

GPS 同期型 送電線保護用電流差動リレー

GPS-Based Line Current Differential Relay

杉浦 秀昌 嵯峨 正道

■ SUGIURA Hideaki ■ SAGA Masamichi

従来、送電線保護用の電流差動リレーでは、伝送路を経由した同期制御により送電線各端子の電流を同一タイミングでサンプリングしていたため、伝送遅延時間が変化しない安定な伝送路が必要であった。

東芝は、GPS (Global Positioning System) 受信機からの正確な時刻データを端子間のサンプリング同期に使用する GPS 同期型 送電線保護用電流差動リレーを開発し、これまで伝送遅延時間変動の問題から適用が難しかった SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 網をリレーの伝送路に使用できるようにした。開発したリレーは、GPS 信号が失われた場合や伝送路に不良が発生した場合でも保護を継続することが可能で、信頼性の高い保護機能を提供することができる。

The numerical line current differential relay for transmission line protection requires a stable telecommunication system with an unchanging transmission delay time, because it simultaneously samples terminal currents by a synchronization system that runs on the telecommunication system.

Toshiba has developed a new numerical line current differential relay in which the Global Positioning System (GPS) is applied to make synchronous digital hierarchy (SDH) communication networks. The new relay can protect transmission lines even when the GPS signal has been lost or some fault has occurred in the telecommunication system, assuring highly reliable protection for transmission lines

1 まえがき

電流差動リレーは、事故を高感度かつ高速に検出できることから、電力系統の保護システムに幅広く適用されている。送電線保護に電流差動リレーを適用する場合は、電流データの相互伝送を行うための伝送路が必要となる。現行の送電線保護用電流差動リレーでは、電流データの伝送に加え、受信タイミング計測によるサンプリング同期制御を実施するために、上りと下りの伝送遅延時間が等しく、遅延時間変動の少ない専用の伝送路を必要としている。

近年、デジタル通信網は、より高度な運用が可能な SDH 網の適用が拡大しているが、SDH 網の同期多重化構成や通信障害時の回線切替機能が伝送遅延時間の変化を伴うため、送電線保護用電流差動リレーの伝送路には適用されていない。

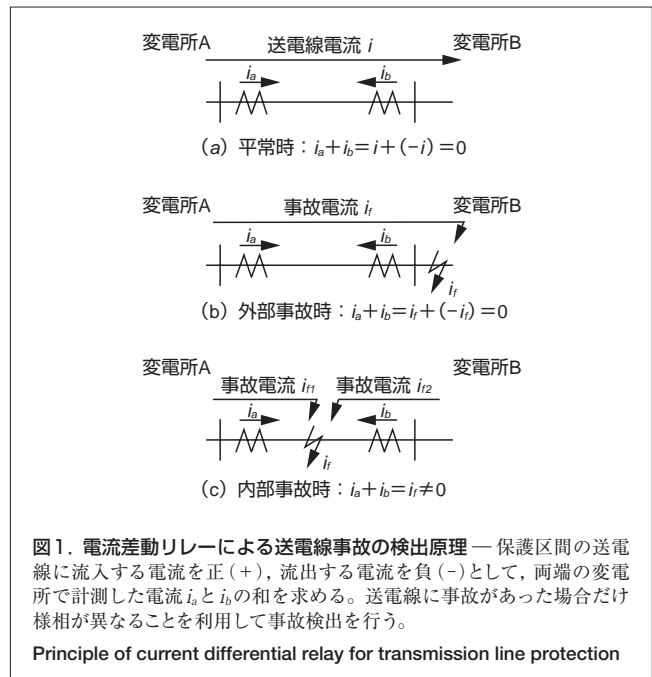
このようななか、英国で SDH 網適用のニーズがあり、東芝は、SDH 網を伝送路として使用できる GPS 同期型 送電線保護用電流差動リレー GRL100 を開発した。

ここでは、送電線保護用電流差動リレーの概要と GRL100 の特長を述べる。

2 送電線保護用電流差動リレーの概要

電流差動リレーは、保護する設備に出入りする電流の総和を監視するもので、設備内に事故がなければ総和がゼロ

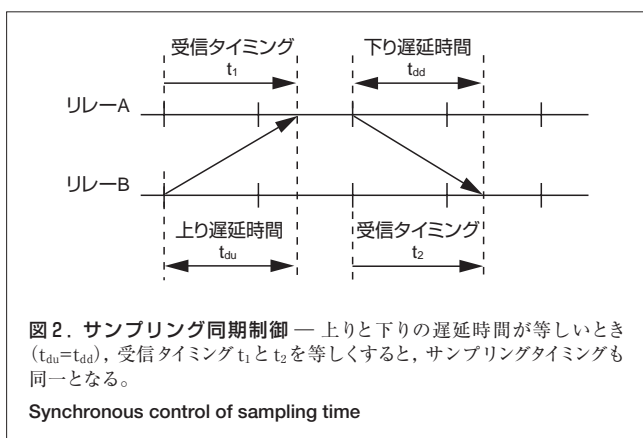
になるというキルヒホッフの第1法則を応用したものである。送電線保護の場合は、図1のように、事故がないとき及び保護する送電線の外部に事故があるときは、送電線両端の変電所で計測した電流の和が0になるのに対し、内部に事故があるときは、電流の和が0にならないので事故検出が可能である。ただし、この原理を実現するためには、送電線両端



に設置した電流差動リレーが同じタイミングで電流をサンプリングする機構と、サンプリングした電流データを互いに送受信するための伝送路が必要となる。

同一タイミングのサンプリングを実現するため、従来の送電線保護用電流差動リレーは、伝送路の上りと下りの伝送遅延時間がほぼ等しいことを前提に、受信タイミングを測定して相互に伝送することでサンプリングタイミングのズレを計算し、同一タイミングに制御するサンプリング同期機能を実装している(図2)。

したがって、送電線保護用電流差動リレーが使用する伝送路には、上りと下りの伝送遅延時間が等しく、遅延時間変動の少ないことが要求される。



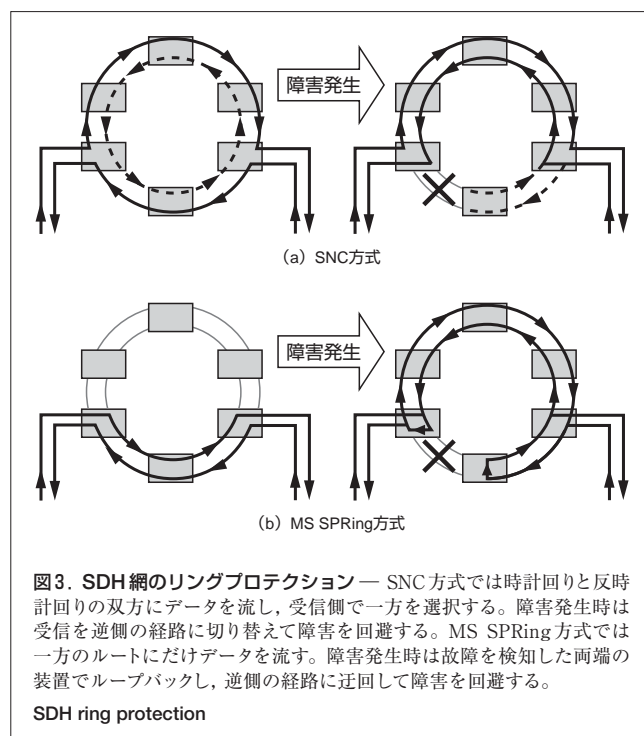
3 SDH 網

デジタル通信網は、効率的な運用を実現するために、複数のチャンネルを束ねて伝送する多重化伝送を行っている。SDH網は、従来のPDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) 網とは異なり、ネットワーク全体が同期化されている同期多重化構成である。また、大部分のSDH網は二重リング構成となっており、通信障害が発生した場合に、迂回(うかい)経路を使用することで障害を回避する機能がある。図3は、SDH網における2種類のリング方式を表したものである。(a)のSNC(Sub Network Connection Protection)方式では上りと下りの伝送遅延時間が異なり、(b)のMS SPRing(Multiplex Section Shared Protection Ring)方式では伝送遅延時間の変化が発生するため、送電線保護用電流差動リレーが伝送路に要求する事項を満足することができない。

4 GPS同期型送電線保護用電流差動リレー GRL100

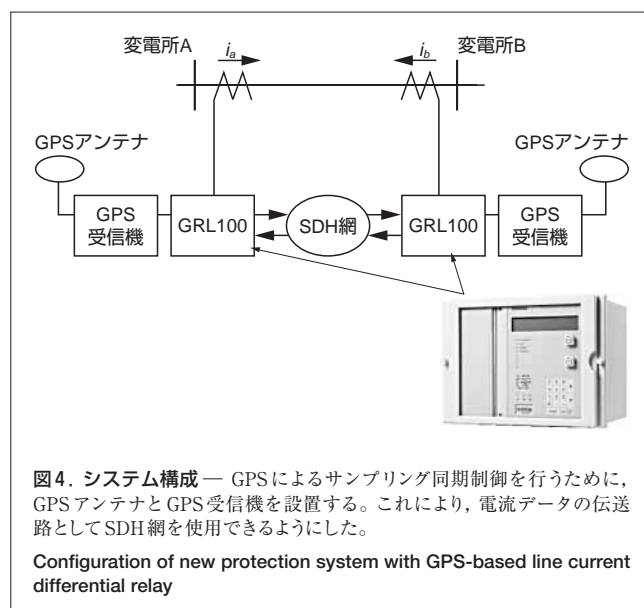
4.1 GPS同期とバックアップモード

SDH網を送電線保護用電流差動リレーの伝送路に使用す



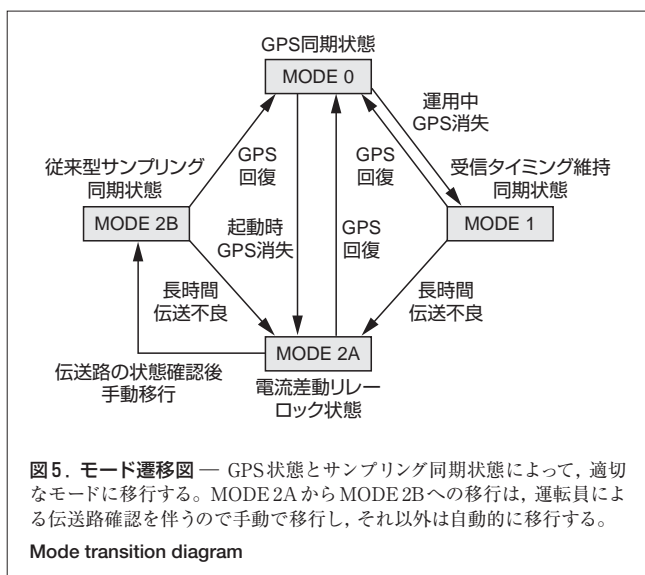
るためには、伝送路の遅延時間に制約のないサンプリング同期制御が必要となる。そこで、GRL100では、GPSを用いたサンプリング同期方式を採用した。GPSは、人工衛星を利用した測位システムで、衛星からの電波を受信することで、3次元の位置データと正確な時刻データを得ることができる。GPS同期方式はこの時刻データを基準タイミングとして利用するもので、異なる変電所に設置されたGRL100に同じ基準タイミングを供給することが可能となるため、伝送路に依存しないサンプリング同期制御が実現できる。

GRL100のシステム構成を図4に示す。送電線の各端子に



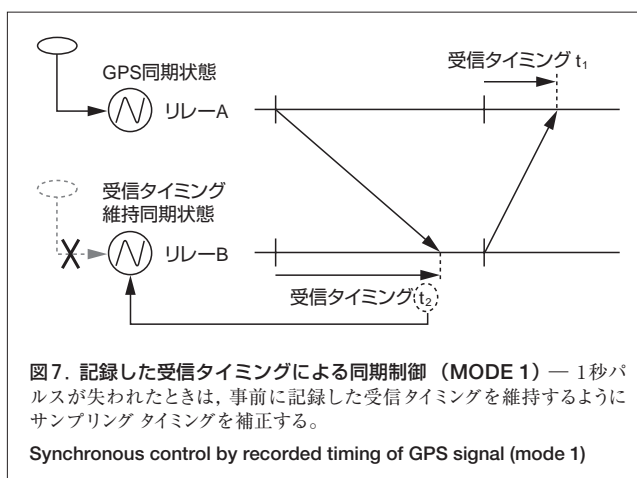
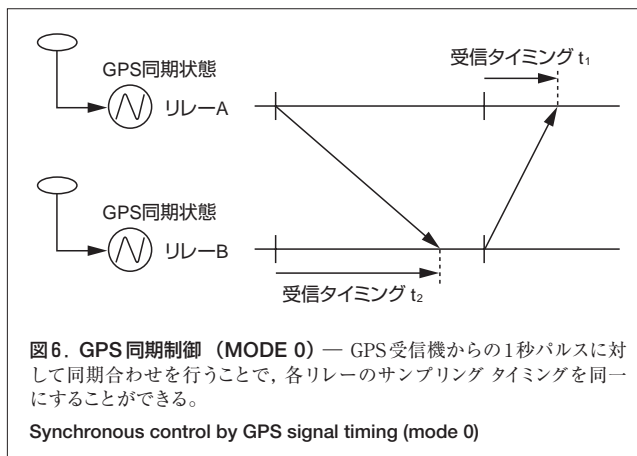
GPS受信機を設置し、GRL100はこの受信機からの基準信号に同期を取る。GPS受信機はGPS衛星からの電波を受信して、標準時であるUTC (Coordinated Universal Time : 協定世界時) に対して誤差1 μ s未滿の基準信号(1秒パルス)を出力する。各端子のGRL100で、この1秒パルスに対してサンプリングタイミングを同期させると、伝送遅延時間の変動の影響を受けずに、相手端とのサンプリング同期を確立することができる。

GPS同期方式では、システムの確立にGPS衛星からの電波を使用するが、GPS受信機は、電波の捕捉(ほそく)状態などによって1秒パルスの出力を停止することがある。このような場合でも保護リレーとしての信頼性を確保する必要があることから、GRL100は、GPS受信機からの1秒パルス出力が失われたときもサンプリング同期を維持し、保護を継続するためのバックアップ機能を実装している。



バックアップ機能は、**図5**のように、GPS状態とサンプリング同期状態によって遷移する四つのモードから構成される。1秒パルスが失われているときの状態(MODE 0以外)を“GPSバックアップモード”と呼び、1か所の手動による移行を除いて自動的に遷移する。以下に、各モードの詳細を述べる。

- (1) **MODE 0** 1秒パルスにサンプリング同期をとる本来のモードである(**図6**)。同期が確立しているときに、バックアップモードに備えて受信タイミングの測定と記録を実施している。1秒パルスが消失したとき、受信タイミングの測定ができていればMODE 1へ移行し、起動時から1秒パルスが失われている場合はMODE 2Aへ移る。
- (2) **MODE 1** 1秒パルスが失われたときに、測定した受信タイミングが事前に記録した値となるようにサンプリングタイミングを補正することで同期を保つモードである(**図7**)。このMODE 1制御により、1秒パルスが失



われた以降も事前のタイミングを維持することができ、保護を継続することが可能となる。なお、SDH網の経路切替によって受信タイミングが変化した場合、基準の受信タイミングを変化後のものに置き換えて、サンプリング補正を継続する。

- (3) **MODE 2A** MODE 1で伝送不良が継続すると、受信タイミングが測定できないためサンプリング補正が継続できず、同期精度が失われていく。伝送不良が整定で定められた時間以上継続した場合は、電流差動リレーを運用するための同期が失われたと判断してMODE 2Aに移行し、リレーをロックする。

運転員が伝送路の状態を確認してから、手動でMODE 2Bへ移行して運用するためのスタンバイモードである。

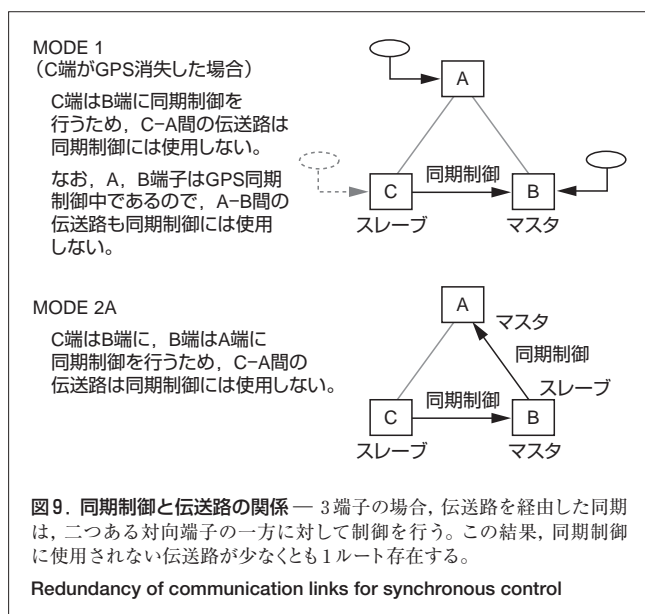
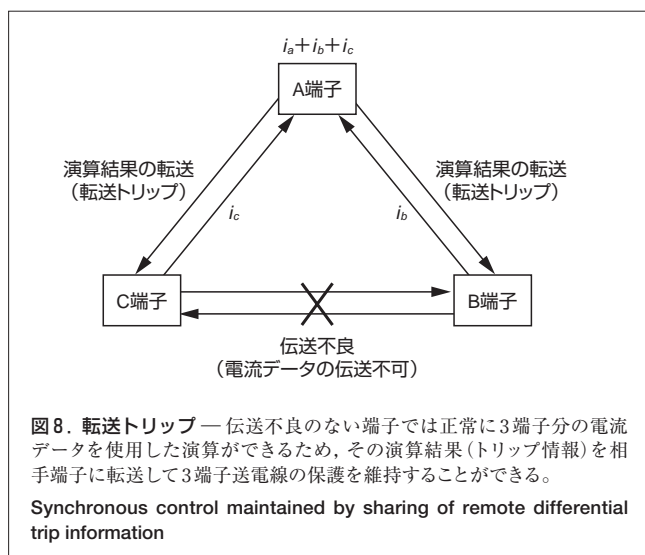
- (4) **MODE 2B** 従来の電流差動リレーと同じく、上り下りの伝送遅延時間が等しいことを前提にした同期制御を行う。起動時から1秒パルスが消失している場合などに使用する、緊急用モードである。

なお、各GPSバックアップモードへ遷移後、両端子の1秒パルスが健全に回復した場合は、MODE 0へ移行する。

4.2 マスタスレーブローテーション機能

GRL100は2端子送電線だけではなく、3端子送電線の保護にも対応している。3端子の電流差動リレーは伝送チャネルが二つあり、各リレーが二つの相手と接続して概念上は三角形のネットワークを構成する(実際の接続はSDH網経由)が、GRL100は、三つの伝送ルートのうち1ルートが伝送不良で使用できない状態であっても保護機能を維持することができる、マスタスレーブローテーション機能を実装している。3端子の場合、サンプリング同期が維持できていれば、図8のように伝送不良のない端子で電流差動リレーの演算が可能であり、この端子から他の2端子へ演算結果を転送することで保護が維持できる。

GPS同期では、各端子でGPS受信機からの1秒パルスに同期合わせをするため、サンプリング同期は伝送不良の影響



を受けない。一方、GPSバックアップモード時は伝送路を経由した同期制御となるので、このときに同期制御を維持できるようにすればよい。伝送路を経由した同期制御であるMODE1及びMODE2では、図9のように、同期合わせの基準となるリレー(マスタ)と基準のリレーに追従するリレー(スレーブ)の主従関係があり、この結果、三つの伝送ルートのうち、少なくとも1ルートは同期制御に直接的にはかかわらないルートが存在する。マスタスレーブローテーション機能は、この特徴を利用したもので、1ルート伝送不良の際に伝送不良ルートを避けるように主従関係を再構築して、サンプリング同期の維持を実現している。

5 あとがき

SDH網を伝送路として使用することができるGPS同期型送電線保護用電流差動リレーGRL100を開発した。GRL100は、GPS受信機からの1秒パルスが失われたときのバックアップモードや、1区間の伝送不良が発生したときのマスタスレーブローテーション機能を実装しており、信頼性の高い保護機能を提供することができる。

GRL100は、2000年9月から2001年3月までの英国におけるトライアルユース、及び伝送同期試験などを問題なくパスし、英国の送電会社であるNational Grid社の形式認証を取得した。また3端子時のマスタスレーブローテーション機能については、2002年2月にNational Grid社へ形式試験成績書などの認証用ドキュメントを提出して、翌3月に形式認証を取得した。形式認証後、約20セットを出荷し、現在まで安定した運用を継続している。

今後も、信頼性の高い保護制御システムの開発を行い、電力の安定供給に貢献していきたい。

文献

- (1) Ian Hall, et al. "New Line Current Differential Relay using GPS Synchronization". Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, 3, 2003, 8p. (CD-ROM).



杉浦 秀昌 SUGIURA Hideaki

電力システム社 府中事業所 電力システム制御部主務。
保護・制御システムの設計・開発に従事。電気学会会員。
Fuchu Complex



嵯峨 正道 SAGA Masamichi

電力システム社 府中事業所 電力システム制御部グループ長。
保護・制御システムの共通コンポーネント開発に従事。
Fuchu Complex