

# デジタル計算機による 保護継電方式の動的シミュレーション

## Dynamic Digital Simulation of Protective Relaying

磯野 昭\*      八谷 芳枝\*  
Akira Isono      Yoshie Yatagaya  
久保 隆生\*\*      奥田 健三\*\*\*  
Takao Kubo      Kenzô Okuda

### 要 旨

大電力系統の総合的な動的信頼度の検討を行なうため、系統故障時の動的現象をデジタル計算機を用いてシミュレートした。すなわち、故障時の電力系統の動揺状況、保護継電装置、しゃ断器の動作がすべて計算機によって計算処理される。

対象とした故障種類は、地絡、短絡、断線とそれらの任意の組合せであって、保護方式としては超高压系から三次系に至る標準的なものをすべて包含している。

### 1. 緒 言

電力系統規模の巨大化、構成の複雑化、電気エネルギーへの依存度の増大に伴う信頼度向上の要請に対処するため、大電力網の総合的な安定度解析について、意欲的な研究が各所で盛んに行なわれている<sup>(1)~(4)</sup>。

かかる情勢に対処するため、日立製作所では早くから大電力網の電力潮流、故障、安定度、解析をはじめ保護継電装置、発電機制御装置の動作解析用プログラムを開発してきた<sup>(5)~(7)</sup>。このたびこれらを集大成して大電力系統の総合的な動的信頼度解析を目的とした計算プログラムを開発した。この計算プログラムは過渡安定度計算プログラムを主体とし、不平衡短絡、地絡、断線、異相地絡などあらゆる故障条件を表現することができ、超高压系から三次系に至る標準的な保護方式がすべて組み込まれている。特に主保護失敗に起因する波及事故の様相を克明に追跡し、供給支障、過負荷の有無、停電箇所などを明らかにすることができるので、系統の建設・運用計画、保護方式の立案、各種機器の特性検討など総合的な調査に広く利用することができる。

### 2. 計算プログラム

計算プログラムは電力潮流計算、故障計算、過渡安定度計算、保護継電装置動作の計算などのサブプログラムと、それらのサブプログラムを統括する主プログラムから成っている。プログラムのおもな仕様は次のとおりである。

- (1) 対象系統の最大規模  
発電機 30 (60), 接続点・負荷 100 (200), 送電線 250 (1,000), 位相調整変圧器 20。括弧内は三相故障(正相分のみ)の場合
- (2) 発 電 機  
過渡突極性, 制動効果を考慮
- (3) 励磁制御装置  
回転直流励磁機式, サイリスタ式, ブラッシュレス式
- (4) 調 速 機  
水力, 火力ガバナのほか, 水圧鉄管特性, タービン特性
- (5) 保護継電装置  
超高压系用, 二・三次系用の標準的な各種方式で, 主保護・後備保護を含む。このほか系統分離方式, 再閉路方式では多相, 単

相, 三相を考慮している。

- (6) 故障条件  
短絡, 地絡, 断線故障とそれらの任意の組合せ, 異相地絡。
- (7) し ゃ 断 器  
単相, 三相, 多相再閉路式のほか, 応動不能を表現できる。
- (8) 送 電 線  
直列インピーダンス, 対地アドミタンス, 零相相互誘導のほか直列コンデンサについては不平衡ギャップ放電も考慮する。  
計算プログラムの開発にあたっては計算速度, 計算精度の向上を図るよう留意するとともに, 入力データの作成を便ならしめる一方, データ誤りのチェック機構を設けている。対象系統規模に関する前述の数値は記憶容量 130K 語の計算機を用い, かつ本稿で述べるサブプログラムをすべて実装した場合である。計算対象時間は, 波及事故をじゅうぶん追跡しうるために数十秒を目標とし, 常微分方程式の計算には誤差修正の可能な Kutta-Marson 法を用いている。

計算結果として印字されるものは, 発電機関係の諸量, 母線および送電線の電圧電流, 有効電力, 無効電力, 位相角, 周波数, 保護継電装置, しゃ断器の動作などであるが, これ以外のたとえば, 距離継電器から見たインピーダンス軌跡そのほかにも必要に応じて容易に表示することができる。

図 1 はプログラムのフローチャートを示したものである。

### 3. 潮 流 計 算

潮流計算は一点に流入する電流の和がゼロである関係を利用する。N個の接続点から成る系統の接続点Kの電圧は,

$$\dot{E}_K = \frac{P_K - jQ_K}{\dot{E}_K^*} + \frac{\sum_{L=1, L \neq K}^N \dot{Y}_{KL} \dot{E}_L}{\sum_{L=1}^N \dot{Y}_{KL}} \dots\dots\dots (1)$$

したがってN個の接続点から成る系統ではN元の非線形連立方程式ができる。これらの連立方程式は Newton-Raphson 法により解くことができる。すなわち, (1)式のような方程式を実数部と虚数部に分離し,

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$i=1, 2, \dots, n$   
 $x_i = \text{変数}$

(2)式は次のような反復計算により解くことができる。

\* 日立製作所日立研究所  
\*\* 日立製作所大みか工場  
\*\*\* 日立製作所日立研究所 工学博士

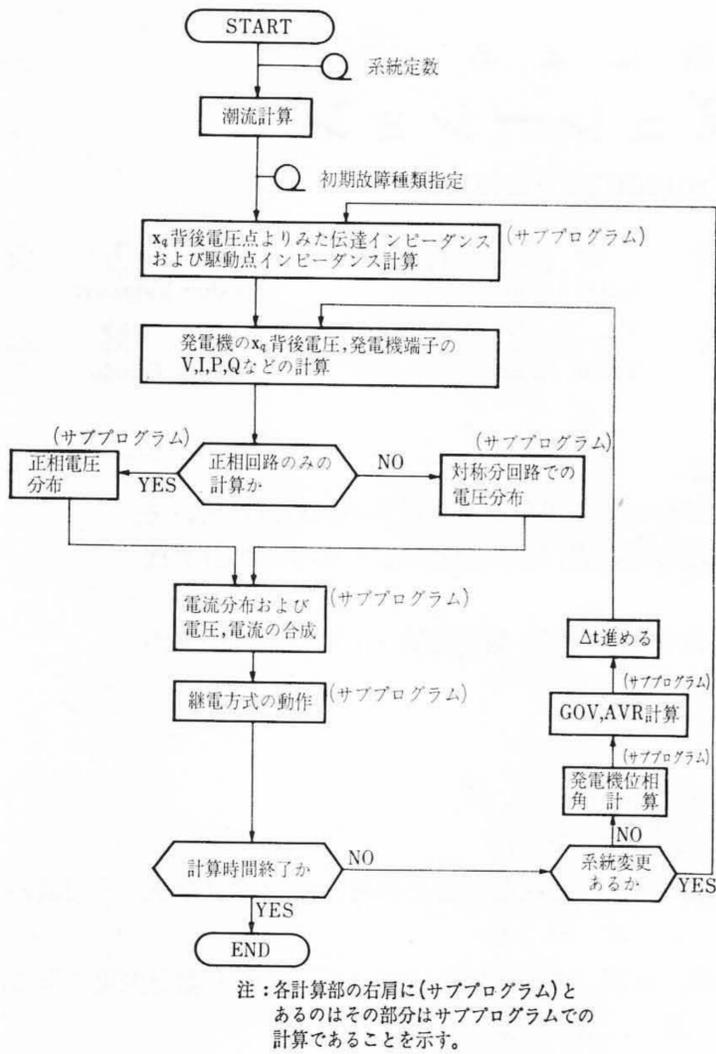


図1 プログラム構成のフロー・チャート

$$x^{(m+1)} = x^{(m)} - J^{-1}(x^{(m)}) \cdot f(x^{(m)}) \dots\dots\dots (3)$$

(m)は第m近似値を示している。

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad f = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix} \quad J(x^{(m)}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{pmatrix} \quad x = x^{(m)}$$

実際の計算は(4)式より  $\Delta x^{(m)} = x^{(m)} - x^{(m+1)}$  を求める。

$$J(x^{(m)}) \cdot \Delta x^{(m)} = f(x^{(m)}) \dots\dots\dots (4)$$

負荷または発電機を有する接続点のうち Slack Generator は電圧値が与えられ電圧計算からは除外される。そのほかの接続点は有効電力および無効電力または電圧の絶対値を指定する。

接続点N個の系統において、(4)式は2(N-1)元の連立一次方程式となる。これをそのまま解くことは多くの記憶容量と計算時間を必要とする。ここでは系統をいくつかのユニットに分割して逐次単一ユニットのみに含まれる電圧を消去することにより、連立方程式の元数の低減を図り、記憶容量と計算時間の節減に効果をあげている。

#### 4. 故障計算

故障時の電力系統を正相, 逆相, 零相回路に分け, 並行2回線送電線の零相回路を, さらに第1回路と第2回路に分ける。おのおのの回路は故障点の電圧, 電流から得られる関係を利用し, 故障種類に応じて4種類の結合変圧器 (1:1, 1:a, 1:a<sup>2</sup> および 1:2, a=ε<sup>j2π/3</sup>) で結合し等価回路を作る。正相回路で発電機は横軸リアクタンス x<sub>q</sub> とその背後電圧で表わす。

等価回路から接続点電圧に関する連立一次方程式が得られる。この場合, 接続点は(1) 発電機内部誘起電圧点, (2) 故障点, (3) それ以外の点の三つのグループに分けられる。

(1)のグループは次章で述べる方法により求められ, ここでの計

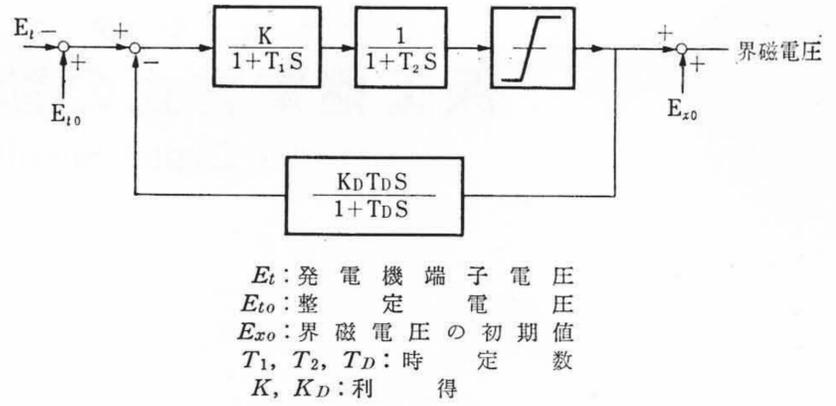
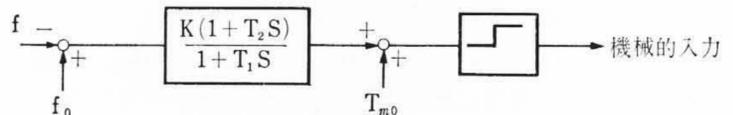
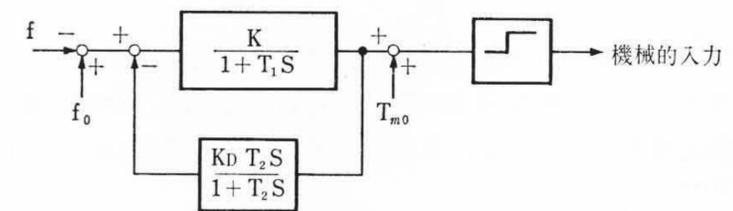


図2 AVRのブロックダイアグラム



(a) タイプA



(b) タイプB

f<sub>0</sub>: 基準周波数  
f: 発電機周波数  
T<sub>m0</sub>: 機械的入力初期値  
T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>: 時定数  
K, K<sub>D</sub>: 利得

図3 GOVのブロックダイアグラム

算から除外される。

(3)のグループは一点に流入する電流の和がゼロであることから, (1)式同様(5)式で表わされる。

$$-\left(\sum_{L=1}^N \dot{Y}_{KL}\right) \dot{V}_K + \sum_{\substack{L=1 \\ L \neq K}}^N (\dot{Y}_{KL} \dot{V}_L) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

(2)のグループは, 故障種類に応じて故障点の電圧, 電流の関係を用いて(5)式を修正する。この修正については, すでに詳述してある<sup>(5)(7)</sup>のでここでは省略するが, いずれも電圧に関する一次式となる。

潮流計算で述べたのと同じ理由, すなわち, プログラムに要する記憶容量と計算時間を減らすため, 実際の計算は故障点以外の電圧を消去して作った連立一次方程式を解き, そこで求めた電圧からそのほかの接続点電圧を求める。

#### 5. 過渡動揺計算

発電機インピーダンスとしては, 直軸リアクタンス x<sub>d</sub>, 直軸過渡リアクタンス x<sub>d'</sub>, 横軸リアクタンス x<sub>q</sub> を考慮する。界磁磁束に相当する x<sub>d'</sub> 背後電圧の横軸成分 e<sub>q'</sub> は界磁回路の微分方程式から求まり, これに内部電圧位相角およびインピーダンスマトリクスを用いて, x<sub>q</sub> 背後電圧を計算する。

図2は自動電圧調整器(AVR)の, 図3は調速機(GOV)のブロック線図である。

系統の変更は最初, 故障種類の指定によって行なわれ, その後は継電装置動作に伴うしゃ断器動作によって行なわれる。

表1 プログラムに組み込まれる保護継電方式

		超 高 圧 系 統	2 次 系 統	3 次 系 統
保 護 継 電 方 式	主 保 護	距離方向比較キャリヤリレー方式 位相比較, 方向比較 組合せキャリヤリレー方式	距離方向比較 キャリヤリレー方式	バランスリレー方式 パイロットワイヤ リレー方式
	後 備 保 護	距離 継 電 方 式	距離 継 電 方 式 電力方向継電方式 OVG 引はずし	電力方向継電方式 OVG 引はずし
系 方 統 分 離 式		周波数分離方式 同期はずれ分離方式 過負荷継電方式 負荷制限方式	(四辺形特性適用)	
再 閉 路		单相, 三相および 多相再閉路方式	三相再閉路方式	

6. 保護継電方式

本計算プログラムに組み込まれている保護継電方式, 系統分離方式および再閉路方式は表1に示すとおりである。ここでは, 超高压系の保護継電方式と同期はずれ分離方式を代表例にとりあげ, これらを中心に述べる。

6.1 超高压系保護継電方式

6.1.1 保護継電方式

超高压系に適用される距離方向比較キャリヤリレー方式および位相比較, 方向比較組合せキャリヤリレー方式をシミュレートした原理図は図4, 5および図6に示すとおりである。このうち図4は短絡保護方向比較キャリヤリレー(短絡距離継電器による後備保護付)を, 図5は地絡保護方向比較キャリヤリレー(地絡距離継電器による後備保護付)を示したものである。図6は位相比較, 方向比較組合せキャリヤリレー方式の主保護部分を示し, 後備保護は図4, 5の後備保護部分と同一である。位相比較継電器は各相位比較を行なうものである。図4~6中“85”は搬送波受信継電器であり, 故障発生時, 相手端局継電器がこれを内部判定することによって動作する。また“TL”は限時を表わし, 主継電器の動作時間, 補助継電器などによるシーケンス上の時間遅れ, しゃ断器の応動時間などを一括して入力データとして与える。さらに図4~6に示す継電方式は, いずれの端局が非電源端となっても動作できるように考慮されており, 電源端, 非電源端の区別は入力データにより指定される。

6.1.2 使用継電器とその特性方程式

図4~6に示す継電方式に使用する継電器の種類および特性方程式をデバイス・ナンバーとともに下記するが, 添字  $a, b, c, o$  は送電線の三相および零相を,  $K$  は継電器の整定値,  $\phi$  は継電器の最大感度位相角を表わしている。

(1) 過電流継電器 51SH<sub>a</sub>

$$|\dot{I}_a| > K \dots\dots\dots (6)$$

(2) 地絡過電流継電器 51GH

$$|\dot{I}_o| > K \dots\dots\dots (7)$$

(3) 不足電圧継電器 27L<sub>a</sub>, 27GL<sub>a</sub>

$$|\dot{V}_a| < K \dots\dots\dots (8)$$

(4) 故障相選別継電器 27φ<sub>a</sub>

$$|\dot{V}_a|^2 - K_1 |\dot{V}_a| |\dot{I}_a + k \dot{I}_o| \cos(\theta - \phi) < K_2 \dots\dots (9)$$

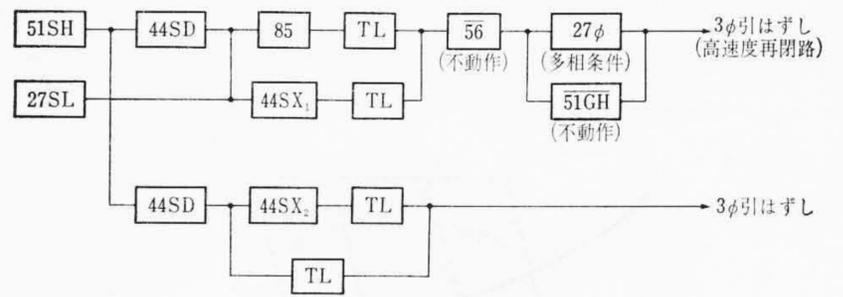
θ:  $\dot{V}_a$  と  $(\dot{I}_a + k \dot{I}_o)$  との位相差

k: 零相電流の補償度  $(\dot{Z}_0 - \dot{Z}_1) / \dot{Z}_1$  の絶対値

(5) 短絡リアクタンス継電器の方向要素 44SD<sub>a</sub>

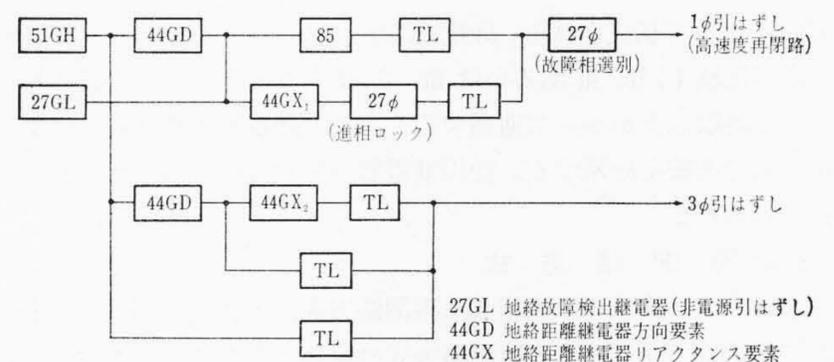
$$K_1 |\dot{V}_{ab}| |\dot{I}_a - \dot{I}_b| \cos(\theta - \phi) - |\dot{V}_{ab}|^2 > K_2 \dots\dots (10)$$

θ:  $\dot{V}_{ab}$  と  $(\dot{I}_a - \dot{I}_b)$  との位相差



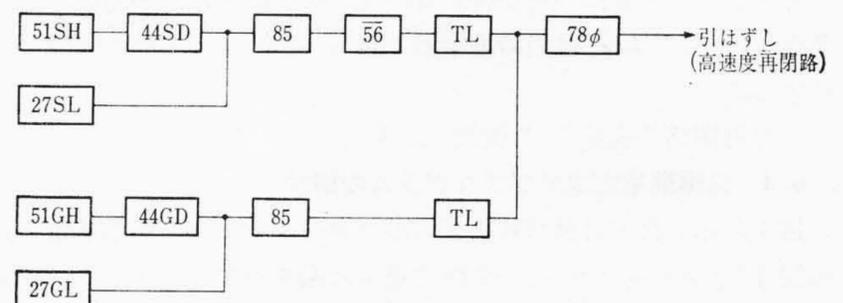
- 27φ 故障相選別継電器
- 27SL 短絡故障検出継電器 (非電源引はずし用)
- 44SD 短絡距離継電器方向要素
- 44SX 短絡距離継電器リアクタンス要素
- 51SH 短絡過電流継電器
- 51GH 地絡過電流継電器
- 56 同期はずれ時鎖錠継電器
- 85 搬送波受信継電器
- TL 限 時

図4 短絡保護方向比較キャリヤリレー方式 (後備保護付)原理図



- 27GL 地絡故障検出継電器 (非電源引はずし)
- 44GD 地絡距離継電器方向要素
- 44GX 地絡距離継電器リアクタンス要素

図5 地絡保護方向比較キャリヤリレー方式 (後備保護付)原理図



78φ 各相位比較継電器

図6 位相比較, 方向比較組合せキャリヤリレー方式原理図

(6) 短絡リアクタンス継電器の距離要素 44SX<sub>1a</sub>, 44SX<sub>2a</sub>

$$|\dot{V}_{ab}| |\dot{I}_a - \dot{I}_b| \cos(\theta - \phi) - K_1 |\dot{I}_a - \dot{I}_b|^2 < K_2 \dots (11)$$

θ:  $\dot{V}_{ab}$  と  $(\dot{I}_a - \dot{I}_b)$  との位相差

(7) 地絡リアクタンス継電器の方向要素 44GD<sub>a</sub>

$$K_1 |\dot{V}_{bc}| |\dot{I}_a| \cos(\theta_1 - \phi_1) - |\dot{V}_{bc}| |\dot{V}_a| \cos(\theta_2 - \phi_2) > K_2 \dots\dots (12)$$

θ<sub>1</sub>:  $\dot{V}_{bc}$  と  $\dot{I}_a$  の位相差

θ<sub>2</sub>:  $\dot{V}_{bc}$  と  $\dot{V}_a$  との位相差

(8) 地絡リアクタンス継電器の距離要素 44GX<sub>1a</sub>, 44GX<sub>2a</sub>

$$|\dot{V}_a| |\dot{I}_a + k \dot{I}_o| \cos(\theta - \phi) - K_1 |\dot{I}_a + k \dot{I}_o|^2 < K_2 \dots\dots (13)$$

θ:  $\dot{V}_a$  と  $(\dot{I}_a + k \dot{I}_o)$  との位相差

6.2 同期はずれ分離方式

同期はずれ分離方式は図7に示す四辺形特性を有し, 4個のオーム継電器 SR<sub>A</sub>, SR<sub>B</sub>, SR<sub>C</sub>, SR<sub>D</sub> と 2個のリアクタンス継電器 SX<sub>A</sub>,

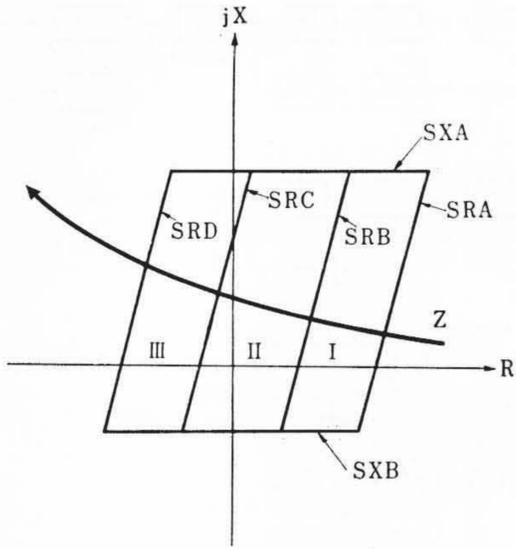


図7 同期はずれ分離方式説明図

$SX_B$ によって構成される。継電器設置点におけるインピーダンス軌跡 $Z$ が領域I, II, IIIあるいはIII, II, Iをこの順にあらかじめ定められた時限以上かかって通過すると、この継電器は動作し、継電器設置点でシステムを分離する。使用継電器の特性方程式はいずれも(11)式で示される。

6.3 再閉路方式

本計算プログラムに適用する再閉路方式は単相、三相および多相再閉路方式である。この再閉路方式の原理は図8に示すとおりである。図中“再閉路条件”とあるのは、再閉路実施種類を意味し、“0”は再閉路実施せず、“1+3”は単相および三相再閉路実施、“3”は三相再閉路実施“M”は多相再閉路実施を表わしている。デバイス・ナンバー上にバーを付したのは、その継電器が不動作である条件を示し、“TL”は限時継電器であらかじめ定められた時限で動作する。

また再閉路“成功”、“失敗”は入力データで与えられる。

6.4 保護継電方式サブプログラムの構成

図1に示した本計算プログラムのフローチャートのうち継電方式の動作(サブプログラム)の個所の構成は図9のフローチャートで示してある。この保護継電方式のサブプログラムは、さらに機能別に数個のサブプログラムから構成されているため、必要に応じて任意の追加、変更が可能である。

7. 計算例

7.1 計算時間

計算時間の一例をあげると、発電機10台、接続点30の系統で三相事故の際、50ステップ(2秒)の計算時間は約200秒、このうちCPU使用時間は約80秒である。なお計算時間は系統分割を行なっているためほぼ接続点に比例する。

また、計算対象時間の検討例として、比較的単純な系統について60秒間にわたるシミュレーションを行なった結果、精度的にじゅうぶん満足すべき結果を得た。なお計算機にはHITAC-5020Fを使用した。

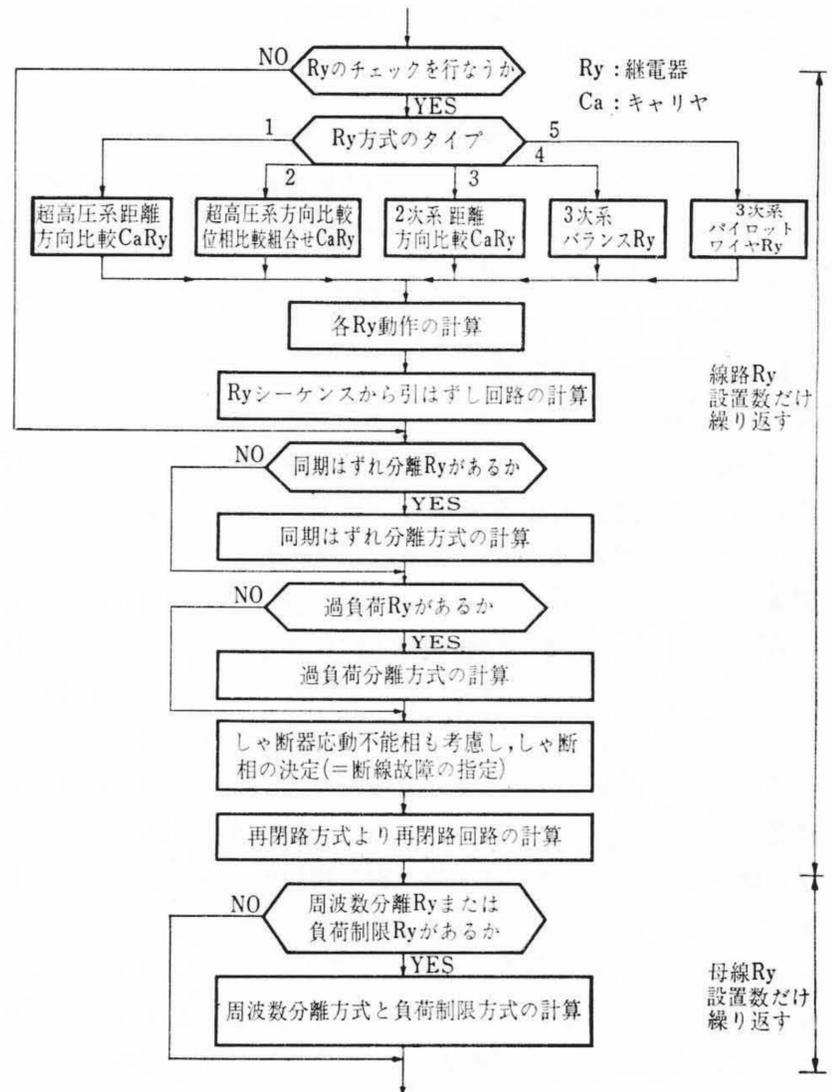


図9 保護継電方式サブプログラムフローチャート

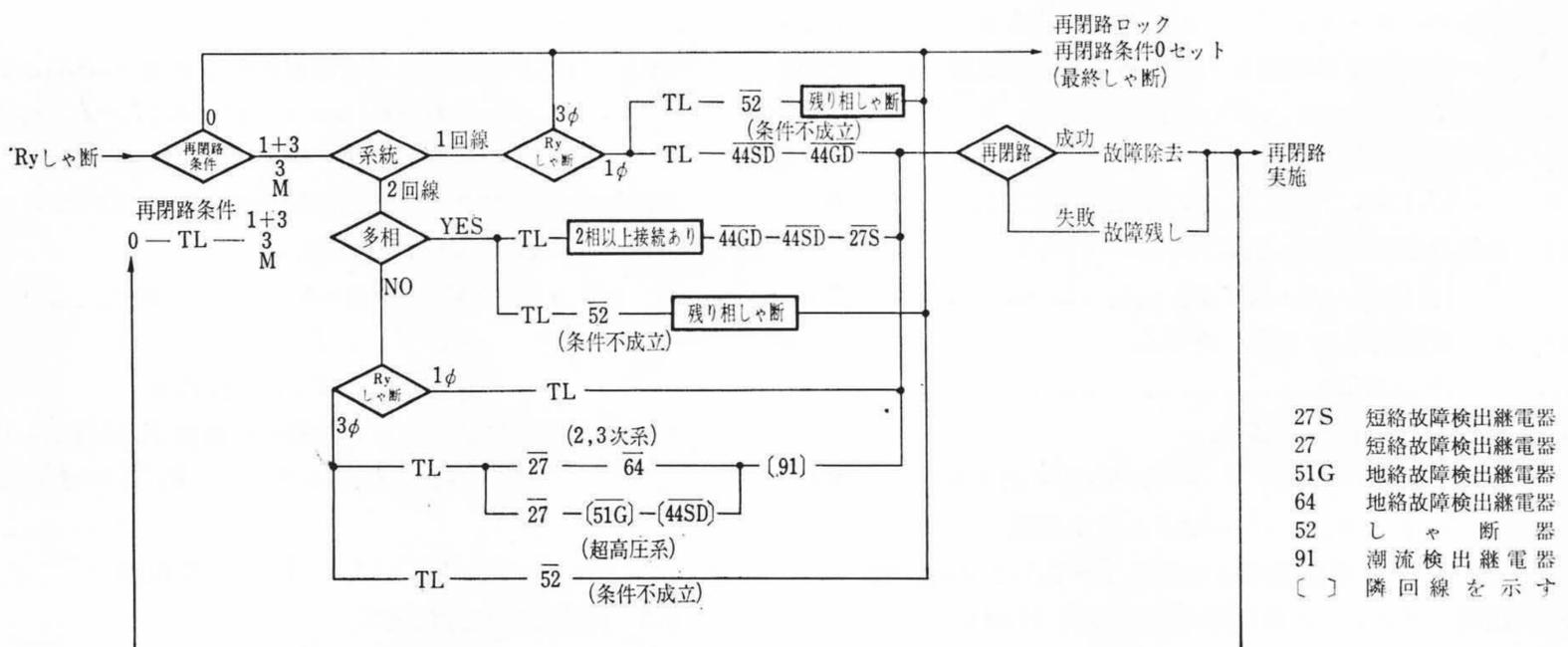
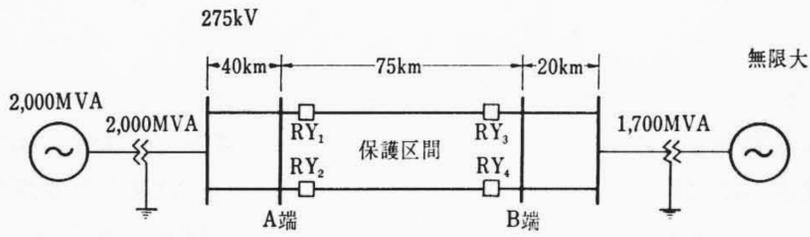


図8 再閉路方式原理図



保護区間の線路定数 (275 kV, 3,000 MVA ベース)  
 $Z_1 = 0.092 + j1.40$  (正相インピーダンス)  
 $Z_0 = 0.896 + j4.33$  (零相インピーダンス)  
 $Z_M = 0.716 + j2.61$  (回線間相互インピーダンス)  
 $X_d = 1.0$  P.U 自己容量ベース  
 $X_q = 0.67$  P.U 自己容量ベース  
 $X_d' = 0.25$  P.U 自己容量ベース  
 $X_{Tr} = 0.1$  P.U 自己容量ベース  
 $H = 5$  kW-s/kVA 自己容量ベース

図10 計算に用いた系統図

TIME 0.100	RELAY NO 1	電圧、電流値	RY動作							
MAG	36.453	29.7739	30.2900	14.5898	1.6886	1.7307	9.4249	18	8.4883	269.3967
ANG	-0.3713	237.6743	121.9347	-85.1988	262.4396	140.8837	186.7293			
51SH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51GL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27PH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44GQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRIP CCT	SCA	SCB	SCC	SD21	SD22	SD23	SD24	SD25	SD26	SD27
A	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
LINE PROTECTIVE OR SYSTEM SPLITTING BY OPERATE	RY NO 1	3相しゃ断								

(0.1秒, 故障しゃ断前, 1号線 a1φ-G, 2号線 bc 2φ-G)

図11 継電方式1の計算例

7.2 保護方式を主体としたシミュレーション

図10は計算例に用いた並行2回線送電線を持つ2機系統を示したもので、RY1~RY4は、保護継電器設置点を示している。これらの継電器の保護区間の中央で1号線 a1φ-G, 2号線 bc 2φ-G が同時に発生したときの計算結果の一部は図11~13に示すとおりである。故障前の電力潮流は300 MWである。

図11は、故障発生後0.1秒の時点の各継電器設置点の電圧、電流と距離方向比較キャリヤリレー方式(以下、継電方式1と呼ぶ)の各継電器および引はずし回路の状態を示したものである。動作した継電器および引はずし回路は1で示し、そうでないものは0で示してある。電圧、電流値は、275 kV/110VのPDおよび1,200 A/5AのCT 2次の値で示してある。継電方式1では、この時点で両回線ともに三相しゃ断となり再閉路は行なわれない。

図12は図11と同じ条件の位相比較、方向比較組合せキャリヤリレー方式(以下、継電方式2と呼ぶ)の計算結果である。継電方式2では単相および三相再閉路方式としたので、この時点で1号線の a

TIME 0.100	RELAY NO 1	電圧、電流値	RY動作							
MAG	36.453	29.7739	30.2900	14.5898	1.6886	1.7307	9.4249	18	8.4883	269.3967
ANG	-0.3713	237.6743	121.9347	-85.1988	262.4396	140.8837	186.7293			
51SH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51GL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27PH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44GQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRIP CCT	SCA	SCB	SCC	SD21	SD22	SD23	SD24	SD25	SD26	SD27
A	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
LINE PROTECTIVE OR SYSTEM SPLITTING BY OPERATE	RY NO 1	a相しゃ断								

(0.1秒, 故障しゃ断前, 1号線 a1φ-G, 2号線 bc 2φ-G)

図12 継電方式2の計算例A

TIME 0.000	RELAY NO 1	電圧、電流値	RY動作							
MAG	36.453	29.7739	30.2900	14.5898	1.6886	1.7307	9.4249	18	8.4883	269.3967
ANG	-0.3713	237.6743	121.9347	-85.1988	262.4396	140.8837	186.7293			
51SH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51GL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27PH	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44GQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRIP CCT	SCA	SCB	SCC	SD21	SD22	SD23	SD24	SD25	SD26	SD27
A	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
LINE PROTECTIVE OR SYSTEM SPLITTING BY OPERATE	RY NO 1	3相しゃ断								

(0.0秒, 0.4秒, 1号線 a1φ-G, 2号線 bc 2φ-G)

図13 継電方式2の計算例B

相と2号線の三相がしゃ断となる。

図13は継電方式2のRY1の点の0.0秒(故障発生直後), 0.4秒

(再閉路前), RY1 および RY2 の点の 0.4 秒 (1 号線単相再閉路後で 2 号線三相再閉路前), RY2 の点の 0.4 秒 (2 号線三相再閉路後) の計算結果である。0.0 秒の点で 1 号線の継電器は a 相しゃ断の条件を満足しているが, 時限“TL”により系統は 0.1 秒の時点まで故障が継続する。0.4 秒の時点で 1 号線の単相再閉路が行なわれたのち (2 号線は 1 号線 a 相の潮流ありを再閉路の条件とする), 2 号線が再閉路されている。1 号線単相再閉路から 2 号線三相再閉路までの時限は省略されている。なお, しゃ断時間 0.1 秒, 再閉路時間 0.4 秒 (無電圧時間 0.3 秒) は入力データであらかじめ与えた時間である。

この場合, 継電方式 1 では両回線三相しゃ断となり高速度再閉路ができず, 電源が脱落し系統に大きなじょう乱を与える。一方, 継電方式では, 1 号線の bc 相が残り 1 号線の高速度単相再閉路に続き 2 号線の高速度三相再閉路ができ, 前者に比べ系統信頼度の向上に有効な方式であるといえる。

なお, 計算例には同期はずれ分離装置も設置してあるが, これはいずれの領域も動作の条件が満たされておらず, 図 11~13 にその動作のプリントが現われていない。

## 8. 結 言

デジタル計算機による大電力系統の動的信頼度解析用プログラムを開発したので, その概要について述べた。系統の巨大化, 複雑化さらには 500 kV 系統の運用に伴い, 信頼度向上は従来にも増して重要な課題となり, 保護技術のうえにも新たな問題を投げかけている。このような状態のもとで, 系統の計画, 運用, 各種機器, 保護システムの最適化を図っていくうえに, 本稿で述べた総合解析プログラムが有効な資料を提供するものと信じている。関係各位のご批判を仰ぎさらにいっそうの改善を図っていきたく念願している。

## 参 考 文 献

- (1) 梅津ほか 4 名: 電研技術研究所報告 No. 67031 (昭 42-7)
- (2) M. M. Adibi: Sixth PICA Conference Proceeding 393 (1969-5)
- (3) C. J. Baldwin and R. T. Byerly: Third PSCC D & C 4 (1969-7)
- (4) 岡村ほか 3 名: 日本電気協会第 49 回通常総会研究講演論文 (昭 45-5)
- (5) 奥田, 磯野: 電学誌 83, 1745 (昭 38-10)
- (6) 奥田, 後藤: 電学誌 87, 1985 (昭 42-10)
- (7) 磯野, 八谷: 日立評論 52, 5 (昭 45-5)

Vol. 53

日立評論

No. 4

## 目 次

## ■ 論 文

- ツェナーと衝突イオン化によるシリコン  $P_n^+$  接合のなだれ降伏
- 無溶剤発電機固定子コイル絶縁の経年変化
- 高周波インバータの特性
- 日本原子力研究所納トラス形核融合実験装置
- 東北電力株式会社秋田火力発電所納計算機によるプリント自動起動特性
- 超高層ビル向 AS 形高速度制御方式高速エレベータ
- ポリウレタンフォームを使用したサンドイッチ構造タンク車の開発
- 局設置集合電話用交換機 —— C410 形自動交換機 ——
- インダクタ付閉磁路形点火コイル

- トラフ内砂埋布設ケーブルの曲線部における挙動
- 電車用特別高圧ケーブルおよびケーブルヘッド

## ■ 直流送電特集

- 最近の直流送電機器の開発
- 機械振興協会納高電圧大容量, 交直流変換装置の全体計画
- 12.5 kV 37.5 MW 高電圧サイリスタバルブの開発
- 12.5 kV 37.5 MW 高電圧サイリスタ変換装置用変換器直流リアクトル
- 12.5 kV 37.5 MW 高電圧サイリスタ変換装置用制御保護装置
- 超高圧直流 OF ケーブルの開発

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号  
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地  
郵便番号 101

振替口座 東京 20018 番