

電力系統の事故波及防止システム

Relaying System for Preventive Control of Power System Disturbance

As the electric power system grows in size and becomes complicated, it would be threatened with an extensive blackout if the protective relaying equipment or the circuit breaker should fail to operate for a system fault or if the derivative system disturbance should occur. To solve the problem, Hitachi has developed a control system for preventing spread of power system disturbances which comprises the bloc-control back-up carrier relaying, preventive relaying for system fault spreading and system split relaying for out-of-step. The control system is now used for protecting trunk transmission lines of the Tohoku Electric Power Company with satisfactory results.

久保木実* Minoru Kuboki
 松岡俊司** Shunji Matsuoka
 村井勝治*** Katsuji Murai

1 緒 言

電力系統の巨大化および複雑化に伴い、大停電事故を未然に防止し、電力供給の信頼性を確保することが最近ますます重要な課題となってきた。

電力系統に発生する事故は通常高速度の保護リレー装置によって検出除去されるが、万一、その動作に失敗した場合や二次的な系統擾乱(じょうらん)に対し適切な処置を講じないと、事故の影響が時間的、地域的に進展拡大し、大停電のような重大事故に至るおそれを生ずる。

日立製作所はこの問題に対し、東北電力株式会社の主幹系統である275-154kV多重ループ系統を対象として下記の3点から成る新しい事故波及防止システムを開発した。

- (1) 群制御後備保護リレー方式
- (2) 事故波及未然防止方式
- (3) 同期はずれ分離方式

このシステムは系統の緊急状態の各段階に応じて事故波及を防止するものであり、現在計画推進されている電子計算機による電力系統運用の総合自動化が実現する時点においても、その端末装置として十分な機能を発揮するよう配慮されている。

また、システムを構成する各装置は最新のエレクトロニクス技術および信号伝送技術を駆使して製作したものであり、常時監視、点検機能を具備した高信頼度設計を施してある。

以下、このシステムの構成と各装置の内容について述べる。

2 電力系統の事故波及防止システム

2.1 対象系統の特長およびその問題点

電力系統における事故波及の様相は系統構成によって異なるため、従来の系統保護システムを見直し、新しく事故波及防止システムを開発するにあたっては、対象系統の諸特性を十分に把握(はあく)し最も適切なものにする必要がある。

図1は対象とした東北電力株式会社の275-154kV系統を示すものであり、新しく開発した電力系統の動的特性を解析するシミュレーション・プログラムにより常時の系統運転特性と事故時の事故波及様相を解析するとともに、系統構成の特質を的確にとらえて検討を進めた。

すなわち、図1に示す系統は多重ループ構成となっている

ため、一部のルートが事故によって分断されても多数の応援ルートがあり、変電所が全面停電するおそれは少なく供給信頼度は高い。また、電源および負荷は系統の任意の点に容易に組み入れることができ、運用上の制約も少なく電力設備の効率的活用ができるなどの利点がある。

ところでこの系統は、154kV抵抗接地系が主体となって構成されている。系統に事故が発生して、万一主保護リレーが動作に失敗した場合の後備保護リレーとしては、短絡事故に対して距離リレー方式、地絡事故に対して地絡方向リレー方式が適用されている。したがって図1のようなループ系統で

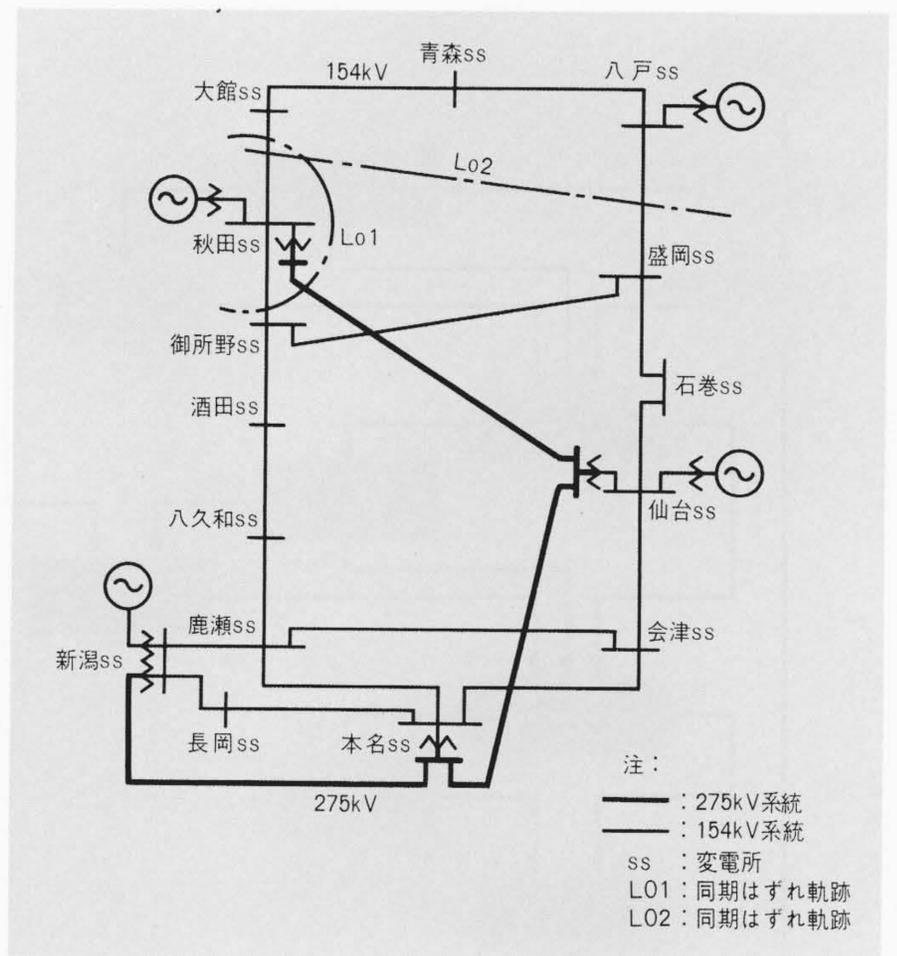


図1 対象系統 対象とした東北電力株式会社の主幹系統である275-154kV多重ループ系統を示したものである。

Fig. 1 Power System in Question

*東北電力株式会社技術部調査役工学博士 **東北電力株式会社技術部 ***日立製作所大みか工場

は、地絡事故の事故除去時間が各端子の地絡方向リレーの时限協調のため長くなり、事故波及のおそれがある。送電線の事故によりループが解列された場合は、事故前そのルートを通して送られていた潮流が他の健全ルートをう回して送られるため、その大きさによっては健全ルートの潮流が過大となり、線路過負荷、電圧低下あるいは同期はずれを起こすおそれがある。

2.2 事故波及防止システム

対象系統の特長を十分発揮させ、系統の一部に発生した事故の影響が二次的に進展拡大するのを防止するためには、従来の系統保護システムに加えて新しい後備保護手段、予測操作、事故波及防止操作が必要になる。そのため、次のような方式を組み合わせた総合的な事故波及防止システムを開発した。

(1) 群制御後備保護リレー方式

154kV 抵抗接地系統の直列 2 区間を 1 群とし、各群に地絡方向比較キャリアリレー方式を適用して、区間内の主保護リレーやしゃ断器が動作に失敗した場合にも群として事故を検出し、事故区間を高速度後備保護する。

(2) 事故波及未然防止方式

系統にルート分断事故が発生したとき、分断ルートの事故前潮流の大きさに応じて系統の安定度維持が困難になると予測されたとき、安定度を維持するために必要な最小限の電源または負荷を緊急しゃ断する。

(3) 同期はずれ分離方式

系統に同期はずれが発生したとき、各所の同期はずれ検出リレーの動作状況を総合判断して最適点で系統を分離する。

図 2 は従来の系統保護システムと上述の事故波及防止システムを総合して示したものであり、次のように動作する。

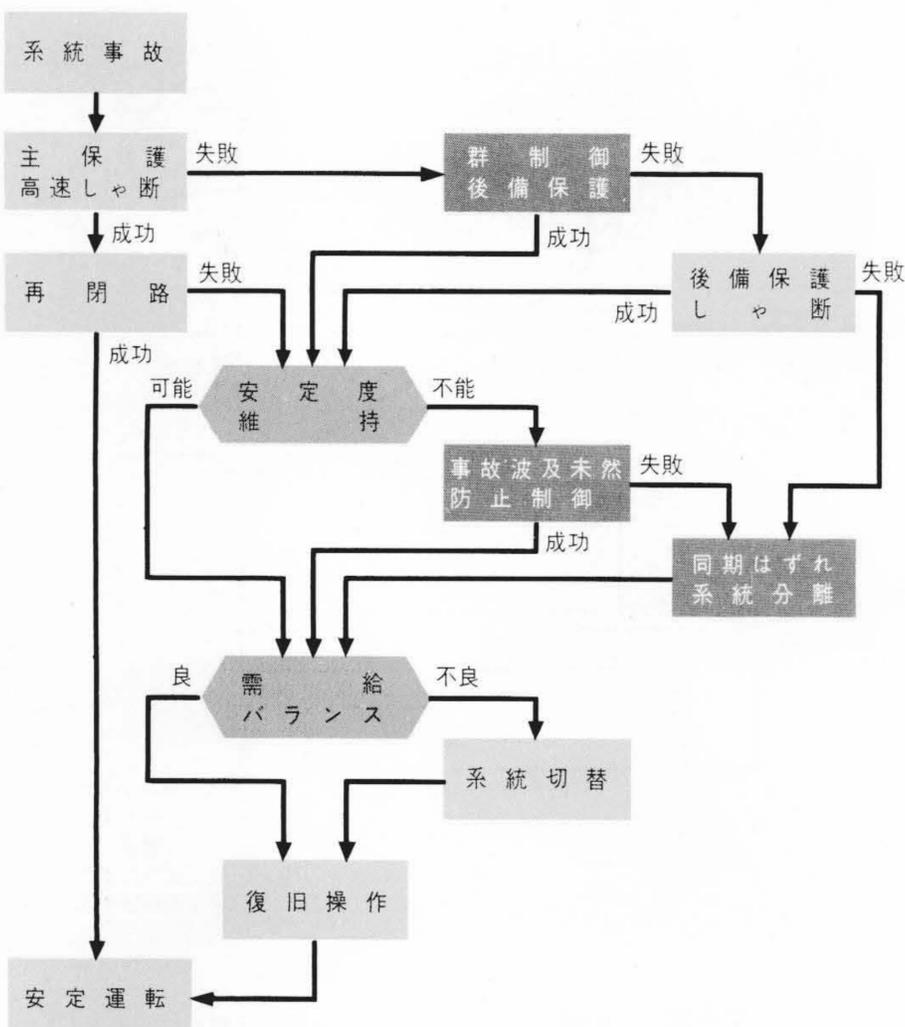


図 2 電力系統保護制御システム 従来の系統保護システムに事故波及防止システムを総合して示したものであり、系統の緊急状態においてもその段階に応じて事故波及を防止することができる。

Fig. 2 Protective and Control Scheme of Power System

すなわち、系統事故が発生しても主保護リレーにより高速しゃ断して再閉路に成功すれば、系統はただちに復旧して安定に運転できる。再閉路に失敗した場合も安定度維持が可能で需給バランスが良好であれば、復旧操作を行なって安定運転できる。万一、主保護リレーやしゃ断器が動作に失敗した場合には、あらかじめ適切な規模に分割された群の中から事故群を選択して事故区間を高速度で後備保護する。後備保護に成功した場合、安定度が維持可能か不能かを予測する。不能であれば事故波及未然防止制御を行なって安定度の維持向上を図り、事故の波及拡大を防ぐとともに、後備保護再閉路により系統の自動復旧を図る。成功すれば需給バランスを確認する。後備保護または事故波及未然防止制御に失敗して同期はずれに至れば最適点で系統を分離し、大停電事故に至るのを防ぐ。その結果需給バランスが不良になれば系統切替を行なってバランスをとり、復旧操作を行なって安定運転を図る。

2.3 システム構成の問題点とその解決

事故波及防止システムを構成する各装置は、図 1 に示す東北地方全域にまたがる対象系統に分布して設置されるため、簡潔で信頼度の高い装置とする必要がある。また、このような面的な広がりをもった系統を常時効率よく、事故発生時にも高い信頼度を維持して運用するためには、中央から末端に至るハイアラキカルな制御を効果的に行なえる総合自動給電システムが必要であり、事故波及防止システムはこのシステムの一環としても十分な機能を発揮する必要がある。

(1) システムの高信頼化

システムを構成する装置は実績のある保護リレー技術を基礎とし、最新のエレクトロニクス技術を導入して高性能化するとともに、徹底した標準化を進めて全系統を統一した仕様のものとした。

また半導体部品を採用するにあたっては温度影響の少ないシリコン素子を用い、十分なデイレティングを行なうとともに高温エージングを行なって信頼度の向上に努めた。

さらに高い信頼度を維持しつつ保守点検の省力化を図るため、各装置は常時監視回路と 1 操作で必要な点検ができる点検回路を備えている。

(2) 自動給電システムとの結合

図 1 に示す系統を対象として中央に電子計算機 HITAC 7250 を用いた自動給電システムを設置し、これと末端の各種自動化装置を信号伝送回線を介して結合し、ハイアラキカルな総合自動給電を行なうことを計画し実行に移している。

そのため、当初からこのシステムを開発するにあたってはこれら自動給電システムの一環としても十分な機能を発揮できる構成とし、その端末装置として系統信頼度制御をより効果的に行なえるよう配慮した。

3 群制御後備保護リレー装置(BCC)

3.1 保護リレー方式⁽¹⁾

図 3 は群制御後備保護リレー方式の説明図である。

この方式は対象となる 154kV ループ系統を 2 回線 2 保護区間を 1 群とする群に分割して、各群に地絡専用の方向比較キャリアリレー方式を適用し、地絡事故が発生して主保護リレーが万一動作に失敗した場合、事故発生群中の事故区間をしゃ断して後備保護を行なう。

すなわち、図 3 の A ~ B 区間の F 点に地絡事故が発生したとき、A、B 端の地絡方向リレー 67GI、67GO の動作状況を信号伝送回線を介して比較し、内部事故と判定したときトリップ許容信号 f_{TA} 、 f_{TB} を出す。

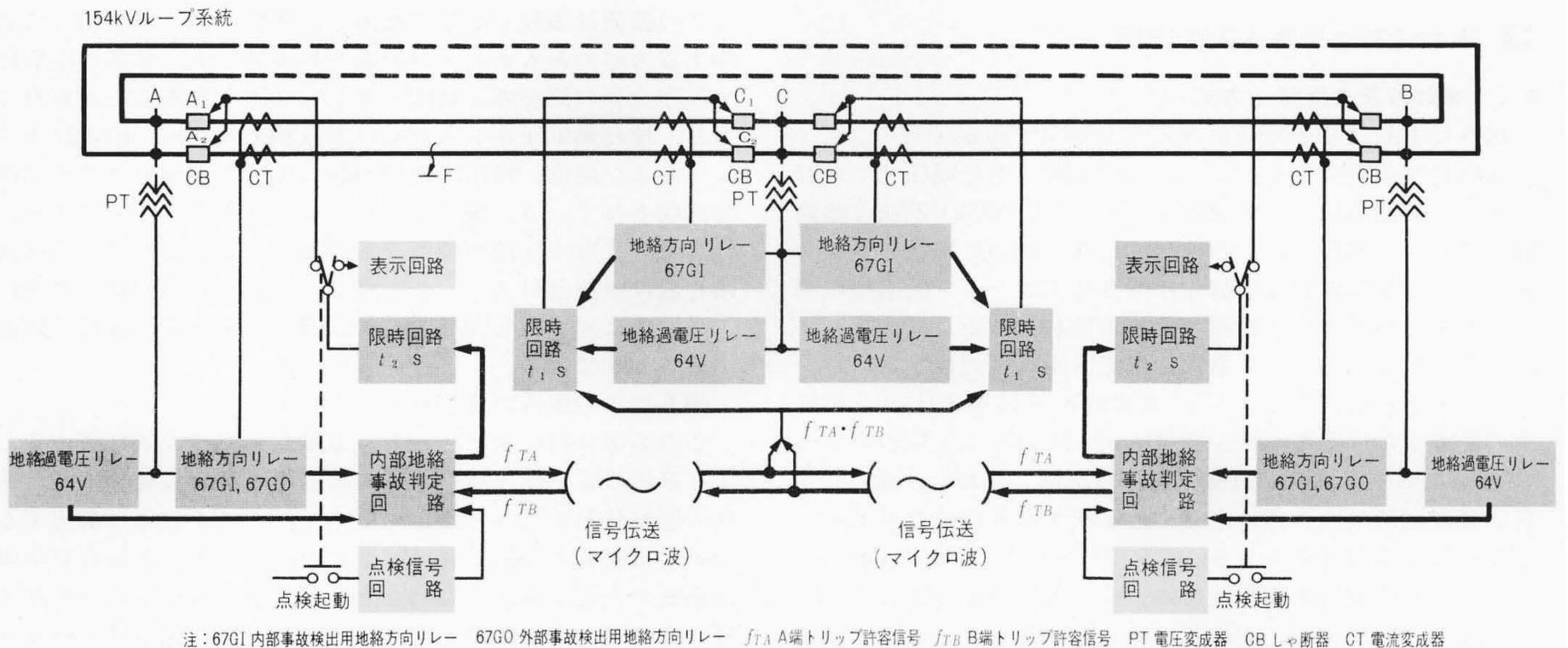


図3 群制御後備保護リレー方式説明図 154kV抵抗接地系統の直列2区間を1群とし、各群に地絡方向比較キャリアリレー方式を適用して後備保護する。

Fig. 3 Explanation of Back Up Carrier Relaying Equipment by Block Control

ここで主保護リレーはC端のみ動作してシャ断器C₂は開放されるが、A端は動作不能になって事故が継続したとき、まずC端においてA、B両端からのトリップ許容信号 f_{TA} 、 f_{TB} と自端の地絡方向リレー67GIおよび地絡過電圧リレー64Vの動作が t_1 秒間継続したことを条件に事故発生側シャ断器C₁をシャ断する。その後A端ではB端からのトリップ許容信号 f_{TB} の記憶と自端の地絡方向リレー67GIおよび地絡過電圧リレー64Vの動作が t_2 秒間($t_2 > t_1$)継続したことを条件に事故発生側シャ断器A₁、A₂をシャ断する。

3.2 装置の構成

本装置は図3に示すように地絡方向比較キャリアリレーの主要部である地絡方向リレー、地絡過電圧リレー、内部地絡事故判定回路と主保護リレーとの時限協調をとる限時回路および点検回路と表示回路より構成されている。

これらのうち主要リレー部分は主保護リレーが高速化を旨として順次トランジスタ化されていくすう勢にかんがみ、それと動作原理の異なる誘導円筒形リレーを主体とする電磁形リレーで構成し、限時回路のみ精度の良いトランジスタ形を用いている。表1はこれらの仕様を示すものである。

信号伝送回路は自動給電システムに使用されているマイクロ波ルートの一部を利用して構成されており、50ボアのFS変調方式としてある。信号量としてはトリップ許容 f_T およびトリップ阻止 f_L の2信号を用い、平常時と外部事故時はトリッ

ブ阻止信号 f_L を、内部事故時にはトリップ許容信号 f_T を送信する。

信号伝送回路を常時監視するとともに、点検回路を設け、点検起動スイッチを押せばトリップ回路がロックされて一端からトリップ許容信号 f_T が送信され、相手端でこれを受信すれば f_T 信号が返信されて装置と信号伝送回路を含む点検ができる。

図4は1変電所2端局分の回路を収納した装置の外観である。

表1 群制御後備保護リレー装置用主要リレー 群制御後備保護リレー装置に用いた主要リレーを示したものである。

Table 1 Main Relays of Back Up Carrier Relaying Equipment by Bloc Control

リレー	名称	形式	定格および仕様	用途
64V	地絡過電圧リレー	UG-XT ₂₁₋₂₁ -B ₂	110V, 50Hz 10~30V, 20~60Vタップ	故障検出
67GI, 67GO	地絡方向リレー	UHG-T ₂₁₋₂₁ -B ₂	110V, 3A, 50Hz 0.1~1.0Aタップ	地絡方向検出
t_1, t_2	限時リレー	SM-IS-P ₁	DC110V 0.1~1.0s	時限協調

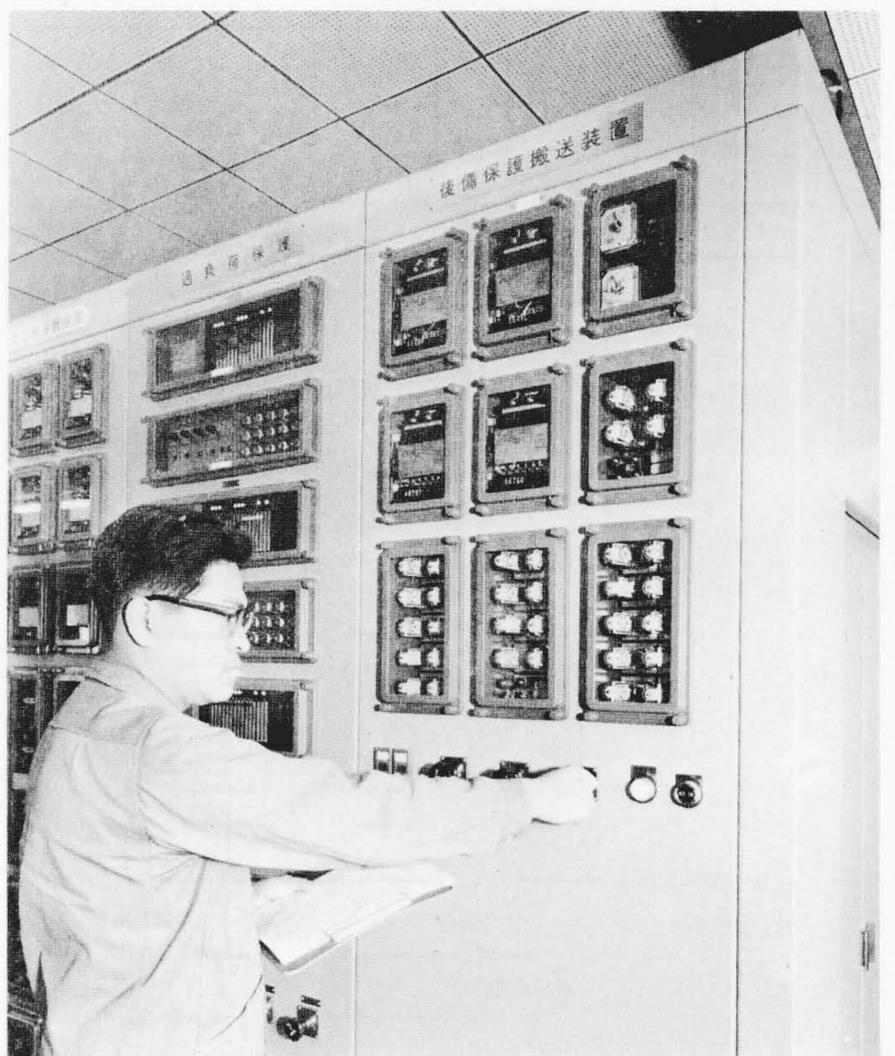


図4 群制御後備保護リレー装置 群制御保護リレー装置の外観を示したものである。

Fig. 4 Back Up Carrier Relaying Equipment by Bloc Control

4 事故波及未然防止装置(SPC)

4.1 事故波及未然防止方式⁽²⁾⁽³⁾

図5は事故波及未然防止方式の説明図である。

系統に事故が発生したとき、短絡事故は不足電圧リレー27により、地絡事故は地絡過電圧リレー64V(275kV系統は地絡過電流リレー51G)により検出される。続いて系統の保護リレーにより2回線とも事故しゃ断されてルート分断事故に至ったとき、自端のしゃ断器の開放状態および不足電流リレー37の動作により検出して事故検出記憶回路に記憶する。

このとき、潮流検出リレー(受電91R, 送電91S)により事故前の受電または送電潮流が高(H), 中(M), 低(L)位のいずれにあったかを事故前潮流検出回路に記憶しておく。次に受電時は受電潮流の大きさに応じてしゃ断すべき負荷 $L_L \sim L_H$ を、送電時は送電潮流の大きさに応じてしゃ断すべき電源 $G_L \sim G_H$ を電源負荷制限対象選択回路によって選択する。ここで2回線事故または単母線の母線事故を記憶しておれば各しゃ断器にしゃ断指令を与える。

電源負荷制限対象の選択は事故前の潮流による判断のみではなく、系統各所の潮流条件を入力とする中央電子計算機の系統計算結果に基づき総合的に判断され、信号伝送回線を介して中央から対象を選択することもできるように構成されている。

4.2 装置の構成とその留意点

本装置は図5に示すように事故検出リレーと事故検出記憶回路、潮流検出リレーと事故前潮流検出回路、電源負荷制限対象選択回路および点検信号回路と表示回路により構成されている。

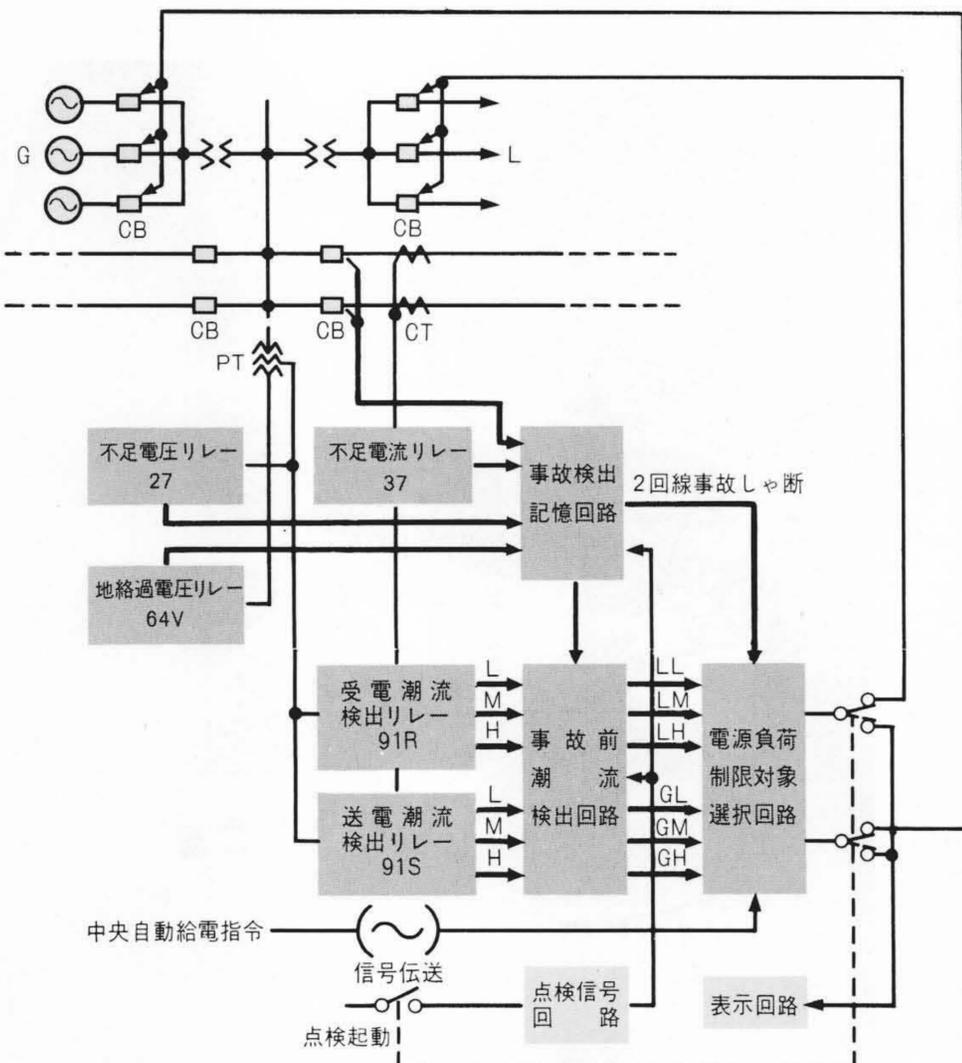


図5 事故波及未然防止方式説明図 系統にルート分断事故が発生し安定度の維持が困難になると予測されたとき、安定度を維持するのに必要な最小限の電源または負荷を緊急しゃ断する。

Fig. 5 Explanation of Preventive Relaying System for Spread of System Fault

この装置は事故を高速で検出し、各種の条件を検出して動作するものであるから、性能向上のみでなく、装置の小形化や保守点検の便を考えればトランジスタ化することが有利であり、地絡過電圧リレーを除く事故検出リレー、潮流検出リレーおよび記憶、検出、選択回路はすべてトランジスタ回路で構成されている。表2はこれらの仕様を示すものである。

またこれらの回路の要所を常時監視するとともに、点検回路を設け点検起動スイッチを押せば、出力回路がロックされて各回路に点検信号が与えられ、その結果を表示回路で確認することができる。

図6はこの装置の外観を示すものである。

この装置は特に次のような点に留意して構成されている。

(1) 系統の安定度を維持するのに必要な電源負荷制限量は系統の運転状態によって変化するため、これを正確に算出するためには複雑な系統計算が必要になる。一方、電源負荷制限は系統の安定度向上を目的としているから事故時に高速度で行なう必要がある、制限電力量の計算を事故発生時に行なうことは困難である。したがって、ここでは考えられる種々の運転状態における制限電力量をあらかじめ電子計算機で計算しておき、その結果を装置に記憶し、事故発生時の条件に応じて制限電力量を呼び出してオンライン制御を可能にするとともに、装置を大幅に簡素化している。

(2) 装置設置点の事故時系統条件によって電源負荷制限対象を選択するだけでなく、系統各所の条件を集約して系統計算を行ない、その結果によって対象を選択することもできる構成として将来の総合自動給電に移行する足がかりをつくっている。



図6 事故波及未然防止装置 事故波及未然防止装置の外観を示したものである。

Fig. 6 Preventive Relaying Equipment for Spread of System Fault

表2 事故波及未然防止装置用主要リレー 事故波及未然防止装置に用いた主要リレーを示したものである。

Table 2 Main Protective Relays in the Preventive Relaying Equipment for Spread of System Fault

リレー	名称	形式	定格および仕様	用途
27	不足電圧リレー	SVO ₃ -UT ₂₁₋₂₁ -7E ₂	110V, 5A, 50Hz 55~90Vタップ	故障検出
64V	地絡過電圧リレー	UG-XT ₂₁₋₂₁ -B ₂	110V, 3A, 50Hz 10~30Vタップ	故障検出
37	不足電流リレー	SO ₃ -2E ₁	5A, 50Hz 0.5~2.0Aタップ	回線しゃ断検出
91R, 91S	潮流検出リレー	SHO ₂ -NW-K ₂	110V, 5A, 50Hz L:0.5~1.1A M:1.0~2.2A H:1.5~3.3A } タップ	潮流検出

5 同期はずれ分離装置(SO)

5.1 同期はずれ分離方式⁽⁴⁾

図7は同期はずれ分離方式の説明図である。

図1に示す対象系統において同期はずれが発生する種々のケースについてシミュレーションプログラムによって検討した結果、同図LO1, LO2に示すように、

(1) 系統内の各所にそう入された発電機が主幹系統に対して同期はずれする場合 (LO1)

(2) 主幹系統が南北に分かれて同期はずれする場合 (LO2) の二つの状態に大別できることがわかった。このとき図7に示すように、系統の各所に設置され、送電線の見かけのインピーダンスを測定監視している同期はずれ検出回路56₁₋₄のみ見るインピーダンス軌跡は図8のように、発電機同期はずれの場合はすべてが、系統間同期はずれの場合は該当系統のみ時間の経過とともに順次移動していく。

したがって同期はずれ検出方式としては、図9に示す平行

四辺形特性距離リレー56Z₁, 56Z₂およびオーム特性距離リレー56R₁, 56R₂により設定された領域I, IIを順次一定時間を経てIIIの領域にはいったことにより検出するインピーダンス軌跡検出方式を適用すれば、同期はずれ軌跡LOを検出することができる。しかし、同期はずれの様相は上述のように発電機と主幹系統間および主幹系統相互間の二つに分かれるため、分離点選択にあたっては発電機同期はずれ時は発電機のみ、系統間同期はずれ時は系統の最小点を分離して事故の波及拡大を最小限にとどめる必要がある。

また同期はずれ現象は系統にごくまれにしか発生しない現象であるから、系統健全時に装置が誤まって動作して不必要な分離を行なうことは避ける必要がある。そのため図7に示すように、発電機同期はずれ時にはまず過電流リレー51によって同期はずれ検出回路56₁₋₄を起動し、56₁₋₄によってインピーダンス軌跡が図9の領域I→IIにすべてはいったことが検出されたとき、発電機同期はずれ検出回路によって検出し系統分離回路(1)~(4)をロックする。その後、領域II→IIIにはいったとき発電機分離回路によってCBAをしゃ断して発電機のみ分離し、主幹系統の安定運転を図っている。

また系統間が同期はずれしたときは領域I→IIを経てIIIにはいったことにより検出して該当系統のみ分離するものである。

5.2 装置の構成とその留意点

本装置は図7に示すように過電流リレー、同期はずれ検出回路、発電機分離回路、系統分離回路、発電機同期はずれ検出回路および点検信号回路と表示回路により構成されている。

表3はこれらの仕様を示すものである。

この装置は複雑な同期はずれ現象を確実に検出する必要があり、性能向上のみならず装置の小形化や保守点検の便を考えればトランジスタ化することが有利であり、主要リレーをはじめ各回路はすべてトランジスタ化されている。

また、この装置は対象系統にきわめてまれにしか発生しな

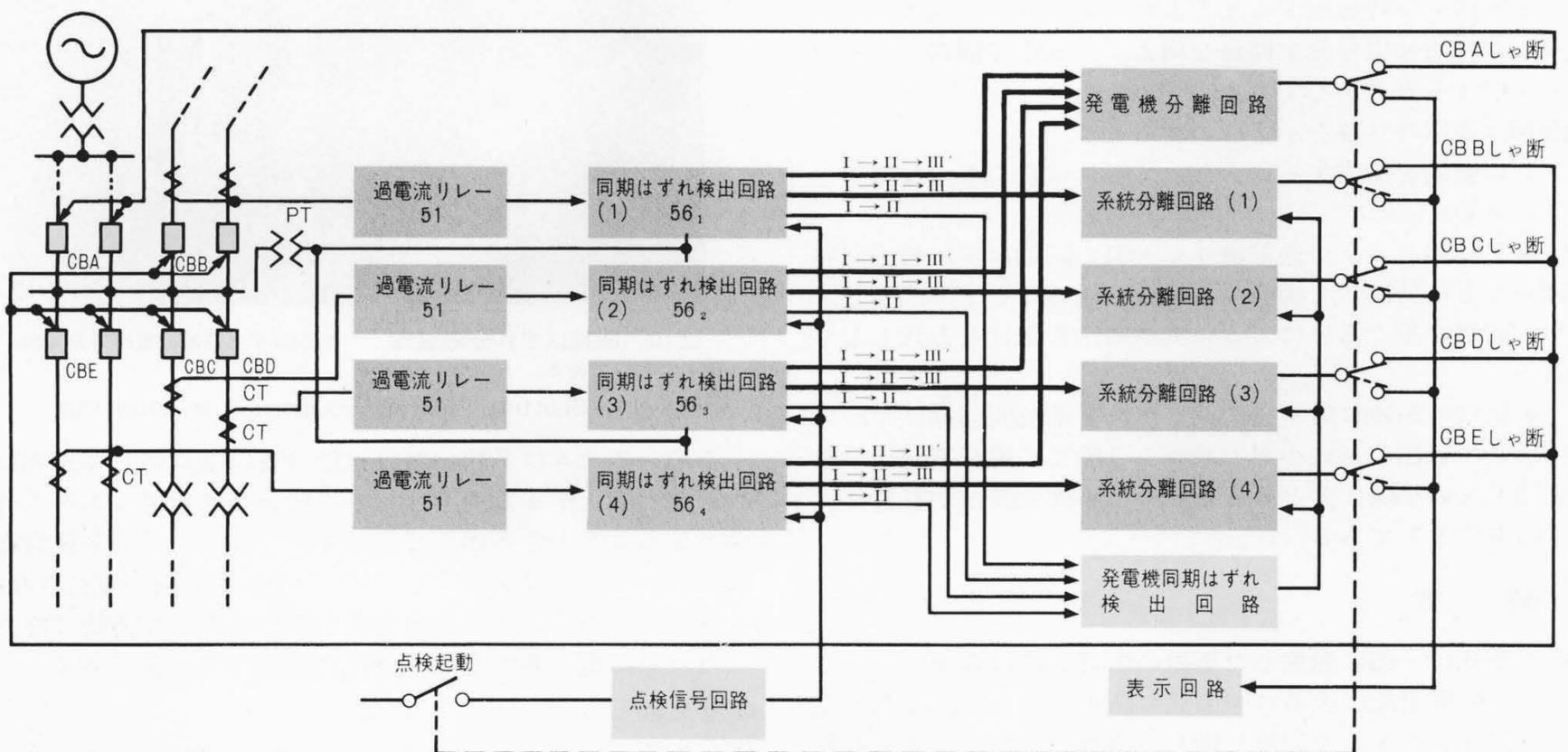


図7 同期はずれ分離方式説明図 系統に同期はずれが発生したとき、各所の同期はずれ検出リレーの動作状況を総合判断して最適点で系統を分離する。

Fig. 7 Explanation of Splitting Relaying Equipment for Step Out

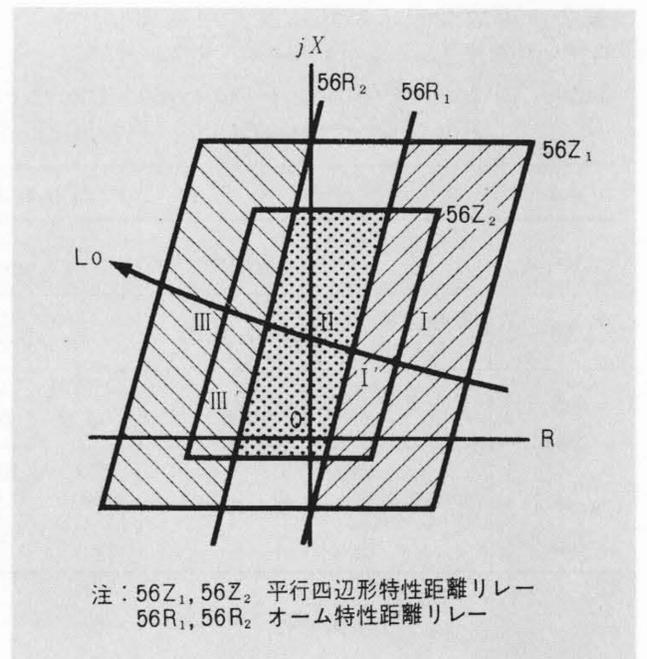
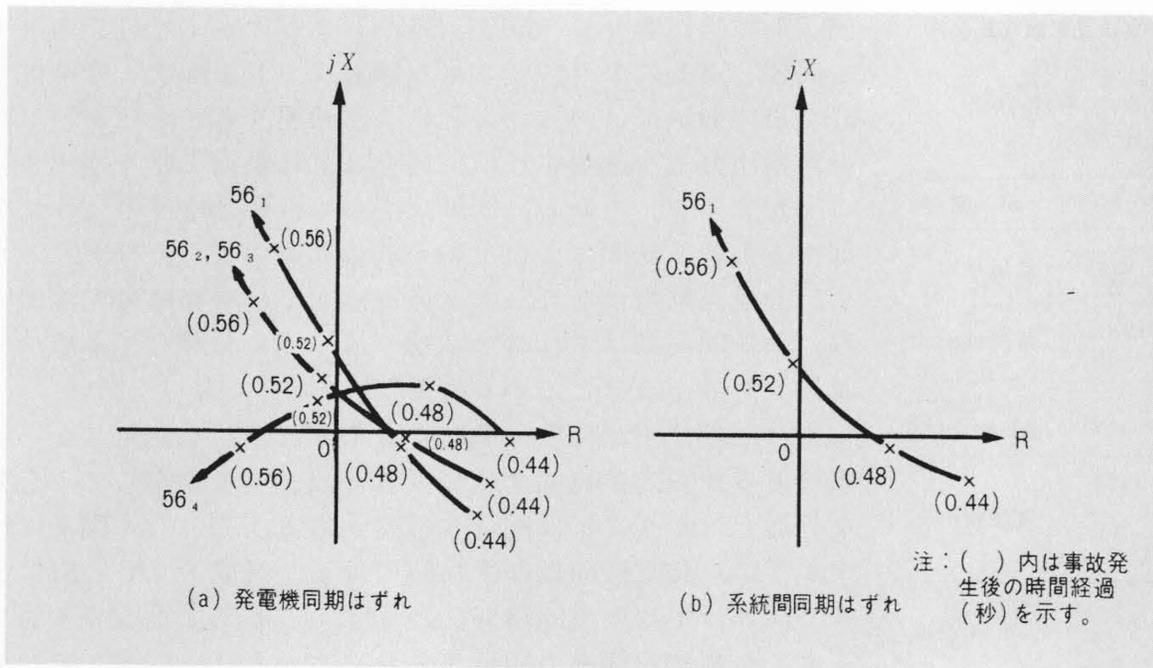


図8 同期はずれインピーダンス軌跡 送電線の見かけのインピーダンスを測定監視している同期はずれ検出回路のみインピーダンス軌跡の計算例を示したものである。

Fig. 8 An Example of Step Out Impedance Loci

図9 同期はずれ検出リレー特性 インピーダンス軌跡検出方式による同期はずれ検出リレーの特性を示すものである。

Fig. 9 Characteristic of Step Out Detecting Relay

表3 同期はずれ分離装置用主要リレー 同期はずれ検出リレーに用いた主要リレーを示したものである。

Table 3 Main Protective Relays in Splitting Relaying Equipment for Step Out

リレー	名称	形式	定格および仕様	用途
51	過電流リレー	SO ₃ -N-7K ₂	5A, 50Hz 3~10Aタップ	故障検出
56Z ₁ , 56Z ₂	平行四辺形特性距離リレー	SX2-N-6K ₂ SR-N-6K ₂	110V, 5A, 50Hz 前方 1~5Ω, 6~30Ω 後方 1~5Ω 右方 1~10Ω 左方 1~10Ω } タップ	同期はずれ検出
56R ₁ , 56R ₂	オーム特性距離リレー	SR-N-6K ₂	110V, 5A, 50Hz 1~10Ωタップ	

い同期はずれ現象を検出して動作するものであり、装置の信頼度の維持向上には特に留意する必要がある。そのため、回路の主要部を常時監視するとともに、装置内部に同期はずれを模擬した点検信号発生回路を備え、一操作で回路の点検が容易にできる方式としてある。

図10は装置の外観を示すものである。

さらに装置を構成するにあたって特に留意した点は次のとおりである。

- (1) 図7に示すように過電流リレー51と同期はずれ検出回路56がともに動作した場合のみ系統分離を行なう方式とし、単一回路の不具合による装置誤動作を避ける方式としてある。
- (2) 発電機の系統に対する同期はずれと系統間同期はずれを区別して検出し、最小点で系統を分離して健全系統への事故波及を最小限にとどめるとともに事故の復旧が容易にできる方式としてある。

6 結 言

電力系統の一部に発生した事故の影響が他の健全系統に波及して大停電事故に至るのを未然に防止するため、従来の電力系統保護システムを見直し新しく事故波及防止システムを開発し、東北電力株式会社の275-154kVループ系統に適用して良好な実績を取めている。特に昭和47年11月17日の塩害による秋田変電所275kW母線事故時に事故波及未然防止装置が正動作し、北部系統の大事故波及を未然に防止した。

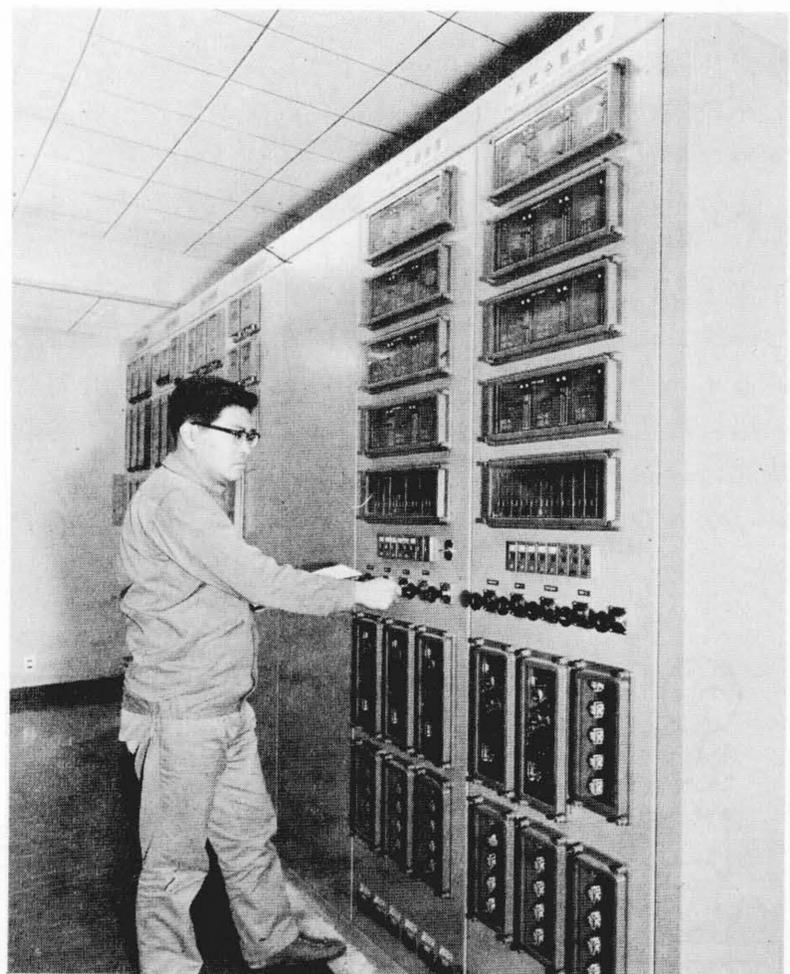


図10 同期はずれ分離装置 同期はずれ分離装置の外観を示したものである。

Fig. 10 Splitting Relaying Equipment for Step Out.

このシステムは系統の緊急状態の各段階に応じて確実に事故波及を防止するもので、将来の総合自動給電システムの一環となるよう十分考慮して構成されており、電力系統信頼度制御の一つの方向を示すものとして今後の成果が期待される。

終わりにこのシステムを開発するにあたって終始ご協力いただいた給電、発電関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- (1) 久保木, 新田目ほか: 昭和45年度電気関係学会東北支部連合大会論文集 (2B-2)
- (2) 村井, 抜山: 日立評論 47, 1957 (昭和40-12)
- (3) 特許出願中
- (4) 特許出願中