

計算制御式自動操作装置

Computer Control Equipment for Automatic Restoration and Operation of Substation

佐倉 藤吉* 溝口 強** 浴 百合雄**
 Tokichi Sakura Tsutomu Mizoguchi Yurio Eki
 坪井 宏文** 野原 哈夫***
 Hirohumi Tsuboi Haruo Nohara

要 旨

電力用変電所における事故時復旧操作および定常時の系統切換操作などの一連の電力系統操作を自動的に
 行なう計算制御式自動操作装置を開発した。本装置の適用にあたっては変電所の操作内容を検討し安全、確
 実で信頼度の高いシステム構成とするとともに、ソフトウェアにはプログラムカセット方式を採用し系統変
 更に容易に対処できるようにした。

1. 緒 言

わが国における電力需要の増加は著しく、系統規模は拡大の一途をたどっており、産業界や一般家庭の電力への依存度が高まるにつれて、供給信頼度の向上は従来にまして強く要求されている。一方、これに伴い電気所の運転業務は複雑多岐となり給電指令や運転員の判断による手動操作で高い供給信頼度を維持することは困難になりつつある。

変電所の業務には、電力系統に事故が発生したとき、迅速、確実にもとの状態に復旧するための事故復旧操作と、電力系統機器の停止、復旧および系統切換などの定常時操作とがある。この両者を含めた操作を自動化し、電力系統運転業務の合理化を推進する必要がある。

今回小形制御用計算機を中核とし、これらの操作を自動的に
 行なう計算制御式自動操作装置を開発した。

本装置は、中部電力株式会社清水変電所および岩塚変電所に納入され良好な実績を収めている。以下、操作の内容、装置の動作および構成、計画上の留意点、ソフトウェアシステムについて述べる。

2. 変電所自動操作方式

変電所機器は電力系統の種々の条件を総合的に判断して操作する必要がある。誤った操作を行なうと系統擾乱(じょうらん)を誘引し、ときには大停電事故に発展するおそれもある。したがって非常に高い操作信頼度が要求される。

また電力需要の増大に伴い年々電力系統の増強が行なわれるため自動操作装置は系統変更に対して融通性の大きいことが必須条件となった。

以上の理由から今回開発した装置には、信頼度が高く高度にIC化された制御用小形計算機HIDIC-100⁽¹⁾を採用し変電所の事故時復旧操作、定常時の系統切換操作、作業時の停止復旧操作を対象とし、系統変更に対してはプログラムの変更で容易に対応できるようにした。

操作対象機器はしゃ断器、線路開閉器および負荷時タップ切換器付変圧器のタップなどである。

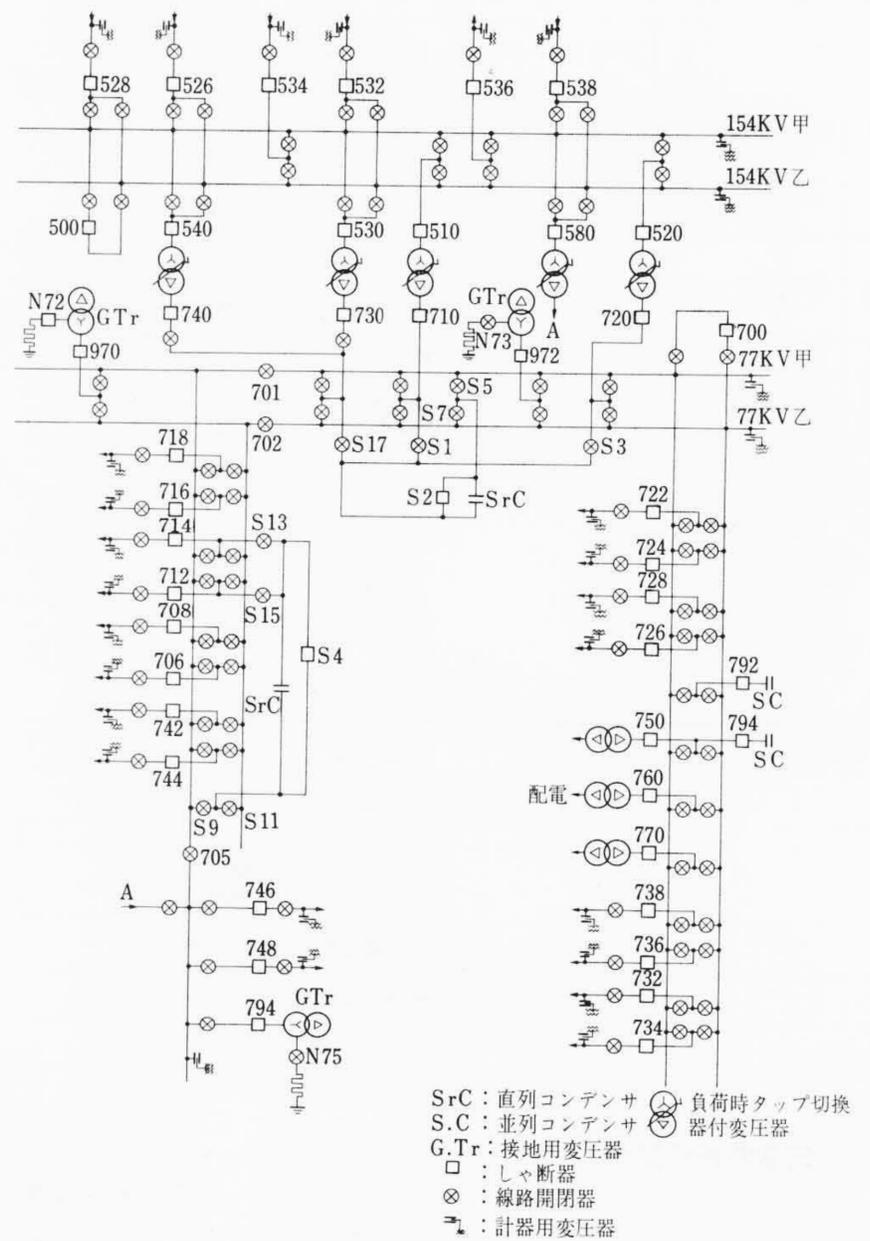


図1 単線接続図

図1は今回納入した中部電力株式会社清水変電所の系統図であり、その操作対象設備は次のとおりである。

- 送電線 154kV 6回線, 77kV 18回線
- 主要変圧器 154kV/77kV 5バンク 計540MVA
- 配電用変圧器 77kV/6kV 3バンク 計29MVA
- 直列コンデンサ 2バンク
- 並列コンデンサ 2バンク
- 接地変圧器 3バンク
- 対象しゃ断器 42台
- 対象線路開閉器 105台

* 中部電力株式会社
 ** 日立製作所大みか工場
 *** 日立製作所日立研究所

2.1 事故時復旧操作方式

事故時復旧操作は供給支障時間を短縮することが目的である。したがって保護リレー装置の動作により事故種別、事故個所などを正確に把握(はあく)し、しかる後に系統条件および対象機器によりそれぞれに適した操作手順と表1に示すような操作条件に基づいてしゃ断器を入、切操作する。

なお操作に際しては、電源端から負荷端に向かって順次復旧していくこと、永久事故点に対する強行送電は1回にとどめること、異系統並列を確実に防止することなど自動化によってかえって系統擾乱や危険を与えないように考慮を払っている。

また系統や電気所設備および供給支障の度合などを十分考慮して各操作の間には順位を設け、系統立った操作を行なう必要がある。表2は以上の点を考慮して事故時操作の内容を優先順位をつけてまとめたものである。

表1 しゃ断器投入操作条件一覧表

No.	項目	投入操作条件	備考
1	154kV回線 受電線	① V_B なし, V_L あり, 隣C.B切 ② V_B あり, V_L あり, 隣C.B入, V_0 なし, F健全, 同期	線路事故, 全停復旧
	送電線	① V_B あり, V_L なし V_0 なし, F健全 ② V_B あり, V_L あり V_0 なし, F健全, 同期	
2	77kV回線	① V_B あり, V_L なし V_0 なし, F健全 ② V_B あり, V_L あり V_0 なし, F健全, 同期	線路事故, 試開放復旧
3	主要変圧器2次	① 154kV, V_B あり, 77kV, V_B なし 154kV, V_0 なし, 154kV, F健全 ② 154kV, V_B あり, 77kV, V_B あり 154kV, V_0 なし, 154kV, F健全, 同系統	全停復旧
4	並列コンデンサ	V_B あり V_0 なし, F健全	試開放復旧

注 V_B : 母線電圧
 V_L : 線路電圧
 V_0 : 零相電圧
F : 周波数
CB : しゃ断器

表2 事故時操作一覧表

操作優先順位	項目	操作内容
1	構内事故	母線事故, 主要変圧器事故時操作ロック
2	全停電事故	全停電直後のしゃ断操作 変電切換, 変電併用操作 負荷復旧操作, 予備復旧操作
3	緊急負荷しゃ断	電源確立後の順次復旧操作
4	線路事故しゃ断	線路復旧操作
5	地絡試開放	零相電圧消滅後の順次復旧操作

2.2 定常時系統操作

定常時の系統操作は、設備の点検、補修あるいは系統安定運用上の必要性、送電損失の軽減、電圧調整などによりしゃ断器、線路開閉器の開閉、負荷時タップ切換器付変圧器のタップの上げ、下げ操作を行なうものである。

これらの操作は一般的にある時間帯に集中しやすく、かつ確認項目が多く、複雑な操作になればなるほど単位操作数も多く、操作に要する時間も長くなる。したがってこれらの操作を目的に応じて運転員が一括指令することにより、自動的に機器の状態、電圧条件などを総合的に判断して操作し、省力化と操作時間の短縮を図ろうとするものである。

表3は、本装置で行なう定常時系統操作の内容をまとめたものである。

2.3 操作時間

事故時操作および定常時系統操作のいずれにおいても迅速な操

表3 定常時操作一覧表

No.	項目	操作内容
1	線路停止, 復旧操作	回線ごとに停止, 復旧させるものでCB, 線路側L.S, 母線側L.Sの開閉を実施する一連操作
2	母線停止, 復旧操作	母線停止: 停止母線に接続されている線路などを運転母線に無停電切換する 母線復旧: あらかじめ定められたパターン指定により復旧する
3	母線事故, 復旧操作	母線事故個所を除外し健全母線へ停電切換する
4	ブスタイ停止, 復旧操作	ブスタイのC.B, L.Sの開閉を実施する
5	変圧器の停止復旧操作	変圧器の一次および二次側のC.B, L.Sの開閉を実施する一連操作
6	配電用変圧器の停止復旧操作	配電用変圧器の一次側のC.B, L.Sの開閉を実施する一連操作
7	接地変圧器の停止後復旧操作	接地変圧器のC.B, L.Sの一連操作
8	直列コンデンサの停止, 復旧操作	直列コンデンサのC.B, L.Sの一連操作
9	並列コンデンサの停止復旧操作	並列コンデンサのC.B, L.Sの一連操作

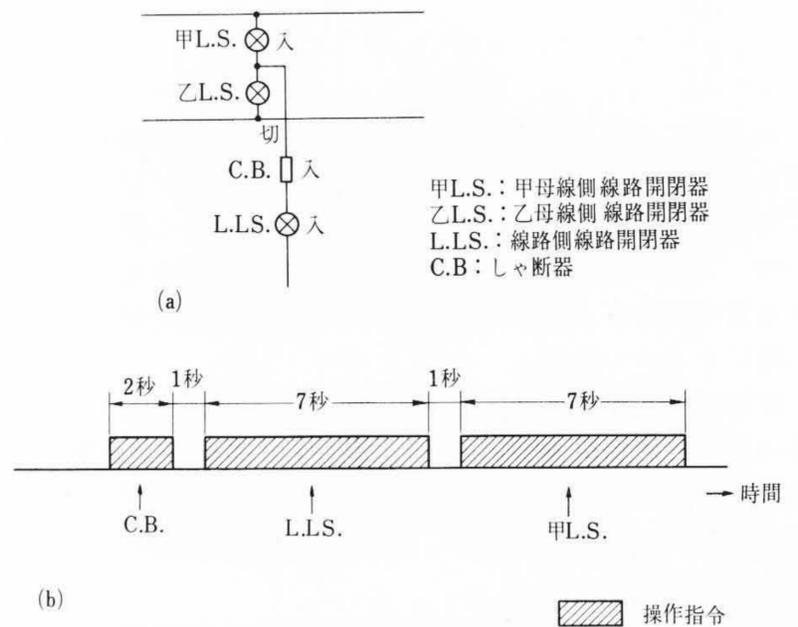


図2 線路停止操作のタイムチャート

作が要求される。

事故時操作においては、しゃ断器の動作責務を守り次の操作を原則としている。

- (1) しゃ断器投入後120秒経過すると準備完了とする。
- (2) 無電圧時間は60秒とする。
- (3) 操作条件確認時間は2秒とする。
- (4) 操作指令は不完全操作を防止するため2秒継続とする。

しかし、供給支障時間を短縮するため、全停電操作や地絡試開放復旧操作などは、大きな故障電流のしゃ断を行なわないため無電圧時間をとらないことにしている。また高速度再閉路形しゃ断器に対しては120秒の準備時間をとらないことにしている。

一方、定常時系統操作においては機器の動作時間のみが問題であり、図2に示すように線路停止操作の場合にはしゃ断器2秒、線路開閉器7秒の操作指令を出すことにしている。なおしゃ断器の投入には事故時操作と同様に投入条件の確認を行なうことになる。

2.4 優先操作方式

変電所の操作には多数の機器を対象として、事故時操作のように機械のみによる操作と定常時系統操作のように人間が介在する操作および手動操作がある。しかもこれらの操作は、電気所全体の情報を総合的に判断して行なうためあらかじめ定められた順位に基づいて実施する必要がある。

本装置の優先順位の思想は次のとおりである。

- (1) 手動操作を最優先とし、緊急時の操作を妨げない。
- (2) 事故時操作は定常時系統操作に優先する。
- (3) 事故時操作中、上位の操作が完了しない間は下位の操作には進まないものとする。
- (4) 事故時操作中、同一順位内に多数の回線がある場合、上順位回線の条件が不成立のとき下順位でもさきに投入条件が成立した回線から復旧することができる。
- (5) 操作対象機器の状態が指令内容とすでに一致している場合、またはロックされている場合にはその対象を飛び越して次の操作対象に移ることができる。

3. 装置の構成

3.1 装置の構成

図3は本装置の構成を示すもので、制御用電子計算機を中核とする論理判断処理をつかさどる計算制御部と電力機器と計算制御部との仲介をする入出力制御部とによって構成されており、おのこの機能は次のとおりである。

- (1) 計算制御部
 - (i) 中央処理装置

論理判断処理の中核をになうものであり、制御用電子計算機HIDIC 100本体である。
 - (ii) プロセス入出力装置

中央処理装置と入出力制御部との情報の授受をつかさどる装置でアナログ入力(AI)、デジタル入力(DI)、デジタル出力(DO)、割込み入力(ILSW)より成る。
 - (iii) コンソール入出力装置

主としてプログラムの変更、調整を行なうときに使用するもので、万能入出力装置と光電式紙テープリーダから構成されている。このほか操作内容の印字記録にも使用されている。
- (2) 入出力制御部
 - (i) 入力変換部

電力機器より情報を受けて計算制御部に適する信号に変換する部分で、そのおもな回路はアナログ変換回路、周波数検出回路、同期確認回路、全停電検出回路および保護リレーの動作信号や機器の開閉状態を変換する入力変換回路より構成される。
 - (ii) 出力変換部

計算制御部の論理判断結果に基づいて電力機器を操作する信号に変換する部分と、計算制御部の障害により直ちに誤操作に至らないように設けた外部確認回路より成る。
 - (iii) オペレータコンソール

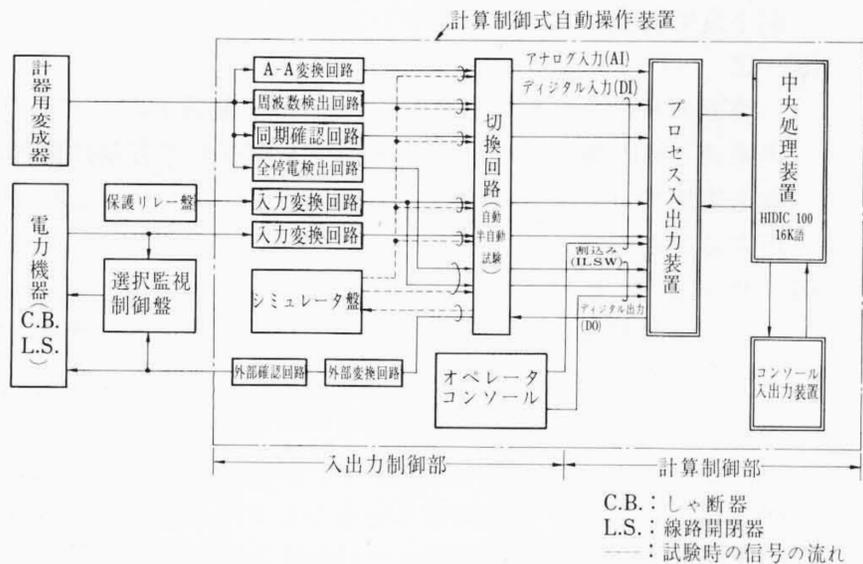


図3 計算制御式自動操作装置構成図

表4 中央処理装置(CPU)仕様

項目	仕様
演算方式	2進並列
プログラム	ストアードプログラム
アドレス方式	インダイレクト指定 インデックス修飾可能
主記憶装置	コアメモリ 4K, 8K, 16K語 サイクルタイム 2μs
優先割込レベル	最大8(レベル)×16(要因)
語長	16ビット+1パリティビット
演算速度	加減算 16.5μs

表5 プロセス入出力装置仕様

項目	仕様	
アナログ入力	A-D変換器	逐次比較形 AD変換
	入力種別	0~+10V
	最大走査速度	100点/秒(同一点については10点/秒)
デジタル入力	方式	バス方式
	最大読込速度	200×16点/秒
デジタル出力	方式	ホールド方式(レジスタ出力)
	最大送出速度	10,000×16点/秒
割込み入力	信号	独立a接点
	トリガ条件	接点開→閉

表6 アナログ量の判定基準一覧表

用途	判定基準	備考	
電圧検出	健全電圧	90V以上	入力電圧が $\frac{110V}{\sqrt{3}}$ の場合は $1/\sqrt{3}$ 倍の値となる
	母線電圧	電圧低下 85V以下	
	線路電圧	無電圧 35V以下	
同期確認	位相差	15°	
周波数検出	健全周波数	59.5Hz以上	
	周波数低下	59.0Hz以下	
零相電圧検出	25V以上		
全停電検出	35V以下	5秒継続	
	85V以下	50秒継続	

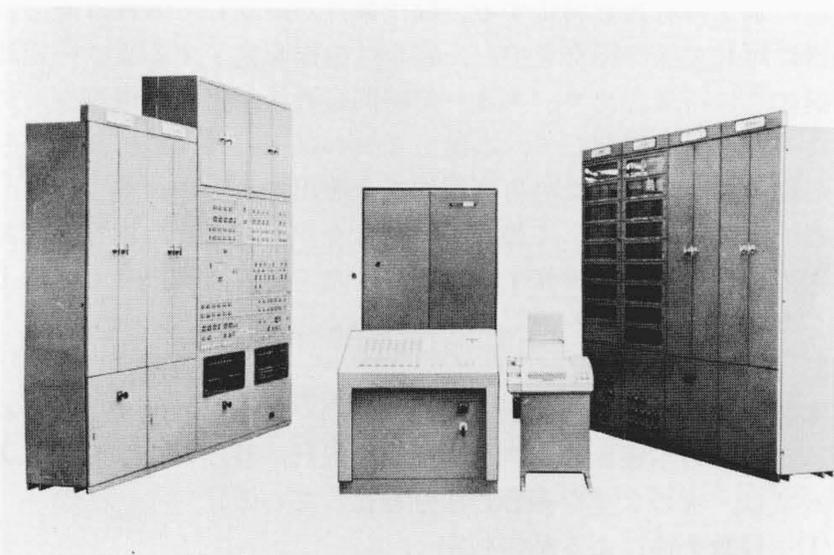


図4 計算制御式自動操作装置

本装置を運転操作する部分で機械と運転員との情報交換をつかさどる機能を持ち、表示器およびスイッチ類で構成されている。

(iv) シミュレータ装置

模擬系統の設定、電圧、周波数などの設定により実系統を模擬し本装置の動作をシミュレートする装置である。

図4は本装置の外観であり、その主要部の仕様は表4~6に示すとおりである。

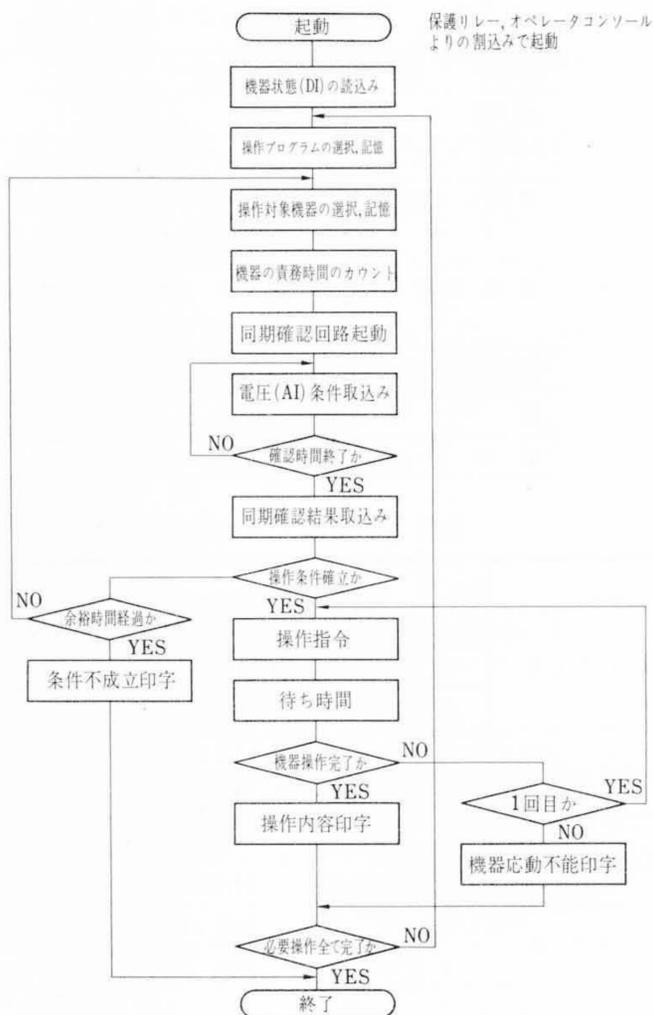


図5 計算制御式自動操作装置動作流れ図

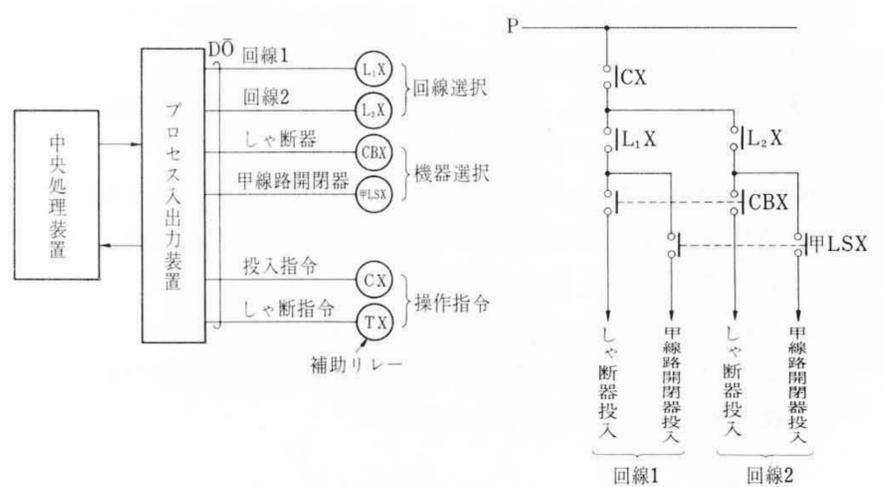


図6 複数条件組合せの一例

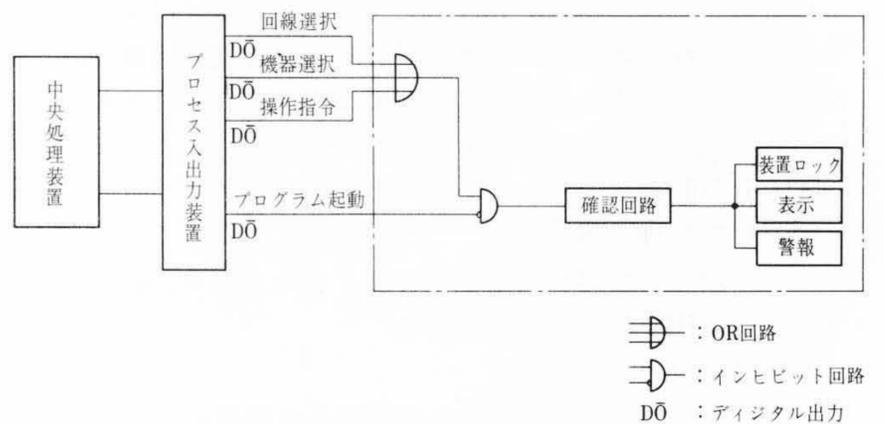


図7 デジタル出力の常時監視回路

3.2 動作の概要

図5は本装置の動作流れを示したものである。保護リレーの動作信号または運転員によるオペレータコンソールの操作割込みにより本装置は起動する。まずデジタル入力を走査し、操作プログラムおよび操作対象機器を選択しテーブルに登録記憶する。必要に応じて無電圧時間などをカウントし、これが経過すると操作条件を判定するためのデータとして、同期確認回路の起動、電圧入力の取込みなどの処理を行ない、ある一定時間データを継続的に取り込み、最後に同期確認回路の判定結果を取り込んで、操作条件の確立の有無を判定する。操作条件が確立しておれば直ちに機器に対して操作指令を出し、完全に操作を完了するよう一定時間継続的に指令を出す。ある一定時間経過後、実際に機器が応動したかどうかを確認して、応動しておれば次の操作に移る。もし不応動の場合は念のため再度操作指令を出す。その後もう一度、機器の応動を確認し、応動、不応動にかかわらずその内容を記録し次の操作に移る。操作すべき内容がたくさんあるときも、以上述べた順序で順次繰り返し操作していく。

3.3 信頼度の向上

本装置は保護リレー装置と同様に、高い動作信頼度が要求される。そのため本装置のシステム構成、設計、製作および設置にあたっては、次のような細心の注意を払っている。

(1) 複数条件による動作判定

装置および関連回路の単一障害が直ちに誤操作に至らないように複数条件で操作出力を生ずるように構成している。たとえば図6に示すように回線選択信号と機器選択信号（たとえば、しゃ断器）との組合せにより対象機器を選択し、これと操作信号（たとえば、投入信号）を組み合わせて指令を出すようにしている。また運転員の誤操作を防止するため、回線選択、機器選択、操作の3段に操作ボタンスイッチを分け、各操作ごとにランプ点灯し、それを確認して次のボタンスイッチを操作する方式を取り入れている。

(2) 主要個所の二重化

電子計算機による総合的論理判断結果に基づく操作指令と外部（入出力制御部）に設置した最小限の検出条件とのAND条件により誤操作の防止を行なっている。また全停電検出により割り込みが入るとアナログ量を取り込み、電子計算機内で電圧の確認を行ない一致した場合に操作を実施する。

(3) 常時監視

記憶装置のメモリ内容を常時パリティチェックで監視するほか、図7のように操作プログラムが起動していないのにデジタル出力がでていないかどうかを常時監視することにより、障害の早期発見に努めている。

(4) 使用部品

本装置は一般の電力用制御装置と同じ環境を考慮する必要があり、検出部の半導体部品には温度影響の少ないシリコントランジスタおよびシリコンダイオードを使用するとともに計算制御部には信頼度の高いICを駆使し、かつ十分に吟味された高い信頼度と安定な動作実績のある標準品を使用している。さらに出荷前には高温エージングを行ない、部品の初期不良を摘出するようにしている。

(5) 試験

装置の良否を判断するためシミュレータ装置を有しており、実系統と切り離して種々の系統構成を模擬して容易に動作試験を実施できるようにするとともに、シミュレータとして使用することもできる。

(6) サージ対策

主要演算部は半導体回路で構成されているため、サージ電圧に対して誤動作したり、破損しないよう対策する必要がある。したがって計算機と接続するケーブルはすべてツイストペアの一括シールド線を使用するとともに布設にあたっては、別ダクトを設け、電磁誘導の完全なしゃへいを行ない多点アースとならないように留意している。

さらに電力回路と信号回路の配線ルートを分け、信号線には

ツイストペア線を用い配線間の悪影響を防止している。

また補助リレーには逆起電力防止回路を設け、サージ電圧の発生を押えるとともに入力端子にコンデンサをそう入してサージの侵入を防止している。

4. ソフトウェア

計算機の論理判断で電力系統機器を直接制御するためのプログラムは1ビットの判断誤りによっても大きな影響を与えるので、誤りのないプログラムが容易にでき、かつ変更に要する時間を少なくするように種々工夫を行なっている。一般にプログラムはその使う言語によってアセンブラ、コンパイラなどがあるが、これらはプログラムを作る手段を提供するものである。一方、最近制御用計算機分野において新しい方法としてある特定分野において便利な共通プログラムを準備し、それを使用することによって毎回同じようなプログラムを作ることを避け、既開発技術の確実な積み上げを行なおうとするプログラムのカセット化がある。

本装置に使用するプログラムは、アセンブラ言語と新しいプログラムカセット化の技術を組み合わせた手法を採用している。その特長は、

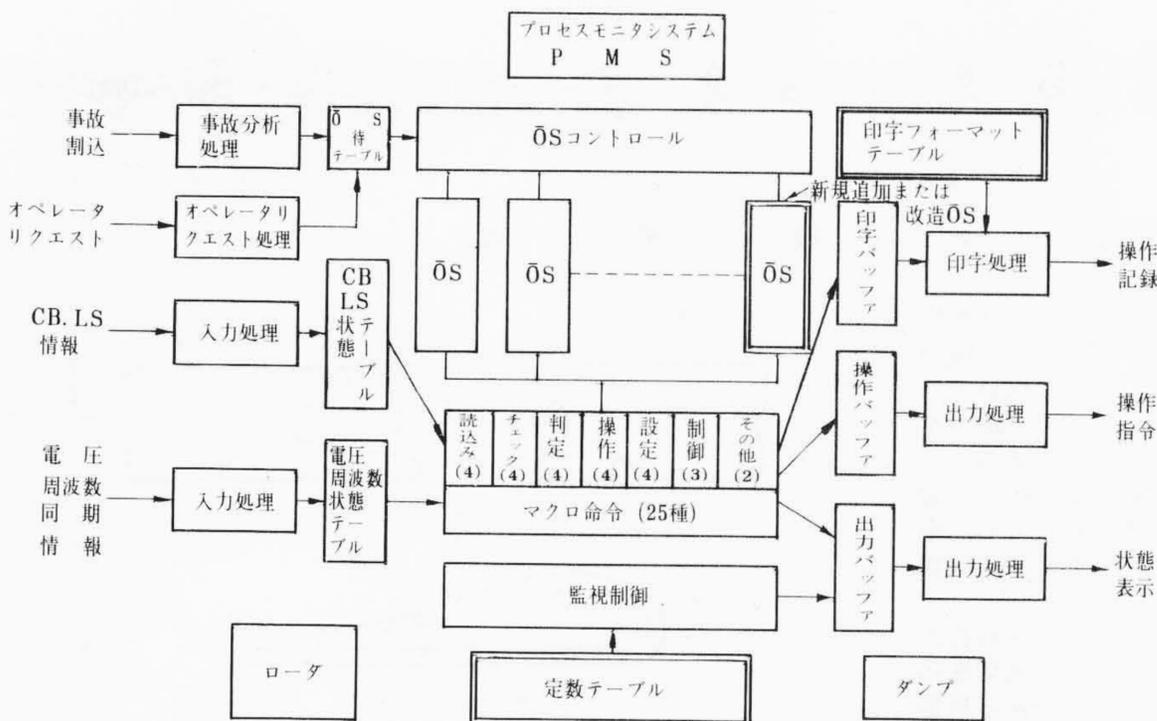
- (1) 系統の操作を行なうプログラムは、その操作に適したマクロ命令を使用することで容易に作られる。
- (2) 系統が変わっても標準プログラムの定数、テーブルの変更のみで対処できる。

ということである。

4.1 プログラムカセットの構成

図8はプログラムカセットの構成を示したものである。この図中二重わくで囲んだ部分がシステムごとに変更する部分であり、一重わくの部分がすべて標準化されている部分である。おもなプログラムは下記のとおりであり合計約16K語使用されている。

- (1) プロセスモニタシステム。
- (2) HISAPS制御部。
- (3) HISAPSマクロ命令部。
- (4) 定数テーブル部。
- (5) 定常時操作OS部。



OS : 操作プログラムでマクロ命令を使用してつくる。
 C. B. : シャ断器
 L. S. : ラインスイッチ
 ローダ: プログラム, データ読取プログラム
 ダンプ: コア内容タイプアウトプログラム

(HISAPS)

図8 プログラムカセット構成図

(6) 事故時操作OS部。

(7) ローダ部。

ここでOS部とは操作手順プログラムのことである。

4.2 マクロ命令

電力系統によって異なる場合の多い操作手順プログラムOSはまちがいが少なく、かつ能率がよく短時間で作れるようにするため、すべてマクロ命令で作れるようにしてある。この結果、アセンブラ言語を使用していながら全く新しい系統操作専用の言語を開発したのと等価な効果が得られ、電力系統関係の従事者が容易に習得できる内容のものとする事ができた。

以下操作命令(OPT)を例にとってその機能を説明する。指定するパラメータは回線、器具種別、入、切などの操作種別、操作後のとび先である。これは電力機器を操作するうえで必ず指定されるべき要素である。計算機はこれらのパラメータから信号を何秒間出すべきか、プロセス入出力装置のどの点に信号を出すべきかなどの判断を行なうと同時に、操作結果として再しゃ断がなかったかどうか、再度指令を出す必要がないかなどをチェックし機器不応動のときは2回指令を自動的に出し、その結果として操作記録をタイプライタに印字する。印字項目は操作の原因種別(全停電操作、緊急負荷しゃ断時の復旧操作、線路事故復旧操作、試開放復旧操作、定常時操作など)操作時刻、操作機器名(給電番号)、操作内容、操作結果である。図9は印字結果の一例である。

パラメータの指定方法としていくつかのルールを決めてある。そのおもなものは次のとおりである。

- (1) 回線、バンク、並列コンデンサ、直列コンデンサ、接地変圧器などをすべて標準パターンにまとめ通し番号をつける。
- (2) 機器を標準パターンの器具種別として統一する。
 シャ断器 0
 甲母線側線路開閉器 1
 乙母線側線路開閉器 2
 回線側線路開閉器 3
- (3) 母線は甲母線1、乙母線2とする。
- (4) 回線は電圧階級によってまとめる。

なお、標準パターンの一例は図10に示すとおりである。

操作内容 (F: 定常時操作)	時間 分	秒	給電番号 (B: 乙ブース側, L: 線路側)	操作内容 (C: 投入, T: シャ断)
F16	27	47	B734	C
F16	27	55	L734	C
F16	28	2	734	C
F16	28	13	736	T
F16	28	21	L736	T
F16	28	30	B736	T

図9 線路停止復旧の印字記録例

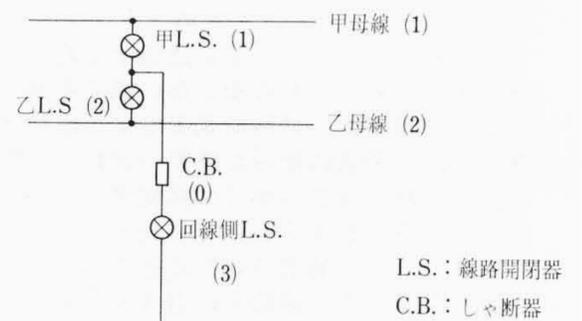


図10 標準パターンの一例

4.3 操作手順プログラム

操作手順プログラムは上記のマクロ命令を用いて構成されているので次のような長所を持っている。

- (1) メモリ容量の低減
- (2) フローチャートの規格化、簡素化。

マクロ命令を理解すればフローチャートの物理的意味が容易に理解できるため、従来のゼネラルフローチャートとディティールフローチャートの2段階作業が1段階作業にできる。

- (3) 保守が容易

フローチャートとプログラム命令が対応しているため正確

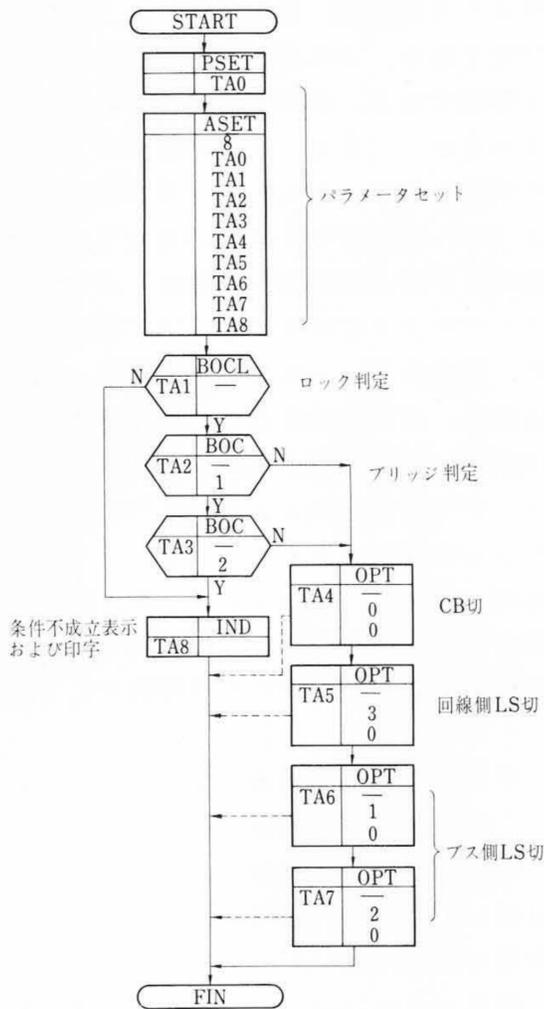


図11 線路停止フローチャート

でしかも変更が容易である。

図11は定常時操作における線路停止の操作手順プログラムのフローチャートの一例である。

5. 結 言

変電所の事故時および定常時の操作を自動化するために計算機を導入することにより、

- (1) 大規模、複雑な系統にも容易に適用できシステムの拡張が可能である。
- (2) 標準化され、かつ高信頼度設計の制御用計算機を使用しているため動作が安定である。
- (3) 変電所の規模、構成、操作が変更されてもテーブルおよび定数の変更で対処でき非常に融通性に富む。
- (4) プログラムの標準化により変電所の規模、構成、操作の違いがあってもビルディングブロック式で容易にシステムの構成ができる。

など数々の特長を持っている。

本装置は変電所の自動操作のみを対象としているが、信号伝送を駆使して系統全体の様相を把握(はあく)して最も合理的な系統操作方法を判断させることも可能である。さらにこのほかに自動監視、事故記録、データ処理などの機能拡張も可能であり、中央の自動給電システムと関係することにより電力系統の総合自動化への発展が期待される。

本装置は工場における種々の詳細試験の結果、良好な成績を収め昭和46年1月より中部電力株式会社清水変電所においてオンライン運転を開始した。引き続き同社の岩塚変電所において、昭和46年5月より2号機がオンライン運転を開始し、いままで数百回の定常時操作と二十数回に及ぶ事故時復旧操作(全停電操作3回を含む)を実施し、良好な実績を積み重ねながら運転中である。

終わりに本装置の開発に際し終始ご指導をいただいた中部電力株式会社関係各位に深く謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 森田ほか：日立評論 51, 714(昭44-8)



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第929416号

小 倉 光 雄

テ ー プ 接 続 具

テープ接続具はコンピュータ用磁気テープ装置に磁気テープの装填(てん)を容易にするために、マシンリールのテープリーダー(tape leader)とファイルリールのテープとを接続するもので、磁気ヘッドとシールドブロック間を通過するためにじゅうぶん薄く、かつ不慮の力が加わっても破損しない構造を有することが必要である。

図1は雄型テープ接続具1および雌型テープ接続具2を示し、図3のように袋状になった雌型の穴6に雄型の頭部4をそり入し、雄型のくびれ部をひっかけて接続する。本考案は雄型の頭部4に凹状切り込み5を有することを特長とする。

磁気テープの通常の走行状態ではテープ接続具は図3の接続状態を維持し、一方、接続具に過大な引張り力が加わると、凹状切り込み5によって雄型の頭部4が容易にわん曲し、接続具をなんら損傷せず接続がはずれる。よって長寿命でかつ薄い接続具が得られる。

(細田)

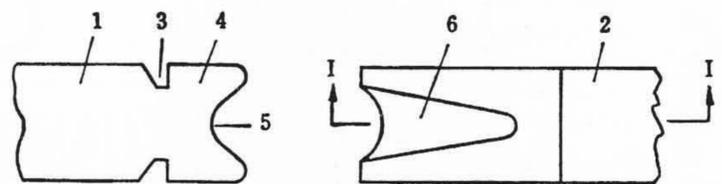


図1

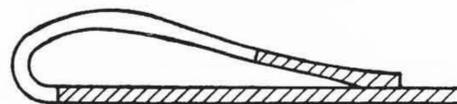


図2 (I-I線断面図)

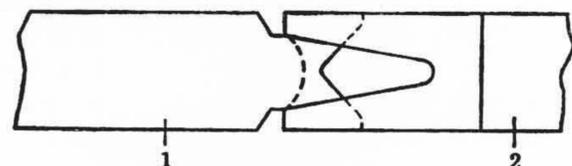


図3