

デジタル式配電用変電所保護制御装置

Digital Protective Relaying Equipment for Distribution Substations

現在、配電用変電所の保護制御装置は、一般的に、電磁形とアナログ静止形が混在して使用されている。しかし、最近、保守点検の省力化を目的とした自動監視の充実、装置の小形化による設置スペースの縮小、保護機能の向上・精度改善などの要求が強くなってきた。

このようなニーズに対応するため、保護制御装置にマイクロコンピュータ(以下、マイコンと略す。)を使用して、(1)自己診断機能の充実、(2)保護機能の複合化および保護制御機能の一体化、(3)水晶クロックによるデジタルタイマの採用などを実施した配電用変電所デジタル形保護継電装置とデジタル形電圧調整継電器を製品化した。

秋沢安郎* Yasuro Akisawa

松井義明* Yoshiaki Matsui

芳賀 博* Hiroshi Haga

1 緒 言

近年、マイコンを用いた保護制御装置¹⁾が、変電設備を中心に急速に実用化されている²⁾。

一方、需要家と直結する配電系統への電力供給源として配電用変電所がある。しかし、この配電用変電所は非常に数が多く、その設備の機能向上には、信頼性とともにも経済性も十分考慮する必要がある。

本稿では、配電用変電所設備として、信頼性および保守性の向上が図れ、経済性にも優れ、総合的に適用効果の高いデジタル式保護制御装置について紹介する。なお、この装置の交流入力部はアナログ処理で、論理判断部に高集積度形マイコンを用いている。

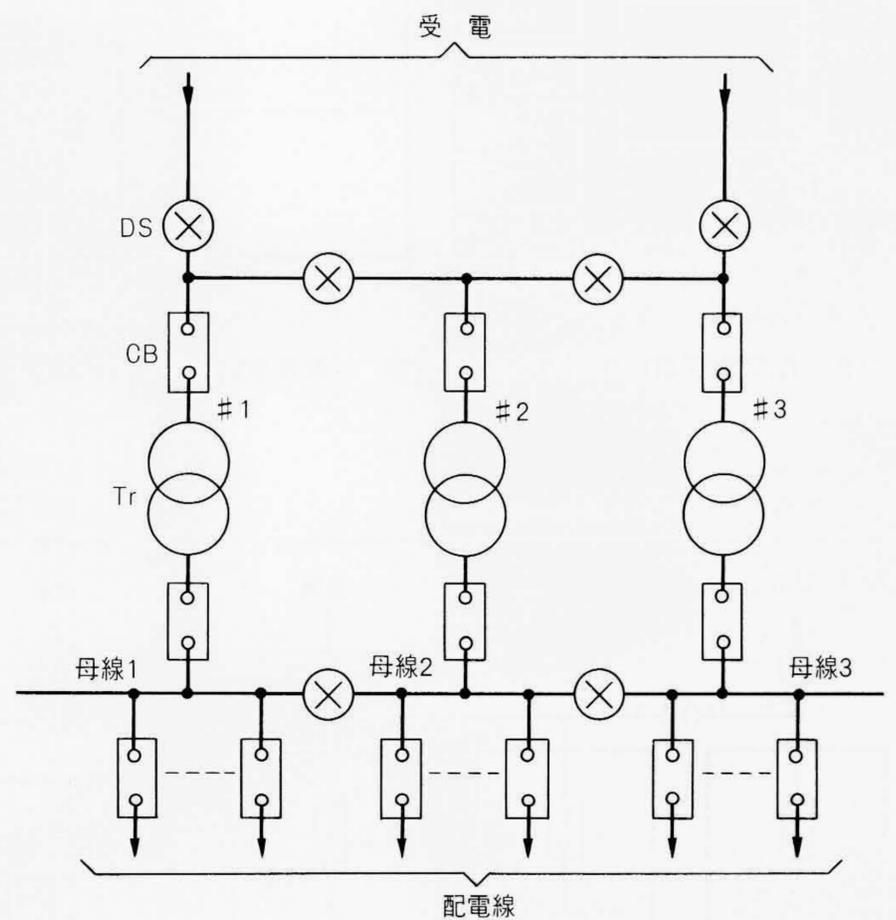
2 配電用変電所デジタル形保護継電装置

2.1 装置構成

配電用変電所の概略構成を図1に示す。20~70 kVの送電線から受電し、1~3台の主変圧器で6.6 kVに降圧した後、変圧器二次側の配電線母線に接続している。

1台の主変圧器が停止しても、他の主変圧器から配電できるように構成しているものが一般的である。これは、極力停電を避けて、電力供給信頼度確保を最重要使命とする系統構成である。したがって、配電用変電所の保護装置³⁾(以下、配変用保護装置と略す。)にも、当然のことながら高信頼性が要求される。

配変用保護装置として使用される保護リレーの代表例を図2に示す。主変圧器の一次側および二次側電流に応動する



注：記号・略語説明 ⊗ DS (開閉器), ⊞ CB (遮断器), ⊕ Tr (変圧器)

図1 配電用変電所の構成 標準的な配電用変電所のスケルトンを示す。

過電流継電器(51P・51S)、母線に接続された接地変成器(GPT)の二次電圧・三次電圧(零相電圧)に応動する不足電圧継電器(27)および地絡過電圧継電器(64)、配電線の相電流に応動する過電流継電器(51F)、および零相電圧と零相電流の位

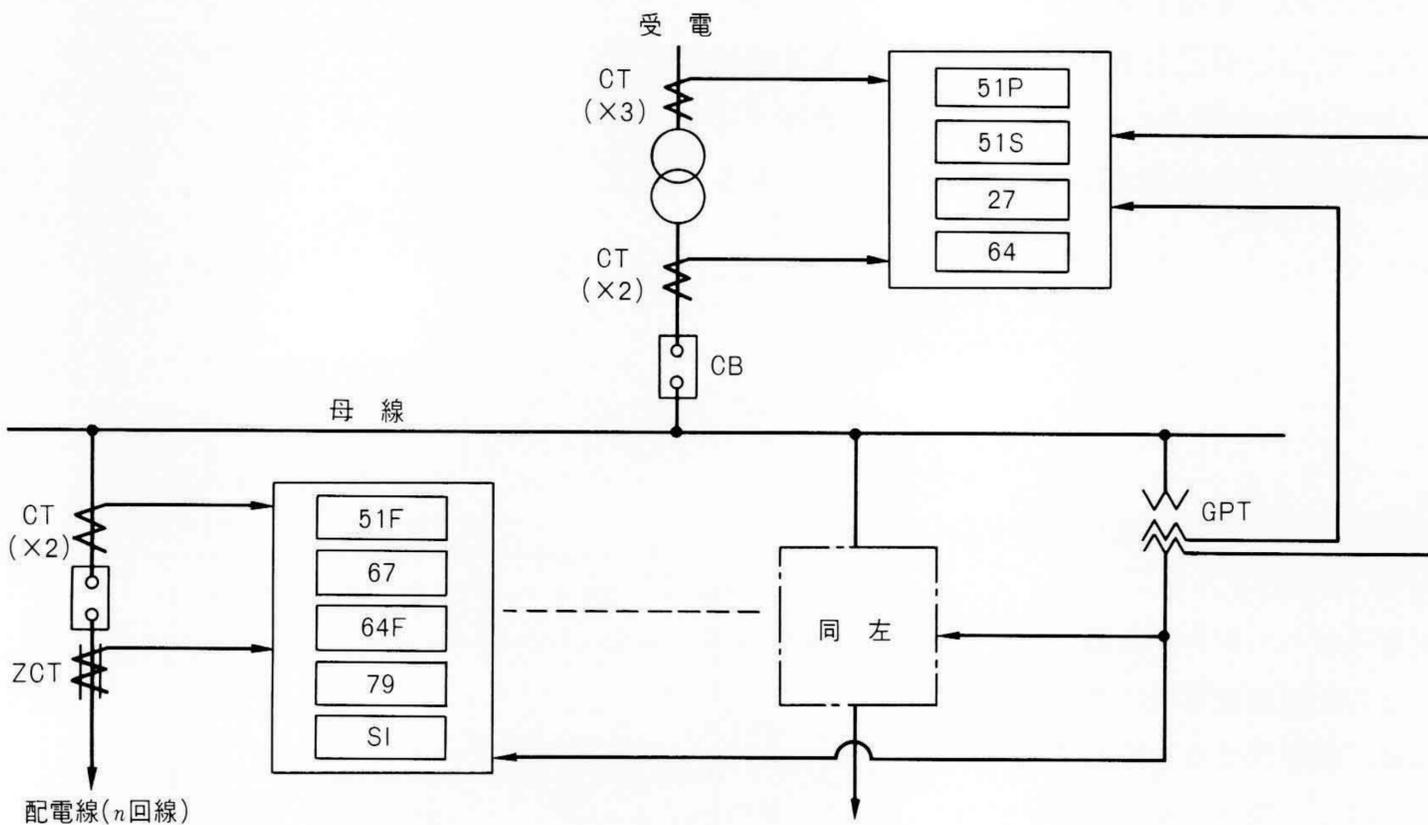
* 日立製作所国分工場

相関係を判断する地絡方向継電器(67)などが一般的に使用される。また、地絡故障を高感度で検出したいときは、微地絡検出継電器(64F)などを使用することもある。さらに、これら保護継電器の動作によって、配電線の遮断器(CB)を開放後、一定時間後に投入して、健全区間まで電力供給する再閉路継電器(79)や、健全区間の区間数を表示する区間表示継電器(SI)なども使用されている。

これら配変用保護装置をデジタル化する場合、いくつかの構成方法が考えられる。

第一の方法としては、現行の各継電器単位ごとにデジタル化する方法がある。

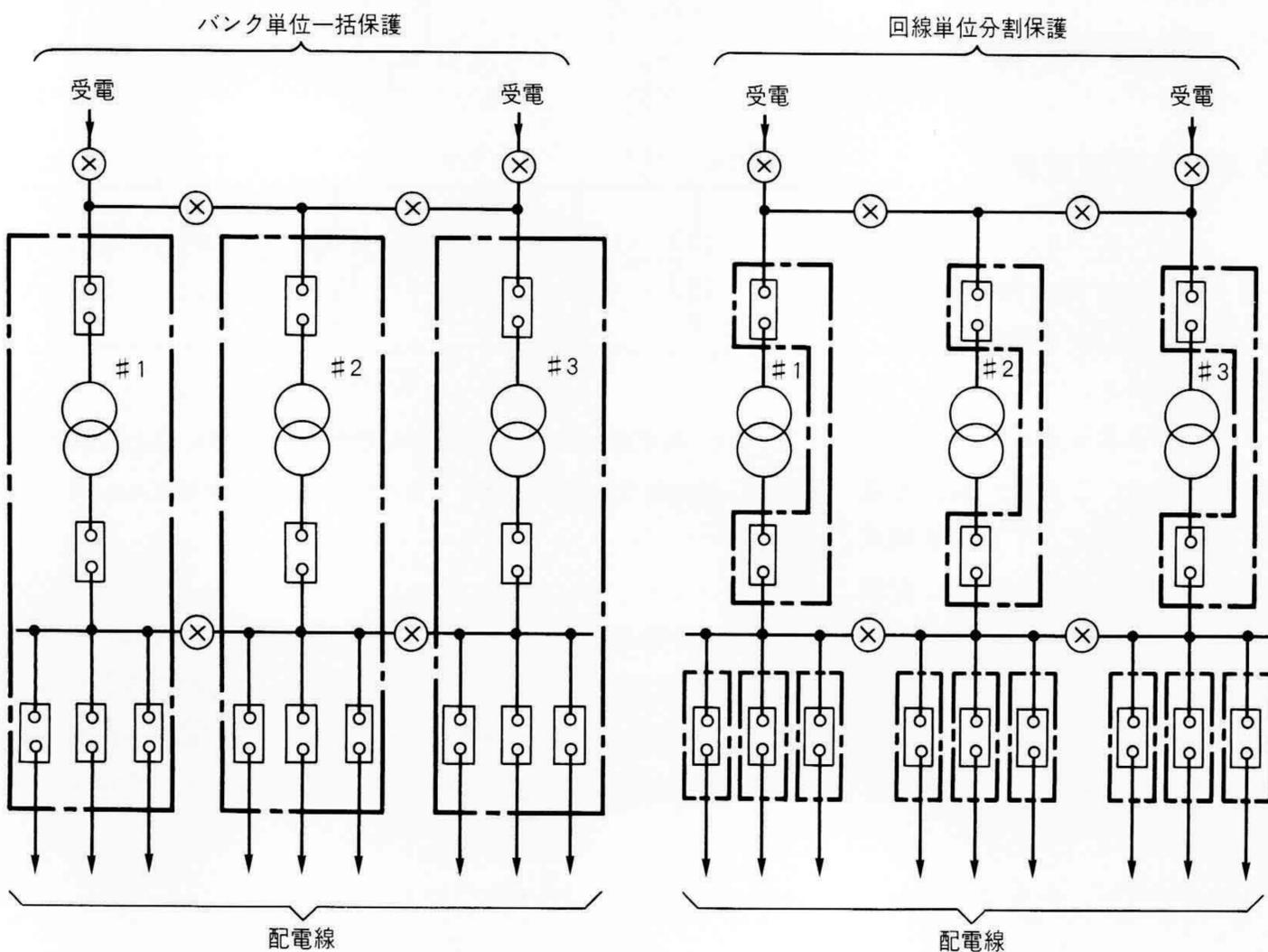
第二の方法としては、1台の主変圧器と、常時これに接続されているすべての配電線に関する保護継電器をまとめて一括処理する方法がある。



注：略語説明

- CT (電流変成器)
- GPT (接地変成器)
- ZCT (零相変流器)
- 51P (過電流継電器)
- 51S (過電流継電器)
- 27 (不足電圧継電器)
- 64 (地絡過電圧継電器)
- 51F (過電流継電器)
- 67 (地絡方向継電器)
- 64F (微地絡検出継電器)
- 79 (再閉路継電器)
- SI (区間表示継電器)

図2 配電用変電所保護リレー設置例 配電用変電所に使用される保護継電器の代表例および設置か所を示す。



注：記号説明

- (保護装置単位を示す。)

図3 配電用変電所デジタル形保護継電装置構成方式 配電用変電所保護装置の装置単位構成に関する方式例を示す。

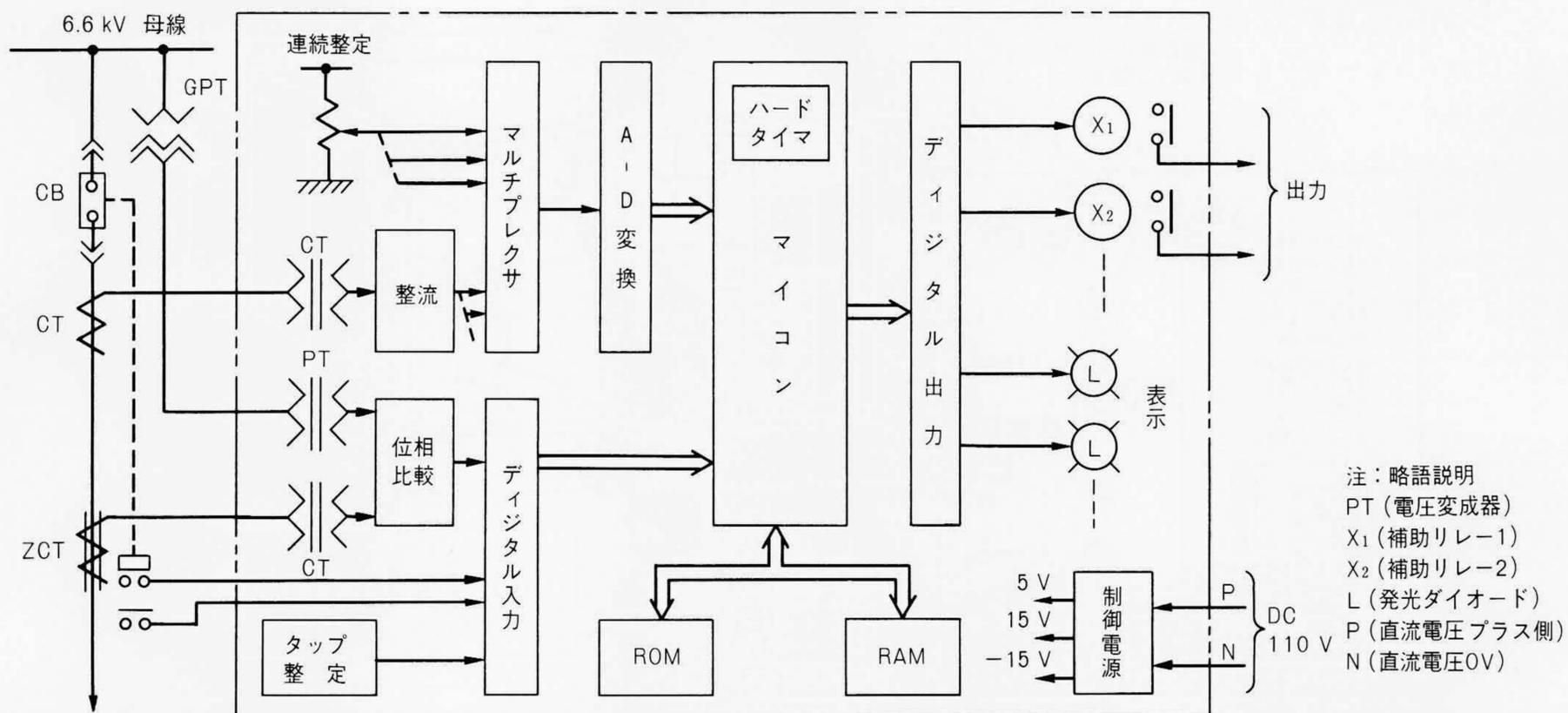


図4 ハードウェア構成 配電線単位の保護装置の内部ハードウェアブロック構成図で、アナログ入力部・整定部・演算処理部・デジタル入出力部から成る。

第三の方法としては、配電線単位ごとにまとめて処理する方法がある。

第一の方法は現行と同じ構成となるため、第二の方法と第三の方法について、その構成例を図3に示した。

第二の方法と第三の方法を比較した場合、第三の方法には次の特長がある。

- (1) 配電線単位ごとの保守が可能であることから、保守取り扱い性が容易である。
- (2) 配電線増設時は、装置単位のユニットで追加可能である。
- (3) 遮断器などの機器を収納した閉鎖形配電盤の扉にユニットを分散設置すれば、現行の保護継電器盤を大幅に縮小させることができ、盤設置面積の縮小が可能である。

これらの特長から、各変圧器ごとに1台のバンク保護ユニットを設置し、配電線単位ごとに各配電線保護ユニットを設置する第三の方法を採用した。また、制御電源も各ユニットごとに分散収納した。

2.2 ハード構成

配電線単位の保護ユニットとして製品化した装置のハードウェア構成を図4に示す。

配電線保護ユニットとして収納した保護要素は、過電流継電要素(51F)、地絡方向継電要素(67)、微地絡検出継電要素(64F)、再閉路継電要素(79)および区間表示継電要素(SI)である。

電流要素(51F)判定用の入力部は、2個の補助変流器(CT)と平滑回路を経た後、A-D変換器で、デジタル値に変換される。演算処理部は、このデジタル値から数式演算を行って、反限時特性などを実現する。

一方、地絡要素(67)の入力部は、接地変成器(GPT)からの零相電圧を補助変成器(PT)でレベル変換した波形と、零相変流器(ZCT)からの零相電流を補助変流器(CT)でレベル変換した波形の位相比較を専用回路で実施する⁴⁾。演算処理部は、この結果をデジタル入力回路を介して取り込み、この結果に従った表示や出力処理を行う。

また、64Fや79およびSI要素は、上記の要素51F出力や要素67の出力と、デジタル入力回路を介して取り込んだ外部機器の動作情報から論理判定を行って、表示や出力処理がなされる。

保護要素の判定に必要な整定には、タップ整定と連続整定の二つができるようにした。タップ整定はロータリ式のスイッチで、このスイッチのデジタル値をマイコンが取り込み、判定レベルとして使用するようにしたものであり、現行のねじタップ整定に相当する。また、連続整定は、可変抵抗器による電圧値をA-D変換して、このデジタル値によって判定できるようにしたものであり、現行のレバー整定に相当する。

演算処理部は、ハードタイマや水晶発振回路、入出力ポートなどの周辺回路を内蔵した高集積度形マイコンを中心に、プログラムメモリを格納するROM、演算データを一時的に蓄えるRAMなどから成っている。

演算処理部の判定結果は、デジタル出力回路を介して補助継電器を駆動したり、発光ダイオードによる動作表示を行う。

これら電子回路の駆動電源は5V、±15Vであり、これはDC 110Vの制御電源から、DC-DCコンバータによって得ている。

以上のハード構成は、バンク保護ユニットでも同様である。

2.3 ハードウェア構造

配電線保護ユニットの構造外観を図5に示す。

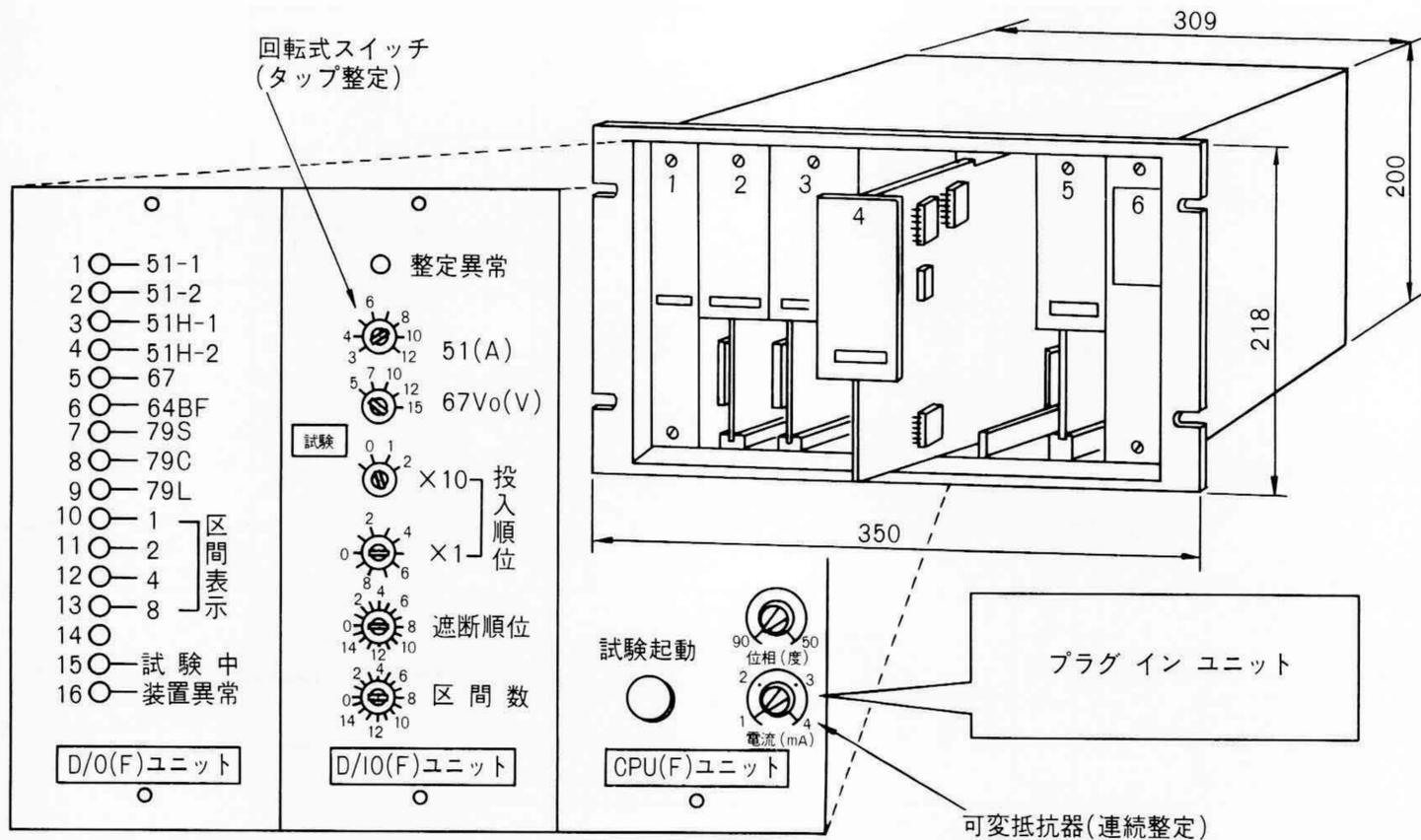


図5 配電線保護ユニットの構造外観 配電線単位の保護装置の構造外観で、引き出し構造のプラグイン6枚で構成し、前面に整定表示を配置してある。

図4のハードウェア回路を6枚のプラグインユニットで構成し、一つのケースに収納している。

No. 1のプラグインユニットは、DC110Vの制御電源から電子回路駆動用の電源を作るDC-DCコンバータを搭載している。

No. 2のプラグインユニットには、デジタル出力回路および補助継電器を搭載し、前面に動作表示の発光ダイオードを配置してある。

No. 3のプラグインユニットには、外部機器の動作情報を取り込む接点入力およびデジタル入力回路を搭載し、前面にはタップ整定の回転式スイッチを配置した。

No. 4のプラグインユニットには、マイコンを中心にROM, RAM, マルチプレクサ, A-D変換などの主要なLSIを搭載し、前面には連続整定の可変抵抗器を配置した。

No. 5およびNo. 6のプラグインユニットは、補助変流器(CT)や補助変成器(PT)と整流回路を搭載した。このプラグインユニットには、変流器回路の自動短絡機構を採用したので、プラグインユニットを抜き出した状態でも、変流器回路が開放になることはない。

なお、本ハードウェアの耐環境仕様は、現行の保護継電器と同様JEC174に準拠している。

2.4 信頼度向上策

デジタル形保護継電器の信頼度向上策は、すでに種々の文献⁵⁾で発表されている。その方法は、演算処理部がマイコンを中心に構成されていることから、この演算処理機能を活用した自己診断技術によって、装置を構成する大部分のハード

ウェアブロックの健全性をチェックする手法である。本配変用デジタル保護装置も、この方法を採用している。

すなわち、配電線保護ユニットを例にとると、前述の51F, 67, 64F, 79およびSIの各リレー機能は、共通ハードウェアである演算処理部(マイコン)が、一定間隔ごとに時分割多重処理している。このため、この一定間隔内で、リレー演算処理に要する時間以外の余裕時間を活用して、自己診断を実施している。

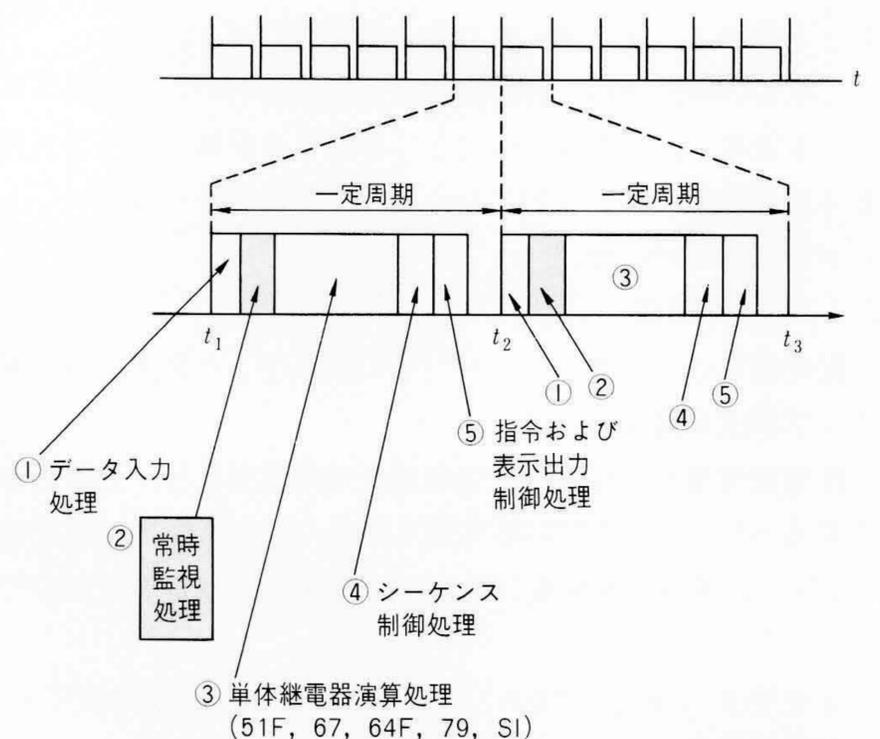
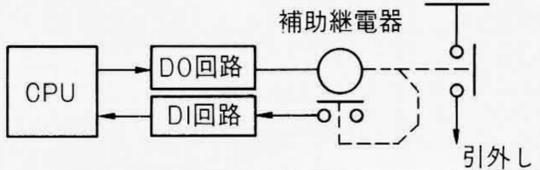
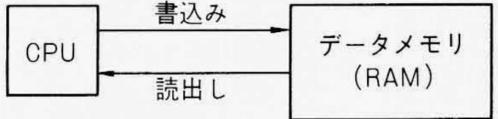
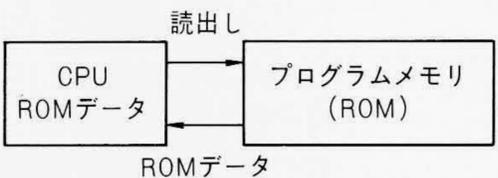
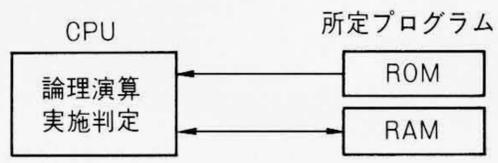
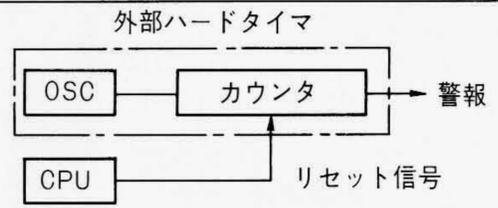
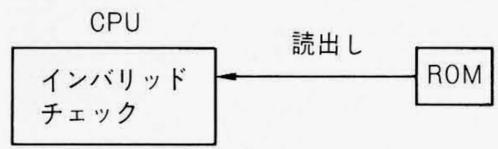
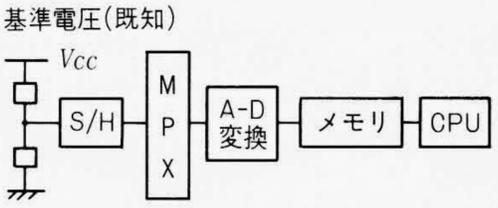


図6 演算処理タイムチャート 演算処理部(マイコン)が一定周期で処理する内容を示す。常時監視処理も一定周期内で毎回実施するため、高信頼度の維持が図られる。

表1 常時監視実施内容 常時監視処理の中で実施している具体例を示す。

No.	運用方式	実施方式	試験方法
1	DO回路 (出力回路)	引外し指令、投入指令など、重要出力に関し最終出力段補助継電器の動作をDI回路にフィードバックし、出力指令と最終出力の不一致を検出する方法である。 	出力段補助リレーを強制動作させ、監視出力の発生を確認する。
2	リード・ライト チェック	データメモリ全領域に所定データを書き込み、読み出す方法である。 	不良を模擬したRAMを実装し、監視不良の発生を確認する。
3	サムチェック	プログラムメモリ(ROM)全領域のデータの総和と、既知データを比較する方法である。 	不良を模擬したROMを実装し、監視不良の発生を確認する。
4	既知固定プログラム 演算チェック	既知固定プログラムによって演算を実行し、所定の演算結果を得ることを判定する方法である。 	誤った答を用意し、所定の演算結果との不一致を発生させ、監視不良を発生させる。
5	ウォッチドック タイマ	プログラム終了時一定時間ごとにCPUから外部ハードタイマにクリア信号を出力することによって、プログラムの停止、暴走を監視する方法である。 	CPUのクロックを停止させ、監視不良を強制的に発生させる。
6	インバリッド チェック	命令語として定義されたビット構成以外の未定義命令語(インバリッド)の有無を、命令語の読み出し時にチェックする方法である。 	未定義命令を書き込んだROMを実装し、監視不良の発生を確認する。
7	A-D精度 チェック	高精度の既知直流電圧をS/Hの前から印加し、CPU部で入力データ値のチェックをする方法(特性チェック)である。 	基準電圧を変化させ、監視不良の発生する基準電圧を測定する。

注：略語説明 DO (デジタル出力), DI (デジタル入力), S/H (サンプル・ホールド), OSC (発振回路), MPX (マルチプレクサ)

この演算処理のタイムチャートを図6に示す。

このように、デジタル形の場合は単体リレーの出力を監視するアナログ形と異なって、一定周期ごとに常にハードウェアのブロック単位を監視する方法であり、リレー機能を中断せずに行うことができる。本配変用デジタル保護装置が実施している常時監視機能をまとめて表1に示す。

表1に示した内容は、マイコンの自己診断機能が、わずかなハードウェア追加によって大部分のハードウェアブロックを常時監視できていることを示している。

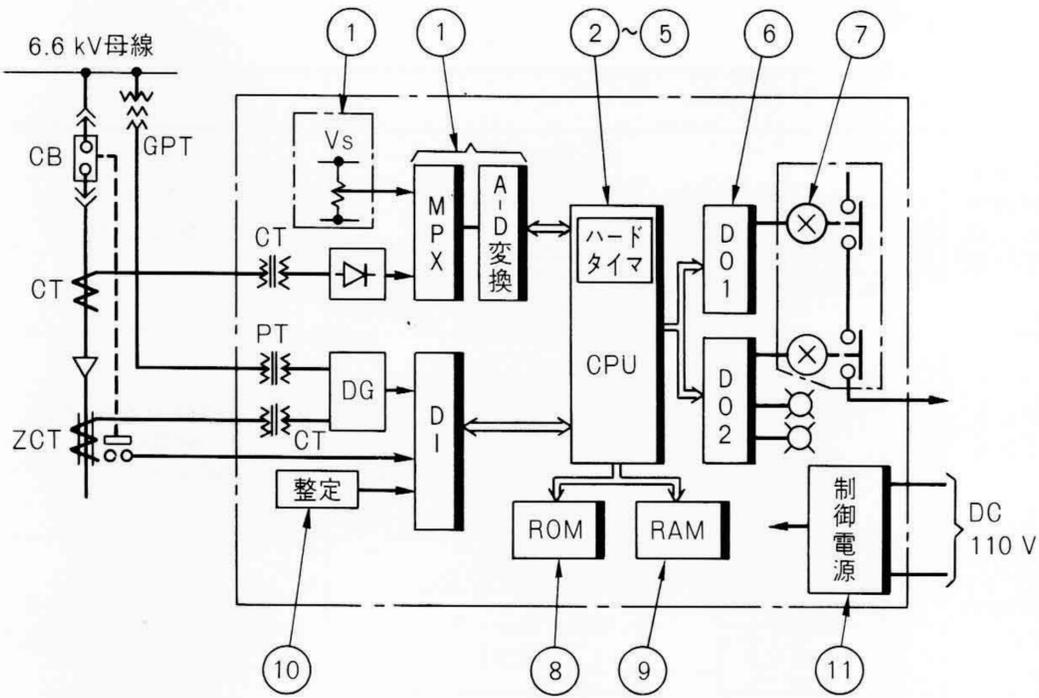
しかし、デジタル出力回路および補助継電器の出力部は、単一部分不良で直ちに誤動作となることから、自己診断機能だけでは不十分であり、この対応策として遮断器引外し出力の二重化を行っている。例えば要素51Fの場合、整定値以上で

瞬時に動作する故障検出継電器を一つの補助継電器に対応させ、限時動作の主検出継電器を他の補助継電器に対応させて、故障検出継電器の出力と主検出継電器の出力をAND条件にすることで引外し回路を構成している。

また、本装置はマイコンを中心とした電子部品が主体であり、これを正常に動作させるためには規定の電源が必要なことから、DC-DCコンバータの不具合を検出するための電源監視を行っている。監視不良時は直ちに出力ロックを行うようにしてある。

以上、信頼度向上策として実施している内容と各ハードウェアのブロック対応との関係を図7に示す。

以上の内容を実施して、製品化した配変用デジタル保護継電装置の外観を図8に示す。



注：略語説明
 DG (地絡方向検出回路)
 X (補助リレー)

ハードブロック	信頼度向上策
①	入力部(A-D)変換
②	ハードタイマ
③~⑤	CPU部
⑥,⑦	出力部
⑧,⑨	ROM, RAM
⑩	整定部
⑪	制御電源

図7 信頼度向上策とハードブロック対応 常時監視実施内容とハードブロックとの対応を示す。ハードブロックごとに常時監視を実施しており、全ハードブロックを対象としている。

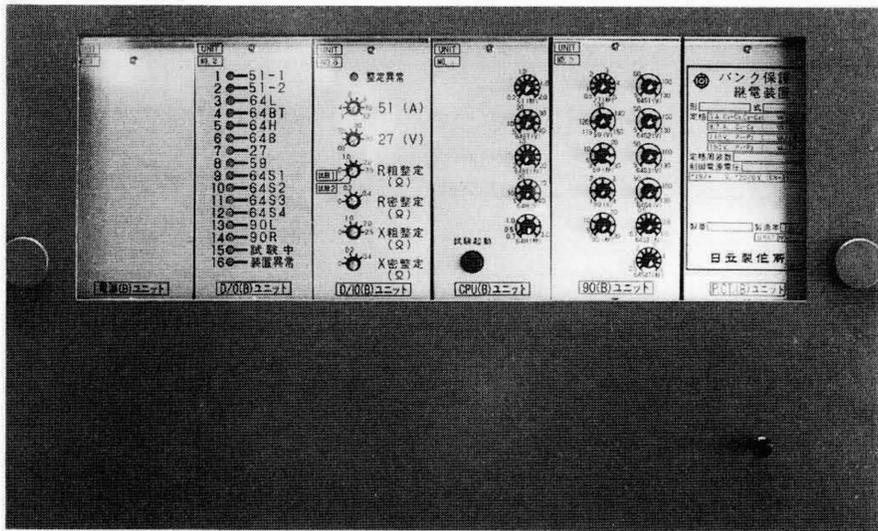


図8 配電用変電所デジタル保護継電装置の外観 保護機能の複合化によって大幅に小形化されている。

表2 デジタル形とアナログ形の比較 アナログ形に比べて、精度・機能・保守性・信頼性いずれの面でも向上している。

No.	項目	アナログ形電圧調整継電器 (SV-W-4SA)	デジタル形電圧調整継電器 (DV-W-S2)
1	動作値精度	±1.0%	±0.5%
2	基準電圧整定ピッチ	1Vステップ	0.5Vステップ
3	基準電圧遠方整定機能	継電器とは別に盤で実装	遠方からの指令によって、基準電圧を-3%、-5%に変更できる。
4	電圧表示機能	なし	現在電圧値を4けたの数字表示器によって表示する。
5	不足電圧・過電圧ロック機能	ロック機能なし	ロック機能付き
6	プログラムコントロール機能	継電器とは別に盤で実装	継電器に内蔵 整定：12段12回 2パターン (平日モード・休日モード)
7	変圧器タップ切換機構部の摩耗保護機能	なし	自動整定変更機能 系統電圧制御目標とタップ切換頻度目標の相反する両目標を、最適なものとするように自動的に整定値を変更する。
8	1タップ切換時の電圧変化確認機能	なし	66応答時の実効値-昇降指令時の実効値 が連続して1タップの電圧変動範囲内がないとき、警報を出力する。
9	電圧監視機能	なし	平均電圧が目標値に対し±2%または±3%以内にあることを常時監視し、超過した場合は警報する。
10	電圧記録機能	なし	過去24時間の電圧値を記憶しており、プリンタを接続することで過去の電圧状態を印字する。

3 デジタル形電圧調整継電器

3.1 開発の背景と特長

需要家に対する適正な供給電圧レベル維持を目的として、従来はアナログ形の電圧調整継電器⁶⁾が広く用いられてきた。しかし、このアナログ形電圧調整継電器は精度や保守調整の面で、現在のニーズに対し必ずしも十分に満足すべき性能を備えているとは言えない状況となってきた。

このため、今回、高集積度形のマイコンを用い、デジタル技術を駆使することで前章の配電用変電所デジタル形保護継電装置と同様、保守点検の省力化および機能一体化による小形化を目的として、デジタル形の電圧調整継電器を開発した。

このデジタル形電圧調整継電器には、次のような特長を持たせた。

(1) 精度・性能

従来のアナログ形(日立製作所製SV形W-4SA)と比較して、表2に示すように高精度・高機能化した。

(2) 保守性

デジタル回路は経年変化がないことから、定期的な保守調整がほとんど不必要となり、無保守化を実現した。

(3) 信頼性

配変用デジタル保護装置と同様、マイコンの自己診断機能を利用した自動監視機能を充実させることで高信頼度設計とした。

3.2 主な機能

(1) 電圧制御機能

系統電圧を、あらかじめ指定された電圧に維持するよう、昇降指令で負荷時電圧調整器や負荷時タップ切換変換器などを自動的に制御する。このときの動作判定は次のようにして行う。

系統電圧の実効値を100 msごとに取り込み、この値 V_{AD} と基準電圧 V_s との偏差 ΔV を

$$\Delta V (\%) = \frac{V_{AD} - V_s}{V_s} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

として求め、この ΔV を T 秒間常時積分 $\int_{t_n}^{t_n+T} \Delta V dt$ する。この積分結果と積分定数(積分時間整定 $\times 10\%$)を比較し、昇降指令の可否を判断する。したがって、動作時間特性は図9のとおりとなる。ここで不感帯整定値とは、本装置が動作で

きる偏差 ΔV の最小値を表している。

(2) 自動整定変更機能

理想的な電圧制御は、一定時間(例えば30分間)の平均電圧が常に基準電圧の管理幅(例えば $\pm 2\%$)以内にあり、かつタップ切換頻度が規定値以内にあることである。前者は系統電圧制御目標であり、後者はタップ切換機構の寿命的な問題である。

電圧調整継電器の不感帯整定・積分時間整定が不適切であると、上記制御目標が達成できなかつたり、極度に切換回数が多くなつたりする。このため本デジタル形電圧調整継電器では、表3に示すような自動整定変更機能を付加した。

(3) 基準電圧プログラム制御機能

本装置前面の整定機構によって、二つのモードについて、それぞれ1日を12分割し、各時間帯とそのときの基準電圧をあらかじめ整定できるようにした。

(4) 電圧記録機能

過去24時間の電圧を記憶しており、オプションであるプリンタを接続すれば、この記憶電圧と現在の整定値を印字記録できるようにした。

(5) 常時監視機能

本装置の信頼性を高めるため、継電器自体のハードウェア異常検出に対しては、前章の配電用変電所デジタル保護装置と同様な常時監視機能を具備させた。さらに、本継電器の制御対象である外部機構部の異常検出も行う常時監視機能を具備させた。

この外部機構部異常検出の代表的なものとして、タップ切

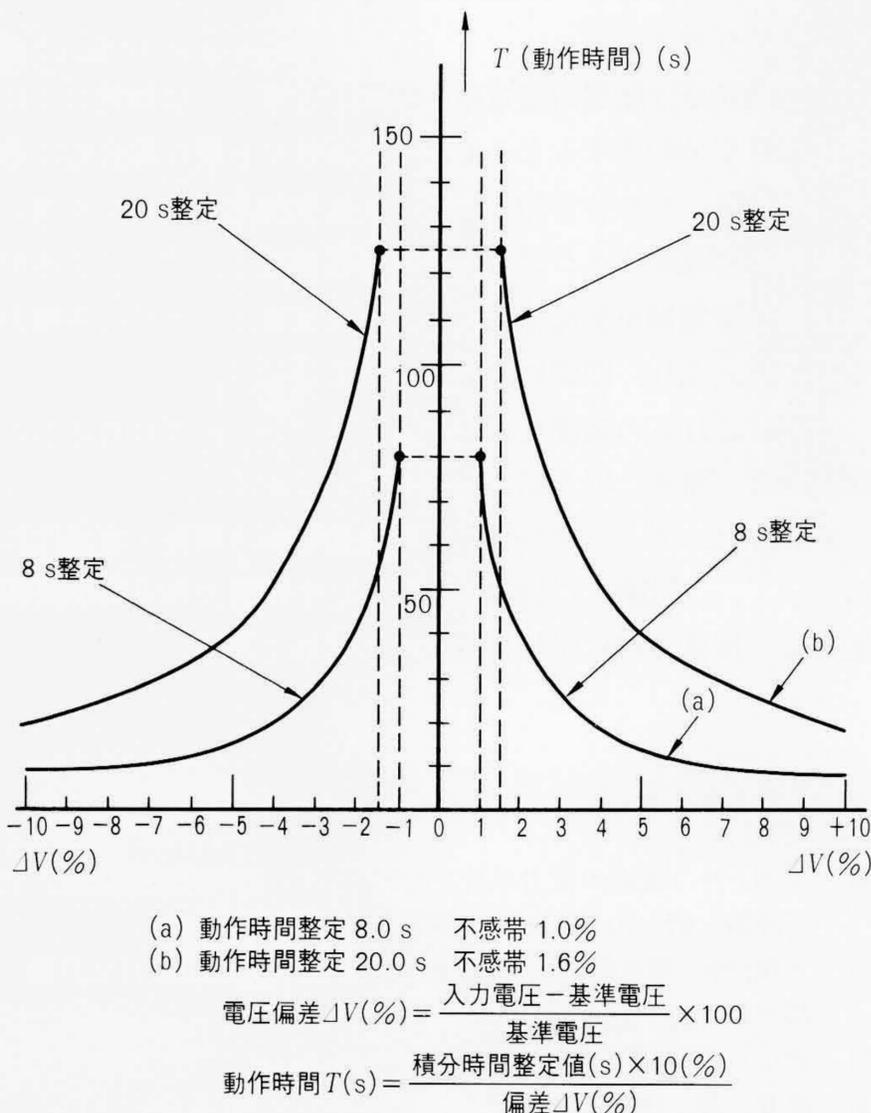


図9 動作時間特性 常時積分方式のため、動作時間は反限時特性となる。

表3 自動整定変更機能 系統電圧制御目標とタップ切換機構の寿命目標の両目標を達成するよう、継電器内部で自動的に整定値を決定する。

30分平均電圧	タップ切換頻度/日	判断	制御または表示
基準電圧 $\pm 2\%$ 未満	50回未満	制御結果良好 不感帯, 積分時間整定 現状維持	無制御, 無表示
	50回以上	不感帯, 積分時間が 高感度すぎる。	低感度化制御 不感帯: 0.2% 積分時間: 1s
基準電圧 $\pm 2\%$ 以上	50回未満	不感帯, 積分時間が 低感度すぎる。	高感度化制御 不感帯: 0.2% 積分時間: 1s
	50回以上	制御不可能	「調整限界」を表示 する。 整定値は前日のま まで制御する。

換チェックがあるが、これは本継電器の昇降指令に応じてタップ切換部が動作し、その結果、変圧器二次電圧が1タップ分変動することに着目してチェックするようにしたものである。すなわち、昇降指令の前後で1タップ分の電圧変動がない場合は、タップ切換部の異常と判断し警報表示する。

3.3 構造および外観

本継電器は、整定表示器、電源・入力プリント板ユニット、演算プリント板ユニット、出力補助継電器、ノイズフィルタなどを一体化した内部要素を外ケースに収納した引き出し構造である。

前面の整定表示パネル外観を図10に示す。整定および表示はすべてデジタル方式とし、下記のブロックから構成した。

(1) 常時監視異常表示部

常時監視機能を実施した結果、異常と判断されたとき、それぞれの内容に応じて発光ダイオードが点灯する。

(2) 動作表示部

昇降指令などの動作状況を表示する。

(3) 運転表示部

接点入力による外部からの運転指示状態を表示する。

(4) 整定表示部

現在時刻、現在電圧、現在整定値などの表示や、整定変更時の整定値および単位を表示する。

(5) 切換スイッチ部

表示内容の指示やプリンタの起動を指示する。

(6) 操作キー部

整定表示操作を行う場合のファンクションキーである。

(7) 選択表示部

整定操作時は整定項目の内容を示し、表示操作時はデジタル数字表示器の表示内容を示す。

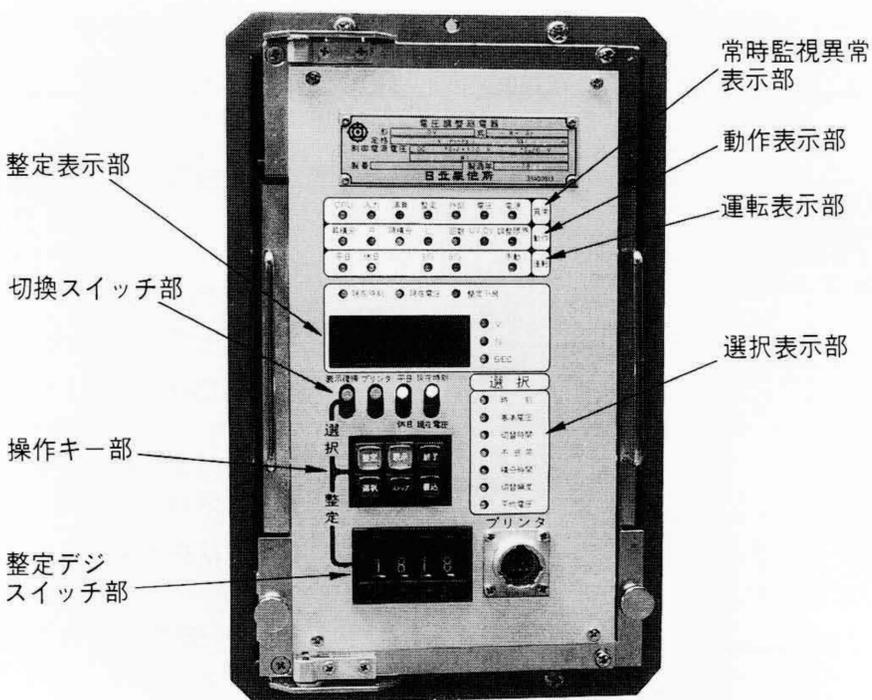


図10 整定表示パネル外観 整定および表示はすべてデジタル方式で、前面パネルに配置している。

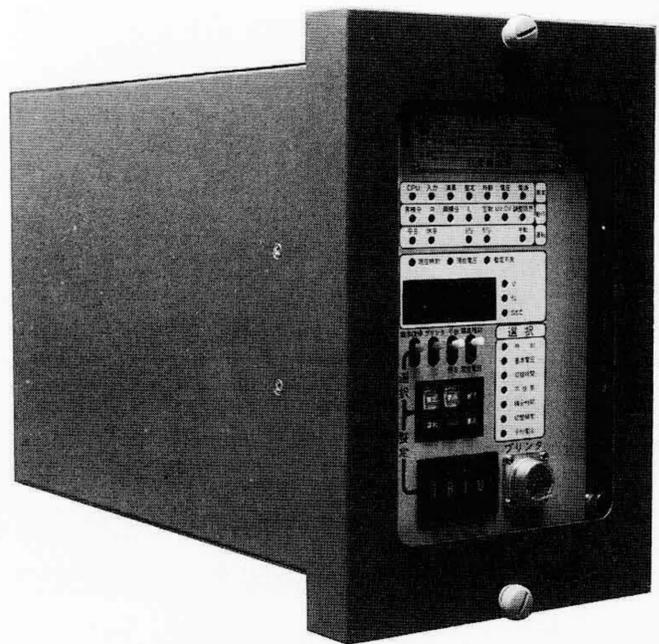


図11 デジタル形電圧調整継電器外観 現行のアナログ形とほぼ同じ大きさで、電圧制御機能のほかに、プログラムコントロール機能や電圧記録機能が内蔵されている。

(8) 整定デジスイッチ部

整定操作時の整定値設定に使用する。

本デジタル形電圧調整継電器の外観を図11に示す。

4 結 言

電力系統の保護制御装置は、今後もますますデジタル化されていく方向にあり、配電用変電所の装置もその適用対象となってきた。

日立製作所は配電用変電所の特徴を考慮し、信頼性および保守性に十分配慮するとともに、経済性にも優れ総合的に適用効果の高いものを目的として、高集積度形マイコンを用いた配電用変電所デジタル形保護継電装置と、デジタル形電圧調整継電器を製品化した。これら装置は、すでに各電力会社に納入され、順調に稼動中である。

今後はこれらの装置を基に、より多くのニーズに対応した改良および開発に取り組んでいく考えである。

終わりに、デジタル形電圧調整継電器の開発・実用化に当たって、ご討議、ご指導いただいた中部電力株式会社制御通信部の関係各位に対し、深謝する次第である。

参考文献

- 1) 三木, 外: 最近の電力系統でのデジタル形制御保護装置, 日立評論, 65, 5, 333~338(昭58-5)
- 2) 久保, 外: 電力系統制御・保護システムの技術動向, 日立評論, 70, 8, 863~870(昭63-8)
- 3) 中山: 保護継電システム, 電気書院(昭49)
- 4) 渡井, 外: 保護継電器のハードウェア(2), 電気書院(昭56)
- 5) 電気協同研究会: デジタルリレー, 電気協同研究第41巻, 第4号(昭61-1)