

# 負荷選択しゃ断装置

## Automatic Load Selecting System Limited by Power Supply

At an industrial plant where power is supplied by outside electric power companies and its own power plant, when electric supply from the outside happens to cease for any reason, its own power plant is forced to take charge of supplying total power demand, and this sometimes causes a heavy overload resulting in its breakdown. In this article is introduced a device which is designed to select a most appropriate load for plant generating facilities and whenever the selected load limit is exceeded function to break concerned circuits whereby to protect the plant from total shutdown.

豊田武二\* *Takeji Toyoda*  
細谷 肇\*\* *Hajime Hosoya*

### 1 緒 言

最近の大規模なコンビナートや工場において、使用電力は電力会社からの買電のほか、自家用発電機（以下自家発と略称する）を並列に運転して供給される場合が多い。自家発には蒸気またはガスタービン方式を使用しているため、買電供給停止、または複数の自家発を運転している場合は、ある自家発が停止するなどの電源故障が発生すれば、他の健全な発電機は急激な過負荷となり、自家発の周波数や電圧が低下し、健全な自家発も連鎖的に停止して全停電になるおそれがある。万一、電力供給が停止してプラントが停止すると、その復旧には最大の労力と時間を必要とし、損害も膨大である。特に連続プロセスを扱うプラントでは著しい。したがって、そのようなことを防止するためには、上記の電源故障が発生した場合にはただちに負荷を選択しゃ断して、供給電力に見合った負荷に制限する必要がある。

### 2 選択しゃ断装置の現状

選択しゃ断装置については、現在簡易なものからコンピュータなどを使用した複雑なものまで種々の方式が発表され、実施されているが大別すれば、予定負荷選択しゃ断方式、母線分離による選択しゃ断方式、アナログ演算による選択しゃ断方式および制御用コンピュータによる選択しゃ断方式の4方式に分類することができる。これらの方式の概略は次のとおりである。

#### (1) 予定負荷選択しゃ断方式

電力系統の比較的単純な所、母線方式が単一母線方式のプラントに多く用いられる方式で、選択しゃ断すべき負荷をあらかじめ切換スイッチ、またはピンボードなどにより設定しておき、電源故障と同時に設定された負荷をしゃ断する方式である。この方式は演算要素がないため、選択しゃ断される負荷が固定し、またその量が実負荷量と必ずしも一致せず、最適選択しゃ断とは言いがたい。

#### (2) 母線分離による選択しゃ断

配電母線に二重母線方式を用いている所に適用できる。すなわち、配電母線を重要母線と非重要母線に区分し、重要母線に自家発をつなぎ、非重要母線に受電変圧器をつなぎ、常時は両母線を連絡しゃ断器で連絡しておく。買電側に停電が発生すれば、母線連絡しゃ断器を解列することにより選択し

しゃ断する方式である。この方式も(1)と同様に演算要素がないため、常に最適選択しゃ断ができるとは限らない。

#### (3) アナログ演算による最適選択しゃ断

複数台の自家発が並列運転されるプラントに適する方式で、常時各発電機の発電電力、受電電力をアナログ的に取り込み、アナログ的に最適しゃ断電力を演算し、電源故障が発生すれば演算したしゃ断量の負荷を選択しゃ断する方式である。最適選択しゃ断量決定の演算式および選択しゃ断すべき負荷の決定方式には各種あるが、大別して次の二方式に分類される。すなわち、一つは全加算方式と称することのできる方式で、電源故障発生後の他の健全電源の可能供給電力を $\sum G$ とし、負荷電力を $\sum l$ とすれば、最適選択しゃ断電力 $Ps$ は、

$$Ps \geq \sum l - \sum G \quad \dots\dots\dots (1)$$

により決定される。この方式はプラントのすべての負荷電力を入力とする必要がある。

もう一つは、部分加算方式とも称すべき方式で、事故前の買電電力を $Pa$ 、発電機の電力を $\sum g$ とすれば、

$$Ps \geq Pa - (\sum G - \sum g) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ただし、} Pa + \sum g = \sum l$$

により、最適選択しゃ断電力が決定される方式である。この方式は(2)式より明らかなように、プラントのすべての負荷電力を取り込む必要がないため、前者の全加算方式に比べて経済的である。

#### (4) コンピュータによる最適選択しゃ断

最適選択しゃ断量の演算をデジタルコンピュータにより行ない、選択しゃ断量を決定する方式である。コンピュータを使用しているため、種々の要因や特殊条件、演算および選択しゃ断プログラムをソフトウェアにて盛り込むことができるので、複雑な電源系統を構成する大規模なプラントに適している。しかしながら、選択しゃ断装置は一種の電源保護装置であるため、コンピュータが常時演算し、専用に用いられる場合は問題がないが、多目的に使用しているコンピュータの一つの機能として用いられる場合は、保護機能としての信頼性の点を十分検討する必要がある。

\* 日立製作所大みか工場

\*\* 日立製作所機電事業本部

### 3 最適選択しゃ断装置の必要性

大規模なプラント、特に連続プロセスを扱う所においては、すでに述べたように、電源の信頼性が非常に重要で、一瞬の停電も許されない。選択しゃ断の保護対象として自家発に対するものと、供給電源側、すなわち主変圧器に対するものの二つに区分される。

#### 3.1 自家発に対する選択しゃ断

過負荷のまま自家発の運転を継続すると、自家発は周波数、電圧が低下し、ついには停止する。周波数低下のまま運転を継続すると、その周波数低下の度合いにより異なるが自家発のタービンに疲労が蓄積され、タービンの寿命を短縮するおそれがあるので、電源事故発生でただちに選択しゃ断する必要がある。しかしながら、発電機の機械的能力により、事故発生後では自家発には過負荷電力の供給能力がないため、事前に故障を想定し、選択しゃ断量を決定し、事故発生と同時に選択しゃ断する必要がある。

#### 3.2 主変圧器に対する選択しゃ断

従来の方式では、主変圧器の過負荷保護は、過電流リレー、

過負荷リレーなどの保護リレーにより、リレー動作時に、主変圧器をしゃ断するのが一般的であるが、これは主変圧器の保護であって、プラント全体の保護とはならない。プラントを保護するためには、主変圧器を負荷よりしゃ断するのではなく、主変圧器が過負荷にならぬよう負荷の選択しゃ断を行なう必要がある。

### 4 日立選択しゃ断システムの構成

日立選択しゃ断装置SUPER, TRIP 25システムは自家発を併列運転する一般需要家を対象とした選択しゃ断装置で、次のように構成される。

- (1) 選択しゃ断量決定はアナログ演算による最適選択しゃ断方式とし、演算には部分演算方式を用い、演算素子にはIC形演算増幅器を使用している。
- (2) 構成および外形は図1, 図2に示すとおりで、据付場所の環境条件が悪いことを考慮するとともに耐ノイズ性を持たせるため、論理回路にはワイヤスプリングリレー、リードリレーなどの継電器を用いている。
- (3) 選択しゃ断の対象電源要素として受電変圧器1台, 自家

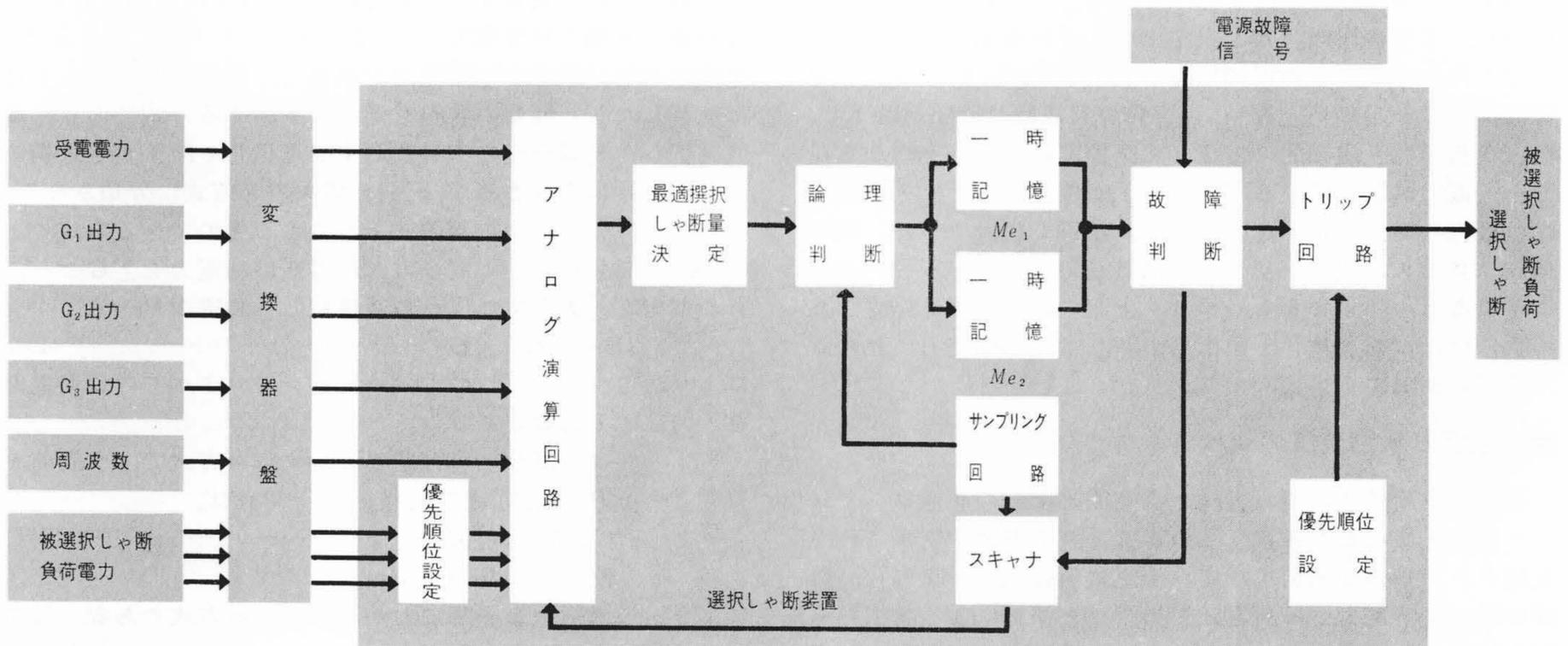


図1 選択しゃ断システム構成図 装置の基本的な回路のブロック図を示す。

Fig. 1 Composition of Automatic Load Selecting System

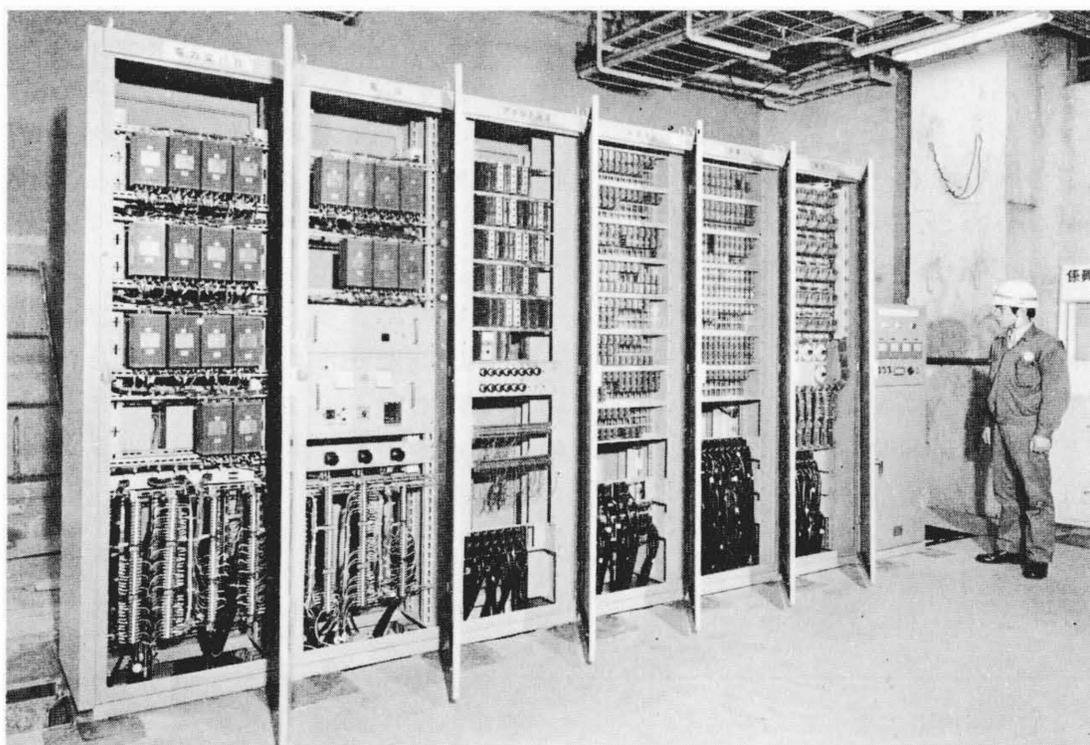


図2 選択しゃ断装置 左より変換器盤, 電源盤, アナログ演算盤, 論理しゃ断盤(2面), 出力リレー盤より成る。

Fig. 2 Automatic Load Selector

- 発3台、被選択しゃ断負荷25種の二重母線系としている。
- (4) 選択しゃ断の内容として
    - (a) 買電供給停止による自家発保護のための選択しゃ断
    - (b) 上記の選択しゃ断後も、自家発が過負荷にならぬよう、周波数を入力として取り込み、周波数低下によるバックアップ選択しゃ断
    - (c) 自家発停止による受電変圧器および、他の健全な自家発保護のための選択しゃ断
    - (d) 母線連絡しゃ断器開路による自家発および受電変圧器保護のための選択しゃ断
  - (5) 選択しゃ断の優先順位が任意に変更できるようにしている。
  - (6) 一種の保護装置であるので、プラントに影響を与えることなく試験できるように試験回路を完備している。
  - (7) 既設の設備に容易に付加できるように入出力関係を考慮してある。

**5 選択しゃ断装置SUPER TRIP25**

日立選択しゃ断装置SUPER TRIP25の構成についてはすでに述べたとおりである。装置の演算フローチャートは図3に示すとおりである。また、各選択しゃ断要素の機能については以下に示すとおりである。

**5.1 買電供給停止による選択しゃ断**

**(1) 事前演算による選択しゃ断**

図3のフローチャートに示すように、常時部分加算方式により下記式でサンプリング演算を行なって最適選択しゃ断量を事前に決定しておく。

$$P - \sum_{i=1}^m (1 - \alpha_i) g_i \leq \sum_{i=1}^n l_i \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $P$ ：主変圧器二次使用電力

$g_i$ ：発電機出力

$\alpha_i$ ：発電機過負荷定数

$l_i$ ：被選択しゃ断負荷電力

サンプリング時間中に  $\sum_{i=1}^n l_i$  を  $i=1$  より順次スキヤニングして加算し(3)式が成立する時点の  $n$  を求め、その  $n$  を図4に示すように、 $Me_1$ 、 $Me_2$  の記憶回路に交互に記憶され、サンプリングごとに交互に更新される。故障発生時に負荷を最適選択しゃ断する指令は、図4のように  $Me_1$  の内容と  $Me_2$  の内容が交互にくり返され、演算途中で故障が発生しても、最適選択しゃ断が可能であるようにしている。

**(2) 周波数低下による選択しゃ断**

前述の事前演算による選択しゃ断が完了し、引き続き負荷が増大するかまたは選択しゃ断量が過少であったなどにより自家発が過負荷になって周波数が低下した場合、バックアップとして周波数低下を検出して、追加の選択しゃ断を行なう。周波数低下の選択しゃ断量は表1に示すように周波数低下の割合により  $a$ 、 $b$ 、 $c$  に区分し、各指令ごとに選択しゃ断量

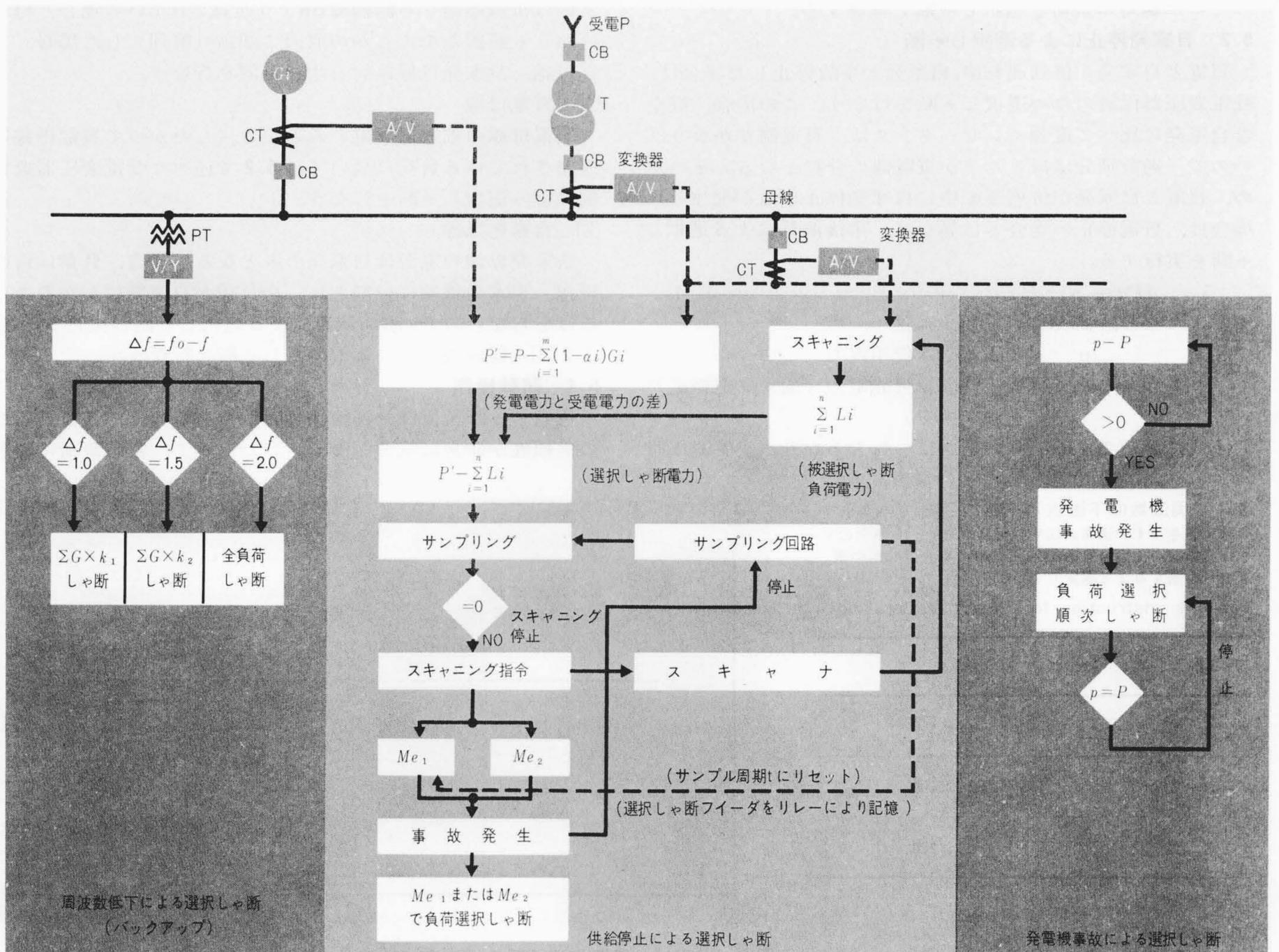


図3 選択しゃ断装置フローチャート 最適選択しゃ断演算の演算ブロック図を示す。

Fig. 3 Flow Chart for Automatic Load Selecting System

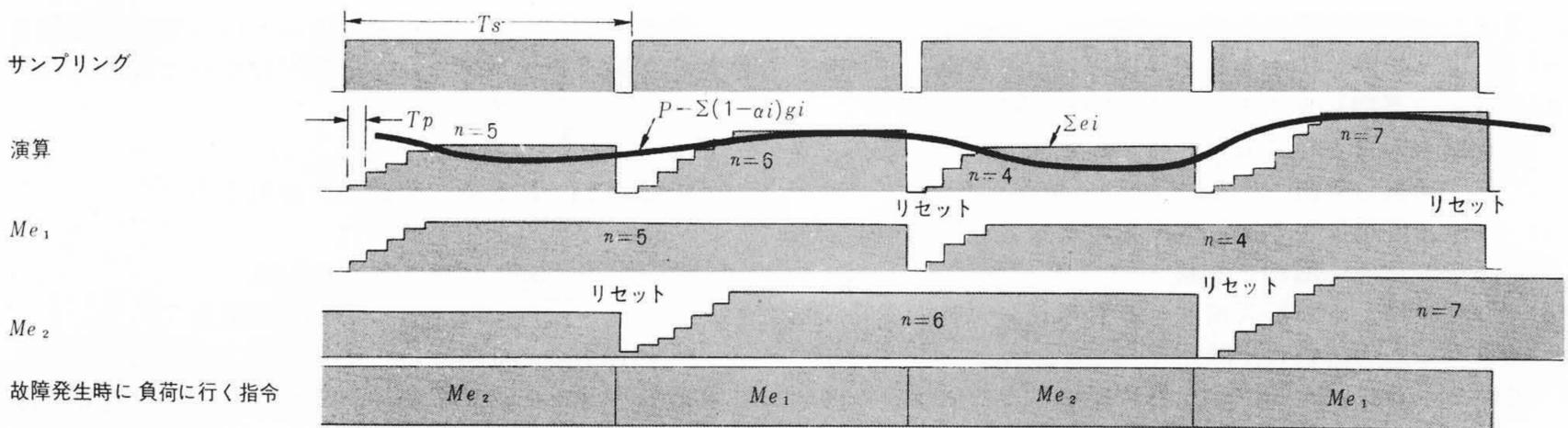


図4 事前演算のタイムチャート 事前演算の演算の各回路におけるタイムチャートを示す。  
Fig. 4 Time Chart for Preliminary Calculations

を変えている。

(3) 発電機停止による選択しゃ断

買電の停電により系統が買電回路からまったく切り離されて運転され、電源が複数の自家発のみになった場合、発電機がさらに1台でも停止すると、他の健全な自家発から見れば急激に負荷が増加することになり、周波数低下の選択しゃ断では、スキンスピードの点から応答できない場合がある。したがってこの場合はあらかじめ設定しておいた内容で、いっせいに瞬時に負荷を選択しゃ断し保護する。

5.2 自家発停止による選択しゃ断

買電と自家発が併列運転中、自家発が事故停止した場合は、受電変圧器保護のため選択しゃ断を行なう。この場合、健全な自家発に比べて電源インピーダンスは、買電側がかなり低いので、過負荷分はほとんどが買電側の分担となる。そのため、買電と自家発が併列運転中に自家発停止事故が発生した場合は、買電停止の場合とは異なり、事後演算による選択しゃ断を実行する。

$$\Delta P_C = p - P \dots\dots\dots(4)$$

ただし、 $\Delta P_C$ ：買電過負荷量  
 $p$ ：変圧器二次使用電力  
 $P$ ：変圧器供給可能電力（通常は定格電力を設定する）

(4)式において $\Delta P_C > 0$ のときは $p > P$ となり、変圧器は過

負荷となる。 $\Delta P_C > 0$ を検出し、あらかじめ設定された順にスキヤニングして負荷を選択しゃ断させ、力を減少させて、 $\Delta P_C \leq 0$ になれば、 $p \leq P$ となり、変圧器は過負荷でなくなるので、選択しゃ断スキヤニングを止める。演算および選択しゃ断のタイムチャートは図5に示すとおりである。

5.3 母線連絡しゃ断器開路による選択しゃ断

図6に示すように、所内配電系統が二重母線式に構成されていて、それぞれの母線が買電母線、自家発母線に区分され、常時は母線連絡しゃ断器52Bhより連絡されている場合、母線連絡しゃ断器がなんらかの原因で開路（解列）した場合、買電母線、自家発母線に対し次の処置を行なう。

(1) 買電母線

買電母線の電源は買電のみとなる。したがって買電母線に連結されている負荷については5.2で述べた受電変圧器過負荷による選択しゃ断を行なう。

(2) 自家発母線

自家発母線の電源は自家発のみとなる。一方、負荷は買電母線、自家発母線に分割され、全負荷が自家発にかかることにはならないので、事前演算による選択しゃ断は実行されず、5.2(2)の周波数低下による選択しゃ断を行なう。

5.4 試験操作

選択しゃ断装置は一種の保護装置であるので、装置としての信頼性が非常に重要となる。したがって、常時負荷に影響

表1 周波数低下選択しゃ断指令 周波数低下の検出値を示す。通常A指令の場合は警報、B指令のときは発電機の出力合計の20%、B指令の場合は40%の値、選択しゃ断するよう選定している。

Table 1 Instruction for Selective Breaking

| 指令   | 周波低下                      |
|------|---------------------------|
| A 指令 | $1.5 > \Delta f \geq 1.0$ |
| B 指令 | $2.0 > \Delta f \geq 1.5$ |
| C 指令 | $\Delta f \geq 2.0$       |

$\Delta f = F - f$   
 $F$ ：定格周波数  
 $f$ ：検出周波数

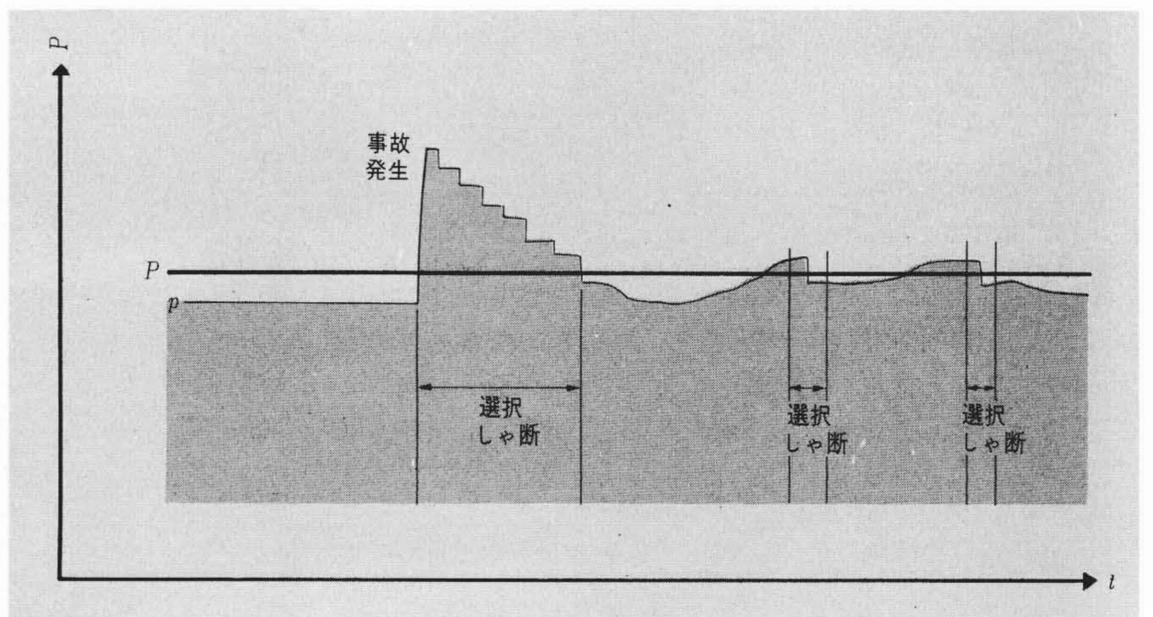


図5 発電機故障選択しゃ断タイムチャート 発電機が停止した場合の最適選択しゃ断に対する電力の変化についてのタイムチャートを示す。

Fig. 5 Time Chart for Load Selection of Generator Faults

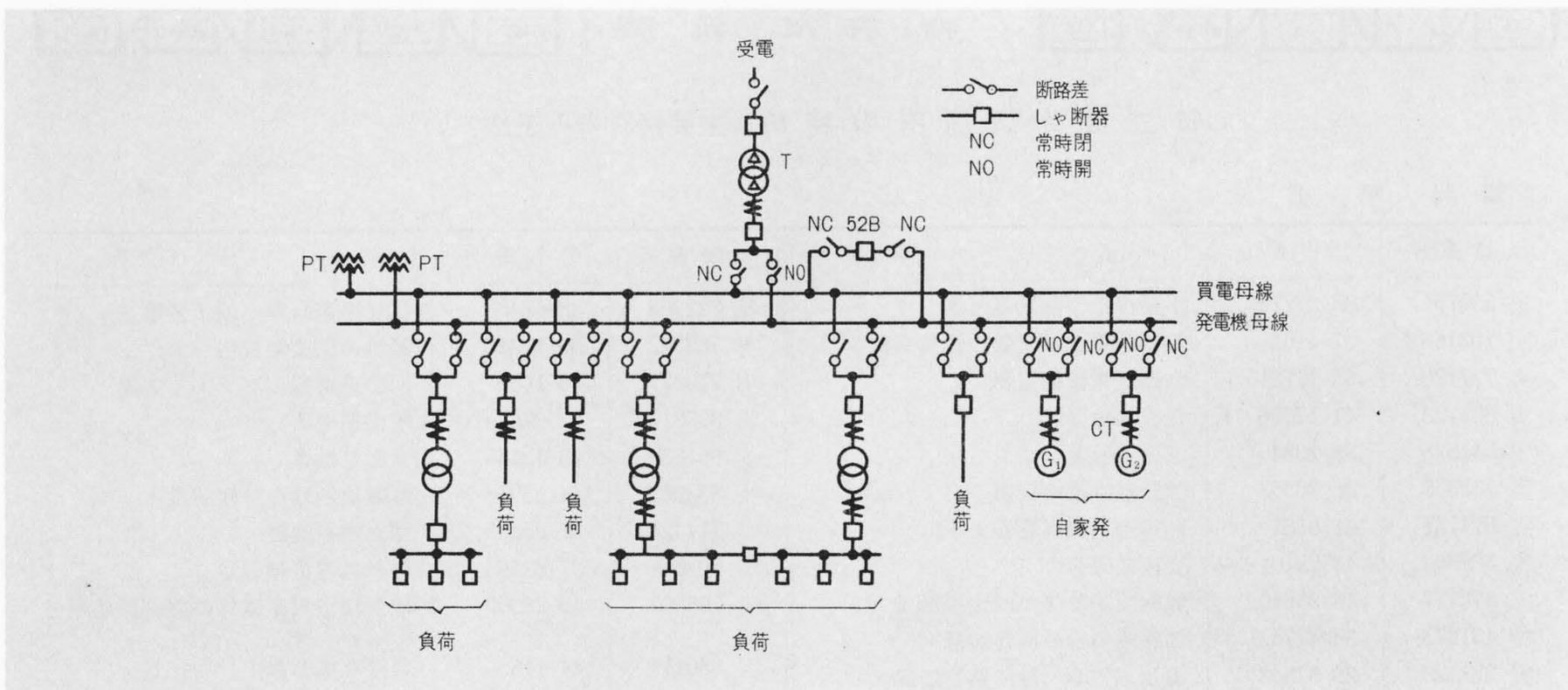


図6 二重母線系単線接続図例 代表的な二重母線系の単線接続図を示す。各負荷の母線連絡断路器はいずれか一方の母線につながっていて、両母線同時につながることはない。

Fig. 6 Example of Single-line Connection Diagram for Double Bus System

を与えることなく装置の点検を行ない、装置の正常動作を常に確認しておく必要がある。そのため次の試験回路を設けている。

- (1) 買電供給停止による選択しゃ断試験回路
- (2) 周波数低下による選択しゃ断試験回路
- (3) 自家発停止による選択しゃ断試験回路

(4) 母線開路による選択しゃ断試験回路

試験内容はアナログ演算内容チェック、論理回路の判断チェックおよびスキヤニング回路の動作チェックより成る。

5.5 トリップ順序の設定および手動設定

装置の演算スキヤニングの順序は負荷優先順位の低いもの、すなわち重要度の低い順である。そのため、負荷優先順位の変更により、装置の内部の優先順位設定が任意に、かつ容易に行なえるようトリップ順序設定ピンボードを設けている。一方、演算回路のバックアップとして、おのおのの選択しゃ断に対し手動設定回路を設け、手動設定でも選択しゃ断できるようにしている。

6 実施例

昭和電工株式会社・鶴崎共同動力株式会社納めの選択しゃ断装置の実例について説明する。本設備の対象電気施設は次のとおりである。

- 受電 60kV 1回線受電
- 受電変圧器 40MVA 60/11kV 1バンク
- 発電機 17MWガスタービン 1台
- 28MW抽気復水タービン 1台
- 35MW抽気復水タービン 1台

母線方式 11kV二重母線構成  
被選択しゃ断負荷 25フィード

各種の定数は、タービン発電機のカバナ特性、負荷耐量および周波数低下時の許容運転時間により設定され、その結果、図7に示すように現在、好調に運転中である。

7 結 言

最近の電力事情により自家発を設け、買電と併列運転する需要家は増加する傾向にある。したがって、既設の設備に簡易に付加できる装置ならびに簡便で保守取扱いの容易な装置が望まれている。最近では電気設備の運転および保守の自動化、省力化の傾向が強く、選択しゃ断装置も一種の自動化、省力化のための設備ということが出来る。複雑な電力系統の場合は計算機を導入する必要があるが、計算機を選択しゃ断装置への適用についてはさらに研究を続けていくつもりである。

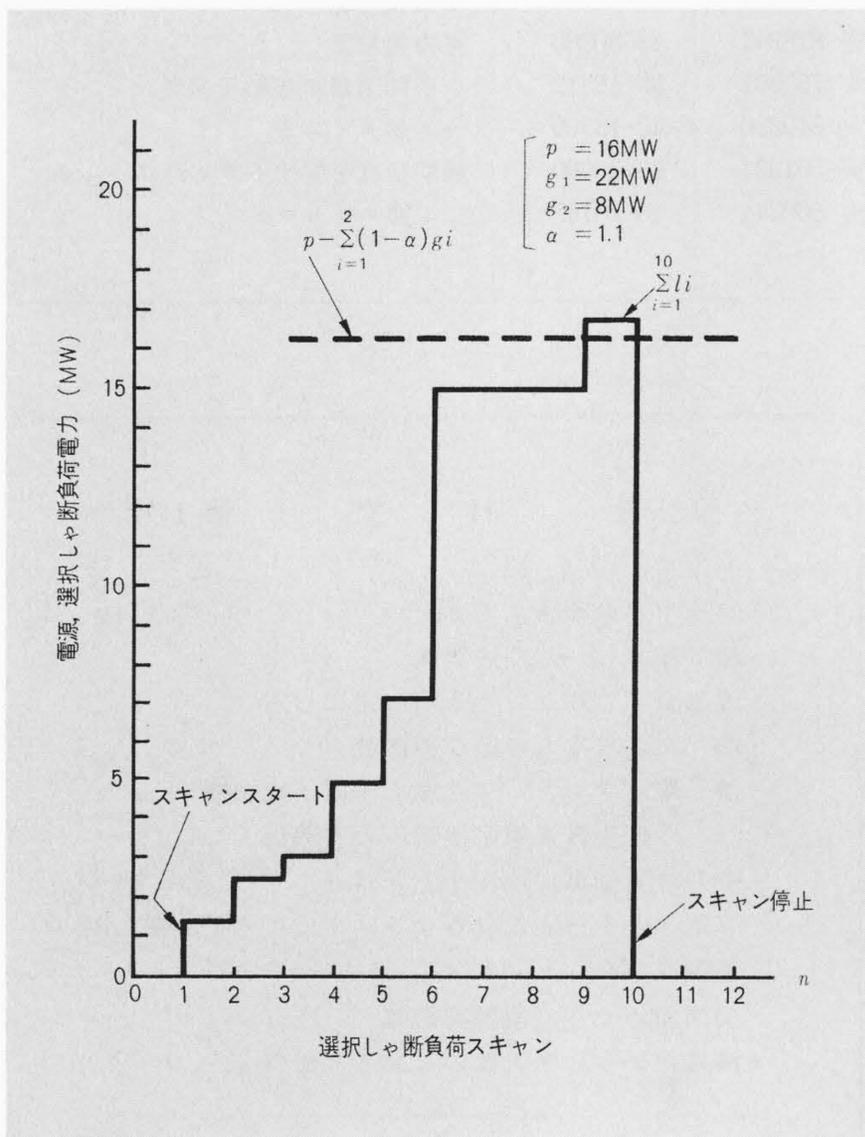


図7 選択しゃ断演算 実際の負荷に対する、最適演算の実例を示す。スキヤン停止時点まで負荷が記憶され、事故発生時に選択しゃ断される。

Fig. 7 Example of Calculations for Automatic Load Selection