

原子炉安全保護系用“2 out of 3”同時回路の試作

The Development of “2 out of 3” Circuit for
Nuclear Reactor Safety Systems

加藤 洋 明* 鈴木 守* 片木 剣三郎*
Yōmei Katō Mamoru Suzuki Kenzaburō Katagi

内 容 梗 概

原子炉に異常現象が発生した場合、原子炉の暴走を防ぐために安全保護回路が設けられるが、この中で特に重要と考えられるのは中性子安全回路である。その一部として“2 out of 3”同時回路を試作したので、その構成および動作特性について報告する。

試作回路は比較回路と同時回路に分れ、各回路は4個のプラグインユニットより構成され、常時3個が運転状態におかれる。これら回路の種々の状態での動作特性の測定結果より、試作回路は設定点で確実に動作するとともに、ユニットの一部を取外した場合および回路要素の一部が故障した場合でも、回路全体としては安全回路としての機能を失うことなく正常に動作し、中性子安全回路として十分使用しうることを確認した。

1. 緒 言

実験用原子炉、動力用原子炉を問わず、大部分の原子炉は通常出力自動制御系によって安定に運転されることは今までの内外の運転経験から明らかである。しかしなんらかの原因で原子炉が暴走し、炉心および压力容器などが破壊されると、それまで蓄積された各種放射能が大量に周囲に分散され、公衆に著しい害を与える可能性があるため、原子炉はいかなる異常現象に直面しても、かかる事故を起さないよう常に安全に保護されねばならない。

このため多くの原子炉では、常時原子炉の状態を監視する安全保護回路が設けられ、異常現象を発見するやいなやただちにその現象に相応した安全動作をとることによって、原子炉の暴走を防ぐようになっている。

このような安全保護回路は中性子束、および冷却体温度、流量、圧力など多くのプラント諸量の異常状態によって動作するが、中でも定格出力運転時には中性子束の異常現象が最も重要な要素となる。このため諸外国においてもこの中性子安全回路に関する研究⁽¹⁾⁽²⁾が進められ、種々の方式が開発されている。

中性子安全回路に要求される条件としては、中性子束の異常現象に対して急速かつ確実に動作するとともに、回路自体の故障に対して信頼性が高く、たとえ故障が生じて、それによって原子炉を停止したり安全回路としての機能を失うようなことがあってはならない。

これらの要求を満足するため諸外国においては、3個の回路のうち2個以上が動作すれば原子炉が停止されるといういわゆる“2 out of 3”同時回路方式⁽³⁾が採用されているが、これらは継電器を組合わせているため動作時間が長く動力用原子炉の安全回路としてはあまり好ま

しくない。

われわれは電子管を用いたプラグインユニット方式の“2 out of 3”同時回路を試作し、その回路の動作特性および故障時の特性などを測定し、中性子安全回路としての使用の可否を検討したので以下に報告する。

2. 回路構成の検討

2.1 安全回路の必要条件

原子炉の開発初期においては、当然のことながら原子炉の安全性が強調され、安全回路は常に“fail safe”(故障は安全側)に設計されたため、安全回路自体の故障によって炉がしばしば停止されるということが起った。これは起動、停止の比較的簡単な小形実験炉においてはさして問題はないが、動力源として長期間連続運転される発電用原子炉、船用原子炉においては、このような事故で原子炉を停止することは望ましくない。このため動力用原子炉においては実験炉と異なった安全保護回路を採用すべきで、これには次のような条件を満足しなければならない。

- (1) 高度の安全性を具備すること。
- (2) 高度の信頼性を具備すること。
- (3) 要素の故障によって安全回路としての機能を失わないこと。
- (4) 要素の故障によって原子炉を停止しないこと。
- (5) 故障の指示と、故障ユニットの取り替えが容易であること。
- (6) 寿命が長いこと。

2.2 各種回路の比較

原子炉の安全回路は上記の各条件を満足することが必要であるが、特に動力用原子炉としては、(3)、(4)項の条件が重要な問題となる。このような条件は単一要素の回路では満足できず、多くの要素を適当に組合わせる

* 日立製作所日立研究所

第1表 各種回路信頼性の比較

各種回路	要素数	完全なトリップのための信号数	要素の故障で系が無能になる確率	一 例	偽りのスクラム信号を発する度数	一 例
単一回路	1	1	$F_0 t_1$	2.28×10^{-2}	F_S	12
直列回路	2	1	$(F_0 t_1)^2$	5.20×10^{-4}	$2 F_S$	24
並列回路	2	2	$2 F_0 t_2$	4.56×10^{-3}	$2 F_S^2 t_R$	0.00329
2 out of 3 同時回路	3	2	$3(F_0 t_2)^2$	1.56×10^{-5}	$6 F_S^2 t_R$	0.00987
直並列回路	4	2	$2(F_0 t_2)^2$	1.04×10^{-5}	$8 F_S^2 t_R$	0.01316

F_S : 偽りのスクラム信号を発する度数 (12回/year)

F_0 : 安全回路としての機能を喪失する故障度数 (2回/year)

t_1 : 各要素の故障発生から検出までの時間
(運転中、回路のチェック不能の場合 100時間 = 1.14×10^{-2} year)

t_2 : 各要素の故障発生から検出までの時間
(運転中、回路のチェック可能の場合 10時間 = 1.14×10^{-3} year)

t_R : リセット時間 (0.1時間 = 1.14×10^{-5} year)

ことによってはじめて満足されるものである。この際いかなる回路構成がすぐれているかを決定するため各回路の定量的な比較を行わなければならないが、これを厳密に行うことは困難で、ある程度確率的に検討する以外はない。

これに関してはすでに二、三報告⁽⁴⁾⁽⁵⁾されているが、回路選択の参考としてその結果を第1表に示す。

ここでは安全回路の故障がまったく無作為に起ると仮定し故障による各種回路の誤動作と、安全回路としての機能を喪失する確率を求めている。この表から“2 out of 3”同時回路は誤動作を生ずる確率もまた機能を喪失する確率も小さいことがわかる。

またこの回路は、3要素のうち2要素以上が動作しないとスクラム信号を出さないから、運転中に任意の要素を単独で試験することができるという特長を有しており動力炉のように長期間連続して運転される場合には非常に有利な条件となる。このため多くの原子炉においては継電器などを用いてこのように構成した安全回路を用いている。

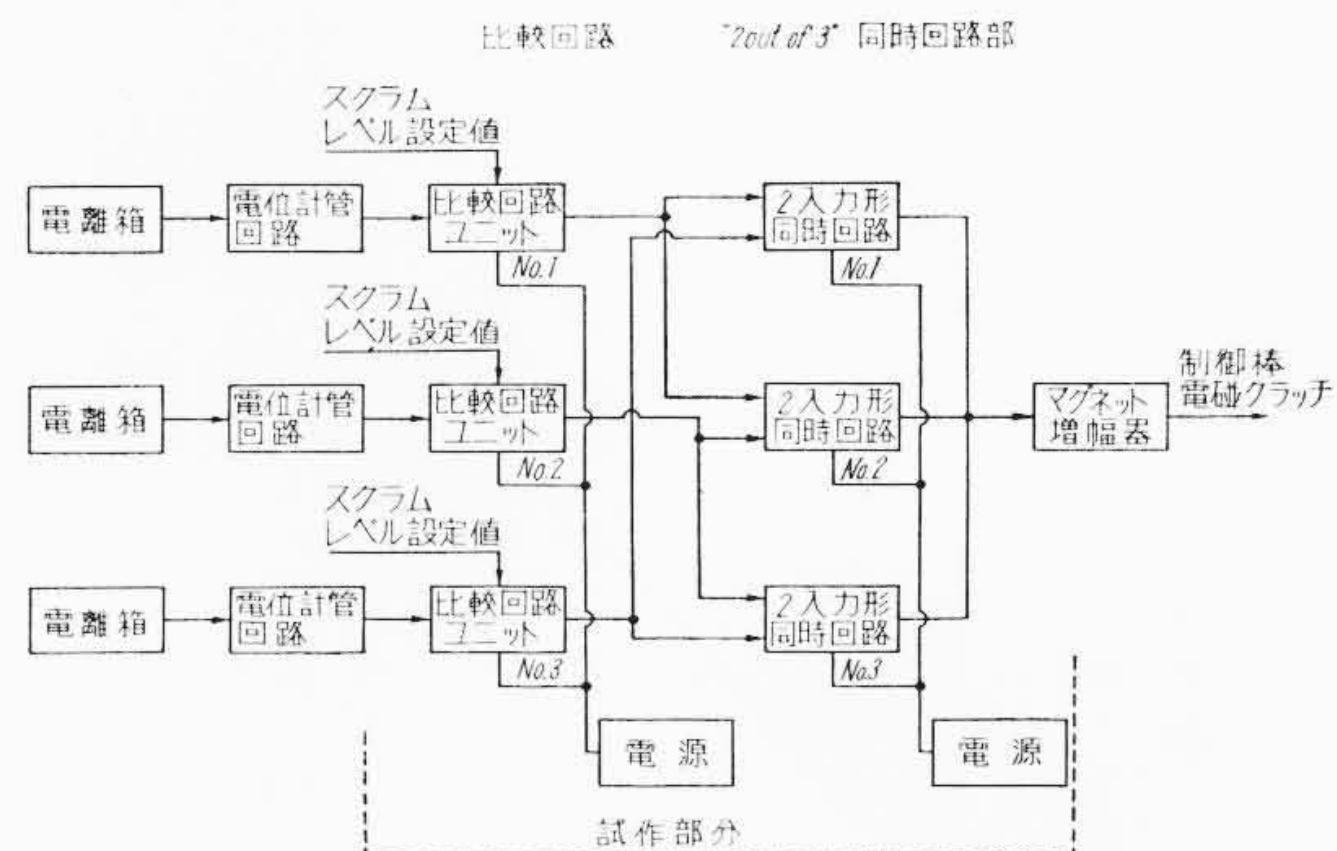
われわれも以上の比較結果から、回路構成としては“2 out of 3”同時回路方式を採用することにした。

3. 試作“2 out of 3”同時回路の構成と動作特性

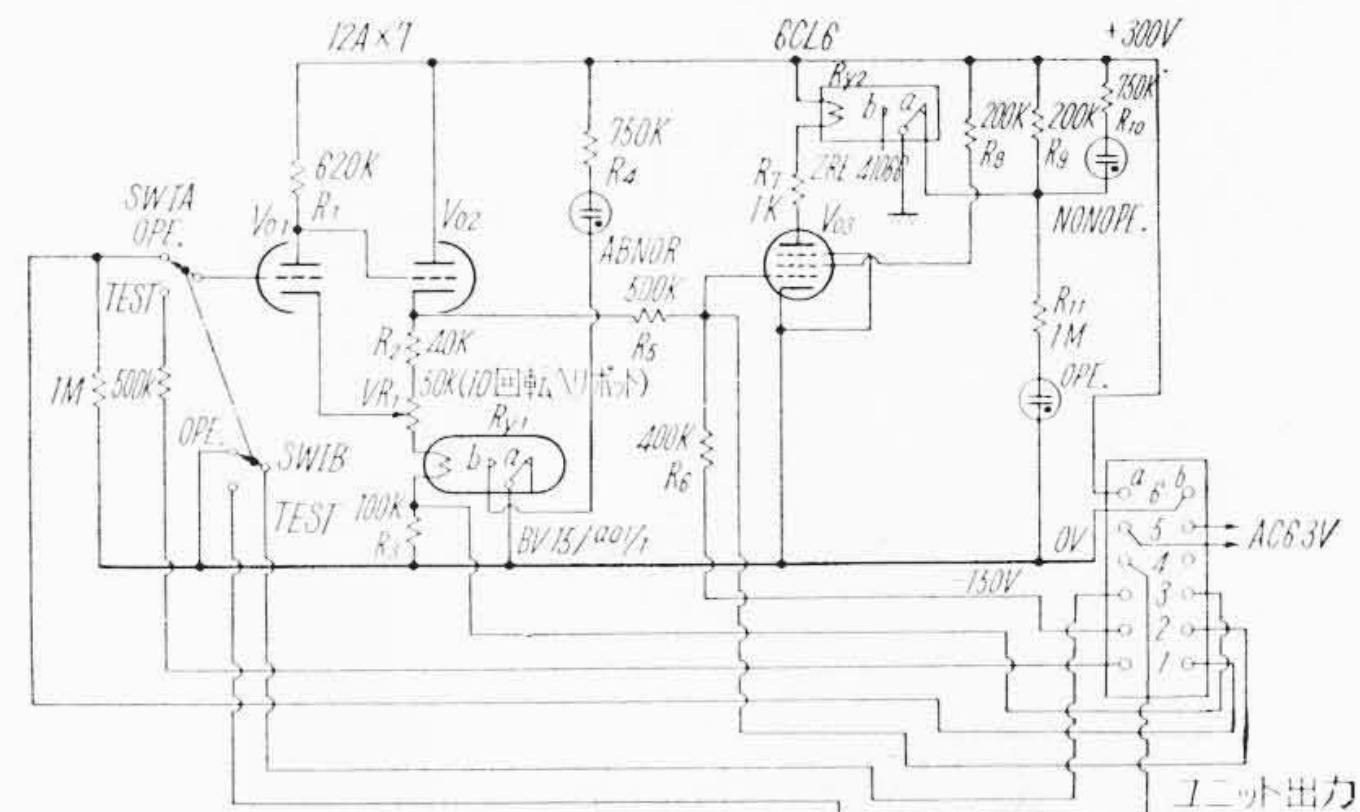
3.1 系統の構成

前章までの検討の結果、中性子安全回路として“2 out of 3”同時回路を試作することにしたが、この際安全回路としてどのような構成にするかを検討しなければならない。安全回路としての必要条件については前に述べたが、それ以外に次のような条件が考慮されねばならない。

- (1) スクラムレベルの設定は可変で、容易に行うこと。



第1図 中性子安全回路の構成



第2図 比較回路ユニット配線図

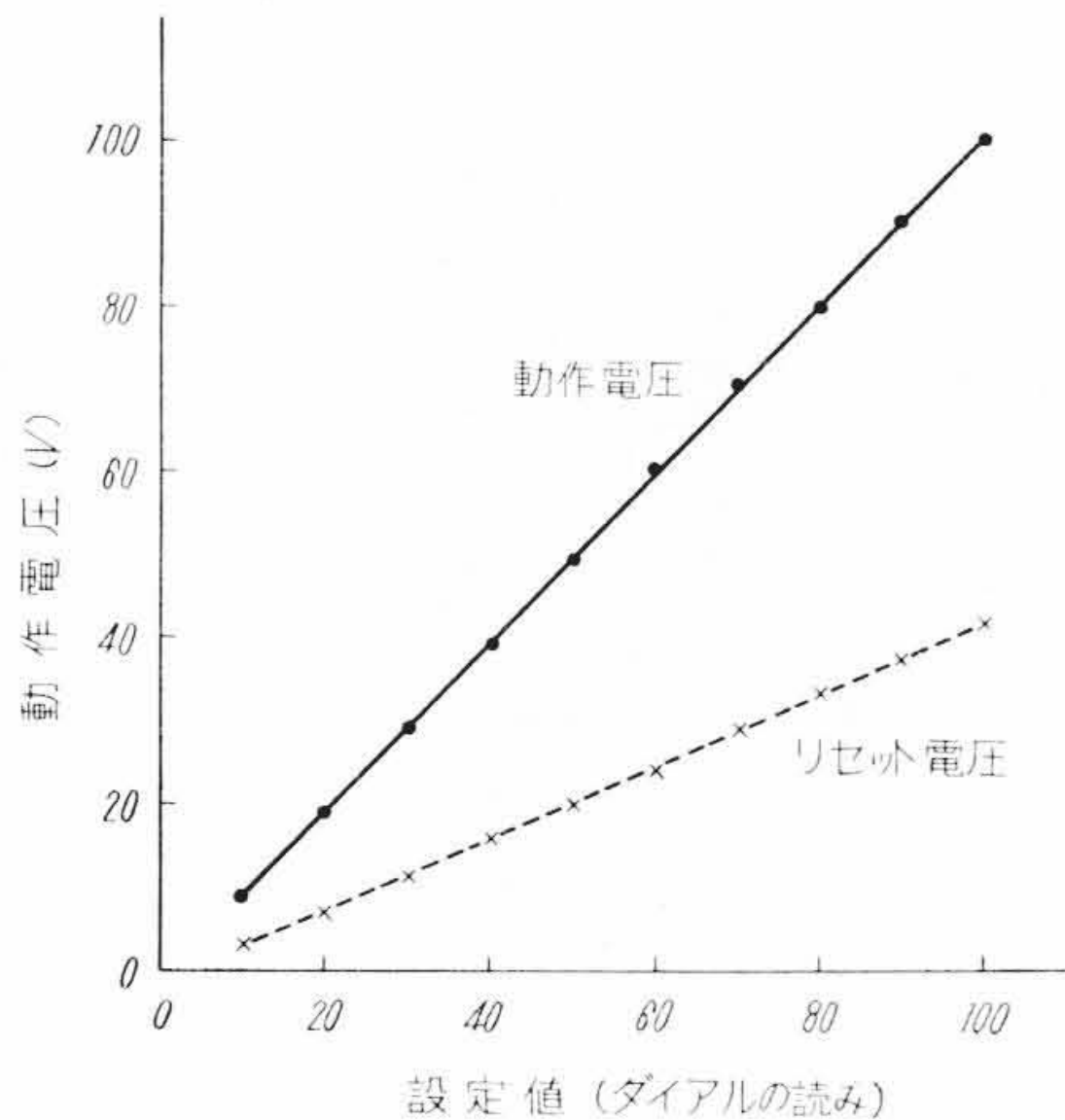
- (2) 運転中回路の試験ができること。
- (3) 各部の動作状態のモニタが容易にできること。
- (4) 回路の構成が簡単で、故障の際容易に交換ができること。

このような条件を考慮して、試作回路の構成を第1図のようにした。中性子安全回路を比較回路と同時回路の二つの部分に分けたが、各回路は常時3チャンネルから成り、それらにはすべてプラグインユニット方式を採用した。

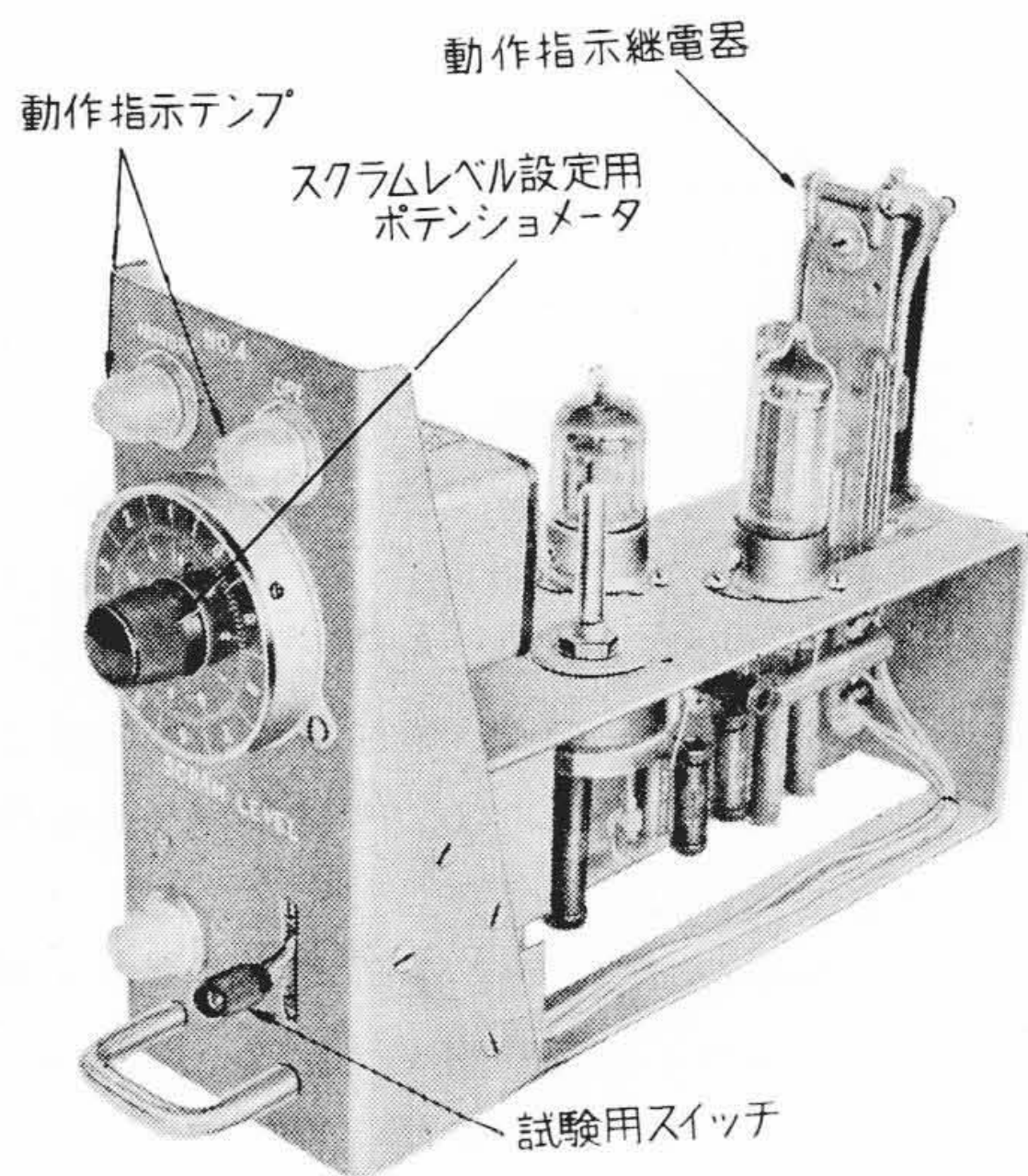
比較回路は電離箱からの出力電流を電位計管で増幅したあとの信号とスクラム設定値を比較する回路で、入力信号が設定値に達すると階段状の出力電圧を発生する。

同時回路は比較回路の出力電圧の変化が1チャンネルの場合は動作せず、2チャンネル以上の変化が生じたらスクラム信号を発するいわゆる“2 out of 3”の同時回路である。

同時回路からのスクラム信号は、マグネット増幅器を働かせて制御棒の電磁クラッチをはずし、制御棒をトリップさせて炉を停止させる。中性子安全回路としては、検出用電離箱から、制御棒の電磁クラッチまでを含めるが、この中で電磁クラッチは原子炉の形、制御棒の構造などによって異なり、またマグネット増幅器もこの特性によって支配される。したがって今回われわれが中性子安全回路を試作するに当たっては、各種の原子炉におい



第 3 図 比較回路の設定値と動作電圧の関係



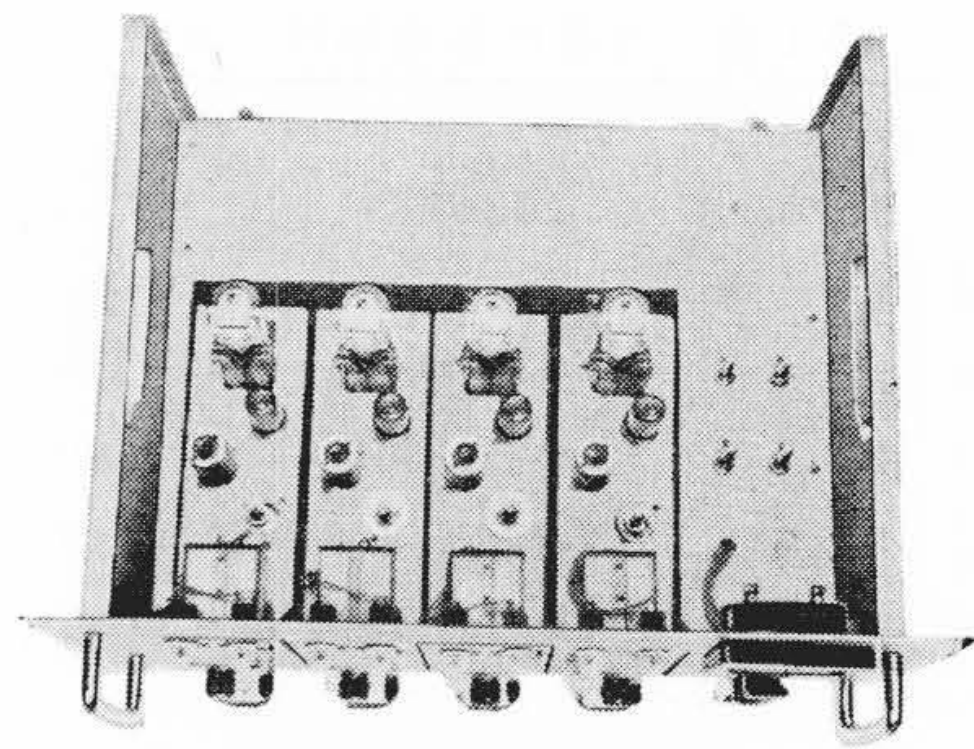
第 4 図 比較回路ユニット

てほぼ共通して用いられると考えられる部分を取り上げ、これら回路の安全回路としての諸特性を検討することにした。

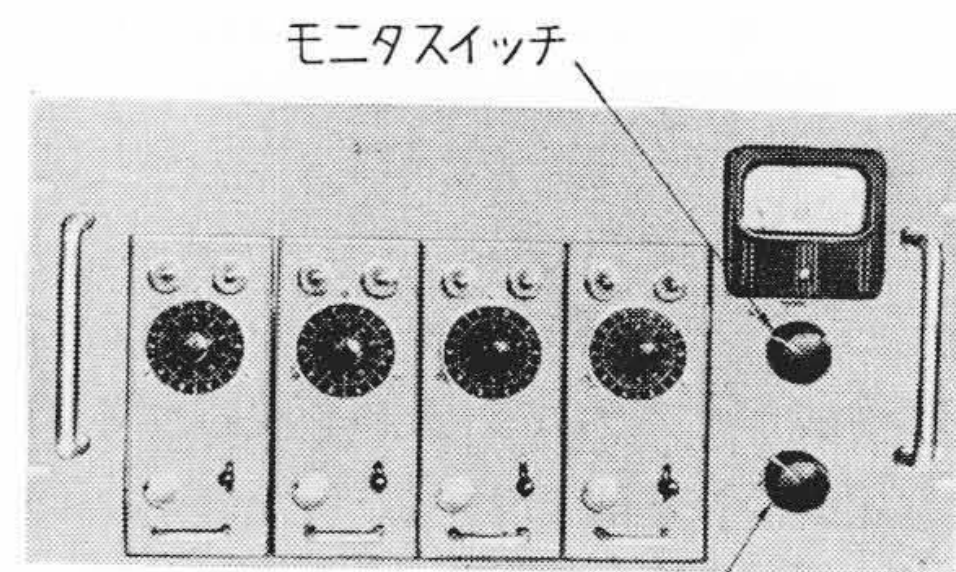
3.2 比較回路

比較回路としては、設定値において正しく動作するとともに、故障の生ずる確率などを考えきわめて簡単な回路であることが必要である。また動作レベルの設定が容易に行いうることも原子炉の起動時を考えると重要な条件となる。

第 2 図は試作した比較回路ユニットの配線図で、動作指示継電器 (R_{Y2}) 駆動回路、故障指示継電器なども含まれている。SW 1 は試験用スイッチで、通常は“OPE”側にあるが、これを“TEST”側に倒すと入力に試験信号が加えられ回路の動作状態が試験される。スクラムレ



(a) 上より



(b) 正面より

第 5 図 比較回路の概観

ベルの設定は 10 回転のポテンショメータでなされ、10～100 にわたって可変である。

第 3 図は設定値と入力動作電圧の関係で、60～100 V では両者はよく一致していることがわかる。50 V 以下では両者の相違が見られるが、安全回路の要求として、低出力時でのスクラムレベルの設定値はそれほど厳格に規定する必要はないから、この程度の相違は問題ないであろう。

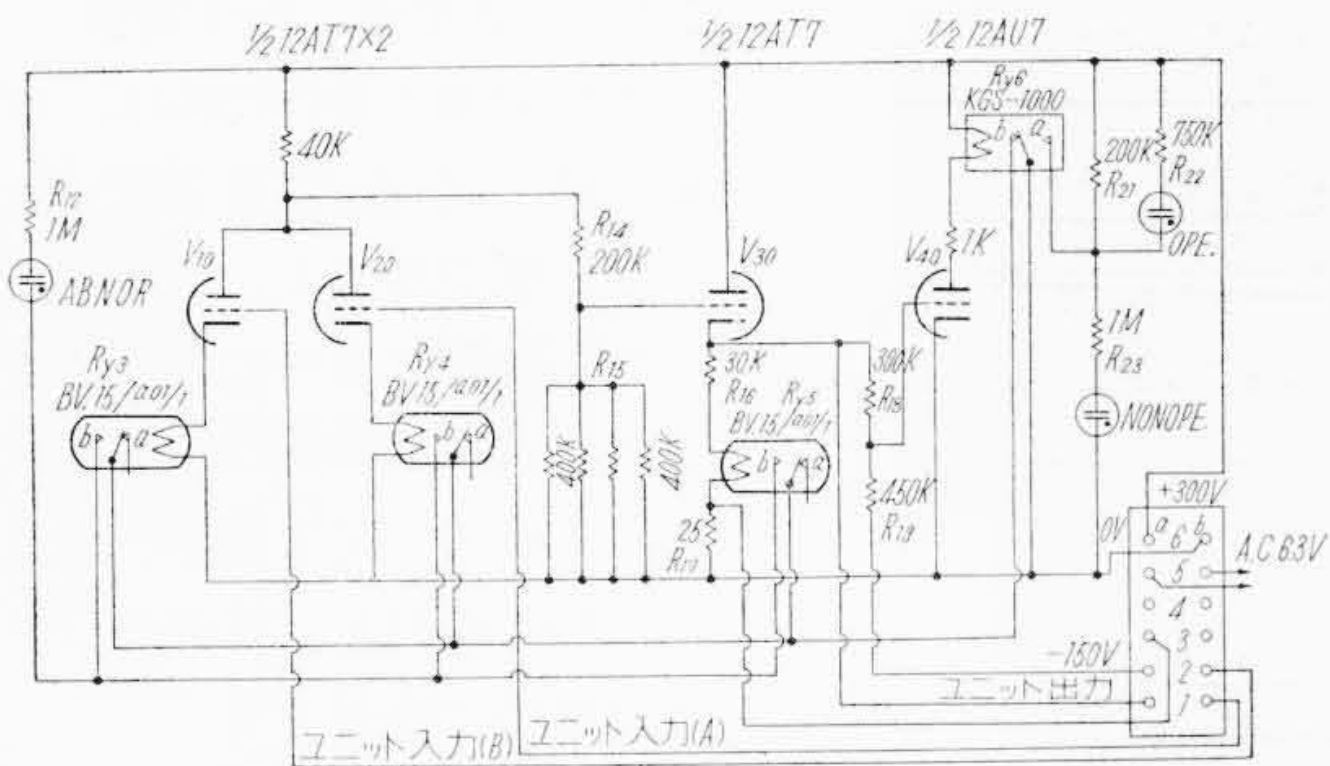
この場合入力信号としては単に電圧で与え 0～100 V の範囲を考えたが、実際に電離箱に接続して原子炉に使用する場合には、安全回路の前段に設けられる電位計管の出力電圧の与え方により、陰極抵抗を変えて適応させることができると考えている。

試作した比較回路ユニットの写真を第 4 図に示す。

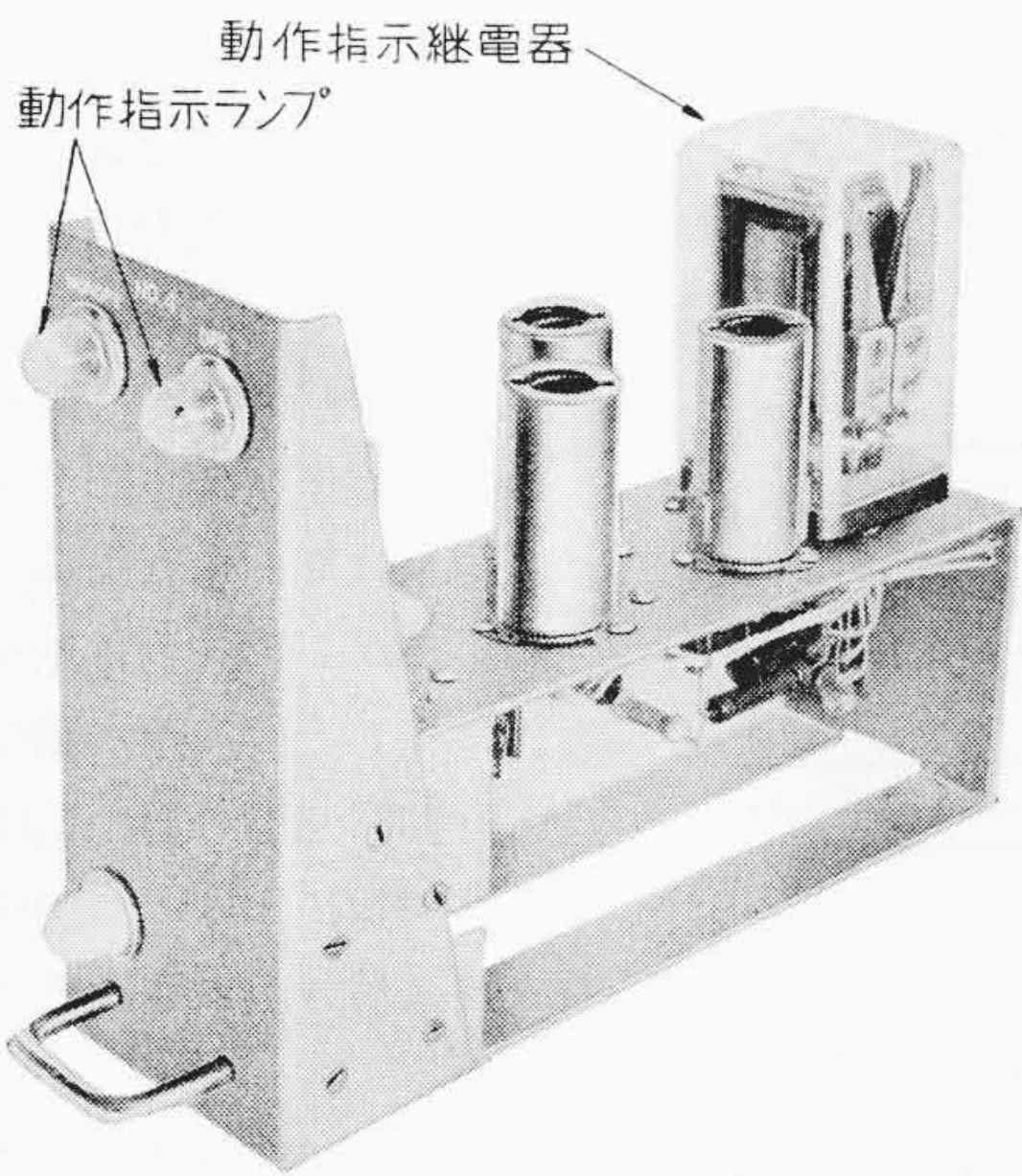
第 5 図はこれらユニットを一つのシャーシに組込んだ場合の概観で、比較回路ユニット 4 個、試験信号発生部、回路主要部の動作状態をモニタするモニタ部および信号切換えスイッチなどから構成されている。ユニットはプラグイン形で、4 ユニット組込まれているが、常時は 3 ユニットが動作状態にあり、1 ユニットは予備である。予備ユニットの選択はユニット切換スイッチでなされるが、これについては後述する。

3.3 同時回路

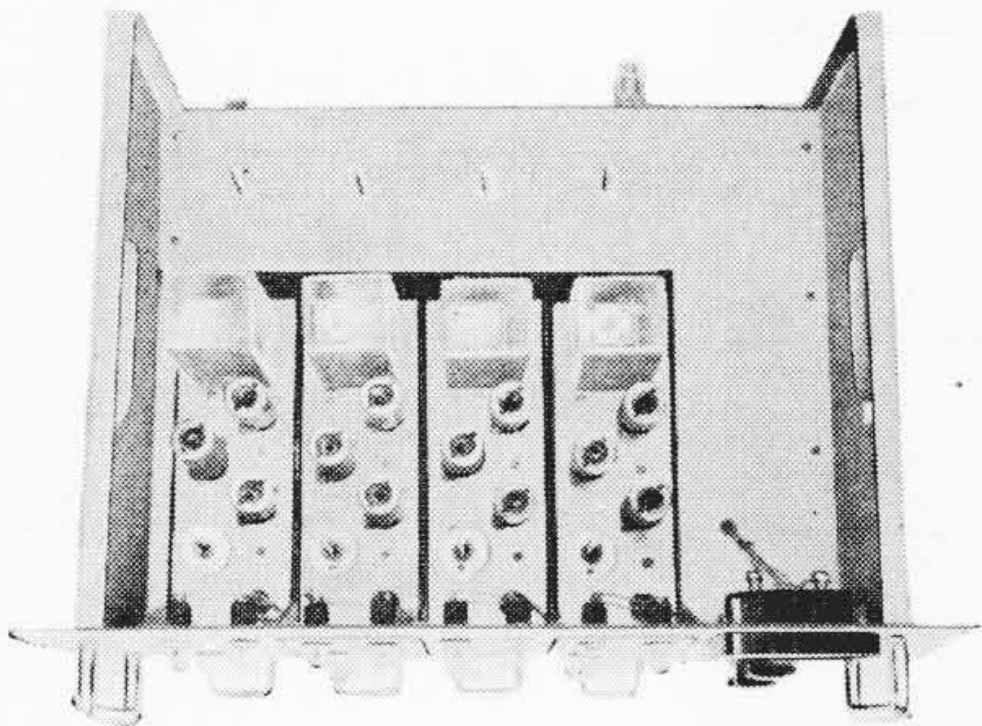
試作した同時回路の各ユニットは、2 個の入力を有し両者に信号が入った場合にのみ必要な出力信号を出す 2



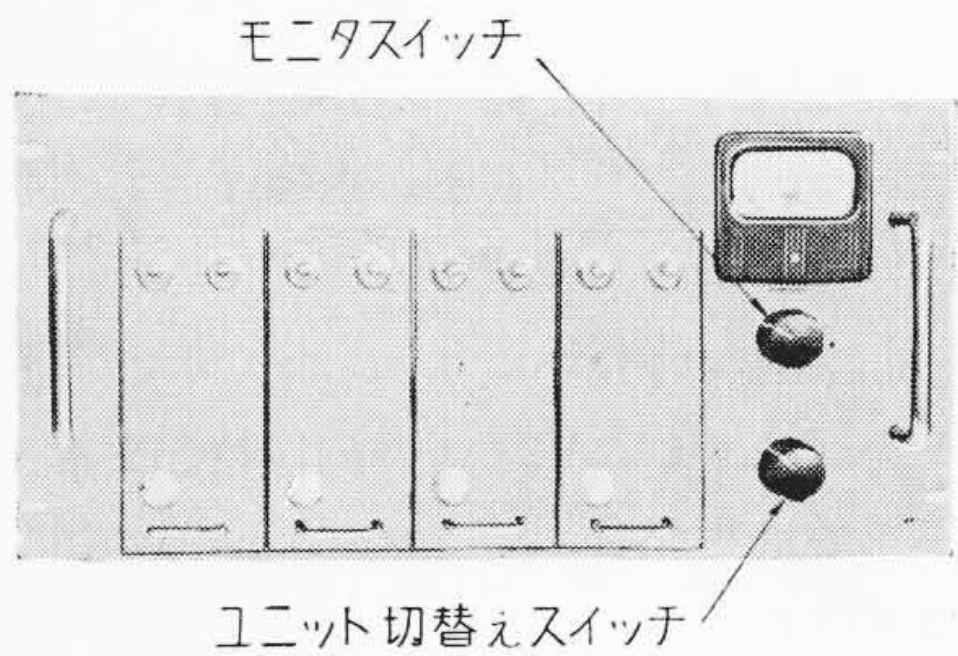
第6図 同時回路ユニット配線図



第7図 同時回路ユニット

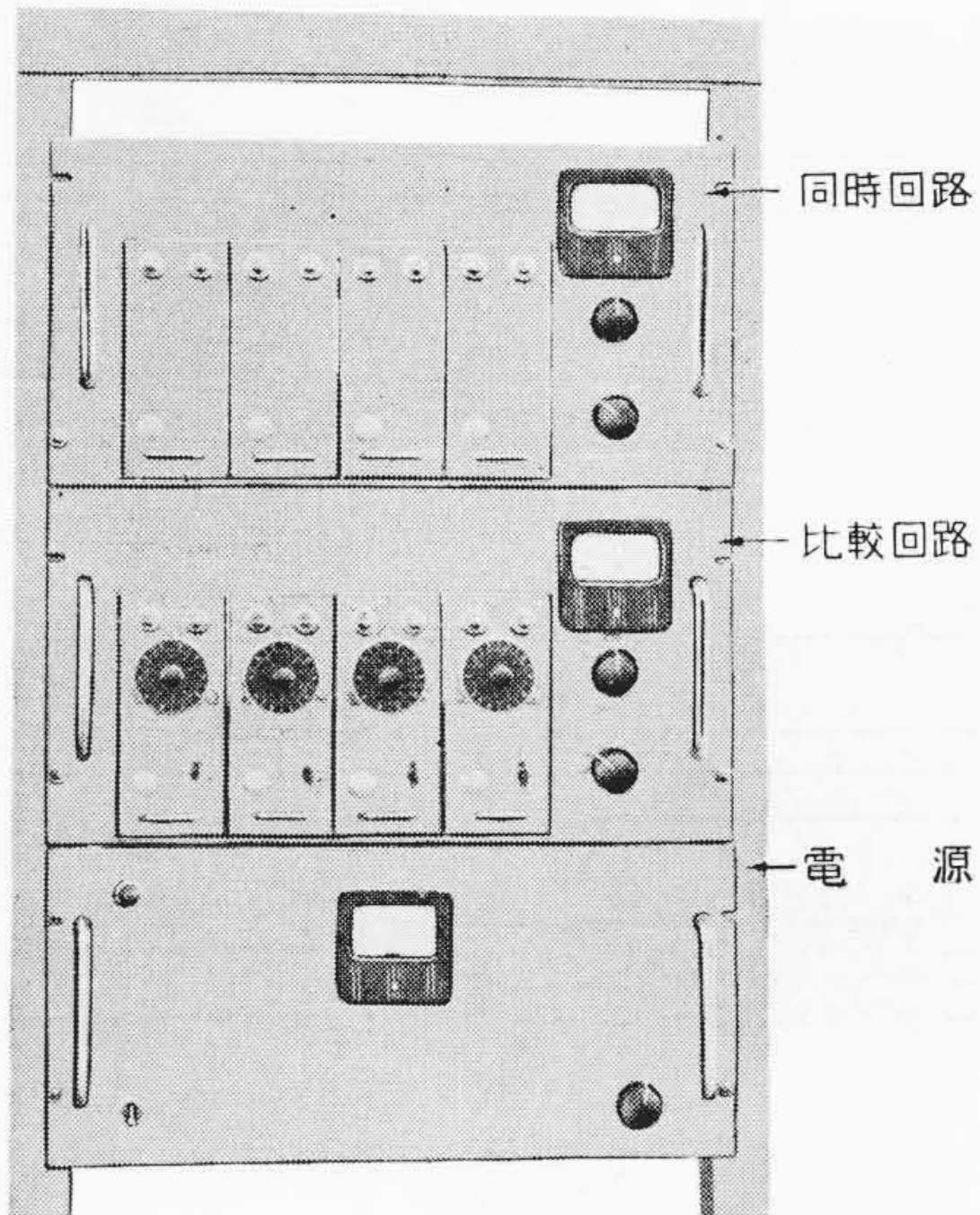


(a) 上より



(b) 正面より

第8図 同時回路の概観



第9図 試作回路の概観

入力形同時回路で、これを第1図のように3個組合わせることにより“2 out of 3”同時回路を構成することができる。

第6図は試作ユニットの配線図で、動作指示、故障検出のための継電器回路などを含んでいる。 V_{10} 、 V_{20} の両者に信号が入れば V_{30} の出力電圧は100Vに変化しスクラム信号を発する。試作した2入力形同時回路の写真を第7図に示す。

第8図は各ユニットを一つのシャーシに組込んだ場合の概観で、上記ユニットのほかに、入力信号切換スイッチ、出力電圧モニタ部より構成されている。常時は3個のユニットが使用され各ユニットの出力端は互に接続され、どのユニットが動作してもスクラム信号を発するよう構成されている。

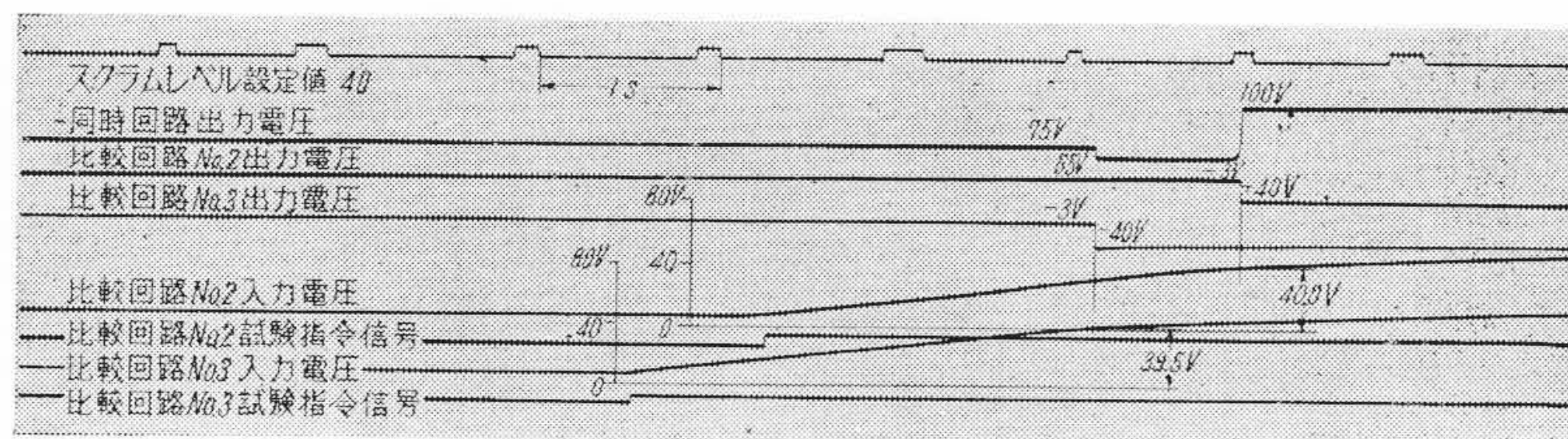
同時回路と比較回路および電源を同一ラックに組込んだ“2 out of 3”同時回路の概観を第9図に示す。

3.4 ユニット切換系統

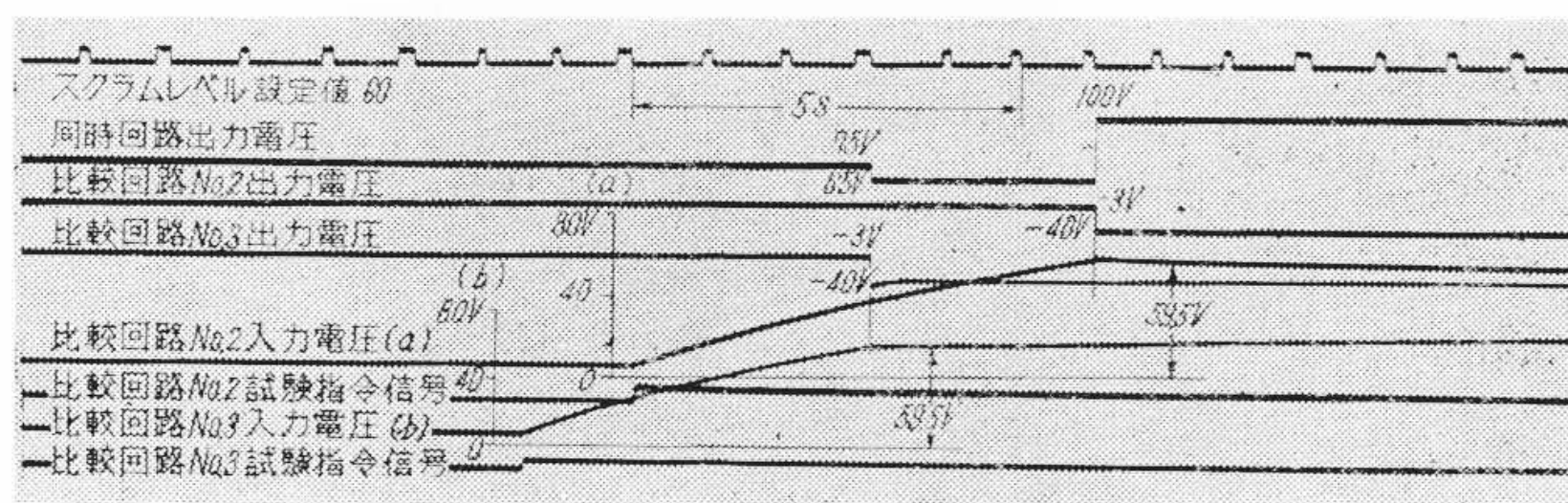
あるユニットが故障した場合それを運転中のチャンネルより切離し、新しいユニットを加えてふたたび正常な安全回路を構成するため各ユニットの入出力回路を切換える切換えスイッチが必要となる。このスイッチは **第5図**および**第8図**の正面パネルの右下に設けられ、これを適当なところに設定すれば、その番号に相当するユニットは運転チャンネルから切離され、ほかの3ユニットが運転状態に入り“2 out of 3”同時回路を構成する。

3.5 全系動作特性

比較回路および同時回路の構成については以上に述べたが、これらの回路を組合わせた場合の動作特性について検討する。

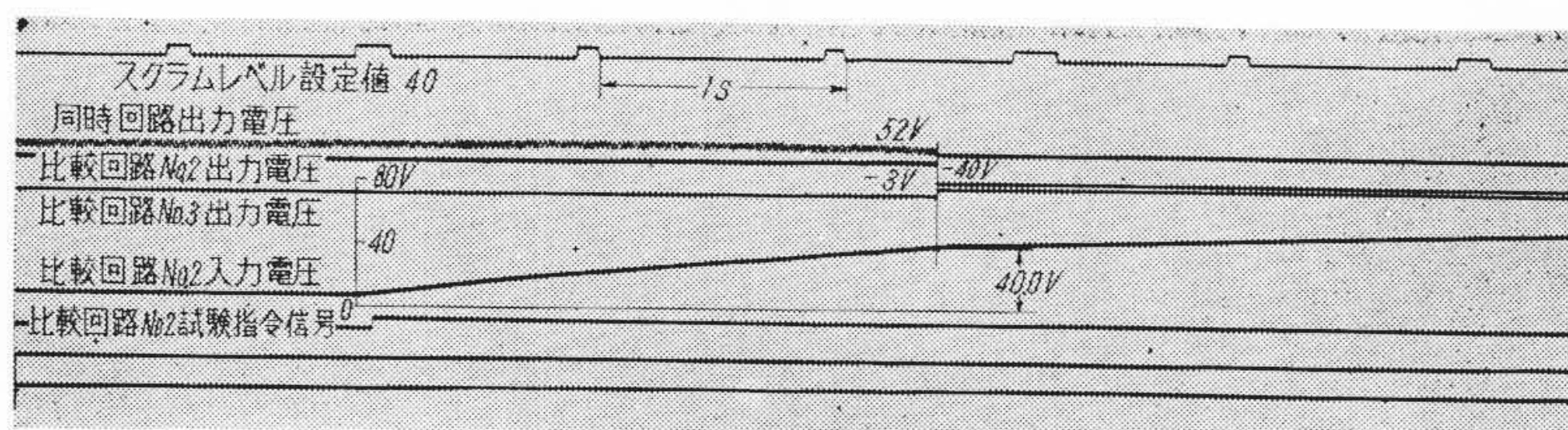


(A) スクラムレベル設定値 40

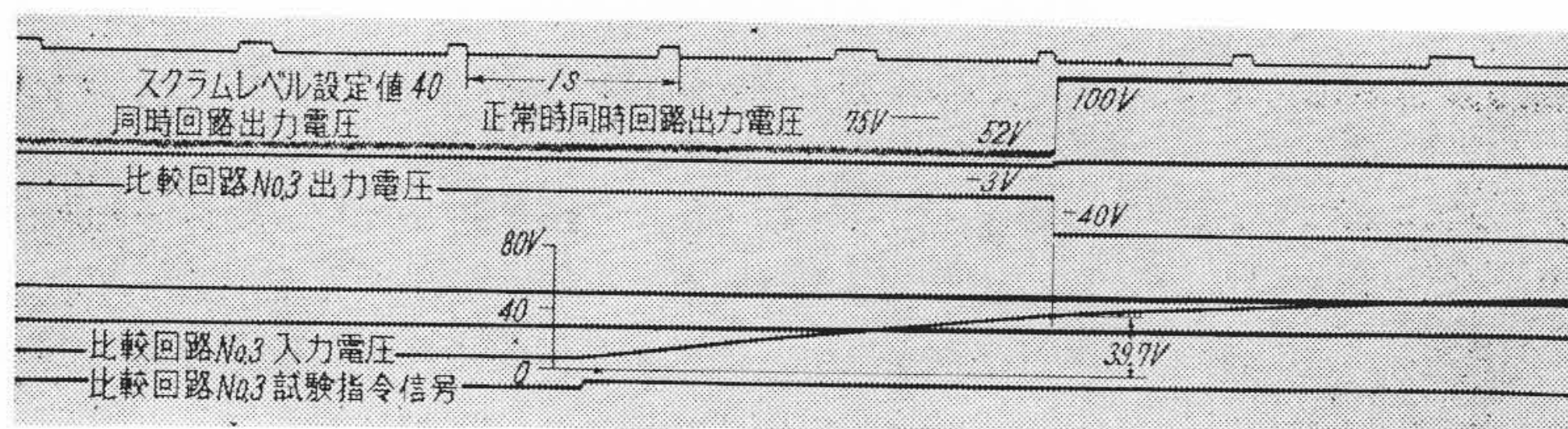


(B) スクラムレベル設定値 60

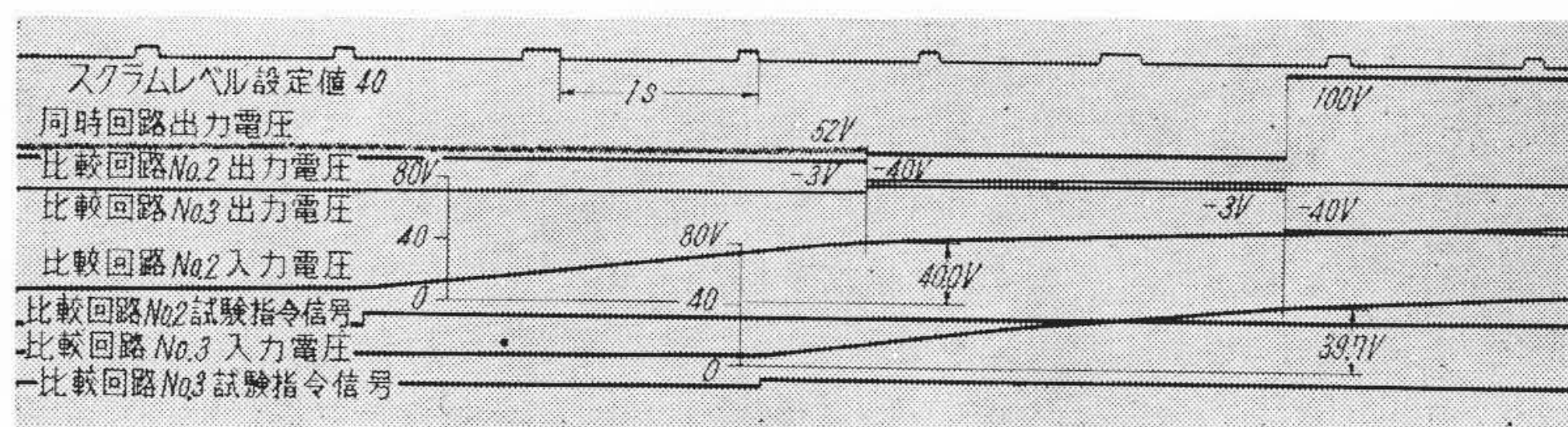
第 10 図 安全回路動作特性



(A) 比較回路 No. 2 動作の場合



(B) 比較回路 No. 3 動作の場合



(C) 比較回路 No. 2, No. 3 動作の場合

(比較回路 No. 4, 同時回路 No. 1 を取外した場合)

第 11 図 異常時の安全回路動作特性

安全回路の動作特性としては、中性子束の異常増加に対して、あらかじめ設定したスクラムレベルで確実に動作するかどうかを測定すればよいが、ここでは中性子束の増加信号の代りに、比較回路試験信号を用いることにした。

なおこの測定においては、比較回路は No. 2～No. 4, 同時回路は No. 1～No. 3 の各ユニットを使用した。

3.5.1 正常時の動作特性

試作回路の動作特性は、比較回路、同時回路各 3 ユニットが正常の場合と、あるユニットが故障などのため取はずされた状態での特性とが考えられるがここでは前者の場合について検討し、後者については次項で検討する。

動作特性の実測結果の一例を第 10 図に示す。これは同時回路に 1 信号が入った場合と、2 信号が入った場合の特性をみるために測定したもので、No. 3 の入力電圧が設定値に達すると比較回路の出力電圧は変化するが、同時回路の出力電圧は低下してスクラム信号は発せられない。しかし、No. 2 の入力電圧が設定値に達し比較回路が動作すると、同時回路の出力電圧はステップ状に 100V に変化しスクラム信号が出されることがわかる。

3.5.2 異常時の動作特性

試作回路は各 3 個の比較回路と同時回路ユニットより構成されており、ユニットに故障が生じた場合はそのユニットは予備ユニットと取換えられるが、取換えのためあるユニットを取はずした場合でも回路全体としては原子炉を十分に保護していなければならない。

回路要素の故障にもとづく系の動作については次章で検討するが、ここではあるユニットが取はずされた状態での

系の動作特性について検討する。

第 11 図は比較回路 No. 4 および同時回路 No. 1 ユニットを取はずした状態での動作特性を示すが、両ユニットを取はずすことにより同時回路の出力電圧は 52V に低下する。(A) は比較回路 No. 2 ユニットが動作した場合で、同時回路出力電圧はほとんど変化せず、スクラム信号も出されない。(B) は比較回路 No. 3 が

動作した場合で、この時はスクラム信号が発せられる。
(C)はNo. 2, No. 3 両ユニットが動作する場合である。
実際の場合は(C)の状態に相当し、比較回路、同時回路各1ユニットが取はずされるという異常状態においても、原子炉は安全に保護されることがわかる。

4. 試作回路各部故障の検討

原子炉安全保護回路は内部の故障に対して高度の信頼性をもたねばならないが、たとえ回路の一部に故障が生じて、これによってスクラム信号が出されたり、安全回路としての機能を失うようなことがあってはならない。また故障が発生した場合はただちにそれを検出し、正常なユニットと取換えることができるような回路構成にしておくことも必要である。

このため本試作装置においても、回路要素の故障による動作状態を測定し、要素の故障によってスクラム信号が出たり、回路の機能が失われたりするかどうかを検討した。

試作回路において発生すると考えられる故障としては

- (1) 抵抗の断線
- (2) 真空管ヒータの断線
- (3) 真空管特性の劣化
- (4) +B, -B電圧の低下および喪失
- (5) 継電器コイルの断線

などが考えられる。

この中で(3)の真空管特性の劣化による回路の特性変化については、長期間の運転によって解明されるものでここでは除外することにした。

4.1 抵抗断線による故障

第2表は試作回路主要部の抵抗が断線した場合の回路の動作状態およびその故障検出の実測結果である。表中の抵抗の名称は第2図および第6図に示してある。

比較回路ユニットで最も懸念されるのはスクラムレベル設定用ポテンシオメータ(VR₁)の故障で、これには第2表にも示したように摺動点上部(電圧の高い部分)、摺動点下部の断線および摺動点の接触不良の三つが考えられる。上部および下部の断線はR₂, R₃の場合と同様で、故障指示ランプが点灯して回路の異常を知らせる。使用ポテンシオメータは10回転の巻線形で、なんらかの原因で摺動点の接触が悪くなることがあるが、これが発生しても外部にはなんらの指示も出ず、その上、このユニットは入力に異常信号が加わっても動作せず安全回路としての機能を失う。しかし、ほかのユニットが正常ならば回路全体としては正常に動作し、原子炉を保護することができる。また比較回路には定期的に試験信号が印加され回路の異常の有無がチェックされるが、上記の故障が発生すれば試験信号を加えてもそのユニットは動作

第2表 故障時の安全回路動作状態(1)
(抵抗断線の場合)

抵抗断線箇所	回路の状態	故障検出, 対策
R ₁	同時回路出力電圧(E _o)低下(65V)	R _{y2} 動作, 比較回路動作せ るも同時回路は動作せず異 常を発見できる
R ₂	E _o 変化せず	R _{y1} 動作, 故障指示ランプ 点灯, R _{y3} またはR _{y4} のど ちらかが動作, 同時回路故 障指示ランプ点灯
R ₃	○このユニットがモニタ されており R ₃ の両端が 指示計に接続されている 場合は E _o 変化なし	指示計オーバスケール
	○モニタされていない場 合 E _o 増加(80V)	R _{y1} 動作, 故障指示ランプ 点灯
VR ₁ ○摺動点上部	R ₂ と同様	R ₂ と同様
○摺動点接触不良	E _o 変化なし	○故障指示なし, 試験信号 を加えても回路は動作せず 異常が検出される
○摺動点下部	R ₃ モニタなしの場合と 同様	○R ₃ モニタなしの場合と 同様
R ₅	E _o 低下(70V)	R _{y2} 動作, 動作指示ランプ 点灯せるも同時回路は動作 せず, 故障が検出される
R ₆	E _o わずかに増加	R _{y3} またはR _{y4} 動作, 同時 回路故障指示ランプ点灯
R ₇	E _o 変化なし	R _{y2} 動作, 比較回路の動作 指示ランプが点灯するが同 時回路は動作しない
R ₁₃	E _o 低下(70V)	R _{y3} , R _{y4} 動作, 同時回路 故障指示ランプ点灯
R ₁₄	E _o 低下(70V)	故障指示なし, 出力電圧モ ニタにより指示計より異常 を検出する
R ₁₅ ○ 1 個の場合 ○ 4 個の場合	E _o わずかに増加(87V) E _o 上昇(195V)	故障指示なし, 出力電圧モ ニタにより異常を検出 スクラム信号発生, このた めこの部分の抵抗は数個を 並列に接続して一度に全部 が断線しないようにする
R ₁₆	E _o わずかに増加(76V)	R _{y5} 動作, 故障指示ランプ 点灯
R ₁₇	E _o わずかに増加(76V)	R _{y5} 動作, 故障指示ランプ 点灯

せず、回路の異常が検出される。

同時回路部分での重要な故障はR₁₅の断線で、これが生じるとV₃₀の格子電圧が上り出力段の陰極電圧が上昇していつものスクラム信号を発する。このような故障で原子炉を停止することは絶対にさけるべきで、このためR₁₅には400kΩを4個並列に接続し、1個が断線しただけではスクラム信号が出ないようにした。この場合1個が断線しただけでは出力電圧は少し増大するだけで、スクラム信号を出さず、この故障は出力電圧モニタ

第 3 表 故障時の安全回路動作状態 (2)
(真空管の故障の場合)

故障箇所	回路の状態	故障検出, 対策
V ₀₁ ヒータ断線	E ₀ 変化なし	故障指示なし, 試験信号を加えても比較回路は動作しないから異常を検出できる
V ₀₂ ヒータ断線	E ₀ 低下 (65V)	R _{y1} 動作, 故障指示ランプ点灯 R _{y2} 動作, 比較回路動作指示ランプ点灯
V ₀₃ ヒータ断線	E ₀ 変化なし	R _{y2} 動作, 比較回路動作指示ランプ点灯
V ₁₀ ヒータ断線	E ₀ 増加 (85V)	R _{y3} 動作, 故障指示ランプ点灯
V ₂₀ ヒータ断線	E ₀ 増加 (85V)	R _{y4} 動作, 故障指示ランプ点灯
V ₃₀ ヒータ断線	E ₀ 低下 (69V)	故障指示なし, 出力電圧モニタによって出力電圧低下を検出

第 4 表 故障時の安全回路動作状態 (3)
(電源電圧喪失の場合)

故障箇所	回路の状態	故障検出, 対策
+300V 喪失 ○ 比較回路全ユニット	E ₀ 増加 (100V) 原子炉スクラム	比較回路全指示ランプ消滅
○ 同時回路全ユニット	E ₀ 低下 (0V) 安全回路としての機能喪失	同時回路全指示ランプ消滅
○ 比較回路 1 ユニット	E ₀ 低下 (65V)	R _{y3} , R _{y4} のどちらかが動作, 同時回路故障指示ランプ点灯
○ 同時回路 1 ユニット	E ₀ 低下 (69V)	故障ユニットの指示ランプ消滅
○ 比較回路 同時回路各 1 ユニット	E ₀ 低下 (50V)	故障ユニットの指示ランプ消滅
-150V 喪失 ○ 比較回路全ユニット	E ₀ 低下 (35V)	同時回路出力電圧モニタ, 試験信号を加えても回路動作せず
○ 比較回路 1 ユニット	E ₀ 変化なし	R _{y3} , R _{y4} のどちらかが動作, 同時回路故障指示ランプ点灯

によって検出される。

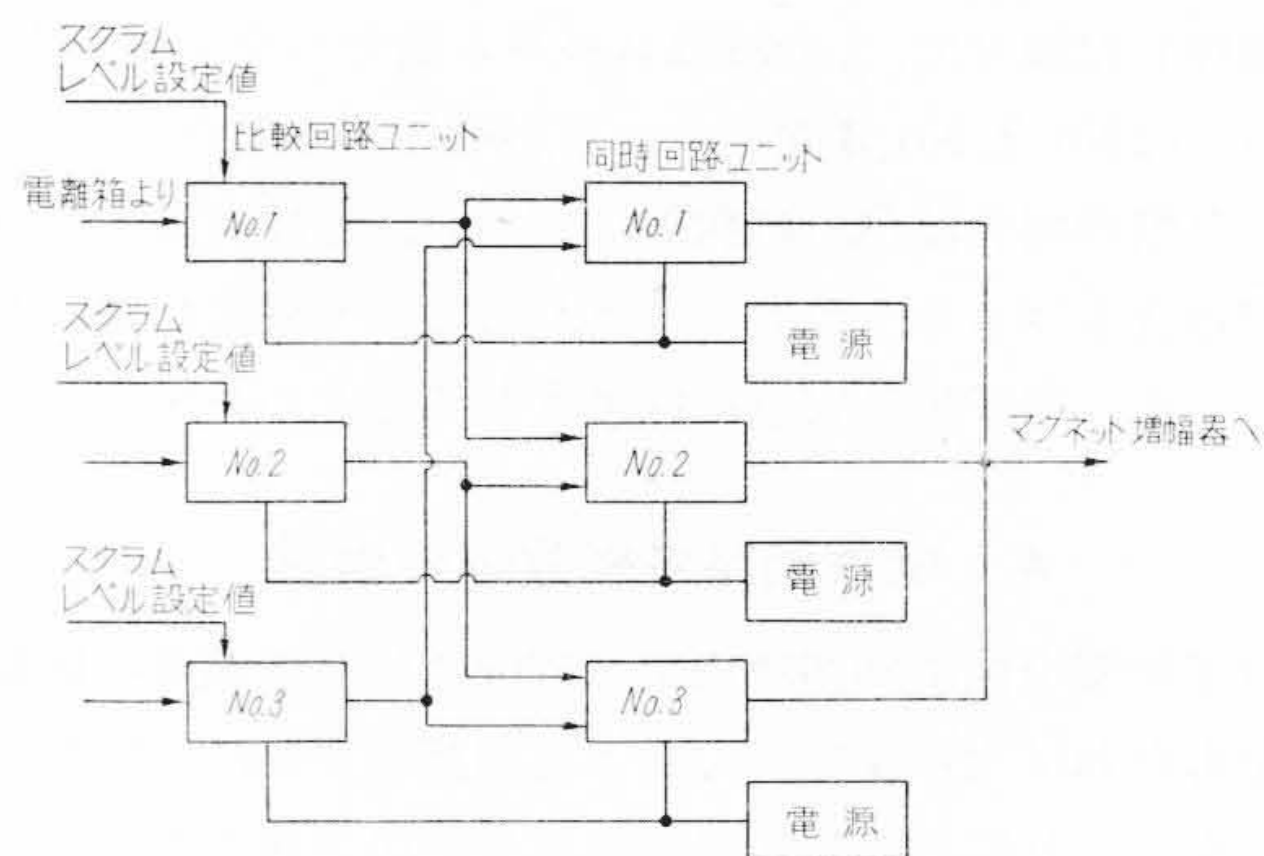
4.2 真空管の故障

第 3 表は真空管の故障にもとづく回路の動作状態を表わしたもので, 故障としてはヒータが断線する場合を扱った。いずれも回路全体に影響を及ぼすことなく故障指示ランプ, 試験信号などによって検出されることがわかる。

4.3 電源電圧喪失

比較回路全ユニットの +B 電圧が喪失すれば, 比較回路各ユニットの出力電圧は負電圧に引張られるため同時回路が動作して偽りのスクラム信号を発する。また同時回路全ユニットの +B 電圧が喪失した場合は出力電圧は低下しスクラム信号は発せられないが, 安全回路としての機能を失う。このような故障にもとづく回路の動作状態の測定結果を第 4 表に示す。

比較回路, 同時回路各 1 ユニットおよび両者 1 ユニッ



第 12 図 実際の原子炉における安全回路の構成

トずつの +B 電圧の喪失に対しては指示ランプの消滅, 故障指示ランプの点灯などによってそれを知ることができるが, 回路全体の動作には影響を及ぼさないことがわかる。

また比較回路全ユニットの -B 電圧が喪失すれば回路は機能を失い, 中性子束の異常上昇を監視することはできなくなるが, 1 ユニットの場合はほかの正常なユニットがこれを行い原子炉を安全に保護することができる。

以上のことから, 比較回路, 同時回路の全ユニットを同一電源に接続することは危険で, 各ユニットごとに別々の電源を備える必要がある。

本試作装置においては, 実験の遂行上比較回路, 同時回路の全ユニットを共通電源に接続したが, 実際の原子炉に使用する場合には第 12 図のように各チャンネルごとに別の電源を設けるべきである。このようにすれば, たとえ 1 チャンネルの電源が喪失しても, ほかの正常なチャンネルで原子炉は安全に保護される。

5. 結 言

以上に試作した原子炉安全保護系用 “2 out of 3” 同時回路の構成, 動作特性および故障時の動作状態などについて報告した。

原子炉安全保護回路としては, 設定値において確実に動作するとともに回路の故障でスクラム信号を発したり, 安全回路としての機能を失うものであってはならない。

本試作回路は, 設定値 60~100 の間で設定値と動作点はよく一致し, しかも真空管の “on-off” 状態を使用しているため設定点での動作は確実である。また試作回路は比較回路, 同時回路各 3 個のプラグ・イン・ユニットより構成されているが, 故障, 点検などのため一部のユニットが取はずされた場合, または回路の一部に故障があつた場合でも, 回路全体としてはスクラム信号を発したり, 安全回路としての機能を失うことなく正常に動作し, 原子炉安全保護回路として十分使用しうることが確

認された。

しかし実際の原子炉に適用する場合には、回路の寿命などかなり重要で、今後試作回路の運転を続けることによってこれらの問題を検討してゆかねばならないが、同時にマグネット増幅器および制御棒電磁クラッチなどの開発研究を進め、より充実した原子炉安全保護系を確立したいと考えている。

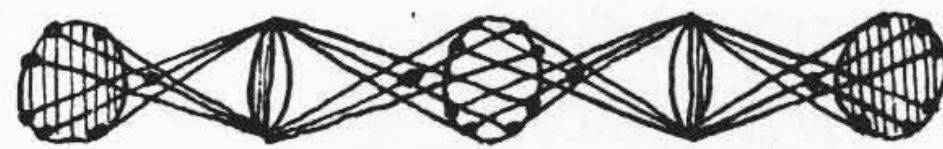
終りに臨み、終始御激励、ご指導を賜った日立研究所工博西堀部長をはじめ関係各位に厚くお礼申しあげるとともに、種々有意義な御討論をいただいた諸氏に深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) V. S. Underkoffler: Design Consideration in a Nuclear Safety Instrumentation System E. E. 77, 11 p. 1008 (1958. 11)
- (2) J. L. Cockrell, C. W. Ricker: Variation of the Trip Point in the ORNL Type Safety System. NESC Preprint No. 41 (1958-4)
- (3) J. M. Yellowless, P. R. J. French: Kinetics and Control of the Berkeley Reactors. A/Conf. 15/p/55 (1958-11)
- (4) E. Siddall: "Reliable Reactor Protection" Nucleonics 15, 6 p. 124 (1957-or)
- (5) I. M. Jacobs: Safety Systems for Nuclear Power Reactors" Communication and Electronics No. 33 p. 670 (1957-11)



特 許 の 紹 介



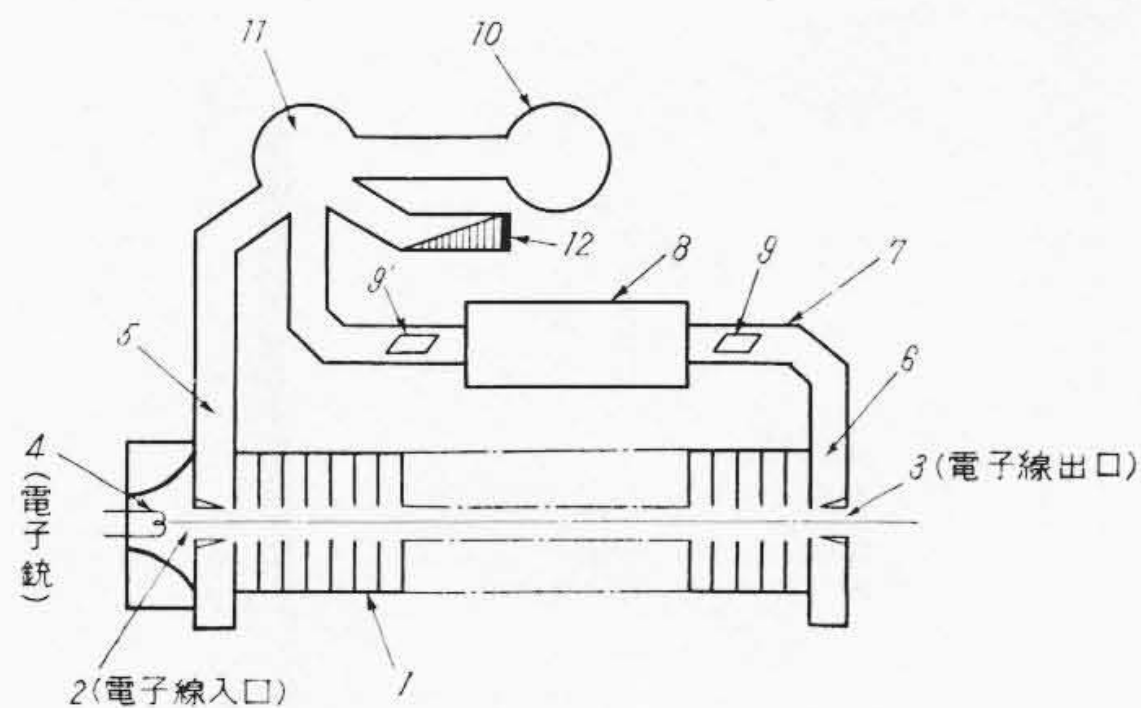
特 許 第 250444 号

沢田良嘉・関口存哉・前川明嗣

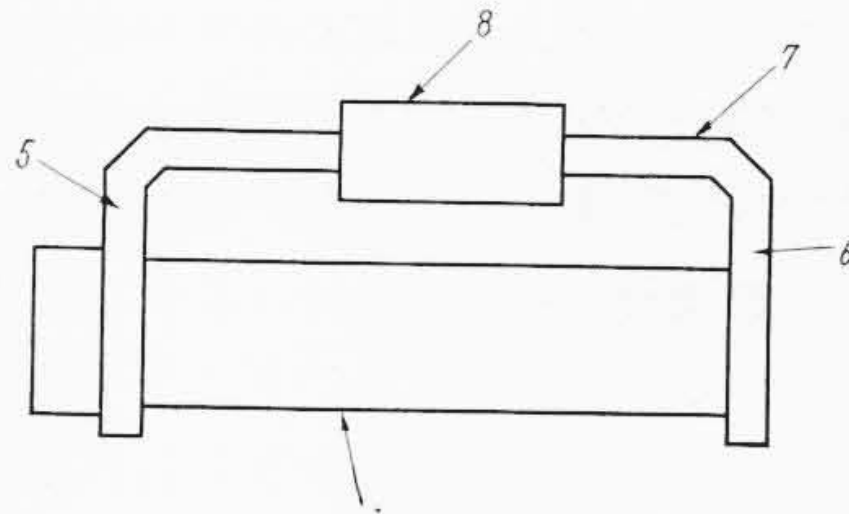
進行波形電子あるいはイオン加速装置

この発明は第1図に示すように導波管形加速器1の高周波出力側6と高周波入力側5とを結ぶ帰還路7の途中に大電力増幅器8と移相器9、9'とを設けたものである。高周波入力側2に多少の電波を帰還させても帰還の効果をほとんど発揮しないが、この発明では特に大電力の増幅器8を帰還路7中に介在させたことにより電波帰還の効果が格段に増大し、加速管1内の電界を著しく強

化しうるに至り、その結果同一加速粒子エネルギーをうるのに必要な加速管1の管長を短縮し、同一管長では加速粒子出力を増加させえたものである。なお必要に応じ帰還路7中の大電力増幅器8に発振をも行わせるとき、第1図の高周波発振器10およびマジックティー11を第2図のように省くことができる。



第 1 図



第 2 図