

自動復旧装置

Automatic Restoration Equipment for Power System

村井 勝治* 溝口 強*
Katsuji Murai Tsutomu Mizoguchi

要 旨

電力系統事故時の復旧操作を自動的に行なう自動復旧装置（系統用および変電所用）について、復旧操作の内容、装置の構成、特にユニット化および信頼度向上策、点検方式などについて述べる。

1. 緒 言

電力供給の信頼度を向上するには、電力系統に発生する事故に対し

- (a) 事故区間を検出し、除去する。
- (b) 事故の影響が他の健全区間に波及することを防止する。
- (c) 事故によって生じた供給支障を早く復旧する。

このような3段階の備えが必要である。(a)は従来から選択性のすぐれた高速度保護継電方式によって行なわれ、また(b)はいわゆる系統分離継電方式として各種の動作原理のものが適用されているが、(c)については人為的判断に基づく手動操作に頼っている部分が多かった。

近年供給信頼度の向上がますます強く要望されるに伴い、事故によって万一供給支障を生じて迅速かつ適確な復旧操作を行なう自動復旧装置が開発され現在盛んに採用されている。

日立製作所においても、昭和38年以来、おもに送電線事故を対象とする系統用および変電所の事故時操作を自動化する変電所用の自動復旧装置を多数製作し納入してきた⁽¹⁾⁽²⁾。これらは最近発達のめざましいエレクトロニクス技術を駆使して完成されたものである。自動復旧装置はその性格上、保護継電器と同等の高信頼度が必要であり、方式、回路設計の両面について十分に検討され良好な実績を収めている。また保守、点検にも便利なように、標準ユニットによるビルディングブロック方式によって装置を構成している。以下復旧操作の内容、装置の動作および構成、設計上の留意点などについて述べる。

2. 系統自動復旧装置

2.1 復 旧 方 式

本装置は20~70kV級の送電線をおもな対象とし、全停電時の受電待機、強行送電、受電、2回線併用、ループ閉路および受電切換操作など遮断器の切、入を自動的に行なうものである。動作条件は系統条件および装置の設置個所によって異なり、それをまとめたのが表1である。また図1は本方式の適用例である。表1からわかるとおり、復旧に際しては電源端から負荷端に向かって順次強行送電、受電を行なうようにする。特に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にじょう乱や危険を与えないよう考慮されている。これらの自動操作を行なう場合、系統や電気所設備との関連に注意する必要がある、おもな点は下記のとおりである。

(1) 全停電時の操作

全停電事故が発生した場合には、電源側からの復旧に備え受電待機および受電操作が必要である。受電回線の線路側に線路検圧装置のある場合の受電待機操作には

* 日立製作所国分工場

表1 系統自動復旧方式

系統条件	設置場所	適用方式	遮断器投入条件	備 考		
負荷送電線	1回線	電源端	A-1-1 (1-1)	V_B あり - (V_L なし)		
		受電端	B-1-1 (1-2)	(V_L あり) - V_B なし		
	2回線	電源端	A-2-1 (1-1)	V_B あり		隣回線CB入のときは V_L あり - V_B なしの条件で隣回線を引きはずす
		受電端	B-2-1 (2-2)	(V_L あり) - V_B あり (V_L あり) - V_B なし - 隣CB切		
両端電源送電線	1回線	大電源端	A-1-2 (3-1)	V_B あり - V_L なし		
		小電源端	B-1-2 (3-2)	V_L あり - V_B なし		
	2回線	大電源端	A-2-2 (4-1)	V_B あり - V_L なし V_B あり - V_L あり - 同期		隣回線CB入のときは V_L あり - V_B なしの条件で隣回線を引きはずす
		小電源端	B-2-2 (4-2)	V_L あり - V_B なし - 隣CB切 V_L あり - V_B あり - 同期		
ループ系	強送端	A-3-1	V_B あり - V_L なし			
	ループ閉路端	B-3-1	V_L あり - V_B あり - 同期			
受電切換併用系統	受電端	C-2-1 (2-4 あるいは 4-4)	(V_L あり) - V_B なし - 隣CB切	隣回線 V_L あり - V_B なし - V_L なしで自回線を引きはずす		

V_B 母線電圧, V_L 線路電圧, CB 遮断器
注 (1) 全停電時は V_L なし - V_B なし - CB入の条件で受電端または小電源端の遮断器を引きはずす
(2) 適用方式は SAP-3 形の方式を示す。なお () 内は SAP-2 形の方式である
(3) 投入条件中 () 内の条件は線路検圧装置のなきときは不要である

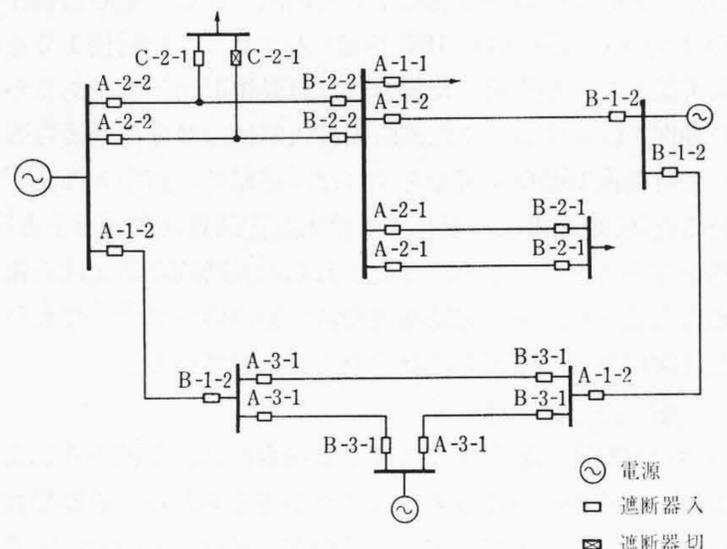


図1 適用系統例

(a) 指定回線を残して他を遮断する。

(b) 受電回線をすべていったん遮断する。

のいずれの方式でもよく、最も早く電圧が回復した回線を検出して受電することができる。

一方線路検圧装置がないときには、電圧の有無は母線電圧で検

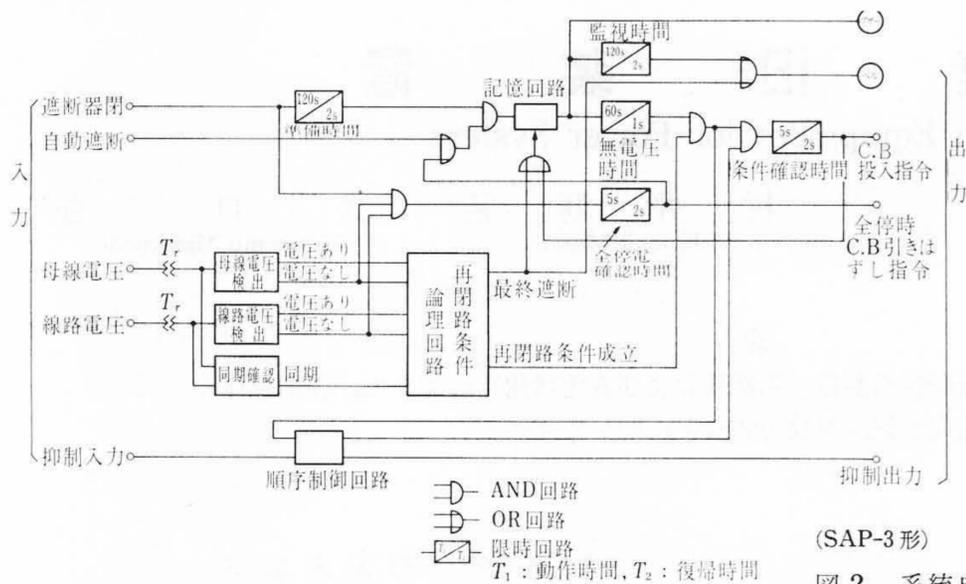
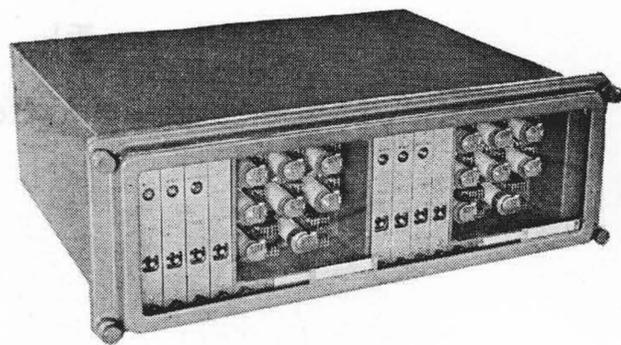


図2 系統自動復旧装置ブロック図

(SAP-3形)
図3 系統自動復旧装置

出せねばならないので、受電待機は(a)の方式により、指定回線からの復旧が遅れるときには、指定回線をいったん遮断して他の回線を試投入し、それでもなお電圧回復せぬときは再び指定回線に切り戻して待機する方式がよい。したがって線路検圧装置の有無に応じて最適な操作ができるように装置側で考慮する必要がある。

(2) 電圧検出および同期確認

自動復旧操作条件として母線および線路の電圧条件を検出する大きな目的は、事故によって分断された異系統の非同期並列を防止することである。そのため投入しようとする遮断器の片側にしか電圧がないときは、そのまま強行送電または受電操作が可能であるが、両側(母線と線路)に電圧がある場合にはその同期を確認する必要がある。

電圧の有無を判定するとき、電圧ありはできるだけ健全電圧に近い値(たとえば80%以上)、電圧なしはできるだけ無電圧に近い値(たとえば20%以下)で検出する。事故で分断された小容量系統がこの中間電圧で運転を維持するおそれがある場合には

(a) 同期確認回路がいったん非同期を検出したときは以後同期を検出して投入をロックする。

(b) 中間電圧では投入をロックする。

などの対策を構ずるようにする。

(3) 復旧操作時間

系統事故時の復旧操作は、できるだけ迅速に行なうことが望ましいが、遮断器の動作責務によって制限される。遮断器動作責務をO-1分-CO-3分-CO(JEC甲号)とすれば、遮断後1分を経過して投入可能とし、再遮断した場合には自動復旧が不能であるから以後の動作を阻止する。また遮断器投入時には2分経過後再遮断に対して自動復旧動作を可能とすれば、遮断時の再投入は必ず1分を経るため、続発事故に対しても投入動作間隔は3分以上となり、責務を守ることができる。またこれらの長時間の測定は直流電源で動作可能とし、全停電時所内交流電源の停止に伴って動作不能または復旧遅れの原因とはならぬようにしている。

(4) 順序操作

一つの電気所に数回線分設置する場合には、系統条件によっては多数の遮断器を同時投入することが考えられる。遮断器投入には数十アンペアの大電流量を必要とし数回線同時投入するとバッテリー過負荷となるおそれがある。したがってバッテリー容量の小さい場合は、多数の遮断器があらかじめ定めた優先順序に従って順次投入操作が行なわれるようにすることが望ましい。投入条件の成立には各回線によって時間差があるため、さきに条件が成立した回線は上位順位回線の条件が不成立であれば投入動作できるようにしている。

2.2 装置の構成

2.2.1 動作の概要

系統自動復旧装置には、SAP-2、SAP-3形があるが、図2はSAP-3形のブロック図である。遮断器が投入され準備時間120秒を経過すると準備完了となり待機状態になる。保護リレー動作し、遮断器が自動遮断するとこの条件をいったん記憶し、無電圧時間60秒後に再閉路可能状態となる。一方電圧検出、同期確認回路により母線、線路電圧および同期を検出し再閉路条件(表1)を判定する。条件が成立し上位順位回線が動作中でなければ5秒間その条件が継続していることを確認して遮断器投入指令を出す。遮断器動作がなく全停電した場合は母線、線路ともに電圧がないことを5秒間確認して遮断器引きはずし指令を出す。それ以後の動作は上記のとおりである。また装置動作中はブザー警報する。自動復旧操作が予定時間内に完了せず監視時間経過したときはベル警報し自動復旧不能を知らせるようになっている。

本装置は遮断器の責務を満たすための準備時間、無電圧時間および監視時間用限時回路、動作の確実を期すための全停電確認、再閉路条件確認用限時回路、電圧検出回路、同期確認回路および順序制御回路などが主要回路であり、これを有機的に結びつけるための論理回路も含めてトランジスタ回路で構成しているので機能別にユニット化され、装置も小形化することができる。また保護リレー動作、遮断器の開閉など外部から与えられる電磁リレー接点による信号ととり合わせを行なう部分には小形の電話リレーを用い、遮断器制御用の大電流回路には小形のパワーリレーを用いた。

なお本装置は図3に示すように、幅500、高さ170mmのケースに2回線分を収納している。

2.2.2 単位回路の原理と動作特性

(1) 電圧検出回路

入力電圧を補助トランスでいったん絶縁し整流、ろ波したのち基準電圧と比較して検出するいわゆる整流形であり、健全電圧と無電圧を検出する二重動作形となっている。入力電圧は線間電圧(110V)相電圧(63.5V)のいずれにも適用できるように補助トランスはタップ付となっている。図4は電圧検出回路の温度特性、図5は動作時間特性を示したものである。

(2) 同期確認回路

母線側および線路側の各相電圧をそれぞれ半波整流して極性をもたせたのちそれらの差電圧を全波整流し、その大きさによって検出するものである。図6において母線電圧と線路電圧の位相が等しく大きさもほぼ等しいとこの両者の差電圧が小さくなりその値がある一定値以内であれば同期とみなす。もし両者が逆位相の場合は差電圧が大きくなり非同期と判定する原理であり、その位

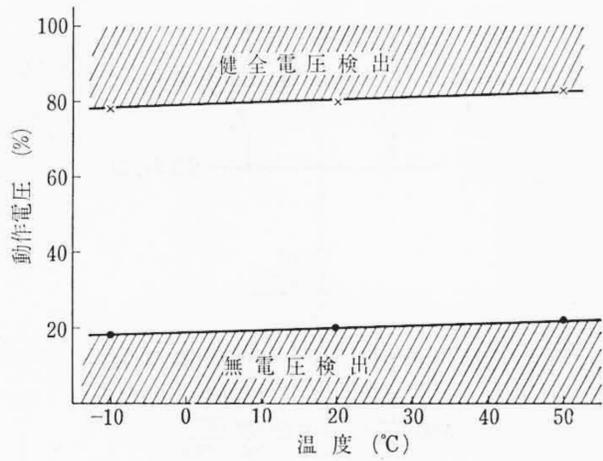


図4 電圧検出回路温度特性

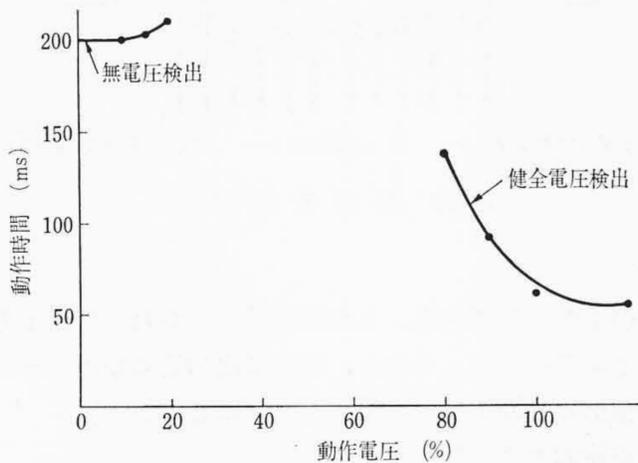


図5 電圧検出回路時間特性

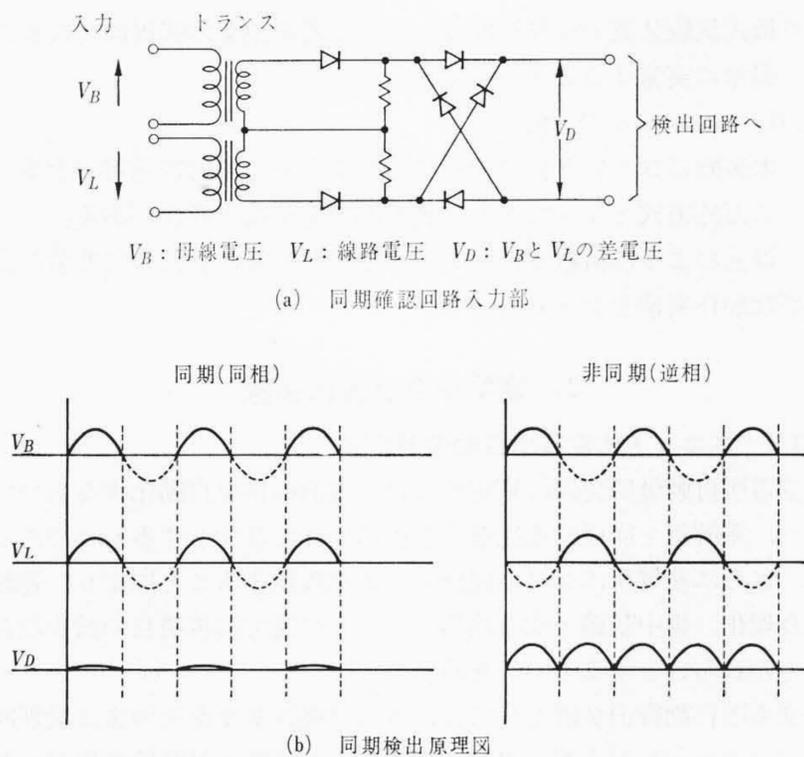


図6 同期確認回路

相特性は円特性となる。図7は本回路の位相特性、図8は動作時間特性を示したものである。

(3) 限時回路

直流を電源とする限時回路でCR遅延回路を利用したものである。120秒の長限時をとるため回路的には入力抵抗の大きいエミッタフォロア回路を採用し、一方精度がよく経年変化の少ないタンタルコンデンサを使用して構成している。図9(a)は120秒、(b)は5秒の限時回路の温度特性を示したものである。

(4) 電源回路

トランジスタ回路用電源としてDC24Vを採用しており、これ

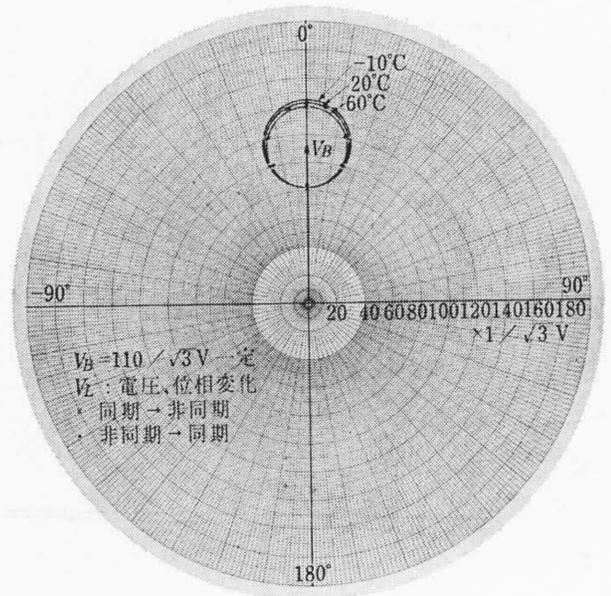


図7 同期確認回路位相特性

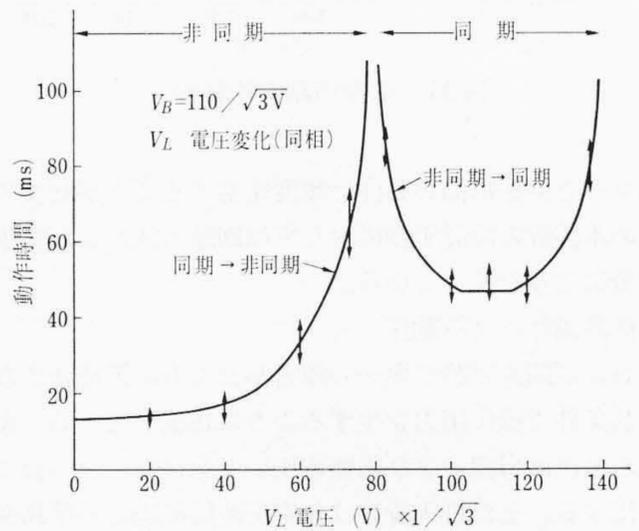
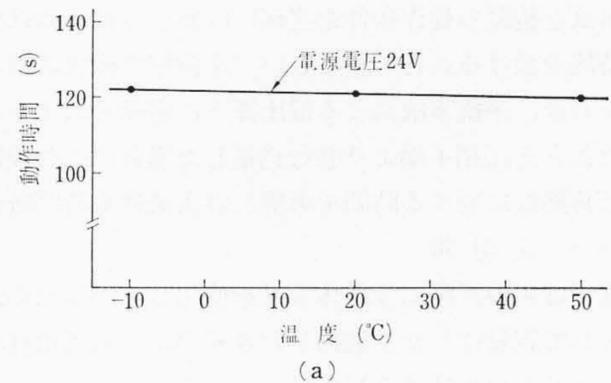
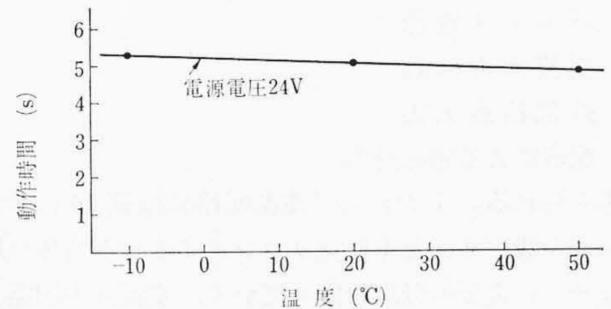


図8 同期確認回路時間特性



(a)



(b)

図9 限時回路温度特性

は発電所のバッテリー電源を利用する必要がある。しかしバッテリー電源は過充電や均等充電のため電圧変動が大きいためシリコンダイオードの正方向電圧降下を利用して簡単な自動電圧調整効果をもたせた。図10は電源回路、図11はその電圧特性を示したものである。

2.2.3 信頼度の向上

本装置は系統事故時の系統操作を自動化するものであるから、

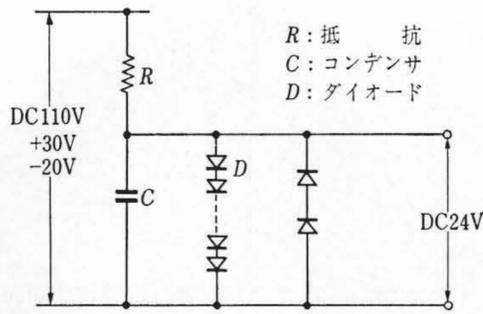


図10 電源回路

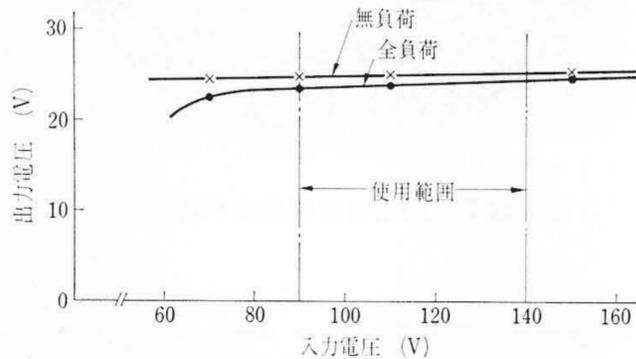
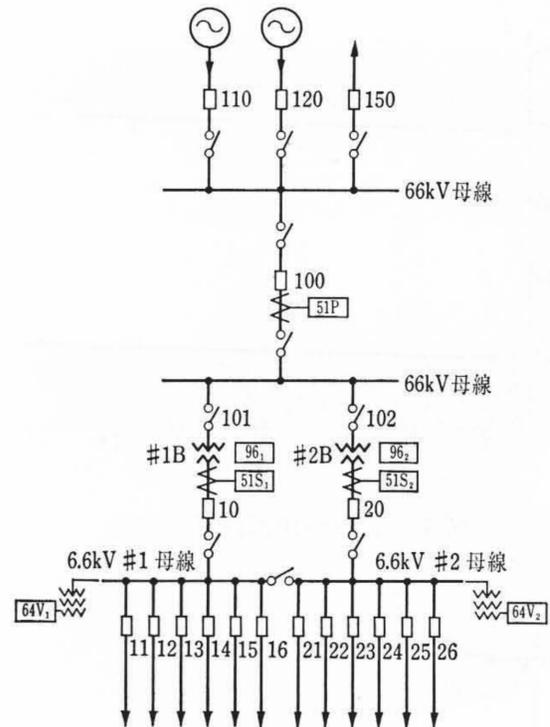


図11 電源回路電圧特性



96: プッフホルツリレー 51: 過電流リレー 64V: 地絡過電圧リレー

図12 適用変電所例

保護リレーと同様に高い動作信頼度を有することが必要である。そのため本装置の設計製作に対しては回路方式および構成の両面から十分に注意を払っている。

(1) 複数条件による動作

装置および関連回路の単一の障害がただちに誤操作にならないよう複数条件で操作出力を生ずるように構成している。たとえば全停電の検出は母線および線路電圧がともになくなったことを条件に検出する。また投入操作は無電圧時間経過と再閉路条件成立を組み合わせている。

(2) 確認時間

系統事故と装置の動作条件を明確に区別するためには条件検出に確認時間を設けることが望ましい。全停電の検出には5秒の確認時間をおき、系統事故による電圧降下に応動せぬようにしてある。またたとえば相手端より強行送電した場合に永久故障が残っておれば再遮断に要する時間を考慮し投入条件も時間確認する。

(3) サージ対策

本装置では主要回路に半導体部品を使用しているため、サージ電圧に対して誤動作したり破損したりせぬよう対策を施す必要がある。サージの侵入経路としては

- (a) バッテリ電源
- (b) 交流入力回路
- (c) 外部接点入力
- (d) 配線による電磁誘導

などが考えられる。したがって電源回路には図10に示すようにコンデンサを設けるとともにシリコンダイオード自体の順方向特性によりサージ電圧の吸収を図っている。交流入力回路よりの侵入は補助トランスによって減衰させるとともに、ろ波回路による吸収を図っている。遮断器の補助接点などの外部接点入力はいちど補助リレーで置きかえ、さらに接点入力のはいる部分には必ずコンデンサをそう入している。また電力回路の配線と半導体回路の配線間の電磁誘導による悪影響を防止するため、配線ルートをはけるとともに相互の隔離を図っている。

(4) 使用部品

本装置は一般の電力用機器と同じ環境を考慮する必要があるので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通信工業用として特別高

信頼度のものとしている。また回路設計にあたっては十分なデレーティングを行っており、さらに出荷前に高温エージングを行わない部品の初期不良を摘出するようにしている。

(5) 点検および試験

装置の良否を判断するため点検および試験が容易な構造としている。すなわちプリント板個々に、点検用端子を引き出しており、それによって状態をチェックすることができる。一方動作試験は可搬式試験装置の模擬遮断器および交流電源を本装置につなぎこみ簡単に実施することができる。

(6) ユニット化

本装置はプリント板の着脱のみであらゆる系統に適用できるように万能方式となっており、装置間の完全な互換性がある。

以上のように信頼度について十分検討し製作したので非常に良好な動作実績をおさめている。

3. 変電所自動復旧装置

3.1 ユニット式変電所自動復旧装置

変電所自動復旧装置は変電所の自主復旧操作を自動化するものであり、系統用と同様に迅速確実な復旧操作を目的とするものであるが、さらに変電所における操作を極力機械化することにより、運転の合理化、集中制御方式を適用した場合の遠方監視項目の減少などもそのねらいとするものである。

変電所自動復旧装置としては、事故時操作基準をそのまま論理回路でおきかえた固定プログラム方式、または電子計算機 of 思想を導入した半固定プログラム方式などが開発されて実用に供されてきた。しかし、前者は操作対象の増設、操作内容の変更に対処しがたく、後者は同一回路をくり返し使用するため、装置と操作対象が1:1に対応せず取り扱いがやや不便などの欠点があった。

ユニット式変電所自動復旧装置は、操作基準の共通性に着目してユニット化を図ることによりこれらの欠点を解決したもので、さらに次の利点を得られる。

- (a) 保守、点検をユニットごとに行なうことができるので取扱いが容易である。
- (b) 装置は標準ユニットをビルディングブロック式に構成しており、コンパクトにまとめることができる。

図12は本装置の適用例を示す変電所の単線結線図である。

表2 自動復旧操作項目

順位	項 目	検 出 条 件	操 作 内 容
1	構内事故	66 kV 母線短絡	51p により 100 遮断 自動操作ロック
		6.6 kV 母線短絡	
2	変圧器事故	#1 変圧器事故分離	96 ₁ により 100 遮断 10 切→101 切→100 入
		#2 変圧器事故分離	96 ₂ により 100 遮断 20 切→102 切→100 入
3	配地電線永久事故	6.6 kV #1 母線側	64 V ₁ 動作 11切-入→12切-入→100切→101切→100入
		永久地絡試開放	
		6.6 kV #2 母線側	64 V ₂ 動作 21切-入→22切-入→100切→102切→100入
		永久地絡試開放	
4	全停線路事故	全 停 遮 断	66 kV 母線線路電圧なし 110, 120, 150 切
		受 電	110 または 120 全停遮断 線路電圧あり-母線電圧なし 110 または 120 入
		併 用	110 または 120 全停またはリレー遮断 母線電圧あり-線路電圧あり-同期 110 または 120 入
		強 送	110, 120 または 150 全停またはリレー遮断 母線電圧あり-線路電圧なし 110, 120 または 150 入

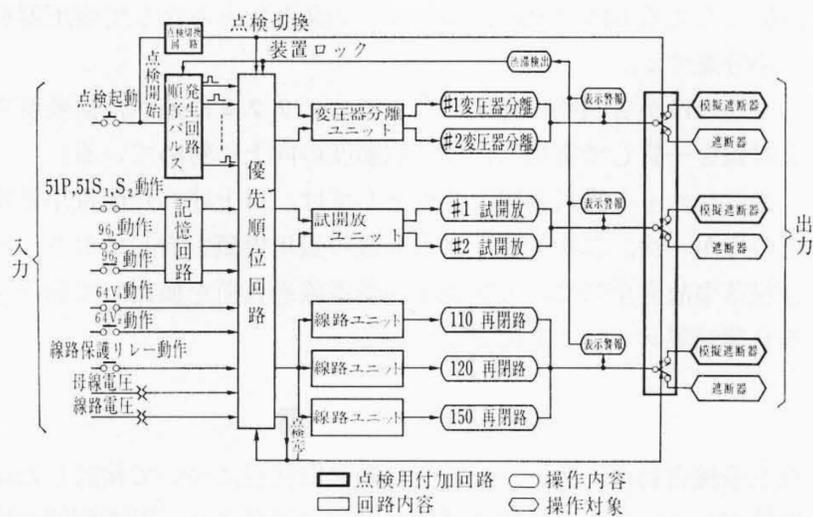


図13 ユニット式変電所自動復旧装置説明図

本変電所は 66 kV/6.6 kV 2バンクの配電用変電所であり、66 kV 側は受電線 2 回線、送電線 1 回線、6.6 kV 側は各バンクごとに 6 回線 計 12 回線の配電線を有する。

表 2 は本変電所の事故時操作内容を項目ごとに優先順位を付してまとめたものであり、次のような内容である。

(1) 構内事故

構内母線に短絡事故が発生したときは、自動復旧によってかえって事故拡大のおそれがあるため装置をロックする。

(2) 変圧器事故

事故変圧器のみ分離し、健全変圧器の復旧を行なう。

(3) 配電線永久地絡事故

配電線の地絡事故点を保護リレーでは選択できないとき、配電線を順次試開放することによって事故点を検出する。

(4) 全停電および線路事故

66 kV 母線、線路無電圧を確認して全停電検出したとき、受電線および送電線をすべて遮断して受電待機する。受電系統が復旧すればさきに電圧回復した受電線より受電を行ない、母線電圧が回復すれば併用、強送操作を行なう。線路事故によりリレー遮断したときは、併用または強送操作を行なう。

本装置では表 2 に示す操作内容と検出条件から考えて次のようにユニット化している。

(1) 操作内容によるユニット化

表 2 において変圧器事故分離、6.6 kV 母線永久地絡時の変圧器分離は同一のシーケンス制御であり、また配電線永久地絡時の試開放操作も #1, #2 母線側とも同じである。したがって変圧器分

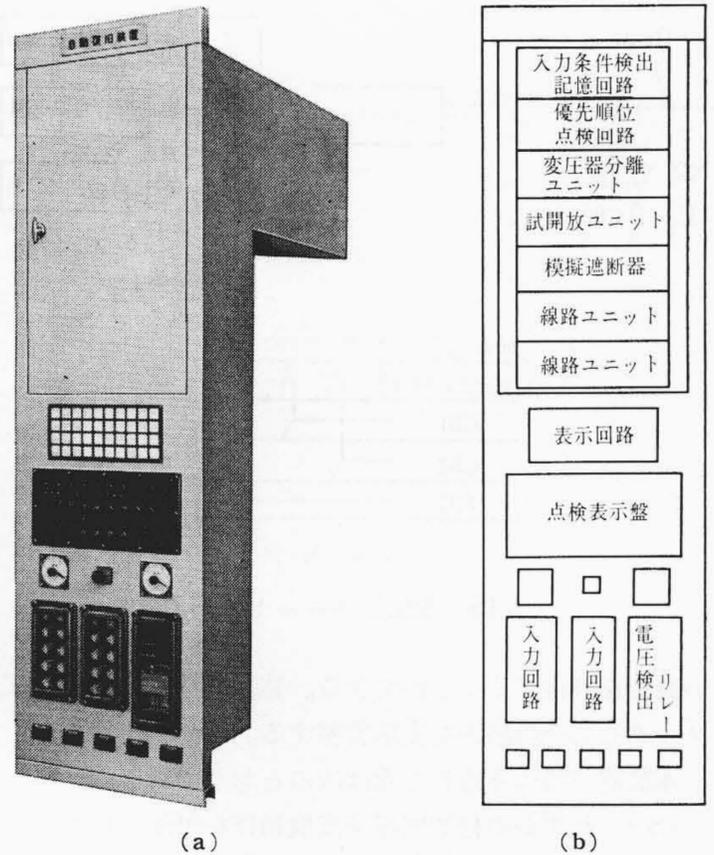


図14 ユニット式変電所自動復旧装置の構成

離操作回路と試開放操作回路をユニット化して 2 バンク共通に 1 組とし、入力検出条件に応じて切換使用すれば配電線が増加し、変圧器が増設されても切換回路を付加するのみで容易に対処できる。また装置動作と操作対象が 1:1 に対応するため取り扱いが容易となる。

(2) 検出条件によるユニット化

表 2 に示す全停電および線路事故時の受電、併用、強送を行なうための検出条件は、各遮断器単位ごとに統一することができる。

したがってこれをユニット化すれば各回線に同一のものが適用でき、回線の増設にも容易に対処できて取り扱いが容易になる。

3.2 装置の構成

3.2.1 ユニット式自動復旧装置の動作

図 13 は本装置の動作を示す説明図である。

各種保護リレーの動作条件および母線、線路電圧を入力とし、保護リレーによる自動遮断条件に対して記憶回路により記憶動作を行なったのち、優先順位回路によりあらかじめ定められた優先順位に従って操作項目別に事故を分類する。変圧器分離、試開放ユニットを共通に 1 組設け入力条件に応じて出力を切換使用し、必要な操作指令を遮断器に与え、その結果を表示警報する。線路ユニットは対象遮断器ごとに設けられ操作指令を遮断器に与え、その結果が表示警報される。

本装置では記憶回路、優先順位回路は外部からの電磁リレー接点による信号ととり合わせを行なうので、サージによる誤動作をさけるため、主要部分は電磁リレーで構成されている。変圧器分離ユニット、試開放ユニットには歩進用限時回路をトランジスタ回路としている。また線路ユニットには 2. で述べた系統自動復旧装置のユニットを適用できる。

図 14 は本装置の構成を示したものである。ユニット化により装置の標準化とコンパクト化が可能となる。

3.2.2 点検回路

図 13 に示すように順序パルス発生回路、点検切替回路、模擬遮断器を付加することにより、容易に点検動作を行なうことができる。点検起動信号を与えると、順序パルス発生回路の出力によって順次変圧器分離ユニット、試開放ユニット、線路ユニットを起動し、一連の動作を行ない、模擬遮断器を動作させて表示を行な

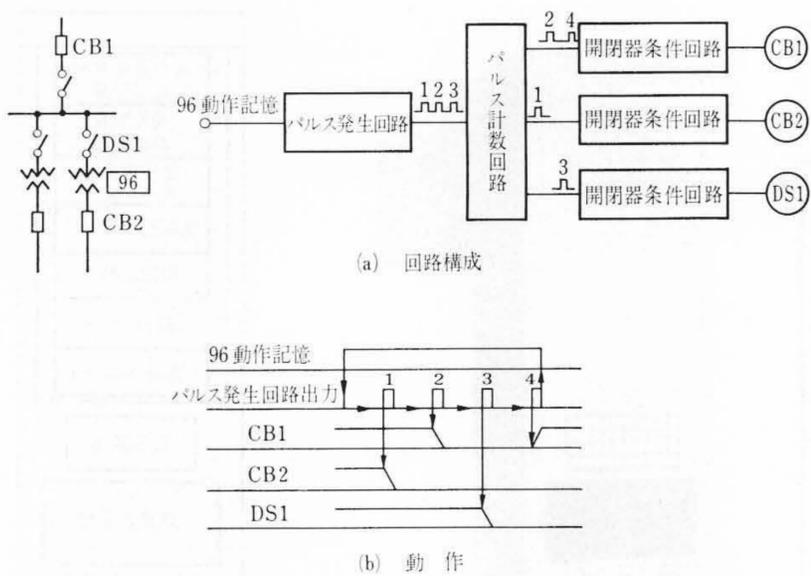


図15 変圧器ユニット回路説明図

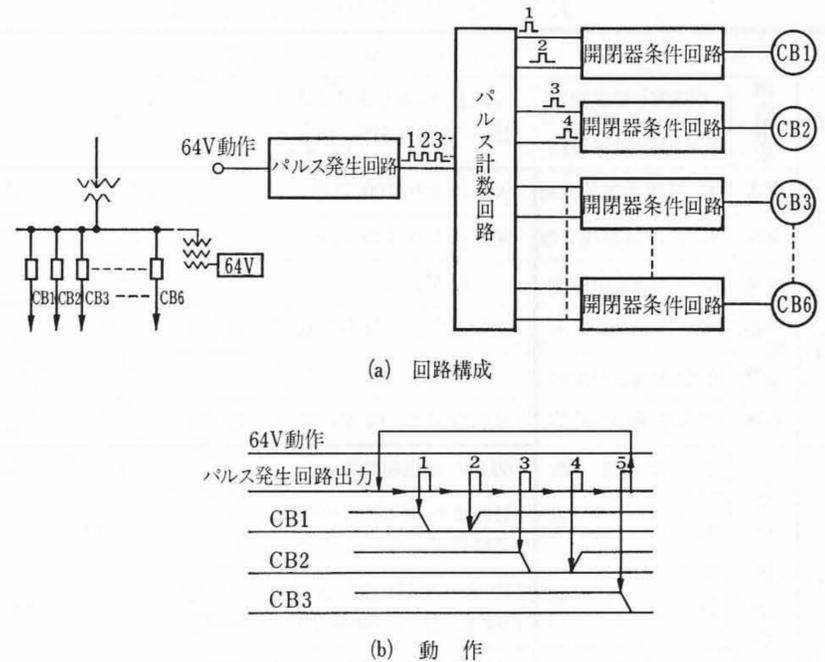


図16 試開放ユニット回路説明図

い良否を判定することができる。装置渋滞が発生すれば、装置をロックしてその原因を表示警報する。

本装置で特に考慮した点は次のとおりである。

- (a) わずかの付加回路で点検動作を可能とした。
- (b) 点検用タイムスイッチを併用することにより、全自動点検を行ない変電所の無人化を可能とした。
- (c) 点検中に事故発生すれば、ただちに点検動作を中止して事故復旧動作を行ない、点検のための装置不動作を防止した。

3.2.3 ユニット回路の構成と動作

(1) 変圧器分離ユニット

順序制御を行なうためにパルス歩進方式を採用している。図15は回路の構成および動作を示したものである。

変圧器保護用ブッフホルツリレー96が動作するとパルス発生回路を起動し、その出力をパルス計数回路により計数する。次に開閉器条件回路により開閉器の入切状態を確認して発生パルス順にCB2切→CB1切→DS1切→CB1入の動作を行ない、事故変圧器を分離して健全変圧器を運転継続させる。CB1がすでに開放されているときはCB1切を飛び越して操作を行なう。

本回路で特に考慮した点は次のとおりである。

- (a) サージによる誤動作をさけるため、パルス発生回路はC-R形限時回路をくり返し使用する構成としている。
- (b) パルス発生回路は一つの限時回路により、パルス計数回路と開閉器条件回路を一体回路として構成している。

(2) 試開放ユニット

(1)と同様にパルス歩進方式を採用している。図16は回路の構成および動作を示している。

地絡過電圧リレー64Vの動作によりパルス発生回路を起動し、その出力パルスにより各遮断器を順次切-入する。事故配電線を遮断すれば64Vは復帰するため試開放操作は完了し、全配電線を

試開放しても64V復帰しなければ母線事故とみなして変圧器を含め分離する。

上述のほか各回路の構成に際しては、2.2.3に述べた信頼度向上対策を一貫して実施し、動作信頼度の向上に努めている。

またユニット式自動復旧装置としては、以上述べた配電用変電所のほか一次、二次変電所にも多数の適用実績を有しており、電源脱落事故発生時に周波数低下、受電線過負荷を検出して動作する負荷制限ユニットも開発している。

4. 結 言

以上系統自動復旧装置、変電所自動復旧装置について検討した結果を述べた。これらの装置は系統の末端に設置され、設置個所で検出できる条件のみを用いて判断動作するものであり、系統全体の様相を把握して判断、動作するものでないから復旧できる事故には限度がある。したがって系統の各主要点から情報を中央に送り、系統全体として最も合理的な系統操作方法を判断し、これを再び各電気の末端装置に送り、次の動作を進めることが考えられる。この中央装置についてさらに検討を進める必要がある。

本装置はこのような場合にも、その末端装置としての任務をじゅうぶん果たし得るものと思う。

以上の検討を行なうにあたり、終始ご指導いただいた各電力会社給電、変電関係者各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 狩野, 中山, 溝口: 昭和40年電気四学会連合大会予稿「系統自動復旧装置」
- (2) 中山, 村井: 昭和41年電気学会東京支部大会予稿「ユニット式変電所自動復旧装置」