

電源抑制・系統分離装置

Relaying Equipment for Power Rejection and System Separation

村井 勝治* 抜山 誠**
Katsuji Murai Makoto Nukiyama

内 容 梗 概

超高圧送電線の過負荷防止および系統事故時の安定度維持を目的に発電力を抑制し、さらに同期はずれに進展した場合は系統分離を行なう新しい装置を開発し、電源開発株式会社池原発電所へ昭和39年10月に納入した。

本装置は高速度のオンライン動作が要求されるから、あらかじめ電子計算機で計算した結果を記憶し、テーブル・ルックアップ方式とした。また動作を安定にし、複雑な論理回路の構成を容易にするため、全トランジスタ方式とした。

1. 緒 言

電力系統は供給信頼度を向上させるために、超高圧送電線を基幹として系統間連けいやループ構成が進められ、この結果、系統容量、地域とも拡大の一途をたどっている。

このような大電力系統を安定に運転するには、系統事故を高速度で除去する必要がある、高性能の保護装置が再閉路装置と組み合わせて適用されているが、これだけではなお不十分であり、さらに積極的に安定度を維持するための操作を必要とする場合がある。

今回開発した装置は、中地域超高圧南回りルート of 要(かなめ)となる池原発電所において、超高圧送電線の過負荷防止、および系統事故時の安定度維持を目的として電源抑制を行ない、それでもなお同期はずれに至った場合には系統分離を行なってその影響を局限しようとするものである。過負荷防止には関西電力株式会社側系統および池原において条件検出を行ない池原の発電機出力を制御し、また系統事故時の電源抑制には事故種別により対応した発電量を池原において抑制し、系統の安定化を図っている。さらに同期はずれに至る場合には池原において系統分離を行ない、その影響を局限する。

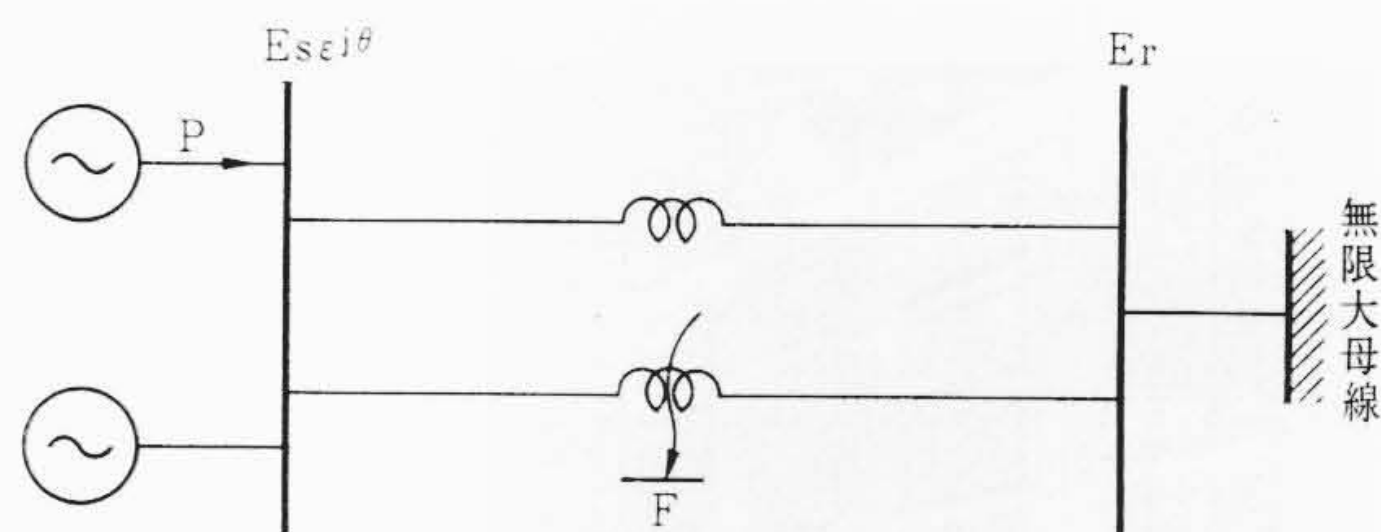
本装置は事故を高速度で確実に検出し、さらに複雑な条件を判断して動作するものであるから、性能向上のみでなく装置の小形化や保守点検の便を考えるとトランジスタ化することが有利であり、主要リレーをはじめとし、論理回路、限時回路など全トランジスタ方式で構成した。

以下装置の内容について説明する。

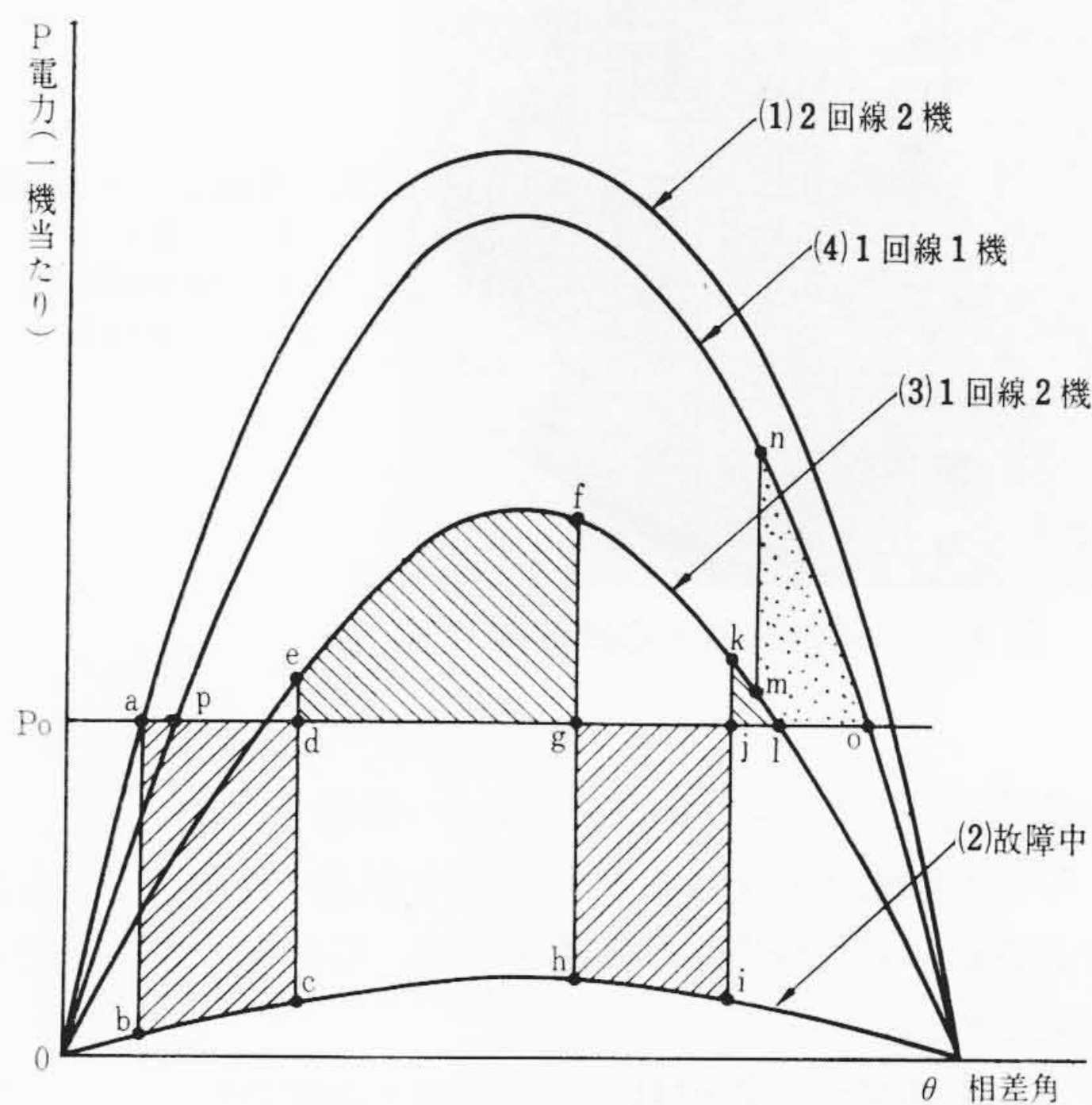
2. 電源抑制による安定度向上

電力系統に事故が発生すると系統の同期機は安定な運転を続けられなくなり、はなはだしい場合には同期はずれに至るので、これを防止するために主要送電線の保護には高速度保護リレー方式と再閉路方式が組合せ適用される。この場合、再閉路方式による事故送電線の強行送電は事故点の回復を期待して行なわれるものであり、送電線の事故の大半は雷害によるアーク事故であるからその成功率は高いが、それでも強行送電したとき再度事故が発生し、再閉路失敗に終わることがある。このような場合は系統にくり返し擾乱(じょうらん)が与えられることになり、再閉路によってかえって系統安定度が害される結果となるのはやむを得ないが、その影響が拡大しないような処置を講ずる必要がある。

第1図は2機の発電機が2回線送電線を介して無限大母線に接続されているモデル系統を示したものであり、送受電端の電圧を E_s 、



第1図 モデル系統



第2図 電力相角度曲線

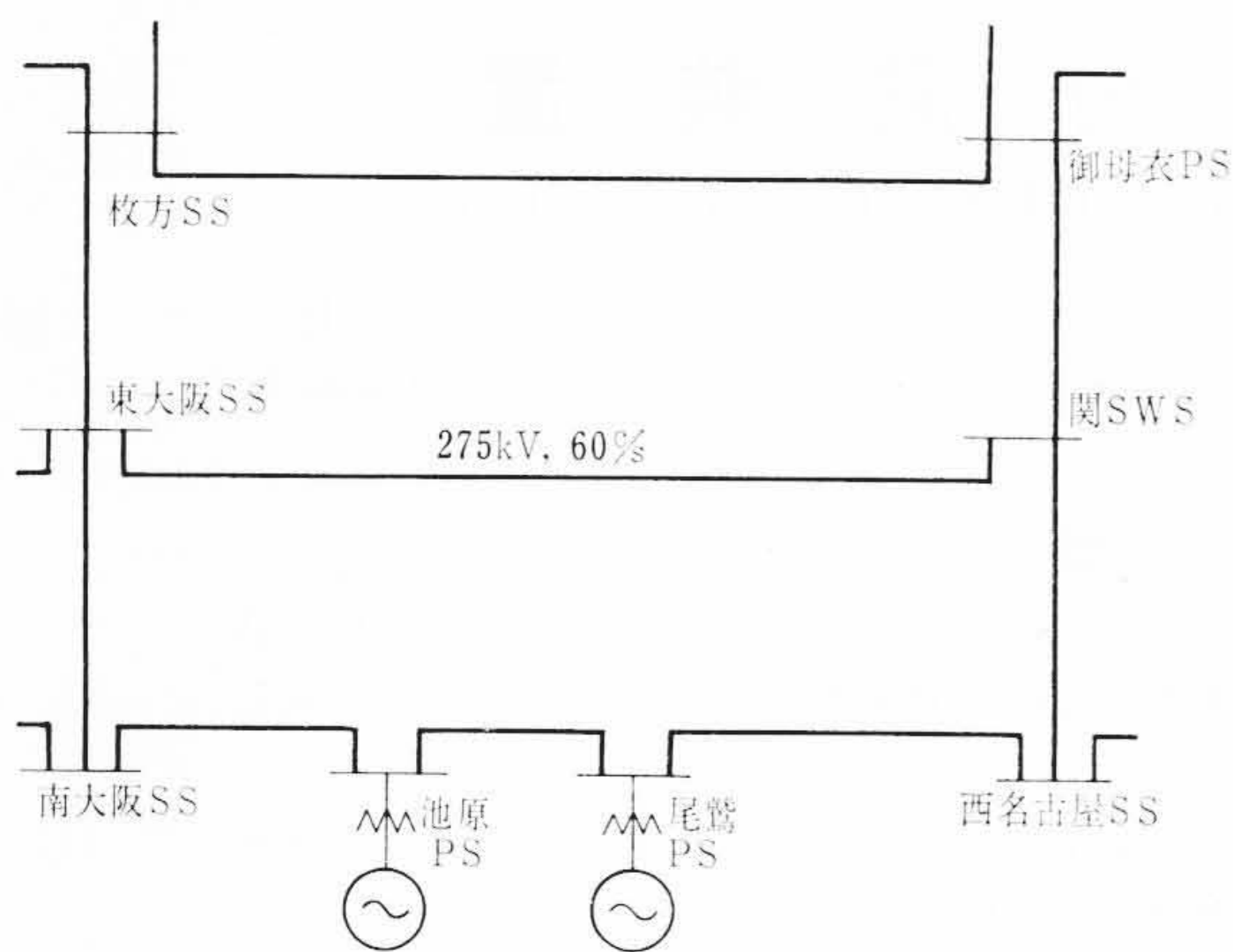
E_r 、その相角度を θ 、対象とする1機の発電機からみた伝達インピーダンスを X とすると、その送電電力 P は、

$$P = \frac{E_s E_r \sin \theta}{X} \quad (1)$$

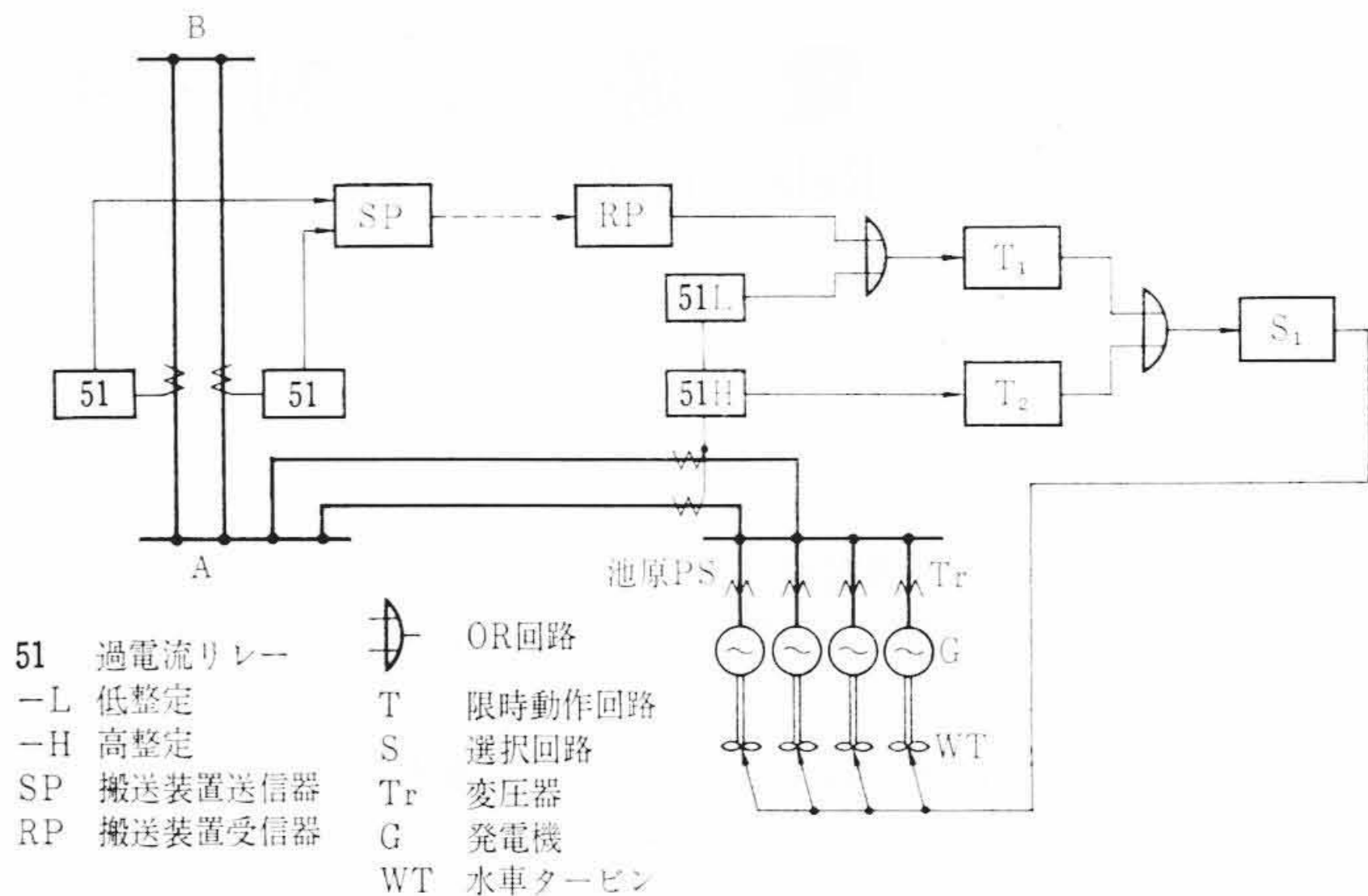
で表わされる。 θ と P の関係は第2図に示すとおりであり、平常運転状態では曲線(1)のa点にあるものとする。ここで第1図に示す送電線F点で事故が発生すると、事故と同時に負荷のみが急減するため、動作点は曲線(2)のb点に移る。事故継続中発電機は入力に比べて負荷が大幅に小さく、入力超過となって加速するから、曲線(2)に沿って θ が増加する方向に移動する。c点に至って事故回線が遮断されると残りの1回線は健全であるため、動作点は曲線(3)のe点に移る。e点では発電機は負荷が入力より大きくなるため減速され θ の増加率は負になるが、回転子の慣性のためなお θ が増加する方向に移動する。f点で再閉路を行ない再度事故が発生したときはh点に移り再び曲線(2)に沿って移動する。i点で事故再遮断され

* 日立製作所国分工場

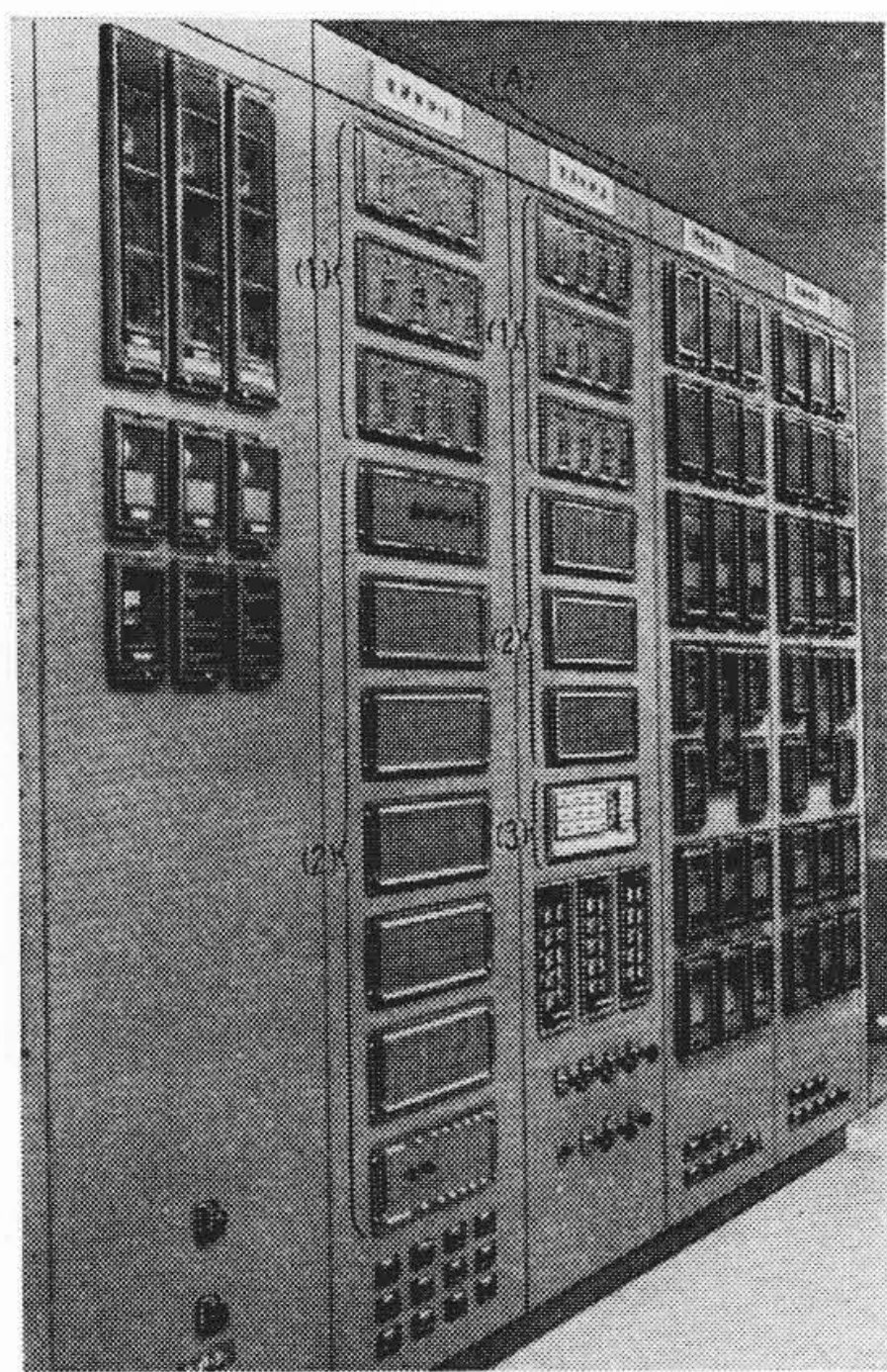
** 日立製作所那珂工場



第3図 中地域超高压系統図



第5図 過負荷時の電源抑制方式説明図



(A) 電源抑制・系統分離装置
(1) 主要リレー
(2) 論理演算回路
(3) 点検回路

第4図 電源抑制・系統分離装置

ると再び曲線(3)に沿ってk点からl点へ移動する。

ところで発電機はb~cおよびh~i間を経過中は加速されるが、e~fおよびk~l間を経過中は減速される。したがって、そのエネルギーを比較し、

$$\text{面積 } abcd + \text{面積 } ghij > \text{面積 } defg + \text{面積 } jkl \dots\dots\dots(2)$$

のときは事故再遮断後も発電機は加速を続け不安定となる。しかし、適当なm点を見だし、そこで電源発電機2機のうち1機を抑制遮断すれば残りの発電機の電力~相边角特性は曲線(4)に沿って移動することになり、

$$\text{面積 } abcd + \text{面積 } ghij < \text{面積 } defg + \text{面積 } jkmno \dots\dots\dots(3)$$

のようにすれば、相边角は振動しながらも減少してp点に戻り安定運転を継続できる。点mの位置は事故状況、再閉路動作結果に応じて決める必要があり、3線短絡のような過酷な事故の場合には再閉路を待たずef間ですでに電源抑制動作にはいらないと安定度を維持できない場合がある。

3. 電源抑制・系統分離装置

3.1 装置の概要

本装置は電源開発株式会社池原発電所に設置し、第3図に示す池原周辺の275kV系統をその制御対象としている。

本装置の動作内容はつぎのとおりである。

(1) 過負荷時の電源抑制

対象区間で送電線の安全許容電流以上の過負荷電流が流れたとき、池原の発電機がバナを制御して発電力を絞り、過負荷を防止する。

(2) 系統事故時の電源抑制

対象系統に事故が発生し、再閉路に失敗したとき、および2回線3線短絡のように事故状況が過酷であったときは、再閉路動作結果のいかんにかかわらず過渡安定度を損うおそれがあるため、事故種別、事故区間、および事故前の池原系総合発電出力に応じて必要とする電源抑制量を算出し、所要抑制量に見合った出力の発電機を選択遮断し、安定度維持を図る。

(3) 同期はずれ時の系統分離

対象系統に電気的中心を有する同期はずれが発生した場合には、インピーダンスローカス方式により第1スリップサイクルでこれを検出し、最適系統分離点において系統分離を行なう。

以上のうちとくに事故時の電源抑制においては、事故種別、事故区間、2回線送電線の再閉路状況、および池原系の事故前発電出力などにより、安定度を維持するために必要な電源抑制量は相当に変わってくるから、これを正確に行なうためには複雑な計算を必要とする。一方電源抑制動作は系統の安定度の向上を目的としているから事故時に高速度で行なう必要があり、抑制電力量の計算をそのときに行なうことはできない。したがって本装置では考えられる種々の条件における抑制電力量をあらかじめ電子計算機で計算しておき、その結果を装置に記憶し、事故発生時の条件に応じてテーブル・ルックアップ方式により抑制量を決定してオンライン制御を可能にするとともに、装置を大幅に簡素化することを考慮した。

また本装置では送電線の過負荷監視、系統の事故検出と事故相選別、さらに同期はずれ検出などに高性能の検出リレーを必要とするほか、これらのリレーの動作結果を組み合わせる複雑な論理演算を行なう必要がある。したがって従来の電磁リレーにかわり、トランジスタ回路を用いれば、性能向上、動作時間の高速化、および装置の小形化に有効であり、保守点検が容易になる。そのため本装置では主要リレー、論理演算回路、および点検回路をすべてトランジスタ回路で構成した。第4図はその外観である。

3.2 過負荷時の電源抑制

第5図は過負荷時の電源抑制の方式説明図である。

A~B間の過負荷はAに設置した過電流リレー51により検出され、搬送装置SP, RPを介して池原に転送される。

池原~A間の過負荷は池原において2回線総合の過電流リレー51L, 51Hで検出する。51Lは別途設置されている回線別の不足電流リレーと組み合わせて1回線運転時の過負荷を検出し、51Hは2回線運転時の過負荷を検出する。

このようにして対象区間の過負荷を検出すると、限時動作回路 T_1 , T_2 により確認したのち、選択回路 S_1 によってあらかじめ選ばれている水車のガバナを制御して発電力を絞り、過負荷状態が解消するまでその動作をつづける。

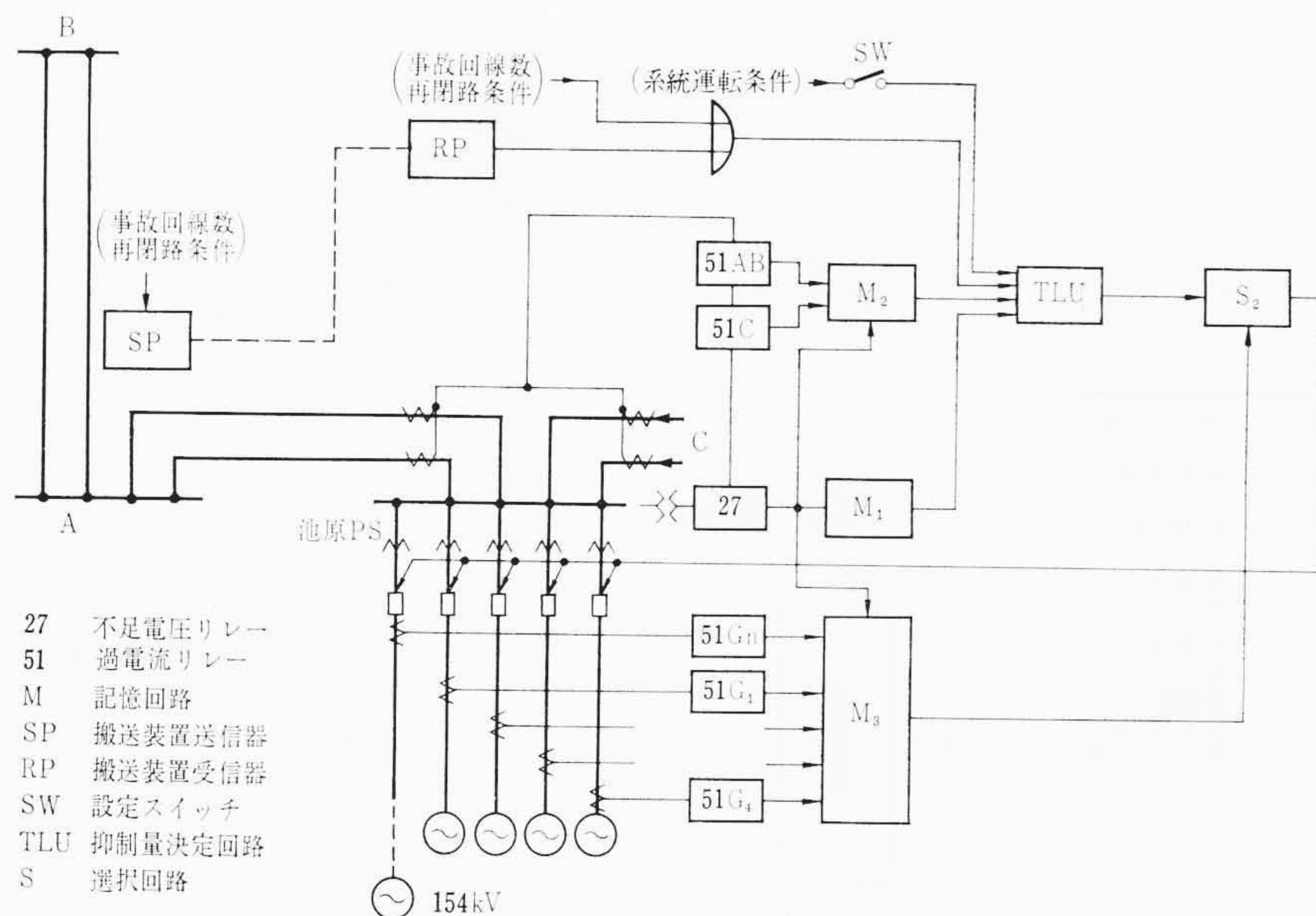
ここで限時動作回路 T_1 , T_2 は瞬間的な過電流による不必要な抑制動作を防止するとともに、池原～A間は系統条件によって抑制すべき発電量が異なるから、抑制動作に必要な時間を見込んで T_2 は T_1 より短く整定されている。

3.3 系統事故時の電源抑制

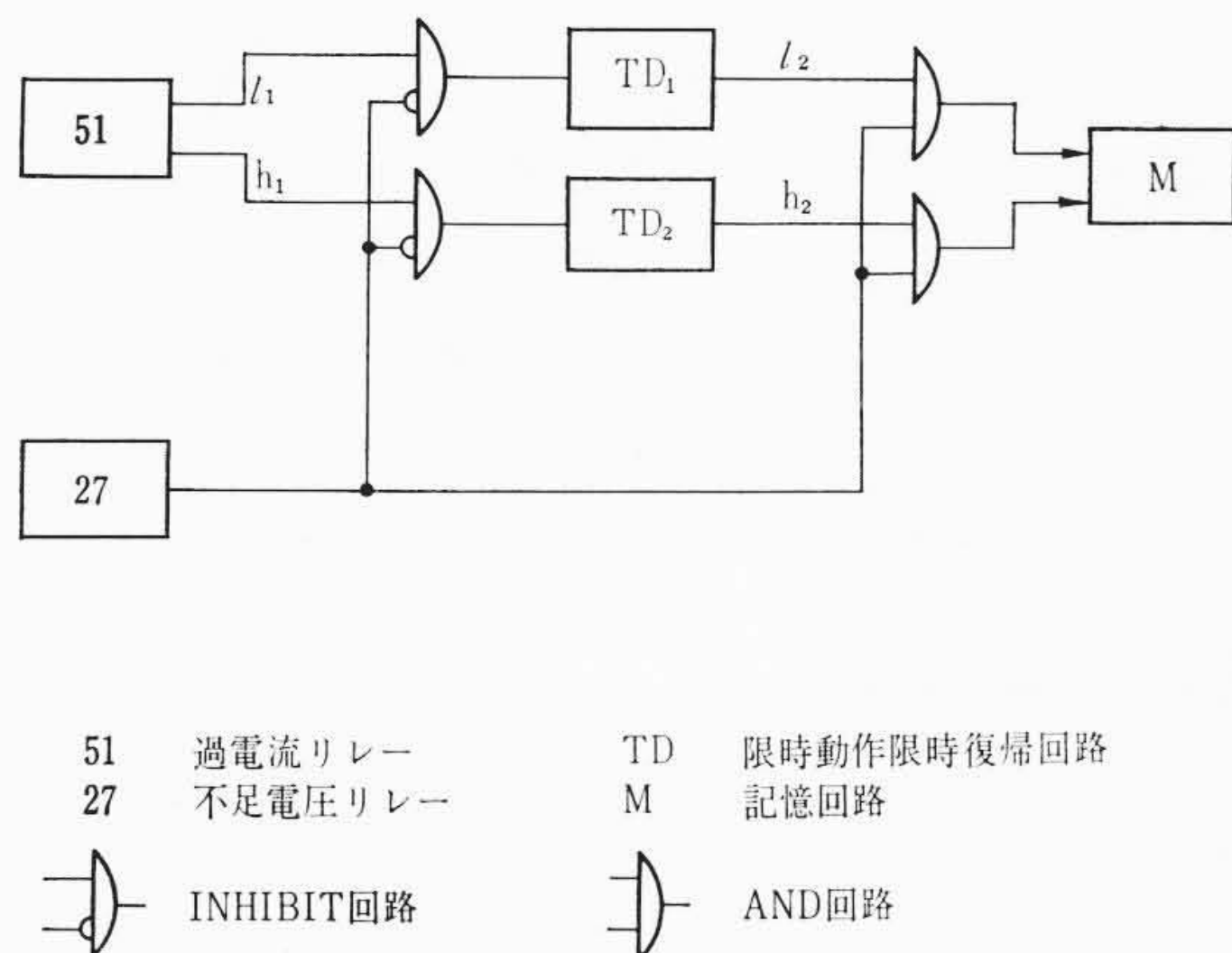
第6図は系統事故時の電源抑制方式説明図である。

対象系統に事故が発生すれば電流補償付不足電圧リレー 27 が動作し、事故が1線地絡か2相以上の多重事故かを判別して M_1 に記憶する。

発電所出力は2段動作の過電流リレー 51AB, 51Cを用い、51ABは低出力および中出力を、51Cは高出力を検出するように整定して



第6図 系統事故時の電源抑制方式説明図



第7図 事故前出力検出方式説明図

おき、27が事故発生を検出したとき事故発生前のリレー動作状態を記憶するようにして、事故発生前の出力が低出力、中出力、高出力の3段階のいずれにあったかを M_2 に記憶する。また池原各発電機および154kV系統の事故前出力も過電流リレー 51Gnと51G₁～G₄により同様の方法で、低、中、高の3出力において記憶回路 M_3 に記憶する。

一方送電線の再閉路動作状況（事故回線数と再閉路成功、失敗の別）は送電線用保護リレー盤から条件を引き出し、A～B間についてはAから搬送装置 SP, RP を介して条件を池原に転送し、A～池原～C間については池原で直接検出するようにしている。

このようにして検出した事故回線数、再閉路条件、事故種類、および事故前の発電所出力、さらにあらかじめ給電連絡により設定されている系統運転条件などを組み合わせて事故条件を判定する。種々の事故条件に対して必要な電源抑制量はあらかじめ計算して記憶されているから、抑制量決定回路 TLU において事故条件がいずれに相当するかを判別し、必要な電源抑制量を決定することができる。

必要な抑制量が決定されると、記憶回路 M_3 に記憶されていた池原各発電機および154kV系統の事故前出力の大きさにしたがって、抑制量に見合った抑制対象発電機を選択回路 S_2 で選択し、遮断器に引きはずし指令を与える。

本装置では発電所および各発電機の事故前出力を記憶する必要がある、第7図に示す方式を用いている。すなわち、2段動作の過電流リレーの低整定出力 l_1 、高整定出力 h_1 をそれぞれ限時動作限時復帰回路 TD_1 , TD_2 に印加してその出力を l_2 , h_2 とすれば、事故発生によって l_1 , h_1 に変化を生じて l_2 , h_2 は暫時限事故前の状態を保持しているから、事故検出リレー 27 の動作によって l_2 , h_2 の状態を M に記憶させることができる。

また抑制対象選択回路は対象発電機を池原3号、4号、1号、2号、および154kV系統の順に優先順位をつけ、必要な抑制量に対し、最小限の台数の回路を遮断するように自動選択する。

第1表は抑制量 P_1 MW に対する例であり、いずれかの発電機が高出力運転にあるときはその発電機は約 P_1 MW の出力を有するため、優先順位にしたがって1機を選択する。いずれも高出力のものがなく、どれか中出力にある場合はその発電機と他の2機をあわせ約 P_1 MW とし、優先順位にしたがって選択する。すべて低出力運転のときは全機を選択する。抑制量が異なる場合も同様の方法により選択する。

抑制対象の選択は各発電出力に応じてあらかじめピンボードで手動設定することもできる。

3.4 同期はずれ時の系統分離

第8図は同期はずれ時の系統分離方式を、第9図はそのインピーダンス軌跡を示す。

池原～A～B間に電気的中心を有する同期はずれが発生したとき、池原母線電圧と池原～A間電流の比による系統インピーダンスは池原側周波数がB側周波数より高いか低いかによって第9図(a)(b)に示す軌跡を描く。したがってオフセットモーリレー 440 M_1 , 440 M_2 , およびオームリレー 44 R_1 , 44 R_2 を組み合わせて R, X 座標上で領域 I, II, III を区分し、インピーダンス軌跡が I → II → III または III, II, I と一定時間を経て通過したことを検出して同期はずれを検出する。

同期はずれを検出したときは、第8図に示す分離遮断用遮断器のうち、選択回路 S_3 によりあらかじめ選択されていた遮断器を選択遮断して分離動作を行ない、同期はずれによる系統動揺が他系統に波及するのを防止する。

3.5 主要リレー

本装置には主要リレーとして第2表に示すような各種のトランジ

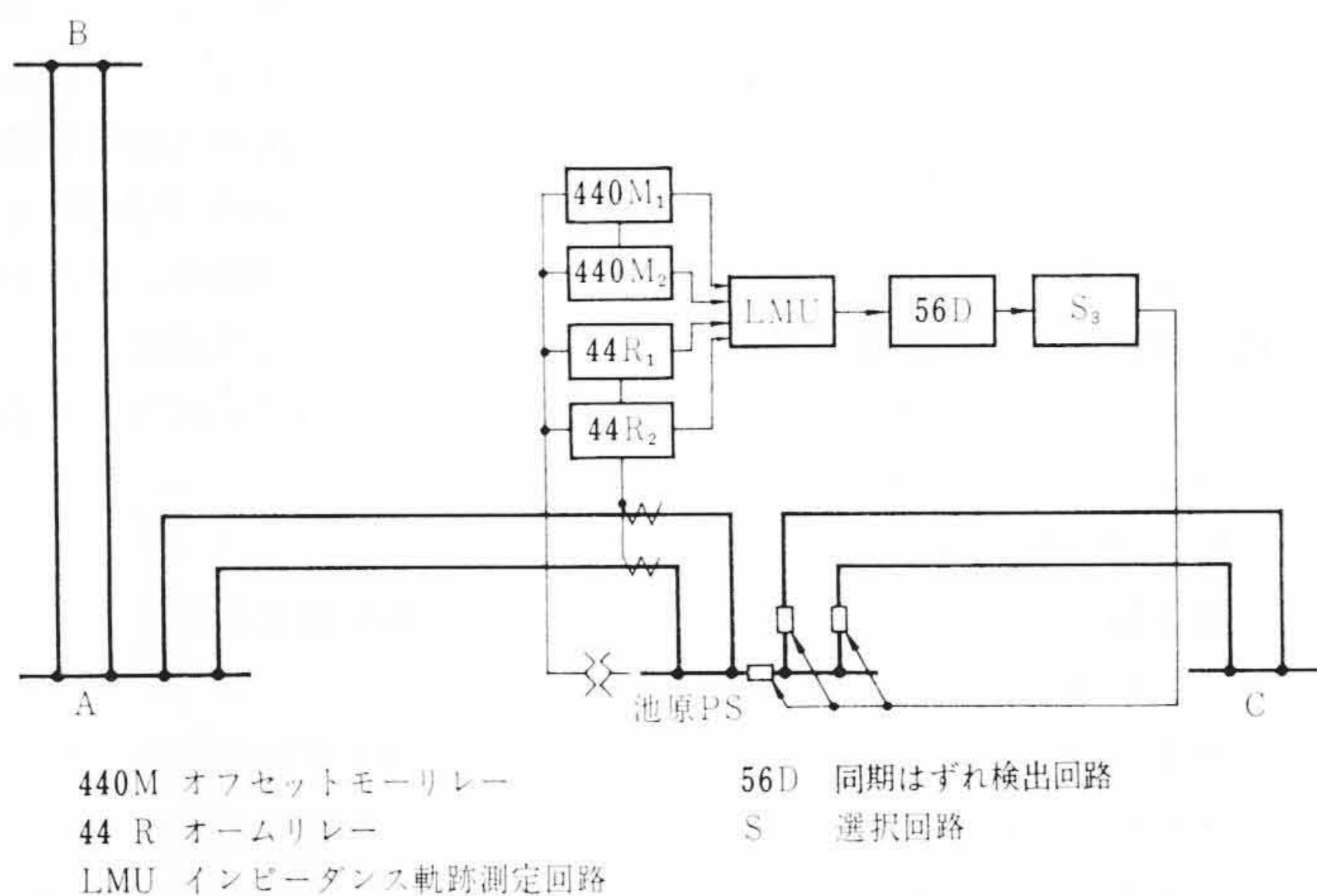
第 1 表 抑制対象発電機順位表

対象発電機	抑制量 優先順位 出力	P ₁										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
池原3号	L									○	○	○
	M						○	×	×	×	×	×
	H	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
池原4号	L						○				○	○
	M						○	×	×	×	×	×
	H		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
池原1号	L						○	○				○
	M						○	○	×	×	×	×
	H			○	×	×	×	×	×	×	×	×
池原2号	L						○	○				○
	M						○	○	×	×	×	×
	H			○	×	×	×	×	×	×	×	×
一五四kV系	L							○	○			○
	M									○	×	×
	H					○	×	×	×	×	×	×

L 低出力 M 中出力 H 高出力
○ 選択対象 × 選択否定条件

第 2 表 主 要 リ レ ー

器具番号	名 称	形 式	定 格, 仕 様	用 途
51L, 51H	過電流リレー	SO-N-1K ₁	5A, 60 c/s, 2~8 A タップ	過負荷検出
27	不足電圧リレー	SVO-UN-1K ₁	63.5V, 5A, 60 c/s, 30~45V タップ	故 障 検 出
44OM	オフセット モーリレー	SHY-N-4K ₁	110V, 5A, 60 c/s, 前方 3~30Ω タップ, 後方 0~3Ω タップ	同期はずれ 検 出
44R	オームリレー	SR-N-1K ₁	110V, 5A, 60 c/s, 1~10Ω タップ	同期はずれ 検 出
51AB, 51C, 51G	2 段 動 作 過電流リレー	SO-WN-1K ₁	5A, 60 c/s, 1.0~ 2.4A タップ, 1.25, 2.5 倍率タップ	発電所および 発電機出力 検 出

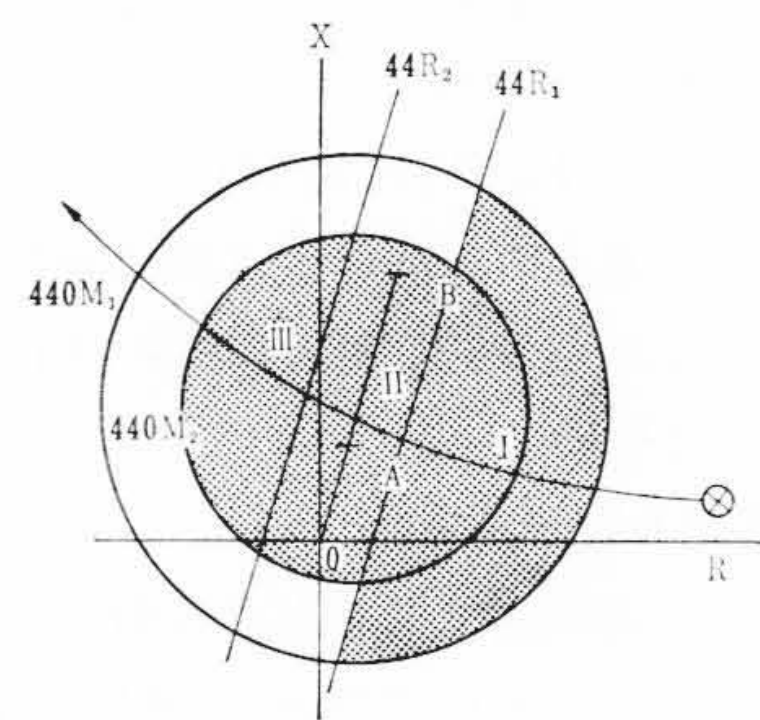


第 8 図 同期はずれによる系統分離方式説明図

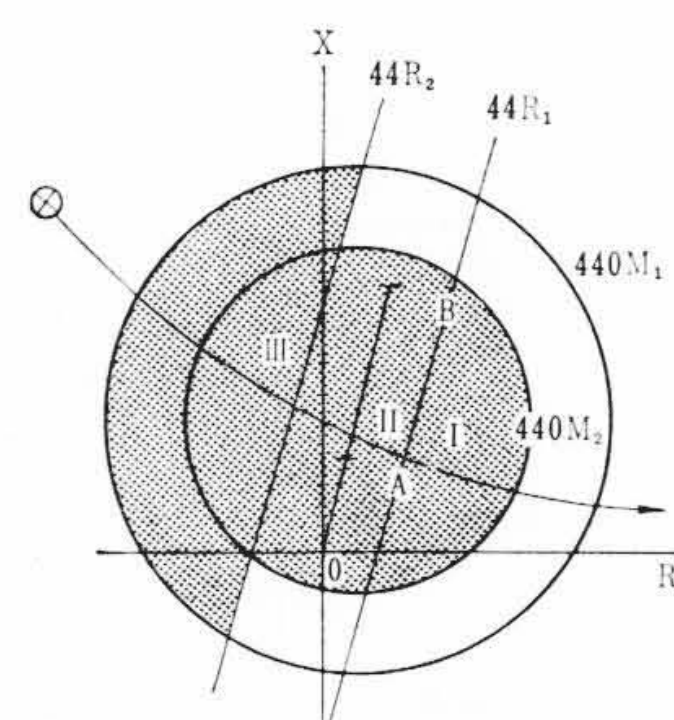
スタリレーを用いた。

このうち 51 L, 51 H, 27, 440 M, 44 R には高速度で安定な動作が得られる直接位相比較原理⁽³⁾を用いた。51 AB, 51 C, 51 G はリレーの要素数を減らすため、2 段動作の過電流リレーとしたので、比較的低速度であるが動作が安定な整流電圧検出原理を用いた。

2 段動作過電流リレーの原理は第 10 図に示すように、入力電流を変換回路によって電圧に変換し、整流、平滑したのち、検出レベルの異なる二つの検出回路で検出するようにしたもので、低出力のときには l , h ともに出力なく、 l のみに出力があるときは中出力、 l ,

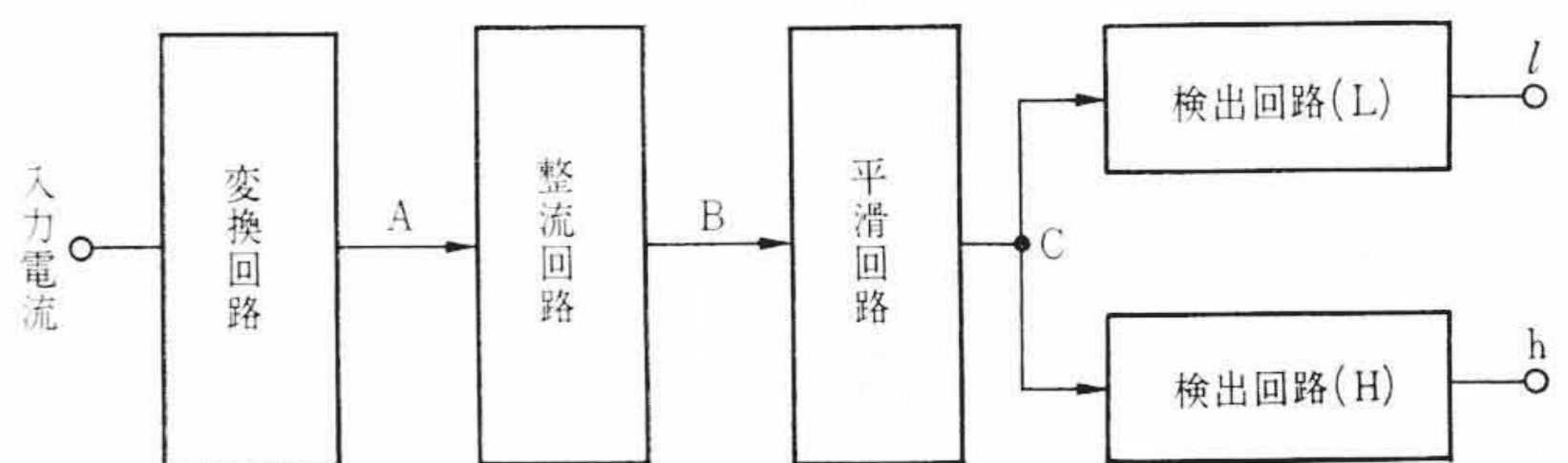


(a) F: 池原>B

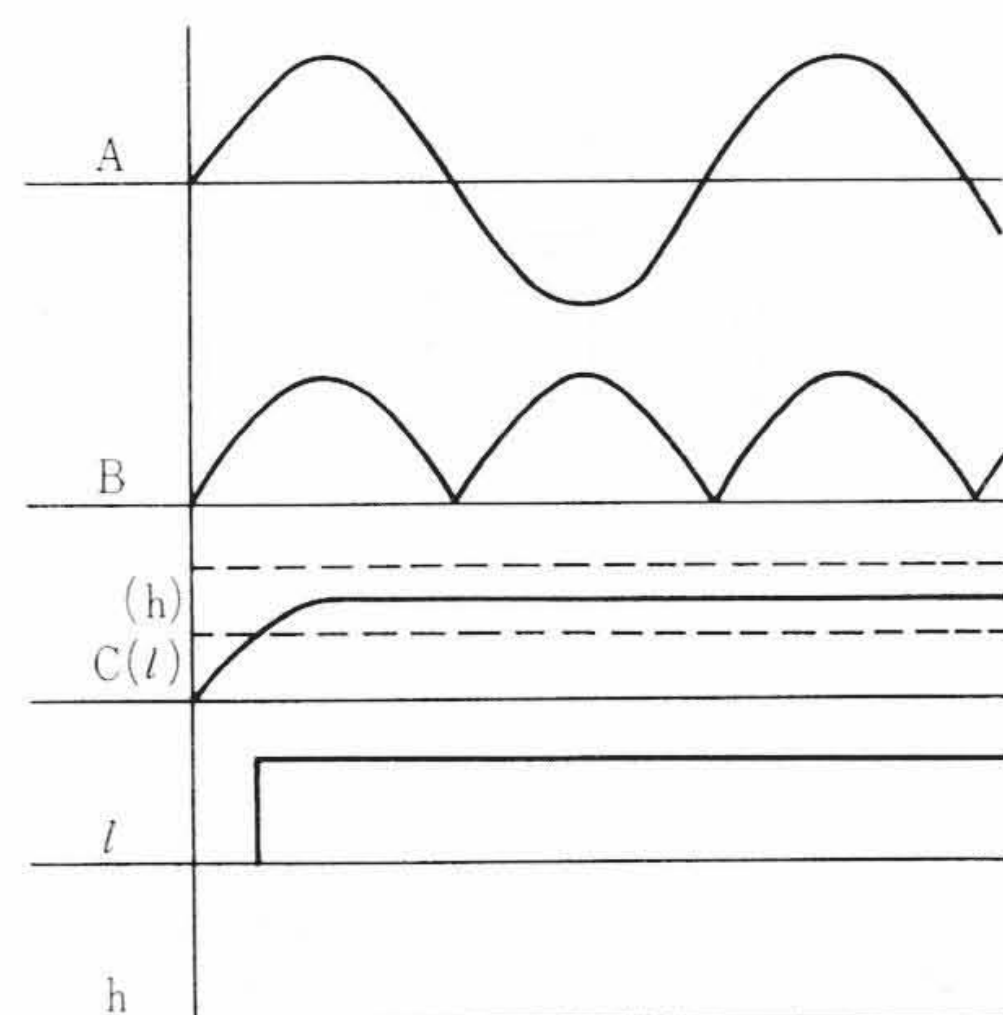


(b) F: 池原<B

第 9 図 同期はずれ検出方式説明図



(a) 回路構成



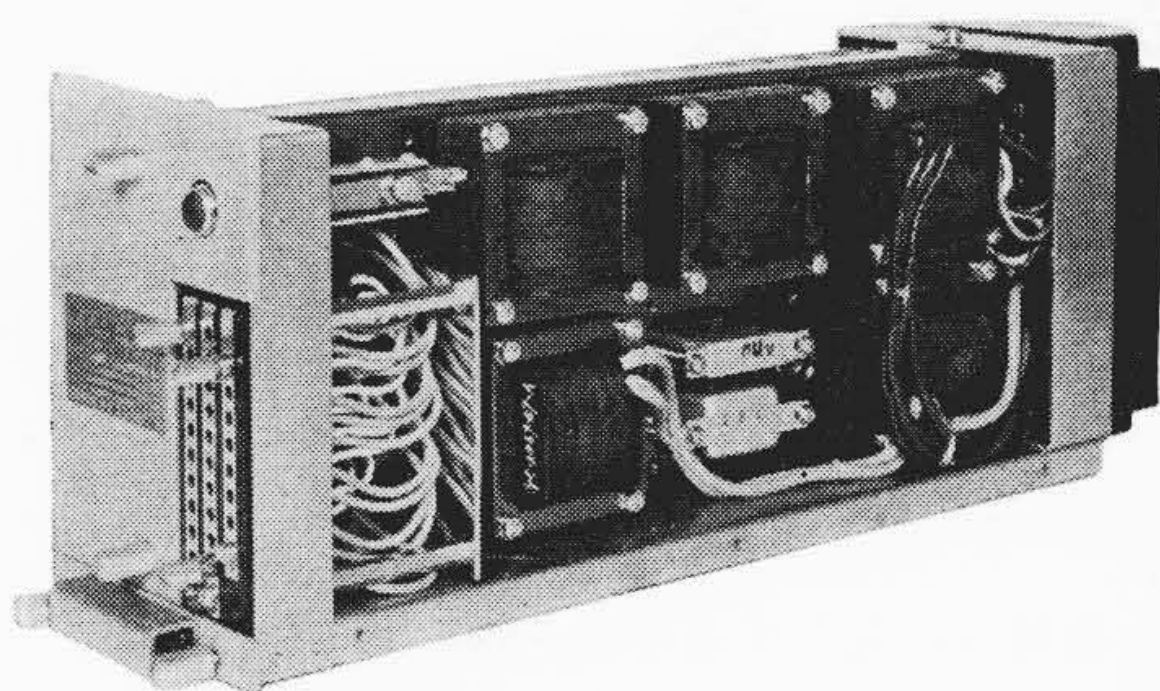
(b) 出力波形

第 10 図 2 段動作過電流リレー原理説明図

h ともに出力ありで高出力とする。

主要リレーはすべてトランジスタリレーであるため、入力にフィルタ回路を付加して故障時の電圧、電流波形ひずみの影響をなくし、必ず積分動作を行なわせる原理であるから、サージ雑音により誤動作することがなく、特性は非常に安定である。

さらに各リレーは第 11 図に示すように 1 相分を 1 ユニットとし



第 11 図 主 要 リ レ ー

て構成され、それぞれプラグイン構造としてあるので保守、点検が容易である。

4. 試 験 結 果

工場において、模擬送電線と模擬信号発生装置を組み合わせ、温度範囲 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ にわたって長時間各種動作試験をくり返し行なったが、トランジスタ回路はいずれも安定な動作を続け所期の動作特性を得ることができた。とくにこの種のトランジスタ応用製品において懸念される絶縁耐圧については、十分な絶縁が施してあるため、交流 2,000 V, 1 分間, インパルス 4,500 V, $\pm 1 \times 40 \mu\text{s}$ を PD,

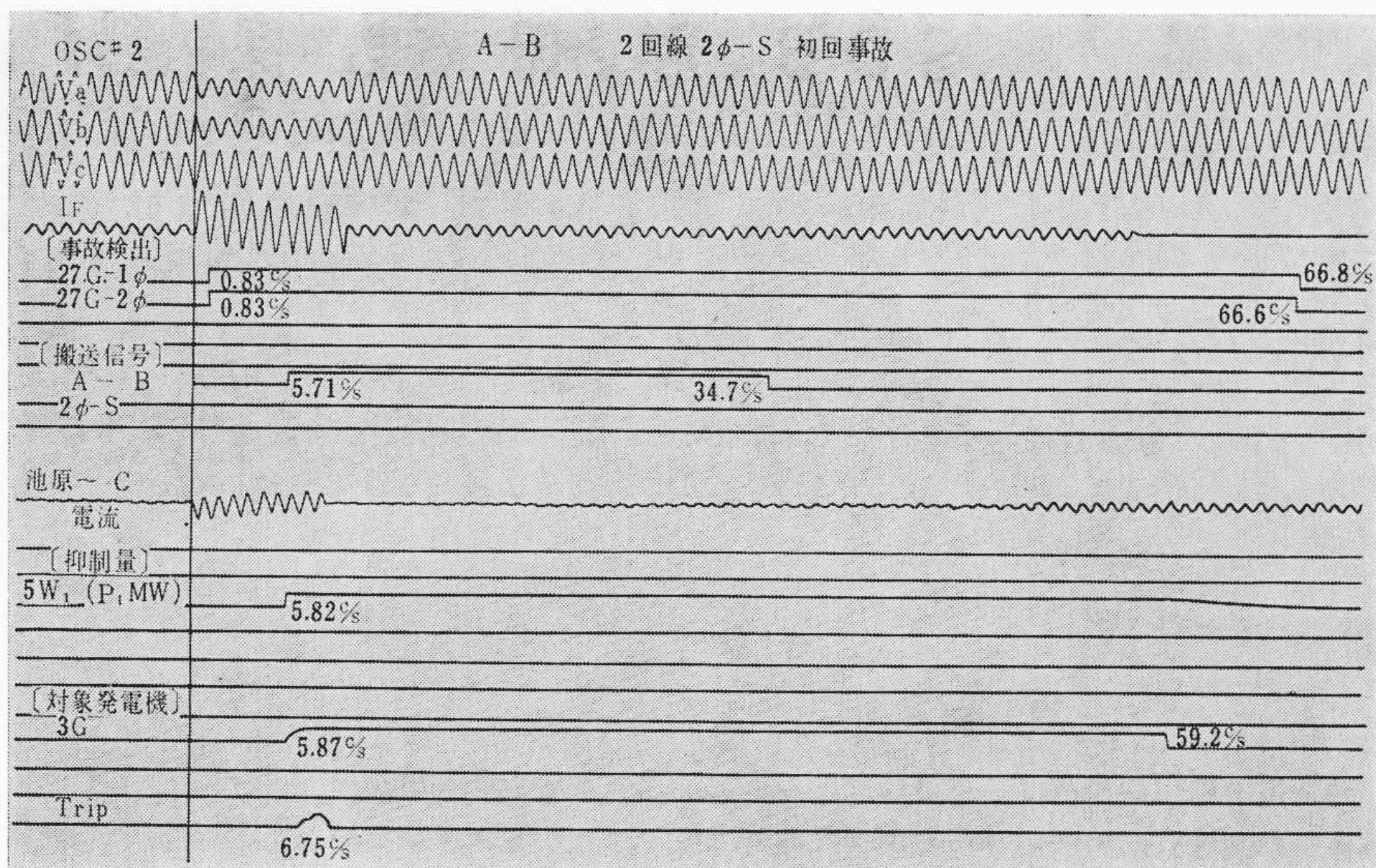
CT 2 次, および直流制御回路に再三印加してもなんら異常は認められなかった。また各回路にはすべて積分動作回路を介在させているため、入力にサージ電圧が印加されても誤動作は皆無であった。

第 12 図は A~B 間で 2 線短絡時の電源抑制試験結果の一例を示したものである。

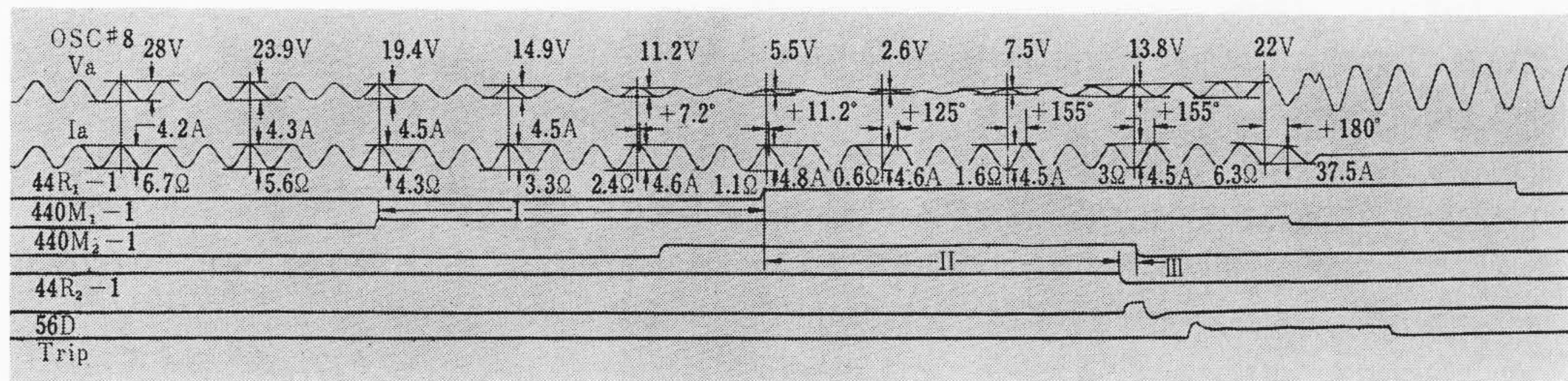
事故発生後故障検出リレー 27 は 0.83 c/s で動作してその状態を記憶し、27 動作と搬送信号受信結果により 5.71 c/s 後に A~B 間 2 線短絡事故と判定している。このとき対象系統はループ運転状態にあり、池原発電所の事故前出力は低出力であったため、5.82 c/s 後に必要な抑制量は $P_1\text{MW}$ であることを決定している。ここで対象発電機のうち池原 3 号機 3G が事故前高出力であったため、第 1 表にしたがってこれを選択、引きはずし指令を与えている。引きはずし指令が与えられると、事故条件判定信号、対象発電機選択信号、抑制量決定信号、事故検出記憶信号の順に順次リセットする。

第 13 図は同期はずれによる系統分離試験結果の一例である。これは模擬送電線電源として使用している 1,500 kVA 同期発電機を強制的に同期はずれさせて試験した結果で、系統の電圧は低下~上昇、電流は上昇~低下の経過をたどり、電圧、電流の位相角は同相から電流 180 度遅れの経過をたどっている。したがって電圧、電流の比を R-X 座標上で表わせば第 9 図 (a) の場合に相当する。この軌跡をオフセットモーリレー 440 M₁, 440 M₂, およびオームリレー 44R₁, 44R₂ により、領域 I, II を一定時限を経て通過して III にはいったことを検出し、III にはいったとき同期はずれと判定する。同期はずれを検出すれば 56D が動作し、遮断器引きはずし指令を与える。

現地実系統においても、発電機ガバナと組み合わせた過負荷時の



第 12 図 系統事故時の電源抑制試験結果



第 13 図 同期はずれによる系統分離試験結果

電源抑制試験, および搬送信号と組み合わせた系統事故時の電源抑制模擬試験を行なったが、本装置はいずれに対しても良好な動作結果を与えている。

5. 結 言

以上電源開発株式会社池原発電所に設置した電源抑制, 系統分離装置の詳細について述べた。

本装置は昭和 39 年 10 月現地に据えつけられ、系統の安定運転に無言の哨兵の役をはたすことになっている。

従来電力系統は事故発生時保護リレー装置により事故除去を行なえば残有系統の安定運転を図り得たが、最近のように大容量系統となつては単なる事故除去のみでは不十分で、発電力抑制, あるいは負荷制限など種々の処置が必要とされている。この意味で今後の活躍が期待される。

本装置のように電源抑制量自動選択を行なわせる装置はわが国においては初めてのもので、この種装置に対する条件の複雑性、動作の高速性の要求を十分満足させ得るトランジスタ技術の開発によって初めて可能となったものである。

終わりに本装置を開発するにあたり、終始ご指導いただいた電源開発株式会社関係者各位に深謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 村井, 抜山: 昭和 40 年度電気学会東京支部大会予稿「電源抑制, 系統分離装置」
- (2) 電気学会編: 送電工学 送電編 III
- (3) 渡井, 高林: 日立評論 40, 1937 (昭 40-12)