

最近の保護継電装置における エレクトロニクス化の動向

Tendency of the Electronics Application in the Recent Protective Relaying Equipments

最近、電力系統の保護継電システム分野にエレクトロニクス技術を導入することにより、電磁形継電器では実現が困難とされていた保護継電方式に対する種々の要求が解決されてきている。

すなわち、保護しなければならない系統条件の変化に対応して、動作特性、動作時間など、性能面の進歩、及び系統の安定運用を確保するため、保護継電装置自体の信頼性の維持・向上が実現され、近年建設されている500kV系統用保護継電装置は完全にエレクトロニクス化されるに至った。特に信頼性の向上については、永年にわたる実績を確認するとともに、システムの多重化・自動監視方式の適用など、エレクトロニクスの特長を生かした積極的な信頼度向上対策が確立され、実用に供されている。

この論文では、保護継電装置におけるエレクトロニクス化の意義と信頼度向上対策について最近の動向を論じた。

瀬尾一夫* Kazuo Seo

三木義照** Yoshiteru Miki

吉崎敦浩*** Atsuhiko Yoshizaki

1 緒 言

電力系統の保護継電システム分野にエレクトロニクスが導入され始めて以来、電磁形継電器では実現が困難とされていた保護継電方式に対する種々の要求が解決されてきている。更にここ数年、電力系統の規模の拡大、系統構成の複雑化など、系統自体の体質の変化に適合した保護継電システムを構成するため、エレクトロニクス化への要求がますます強まっている。

一方、エレクトロニクス技術を応用した保護継電装置が実用化され始めた当初、最大の課題とされていた信頼性の面でも過去の豊富な実績と、多重化、自動監視の適用など、エレクトロニクスの特長を生かした積極的な信頼度向上対策の実施により、十分高い信頼性を得ることが実証されてきた。

以上により、保護継電装置のエレクトロニクス化は更に拡大してきており、現在、性能及び信頼性の面で最も高いレベルが要求されている500kV系統保護継電装置では、完全にエレクトロニクス化されるに至っている。

2 保護継電装置のエレクトロニクス化の意義

保護継電装置のエレクトロニクス化に際しては、従来永い実績をもつ電磁形のもの、ただ単に置き換えるのではなく、過去の開発経過においても慎重であったように、エレクトロニクス化の意義を十分にわきまえたうえで踏み切る必要がある。

図1は、500kV系統保護継電装置を例にとった場合、保護継電装置に要求される新しい課題⁽¹⁾とエレクトロニクス化の意義とを対応づけ示したものである。

(1) 系統条件の変化に伴う性能向上

大容量電源が遠隔地に建設される傾向にあり、送電線は大容量化・長距離化してきているため、系統は従来に比べ安定度上、非常に過酷な条件となる。系統安定度を向上するため、

保護継電装置に要求される動作時間は、1～1.5サイクルに高速度化することが望まれるようになった。

また、潮流が増大する反面、事故電流は長距離化による線路インピーダンスや、アーク抵抗、塔脚抵抗などの影響を考えると、極めて小さくなる場合がある。このため、常時潮流に比べて小さい事故電流にも応動できるよう、検出感度の向上及び特性の改善が必要となる。一方、高感度化は電流変成器(以下、CTと略す)の二次負担の増加につながるため、合わせて低負担化への要求も強まってきた。負担の増加は大容量機器(発電機、変圧器)及び大容量送電線建設により、事故電流に含まれる直流分時定数が大きくなる(100ms以上となることも予想されている)ことと相まって、CT飽和の原因となる。このため、最近の500kV系ではCT自体の特性改善⁽²⁾を図ると同時に、保護継電装置として負担を小さくすることが強く要求されている。

以上のように、500kV系統保護継電装置としては高速度化、特殊特性の実現による検出感度の向上、及び低負担化など、まず性能面でエレクトロニクス化への要求が特に強まった。

(2) 信頼度の向上、及び省力化

500kV系統では、保護継電装置が万一不具合動作をした場合、その影響が従来系統に比べ更に大きく、最悪の場合、系統崩壊にもつながる。特に安定度面より主保護しゃ断失敗は致命的となりかねないため、何よりも誤不動作信頼度の向上が第一で、具体的には主保護の二系列化を基本として対応している。一方、事故の発生頻度がそれほど高くないことから、万一装置が不良となっても直ちにこれを修復し、ダウンタイムを局限できれば誤不動作信頼度を向上することができる。

以上の信頼度向上に関連して、二系列化による設置面積の増加を防止する意味から小形化が必要となり、一方、後述するように装置不良を自動的に発見する自動監視機能を付加さ

* 日立製作所大みか工場

** 日立製作所日立研究所

*** 日立製作所那珂工場

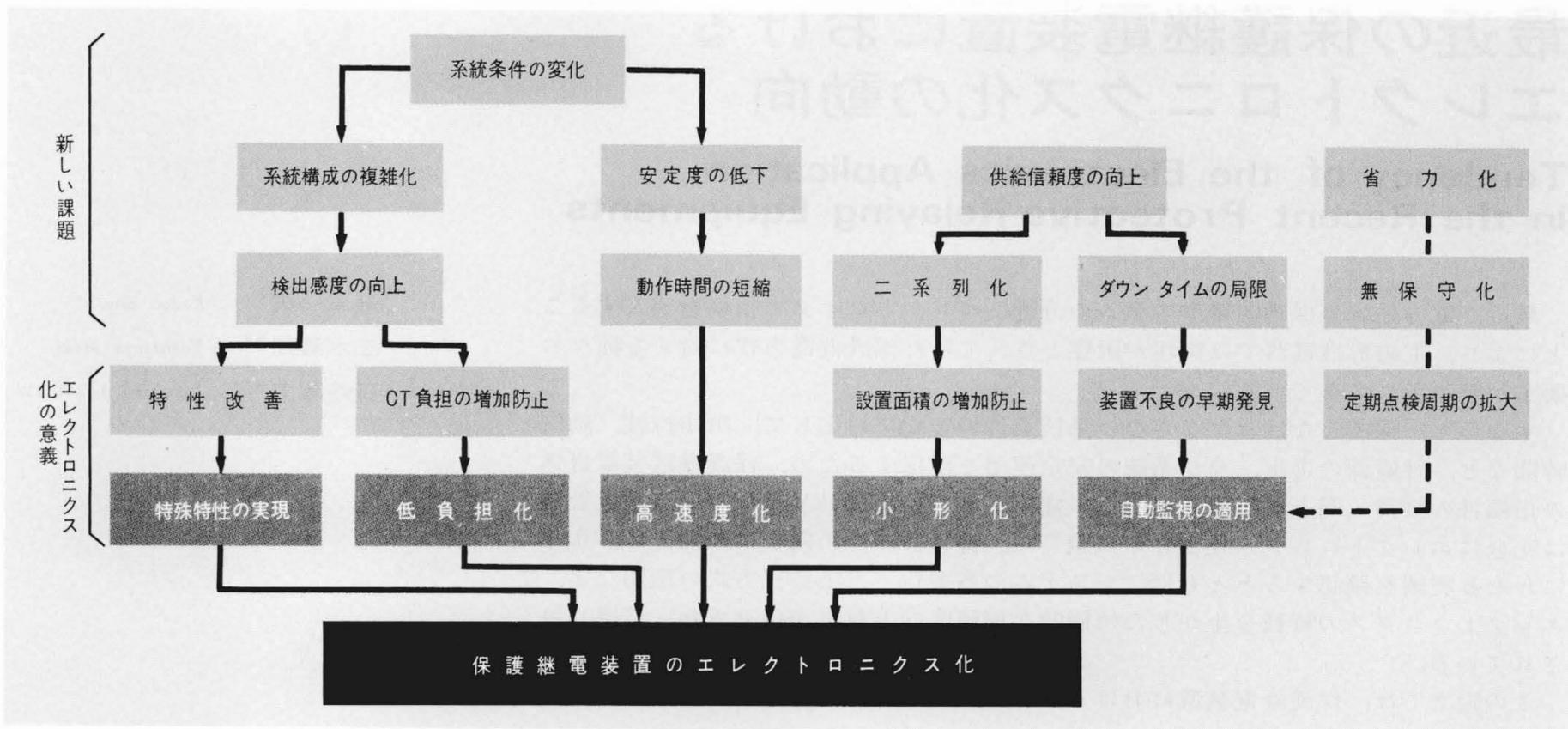


図1 保護継電装置のエレクトロニクス化の意義 保護継電装置においてエレクトロニクス化を図るためには、その意義を明確にしたうえで踏み切る必要がある。その意義を図にまとめた。

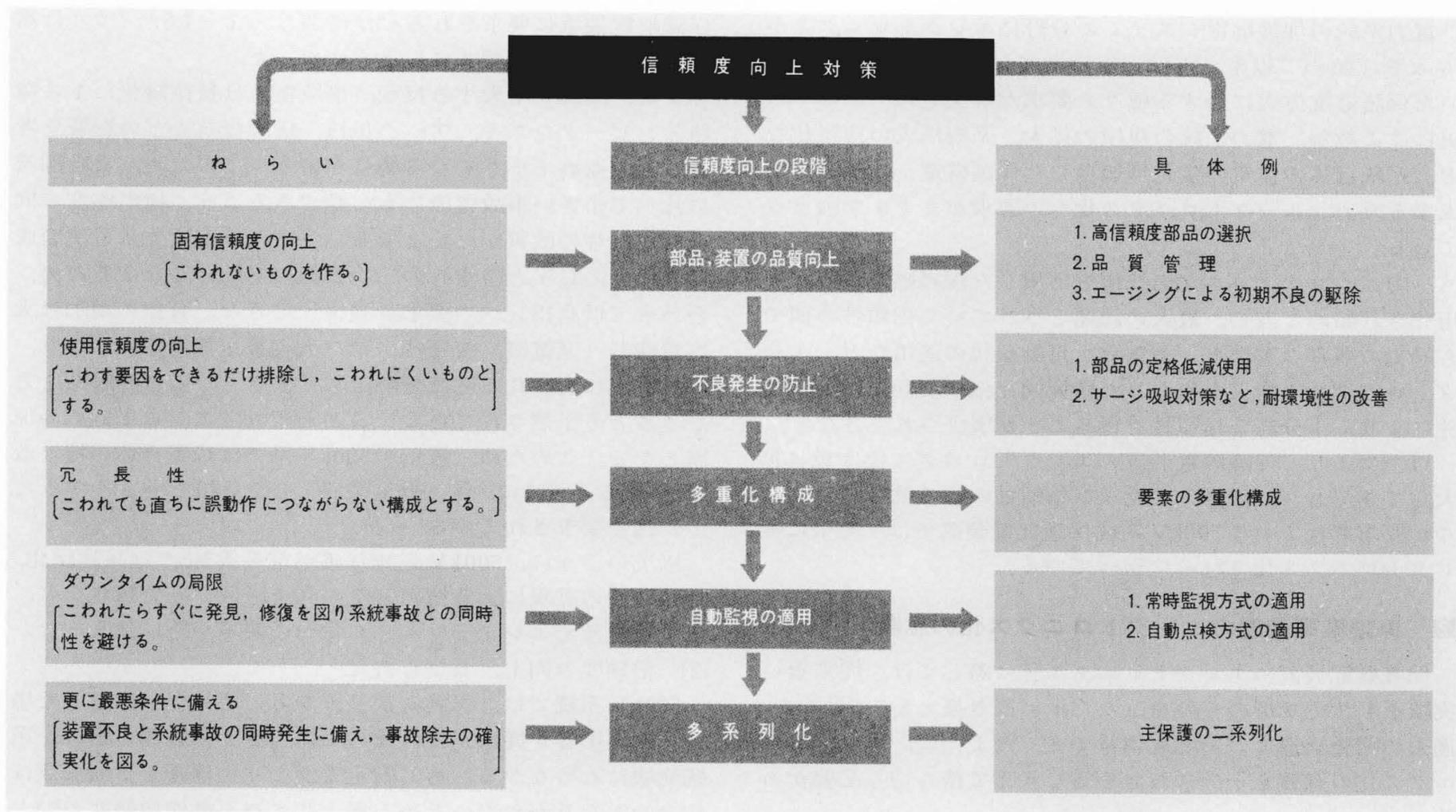


図2 エレクトロニクス保護継電装置の信頼度向上対策 保護継電装置をエレクトロニクス化するために実施した、信頼度向上対策の考え方とその具体例をまとめた。

せるためにも、エレクトロニクス化の意義は大きい。

3 信頼度向上対策

3.1 信頼度向上の基本

前述したように、最近の500kV系統用保護継電装置を例にとった場合、特に性能面からエレクトロニクス化の要求が大きい。これに対し電力系統という何よりも信頼性を要求され

る分野において、エレクトロニクス化に踏み切るに際しては、従来の実績を基本とし、更に図2に示すように次に述べるような考え方で信頼度向上対策を実施している。

(1) 部品、装置の品質向上

まず第一に、部品及び装置としての固有の信頼度の向上が基本であり、具体的には特に厳選した高信頼度部品の採用はもちろんのこと、製作上の品質管理、更には過去の実績より

不良の大半を占めている初期不良を、エージングにより取り除くことも効果的となる。

(2) 不良発生防止

エレクトロニクス素子は、特に使用条件及び環境条件により故障率が大幅に左右されるため、部品の定格を低減した設計（ディレイティング）により実質的な故障率を小さくすると同時に、サージなど外部よりのストレスを緩和させて積極的に不良発生を防止している。特にサージ対策としては、装置の入力部、継電器の入力部及び回路の必要個所にサージ吸収回路を付加すると同時に、装置内のサージ発生源（主として補助継電器のコイル）にも適切な抑制対策を実施している⁽³⁾。また、電圧変成器（以下、PDと略す）、CTの二次回路、直流110V回路など、いわゆる強電回路とエレクトロニクス部は完全に絶縁し、且つ装置内配線の分離、また回路によってはシールド線、ツイストペア線の使用など、サージの移行性についても配慮している。

(3) 多重化構成

以上は、「こわれにくい」ようにすることを前提とした対策であるが、次の段階として、万一こわれても、それが直ちに供給支障などにつながることはないシステム構成とする必要がある。保護継電装置は、常時待機状態にあるという特殊性より、1個の部品、あるいは回路（例えば接合部）の不良が誤動作の原因とならないよう、要素を直列多重化構成とすることを基本としている。具体的にはフェイルセーフ用事故検出継電器の併用が対応しており、更にこの事故検出継電器は、主継電器と原理を異にし、且つ入力信号も独立するなど、一つの原因（例えば取扱上のミスなど保守面まで拡張して考えている）で同時に誤動作することのない構成としている。

(4) 自動監視方式の適用⁽⁴⁾

以上のように、多重化構成としても装置不良を発見できずに放置した場合、システム事故に遭遇すると誤動作、あるいは誤不動作につながる可能性が大きいため、装置不良を一刻も早く発見し、いわゆるダウンタイムを局限することが特に保護継電装置においては重要となる。この装置不良を自動的に発見する自動監視方式としては、主として誤動作状態を発見しやすい常時監視方式と、誤不動作側の不良の摘出に適している自動点検方式とに分類される。最近の500kV系統用保護継電装置では、この両者の機能をもたせることを原則としている。一方、154kV系統など保護継電装置では、自動点検回路による装置の規模の拡大を防止するため、一般には常時監視方式のみを適用している。これは、従来の電磁形では定常状態で誤動作につながる不良がまれであるのに対し、エレクトロニクス化した場合は誤動作側への不良と、誤不動作側への不良の発生確率はほぼ同等と考えられるため、待機状態の長い保護継電装置とすれば、常時監視方式の適用効果は大きい。

一方、自動点検方式の採用は電磁形ではむしろ接点や機構部の寿命の問題など実施上の難しさがあるのに対し、エレクトロニクス化すれば比較的容易に実施できるため、むしろエレクトロニクス化の大きな効果として信頼度向上に寄与している。

(5) 多系列化

以上のように、直列多重化構成とすることと常時監視方式の採用により、誤動作信頼度は著しく改善することができる。一方、自動点検方式の採用により、誤不動作信頼度の向上が期待できるが、更に最悪条件として装置不良（ここでは誤不動作側の不良）とシステム事故が重なった場合に備え、例えば、500kV系統保護継電装置では、主保護の二系列化を図って万

全を期している。

以上のエレクトロニクス化に伴う信頼度向上対策の考え方を、誤動作率及び誤不動作率と関連づけると、概念的には図3に示すように表現できる。このように、保護継電装置のエレクトロニクス化に際しては、当初耐サージ性など電磁形に比べ劣るとされている弱点を補うための防護対策を施すことが実用化の前提条件であったが、多重化、多系列化と自動監視の導入により、最近ではむしろ信頼度向上をねらいとして、エレクトロニクス化するまでに至っている。もちろん、これは定期点検の周期を永くできるなど、省力化にもつながることは言うまでもない。

3.2 自動監視方式の具体例

前述したように、信頼性及び省力化の両面から自動監視方式の適用は、エレクトロニクス化の重要なねらいであり、且つ必要条件であるとも言える。一方、自動監視方式の適用効果を高めるためにはできるだけ不良発見率を高くする方式の適用が望ましい。しかし、その結果として装置の規模、価格の増加につながるおそれもあるため、装置の重要性と経済性の両面より、システム全体として協調のとれたものとする必要がある。以下、500kV系統など主幹系統用保護継電装置に適用している自動監視方式の具体例について述べる。

3.2.1 自動点検方式

自動点検は、常時待機状態にある装置の入力を変化させて

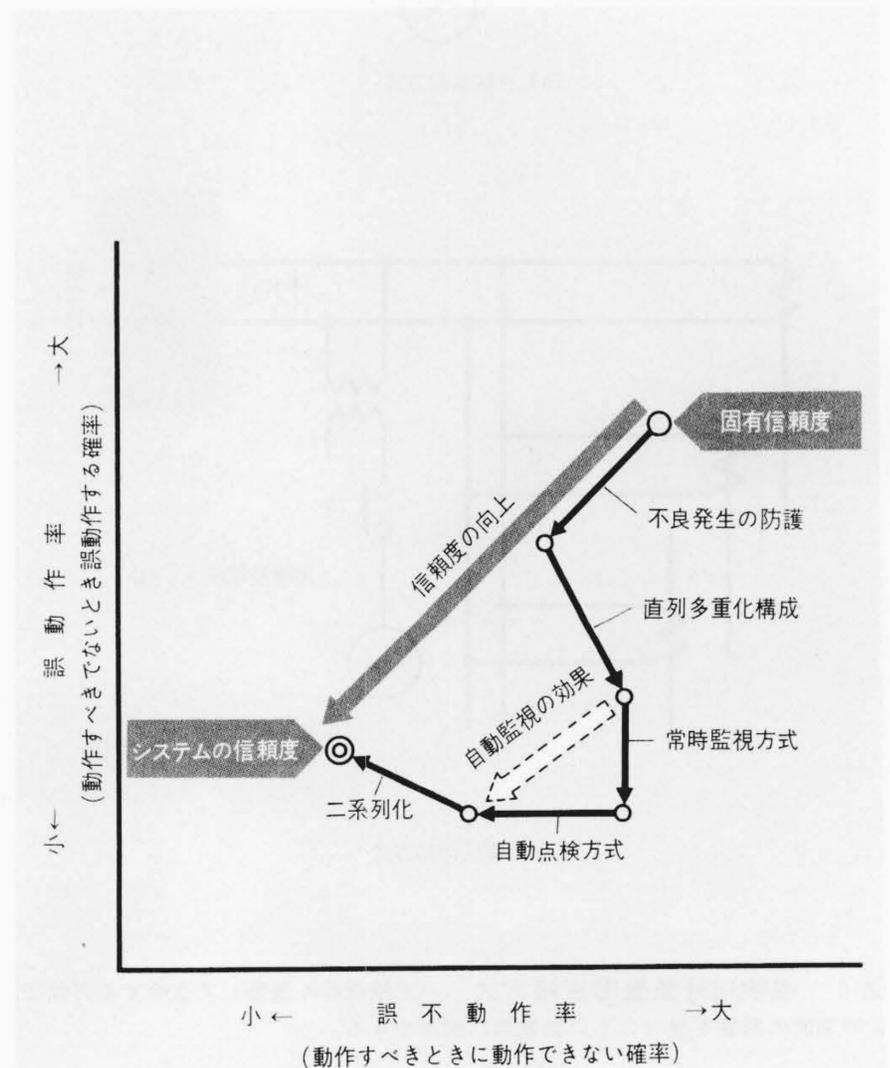


図3 エレクトロニクス化に伴う信頼度向上対策の効果 システムとしての信頼度は、多重化、自動監視の適用などにより、著しく向上させることができることを概念的に示した。

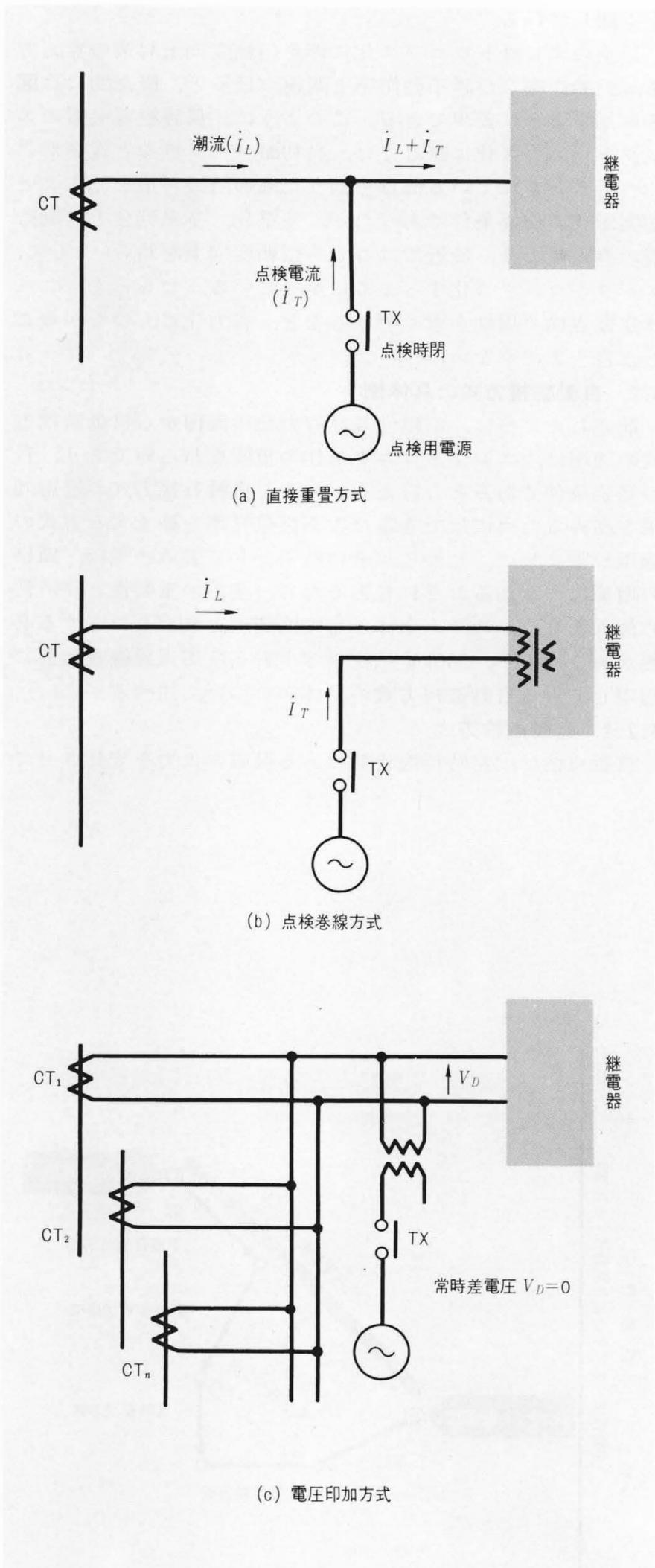


図4 点検信号重畳形点検方式 点検信号を重畳して点検する方式で、常時潮流の影響を受けにくい継電器に適用できる。

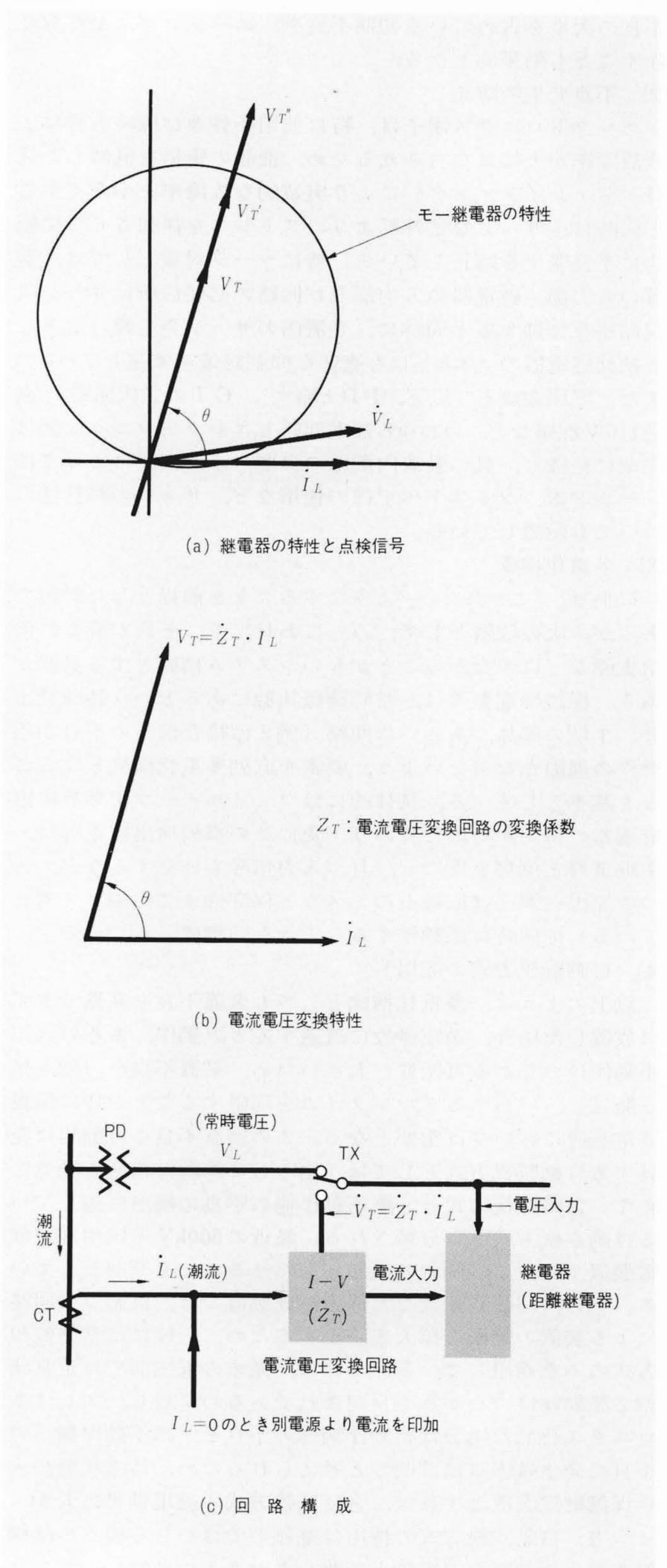


図5 電流電圧変換形点検方式 常時、潮流より位相の進んだ電圧を距離継電器の電圧入力とすれば、動作する。

系統事故時と同様の入力を与えることにより、主として動作側の機能を点検することをねらいとしている。500kV系など主幹系統用保護継電装置では、できるだけ不良発見率を高くするため、主継電器の交流入力部よりしゃ断器の引はずしコイルに至る広範囲の点検が要求されている。主継電器の点検に際しては、常時、電圧及び電流（潮流）が入力となってい

るため、その影響を受けない方式を適用する必要があり、特に電流回路の処理方法により装置の規模も左右される。日立製作所では特にこの点に注目し、点検に際しCT二次回路を切り換える必要もなく、且つ常時潮流を積極的に利用する方式を基本にしている。

具体的には、継電器はその原理、及び特性など多種多様で

あり、点検方式を統一することは困難であるため、継電器のもつ特質に合わせた方式を適用している。現在採用している主な点検方式は、次のように分類できる。

(1) 点検信号重畳方式

図4に示すように、電流を入力とする継電器に適用するもので、CT二次回路に点検電流を重畳させる方式である。

直接重畳方式は、CT二次回路に直接点検電流を重畳させる方式で、回路構成が簡単であり、且つ継電器としても特別の回路を付加する必要はないが、常時の潮流の影響を受ける場合には適用しにくい。変化幅過電流継電器や、地絡過電流継電器などに適用している。

点検巻線方式は、点検巻線の巻数を適当に選ぶことによって潮流の影響を無視することができるため、比率差動継電器に採用している。

電圧印加方式は、電圧差動母線保護継電器の点検方式として採用している。常時、差動回路にはほとんど電圧が生じていないため、点検信号(電圧)を印加することにより、点検を行なうことができる。なお点検信号は、異常電圧吸収用として差動回路に並列接続する飽和変圧器の二次側に設けた巻線より印加し、回路の節約を図っている。

(2) 入力信号除去方式

不足電圧継電器では、PDの二次回路を開放することにより簡単に動作が確認できる。

(3) 電流電圧変換方式

この方式は距離継電器に適用している方式である。図5にこの方式の原理を示す。説明を分かりやすくするために、モ一継電器を例にとり特性を同図(a)のように継電器の電流入力 I_L で基準化した電圧平面で表わしている。常時、電圧入力は V_L で示すように I_L とほぼ同相であるため、継電器は動作しない。

点検時は点検時動作する接点TXによりPD二次回路を電流電圧変換回路I-Vの出力へ切り換える。この電流電圧変換回路の出力 V_T は、常時の潮流 I_L に比例し、且つ位相が θ (一般には継電器の特性角に合わせて75度程度)進んだもので、同図(b)の関係にある。このとき同図(a)に示すように、継電器は動作状態になる。ここで電流電圧変換回路の変換インピーダンス Z_T をタップにより切り換えれば、同図(a)に示す \dot{V}_T 、 \dot{V}_T' 、 \dot{V}_T'' のように任意の点に設定できるため、距離継電器の特性まで点検できる。

以上のように本方式は、潮流の影響を全く受けなければいか、潮流そのものを積極的に点検信号として利用しているため、回路が比較的簡単に構成できる。なお、装置運開前など潮流が全くないか、あるいは継電器の最小感動電流よりも潮流が少ない場合には、別電源より適当な電流を流し込んでやればよい。またPD二次回路の切り換回路(TX)の接点が平常時接触不良など生じた場合には、不定電圧継電器の併用で容易に発見することができる。

(4) 位相反転方式

この方式は主として位相比較継電器に適用している方式で、図6により説明する。同図は220kV以上の送電線保護継電装置に使用している位相比較継電器の回路構成で、常時は自端波形 W_1 と受信波形 W_2 は逆位相の関係にあるため、不動作の状態にある。いま点検信号 t_1 を印加すれば、自端波形 W_1 が反転するため、 W_2 と同相になり継電器は動作する。次に点検信号 t_2 を印加して受信波形 W_2 を反転しても同様に継電器は動作する。この両方の点検を行なえば、継電器はもちろんのこと、相手端の継電器の送信回路及び伝送回線など非常に広範囲の点検ができる。更にこの方式は点検時に相手端の継電器を誤動作させるおそれがないため、ロック信号を送る必要も

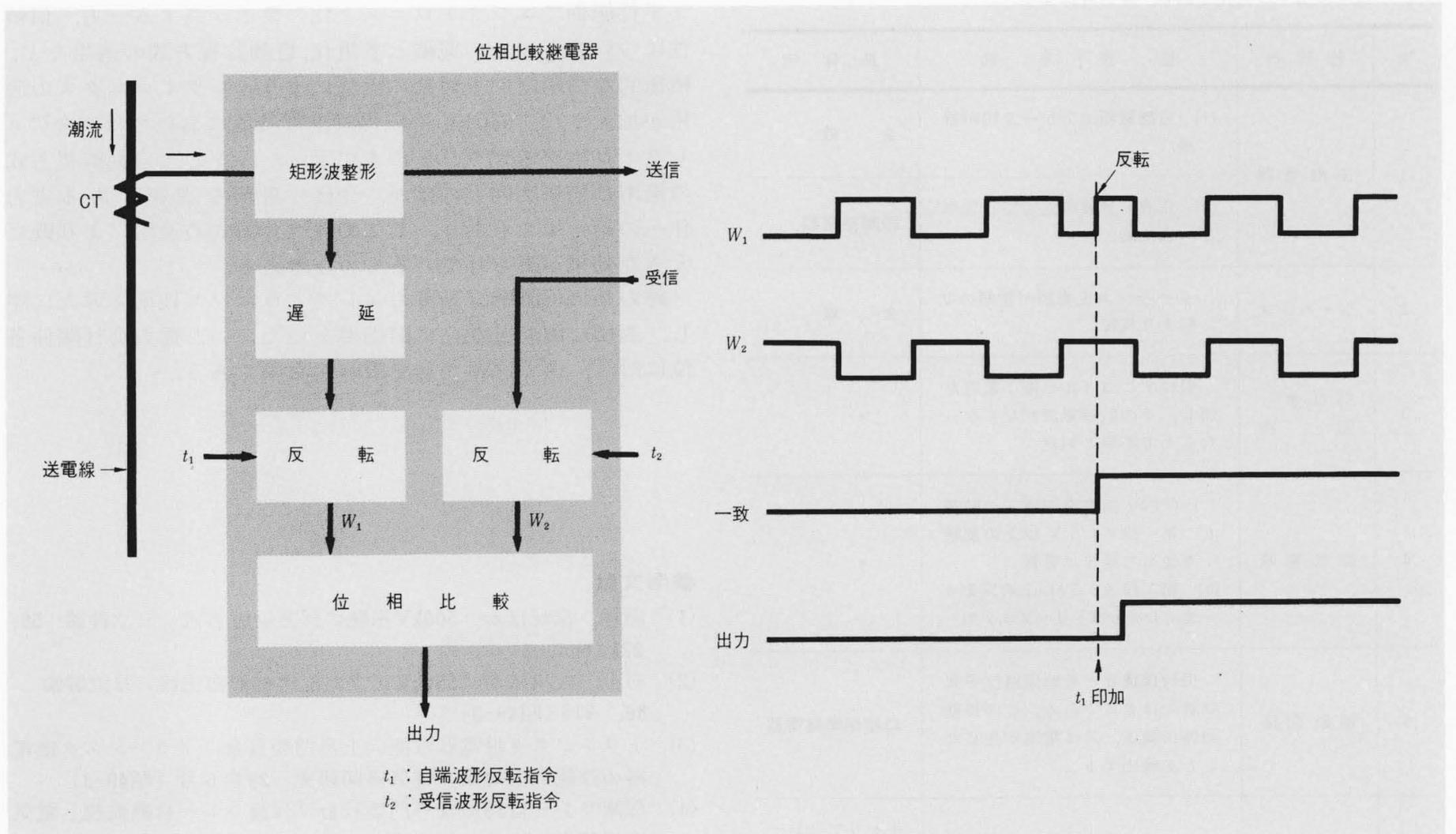


図6 位相反転形点検方式 二組の矩形波の位相を比較する方式において、片方の波形を反転すれば動作させることができる。

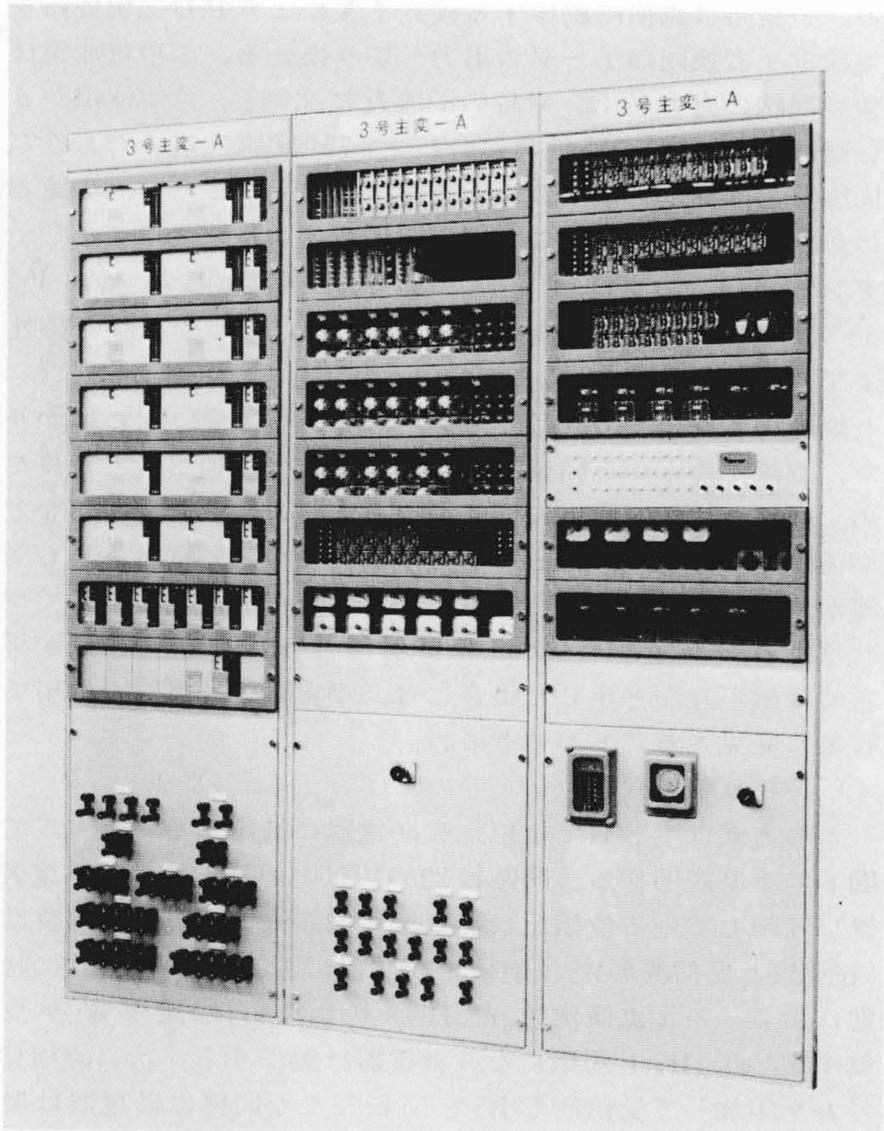


図7 500kV変圧器保護継電装置 この装置の主継電器及び論理回路部は完全にエレクトロニクス化されており、常時監視のほか約60ステップの自動点検を実施している。

表1 常時監視方式の具体例 常時と異なる状態に変化したことにより、不良を検出する方式であり、その具体例を示した。

No.	監視点	監視方式	具体例
1	主継電器	(1) 主継電器出力が一定限時継続。	全般
		(2) 正波、負波判定回路出力の不一致検出。	距離継電器
2	シーケンス	シーケンス主要部が常規の状態より反転。	全般
3	引はずし回路	引はずしコイルへ微小電流を流し、その監視電流がなくなったことで不良と判定。	"
4	直流電源	DC 24V 直流電源電圧の監視 (a) 第一段±1.5V以上の変動を生じた場合は警報。 (b) 第二段±3.0V以上の変動を生じた場合はトリップロック。	"
5	差動回路	母線保護など差動回路は平常状態ではゼロである。この差動回路に電圧、又は電流が生じたことを検出する。	母線保護継電器
6	受信回路	キャリア受信信号が常規と異なる波形となったことを検出。	キャリアリレー (位相比較, 方向比較)

なく簡単な回路構成で実現できる。

このようにこの方式も潮流を積極的に活用した特徴のある方式であり、位相比較継電器のほか距離継電器に適用した例もある⁽⁵⁾。

以上は継電器を単独に動作させる方式として説明したが、実際には装置全体として主継電器とシーケンスを含め、保護継電方式に見合った点検を行なっており、具体的には簡単な装置で数ステップ、きめ細かい点検を行なっている500kV変圧器保護継電装置などでは数十ステップのプログラムを組み込んでいる。図7は500kV変圧器保護継電装置の構成例を示し、この装置では約60ステップの点検を行なっている。

3.2.2 常時監視方式

常時監視方式は、装置を構成する個々の要素の状態を常に監視しておき、その状態の変化を検出して不良と判定する方式で、次に述べるような特長をもっている。

- (1) 装置として誤動作につながる不良が発見しやすい。
- (2) 装置の機能に直接影響を与えることなく、しかも即座に不良の発見ができる。
- (3) わずかの回路の付加で実現が可能であり、また広範囲の不良が発見できる。

このため、エレクトロニクス保護継電装置では、常時監視方式の採用を原則としている。表1に常時監視方式適用時の監視点の例を示す。

4 結 言

保護継電システムにエレクトロニクスが導入され始めて以来、その適用の拡大は他の分野に比べるとやや時間を要した感がある。これは電力系統の保護が何よりも信頼性を重視しなければならない性格をもっているためであり、実績の積み上げがあつて初めて適用の拡大を図るという歩みをたどってきたからである。しかし、ここ数年、系統条件の変化に伴い、まず性能面でエレクトロニクス化の要求が高まる一方、信頼性についても過去の実績と多重化、自動監視方式の適用など、積極的な信頼度向上対策の実施によりエレクトロニクスの適用が拡大され、500kV系統保護継電装置においては完全にエレクトロニクス化されるにまで至った。なお、自動監視方式の適用は信頼度向上のほか、今後の重要な課題である省力化への第一歩でもあり、ここで述べた方式の適用により既に大きな効果が得られているものと考えられる。

終わりに保護継電装置のエレクトロニクス技術の導入に際し、適切な御助言並びに御指導をいただいた電力会社関係各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 瀬尾、宮崎ほか「500kV系統の保護継電方式」日立評論 56, 221 (昭49-3)
- (2) 石上、佐川ほか「550kV正立内部冷却形変流器」日立評論 56, 215 (昭49-3)
- (3) トランジスタ継電器性能向上専門委員会「トランジスタ継電器の性能向上対策」電気協同研究 29巻5号 (昭49-3)
- (4) 保護リレー自動監視専門委員会「保護リレー自動監視」電気協同研究 28巻1号 (昭47-7)
- (5) 吉崎、抜山ほか「トランジスタ継電器の高信頼度化」日立評論 53, 252 (昭46-3)