

# 共架多回線送電線用差電流特性キャリアリレー装置

Carrier Pilot Relaying Equipment with Current Differential Characteristics

中山 敬造\* 黒木 正明\*  
Keizō Nakayama Masaaki Kuroki

## 内 容 梗 概

共架多回線送電線においては、各回線、各導体間の相互インピーダンスの不均衡にもとづき、負荷電流または故障電流によって二次的に不平衡循環電流が発生するため、とくに高抵抗接地系統の地絡保護が困難である。

本稿ではこのような送電線の保護リレー方式の考え方と、新しく開発した差電流特性方向比較キャリアリレー方式の原理、特長、および適用上の問題点を述べ、さらに装置の構成と試験結果について報告する。

## 1. 緒 言

近年、特に都市周辺では送電線ルートの用地確保が困難のため、同一鉄塔に3回線以上を共架したいいわゆる共架多回線送電線が増加している。このような送電線では、完全にねん架することは技術的にも経済的にも困難であり、通常ねん架を省略している。このため各導体間の相互インピーダンスが不平衡となり、負荷電流や故障電流にもとづいて各回線間に不平衡循環電流が流れる。

この循環電流は、短絡故障電流に比べれば小さく短絡保護上はとくに問題とならないが、抵抗接地系統では1線地絡故障電流と同程度またはそれ以上となる場合があり、地絡保護リレーの不正動作をひき起こすことが多く、すぐれたリレー方式の出現が望まれていた。

今回開発した差電流特性方向比較キャリアリレー方式は、上述の問題を完全に解決した新しい方式である。すなわち電流比較形のパイロットワイヤリレー方式が循環電流の影響を受けにくいことに着目し、通常方向比較キャリアリレー方式にパイロットワイヤリレーと同様の差電流特性をもたせたものであり、中部電力株式会社岩塚変電所その他において好成績を取っている。この成功は最近著しい進歩をとげているトランジスタリレー技術を駆使して得られたものである。

以下、まず多回線送電線の保護リレー方式に対する考え方と本方式の詳細を述べる。

## 2. 共架多回線送電線の保護

### 2.1 不平衡循環電流の発生<sup>(1)</sup>

送電線の各導体間の相互インピーダンスは導体半径と相互の距離によって決定される。しかし導体の幾何学的配置は通常非対称形であるため各導体間のインピーダンスは不平衡となり、他の導体電流によって誘起される誘導電圧は各導体ごとに異なった値となるから、並行回線があり同じ相の誘導電圧が異なる場合には、電流が等分に流れず、並行回線間に循環電流が流れることになる。

したがって並行2回線構成の場合にも、相配列によっては不平衡循環電流が流れるが、相配列に対する制約が少なく、またねん架を行ない得るので、全長にわたってみると各相のインダクタンスが等しくなりとくに問題を生じない。しかし同一鉄塔に3回線以上の送電線を共架した、いわゆる共架多回線送電線では、対称性を保つことがむづかしく、さらに距離が短い場合にはねん架を行なうことも困難であるから、並行回線間に循環電流が発生する機会が多くなる。第1図は共架4回線送電線の例で、図のようにX-Y軸に対し各回線の相配置を対称にすれば循環電流の発生は防止できるが、たとえば4Lが休止して3回線運転となった場合にはその対称性がく

ずれ、併用されている1L, 2L間に循環電流 $I_{co}$ が発生する。

この循環電流は、相配列、鉄塔構造および送電線の運転条件によりその大きさが変化し、各相の循環電流を総合した見かけ上の零相分は平常運転時の起誘導負荷電流の15%程度に達することもある。たとえば負荷電流を1,000Aと仮定すると零相循環電流は150Aとなっており、これは抵抗接地系統の1線地絡故障電流に対して無視できない値である。そのため従来適用されている地絡過電流、地絡方向および地絡選択リレーなどは、事故が発生したとき零相循環電流のみに応動して誤動作したり、方向選択、回線選択を誤る結果となり、またこれを避けるために感度を低下させると、保護区間事故を完全に検出できないなど保護能力が著しく低下する。また、方向比較方式のパイロットリレー方式にしても、区間外事故時に誤動作は防止できるが区間内事故で電流流出端を生じるため不動作となるおそれ大きい。

### 2.2 不平衡循環電流に対する保護リレー方式

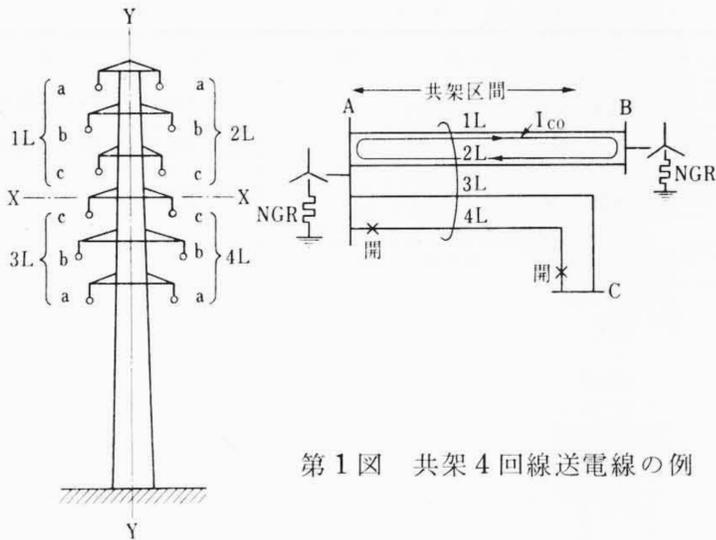
共架多回線送電線において不平衡循環電流による地絡保護リレーの不正動作を防止するには、まず循環電流の発生原因を押えることが考えられる。すなわち送電線設計において相配列を対称配列としさらに相ねん架、回線ねん架を施せばよいが、これは技術的にも経済的にも困難であり、またたとえある運転条件下では満足できても一部の回線休止など、他の運転条件を考えると完全なものにすることは不可能となる。また低抵抗接地方式を採用し循環電流が無視できる程度の故障電流を流すことも考えられるが、誘導障害などの関連から一般には困難である。したがって結局、循環電流が流れることを前提として保護リレー方式を検討する必要がある。

保護リレー方式によって循環電流対策を行なうにはまず次のような考え方がある。

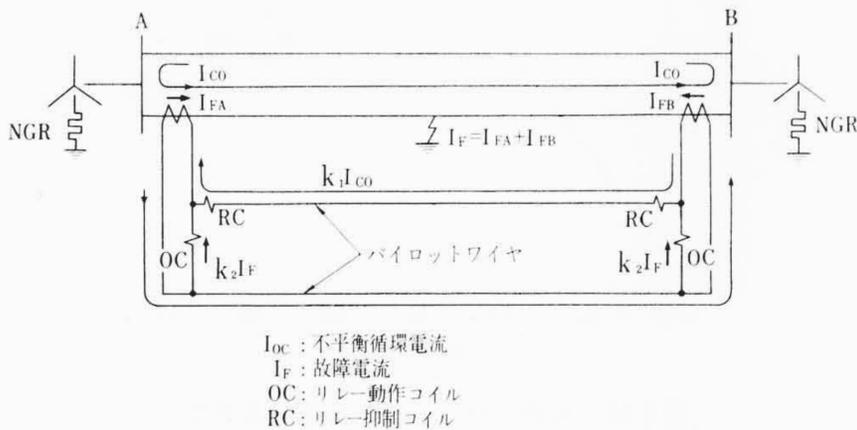
- (1) リレーの動作感度を循環電流に応動しない程度まで低下させればよいが、本来の保護能力を犠牲にする点に問題があり根本的な対策とはいえない。
- (2) 循環電流は並行回線内を環流するものであるから、並行回線一括の和電流でリレーを動作させれば、循環電流の影響を直接受けずに共架区間内の事故を検出できる。しかしその中の事故回線は判別できないので、故障相の強制接地方式、あるいは各回線の多段再閉路方式、さらに系統分離方式などの補助手段を併用する必要があり、実用上種々制約が多く現状では信頼できる対策にはならない。
- (3) 起誘導電流を組み合わせることで補償電流を合成し循環電流を打消す方式も考えられるが、装置が複雑になるほか、第1図のような系統構成ではB, C端で補償電流を取り出すことができず、一般的方法ではない。

以上の点から考えると、共架多回線送電線の保護には本質的に循

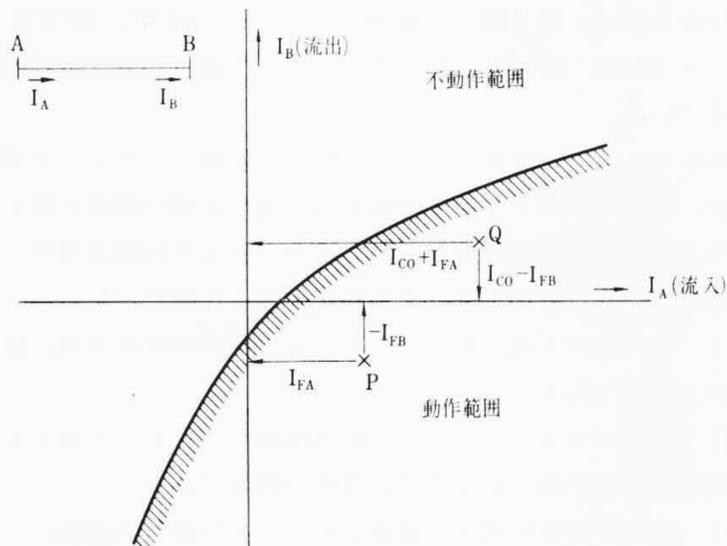
\* 日立製作所国分工場



第1図 共架4回線送電線の例



第2図 電流比較形パイロットワイヤリレー方式原理説明図 (電流循環式)

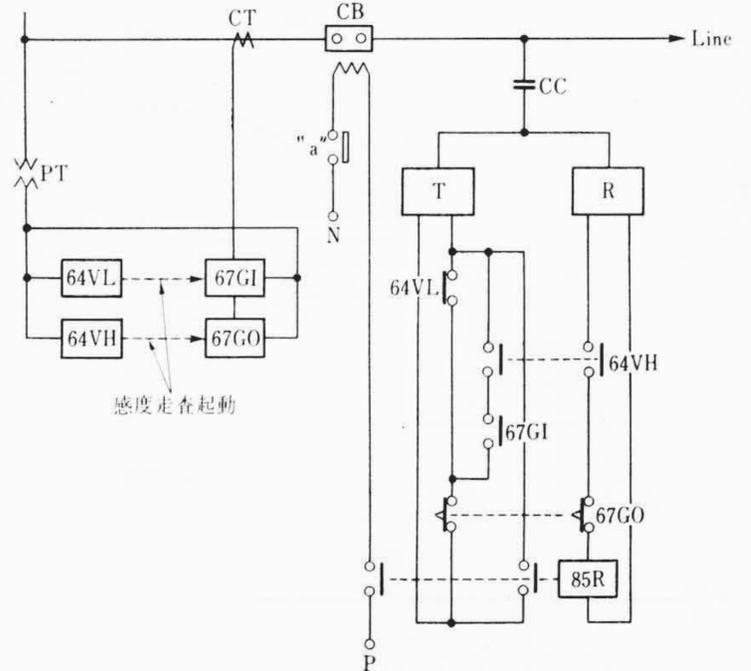


第3図 パイロットワイヤリレーの差電流特性

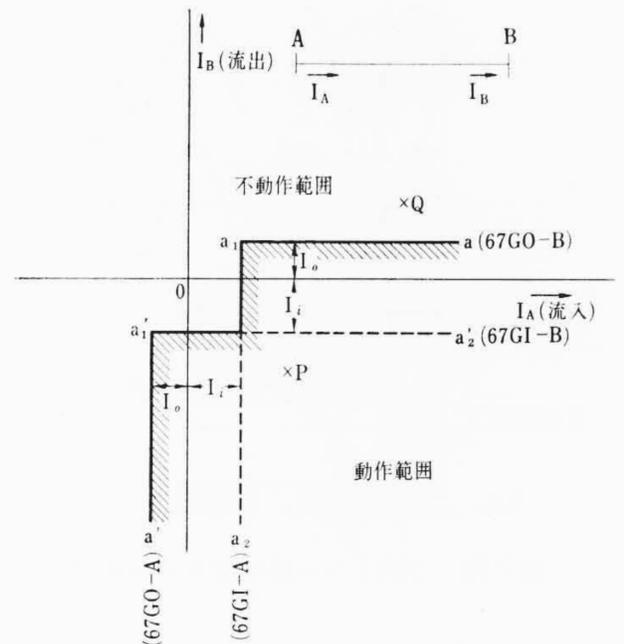
環電流の影響を受けにくいリレー方式の採用が望ましく、従来の保護リレー方式の中では電流比較形のパイロットワイヤリレー方式がその要求をみたすものである。すなわち第2図の原理説明図に示すように、循環電流  $I_{co}$  はリレー抑制コイル  $RC$  とパイロットワイヤを通して両端を環流し、リレー動作コイル  $OC$  には区間内事故の故障電流  $I_F$  に比例した電流が流れる。第3図はその差電流特性であるが、区間内事故時  $I_{co}$  がなければ動作点は  $P$  となり、 $I_{co}$  があれば  $Q$  に移る。したがって抑制コイル  $RC$  の発生する抑制回転力を適当にえらび  $Q$  点を動作範囲に含むような特性とすれば、 $I_{co}$  が極端に大きくない限り区間内事故の検出が容易であり、一方区間外事故では誤動作を完全に防止できる。パイロットワイヤリレー方式は  $I_{co}$  の影響を受けにくいから共架多回線送電線の保護には適当であるが、パイロットケーブルを必要とするから長距離送電線への適用は経済性の点で制限され、通常最大 15 km が限度である。

送電線の長さが長い場合にはキャリヤリレーの適用を考慮せねばならないが、キャリヤリレー方式ではパイロットワイヤリレー方式

- 64VL 地絡過電圧リレー(キャリヤ送信用)
- 64VH 地絡過電圧リレー(引外制御用)
- 67GI 地絡方向リレー(内部方向検出用)
- 67GO 地絡方向リレー(外部方向検出用)
- 85R 受信リレー
- ? キャリヤ送信器
- R キャリヤ受信器
- C.C カップリングコンデンサ



第4図 無電流端を考慮した方向比較キャリヤリレーの説明図 (1端局分)



第5図 方向比較キャリヤリレーの差電流特性

と異なり電流の量を比較することができないから、事故が保護区間内部にある場合でも  $I_{co}$  が事故電流より大きいとあたかも故障電流が1端から流出しているのと等価な条件となり、区間外事故との区別がつかず不動作となる。したがってキャリヤリレー方式にパイロットワイヤリレー方式と同様な差電流特性をもたせれば、適用上の制限なしに選択性の高い保護リレー方式が得られ共架多回線送電線の保護に最適である。

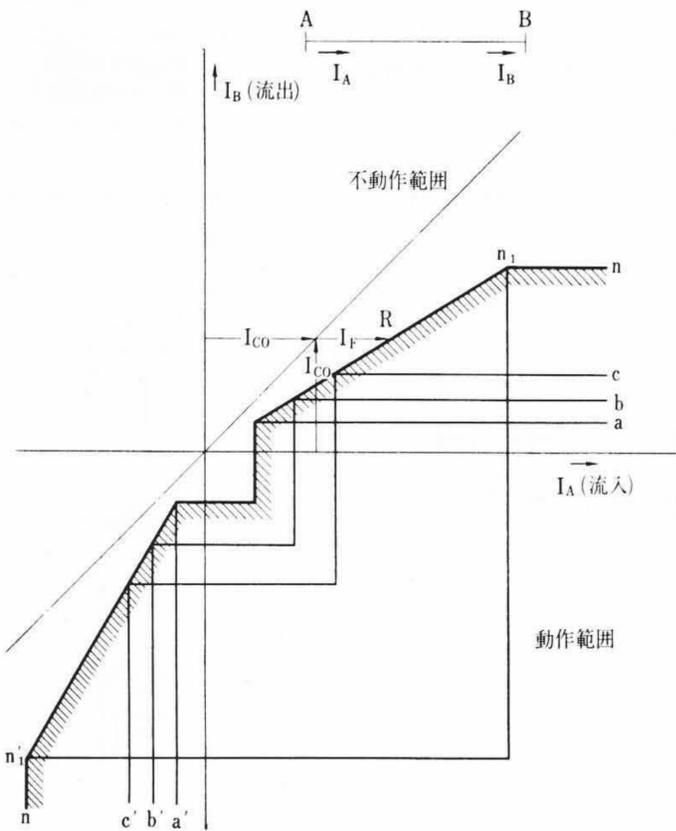
### 3. 差電流特性キャリヤリレー方式の原理

#### 3.1 差電流特性キャリヤリレー方式

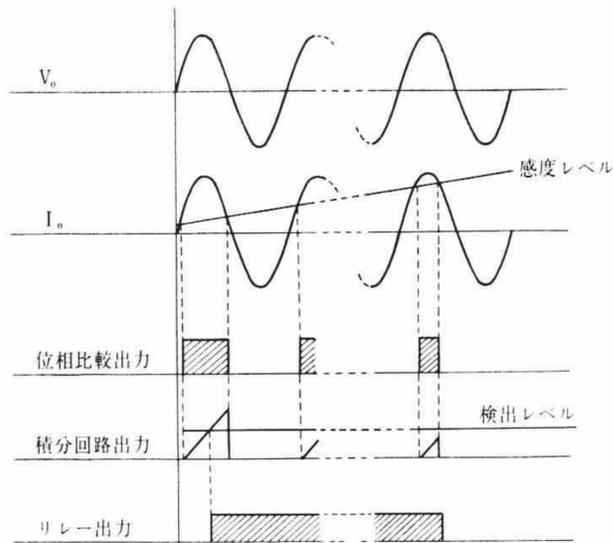
共架多回線送電線に発生する不平衡零相循環電流  $I_{co}$  の位相は一般に不定で、これが故障電流を打消すことが考えられるゆえ、いずれの端子が無電流端になっても動作可能なキャリヤリレー方式を適用する必要がある。したがって電流流入端あり、流出端無しの条件で区間内事故と判定する原理(エコー方式)とする必要がある。

第4図はその説明図で、各端子に異周波信号を割当てる点を除き同一の装置を両端に設置する。

事故が発生すると故障検出リレー 64 VL が動作してキャリヤ送信を開始する。故障電流が流入する端子では内部方向リレー 67 GI



第6図 差電流特性キャリアリレーの差電流特性



第7図 方向リレー感度走査の説明図

が動作して送信を停止し、逆に故障電流が流出する端子では外部方向リレー 67 GO が動作して送信を保持する。一方無電流端子では、67 GI, 67 GO がともに不動作であるが、内部事故で相手端が送信を停止すると受信がなくなるので、故障検出リレー 64 VH が動作していることを条件に引きはずし回路を完成し、同時に自端の送信を止めて電源端の引きはずしをする。

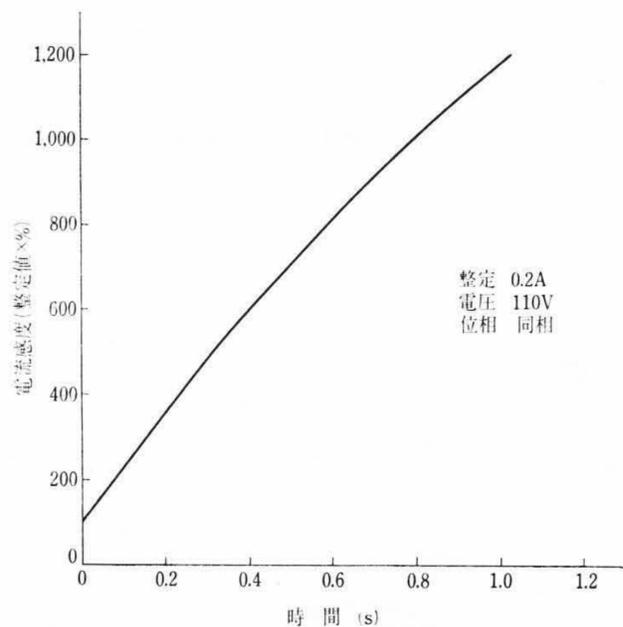
本方式の動作範囲を差電流特性で表現すると、第5図においてA端の67 GIが動作してB端の67 GO不動作の場合 a-a<sub>1</sub>, -a<sub>2</sub>, B端の67 GIが動作してA端の67 GO不動作の場合 a'-a'<sub>1</sub>, -a'<sub>2</sub>が動作限界となり、これを合わせて太線の特長となる。ここで区間外事故のときいずれかの端子の67 GI, 64 VHが動作するときは必ず相手端で67 GO, 64 VLが動作できるように協調をとるため、67 GOは67 GIより、64 VLは64 VHより高感度に整定される。

第5図の特性では、循環電流がない場合の区間内事故はP点のように動作範囲にはいるが、I<sub>co</sub>が大きくと67 GOの動作値以上の場合には動作点はQ点に移り67 GOが動作して引きはずし阻止を行なうから動作できない。

新しく開発した差電流キャリアリレー方式<sup>(2)~(4)</sup>は、1組の67GI, 67GOを用い、その電流感度を故障発生と同時に両端同期して協調関係を保ったまま変化させ、時間の経過につれてその特性を第6図のa-a', b-b', c-c'.....n-n'のように連続的に移動し、結果と

第1表 主要リレーの仕様

記号	形式	仕様	用途
64VL	SG-XN	110V	キャリア送信, 67GI感度制御
64VH	-1K <sub>1</sub>	20~60V	引きはずし制御, 67GO感度制御
67GI	SHG-N	110V, 3A 0.1~1.0A	内部方向電流検出
67GO	-2K <sub>1</sub>	または 0.2~2.0A 変化幅 1,200%	外部方向電流検出



第8図 地絡方向リレーの感度走査特性

してある時間帯の総合特性を太線で示すようにしたものである。これを行なうには、第4図に点線で示すように、64 VL, 64 VHの動作により67 GI, 67 GOに信号を与えてその電流感度を自動的に変化させている。

以上の考え方は、電流の大きさを時間に変換し、キャリア制御を行ない、両端のキャリア制御時間差から逆に両端の電流比較を行なうもので簡単に差電流特性が得られるから共架多回線送電線の保護を確実にすることができ、さらに次のような特長がある。

- (1) 方向比較方式であるからキャリア使用周波数帯域が狭く、適用上有利である。
- (2) 既設のキャリアリレーの地絡保護リレーをとり変えるのみで差電流特性が得られるので、改造が容易である。
- (3) 原理が簡単で構成が簡潔であるため信頼度が高い。

### 3.2 差電流特性キャリアリレーの適用

差電流特性キャリアリレーにおいても通常の方法と同様に、67 GI, 67 GOの感度協調を確保せねばならないから、次の関係がある。

$$I_i = \alpha I_0 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $I_i$ : 67 GI 動作電流  
 $I_0$ : 67 GO 動作電流  
 $\alpha$ : 協調整定比 (通常 1.5 程度とする)

また区間内事故を検出するためには

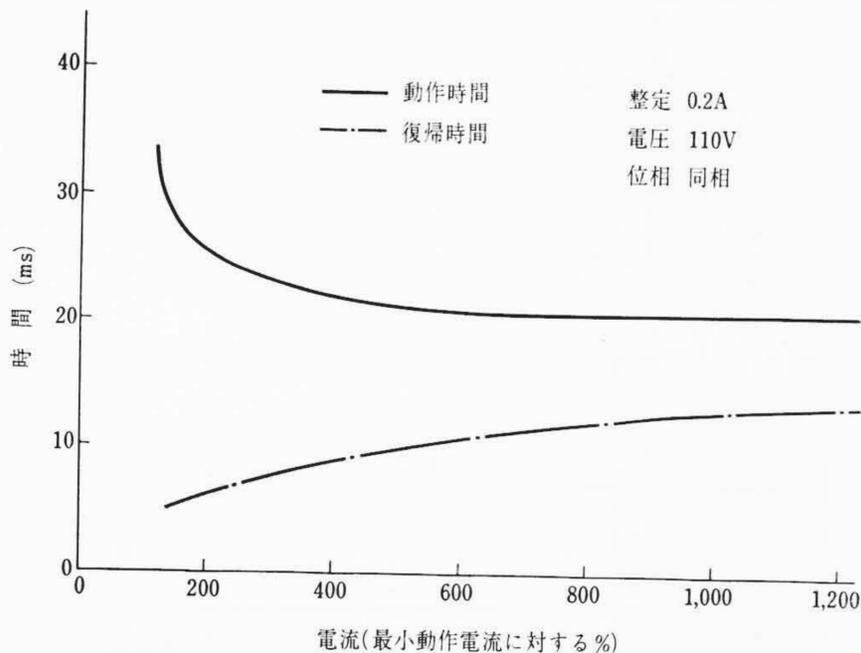
$$I_i = \beta I_F \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $I_F$ : 一端から流入する最小故障電流  
 $\beta$ : 検出余裕比 (通常 0.3 程度とする)

したがって第6図に太線で示す差電流特性をもたせる場合、動作限界点Rにおいて両端電流  $I_A, I_B$  は(1)式の  $I_i, I_0$  の関係を満足しかつ故障電流が1端から流入する場合がもっとも検出しにくい条件となるから、次式が成り立つ。

$$\frac{I_F + I_{co}}{I_{co}} = \alpha \dots\dots\dots (3)$$

(3)式に(1),(2)式を代入して整理すれば、



第9図 地絡方向リレーの動作および復帰時間特性

$$I_{co} = \frac{1}{\alpha-1} I_F = \frac{1}{\alpha-1} \cdot \frac{1}{\beta} I_i = \frac{1}{\alpha-1} \cdot \frac{\alpha}{\beta} I_0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。一般に

$$\alpha=1.5 \quad \beta=0.3 \quad \dots\dots\dots (5)$$

程度に選ばれるため

$$I_{co}=2 I_F=6.7 I_i=10 I_0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

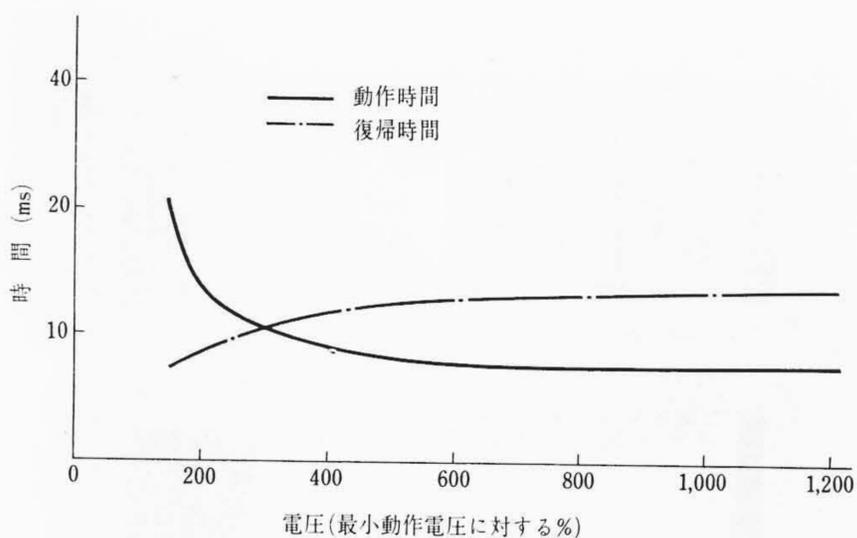
となり、循環電流  $I_{co}$  が故障電流  $I_F$  の2倍程度まで動作可能である。この条件では感度変化幅は 67 GO に対し 10 倍程度でよい。

つぎに本方式の動作時間は、 $I_{co}$  が零ならば従来のキャリアリレー方式同様 3 c/s 程度であるが、 $I_{co}$  が大きいときは長くなる。その値は 67 GI, 67 GO の感度変化速度と循環電流の大小により異なるが、実系統に適用した場合約 10 c/s 以下の例が多い。抵抗接地系統の1線地絡事故は系統安定度や機器の損傷に与える影響は少ないから、この値はとくに問題にならない。

#### 4. 差電流特性キャリアリレー装置

##### 4.1 主要リレー

本装置に使用する主要リレーは、第4図から明らかなように2組の地絡過電圧リレー 64 VL, 64 VH と2組の地絡方向リレー 67 GI, 67 GO であり、その仕様は第1表に示すとおりである。いずれにも



第10図 地絡過電圧リレーの動作および復帰時間特性

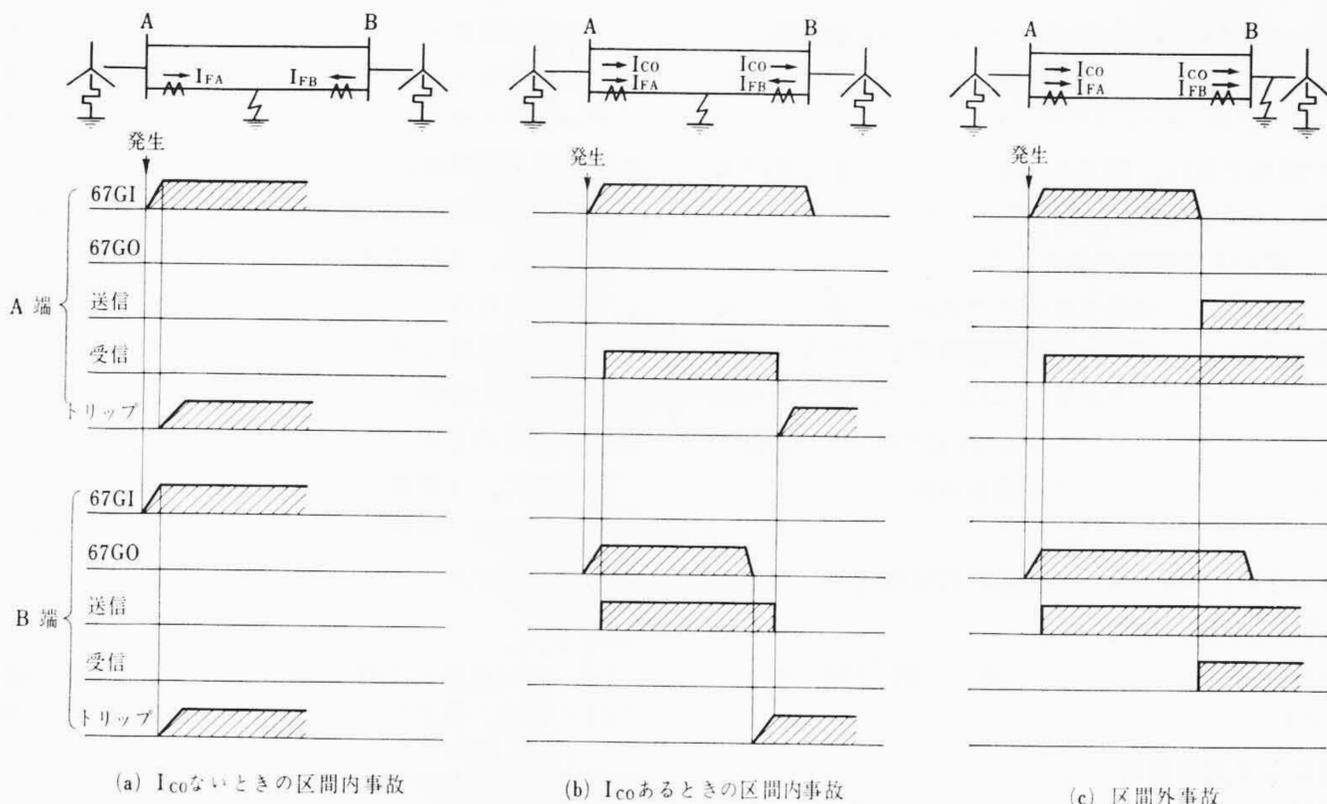
トランジスタリレーを採用したが、その理由はトランジスタ形とすれば地絡方向リレーの電流感度を連続的に変化することが容易であるからである。

地絡方向リレーの動作原理はいわゆる位相比較形である。電流感度を変化させるには、第7図に示すように電流  $I_0$  の検出感度レベルを時間とともに変化させる。これにより  $I_0$  と電圧  $V_0$  との位相比較出力を積分した値が検出レベル以下になるとリレー出力が復帰する。第8図は電流感度変化の時間特性でありほぼ直線的になっている。感度変化幅は式(6)を十分にカバーするように 1,200% としてある。第9図は動作時間および復帰時間特性を示す。

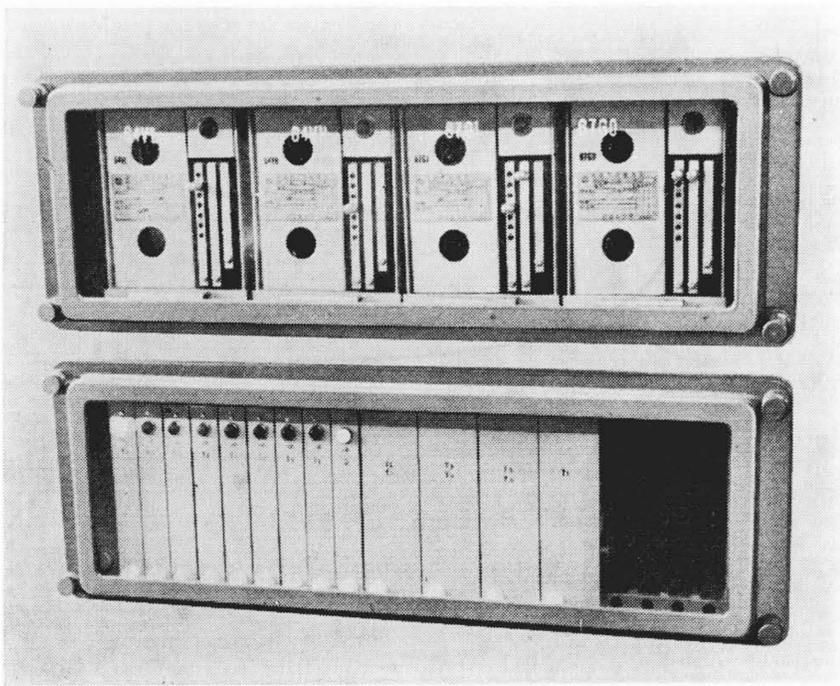
地絡過電圧リレーも位相比較形と同様な積分動作を行なうので、入力電圧が基準値をこえる期間のパルス幅が一定値以上になったとき動作し、第10図のように高速度動作および復帰を行なう。

##### 4.2 制御回路

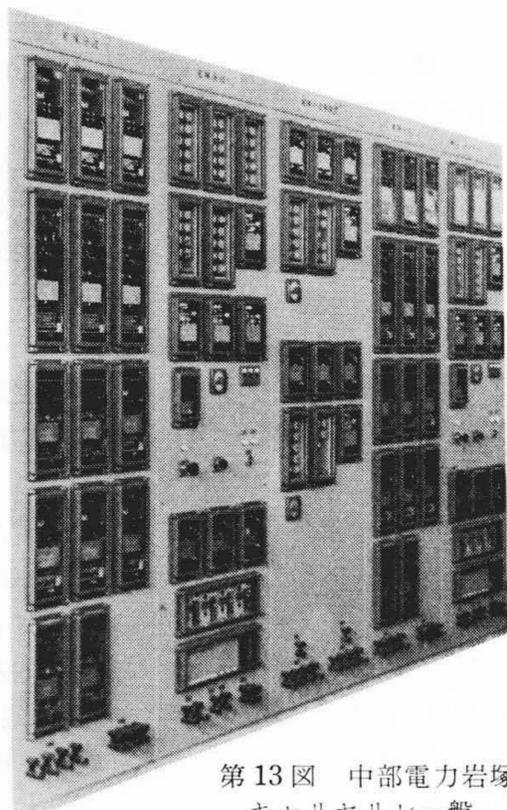
制御回路の動作を時間図で表わすと第11図のようになる。(a)は循環電流  $I_{co}$  がなく故障電流が両端から流入する区間内事故の場合で、両端とも 67 GI が動作してキャリア送信を阻止するので引続きトリップ指令する。(b)は  $I_{co}$  があるために区間内事故でありながら B 端で電流が流出した場合であり、事故発生時 A 端で 67 GI, B 端で 67 GO が動作するが、その後感度走査して B 端 67 GO が A 端 67 GI よりさきに復帰するので、まず B 端でトリップ指令して自端送信を停止し、続いて A 端でも受信がなくなるためトリップ指令



第11図 差電流特性キャリアリレーの動作説明図



第12図 差電流特性キャリヤリレーの主要部



第13図 中部電力岩塚変電所納  
キャリヤリレー盤

する。一方区間外事故の場合は(c)のように流入、流出電流が等しいので感度協調によりA端 67 GI の復帰がB端 67 GO の復帰より必ず早くなり、両端ともキャリヤ送信を継続するのでトリップは阻止される。

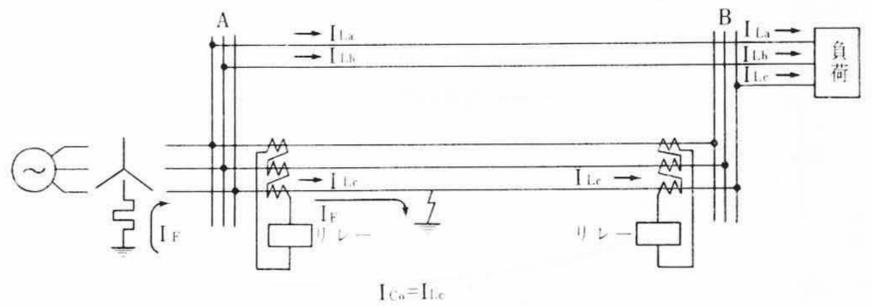
地絡方向リレーの感度走査は、67 GI に対しては高感度の 64 VL により、67 GO に対しては低感度の 64 VH により指令しているので、つねに 67 GI と 67 GO の感度協調をとることができる。また、感度走査を一度行なった後は、両端のキャリヤ送信を合図に再び両端同期して感度走査を行ない、以後つねに両端同期をとりながら連続して感度走査をくり返すことができる。これにより区間外から区間内に引き続いて故障が起こった場合や再閉路動作時にも応動できる。なお制御回路もすべてトランジスタ論理回路により構成されている。

本装置は昭和39年10月、中部電力株式会社岩塚変電所その他に納入するとともに現在多数製作中である。

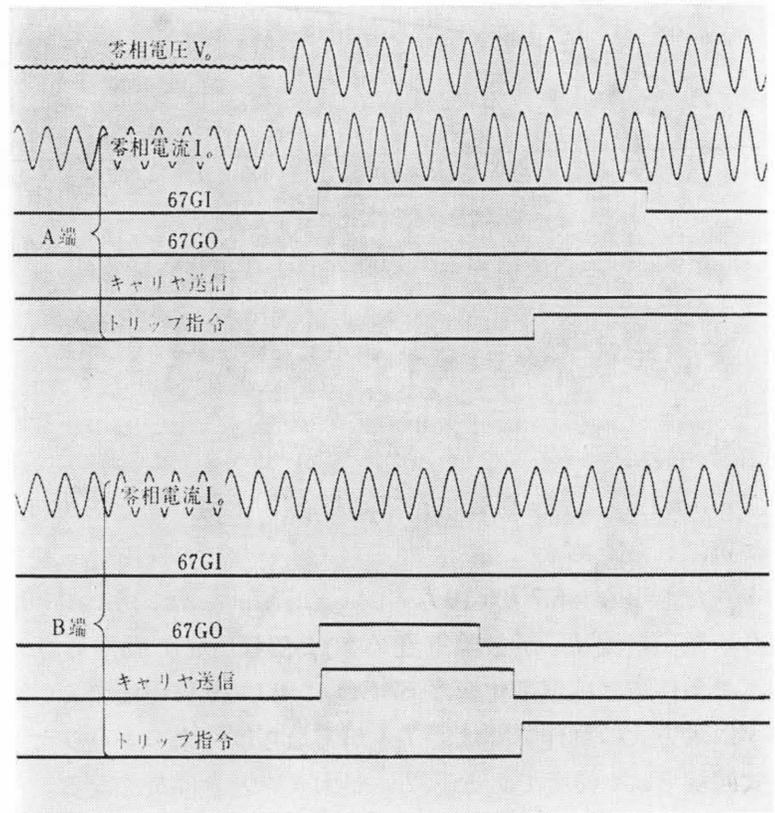
第12図は差電流特性キャリヤリレーの主要部、第13図はキャリヤリレー盤の外観である。

#### 4.3 模擬送電線による試験結果

本装置を工場の模擬送電線で試験した結果良好な成績を収めた。零相循環電流  $I_{co}$  は、第14図に示すように負荷電流を自回線ではC



第14図 零相循環電流を考慮した模擬送電線 (1回線分)



第15図 動作オシログラム例

相電流  $I_{Lc}$  だけ流し、 $I_{co} = I_{Lc}$  として模擬的に発生させた。ここで地絡故障を起こすと循環電流  $I_{co}$  と故障電流  $I_F$  が重畳する。第15図は循環電流が非常に大きい場合のオシログラム例であり、B端で67 GO のタップ値の約3倍の零相電流が流出しているが約9 c/s でトリップしている。なおこの動作時間は感度走査を速くすればさらに短くなる。

#### 5. 結 言

共架多回線送電線では、零相循環電流が発生するので、抵抗接地系の地絡保護において保護区間の各端の電流差で動作するリレー方式を適用することが必要である。短距離送電線の場合は電流比較パイロットワイヤリレーが適しているが、長距離送電線の場合は本稿に述べた差電流特性キャリヤリレーが最適である。

本装置は工場における模擬送電線によって試験した結果良好な成績を収めた。また、昭和40年8月電力中央研究所の模擬送電線において試験を行なったが、全145回のケースに対しすべて正動作を行ない所期の性能を発揮することができた。

本装置は、今後共架多回線送電線の保護リレーとして十分効力を発揮するものと期待される。

終わりに、本装置の開発に際し終始ご指導をいただいた中部電力株式会社成田、百瀬、安藤、黒部各氏および関係各位に深く謝意を表わす次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 蛭川達雄: OHM 49, No. 12, 33~39 (昭 37-11)
- (2) 中山, 黒木: 昭和40年電気四学会連合大会論文集, No. 1045
- (3) 特許出願中
- (4) 百瀬, 中山, 黒木, 三木: 昭和38年電気学会東京支部大会論文集 No. 215