

インピーダンス Z を $Z=R+jX$ とし R, X , 座標で表わす方法は距離継電器の動作を知る上に便利な方法で、インピーダンス要素の特性は R, X , 座標では一定のインピーダンスを与える円になり、第 2 図の特性 1 に示すようになる。送電線のインピーダンス角を θ とすると継電器の動作インピーダンスは OP で表わされる。ここで電弧抵抗を R_A とすると継電器から見た送電線のインピーダンスは $O'P'$ となり、更に大地抵抗を R_G とすると $O'P''$ となり OP のインピーダンス値で整定された継電器は動作しないことになる。

ところが一定のリアクタンス値で動作するリアクタンス要素の特性は第 2 図特性 2 に示す如くで、抵抗分の変化の影響を受けないからインピーダンス要素のような欠点はない。しかし常時 100% 近い力率で送電されている場合には継電器から見たインピーダンスは N 点で示すよ



第 1 図 AX 型 QC 式高速度リアクタンス継電器
Fig. 1. Type AX Form QC High Speed Reactance Relay

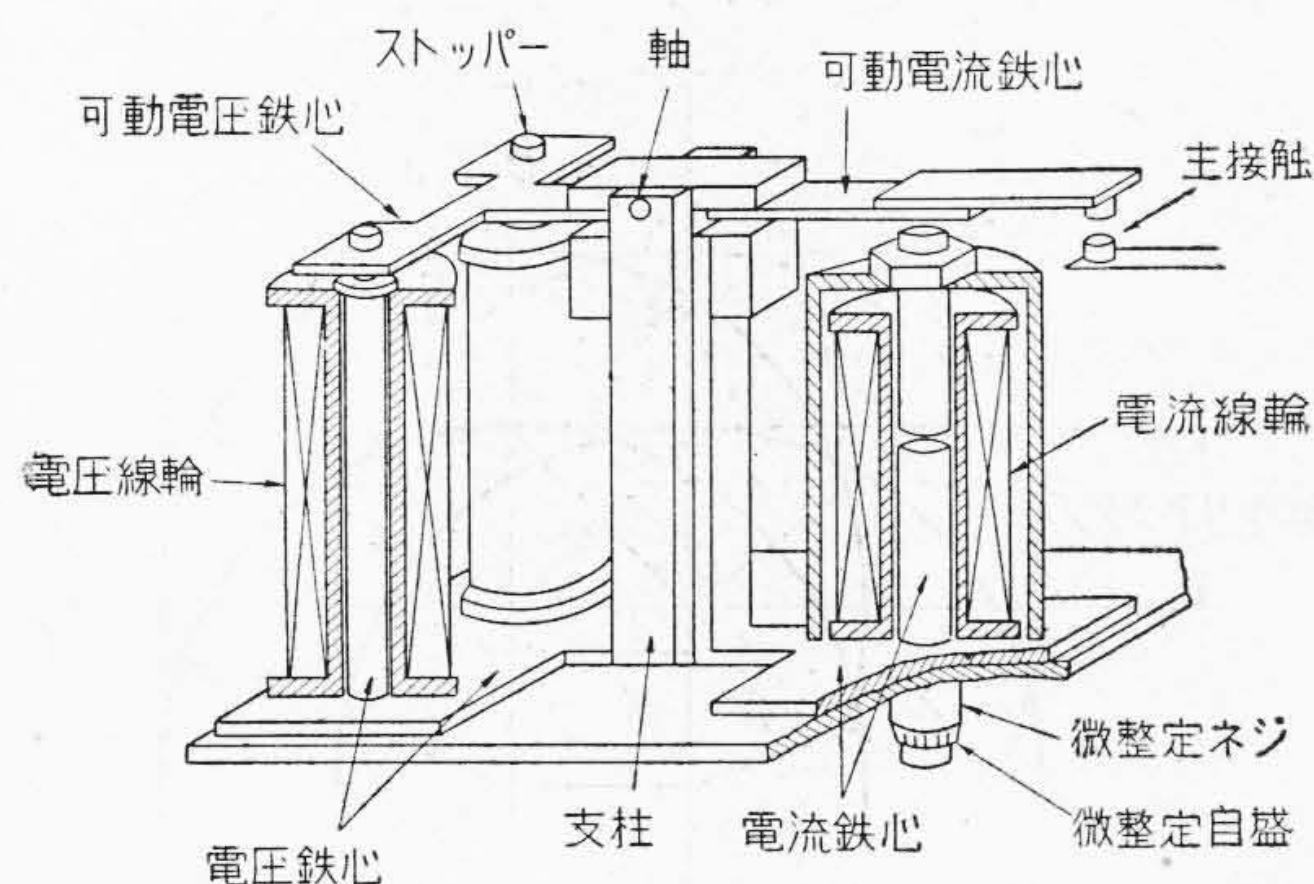


- 1. インピーダンス特性
- 2. リアクタンス特性
- 3. オフセットインピーダンス特性

第 2 図 各種距離継電器の動作特性
Fig. 2. Operating Characteristics of Distance Relays

うな点にあり、そのリアクタンス分は一般に動作リアクタンス以下と考えられるから、リアクタンス要素は平常運転時に動作していることになる。従つて継電器はその保護区間外に故障が発生した場合接触を瞬時に開く必要があり、方向要素との時間的関連に於て誤遮断の原因となる可能性がある。

このようにインピーダンス特性もリアクタンス特性もそれぞれ一長一短があり、これらの長所を採用した特性として考えられるのがオフセットインピーダンス特性である。即ちリアクタンス特性はインピーダンス特性の半径を無限大にしたものであるから、この中間の特性として半径の大きいインピーダンス特性をオフセットしたものである。この特性は第 2 図特性 3 に示してあるようにインピーダンス特性に比し抵抗分の影響が極めて少なく、又リアクタンス要素のように常時動作の心配はない。



第3図 リアクタンス継電器の動作機構部
Fig. 3. Construction Diagram of Reactance Relay

〔III〕 構造及び動作原理

本器は第1段要素、第2段要素の2段階に分れており第1段はインピーダンス要素、第2段はリアクタンス要素となつている。

各要素とも動作機構部は第3図に示すような構造で磁氣的に独立した動作素子と抑制素子とから成り前者は電流線輪、後者は電圧線輪によつて励磁され、それぞれの可動鉄心は共通の軸で機械的に連結された平衡桿になつている。

常時線電圧が定格電圧を保つている時は抑制回転力が十分大きく動作素子の回転力に打勝つて接触を開いているが、接地故障が発生すると線電圧が降下すると共に大きな故障電流が流れて動作回転力が抑制回転力に打勝つて接触を閉ぢる。

抑制素子及び動作素子の回転力がそれぞれ電圧及び電流の自乗に比例するものと仮定すると次式が成立する。

$$T_p = k_p^2 E^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$T_c = k_c I^2 \dots\dots\dots (2)$$

但し

- T_p 抑制回転力
- T_c 動作回転力
- k_p, k_c, \dots 抑制及び動作素子の継電器常数
- E 抑制電圧
- I 動作電流

ここで両素子は電氣的にも磁氣的にも完全に独立しているものとする。

従つて継電器は軸の摩擦回転力を T_f とするとその動作限界は

$$T_c = T_p + T_f \dots\dots\dots (3)$$

となり

$$T_f \doteq 0$$

と仮定すると

$$T_c = T_p \dots\dots\dots (4)$$

となり

$$T_c \geq T_p$$

の範囲で動作する。

動作限界に於ては(4)式に(1)、(2)を代入し、

$$k_c^2 I^2 = k_p^2 E^2 \dots\dots\dots (5)$$

にして

$$E/I = Z$$

とおけば Z は動作限界における継電器の測定インピーダンスにして

$$Z = k_c/k_p \dots\dots\dots (6)$$

即ち Z が k_c/k_p 以下になつた時継電器は動作し k_c/k_p は継電器により決定される常数で継電器の整定はこれを変えることによつて行われる。

以上はインピーダンス要素としての動作原理であるがリアクタンス要素に於てはこれを基準インピーダンス z 、即ち

$$z = k_c/k_p$$

としてオフセットする必要がある。

この目的で第4図に示すような電圧回路と電流回路を電氣的に結合した回路の動作条件に就いて考えることとする。

図に於て b, c 間を短縮、即ちリアクタ回路を除いた場合に就いて考える。今動作電流を I 、抵抗器の抵抗を R とすれば抵抗器による電圧降下 \dot{E}_R は電圧線輪電流が動作電流に比して無視できるものとする、

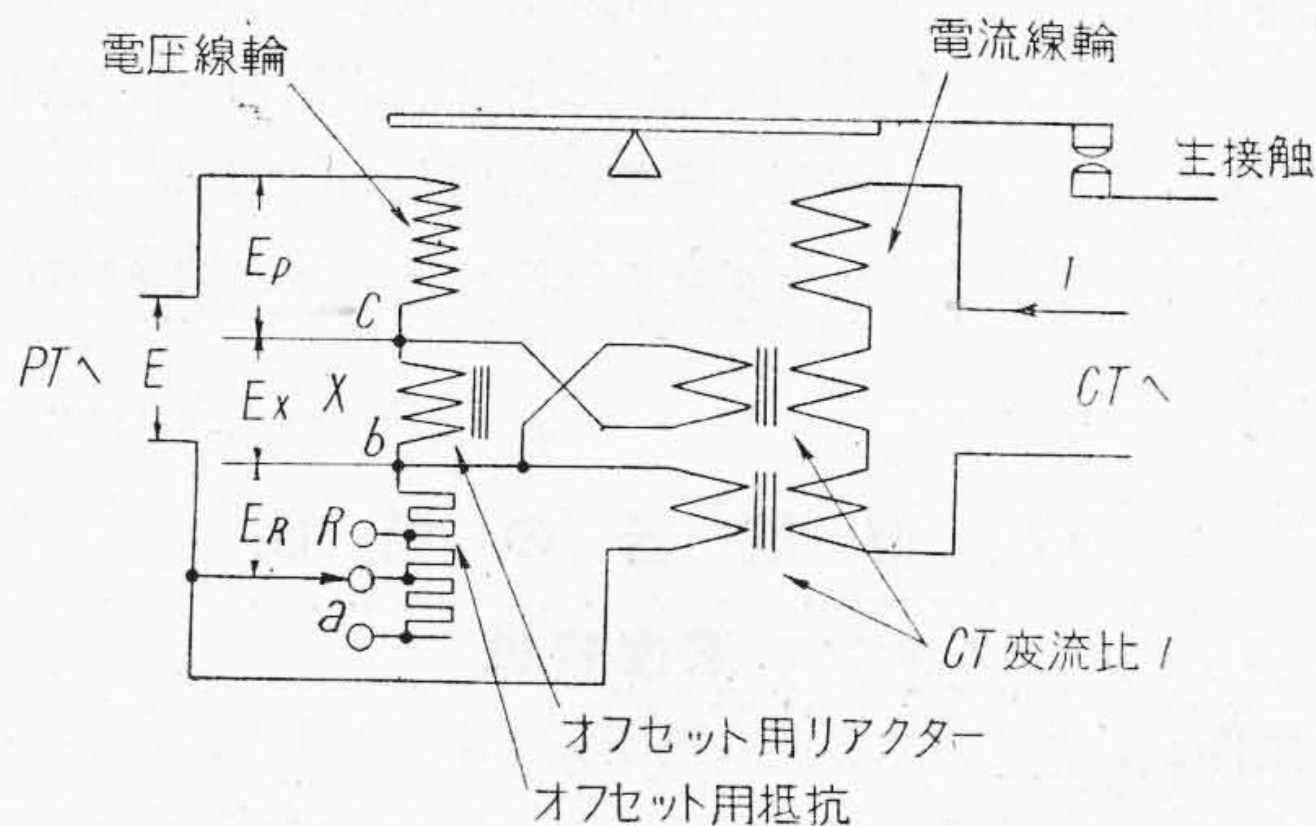
$$\dot{E}_R = IR$$

であるから電圧線輪に加わる電圧 \dot{E}_p は

$$\dot{E}_p = \dot{E} - IR \dots\dots\dots (7)$$

従つて電圧抑制回転力は

$$\dot{T}_p = k_p^2 (\dot{E} - IR)^2 \dots\dots\dots (8)$$



第4図 オフセット原理説明図
Fig. 4. Explanatory Diagram of Off-set

となる。ここで電圧、電流の位相角を θ とすれば

$$T_p = k_p^2 \{E^2 + (IR)^2 - 2EIR \cos \theta\} \dots \dots \dots (9)$$

で与えられる。

電流線輪の回転力は(2)式で与えられた通りである。

そこで前と同様に軸の摩擦を省略すると動作限界に於ては

$$k_c^2 I^2 = k_p^2 \{E^2 + (IR)^2 - 2EIR \cos \theta\} \dots \dots \dots (10)$$

$E/I = Z, k_c/k_p = z$, としてこれを整理すると

$$z^2 = Z^2 + R^2 - 2RZ \cos \theta$$

ここで Z の R 分を y , X 分を x , とすると

$$\begin{aligned} z^2 &= x^2 + y^2 + R^2 - 2Ry \\ &= x^2 + (y-R)^2 \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

となる。

即ちこの動作特性は基準インピーダンス特性の半径 z , と等しい半径の円特性をもち、且つその中心が R 方向に抵抗器の抵抗値だけオフセットされている。これらの関係を第5図に示す。同図の特性1は基準インピーダンス特性を、特性2は R 方向にオフセットしたものを示す。

次に a, b 間を短絡して b, c 間を開くと上と同様の原理により $-X$ 方向にオフセットする。第5図特性3はこれを示す。尚リアクタ用の変流器の極性を反転してあるのはオフセットの方向を X の負の方向にするためである。更に a, b, c 点を開いて抵抗 R , 及びリアクタ X を回路に入れた場合の特性は同図特性4のようになる。

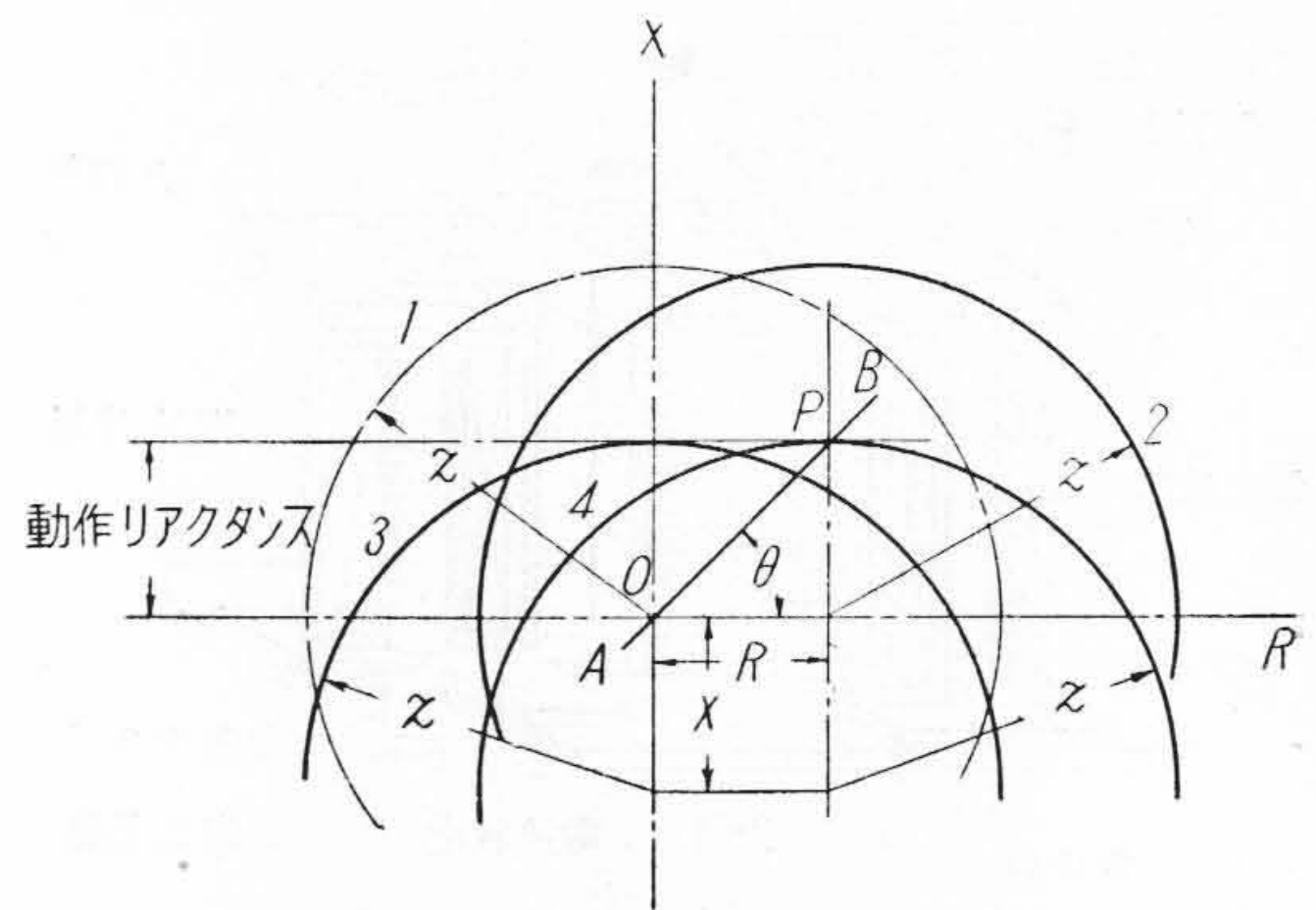
オフセットインピーダンス特性は第6図に示すようにそのインピーダンス角が線路のインピーダンス角に等しいとき最大の動作リアクタンス値を与え、線路のインピーダンス角が変ると動作リアクタンス値は小さくなる。このためリアクタンス要素は線路のインピーダンス角に応じ R 方向のオフセット量を変えてそのインピーダンス角を線路のインピーダンス角に合わせる必要がある。

尚本継電器に於ては基準インピーダンス特性の力率特性を真円に近くするため抑制素子の磁極を2分割し、その各々に電圧線輪を設けて蓄電器、及び抵抗と組合せて両磁極の磁束間に 90° の位相角をもたせるようにしてある。このように分割磁極を用いると抑制回転力の時間的振動がなくなるので電圧、電流の如何なる位相角に於ても正しく一定のインピーダンス感度を示しその力率特性は真円になる。

〔IV〕 継電器の特性

(1) リアクタンス感度特性

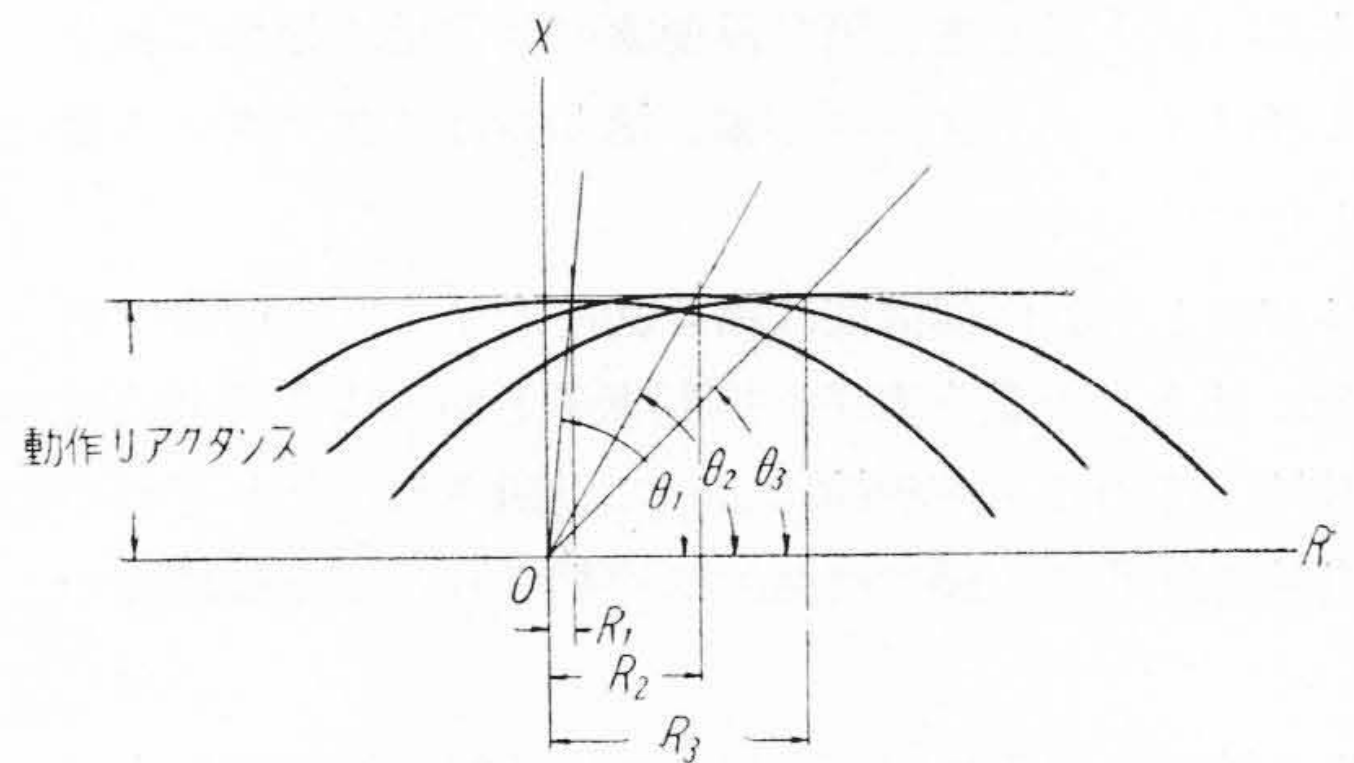
動作リアクタンス感度は電圧又は電流の大小にかかわらず一定であることが必要で、このためには使用範囲内に於て抑制、動作両磁気回路の磁気特性が相似である必要がある。それには両特性とも直線的、即ち各線輪によ



- 1. 基準インピーダンス特性
- 2. R オフセット特性
- 3. $-X$ オフセット特性
- 4. $R, -X$ オフセット特性

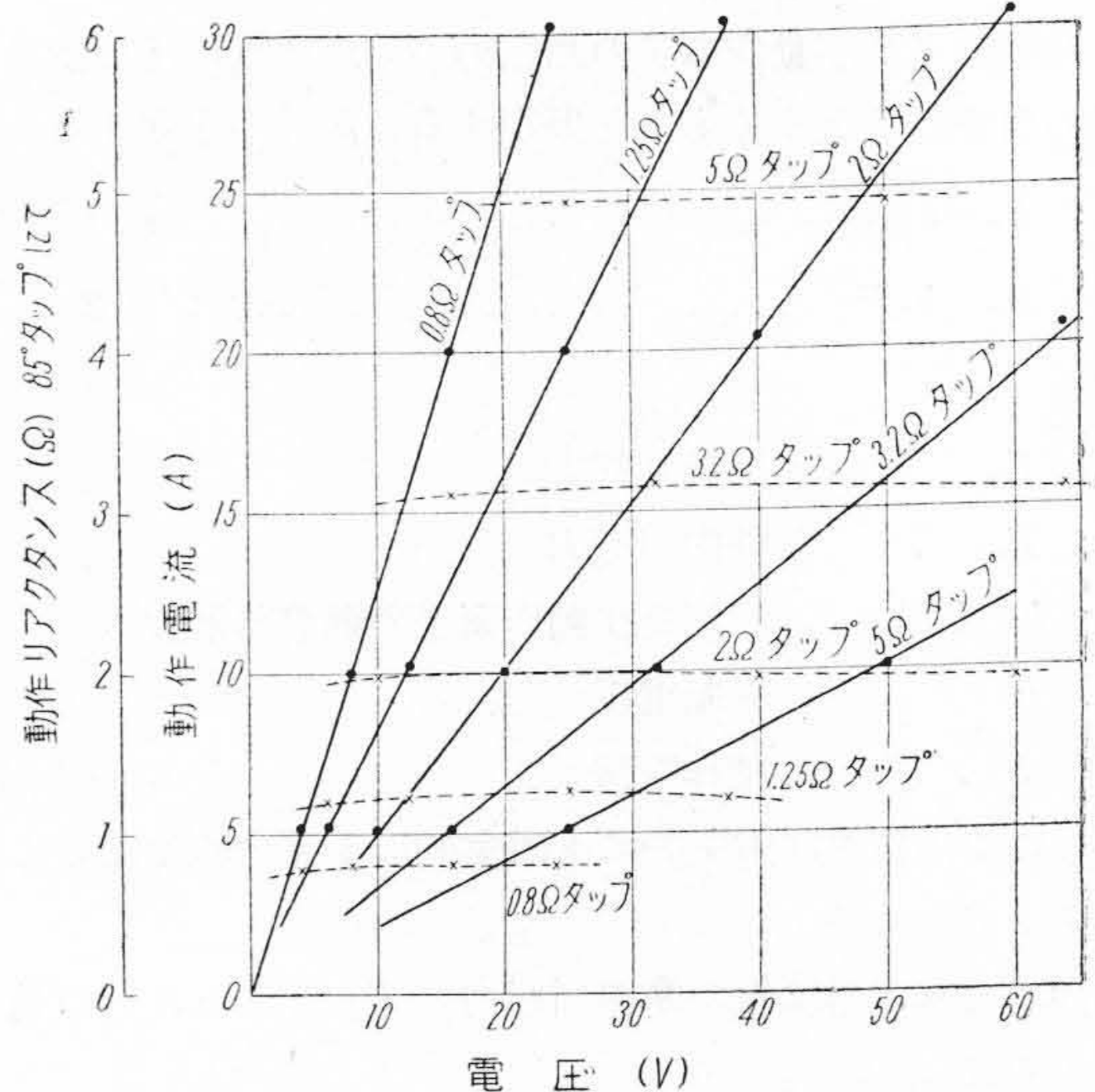
第5図 オフセットインピーダンス特性

Fig. 5. Off-set Impedance Characteristics



第6図 インピーダンス角とオフセットインピーダンス特性

Fig. 6. Relation between the Impedance Angle and Off-set Impedance Characteristics



第7図 リアクタンス感度特性

Fig. 7. Reactance Characteristics

る磁束が電圧又は電流に比例するようにした場合が最良である。本継電器に於てはこの関係を知るため可動鉄心部にサーチコイルを設けその誘導電圧を測定し、誘起電圧は何れも一次側の入力に比例することを確認した。

第7図は継電器のリアクタンス感度特性で電圧又は電流の大小にかかわらず動作リアクタンスが一定なることが分る。しかし電圧又は電流が極端に小さいときは磁気回路の非直線性と、抑制、動作回転力が減少し軸の摩擦が省略できなくなり誤差が大きくなる。

従つて極端に短い線路の距離継電器は変成器の特性と相まつて製作が困難になる。

(2) 力率特性及びオフセット特性

接地故障の際継電器から見た線路のインピーダンス角は線路の構成、故障の状態によつて異なり、又本継電器では基準インピーダンス特性をオフセットして使用するのでその力率特性は特に真円に近いことが要求される。この目的で抑制素子に分割磁極を採用したのは既述の通りである。

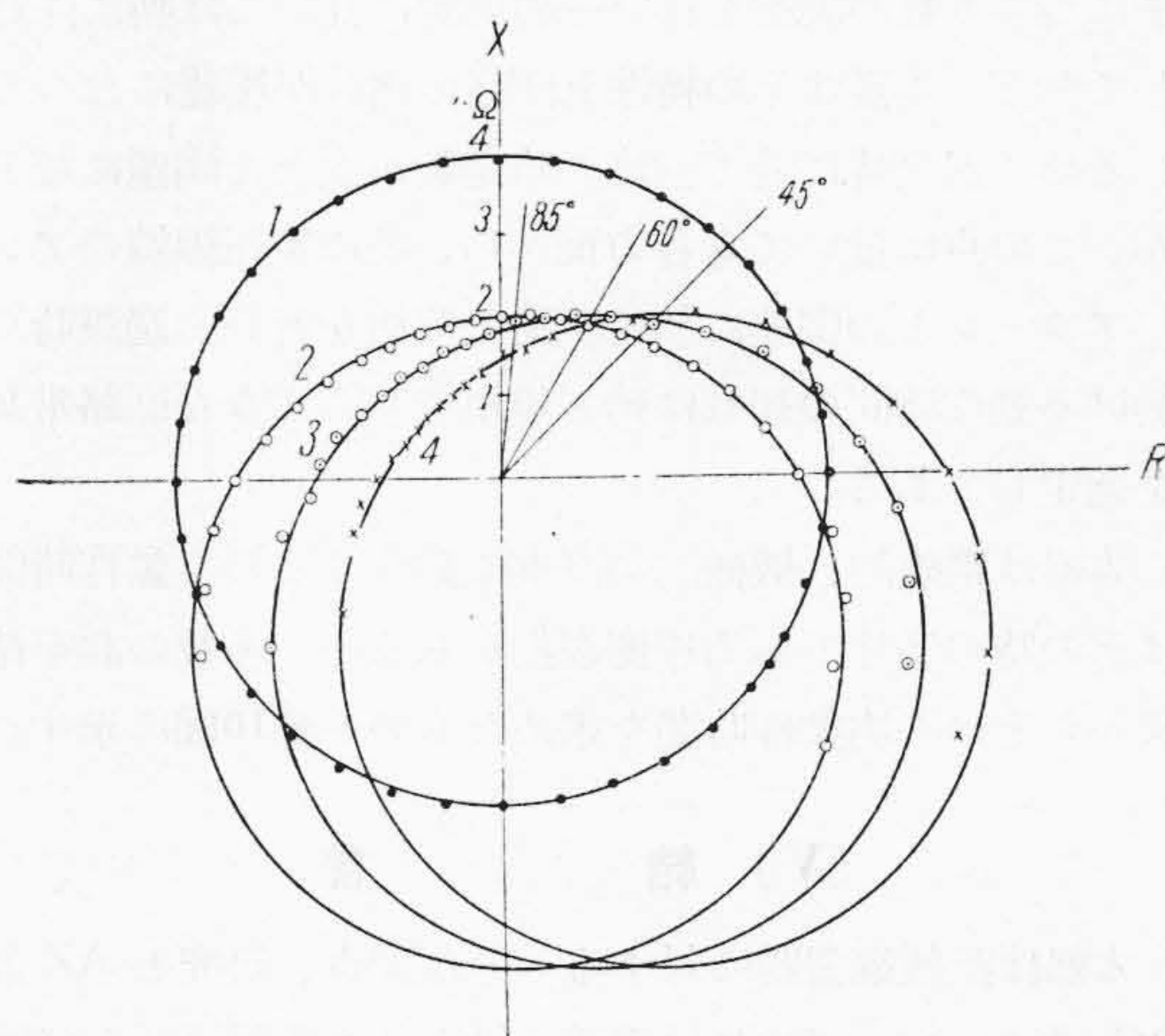
第8図の特性1は基準インピーダンス特性でリアクタンス整定タップ 2Ω に就いてオフセット回路を除いて測定したものである。次に本継電器に於ては基準インピーダンス特性を $-X$ 方向にオフセットし、位相角の調整は**第4図**に示したようにオフセット抵抗にタップを設け 85° , 60° , 及び 45° 遅れを得られるようにした。**第8図**特性2~4は特性1を各位相角タップに就いてオフセットしたものである。これから基準インピーダンス特性は誤差を生ずることなくオフセットされており、又各位相角タップ間の送電線のインピーダンス角に対してもリアクタンス整定値の誤差は極めて少ないことが分る。

(3) 感度整定機構

リアクタンス継電器は保護すべき送電線の亘長、或は変成比等によつて適当な感度に整定しなければならないので、本器は連続的にその感度整定ができるように整定タップ及び微動整定ねぢを備えている。整定範囲は第1段インピーダンス要素では $0.3\sim 3\Omega$, 第2段リアクタンス要素では $0.5\sim 5\Omega$ の間を連続的に整定できる。

感度整定タップは分圧抵抗器から出し、電圧線輪のアンペアターンを変えるようになっており段階的に整定する。

微動整定機構は整定ねぢを回転し電流線輪内の鉄心間隙を微動調整してタップ間を連続的に整定できるようになっている。その間の整定は1回転10目盛でタップ間を第1段要素は約7回、第2段要素は約3回で整定するようにしてある。**第9図**はこの機構の目盛と、目盛0の場合に於けるタップ整定値を100%とした整定感度との関係を示す。

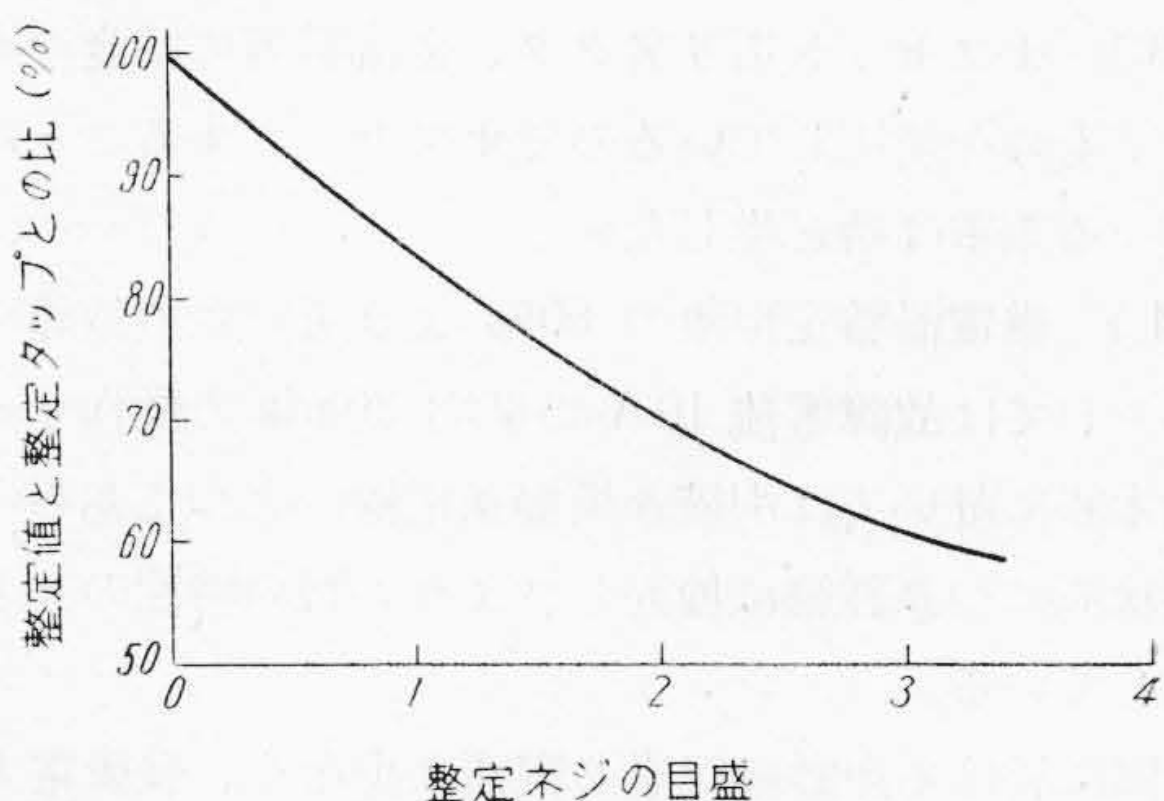


- 1. 基準インピーダンス特性
 - 2. 85° タップ
 - 3. 60° タップ
 - 4. 45° タップ
- } オフセットインピーダンス特性

タップ整定値 2Ω

第8図 オフセットインピーダンス特性

Fig. 8. Characteristics of Off-set Impedance



第9図 微動整定ねぢの目盛と感度整定との関係

Fig. 9. Relation between the Scale of Fine Adjusting Screw and Setting Sensitivity

尚各タップは外部抵抗器に設けてあり微動整定ねぢの整定と無関係になるので**第9図**の特性は各タップに就いて成立する。

(4) 動作時間

本器が超高压送電線の接地保護継電器として特に高速度動作が要求されることは既に記した通りである。

一般に平衡棒型継電器に於て動作時間に関係する主な量として考えられるものは

- (A) 回転力
- (B) 可動部の慣性能率
- (C) 回路の時定数

等がある。これらの量は相互に関係する量で良好な動作特性を保ちつつ最高の動作時間が得られるように、各因

子につき多数の実験を行いその選定に就いては特に注意してある。本器はその特性上回路の構成が複雑になっているので過渡時に於て回路の時定数が大きな問題になるが、この点に就いても各方面から、特に電圧線輪のアンペアターンとの関連に於て回路の解析を行い、過渡時に於ける動作時間の遅れは殆ど無視できるような回路常数を選定してある。

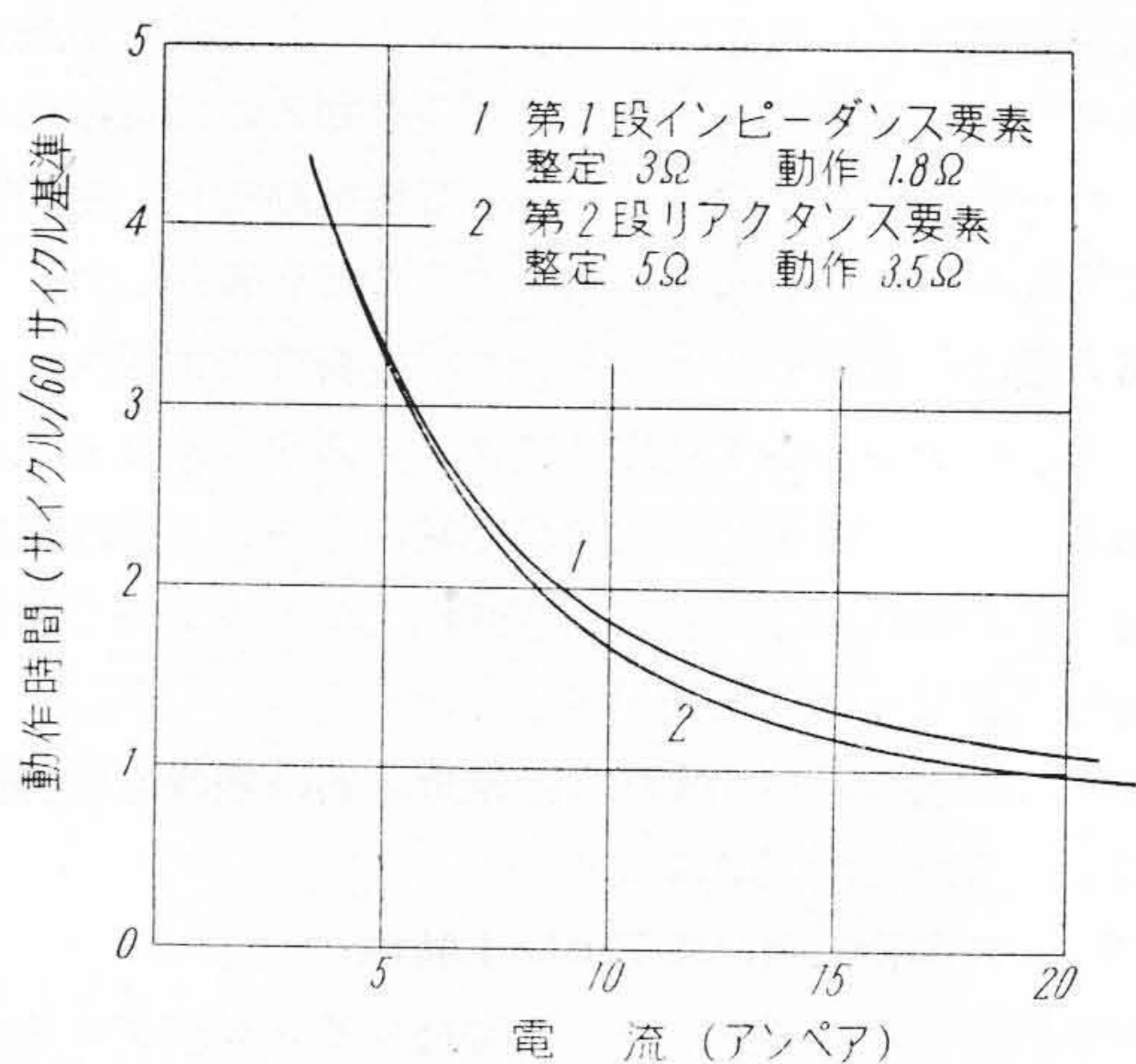
本器は電磁的、機械的過渡期に動作するので動作時間はその時の条件である程度変動があるが、多数の測定結果からその平均動作時間を求めたものを第10図に示す。

〔V〕 結 言

本器は距離継電器に対する十分な調査、研究と AZ 型 QC 式インピーダンス継電器で得られた各種資料と経験に基づいて製作されたものでその特性を総括すると次の如くである。

- (1) 使用範囲内に於てリアクタンス感度は故障電流値の影響を受けることは極めて少ない。
 - (2) 動作機構部の抑制磁極を二分割し電圧回路の素子を十分検討したので真円に近い力率特性が得られている。
 - (3) オフセット用リアクタ、変流器等に精度の高いものを使用しているのでオフセットすることによる誤差は殆ど生じない。
 - (4) 継電器整定距離の 60% より近い点の故障に対しては故障電流 10A で平均 30 ms で動作する。
- 尚本器に就いては引続き模擬送電線によつてあらゆる過渡状態につき詳細に検討し、より一層の特性の向上に努力している。

我国に於ける距離継電器の実績は少なく、戦後電力開発の促進と送電網の合理的運用が強調せられるようになってから急速に発達したものであるが、送電電圧の上昇と輸送電力の急激な膨脹に伴ない系統の過渡安定度確保



第10図 動作時間特性

Fig. 10. Characteristics of Operating Time

の見地から高速度距離継電器の重要性は益々増加しつつある。

日立製作所に於てはインピーダンス継電器とともに今回リアクタンス継電器を完成し、重要幹線の保護継電方式の体系を完全に整備したのでこれを機会にリアクタンス継電器につきその概要を述べ広く諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

終りに臨み本器の研究製作に際し多大の御指導と御援助を賜つた日立製作所日立研究所西堀主任研究員をはじめ多賀工場木内計器部長その他関係各位、国分工場川井配設主任に対し深く感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 猿渡：日立評論 34, 939 (昭 27)
- (2) 乾、西堀、広吉、猿渡：日立評論 35 1044 (昭 28)
- (3) 例えば Goldsborough：E.E. 51 (1932) 157

