電力系統における保護リレーシステムの最新技術

正員 長澤 隆士*

Recent Technology of the Protection System

Takashi Nagasawa*, Member

The protection relay changed from electromechanical or analog static type to digital type using the progress of microprocessor against the growth of power network. The digital relay improved protective performance and reliability based on establishment of various protection schemes and the embedded automatic supervising function using the development of the digital technique. Additionally, the recent protection system technique enable to make the configuration and operation of power system efficient. Multi-terminal transmission lines can be realized by use of PCM current differential relay. The out-of-step protection, the voltage stability control and the over load failure extension protection can increase transmission capacity.

In future, it will need to develop the protection system for the distributed power generation and decrease the cost of protection systems against the progress of deregulation.

キーワード：保護リレーシステム，保護性能，信頼性，効率化，電力自由化

Keywords: protection system, protective performance, reliability, efficiency, deregulation

1. はじめに

近年，電力系統は年々大規模・複雑化してきており，電力の供給信頼度と安全の確保への要請がいつそう高まってきた。電力系統を構成する機器については，社会要請に基づき，機能・信頼度・運用面での向上さらには，コンパクト化・低コスト化が実現されている。

保護リレーの責務は，人身・社会保安の確保，電力設備の損傷・損傷拡大の防止および電力系統の安定確保である。具体的には，保護リレーは電力系統で発生した短絡・地絡などの事故の高速除去と，事故そのものあるいは事故除去の遅延などに起因した二次的に発生する様々な系統の異常現象の波及拡大を防止することを担う。したがって，保護リレーは，電力系統・機器と密接に協調した保護機能とその保護機能を常に確実に保持できる高い信頼性を有することが必要不可欠である。保護リレーの語源である個別機能の「中継」的要素は全く姿を消し，保護リレーは，あらゆる電力系統現象をデジタル情報化し演算処理することによって電力系統を適切に保護・制御する「ソフトウェア」と，これを支えるマイクロコンピュータ・デジタル回路の高信頼度な「ハードウェア」とによって構成されること

になった。このため，保護リレーシステム技術は，系統保護技術にのみならず，系統計画，系統解析，送変電・配電機器，情報処理技術，通信技術など広範囲に，かつ，きわめて高度専門的な電力システム技術となってきた。

このような背景から，1995年4月に電気学会に「保護リレーシステム技術委員会」が電力技術委員会から分離誕生し，活発な活動を展開してきている。最近では，電力自由化に伴う規制緩和やIT社会の進展に伴い，電力供給システムについての設備形成・運用についても抜本的なコストダウン方策の確立が急務となってきた。今後は，電力ネットワーク形成にあたり，設備形成のスリム化と広範囲系統大停電事故防止の両立の要となる「保護リレーシステム技術」の活用が，さらに重要となってくる情勢にある。

2. 保護リレーシステム技術の進展

〈2・1〉 保護リレーの歴史 保護リレーの歴史は1901年にアメリカで遮断器から保護リレーが独立したときから始まった。それまでの電力系統は，フューズや過電流引き外し機構付き遮断器で保護されていた。しかし，系統が複雑になるに従って，事故区間の選択遮断が困難となり，動作時間や検出感度の精度向上を図るため，保護リレーとしての独立した地位を得た。

それ以降，1930年代までの誘導円板型リレー，1940年代の誘導円筒型リレーによる距離リレー・電流補償形不足電圧リレーを経て，これらに性能改善や高速動作を図った

* 関西電力（株）

〒559-0006 大阪市住之江区浜口西 3-9-5

Kansai Electric Power Co., Inc.

3-9-5, Hamaguchi-nishi, Suminoe-ku, Osaka 559-0006

電気機械形リレーが1960年代まで使用された。1970年代にはトランジスタやアナログICを用いて保護性能の向上と自動監視機能の付加による信頼度向上を図ったアナログ静止形リレーが開発され、常に最先端の技術を導入しながら進歩を遂げてきた。システム面では、1965年の御母衣事故およびニューヨーク大停電事故を契機として、主保護二重化や遮断器不動作対策など保護リレーシステムの信頼性向上を図ってきた⁽¹⁾。

〈2・2〉電力システムの拡大とデジタルリレー 日本の電力系統は、経済成長とともに年々拡大してきている。特に近年、情報化社会の進展に伴って、無停電、電圧・周波数の高精度維持など電気の品質面でも社会的ニーズは高まっている。一方、電力系統・設備の形成面では、電力需要の大都市への集中傾向がますます強まるなか、用地取得難および環境問題などから、発電設備の遠隔偏在化・大容量化、大都市部における大容量地中ケーブルの増加など電力系統の拡大および電力系統構成の複雑化とともに系統特性も著しく変化を生じてきている。さらに、これらに伴い、設備数の増加に伴う保守点検業務量の増大などの問題も起きている。

これらに対して、1970年代から1980年代にかけて、マイクロプロセッサによる優れた演算性能を活用した保護機能の高度化や自動監視機能の向上などの信頼性向上により、定期点検の大幅な削減と保守の簡素化および装置の小型化などを目的としてデジタルリレーが開発・適用されてきた⁽²⁾。特に、1980年に世界に先駆けて実用化したPCM電流差動リレーなど、世界に誇りうるわが国独自の技術が生み出された。その後、素子の進歩に伴い、最新型では32ビットマイクロプロセッサを用いて演算能力、機能の大幅な向上が図られ、デジタルリレー技術は常に最先端を歩み続けている。

現在では新しく設置されている保護リレーの大部分がデジタルリレーであり、特に、基幹系統においては全設備数の80%近くがデジタル化されている。

〈2・3〉保護性能および信頼性の向上 デジタルリレーはそのデジタル技術を駆使し、保護性能および信頼性の向上を果たした。

保護性能の向上は、デジタル技術の特徴でもあるデジタル数値の高速演算性やデータ記憶の容易性により実現された。これらの特徴を活用することにより、多端子系統保護を可能にしたPCM電流差動リレー、基幹系の系統事故時に生じる低次高調波に対する性能を大幅に向上させた距離リレー、重潮流の影響を受けにくい逆相距離リレーなど高性能なデジタルリレーが実用化されている。

一方、信頼性の向上は、デジタル素子の高集積化や点検・監視機能の細分化という特徴を活用し、本格的な自動監視機能がデジタルリレーに導入されたことにより実現された。自動監視の効果は、不良の早期発見により誤動作を減らすことができる。現在の主流となっている第二世代デジタルリレーは、監視範囲の拡大や監視項目の詳細化

など自動監視機能を大幅に改良した結果、従来のいわゆる第一世代デジタルリレーからさらに信頼性を向上することができた。

3. 保護リレーシステム技術による設備形成への寄与

〈3・1〉多端子系統 電気所増設の際に従来の設備形成方法であれば、図1(a)に示すとおり、引き込み送電線および遮断器などの開閉設備の増設が必要となる。しかし、図1(b)のようなT分岐が可能になれば、遮断器及び関連した機器を大幅に削減することができる。

多端子デジタルPCM(Pulse Code Modulation)電流差動リレーは、このようなニーズに応えるために開発された。最近実用化された基幹系統用多端子送電線保護リレーのシステム構成例を図2に示す。このシステムは、代表端子の装置で事故判定する方式の例である。

図1 電気所増設時のT分岐による設備スリム化例

Fig. 1. Example of facility reduction by T-branch.

図2 基幹系統用多端子送電線保護リレーシステム例

Fig. 2. Example of Protection systems of Multi-terminal transmission lines for bulk power.

PCM 電流差動リレーは超高压送電系統の3端子構成やそれ以上の多端子構成を可能とし、設備投資の削減を図るなど、送変電設備形成の効率化に大きく寄与してきた。今後一層このような設備形成の効率化に資することが期待できる。

(3・2) 送電容量の拡大

(3・2・1) 脱調未然防止 500kV 大容量電源送電系統では、2回線同時の同相の1線地絡事故の発生頻度は、1回線の3線地絡事故の頻度より多いので、この事故の対応を考慮する必要が生じてきた。しかしながら、このような系統では、2回線同相1線地絡事故発生時に、事故線の一時遮断後1秒で再閉路するまでの間に大電源が脱調し、再閉路で2回線とも健全に戻っても脱調事故が広範囲に波及するおそれが生じる。これを送電設備増強で対応することは大規模な設備投資を伴うとともに設備形成上の制約から対応が困難な場合が多い。

このような状況から、高性能オンライン予測演算脱調未然防止リレーなどを適用し、2回線同相1線地絡事故発生時の大電源系統の脱調を未然に防止するため実際的かつ有効な対策として、再起動の容易な1電源ユニットないし最小台数の電源ユニットを選択遮断し、早期に復旧する方策をとっている。

この方策は、電源の規模が拡大し、送電系統が多ルートとなった場合においても、2回線同相1線地絡事故発生で再閉路実施前に同期安定度崩壊にいたる事態を回避できるばかりでなく、1ルート遮断事故、後備リレー遮断事故発生時には、大電源の同期安定度崩壊による事故波及防止ができるので、送電電力を十分に増大し設備形成の効率化に資することが可能となる。

このような見地から、設備形成にあたっては、系統計画段階から、この脱調未然防止リレーの活用も前提として考慮し、総合的整合を推進して効率化に多くの実績を上げてきている。

(3・2・2) 電圧安定化制御 超過密大電力需要地域系統などでは、電力需要増大とそれに伴う大電力送電系統増大に伴い、基幹送電線系統の受電端側の電圧変動幅増大が顕著となってきた。

この系統特性変化は、需要変動や電力潮流分布の変化による時間的、系統的な運転電圧のばらつきを増大するとともに、従来の変圧器 LTC による電圧制御と調相器閉閉による潮流力率制御のみでは、基幹系統電圧を安定に維持することが困難となるほか、系統同期安定度低下や電力系統損失増大を派生させる状況となってきた。この問題の抜本的改善を図る見地から、高信頼度デジタルリレー技術を全面的に活用し、基幹変電所調相閉閉による一次側電圧高精度一定制御、変圧器 LTC による二次電圧高精度一定制御を行う高精度、高信頼度デジタル VQC が超過密供給地域 500kV 変電所に開発適用された⁽¹⁾。この新 VQC の導入と、これを活用した系統電圧運用技術の確立により、基幹系統の運用電圧をすべての系統機器の最高使用電圧に

正確に合わせることが可能となり、系統電圧の安定維持を強固なものにすることができた。同時に同期安定度の最大維持、ならびに電力系統電力損失の最小維持に資することができ、結果的に送電容量の増大につながり、基幹系統の送変電設備や調相設備の形成効率化に大きく寄与してきている。

(3・2・3) 設備過負荷事故波及防止 設備有効活用、設備形成効率化の見地から、設備の稼働率を高め、設備故障時の過負荷による設備損傷波及を防止し安定供給の継続確保を図ることがきわめて有効である。

このような見地から、設備過負荷事故波及防止リレーを適用し、設備形成の効率化、ならびに系統運用の効率化に寄与してきた。

しかしながら、従来は、単なる過電流の検出と時限による簡易制御過負荷リレーであったため、設備の過電流耐量の活用が設備の形成や系統運用に十分に反映できない状況にあった。この改善を図るため、近年デジタルリレー技術を活用し、設備の通電電流から設備温度上昇を演算類推し、設備過負荷の度合をオンラインで把握出来る設備過負荷事故波及防止リレーを開発適用した。

図3にその効果を示す。従来の特性では、通電電流 I_x の時に t_a の時間で過負荷遮断動作となり、送電線過負荷限界曲線に対し t_1 の余裕時間をもったものとなっていた。高精度過負荷検出リレーの採用により過負荷遮断時間が t_b となり、 $t_2 (= t_b - t_a)$ 時間の分、運転時間を長くすることが出来る。この余裕時間で制御対応出来る場合には、事故波及しないで済ませることが出来る。このように、設備過負荷事故波及防止リレーは、いっそうの設備稼働率の向上に資するとともに、現段階では設備部門による設備過負荷運用限度の見直しと協調を進め、この系統保護リレー技術と、設備保全技術を徹底活用した一層の設備効率化、系統運用の効率化を推進している⁽²⁾。

図3 送電線過負荷事故波及防止リレーの効果
Fig.3. Effectiveness of overload failure extension protection for lines.

4. 保護リレーシステム技術の今後の検討課題

〈4・1〉 分散型電源連系技術への対応 近年、エネルギーコストの低減、エネルギーセキュリティの確保および地球環境面等から、分散型電源の電力系統への連系が急速に増大してきており、分散電源連系系統における電力品質の維持確保、ならびに保安確保を低コストで実現するための分散電源系統連系技術の確立が必要となってきた。特に、わが国独自の高インピーダンス中性点接地系統、および中性点非接地配電系統と分散電源系統との連系のなかで、分散電源の参入機運を削ぐことなく連系の保安確保を図っていくためには、低コストでかつ必要な保護機能を維持できる連系保護リレー技術要件についての確に見定め、確立していくことが急務となってきた。今後は、このような状況に対応するため、電力自由化時代に即した、付属変成機器および情報伝送回線など設備を最小限にとどめる低コストの分散電源連系リレー技術要件を明確にするとともに、広く適用を開始していく必要がある。

〈4・2〉 保護リレーシステムのコストダウン 保護リレーシステムのさらなる高度化により、電力系統の流通設備の建設コスト削減や電力系統の運転・設備効率向上や一次機器の簡素化およびメンテナンスフリー化による合理化などが可能になると考えられる。このようなトータルコストダウンとともに、保護リレーシステム自身のコストダウンも仕様の標準化などの施策により可能になる。

特に、下位系統、配電系統保護用として、アナログ形リレーが未だに適用されているケースがある。アナログ形リレーのうち、電磁形は製造・試験技術を有する技術者がほとんどおらず、生産維持が困難になっているとともに、部材価格が上昇し製造コストは大幅に上昇している。また、静止形リレーはトランジスターやICなどが廃型となり、代替素子の適用による製造や保守が困難になるとともに素子の入手困難化によりコストが上昇している。この対応として、シンプルなシングルチップマイコンを適用したリレーを開発することにより、コストダウンが期待できる。

5. あとがき

保護リレーシステム技術は、電力系統・設備、系統諸特性の急速な変化の中で、効率的かつ高度な電力供給システムの維持に大きく貢献し、設備形成の効率化と系統信頼度の両立を図りながら、電力システムのトータルコストダウンを促進してきた。また、よりいっそうの流通設備の高稼働化、スリム化を促進するためにも、広範囲脱調・過負荷などの事故波及防止リレー技術の高度化、高速自動復旧システムの実用化など、保護リレーシステム技術はますます重要となってきた。

今後は、電力自由化の段階的導入が展開される予定であり、競争原理が成り立つことから、電力システムは限られた設備投資のなか最大限の効率性と信頼性が要求される。また、いままでなかった系統構成や過酷な系統運用が行われることも想定される。このような大きな課題を克服し、電力の安定供給が維持できることを勘案した上で、保護リレーシステムは、様々な検討課題を解決していく必要がある。

(平成 15 年 6 月 12 日受付)

文 献

- (1) 保護リレーシステム基本技術調査専門委員会：「保護リレーシステム基本技術体系」，電気学会技術報告，No.641 (1997-7)
- (2) 保護リレーシステム技術委員会：「日本における保護リレー技術の成果と今後の方向性」，電気学会技術報告，No.822 (2001-3)

長 澤 隆 士 (正員) 1948 年 11 月 30 日生。1973 年大阪大学大学院電気工学修士課程修了。同年 4 月関西電力(株)入社。主に保護リレー・電力系統監視制御システムの開発に従事。現在、同社大阪南支店副支店長，電気学会「保護リレーシステム技術委員会」委員長。