

運用者の負担を軽減する次世代デジタルリレー D4

D4 Advanced Protection Relay for Reduction of Operative Burden

石原 祐二 鏡 敏朗 南 裕二

■ ISHIHARA Yuji ■ KAGAMI Toshiro ■ MINAMI Yuji

保護リレーは、送電線や変電機器などの電力流通設備に発生した落雷などの事故を、数十msという短時間で検出して遮断器に事故区間を切り離す指令を出し、電力系統の安定運用を維持する装置である。

東芝は、1980年に世界に先駆けてデジタル形の保護リレー装置を実用化するなど、保護リレーの高性能化を進め、電力系統の安定運用に寄与してきた。今回開発した次世代デジタルリレー D4では、演算処理能力の向上と回路集約を図るとともに機能単位の独立性を高めることで、信頼性と長期供給性を向上した。また、ヒューマンインタフェース (HI) 機能とリレー動作及び障害発生時の解析機能を改良し、保守性の向上を図った。

A protection relay is used for detection of faults that occur in electric power systems such as transmission lines and substation facilities. For example, a protection relay must detect a lightning strike fault within several tens of milliseconds and instantaneously issue a trip command to isolate the faulty part of the network or facility from other normally operating parts, in order to maintain the stability of the electric power system.

Toshiba launched the world's first microprocessor-based digital protection relay in 1980. Since then, we have been continuously improving protection relays and contributing to power system stability throughout the world. In the development of our new D4 protection relay platform, we employed state-of-the-art hardware and software technologies to improve reliability and maintainability as well as upgraded human interface and analysis tools.

1 まえがき

保護リレーは、電力流通設備に落雷などの系統事故が発生したとき、迅速に当該設備を電力系統から切り離す指令を出し、電力の安定供給を支える重要な装置であり、高速かつ確実な動作と、正確な事故除去が求められる。

今回東芝は、信頼性と長期供給性及び保守性の向上など、保護リレー装置を運用する電力会社などから寄せられた要望に応えることを念頭において、次世代デジタルリレー（以下、D4リレーと略記）を開発した。ここでは、D4リレーの特長と適用技術を述べる。

2 東芝のデジタル保護リレー技術

当社は、1980年にマイクロプロセッサを用いたデジタルリレー D Iを開発し、世界に先駆けてPCM (Pulse Code Modulation) 電流差動方式の送電線保護リレー装置を実用化した。その後、1985年にマルチCPUによるデジタルリレー D IIを開発し、電力系統に適用される保護リレーのデジタル化を進めた。更に、1994年には電協研“第2世代デジタルリレー”準拠のデジタルリレー D IIIを開発し、主後一体形送電線保護リレー装置に代表される保護リレーの高性能化を図った。近年では、GPS (Global Positioning System) 時刻データ



図1. 送電線保護リレー装置 — 信頼性と長期供給性及び保守性を向上させたD4リレーを適用した。

Protection relay equipment applying D4 relay

をサンプリング同期に使用する電流差動リレーや、シンプソン積分^(注1)の応用により高速・高精度化した距離リレーなどを開発し、保護技術の向上を進めてきた⁽¹⁾。

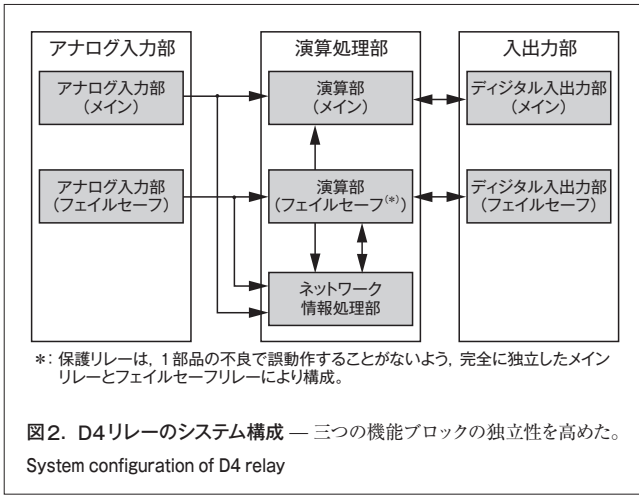
今回開発したD4リレーは、当社の基幹系統向けデジタルリレーの4世代目にあたり、最新のハードウェア・ソフトウェア技術を適用し、特に保護リレー装置の信頼性と長期供給性、及び保守性を従来機種より向上させた(図1)。

(注1) 積分区間を小区間に分け、各小区間で関数を2次関数で近似し、定積分を求める数値積分。

3 D4リレーの概要

3.1 構成

D4リレーは、信頼性と長期供給性及び保守性の向上を目的として、図2に示すように保護リレー装置を構成するアナログ入力部、演算処理部、入出力部の独立性を高め、各機能ブロックを伝送で結合する構成とした。



3.2 特長

- 装置信頼性と保護性能の向上 高速・低消費電力形プロセッサなど最新ハードウェア技術の採用により、演算回路の集約と低負担化を実現し、信頼性向上を図った。また、設計ツールの充実、自動試験範囲の拡大を行い、作りこみ品質の向上を図った。更に、演算処理能力の向上により保護リレー動作の高速・高精度化も実現し、PCM電流差動方式の送電線保護リレー装置では3サイクル^(注2)での事故除去を標準仕様とした。
- 部品改廃に対応する長期供給性の向上 機能ブロック間の疎結合化とMPU (Micro Processing Unit) など主要部品のモジュール化により、部分的な設計変更や交換を容易とし、半導体素子の改廃に影響されにくい構成とした。また、既設の装置を更新する際、装置全体でなくリレーユニット部だけの交換で対応することにより、外部ケーブルや装置用品を再利用し、ケーブルエンジニアリングの簡素化と試験ボリュームの低減を可能とした。
- 運用保守支援機能の向上 HIパネルに設けた液晶画面での装置状態表示、遠隔運用監視によるリレー動作時の系統現象や不良情報の表示、USB (Universal Serial Bus) メモリ挿入による不良ログの自動取得などの機能を

(注2) 伝送遅延 4ms (50 Hzの場合) / 2 ms (60 Hzの場合) 以下、2サイクル遮断器との組合せの条件における事故発生から事故除去までの時間。

備え、復旧作業を迅速化できるようにした。また、リレー情報を二次利用した故障点標定やオシロ機能などの構築により、投資コストの抑制を可能にした。これらを実現するため、大容量不揮発メモリ、Ethernet (100BASE-TX) とGPS (時刻データ付与) 及びUSBの各インタフェースを備えた。

4 D4リレーの信頼性向上

4.1 ハードウェアの信頼性向上

保護リレー装置の信頼性向上には、部品故障率の低減に加え、内的及び外的要因に対する耐ノイズ性の強化、システム構成の単純化、データ伝送及び信号波形の品質確保が重要である。

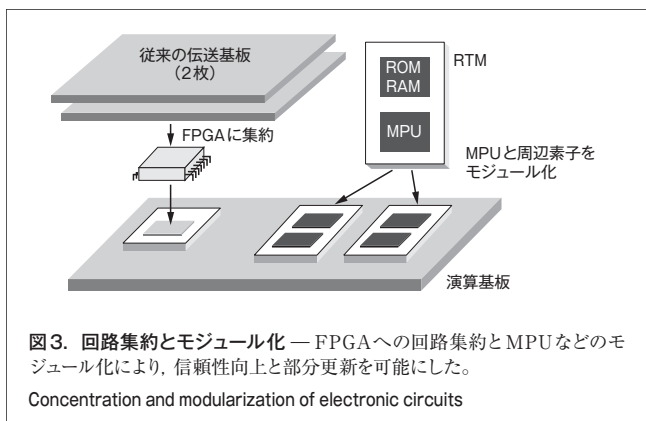
D4リレーに適用したハードウェア技術を表1に示す。D4リレーでは、演算処理能力の向上と回路集約を図り、基板枚数と部品点数を大幅に削減した。消費電力は、従来機種DⅢの約1/3まで低減した。また、部品及び基板の初期不良低減を目的として、部品採用時の解析方法とエージング方法を改良した。更に、アナログ入力部、演算処理部、入出力部の各機能ブロック間を伝送で結合するとともに信号の絶縁を行い、電気的な構成上の独立性を高めた。演算処理部は、MPUの高速

表1. D4リレーに適用したハードウェア技術

Hardware technologies applied to D4 relay

目的	ハードウェア技術とその効果
演算処理能力の向上	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高性能MPUの採用 故障率の低減、低消費電力、ユニット内温度の低減 ・演算処理能力の向上 (64ビットCPUを採用) : 3倍以上
部品点数の削減	<ul style="list-style-type: none"> ■ FPGA (Field Programmable Gate Array) に回路集約 故障率の低減、低消費電力、ユニット内温度の低減 ・伝送機能、入出力制御機能などのワンチップ化 ・演算処理部の部品点数削減: 約1/2
長期供給への対応	<ul style="list-style-type: none"> ■ MPUと周辺素子のモジュール化 MPUと周辺の高速度信号をRTM (Real-Time Module) に配置し、演算基板本体の低速信号と分離 ・信号品質の確保 ・演算性能の拡張対応: RTMを4枚まで実装可能 ■ 機能ブロック間を伝送で結合 1対1伝送方式の採用、信号絶縁、伝送フォーマットの標準化 ・機能ブロック間の相互干渉の排除 ・伝送競合の排除 ・機能ブロック単位での更新の容易化
システムバス品質の向上	<ul style="list-style-type: none"> ■ システムバスの短縮 基板間伝送のシステムバスの長さを短縮: 1/2以下 ・誘導ノイズ、静電容量の抑制による信号品質の向上 ■ システムバスの調停レス 演算基板間の伝送にシングルマスター方式を採用 ・バス競合の排除
部品・基板品質の向上	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新規採用部品の良品解析 部品開封により内部構造を検査、製造プロセスの弱点を解析 ・新規部品の事前品質診断を強化 ■ 部品・基板のダイナミックエージング 部品単品を実使用に近い環境で動作させ、高温エージング下で故障分析プログラムを用いて不良有無を診断 ・部品・基板の初期不良を低減

・効果の比率は、従来機種のデジタルリレーDⅢとの比較



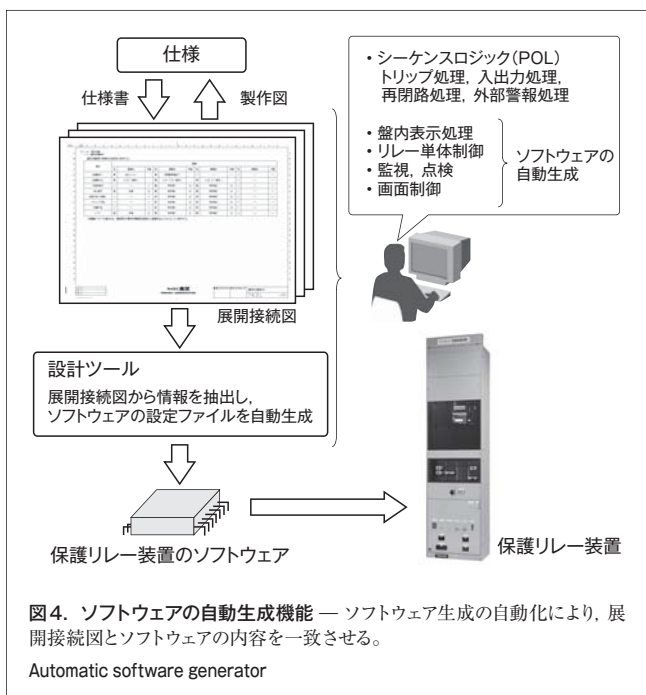
信号と周辺信号間の相互干渉を排除するため、モジュール構造とした(図3)。

なお、各機能ブロックの独立性を高めたシステム構成と演算処理部のモジュール化は、部品改廃や進展の早い技術革新を必要な部位に反映させる設計変更を容易にし、製品の長期供給性を向上できる利点がある。

4.2 ソフトウェアの信頼性向上

ソフトウェア設計の自動化は、ソフトウェアの信頼性向上にとって極めて有効な手段である。

従来から、トリップ処理^(注3)などでは、CADで記載したシーケンスロジックがそのままソフトウェアに変換される言語POL (Problem Oriented Language) を使用し、展開接続図とソフトウェアを一致させてきた。一方で、リレー単体制御、監視、点検、画面制御などのソフトウェアは、手作業による組み込み、設定を行っていた。



D4リレーでは、ソフトウェア品質のいっそうの向上を図るため、ソフトウェアの自動生成機能を拡張し、図4に示すように展開接続図に記載された情報を設計ツールで抽出し、自動的に設定できるようにした。

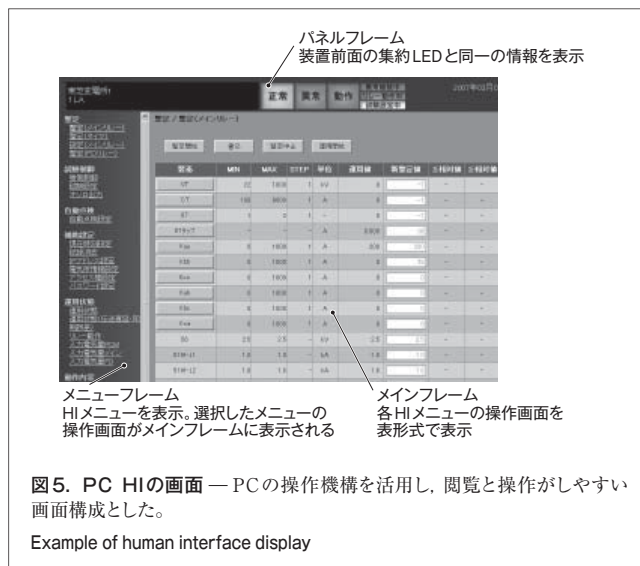
5 運用保守支援機能の向上

D4リレーでは、運用保守支援機能の向上を図るため、以下に述べる機能を改良した。

5.1 HI機能

D4リレーのHI機能について述べる。

- (1) パソコン(PC) HI PC HIは、D4リレーに実装したWebサーバ機能と、PC上の汎用ブラウザソフトを利用してHI機能を実現するものであり、通信ネットワークを介して接続できるため、保護リレー装置の状態把握などの運用保守業務を効率化できる利点がある⁽²⁾ (図5)。



D4リレーでは、キーボード入力や画面のスクロール表示などPCの一般的な操作機構を活用して、閲覧と操作がしやすい画面構成とした。また、HI接続時のユーザー認証機能の標準実装によるセキュリティ強化や、運用状態画面でのリレー動作表示の応答性向上、整定画面における表示内容の充実、離散整定値のプルダウンメニューによる選択方式の採用など、操作性向上を図った。

- (2) HIパネル D4リレーでは、装置前面のHIパネルに、整定値、動作内容、異常内容などを表示する小形の液晶画面を実装した。この画面を用いて容易に装置状態の概要を確認できることから、PCを接続することなく、巡視点検や障害発生時の一次診断を行うことを可能とした。

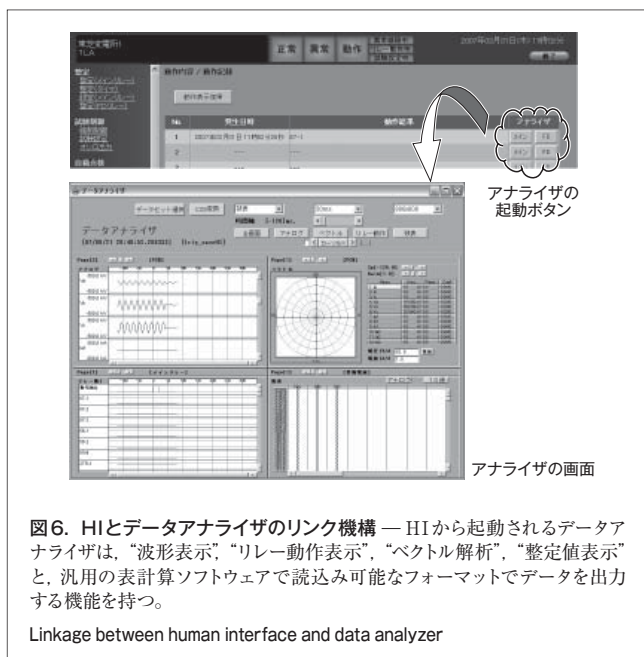
(注3) 遮断器に遮断指令を出力する処理。

5.2 系統事故解析機能

系統事故で保護リレー装置が動作した場合に、どのような事故で、どのように応動したのかを解析するツールとして、データアナライザが従来から活用されている。

D4リレーでは、PC HIとデータアナライザのリンク機構を強化し、リレー動作解析及び系統事故解析をより簡単に行えるように改良した。

図6に示すように、動作内容画面で起動ボタンを選択操作してデータアナライザを起動し、系統事故の発生前後における電圧、電流の波形と、リレー単体要素やシーケンス^(注4)の動作情報などのデータを対比させて表示するようにした。



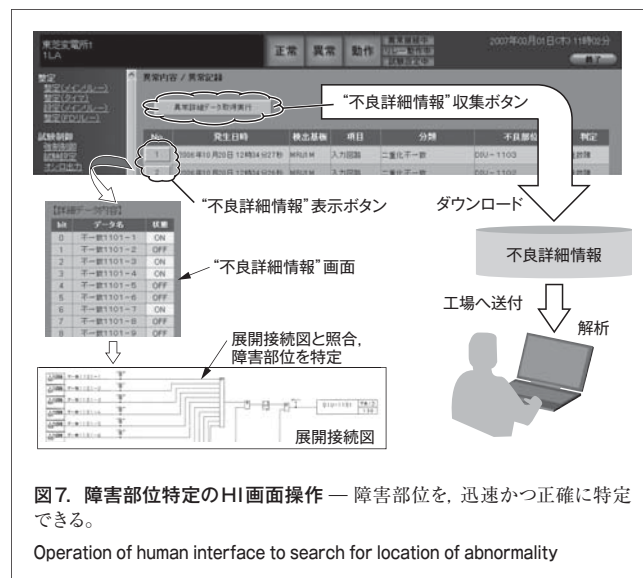
5.3 障害部位特定機能

D4リレーでは、ハードウェアの故障などにより保護リレー装置の機能に障害が発生した際に行う、障害部位の特定作業を支援する機能を向上した。以下の2通りの作業に対し、迅速かつ正確に障害部位を特定できるようにした(図7)。

- (1) サイトでの障害部位特定 PC HIの画面に“不良詳細情報”を表示し、展開接続図に記載されている符号と照合することで、障害部位を特定できるようにした。
- (2) 工場での障害部位特定 PC HIでダウンロード、又はサイトでUSBメモリにダウンロードした不良詳細情報ファイルを工場にメールなどで送付することで、障害部位の詳細な解析を可能とした。

これら障害部位特定機能の活用により、障害対応業務の効率化が図れ、保護リレー装置の迅速な復旧を可能にした。

(注4) あらかじめ定められた一連の手順。



6 あとがき

今回開発したD4リレーは、演算処理能力の向上と回路集約を図るとともに機能単位の独立性を高めることにより、信頼性と部品改廃に対応する長期供給性を向上させた。また、HI機能とリレー動作及び障害発生時の解析機能を改良して保守性を向上しており、D4リレーは、電力系統の安定運用と運用負担軽減に貢献できるものと考えている。

D4リレーの1号機は、東京電力(株)向けの送電線保護リレー装置として2008年2月に納入を予定している。今後は、全国の電力会社向けにD4リレーを適用した製品のラインアップを拡大していく。

文献

- (1) 伊藤八大, ほか. 電力系統保護制御技術の動向. 東芝レビュー. 62, 2, 2007, p.2-7.
- (2) (社)電気協同研究会. 第二世代デジタルリレー. 電気協同研究. 50, 1, 1994, p.150-161.



石原 祐二 ISHIHARA Yuji

電力システム社 電力流通事業部 電力系統技術部主務。
電力系統の保護制御システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



鏡 敏朗 KAGAMI Toshiro

電力システム社 府中事業所 電力システム制御部主務。
保護継電装置の開発・設計に従事。電気学会会員。
Fuchu Complex



南 裕二 MINAMI Yuji

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。
保護継電器の開発・設計に従事。電気学会会員。
Fuchu Complex