産業用受変電設備の保護継電方式

Protection Equipment for Industrial Substations

産業用受変電設備に対する供給信頼性向上のニーズは年々高まり, ガス絶縁開閉装置, ガス絶縁変圧器, マイクロコンピュータ応用など多くの技術的発展を見ているが, 保護継電方式も, それらに適合した形で変化している。

そこで、最近の受変電設備の動向と、新しいシステムニーズに対応した保護継電 方式の考え方、静止形保護継電器の特徴、マイクロコンピュータ応用自動点検装置 付静止形継電システムなどについて紹介する。また、受変電設備での保護方式のう ち、短絡保護協調と地絡保護協調について述べるとともに、選択地絡保護方式の基 本的考え方を紹介する。 若狭文雄* Fumio Wakasa 沢入光雄* Mitsuo Sawairi 大鋸英五* Eigo Ôga

1 緒言

産業用受変電設備の保護継電方式は、生産設備の形態によっても考え方が異なるが、基本的には安定した電源供給をするため、故障発生時の系統分離を極小、かつ他への事故波及を防ぐため速やかに行なう必要がある。

一方、保護継電器は、電子機器の発展に伴い信頼性の高い静止形継電器も開発されている。静止形継電器は、従来の誘導形継電器と比較し、複雑化するシステムニーズに合致した機能の多様化に対応可能であり、耐震特性の向上によって地震などによる誤動作も防止することができる。また、マイクロコンピュータ応用の自動点検装置も開発され、よりいっそう信頼性の高い保護継電方式が確立された。

2 保護継電方式の考え方

最近の受変電設備は、ガス絶縁変電所(Gas-insulated Substation)が定着している¹⁾。これは、据付面積の縮小化(大気絶縁方式に比べ66/77kVで約号)、完全密閉のため塩害、大気汚染の影響を受けず、感電の心配や外的要因による短絡・地絡事故がないなどの高い安全性が確保でき、運転中の点検、定期的な精密分解点検などがほとんど不要となる。また、変圧器でも省力化と安全性・防災という意味から、30kV以下ではモールド変圧器、60kVを超えるものについてはガス絶縁変圧器が採用されるようになってきた²⁾(ガス絶縁変圧器については、本号「受変電設備用変圧器」を参照)。

以上のような変電機器の進歩とともに、保護継電方式も新しい技術や考え方が導入されている。例えば、ガス絶縁変電所でのガス圧監視も、単なるガス密度検出器による警報から、マイクロコンピュータ応用によりガス圧の温度補正や、ガス圧変化の監視とそのガイダンスまで行ない、日常点検の簡略化や、事故を未然に防ぐ予防保全の考え方も確立されてきた。一方、電力の供給信頼性向上を図るため受電方式や母線方式による系統上の検討も必要である。系統の規模や、システムの重要度から見た供給信頼度の相関関係を図1に示す。

保護継電方式も、その信頼性が電力供給信頼性を左右するため、系統に応じた保護継電方式が採用される。産業用受変電設備でも大規模プラントや負荷重要度の高い系統で、ループ受電の母線保護の採用やループ配電のパイロットワイヤ方式の採用で、より高い供給信頼性を得ることができる。産業

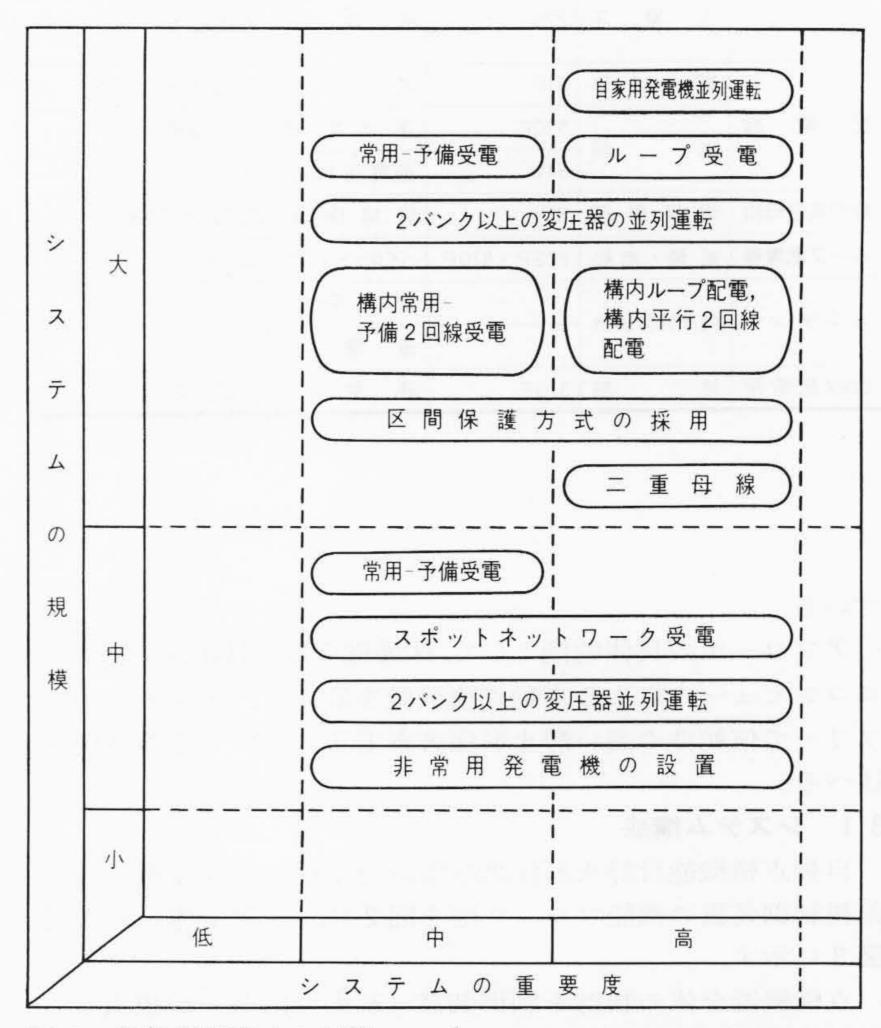


図 | 供給信頼度向上対策マップ 系統は上図の分類の組合せで構成される。

用受変電設備での保護継電方式と適用継電器の分類を**表1**に示す。保護継電器は、従来の電磁形継電器に代わって半導体応用静止形継電器が欠くことのできないものになってきている。

3 静止形保護継電器とその使い方

最近、大規模設備、公共設備などを中心に、よりいっそうの信頼性向上、省人、省力及びコンパクト化の要求が高まっている。このような要求に対し、保護及び制御システムの両面からアプローチを行なっており、両者は密接な関係をもっ

^{*} 日立製作所国分工場

表 | 保護継電方式と適用継電器 適用保護継電器は,電磁形,静止 形共含む。

回路又は機械	用 途	器具番号	保護方式	適用保護継電器
受電	短 絡	5IR	過電流	10-0,10-01(瞬時要素付),S0
	地 絡	5IGR	地絡過電流	10-L, S0
	圧縮空気異常	63A	機械的	圧力スイッチ
変 圧 器	過負荷	5IP	過電流	10-C, SO
		26T	機械的	ダイヤル温度計
		87T	比率差動電流	IYT, SYT
	内部異常検出	96T ₁	機械的	ピトー継電器第1段
		96T ₂	機械的	ピトー継電器第2段
		33	機械的	フロートスイッチ(低油面)
	電圧調整	90	調整継電器	SV-W
変圧器二次	短 絡	518	過 電 流	10-C, SO
	過電圧	59 S	過 電 圧	IV-AC, SV
	低 電 圧	27S	低 電 圧	IV-UC, SV
配電線	短 絡	5IF	選択地絡	10-C, 10-CI, SO
	地 絡	57GF	選択地絡	IGF, SHGF
		64V	過電圧地絡	SG-X
特別高圧母線	母線保護	87B	母線保護	SDB, X-SDB
ループ配電線	短絡・地絡	87SP • 87GP	パイロットワイヤ	UD, SHD
コンデンサ	中部思觉检训	::	電流平衡	
	内部異常検出	-	差 電 圧	UV3-AC
22kV 配電線	地 絡	5IGF	過 電 流	10-L, S0

P.CT 直接トリップ指令 切 遮 断 器 換用 操作指令 状態 点検開始指令 点検範囲 静止形 模擬入力 点検装置 制 御 装 置* (ストアードプログラム方式) 保護継電器 点検結果 (保護継電器盤) 動作状態 (制御盤) 表示 操作指令 点検中の事故対応 点検結果表示 操 盤 操作指令 注:略語説明など *は,マイクロコンピュー タ採用部分を示す。 P·CT(計器用変圧,変流器) プリンタ

検出信号

閉鎖配電盤

図 2 機能ブロック図 受変電設備監視制御の機能ブロック図を示す。 2 台のマイクロコンピュータを連結し、処理能力を向上させている。

ている。

アプローチの具体的例として、保護継電器をIC化し、マイクロコンピュータによる自動点検機能を備えた、メンテナンスフリーで信頼性の高い静止形保護継電器についてその概要を述べる。

3.1 システム構成

自動点検機能付静止形保護継電器を使用した受変電設備用 監視制御装置の機能ブロック図を図2に、装置全体の外観を 図3に示す。

点検機能全体の制御を制御装置(制御盤内蔵)が担当し、 点検装置(保護継電器盤内蔵)は、制御装置からの点検開始指 令によって保護継電器個々に点検信号を与え、動作を確認し、 制御装置へ点検結果、動作時間などを返送する。

制御装置及び点検装置には、マイクロコンピュータ(HMCS 6800シリーズ)を使用し、各々のマイクロコンピュータを連結して情報交換を行ない、処理能力及び速度の向上を図っている。

保護継電器はIC化によって1個の保護継電器要素を1枚のプリント板で構成し、高信頼性、コンパクト化を実現している。

設備が稼動中でも点検を行なうため、閉鎖配電盤では制御装置からの指令によって、保護継電器が動作しても遮断器がトリップしないように、保護継電器からのトリップ指令を切換用補助継電器によって模擬遮断器側へ切り換えておく。

操作盤では,点検指令を手動で与えるためのスイッチ,点 検結果を表示するための表示器などを備えている。

プリンタでは点検結果,動作時間を記録する。

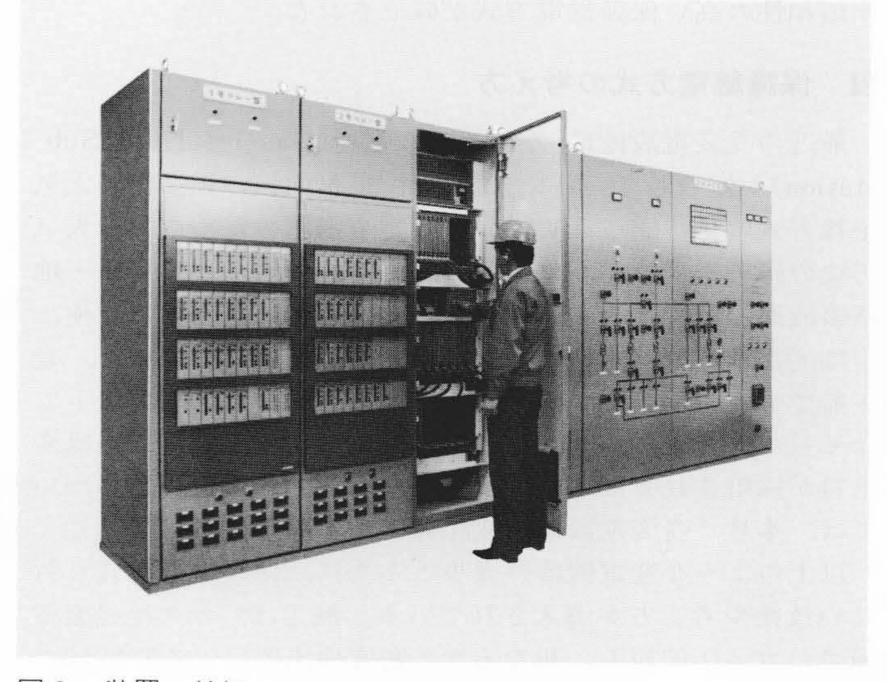


図3 装置の外観 装置は保護継電器盤2面,制御盤2面及び操作盤 I 面から構成されており、小形化(従来比30%)されている。

3.2 静止形保護継電器の種類と特徴

本稿で述べる静止形保護継電器(K4シリーズ)は,60kV以下の配電系統への適用を主にしたものである。

K4シリーズは多くの種類をもっているが、代表的な保護継電器の仕様を表2に示す。

K4シリーズは、特に使用面での容易さ、保守の簡便化など を考慮しており、主な特徴は次のとおりである。

(1) 使用面での容易さ

過電流継電器は,従来から使用されている誘導円板形(反限時形の動作特性)との協調,及び配電系統特有の過電流時

表 2 静止形保護継電器(K4シリーズ)の種類 整定範囲及び定格については、用途によって変更したものがあり、ここには代表例を示す。

種類	形式	定格	整 定 範 囲	
過電流継電器	S0-2K ₄	5A	限時要素:3-4-5-6-8-10-12A 即時要素:20~80A(連続可変) 動作時間:0.1~1秒(連続可変)	
	S0-5 K ₄	5A	限時要素:3-4-5-6-8-10-12A 動作時間:0.1~1秒(連続可変)	
	S0-6 K ₄	5A	即時要素:20~80A(連続可変)(4~16A, 10~40A)	
地絡過電流継電器	SO-3 K ₄	2А	電 流:0.2-0.25-0.35-0.5-0.7-1.0-1.4-2A	
地絡過電圧継電器	SG-X-1K ₄	190V	電 圧:5-10-15-20-30-40-50-60V	
地絡方向継電器	SHGF-2K4	IIOV IA	電 圧:5-10-15-20-25-30-40V 動作時間:0.2~0.8秒	
比 率 差 動 継 電 器	SYT-IK4	8.7A	電 流:2.9-3.2-3.5-3.8-4.2-4.6-5.0-8.7A 即時要素:750~1,000%	
不足電圧継電器	SV-UC- I K ₄	110∨	電 圧:60-65-70-75-80-85-90V	
過電圧継電器	SV-1 K4	IIOV	電 圧:120-125-130-135-140-145-150V	
電 圧 継 電 器	SV-2 K ₄	110∨	電 圧:70-75-80-85-90-95-100V	
低 速 度 継 電 器	SF-2 K ₄	_	定格回転数(電圧)の20~40%以上	
過速度継電器	SF-1 K ₄		定格回転数(電圧)の85-130%以上	

限協調を考慮し,動作特性を反限時にしている。

したがって、上位系統に既設設備(誘導円板形)があり、下位系統に本静止形保護継電器を使用する場合、又はその逆の場合でも、動作特性が同じ反限時であるため、時限協調が容易である。

高圧系統は非接地系統が多く、選択地絡継電器用零相電圧 検出方法として、接地計器用変圧器による検出方式(特別高 圧受電の場合)と、コンデンサ形零相電圧検出器による検出 方式(高圧受電の場合)がある。本選択地絡継電器は、いずれ の場合にも使用可能であり、同一設備内に前述の2種類の零 相電圧検出方式が混在する場合、保護継電器が共用でき、保 護継電器の選定誤りなどのトラブルも発生しない。

(2) 小形化

保護継電器の実装スペースは、従来の誘導円板形に比較して30%になっておりコンパクトである。

(3) 信頼性の向上及び保守の省力化

半導体回路の二重化によって誤動作を防止するとともに, 自動点検機能によって誤動作,誤不動作を早期検出し,その 対策が可能であり,信頼性の向上及び保守の省力化が図れる。 (4) 消費電力の低減

ICの採用によって消費電力が小さく、従来の誘導円板形に 比較し電流回路で10~30%に、電圧回路で約25%に低減され、 計器用変成器の小形化につながる。

3.3 自動点検機能

K4シリーズの静止形保護継電器は、マイクロコンピュータの採用による各種点検機能をもち、高信頼性、保守の省力化を実現している。点検機能のなかで代表的な常時監視、自動定期点検、手動臨時点検について以下に述べる。

(1) 常時監視

この機能は誤動作検出をするもので、保護継電器の内部回路を二重化し、一方の回路だけが一定時間以上動作状態を継続した場合、異常と判断している。保護継電器の遮断器へのトリップ出力は、二重化回路のANDとしているため、遮断器をミストリップさせることはない。

(2) 自動定期点検

この機能は、定期的(例えば1回/日)に保護継電器に模

擬入力を印加し,正常に動作することを確認する誤不動作検 出機能である。

点検開始時は、制御装置によって遮断器のトリップ回路を 模擬遮断器回路へ切り換え、点検装置に点検開始指令を出力 する。点検装置は保護継電器に模擬入力(直流電圧レベル)を 印加し、動作を確認後、模擬入力を除去して復帰させる。保 護継電器から遮断器のトリップ信号は出力されるが、既に模 擬遮断器側へ切り換えているため、遮断器はトリップしない。 模擬遮断器の状態を制御装置へ入力することによって、点検 装置から返送された点検結果から、制御装置では保護継電器 及びそのトリップ回路までを含めた広範囲の良否を判断して いる。

(3) 手動臨時点検

受変電設備の巡視又は必要に応じ、手動指令によって自動 定期点検と同様の確認を行なう機能である。この場合は、あ らかじめ点検する保護継電器の範囲を指定できるようにして いる。

(4) 点検時の事故対応

保護継電器の点検中は、遮断器のトリップ回路を模擬遮断器側へ切り換え、保護機能を停止させているため、実際に系統事故が発生した場合、点検を中止して正常な保護を行なう必要がある。この事故対応は保護継電器の点検のうえで重要な要素である。点検している保護継電器自身では、実際の系統事故を検出することができないため、他の二次的保護継電器との組合せによって事故対応を行なっている。

事故対応の基本的な考え方は次に述べるとおりである。

- (1) 短絡,過負荷事故については,過電流継電器内部の短絡 及び過負荷検出要素の相互監視。
- (2) 非接地系地絡事故については、地絡過電圧継電器の監視。
- (3) 接地系地絡事故については、地絡過電流継電器の二重化による相互監視。
- (4) 停電,過電圧事故については,点検時間が短いため点検終了後対応。

3.4 マイクロコンピュータの機能

自動点検の実施,事故対応などの判断,処理を点検装置が 担当し,受変電設備全体の監視,制御を制御装置が担当して

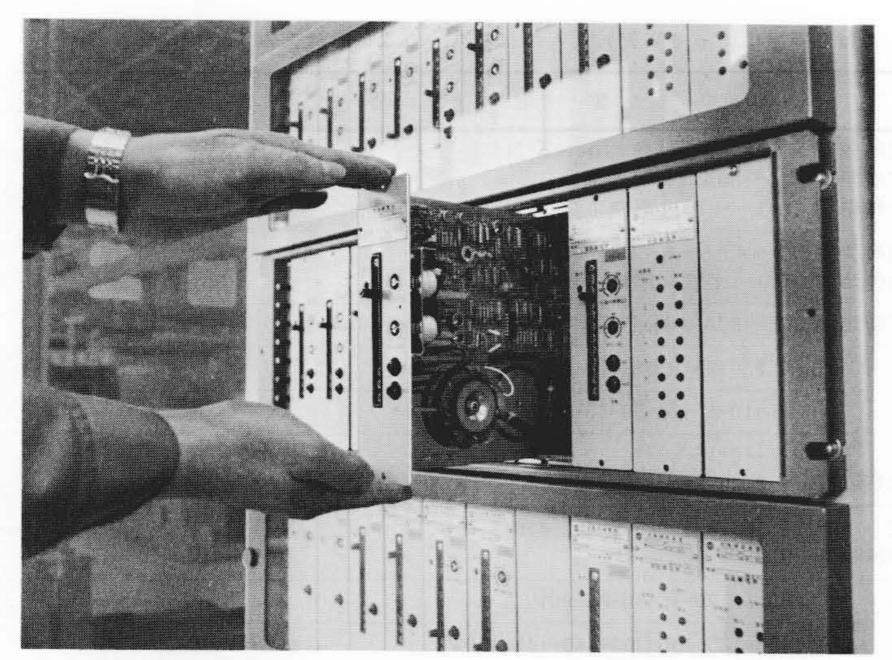


図 4 保護継電器実装例 ユニットには保護継電器 8 個,及び 2 個の表示ユニットが実装可能であり、占有体積は従来形(誘導円板形)の30%になっている。

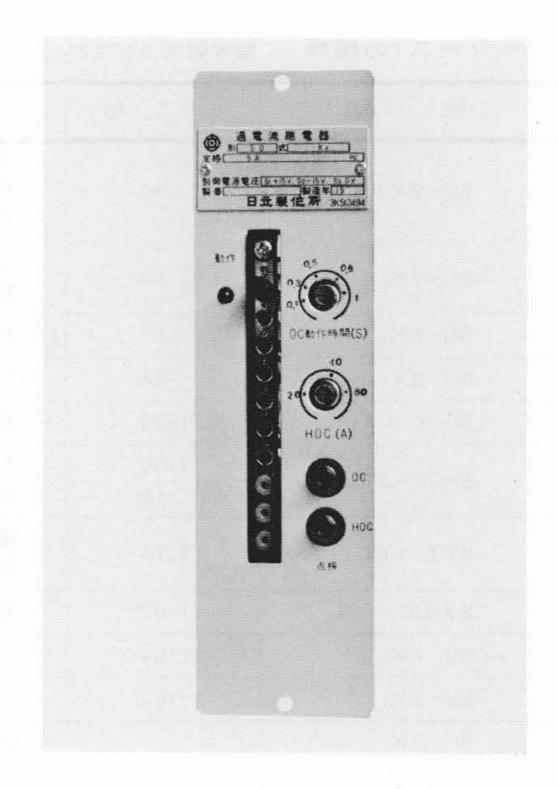


図 5 静止形過電流継電器の前面 従来の誘導円板形保護継電器と同一の取扱いができるようになっている。

いる。

点検によって異常が検出されると、**図4**に示す保護継電器 収納ユニットの右側に実装されている表示ユニットの異常表 示ランプが点灯する。それによって、どの保護継電器が異常 であるかを迅速に判断、処理できる。

自動定期点検では、保護継電器の動作、不動作だけでなく、 動作時間をも計測し、許容値以内かどうかを判断している。

一方, 2台のマイクロコンピュータの処理速度を高めるため, 信号授受は並列データで行なっている。更に2台のマイクロコンピュータは, 相互監視を常時行なっており, 早期にマイクロコンピュータの異常を検出することによって使用信頼度を高めている。

3.5 保護継電器の実装

静止形過電流継電器の前面から見た状態を図5に示す。従来の誘導円板形保護継電器と同じ考え方で取扱いができるように、動作値の整定はタップ、動作時間及び即時要素の整定はレバーによって行なっている。更に、変電所の試運転時の連動試験で、保護継電器の動作を簡単にできるように動作用ジャックの受口を設けている。同図で点検-OC、HOCと示されている部分である。動作用ジャックは保護継電器収納ユニットの左端に実装され、いつでも試験可能である。

一方,動作表示器は2個あり,1個は保護継電器本体に実装され,保護継電器が動作しているときだけ点灯している。他の1個は,表示ユニットに実装され,事故回復も点灯しているメモリ方式の表示器である。このメモリ方式の表示器は,保守者の指令が制御装置を経由して点検装置に伝送され,消灯される。

保護継電器は、図4に示すように保護継電器収納ユニットに最高8個実装可能であり、高さ2,300mm、幅800mm、奥行800mmのキュービクルには、収納ユニットが6個、保護継電器個数としては48個実装できる。

図6に静止形過電流継電器のプリント板を示す。プリント板には、電流入力5A用の補助変流器まで含めた全部品を実装しており、プリント板1枚で従来の誘導円板形の保護継電器と同一の機能をもっている。したがって、保護継電器を交換する場合、プリント板を差し換えるだけで簡単に交換でき、保守者に与える負担を軽減している。

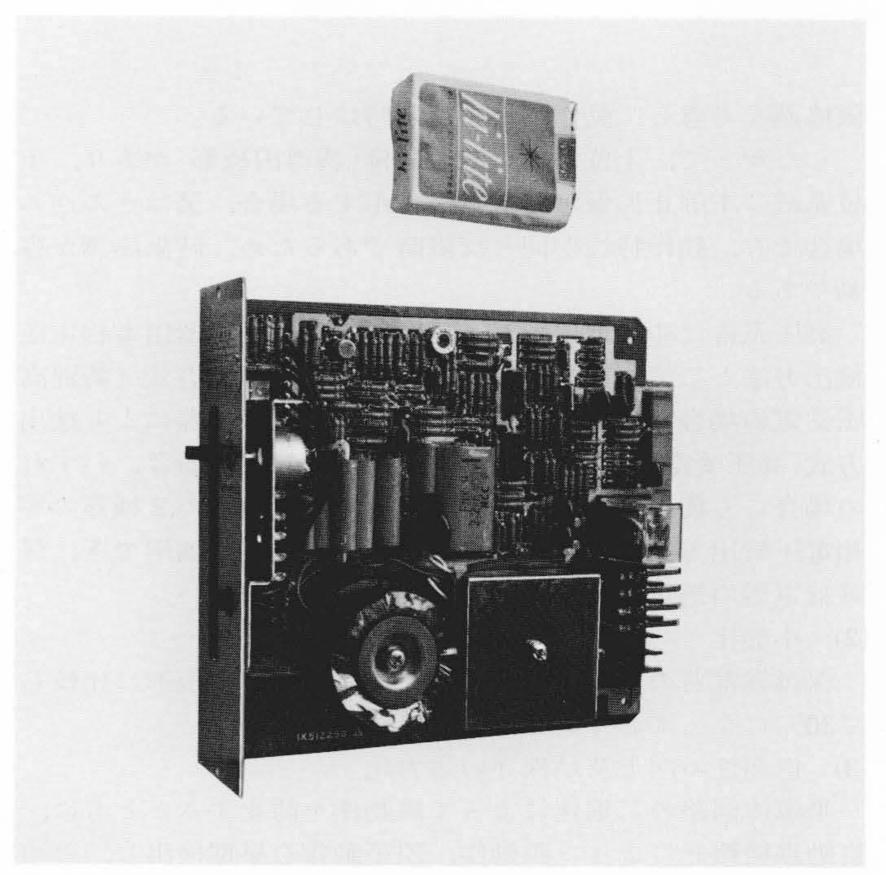


図 6 静止形過電流継電器のプリント板 補助変流器まで含めた全部品を実装している。

4 短絡, 地絡保護方式

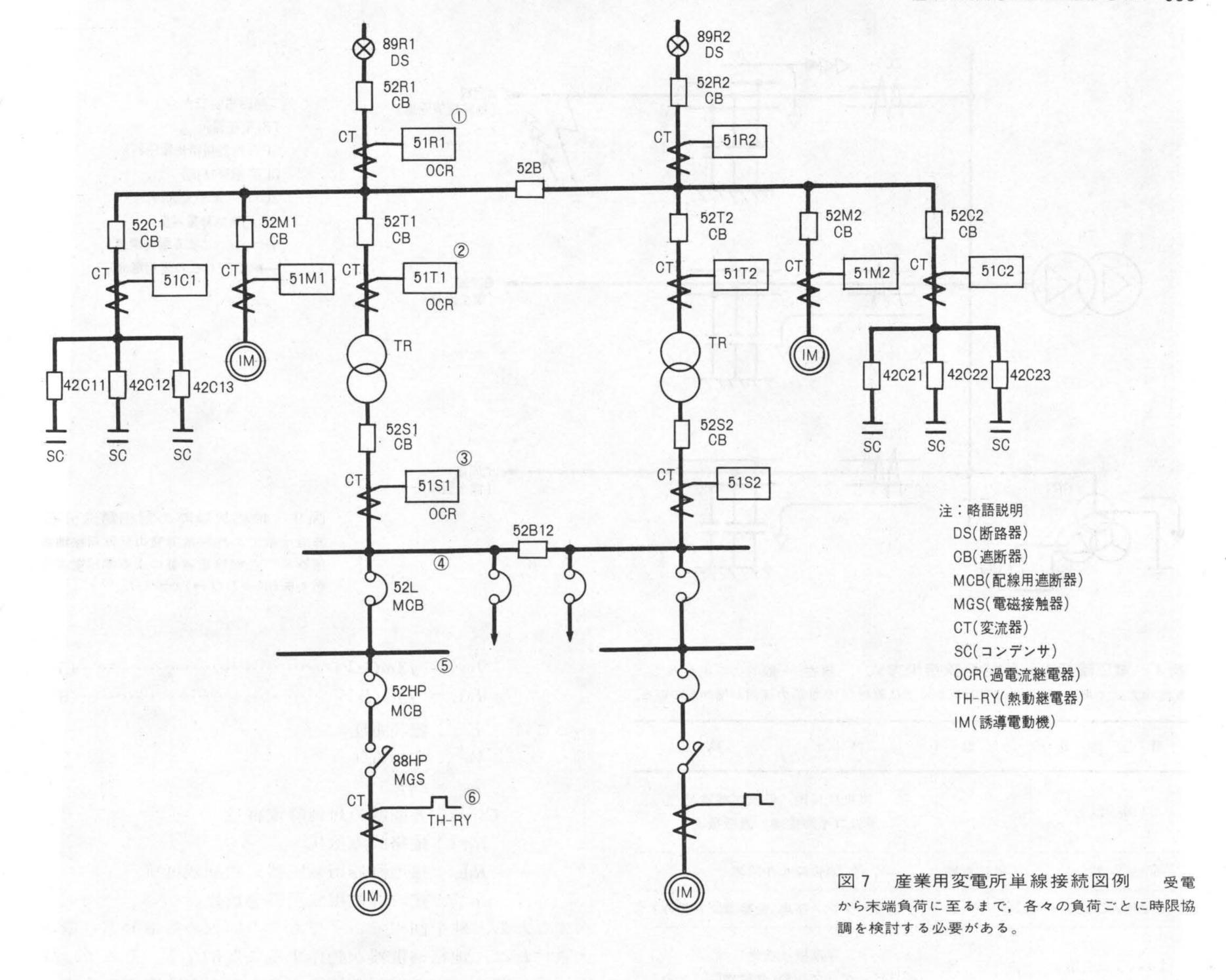
自家用変電所での故障としては、変圧器、電動機などの過 負荷、短絡、地絡、その他機械的故障が挙げられる。事故時 の停電範囲や時間を最小とするため、保護協調を検討する必 要がある。

4.1 短絡保護協調

過電流継電器は,動作電流タップ,動作時限レバー,必要 に応じて瞬時要素タップの整定をすることで保護協調を検討 する。

動作電流タップ I_{51} の整定は、次式を満足する最低タップとする。

 $I_{51} \ge 1.2I_R/\text{CT比} \cdots (1)$ 線路の定格電流 I_R を1.2倍しているのは、継電器及びその他の



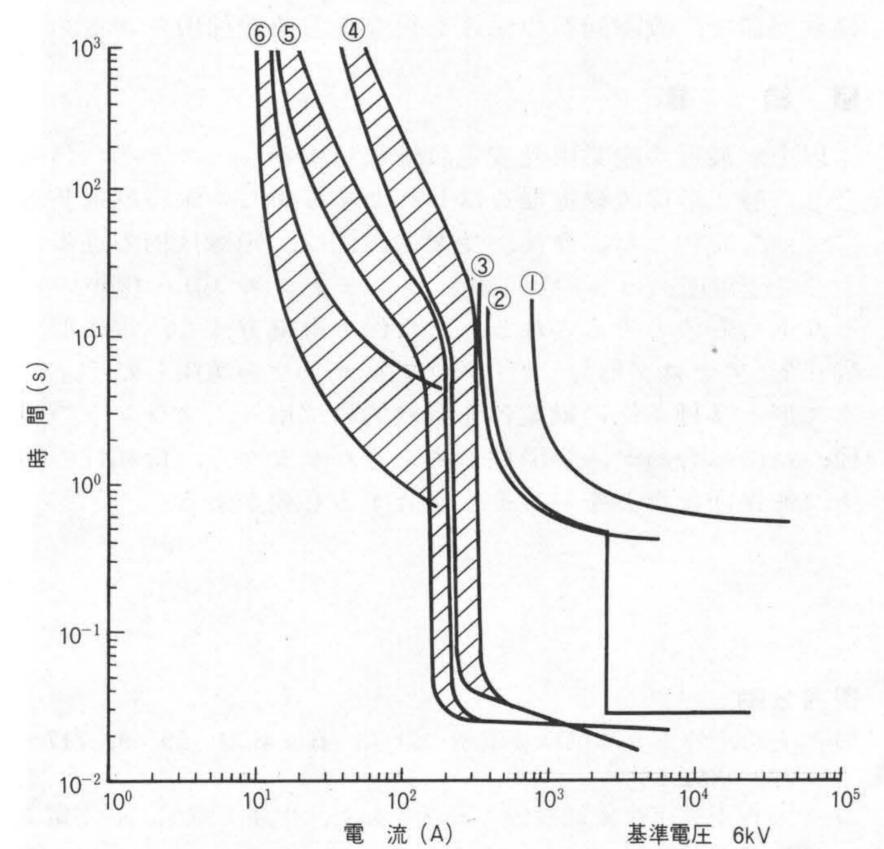


図 8 時限協調曲線例 図 2 の単線接続図に対応して、①~⑥の協調を 検討し作成された曲線例である。

誤差と余裕を意味する。

動作時限レバーの整定時限 T_n は、次式を満足するように整定する。

ここに Tn:上位から第n区間継電器の動作時間

T_{n+1}:第n+1区間継電器の動作時間

S : 区間の継電器動作時限整定差(0.35~0.4秒

以上)

瞬時要素のタップ I_{50} の整定は、次式を満足するよう整定する。

 $I_T \leq I_{50} \times 1.2 \leq I_S \cdots (3)$

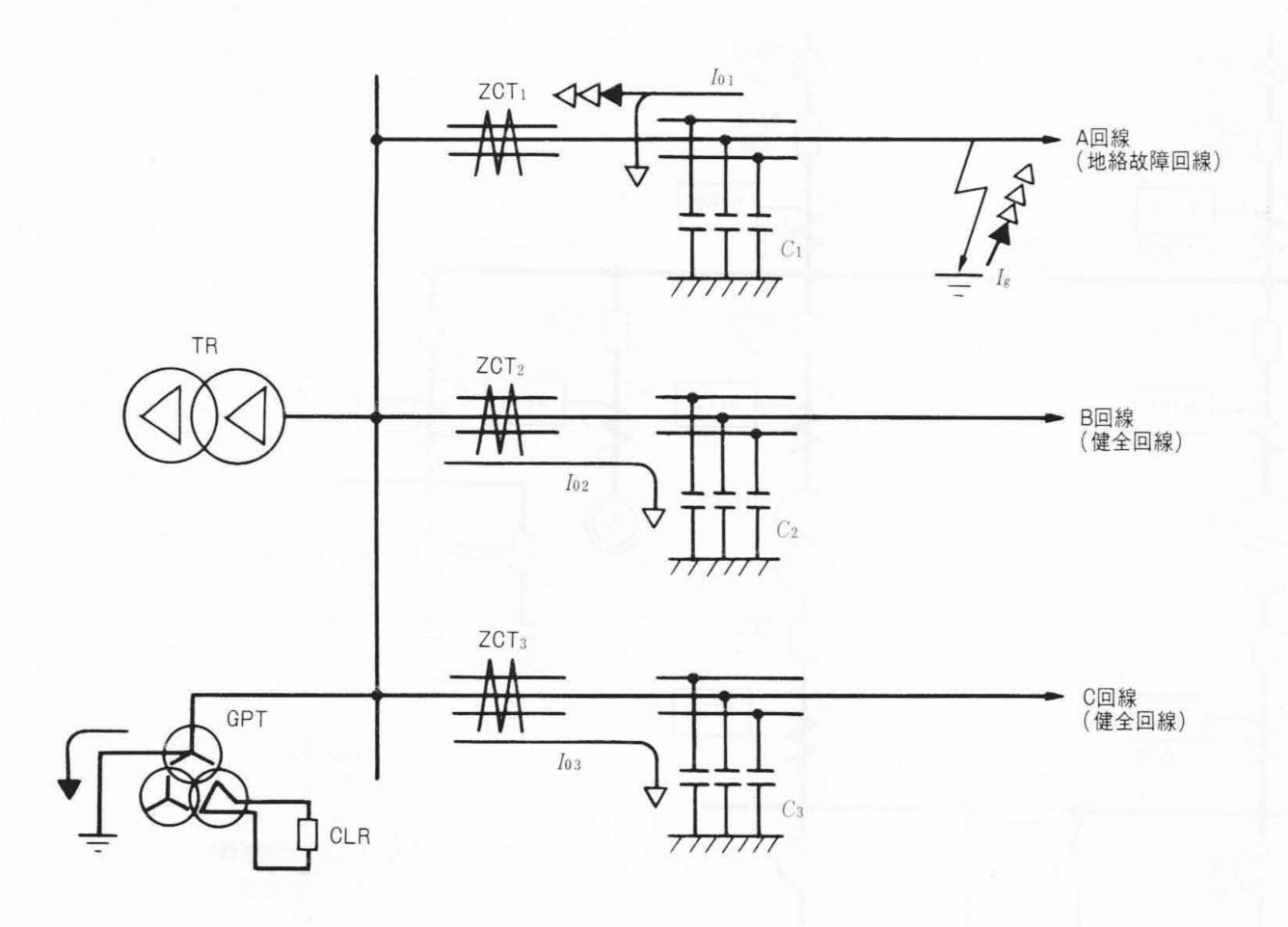
ここに Ir : 変圧器励磁突入電流×1.2/CT比

Is :短絡電流/CT比

受変電設備の単線接続図例を**図7**に、その時限協調曲線例を**図8**に示す。

4.2 地絡保護協調

地絡保護方式は、系統の接地方式によって保護継電方式が 異なる。どのような接地系とするかは、電圧階級によって概 略分類できる。表3に電圧階級と一般的な系統接地方式を示 す。3.3kVあるいは6.6kV系統で非接地系が一般的となって いるが、新設プラントあるいは大規模プラントで受変電変圧 器の三角巻線で電力会社系統と絶縁される場合は、高抵抗接 地系の採用が多くなっている。これは、過渡異常電圧値の低



注:略語説明ほか TR(変圧器) GPT(計器用接地変圧器) CLR(限流抵抗) ZCT1~3(零相変流器) C1~3(対地静電容量) →▷(C1~3による零相電流) →►(GPTによる零相電流)

図 9 地絡故障時の零相電流分布 非接地系での地絡故障時の計器用接地変 圧器及び対地静電容量による零相電流分 布を矢印(→及び→)で示した。

表 3 電圧階級と一般的系統接地方式 現在,一般的に採用されている接地方式であるが,3.3kV又は6.6kVでは高抵抗接地系の採用が増加している。

電圧階級	一般	特殊
IIOkV以上	\$ - 2	高抵抗接地, 低抵抗接地 消弧コイル接地, 直接接地
60kV又は70kV	高抵抗接地	消弧コイル接地
IO,20kV又は30kV	同 上	インピーダンス接地(発電機回路のみ)
3.3kV又は6.6kV	非 接 地	高抵抗接地 インピーダンス接地(発電機回路のみ)
440∨	直接接地	非接地
II0V又は220V	非 接 地	直接接地

減, 充電電流や接地計器用変圧器多点接地の影響をなくし, 確実な地絡保護ができるためである。

地絡保護協調は短絡保護協調と異なり、三角巻線の変圧器 で系統が分離されれば、分離された系統との協調は考慮しな いで済むことから容易に検討できる。同一系統内で、地絡継 電器の動作時限レバーや限時継電器の併用で時限協調をとる ことができる。

4.3 選択地絡保護方式

非接地系あるいは高抵抗接地系では、選択地絡保護方式を採用しなければならない場合がある。これは、地絡電流が系統対地静電容量によって流れる零相電流分が大きく寄与するためである。図9に地絡故障を発生した場合の零相電流分布を示す。同図で分かるように、地絡故障を発生していない回線でも、対地静電容量を通して零相電流が流れる。各零相電流は次式で求められる。

$$I_{01} = rac{E/\sqrt{3}}{Rg + rac{1}{j\,3\,\omega(\,C_1 + C_2 + C_3) + 9/n^2R_d}} - j\,3\,\omega C_1\dot{V}_0$$
(4)

$$\dot{I}_{02} = j3\omega C_2 \dot{V}_0 \cdots (5)$$

 $\dot{I}_{03} = j3\omega C_3 \dot{V}_0 \cdots (6)$

ここに \dot{E} :線間電圧

 V_0 :零相電圧 $\omega = 2\pi f$

C1~3: 各回線の対地静電容量

Rg : 地絡故障抵抗

Rd :接地計器用変圧器三次制限抵抗

n :接地計器用変圧器卷数比

すなわち、健全回線であってもその回線の対地静電容量が大きければ、地絡継電器が動作することになる。そこで、故障回線と健全回線の零相電流のベクトルが180度異なることを利用し、零相電圧とのベクトル積によって動作する選択地絡継電器で、故障回線の保護を行なう方法が採用される。

5 結 言

以上、最近の産業用受変電設備に対するニーズとそれに適合した静止形保護継電器をはじめとする新しい保護継電装置について説明した。今後、受変電設備は、絶縁技術の進歩によって変電所のコンパクト化、メンテナンスフリー化がいっそう進むものと考えられる。また保護継電方式も、電磁形、静止形(アナログ形)、マイクロプロセッサを適用したディジタル形と多種多様の継電器を有機的に採用し、プラントの規模、特徴に合わせ、経済性も考え合わせながら、信頼性の向上、無保守化などをいっそう研究する必要がある。

参考分献

- 1) 丸山,外:ガス絶縁変電所の計画,日立評論,**59**,9,717~722(昭52-9)
- 2) 大鋸:高圧受変電設備の最新の動向,生産と電気,日本電気 協会(昭58-4)
- 3) 岩沢,外:マイクロコンピュータの受変電設備監視・制御装置への応用,日立評論,**61**,4,265~266(昭54-4)