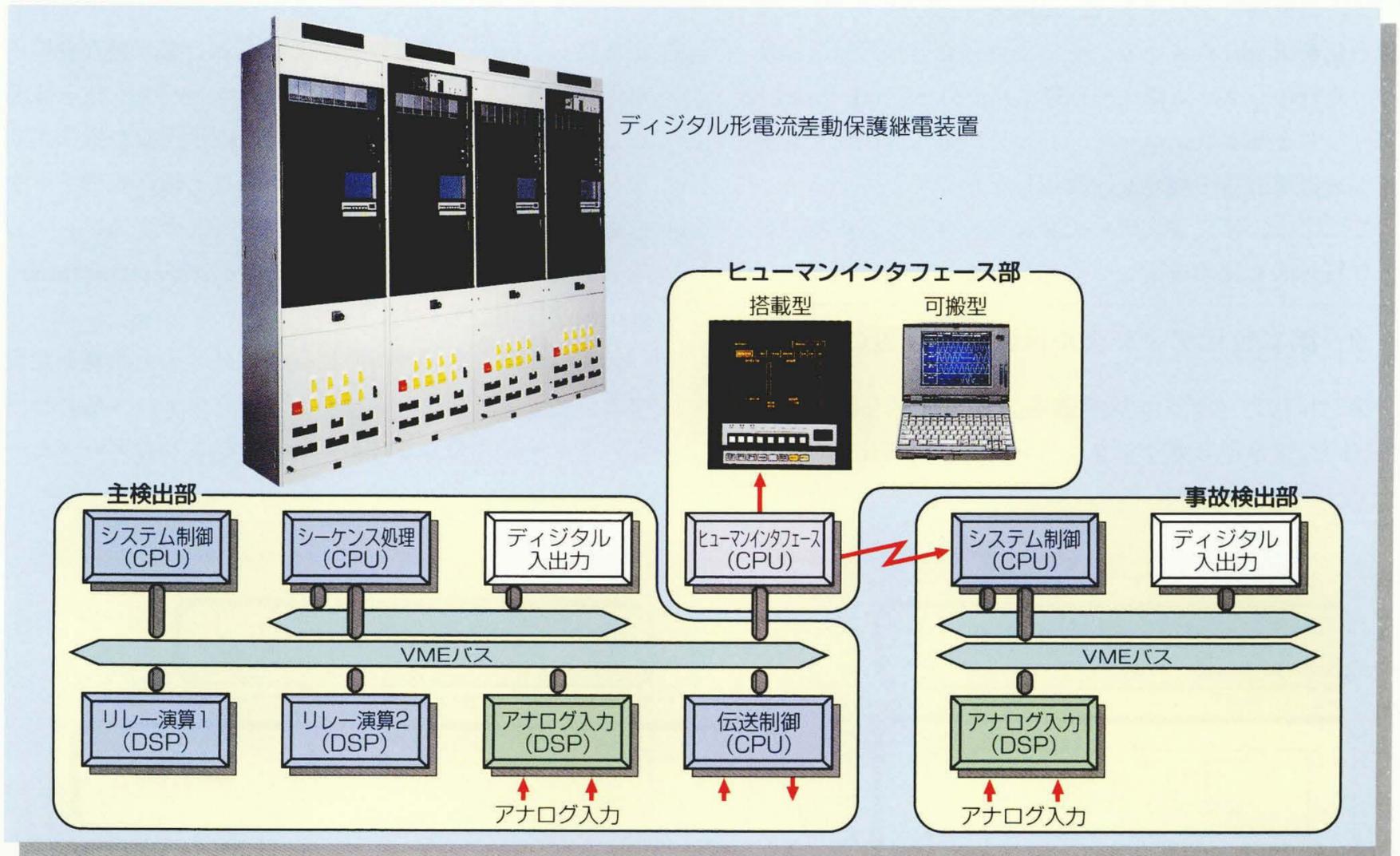


第二世代デジタル保護継電装置の開発

Development of Enhanced Digital Relay Series

滝口 裕* Hiroshi Takiguchi

和知 功* Isao Wachi



注：略語説明 CPU(Central Processing Unit), VMEバス(Versa Module Europe Bus; 国際標準仕様バス)
DSP(Digital Signal Processor; 浮動小数点演算形マイクロプロセッサユニット)

第二世代デジタル保護継電装置

高度分散処理32ビットマルチCPUシステム構成とヒューマンフレンドリーなヒューマンインタフェース部の採用により、コンパクト化と操作性の向上を実現している。

近年、高度情報化社会の進展に伴い、電力の安定供給や質的向上がますます求められてきている。このため、系統保護継電装置の機能や性能の向上、および装置のコンパクト化に対する要求がますます高まってきている。

これらの要求にこたえるために日立製作所は、必要な技術開発を行い、その開発技術をベースとした新しい第二世代保護継電装置(EDシリーズ)を製品化した。第二世代デジタル保護継電装置では、32ビット型のマイクロプロセッサを採用したマルチプロセッサ構成により、演算処理の高性能化、高速化、高機能化を図り、従来の装置に比べて処理能力を大幅に向上させた。これにより、

従来の装置では実現できなかった主保護装置と後備保護装置の機能統合を可能とし、盤面数削減などのハードウェアのコンパクト化とともにコスト低減が図れるシステム構成とした。また、ヒューマンインタフェースにフラットディスプレイ(装置盤面実装型)やパソコン(必要時に装置へ接続する可搬型)を適用できるようにして、操作性の向上を実現した。

この第二世代デジタル保護継電装置では、このほかにもアナログ入力回路や自動監視機能でも高度化技術を適用しており、それらによるメリットも生かしながら、各電圧階級と各種保護継電装置の適用拡大を進めている。

*日立製作所 国分工場

1. はじめに

電力システムの複雑化に伴って、系統保護継電装置の信頼度に対する要求は高まっている。また、ハードウェア、ソフトウェア技術の進歩を踏まえて、いっそうの信頼度向上、装置のコンパクト化、運用保守性の向上、そして標準化が求められている。そのため日立製作所は、高度分散処理のシステム構成やDSP(Digital Signal Processor)などを基本コンポーネントとした第二世代デジタル保護継電装置を開発し、実用化を進めてきている。

ここでは、第二世代デジタル保護継電装置の特徴および具体的な適用技術について述べる。

2. 第二世代デジタル保護継電装置の特徴

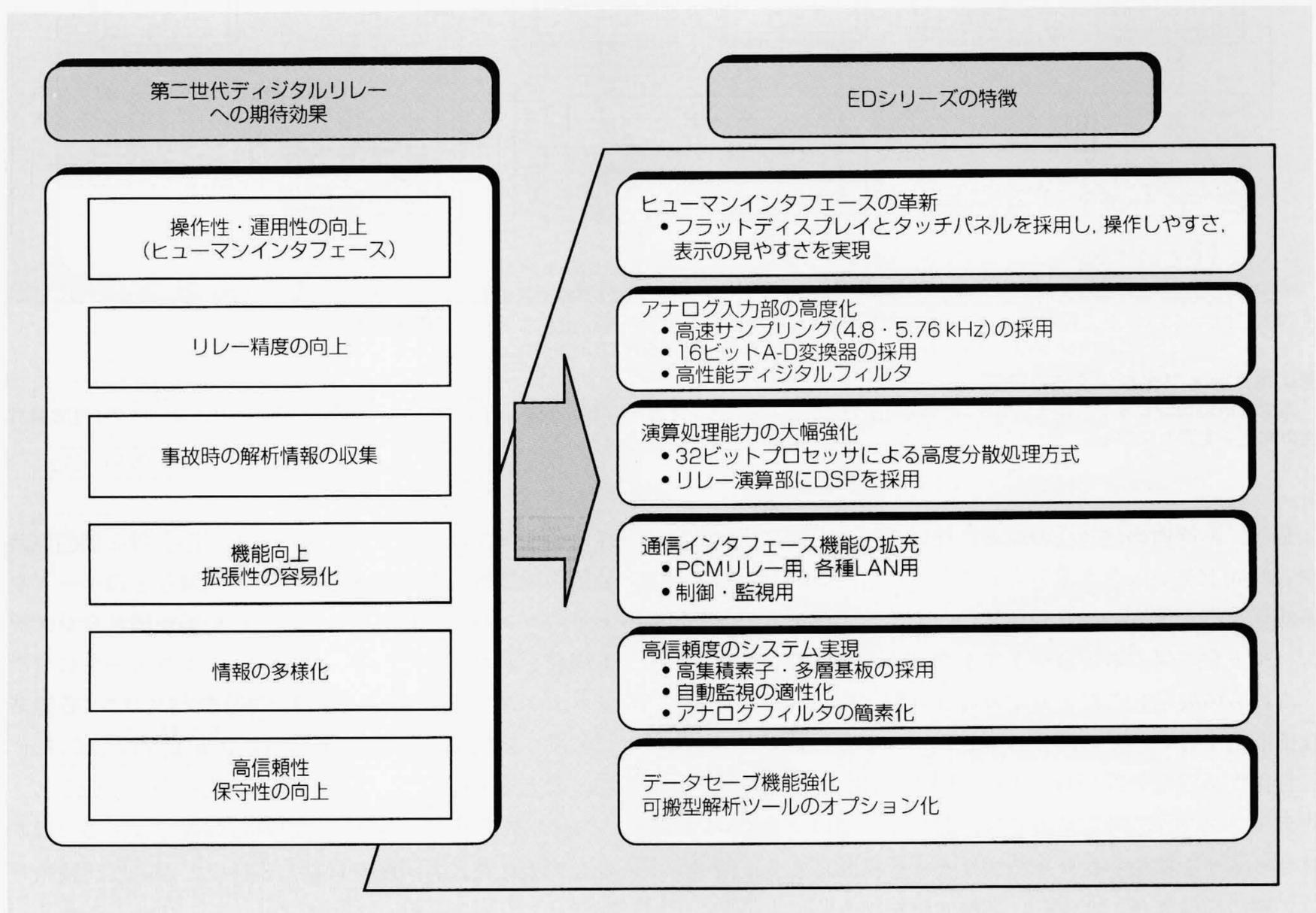
第二世代デジタル保護継電装置の特徴を図1に示す。また、従来型のデジタルリレーとの構成比較を図2

に示す。

(1) ヒューマンインタフェース

ヒューマンインタフェースでは、フラットディスプレイとタッチパネルを組み合わせた保護装置の盤面実装型と、パソコンを保護継電装置に接続して用いる可搬型の二つのタイプを開発し、いずれかのタイプを採用できるようにしている。後者のタイプは主として、無人変電所用保護継電装置への適用と、装置のコンパクト化を意識したものである。これら両タイプの表示画面や操作手順などは同じ方法で標準化し、見やすさと操作しやすさを考慮した画面構成とした。またフラットディスプレイの場合では、装置の寿命を考慮してEL(Electroluminescence)を採用している。

装置動作時などの解析支援機能では、入力状態を記憶するデータメモリをヒューマンインタフェース部に具備し、リレー動作時などに自動的に凍結されたデータセー



注：略語説明 PCM(Pulse Code Modulation), DSP(Digital Signal Processor)

図1 第二世代デジタル保護継電装置「EDシリーズ」の特徴

操作性やリレー精度の向上などに対応し、32ビットマイクロプロセッサや日立製作所独自の高速サンプリング デジタル フィルタ技術を採用している。

ブを基に、応動解析に有用な高調波も分析できるような支援ソフトウェアを備えている。

(2) アナログ入力部

アナログ入力部では、これまでコンデンサ、抵抗などで構成していたフィルタ回路をサンプリングによる折返し誤差防止用の簡素なものを残すにとどめ、このアナログフィルタで除去しきれない周波数成分の除去はすべてIIR(Infinite Impulse Response)形のデジタルフィルタによって行った。これにより、構成部品の削減、温度変化や経年変化の減少による特性の高安定化と高信頼度を達成し、同時にアナログ入力部の自動調整手法を確立した。また、このデジタルフィルタを採用することにより、従来のアナログフィルタと同一のフィルタ特性

が実現でき、これまで蓄積してきたリレー演算アルゴリズムを変更することなく適用可能とした。

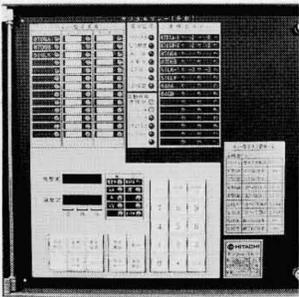
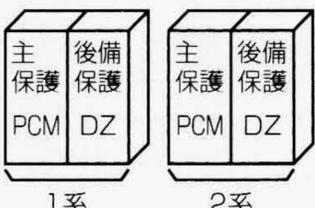
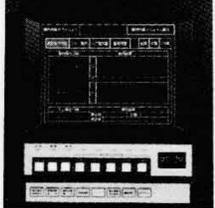
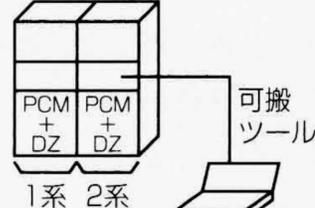
(3) リレー演算処理能力の向上

リレー演算部には32ビットの浮動小数点演算形DSPを、シーケンス処理部には汎用32ビットマイクロプロセッサをそれぞれ用いるなど、高度分散マルチプロセッサ方式を採用し、演算能力の大幅強化を実現した。

(4) 通信インターフェース

保護継電装置では、デジタル電流差動リレー用のPCM方式をはじめ、各種LAN方法やその他の通信方式とインターフェースできることが必要となっている。

このため、通信インターフェース部にはそれらの目的に適したLSIを選定、採用し、これら必要な機能を具備す

		整定・表示部 〔ヒューマン インタフェースの革新〕	アナログ入力部 〔高精度化〕	盤構成 〔演算性能高度化〕 〔入力部共用化〕	信頼性・保守性 〔自動監視の 適性化〕
第二世代 デジタル リレー	従来型 デジタル リレー	LEDランプ MとFDに個別設置 	12ビット精度 600・720 Hz サンプリング ↓ ・リレー特性をソフト ウェア演算処理で実現	主・後別盤  1系 2系	時分割常時監視方式 自動点検所要時間短縮
	HI 盤実装型	フラットディスプレイ タッチパネル  全リレー装置に共通の標準操作手順	14ビット精度 4,800・5,760 Hz サンプリング アナログ回路 自動調整 デジタルフィルタ 高度化 ↓ ・リレー特性の精度向上 ・事故識別能力向上	主・後一体 リレーシステム構成 の柔軟性大  1系 2系 1/2に 縮小化 フラットディスプレイ + タッチパネル	故障部位の特定 一過性故障過剰検出防止 間欠故障検出
	HI 可搬型	可搬型ツール (パソコン)  1台で全リレー装置に共用化を実現	14ビット精度 4,800・5,760 Hz サンプリング アナログ回路 自動調整 デジタルフィルタ 高度化 ↓ ・リレー特性の精度向上 ・事故識別能力向上	主・後一体 リレーシステム構成 の柔軟性大  1系 2系 可搬 ツール	故障部位の特定 一過性故障過剰検出防止 間欠故障検出

注：略語説明 HI(Human Interface), LED(Light Emitting Diode), M(Main), FD(Fault Detector), DZ(Distance Z)

図2 従来装置と第二世代デジタル保護継電装置の構成比較

第二世代デジタル保護継電装置では、盤構成のコンパクト化を図るとともに自動監視の適性化を実現した。

るとともに、通信インタフェース部のハードウェアを当社従来比25%まで縮小した。

3. 送電線保護継電装置

送電線保護継電装置に対するニーズとしては、装置のコンパクト化、充電電流補償機能や微地絡検出回路の改善、後備保護機能の改善、故障点標定機能の装置への内蔵化などがあった。これらニーズに対応する適用技術について以下に述べる。

3.1 主保護・後備保護を一体化した送電線保護継電装置

従来、基幹系統では、1回線1端子当たり主保護2系列、後備保護1系列または2系列設置が一般的である。しかしこの構成では、装置個別のコスト低減策を実施してもある程度限界があった。第二世代デジタル保護継電装置では、以下に示す技術を適用して装置の主保護・後備保護の一体化を実現できるようにし、装置数削減によるコスト低減を可能とした。

(1) 32ビットDSPの採用

32ビット浮動小数点演算形DSPのリレー演算部への採用により、これまで複数枚のCPU基板で処理してきたリレー演算などを1枚の基板で処理することができるようになった。

これに伴って装置全体で用いる使用基板枚数の削減が可能となり、主保護のユニットと後備保護のユニットの統合が図れ、主保護・後備保護の一体型装置の実現が可能となった。

(2) フルスケールの統一

アナログ入力部では、16ビットのA-D変換器を用い、当社比4倍の分解能である14ビット精度のアナログ入力部を採用することにより、従来、主保護、近端後備保護、および遠端後備保護など保護機能個別であったフルスケールの統一化を図った。これにより、これまで主保護と後備保護で別々のハードウェアであったアナログ入力部を両者に共用化できるようにした。

(3) デジタルフィルタ技術の応用

これまで、データの精度確保の点から入力変換器のタップで行ってきた比率差動継電装置の整定を、高速サンプリング技術とデジタルフィルタ技術を応用して、ソフトウェアだけで実施することが可能となった。この結果、主保護と後備保護の入力変換器も共用することができ、入力変換器のタップの挿入不良などによる電流回路のオープンといった不良ポテンシャルをなくすなどの信頼度の向上が図れるようになった。

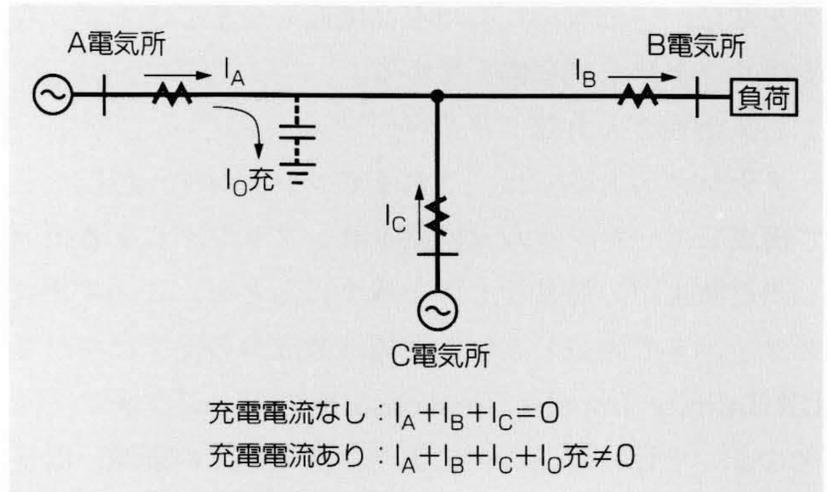
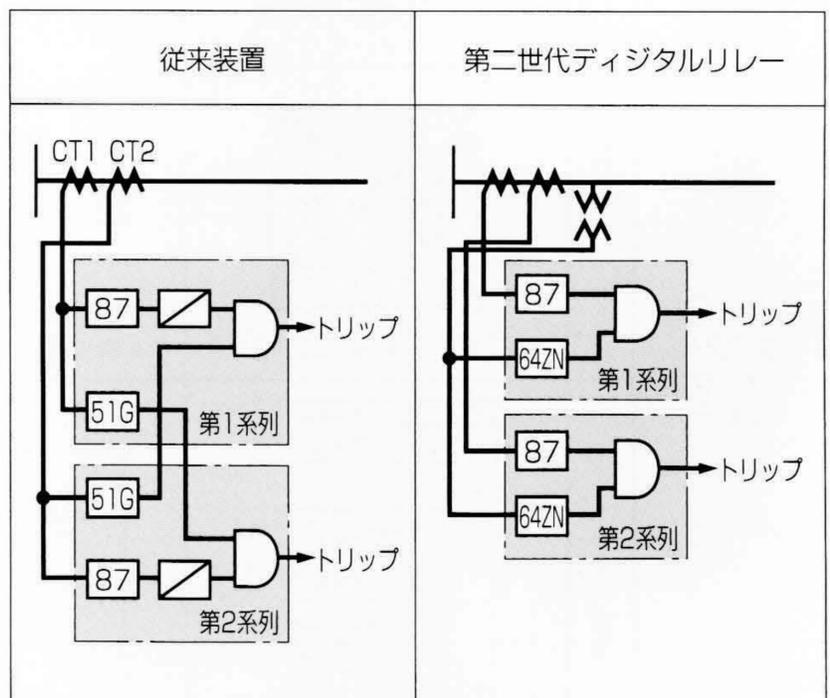


図3 区間内充電電流

充電電流がある場合、各端の電流のベクトル総和は零とならず、この分が差電流となる。

3.2 充電電流補償

ケーブル系統などの充電電流がある系統では、区間内に流れる充電電流が差電流になるため、この影響を受けて比率差動継電器の事故検出レベルが制限される(図3参照)。この充電電流に対して補償を行う必要があるが、従来の装置では、アナログ入力部でハードウェア的に処理する方式、あるいはリレー演算部でアルゴリズム的に処理する方式のいずれかが採用されてきた。しかし前者の方式の場合、充電電流補償用の整定値の監視ができないこと、また、後者の方式の場合は自端100%の補償となるため、ケースによっては過補償となる問題があった。



注：87(比率差動リレー)、51G(零相過電流リレー)
 64ZN(高感度地絡過電圧検出リレー)

図4 微地絡保護回路の改善

アナログ入力部の高感度化技術を応用することにより、微地絡保護回路での系列間の受け渡しを削減し、片系列停止時での微地絡の保護を可能とした。

そこで、第二世代デジタル保護継電装置では、デジタルフィルタリング処理やソフトウェア部に充電電流の補償処理を併設するように改善し、補償値の任意設定や補償用整定値の自動監視も可能にするなどのメリットを得ている。

3.3 微地絡検出回路

直接接地系で微地絡が発生した場合、系統事故による電圧低下が小さいため、微地絡保護としては、主検出、事故検出要素ともに電流要素を使用するのが一般的である。

主検出要素や事故検出要素ともに電流要素を使用した場合、CT(Current Transformer：変流器)の1故障で装置として不要動作する可能性があるため、別のCTの電流を用いてリレー演算を実施している他系列の電流要素と組み合わせて回路を構成(図4参照)していたが、他系列装置が装置故障時などに微地絡保護回路が使用できなくなる問題があった。

第二世代デジタル保護継電装置では、アナログ入力

部の高度化によってデータ精度が大幅に改善されており、その性能を生かす観点から、地絡事故時の電圧様相を評価しなおした。すなわち、リレー設置点での事故相の電圧変化(ΔV_a)よりも零相電圧($3V_0$)と逆相電圧($3V_2$)の大ききのほうが大きくなることがわかり(図5参照)、さらに微地絡としては、検出上の過酷サイドの値と考え、事故点抵抗(R_f) 100Ω の場合に生じる零相電圧の大きさ(最小で0.04 PU)を検出することが可能であることがわかった。

そこで、第二世代デジタル保護継電装置では、零相電圧と逆相電圧の大きさを高感度に検出できるリレー(64ZN)を採用した。これにより、他系列との受け渡しを削減できるようにし、他系列装置が故障となっても、健全側の装置によって微地絡保護が可能となる。

3.4 故障点標定機能

従来の装置では、送電線の故障点標定機能は、故障点標定の処理量やアナログ入力部のフルスケールの問題から、保護機能とは別の装置かユニットに行わせていた。

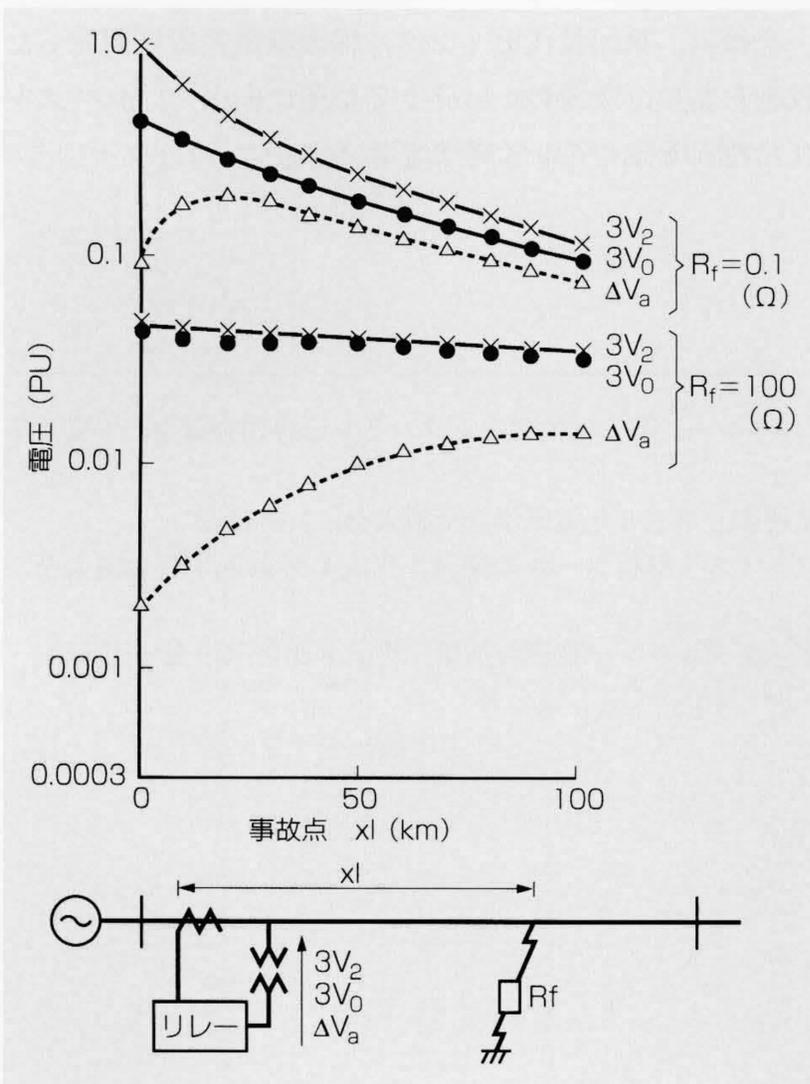
第二世代デジタル保護継電装置では、マイクロプロセッサの処理能力向上とアナログ入力部の高感度化が図れるため、故障点標定機能はリレー演算部相当の基板を1枚追加することによって主保護・後備保護一体型装置への故障点標定機能の実装を実現できるようにした。このため、従来必要であった故障点標定用のユニットなどが不要となり、コンパクト化が図れた。

4. 母線保護継電装置

この章では、第二世代デジタル形母線保護継電装置について述べる。

従来、母線保護継電装置では、外部事故時のCT飽和現象の対策として、事故発生直後のCTが飽和していない領域に着目し、内外部の事故判定を実施する方式を採用してきた(図6参照)。すなわち従来の装置では、アナログデータを取り込むためのサンプリング周波数が電気角30度であったので、リレー演算に使用できるデータも30度ごととしており、CT飽和現象検出のためには、この30度よりも大きい非飽和区間が必要であり、さらにフィルタなどの応答を考慮すると、約2倍以上のマージンが必要であった。

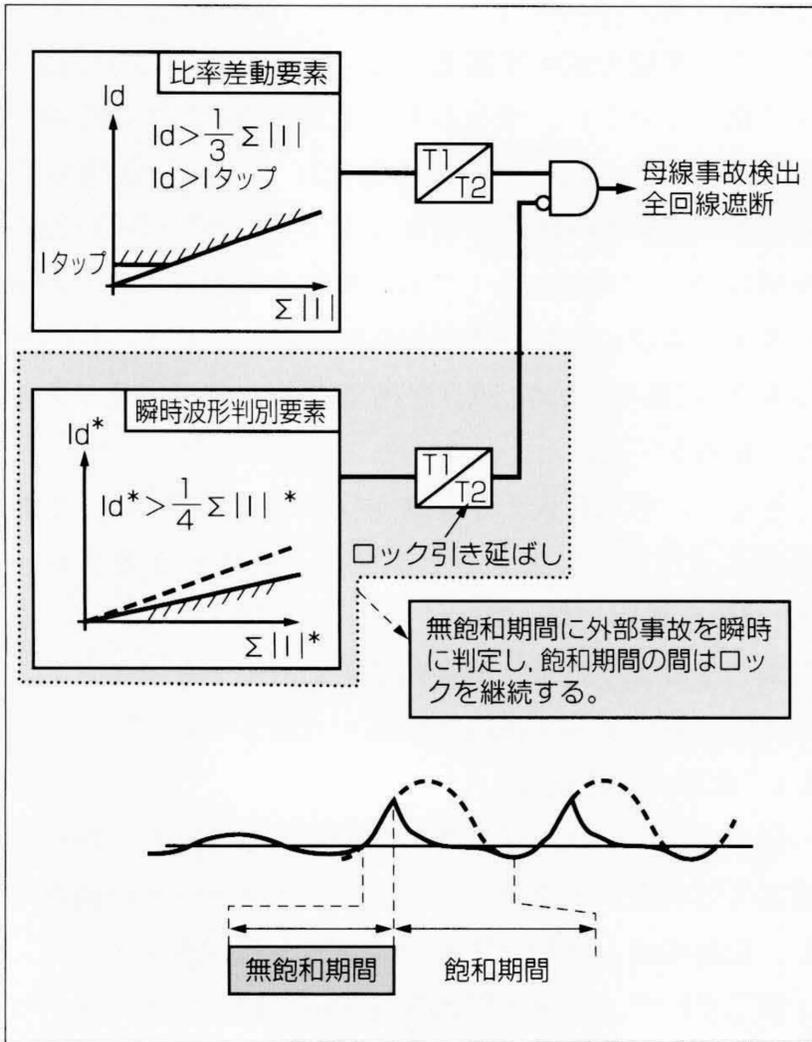
これに対し、第二世代デジタル保護継電装置では、従来の8倍のサンプリング速度(電気角3.75度ピッチ相当)でサンプリングしたデータを用いてCT飽和対策を強化し、CTの使用条件に裕度を持たせられるようにして適



注： R_f (事故点抵抗), x_l (リレー設置点から事故点までの距離)
 $3V_2$ (リレー設置点での逆相電圧), $3V_0$ (リレー設置点での零相電圧)
 ΔV_a (リレー設置点での電圧変化幅)

図5 1線地絡事故時の電圧様相(片端電源時)

直接接地系では、微地絡事故時の電圧低下が小さいが、アナログ入力部の高精度化技術によってその検出の実現を図った。



注： I_d, I_d^* [差電流(ベクトル和)]
 $\Sigma ||I||, \Sigma ||I||^*$ (スカラ和電流)

図6 母線保護リレーのブロック図

CT無飽和期間で、瞬時に外部事故を判定する。

用性能を向上した。すなわち、3.75度のサンプリングデータから15度ごとのデータを抽出し、このデータを用いてリレー演算を実施することにより、従来の装置に比べて2倍のデータが使用できる。このため、この分のCT飽和現象がより過酷となり、非飽和区間が短くても正規に内部と外部との判断が可能となる。母線保護継電装置の場合、不要動作した場合の影響が大きいため、この性能の向上分を装置の裕度と見なすことができ、装置の信頼度の確保を図ることができる。

5. おわりに

ここでは、第二世代デジタル保護継電装置の技術を適用した系統保護継電装置について述べた。

デジタル形保護継電装置は1985年ごろから本格的に採用され、現在に至っている。当時はアナログ形の保護継電装置をデジタル形に置き換える傾向が強かった。しかし現在は、電子部品技術やソフトウェア技術の大幅な発達によって、より高機能なデジタル形保護継電装置の開発が容易になってきている。

今後は、第二世代デジタル保護継電装置で開発した技術を基に、装置のいっそうの信頼度向上やコンパクト化の検討を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 電気協同研究会：電気協同研究，第50巻第1号，第二世代デジタルリレー，第二世代デジタルリレー専門委員会，平成6年4月25日発行
- 2) 松田，外：次世代デジタルリレーにおけるアナログ入力部高度化技術，平成6年電気学会全国大会，No.1522
- 3) 前田，外：分散保護・制御システム用可搬形ヒューマンインターフェイス・解析ツールの開発，平成7年電気学会全国大会，No.1554
- 4) 束田，外：大容量集中電源システムのオンライン安定化対策のためのデジタルリレー技術の適用，平成8年電気学会全国大会