

S2-4-8.

中性点接地方式配電線路の地絡保護

○菊地 聡 (電), 永峯 秀志 (電) (東日本旅客鉄道株式会社)

Satoru Kikuchi, Hideshi Nagamine (East Japan Railway Company)

山形新幹線中川変電所 111 回線 (信号 1 号線) で地絡事故が発生した際、111 回線及び 112 回線の地絡過電流継電器が動作し、健全回線の 112 回線を不要に停電させる事象が発生した。2 号線には高圧ケーブルが多く使用されており静電容量が大きいため、地絡事故時 2 号線の零相に充電電流が流れ、地絡過電流継電器が不要動作したことが判明した。この対策として ZCT を使用しない地絡方向継電器を開発した。

When a grounding fault occurred in the line No.111 (No.1 signal line) of the Nakagawa Substation of Yamagata Shinkansen, the ground overcurrent relay activated not only in line No.111 but also in No.112, resulting in a needless power failure in line No.112, which otherwise would have been operating normally. The line No.112 (No.2 signal line) uses high-voltage cables in many places, so therefore it has a large amount of capacity. It was because of this capacity that a charge current flowed in the zero phase of No.2 signal line, and the ground overcurrent relay activated when the grounding fault occurred. To deal with this matter we have developed a ground directional relay without using a zero phase current transformer.

キーワード 零相電圧、零相電流、地絡過電流継電器、地絡方向継電器、静電容量

Keywords Zero Phase Voltage, Zero Phase Current, Ground Over current Relay, Ground Directional Relay, capacity

1. はじめに

当技術センターでは、2003 年 6 月から山形新幹線米沢・新庄間において、信号高圧配電線路の 2 回線化工事に取り組んでいる。

今回、工事を行っている区間の多くが単線であり、2 号線を架空電線で設備することは困難なため、高圧ケーブルでの施工を行っている。図 1 に山形新幹線の配電システムを示す。米沢・羽前千歳間については、2003 年 12 月 18 日に使用開始となったが、直後の 2004 年 1 月 18 日に中川変電所 111 回線 (信号 1 号線) R 相において 1 線地絡事故が発生した。この際、111 回線及び 112 回線の地絡過電流継電器 (51GLS、51GDS) が動作し、111 回線のしゃ断器がトリップ、さらに健全回線の 112 回線のしゃ断器も不要にトリップするといった事象が発生した。

今回、この事故の原因究明及び対策について検討したので紹介する。

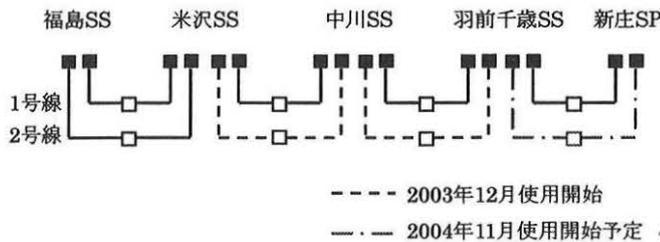


図 1 山形新幹線福島・新庄間配電系統

2. 配電方式及び地絡保護

仙台支社管内の電気鉄道用交流変電所から配電している信号高圧配電線路は、単相 6,600V で配電されており、中性点接地方式 (200Ω) を採用している。配電線路の地絡保護は、過電流継電器 (51GLS と 51GDS) で零相電流を監視する方法で行っている。51GLS は地絡抵抗 3kΩ 以下で (警報鳴動のみ)、51GDS は地絡抵抗 1kΩ 以下で動作 (遮断器トリップ) するように整定している。中川変電所の信号高圧配電線路複線結線図を図 2 に示す。

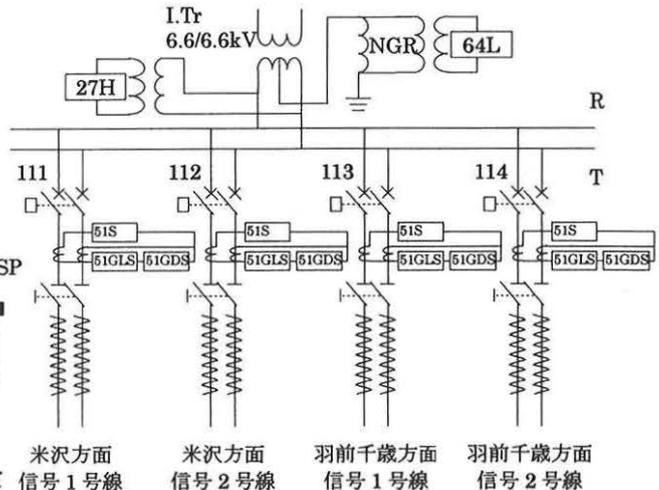


図 2 中川変電所信号高圧配電線路複線結線図

3. 事故の原因究明

(1) シミュレーションによる事故電流の解明

地絡事故が発生した中川変電所は、高島・中川間を 111 回線、112 回線で、また中川・上ノ山間を 113 回線、114 回線で配電している。111 回線で地絡事故が発生した場合について、等価回路を作成し、事故電流の流れについてシミュレーションを行った。等価回路を図 3 に示す。

配電線路には、大地と配電線路間に静電容量が存在することが知られているが、地絡事故が発生すると、この静電容量と地絡抵抗により、事故回線と健全回線に流れている充電電流のバランスが崩れる。中川変電所においては、112 回線に高圧ケーブルが他回線より多く使用されており、静電容量が大きいため、零相電流がより多く流れ、地絡過電流継電器 (51GDS) の動作にいたるものと推定された。

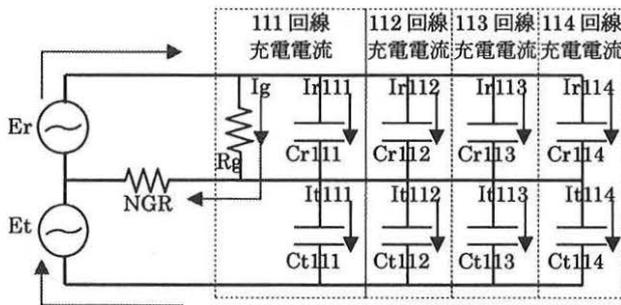


図 3 地絡事故の等価回路

計算値から逆算すると、地絡時の地絡抵抗は 220 Ω 程度であったと推定された。この時の動作継電器は、111 回線が 51GLS、51GDS、静電容量の大きい 112 回線及び 114 回線は 51GLS であった。健全回線である 112 回線及び 114 回線では、51GDS が動作 (しゃ断器がトリップする) に至るほどの零相電流は流れていないものの事故電流を検出していることがわかった。

中川変電所における地絡事故は、その発生状況から、ほぼ完全地絡であることが分っており、事故電流については、人工地絡試験時よりも大きかったと推測される。以上のことから、112 回線に設備されている高圧ケーブルの静電容量により零相電流が整定値の 3A を超えたため、不要なトリップをしたと考えられる。これらの実測値は、シミュレーションした計算値と合致した。

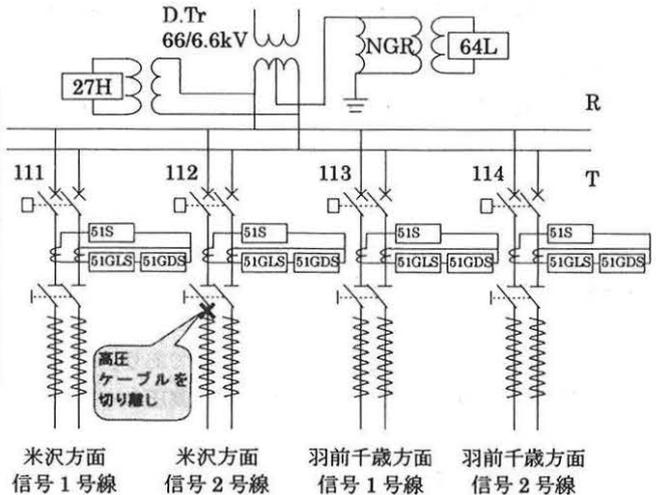


図 4 静電容量測定回路

(2) 静電容量測定と人工故障試験による検証

中川変電所 112 回線の静電容量について実測を行い、シミュレーションにおける計算値と合致するかの検証を行った。測定方法は、112 回線 R 相を配電系統から切り離し、T 相のみを接続して零相に流れる電流を測定する方法で、静電容量の算出を行った。測定回路を図 4 に示す。測定した結果を表 1 に示すが、計算値と実測値は、ほぼ同じであることがわかった。

次に、中川変電所 111 回線について人工地絡試験を実施し、111~114 回線の零相電圧、零相電流の測定と保護継電器の動作確認を行った。地絡箇所は、実際に事故が発生した R 相とした。結果を図 5 に示す。

表 1 各回線の静電容量

回線	計算値		実測値	
111 回線	1.492 μF	2135 Ω	—	—
112 回線	2.286 μF	1393 Ω	2.221 μF	1433 Ω
113 回線	0.588 μF	5418 Ω	—	—
114 回線	2.022 μF	1575 Ω	—	—

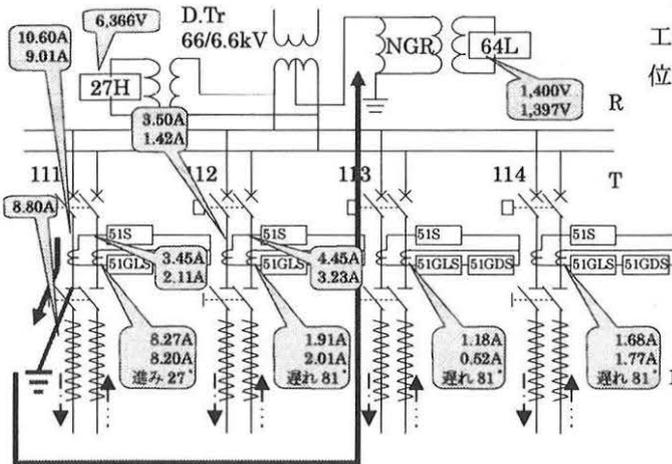


図 5 人工地絡試験回路図

また、67G の整定値は、誘導電流やノイズの影響及び人工地絡試験の結果を考慮し、1 次電流 0.6A (整定値 0.1A)、位相角 50 度 (整定値 40 度) とした。

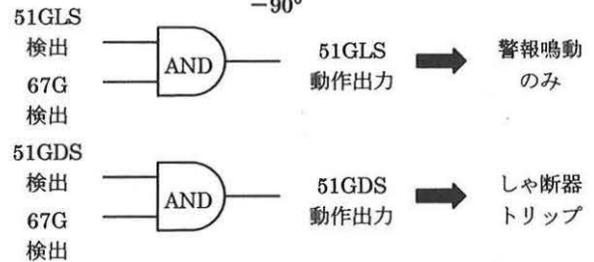
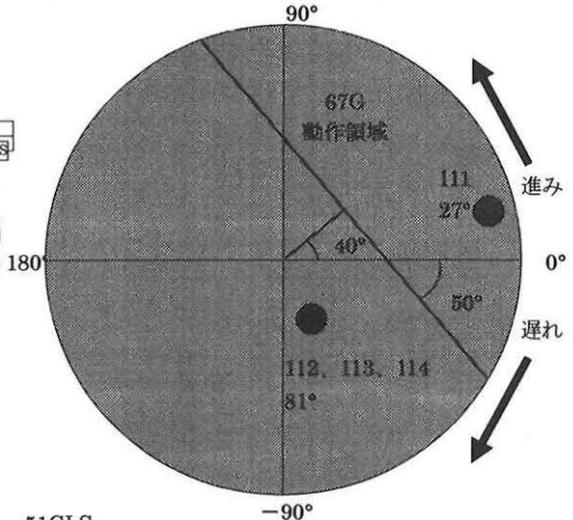


図 6 67G 要素付過電流継電器の動作出力

4. 対策の検討と実施

人工地絡試験の結果、健全回線の零相電流は、零相電圧と比較し約 90° 遅れ、事故回線の零相電流は約 30° 進むことが確認された。このことから、事故回線と健全回線を判別できる地絡方向継電器を使用することが、継電器の不要動作防止に有効であると考えられたので、対策を以下のよう

に講じることにした。高圧盤に使用している保護連動装置は、複数の保護継電器の要素を有しているが、さらに保護連動装置内に地絡方向継電器の要素を追加し、過電流継電器 (51G) 及び地絡方向継電器 (67G) の動作条件で動作出力をさせることとする。

なお、地絡方向継電器の零相電圧は NGR に発生する GPT 電圧を、零相電流は各回線の残留回路を使用することで ZCT を不要とし、低コスト、省スペースでの施工を可能とした。67G 要素付過電流継電器の動作出力概要図を図 6 に示す。

次に、地絡過電流継電器の整定値の基準について検討を行った。67G 付過電流継電器の整定について、高圧ケーブルの静電容量を考慮した場合と、考慮しない場合 (現在の整定値計算方法) とで比較した。検討前後の整定値比較表を表 2 に示す。比較検討の結果、高圧ケーブルの静電容量を考慮しても整定値は不変であることから、計算方法は現行通りとした。

表 2 整定値比較表

項目		計算値	整定値
51 GLS	静電容量を考慮しない場合	一次電流 $3,300 / (200 + 3,000) = 1.03A$ 二次電流 $1.03 \times 5 / 30 = 0.17A$	0.2A
	静電容量を考慮した場合	一次電流 $V_{NGR} / Z_3 = 0.97A$ 二次電流 $0.97 \times 5 / 30 = 0.16A$	0.2A
51 GDS	静電容量を考慮しない場合	一次電流 $3,300 / (200 + 1,000) = 2.75A$ 二次電流 $2.75 \times 5 / 30 = 0.46A$	0.5A
	静電容量を考慮した場合	一次電流 $V_{NGR} / Z_1 = 2.68A$ 二次電流 $2.68 \times 5 / 30 = 0.45A$	0.5A

電圧 : 3,300V
 軽地絡: 3 kΩ (51GLS) 重地絡: 1kΩ (51GDS)
 中性点抵抗: 200Ω CT 比: 30/5A
 NGR 電圧: V_{NGR}
 軽地絡時の合成インピーダンス: Z₃
 重地絡時の合成インピーダンス: Z₁
 とする。

5. 対策後の確認試験

67G 要素付過電流継電器設備後、人工地絡試験を行いその性能を確認した。試験結果を表 3 に示す。この試験においては、改良した継電器 1 台のみを用いて、回線毎に移動させて行った。

はじめに、111 回線に 67G 要素付過電流継電器を設備し、111 回線で地絡事故を発生させた。この際、事故回線の 111 回線においては 51GLS 及び 51GDS が動作し事故回線での正常動作が確認された。

次に、67G 要素付過電流継電器を 111 回線から外し、112 回線に設備した状態で、111 回線で地絡事故を発生させた。この際、健全回線の 112 回線において継電器の動作はなかった。この結果から、67G 要素付過電流継電器を設備することにより、静電容量による不要な継電器動作を防止できることが検証された。

参考文献

新電気 2003.6 地絡波及事故の再発防止 鈴木 敏弘
電気技術 Q&A 財団法人 日本電気技術者協会編

表 3 67G 要素付過電流継電器設備後の人工地絡試験結果

項目	111 回線 動作継電器	112 回線 動作継電器
111 回線に 67G 要素付 過電流継電器	51GLS 51GDS	51GLS
112 回線に 67G 要素付 過電流継電器	51GLS 51GDS	なし

6. おわりに

本研究において、67G 要素を組み込んだ過電流継電器を開発したことにより、抵抗接地系高圧配電線路 1 線地絡事故時の零相電流方向の検出選択が可能となったため、健全回線継電器の不要動作を防止することができた。

また、地絡事故電流の計算方法を見直した結果、高圧ケーブルの静電容量を考慮した場合としない場合とでは整定値に変更はないため、67G 要素付過電流継電器の整定値計算方法は現行のままとした。この 67G 要素付過電流継電器は、2004 年 11 月に新庄き電区分所において運用を開始する予定である。今後、羽前千歳変電所及び中川変電所に順次導入される予定である。