

# 人工地絡試験を必要としない配電線地絡事故検出リレーの開発 - デジタルリレーによる保護機能の高度化 -

梅田 哲宏<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

配電用変電所に適用されている地絡事故検出リレー（以下、地絡リレー）は、その整定値を決定するために人工地絡試験を実施している。人工地絡試験とは、配電用変圧器 2 次側の HV 母線に接地棒を接触させ、実際の地絡事故を人工的に作り出す作業である（第 1 図）。この試験により得られる零相電圧・零相電流（以下、 $V_0 \cdot I_0$ ）を基に、目標とする地絡抵抗（ $6k \Omega$ ）で地絡リレーが動作するよう整定値を決定する。この試験は、HV 活線作業であるため安全への配慮が必要であり、更に変圧器 1 バンク配電線 8 フィーダーの形態で 7 人日という多大な労力を要している。

今回、安全面・労務量で課題のある人工地絡試験の不要・省略化に取り組み、デジタルリレーの高速演算機能を活用した、新しい原理の地絡リレーを（株）東芝と共同開発した。

また保護機能の高度化を目指して、長距離配電線の末端短絡事故を変電所側から検出できる高感度な短絡事故検出リレー（以下、短絡リレー）を併せて開発したので、概要を紹介する。



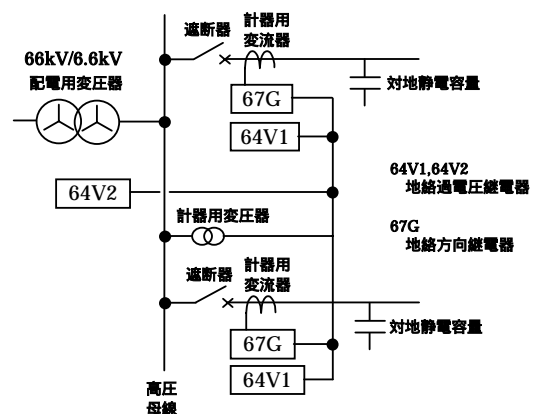
第 1 図 人工地絡試験風景

## 2. 現状の地絡事故保護方式

第 2 図に現状の地絡事故保護方式を示す。各配電線には配電線の地絡リレーとして 64V1 と 67G が設置されているが、67G は事故点が自回線かどうか判定するもので今回の開発とは関係しない。また、HV 母線には、各配電線の地絡リレーが事故除去に失敗した時のバックアップ及び HV 母線の事故検出を目的とした地絡リレー 64V2 が設置されている。

配電線の対地静電容量（以下、静電容量）は、不平衡率・線種・亘長・負荷状況により変動し、その結果、配電系統の  $V_0 \cdot I_0$ （常時残留分および事故時発生分）が変化する。地絡リレーはこの  $V_0$  を監視し、事故時に整定値を超える  $V_0$  が発生した場合（整定値  $V_0$ 、事故時  $V_0$ ）に動作し、遮断器を開放して事故除去を行う。よって配電線の新增設・系統変更工事を行う度、64V1・64V2 を目標の検出感度にするため人工地絡試験を行い、整定値を再決定している。

ただし人工地絡試験時に決定した整定値は試験時の配電系統において有効であって、実際の運用では設備停止・負荷切替等に伴う系統変更があり、その都度静電容量は変動し、事故時に発生する  $V_0$  も変化するため、目標とする地絡抵抗値における  $V_0$  と整定値の間に誤差が生じる。この誤差は許容



第 2 図 地絡保護方式

\*1 電力流通部 変電チーム

範囲内であるが、電力品質・公衆安全の更なる向上の観点から、改善すべき課題である。

### 3. 新しい地絡事故検出リレー

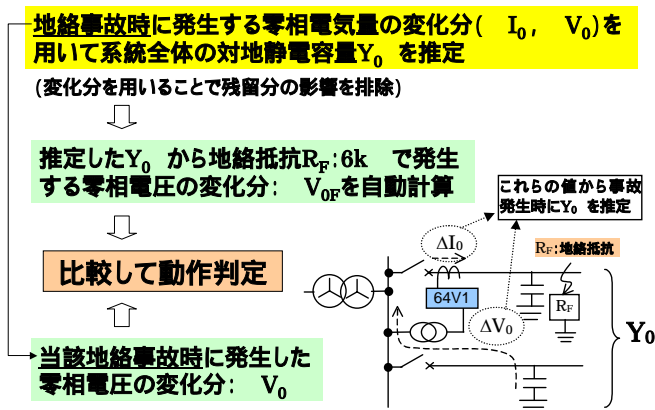
#### (1) 基本原理

地絡リレーの動作判定は（整定値  $V_0$  事故時  $V_0$ ）であること、事故時  $V_0$  の大きさは静電容量で変化することを前述した。

静電容量は運用で変動するため、これに追従してリレー動作感度を目標値に保つには、静電容量の変動をリアルタイムでリレー演算に反映し、整定値の  $V_0$  を事故時の地絡抵抗が  $6k$  となるよう、常に変更する必要がある。

今回開発した地絡事故検出リレーの基本原理を第3図に示す。地絡事故時に発生する零相電流の変化分（ $I_0$ 、 $V_0$ ）を用いて、系統全体の静電容量（ $Y_0$ ）を推定する。この  $Y_0$  から、地絡抵抗  $6k$  の事故時に発生する  $V_0$  変化分（ $V_{0F}$ ）を計算で求め整定値とする。この値と当該地絡事故時に発生した  $V_0$  変化分（ $V_0$ ）を比較して、 $V_{0F} = V_0$  であればリレー動作し遮断器を開放する。

この原理で、静電容量の変動をリアルタイムに整定値に反映することができるため、現状の地絡リレーと比較して、電力品質・公衆安全が向上す



第3図 新しい地絡事故検出リレーの基本原理

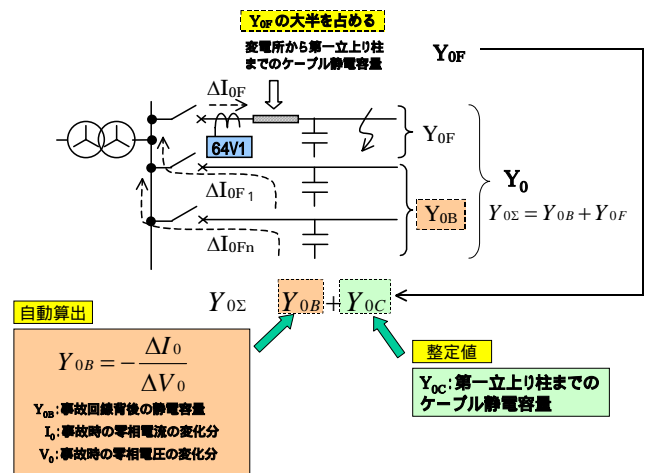
る。なおかつ、配電線の新增設・系統変更工事の度に実施していた人工地絡試験が不要となり、危険作業の回避、労務量の大幅削減が可能である。

#### (2) 詳細原理

新しい地絡リレーの特徴は、 $Y_0$  推定の正確性、系統変更による変動を反映するリアルタイム性である。この点について詳細を説明する。

##### a. 配電線 64V1 における $Y_0$ 推定方法

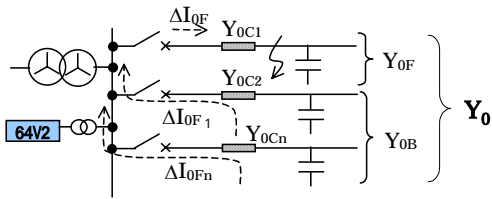
配電線に設置された 64V1 の  $Y_0$  推定方法を第4図に示す。系統全体の静電容量  $Y_0$  は、事故回線背後の静電容量  $Y_{0B}$  と事故回線前方の静電容量  $Y_{0F}$  の和で表される。 $Y_{0B}$  は地絡事故発生時の零相電流（ $I_0$ 、 $V_0$ ）を用いて理論式で算出できるため、極めて正確な推定となる。 $Y_{0F}$  は零相電流（ $I_0$ 、 $V_0$ ）が反映されていないため、誤差の要因となる。これを改善するため、架空配電線系統において  $Y_{0F}$  の大半を占めている、変電所から第一立上り柱までのケーブル静電容量  $Y_{0C}$  で  $Y_{0F}$  を近似する方式とした。これにより配電線主保護の位置づけとなる 64V1 は、従来より正確に  $Y_0$  を推定できる。



第4図 64V1 の  $Y_0$  推定方法

##### b. 高圧母線 64V2 における $Y_0$ 推定方法

高圧母線に設置された 64V2 の  $Y_0$  推定方法を第5図に示す。64V2 は 64V1 のバックアップの位置づけであるため、 $Y_0$  推定は異なる方法とし、64V1・64V2 共に誤動作となる危険を排除する必要がある。そこで各配電線について、変電所から第一立上り柱までのケーブル静電容量  $Y_{0C}$  を求め、その総和を  $Y_0$  として近似した。



64V2は後備保護の目的から、主保護64V1と異なる方式を採用



第一立上り柱までのケーブル静電容量の各回線総和を $Y_0$ に近似する

$$Y_{0\Sigma} \approx \sum_{n=1}^n Y_{0Cn}$$

$Y_{0C}$ : 変電所から第一立上り柱までのケーブル静電容量  
 $n$ : 回線番号

第5図 64V2の $Y_0$ 推定方法

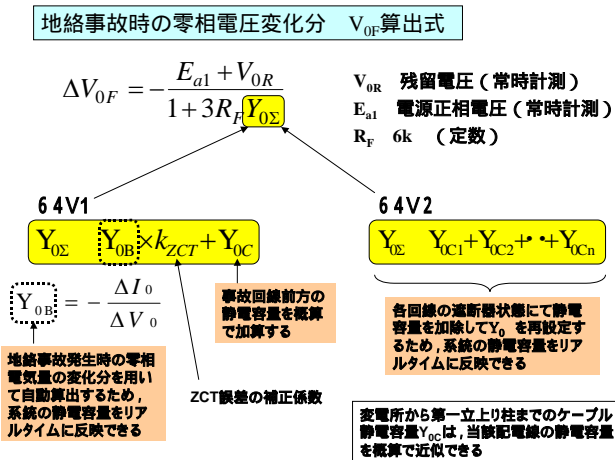
### (3) 系統変更による変動を反映する仕組み

地絡事故時に発生する $V_0$ 変化分( $V_{0F}$ )の算出式は第6図で表される。検出感度を一定に保つには、系統変更による変動をリアルタイムに演算に反映する必要があることは前述の通りである。

$V_{0F}$ 算出式のなかで系統変更に伴い変動する要素は、残留電圧、電源電圧および $Y_0$ である。

まず、残留電圧・電源電圧は常時計測しているため、正確かつ容易に演算に反映できる。次に $Y_0$

であるが、64V1においては事故が発生した瞬間の零相電気量( $I_0$ ,  $V_0$ )を用いて $Y_{0B}$ を自動算出している。64V2においては各回線の遮断器状態に変化があれば $Y_{0C}$ を加除し $Y_0$ を再設定する方式としている。



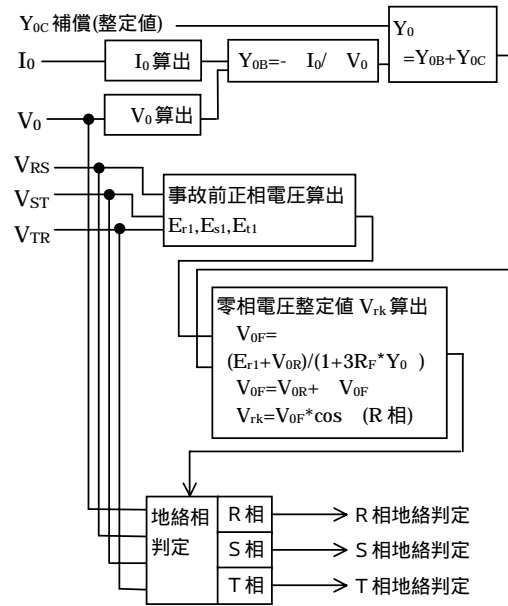
第6図 系統変更による変動を反映する仕組み

## 4. 試作器における検証

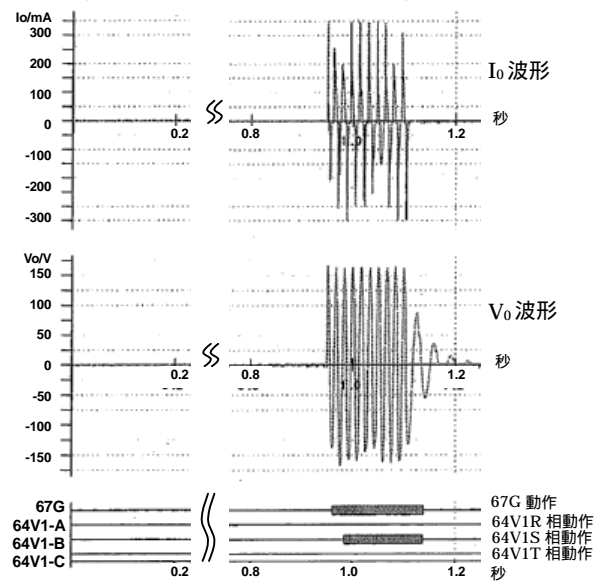
### (1) 試作器の製作と工場検証

64V1 および 64V2 について試作器を製作した。64V1の機能ブロック図を第7図に示す。

工場における検証では、試作器に実際の地絡事故波形を試験器を介して模擬入力し、実運用中である従来リレーの応動と比較した。従来リレーはS相地絡および自回線事故と判定しており、試作器においてもこれと同じ応動が得られた(第8図)。



第7図 64V1機能ブロック図



第8図 実事故波形入力試験

## (2) フィールド検証

試作器を配電用変電所に設置し(第9図),人工地絡試験を行いリレー応動を検証した。人工地絡試験では地絡抵抗値を任意に変えて,地絡事故を発生させることができる。試作器の地絡抵抗を6k

に整定しておき,試験で発生する地絡抵抗値を変化させ,どの値にてリレー動作するか確認した。結果は,目標とする地絡抵抗6kに対する誤差は最大-15%となった(第1表)。誤差が各相共に負側となっているのは,Y<sub>0C</sub>にはケーブルを除いた架空送電線,及び需要家構内の静電容量が含まれないことが原因と推定できる。

誤差の大きさについて考察すると,配電システムの静電容量は,作業に伴う系統変更や負荷状況により最大20%程度の変動があることが分かっている。従来の地絡リレー整定値は人工地絡試験実施時の系統では有効であるが,この20%変動に追従できておらず誤差が大きくなってしまう。よって今回開発したリレーは,人工地絡試験で整定値を決定する方法の代替として実用的な精度が得られたといえる。

その後,実系統の電気量を入力した状態で継続監視したなかで,運用中の従来リレーと異なる応動(誤動作,誤不動作)は無く,実運用へ適用する前のフィールド試験は良好に完了した。



第9図 フィールド試験状況

第1表 人工地絡試験によるリレー動作精度確認

相	リレー動作する地絡抵抗値[Ω]	誤差[%]
R	5100	-15
S	5210	-13
T	5150	-14

## 5. 末端短絡事故検出リレーの開発

### (1) 概要

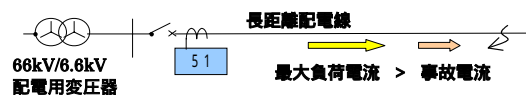
長距離配電線の末端では線路インピーダンスが大きく,短絡事故電流が小さくなる。配電線の線路巨長によっては,負荷電流値と当該配電線末端での短絡電流との識別が困難となり,従来の変電所短絡リレーでは事故検出できない場合がある(現状このようなケースでは,配電線の末端に遠端短絡保護装置を設置している)。

この解決策として,事故電流の検出を高感度に行う必要があり,電流の変化分と位相に着目した短絡リレーを開発した(第10図)。

### 末端短絡事故検出の課題と対応

長距離配電線の末端では線路インピーダンスが大きく,短絡事故電流が小さいため,変電所側51リレーでは事故を検出できない場合がある。

$$\text{最大負荷電流} + \text{事故電流} < \text{51リレーの整定}$$



事故電流の検出を高感度に行う

変化分電流・位相特性の採用

第10図 末端短絡事故検出の概要

### (2) リレー特性

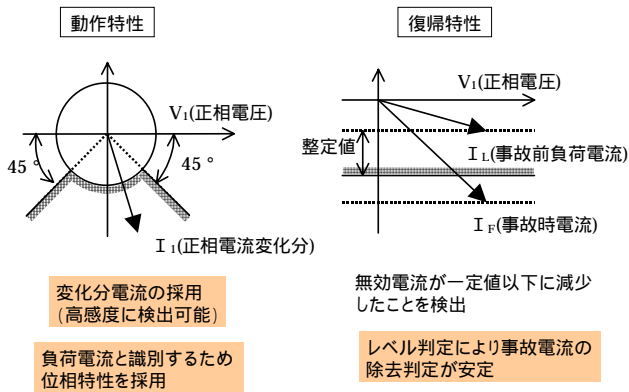
今回開発した末端短絡事故検出リレー(以下,51Q)の概要について第11図に示す。

#### a. 動作判定

配電線の系統切替等に伴い,負荷電流に変化が生じる。この変化と末端短絡電流を識別し,短絡電流のみ高感度に検出することができるよう,電流の無効分の変化をベクトル判定する方式とした。

## b. 事故復帰判定

復帰特性は、無効電流が一定値以下に減少したことを検出するレベル判定方式とした。これにより、需要家内の事故遮断等で、短絡電流と負荷電流が無くなり事故前負荷電流に戻らない状態でも、事故電流の除去判定が安定することになる。



第 1 1 図 末端短絡事故検出の概要

## (3) 評価と課題

51Q 試作器に実系統の電気量を入力した状態で、フィールド試験を実施した。実系統におけるリレー動作を多数確認するため、最大感度に整定して検証した。結果、実事故は発生しなかったが、日々の負荷変動および系統切替時にリレー動作があり、動作特性・復帰特性の健全性を確認した。実運用にあたっては、負荷電流変化、需要家構内事故、調相設備・変圧器充電等の過度現象で誤動作しないよう、時限協調も考慮して整定値を決定する必要がある。

51Q 実用化により、配電線の末端に設置している遠端短絡保護装置が省略され、コスト削減を図ることができる。

## 6. まとめ

配電用変電所の保護機能高度化を目的に、デジタルリレーを使用して新しい原理の保護リレーを開発した。この人工地絡試験省略機能および末端短絡事故検出機能は、当社の配電用変電所デジタル形保護継電装置の標準機能として展開し、コスト削減・電力品質向上に寄与できるものと期待している。

なお、本機能を搭載したリレーは、平成 20 年度から運用を開始する予定である。

## 参考文献

- 1) 杉木他：「人工地絡試験を必要としない地絡事故検出リレーの開発」, 電気学会研究会資料 保護リレーシステム研究会, PPR-06-32 (2006-9)
- 2) 杉木他：「人工地絡試験を必要としない配電線地絡抵抗算出形地絡過電圧リレーの試作と評価」, 電気学会研究会資料 保護リレーシステム研究会, PPR-07-14 (2007-3)
- 3) 杉木他「人工地絡試験の省略機能を付加した配電用変電所向けデジタルリレーの開発」, 電気学会全国大会講演論文, 6-215 (2007-3)
- 4) 長谷良秀・増井三千雄共著：「保護継電技術」, 東京電機大学出版局