

「電力系統安定度のパラメータ感度解析」

佐 藤 義 則*
村 井 国 昭*
長 谷 川 淳**

Parameter Sensitivity Analysis of Power System Stability

Yoshinori SATO
Kuniaki MURAI
Jun HASEGAWA

要 旨

リアプノフ関数に基づいた安定度指標の、系統パラメータ変動に対する感度を求めることにより、系統の安定度にとってどのパラメータが重要であるかを評価することができる。

一機無限大母線系統の過渡安定度指標について、シングル・パラメータの感度解析を行い、実際と妥当する結果が得られたことを示す。

Synopsis

Evaluating the sensitivity of stability indices of any dynamical systems to parameter variation, we are able to determine which parameter is critical for the stability of the system. Sensitivity equations defined by Tomovic are developed and applied to a single-parameter sensitivity model of one-machine infinite bus power system.

Numerical results are shown to be well consistent with real circumstances.

1. 緒 言

安定度 (Stability) と感度 (Sensitivity) という2つの概念は、システムの解析や合成において極めて密接に関連しており、一般に動的システムの内部状態の時間的挙動を調べるのが安定度解析であり、パラメータ空間におけるシステムの動的挙動を調べるのが感度解析であると言える。

電力系統安定度に対する感度解析の必要性は既に、Baba 氏他⁽¹⁾、Adibi 氏⁽²⁾、Teichgraeber 氏⁽³⁾等によって強調されているが、氏等は同期機制動トルクの効果と系統パラメータの同時の変化の影響を考慮していないという難点があった。

著者等はさきに、代表的な電力系統過渡安定度向上対策について、その定量的な評価方法を提案した⁽⁴⁾。それによれば、リアプノフ関数に基づく過渡安定度指標 ξ はシステムの状態即ち、電圧位相角と角速度、及びシステム方程式中の各種パラメータとの関数として定義された。本論文は、同期機制動項を考慮した1機無限大母線系統に対して、上記安定度指標のパラメータ感度解析を行ったものである。その結果、各パラメータが一定の割合で変動した場合に安定度指標がどの程度変化するか、即ちどのパラメータが系の安定度にとって重要であるかを評価することができる。

2. 感 度 解 析

2. 1 感度係数

動的な系のシンセシスにおいては、その系の特

* 苫小牧高専 電気工学科

** 北海道大学工学部 電気工学科

異点の示す時間的特性と共に、パラメータ変動に対する感度もまた重要となる。この場合、系軌道の特異点の挙動を決定することは問題とはならず、系を記述する微分方程式の解をパラメータ変動の関数として見る必要がある。今、特定のパラメータ P_o を含む次の動的システムを考える。

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, p_o) = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

ただし、 x : 状態変数ベクトル

$$\dot{x} = dx/dt, \quad \ddot{x} = d\dot{x}/dt = d^2x/dt^2$$

t : 時間

(1)式の解は、 $x = x(t, p_o)$ と書ける。今、(1)式で表わされる系でパラメータ p_o が微少分 ΔP だけ変化すると、

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, p_o + \Delta P) = 0 \quad \cdots \cdots (2)$$

この時、この動的システムの感度係数は次式で定義される。

$$u(t, p_o) = \frac{dX(t, P_o)}{dP_o} \\ = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \frac{X(t, P_o + \Delta P) - X(t, P_o)}{\Delta P} \quad (3)$$

感度係数 $u(t, p_o)$ は、系が定常状態の時、即ち系が時間 t に依存しない時、パラメータ $u(t, p_o) = u(p_o) = u_s$ のみの関係となる。また、パラメータがパラメータ群 $p_1, p_2, \dots, p_n$ から成る時、感度はそれら全ての値に依存する。したがって、動的システムでは一般に次の3つの感度を区別しなければならない⁽⁵⁾。

- (i) 静的感度係数; $u(p_o) = u_s$
- (ii) 動的感度係数; $u(t, p_o) = u_t$
- (iii) パラメータ感度係数; $u(t, p_1, p_2, \dots, p_m) = u_p$

本論文で扱うのは動的感度係数である。

2. 2 感度方程式

動的システムを表わす方程式が既知であれば(3)式により感度係数を求めることができる。即ち、(1)式のパラメータ p_o に関する導関数は次式となる。

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \frac{\partial \ddot{x}}{\partial P_o} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \frac{\partial \dot{x}}{\partial P_o} + \frac{\partial F}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial P_o} + \frac{\partial F}{\partial P_o} = 0 \quad (4)$$

ここで、

$$\frac{\partial \dot{x}}{\partial P_o} = u, \quad \frac{\partial \ddot{x}}{\partial P_o} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \dot{x}}{\partial P_o} \right) = \dot{u}, \\ \frac{\partial \ddot{x}}{\partial P_o} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial x}{\partial P_o} \right) = \ddot{u}$$

であるから(4)式は次のようになる。

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \ddot{u} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \dot{u} + \frac{\partial F}{\partial x} u = - \frac{\partial F}{\partial P_o} \quad (5)$$

(5)式は感度方程式と呼ばれ、動的感度係数 $u(t, p_o)$ は(5)式の微分方程式の解として求められる。(5)式中の係数 $\partial F/\partial \ddot{x}$, $\partial F/\partial \dot{x}$, $\partial F/\partial x$ 及び強制項 $\partial F/\partial p_o$ は(1)式よりただちに計算できるので、(1)式で表わされる動的システムの感度解析は(1)式と(5)式の連立解により与えられる。即ち、(1)式、(5)式の連立解として、 $x(t, p_o)$, $\partial F/\partial p_o$, $u(t, p_o)$ が求められる。

(1)式は一般的な場合非線形であるが、感度方程式は常に線形微分方程式となる。これは $\partial F/\partial \ddot{x}$, $\partial F/\partial \dot{x}$, $\partial F/\partial x$ 等の係数が、感度係数 u 、またはその導関数の関数とならないためである⁽⁵⁾。

2. 3 モデル系統に対する適用

モデル系統として図-1の1機無限大母線系統を考える。この系を記述する方程式(=動揺方程式)は、通常の過渡安定度解析において行われる仮定の下で次式のように表わすことができる。

$$M\ddot{\delta} + D\dot{\delta} + E_1 E_2 Y_{12} \sin \delta = P_m \quad \cdots \cdots (6)$$

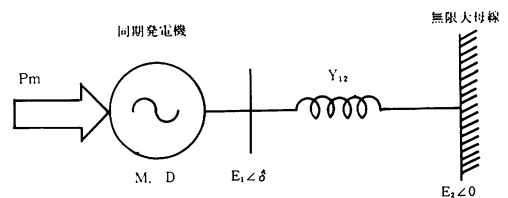


図-1 Model Power System

ただし、 M : 同期機慣性定数、 D : 同期機制動係数、 E_1 : 発電機内部誘起電圧、 E_2 : 無限大母線電圧、 Y_{12} : 等価線路アドミタンス、 P_m : 発電機機械的入力、 δ : 電圧位相角 (rad)。尚、単位は δ 以外すべて Per Unit 値である。又、 $\dot{\delta} = d\delta/dt$, $\ddot{\delta} = d\dot{\delta}/dt = d^2\delta/dt^2$ である。

この系の安定平衡点を δ_s とすれば、 $X = \delta - \delta_s$ なる変数変換によって(6)式は次式のように書ける。

$$M\ddot{X} + D\dot{X} + E_1 E_2 Y_{12} \sin(X + \delta_s) - P_m = 0 \quad (7)$$

(7)式で表わされる系の状態変数は $X = \delta - \delta_s$ 及び $\dot{X} = d\delta/dt = \omega$ であり、パラメータ群は $M, D, E_1, E_2, Y_{12}, P_m$ の6個である。しかし、電気的出力の最大値を P_{em} とすれば、 $P_{em} = E_1 E_2 Y_{12}$ なる関係式によって独立なパラメータは4個となる。

さて、(7)式で表わされた系に対して(5)式で定義された感度方程式を導びこう。今、パラメータ M について考えると、(7)式より、

$$\frac{\partial F}{\partial \dot{X}} = M, \quad \frac{\partial F}{\partial X} = D,$$

$$\frac{\partial F}{\partial X} = \frac{\partial}{\partial X} [E_1 E_2 Y_{12} \sin(X + \delta_s)] = P_{em} \cos X,$$

$$\frac{\partial F}{\partial M} = \dot{X}$$

となるから、 M に対する感度方程式は次式で与えられる。ただし、

$$u_M \equiv \frac{\partial X}{\partial M}, \quad \dot{u}_M \equiv \frac{\partial \omega}{\partial t}, \quad \ddot{u}_M \equiv \frac{\partial \dot{\omega}}{\partial t} = \frac{\partial^2 u_M}{\partial t^2}$$

である。

$$M\ddot{u}_M + D\dot{u}_M + P_{em}u_M \cos(X + \delta_s) = -\dot{X} \dots (8)$$

以下同様にしてパラメータ D, P_{em}, P_m に対して感度方程式を求めると、それぞれ次式のようにになる。

$$M\ddot{u}_D + D\dot{u}_D + P_{em}u_D \cos(X + \delta_s) = -\dot{X} \dots (9)$$

$$M\ddot{u}_{P_{em}} + D\dot{u}_{P_{em}} + P_{em}u_{P_{em}} \cos(X + \delta_s) = -\sin(X + \delta_s) \dots (10)$$

$$M\ddot{u}_{P_m} + D\dot{u}_{P_m} + P_{em}u_{P_m} \cos(X + \delta_s) = 1 \dots (11)$$

E_1, E_2, Y_{12} に対する感度方程式は後に見るように P_{em} から計算できるので必要としない。

(8)~(11)は系統が経過する状態に依存しつつ動揺方程式(7)と連立して解かれる訳である。この場合、状態変数の初期条件は $X = \delta - \delta_s$ なる変換により、常に状態空間 (X, ω) の点 $(0, 0)$ となる。また、(8)~(11)式の感度方程式に対する初期条件は、パラメータ M, D, P_{em}, P_m のそれぞれに対して次式で与えられる。

$$u_P = \dot{u}_P = 0 \quad \dots (12)$$

ただし、 P : 任意のパラメータ

2. 4 安定指標のパラメータ感度

制動項を考慮した(7)式の系に対して、リアプノフ関数に基づく安定度指標 ξ は次式で定義された⁽³⁾⁽⁴⁾。

$$\begin{aligned} \xi &\equiv 1 - \frac{V_{sw}}{V_{max}} \\ &\quad \frac{\omega^2}{2} + \frac{1}{M} \left[P_m (\sin X - X) + \sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} \cdot (1 - \cos X) \right] \\ &= 1 - \frac{\frac{1}{M} \left[2\sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} - P_m (\pi - 2\delta_s) \right]}{\dots (13)} \end{aligned}$$

ここで、 X と ω は故障除去時点で評価した値である。

この安定度指標 ξ は、系の状態 (X, ω) と系統パラメータの関数である。文献(4)では、パラメータを一定とし、安定度向上対策時の系の状態の変化を ξ によって比較評価した。ここでは、関数 ξ の各系統パラメータに対する感度係数を求めることにより、パラメータ変化がその系の安定度に対して及ぼす影響を評価することができることを示す。

今、任意の故障除去時間 t_{sw} において、 ξ のパラメータ M に対する感度係数は次のようにして導びくことができる。

$$\begin{aligned} \xi_M &\equiv \frac{\partial \xi}{\partial M} = -\frac{\partial}{\partial M} \left(\frac{V_{sw}}{V_{max}} \right) \\ &= \frac{-1}{V_{MAX}} \left[\frac{\omega^2}{2} + M\omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial M} + P_m \left(\frac{\partial X}{\partial M} \cdot \cos X - \frac{\partial X}{\partial M} \right) + \sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} \frac{\partial X}{\partial M} \cdot \sin X \right] \\ &= \frac{-1}{V_{MAX}} \left[\frac{\omega^2}{2} + M\omega \dot{u}_M + u_M (P_m \cos X - P_m) + \sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} \cdot \sin X \right] \end{aligned}$$

$$\text{ここで、} P_m = P_{em} \sin \delta_s, \quad \sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} = P_{em} \cos \delta_s$$

であることに注意すれば上式は次のように書ける。

$$\xi_M = \frac{-1}{V_{MAX}} \left\{ \frac{\omega^2}{2} + M\omega \dot{u}_M + P_{em} \cdot u_M (\sin(X + \delta_s) - \sin \delta_s) \right\} \quad \dots (14)$$

ここで

$$V_{MAX} = 2\sqrt{P_{em}^2 - P_m^2} - P_m (\pi - 2\delta_s)$$

である。

以下同様にしてパラメータ D, P_m, P_{em} に対して感度係数を求めると、それぞれ次式のようにになる。

$$\begin{aligned}\xi_D &\equiv \frac{\partial \xi}{\partial D} = -\frac{1}{V_{MAX}} \cdot \frac{\partial V_{sw}}{\partial D} \\ &= \frac{-1}{V_{MAX}} \left\{ M\omega i\omega + P_{em}u_D \{ \sin(X + \delta_s) \right. \\ &\quad \left. - \sin\delta_s \} \right\} \quad \cdots \cdots (15)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\xi_{P_{em}} &\equiv \frac{\partial \xi}{\partial P_{em}} = -\frac{\partial}{\partial P_{em}} \left(\frac{V_{sw}}{V_{MAX}} \right) = -\frac{\left(\frac{\partial V_{sw}}{\partial P_{em}} \right)}{V_{MAX}} \\ &\quad + \frac{V_{sw}}{V_{MAX}^2} \cdot \frac{\partial V_{MAX}}{\partial P_{em}} \\ &= \frac{-1}{V_{MAX}} \left\{ M\omega i_{P_{em}} + u_{P_{em}} \{ P_m (\cos X - 1) \right. \\ &\quad \left. + P_{em} \cos \delta_s \cdot \sin X \} + \frac{1 - \cos X}{\cos \delta_s} \right\} \\ &\quad + \frac{2 V_{sw}}{V_{MAX}^2 \cdot \cos \delta_s} \quad \cdots \cdots (16)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\xi_{P_m} &\equiv \frac{\partial \xi}{\partial P_m} = -\frac{\partial}{\partial P_m} \left(\frac{V_{sw}}{V_{MAX}} \right) = -\frac{\left(\frac{\partial V_{sw}}{\partial P_m} \right)}{V_{MAX}} \\ &\quad + \frac{V_{sw}}{V_{MAX}^2} \cdot \frac{\partial V_{MAX}}{\partial P_m} \\ &= \frac{-1}{V_{MAX}} \left\{ M\omega i_{P_m} + (\sin X - X) - \tan \delta_s \right. \\ &\quad \cdot (1 - \cos X) + u_{P_m} \{ P_m (\cos X - 1) \\ &\quad \left. + P_{em} \cdot \cos \delta_s \cdot \sin X \} \right\} - \frac{2 \cdot V_{sw}}{V_{MAX}^2} [\tan \delta_s \\ &\quad + (\pi - 2\delta_s)] \quad \cdots \cdots (17)\end{aligned}$$

上式中、 V_{sw} は故障除去時点 t_{sw} におけるリアブ
ノフ関数の値である。また、 $V_{max} = V_{MAX}/M$ であ
る。

パラメータ E_1, E_2, Y_{12} に対する感度係数は(16)式
を評価した後に次式から求めることができる。即
ち、

$$P_{em} = E_1 E_2 Y_{12} \quad \cdots \cdots (18)$$

であるから、

$$\xi_{E_1} \equiv \frac{\partial \xi}{\partial E_1} = \frac{\partial \xi}{\partial P_{em}} \frac{\partial P_{em}}{\partial E_1} = E_2 Y_{12} \xi_{P_{em}} \quad \cdots (19)$$

$$\xi_{E_2} \equiv \frac{\partial \xi}{\partial E_2} = \frac{\partial \xi}{\partial P_{em}} \frac{\partial P_{em}}{\partial E_2} = E_1 Y_{12} \xi_{P_{em}} \quad \cdots (20)$$

$$\xi_{Y_{12}} \equiv \frac{\partial \xi}{\partial Y_{12}} = \frac{\partial \xi}{\partial P_{em}} \frac{\partial P_{em}}{\partial Y_{12}} = E_1 E_2 \xi_{P_{em}} \quad \cdots (21)$$

(14)~(21)式中の動的感度係数 $u_M, u_D, u_{P_{em}}, u_{P_m}$ は、
それぞれ対応する感度方程式、(8)~(11)式を満足し
なければならない。

3. 数 値 例

ある1つのパラメータが変化すると系の状態が
変化し、結果として他のパラメータも変動する。
したがって感度解析は、正確にはいわゆるマル
チ・パラメータ感度係数を求めねばならないが、
この場合パラメータ数が多くなると解析が極めて
煩雑となるため、本論文では特定のパラメータ1
個が独立に変化するシングル・パラメータの感度
解析を扱う。

3. 1 シミュレーションの概要

モデル系統は図-1に示す1機無限大母線系統
である。故障として送電端における3相短絡接地
事故を想定した。各故障除去時点について、系統
の動揺方程式(7)と感度方程式(8)~(11)を連立してル
ンゲ=クッタ=ギル法で解き、各時点で安定度指
標の感度係数を評価する。計算の概略フロー
チャートを図-2に、またモデル系統に採用した
データを表-1に示す。

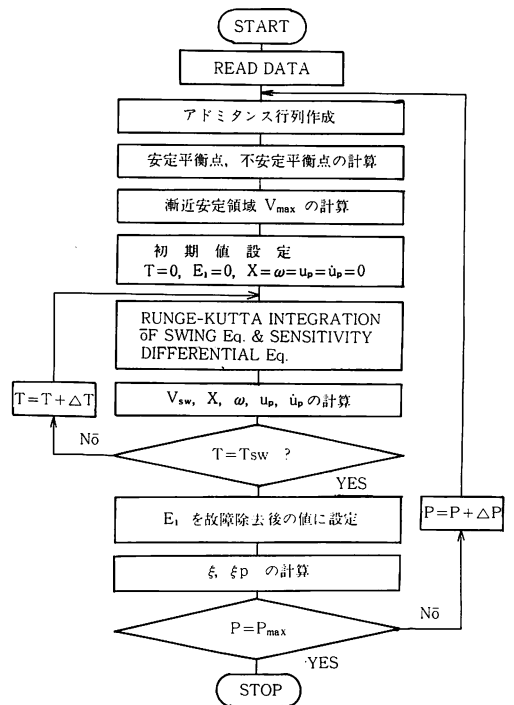


図-2 Flow chart for Sensitivity Analysis of Stability Measure

3. 2 シミュレーションの結果

図3～図8はそれぞれパラメータ M , D , P_m , E_1 , E_2 , Y_{12} に対する安定度指標 ξ の時間変化を示す。これらの図は、各パラメータが定格値から変動した時、その変動が臨界故障除去時間 t_{crit} に及

表-1 Parameter Values for Model System

H(p.u.)	D(p.u.)	E ₁ (p.u.)	E ₂ (p.u.)	Y ₁₂ (p.u.)	P _m (p.u.)
3.5	0.01	1.10	0.92	1.101	0.825

値はすべて定格値。

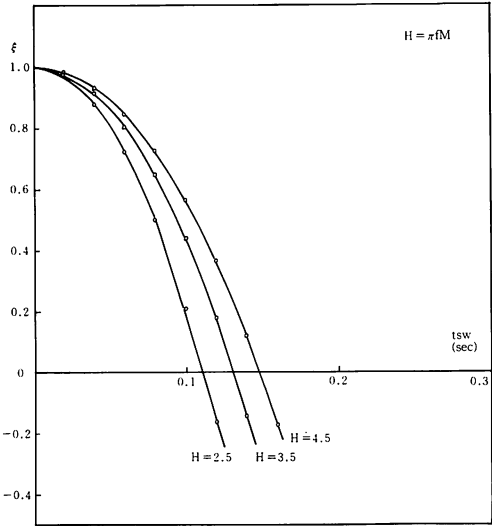


図-3 ξ-Switching Time for Machine Inertia Constant M

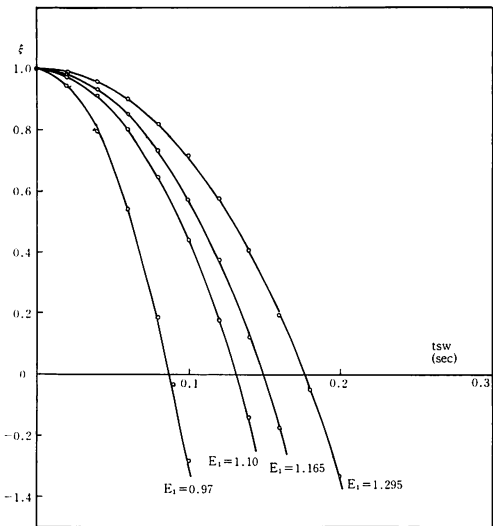


図-5 ξ-Switching Time for Generator Voltage E₁

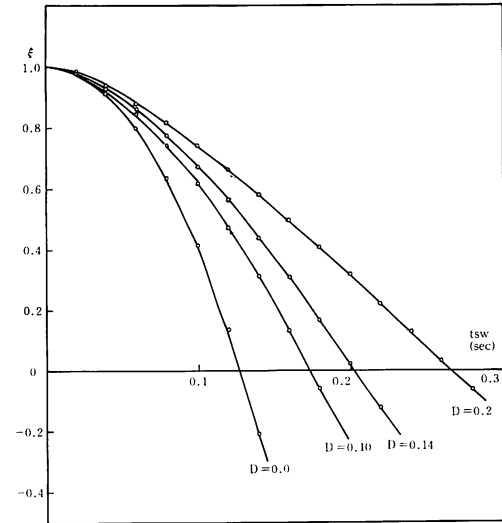


図-4 ξ-Switching Time for Machine Damping Constant D

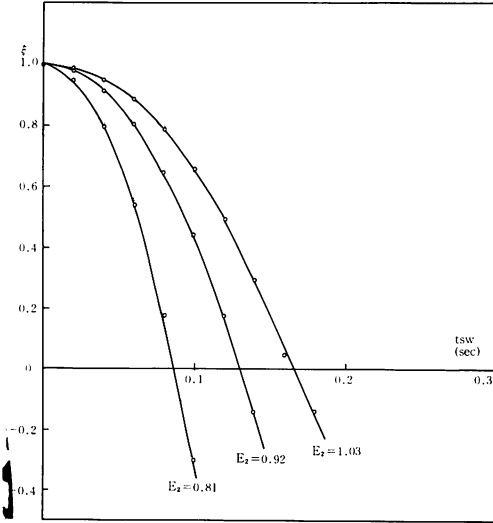


図-6 ξ-Switching Time for Infinite bus Voltage E₂

ばす影響を表わしている。tcrit なる時間は直線 $\xi = 0$ と各パラメータ曲線との交点から読み取ることができる。実際の tcrit の値は数値積分のきざみ幅から線形内挿して求めている。

今図6のパラメータ E_2 についてみると、故障除去時間が増加するに従って安定度指標 ξ は減少し、特に E_2 の定格値 0.92 p. u. 以下の値に対して顕著である。したがって安定度の観点からは E_2 を過大評価するより過少に評価した方が安全側であると結論できる。これは、 E_2 が増加すると tcrit も

また増加することから裏付けられる。 E_2 が0.81 p. u. から1.03 p. u. まで27.2%増加すると t_{crit} は0.088秒から0.163秒まで86%増加する。

パラメータ E_1 , Y_{12} も E_2 と同様の傾向を示すことがわかる。 M と D は所与のパラメータ変化に対して t_{crit} の増加は余り顕著ではない。また, P_m に対して t_{crit} は P_m の値が減少すると増加し, E_2 の場合とは逆に定格値より小さい値を過大評価してよいことがわかる。

図9には t_{crit} に対する各パラメータのプロッ

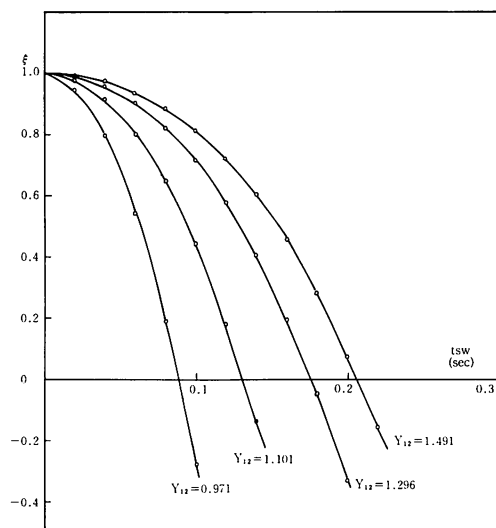


図-7 ξ -Switching Time for Transfer Admittance Y_{12}

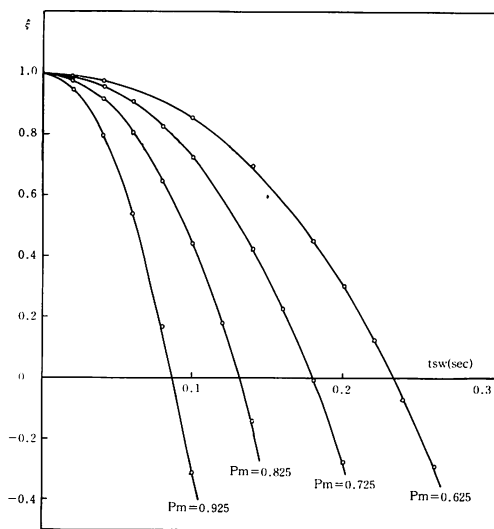


図-8 ξ -Switching Time for Mechanical input Power P_m

トを示す。この図からパラメータ変化が t_{crit} に及ぼす影響がはっきり把握できる。また, 影響の仕方が各パラメータ間で異なることも把握できよう。同図では曲線の傾きが大きい程, 所与のパラメータ変化に対して臨界故障除去時間の変化が小さく, 逆に, 傾きが小さい程パラメータ変化が臨界故障除去時間に及ぼす影響が大きいことにな

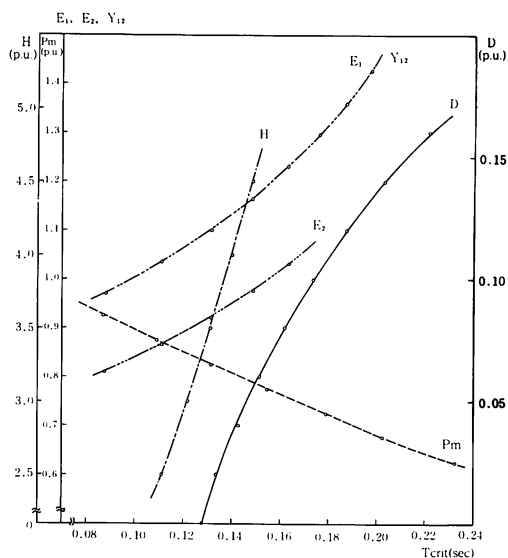


図-9 Critical Clearing Time-Parameter Value

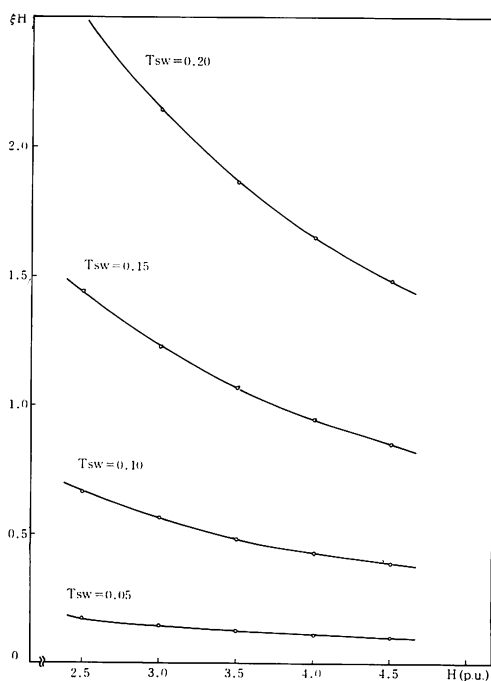


図-10 ξ - $H(=\pi fM)$

る。例えば、 P_m は0.925 p. u. から0.725 p. u. まで22%減少すると、 t_{crit} は0.087秒から0.179秒まで約105%も増大する。これに対して $H(=\pi fM)$ は2.5 p. u. から4.5 p. u. まで80%の増加に対し t_{crit} の増加は0.112秒から0.149秒まで3.3%の増加に過ぎない。以下同様の議論から、モデル系統の所与のパラメータ群の中で t_{crit} に対して最も大きく影響するのは P_m であり、以下 E_2, E_1, Y_{12}, D, H の順である。 H と D の定格値近傍でのパラメータ変化は t_{crit} にあまり影響せず、従って過渡安定度に対して他のパラメータ程寄与しないことがわかる。

図10～図15にはパラメータ空間における安定度指標 ξ の感度解析の結果を示す。ここでは故障除去時間一定の下で種々のパラメータ値に対して当該パラメータの感度係数を評価する訳である。

図13を例にとると、故障除去時間 T_{sw} が大きくなると感度係数 ξ_{E_2} は、 E_2 の値如に拘わらず T_{sw} の小さい場合に比較してかなり大きいことがわかる。また ξ_{E_2} は E_2 の定格値以上の値よりも定格値以下の値に対してはるかに大きい。この傾向は P_m 以外のどのパラメータについても同様である。即ち、各パラメータの感度係数の変化はパラメータ値が減少すると増大するが、 P_m の感度係数の変化は P_m の値が減少すると減少する。

表2には、各パラメータの定格値において故障除去時間 $T_{sw}=0.10$ 秒における感度係数の値を、また表3には各パラメータが定格値近傍で単位量だけ変化したときの感度係数の変化率をそれぞれ

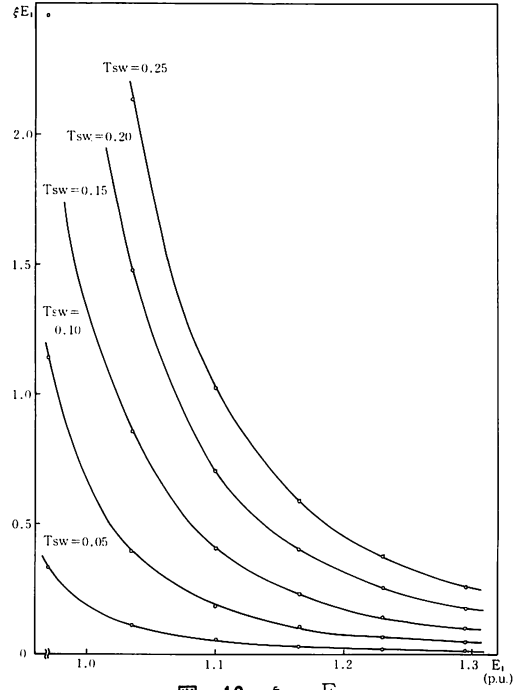


図-12 $\xi_{E1}-E_1$

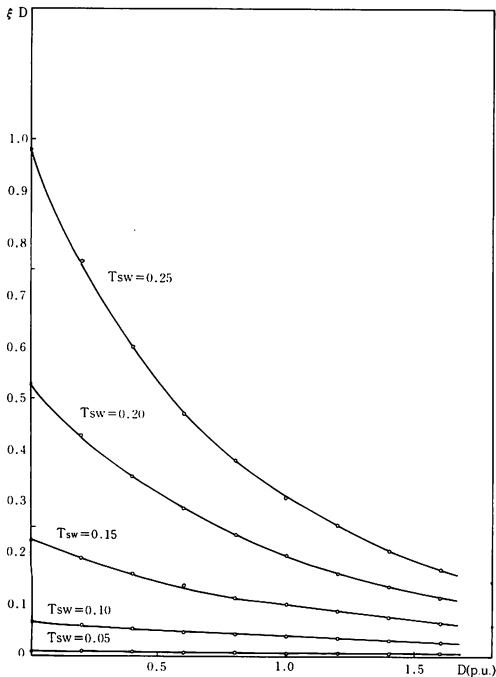


図-11 ξ_D-D

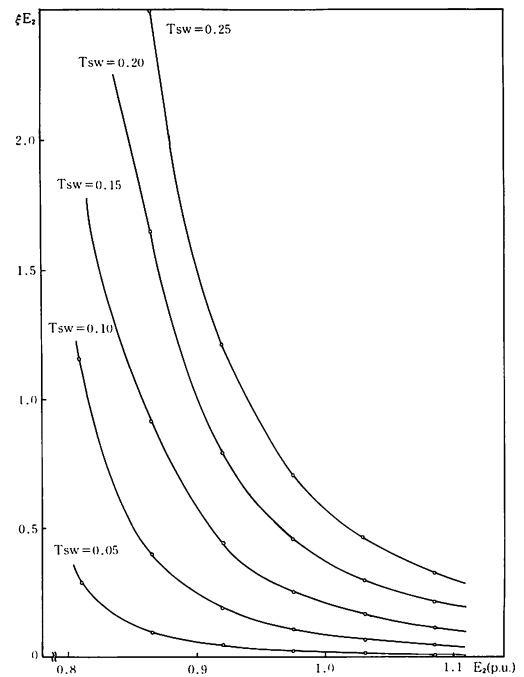


図-13 $\xi_{E2}-E_2$

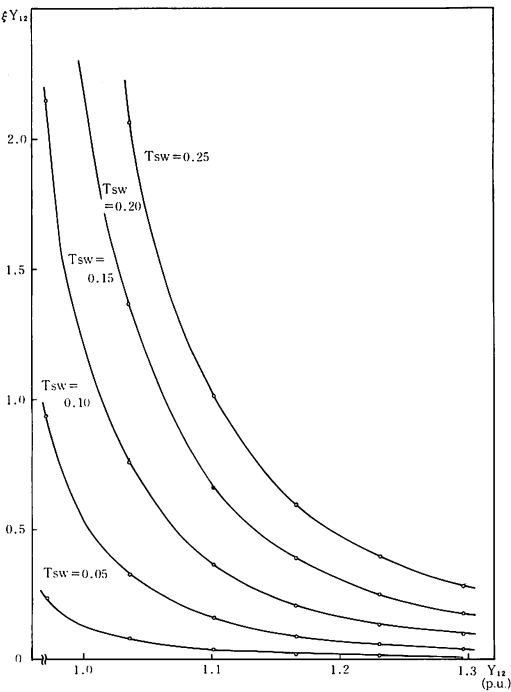


図-14 $\xi_{Y_{12}}-Y_{12}$

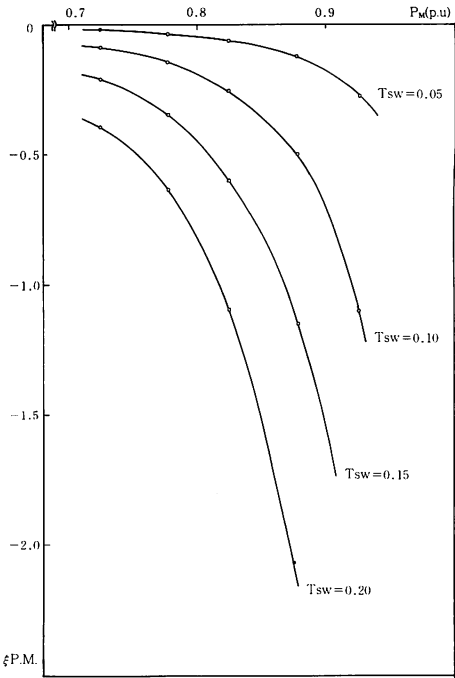


図-15 $\xi_{P_M}-P_M$

示している。

表3からわかるように感度係数の変化は、 H 、 D が小さく、 E_1, E_2, Y_{12}, P_m の順に大きい。臨界故障除去時間に対する各パラメータ変化の影響と併せて考えると、この結果は実際の電力システムの過渡安定度対策における基本的な考え方と一致している。即ち、地絡事故のような系統内の急激なパラメータ変化に対して安定度を維持増進しようとする場合、

- (1) AVR による発電機励磁電圧の上昇
- (2) 高速度再閉路方式、高速度パルス制御等による発電機入出力不平衡の減少
- (3) 直列コンデンサ投入による直列リアクタンスの補償

等の対策がなされるが、これらはそれぞれ事故後のパラメータ E_1, P_m, Y_{12} の変化を減少させることに対応している。これらの対策のない場合の結果は既に考察したように臨界故障除去時間が著しく減少する。従って、過渡安定対策上重要なパラメータは E_1, E_2, Y_{12}, P_m であり、 M, D のパラメータ変化は過渡安定度に余り寄与しないと言える。

4. 結果と結言

リアプノフ関数に基づいた電力システムの安定度指標に対して、時間領域とパラメータ空間において

表-2 Values of sensitivity coefficients at the switching time $T_{sw}=0.10$ sec for base nominal values

ξM	ξD	ξE_1	ξE_2	ξY_{12}	ξP_m
0.4905	0.0638	0.1868	0.1861	0.1555	-0.2568

表-3 Rate of Parameter Variation around base nominal values

H	D	E_1	E_2	Y_{12}	P_m
1.05	0.12	18.93	18.81	18.67	15.52

シングル・パラメータの感度解析を行った。前者はパラメータ変化が臨界故障除去時間に及ぼす影響を、また後者はパラメータ変化が感度係数に及ぼす影響をそれぞれ明らかにしている。得られた結論を列挙すれば次のようになる。

(1)与えられたパラメータ変化に対して、系統の臨界故障除去時間に及ぼす影響の最も大きいのは発電機機械的入力 P_m であり、以下 E_1, E_2, Y_{12}, H, D の順に影響が小さくなる。

(2)したがって、系統の過渡安定度の立場からは電氣的パラメータである E_1, E_2, Y_{12} と併せて機械的パラメータ P_m を大きく評価することが望まし

い。

(3)一般に感度係数は、パラメータが定格値から減少すると急激に増大する。

(4) P_m を除けば、一般に感度係数は故障除去時間が遅くなるに従って増大する。このことは、系の安定領域の境界値、さらに不安定領域に近づく程感度係数が増大することを意味している。

(5)あらかじめオフ＝ラインで感度係数の閾値を設定しておき、オン＝ラインで特定のパラメータの感度係数を監視することにより、系統の安定化制御に寄与しうる。

以上、一機無限大母線系統のパラメータ感度解析によって、実際と妥当する結論が導びかれ、安定度対策上有用と思われるいくつかの示唆が得られた。

今後の課題としては、多機系統への拡張、調速機、AVR 励磁機制御系を含む系への拡張、2つ以上のパラメータ変化を同時に考慮するマルチ＝パラメータの感度解析への適用等がある。

最後に、日頃御指導いただく北海道大学工学部西谷健一助手に深く感謝致します。

尚、本論文の計算はすべて北海道大学大形計算機センターのFACOM 230-60/75を使用した。

参 考 文 献

- (1) J. Baba et al ; Proc. of PICA Conference. (1967). p. 47
- (2) M. M. Adibi. Power System Computer Feasibility Study, Vol. I, Chap. V (1968)
- (3) R. D. Teichgraber. Ph. D. Dissertation. Kansas State Univ. (1969)
- (4) 佐藤, 長谷川, 小池, 苫小牧高専紀要第12号. pp. 23 (1977)
- (5) R. Tomovic. Sensitivity Analysis of Dynamical Systems. (Mcgraw-Hill). (1963)
- (6) J. Peschon et al. Sensitivity in Power Systems. IEEE. VOL. PAS-87. No. 8 (1968)
- (7) H. M. Zein El-Din et al IEEE. VOL. PAS-96. No. 6 (1977)
- (8) R. Kasturi, P. Doraraju. IEEE. VOL. PAS-88. No.10 (1969)

(昭和53年11月27日受理)

