

発電機の巻線保護と高速度保護継電器

清水 勝 良* 渡 井 三 夫**

Hitachi High Speed Protective Relays for the Protection of Generator Winding

By Katsuyoshi Shimizu

Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Mitsuo Watarai

Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

It is a feature distinctive in the recent power resource exploitation that the equipments such as generators and transformers have remarkably grown in unit size or capacity. It naturally follows that the related transmission system has got complicated and made the role of protective devices for those equipments more important.

The induction ring type high speed relay, newly developed by Hitachi, Ltd. for the purpose of protecting the generator winding, is one of the products that comply with the above trend in the electric power field.

This relay, featuring high sensitivity and high speed protective action, has made it possible to protect the generator winding positively from 95% of ground faults and short circuiting faults. It is classified into several types, each with its particular application. To mention some of them:

- (1) Type KGY high speed relay....Designed for use in resistance-neutral-ground system, along with differential current relay.
- (2) Type KGV-XQC high speed ground relay with voltage suppressing coil....Used in pole transformer-neutral-grounded system, protects the system at the occurrence of ground faults.
- (3) Type KY high speed differential current relay....Functions against the phase or layer shortcircuit faults.

〔I〕 緒 言

戦後に於ける電力の需要は年々増加し、これに応じて電源開発は強力に推進され大容量の発電所が続々新設されているが、これに伴い発電機、変圧器等の電力機器は益々大容量ユニットとなり、これらを連繫する送電系統は複雑多岐になつて来ている。このような状態のもとで一つの機器に故障が発生すればその被害は故障機器ばかりでなく広い範囲に及び、故障の修復に長時間を要するのでその間電力の需給に著しい支障を来すことが多い。

このため電力機器特に発電機巻線の保護は益々重視され、保護継電器は高感度、高速度のものが製作されるようになった。

日立製作所に於ては、かねてより高感度、高速度保護継電器の開発に努力して来たが、今回従来の誘導円板型保護継電器に代り誘導環型高速度保護継電器を完成し、さきに実施された関西電力笠置発電所の発電機巻線人工故障試験に於て実際の故障状態に対する各種の動作試験の結果、感度、動作速度ともほぼ満足すべき成績が得られたのでここに発電機巻線の保護方式、誘導環型高速度保護継電器の構造と特性、笠置発電所の人工故障試験の結果等に就いて述べる。

* 日立製作所日立国分分工場

** 日立製作所多賀工場

〔II〕 発電機巻線の保護方式と保護継電器

(1) 巻線の故障

発電機はその構造上巻線の絶縁耐力を変圧器の如く強化することが出来ないのでサージ吸収装置によつて保護されているが、なおその浸入により絶縁を破られ重大な故障の原因となることがある。この故障は巻線から直接鉄心を通して接地するものと、先ず同相の巻線の層間短絡を生じ更に進んで接地故障となるものがある。従つて巻線故障は接地、相間短絡、層間短絡の3つに分けて考えられる。何れも故障点を通して過大な故障電流が流れるので巻線を焼損し、場合によつては鉄心までも焼損する等の致命的な事故となる。これに対しサージ吸収装置を設け故障を未然に防止すると共に一旦生じた故障に対しては出来る限り早期に発見しその拡大を阻止することが、とり得る最上の手段と考えられこのために益々高感度、高速度の継電器が要求されるのである。

(2) 巻線の保護方式

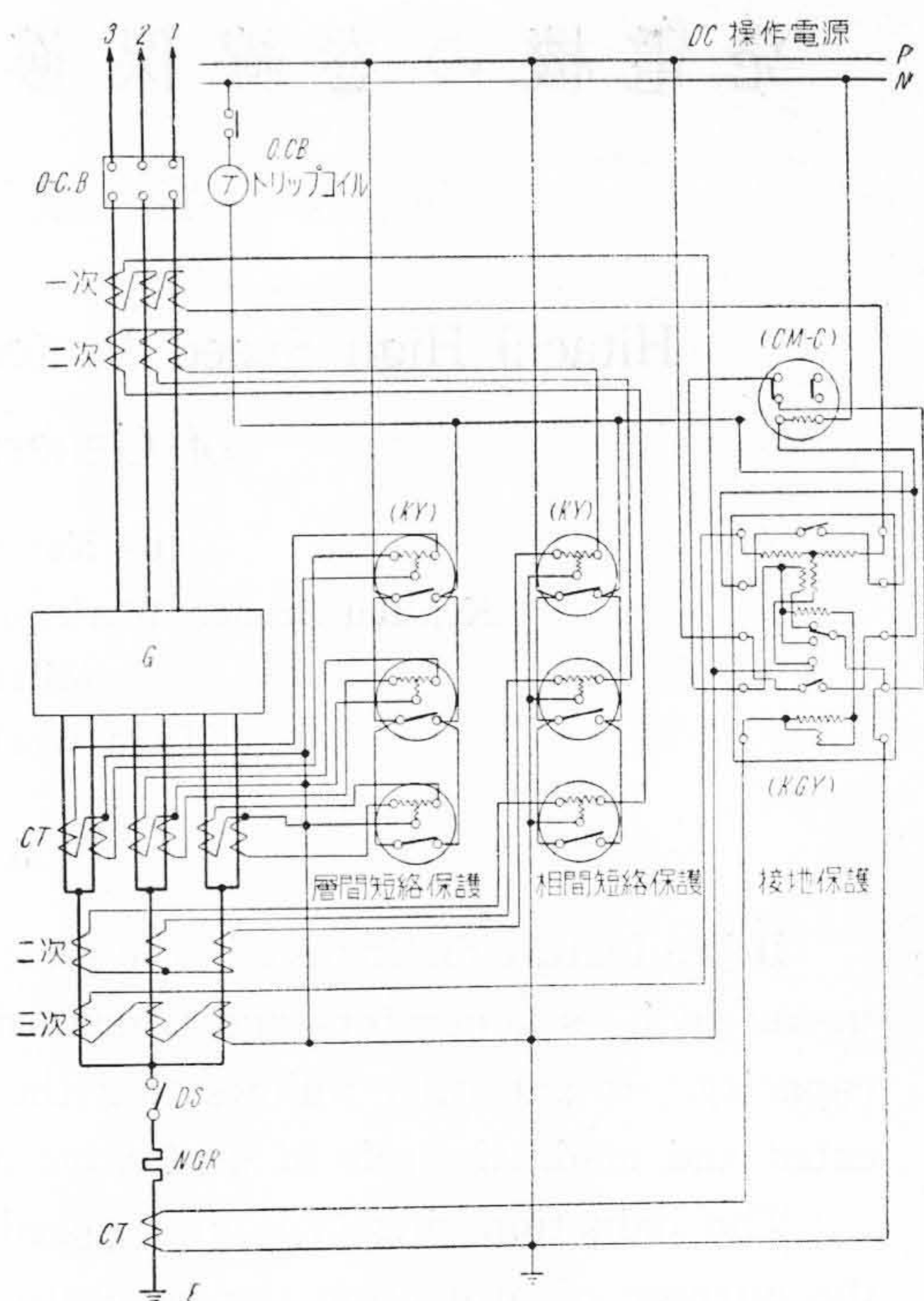
巻線故障の保護方式は高感度、高速度継電器の特性を最大限に発揮し得るようなものでなければならないが、中性点の接地方式、巻線の結線方式、故障の種類等によつて故障時に生ずる現象が異なるのでそれぞれの場合に最も適合した方式並びに保護継電器により巻線の保護に万全を期している。

(A) 接地故障保護

接地電流は中性点接地方式によつて異なる。発電機中性点の接地方式は故障電流による発電機鉄心の損傷を軽減することゝ、保護継電器の動作を確実にすることを主眼として決定される。このため現在では接地電流を 100A に制限する抵抗接地方式が最も多く採用されているが、最近では鉄心の損傷を更に軽減するため接地電流を数アンペアに制限し、PT 接地に於ける鉄共振の欠点を除去した柱上変圧器接地が漸次採用される傾向にある。本方式は米国に於て広く採用されているもので、その二次側に抵抗器を使用しており鉄心の損傷を極限するのに有効である。この外 PT 接地があるが鉄共振などの致命的欠陥があるため現在では全く使用されていない。

(a) 100A 抵抗接地方式

本方式に対しては発電機出力側と中性点側の零相電流による(第1図に示す)比率差動電流方式が最も有効確実な方式である。発電機出力端附近の接地(0%接地)の際は 100A の接地電流が流れるので継電器の動作には十分であるが、故障点が出力端より 85%, 90%, 95% の位置にある場合は接地電流は 15A, 10A, 5A に減少するので差電流のみでは継電器の動作は困難になつてくる。巻線の保護範囲を広くするためには継電器の感度を外部



第1図 発電機巻線保護継電方式

Fig.1. Protective Relay System of Generator Winding

故障によつて誤動作することなく極力鋭敏にしなければならない。この目的で従来の IGY 型に代り、新たに高速度、高感度の KGY 型誘導環型比率差動接地継電器が開発された。本継電器の特長は差動コイルに対し接地電流による附勢効果を加味した点にある。接地電流が差電流のみで動作するに十分な値以上のときは附勢効果を加えずに差電流のみで動作させ、90%, 95% 接地の如く接地電流が小さいときには自動的に附勢効果が加わり外部故障による誤動作を防止すると共に継電器の感度を向上せしめている。その結果保護範囲は一段と拡大され95%の接地故障に対しても確実に動作することは人工故障試験により実証されている。動作速度も著しく高速化され 100A の接地電流では 1.25 秒で動作している。接地電流が小さくなると動作時間は少々長くなるが従来の IGY 型に比べると 1/10 以下である。

(b) ヒューズ併用抵抗接地

保護方式は抵抗接地の場合と同様であるが本方式の目的とするところは接地抵抗の一部をヒューズを以て短絡し故障発生初期ヒューズ熔断まで比較的大きな接地電流を流して継電器の感度を高め巻線の保護範囲を拡大しようとするにある。この方式によれば動作速度、感度も向上することは認められるが、ヒューズ熔断までの鉄

心の損傷程度が大きくなるので 100A 抵抗接地方式に比して特に有利なものとは考えられない。

(c) 柱上変圧器接地方式

第2図に示す如く二次側に抵抗を使用するので等価的には高抵抗接地とも考えられ、接地電流は著しく制限される。例えば変圧比 6,600/110V の柱上変圧器二次側に 0.7Ω の抵抗を挿入すれば約 2,500Ω の高抵抗を通して接地したことになる。端子電圧 11kV の発電機に対し接地電流は最大数アンペア程度に抑えられるから鉄心の損傷防止には有効である。接地電流が小さいため比率差動電流方式の適用は困難であるから、電圧継電器を使用し柱上変圧器二次側に生ずる電圧により故障を検出する方式が採用されている。日立製作所に於てはこの目的に適合する高速度継電器として、外部故障による誤動作を防止すると同時に感度向上のため主変圧器高圧側中性点電圧で抑制を加えた KGV 型 XQC 式誘導環型高速度継電器を製作している。

本方式で最も重要な問題は二次抵抗値の決定で、その適否は継電器の感度、保護範囲に直接影響する。一般に二次抵抗値の決定には弧光接地により生ずる異常電圧抑制の見地から次の計算式が使用されている。

$$\text{二次抵抗 } R = \frac{1}{3\omega CN^2} \Omega$$

$$C = C_g + C_a + C_e + C_T$$

$$C_g = \text{発電機の静電容量 } (\mu\text{F})$$

$$C_a = \text{サーチャブゾーバーの静電容量 } (\mu\text{F})$$

$$C_e = \text{母線, リード線の静電容量 } (\mu\text{F})$$

$$C_T = \text{変圧器 } \Delta \text{ 巻線の静電容量}$$

$$N = \text{柱上変圧器の変圧比}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \text{周波数}$$

この外静電効果による零相移行電圧、第三高調波電圧は二次抵抗値を小さくすれば、小さくなるので保護上は有利であるが電流が増加するため抵抗器が大型になる。抵抗値の決定に当つてはこの点も考慮する必要がある。尚柱上変圧器の容量は

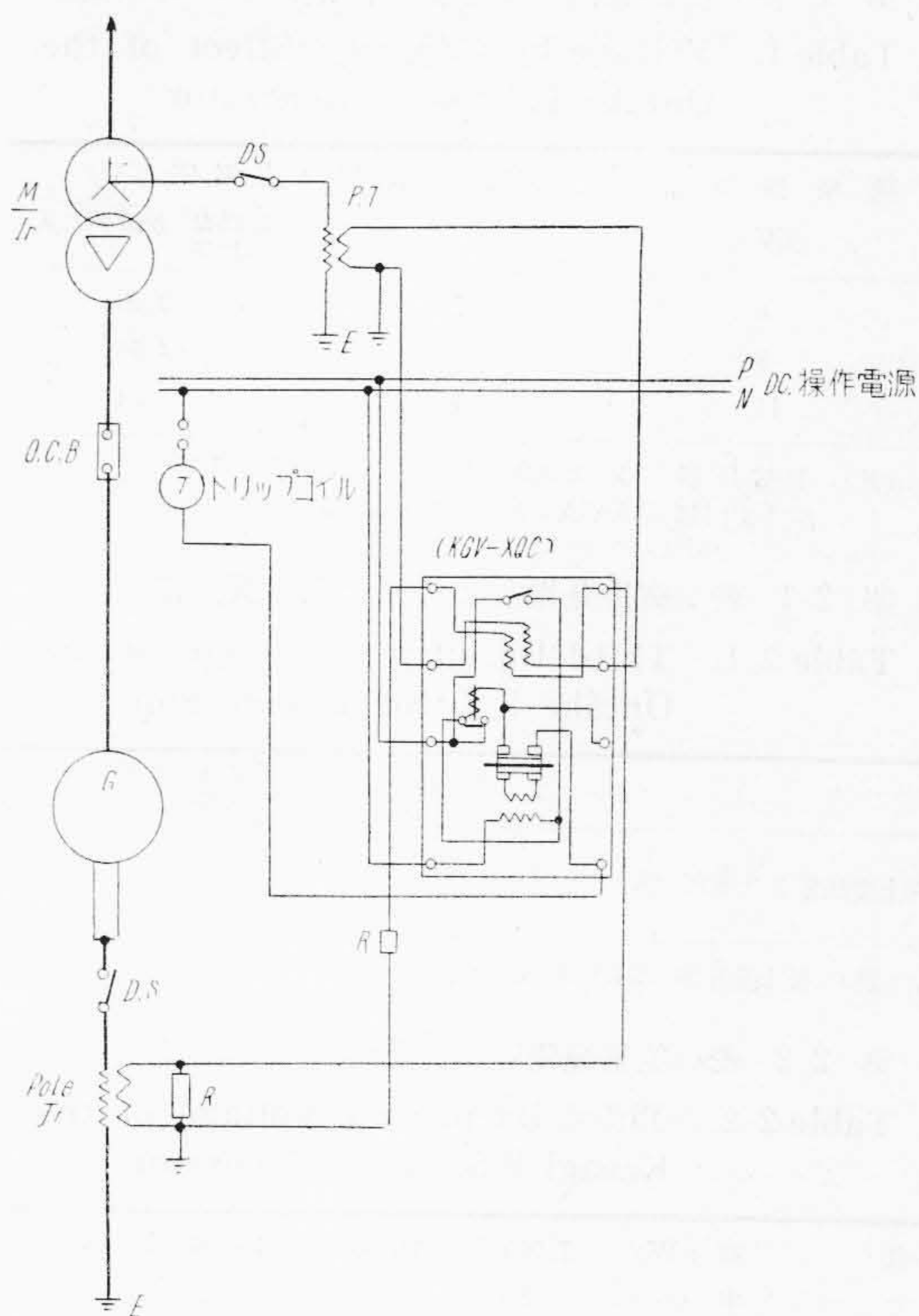
$$\text{kVA} = 3\sqrt{3} \omega C E_g^2 / 10^3$$

$$E_g = \text{発電機一相の対地電圧}$$

によつて決まるが最終的には過負荷率によつて決定される。

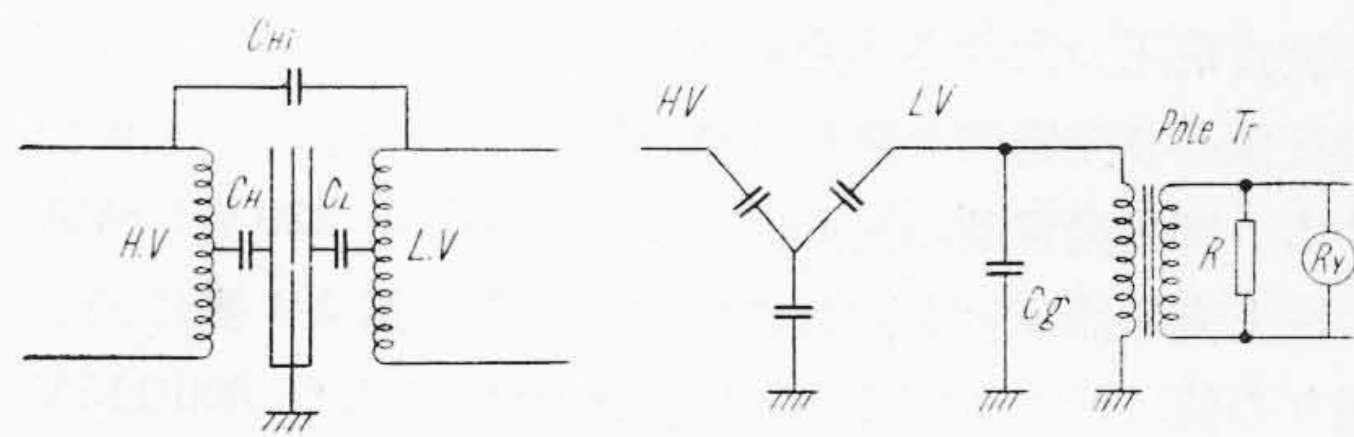
柱上変圧器接地方式に於ては特に問題となるものに静電効果による零相移行電圧と第三高調波電圧がある。

主変圧器の高圧側で一線接地が生ずると零相電圧が第3図に示す如く、高圧と低圧巻線間の静電容量、巻線大地間の静電容量及び発電機の対地静電容量によつて分圧されて柱上変圧器の端子に現われ継電器を誤動作させるので感度は大きく制限される。静電効果による零相移行



第2図 発電機巻線保護継電方式
(柱上変圧器接地)

Fig. 2. Protective Relay System Generator Winding (Pole Tr. Grounding)



第3図 静電効果による零相移行電圧説明図

Fig. 3. Explanatory Diagram of Zero Phase Voltage by Cappacity Effect

電圧は巻線の 95% 附近の接地により生ずる電圧より高いこともあるので保護範囲をこれ以上拡大することは困難である。このため KGV 型 XQC 式継電器は主変圧器高圧側中性点電圧を以て抑制を加えることにより高圧側一線接地時の誤動作を防止すると共に感度を高め安全に 95% 接地保護をなし得るようにしている。関西電力御岳発電所に於て実測した零相移行電圧は第1表(次頁参照)に示す通りである。この電圧は発電機によつて異なるが柱上変圧器の二次抵抗によつても変化する、即ち二次抵抗値が小さくなれば電圧も小さくなる。

第 1 表 御岳発電所 2 号機の静電効果による電圧
Table 1. Voltage by Capacity Effect of the
Ontake P.S. No. 2 Generator

発 電 機 電 圧 (kV)	柱 上 変 圧 器 2 次 電 圧 (V)	
	2 次 開 放	1.25Ω が直列に入 った時
6	26	3.05
9	40	4.55
11	47	5.4

(註) 主変圧器 3φ 25,000 kVA 154/10.5/3.3 kV
柱上変圧器 5 kVA×2 12,700/440 V

第 2-1 表 御岳発電所 2 号機第三高調波電圧
Table 2-1. Third Harmonics Voltage of the
Ontake P.S. No. 2 Generator

	2 次 開 放	1.25Ω が直列に入 った時
柱上変圧器 2 次電圧 (V)	6V	4.6V

(註) 柱上変圧器 5 kVA×2 12,700/440V

第 2-2 表 笠置発電所 2 号機第三高調波電圧
Table 2-2. Third Harmonics Voltage of the
Kasagi P.S. No. 2 Generator

負 荷 (kW)	7,000	10,000	10,000	13,500
力 率 (%)	80	80	93	94
柱 上 変 圧 器 2 次電圧最大値 (V)	4.5	3.1	3.55	3.3

(註) 柱上変圧器 6,600/115V×2 20 kVA 2 次抵抗 0.72Ω

又柱上変圧器接地に於ては発電機の定常運転中でも中性点に第三高調波を主とする高調波電圧が現われ静電効果による電圧と同様に継電器の感度に悪影響を及ぼす。高調波電圧の大きさも発電機によつて一定でなく、二次抵抗値及び発電機の運転状態(負荷、力率)によつて変化する。御岳発電所の実測例によれば 6,350/220V 5kVA の柱上変圧器 2 台を直列に使用したとき第 2-1 表に示す通りの値になっている。笠置発電所に於ては 6,600/115V 20 kVA のものを 2 台直列に使用し二次抵抗を 0.72Ω にしたとき第 2-2 表の如き高調波電圧が出ている。以上は実測値の一例であるが、この電圧は一般に静電効果による零相移行電圧より小さく、御岳、笠置発電所の試験結果よりみても巻線の 95% 接地電圧より小さいことが多いので特別の処置をとらなくても 95% 保護には支障がないと考えられるが、発電機によつては相当大的な高調波電圧が現われることがあるので、このような場合には濾波器を併用し高調波を取除くようにしている。

(d) 柱上変圧器接地方式と他の方式との比較 利 点

- (イ) PT 接地におこり得る鉄共振が避けられる
- (ロ) 開放サージ、弧光接地から来る異常電圧は減少する

- (ハ) 故障点に於ける損傷が少い
- (ニ) 抵抗接地に比べて経済的である
- (ホ) 主変圧器の高圧側に接地故障を生じた時に静電誘導によつて生ずる誤動作は PT 接地に比べて減少する

欠 点

- (イ) 浸入波に対しては PT 接地と同様、中性点電圧は 2 倍近く上昇する。これに対しては避雷器、保護蓄電器を設置する必要がある
- (ロ) 継電器による故障点の選択が困難であるからユニット式発電所以外は使用出来ない

以上の如き得失はあるが柱上変圧器接地方式は二次側に抵抗を挿入することにより PT 接地に於ける鉄共振を除去して故障電流を極限し鉄心の損傷を軽微ならしめ得る点他に優れた特長を有するため今後は益々広く採用される機運にある。一方、100A 抵抗接地方式は故障電流による鉄心の損傷は或る程度まぬがれないが、継電器の高速化によつて軽減し得るので異常電圧の心配が少く何れの接続方式にも使用し得る点で、今後も多く採用されるものと考えられる。日立製作所に於ては何れの接地方式に対しても前記の如く巻線の 95% 以上を保護し得る高感度、高速度保護継電器を製作している。

(B) 相間短絡保護

巻線の相間短絡故障の保護には従来から故障時の発電機出力側と中性点側の差電流に対し、外部故障時等に於ける過電流時 CT の特性差によつて起る誤動作を防止する目的で電流抑制を加えた比率差動電流方式(第 1 図)が最も効果ある方式として広く採用されているので、これに KY 型の誘導環型高速度比率差動継電器を使用し保護の迅速確実を期している。故障時の過大な短絡電流が直接差電流となつて継電器差動コイルにかゝるので巻線の故障位置に拘わらず最も確実に動作し得る方式である。

(C) 層間短絡保護

層間短絡時の故障電流は巻線の内部で環流し外部に取出し得ないので、故障の検出が容易でなく巻線保護のうち最も困難な方式である。発電機の結線は殆ど星型結線であるがこれが更に二列、三列と並列回路をなしているもので、これらに共通した有効な保護方式は未だ確立していないが、各結線方式ごとに適切な方式が考案されている。

(a) 一列星型結線

この結線方式では層間短絡を外部より検出する適切な方法がないため各種の方式が考案されてはいるが未だ実用的なものはなく又この結線の発電機は小容量のものが大部分でその必要性も少ない。

第3表 御岳発電所2号機循環電流

Table 3. Circulating Current of the Ontake P.S. No. 2 Generator

相	赤 相	青 相	黒 相
電 流 (A)	3	3	2.8

第4表 笠置発電所2号機循環電流

Table 4. Circulating Current of the Kasagi P.S. No. 2 Generator

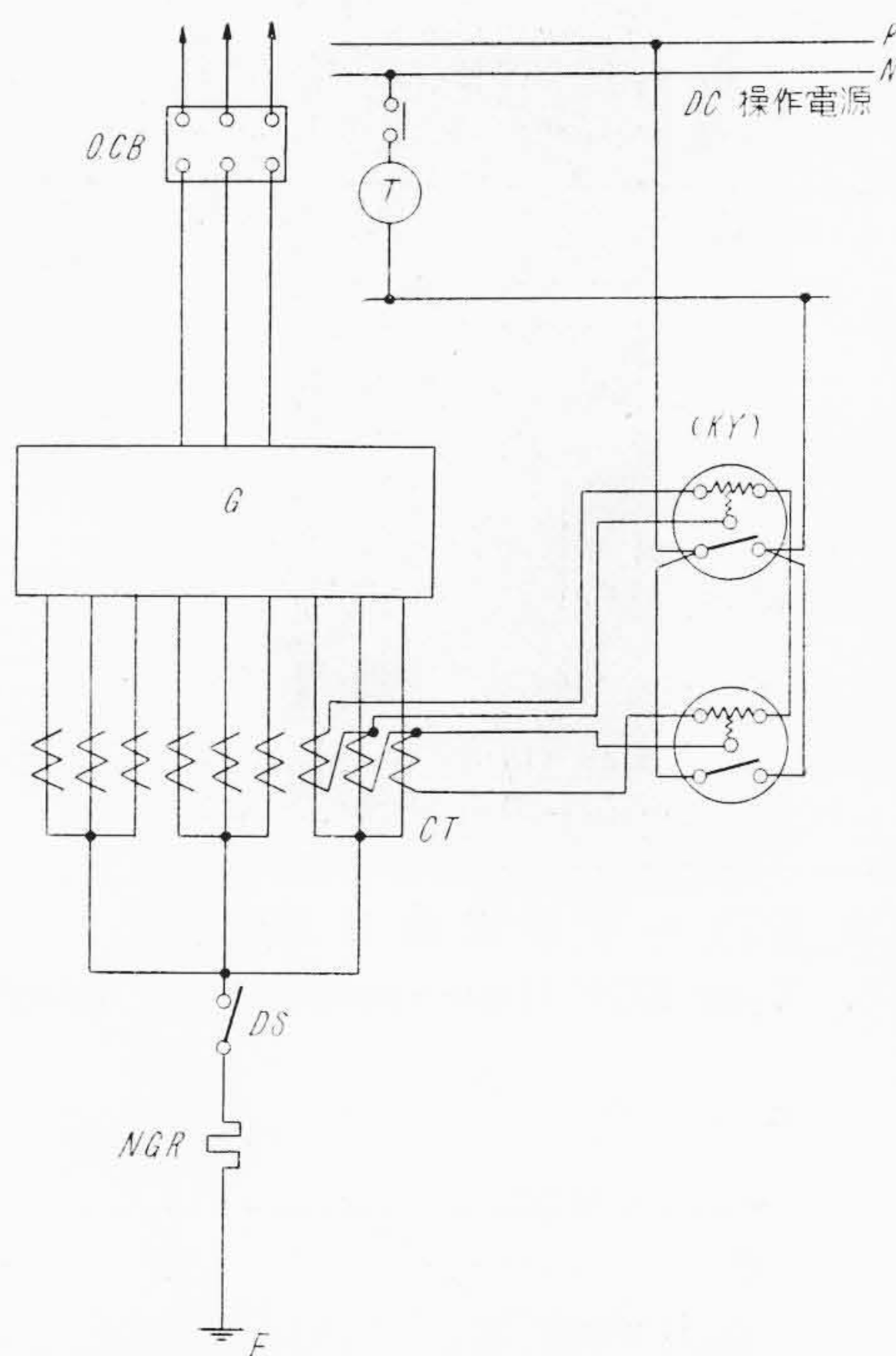
負 荷 (kW)	相	黒 相 ②-③ 間差電流 最大値 (A)
無 負 荷		7.5
13,500		11.5

(b) 二列並びに四列星型結線

中容量、大容量の発電機は殆ど二列星型、四列星型結線になっている。この結線の発電機は同相の並列回路があるため故障時の差電流の検出が比較的容易である。層間短絡保護方式は第1図に示す如く同相巻線内の不平衡循環電流による比率差動電流方式が採用されている。循環電流は相間短絡の場合の動作電流と異り短絡巻数が少くなるに従って甚しく小さくなるので、1ターン短絡の場合は継電器の動作が不安定になり易いばかりでなく、程度は発電機によつて異なるが同相の並列巻線内には無負荷運転時に於ても循環電流が流れているのでその程度によつては1ターン短絡保護が困難になることもある。循環電流の実側値の一例を示せば第3表及び第4表の通りである。第3表は御岳発電所2号機の循環電流の差電流であり、第4表は笠置発電所2号機の実側値で、回転子の一回転を周期として電流は増減している。常時の循環電流が大きい程故障時の循環電流との差が小さくなり、継電器の故障検出には不利となるので発電機は循環電流が少いことが望ましい。このため日立製作所に於ては、発電機の設計上巻線の配置等に特別の考慮を払い循環電流が少くなるようにしているので、1ターン短絡の保護に支障を来すことはない。保護方式は前記の差動電流方式にKY型高速度比率差動継電器を使用し、外部故障による誤動作を絶無にすると共に巻線の1ターン短絡を確実に保護し得る高感度のものになっている。

(c) 三列星型結線

発電機によつては三列星型結線のものもある。これに対して前記の差動電流方式をとれば変流器の数が多くなつて狭い風洞内に取付けるには不便である。このため日立製作所に於ては第4図の如く各並列巻線に1箇の変流器を設け、これにKY型継電器を各相に2台使用した特殊の差動電流方式をとっている。これによれば変流器の数が少くなり性能も変らない利点がある。



第4図 層間短絡保護継電方式
(三列星型結線)

Fig. 4. Layer Short Protective Relay System of Generator (Tripple Star Connection)

50,000 kVA 以上の大容量機は構造上1溝1乃至2導体のものが多くこれに対しては層間短絡保護の必要はない。

〔III〕 誘導環型高速度保護継電器の構造と特性

(1) KGY型高速度接地継電器

本継電器は中性点抵抗接地方式に使用する高速度接地継電器で第5図(次頁参照)にその外観を第6図(次頁参照)に内部接続を示す。

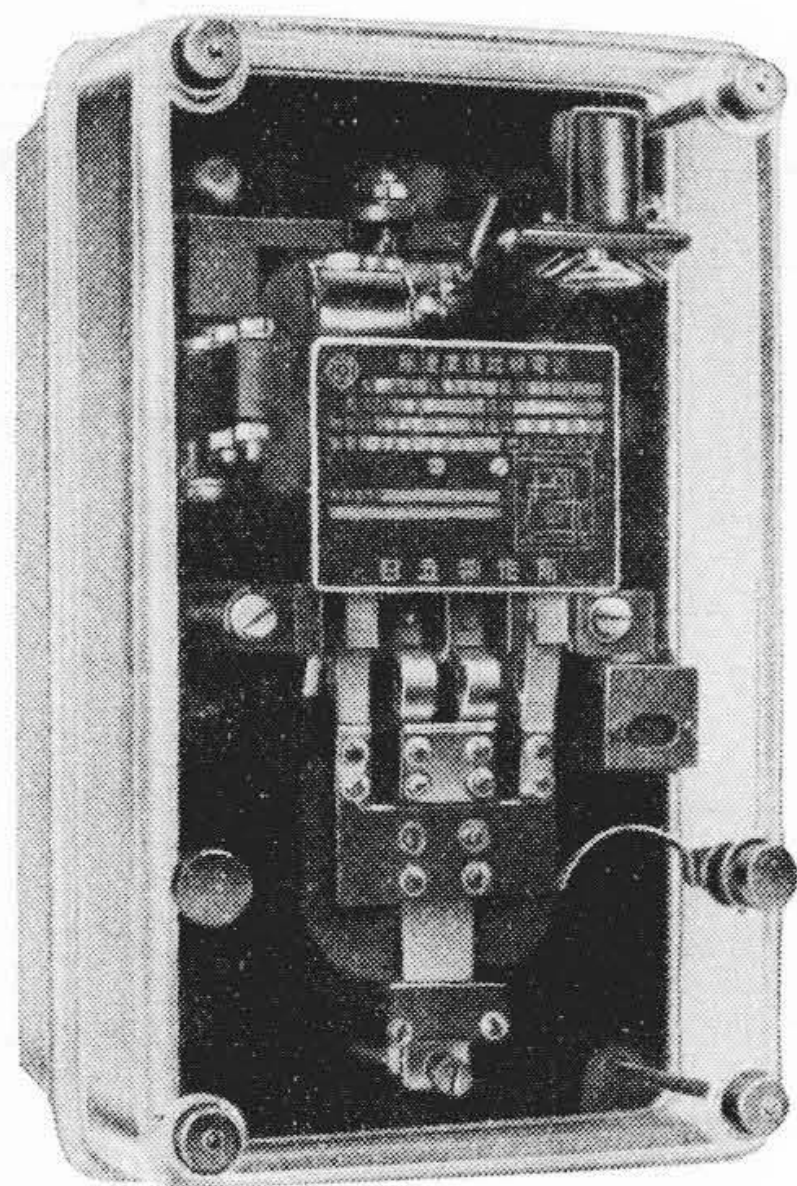
構造は誘導環型の動作原理による比率要素、過電流要素及び補助継電器よりなり、比率要素は発電機巻線の両端に接続された変流器の三次巻線に差動接続し、過電流要素及び補助継電器は中性点接地回路に接続された変流器の二次に接続される。

(A) 動作の概略

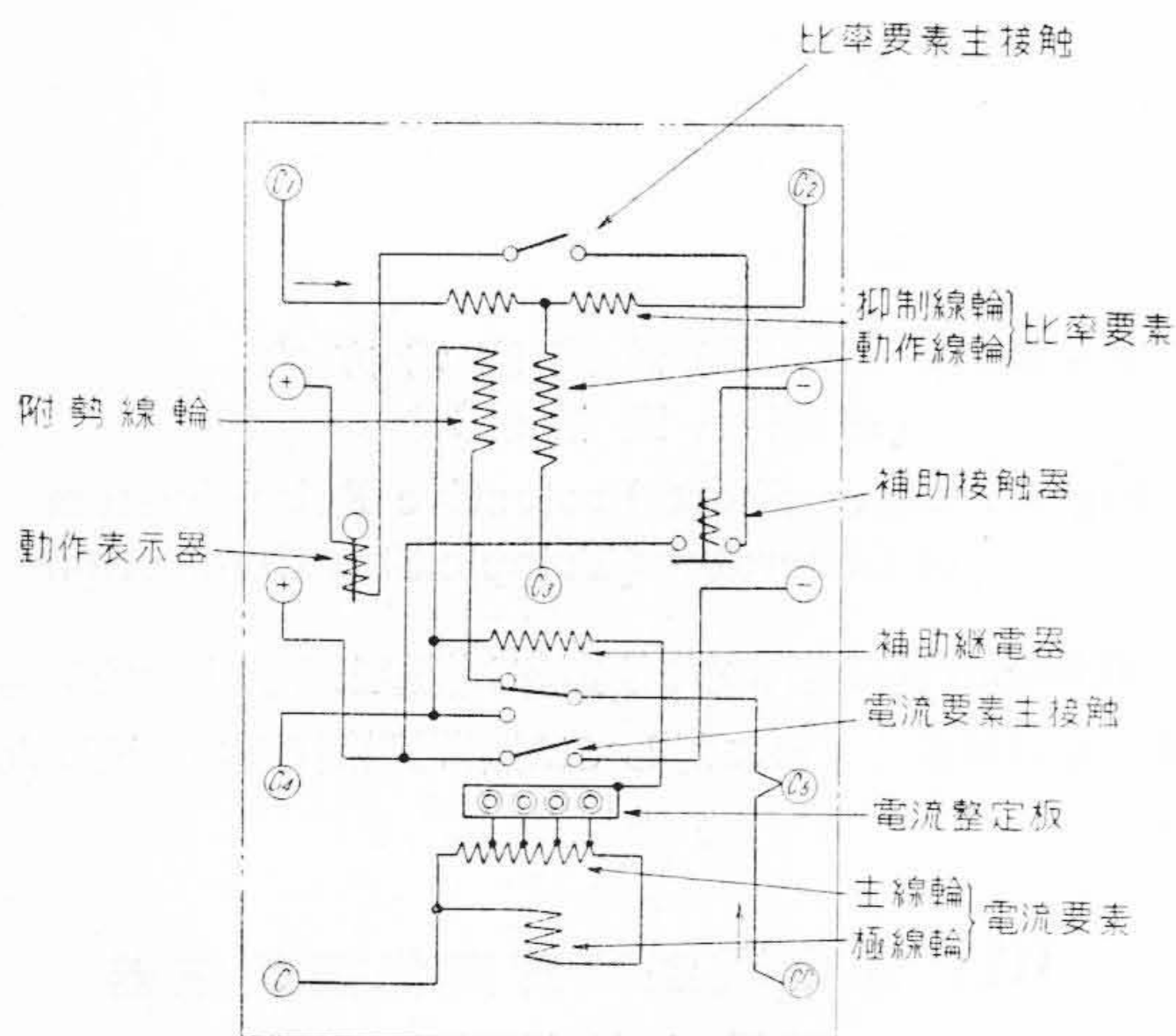
本継電器は直流限時継電器(CM型)と組合せ使用するもので第6図に就いて動作の概略を述べる。

(a) 故障点が発電機巻線の出力端から50~100%にあるとき

過電流要素は95%接地電流で動作するようにタップ整定され故障が発生するとこれが動作し、その接点に接



第 5 図 KGY 型 高 速 度 接 地 継 電 器
Fig. 5. Type KGY High Speed Ground Relay



第 6 図 KGY 型 高 速 度 接 地 継 電 器 内 部 接 続 図
Fig. 6. Internal Connection Diagram of Type KGY High Speed Ground Relay

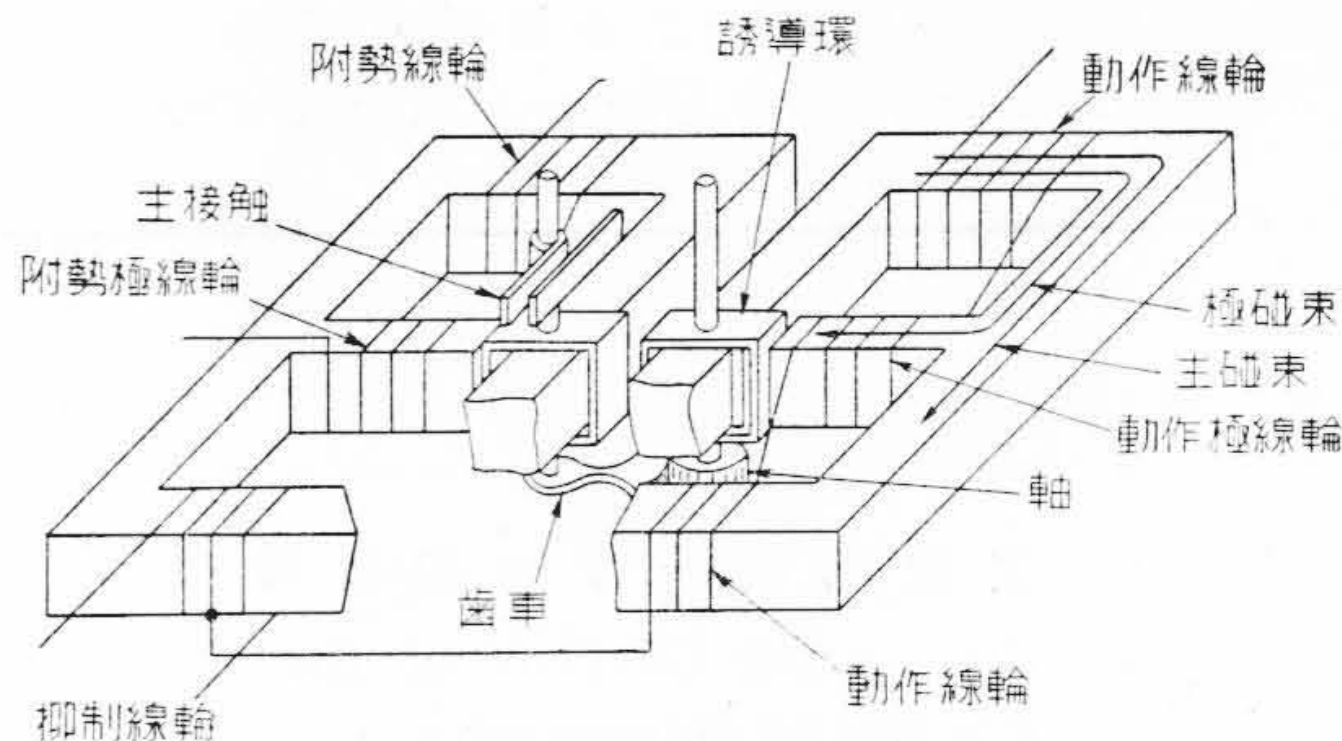
続されている限時継電器が励磁されて 80~100 ms で動作する。この *b* 接点で短絡されている端子 $C_3 \sim C_4$ は開路し、中性点電流は比率要素の動作回転力を強めるように設けられている附勢コイルを通つて $C_4 \sim CC$ に流れ比率要素の動作回転力と共にその接触を閉じて遮断器を遮断する。

(b) 故障点が 0~50% にあるとき

故障点が 50% になると補助継電器は瞬時に動作するので限時継電器が動作しても中性点電流は附勢コイルを流れることなく補助継電器の *a* 接点を通つて CC に流れ比率要素は三次巻線電流のみで動作する。

(c) 外部故障

(b) と同様過電流要素、補助継電器は動作するが比率



第 7 図 KGY 型 高 速 度 接 地 継 電 器 比 率 要 素 構 造 図
Fig. 7. Construction Diagram of Ratio Element for High Speed Ground Relay

要素は比率特性に基いて完全に抑制されるので継電器は動作しない。

(B) 比 率 要 素

第 7 図は比率要素の構造図で抑制素子と動作素子とから成り、それらは各々独立した磁気回路と誘導環を具え、その回転力を軸と歯車で機械的に比較動作する。

比率要素は変流器の三次巻線に接続するため、その消費電力は特に小さいことが要求されるが、これに対しては次の如き方法により極めて小さくなっている。

(a) 動作コイル

第 7 図に示すような構造の継電器素子に於ては同一の励磁入力に対して極磁束/主磁束の比によつて動作回転力及びインピーダンスが変化する。この点から動作コイル 1, 2 及び極コイルを設け、動作コイル 1 及び 2 の巻数並びに極性に就いて検討した結果、動作電流及び回路インピーダンスを低くすることが出来た。

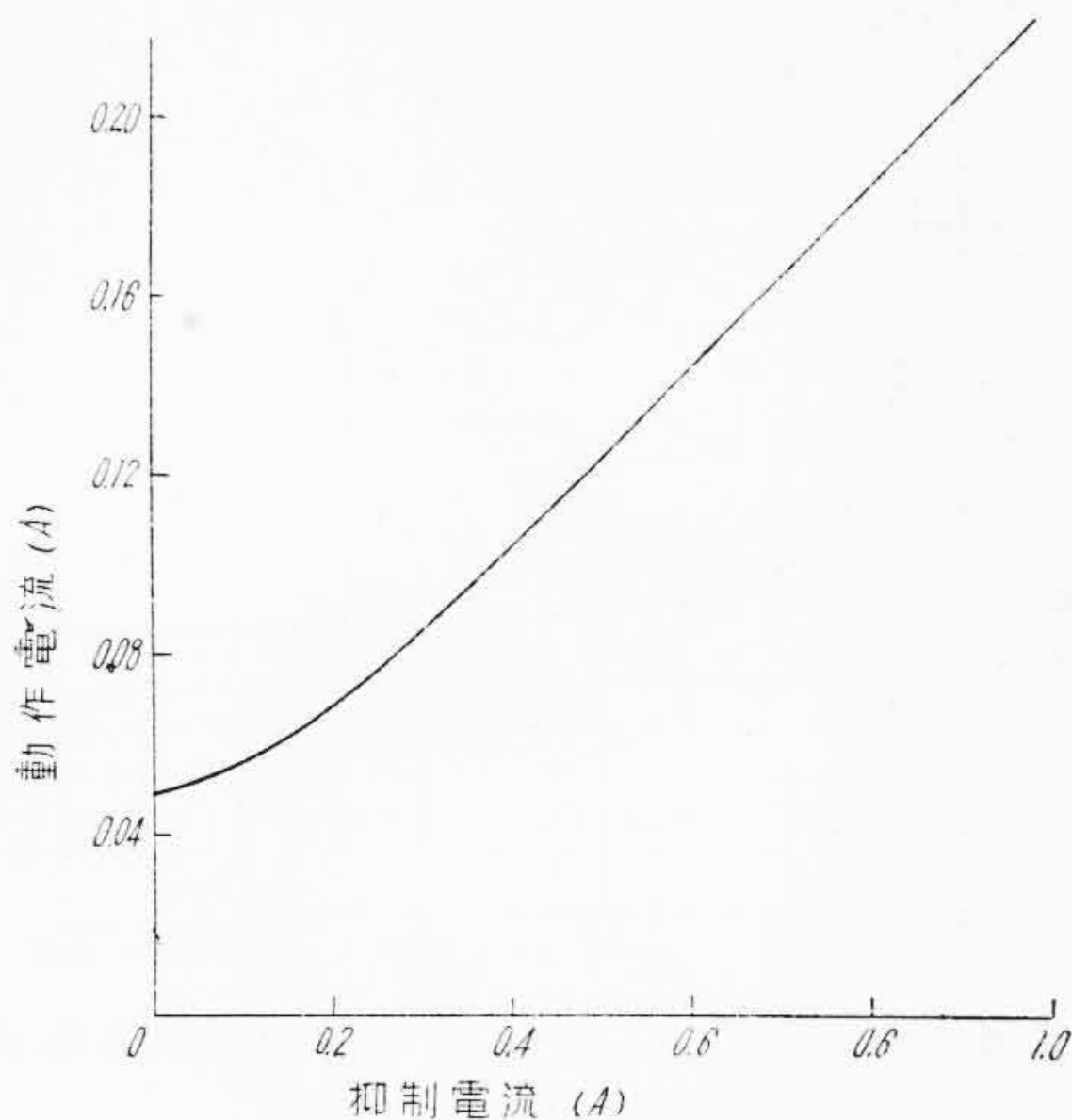
(b) 回転力を比較する軸と歯車の半径比に就いて回転力と動作時間の点より検討した。

(c) 本要素は前項 (a) に述べたように故障点が出力端から 50~100% の範囲内にあるとき中性点電流で附勢するために、抑制素子側鉄心に動作回転力と同方向の回転力を生ずる附勢コイルを設けてあり、中性点電流のみでも動作することが出来る。第 8 図は本要素の比率特性を示す。

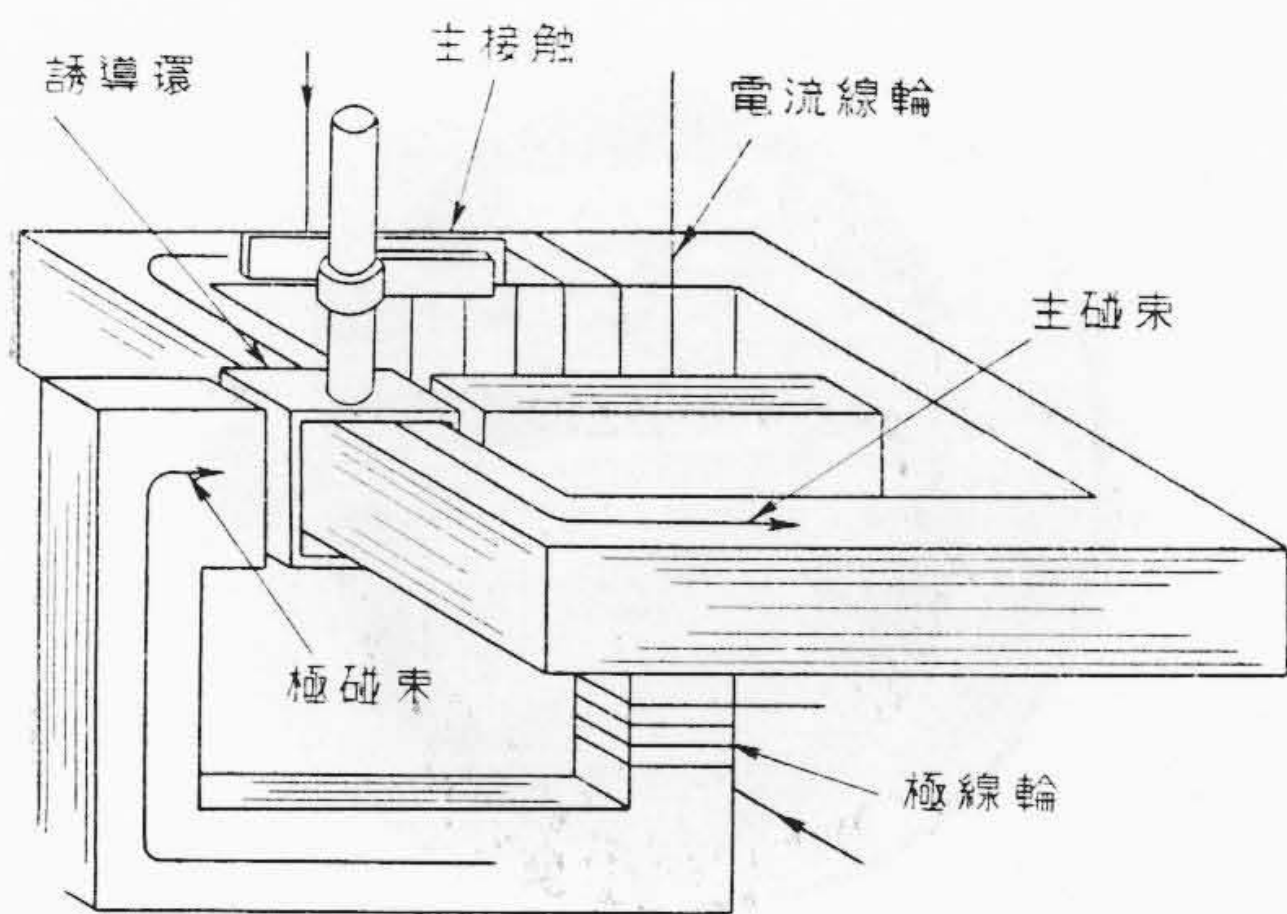
(C) 過 電 流 要 素

本要素の構造は第 9 図に示すように、無空隙の鉄心に電流コイルと誘導環を配し、別にコの字形鉄心に極コイルを設けて電流の一部を分流し、極磁束を生ぜしめて誘導環電流と極磁束により動作させる。尚使用状態により動作感度を整定できるように、0.25~0.5 A のタップを設けてある。

本継電器の動作感度は、各要素の組合せによるもので、内部故障に対しては極めて高感度に動作するとともに外部故障には絶対に誤動作しないようにしてある。又電磁



第8図 KGY 型高速度接地継電器比率要素特性
Fig.8. Characteristic of Ratio Element of Type KGY High Speed Ground Relay



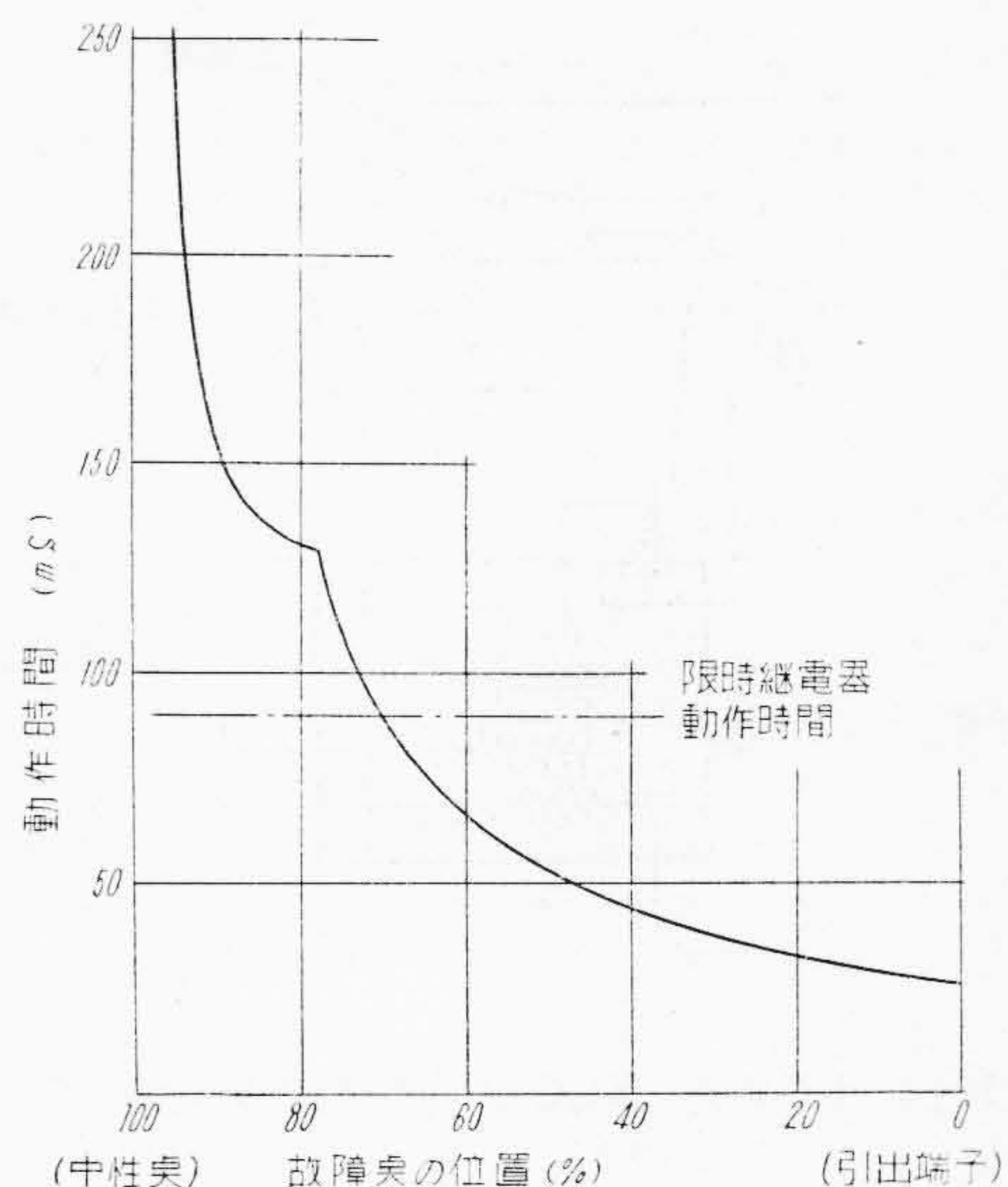
第9図 KGY 型高速度接地継電器過電流要素構造図
Fig.9. Construction Diagram of Overcurrent Element for Type KGY High Speed Ground Relay

的、機械的過渡時に動作するので、動作時間は故障発生時の条件により若干の変動はあるが、多数の測定結果より平均動作時間を求めたものを第10図に示す。故障電流の小さい 80~95% の範囲では限時継電器の動作時間が含まれるため最大 250ms 位になるが、接地電流が大きくなれば比率要素のみで動作するので 30ms 以下になっている。

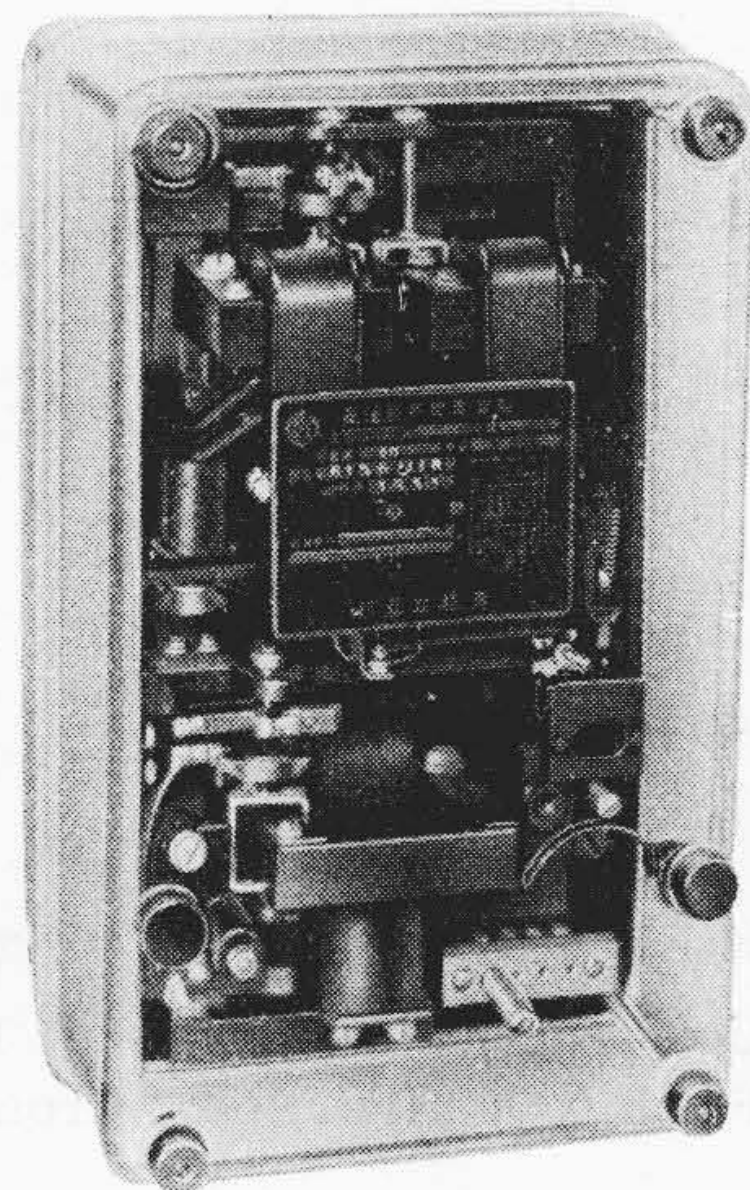
(2) KG 型 XQC 式 及び KGV 型 XQC 式高速度接地継電器

本継電器は柱上変圧器接地方式に於ける接地保護継電器で第11図にその外観を、第12図(次頁参照)に内部接続図を示す。構造は誘導環型動作原理による電圧要素と直流限時要素より成り、前者は接地用変圧器の二次回路に接続される。

第13図(次頁参照)は本継電器の鉄心の形状を示す。そ



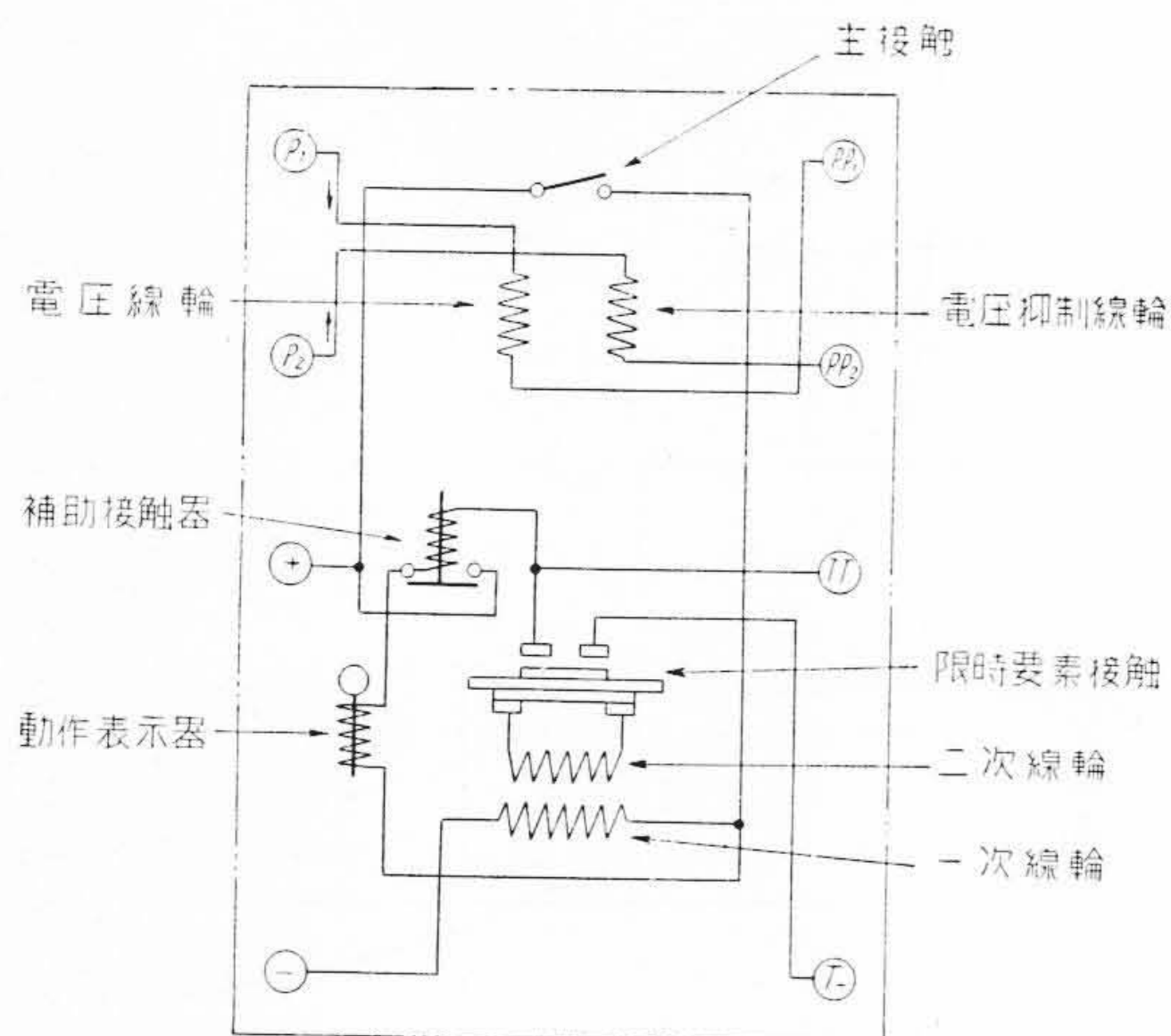
第10図 KGY 型高速度接地継電器動作時間特性
Fig.10. Operating-Time Characteristics of Type High Speed Ground Relay



第11図 KGV 型 XQC 式 高速度接地継電器
Fig.11. Type KGV Form XQC High Speed Ground Relay

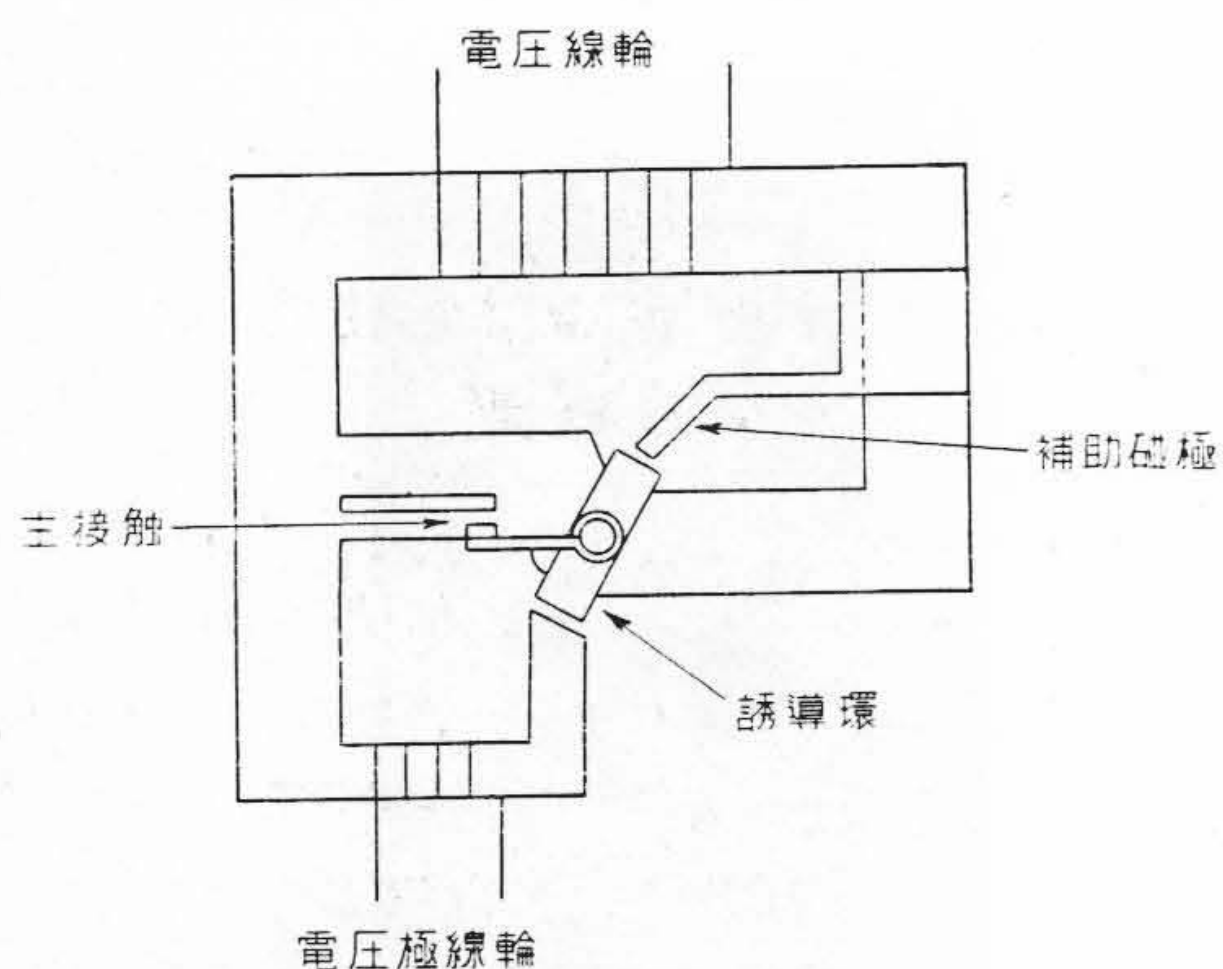
の断面積は KGY 型のものに比して若干大きくなっている。高感度にするために、主コイルと並列に極コイルを設けると共に補助磁束で主磁束の一部を極磁束として使用している。整定タップは中性点に於ける、残留高調波電圧と主変圧器の高圧側に於ける接地故障の際の容量結合等による誤動作を防止する目的で、5, 7, 10V タップを設けてある。

本継電器は常時抑制効果がないので、過渡現象による誤動作を防止するため限時要素を備えており、常時短絡二次コイルの遅延効果により 40~60ms で動作する。



第 12 図 KGV 型 XQC 式 高速度接地継電器 内部接続図

Fig. 12. Internal Connection Diagram of Type KGV Form XQC High Speed Ground Relay



第 13 図 KG 型 XQC 式 高速度接地継電器構造図
Fig. 13. Construction Diagram of Type KG Form XQC High Speed Ground Relay

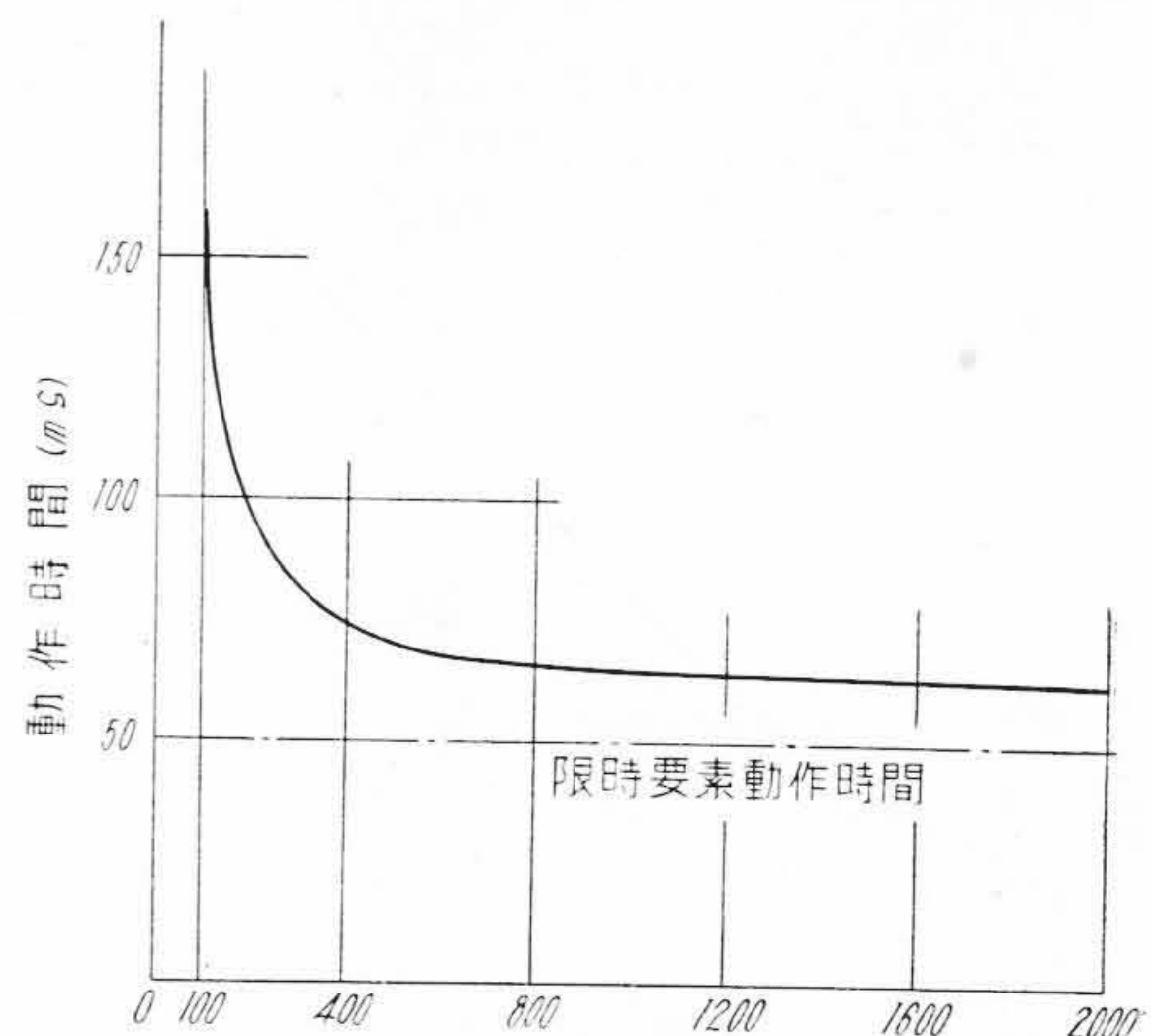
第 14 図は平均動作時間を示す。

KGV 型 XQC 式継電器は、KG 型 XQC 式に主変圧器高圧側中性点電圧による抑制を加えるために、抑制コイルを追加したものである。

(3) KY 型 高速度比率差動電流継電器

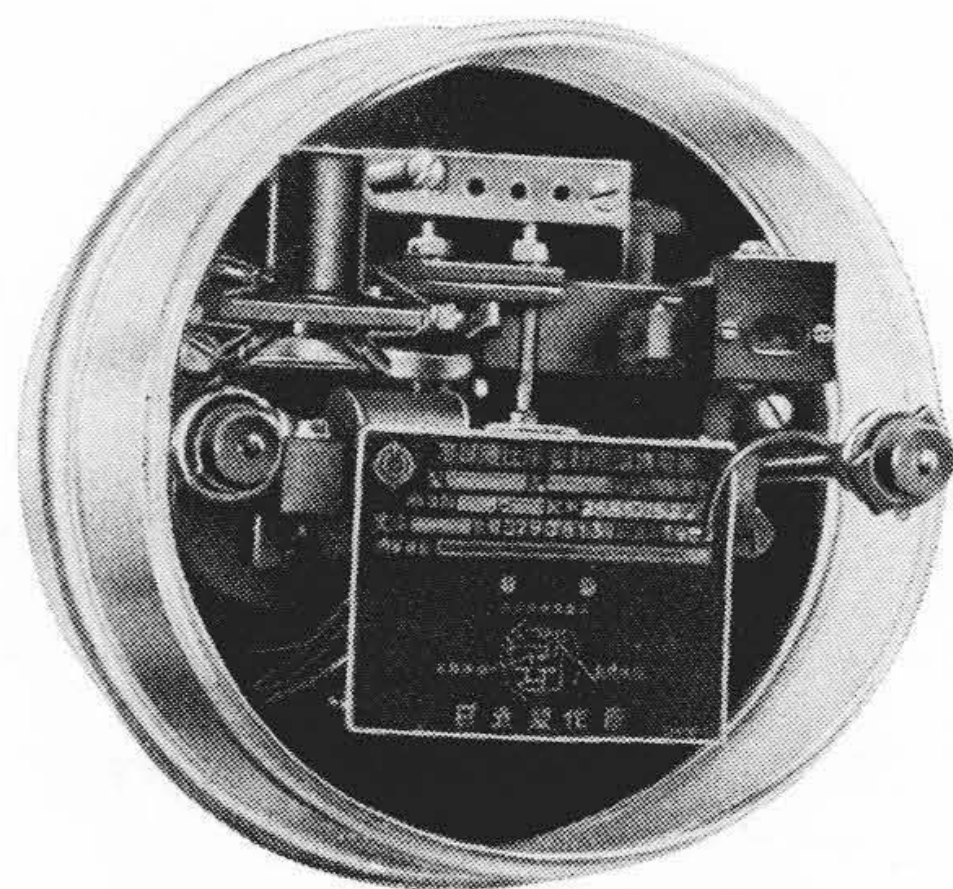
本継電器は発電機巻線の短絡故障保護用で第 15 図はその外観を、第 16 図は内部接続を示す。

構造は KGY 型継電器の比率要素と同じものであるがコイルの構成は次のようになっている。即ち、KGY 型継電器の比率要素が変流器の三次巻線に差動接続されるのに対し、本継電器は二次巻線に差動接続されるので消費電力は KGY 型に比して大きくでき、使用目的からは比率整定タップを必要とする。これらの点からタップの切



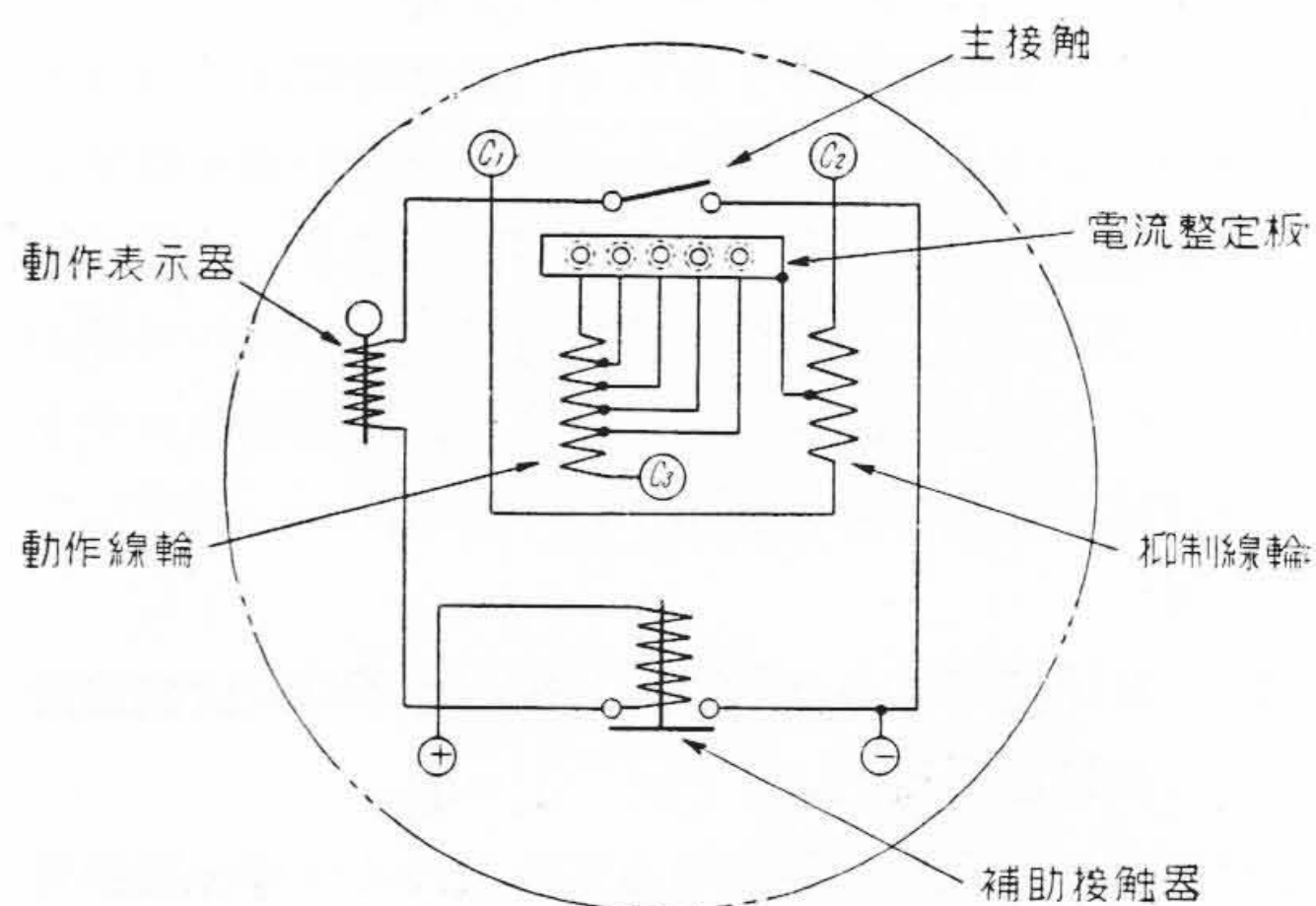
第 14 図 KG 型 XQC 式 高速度接地継電器 動作時間特性

Fig. 14. Operating-Time Characteristics of Type KG Form XQC High Speed Ground Relay



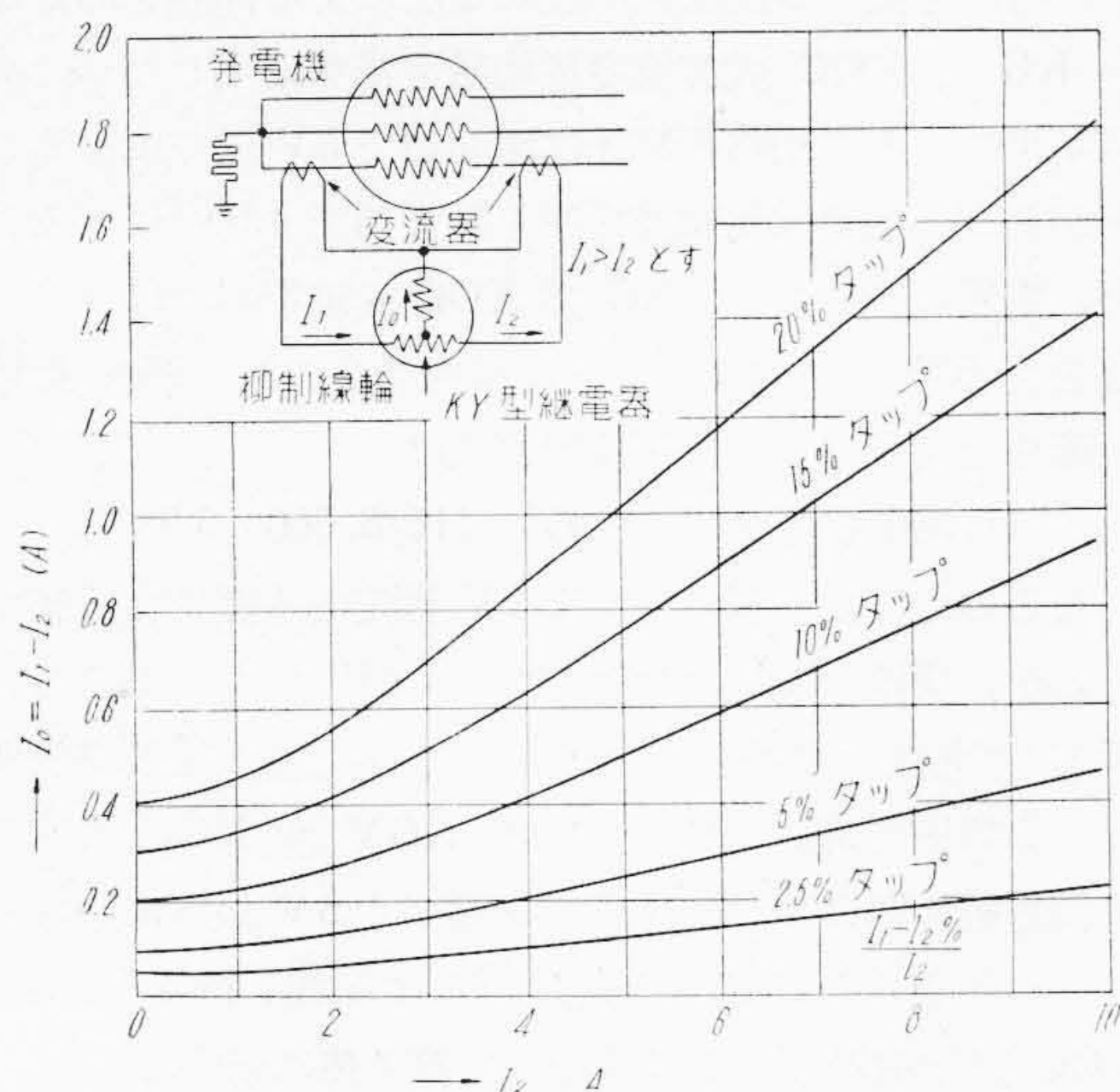
第 15 図 KY 型 高速度比率差動電流継電器

Fig. 15. Type KY High Speed Ratio Differential Current Relay



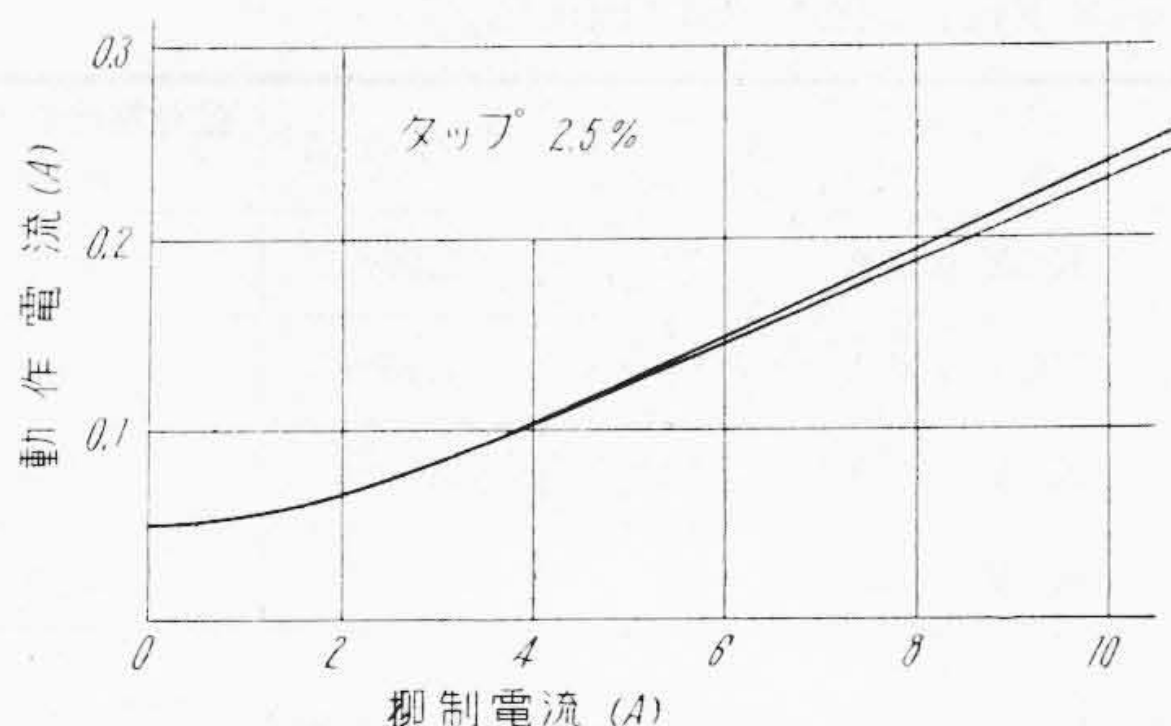
第 16 図 KY 型 高速度比率差動電流継電器 内部接続図

Fig. 16. Internal Connection Diagram of Type KY High Speed Ratio Differential Current Relay



第17図 KY型 高速度比率差動電流継電器 比率特性

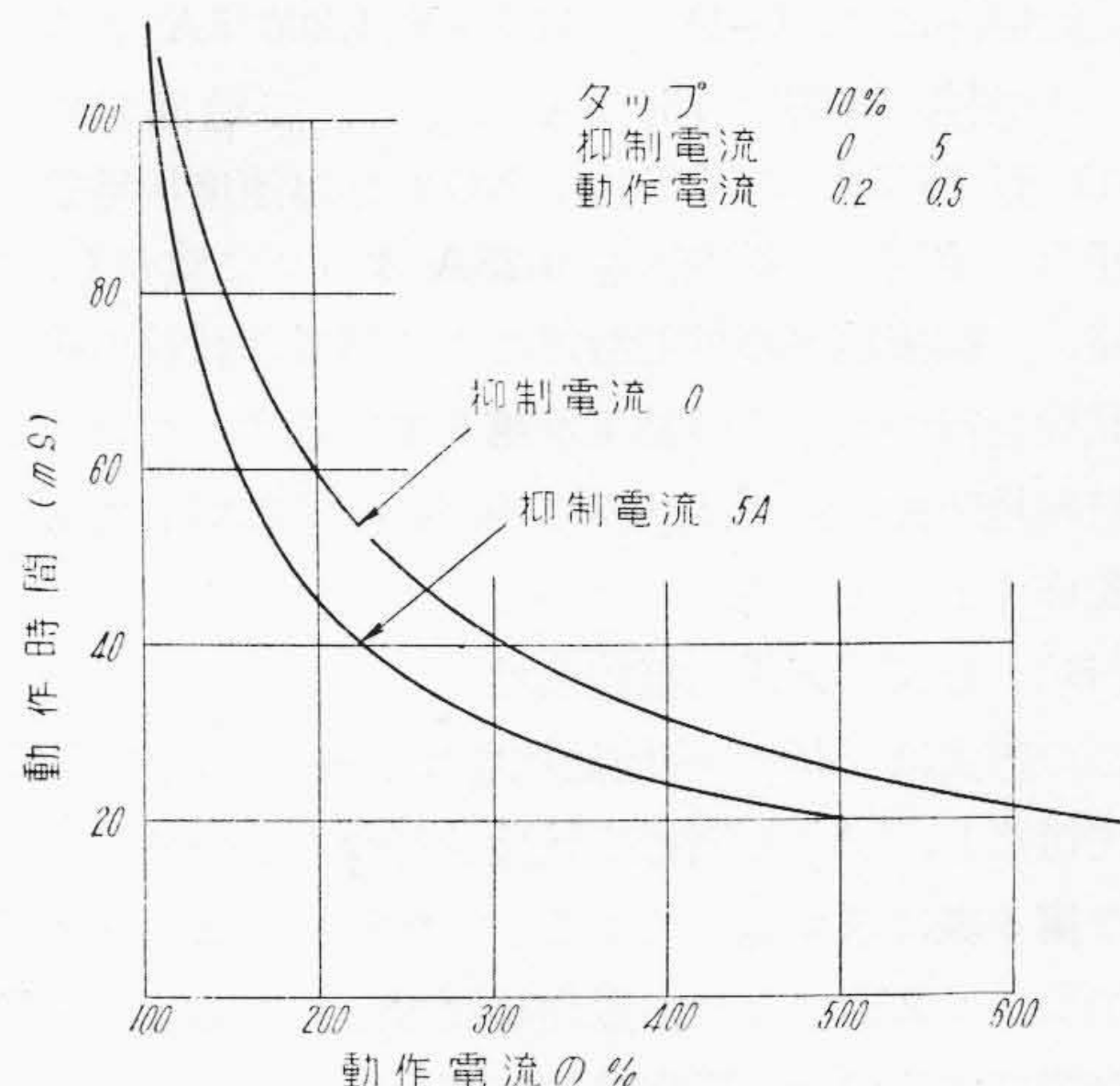
Fig.17. Ratio Characteristics of Type KY High Speed Ratio Differential Current Relay



第18図 KY型 高速度比率差動電流継電器 動作電流の方向の反転による比率特性の変化

Fig.18. Change of Ratio Characteristics Reversing Direction of Operating Current of Type KY High Speed Ratio Differential Current Relay

換を行つた場合にも一様の特性をもつように、第7図に於ける動作コイル1のみとし、これにタップを設けてある。この結果タップ整定は一様に行われる。第17図は各タップに於ける比率特性を示し、第18図には、2.5% タップに於て動作電流の方向を逆転した場合の比率特性を示してあるがその差異は殆どない。第19図は 10% タップに於て、抑制電流のない場合と、5A に於ける動作時間を示す。図に示されているように、本継電器の如く回転力の比較動作による継電器に於ては、発電機の負荷の大きい程動作時間が早くなる。



第19図 KY型 高速度比率差動電流継電器 動作時間特性

Fig.19. Operating-Time Characteristics of Type KY High Speed Ratio Differential Current Relay

〔IV〕 笠置発電所に於ける人工故障試験結果

この種の保護継電器は故障の性質上、実地の組合せ試験は殆ど不可能であるため、工場内の静的特性試験の成績によりその性能を推測するに止まっていたが、昭和27年関西電力御岳発電所、昭和28年笠置発電所に於て人工故障試験が実施され、各種の保護継電器の性能が明かにされた。試験は誤動作の予想されるすべての外部故障、運転条件による慎重な誤動作試験により継電器を実際の使用状態に整定した後、内部故障による感度試験を行つたので、その結果は実際の故障時の動作とみて大差はないと思う。

(1) 供試発電機の仕様

容量	15,000 kVA
電圧	11,000 V
電流	787 A
回転数	150 r.p.m.
周波数	60 ϕ
結線方式	三相三列星型

(2) 巻線接地故障

中性点 64 Ω 抵抗接地、ヒューズ併用抵抗接地、柱上変圧器接地の三方式に就いて、各々故障点を発電機出力端(0%), 出力端より 85%, 90%, 95% の位置を選んで試験を実施した。

(A) 64Ω 抵抗接地

差動回路には、U-11 型 11.5 kV 1,200/5A の変流器の三次巻線、変流比 750/5A のもの、接地回路には、U-11 型 75/5A の CT を、KGY 型高速度接地継電器と組合せ使用し、継電器を 0.25A タップに整定し、二相短絡、一線接地等の外部故障による誤動作試験の後、感度試験を行つた。その結果を第 5 表に示す。これにより抵抗接地方式に於ては巻線の 95% 接地に対しても確実に動作することが明かになつた。

(B) ヒューズ併用抵抗接地

この方式は 64Ω の接地抵抗をヒューズを以て 32Ω の所で短絡し、(A)と同様の試験を行つたもので、その結果は第 6 表に示す通りである。接地電流はヒューズ熔断まではほぼ 2 倍になり、動作時間も速くなるが、接地電流が増加するので、動作時間が速くなつても鉄心の損傷程度が多少大きくなることは避けられなかつた。

(C) 柱上変圧器接地

柱上変圧器は 6.6 kV/115 V 20 kVA のもの 2 台を直列に接続し、0.72Ω の二次抵抗を使用した。この試験に

は、特に主変圧器高圧側中性点電圧による抑制を加えない KG 型 XQC 式高速度接地継電器を使用した。静電効果による零相移行電圧は実効値で 5V 近くになることがあり、又第三高調波電圧も最大値で 4.5V になるため、電圧抑制のない、KG 型 XQC 式継電器ではタップ整定を 5V 以下にすることは出来なかつた。95% 接地の際柱上変圧器二次電圧は計算上は

$$11,000/\sqrt{3} \times (1-0.95) \times 115/6,600 = 5.53 \text{ V}$$

になるので、計算通りならば 5V 整定でも動作する筈であるが、実際の電圧は実効値で、4.9V であつたので、95% 接地では動作しなかつた。しかし主変圧器高圧側中性点電圧で抑制を加えている KGV 型 XQC 式高速度接地継電器によれば、タップ整定を 5V 以下に下げることが出来るので 95% 接地は確実に保護し得る。KG 型 XQC 式継電器による試験結果を第 7 表に示す。

(3) 層間短絡故障

本発電機は前記の如く、三列星型結線であるため、各相に U-11 型 11.5 kV 300/5A の変流器 3 箇と、KY 型高速度比率差動継電器 2 台を使用した。継電器の感度を

第 5 表 故障試験結果 (中性点 64Ω 抵抗接地)

Table 5. Result of Fault Test (Neutral 64Ω Resistance Grounding)

接 地 点 (%)	発電機出力 (kW)	力 率 (%)	電流実効値 (A)	接地電流実効値 (A)	中性点電圧 実効値 (V)	継 電 器 名 定 整	動 作	動作時間	動作電流最大値 (mA)
0	13,500	92	790	93.0	6,000	KGY 0.25A	動	1.25~	531.0
85	13,500	94	790	14.8	800	KGY 0.25A	動	7.75~	58.8
90	13,500	95	780	10.0	550	KGY 0.25A	動	9.00~	34.3
95	13,800	93	800	4.8	300	KGY 0.25A	動	15.00~	20.6

第 6 表 故障試験結果 (中性点ヒューズ併用抵抗接地)

Table 6. Result of Fault Test (Neutral Resistant with Fuse Grounding)

接 地 点 (%)	発電機出力 (kW)	力 率 (%)	電流実効値 (A)	接地電流実効値 (A)	中性点電圧 実効値 (V)	継 電 器 名 定 整	動 作	動作時間	動作電流最大値 (mA)	備 考
0	13,500	95	780	[97.0]	6,300	KGY 0.25A	動	2.00~	912.0	10A ヒューズ
85	13,500	95	780	27.0 [13.5]	870	KGY 0.25A	動	4.75~	128.5	8 A ヒューズ
90	13,500	95	780	18.7 [9.4]	600	KGY 0.25A	動	7.50~	103.0	[] 内熔断後 8 A ヒューズ
95	13,500	95	780	9.1	290	KGY 0.25A	動	9.50~	47.4	8 A ヒューズ

第 7 表 故障試験結果 (中性点柱上変圧器接地)

Table 7. Result of Fault Test (Pole Transformer Grounding)

接 地 点 (%)	発電機出力 (kW)	力 率 (%)	電流実効値 (A)	接地電流最大値 (A)	柱上変圧器 2 次電圧実効値 (V)	継 電 器 名 定 整	動 作	動作時間	動作電圧実効値 (V)
0	13,500	95	790	5.5 交流分	104.0	KG-XQC 5V	動	5.0~	104.0
85	13,500	95	790	0.5 交流分	14.5	KG-XQC 5V	動	5.5~	14.5
90	13,500	95	790	0.34	10.1	KG-XQC 5V	動	7.0~	10.1
95	13,500	95	790	0.19	5.0	KG-XQC 5V	不	—	4.9

第 8 表 故障試験結果 (層間短絡)

Table 8. Result of Fault Test (Layer Short)

短絡状態	出力 (kW)	力率 (%)	電流実効値 (A)	差電流最大値 (A)	継電器名整定	動作	動作時間	動作電流最大 値 (mA)	備考
1 ターン	無 負 荷	—	—	7.4 [13.7]	KY 2.5%	動	16.5 $\sim$	148 [170]	[] 内短絡後
1 ターン	13,500	94	800	11.5 [17.5]	KY 2.5%	動	26.5 $\sim$	160 [210]	[] 内短絡後

支配する並列巻線内の循環電流は黒相の ②—③ 巻線間の差電流で、無負荷時に於ては最小 3.1A (最大値、以下同じ) から最大 7.5A の間を回転子の一回転 24 $\sim$ を周期として変化しており、13,500 kW 全負荷時に於ては 5A より 11.5A の間を変動している。全負荷時は、負荷電流による抑制が加わるから最低の 2.5% タップでも接点の状態は安定しているが、無負荷或は軽負荷時は抑制電流が全然ないか、極く僅かであるため、2.5% タップでは、循環電流により誤動作することがあつたため、タップを再調整し、二相短絡、外部一線接地、主変圧器励磁、同じく 5% 過励磁、巻線の 85% 接地等による誤動作試験を行つた後、巻線の 4 ターン短絡、1 ターン短絡故障に就いて試験した。その結果は第 8 表に示す通りである。本発電機は循環電流が比較的大きく、1 ターン短絡時の循環電流との差が少く試験条件としては相当苛酷であつたが、KY 型継電器は、全負荷、無負荷時共 1 ターン短絡を完全に選択動作している。

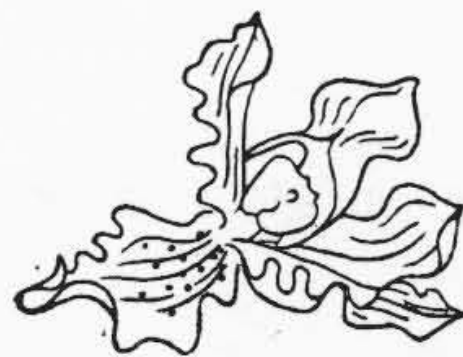
〔V〕 結 言

以上、発電機巻線の保護方式、特に日立製作所が推奨する保護方式に就いて述べたが、何れも将来改善の余地

は無しとしないが、巻線の 95% 以上の保護範囲、1 ターン短絡の保護という一応の目標を達成し、しかも実際の故障状態に近い、人工故障試験に於て確実な保護能力を立証し得たもので、発電機の保護方式の今後の発達に対し大きく寄与するものと信ずる。日進月歩の電力機器に対する保護は益々重要視されつゝある現状に於ては更に新方式の開発、高性能継電器の改良製作に一層の努力を致さなければならない。更に故障を軽減せしめるには接地電流の減少、故障の早期検出等今後に残された問題がある。この点笠置発電所に於ける人工故障試験は、保護継電方式及び保護継電器に対する信頼を高め、その製作上に貴重な資料を提供するものとして、再度にわたり試験の機会を与えられた、関西電力株式会社及び試験の計画指導にあたられた、電力中央研究所の関係各位に対し厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 関西電力御岳発電所 2 号機による保護継電器試験に関する報告 (昭和 27 年)
- (2) 関西電力笠置発電所発電機保護継電器試験報告 (昭和 28 年)
- (3) 山根, 上之園: 電学誌 p. 703 (昭 28-7)



特 許 月 報

最近登録された日立製作所の特許及び実用新案

(その3)

(第12頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	409573	遠心分離機に於ける調車の緩止め装置	多賀工場	門 馬 光 雄	29. 1. 14
"	409609	コ イ ル 用 ボ ビ ン	多賀工場	安 川 昌 平	"
"	409612	気 化 器 に 於 け る 加 速 装 置	多賀工場	薮 原 連 清 佐 藤	"
"	409619	分光光度計に於けるプリズム回転装置	多賀工場	橋 本 正 勝	"
"	409621	天秤型継電器の感度調節装置	多賀工場	北 川 栄	"
"	409622	フリクションプーリの冷却装置	多賀工場	川 崎 光 彦	"
"	409623	回 転 軸 の 油 止 め 装 置	多賀工場	古 市 光 之	"
"	409624	軸 接 手 装 置	多賀工場	横 内 直 中 古 市 光 之	"
"	409626	回 転 体 駆 動 装 置	多賀工場	川 崎 光 彦	"
"	409627	回 転 体 駆 動 装 置	多賀工場	川 崎 光 彦	"
"	409628	分光光度計に於けるプリズム回転装置	多賀工場	橋 本 正 勝	"
"	409629	機 関 着 火 用 断 続 器	多賀工場	大 高 昇	"
"	409640	機 関 車 等 の 速 度 計 用 発 電 機	多賀工場	横 内 直 中 篠 原 清之助	"
"	409641	機 関 車 等 の 速 度 計 用 発 電 機	多賀工場	横 内 道 中 篠 原 清之助	"
"	409642	光 学 機 械 に 於 け る 光 源 調 整 装 置	多賀工場	橋 本 正 勝	"
"	409620	電 動 油 圧 押 上 機	亀戸工場	橋 本 勲 一 鈴 木 繁 好 細 谷 栄 次郎	"
"	409631	放 電 灯 用 ス イ ッ チ	亀戸工場	日野西 義 輝	"
"	409633	カ バ ー 締 付 装 置	亀戸工場	三 橋 庫 司 増 山 雄次郎	"
"	409634	小型変圧器の中身動揺防止装置	亀戸工場	大 西 真 史	"
"	409645	整 流 管 支 持 装 置	亀戸工場	和 田 正 脩 小 林 長 平 馬 場 勝 彦	"
"	409653	電動機のターミナルボックス	亀戸工場	松 井 茂 彦 小 林 長 平	"
"	409565	信 号 受 信 装 置	戸塚工場	内 藤 大 三	"
"	409615	電 子 管 電 極 構 体	茂原工場	藍 高 志 佐々木 達 郎	"
実用新案	409570	平 角 線 連 続 伸 線 装 置	日立電線工場	結 柴 秀 明	29. 1. 14